

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ва ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

К.Т.Олимхўжаев, У.Т.Бердиев

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ
ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Тошкент — 2008

УДК 621.314

Электр машиналари (Трансформаторлар). Техник ва технологик олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. К.Олимхўжаев умумий таҳририда. Тошкент. 2009. -228 б.

Трансформаторларнинг умумлаштирилган назарий асослари, уларнинг тузилиши ва элементлари ҳамда режимлари хоссаларининг таҳлиллари келтирилган. Трансформаторларнинг турлари, магнит ўзакларининг хоссалари, чулғамларининг уланиш, ўткинчи жараёнларни ҳисоблаш усуллари батафсил тушунтирилган ва физик жараёнлар кенг математик ифодаalarda келтирилган.

Ўқув қўлланма техник ва технологик олий ўқув юртларининг бакалавриат, магистратура талабалари, аспирантлари ҳамда ишлаб чиқариш корхоналарининг мутахассислари учун мўлжалланган.

Ўзбекистон республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги ҳузуридаги илмий-услубий бирлашмалар фаолиятини мувофиқлаштирувчи Кенгаш техник ва технологик олий ўқув юртларининг электроэнергетика, электротехника, электромеханика, электротехнологиялар ва гидроэнергетика бакалавр таълим йўналишлари ва мазкур соҳалар магистрлари, аспирантрари ҳамда мутахассислари учун дарслик сифатида тавсия этилган.

Кириш

Инсоният моддий ишлаб чиқариш маданиятининг ривожланиш даражаси биринчи галда энергия манбаини ҳосил қилиш ва уни ишлатиш билан аниқланади. Бунинг ишлатилиши, кейинги 100 йил ичида эса, электр қувватидан фойдаланиш, саноатнинг ривожланишида техник инқилобини келтирди ва социал муносабатларда ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлди.

Ҳозирги пайтда ривожланган мамлакатларда электр энергияси киши бошига 10 кВт с. га тўғри келади. Бу эса 200 йил илгари саноатда асосий иш кучи ҳисобланган инсоннинг қувватидан 100 марта кўпдир.

Ўзбекистон ҳудудида жойлашган электр станцияларининг умумий қуввати 1913 йилда 3000 кВт бўлиб, уларда 3,3 миллион кВт.с. электр энергияси ишлаб чиқарилган. ГОЭЛРО плани асосида 1926 йил 1 майида қуввати 4000 кВт бўлган Бўз сув ГЭСи қуриб ишга туширилди. Урушдан олдинги беш йилларда Қодирия (13600 кВт.), Бўржар (6400 кВт), Товоқсой (биринчи навбати) ГЭСлари ишга туширилди. Улуғ Ватан уруши даврида босиб олинган ҳудудлардан Ўзбекистонга эвакуация қилинган корхоналарни электр энергияси билан таъминлаш мақсадида Оқтепа (1943, 15 МВт), Қибрай (1943, 11,2 МВт), Салар (1944, 11,2 МВт.), 1-Оққовоқ (1943, 26,1 МВт) ГЭСлари ишга туширилди. Фарход ГЭСи қурила бошланди. Урушдан кейинги даврда Наманган ГЭС лар каскади (1,2+2, 1+2, 4+2,4 МВт), 19 та ГЭС лардан иборат Чирчиқ-Бўзсув каскади каби йирик гидроэнергетика тизимлари бунёд этилди. Ривожланаётган халқ хўжалигини электр энергияси билан таъминлаш мақсадида Оҳангарон (600 МВт), Тошкент (1920 МВт), Навои (830 МВт), Сирдарё (3000 МВт), Давлат район электр станциялари (ДРЭС) ва Фарғона иссиқлик электр маркази (ИЭМ) (230 МВт) қурилди.

Электр энергиясини узатиш ва тақсимлаш учун трансформаторлар қўлланилади. Собиқ Иттифоқ электромеханиклари узоқ масофаларга ўта катта электр энергетик қувватларни узатиш учун мўлжалланган, кучланиши 1150 кВ ва 1500 кВ бўлган трансформаторлар яратдилар. Электр станциялардаги турбогенераторлар кучланишини оширувчи 1000-1200 МВА қувватли трансформаторлар ҳам нодир қурилмалар каторига киради.

Трансформатор заводлари, шу жумладан, Чирчиқ трансформатор заводи (ЧТЗ) истеъмолчиларни электр энергияси билан барқарор таъминловчи махсус трансформаторлар, реакторлар ва трансформаторли нимстанциялар комплектларини кўплаб ишлаб чиқармоқдалар.

Электр станциялари, нимстанциялари ҳамда халқ хўжалигининг ҳар бир корхонасида ишлатилувчи трансформатор ускуналари электр энергияси билан сифатли ва ишончли таъминлашнинг гаровидир.

Ушбу ўқув қўлланма Тошкент давлат техника университети Энергетика факультети ҳамда Тошкент темир йўл муҳандислари

институти Электромеханика факультети талабалари учун кўп йиллар мобайнида ўқитилиб келинган маърузалар баёни асосида тузилган бўлиб, унда трансформаторлар ишлашининг назарияси, улар тузилиши, махсус режимлари ва махсус трансформаторларни ўз ичига олади.

Ушбу қўлланма трансформаторларни лойиҳалаш, ишлаб чиқариш ва уларни эксплуатация қилишда ишловчи юқори малакали мутахассисларни тайёрлашда ўз ҳиссасини қўшишига муаллифлар умид қиладилар.

БИРИНЧИ БОБ

УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

1.1. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ЭНЕРГЕТИКАДАГИ ЎРНИ. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР ВА ТАЪРИФЛАР. НОМИНАЛ ҚИЙМАТЛАР

Бирор кучланишли ўзгарувчан токни бошқа кучланишли ўзгарувчан токка айлантирувчи статик электромагнит ускунага трансформатор деб аталади. Трансформаторлар ўзгарувчан токнинг кучланиши қийматини ўзгартириш билан бирга, ўзгарувчан ток фазалар сони ва частотаси қийматини ўзгартирадиган мосламалар таркибида ҳам ишлатилади.

Электр энергиясини узоқ масофаларга узатиш учун ўзгарувчан ток генераторларининг 6-30 кВли кучланишини трансформаторлар ёрдамида 110, 150, 220, 330, 400, 500, 750, 1150 кВ гача кучайтириб электр ўтказиш тармоқларига узатилади. Кучланишнинг шу кадар кучайиши токнинг пропорционал камайишига олиб келади ва узатиш тармоғидаги қувват исрофи шу токнинг квадратига пропорционал равишда камаяди. Шу сабабли электр станцияларида кучайтирувчи трансформаторлар ишлаши зарурдир.

Электр энергиясини саноат корхоналарига, шаҳар, қишлоқ ҳудудлари ва корхоналар ичига кучланишлари 110, 35, 10 ва 6 кВ бўлган ҳаво электр тармоқлари ёки кабель йўллари ёрдамида тарқатилади. Демак, ҳар бир электр тарқатиш тугунида кучланишни пасайтирувчи трансформаторлар ўрнатилиши лозим. Бундай трансформаторлар кўпчилик истеъмолчиларнинг кириш қисмида ҳам жойланиши керак. Чунки улар 220, 380, 660 В кучланишда ишлайдилар. Шу тариқа электр энергияси электр станцияларидан истеъмолчига етиб боргунга кадар кўп марта (5 мартагача) трансформацияланади.

Электр энергиясини қабул қилувчи, узатувчи ёки тарқатувчи энегия тизимларда қўлланувчи трансформаторлар куч трансформаторлар (КТ) дейилади. КТларга уч фазали трансформаторларнинг қуввати 6,3 кВА ва ундан ҳам юқори бўлганлари киради.

Ўзгарувчан токни тўғриловчи (ўзгармасга айлантирувчи) ва ўзгармас токни инверторловчи (ўзгарувчанга айлантирувчи) ярим ўтказгич асбоблари бўлган схемаларда ишлатилувчи трансформаторлар ўзгарткич трансформаторлари (ЎТ) дейилади. қуввати бир неча Вольт-Ампердан бир неча юз мега Вольт-Ампергача (МВА) бўлган ўзгарткич трансформаторлари саноат корхоналарининг электр ускуналарида қўлланилади. Бундан ташқари махсус трансформаторлар ҳам ишлаб чиқариладики, улар электротермик ўчоқларда (ўчоқ трансформаторлари),

электр пайвандлаш, электр транспорти ускуналари, электрон схемалар, ток ва кучланиш ўлчагичлари схемаларида қўлланиладилар.

Уч фазали КТларнинг қувватлари 1250 МВА гача, уч фазали гуруҳ трансформаторларининг қувватлари эса (учта бир фазали трансформатордан ҳосил бўлган) 2000 МВА гача бўлиб, оғирлиги эса 500 т. гача боради.

Трансформаторлар асосан: а) электротехник пўлат тунукачалардан ташкил топган магнит ўзакдан ва б) бир-бири билан электромагнит (автотрансформаторларда эса электрик) боғланишда бўлган икки ёки ундан кўпроқ чулғамлардан иборат. Ток турига қараб трансформаторлар бир фазали, уч фазали ва кўп фазалиларга бўлинадилар. Кўп фазали трансформаторлар чулғами деб маълум усулда ўзаро уланган ҳамма фазаларнинг бир хил кучланишли чулғамлари мажмуасига айтилади.

Трансформаторларнинг электр энергияни қабул қилувчи чулғами - бирламчи, истеъмолчига энергияни узатувчи чулғами - иккиламчи чулғам дейилади. Номларига ўхшаш, ҳар бир чулғамга қарашли қийматлар (масалан, ток, кучланиш, қувват, қаршилиқ ва ҳ.к) бирламчи ва иккиламчи қийматлар дейилади (бирламчи ток, иккиламчи индуктив қаршилиқ, ва ҳ.к). Трансформаторларнинг юқорироқ кучланишли тармоққа уланган чулғами юқори кучланишли (ю.к.) чулғам дейилади. Кичикроқ кучланишли тармоққа уланган чулғами қуйи кучланишли (қ.к.) чулғами ва ниҳоят, уч чулғамли трансформаторларнинг ю.к. ёки қ.к. чулғамларига таалуқли бўлмагани - ўрта кучланишли (ў.к.) чулғам дейилади. Агар иккиламчи чулғам кучланиши бирламчиникидан кичикроқ бўлса трансформатор пасайтирувчи, акс ҳолда кучайтирувчи дейилади.

Битта бирламчи ва битта иккиламчи чулғамли трансформатор икки чулғамли трансформатор дейилади. Ҳар бир фазада учтадан чулғами бўлган, масалан битта юқори кучланишли ва иккита қуйи кучланишли ёки тескарис - битта қуйи кучланишли ва иккита юқори кучланишли трансформаторлар уч чулғамли деб аталади. Бир фазали ёки уч фазали трансформаторларнинг бир фазасида учтадан кўпроқ чулғами бўлиши мумкин. Бундай трансформаторлар кўп чулғамли трансформаторлар дейилади.

Кучли трансформаторлар тузилиши бўйича икки турга бўлинадилар: мойли ва қуруқ трансформаторлар. Мойли трансформаторларда магнит ўзак ва чулғамлар яхши изолятор ва совутувчи модда ҳисобланган трансформатор мойи тўлдирилган идишга жойлаштириладилар. Трансформатор мойи чулғам изоляцияларини ҳавонинг зарарли таъсиридан ҳам сақлайди.

Уламали трансформаторлар деб трансформациялаш коэффициентларини ўзгартириш учун чулғамларда махсус уламалари бўлган трансформаторларга айтилади.

Трансформаторларнинг номинал режими деб ишлаб чиқарган корхона тайёрлаган паспортда кўрсатилган режимга айтилади.

Трансформаторларнинг номинал қийматлари - қувват, кучланишлар, тоқлар, частота ва ҳ.к. трансформаторларнинг паспортида кўрсатилган бўлиб, у трансформаторларнинг номинал режимини кўрсатувчи бошқа қийматлар, масалан, ф.и.к. кабиларга ҳам тааллуқлидир.

Трансформаторларнинг номинал қуввати деб, иккиламчи чулғамда Вольт-Ампер билан ўлчанган ва паспортда кўрсатилган қувватга айтилади.

Трансформаторларнинг номинал бирламчи кучланиши деб, паспортда кўрсатилган кучланишга айтилади; агар бирламчи чулғам уламалари мавжуд бўлса, у ҳолда номинал кучланиш алоҳида таъкидланади.

Трансформаторларнинг номинал иккиламчи кучланиши деб бирламчи чулғамда номинал кучланиш бўлиб, юксиз ишлагандаги иккиламчи кучланишга айтилади; агар иккиламчи чулғам уламалари мавжуд бўлса, унинг номинал кучланиши алоҳида таъкидланади.

Трансформатор бирламчи ва иккиламчи чулғамлари номинал тоқлари деб трансформатор паспортида кўрсатиладиган ва номинал қувват ва номинал кучланишлар билан маълум боғланишда бўлган бирламчи ва иккиламчи чулғамлар тоқларига айтилади. Бунда трансформатор ф.и.к. и 100% га яқин деб фараз қилиниб иккала чулғам номинал қувватлари тенг қилиб олинади. Агар, мисол учун, юлдуз-юлдуз уланган уч фазали трансформаторнинг номинал қуввати $S_n = 10$ кВА, номинал бирламчи ва иккиламчи кучланишлари $u_{1нк} = 380$ В ва $u_{2нк} = 36$ В бўлса, бирламчи ва иккиламчи номинал тоқлар қуйидагича аниқланади:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 15,19 \text{ А} \quad \text{ва}$$
$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{2n}} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 36} = 161,21 \text{ А}$$

Овропа ва Осиё давлатларидаги каби, Ўзбекистон Республикасида ҳам кучланиш частотаси 50 (Гц) қабул қилинган.

Кучланиш, Э.ЮК ёки тоқларнинг вақтга боғлиқлик функциясининг синусоидадан фарқи қуйидагича аниқланади. Даврий функция гармоник қаторга ажратилади. Амплитудалари қиймати энг катта деб ҳисобланган учта юқори гармоник ташкил этувчилари амплитудалари квадратлари йиғиндиси квадрат илдизининг биринчи гармоника амплитудасига нисбатан фоиз ҳисобида олинган қиймати аниқланади. Қуввати 1000 кВА дан катта бўлган тарнсформаторларда бу қиймат 5% дан катта бўлмаса ва 1000 кВА дан кичикларида 10% дан катта бўлмаса, кучланиш, Э.Ю.К. ёки ток синусоидал бўлади деб ҳисобланади.

Уч фазали кучланиш ёки тоқлар тизимининг симметрик ёки носимметриклигини аниқлаш учун уларнинг векторлари тўғри ва тескари фазалар кетма-кетлигига ажратилади. Агар векторлар тескари кетма-кетлиги векторлар тўғри кетма-кетлигининг 5% га тенг ёки ундан кичик бўлса симметрик ва 5% дан катта бўлса - тизим носимметрик тизим деб ҳисобланади.

1.2. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА АСОСИЙ ҚИСМЛАР

Трансформаторлар асосий ва ёрдамчи қисмлардан иборат. Асосий қисм-трансформаторларнинг электромагнит жараёнларини вужудга келтирувчи чулғамлардан ва магнит оқимни кучайтирувчи магнит ўзакдан иборат. Ёрдамчи қисмлар эса трансформаторнинг қуввати, кучланиши, турлари ва ҳақозаларга қараб бир неча ўнлаб бўлақлардан иборат. Улар қаторига мойли трансформаторнинг баклари, тармоқни ва чулғамларни боғловчи изоляторлар ва бошқалар киради.

1.2.1. ТРАНСФОРМАТОР МАГНИТ ЎТКАЗГИЧИ

Магнит ўтказгич деб магнит занжирни ҳосил қилувчи электротехник пўлат тунукачалар мажмуасига айтилади. Магнит ўтказгичларнинг турларига қараб трансформаторлар устунли ва қобиқли (броневўе) трансформаторларга айтилади. Устунли магнит ўтказгичларда трансформаторларда трансформаторнинг чулғамлари магнит ўзакларга ўрнатиладилар. Бундай магнит ўзаклар деярли ҳамма ўрта ва йирик қувватли трансформаторларда қўлланилади.

Қобиқли магнит ўтказгичларда чулғамлар ўзаклар билан қисман ўралган бўлади. Бундай трансформаторлар кичик қувватли схемаларда ишлатилади. Магнит ўзак қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм бўлган махсус электротехник пўлат тунукачалардан йиғилади. Ҳозирги замон трансформаторлари асосан икки хил трансформатор пўлатларидан иссиқ жўваланган (горячекатаная) ва совуқ жўваланган (холоднокатаная) пўлатлардан ясалади. Совуқ жўваланган трансформатор пўлат жўваланиш йўналиши бўйича иссиқ жўваланганникига кўра бир неча марта яхшироқ магнит хусусиятларга эга. Аммо бундай магнит ўзакни йиғиш технологик жараёни анча мураккабдир.

Пўлат тунукачаларни ўзаро изоляцияланиши учун қалинлиги 0,03 мм бўлган қоғоз ёки мойли лок ишлатилади. қоғоз изоляция лок изоляциясидан арзонлигига қарамай, унинг паст иссиқлик ўтказувчанлиги, иссиққа чидамсизлиги ва механик чидамсизлиги кенг қўлланишига тўсқинлик кўрсатади. Шу билан бирга, қоғоз изоляцияси қалин бўлганлиги сабабли, магнит ўтказгич кесим юзасининг пўлат билан тўлдирилиш

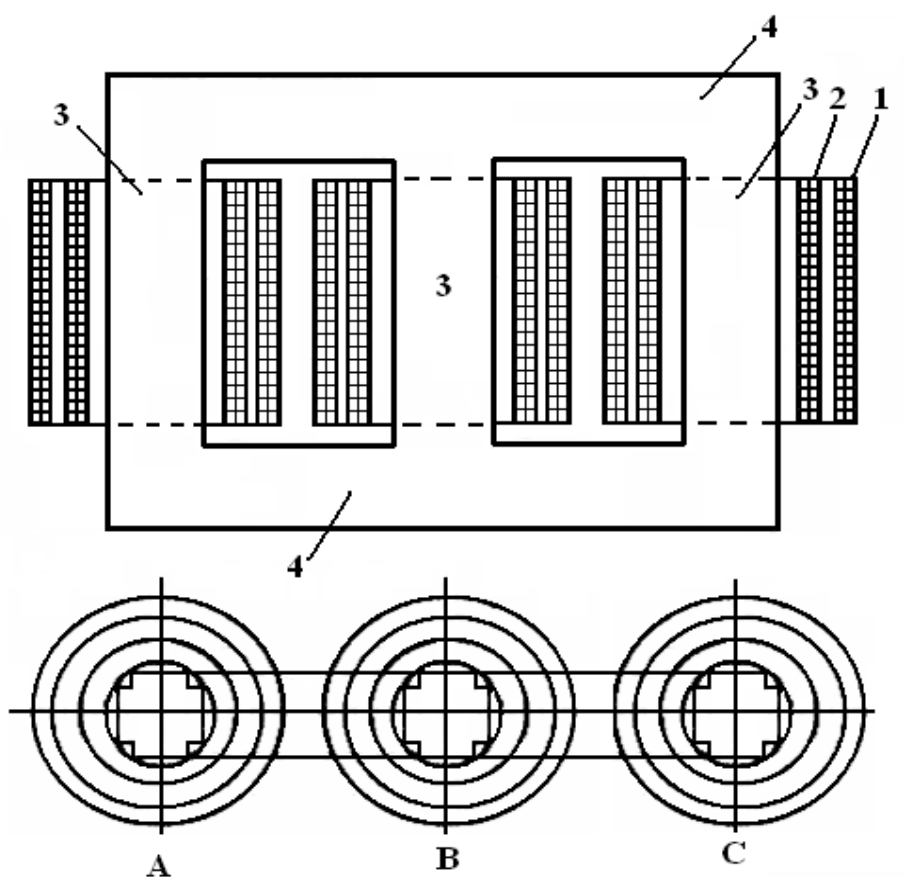
коэффициенти $K_{тўл}$ ни камайтиради (изоляцияланмаган магнит ўтказгич кесим юзаси $S_{ў}$ нинг изоляцияланган магнит ўзаги кесим юзаси S_n га нисбатан $K_{тўл}=S_{ў}/S_n$ пўлат билан тўлдирилиш коэффициенти дейилади). Шу сабабли мазкур камчиликлари эътиборга лойиқ бўлган катта қувватли трансформаторларда локли изоляциялар ишлатилади.

Бир фазали устунли ва қобикли ҳамда уч фазали устунли трансформаторларнинг магнит ўзаклари ва схематик тарзда келтирилган чулғамлари 1.1 ва 1.2-расмларда кўрсатилган. Расмдаги белгилар: 1 - юқори кучланишли чулғам; 2 - паст кучланишли чулғам; 3 - устун (стержень); 4 - тўсин (ярмо).

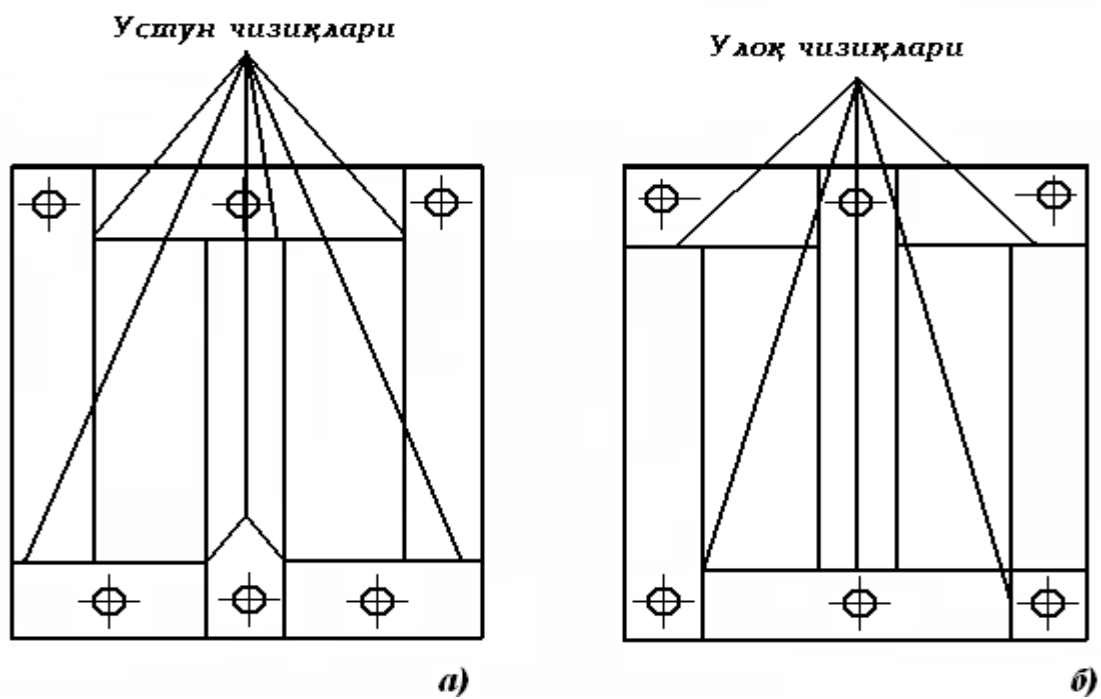
Устун ва тўсин тунукачалари бир-бири билан уланиши икки усулда бажарилиши кўзда тутилади: туташма (в стўк) ёки тўқима (шихтованной). Уланишлари туташма тарзда йиғилган магнит ўтказгичларнинг устунлари ва тўсинлари алоҳида йиғилиб, сўнгра улар туташтирилади. Бунда устунга чулғам ўрамасини жойлаштириш осон бажарилади, чунки чулғам жойлаштириш учун фақат юқориги тўсинлар олиб турилиши етарлидир. Тўқима усулда уланганда устун ва тўсинлар олиб турилиши етарлидир. Тўқима усулда уланганда устун ва тўсинлар биргаликда йиғилади, яъни аввал 1.3-а расмдагидек биринчи қатлам йиғилади. Сўнгра 1.3-б расмдагидек иккинчи қатлам йиғилади. Шу тариқа иккала шаклдаги ўтказгичлар галма-галдан устма-уст йиғилади. Натижада, бир қатламдаги ўзак ва тўсин тунукачаларининг улоқ чизиқлари кейинги қатлам устун ва тўсинлари билан қопланадилар. Чулғам ўрамаси устунга жойлаштирилиши учун қуйидагича амаллар бажарилади. Юқоридаги йиғилган (йиғиқ) тўсин тунукачалари қайта бузилиб устунларга чулғамлар кийгизилади ва яна юқориги тўсин қайта йиғилади. Шундай қилиб, иккинчи йиғиш усули биринчисидан мураккаброқдир, аммо унинг қуйидаги яхши хусусиятлари мавжуд:

А. Тўқима усулида йиғилганда ўзак тунукачалари улоқларидаги ҳаво оралиқлари минимумлаштириш эҳтимоли кўпаяди, чунки бир қатламдаги улоқ чизиқлари кейинги қатлам тунукачалари бирдан қопланади. Аксинча, туташма усулда йиғилганда устун ва тўсин оралиғига қалинлиги 0,5-1,0 мм. бўлган изоляцияловчи қатлам (қоғоз) қўйилиши лозим. Бу қатлам улоқ чизиғи атрофида уярма тоқлар ҳосил бўлишини ва улар билан боғлиқ бўлган қувват исрофлари ошиш эҳтимолини камайтиради (1.4-расм). Тўқима усулдаги изоляция қатламининг йўқлиги магнитловчи ток (юксиз ишлаш токи) ни кескин камайтиришга имкон беради.

Б. Тўқима усулда йиғилган магнит ўтказгичнинг механик чидамлилиги ошади, ва аксинча, туташма усулда устун ва тўсинларнинг керакли тортилиш кучини ҳосил қилиш учун нисбатан қувватли маҳкамлаш мосламалари ўрнатилиши лозим. Туташма усулдаги бундай мосламаларнинг оғирлиги тўқима усулдагига нисбатан бир неча марта кўпроқ бўлади

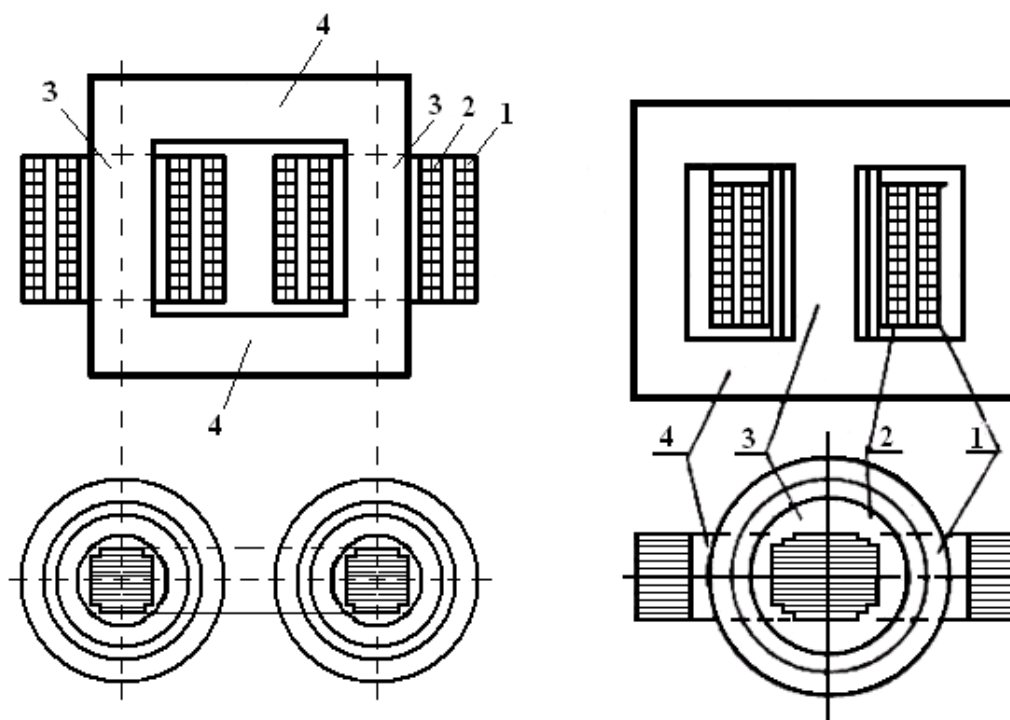


1.2 – расм. Уч фазали устунли концентрик чулгамли трансформатор.



1.3 – расм. Магнит ўзакни тўқима усулда йиғиш:
а – 1-, 3-, 5- ва қ.к. тоқ қатламлар; б – 2-, 4-, 6- ва қ.к. жуфт қатламлар.

Масалан, ЧТЗ нинг ҳисобларига кўра 5600 кВА бўлган трансформаторлардаги туташма усул билан йиғилган ўзакнинг маҳкамлаш мосламалари оғирлиги актив пўлат оғирлигининг 21,5% ни ташкил қилган бўлса, тўқима усул билан йиғишга ўтилганда бу улуш 8% гача камайган.

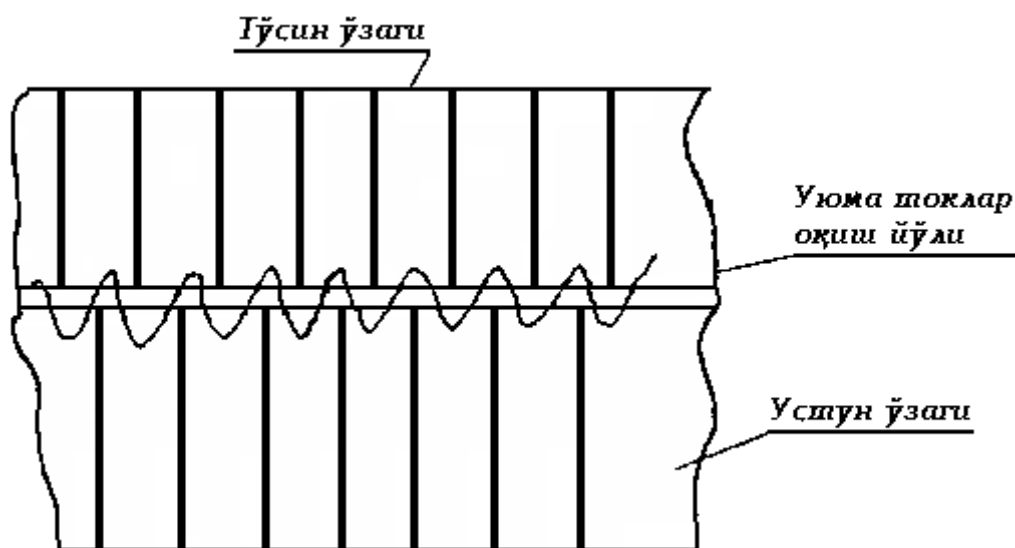


Тўқима усулнинг бундай ижобий хусусиятлари мавжудлиги Европа ва Осиё давлатлари корхоналарида тайёрланаётган кучли трансформаторларнинг ҳамма қувватларида шу усулни татбиқ қилишга олиб келади. Шу туфайли кейинчалик биз фақат тўқима усулда йиғилган магнит ўзақларини кўзда тутамиз.

Ўзак кесим юзаси D_0 диаметрли айлана ичига жойлашган зиначалар ёки кўпбурчак шаклида бажарилади (1.5-а, б, в. расмлар). Бундай шакл чулғамларнинг ички айланаси пўлат билан кўпроқ тўлдирилиши мақсадида бажарилади. Зиналар сони n_3 ички диаметр D_0 нинг қийматига боғлиқ:

$$\begin{aligned} \text{агар } D_0 \leq 100 \text{ мм бўлса } n_3 &= 4; \\ \text{агар } D_0 = 100 \div 150 \text{ мм бўлса } n_3 &= 5 \div 6; \end{aligned}$$

ва агар $150 < D_0 \leq 1000$ мм бўлса n_3 нинг қиймати 9-10 гача етказилади.



1.4 – расм. Туташма усулда йиғилган магнит ўзақда тўсин ва устун оралиғида (изоляция қатламисиз) уюрма тоқлар ҳосил бўлиши.

1.5-а, расмда $n_3=5$ (беш зинали) магнит устунининг кесим юзаси кўрсатилган. Унда пўлат тунукачаларни тортиш ва маҳкамлаш учун шпилькалар ишлатилган.

Устун диаметри $D_0 \geq 350$ мм бўлган ўрта ва катта қувватли трансформаторларда, пўлат ўзакни яхши совутиш мақсадида, уни алоҳида дасталар (пакетлар) дан тузилади. Дасталар орасига кенглиги 6 мм бўлган мой ўтар оралиқлар (каналлар) қолдирилади. (1.5,б-расм).

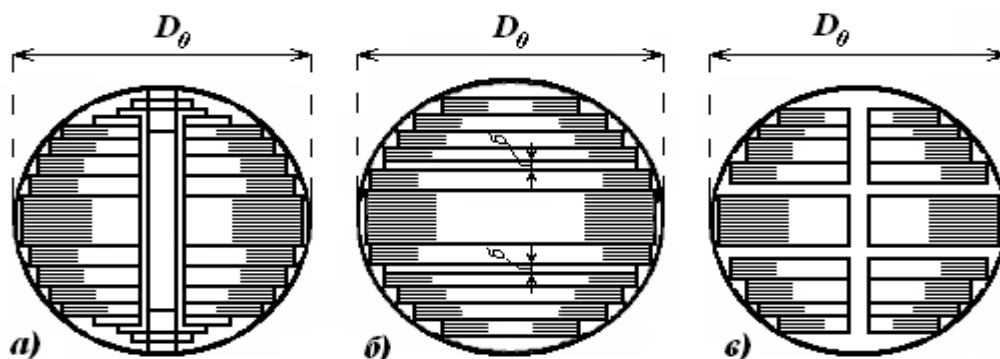
Устун диаметри $D_0 \geq 800$ мм бўлган ўта юқори қувватли трансформаторлар кенглиги 10-12 мм бўлган қўшимча кўндаланг оралиқлар билан жиҳозланадилар (1.5,в-расм). Бу ҳолда трансформаторларнинг магнит ўзаги икки табақали дарчадан иборат бўлади.

Тўсиннинг кесим юзаси S_T устуннинг кесим юзаси S_U билан тенг қилиб бажарилади, ёки тўсин пўлатининг қувват исрофи ва юксиз ишлаш токининг қийматларини камайтириш мақсадида S_T ни S_U дан 5-10% га каттароқ қилинади.

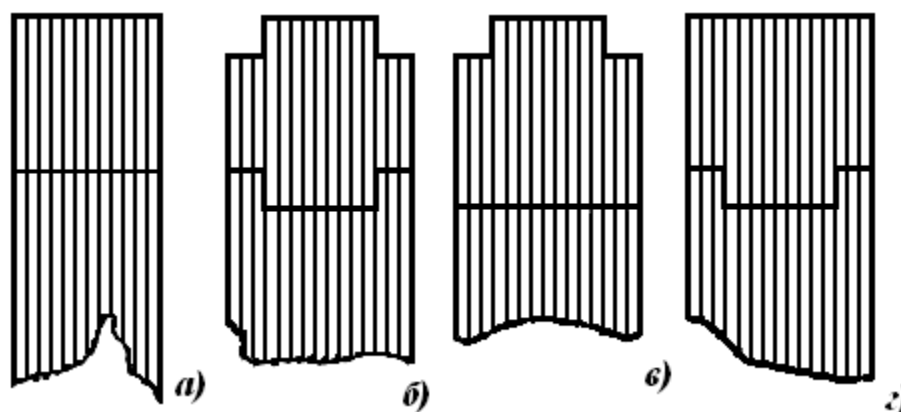
Трансформатор магнит ўзаги ишлаб чиқариш технологиясини соддалаштириш мақсадида тўсиннинг кесим юзаси устуннинг кесим юзасига нисбатан соддароқ шаклда бажарилади. Бундаги магнит майдон тарқалишининг бир хил бўлмаслиги ва натижада пўлатда қўшимча қувват исрофлари вужудга келиши ҳисобга олинмайди. Шу сабабли ЧТЗ даги

ишлаб чиқариладиган трансформаторларнинг тўсинлари 1.6-расмда келтирилган шаклларда бажарилади.

1.6,а-расмда келтирилган тўсин кесим юзаси кичик қувватли трансформаторларда ишлатилади.



1.5— расм. Магнит ўзак устуни кесим юзасининг зиначалар шаклида бажарилиши:



1.6— расм. Куч трансформатор магнит ўзаги тўсинларининг кесим юзалари.

1.6-б,в расмда келтирилган шаклдаги тўсинлар ўрта қўватли трансформаторларда учратиш мумкин.

Катта қувватли трансформаторларнинг тўсинлари 1.6-г расмда келтирилган шаклда ясалади.

Агар магнит ўзак устунида мой ўтар оралиқлар (каналлар) мавжуд бўлса, шундай оралиқлар тўсинларда ҳам бўлиши шарт.

Магнит ўзакнинг туридан қатъий назар, унинг актив қисми (тортувчи шпилькадан ташқари) заминланиши лозим. Бунинг учун ўзак трансформатор боки билан уланади. Уланишлар сони ва уланишлар ўрни трансформатор тузилишига боғлиқ.

1.2.2. ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИ

Трансформаторларнинг чулғамлари бир қанча талабларни қониқтириши шарт. Булардан асосийлари қуйидагилар:

- чулғам учун ишлатиладиган миснинг камёблигини ҳисобга олиб, унинг ишлаб чиқарилишидаги харажатлари минимал ва трансформаторнинг ишлаш жараёнидаги фойдали иш коэффиценти мумкин қадар максимал бўлиши лозим;

- чулғамнинг иссиқлик ажратиш жараёни стандарт талабларини қондириши шарт, агар чулғам ҳарорати бу шартдан ошса, трансформаторнинг умри кескин қисқаради;

- трансформаторнинг беҳосдан қисқа туташувидан ҳосил бўладиган электродинamik кучларнинг чулғамга таъсири аянчли бўлмаслиги лозим;

- кучланишнинг беҳосдан ошиб кетишига чулғамнинг электрик ва механик бардошлик қобилияти мавжуд бўлиши шарт.

Бу талаблар кўпинча бир-бирига зиддир. Масалан, миснинг ҳаражати камайтирилса, чулғамдаги токнинг зичлиги ортиб, ундаги қувват исрофи ортади ва шу туфайли, ф.и.к. камаёди. Чулғамлар иссиқлик даражаси ошуви юқорироқ мўлжалда қилинса, трансформатор савлати (габарити) камаёди, зеро унинг умри қисқаради. Шунинг учун чулғамларнинг ҳозирги замон тузилишлари, айниқса юқори кучланишли трансформаторлар чулғамлари тузилиши, тажрибаларда текширилган узоқ муддатли изланиш ишларининг маҳсулидир.

Юқори кучланишли (ю.к.) ва қуйи кучланишли (қ.к.) чулғамларнинг бир-бирига нисбатан жойлашишига кўра чулғамлар икки турга бўлинадилар: а) концентрик ва б) алмашинувчи чулғамдир.

А. КОНЦЕНТРИК ЧУЛҒАМЛАР

Концентрик чулғамлар устуннинг ҳар қандай баландликда олинган кесим юзаси атрофида марказлари мос келадиган алоҳида айланаларни тасвирлайди (1.1, 1.2 а,б, 1.7-расм). Кўпинча қ.к. чулғами устунга яқинроқ жойлаштирилади, чунки ю.к. чулғамига нисбатан қ.к. чулғамини ўзакдан изоляциялаш осонроқ.

Концентрик чулғамнинг асосий турлари қуйидагилардир:

- цилиндрик қатламсимон чулғам;
- винтсимон чулғам ва шу сингарилар;
- узлуксиз чулғам.

ЦИЛИНДРИК ҚАТЛАМСИМОН ЧУЛҒАМ

Агар чулғамнинг ўрам кесим юзаси 8-10 мм² дан ошмаса, у ҳолда цилиндрик чулғам, кесим юзаси айлана бўлган ўтказгичлардан кўп

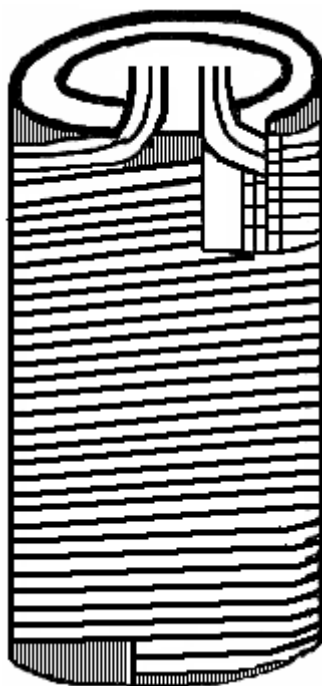
қатламли қилиб бажарилади; ўрам кесим юзаси 8-10 мм² дан катта бўлса, у ҳолда чулғам, кесим юзаси тўғри тўртбурчаклардан иборат бўлган ўтказгичлардан, аксарият, икки қатламли қилиб бажарилади (1.7-расм). Чулғамнинг қатлами цилиндрнинг айланаси узунлигида жойлашган винт чизиғи бўйлаб ўралган ўрамларни ёнма-ён жойлаштириш йўли билан ҳосил қилинади. Шундай қилиб чулғам баландлиги қатлам баландлигига тенг бўлади. Ўрам кесим юзаси 40-45 мм² дан ошса ўрам бир неча алоҳида ўтказгичлардан ташкил қилинади. Бу ҳолда ҳар бир ташкил этувчи чулғам баландлиги бўйича ёнма-ён жойлаштирилади, чунки шу ҳолатлардагина улар тарқоқ магнит оқимиغا нисбатан бир хил шароитда бўладилар.

Чулғамлар яхши совутилиши учун улар қатламлари орасида кенглиги 5-8 мм ли ораликлар (каналлар) қолдирилади (трансформатор қуввати ошган сари бу рақамлар ошиб боради).

Цилиндрик чулғамлар асосан қуввати 560 кВА гача бўлган трансформаторларда қўлланилади.

2. ВИНТСИМОН ЧУЛҒАМ

Бу турдаги чулғамлар бир неча параллел ўтказгичлардан иборат бўладилар (1.8-расм). Чулғамнинг ўрамлари қадами бир ёки бир неча юришли бўлган винт чизиқлари сингари жойлаштириладилар. Ҳар бир юриш ёнма-ён жойлаштирилган 4 тадан 20 тагача параллел ўтказгичлардан иборат. Ўрамлар орасида, ҳамда шохобчалар (юришлар) орасида совутиш мой ўтар каналлари мавжуд.



1.7 — расм. Цилиндрик икки қатламли чулғам.

Винтсимон чулғамларни изоляцион материалдан ясалган цилиндрга жойлаштирилган узун энсиз таёқларга ёки муваққат пўлат цилиндрсимон қолипга ўралади.

Винтсимон чулғамнинг параллел ўтказгичлари концентрик жойлашганлиги учун чулғам ўқидан ҳар бир масофаларда жойлашганлар ва шу сабабли ҳар хил узунликка эгадирлар. Бу эса ўтказгичлар актив қаршиликларининг ҳар хиллигига сабаб бўлади. Параллел ўтказгичларнинг тарқоқ магнит оқимида ҳар хил жойлашганлиги улар индуктив қаршиликларнинг ҳар хиллигига олиб келади. Параллел ўтказгичлардаги тоқларнинг текис тақсимланишини ва қўшимча қувват исрофларини камайтириш мақсадида винтсимон чулғамлардаги ўрамни ҳосил қилувчи параллел ўтказгичларнинг ўрам алмашинуви (транспозиция) амалга оширилади. Ўрин алмашинув бажарилганда ҳар бир ўтказгич бир ўрамдаги мавжуд ўринларни галма-галдан эгаллаши таъминланишига интилинади: бир юришли чулғамда бир умумий (стандарт) ва икки гуруҳли (махсус) ўрин алмашинувлар бажарилади; икки ва тўрт юришли чулғамларда тўлиқ ва текис тақсимланган ўрин алмашинуви бажарилади (1.8-расм).

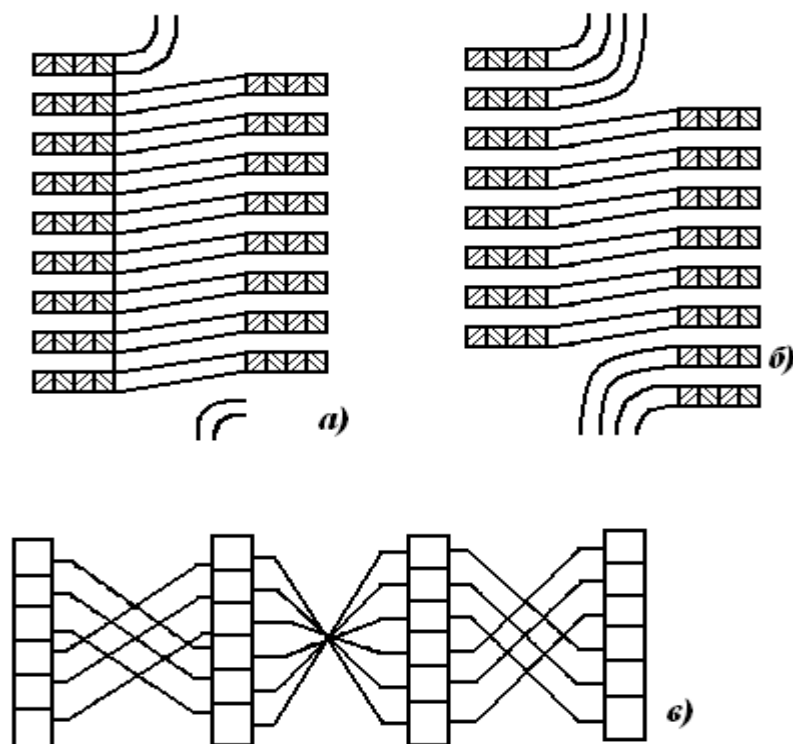
Винтсимон чулғамлар трансформаторнинг қ.к. чулғамларида тоқнинг қиймати 300 А дан каттароқ бўлганда қўлланилади.

3. УЗЛУКСИЗ ЧУЛҒАМЛАР

Кучланиши 35 кВ ва ундан юқори бўлган трансформаторларда узлуксиз чулғамлар қўлланилади. Улар бир-биридан каналлар билан ажратилган ясси гардишсимон (дисксимон) ўрамлардан иборат. Агар узлуксиз чулғам трансформаторнинг ю.к. чулғами бўлса, у ҳолда трансформациялаш коэффициентини 5% атрофида ўзгартириш мақсадида махсус уламаларга эга бўлади.

Б. АЛМАШИНУВЧИ ЧУЛҒАМЛАР

Юқори кучланишли ва қуйи кучланишли чулғамларнинг айрим қисмлари шундай ўзаро алмашилиб жойлаштириладики, унда қ.к. чулғамлари ўрамалари магнит ўзакка яқинроқ жойлашадилар. Бундай чулғамлар қобиқли трансформаторларда ишлатилади. Концентрик чулғамлардан қуйидаги камчиликлари билан ажралиб туради: ишлаб чиқаришдаги мураккаб технологик жараёни; қисқа туташувга бардошсизлиги; магнит ўзакдан ва бир-биридан изоляциялашнинг қийинлиги.



1.8-расм. Винтсимон чўлғам: а – ўрамида 4 та ўтказгичли бир юришли чулғам; б – икки юришли чўлғам; в – бир юришли чўлғам ўрин алмашинув схемаси.

1.2.3. МОЙЛИ ТРАНСФОРМАТОРНИНГ БОКИ

Ҳозирги замон кучли трансформаторларини совутиш учун уларнинг актив қисмлари, яъни магнит ўзак ва унга маҳкамланган чулғамлар, мойли бакка жойлаштирилади. Бунда чулғамлар ва магнит ўзак ўз ҳароратини ҳаракатланаётган (актив қисмни юваётган) мойга узатади. Мойнинг ҳаракати эса бакнинг ҳар еридаги мой ҳарорати фарқи натижасида ҳосил бўлади. Чунончи, қизиган мой юқорига ҳаракатланиб, унинг ўрнини махсус совутгичлардан келаётган совуқ мой эгаллайди. Совутгичларга эса қизиган мой келади, шу тариқа, мойнинг табиий циркуляцияси (берк контур бўйлаб ҳаракати) трансформаторнинг чулғамлари ва магнит ўзакларини табиий совутади.

Бакнинг тузилиши ва шакли трансформаторнинг қизишини ҳисоблаш билан узвий боғлиқдир. Бак материали мойнинг 0,5 атмосфера босимида бардош бера олиши шарт. У ғилдиракли аравачага жойлаштирилади ва трансформаторнинг тўла оғирлигига мўлжалланган бўлади.

Трансформаторнинг қуввати ошган сари, унинг совутиш шароитлари мушкуллашади. Шу туфайли бакнинг тузилиши ҳам ўзгариб боради. Масалан:

а) 30 кВА. қувватгача бўлган трансформаторлар баки энг содда тузилган яъни текис деворли бўлади;

б) 3000 кВА қувватгача бўлган трансформаторларда найли баклар қўлланилади. Бунда бакнинг деворларига диаметри 50 мм ли қалинлиги 2 мм ли 1-3 қатор вертикал найлар пайвандланади;

в) қуввати 10000 кВА гача бўлган трансформаторларнинг бакларига табиий сувутувчи радиатор-совутгичлар ўрнатилади;

г) қуввати 10000 кВА ундан катта трансформаторлар ҳаво ҳайдагич (вентилятор) ли радиаторлар ёрдамида совутилади.

ГЭСларда ўрнатиладиган трансформаторларнинг мойини совутиш учун махсус совутгичлардаги сувдан фойдаланилади. Бу ҳолда мойнинг сунъий (мажбурий) циркуляцияси насослар ёрдамида амалга оширилади. Бу турдаги совутгичли трансформаторларнинг савлати бошқаларникидан анча кичик бўлади.

1.3. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ, М.Ю.К. ВА Э.Ю.К ЛАР МУВОЗАНАТ ТЕНГЛАМАЛАРИ

Трансформаторнинг ишлаши икки ёки, умумий ҳолда, бир неча бирига нисбатан қўзғалмас контурларнинг электромагнит таъсири ҳодисасига асосланган. 1.9-расмда бир фазали икки чулғамли трансформаторнинг принципиал схемаси келтирилган. Агар бирламчи чулғамнинг А-Х нуқталарига тармоқдан ўзгарувчан кучланиш берилса, у ҳолда иккала чулғамни бирлаштирувчи магнит оқими таъсирида иккиламчи чулғамда э.ю.к. ҳосил бўлади ва у ердан юкни таъминловчи иккиламчи ток оқиб ўтади. Шу тариқа бирламчи контурдан (биринчи тармоқдан) иккиламчи контурга (иккинчи тармоққа) ўзгарувчан ток қуввати узатилади. Магнит ўзак икки чулғам орасидаги магнит боғланишни кучайтиради.

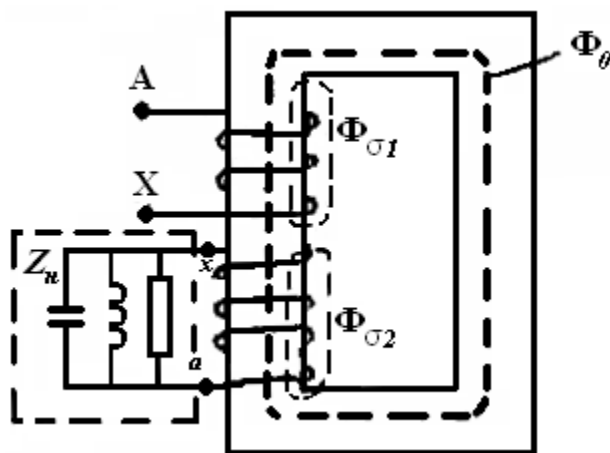
Трансформаторнинг исталган режимини тавсифлаш учун чулғамларнинг э.ю.к. ва м.ю.к. мувозанат тенгламаларидан фойдаланилади.

Агар u_1 – бирламчи кучланишнинг оний қиймати ва f_1 – шу тармоқ кучланишининг частотаси бўлса, бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги i_1 ва i_2 оний қийматларга эга бўлган тоқлар оқиб ўтади. Бу тоқлар бирламчи $i_1 \cdot w_1$ ва иккиламчи $i_2 \cdot w_2$ м.ю.к. ларни ҳосил қилади. Бунда w_1 ва w_2 – бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ўрамлари сони. Кирхгофнинг биринчи қонуни магнит занжири учун қўлланилса

$$i_1 \cdot w_1 + i_2 \cdot w_2 = i_0 \cdot w_1 , \quad (1.1)$$

трансформаторнинг магнит ўзагида Φ_0 магнит майдони ҳосил қилувчи м.ю.к.ни аниқлаш мумкин. Трансформатор магнит ўзагининг кесим юзасидаги Φ_0 магнит оқими бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ҳар бир ўрамини кесиб ўтувчи асосий магнит майдон деб аталади. Бу оқим асосий вазифани бажариб, бирламчи ва иккиламчи чулғамларда e_1 ва e_2 ни индуктивлайди:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\phi_0}{dt} = -\frac{d\psi_{10}}{dt}; \quad (1.2)$$

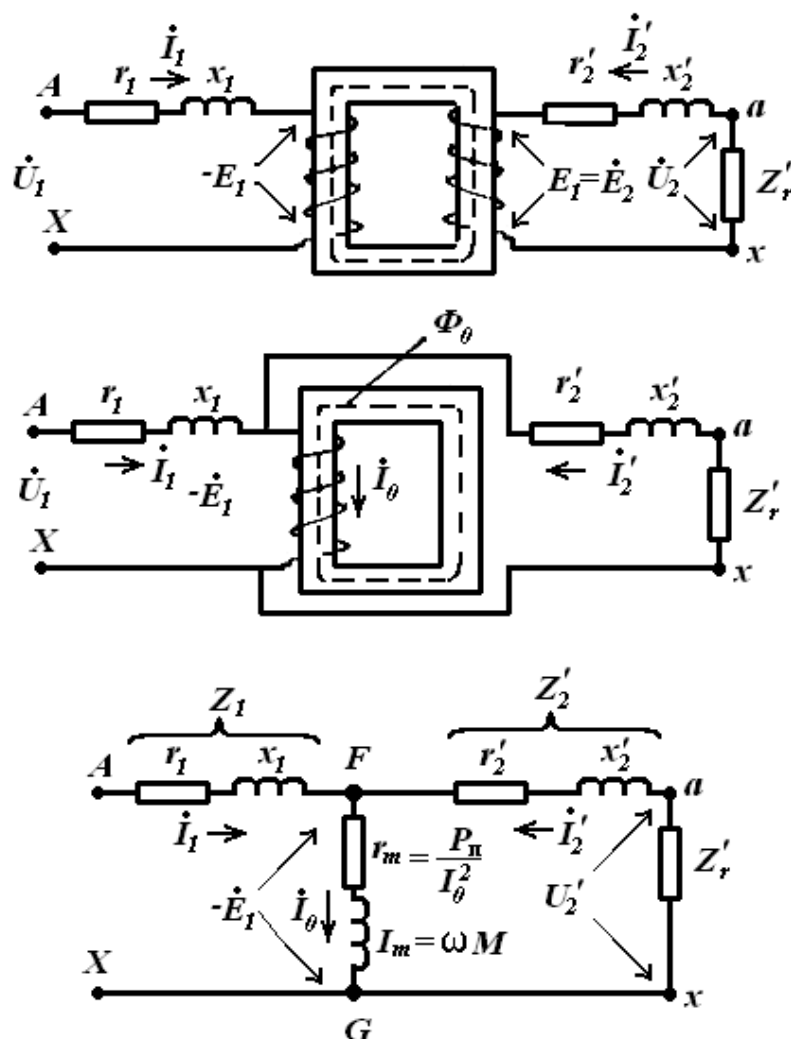


1.9 – расм. Бир фазаги трансформаторнинг принципиал схемаси.

$$e_2 = -w_2 \frac{d\phi_0}{dt} = -\frac{d\psi_{20}}{dt} \quad (1.3)$$

Бунда ψ_{10} ва ψ_{20} - фақат ϕ_0 магнит оқимиға тааллуқли бўлган бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг магнит илашувлари.

Бундан ташқари $i_1 \cdot w_1$ ва $i_2 \cdot w_2$ м.ю.к.лар бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг тарқоқ магнит оқим $\phi_{\delta 1}$ ва $\phi_{\delta 2}$ ларини ҳосил қиладилар.



1.10-расм. Трансформаторнинг Т-симон алмаштириш схемаси

Шуни уқтириш керакки, $\phi_{\delta 1}$ ни фақат i_1 токи ҳосил қилиб, фақат бирламчи чулғамни кесиб ўтади, шунга ўхшаш $\phi_{\delta 2}$ ни фақат i_2 токи ҳосил қилиб, фақат иккиламчи чулғам ўрамларини кесиб ўтадию тарқоқ магнит майдонлари асосан ўзагармас магнит сингдирувчанлигига эга бўлган номагнит муҳитдан (мой, ҳаво оралиғи, мис ва ҳ.к) оқиб ўтиши сабабли, тарқоқ майдон индуктивликлари ўзгармас қийматлар ($L_{\delta 1} = const$ ва $L_{\delta 2} = cost$) деб қилиш ўринлидир. Унда $\phi_{\delta 1}$ ва $\phi_{\delta 2}$ оқимлар бирламчи ва иккиламчи чулғамларда қуйидаги э.ю.к лар ҳосил қилади:

$$e_{\delta 1} = -L_{\delta 1} \frac{di_1}{dt}; \quad (1.4)$$

ва

$$e_{\delta 2} = -L_{\delta 2} \frac{di_2}{dt} \quad (1.5)$$

Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан бирламчи э.ю.к лар тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$u_1 + e_1 + e_{\delta 1} = i_1 \cdot r_1, \quad (1.6)$$

бунда, r_1 - бирламчи чулғам актив қаршилиги.

Юқоридаги (1.6) тенглама кучланишга нисбатан ёзилса

$$u_1 = -[e_1 + e_{\delta 1} + (-i_1 \cdot r_1)] \quad (1.7)$$

унга э.ю.к.нинг мувозанат тенгламаси дейилади. Бунда кучланиш u_1 ни тармоқнинг бирламчи чулғамга нисбатан таъсири деб қаралади ва (1.7) нинг ўнг томонидаги ҳадлар йиғиндиси $e_1 + e_{\delta 1} + (-i_1 \cdot r_1)$ ни трансформаторнинг тармоққа нисбатан акс таъсири дейилади. Таъсир этувчи ва акс таъсир этувчи э.ю.к.лар вақтнинг исталган онда қиймат жиҳатидан бир-бирларига тенг, лекин қарама-қарши йўналган бўлишлари шарт. $(-i_1 \cdot r_1)$ ни «шартли» э.ю.к. деб аталади ва у i_1 ток оқимиға нисбатан r_1 қаршиликли чулғамнинг акс таъсиридир. (1.7) тенгламадаги e_1 ва e_2 лар ўрнига уларнинг (1.2) ва (1.4) лардаги қийматларини қўйсак қуйидагилар ҳосил бўлади:

$$u_1 = \frac{d\Psi_{10}}{dt} + L_{r1} \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot r_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} + i_1 \cdot r_1. \quad (1.8)$$

Бунда Ψ_1 - бирламчи чулғамда асосий майдон Φ_0 ва тарқоқ майдон $\Phi_{\delta 2}$ лар ҳосил қилган тўла магнит илашувдир.

Иккиламчи чулғамда асосий магнит майдон Φ_0 э.ю.к. e_2 ни индуктивлайди, тарқоқ магнит майдон $\Phi_{\delta 2}$ $e_{\delta 2}$ ни ва «шартли» э.ю.к. $(-i_2 \cdot r_2)$ ни ҳосил қилади. Бу э.ю.к. ларнинг алгебрик йиғиндиси иккиламчи чулғам кучланиши u_2 ни ҳосил қилади:

$$e_2 + e_{\delta 2} + (-i_2 \cdot r_2) = u_2, \quad (1.9)$$

ёки э.ю.к лар e_2 ва $e_{\delta 2}$ (1.3) ва (1.5) лардаги қийматларини (1.9) га қўйсак қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$0 = \frac{d\Psi_{20}}{dt} + L_{\delta 2} \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot r_2 + u_2 = \frac{d\Psi_2}{dt} + i_2 \cdot r_2 + u_2. \quad (1.10)$$

Бунда Ψ_2 - иккиламчи чулғамда асосий майдон Φ_0 ва тарқоқ майдон $\Phi_{\delta 2}$ лар ҳосил қилган тўла магнит илашувдир.

Агар трансформаторнинг магнит ўзагидаги нисбатан кичик бўлган (пўлатдаги) қувват исрофини ҳисобга олмасак ва магнит ўзагидаги магнит сингдирувчанликни ўзгармас деб ҳисобласак, у ҳолда трансформатор чулғамларидаги магнит илашувлар ψ_1 ва ψ_2 ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\psi_1 = L_1 \cdot i_1 + M_{12} \cdot i_2 \text{ ва } \psi_2 = L_2 \cdot i_2 + M_{21} \cdot i_1 \quad (1.11)$$

Бунда L_1 ва L_2 - бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги тўла индуктивликлар; $M_{12} = M_{21} = M$ - чулғамларнинг ўзаро индуктивлиги.

ψ_1 ва ψ_2 ларнинг (1.11) даги қийматларини (1.8) ва (1.10) ларга қўйсак, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} + i_1 \cdot r_1 \quad (1.12)$$

$$0 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} + i_2 \cdot r_2 + u_2. \quad (1.13)$$

Трансформаторнинг кучланишлар трансформацияси коэффициенти (қисқача трансформациялаш коэффициенти) деб асосий магнит майдоннинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги индуктивланган э.ю.к.лари нисбатига айтилади:

$$K = \frac{e_1}{e_2} = \frac{-w_1 \frac{d\phi_0}{dt}}{-w_2 \frac{d\phi_0}{dt}} = \frac{w_1}{w_2} \quad (1.14)$$

Трансформациялаш коэффициенти трансформаторлар назарияси ва уларни эксплуатациясида кўп аҳамиятли ҳисобланади.

1.4. КУЧЛАНИШ ВА ТОКЛАРИ СИНУСОИДАЛ БЎЛГАН ТРАНСФОРМАТОРНИНГ Э.Ю.К. ВА М.Ю.К. МУВОЗАНАТ ТЕНГЛАМАЛАРИ

Агар чулғамларнинг кучланишлари, э.ю.к. ва токлари вақтнинг синусоидал функцияси бўлса, у ҳолда бу функцияларнинг эффектив қийматлари $\bar{U}$, $\bar{E}$ ва $\bar{I}$ ни комплекс сонлар орқали ифодалаш мумкин.

Бунда (1.1) даги м.ю.к. лар тенгламалари қуйидагича ифодаланиши мумкин;

$$\dot{I}_1 \cdot w_1 + \dot{I}_2 \cdot w_2 = \dot{I}_0 \cdot w_1, \quad (1.15,a)$$

ёки

$$\dot{I}_1 \cdot w_1 = -\dot{I}_2 \cdot w_2 + \dot{I}_0 \cdot w_1. \quad (1.15,6)$$

Бунда I_0 - магнитловчи токнинг эффектив қиймати. Шунга ўхшаш, (1.6) ва (1.7) лардаги э.ю.к. лар тенгламалари қуйидагича кўринишда бўлади:

$$\dot{u}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{r1} = \dot{I}_1 \cdot r_1 \quad (1.16)$$

ёки

$$\dot{u}_1 = -[\dot{E}_1 + \dot{E}_{\delta 1} + (-\dot{I}_1 + r_1)] \quad (1.17)$$

Иккиламчи чулғам учун:

$$\dot{E}_2 + E_{\delta} + (-I_2 \cdot r_2) = \dot{u}_2 \quad (1.18)$$

Ток синусоидал ўзгарганида бирламчи чулғам таррқоқ майдонининг э.ю.к. қиймати:

$$\begin{aligned} e_{\delta} &= -L_{\delta 1} \frac{di_1}{dt} = -L_{\delta 1} \frac{d(I_{1m} \cdot \sin \omega \cdot t)}{dt} \\ &= -I_{1m} \cdot L_{\delta 1} \cdot \omega \cdot \cos \omega t = I_{1m} \cdot x_1 \cdot \cos \omega t \end{aligned} \quad (1.19)$$

Шундай қилиб e_{δ} э.ю.к.и уни ҳосил қилган токдан 90° га орқада қолади (кечикади) ва унинг комплекс формадаги қиймати:

$$\dot{E}_{\delta 1} = -j\dot{I}_1 \cdot x_1, \quad (1.19)$$

бўлади. Шунга ўхшаш иккиламчи чулғам учун:

$$E_{\delta 2} = -\gamma I_2 \cdot x_2 \quad (1.20)$$

Бунда x_1 ва x_2 - бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг тарқоқ индуктив қаршиликлари. $E_{\delta 1}$ ва E_{r2} э.ю.к. ларнинг (1.19) ва (1.20) да аниқланган қийматларини (1.16), (1.17) ва (1.18) ларга қўйсақ, бирламчи чулғам учун э.ю.к. лар тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\dot{u}_1 + \dot{E}_1 - jI_1 \cdot X_1 = \dot{I}_1 \cdot r_1, \quad (1.21)$$

$$\begin{aligned} \dot{u}_1 &= -(\dot{E}_1 - j\dot{I}_1 \cdot X_1 - \dot{I}_1 \cdot r_1) = \\ &= -\dot{E}_1 + I_1(r_1 + jX_1) = -E_1 + \dot{I}_1 \cdot Z_1, \end{aligned} \quad (1.22)$$

ва иккиламчи чулғам учун

$$\begin{aligned} \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 \cdot X_2 - \dot{I}_2 \cdot r_2 &= \dot{E}_2 - I_2(r_2 + jX_2) = \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \cdot Z_2 = \dot{u}_2, \end{aligned} \quad (1.23,a)$$

ёки

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 \cdot Z_2 + \dot{u}_2 \quad (1.23,б)$$

бўлади. Бу тенгламаларда $Z_1kr_1+jx_1$ ва $Z_2kr_2+jX_2$, бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг тўла қаршиликлари; $\dot{I}_1 \cdot Z_1$ ва $\dot{I}_2 \cdot Z_2$ бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг кучланиши пасайиши дейилади.

(1.22), (1.23,а) ва (1.24,б) тенгламалар трансформаторлар назарияси ва шу назария қўлланиладиган бошқа электр машиналарида кенг қўлланилади.

Шунга ўхшаш (1.12) ва (1.13) даги тенгламалар ҳам комплекс кўринишда ёзилиши мумкин:

$$\dot{u}_1 = j\omega L_1 \cdot \dot{I}_1 + j\omega M \cdot \dot{I}_2 + \dot{I}_1 \cdot r_1 \quad (1.24)$$

ва

$$0 = j \cdot \omega \cdot L_2 \cdot \dot{I}_2 + j\omega M \cdot \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \cdot r_2 \cdot \dot{u}_2 \quad (1.25)$$

1.5 КЕЛТИРИЛГАН ТРАНСФОРМАТОР

Юқорида кўрсатилганидек, ток, кучланиш ва бошқа ўзгарувчиларни комплекс шаклида векторлар билан ифодалаш мумкинлиги трансформаторларни ҳисоблаш ва улар ишини тавсифлашда анча қулайликлар яратади. Аммо чулғамларнинг ўрамлари сони тенг бўлмаганлиги ($w_2 \neq w_1$) э.ю.к. лар ($E_2 \neq E_1$), тоқлар ($I_2 = I_1$) ва чулғамларнинг кўпчилик параметрлари, яъни актив ва индуктив ($X_2 \neq X_1$) қаршиликларнинг тенг эмаслигига олиб келади. Бу эса, айниқса трансформациялаш коэффициенти катта бўлганда, трансформаторда содир бўлаётган жараёнларда микдорий ҳисоблашни ва вектор диаграммаларини қуриш ва ундан фойдаланишни қийинлаштиради. Бундай қийинчиликларни четлаш учун чулғамларни бир-бирига келтириш усулидан фойдаланилади. Кўпинча иккиламчи чулғамни бирламчига келтирилади. Бунинг учун иккиламчи чулғамни қайта ҳисобланади. Ўрамлар сони w_2 бўлган иккиламчи чулғам бирламчи чулғамга шундай келтирилади, яъни эквивалент иккиламчи чулғамнинг ўрамлари сони w_1 га тенг деб қабул қилинади. Соддароқ қилиб айтганда иккиламчи чулғамнинг ўрамлари сони фикран (хаёлан) w_1 га тенг деб ҳисобланади. Келтириш усулининг асосий шарти шундаки, унинг натижасида трансформаторнинг энергетик жараёнлари ўзгармаслиги ва бирламчи чулғамнинг ишлаш жараёнига таъсир этмаслиги керак.

Келтирилган чулғамга тааллуқли ҳамма қийматлар келтирилган қийматлар деб номланадилар ва илгариги символларининг ўнг юқори

қисмига штрих чизиғи чизиш билан ҳақиқий иккиламчи чулғам қийматларидан фарқланади.

А. Келтирилган иккиламчи э.ю.к.. E'_2 ни ҳосил қилиш учун э.ю.к. E_2 ни трансформациялаш коэффиценти $K = w_1 / w_2$ марта кўпайтириш лозим:

$$E'_2 = \frac{w_1}{w_2} \cdot E_2 = k \cdot E_2 = E_1 \quad (1.26)$$

Иккиламчи чулғамнинг тарқоқ э.ю.к. u $E_{\delta 2}$ ҳам шунча марта оширилади.

Б. Келтирилган иккиламчи ток. Иккиламчи чулғамни бирламчи чулғамга келтирилганда унинг тўла қуввати ўзгармаслиги зарур, яъни $E'_2 \cdot I'_2 = E_2 \cdot I_2$. Шунинг учун

$$I'_2 = \frac{E_2}{E'_2} \cdot I_2 = \frac{1}{K} \cdot I_2, \quad (1.27)$$

яъни I'_2 ни ҳосил қилиш учун I_2 ни трансформациялаш коэффицентиға тескари пропорционал равишда ўзгартириш керак.

В. Келтирилган иккиламчи актив қаршилик. r'_2 . Иккиламчи чулғам бирламчига келтирилганда қувватлар ўзгармаслиги учун ҳақиқий ва келтирилган чулғамларнинг мисдаги қуввати исрофи ҳам ўзгармаслиги керак. Шу туфайли

$$(I'_2)^2 \cdot r_2^1 = I_2^2 \cdot r_2$$

Бундан

$$r'_2 = \left(\frac{I_2}{I'_2} \right)^2 \cdot r_2 = K^2 \cdot r_2, \quad (1.28)$$

Яъни, r_2^1 ни ҳосил қилиш учун r_2 ни трансформациялаш коэффицентиға квадрати марта ошириш керак. Бу физик нуқтаи назардан кўриладиган бўлса, чулғам ўрамлари сони K марта ўзгарса, масалан ошса, чулғам узунлиги ҳам K марта ошади, чулғам токининг зичлиги ўзгармайди деб тахминлаганда (чунки I'_2 K марта камаяди), унинг кесим юзаси K марта камаяди. Шу туфайли, актив қаршилик K^2 марта ошади.

Г. КЕЛТИРИЛГАН ИККИЛАМЧИ ЧУЛҒАМНИНГ ТАРҚОҚ ИНДУКТИВ ҚАРШИЛИГИ

Ихтиёрий контур индуктив қаршилиги $X = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ бўлади. Бунда L - контурнинг индуктивлиги. Маълумки, индуктивлик L , контурдан ўтаётган I ток ҳосил қилган магнит майдоннинг ҳар бир ўрамни кесиб ўтишлар йиғиндисидан ҳосил бўлади $[\Sigma W\Phi (i=1A)]$ Агар ўрамлар сони K марта ошса, у ҳолда, магнит ўзгарувчанлиги ўзгармас бўлганда, Φ ($i \leq 1A$) ҳам K марта ошади, шу туфайли, $L = \omega \cdot K \cdot \Phi_{(i=1A)}$ K марта ошади, яъни

$$LX_2' = \left(\frac{W}{W}\right)^2 \cdot X_2 = K^2 \cdot XL \quad (1.29)$$

Демак, X_2' ни ҳосил қилиш учун, r_2' каби, X_2 ни трансформациялаш коэффициенти квадрати марта ошириш керак.

Д. Келтирилган иккиламчи чулғамнинг тўла қаршилиги Z_2'

Иккиламчи чулғамнинг тўла қаршилиги $Z_2 = r_2 + jX_2$ бўлгани учун

$$Z_2' = r_2' + jX_2' = K^2 Z_2 \quad (1.30)$$

Агар Z тар – иккиламчи чулғам таъминлаётган тармоқнинг қаршилиги бўлса, Z_2' сингари $Z_{\text{тар}}$ ни ҳам келтириш мумкин:

$$Z_{\text{тар}}' = K^2 \cdot Z_{\text{тар}} \quad (1.31)$$

1.6. КЕЛТИРИЛГАН ТРАНСФОРМАТОРНИНГ М.Ю.К. ВА Э.Ю.К. МУВОЗАНАТ ТЕНГЛАМАЛАРИ

Келтирилган трансформаторнинг м.ю.к тенгламаси қуйидаги шаклда ёзилади:

$$\bar{I}_1 \cdot W_1 + I_2' \cdot W_1 = \bar{I}_0 \cdot W_1,$$

ёки

$$\bar{I}_1 \cdot W_1 = -I_2' \cdot W_1 = \bar{I}_0 \cdot W_1,$$

Тенгликнинг чап ва ўнг томонларини w_1 га қисқартириб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\bar{I}_1 + I_2' = \bar{I}_0, \quad (1.32,а)$$

ёки

$$\bar{I}_1 = -\bar{I}_2' = \bar{I}_0, \quad (1.32,б)$$

э.ю.к мувозанат тенгламаси

$$\bar{u}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_1 \cdot Z_1 \quad (1.33)$$

$$E_2' - \bar{I}_2' Z_2' = u_2' \quad (1.34,а)$$

ёки

$$\bar{E}_2' = \bar{E}_1 = \bar{I}_2' Z_2' + u_2' \quad (1.34,б)$$

1.7. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИ

Чулғамлари ўзаро электромагнит боғланишда бўлган трансформаторнинг схемасини элементлари электрик боғланишда бўлган схема билан алмаштирсак, трансформатор ишини аналитик ва график усуллар билан текшириш жараёни соддалашади. Умуман, бу масала (трансформатор схемасини алмаштириш масаласи) бир неча ечимга эга бўлиши мумкин, яъни бир неча турдаги алмаштириш схемаларини учратиш мумкин. Лекин еометри ҳар бири трансформаторнинг асосий э.ю.к. ва м.ю.к. тенгламаларини қаноатлантиришлари шарт.

Трансформаторлар назариясида фақат «Т- симон» деб номланган алмаштириш схемасидан фойдаланилади. «Г- симон» номи билан аталувчи ео бошқа алмаштириш схемаси асинхрон машиналар назариясида кўпроқ қўлланилади.

Юқоридаги (1.32), (1.33), (1.34) тенгламаларни қаноатлантира оладиган келтирилган трансформаторнинг схемаси 1.10, а-расмда кўрсатилган. Бундай эквивалент трансформаторнинг ҳар бир чулғами иккита кетма-кет уланган ўрамдан (катушка) иборат. Улардан бири тарқоқ магнит майдонисиз ва чулғамдаги қувват исрофисиз деб қабул қилиниб, трансформатор ўзагига ўралади. Иккинчиси эса бирламчи ёки иккиламчи чулғамнинг актив ва индуктив қаршиликларига эга бўлган магнит ўзаксиз реактордир. (қисқаси, бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг актив ва индуктив қаршиликлари ўз чулғамларининг ташқарисига олиб чиқарилади деб фараз қиламиз).

Келтирилган трансформаторда w_2kw_1 ва икала чулғамда $E'_2 = E_1$ бўлгани учун уларни умумлаштириш ва шу умумлашган чулғамда $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$ деб ҳисоблаш мумкин. Бу ҳолда бирлаштирилган чулғам трансформаторнинг асосий магнит майдони Φ_0 ни ҳосил қилувчи магнитловчи контур вазифасини бажаради ва унда сарфланаётган қувват пўлатдаги қувват исрофи P_n билан аниқланади.

Магнитловчи контурнинг кучланиши - $\bar{E}_1$ ва токи $\bar{I}_0$ орасида боғланиш қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$\bar{E}_1 = \bar{I}_0 \cdot Z_m = \bar{I}_0(r_m + jX_m), \quad (1.35)$$

бунда $Z_m = r_m + jX_m$ - магнитловчи контурнинг тўла қаршилиги; $r_m = P_n / I_0^2$ ва $X_m = \omega \cdot M$ шу контурнинг актив ва индуктив қаршиликлари.

Агар U'_2 - трансформаторнинг иккиламчи чулғами таъминлаётган тармоқнинг кучланиши ва Z'_t - шу тармоқнинг тўла қаршилиги бўлса,

$$\bar{U}'_2 = \bar{I}'_2 \cdot Z'_t$$

у ҳолда (1.34.б) тенгламадан, трансформаторнинг иккиламчи чулғам контури учун токнинг қийматини қуйидагича ёзиш мумкин:

у ҳолда
$$\dot{I}_2 = \frac{\bar{E}_2'}{Z_2' + Z_T'} = \frac{\bar{E}_1'}{Z_2' + Z_T'},$$

ва
$$\bar{I}_1' = \bar{I}_2' + \bar{I}_0' = \frac{-\bar{E}_1'}{Z_2' + Z_T'} + \frac{-\bar{E}_1'}{Z_m'},$$

$$-\bar{E}_1' = \bar{I}_1' \frac{1}{\frac{1}{Z_m'} + \frac{1}{Z_2' + Z_T'}}, \quad (1.36)$$

Бу тенгликдаги - $\bar{E}_1'$ қийматини (1.33) га қўйсак

$$\bar{I}_1' = U_1 \frac{1}{Z_1' + \frac{1}{\frac{1}{Z_m'} + \frac{1}{Z_2' + Z_T'}}} = \frac{U_1}{Z_9'}. \quad (1.37)$$

Бунда

$$Z_9' = Z_1' + \frac{1}{\frac{1}{Z_m'} + \frac{1}{Z_2' + Z_T'}}, \quad (1.38)$$

1.10, в расмда кўрсатилган Т- симон алмаштириш схемасининг эквивалент қаршилигидир. Унда кўринадики, чулғамлари электромагнит боғланган реал трансформаторнинг схемаси ўрнига урта шахобчадан иборат бўлган, яъни: бирламчи Z_1' қаршилик ва I_1' токли, магнитловчи Z_m' қаршилик ва $\bar{I}_0'$ токли; иккиламчи $Z_2' + Z_T'$ қаршилик ва I_2' токли шахобчаларнинг расмда кўрсатилганидек уланган мажмуасидан иборат, деб қараш мумкин. I_1' , $\bar{I}_0'$ ва $\bar{I}_2'$ тоklarнинг шахобчалардаги тақсимланиши (1.32) тенгликда кўрсатилган шартни қаноатлантириши шарт. Иккиламчи чулғам э.ю.к. ео тенгламаси (1.34.б) га кўра

$$\bar{E}_2' = \bar{E}_1' = \bar{I}_2' \cdot Z_2' + \bar{u}_2',$$

Бўлганлиги учун, - $\bar{E}_1'$ нинг қийматини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$-\bar{E}_1' = -\bar{I}_2' \cdot Z_2' - \bar{u}_2', \quad (1.39)$$

Яъни, алмаштириш схемасини иккиламчи контурнинг FG нуқталари орасидаги - $\bar{E}_1'$ кучланиш иккиламчи чулғам қаршилиги Z_2' ва I_2' токи ҳосил

қилган кучланишлар пасаяувлари $-I_2' \cdot Z_2'$ ва тармоқ кучланиши $-u_2'$ - ларнинг геометрик йиғиндисидан иборатдир.

ИККИНЧИ БОБ

2. БИР ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШИ

2.1. БИР ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШ РЕЖИМИ

Бирламчи чулғам ўзгарувчан ток тармоғига уланиб, f_1 частотали кучланиш берилса ва иккиламчи чулғам юкдан узилса, трансформаторнинг юксиз ишлаши дейилади. Юксиз ишлашнинг аҳамияти катта, чунки унинг ёрдамида тажриба усули билан трансформаторнинг муҳим қийматлари бўлмиш а) трансформациялаш коэффиценти; б) юксиз ишлаш токи ва в) юксиз ишлаш қувват исрофларини аниқлаш мумкин.

Кейинги бобларда келтирилган маълумотлардан маълум бўладики, юксиз ишлаш режими, айниқса, қисқа туташув режими билан биргаликда алоҳида аҳамият кашф этади. Чунки бу икки режимлар ёрдамида ф.и.к. ва юкли ишлаш режимларидаги бошқа маълумотларни трансформаторнинг юкли ишлашини тажрибада текширмасдан туриб, аналитик усуллар ёрдамида, аниқлаш имконияти туғилади.

Биз юксиз ишлашни анча содда бўлган бир фазали трансформаторлардан бошлаймиз, сўнгра уч фазали трансформаторларга татбиқ этиб, уларнинг хусусий томонларини алоҳида кўриб чиқамиз.

Бошқа режимлардан фарқлаш учун трансформаторнинг юксиз ишлашдаги қийматлари «О» индекси билан нишонланади, (масалан, U_{20}' , I_0 , U_{40} , P_0 ва ҳ.к.)

Трансформаторнинг бирламчи чулғам клеммалари А-Х га f_1 частотали ўзгарувчан ток кучланиши U_{10} ни улаймиз. Иккиламчи чулғам клеммалари а-х га юк уланмаган, шу сабабли $I_2 \approx 0$ (2.1-расм)

U_{10} кучланиш таъсирида бирламчи чулғамдан юксиз ишлаш токи оқиб ўтади. Бу ток қиймати $i_0 \cdot w_1$ га тенг бўлган м.ю.к. ни ҳосил қилади (w_1 – бирламчи чулғам ўрамлар сони). М.Ю.К. магнит майдон ϕ_0 ни ҳосил қилади. Бу майдоннинг соддалаштирилган тасвири 2.1- расмда келтирилган. Магнит майдон ϕ_0 оқимининг кўпроқ қисми магнит ўзакдан оқиб, трансформаторнинг иккала чулғамларини кесиб ўтади. Майдоннинг қолган (аксари жуда оз тарқоқ қисми $\phi \delta_1$ асосан номагнит муҳит (ҳаво, мой) дан оқиб ўтиб фақат бирламчи чулғамни кесиб ўтади. 2.1- расмда

келтирилган $\phi\delta_1$ оқими бирламчи чулғамнинг тарқоқ оқими бирламчи тарқоқ майдон) дейилади.

Трансформатор юксиз ишлаганда ундан юксиз ишлаш қувват исрофлари (ёки қисқароқ – юксиз исрофлар) ажралади. Бу исрофлар асосан магнит ўзакда содир бўлиб, пўлат исрофлари дейилади. Бу исрофлар трансформаторга тармоқдан келаётган юксиз ишлаш қуввати ҳисобига пайдо бўлади.

2.2. СОДДАЛАШТИРИЛГАН ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШИ

Оддий турдаги трансформаторларнинг юксиз ишлагандаги тарқоқ майдони асосий майдоннинг 0,25% дан ҳам кичикдир. Пўлат исрофлари эса номинал қувватнинг 1% га ҳам бормайди. Чулғамлардаги (қисқаси – мисдаги) қувват исрофи ҳам жуда кичикдир. Шу сабабли юксиз ишлаш режимини таҳлил қилганимизда, аввал соддалаштирилган трансформаторни, яъни унда тарқоқ майдон, мисдаги ва пўлатдаги қувват исрофи йўқ деб фараз қилинган ҳолни кўрамиз яъни $X_1 = 0$, $r_1 = 0$, $P_0 = 0$.

Ўрганилаётган жараёни бундай соддалаштириш услуби, аввал масаланинг муҳим томонларини ўрганиб, кейин, эҳтиёж бўлса, унга иккинчи даражали қийматларнинг таъсирини кўриш имконини беради.

Соддалаштирилган трансформаторларда $r_1 = 0$ ва $X_1 = 0$ ($L_{\delta 1} = 0$)

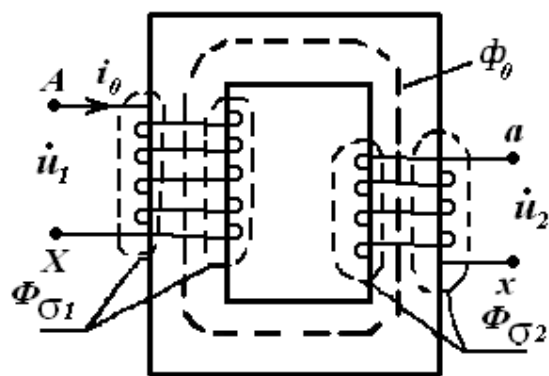
2.2-расм соддалаштирилган бир фазали трансформаторнинг э.ю.к. ва тоқлар диаграммаси: а-тўғри бурчакли координаталарда; б- векторларда.

Бўлгани учун, бирламчи чулғам э.ю.к. лар тенгламаси (1.32) дан қуйидаги шаклга келади:

$$U_{10} = -e_1 \quad (2.1)$$

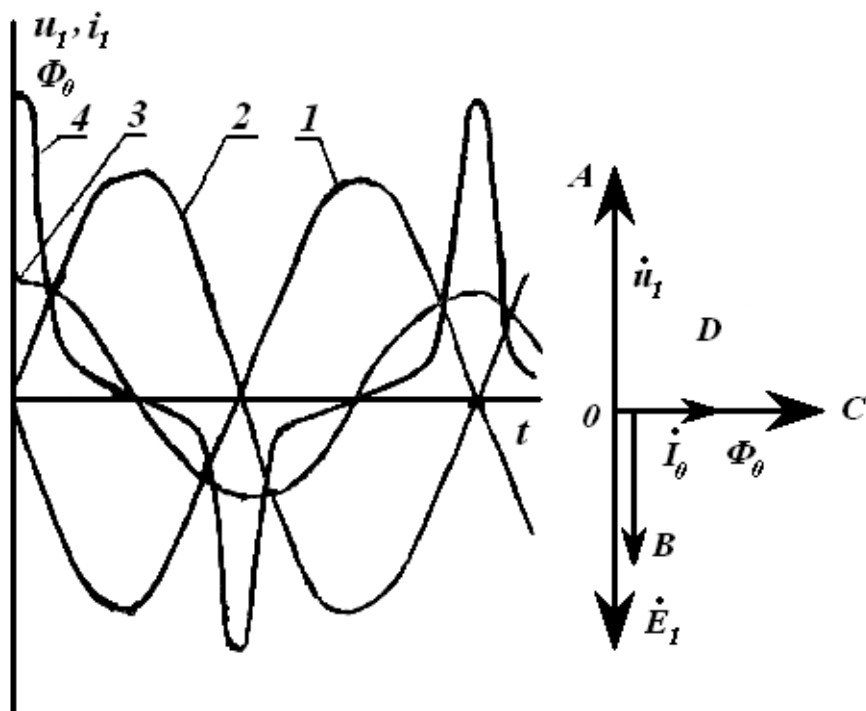
Демак, бирламчи чулғамга келтирилган кучланиш U_{10} ва унда асосий майдондан индуктивланган э.ю.к. e_1 вақтнинг исталган онда мувозанатда бўладилар.

Трансформаторлар эксплуатация тажрибасидан маълум бўлишича кучланиш $U_{10} = f(t)$ синусоидал функцияга яқиндир. Шунинг учун



2.1-расм. Трансформаторнинг юксиз ишлашига оид.

$$U_{10} = U_{1m} \cdot \sin \omega \cdot t = U_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin 2\pi \cdot f_1 t, \quad (2.2)$$



2.2-расм. Соддалаштирилган бир фазали трансформаторнинг э.ю.к. ва тоқлар диаграммаси: а – тўғри бурчакли координаталарда; б- векторларда.

Бунда U_{1m} – бирламчи кучланиш амплитудаси; U_1 – унинг эффектив қиймати ва $\omega = 2\pi f_1$ - бурчак тезлик

2.2–а,расмда U_{10} кучланиш ва e_1 э.ю.к. синусоидал эгриликлари келтирилган. Улар бир хил амплитудали ва ўзаро 180° га силжиган. Шу сабабли e_{10} э.ю.к. U_{10} кучланишнинг (абцисса ўқиға нисбатан) кўзгудаги акси дейиш мумкин. Шу туфайли e_1 э.ю.к. ни акс э.ю.к. чи ҳам дейилади.

Юқоридаги (2.2) тенгликка ўхшаш

$$e_1 = E_{1m} \cdot \sin(\omega t - \pi) = E_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - \pi) \quad (2.3)$$

2.2-б,расмда $\dot{u}_1$ ва $\dot{E}_1$ эгриликлар вақтнинг $U_{10} = U_{1m}$ бўлган дақиқаси учун $\overline{OA} = \dot{u}_1$ векторлари орқали ифодаланганлар.

Биринчи бобдаги (1.2) тенгликка асосан

$$e_1 = -W \frac{d\varphi_o}{dt} = E_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - \pi),$$

бунда φ_o - асосий магнит майдоннинг оний қиймати. Тенгликнинг иккала қисмини интегралласак, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$\int d\varphi = -\frac{E_1 \cdot \sqrt{2}}{W_1} \cdot \int \sin(\omega t - \pi) dt,$$

ва бундан магнит майдон қийматини аниқланади:

$$\varphi_o = \frac{E_1 \cdot \sqrt{2}}{\omega \cdot w} \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}). \quad (2.4)$$

Статик режимда трансформаторнинг ўзакларида оқим ўзгармас ташкил этувчиси йўқлиги учун, (2.4) да интеграллаш доимийсини нолга тенг деб қабул қиламиз.

Тенглик (2.4) дан кўринадики, соддалаштирилган трансформаторнинг бирламчи чулғамига синусоидал кучланиш берилса ўзаклардаги асосий магнит оқими φ бирламчи э.ю.к. e_1 дан $\pi/2$ бурчакка илгарилаб кетади ёки аксинча, бирламчи э.ю.к. e_1 асосий магнит оқим φ_o дан чорак даврга орқада қолади (2.2-а расмда ва φ_o эгрилик ва 2.2-б расмда $\overline{OC} = \varphi_o$ вектори кўрсатилган).

(2-4) тенгликни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\varphi_o = \Phi_m \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2.5)$$

бунда

$$\Phi_m = \frac{E_1 \cdot \sqrt{2}}{\omega_1 \cdot W_1} = \frac{E_1 \cdot \sqrt{2}}{2\pi \cdot W_1} = \frac{E}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot f_1 \cdot W_1} \quad (2.6)$$

магнит оқимининг амплитудаси. Бундай трансформаторлар назариясида асосий қийматлардан ҳисобланган бирламчи чулғам э.ю.к. нинг эффе́ктив қиймати ифодаси аниқланади:

$$E_1 = \pi \sqrt{2} \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot \Phi_m \quad (2.7)$$

Бу ифодадан маълум бўладики, агар частота f_1 ва ўрамлар сони w_1 берилган бўлса, у ҳолда $E_1 = K_2 \cdot \Phi_m$ яъни магнит оқим Φ э.ю.к. E_1 га тўғри пропорционал экан.

Иккиламчи чулғам ҳам оқим таъсиридадир. Шунинг учун иккиламчи чулғам ҳам э.ю.к. нинг эффе́ктив қиймати (2.7) каби, қуйидагича ифодаланади:

$$E_2 = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f_1 \cdot W_2 \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_2 \Phi_m \quad (2.8)$$

Бунда w_2 - иккиламчи чулғамдаги кетма-кет уланган ўрамлар сони. Фазаси бўйича E_2 э.ю.к. E_1 каби, φ_o оқимдан $\pi/2$ бурчакка орқада қолади (2.2-б, расмдаги $\overline{OB}$ вектори).

Унда қуйидаги нисбат.

$$K_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (2.9)$$

Юқоридаги (1.14) e_1/e_2 нисбат каби трансформаторнинг кучланишларни трансформациялаш коэффициенти ёки қисқароқ – трансформациялаш коэффициенти дейилади.

Одатда трансформациялаш коэффициентини аниқлашда, чулғамларнинг қайси бири бирламчи ва қайси бири иккиламчи эканлигидан қатъий назар, E_1 ва E_2 лар каттасининг кичигига нисбати олинади (2.7) ва (2.8) тенгликлардан трансформатор ва унинг хусусиятларини тавсифловчи асосий қийматлардан бири бўлган бир ўрамнинг э.ю.к. қийматини аниқлаш мумкин:

$$E_{yp} = \frac{E_1}{W_1} = \frac{E_2}{W_2} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \varphi_m = 4,44 \cdot \varphi_m \cdot f_o \quad (2.10)$$

Магнит занжири қонунига асосан

$$\varphi_o = \frac{I_{om} \cdot W_1}{R_\mu}$$

бунда $i_{om} \cdot W_1$ - магнитловчи ток ҳосил қилган м.ю.к.; R_μ - магнит ўзакнинг магнит қаршилиги (пўлатнинг қаршилиги ва ўзак ўрамлари қаршилигидан иборат). Агар трансформатор ўзаги тўйинган бўлса (кўпинча учрайдиган ҳол), $i_{om} = f(t)$ боғланишнинг шакли ва амплитудаси тўйинганлик даражасига боғлиқдир. Пўлат ўзак тўғрисида гапирганда иссиқ жўваланган (горячекатаная) пўлат тунукасини кўзда тутамиз. Унда индукция B нинг қийматларига кўра пўлатнинг тўйинганлик даражаси қуйидагича ўзгаради:

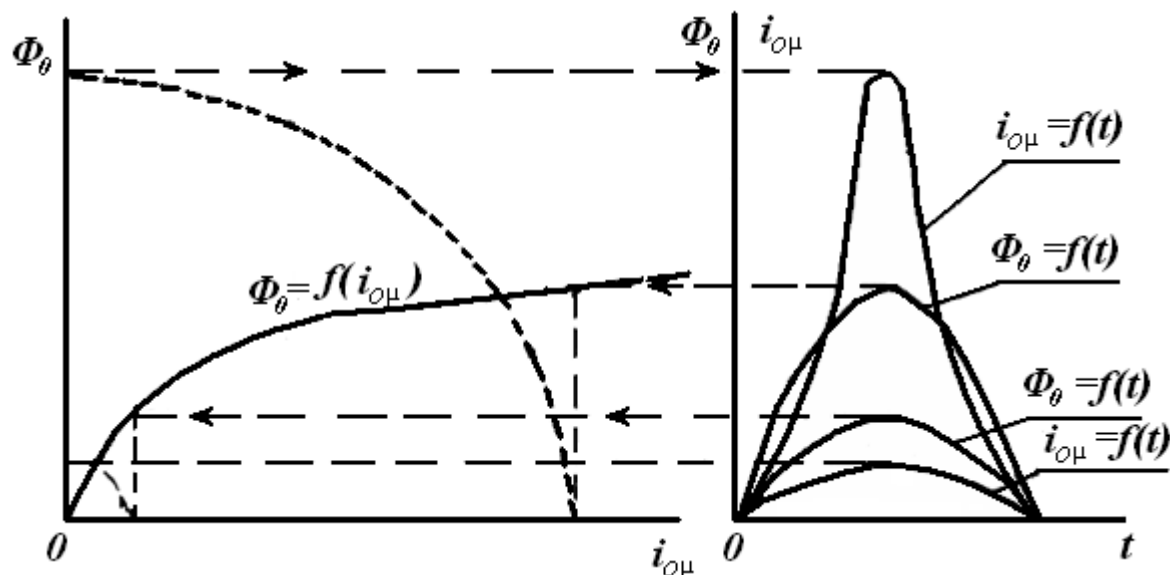
1) В 0,В Тл да пўлат тўйинмаган ва магнитловчи ток индукцияга тахминан пропорционал деб қабул қилинади;

2) 0,8 В 1,3 Тл да магнитланиш эгри чизиғи $[i_{om} = f(B)]$ нинг тиззасига, яъни пўлатнинг ўртача тўйинганлигига тўғри келади;

3) В 1,3 Тл да тўйинишининг ҳар хил даражаларини кўриш мумкин.

2.3-расмда магнитловчи ток $i_{om} = f(t)$ нинг эгрилигини трансформатор пўлати учун магнитланиш эгрилиги $B = f(i_{om})$ ва магнит индукция синусоидаси $B = f(t)$ ёрдамида куриш усули кўрсатилган. Бунинг учун вақтнинг t_1 они учун индукциянинг синусоидал чизиклари а b d ва а с d ларда биттадан нуқталар в ва с ларни олиб расмда стрелкалар билан

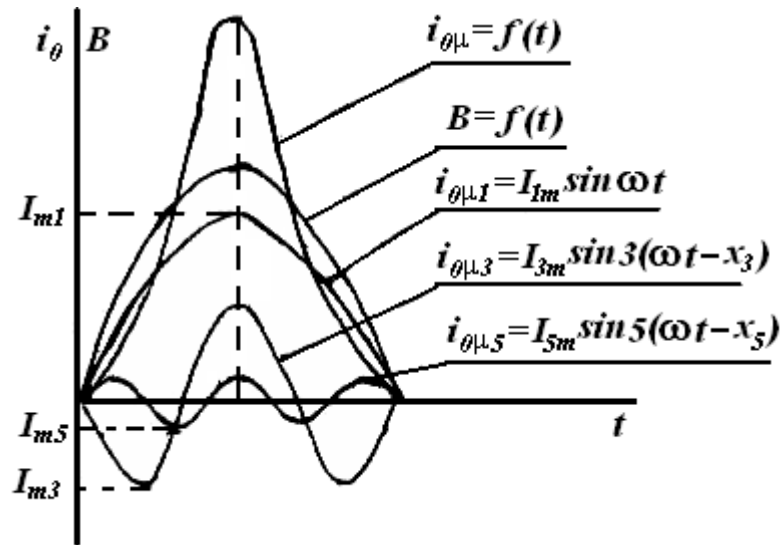
кўрсатилган $t_2 - b - q - \ell - f$ ва $t_1 - c - q' - \ell' - f' - h'$ кетма-кетликда $i_{o\mu} = f_1(t)$ ва $i_{o\mu 2} = f_2(t)$ чизикларининг h ва h' нуқталарини аниқлаймиз. Шу тарзда t_2, t_3 ва ҳоказо вақт онлари учун $i_{o\mu}$, ва $i_{o\mu 2}$ ларнинг бошқа (расмда кўрсатилмаган) нуқталарини аниқлаб, $i_{o\mu} = f(t)$ функцияларини кўрамыз. Агар магнит оқим φ_m ёки унга пропорционал бўлган индукция $B = \varphi_m / S$



2.3-расм. Магнитловчи ток $i_{o\mu} = f(t)$ чизиғини $B = f(t)$ ва $B = f(i_{o\mu})$ ёрдамида куриш.

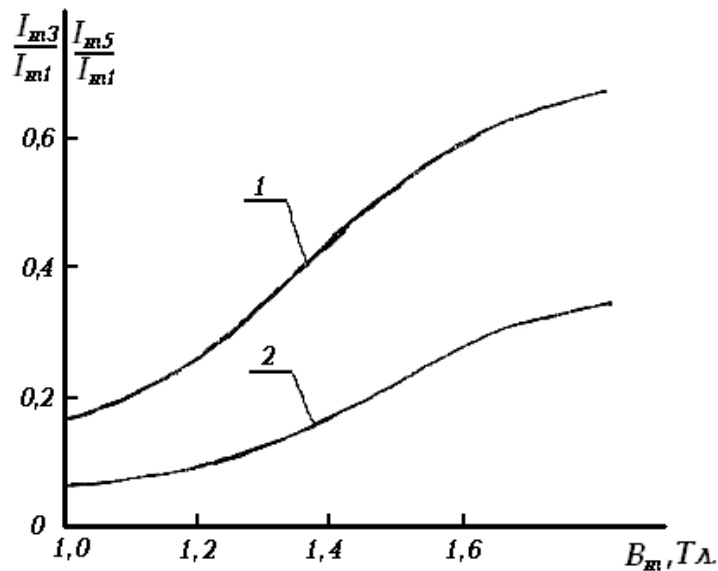
(бунда S – магнит оқими ўтаётган ўзак кесим юзаси) нинг қиймати магнитланиш чизиғининг тўйинмаган қисмида жойлашса ($B < 0,8$ Тл), яъни 2.3-расмдаги $B_1 = f(t)$ да кўрсатилганидек бўлса, у ҳолда $i_{o\mu} = f(t)$ эгрилиги синусоидал функцияга жуда яқин бўлади (синусоидал деб ҳисоблаш ҳам мумкин). Агар φ_m ёки B қийматлари $B = f(i_{o\mu})$ нинг тўйинган қисмида жойлашса ($B > 0,8$ Тл), яъни 2.3-расмдаги $B_2 = f(t)$ каби бўлса, $i_{o\mu 2} = f(t)$ эгрилиги синусоидал функциядан фарқланади. B нинг қиймати қанча катта бўлса, бу фарқ шунча катта бўлади.

Носинусоидал магнитловчи ток $i_{o\mu} = f(t)$ ни гармоник қаторга, яъни асосий ва юқори гармоникаларга ажратиш мумкин (2.4- расм). Бу чизик абсцисса ўқиға нисбатан симметрик бўлганлиги учун, гармоник қатор фақат ток гармоникалар, яъни амплитудалари I_{m1}, I_{m3}, I_{m5} (биринчи, учинчи, бешинчи) ва ҳоказо гармоникалардан иборат бўлади. Магнитловчи токнинг биринчи гармоникаси фазаси билан асосий магнит оқимга мос



2.4-расм. Магнитловчи ток гармоник каторга ажратиш.

келади, ва шу туфайли, бирламчи кучланишдан $\pi/2$ бурчакка кечикади. Токнинг юқори гармоникаларидан кўзга ташланувчиси учинчи гармоникасидир. Ундан юқори гармоникаларнинг таъсири камроқдир ва шунинг учун, уларни кўпинча ҳисобга олинмайди.



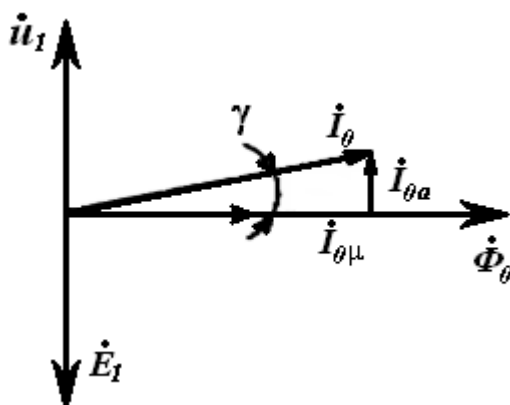
2.5-расм. $\frac{I_{m3}}{I_{m1}}$ ва $\frac{I_{m5}}{I_{m1}} = f(B)$ боғланишлар.

Юқори гармоникали тоқларнинг юксиз ишлаш токи таркибидаги миқдорлари индукциянинг амплитудасига боғлиқ. 2.5-расмда $I_{m3}/I_{m1} = L_3$ ва $I_{m5}/I_{m1} = d_5$ ларнинг индукцияга боғлиқлиги I- ва 2-эгри чизиқлар билан кўрсатилган. Бу боғланишлар 1413 турдаги иссиқ жўваланган трансформатор пўлати учун қурилган. Ундан маълум бўлдики, кучли трансформаторларнинг ўзагидаги индукция 1.4-1,45 Тл га етганда I_{m3}/I_{m1} нинг қиймати 50% га етиб, магнитловчи ток эгри чизигининг шакли чўққисимон бўлар экан.

Юксиз ишлаш тоқининг таркибидаги гармоникаларнинг амплитудалари маълум бўлса, натижавий нинг эффектив қийматини аниқлаш мумкин:

$$I_{o\mu} = \sqrt{\left(\frac{I_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_{m3}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_{m5}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots} = \frac{I_{m1}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{1 + \alpha_3^2 + \alpha_5^2 + \dots}, \quad (2.11)$$

Кўпинча ҳисобни соддалаштириш мақсадида токни гармоник қаторга ажратилмай, балки амплитудалари орқали ҳисобланади:



2.6-расм. Трансформаторнинг юксиз ишлаш токи ва унинг ташкил этувчилари.

$$I_{o\mu m} = I_{m1} + I_{m3} + I_{m5} = I_{m1}(1 + \alpha_3 + \alpha_5 + \dots), \quad (2.11,а)$$

бунда $I_{o\mu}$ нинг эффектив қиймати қуйидаги кўринишда бўлади:

$$I_{o\mu} = \frac{I_{o\mu m}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{m1}}{\sqrt{2}}(1 + \alpha_3 + \alpha_5) \quad (2.11,б)$$

Бундай соддалаштириш натижасида $I_{o\mu}$ нинг қиймати ҳақиқийга нисбатан

$$K_{\alpha} = \frac{1 + \alpha_3 + \alpha_5}{\sqrt{1 + \alpha_3^2 + \alpha_5^2}} \quad (2.11, \text{в})$$

марта кўпайган бўлади.

2.3. РЕАЛ ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШИ

Ҳақиқий трансформаторнинг асосий жараёнларини ўрганишни енгиллаштириш учун у идеаллаштирилган эди. Ушбу соддалаштириш мақсадида ҳисобга олинмаган қийматларнинг бу жараёнларга таъсирини аниқлаш мақсадида тарқоқ майдон ва пўлат исрофларини эътиборга оламиз. Бирламчи чулғам тарқоқ майдони шу чулғамида тарқоқ э.ю.к. ни индуктивлайди. Юксиз ишлаш исрофи (пўлат исрофи) тармоқдан трансформаторга келаётган P_0 қуввати ҳисобига қопланади ва бир фазали трансформаторларда $P_o = U_1 \cdot I_{oa}$ га тенг деб қабул қилинади. Бунда I_{oa} - юксиз ишлаш токи актив ташкил этувчисининг эффектив қиймати. Шундай қилиб, реал трансформаторнинг юксиз ишлаш токи икки ташкил этувчидан иборат:

а) асосий магнит майдонини ҳосил қилувчи, эффектив қиймати $I_{o\mu}$ га тенг бўлган магнитловчи ток;

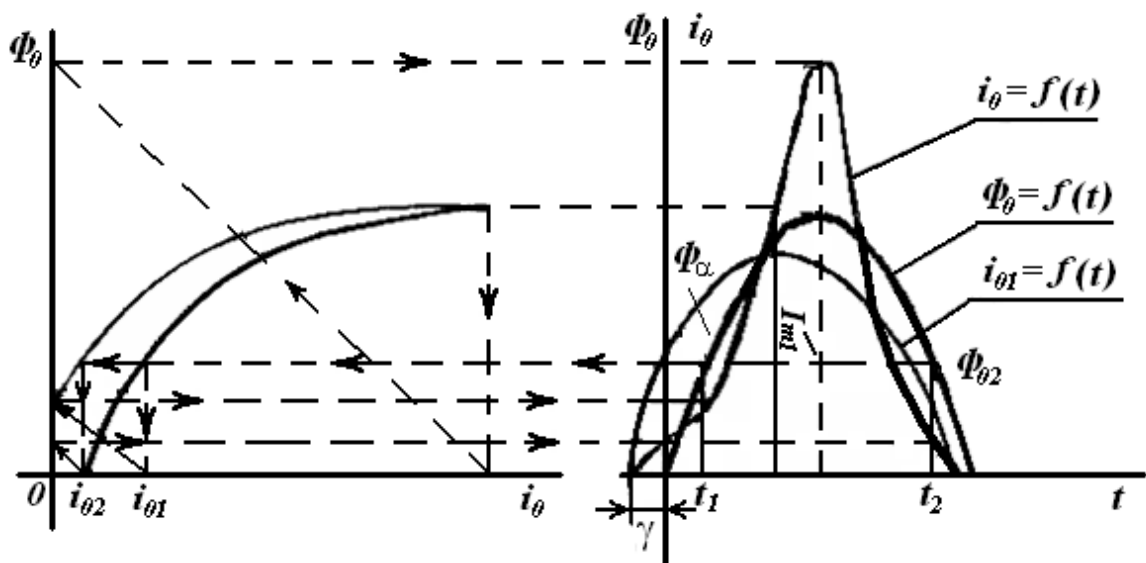
б) актив ташкил этувчи I_{oa}

2.6-расмдаги вектор диаграммасида $I_{o\mu}$ нинг йўналиши φ_o нинг йўналиши билан мос келади. 2.4-расмда келтирилган натижавий носинусоидал магнитловчи ток $i_{o\mu} = f(t)$ ни эффектив қийматни ҳақиқий эгри чизикнинг эффектив қиймати $I_{o\mu}$ га, амплитудаси эса $I_{m1} = \sqrt{2} \cdot I_{o\mu}$ га тенг бўлган эквивалент синусоидал магнитловчи ток $i_{o\mu} = I_{m1} \cdot \sin \omega t$ билан алмаштирсак ҳамда, ва I_{oa} ташкил этувчиларини геометрик қўшсак, юксиз ишлаш токини ҳосил қиламиз:

Аксарият магнитловчи токнинг актив ташкил этувчиси I_{oa} юксиз ишлаш токи I_o нинг 10% идан ҳам кичик, яъни $I_{oa} < 0,1 \cdot I_o$ бўлади. Шу сабабли унинг I_o қийматига таъсири жуда ҳам кам (0,5% дан ҳам кичик).

Шунга ўхшаш магнит кечикиш деб номланган γ бурчаги (φ_o оқим векторининг I_o векторидан кечикиш бурчаги) ҳам жуда кичик. Ток актив ташкил этувчиси I_{oa} нинг I_o га таъсири қиймат жиҳатидан жуда кичик

$$I_o = \sqrt{I_{o\mu}^2 + I_{oa}^2}$$

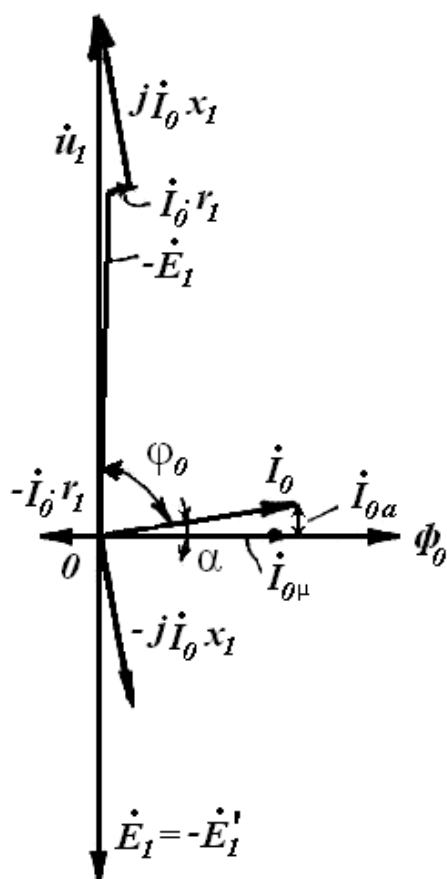


2.7-расм. Гистерезиснинг юксиз ишлаш токига таъсири.

бўлса ҳам, токнинг шакли ва фазасида кўпроқ кўринади. Бу таъсирни текширишда фақат гистерезис қувват исрофларини ҳисобга оламиз, чунки иссиқ жўваланган трансформатор пўлатларида бу қувват исрофи ($f = 50 \text{ Гц}$ да) P_0 нинг тахминан 85% ни ташкил этади. 2.7- расмда бироз кенгрок гистерезис сиртмоғининг i_0 токи шаклига таъсирини аниқлаш усули келтирилган. Унга кўра индукциянинг ҳар бир қийматига гистерезис сиртмоғининг ортувчи ва пасаяувчи қисмларида икки хил юксиз ишлаш токлари мос келади. Масалан, индукциянинг B_1 (синусоиданинг ортувчи қисми) ва B_2 (пасаловчи қисми) ва B_2 (пасаловчи қисми B_1 к B_2 учун) гистерезис сиртмоғининг кўтарилиувчи ва пасаяувчи қисмларида) юксиз ишлаш токининг i_{o1} ва i_{o2} қийматлари мос келади. Юксиз ишлаш токининг эгри чизиғи илгари кўрсатилган усулда қурилса ва аниқланган $i_o = f(t)$ токни гармоник қаторга ажратилса шуни кўрамизки, асосий магнит оқими токнинг биринчи гармоникасига нисбатан γ бурчагига кечикар экан.

Ҳақиқий носинусоидал юксиз ишлаш токи эгри чизиғини эквивалент синусоида $i_{o1} = f(t)$ билан алмаштирсак, бирламчи чулғам э.ю.к. лари тенгламасини символик шаклга келтиришимиз мумкин, чунки юксиз ишлаш режимини аниқловчи ҳамма қийматлар вақт бўйича синусоидал ўзгаради. Шу туфайли (1.22) тенгликка ўхшаш равишда қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_o \cdot Z_1 \quad (2.12)$$



2.8-расм. Юксиз ишлаш вектор диаграммасы.

Э.Ю.К.лар тенгламаси (2.12) га мос равишда трансформаторнинг юксиз ишлаш векторлар диаграммасини (2.8- расм) қуриш мумкин. Бунинг учун асосий магнит оқим ϕ_0 векторини абсцисса ўқи мусбат йўналишида жойлаштирамиз (аслида ϕ_0 векторни ихтиёрий йўналтириш мумкин). Э.ю.к. E_1 вектори ундан 90° га кечикади, E_1 билан бир фазада E_2 вектори жойлашади; юксиз ишлаш токи I_0 2.6-расмда кўрсатилганидек $I_{0\mu}$ ва I_{0a} ташкил этувчилари ёрдамида қурилади; тарқоқ э.ю.к. $E_{\delta 1} = j I_0 X_1$ вектори I_0 дан 90° га кечикади; $I_0 r_1$ вектори I_0 токи билан фазаси мос келади. Кучланишнинг векторини қуриш учун (2.12) га кўра тескари ишора билан олинган $-E_1$ векторига $I_0 \cdot r_1$ ва $j I_0 \cdot X_1$ векторини қуриш керак.

2.8- расмда тушуниш қулайлиги учун $I_0 \cdot r_1$ ва $j I_0 \cdot X_1$ векторлари E_1 векторига нисбатан жуда кучайтирилган масштабда келтирилган. Аслида эса ўрта ва юқори қувватли трансформаторларда кучланиш пасажуви

$\dot{I}_0 \cdot r_1 + j\dot{I}_0 \cdot X_1 = \dot{I}_0 \cdot Z_1$ юксиз ишлаш режимидаги U_1 нинг 0,5% дан ҳам кичик бўлади.

2.4. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШИДАГИ ҚУВВАТИ ИСРОФЛАРИ

Трансформатор юксиз ишлаганда тармоқдан келаётган қувват қуйидагича сарфланади: а) бирламчи чулғам (мис) даги қувват исрофи $P_{m1} = mI_0^2 r_1$ (чулғам алюминийдан ясалган бўлса ҳам мис исрофи деб номлаш қабул қилинган); б) магнит ўзак пўлатидаги асосий исрофлар $P_{п.о}$ (пўлат исрофи); в) юксиз ишлаш кўшимча исрофлари $P_{к.о}$.

Трансформаторларга тармоқдан келаётган қувватнинг ҳаммаси исрофларни қоплаш учун сарфланади. Шунинг учун

$$P_0 = P_{m1} + P_{п.о.} + P_{к.о.} \quad (2.13)$$

А. БИРЛАМЧИ ЧУЛҒАМ МИСИДАГИ ҚУВВАТ ИСРОФИ

Исрофларни ҳисоблаш шуни кўрсатадики, I_0 ва r_1 лари нисбатан кўпроқ бўлган кичик қувватли трансформаторларда ҳам (трансформаторнинг қуввати ошган сари I_0 ва r_1 ларнинг нисбий қийматлари камайиб боради) мисдаги исроф P_{m1} нинг қиймати P_0 бўлади ва

$$P_0 \approx P_{п.о} + P_{к.о} = P_n, \quad (2.14)$$

яъни юксиз ишлаш қуввати P_0 асосан пўлатдаги исрофга сарфланади, деб ҳисоблаш мумкин.

II. Пўлатдаги асосий исрофлар.

Бу исрофлар икки турга бўлиниб, гистерезис ва уюрма (фуко) тоқларининг исрофи дейилади.

А. Бирлик массали (масалан 1 кг массали) пўлатда гистерезис исрофи (солиштира гистерезис исрофи) ни аниқлаш учун немис олими Чарлз Штейнмец (1865-1923) таклиф этган эмпирик боғланишдан фойдаланиш мумкин:

$$P_r = C_r \cdot f \cdot B^\alpha \quad (2.15)$$

Бунда, C_r – пўлатнинг турига боғлиқ бўлган доимий;

f – қайта магнитланиш давр тезлиги (частотаси);

B – индукциянинг максимал қиймати;

α – тажриба усули билан аниқланувчи қиймат – индукция B нинг даражаси.

Легирланган пўлатлар ва қиймати 0,8 дан 1,6 Тл гача ўзгарувчи индукция учун ўртача $\alpha = 2$ қабул қилинад

Б. Уюрма токлари исрофи магнит ўзакдан ўзгарувчан магнит оқим ўтганда, оқимнинг куч чизикларига перпендикуляр текисликда, йўналиши ўнг қўл қоидаси асосида аниқланувчи э.ю.к. лар ҳосил бўлади (2.9- расм). Мазкур йўналишда ўзакларда шу э.ю.к. лар ҳосил қилган уюрма тоklar оқади (Француз олими Жан Бернер Фуко ихтиро қилгани учун Фуко токи номи билан ҳам аталади). Нормал электр машиналарида (Фуко микроюритгичлари бу қаторга кирмайди) бу тоklar фойдали ишлатилмайди, аксинча қувват исрофини вужудга келтириб, ўзакнинг исишига олиб келади. Уюрма тоklarнинг зарарли таъсирини камайтириш учун, магнит ўзак яхлит ферромагнит пўлатлардан эмас, балки бир-биридан (махсус локлар ёки оксидлар билан) изоляцияланган қалинлиги 0,5 мм гача бўлган махсус электротехник пўлат тунукалардан тайёрланади.

Уюрма тоklar исрофини ҳисоблаганда қуйидаги шартларни қабул қиламиз:

а) пўлат тунуканинг қалинлиги унинг эни ва узунлигидан жуда кичик;

б) индукциянинг вақтга боғлиқлиги синусоидалдир ва пўлат тунука қалинлиги бўйича бир текис тақсимланган, бошқача қилиб айтганда, уюрма тоklarнинг магнит оқимига экранлаштириш хусусиятини ҳисобга олмаймиз;

в) пўлатнинг магнит сингдирувчанлиги ва унинг солиштирма қаршилиги ўзгармас қолади. Шу шароитда тунукада индуктивланаётган э.ю.к. индукция B ва унинг давр тезлиги f га пропорционал, яъни $\ell_{y\phi} = f \cdot B$ бўлади. Агар уюрма ток $i_{y\phi} = \ell_{y\phi} / r$, ва $r = \text{const}$ эканини ҳисобга олсак, пўлат тунуканинг бирлик массасидаги уюрма ток солиштирма исрофи қуйидагича аниқланади:

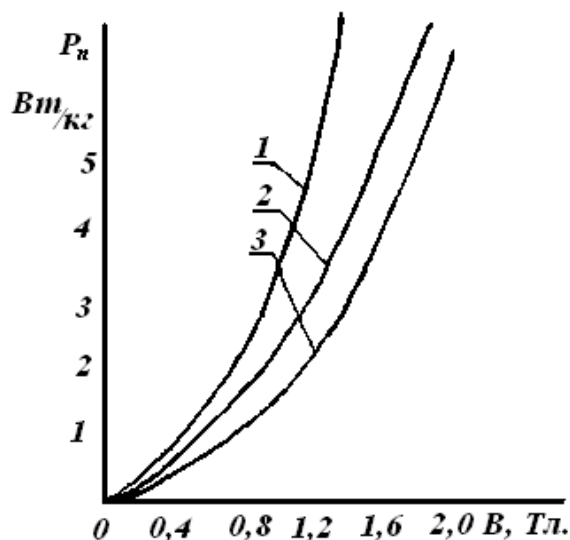
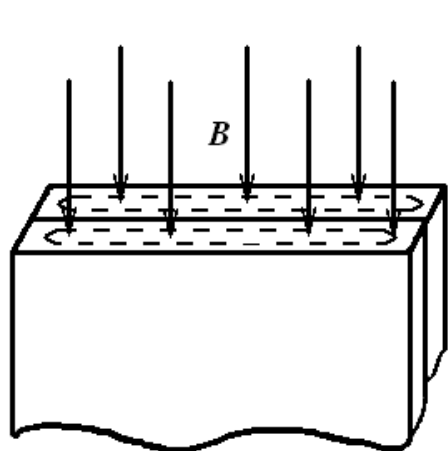
$$P_{y\phi} = i_{y\phi}^2 \cdot r = C_{y\phi} \cdot f^2 \cdot B^2 \quad (2.16)$$

бунда, $C_{y\phi}$ - пўлат тури ва қалинлигига боғлиқ бўлган доимий.

Трансформаторларни лойиҳалашда пўлат ўзакдаги қувват исрофини ҳисоблаш учун 1 кг ўзак массасига мос келувчи «солиштирма исроф» нинг индукцияга боғлиқлигини $P_{\phi 1} = f(\phi)$ турли хил пўлат навлари учун тажриба усулда аниқланади. Сўнгра конкрет пўлат нави ва берилган давр тезлик учун индукциянинг қийматини 2.10- расмга қўйиб $P_{\phi 1}$ ни белгиланади. Бу қийматни ўзак массасига кўпайтириб, ундаги умумий исроф аниқланади. Агар, аксарият учрайдиган ҳол вужудга келса, яъни ўзакнинг бир неча бўлақларида ўзгармас оқими ўтиб, унинг юзаси (S) ҳар хил бўлса, яъни бу бўлақлардаги индукциянинг қийматлари ҳар хил бўлса ($B = \phi(S)$), у ҳолда ҳар бир ўзак бўлаги учун индукцияси, унинг қийматидан ва 2.10-расмдан $P_{\phi 1}$ аниқланади. Ҳар бир ўзак бўлаги учун $P_{\phi 1}$ қийматларини шу бўлақ

массасига кўпайтириб ва бу кўпайтмаларнинг йиғиндисини аниқлаб, ўзакнинг $P_{ПС}$ асосий исрофлари аниқланади.

Пўлатнинг асосий қувват исрофини аниқлаш учун баъзан қуйидаги боғланишдан ҳам фойдаланилади:



2.9-расм. Пўлат тунукалардаги магнит оқими таъсирида уярма тоқлар ҳосил бўлиши.

2.10-расм. Электротехник пулатнинг ҳар хил турлари учун исрофлар эгри чизиклари.

$$P_{no} = P_{n1} \cdot B^{\alpha} \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{\beta} \cdot G_n, \quad (2.17)$$

бунда, P_{n1} – индукция B I Тл бўлгандаги I кг пўлатдаги исроф $[Вт]$; аммо (2.17) боғланишдан фойдаланиш учун α ва β кўрсаткичлар (даражалар) маълум бўлиши шарт. Лекин α ва β кўрсаткичларнинг қийматлари уларнинг асослари (B ва f) га боғлиқ. Баъзан, соддалаштириш учун ўртача учрайдиган индукция B 1,2 Тл учун $\alpha = 2$ ва f нинг 50 Гц га яқин қийматлари учун $\beta = 1,25$ қабул қилинади.

Юқорида таъкидландики, трансформаторларнинг ўзақлари махсус трансформатор пўлатининг 0,5-0,35 мм қалинликдаги тунукаларидан йиғилади. Бу пўлатларнинг магнитланиш эгри чизиклари ва хусусиятлари электр машиналари лойиҳалаш бўйича махсус адабиётларда келтирилади.

В. ЮКСИЗ ИШЛАШ ҚЎШИМЧА ИСРОФЛАРИ

Бу тур қувват исрофлари $P_{к.о}$ нинг асосий хиллари қуйидагилардир:
 а) пўлат тунукаларга механик ишлов (мос. штамплash) берилиши натижасида пўлат тузилишининг (структураси) ўзгариши сабабли ҳосил бўлган қувват исрофи; б) ўзакнинг қисмлари туташган жойлари ва ўзакни тортувчи шпилька ўрнатилган жойларидаги индукциянинг ҳар

хиллиги туфайли вужудга келган исроф; в) ўзакнинг маҳкамлагичлари ва бошқа конструктив қисмлар – шпилька, тўсинларни сиқувчи пўлат балкалар, трансформатор идишида ва ҳ.к. ҳосил қилувчи исрофлар; г) юқори кучланишли трансформаторларнинг изоляцияларидаги исроф.

Юксиз ишлаш қўшимча исрофларини аниқ ҳисоблашнинг имкони йўқ. Шу сабабли уларни трансформаторнинг юксиз ишлаш исрофларининг таркибига қўшган ҳолда, аввалдан тузилган жадвал ёрдамида аниқланади. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, иссиқ жўваланган пўлатли трансформаторларда юксиз ишлаш қўшимча исрофларининг ҳамма хиллари ўзакдаги индукция қиймати 1,5 Тл дан ошганда кескин ортар экан. Мазкур тадқиқотлар яна шуни кўрсатадики, трансформатор ўзакларидаги индукциянинг қиймати аксарият учрайдиган 1,15-1,17 Тл қийматга яқин бўлганда қўшимча исроф $P_{к.о}$ улуши асосий исрофлар $P_{по}$ нинг 15-20% ни ташкил этар экан, яъни

$$P_n = P_{no} + P_{k.o} = (1,15 \div 1,20) P_{n.o} \quad (2.18)$$

IV. Тармоқ кучланиши эгри чизиғи шакли ва давр тезлигининг трансформатор юксиз ишлашига таъсири

Юқорида келтирилган фикрлардан шу маълум бўлдики, тармоқ кучланишининг вақтга боғлиқлиги асосан синусоидал шаклда экан. Агар кучланиш ва магнит оқим носинусоидал шаклда ўзгарса (2.7) тенглама қандай ўзгаради, деган савол туғилади. Масалан, магнит оқим 2.11-расмда кўрсатилганича бўлсин. Унда, бу эгри чизиқнинг шакли қандайлигидан қатъий назар, ҳамма вақт (1.2) тенглик бажарилади ва қуйидаги келиб чиқади:

$$e_1 dt = -W_1 \cdot d\varphi$$

Бу боғланишни $T/2$ ярим давр оралиғида $+\varphi$ дан $-\varphi$ гача интеграллаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\int_0^{T/2} e_1 dt = -W_1 \int_{+\varphi}^{-\varphi} d\varphi = W \cdot 2\varphi$$

Э.ю.к. нинг ўртача қиймати кучланиш эгри чизиғининг шаклидан қатъий назар қуйидагича бўлади:

$$E_{1_{ypm}} \frac{\frac{0}{T/2}}{T/2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} e_1 dt = \frac{4}{T} W_1 \varphi = 4 \cdot W \cdot f \cdot \varphi \quad (2.19)$$

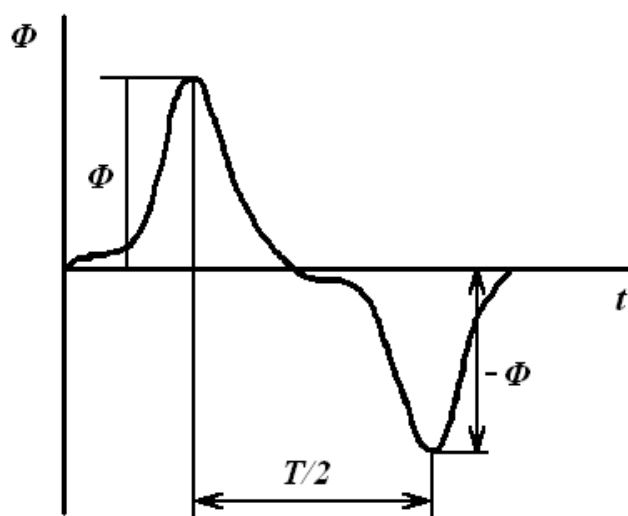
Агар эгри чизиқнинг шакл коэффиценти иборасини киритсак, $K_\epsilon = E_1 / E_{1_{ypm}}$, у ҳолда кучланишнинг исталган шаклида

$$E_1 = K_\epsilon \cdot E_{1_{pm}} = 4 \cdot K_\epsilon \cdot W_1 \cdot f \cdot \varphi \quad (2.20)$$

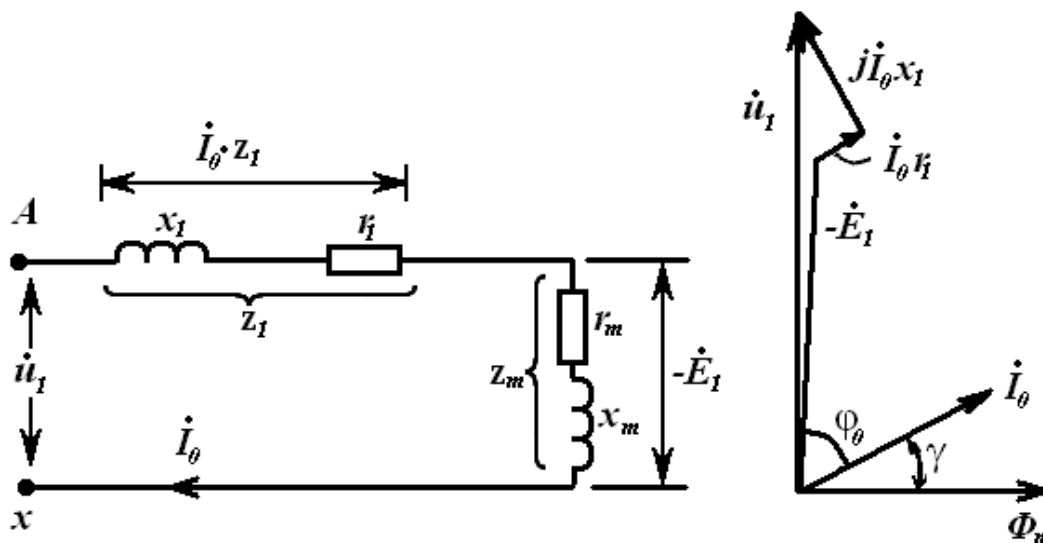
Синусоидал кучланиш учун $K_\ell = \pi/2\sqrt{2} = 1.11$ Шунинг учун (2.20) тенглик (2.7) га айланади; 2.12- расмга ўхшаш ўткир қиррали (синусоидага нисбатан) функциялар учун $K_\ell > 1.11$, ўтмас қирралилар учун эса $K_\ell < 1.11$ (2.1-жадвалга қаранг)

2.1-жадвал.

ф I	2	3	4	5	6	7
Эгри чизик шакли	K_ϵ	P_2	Эгри чизик шакли	K_ϵ	Эгри чизик шакли	K_ϵ
Синусоида	I, II	номинал	Синусоида	I, II	Чўққи қиррали Учинчи гармоникаси асосийси билан фазада	I, II
Теккис қиррали учинчи гармоникаси асосийси билан тескри фазада	I, II	номинал	чўққи қиррали учинчи гармоникаси асосийси билан бир хил фазада		Синусоида	I, II
Теккис қиррали учинчи гармоникаси асосийси билан тескри фазада	I, II	Номинал-данкичик	чўққи қиррали	I, II	Синусоида Учинчи гармоникаси асосийси билан бир фазада	I, II



2.11-расм. Магнит оқимнинг носинусоидал шакли.



2.12 – расм. Трансформатор юксиз ишлагандаги алмаштириш схемаси ва вектор диаграммаси.

У. Трансформатор юксиз ишлаш э.ю.к.нинг асосий боғланишидан чиққан хулосалар.

Трансформаторларнинг э.ю.к. лари учун умумий бўлган (2.20) тенгликдан қуйдаги хулосалар келиб чиқади.

1. Ихтиёрий трансформаторнинг юксиз ишлашига магнит оқимининг қиймати, у билан бирга ўзакдаги индукция В нинг қиймати, кучланишнинг маълум эгри чизиғи учун: а (маълум давр тезлик f_1 ва W_1 лар учун э.ю.к. E_1 га)ёки $\approx U_1$ га (пропорционалдир; б(ўзгармас f_1 ва U_1 ларда ўрамлар сони W га тескари пропорционалдир; в) бошқа қийматлар ўзгармас бўлиб, давр тезлик f_1 ўзгарса унга тескари пропорционалдир; г) бошқа қийматлар ўзгармас эгри чизиқнинг шакли коэффиценти K_e га тескари пропорционалдир;

2. Магнит оқим Φ_0 нинг эгри чизиғи (2.4) га кўра э.ю.к. га нисбатан интеграл функция бўлганлиги сабабли, (2.6) тенгламага биноан текис қиррали магнит оқими эгри чизиғига учли қиррали э.ю.к. эгри чизиғи мос келади ва бунинг акси ўринлидир;

3. Юқорида юксиз ишлаш токининг эгри чизиғи ҳақидаги фикрлардан яна бир хулоса келиб чиқади; уч фазали трансформаторларнинг ишлашда баъзан учрайдиган вазиятда, яъни агар (магнит ўзак тўйинган бўлса) юксиз ишлаш токининг шакли синусоидал бўлса, у ҳолда магнит оқими ва фаза э.ю.к. дан бирортасининг ҳам эгри чизиғи шакли синусоидал бўла олмас экан

2.5. КУЧЛАНИШ ЭГРИ ЧИЗИҒИ ШАКЛИНИНГ ПЎЛАТ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ

Юқорида пўлат исрофлари ҳақида келтирилган фикрларнинг ҳаммаси трансформаторга уланган кучланиш эгри чизиғи вақтнинг синусоидал функцияси учун таллуклидур. Бунда бир фазали трансформатор учун э.ю.к. e_1 ва магнит оқим ϕ_0 нинг эгри чизиқлари ҳам синусоидалдир (2.2-расм).

Кучланиш U_1 носинусоидал бўлганда э.ю.к. ва оқим эгри чизиқлари ўзгаради. Умумий ҳолда

$$\phi_0 = -\int e_1 dt,$$

бўлгани учун, яъни магнит оқим э.ю.к. нинг интеграл функцияси бўлганлиги учун, кучланишнинг, у билан бирга эса, э.ю.к. e_1 нинг шакли чўққи қиррали бўлса, оқим эгри чизиғи шакли текис қиррали бўлади (2.1-жадвалга қаранг). Шу фикрнинг тескараси ҳам ўринлидир. Биринчи ҳолатда индукциянинг энг катта қиймати B_m камаяди, иккинчисида эса, ошади. Шу тариқа пўлат исрофлари ҳам ўзгаради, аммо бунда гистерезис ва уярма тоқларга сарфланувчи исрофлар қийматлари турлича ўзгаради. Массалан, кучланиш U_1 ёки, унга ўхшаш бўлган, э.ю.к. E_1 нинг эффектив қийматлари берилган ва уларнинг давр тезлиги f_1 ўзгармас бўлганидаги пўлат исрофининг қийматини кўрайлик. Носинусоидал э.ю.к. бўлганда

$$E = 4,44 \cdot K_e \cdot f_1 \cdot W_1 \cdot \phi_m$$

Шунинг учун

$$\phi_m \equiv B_m \equiv \frac{E_1}{K_e} \equiv \frac{u_1}{K_e}$$

Маълум бўлишича, гистерезис исрофи $P_g \equiv B_m^2$, яъни $P_g \equiv \left(\frac{u_1}{K_e}\right)^2$

уярма тоқ исрофи $P_{y\phi} \equiv K_e^2 \cdot B_m^2$, яъни $P_{y\phi} \equiv U_1^2$

Бундан шундай хулоса келиб чиқадики, э.ю.к. нинг эффектив қиймати берилган бўлса, гистерезис исрофи э.ю.к. эгри чизиғининг шакл коэффиценти K_e нинг квадратага тескари пропорционал ва уярма тоқлар исрофи $P_{y\phi}$ га боғлиқ бўлмас экан. Трансформатор пўлатидаги асосий исроф гистерезис исрофи бўлгани учун, пўлатдаги умумий исроф тахминан $P_{\Sigma} \equiv (U_1 / K_e)$ деб ҳисоблаш мумкин.

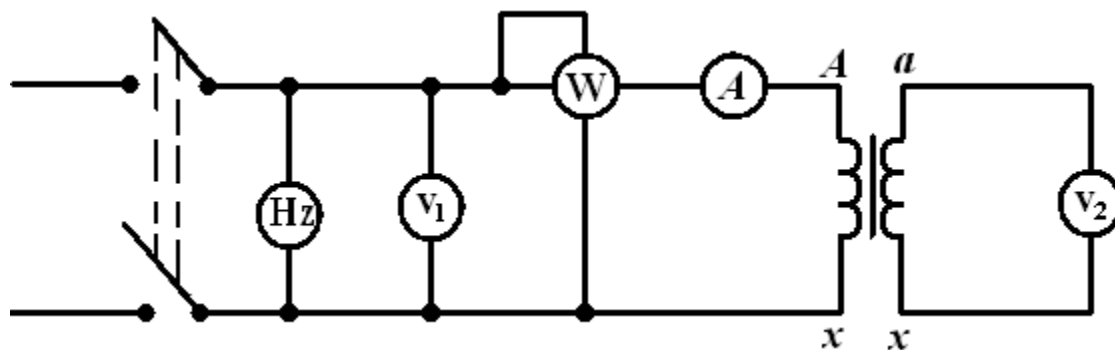
Э.ю.к. нинг шакли чўққи қиррали бўлганда $K_e > 1,11$ ва текис қиррали бўлганда $K_e < 1,11$ бўлгани учун синусоидал э.ю.к. га нисбатан биринчи ҳолатда исрофи камаяди, иккинчи ҳолатда – ортади.

2.6. АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИ ВА ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

Аввал келтирилган 1.12-расмдаги трансформаторнинг умумий ҳол учун алмаштириш схемаси учун юксиз ишлашда соддалашиб 2.12-расмдаги ҳолатга эга бўлади. Бу схемага эса 1.8-расмдаги векторлар диаграммаси мос келади.

2.7. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШ ТАЖРИБАСИ

Юксиз ишлаш тажрибаси 2.13-расмдаги схема бўйича бажарилади. Одатда кучланиш қ.к (қўйи кучланиш) ли чулғамга уланади. Вольтметрлар V_1 ва V_2 , амперметр A ва ваттметр W ёрдамида бирламчи U_{10} ва иккиламчи U_{20} кучланишлар, юксиз ишлаш токи I_0 ва қуввати P_0 ўлчанади; давр тезлик ўлчагичи H_f ёрдамида кучланишнинг давр тезлиги f_1 кузатилиб турилади.



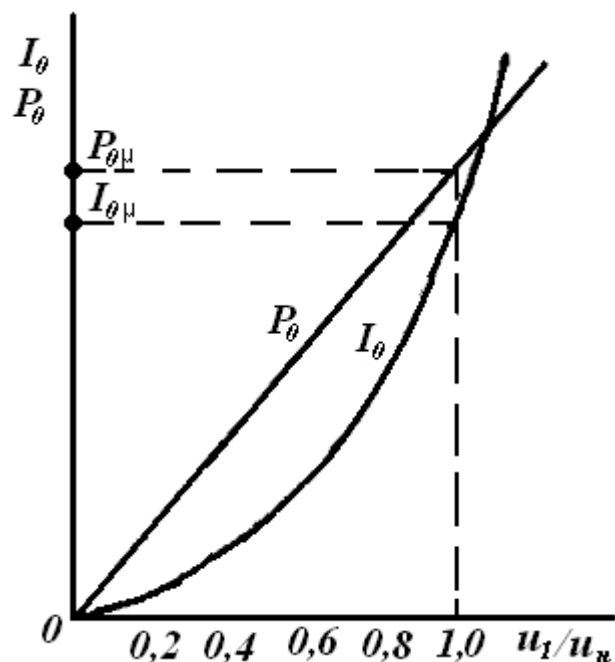
2.13-расм. Трансформаторни юксиз ишлаганда текшириш схемаси.

Бирламчи чулғамга номинал қийматли ва номинал давр тезликли синусоидал кучланиш улаб ва унинг қийматини оҳиста пасайтириб, юксиз ишлаш тажрибасининг кўрсаткичлари аниқланади. Улар ёрдамида эса I_0 қ $f(U_{10})$ ва P_0 қ $f(U_{10})$ боғланишлари курилади. Номинал кучланиш U_{1H} га мос бўлган юксиз ишлаш номинал токи I_{0H} ва қуввати P_{0H} аниқланади (2.14-расм). Бу қийматлардан биз трансформаторнинг юксиз ишлаш параметорларини аниқлашимиз мумкин. 2.12-расмдан (соддалаштириш учун «Н» индексини тушириб қолдирамиз) қуйидагиларни ҳосил қилиш мумкин.

$$\frac{u_1}{I_0} = Z_0 = Z_1 + Z_m = (r_1 + jX_1) + (r_m + jX_m) \approx r_0 + jX_0 \quad (2.21)$$

Кучли трансформаторларда r_1 ва x_1 қаршиликлар r_m ва X_m ларга нисбатан жуда кичик (бир неча юз марта). Шу сабабли бирон катта хатога йўл қўймаган ҳолда қуйидагиларни аниқлаш мумкин:

$$\frac{u_1}{I_0} = Z_0 = r + jx_0 \approx r_m + jx_m = Z_m \quad (2.22)$$



Шунга ўхшаш, юксиз ишлашдаги бирламчи чулғам мисининг қуввати исрофи P_{M10} нинг қийматининг ҳма жуда кичиклигин ҳисобга олиб (яъни $P_{M10} \ll P_{\Pi}$), пўлатдаги қувват исрофи аниқлаш мумкин.

$$P_{\Pi} \approx P_0$$

У ҳолда,

$$r_m = \frac{P_n}{I_0^2}, \quad (2.23)$$

ва

2.14-расм. Юксиз ишлаш тавсифлари

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2} = \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{P_0}{I_0}\right)^2} \quad (2.24)$$

Трансформаторнинг юксиз ишлашини текширганда унинг трансформациялаш коэффициентини аниқлаш мумкин. Юксиз ишлаганда $U_{10} \approx E_1$ ва $U_{20} \approx E_2$ бўлгани учун

$$Ke = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{u_{10}}{u_{20}}$$

Трансформациялаш коэффициентини эксплуатация шароитида аниқлаш учун, қуйи кучланишли чулғамнинг фазаларига пасайтирилган кучланиш уланади. қуввати 560 кВА дан юқори бўлган трансформатордан уланган кучланиш қуввати номинал кучланишнинг бир неча фоизини ташкил этса кифоя, кам қувватли трансформаторларда бир неча ўн фоизни ташкил этади.

УЧИНЧИ БОБ

УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАР МАГНИТ ТИЗИМЛАРИ

3.1. ЧУЛҒАМЛАРИНИНГ УЛАНИШ УСУЛЛАРИ ВА Э.Ю.К.ЛАРИ

3.1. Уч фазали трансформаторлар магнит тизимларининг турлари.

Уч фазали трансформаторлар, магнит тизимининг тузилишига кўра, қуйидагиларга бўлинадилар: магнит тизимлари ўзаро магнит боғланган трансформаторлар ва мустақил ёки деярли мустақил бўлган (магнит боғланмаган) магнит тизимли трансформаторлар.

3.1-расмда уч ўзакли ўзаро боғланган трансформаторнинг магнит ўтказгичлари кўрсатилган. Бу трансформаторнинг характерли хусусияти унинг магнит тизимлари носимметриклигидир, чунки алоҳида А, В ва С фазаларнинг ўзақлардаги занжирлари бир хил эмас: ўрта ўзак В нинг магнит занжири ўзаро икки 01 ва 02 нуқталарда туташадилар. Агар Φ_A , Φ_B ва Φ_C – А, В ва С ўзақлардаги магнит оқимларининг амплитудалари бўлса, у ҳолда Кирхгофнинг биринчи қонуни магнит занжирларга тадбиқ этилса, ҳар бир 01 ва 02 тугунлар учун, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\dot{\phi}_A + \dot{\phi}_B + \dot{\phi}_C = 0 \quad (3.1)$$

Трансформатор соддалаштирилган (яъни $r_{1\kappa 0}$; $X_{1\kappa 0}$ ва $R_{1\kappa 0}$) ва унга синусоидал, симметрик кучланиш уланган деб фараз қиламиз. Бу ҳолда кучланишлар U_A , U_B ва U_C , магнит оқим Φ_A , Φ_B , Φ_C ларнинг векторлари тенг уч қиррали юлдузни ташкил этади. Бунда ҳар бир оқим вектори ўзини ҳосил қилган кучланиш векторидан 90° га кечикади. (3.1-б расм).

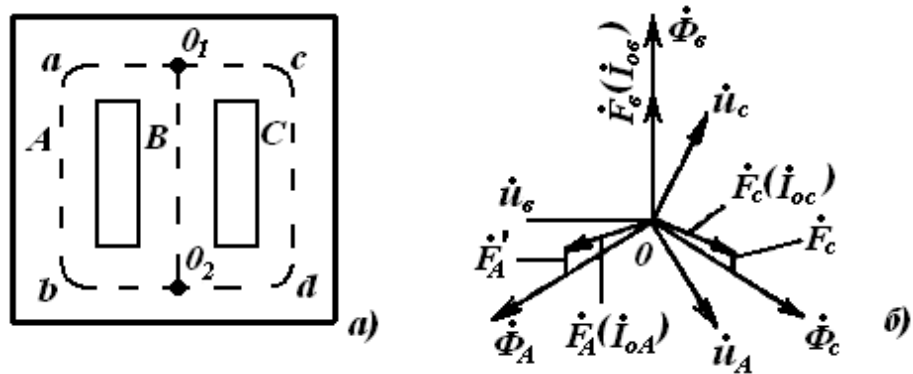
Φ_A оқими 01 ав 02 йўлини ўтганда (3.1-а расм) $\Phi_A (R_y + 2R_1)$ магнит потенциали пасаювчи ҳосил бўлади. Бунда R_y - магнит ўзак (ав қисм) нинг магнит қаршилиги; R_1 пастки ёки устки тўсин ярмиси (а 01 ва в 02 қисмлардан бири) нинг магнит қаршилиги. Шунга ўхшаш – С ўзак учун $\Phi_C (R_y + 2R_T)$ магнит потенциали пасаювчи ҳосил бўлади. ўртадаги В ўзаги учун магнит потенциаллари пасювчи эса Φ_B . R_y ни ҳосил қилади. Агар Φ_A , Φ_B ва Φ_C магнит оқимларига м.ю.к. ларнинг F_A , F_B ва F_C амплитудалари мос келса, у ҳолда Кирхгофнинг иккинчи қонуни магнит занжирга тадбиқ қилиниши қуйидагиларни беради:

а-в-02-01 занжир учун

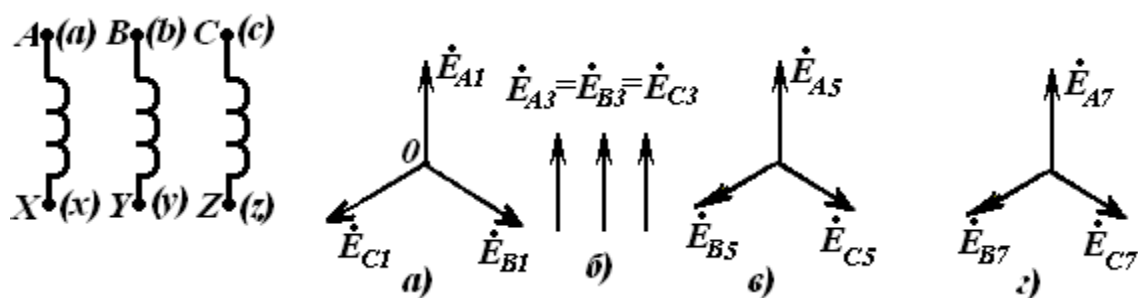
$$\Phi_C (R_y + 2R_T) - \Phi_B R_y = F_A - F_B$$

с-д-01-02 занжир учун

$$\Phi_C (R_y + 2R_T) - \Phi_B R_y = F_C - F_B$$

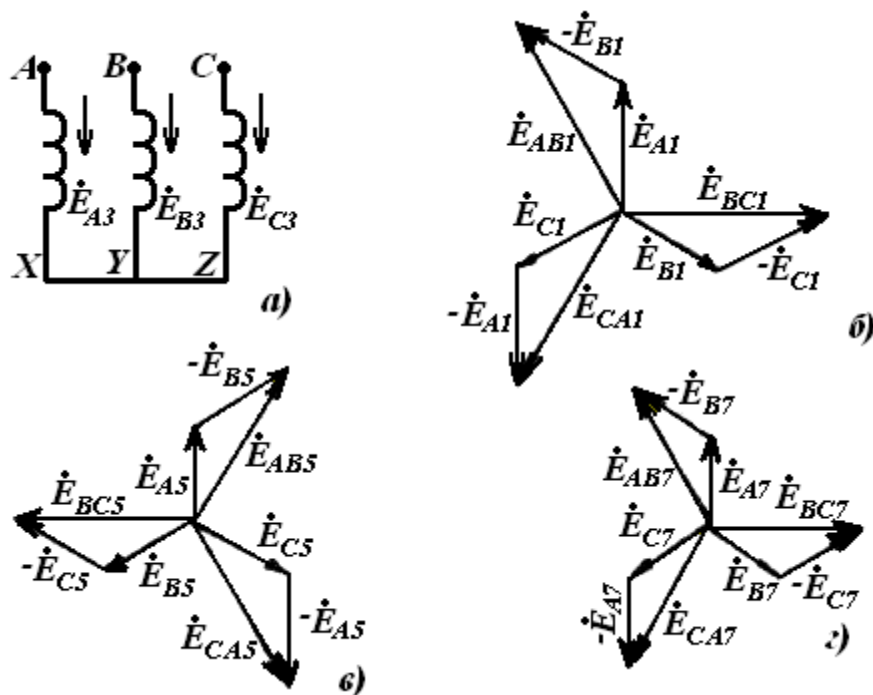


3.1-расм. Уч фазали уч устунли трансформаторнинг магнит тизими - а; юксиз ишлаш вектор диаграммаси – б.



3.2—расм. Уч фазали чулғамнинг боши ва ва кетини белгилаш.

3.3—расм. Уч фазали трансформатор чулғамларининг э.ю.к. ларининг биринчи — а; учинчи — б; бешинчи — в ва еттинчи — г гармоникалари



3.4—расм. Уч фазали чулғам юлдузча улангандаги э.ю.к. ларининг вектор диаграммалари.

улардан ташқари, уч фазали тармоқларнинг нейтрал симлари бўлмаган тизимлаида, токлр геометрик йғиндиси ва шунинг учун, м.ю.к. ларнинг геометрик йғиндиси нольга тенг бўлиши керак, яъни

$$\dot{F}_A + \dot{F}_B + \dot{F}_C = 0$$

Юқоридаги тенгламаларнинг $\dot{F}_A$, $\dot{F}_B$ ва $\dot{F}_C$ ларга нисбатан ечимини аниқласак, куйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\dot{F}_C = (R_{Y'} + 2R_T) \cdot \dot{\Phi}_A + \frac{2}{3} R_T \cdot \dot{\Phi}_B \quad (3.2, a)$$

$$\dot{F}_B = R_{Y'} \cdot \dot{\Phi}_B + \frac{2}{3} R_T \cdot \dot{\Phi}_A \quad (3.2, б)$$

$$\dot{F}_C = (R_{Y'} + 2R_T) \cdot \dot{\Phi}_A + \frac{2}{3} R_T \cdot \dot{\Phi}_B \quad (3.2, в)$$

(3.2,б) тенгликдан кўринадики, F_B м.ю.к.и фақат $\dot{\Phi}_B$ магнит оқимга боғлиқ экан, шу туфайли, вектор $\dot{F}_B$ фазаси билан $\dot{\Phi}_B$ векторига мос келади. Аксинча $\dot{F}_A$ ва $\dot{F}_C$ м.ю.к. ларнинг ҳар бири, икки м.ю.к. ларнинг йғиндиларидан ташкил топганлар. Бу ташкил этувчилардан бирлари, мазкур оқим йўналиши билан мос келса, иккинчилари $\dot{\Phi}_B$ оқим вектори билан ($\dot{F}_A'$ ва $\dot{F}_C'$) векторлари мосдир. Шу туфайли, $\dot{F}_A$ м.ю.к. нинг вектори $\dot{\Phi}_A$ оқим векторидан бирор бурчакка кечикса, $\dot{F}_C$ м.ю.к. вектори эса Φ_C дан шу бурчакка илгарилайди (олдинда бўлади). Шундай қилиб, $\dot{F}_A$, $\dot{F}_B$ ва $\dot{F}_C$ ва уларнинг магнитловчи токлари $\dot{I}_{od}$, $\dot{I}_{ob}$ ва $\dot{I}_{ac}$ векторлари носимметрик вектор тизимларини ҳосил қиладилар. Улардаги $|F_A| = |F_C| > |F_B|$ ёки, мос равишда $|I_{oA}| = |I_{oC}| > |I_{oB}|$ (3.1,б- расм) тенгсизликлар сақланадилар.

Юксиз ишлаш токларининг носимметриклиги, асосан кичик қувватли трансформаторларда яққол кўринади. Чунки (3.2,а) ва (3.2,в) тенгликлар ўнг томонлари иккинчи ҳадлардаги R_T ярим тўсиннинг магнит қаршилиги қийматлари ўзақлар қаршиликлари қийматларга яқин бўлади. Бунда $I_{oAK}I_{oCK}(1,2\div 1,5) I_{oB}$. Юқори қувватли трансформаторларда носимметриклик, бироз сусаяди, Одатда трансформатор ҳисоблашда ишлатилувчи I_0 юксиз ишлаш токи деб учала ток $|I_{oA}|$, $|I_{oB}|$ ва $|I_{oC}|$ ларнинг ўртача арифметик қийматлари қабул қилинади. I_0 токининг қиймати I_H дан анчагина кичиклиги сабабли (кичик қувватли трансформаторларда одатда, $15\div 20\%$), юкланишнинг мавжудлиги, токлар носимметриклигини бартараф этади.

Соддалаштирилган трансформаторларда $\dot{I}_{oB}$ токнинг вектори кучланиш $\dot{i}_B$ векторидан 90° га кечикканлиги сабабли, В фазаси актив қуввати нольга тенг; С фазасининг қуввати мусбат, чунки $\dot{I}_{oC}$ векторининг $\dot{i}_C$ кучланиш векторига проекцияси мусбатдир; А фазасининг қуввати эса

қиймати жиҳатидан С фаза қувватига тенг, аммо ишораси манфийдир, чунки I_{OA} нинг i_A йўналишига проекцияси манфий. Шундай қилиб, уч ўзакли трансформатор юксиз ишлаганда С ва А фазалари орасида қувват айрибошлаш жараён мавжуддир, яъни С фазасига қувват келади, А фазасида қувват қайтади ва аксинча. Тўлиқ қувват (учала фаза қувватлари йиғиндиси) эса нолга тенг. Бу хулосанинг тўғрилигига иқдор бўлиш учун, юқоридаги талабларнинг эсга оламиз, яъни кўрилатган трансформатор соддалаштирилганидир. қувватларининг нотекис тақсимланиши, тоқлар носимметриклиги каби, аксарият трансформаторларда катта аҳамиятли бўлмайди, чунки бу қувват номинал қувватнинг 1% дан кичикдир. Аммо, уни кичик қуввати трансформаторларда масъул жараёнларда ҳисобга олишга тўғри келади.

Мустақил магнит тизимли уч фазали трансформаторларга мисол сифатида уч фазали трансформаторлар гуруҳини, ёки қисқача айтганда, гуруҳ трансформаторларини келтириш мумкин. Бунда учта бир фазали бир хил трансформаторларнинг чулғамларини уч фазага уланади.

Деярли мустақил магнит тизимли трансформаторлар туркумига қобикли трансформаторлар киради.

Бундан кейинги дарсларда фақат уч ўзакли трансформаторлар ва уч фазали трансформаторлар гуруҳини назарда тутамиз.

3.2. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАР ЧУЛҒАМЛАРИНИНГ УЛАНИШ УСУЛЛАРИ

Трансформаторларнинг бирламчи ёки иккиламчи чулғамлари а) юлдузча; б) учбурчак; в) жимжима уланишлари мумкин.

Чулғамларнинг қандай уланишидан қатъий назар, ҳар бир фаза чулғамининг бир учини чулғам, «боши» ва иккинчи учини чулғам, «кеди» деб аталади. Бирон фаза чулғамининг «боши» ва «кеди» ихтиёрий олинади. Масалан, фаза чулғамларининг бир учи «боши» деб белгиланса, яъни шу нуқтадан ўрам йўналишида ҳаракатланиб чулғам соат мили бўйича ўралганидаги ҳолат қабул қилинса) «ўнг ўрам» (3.2-расм), у ҳолда чулғамнинг иккинчи учи «кеди» деб белгиланади. Бунда, қолган икки фаза чулғамларнинг «боши» ва «кеди» худди биринчи чулғамдагидек аниқланган нуқтага айтилади. Трансформатор юқори кучланишли чулғамнинг «боши» А, В ва С латинча бош ҳарфлари билан, уларнинг «кеди» эса - Х, У ва Z латинча бош ҳарфлар билан белгиланади. Шу тариқа қ, К чулғам «боши» ва «кеди» а, в ва с ва х, у ва z латинча кичик ҳарифлар билан белгиланади.

Агар трансформатор кўп чулғамли бўлса, (масалан, уч чулғамли бўлса), яъни Ю, К ва қ,К ли чулғамлардан ташқари ўрта кучланишли (j. К) чулғами ҳам мавжуд бўлса, у ҳолда Ю.К чулғамнинг боши ва кети А, В ва С, ва Х, У ва Z ҳарфлари билан, j,К ва қ, К чулғамларини эса Ia, 2a, Iv,

2в,..., 1х, 2х ва ҳоказо тарзда белгиланади. Бунда фазалар кетма-кетлиги (А, В, С) ни белгилаш Ю.К. чулғамлари уламалари томонидан чапдан ўнгга томон бажарилади.

Агар қ, К ёки Ю.К чулғамларининг кучланиш ростлагичи уламалари мавжуд бўлса, уларнинг белгиланиши ҳам шу чулғам боши ёки кетига ўхшаш ҳарфларга 1, 2, 3 ва ҳоказо рақамли индекслар қўшилган ҳолда бажарилади.

3.3. УЧ ФАЗАЛИ ЧУЛҒАМ Э.Ю.К. ЛАРИ

Умумий ҳолда А, В ва С фаза чулғамларида e_A , e_B , ва e_C э.ю.к. лар носинусоидалдир. Фақат ток гармоникалари мавжудлигини ва бошланғич фазалари нолга тенглигини ($\psi=0$) тахминлаб, А фазаси учун қуйидагича ёзиш мумкин:

$$e_A = E_{m1} \cdot \sin \omega t + E_{m3} \cdot \sin 3\omega t + E_{m5} \cdot \sin 5\omega t + E_{m7} \cdot \sin 7\omega t \quad (3.3, a)$$

Шунга ўхшаш, В ва С фазалари учун:

$$e_B = E_{m1} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + E_{m3} \cdot \sin 3 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + E_{m5} \cdot \sin 5 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + E_{m7} \cdot \sin 7 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \dots \quad (3.3, a)$$

Юқоридаги (3.3,а), (3.3,б) ва (3.3,в) тенгламаларидан кўринадик: а (А,В ва С фазалари э.ю.к. ларнинг биринчи гармоник векторлари симметрик, уч қиррали юлдузчани ҳосил қиладилар. Уларда тўғри фазали кетма-кетлиги E_{A1} - E_{B1} - E_{C1}) (3.3,а-расм) ҳосил бўлади; б) э.ю.к. ларнинг учинчи ва уч қиррали (9-,15- ва ҳоказо) гармоникалари ҳамма уч фазали чулғамларда фазалари мос келади, шунинг учун, чулғамлар уланиш усулидан қатъий назар, ҳар бир фаза чулғамларида ёки «Б» дан «К»га ёки «К» дан «Б» га томон йўналган бўлади (3.3,б-расм); в) (Э.ю.к. ларнинг бешинчи гармоникалари векторлари симметрик уч қиррали юлдузчани ҳосил қиладилар. Биринчи гармоника э.ю.к лардан фарқи шундаки, унинг фазалари кетма-кетлиги тескаридир, яъни E_{A5} E_{C5} E_{B5}) (3.3,в) ; г) э.ю.к. ларнинг еттинчи гармоникалари векторлари ҳам симметрик уч қиррали юлдузчани ҳосил қиладилар, аммо улар биринчи гармоника сингари тўғри фаза кетма-кетлигини ташкил этадилар (3.3,г-расм). Шу тариқа, биринчи гармоникага ўхшаш тўғри фазали кетма-кетлиги $3n+1$ (бунда n - нолдан бошлаб исталган жуфт сонлар), $n \leq 2$ да еттинчи, $n \leq 4$ да ўн учинчи гармоникалар ва ҳоказоларда учрайди. Бешинчидан бошлаб ҳамма $3-I$ гармоникаларда масалан, $n \leq 2$ да 5; $n \leq 4$ да II- гармоника ва ҳоказоларда, тескари фаза кетма-кетлигини ҳосил қилинади.

3.4. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМИНИ ЮЛДУЗЧА УЛАШ

Уч фазали чулғамни юлдузча улаганда битта умумий нейтрал нуктага ёки учала фаза бошлари уланиб, кетлари эркин қолдирилади

(тармоққа уланади), ёки учала фаза кетлари ўзаро уланиб, бошлари эркин (ёки тармоққа улаб) қолдирилади (3.4,а). Бу расмдаги уч контурдан исталган биттасида (А-Х)-(У-В) А фазаси боши А нуктасидан унинг кети Х га ва сўнгра Удан фаза боши В гача (яъни В фазада члғамни босиб ўтиш йўналишини А фазага нисбатан ўзгартириб) ўтилса, А,В нукталари орасидаги линия кучланиши I_{AB} аниқланади. Шу тариқа линия э.ю.к. ларнинг оний қийматлари қуйидагича бўлади:

$$e_{AB} = e_A - e_B \quad (3.4,а)$$

$$e_{BC} = e_B - e_C \quad (3.4,б)$$

$$e_{CA} = e_C - e_A \quad (3.4,в)$$

Бу тенгликларга илгари аниқланган e_A , e_B ва e_C лар қийматларини қўйсак, қуйидагилар келиб чиқади:

$$e_{AB} = e_A - e_B = E_{m1} \cdot \sin \omega t - E_{m1} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + E_{m3} \cdot \sin 3\omega t - E_{m3} \cdot \sin 3 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ + E_{m7} \cdot \sin 7\omega t - E_{m7} \cdot \sin 7 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \dots =$$

Шунга ўхшаш

$$\ell_{BC} = \ell_B - \ell_C = \sqrt{3} \cdot E_{m1} \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3} \right) + \quad (3.4,б)$$

$$+ \sqrt{3} E_{m5} \cdot \sin \left(5\omega t - \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} \right) + \sqrt{3} E_{m7} \cdot \sin \left(7\omega t - \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} \right) + \dots$$

$$\ell_{CA} = \ell_C - \ell_A = \sqrt{3} \cdot E_{m1} \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} - \frac{4\pi}{3} \right) + \quad (3.4,в)$$

$$+ \sqrt{3} E_{m5} \cdot \sin \left(5\omega t - \frac{\pi}{6} + \frac{4\pi}{3} \right) + \sqrt{3} E_{m7} \cdot \sin \left(7\omega t + \frac{\pi}{6} - \frac{4\pi}{3} \right) + \dots$$

Чулғамлар юлдузча уланганда бу тенгликлардан қуйидаги хулосаларни ҳосил қилиш мумкин:

а) Э.ю.к. ларнинг, учинчи ва унга қарра бўлган гармоникалари линия кучланишларида иштирок этмас экан. Бу ҳолнинг физик талқини шундан иборат бўладики, бу гармоникалар юлдузчани ташкил этган ҳар бир қолган икки контурда ўзаро қарама-қарши йўналгандир (3.4, а расм);

б) Линия кучланишларининг ҳамма $3n+1$ тартибли гармоника ($n=0,2,4,6,\dots$, яъни биринчи гармоника ҳам қиради) лари тўғри фаза кетма-кетлигида, бошланғич фазалари $\psi = +30^\circ$ бўлган (3.4, б ва г-расм) уч фазали

симметрик кучланишлар тизимини ҳосил қиладилар; шунга ўхшаш, линия кучланишларининг ҳамма 3-И тартибли гармоникалари тескари фаза кетма-кетлигида, бошланғич фазалари $\Psi = -30^\circ$ бўлган (3.4, в-расм) уч фазали симметрик кучланишлар тизимини ҳосил қиладилар;

а) Исталган $3n+1$ тартибли гармониканинг линия кучланишлари амплитудаси шу гармоника фаза кучланиши амплитудасидан $\sqrt{3}$ марта катта, яъни

$$E_{m\nu l} = \sqrt{3} E_{m\nu \phi} \quad (3.5)$$

бунда $\nu = 3n \pm 1$ -гармоника тартиби.

Фаза ва линия э.ю.к. ларининг эффе́ктив қийматларига ўтсак

$$E_\phi = \sqrt{\frac{1}{2}(E_{m1}^2 + E_{m3}^2 + E_{m5}^2 + E_{m7}^2 + \dots)} \quad (3.6)$$

ва

$$E_l = \sqrt{\frac{3}{2}(E_{m1}^2 + E_{m3}^2 + E_{m5}^2 + E_{m7}^2 + \dots)} \quad (3.7)$$

дан қуйидагилар келиб чиқади:

$$E_l = E_\phi \sqrt{3 \frac{1 + k_{\ell 5}^2 + k_{\ell 1}^2 + \dots}{1 + k_{\ell 3}^2 + k_{e5}^2 + k_{e1}^2 + \dots}} \quad (3.8)$$

бунда

$$K_{e\nu} = \frac{E_{m\nu}}{E_{m1}} = \frac{E_\nu}{E_1} \quad (3.9)$$

Чулғамлар юлдузча уланганда фаза токлари тўғридан-тўғри линияга уланганлиги учун,

$$I_l = I_\phi \quad (3.10)$$

«Электротехниканинг назарий асослари» курсида маълумки, носинусоидал э.ю.к. ва токларда тизим қуввати алоҳида гармоникалр қувватлари йиғиндисига тенг. Одатда, асосий (ёки биринчи) гармоника қуввати энг кўп бўлади. Бу гармоника учун

$$P_1 = 3 E_{\phi 1} \cdot I_{\phi 1} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} E_{l1} \cdot I_{l1} \cdot \cos \varphi \quad (3.II)$$

бунда $\varphi = E_{\phi 1}$ ва $I_{\phi 1}$ векторлари орасидаги фазалар фарқи.

3.5. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМИНИ УЧБУРЧАК УСУЛДА УЛАШ

Чулғамларни учбурчак усулда улаш учун фаза чулғамининг боши кейинги фазанинг кети билан, кети эса ўзидан илгариги фазанинг боши билан уланади. Уланишларнинг қуйидаги схемалари мавжуд: а) (А-Х)-(В-У)-(С-З)-А схемасидек (3.5.а расм); б) (А-Х)-(С-З)-(В-У)-А схемасидек (3.5.б расм).

Агар i_{AX} , i_{BY} , i_{CZ} - А, В ва С фаза чулғамларидаги тоқларнинг оний қийматлари бўлса; i_A , i_B , i_C - А, В ва С фаза чулғамлари бошларига уланган линия тоқларининг оний қийматлари бўлса, у ҳолда

$$i_A i_{AX} - i_{BY}; \quad (3.12,а)$$

$$i_B i_{BY} - i_{CZ}; \quad (3.12,б)$$

$$i_C i_{CZ} - i_{AX}; \quad (3.12,в)$$

Бу тоқлар биринчи гармоникларнинг вектор диаграммалари 3,5, в-расмда кўрсатилган (қулайлик учун «I» индекси тушириб қолдирилди). Бунда кўринади, линия тоқининг вектори фаза тоқи векторидан 30° га илгарилайди ва

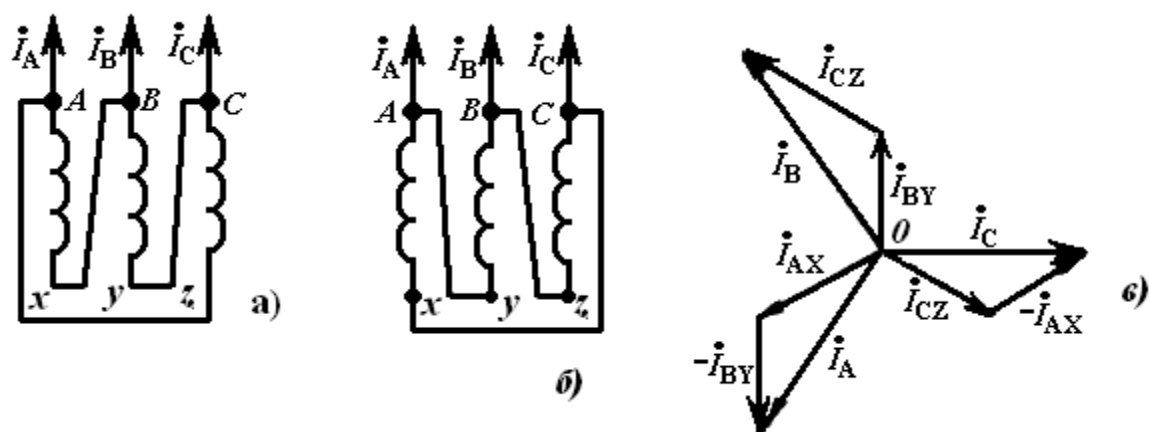
$$I_{\lambda 1} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi 1} \quad (3.13)$$

Учинчи, тўққизинчи, ўн бешинчи ва ҳоказо гармоникалар учун учбурчак усулдаги улаш берк контурни ташкил этади. Чунки бу гармоникаларнинг тоқлари бир томонга – ёки фаза чулғамининг бошидан кетига, ёки тескариси – кетидан бошига йўналган бўлади. Учинчи ва 3К (бунда Кқ3,5,7 ва ҳ.к.) гармоникалар эффектив таъсир этувчи қийматлари қуйидагича аниқланади;

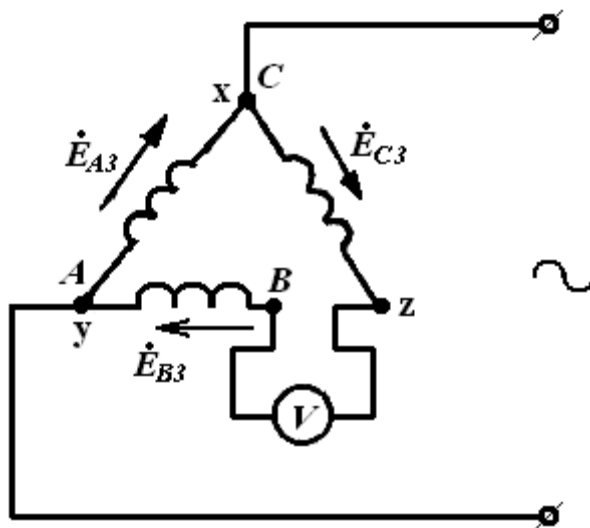
$$E_{3\lambda} = \sqrt{E_3^2 + E_9^2 + \dots} \quad (3.14)$$

Э.ю.к. $E_{3\lambda}$ ни тажриба усулда ўлчаш мумкин. Бунинг учун учбурчакни бирор нуқта (масалан В-З) да (3.6-расм) узиб, вольтметр уланади.

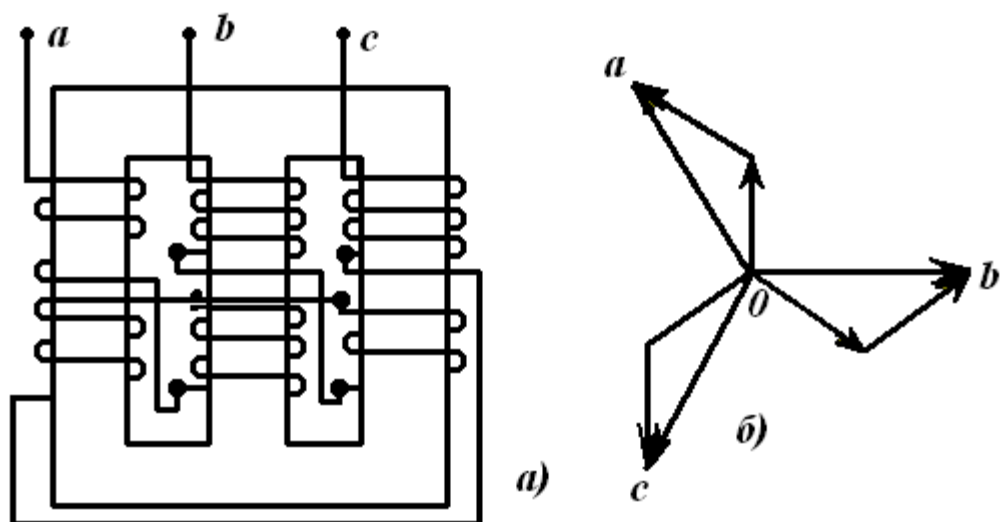
Учбурчакнинг контурида э.ю.к. $E_{3\lambda}$ ток I_3 ни ҳосил қилади. Вольтметр ўрнига амперметр ўрнатиб I_3 токнинг қийматини ўлчаш мумкин. Линия кучланишларида э.ю.к.нинг учинчи гармоникаси E_3 иштирок этмайди, чунки учбурчакнинг контурида E_3 э.ю.к. и ток I_3 ни ҳосил қилган кучланишлар пасаювига сарфланади.



3.5—расм. Уч фазали чулғамларни учбурчак улаш — а; тоқлар вектор диаграммалари — б.



3.6—расм. Учбурчак усулда уланган чулғам э.ю.к. ва тоқининг учинчи гармоникаисни ўлчаш.



3.7 — расм. Уч фазали чулғамларни жимжима улаш схемаси — а; э.ю.к. лар вектор диаграммалари — б.

3.6. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИНИ ЖИМЖИМА УЛАШ

Бу улаш усулининг моҳияти шундаки, қуйи кучланиш тарафидаги ҳар бир фаза чулғами икки (аксарият тенг) бўлақларга ажратиб, ҳар бир бўлақларни ҳар хил ўзакларга жойлаштирилади. Натижада ҳар бир бўлақ э.ю.к.лари геометрик айрилиб фаза э.ю.к.ни ҳосил этадилар; бундай уланишни ҳосил қилиш учун фаза чулғамининг ҳар бир бўлагининг кети бошқа ўзакка жойлаштирилган иккинчи бўлақ кети билан уланади (3.7, а расм). Агар фаза чулғамлари икки тенг бўлақка ажратилган бўлса, натижавий фаза э.ю.к. лари ҳар бир бўлим э.ю.к.нинг қийматидан 3 марта катта бўлади (3.7, в расм).

Чулғамларни жимжима улаш усули махсус трансформаторларда, масалан автоматик бошқариш схемаларининг тўғрилагичлари трансформаторларида ишлатилади.

3.7. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИНИ СТАНДАРТ УЛАШ УСУЛЛАРИ. ЧУЛҒАМЛАРНИ УЛАШ СХЕМАЛАРИ ВА ГУРУҲЛАРИ

Юлдузча, учбурчак ва жимжима улаш усуллари қуйидагича шартли белгиланадилар (маркировкаланади): Y , Δ , Z . Трансформатор чулғамларининг уланиш усуллари махсус ҳужжатларда келтириლაётганда

аввал Ю.К. чулғами кейин қ.К. чулғамининг белгиси ёзилиб, улар орасига қия чизик чизилади. Агар бирор чулғамнинг ундан чиқарилган нейтрал сими мавжуд бўлса, у ҳолда мазкур чулғамнинг белгисига «0» қўшимча белги қўйилади. Шу тариқа, Y_0/Δ белгиси қуйидагича ўқилади: ю.к. чулғами юлдузча уланган ва нейтрал сим чиқарилган, К. К. чулғами учбурчак уланган.

Z/Y , Z/Δ , Z/Z усуллари бизнинг давлатимиздаги К.Т. ларда қўлланилмайди. Автоматик бошқариш тизимларининг ва баъзи кичик ностандарт автоном электр тизимларининг трансформаторларини ҳисобга олган ҳолда шуни айтиш мумкин, тажрибада олти хил улаш усуллари мумкин: Y/Y_0 ёки Y/Y ; Y/Δ ; Y/Z ёки Y/Z_0 ; Δ/Y ; Δ/Δ ва Δ/Z ёки Δ/Z_0 .

Юқорида келтирилган трансформаторларининг икки чулғамидан бирининг боши ва кети иккинчисига нисбатан алмашган бўлса, масалан, иккинчисига нисбатан биринчи чулғам тескари ўралган бўлса, у ҳолда уч фазали трансформатор чулғамларини ўн икки хил турларини кўриш мумкин. Баъзи чет эл корхоналарининг ишлаб чиқарган электротехник маҳсулотлари таркибидаги мавжуд трансформаторларда улаш турларининг ҳаммасини учратиш мумкин.

Трансформаторлар эксплуатацияси тажрибаси шуни кўрсатадики, уланиш схемаларидан ташқари ю.к.ва қ.к. чулғамлари э.ю.к. ларнинг ўзаро йўналишлари тўғрисида ҳам маълумотлар бўлиши керак.

3.8-расмда бир ўзакда жойлашган ва бир магнит оқими билан кесиб ўтиладиган икки чулғам 1 ва 2 лар келтирилган. Агар чулғамлар бир хил йўналишда ўралган ва улар боши ва кетлари мос равишда белгиланган бўлса (3.8, а расм), у ҳолда вақтининг кўриладиган онда иккала чулғамида индуктивланаётган э.ю.к.лар мос равишда йўналган (кетларидан бошига) бўлади ва шу сабабли, уларнинг фазалари мос келади. Агар чулғамларнинг бирида, масалан 2 чулғамда, чулғам боши вақти белгиланишларининг тескари алмаштирсак (3.8,б-расм), у ҳолда индуктивланган э.ю.к. йўналиши чулғам боши-кетига нисбатан тескари бўлиб, E_1 ва E_2 э.ю.к.лар фазалари 180° га фарқ қилади.

Шунга ўхшаш E_1 ва E_2 э.ю.к. лар фазаларнинг 180° ли фарқини чулғамларидан бири (масалан, 2-чулғам) нинг (3.8,в-расм) ўралиш йўналиши ўзгартирилганда ҳам ҳосил қилиш мумкин.

Шундай қилиб, Ю.К. ва қ.К. чулғамлари э.ю.к. E_1 ва E_2 лари орасидаги фазалар фарқи шу чулғамлар боши ва кети белгиланишига, ҳамда улар ўралиш йўналиш боғлиқ экан. Ю.к.ва қ.К. чулғамлари бир ўзакка жойлаштирилган бир фазали трансформаторларда фазалар фарқи 0 ёки 180° бўлиши мумкин экан.

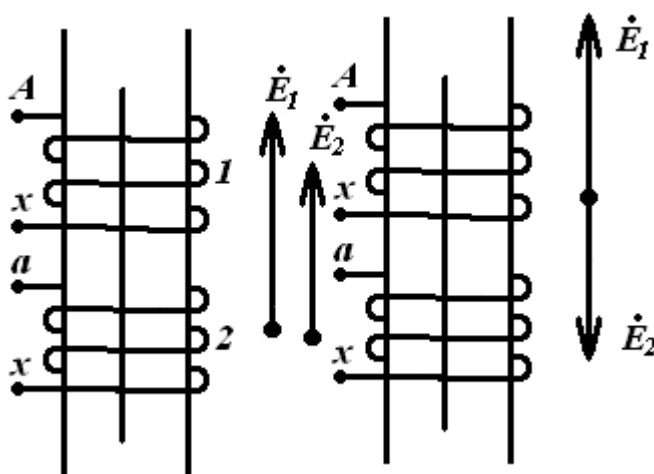
Уч фазали трансформаторлар Ю.К. ва К.К.чулғамларининг линия кучланишлари орасидаги фаза силжишлари, чулғамлар уланишларига ҳам

боғлиқ экан. Кейинроқ шу хам исбот этиладики, ҳамма ҳолларда фаза силжиши 30^0 га каррали бўлади.

Ю.к. ва қ. К. чулғамлари линия э.ю.к. ларнинг фаза силжишини тасвирлаш учун трансформатор чулғамлари уланиш гуруҳлари тушунчаси киритилади.

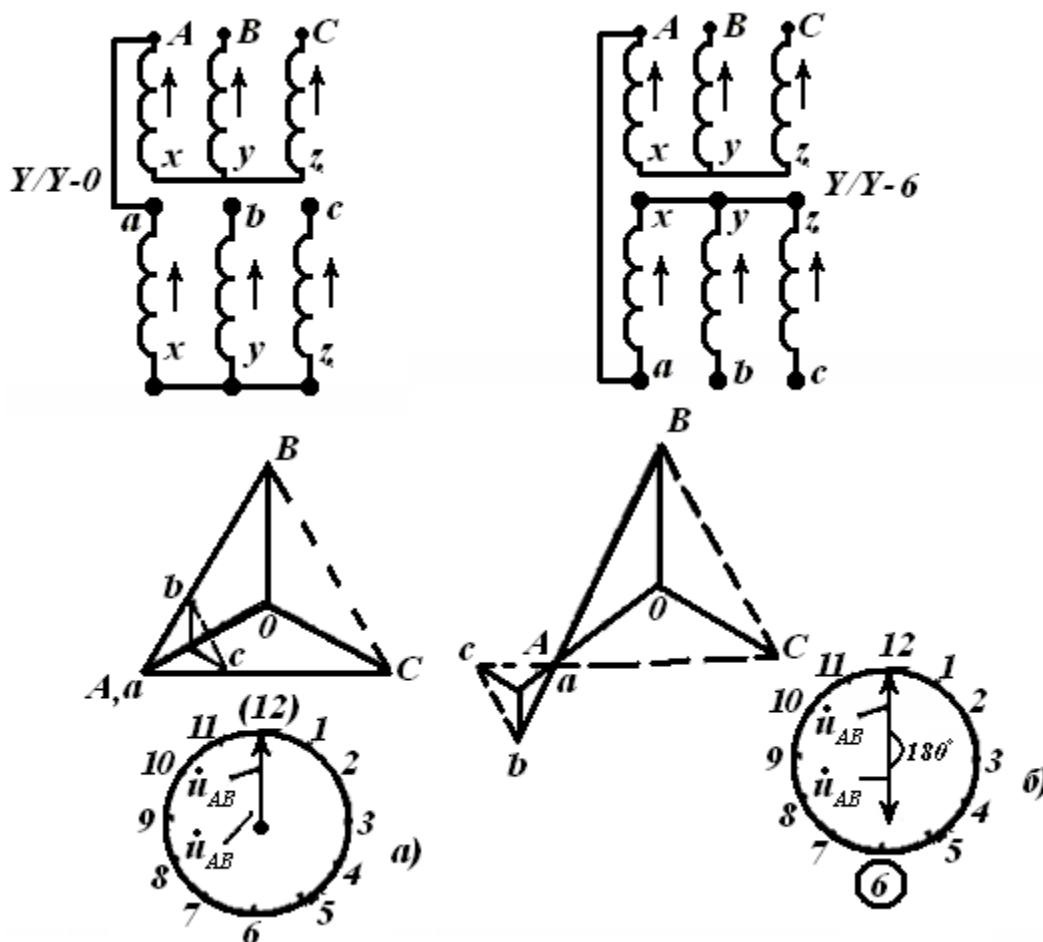
Уланиш гуруҳи Ю.К. ва қ. К. чулғамларининг бир хил белгиланган кетларидаги линия э.ю.к. E_1 ва E_2 векторлари орасидаги бурчак ўлчаниб 30^0 га бўлинганда ҳосил қилинган бутун сон орқали белгиланади. Бунда бурчак ўлчаниши Ю.К. чулғаи э.ю.к. векторидан бошлаб қ. К. вектори томони соат циферблати бўйича ҳаракатланиб ҳосил қилинади. Масалан, 3.8,а-расмда E_1 дан бошлаб E_2 га томон соат циферблати йўналишида ҳаракатланиб бурчак ўлчанса ва ҳосил қилинган 0^0 ли бурчак 30^0 га бўлинса, 0-гуруҳ ҳосил қилинади; 3.8,б ва в-расмларда эса, шу усулида аниқланган уланиш гуруҳлари 6- эканлигини кўриш мумкин.

Уч фазали трансформаторларнинг Y, Δ ва Z схемалари ёрдамчи линия э.ю.к. векторлари орасидаги бурчаклари 30^0 карраланиб турувчи 12 хил уланиш гуруҳларини ҳосил қилиш мумкин. Шу туфайли, уланиш гуруҳларини аниқлашда соат циферблатининг милларидан фойдаланиш қулайдир, чунки улардаги 12 та рақамларни ҳар бири орасидаги бурчак 30^0 ни ташкил этади.



3.8-расм. Бир фазали трансформатор уланиш гуруҳлари.

Уланиш гуруҳларини соат миллари ёрдамида аниқлаш учун Ю.К. чулғамининг линия э.ю.к. векторини циферблатнинг 12 рақамига ўрнатиб, қ.К чулғамнинг линия кучланиши э.ю.к. векторини эса тегишли бурчак остида ўрнатилади. Шу вектор қаршисидаги рақам уланиш гуруҳини кўрсатади.



3.9—расм. Уч фазали трансформаторнинг уланиш гуруҳлари:
 а — $Y/Y-0$; б — $Y/Y-6$ гуруҳлар.

Уч фазали трансформаторларнинг Y/Y , Δ/Δ , Δ/Z уланиш схемалари 2, 4, 6, 8, I 0 ва 0 жуфт уланиш гуруҳларини, Y/Δ , Δ/Y , Δ/Z уланиш схемалари эса I, 3, 5, 7, 9 ва II ток уланиш гуруҳларини ҳосил қиладилар.

Мисол тариқасида 3.9 да $Y/Y-0$ ва $Y/Y-6$ уланиш гуруҳлари учун, 3.1.0- расмда эса $Y/\Delta-11$ ва $Y/\Delta-5$ уланиш гуруҳларининг схемалари ва вектор диаммалари келтирилган.

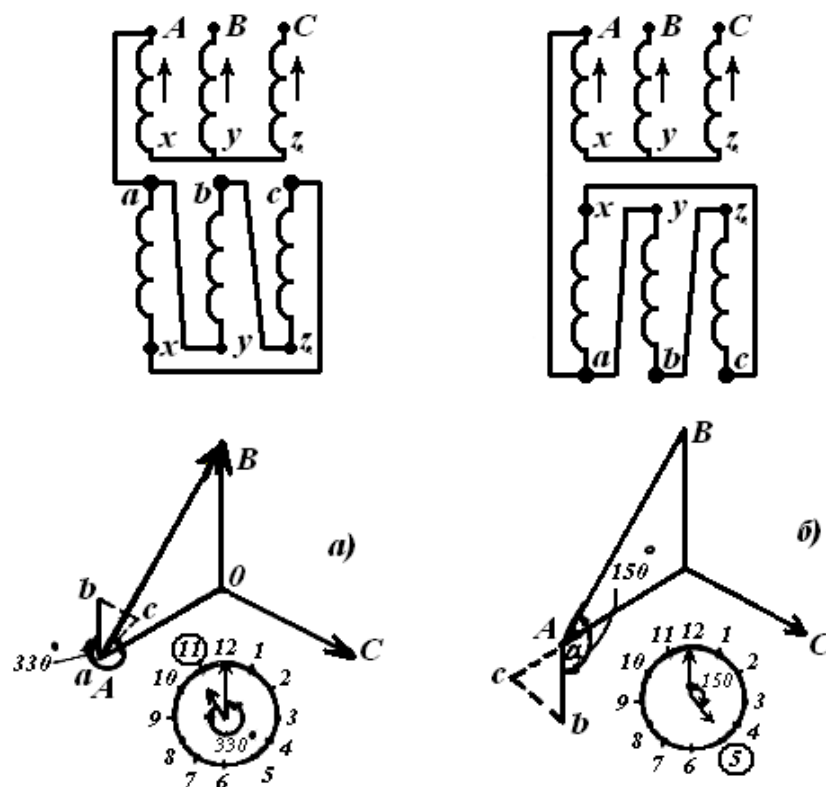
Вектор диаграммаларни куришда қуйидаги шартлар бажарилиши шарт; 1) ҳамма чулғамларнинг ўралиш йўналишлари бир хил; 2) бир ўзақда жойлашган Ю.К. ва қ.К. чулғамлар э.ю.к. и бир хил белгиланган учларига томон йўналган бўлса (3.8, а расм) - чулғамларининг э.ю.к. и векторларнинг фазалари мос;

3) Э.ю.к. лар ҳар хил белгиланган учларга томон йўналган бўлса (3.8.б-расм) -векторлар фазалари 180° ли бурчак ҳосил қиладилар; 4) бирламчи ва иккиламчи чулғамлар векторларини йўналтиришда осонлик яратиш учун Ю.К.ва қ.к. чулғамлари гальваник уланган, яъни Ю.К.ва қ.К чулғамларнинг иккита бир хил белгиланган учлари электрик боғланган.

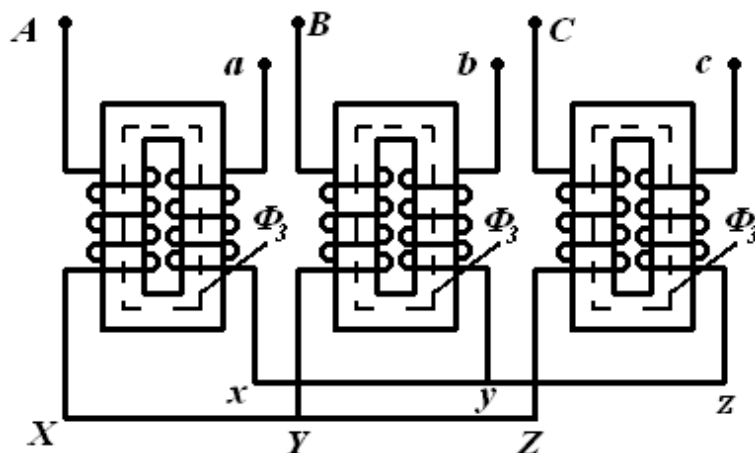
Уч фазали трансформаторларнинг чулғамлари Y/Y , Δ/Δ ва Δ/Z уланиб 0 ва 6 уланиш гуруҳини, чулғамлари Y/Δ , Δ/Y ва Y/Z уланиб II

ва 5 уланиб гуруҳларни ҳосил қилсалар, у ҳолда бир хил номланган Ю.К ва Қ.К. фаза чулғамлари мазкур магнит ўзакда жойлашган бўлади, яъни бир ўзакда А-Х ва а-х, иккинчисиди В-У ва в-у, учинчисиди С-З ва с-з лар жойлаштирилган бўлади. Агар бирор (масалан Қ.К. чулғаидаги) чулғам учлари белгиланишида (чулғамлар уланиш схемасини ўзгартирмасдан) силжишлар уюштирсак (масалан а-в-с нинг ўрнига с-а-в, сўнгра в-с-а), у ҳолда 3 ва 7; 5–гуруҳ ўрнида 9 ва 12 уланиш гуруҳларини ҳосил қилиш мумкин. 3.1- жадвалда уч фазли трансформатор чулғамларининг уланиш схемалари билан жуфт ва тоқ уланиш гуруҳлари келтирилган.

Давлатимизда ва хорижий мамлакатларда ишлатилаётган ва ишлаб чиқарилаётган электр тармоқларидаги кучли уч фазали икки чулғамли трансформаторларни параллел уланишини таъминлаш учун мавжуд уланиш гуруҳлари орасида стандартлаштирилган фақат икки гуруҳ: Y/Y_0-0 ва $Y/\Delta-11/Y/Z_0-II$ лар қабул қилинган.



3.10 – расм. Уч фазали трансформатор чулғамларини $Y/\Delta-II$ – а ва $Y/\Delta-5$ –б уланиш гуруҳлари.



3.11 – расм. Чулғамлари Y/Y- 0 уланган трансформатор гуруҳи.

Бир фазаги трансформаторларда фақат 0 ва 6 гуруҳлар мавжуд. Уч фазаги трансформаторларнинг Y/Y_0-0 гуруҳи асосан трансформатор юкининг таркибида юритгичлар ва ёритгич ускуналари аралаш бўлганда қўлланилади. Бунда юритгични линия кучланиши 380 В бўлган тармоққа уланса, ёритгич асбобларини (лампа ёки бир фазаги бошқа ускуналар) эса фаза симларидан бири ва нейтрал симга уланади (яъни $380/\sqrt{3} = 220$ В). Берилган кучланиш учун токнинг қиймати қувватга пропорционал бўлганлиги сабабли, катта токли чулғамларни қуришдаги қийинчиликларни олдини олиш учун, $Y/Y-0$ гуруҳли трансформаторларнинг қуввати чекланади. Агар, яна нейтрал сим ҳам мавжуд бўлса, яъни трансформатор юки фазалараро нотекис тақсимланса, у ҳолда нейтрал симдаги токнинг қиймати қ.қ. чулғами номинал токи қийматининг 25% дан катта бўлмаслиги шарт.

Трансформатор иккиламчи чулғамининг номинал кучланиши 400 В дан катта бўлса, чулғамлар $Y/\Delta-II$ гуруҳ бўйича уланади. Кейинчалик келтириладиган фикрлардан маълум бўладики, чулғамларидан бирини учбурчак усулда улаш, трансформаторнинг ишлаш шароитига фойдали ўзгартиш киритади. Бу гуруҳ асосан, электр узатиш линиялари учун қўлланилади. Бу трансформаторларнинг чулғамларини $Y_0/\Delta-II$ усулда уланиши Ю.К. чулғами томонидан тизимни заминлаштириш имкониятини яратида. 3.2- жадвалда кўрилган уланиш гуруҳларнинг қўлланиш имкониятлари келтирилган.

3.1-жадвал

Уланиш схемалари		Вектор диаграммалари		Шартли белгиланиши
Ю. К.	К.К.	Ю. К.	К.К.	
				$Y/Y_0 -12$ а)
				$Y/\Delta -11$ б)
				$Y_0/\Delta -11$ в)

3.2-жадвал

Чулғам уланиш схемасининг белгиланиши	Чулғамлар кучланишлари		Трансформатор қуввати кВА.
	Ю.к., кВ	қ.к. В.	
$Y/Y_0 - 0$	35 дан катта бўлмаган	400	1800 дан катта бўлмаган
$Y/\Delta - 0$	35 дан катта бўлмаган	400 дан юқори	5600 гача
$Y/\Delta - 11$	110 ва ундан юқори	3150 ва ундан юқори	3200 ва ундан катта
	6,3 ва ундан юқори	3300 ва ундан юқори	7500 ва ундан катта

3.8. УЧ ФАЗАЛИ ЧУЛҒАМЛАРИ $Y/Y_0 = 0$ УЛАНГАН ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШИ

Бир фазали трансформаторнинг юксиз ишлаш режимидан кўрган эдикки, бирламчи чулғамга синусоидал кучланиш узатганимизда э.ю.к. лар ва магнит оқим эгри чизиқлари ҳам синусоидал бўлиб, токнинг эгри чизиғи таркибида асосий гармоникадан ташқари кучли учинчи гармоника ҳам мавжуд эди (2.4 – расм).

Энди бир хилдаги учта ва чулғамлари ўзаро $Y/Y_0 = 0$ (3.II- расм) уланган бир фазали трансформаторлардан ташкил топган уч фазали трансформаторлар гуруҳининг юксиз ишлашини кўрайлик.

Бундай трансформаторлар гуруҳи юксиз ишлашининг бир фазали трансформатор юксиз ишлашидан асосий фарқи шундаки, унда токнинг учинчи гармоникалари йўқдир. Бу 3.3-§ да келтирилганлардан тўғридан–тўғри келиб чиқади. Унда келтирилган (3.3,а), (3.3,б) ва (3.3,в)-формулаларга ўхшаш равишда фазалар тоқларининг учинчи гармоникалари учун қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$i_{0A3} = I_{03m} \cdot \sin 3\omega t \quad (3.15,а)$$

$$i_{0B3} = I_{03m} \cdot \sin 3(\omega t - \frac{2\pi}{3}) = I_{03m} \cdot \sin 3\omega t \quad (3.15,б)$$

$$i_{0C3} = I_{03m} \cdot \sin 3(\omega t - \frac{4\pi}{3}) = I_{03m} \cdot \sin 3\omega t \quad (3.15,в)$$

Шундай қилиб, э.ю.к. ларнинг учинчи гармоникалари сингари, вақтнинг исталган онда учала фаза тоқларининг учинчи гармоникалари фазалари мос келади. Чунки улар фазалар силжиши $3 \cdot 120^\circ = 360^\circ$ ни ташкил этади. Шу сабабли улар ёки чулғам бошидан кетига томон ёки кетидан бошига томон оқадилар. Бу эса шу гармоника тоқларини ўтказувчи берк контур йўқлигидан далолат беради.

Бешинчи гармоника тоқлари, бир фазалилардаги сингари, мавжуд бўлиб, юқоридаги формулаларда (3.3,а), (3.3,б) ва (3.3,в) кўрсатилганидек, тескари фаза кетма–кетлигини ташкил этадилар.

Бундан бошлаб, уч фазали трансформаторларнинг магнитланиш жараёнини кўрганимизда, гармоникаларнинг учинчисидан юқориларини эътиборга олмаймиз, чунки уларнинг таъсири деярли билинмайди ва практик нуқтаи назардан қизиқиш уйғотмайдилар.

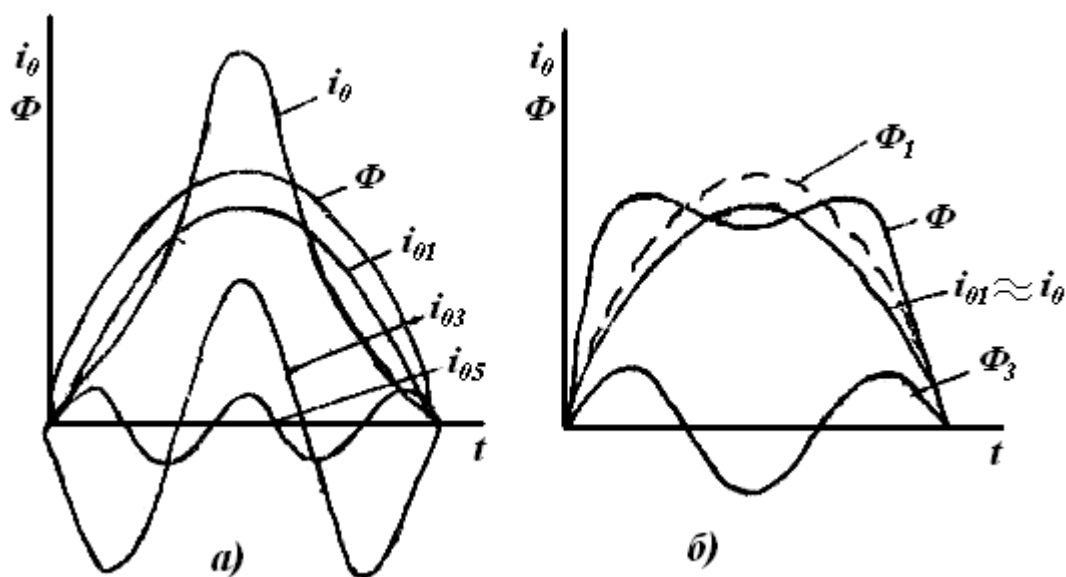
Юксиз ишлаш токи таркибида учинчи гармониканинг бўлмаслиги (магнит ўзак тўйинган бўлганда) магнит оқимининг носинусоидаллигига олиб келади. 3.12, а расм ток ва оқим Φ ларнинг эгри чизиқлари ток таркибида учинчи гармоника i_{03} нинг мавжудлигида ва i_{03} бўлмаганлигида (3.12,б расм) кўрсатилган. Биринчи холда оқим Φ_0 нинг эгри чизиғи

синусоидалдир. Иккинчи ҳолатда эса Φ_0 носинусоидл бўлиб, бунга пайдо бўлган оқимнинг учинчи гармоникаси Φ_3 сабабчидир.

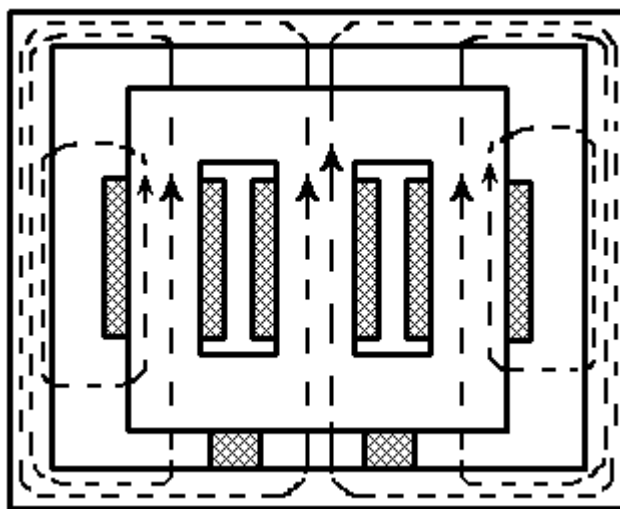
Бир фазали трансформаторлардан тузилган уч фазали трансформаторлар гуруҳида, шунингдек уч фазали қобиқли (броневоӣ) трансформаторлар магнит оқимининг биринчи Φ_1 ва учинчи Φ_3 гармоникалари магнит қаршилиги минимал бўлган магнит ўтказгичдан оқиб ўтадилар. Бу ҳолда Φ_3 нинг қиймати Φ_1 нинг 10-20% ташкил этиш мумкин. Φ_3 оқим $f_2 = 3f_1$ давр тезлик билан ўзгарганлиги сабабли, унинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларида индуктивланган э.ю.к. ларининг қийматлари мазкур э.ю.к. лар биринчи гармоникаларнинг 45-60% ни ташкил этиши мумкин. Бу, ўз навбатида, бирламчи ва иккиламчи чулғамлар фаза э.ю.к. лари эгри чизикларининг шакл бузилишини ҳосил қилибгина қолмай, балки улар амплитудаларини 45-60% оширади (3.12 расм). Бу эса, электр эзоляциялардаги электр майдон кучланганлигини ошириб, изоляциялар мустаҳкамлигини камайтиради. Шу билан бирга, фаза э.ю.к. нинг эффектив қиймати ҳам 5-17% га $\left[\sqrt{1^2 + (0,45 \div 0,6)^2} \right]$ ошади.

Фаза э.ю.к. ларининг бундай ошиши ноўриндир, баъзи ҳолларда эса хавфлидир. Шу сабабли катта қувватли ва юқори кучланишли трансформаторларда $Y/Y - 0$ уланишнинг қўлланилиши чекланган.

Фаза э.ю.к. лари эгри чизикларининг кескин ўзгаришига қарамай, трансформаторнинг линия э.ю.к. лари синусоидаллигича қолаверади, чунки улар таркибида учинчи гармоникалар бўлмайди, юқори гармоникаларнинг кучи кичик бўлади.



3.12 – расм. Ток ва оқимлар эгри чизиклари: а – токнинг учинчи гармоникаси мавжудлигида; б – токнинг учинчи гармоникаси йўқлигида; Φ_1 , Φ_3 – магнит оқимнинг 1 – ва 3 – гармоникалари; $i_{\theta 1}$, $i_{\theta 3}$ ва $i_{\theta 5}$ – токнинг 1 – , 3 – ва 5 – гармоникалари.



3.13 — расм. Уч ўзакли трансформаторда магнит оқимнинг учинчи гармоникаси.

Уч ўзакли трансформаторлар (магнит тизимлари боғланган)да эса магнит оқим гармоникалари мутлақо бошқача кўринишда бўлади.

Учала фазалардаги учинчи гармоника оқимлари тоқларнинг учинчи гармоникалари сингари, фазалари мос келди. Бунинг маъноси шуки, учинчи гармоника оқимлари вақтнинг исталган онда қийматлари жиҳатдан ўзаро тенг ва трансформатор ўзакларида бир хил йўналишдадир (масалан, 3.13- расмдагидек). Демак, бирор ўзакдаги оқим учинчи гармоникаси, на иккинчи ва учинчи ўзак орқали берк контур ҳосил қилолмайди, чунки ҳар бир ўзакда шу ўзак (фаза) нинг учинчи гармоника оқимини ўзига қарши йўналишда учратади. Бу эса шунга олиб келадики, учинчи гармоника оқими куч чизиқлари ҳамма фазалари ҳаводан (ёки мойдан) ва трансформаторнинг ёрдамчи темир қисмлари орқали оқиб ўтади. Бу магнит оқимнинг йўли жуда катта магнит қаршилигига эга бўлади, шу сабабли учинчи гармоника оқимларининг қиймати камаяди (одатда Φ_1 нинг 5-7% дан кўп эмас) ва ўзаклар нормал тўйинганда фаза кучланишлари эгри чизиқлари синусоидалдан деярли фарқланмайди. Аммо $f_3 = 3 - f_1$ давр тезлик билан ўзгариб ва бок деворлари ёки бошқа темир қисмлардан ўтаётган қиймат жиҳатидан кичик бўлган Φ_3 оқими уларда уярма тоқларни ҳосил қилади, бу эса, ўз навбатида, шу қисмларни қизишига ва юксиз ишлашдаги қувват исрофининг ошишига олиб келади.

Шуни таъкидлаш керакки, Y_0/Y ёки Z_0/Y уланиш гуруҳларида магнитловчи тоқнинг учинчи гармоникаси нейтрал сим орқали оқиб ўтади. Бу симдаги тоқнинг, қиймати $i_N = 3 \cdot i_{03}$ бўлади. Демак, магнитловчи тоқнинг ҳар бир фазаси таркибида учинчи гармоника мавжуддир, яъни у носинусоидалдир. Магнит оқим ва э.ю.к. лар эса – синусоидалдир.

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, ўзакдаги индукциянинг қиймати 1,4 Тл бўлганда бокдаги қувват исрофи магнит ўзакдагининг 10% ини ташкил этади; ўзакдаги индукция ошиши билан бокдаги қувват исрофлари кескин ошади ва 1,6 Тл бўлганда – пўлатдаги исрофнинг 50-60% ини ташкил этади.

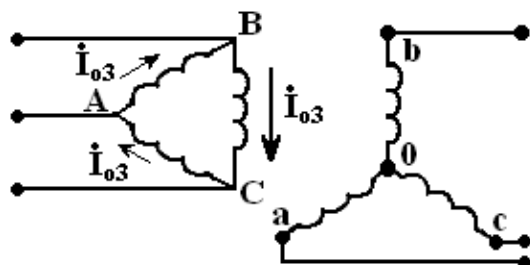
3.9. УЧ ФАЗАЛИ ЧУЛ/АМЛАРИ Δ/Y ВА Y/Δ УЛАНГАН ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКСИЗ ИШЛАШИ ЧУЛҒАМЛАРИ $Y_0/Y_0 = 0$ УЛАНГАН УЧЛАМЧИ ЧУЛҒАМЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Бирламчи чулғам учбурчак уланганда учала фазадаги токнинг учинчи гармоникаси бир хил йўналишда оқиши учун контур вужудга келади. (3.14 -расм). Агар юксиз ишлаш токи таркибида учинчи гармоника мавжуд бўлса, у ҳолда магнит оқими билан бирламчи ва иккиламчи э.ю.к. ларининг эгри чизиқ шакллари синусоидалга яқинлашади (3.12, а расм), яъни юқорида кўрсатилган ҳамма нохуш жараёнлар бартараф этилади. Бу эса Δ/Y уланишнинг Y/Y га нисбатан афзалликларини кўрсатади.

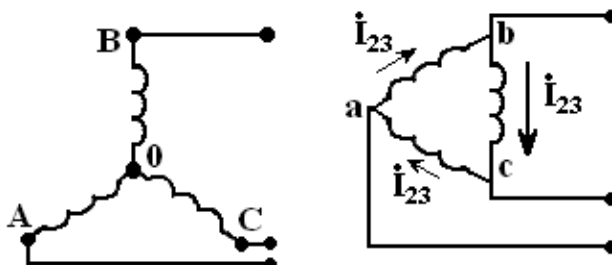
Кўрилатган Δ/Y ва унинг акси бўлмиш Y/Δ уланишларининг (3.14 ва 3.15-расмлар) айтарли фарқи йўқдир. Хақиқатдан ҳам, бирламчи чулғам Δ эмас Y уланса, магнитловчи токнинг таркибидаги учинчи гармоника бартараф этилади (ёки сусаяди) ва магнит оқим носинусоидал шаклга келади. (3,12, б-расм). Оқимнинг учинчи гармоника Φ_3 си иккиламчи чулғамнинг ҳар бир фазасида ўзидан 90° га кечикувчи э.ю.к. нинг учинчи гармоникасини E_{23} ни индуктивлайди.

Э.ю.к. E_{23} иккиламчи чулғам учбурчаги берк контурида оқувчи I_{23} токни ҳосил қилади. I_{23} токи E_{23} э.ю.к. дан тахминан 90° га кечикади, чунки чулғам индуктив қаршилигидан каттадир. Бундан кўринадики, I_{23} токи ва ҳосил қилган Φ_3

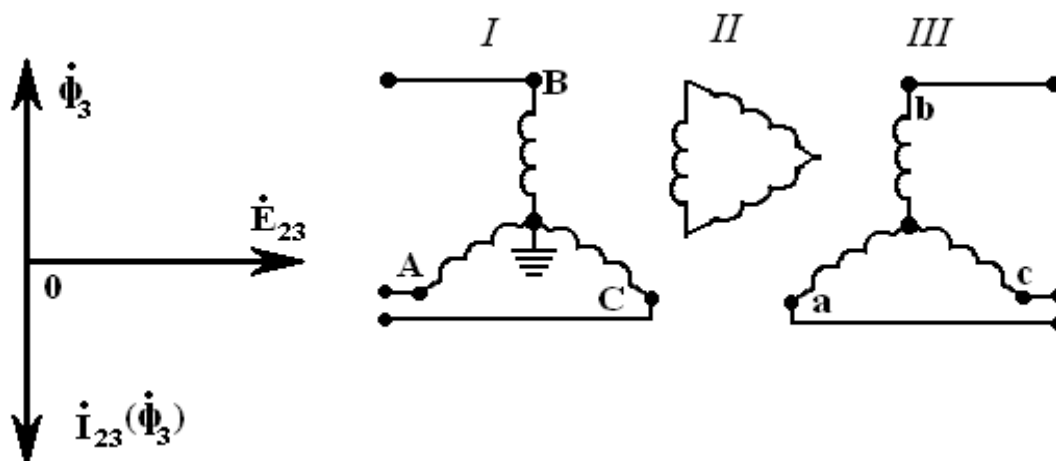
магнит оқими бирламчи чулғам магнит оқимининг учинчи гармоникаси Φ_3 га нисбатан акс фазада бўлиб, уни компенсациялайди. Шу



3.14 – расм. Чулғамлари Δ/Y улангандаги юксиз ишлаш токининг учинчи гармоникаси.



3.15 – расм. Чулғамлари Y/Δ уланган трансформатор юксиз ишлаш тоқларининг учинчи гармоникалари.



3.16 – расм. Чулғамлар
Y/ Δ улангандаги I_{23}
токининг таъсири.

3.17 – расм. Учламчи чулғамли трансформатор
схемаси.

туфайли натижавий оқим ва э.ю.к. ларнинг эгри чизиқлари синусоидалга яқинлашадилар.

Шундай қилиб, чулғамларнинг Y/Δ , ҳамда Δ/Y уланишлари трансформаторни магнит оқим ва э.ю.к. лари учинчи гармоникаларининг таъсиридан асрайди.

Катта қувватли ва юқори кучланишли трансформаторларда, юқорида тилга олинган камчиликлар туфайли, $Y_0/Y_0 - 0$ уланиш схемалари қўлланилмайди. Аммо, баъзи ҳолларда трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларини заминлаш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Бу ҳолларда, иккала чулғам юлдузча уланади ва шу билан бирга учбурчак уланган қўимча учламчи чулғам киритилди (3.17- расм). Бу учламчи чулғамга нисбатан магнит оқимнинг учинчи гармоникаси Y/Δ - II гуруҳдаги сингари таъсир кўрсатади.

Учламчи чулғамли трансформаторлар кам учрайди, чунки кўпинча Ю.К. чулғаи заминланади.

ТЎРТИНЧИ БОБ

4. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ҚИСҚА ТУТАШУВ РЕЖИМИ

4.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР ҚИСҚА ТУТАШУВ КУЧЛАНИШИ

Трансформаторларнинг қисқа туташуви деб унинг шундай чекланган режимига айтиладики, бунда иккиламчи чулғам ўз-ўзига қисқа (қаршилиги нолга яқин бўлган ўтказгич билан) уланиб, бирламчи чулғамга u_1 ўзгарувчан кучланиш уланади. Шу сабабли, иккиламчи чулғам кучланиши u_2 қ 0 бўлади.

Агар трансформаторнинг қисқа туташувида унинг бирламчи чулғамига номинал ёки унга яқин бўлган кучланиш узатилса, у холда чулғамлардаги қисқа туташув токлари номинал токлардан 10-20 марта каттароқ бўлади. Бунга сабаб чулғамлар қаршиликларининг нисбатан кичиклигидир. Трансформаторнинг бундай режим унинг эксплуатацияси жараёнида учраб туриши учун уни эксплуатацион қисқа туташув (авария қисқа туташуви) деб аталади. Бу режимда жуда катта электродинамик кучлар вужудга келиши ва иссиқлик ажралиши сабабли трансформатор учун жуда хавфли ҳисобланади. Шу сабабли, трансформатор керакли даражада механик ва термик мустаҳкамликка эга бўлиши, унинг электр схемаси эса қисқа (одатда I сек. дан кам) вақт ичида трансформаторни ўчира оладиган ҳимояни кўзда тутилган бўлиши шарт. Агарда ҳимоя трансформаторни ўз вақтида ўчира олмаса, у аварияга учрайди.

Трансформаторнинг яна бошқа қисқа туташув режими – қисқа туташув синовидир. Синовни ўтказишда трансформаторнинг бирламчи чулғамига пасайтирилган кучланиш узатилади ва унинг қисқа туташув кучланиши ва сарфланаётган қисқа туташув қувват исрофи ўлчанади. Бунда фойдали иш бажарилмайди. Трансформаторнинг бундай режими қисқа туташув синови дейилади.

Бу ерда яна бир бор шуни таъкидлаш керакки, юксиз ишлаш режими билан биргаликда, қисқа туташув режими трансформаторлар назарияси ва эксплуатациясида муҳим аҳамиятга эга.

Фараз қилайлик, трансформаторнинг бирламчи чулғамидаги тоklar номиналга тенг бўлсин. $u_{\text{кн}}$ кучланишнинг мазкур чулғам номинал кучланишига нисбатан фоизда ҳисобланган қиймати қисқа туташувнинг номинал кучланиши ёки соддароқ – қисқа туташув кучланиши дейилади. Бунда, соддалаштириш учун “Н” индекси тушириб қолдирилади, яъни

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{\text{к}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

Синов қоидаларига кўра қисқа туташув кучланиши чулғамларнинг нормал ишлашдаги ҳароратига келтирилади. Уч фазали икки чулғамли трансформаторлар учун 4.1-жадвалда келтирилган қийматлар қабул қилинган. Ундан кўринадики, трансформаторнинг қуввати ва кучланиши ошган сари, қисқа туташув кучланиш қиймати ортади. қисқа туташув кучланиши бошқа муҳим қийматлар қаторида, трансформаторнинг паспортида келтирилади.

4.1-жадвал

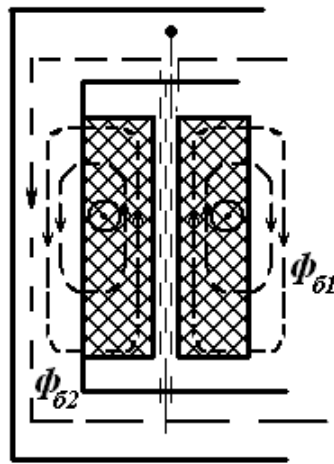
Трансформатор қуввати, кВА	Номинал кучланиш, кВ	U _к , %
5 – 5600	6.3 ва 10	5.5
50 – 2400	35	6.5
320 – 4200	35	7,0
5600 – 10000	35 – 38,5	7.5
15000 – 31500	35 – 38,5	8,0
3200 - 60000	110 - 121	10,5

4.2. ТРАНСФОРМАТОР ҚИСҚА ТУТАШУВДА ИШЛАШИНING ФИЗИК ЖАРАЁНЛАРИ

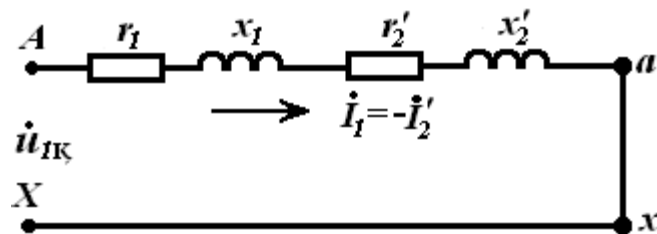
Иккиламчи чулғам қисқа туташтирилган трансформаторларнинг бирламчи чулғамига синусоидал ўзгараётган кучланишнинг шундай қийматини узатайликки бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги ток I_1 ва I_2 лар ўзларининг номинал қийматларига тенг бўлсин. I_1 ва I_2 тоқлар бирламчи $I_1 W_1$ ва иккиламчи $I_2 W_2$ м.ю.к. ларни ҳосил қиладилар. Улар ўзаро таъсир этиб магнит ўзакда иккала чулғамнинг кесиб ўтувчи Φ_k магнит оқимини ҳосил қиладилар. Бундан ташқари $I_1 W_1$ ва $I_2 W_2$ м.ю.к. лар бирламчи $\Phi_{\sigma 1}$ ва иккиламчи $\Phi_{\sigma 2}$ тарқоқ магнит оқимларини ҳосил қиладилар. Мазкур оқимлар ҳар қандай чулғамларда уларнинг м.ю.к. лари ёрдамида ҳосил бўладилар ва фақат мазкур чулғамларни кесиб ўтадилар деб фараз қиламиз (4.1–расм). Магнит оқим Φ_k бирламчи ва иккиламчи чулғамларда E_{1k} ва E_{2k} э.ю.к. ларини, тарқоқ оқимлар эса $\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 \cdot X_1$ ва $\dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 \cdot X'_2$ э.ю.к. ларни индуктивлайдилар. У ҳолда (1.33) ва (1.34,а) га кўра бирламчи ва иккиламчи чулғамлар э.ю.к. лари тенгламалари қуйидагича бўлади:

$$\dot{u}_{1k} = -(E_{1k} - jI_1 \cdot X_1 - I_1 \cdot r) = -\dot{E}_{1k} + \dot{I}_1 Z_1; \quad (4.1)$$

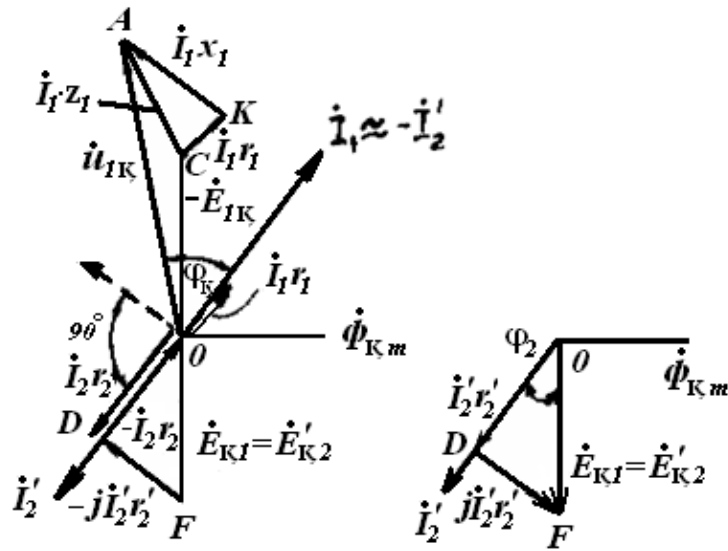
$$\dot{u}'_{2k} = -\dot{I}'_2 (r_2 + jX'_2) = \dot{E}_{2k} - \dot{I}_{2k} \cdot Z'_2 = 0 \quad (4.2)$$



4.1 – расм. Трансформаторнинг қисқа туташгандаги тарқок магнит оқимлари.



4.2 – расм. Қисқа туташувдаги алмаштириш схемаси.



4.3 – расм. Қисқа туташган трансформаторнинг вектор диаграммаси

Бирламчи кучланиш u_{1K} номинал кучланишнинг 5-10% нигина ҳосил қилганлиги сабабли ўзакдаги асосий магнит оқим Φ_K ва уни ҳосил қилаётган $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 \cdot w_1$ м.ю.к. ларнинг қийматлари жуда кичик ва уларни ҳисобига олмаса ҳам бўлади.

У ҳолда трансформаторнинг қисқа туташув режимида унинг м.ю.к. лар тенгламалари (1.32,а) ва (1.32,б) тенгламаларга кўра

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 \approx 0 \quad \text{ёки} \quad \dot{I}_1 \approx -\dot{I}_2^1 \quad (4.3)$$

бўлади.

Юқоридаги (4.2) ва (4.3) лардан фойдаланиб (4.1) ни қуйидагича кўринишда ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} U_{1k} &= I_1 Z_1 + \dot{I}_1 \cdot Z_2^1 = I_1 \cdot [(r_1 + jX_1) + (r_2^1 + jX_2^1)] = \\ &= \dot{I}_1 [(r_1 + r_2^1) + j(X_1 + X_2^1)] = \dot{I}_1 (r_k + jX_k) = \dot{I}_1 \cdot Z_k \end{aligned} \quad (4.4)$$

Юқорида келтирилган $r_k = r_1 + r_2^1$, $X_k = X_1 + X_2^1$ ва $Z_k = \sqrt{r_k^2 + X_k^2}$ қаршиликлар трансформаторнинг қисқа туташув параметрлари дейилади.

4.3 ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ҚИСҚА ТУТАШУВИДАГИ АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИ ВА ВЕКТОР ДИАГРАММАЛАРИ

Юқоридаги (4.4) тенгламани ток I_1 нисбатан ечсак:

$$I_1 = \frac{U_{1k}}{Z_1 + Z_2'} \quad (4.5)$$

Демак, иккиламчи чулғами қисқа туташса ва бирламчи чулғамга U_{1k} кучланиш уланса, у ҳолда қаршиликлари $Z_1 + jX_1$ ва $Z_2^1 = r_2^1 + jX_2^1$ бўлган бирламчи ва иккиламчи чулғамлари кетма-кет уланган трансформатор билан алмаштириш мумкин. Бундай схемани юқорида кўрилган (4.2-расм) схемадан магнитловчи ток I_0 ни нолга тенглаштириб ҳосил қилиш мумкин ($Z_c^1 = 0$ ва $Z_m \approx \infty$)

Агар Φ_k – қисқа туташувдаги асосий магнит майдони вектори бўлиб, уни ихтиёрий йўналишда жойлаштирилса (4.3,а-расм), шу оқимнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларда индуктивлаган ($\dot{E}_{1k} = \dot{E}_{2k}^1 = O\bar{F}$) э.ю.к. лар векторлари Φ_k -дан 90° га кечикади. E_{2k}^1 векторига $\Psi_{2k} = \arctg(x'_2 / r'_2)$ бурчак остида иккиламчи ток I'_2 вектори жойлаштирилади. I'_2 дан 90° кечикувчи тарқоқ э.ю.к. E'_{2k} векторига $\Psi_{2k} = \arctg(x'_2 / r'_2)$ бурчак остида иккиламчи ток I'_2 вектор жойлаштирилади. I'_2 дан 90° С га кечикувчи тарқоқ э.ю.к. $\dot{E}'_{\delta 2} = -jI'_2 \cdot x'_2$ вектори ва ток I'_2 вектор билан акс фазада бўлган $-I'_2 \cdot r'_2$ векторлари жойлаштириладилар. Юқоридаги (4.2) тенгламада келтирилганга биноан, э.ю.к. $\dot{E}'_{2k}, -jI'_2 x'_2$ ва $-I'_2 \cdot r'_2$ ларнинг геометрик йиғиндисини аниқласак, ўз-ўзига берк тўғри бурчакли учбурсак OFD ни ҳосил қиламиз. Бироқ қисқа туташув вектор

диаграммасини курганда (1.23, б) тенгламадан ҳам фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда, э.ю.к. $-j\dot{I}'_2 x'_2$ ва $-\dot{I}'_2 r'_2$ лар векторини эмас, балки мос равишда уларга тенг, аммо қарама-қарши йўналган (акс фазада бўлган) индуктив ва актив кучланишлар пасаяови $j\dot{I}'_2 x'_2$ ва $\dot{I}'_2 r'_2$ ларини (4.3,б-расм) жойлаштирамиз. (3.4) тенгламага кўра бирламчи ток $\dot{I}_1$ вектори $\dot{I}'_2$ векторига тенг ва акс фазада бўлади.

Бирламчи кучланиш вектори $\dot{U}_{1k} = \overline{OA}$ ни (4.1) тенгламадаги кучланиш ташкил этувчилари $\dot{E}_{1k} = \overline{OS}$, $\dot{I}_1 r_1 = \overline{SK}$ ва $j\dot{I}_1 x_1 = \overline{KA}$ ёрдамида қуриш қулайроқдур. $\dot{I}_1$ токнинг $\dot{U}_{1k}$ кучланишга нисбатан фазаси φ_k бурчак билан ифодаланади.

Шу вектор диаграммасини (4.2-расмда) келтирилган алмаштириш схемаси ёрдамида қайта курсак, ўзининг содда ва аниқлиги билан фарқланувчи қисқа туташув учбурчагига айланади.

Бунинг учун бирламчи ток $\dot{I}_1$ ни ордината ўқиға мусбат йўналишда жойлаштирамиз (4.4-расм) ва маълум бўлган усул билан кучланишлар пасаяови $\dot{I}_1 \cdot Z_1$ ва $\dot{I}_1 Z'_2$ ларини кўрамиз. Кучланишлар пасаяови векторларини қўшиш кетма-кетлиги ўзгаришида фарқ бўлмайди. Шунинг учун, 0 нуқтадан бошлаб (4.4-расм) кўрсатилганидек кетма-кетликда узлуксиз чизиқлар билан чизишимиз мумкин. ОВА учбурчаги қисқа туташуви учбурчаги деб аталади. Унинг катетлари U_k қисқа туташув кучланишининг актив ва индуктив ташкил этувчиларини ҳосил қиладилар ва трансформаторнинг актив ва индуктив қисқа туташув кучланишлари деб аталади.

4.4,а-расмдан кўринадики,

$$DB = I_1 r_1 + I_1 r'_2 = I_1 + r_k; \quad (4.6, a)$$

$$BA = I_1 X_1 + I_1 X'_2 = I_1 X_k; \quad (4.6, б)$$

$$QA = \sqrt{OB^2 + BA^2} = I_1 \cdot \sqrt{r_k^2 + X_k^2} = I_1 \cdot Z_k; \quad (4.6, в)$$

ва

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{BA}{OB} = \frac{X_k}{r_k} \quad (4.7)$$

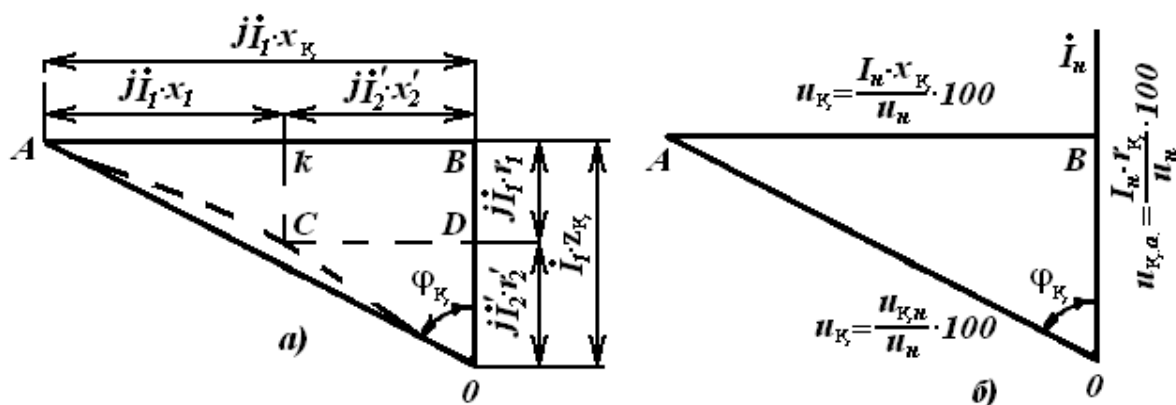
Трансформаторларнинг эксплуатациясида ишлатиладиган қисқа туташув учбурчаги учун I_1 қ I_{1H} токи олиниб, учбурчакнинг ҳамма томонлари номинал кучланиш U_{1H} нинг фоизига келтирилади. Бунда, уларга вектор тусини бермасдан, соддалаштирилган ҳолда чизишимиз мумкин (4.4, б-расм).

Шундай қилиб,

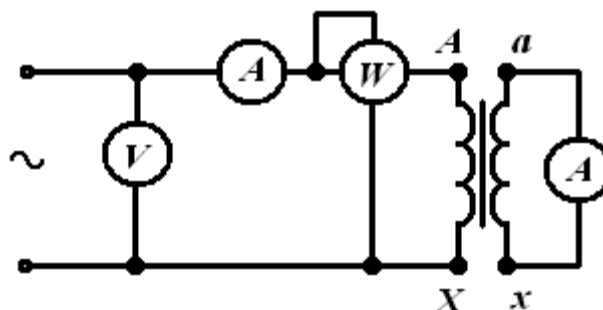
$$OB = u_{k,a} = \frac{I_H \cdot r_k}{u_H} \cdot 100; \quad (4.8, a)$$

$$BA = u_{k,p} = \frac{I_H \cdot Z_k}{u_H} \cdot 100; \quad (4.8, б)$$

$$OA = u_k = \frac{I_H \cdot Z_k}{u_H} \cdot 100. \quad (4.8, \epsilon)$$



4.4—расм. Трансформаторнинг қисқа туташув учбурчаклари.



4.5—расм. Қисқа туташув синови схемаси.

Бунда $u_{k,a}$ ва $u_{k,p}$ лар қисқа туташув кучланишининг актив ва реактив ташкил этувчилари деб аталади.

4.4. ҚИСҚА ТУТАШУВДАГИ ҚУВВАТ ИСРОФЛАРИ ВА ТРАНСФОРМАТОР ҚИСҚА ТУТАШУВИ ПАРАМЕТРЛАРИНИ АНИҚЛАШ. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ҚИСҚА ТУТАШУВИ

Қисқа туташув жараёнида асосий магнит оқими Φ_k нинг қиймати кичик бўлганлиги сабабли магнит ўтказгичнинг пўлатдаги қувват исрофи жуда кичик бўлиб, уни ҳисобга олмаслик мумкин ва қисқа туташув қуввати P_k фақат мисдаги (чулғамлардаги) P_{m1} ва P_{m2} қувват исрофига сарфланади, яъни

$$P_k = P_{m1} + P_{m2} \quad (4.9)$$

Мисдаги т исрофи қуйидагилардан иборат:

а) чулғамларнинг ўзгармас токка кўрсатадиган (Омик) қаршиликлари r_{1a} ва r_{2a} да ажралувчи P_{ma} мисдаги асосий исрофлар;

б) чулғамларда ҳосил бўлувчи қушимча қувват исрофлари – уярма тоқлар ҳосил қилган исрофлар, ўтказгичлар кесишувидан ҳосил бўлган

номукамаллик сабабли исроф ва тарқоқ оқимларнинг бок деворларидан ўтиши натижасида ажралувчи исрофлардан иборат.

Мисдаги асосий қувват исрофи чулғамдаги исрофнинг асосий қисмини ташкил этади:

$$P_{Ma} = I_1^2 \cdot r_{1a} + I_2^2 \cdot r_{2a} \quad (4.10)$$

Мисдаги қўшимча қувват исрофи масаласи мураккаб бўлиб, уни аниқлаш махсус муаммо ҳисобланади. Кўпинча уни асосий қувват исрофи таркибига эмпирик аниқланган қўшимча исроф коэффициентлари (K_{r1} ва K_{r2}) орқали қаршилик r_{1a} ва r_{2a} ларни катталаштириш йўли билан киритилади, яъни $r_1 = r_{1a} \cdot k_{r1}$ ва $r_2 = r_{2a} \cdot k_{r2}$,

Шундай қилиб,

$$P_k = P_{M1} + P_{M2} = I_1^2 \cdot r_1 + (I_2^1)^2 \cdot r_2^1 = I_1^2 \cdot r_1 + I_1^2 \cdot r_2^1 = I_1^2 \cdot r_k. \quad (4.11)$$

қўшимча қувват исрофларининг қийматлари чулғам турларига (концентрик ва алмашувчи), чулғам ўтказгичи кесим юзасининг шаклига (айлана ёки тўртбурчакли), чулғам тузилишига ва ҳ.к. боғлиқдир. Нормал шароитларда K ва K коэффициентларнинг қийматлари 1,05÷1,15 оралиқда, баъзи ҳолларда эса каттароқ бўлади.

Юксиз ишлаш қуввати P_{OH} сингари, қисқа туташув қуввати $P_{K,H}$ ҳам муҳим эксплуатацион аҳамиятга эга. Унинг қийматини ($P_{K,H}/P_H$)·100 нисбат қиймати орқали кўриш мумкин, бунда $P_{K,H}$ -қисқа туташув қувватининг $I_1 k I_{1H}$ ва чулғам ҳарорати 75°C бўлгандаги қиймати. Бу нисбатнинг қийматлари ҳар хил қувватли уч ва бир фазали икки чулғамли трансформатор учун 4.1-жадвалда келтирилган

4.1- жадвал.

5-20	3,7-3
30-240	3-2
320-5600	2-1
7500-60000	1-0,4

Агар юксиз ишлаш ва қисқа туташув қувватларини солиштирсак у ҳолда нормал трансформаторлар учун $P_0:P_K \approx 1:(2,5 \div 4,0)$ эканлигини кўрамыз.

Трансформатор ф.и.к. эгри чизиғининг шаклига P_0/P_K нинг қиймати катта таъсир кўрсатади.

Трансформаторнинг қисқа туташув параметрларини аниқлаш учун қисқа туташув тажрибаси бажарилади. 4.5-расмда бир фазали трансформаторнинг қисқа туташув синовини учун схемаси кўрсатилган.

Агар тажриба натижаларидан кучланиш I_K , ток I_1 ва қувват P_K лар олинса, у ҳолда қисқа туташув қаршиликларини ҳисоблаш мумкин:

$$Z_{KK} = \frac{U_K}{I_1}, \quad (4.12,a)$$

$$r_K = \frac{P_K}{I_1^2} \quad (4.12,b)$$

ва

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} \quad (4.13)$$

қисқа туташув параметрлари аниқланса, қисқа туташув кучланиши ва унинг ташкил этувчилари $I_{K,A}$ ва $I_{K,P}$ ларни ҳисоблаш мумкин:

$$U_K = \frac{I_H \cdot Z_K}{U_H} \cdot 100; \quad (4.14,a)$$

$$U_{Ka} = \frac{I_H \cdot r_K}{U_H} \cdot 100 = \frac{I_H^2 \cdot r_K}{U_H \cdot I_H} \cdot 100 = \frac{P_{K,H} [B_T \cdot]}{10 \cdot P_H [kBT]}; \quad (4.14,b)$$

$$U_{K,P} = \frac{I_H \cdot X_K}{U_H} \cdot 100 \quad (4.14,v)$$

қисқа туташув кучланишининг ташкил этувчилари, асосан, трансформаторнинг қувватига боғлиқ. Номинал қувват ошиши билан унинг қиймати узлуксиз камаяди, унинг қиймати эса ошиб боради. Натижада, номинал қувват ошиши билан интенсив ошади.

Уч фазали трансформаторлар қисқа туташуви тўғрисида гапирганда фақат учала фазадаги, яъни симметрик қисқа туташув деб номлангани кўзда тутилади.

Қисқа туташувнинг махсус ҳоллари - бир фазали ва икки фазали кейинроқ. УИ бобда кўрилади.

Уч фазали трансформаторларнинг симметрик туташуви бир фазали трансформаторнинг қисқа туташувиға ўхшашдир. Бу ўхшашликка асосий сабаб - магнит ўзакнинг тўйинмаганлигидир. Шунинг учун фазалар орасида ток ва қувватлар симметрик тақсимланадилар ва э.ю.к. эгри чизигининг шакли ўзгармайди.

Шунга асосланиб, юқорида бир фазали қисқа туташув учун келтирилган маълумотларни уч фазали симметрик қисқа туташувга тадбиқ этишимиз мумкин. Бунда фақат шуни эсда тутиш керакки, ҳисобларни бир фаза учун олиб борилади.

4.5. КОНЦЕНТРИК ВА АЛМАШИНУВЧИ ЧУЛҒАМЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРДА ТАРҚОҚ МАГНИТ ОҚИМЛАРИ

Агар трансформаторнинг икки чулғами м.ю.к. лари ўзаро мувозанатда бўлса, яъни $I_1^2 \cdot W_1 = -I_2 \cdot W_2$, у ҳолда тўла ток $I_1 \cdot W_1 + (-I_2 W_2) = 0$ бўлади. Бу ҳолатда натижавий м.ю.к. нинг иккала чулғамини кесиб ўтувчи магнит оқими йўқдир. Ушбу шароит трансформаторнинг қисқа туташуви (4.1-расм) режимга жуда яқиндир. Умумий ҳолда $I_1 \cdot W_1 = -I_2 W_2 + I_0 \cdot W_1$ ёки $I_1 W_1 - I_0 \cdot W_1 = (I_1 - I_0) \cdot W_1 = I_{\delta 1} W_1 = -I_2 \cdot W_2$, яъни бу ҳолда тарқоқ магнит оқимларни $I_{\delta 1}$ ва I_2 тоқлар ҳосил қиладилар.

Тарқоқ оқимлар (ёки тарқоқлик)ни аниқлашни бундай усулини кўп чулғамли трансформаторларга ҳам татбиқ этиш жуда осондир.

Тарқоқлик ҳодисаси трансформаторларнинг стационар режимидаги беҳосдан қисқа туташувидаги унинг баъзи хислатларини ўзгартириб, биринчи ҳолда иккиламчи кучланиш пасаяви, параллел ишлаш шароитлари, трансформатордаги қўшимча қувват исрофларига таъсир этади, иккинчи ҳолда эса, қисқа туташув тоқлари қийматларини ва у билан боғлиқ бўлган механик ва термик таъсир (эффeкт) ларни ўзгартиради. Шунинг учун тарқоқ индуктивлиги ва тарқоқ э.ю.к. ни қисқа туташув кучланиши I_K ни аниқ ҳисоблаш трансформатор назариясининг асосий масалаларидан биридир.

Трансформаторнинг тарқоқ индуктивлиги ва тарқоқ э.ю.к. ни ҳисоблаш учун тарқоқ магнит оқимнинг фазовий тарқалишини билиш керак. Бу эса энг содда чулғамлар учун ҳам мураккабдир ва чулғамлар ўзаро жойланиши ва уларнинг ўлчамларига боғлиқдир. Шунинг учун келтирилиш усулидан фойдаланилади. Бунда, §1.4 да кўрсатилганидек, тарқоқ оқимнинг мураккаб кўриниши, нечоғлик содда, аммо аниқ қийматли (ҳақиқийсига яқин бўлган) натижаларни берувчи соддалаштирилган ҳисобий тарқоқ оқим кўринишига келтирилади.

1. КОНЦЕНТРИК ЧУЛҒАМНИНГ ТАРҚОҚ ИНДУКТИВЛИГИНИ ҲИСОБЛАШ

Аввалига энг содда ҳол бўлган - бирламчи ва иккиламчи чулғамлар бир хил баландликка эга бўлган ва баландлиги бўйича м.ю.к. лари бир хил тарқалган ($i_1 \cdot W_1 = -i_2 \cdot W_2$) цилиндрлардан иборат деб фараз қиламиз. 4.6,а-расмда ўқ ва радиал йўналишдаги ўлчамлари (чулғам баландлигининг кенглигига) нисбати катта бўлган икки концентрик чулғамлар тарқоқ майдонларининг ҳақиқий кўриниши берилган. Бундай кўринишни Роговский услубидан фойдаланиб 4.6,б-расмда кўрсатилган кўриниш билан алмаштирилади. Бунда, биринчи галдаги эътиборни бирламчи ва

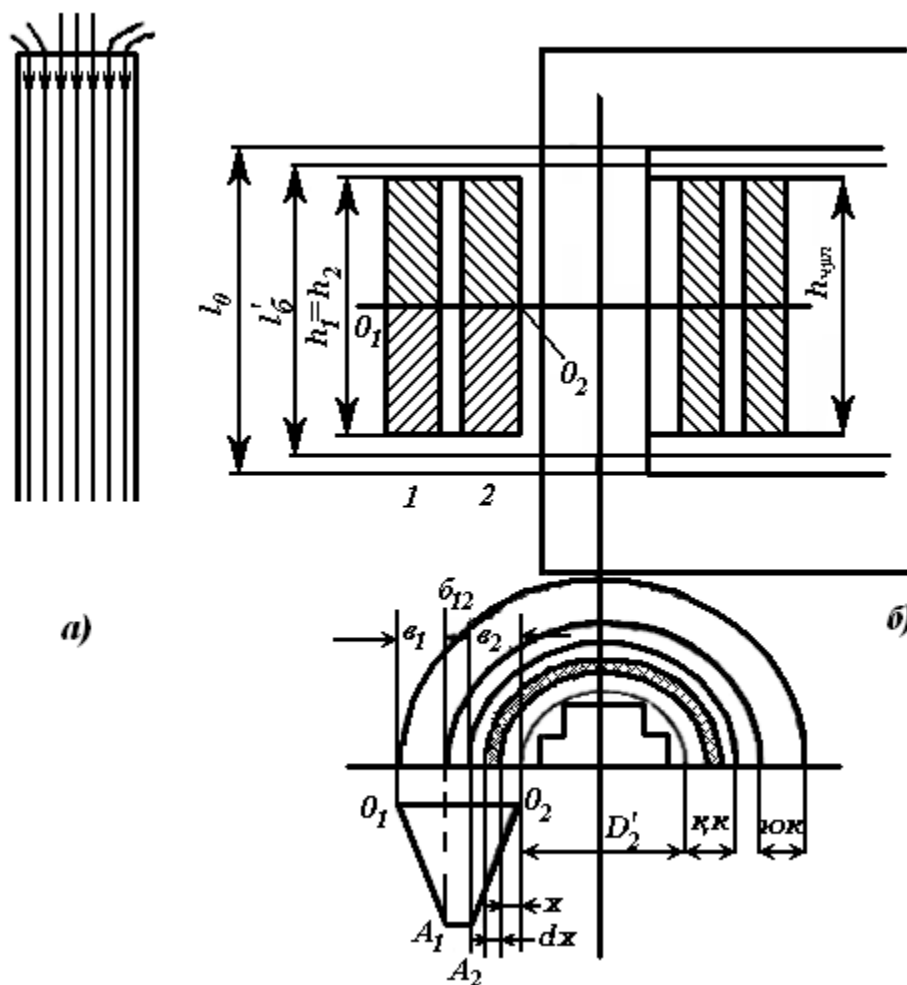
иккиламчи чулғамлар тарқоқ оқимлари марказлари O_1 ва O_2 ларнинг жойлашганига қаратиш керак. Агар ҳар бир чулғам ўзича алоҳида ва бир хил муҳитда жойлашган бўлса, у ҳолда бундай чулғам оқимининг маркази шу чулғамни акс эттирувчи тўғри тўртбурчакнинг диаграммалари кесишган нуқтада жойлашган бўлар эди. Аммо, биз кўраётган ҳолда, магнит куч чизикларининг ён томонга горизонтал тармоқланиши натижасида, тарқоқ оқимлар маркази қарама-қарши йўналишда чулғамнинг чеккасига сурилади ва баландлиги жиҳатидан эса ўзгармайди. Шу билан бирга фарз қилинадики, тарқоқ оқимининг ҳамма куч чизиклари ҳам цилиндрнинг ташкил этувчиларига параллел равишда суриладилар ва ℓ'_8 ҳисобий узунликка эга бўладилар. Бу узунлик оқим куч чизигининг магнит қаршилигини ҳисоблаш учун киритилади, ҳолбуки, куч чизикларнинг қолган қисмлари учун эса магнит қаршилиқ нолга тенг деб қабул қилинади. Назарий тадқиқотлар асосида ℓ'_8 нинг тахминий қийматини аниқлашда қуйидагидан фойдаланиш мумкин:

$$\ell'_8 = \frac{h_{\text{чул}}}{1 - \frac{B_1 + B_2 + \delta_{12}}{\pi \cdot h_{\text{чул}}}} = \frac{h_{\text{чул}}}{K_8}.$$

Бунда $h_{\text{чул}}$ - чулғам баландлиги; B_1 ва B_2 — бирламчи ва иккиламчи чулғамлар қалинлиги; δ_{12} - чулғамлар оралиғи ва K_8 - чулғам баландлиги майдон куч чизикларининг ҳисобий узунлигига келтириш коэффиценти. Чулғамлар қалинликлари ва оралиқ $h_{\text{чул}}$ дан жуда кичик бўлгани учун, концентрик чулғамларда коэффицент K_8 нинг қиймати $K_8 = 0.90 \div 0.91$ бўлади.

4.6, б расмда келтирилган тарқоқ оқим учун магнитловчи куч/м.к./эгри чизигини қуриш мумкин. O_1 ва O_2 марказ нуқталарда м.к. лар қийматлари нолга тенг; сўнгра м.к. лар бирламчи ва иккиламчи тарқоқ оқимлар куч чизиклари билан O_1 ва O_2 марказлар орасидаги масофаларга пропорционал равишда ошадилар. Чулғамларнинг орасида м.к. қиймати ўзгармайди ва бу оралиқнинг биринчи ярми эса иккиламчи тарқоқ оқим билан тўлган деб фарз қиламиз.

Бирор, масалан, 2 рақамли чулғамнинг тарқоқлик индуктивлигини ҳисоблайлик. Бунда, унинг ўрамлари сони чулғам 1 ўрамлари сонига келтирилган деб фарз қиламиз. Ҳисоблаш икки индуктивликни аниқлашдан иборат. Булар кенглиги B_2 га тенг бўлган ва м.к. лари узлуксиз ўзгарувчи чулғам индуктивлиги L'_b ва $\delta_{12}/2$ кенгликда м.к. лари ўзгармайдиган L'_8 индуктивликлардан иборат.



4.6 — расм. Концентрик чулғамли трансформаторнинг тарқоқ оқими:
а — майдоннинг ҳақиқий кўриниши; б — келтирилган кўриниши.

Ҳисоблаш қуйидаги кетма- кетликда бажарилади:

а) оқимнинг элементлар найчасини ажратиб оламиз ва чулғамдан 1 А ток оқиб ўтгандаги унинг м.к. ва магнит оқимининг қийматларини аниқлаймиз; б) ушбу магнит найчасининг оқим илашувлари сонини аниқлаймиз; в) мазкур ораликда жойлашган ҳамма найларнинг оқим илашувлари сонини аниқлаймиз.

Индуктивлик $L_{\text{чул}}$ ни ҳисоблаш учун иккиламчи чулғамнинг ички ташкил этувчисидан X масофада жойлашган элементар найчани ажратиб оламиз. Чулғам токи $I_2 \ll I_1$ бўлгандаги бу найчанинг м.к.лари $F_x = 1 \cdot W_1 \cdot X / B_2 = W_1 \cdot X / B_2$ га тенг бўлади. Шу найчанинг магнит қаршилиги қуйидагича аниқланади: $R_{\text{мхк}}(1 / M_0) \cdot \ell_8^1 / [\pi(D_2^1 + 2X)dx]$, бунда, M_0 -ҳаво (мой) нинг магнит сингдирувчанлиги; - иккиламчи чулғамнинг ички диаметри.

Шундай қилиб, ажратиб олинган элементар найчанинг $d\Phi_x$ оқим ва унинг оқим илашувлари сони $d\Psi_x$ қуйидагиларга тенг бўлади:

$$d\phi_x = \frac{F_x}{R_{\mu x}} = \mu_0 \cdot w_1 \frac{X}{b_2} \cdot \frac{\pi(D_2^2 + 2x)}{\ell' \delta} dx;$$

$$d\Psi_x = d\phi \phi = d\phi_x \cdot w_1 \frac{X}{b_2} = \mu_0 \left(w_1 \cdot \frac{X}{b_2} \right)^2 \cdot \frac{\pi(D_2^2 + 2x)}{\ell' \delta} dx.$$

Чулғамдан I A га тенг ток оққандаги чулғамнинг кенглигидаги оқим илашувлари сони, (яъни чулғам индуктивлиги) қуйидагича аниқланади:

$$L'_B = \int_0^{l_2} d\Phi_x = \mu_0 \cdot W_1^2 / \ell'_\delta \cdot [(\pi \cdot b_2 / 3) \cdot (D_2^2 + 3b_2 / 2)]$$

Индуктивликнинг иккинчи ташкил этувчиси юқоридагидек ҳисобланади. Фарқи шундаки, чулғамлар орасидаги магнит найчаси иккиламчи чулғамнинг ҳамма м.к.лари томонидан ҳосил қилинади ва мазкур чулғамнинг ҳамма ўрамлари билан илашади. Шунинг учун кенглик бўйича оқим илашувлари сони қуйидагига тенг бўлади:

$$L'_{\delta_1} = \int_0^{\delta} W_1 \cdot d\Phi_x = W_2^2 \cdot \pi(D'_2 + 2b_2 + 2y) / l'_\delta \cdot d_y = \mu_0 \cdot W_1^2 / l'_\delta \cdot \pi \cdot \delta_{12} / 2 \cdot (D'_2 + 2b_2 + \delta_{12} / 2)$$

Етарли даражада аниқлик билан айтиш мумкинки, L_b ва L_{δ_1} ларнинг таркибидаги $(D'_2 + 3b_2 / 2)(D'_2 + 2b_2 + \delta_{12} / 2)$ нинг ҳар бири иккиламчи чулғамнинг D_{2yp} ўртача диаметрига яқин қийматлардир. У ҳолда иккиламчи чулғам индуктивлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$L'_{\delta_2} = \mu_0 \cdot W_2^2 / l'_\delta \cdot \pi l_{2yp} \cdot (b^2 / 3 + \delta_{12} / 2) = \mu_0 \cdot W_2^2 \cdot G_{2yp} / l'_\delta \cdot (b^2 / 3 + \delta_{12} / 2),$$

бунда $G_{2yp} = \pi \cdot D_{2yp}$ - иккиламчи чулғам ўрамининг ўртача узунлиги.

Шундай ҳисобларни бирламчи чулғам учун ҳам бажарсак

$$L_{\delta_1} = \mu_0 \cdot W_1^2 \cdot (G_{1yp} / \ell'_\delta) \cdot (b_1 / 3 + \delta_{12} / 2)$$

бунда $G_{1yp} = \pi l_{1yp}$ - бирламчи чулғам ўрамининг ўртача узунлиги.

Демак, иккала чулғамнинг тарқоқлик индуктивликлари

$$L_\delta = L'_{\delta_1} + L_{\delta_2} = \mu_0 \cdot W_1^2 \cdot G_{yp} / \ell'_\delta \cdot [\delta_{12} + (b_1 + b_2) / 3] = \mu_0 \cdot W_1^2 \frac{G_{yp} \cdot K_\delta}{h_{чул}} \cdot \delta$$

Бунда $G_{yp} = (G_{1yp} + G_{2yp}) / 2$ - иккала чулғам ўрамларининг ўртача узунлиги;

$\delta' = \delta_{12} + (b_1 + b_2) / 3$ - чулғамлар оралиғининг келтирилган кенглиги.

Юқорида келтирилганидек $X_k = X_1 + X'_2 = 2\pi f (L'_\delta + L_{\delta_2}) = 2\pi f \cdot L$ бўлганлиги учун, трансформаторнинг индуктив қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$X_k = 2\pi \cdot \mu_0 \cdot f \cdot W_1^2 \cdot (G_{yp} \cdot K_\delta \cdot \delta') / h_{чул} \quad (4.17)$$

Шунга ўхшаш қисқа туташув кучланишининг индуктив ташкил этувчиси

$$\begin{aligned} U_{к.р.} &= I_H \cdot X_k / U_H \cdot 100 = \mu_0 \cdot 2\pi \cdot f \cdot I_H \cdot W_1^2 / U_H \cdot G_{yp} \cdot K_\delta \cdot \delta / h_{чл} \cdot 10^{-2} = \\ &= \mu_0 \cdot 2\pi f \cdot (P_H \cdot K_{yz} / E_{yp}^2) \cdot (G_{yp} \cdot K_\delta / h_{чл}) \cdot \delta' \cdot 10^2 \end{aligned} \quad (4.18)$$

Бунда P_H – трансформаторнинг номинал қуввати (В.А); E_{yp} – ўрамнинг э.ю.к.си; K_{yz} – номинал қувватнинг қандай бўлаги трансформаторнинг бир ўзагига тўғри келишини кўрсатувчи коэффициент; бир фазали трансформаторларда чулғамлар икки устунда жойлашади, шу сабабли (1.1-расм) $K_{yz} \approx 1/2$; уч фазалиларда ҳар бир чулғами алоҳида устунда жойлашганлиги сабабли $K_{yz} \approx 1/3$.

Аксарият қувват P_H кВа да, узунлик ўлчамлари эса метрда ва $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-1} \text{ ГН/м}$ эканини ҳисобга олсак, у ҳолда

$$U_{к.р.} = 0.79 \cdot f (P_H \cdot K_{yz} / E_{yp}^2) \cdot (G_{yp} \cdot K_\delta / h_{чл}) \cdot \delta' \cdot 10^{-2} \quad (4.19)$$

Юқоридаги (4.19) тенглик трансформаторсозликда муҳим аҳамиятли бўлиб, $U_{к.р.}$ нинг қиймати трансформатор тузилишини аниқловчи баъзи катталиклар билан боғлайди.

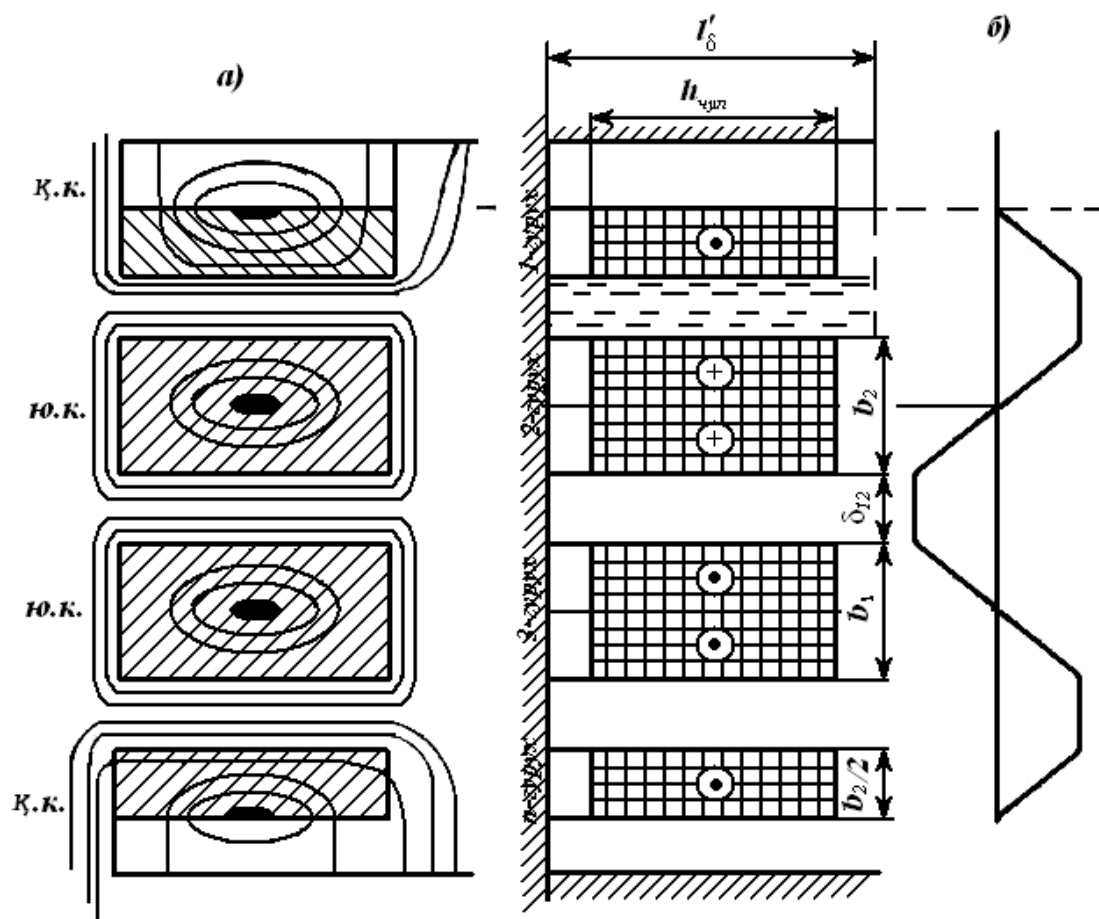
II. АЛМАШИНУВЧИ ЧУЛҒАМЛАРДАГИ ТАРҚОҚЛИК ИНДУКТИВЛИГИНИ ҲИСОБЛАШ

Концентрик чулғам трансформаторларининг $U_{к.р.}$ ини ҳисоблашдаги келтирилган мулоҳазаларни алмашинувчи чулғамлар $U_{к.р.}$ ини ҳисоблашда ҳам, маълум ўзгаришлар билан қўллаш мумкин.

Схематик равишда алмашинувчи чулғам 4.7, а расмда кўрсатилган. Ю.К ва қ.К ли чулғамлар, асосан, тенг сонли ўрамлардан ташкил топган қ.К чулғам ўрамларидан бир икки ўхшаш ярим ўрамаларга ажратилиб, К.К. чулғамлари шу ярим ўрамлар орасида жойлаштирилади. Расмда қуюқ нукталар билан атрофларида тарқоқ оқимлар ҳосил қилувчи марказлар ифодаланган. Бундай магнит куч чизикларининг реал кўриниши келтирилган (4.7,б расм) куч чизиклари билан алмаштирилган. Бу куч чизиклар (штрих чизиклар) ўзак ўқиға нисбатан перпендикуляр жойлашган ва ҳисобий узунлиги ℓ'_δ деб қабул қилинган (4.7 б расм ва 4.6, расмдаги тарқоқ оқимлар жойланишини таққосланг)л Кўрилатган чулғам м.ю.к. нинг эгри чизиги 4.7, расмда берилган. М.к. эгари чизиги ордината ўқиға нисбатан симметрик жойлашганлиги учун, 4.7, а расмдаги алмашинувчи чулғам симметрик чулғам дейилади. Ундан кўринадики, ҳамма чулғамни ҳар бири ю.к. ва К.К. чулғамларининг ярим ўрамларидан иборат бўлган п

та кетма-кет уланган гуруҳларга ажратиш мумкин. Ҳар бир гуруҳнинг м.к.лар эгри чизиғи юқорида қурилган концентрик чулғам м.к.лар эгри чизиғига ўхшаш бўлади. (4.7 б расм). Шунинг учун алмашинувчи чулғам индуктивлигини аниқлашда концентрик чулғамлар учун келтириб чиқарилган (4.16) ва (4.17) формулалардан фойдаланиш мумкин.

Бунда алмашинувчи чулғамни 12 та кетма-кет уланган концентрик $w \frac{1}{n}$ ўрамлар сони бўлган чулғамлардан иборат деб қабул қилинади. Бу



4.7 — расм. Алмашинувчи чулғамли трансформаторнинг тарқоқ оқими ва м.к.н.и.

ҳолда (4.18) формулага асосан

$$L_{\delta} = \mu_0 \left(W \frac{1}{n} \right)^2 \cdot n \cdot \left(G_{yp} \cdot K \frac{\delta}{h_{чул}} \right) \cdot \delta^1 \quad (4.20)$$

Шунингдек

$$U_{к.р.} = 0.79 \cdot f \cdot (P_H \cdot K_{уз} / E_{yp}^2) \cdot [G_{yp} \cdot K_{\delta} / (h_{чул} \cdot n)] \cdot \delta' \cdot 10^{-2} \quad (4.21)$$

Алмашинувчи чулғамлар учун коэффициент

$$K_{\delta} = 1 - (b_1 - b_{12}) / (\pi \cdot h_{чул}),$$

аксарият 0,65÷0,80 орасида бўлади.

4.6. ТРАНСФОРМАТОР ҚИСҚА ТУТАШУВИДАГИ ЧУЛҒАМЛАРГА ВА БОШҚА ЭЛЕМЕНТЛАРИГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ЭЛЕКТРОДИНАМИК КУЧЛАР

Трансформатор чулғамларида ҳосил бўлувчи электродинamik кучлар бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги тоқларнинг тарқоқ магнит майдонига таъсири натижасида вужудга келадилар. Электродинamik кучлар трансформаторнинг қисқа туташувида айниқса хавфлидир. Шу туфайли трансформаторни тўғри ҳисоблаш ва лойиҳалаш, уларнинг қисқа туташувидаги чулғамларининг емирилишига йўл қўймайди ва улар ишончли ишлашини таъминлайди.

Қувватли трансформаторлар чулғамларидаги қисқа туташув натижасида ўнлаб-юзлаб тонналаб ўлчанувчи ва чулғамларни ишдан чиқариш даражасида хатарли ҳисобланган механик кучлар вужудга келади. Электродинamik кучларга нисбатан бардошли трансформаторларни ҳисоблаш масалаларига ҳозирги пайтда қуйидагилар киради: қисқа туташув тоқларини, тарқоқ магнит оқимларини ва чулғамлар ўқ ва радиал йўналишидаги кучларни аниқлаш; шу билан бирга ўрамаларни, алоҳида ўрамларни, чиқиш симларини ва айрим таркибий қисмларни маҳкамликка ва бардошлиликка махсус текширувлар.

Электродинamik кучларни ҳисоблаш ва сўнгра, чулғамлар мустаҳкамлигини анализ қилиш кўпгина қийинчиликлар билан боғлиқ. Бу тарқоқ магнит оқимининг фазода мураккаб тақсимланиши, чулғамлар эгилувчанлигининг хусусиятлари ва чулғамга таъсир этувчи кучларнинг хосиятлари билан тушунтирилади.

Трансформатордаги электродинamik кучлар магнит майдонда жойлашган тоқли ўтказгичларнинг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўлади.

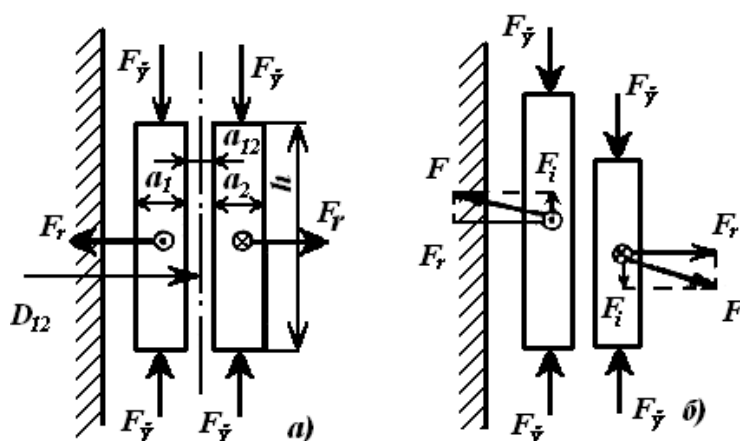
Маълумки, бир-бирига параллел жойлашган ва тоқлари оқётган бирлик узунликка эга бўлган икки ўтказгичга таъсир этаётган кучнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$f = \mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 / (4 \cdot \pi \cdot a). \quad (4.22)$$

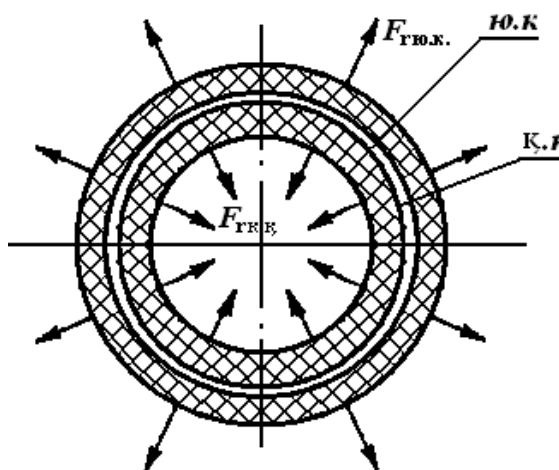
Бунда

μ_0 – ўтказгичлар жойлашган муҳитнинг магнит ўтказувчанлиги;

a – улар орасидаги масофа.



4.8 – расм. Трансформатор чулғамларига таъсир этувчи электродинamik кучлар йўналишлари: а – чулғамлар баландликлари бир хил; б – баландликлари ҳар хил.



4.9-расм. Трансформатор чулғамларига таъсир этувчи радиал кучлар схемаси

Параллел ўтказгичлардан мос йўналишда тоқлар оққанда тортилиб, қарама-қарши йўналган тоқлар оққанда итарилганлиги сингари, бир чулғамнинг ўрамлари ўзаро итарилиб, бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ўрамлари эса ўзаро тортиладилар. Шунинг учун, трансформатор чулғамларига таъсир этувчи кучлар бир чулғамнинг элементлари орасидаги ўзаро таъсир этувчи ички кучларга ва ҳар хил чулғамлараро таъсир этувчи ташқи кучларга ажратиладилар.

Энг оддий ҳолда икки чулғамли трансформаторнинг м.ю.к.лари текис тақсимлан-гандир ва бир хил баландликка эгадирлар (4.8-расм). Бундай ҳолда ташқи кучлар чулғамлар оғирлик марказларини туташтирувчи тўғри чизик бўйлаб, яъни радиал йўналган бўладилар (4.9-расм). Бу кучлар ташқи (Ю.К.) чулғамларни тортиб (устун ўқига тескари йўналишда) ички қ.К.ли (чулғамларни сиқадиладар) 4.8, а расм). Чулғамдаги ички (хусусий) кучлар, аксарият, ўзак ўқи бўйлаб йўналган бўлиб, чулғам ўрамларини бир бирига яқинлаштиришга ҳаракат қиладилар.

Умумий ҳолда чулғамлар м.ю.к.лари нотекис тақсимланган, ҳамда бирламчи ва иккиламчи чулғамлари ўқ йўналиш бўйича нотекис (4.8,б расм) бўлса, электромагнит кучлар майдони мураккаблашади ва Био-Саварнинг қонуни асосида ҳисобланади:

$$df = \left[\dot{\mathbf{q}} \cdot \mathbf{B} \right] \cdot dv,$$

Бунда df – чулғамининг ток зичлигига эга бўлган $\mathbf{B}$ индукцияли магнит майдонида жойлашган ўтказгичининг dv ҳажмдаги элементига таъсир этаётган куч.

Векторлар кўпайтмаси $\left[\dot{\mathbf{q}} \cdot \mathbf{B} \right]$ шунини кўрсатадики, тарқоқ магнит оқимининг ўқ йўналишидаги ташкил этувчиси радиал кучлар F_r ни (4.8-расм), кўндаланг ташкил этувчиси эса ўқ йўналиши кучи F_b ни ҳосил қилади. Тарқоқ майдоннинг ва ток зичлигининг чулғам ҳажмидаги тақсимланиш қонунияти маълум бўлса, чулғамга таъсир этаётган кучнинг қиймати интеграл шаклда ёзилиши мумкин:

$$F = \int_v \left[\dot{\mathbf{q}} \cdot \mathbf{B} \right] dv \quad (4.24)$$

Агар, чулғамларнинг содда геометрик шаклларида $\mathbf{q}$ ва $\mathbf{b}$ ларни чулғамнинг бутун ҳажми бўйича ўзгармас ва ўзаро перпендикуляр деб қабул қилиш мумкин бўлса, электромагнит кучларни ҳисоблаш соддалашади ва қуйидагича ёзилиш мумкин бўлади:

$$F = B \cdot i \cdot \ell_y$$

Бунда i - чулғамдаги ток қиймати; ℓ_y – чулғам ўтказгичининг умумий узунлиги.

Чулғамларга таъсир этаётган кучларни Био-Савар қонунидан ташқари, Лагранж теоремаси асосида ҳам ҳисоблаш мумкин. Унга асосан икки чулғамнинг ўзаро таъсир кучи тарқоқ майдон энергияси W_m нинг электромагнит кучлар йўналиши координатаси бўйича ҳосиласи сифатида аниқлаш мумкин. Агар бу энергияни қуйидаги шаклда ёзиш мумкин бўлса:

$$W_m = 0.5\mu_0 \cdot \int_v (B_\delta^2 \cdot dv) \text{ ёки } W_m = 0.5L_k \cdot i^2, \quad (4.26)$$

бунда L_k – трансформаторнинг қисқа туташув индуктивлиги, у ҳолда

$$F_g = \frac{dW_m}{d_g} = \frac{1}{\mu_0} \int_v B_\delta \frac{dB_\delta}{d_g} \cdot dv = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL_k}{d_g}, \quad (4.27)$$

яъни чулғамларнинг электромагнит таъсир этувчи кучлари токнинг квадрати ва қисқа туташув индуктивлигининг электромагнит кучлар йўналиши координатаси бўйича олинган ҳосиласига пропорционал экан.

Келтирилган (4.27) тенглик орқали радиал ва ўқ йўналишидаги натижавий кучлар (кучлар йиғиндиси)ни юқори аниқлик билан ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун кўндаланг ва бўйлама тарқоқ оқимларнинг индуктивлигини юқори аниқликда ҳисоблаш имкони бўлиши шарт. Тарқоқ оқимларни ҳисоблашдаги асосий фараз шундан иборатки, тарқоқ оқим индукциясининг тақсимланиш диаграммаси м.ю.к.лар тақсимланиш диаграммасига ўхшашдир. Бундай фараз кўндаланг тарқоқ оқимининг индуктивлигини ҳисоблашда катта хатога олиб келмайди. Аммо, ўқ йўналишидаги натижавий кучларни ҳисоблашда улар концентрик чулғамлар орасидаги масофа a_{12} ни оширишга интилишини назарда тутиб, dL / da_{12} ҳосила ва ток қийматларини чиқарамиз:

$$F_r = \frac{1}{2} I_m^2 \frac{dL_k}{da_{12}}. \quad (4.28)$$

қисқа туташув индуктивлиги қуйидагича бўлганлиги сабабли

$$L_k = \frac{\mu_0 \cdot W^2 \cdot \pi \cdot d_{12} \cdot a_p \cdot K_p}{\ell} \quad (4.29)$$

бунда $a_p = a_{12} + (a_1 + a_2)/3$ бўлиб, радиал куч қуйидаги шаклга келади:

$$F_r = \frac{1}{2} I_m^2 \frac{dL_k}{da_{12}} = \frac{\mu_0 (I_m \cdot W)^2 \cdot \pi \cdot d_{12} \cdot K_p}{2\ell} \quad (4.30)$$

Чулғамга таъсир этувчи хусусий ўқ йўналиши кучлари чулғамнинг баландлигини камайтиришга ҳаракат қиладилар, шунинг учун магнит майдон энергиясининг ҳосиласини чулғам баландлиги бўйича олиш керак, яъни

$$F_y = \frac{dW_m}{dl} = \frac{1}{2} I_m^2 \frac{dL_k}{dl} = \frac{\mu_0 (I_m \cdot W)^2 \cdot \pi \cdot d_{12} \cdot K_p}{2l^2} \quad (4.31)$$

Электр узатиш линиясидаги ёки трансформатордаги қисқа туташув натижасида чулғамлардаги тоқлар ва улар ҳосил қилган тарқоқ магнит майдонлар индукцияси вақтга нисбатан мураккаб боғланишда $[i = i(t) \text{ ва } B = B(t)]$ бўладилар.

Электродинамик кучларнинг вақтга боғлиқлик функцияси шу функциялар кўпайтмалари орқали ифодаланиши мумкин:

$$F(t) = K[i(t) \cdot B(t)].$$

Хусусий ҳолда, масалан барқарорлашган режимда $i = I_m \cdot \sin \omega t$ бўлса, электродинамик кучлар вақт функциясида ток давр тезлигидан икки марта катта давр тезликда ўзгаради:

$$F(t) = F_m (1 - \cos 2\omega t).$$

Электродинамик кучнинг даврий ўзгариши чулғамларнинг айрим қисмларида (ўрамларида ёки секцияларида) механик резонанс тебранишларини ҳосил қилиши мумкин.

Трансформаторнинг чулғамлари бир турдаги жисм эмасдир. Улар ўрамларининг изоляцияси ва прессланган электрокартондан иборат бўлган ўрамлараро қатламлар, чулғамларнинг эластикли даражаси ўзгарувчанлигига олиб келади. Чулғамнинг сиқилишидаги эластиклик модули унинг ишлаб чиқарилаётганда ўқ йўналиши бўйича прессланиш даражасига боғлиқдир ва эксплуатация жараёнида изоляцион материалнинг мажбурий «чўкиши»га боғлиқдир.

Чулғамларнинг яна бир механик фазилати шундаки, тортилишга нисбатан эластик акс таъсирловчи хусусиятининг, яъни тортилишга эластик деформацияланишнинг умуман мавжуд эмаслигидир. Бунга ўхшаш хусусияти материаллар қаршилигидаги бирорта масалаларда учрамайди. Шу сабаблар трансформатор чулғамларининг механик хусусиятини ҳисоблаш ва унинг таҳлиliga ёндошишни принципиал равишда ўзгартириб юборади.

Даврий ўзгарувчи электромагнит кучларининг таъсири натижасида чулғамларнинг ҳар хил қисмларидаги изоляцион материалларнинг эластиклик хусусиятлари кенг диапазонда ўзгариши мумкин. Шу туфайли, чулғамларнинг алоҳида ўрамлари ва секцияларининг эркин тебраниш давртезлиги ҳам кенг диапазонда ўзгаради.

Чулғамлар айрим ўрамлари ва секцияларининг эркин тебраниш давртезлиги электродинамик кучлар тебраниши давртезлигига яқинлашганда ҳудудий тебранишлар резонанси ҳосил бўлиб, натижада

ўрамлар изоляцияси шикастланиши мумкин. Бу эса ўрамларнинг қисқа туташувига олиб келади.

Чулғам кесим юзаси бўйича электродинамик кучларнинг фазовий тақсимланишини аниқлаш-чулғамнинг умумий мустақамлигини тўғри баҳолашнинг бош шартидир. Чулғамнинг ҳар бир ўрами ёки элементига таъсир этувчи электродинамик куч аниқлангандан сўнг, кучлар таъсирини таҳлил қилишда, чулғамнинг хатарли деформациялар бўлиши эҳтимоли кўпроқ бўлган қисмлари аниқланади.

БЕШИНЧИ БОБ ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЮКЛИ ИШЛАШИ

Трансформаторнинг юкли ишлаши (5.1,а-расм), унинг бирламчи чулғами тармоққа, иккиламчи чулғами эса юкка ёки юк тармоғига уланганда содир бўлади ва иккиламчи чулғамдан i_2 токи оқиб ўтиши билан характерланади. Бу токнинг ўзгариши, ҳамда i_2 ва U_2 кучланиш орасидаги фаза силжиши φ_2 юкнинг қиймати ва характерига боғлиқ. Иккиламчи чулғам токи i_2 нинг ўзгариши бирламчи чулғам токи i_1 нинг ўзгаришига олиб келади, чунки бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ўзаро электромагнит боғлангандирлар.

Бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги i_1 ва i_2 тоқлар мазкур чулғамларда $F_1 = i_1 \cdot W_1$ ва $F_2 = i_2 \cdot W_2$ магнит юритувчи кучларни ҳосил қиладилар. F_1 ва F_2 м.ю.к.лар биргаликдаги таъсирлари натижасида трансформаторнинг магнит майдонини ҳосил қиладилар.

Мазкур бобни ёритишдан асосий мақсад қуйидагилардир:

а) суперпозиция (устма-уст қўйиш) услубини татбиқ этишнинг мумкинлигини аниқлаш. Трансформаторнинг юкли ишлаш жараёнини аниқ кўрсатувчи юкли ишлаш тажрибасини ўтказиш оғир, баъзида эса иложсиздир. Шунинг учун, трансформаторнинг деярли енгил бажарилувчи қисқа туташув ва юксиз ишлаш тажрибалари натижаларини ўзаро устма-уст қўйиш йўли билан, юкли ишлашнинг исталган қийматларидаги режимини ҳосил қилиш;

б) соддалштирилган алмаштириш схемалари ёрдамида иккиламчи кучланиш ўзгариши ΔU_2 ва ф.и.к.ларини ҳисоблаш услубларини кўрсатиш.

5.1 СОДДАЛАШТИРИЛГАН (ИДЕАЛ) ВА ХАҚИҚИЙ (РЕАЛ) ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ЮКЛИ ИШЛАШИ

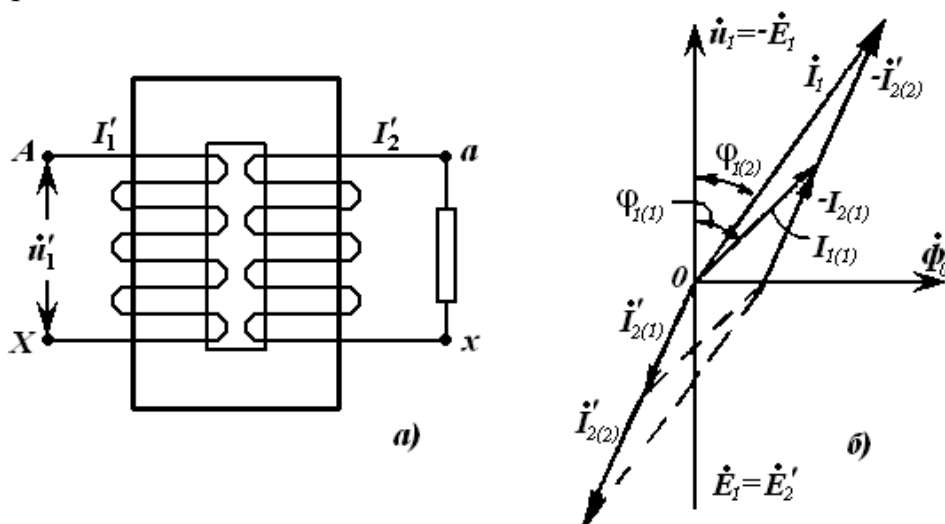
Иккиламчи чулғам (5.1,а-расм) бирламчига келтирилган (яъни $W_2 = W_1$) деб фараз қиламиз.

Трансформатор юкли ишлаганда унинг чулғамларидаги кучлар пасаюви $Z_1 \cdot I_1$ қолган кучланиш ва э.ю.к.ларга нисбатан, шу билан бирга магнитловчи токнинг актив ташкил этувчиси I_{0a} нинг қиймати I_0 га жуда кичик бўлганлиги сабабли $Z_1 \cdot I_1 \approx 0$ ва $I_{0a} \approx 0$ деб фараз қиламиз, яъни соддаштирилган трансформаторни кўрамиз. Шунинг учун токнинг қиймати ва характери қандайлигидан қатъий назар $\dot{U}_1 \approx \dot{E}_1$ бўлади (5.1, б расм). Тармоқ кучланиши U_1 нинг қийматини ўзгармас деб фараз қилсак, ҳар қандай юкнинг қиймати учун э.ю.к. E_1 нинг бир хил ўзгармас қиймати ҳосил бўлишини кўрамиз. Шунинг учун асосий магнит оқим $\dot{\phi}$, уни ҳосил қилувчи ток $\dot{I}_0$ ва м.к. $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 \cdot W$ ларнинг қийматлари ҳам ўзгармас бўлади ва трансформаторнинг исталган режимида шу қийматларни сақлаб қоладилар.

Агар трансформаторнинг юкини минимал қийматдан бошлаб оширсак, у ҳолда м.к.нинг (1.32, б) тенгламасидан қуйидагини ҳосил қиламиз:

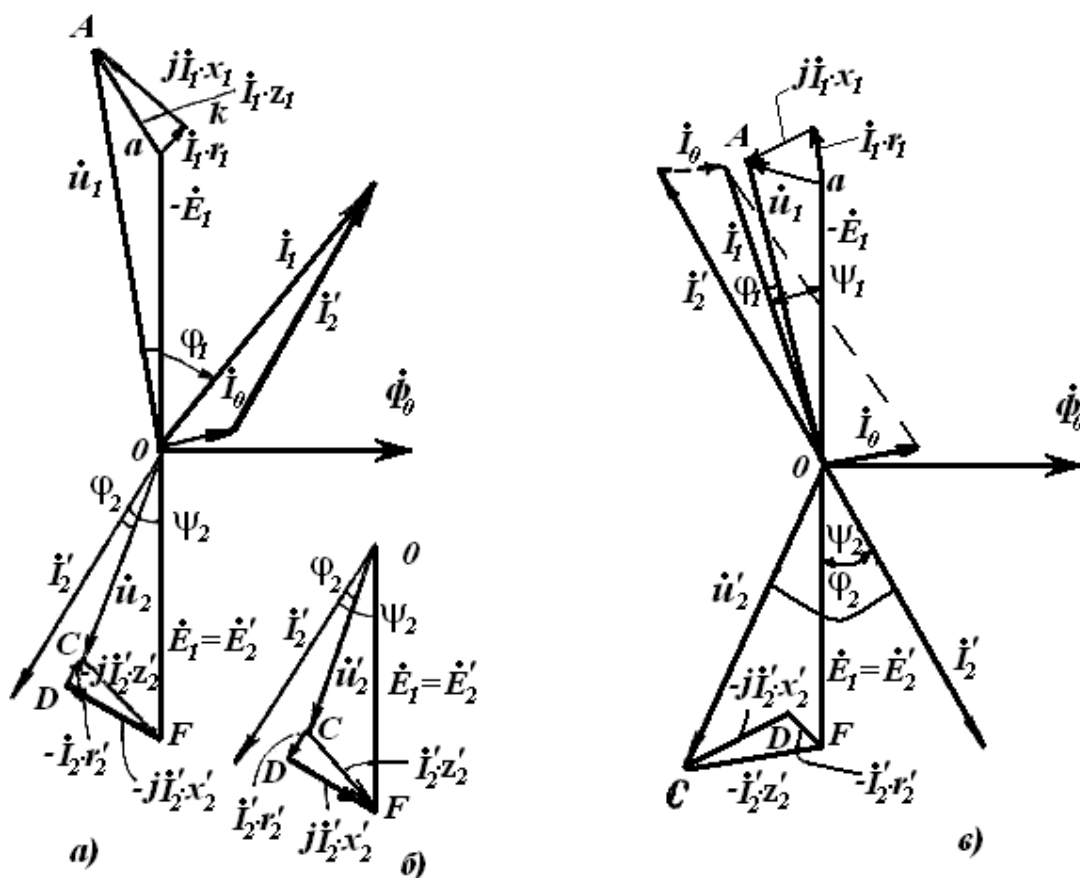
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (\dot{I}'_2), \quad (5.1)$$

яъни трансформаторнинг юкли ишлашида бирламчи чулғамнинг токи $\dot{I}_1$ икки ташкил этувчидан иборат-аниқроғи, қиймати ўзгармас бўлган ва $\dot{\phi}_0$ оқимни ҳосил қилувчи магнитловчи ток $\dot{I}_0$ ва юк токи $(-\dot{I}_2)$ ларнинг геометрик йиғиндисига тенг.



5.1 — расм. Трансформаторнинг юкли ишлаш принципл схемаси — а; соддаштирилган трансформаторнинг токлар диаграммаси — б.

5.1,б расмда ($\varphi_2 = \text{const}$ бўлганда) юк токи I'_2 нинг ҳар хил $I'_{2(1)}$, $I'_{2(2)}$ ва х.к. қийматларида бирламчи ток I_1 ва φ_1 ларнинг ўзгариши кўрсатилган.



5.2—расм. Трансформаторнинг актив—индуктив — а ва б; актив—сифим — в характердаги тоқлар билан юклангандаги вектор диаграммалари.

Ҳақиқий (реал) трансформатор юкли ишлашининг таҳлили илгаригидек, э.ю.к.лар ва м.ю.к.ларнинг тенгламаларига асосланади. У ҳолда

$$U_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1; \quad (5.2)$$

$$\dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2 = \dot{U}'_2 \quad (5.3)$$

Ёки

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + \dot{I}'_2 Z'_2 \quad (5.4)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (5.5)$$

Ушбу тенгламаларга кўра трансформаторнинг ишлагандаги вектор диаграммаларини кўраимиз.

5.2.а расмда актив-индуктив характердаги юк учун вектор диаграммаси қурилган. Асосий оқим φ_0 векторини ихтиёрий (масалан

абцисса ўқи йўналишида) жойлаштирамиз; бу оқимни ҳосил қилиш учун магнитловчи ток I_0 бўлиши шарт. Унинг вектори φ_0 векторидан биров олдинроқда бўлади (2.6 расм). Φ_0 оқимдан ҳосил бўлаётган э.ю.к. E_1 ва $E'_2 = E_1$ векторлари ундан 90° га орқада қоладилар. Юкнинг характери актив-индуктив бўлганлиги сабабли ток I'_2 э.ю.к. E'_2 га нисбатан φ_2 бурчакка орқада қолади. М.к.лар тенгламаси (5.5) га кўра, токни аниқлаш учун I_0 векторига $(-I'_2)$ вектори қўшилади.

Иккиламчи чулғам кучланиш вектори $U'_2 = \overline{OC}$ ни қуриш учун тенгламадан фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда э.ю.к. $E'_2 = \overline{OF}$, тарқоқ э.ю.к. $E'_{\delta 2} = \gamma I'_2 X'_2 = \overline{FD}$ ва шартли э.ю.к. $-I'_2 \cdot r'_2 = \overline{DC}$ векторларини (5.2,а расм) геометрик қўшиш керак.

Агар U'_2 кучланиши I'_2 токи, юкнинг характери (φ_2) ва иккиламчи чулғам қаршиликлари r'_2 ва X'_2 маълум бўлиб, э.ю.к. E'_2 нинг вектори аниқланиши керак бўлса, у ҳолда (5.4) тенгламадан фойдаланиш мумкин. Бунинг учун кучланиш вектор ива кучланиш пасаяувлари $I'_2 \cdot r'_2 = \overline{CD}$ ва $j I'_2 X'_2 = \overline{DF}$ векторлари геометрик қўшилади (5.2, б расм).

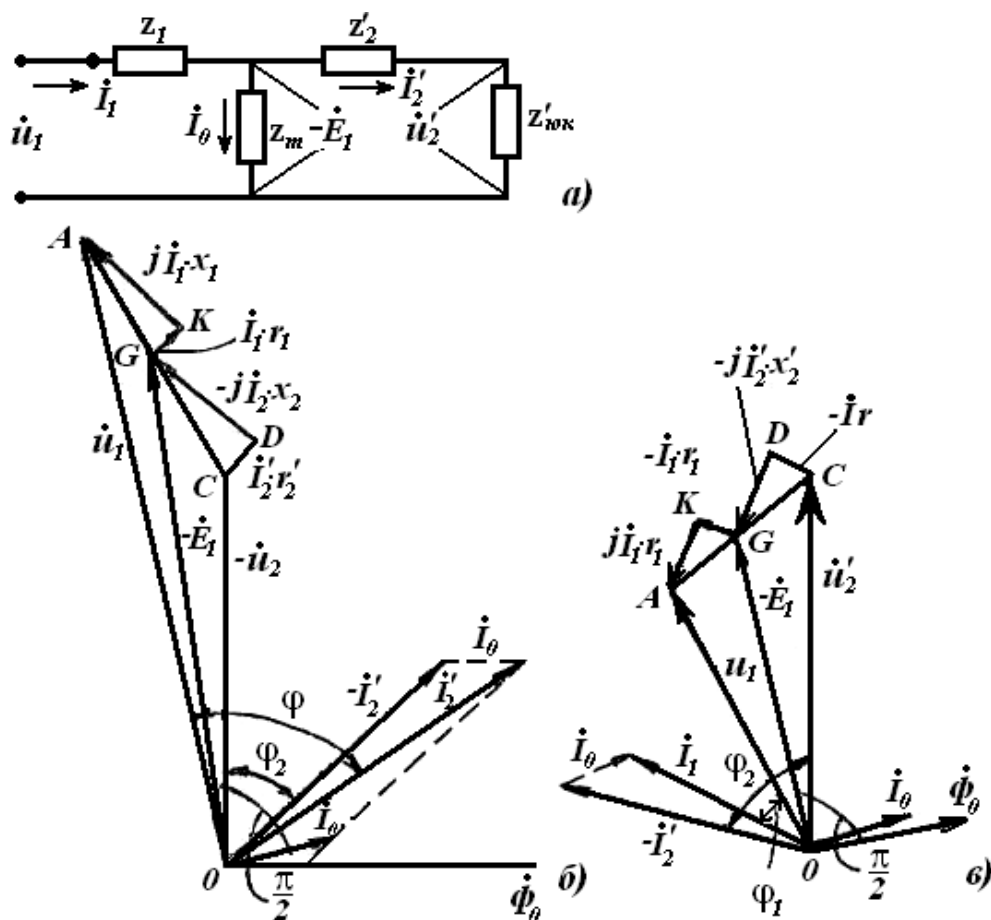
Бирламчи чулғам кучланиши $U_1 = \overline{OA}$ (5.2) тенгламага кўра, кучланишнинг уч ташкил этувчилари: $-E_1 = \overline{OG}$, $I_1 \cdot r_1 = \overline{GK}$ ва $j I_1 X_1 = \overline{KA}$ асосида қурилади (5.2, а расм). U_1 ва I_1 векторлари орасидаги бурчак φ_1 трансформаторнинг бирламчи тармоқдан қабул қилувчи актив қуввати $U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$ ни аниқлайди.

Актив–сиғим характердаги ток учун 5.2, в-расмда вектор диаграммаси махсус тушунтиришсиз келтирилган. Унинг қуриш тартиби юқорида кўрсатилганидек олиб борилади.

5.2. АЛМАШТИРИЛГАН ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ВЕКТОР ДИАГРАММАЛАРИ

1.10,в-расмда ҳақиқий трансформаторнинг ўрнида бирламчи ва иккиламчи чулғамлари электр боғланган трансформаторнинг эквивалент (алмаштириш) схемаси келтирилган. қискартирилган ҳолда бундай схема 5.3,а-расмда кўрсатилган. Бундай трансформаторни алмаштирилган трансформатор деб атаймиз. Бу схема асосида 5.3,б,в-расмларда

кўрсатилган вектор диаграммалари курилади. Диаграмма куришда иккиламчи кучланиш $\dot{U}'_2$, ток $\dot{I}'_k$ ва иккиламчи занжир қувват коэффиценти $\cos \varphi_2$ берилган деб фараз қиламиз.



5.3 – расм. Трансформаторнинг юкли ишлаш алмаштириш схемаси — а; актив — индуктив — б ва актив — сиғим — в характердаги тоқлар билан юклангандаги вектор диаграммалари.

Алмаштирилган трансформаторнинг вектор диаграммасини куриш учун 5.3-расмдаги иккиламчи чулғам ўзгарувчилари векторларини 180° га бурамиз ва бурилган иккиламчи кучланиш вектори $-\dot{U}'_2 = \overline{OC}$ ни ордината ўқининг мусбат йўналиши томон жойлаштирамиз. Иккиламчи ток вектори иккиламчи кучланиш $-\dot{U}'_2$ векторидан φ_2 бурчакка ёки орқада (актив-индуктив юк) ёки олдинда (актив-сиғим юк) бўлади. Кучланиш $-\dot{U}'_2$ ва иккиламчи чулғам кучланиш пасаюви $-I'_2(r'_2 + jX'_2)$ ларни геометрик қўшиб, бирламчи чулғам кучланишининг бир ташкил этувчиси бўлмиш $-\dot{E}_1 = \overline{OG}$ ни ҳосил қиламиз; асосий магнит оқим Φ_0 вектори $-\dot{E}_1$ дан 90° га орқада, $\dot{I}_0$ магнитловчи ток вектори φ дан биров олдинда

бўладилар. Бирламчи ток вектори $\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2 + \dot{I}_0$ бўлади. Бирламчи кучланиш $\dot{U}_1 = \overline{OA}$ векторини қуриш учун унинг ташкил этувчилари $-\dot{E}_1$ ва $\dot{I}_1(r_1 + jX_1)$ ларни геометрик қўшиш керак.

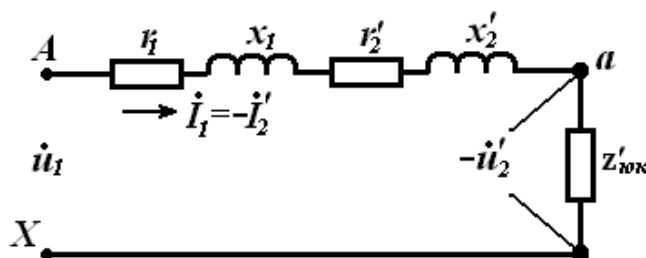
Трансформаторнинг Т-симон алмаштириш схемаси (5.3,а-расм) унинг ишлаш режимини ўрганишда жуда қулайдир. Унинг қулайлиги электр энергиясини бирламчи чулғамлардан иккиламчи чулғамга ва тескараси иккиламчи чулғамдан бирламчи чулғамга узатилганда ҳам сақланади. Бу схема кўпинча $E_1 = \text{const}$ шартнинг бажарилишини кўзда тутди.

5.3. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ САОДДАЛАШТИРИЛГАН ВЕКТОР ДИАГРАММАЛАРИ

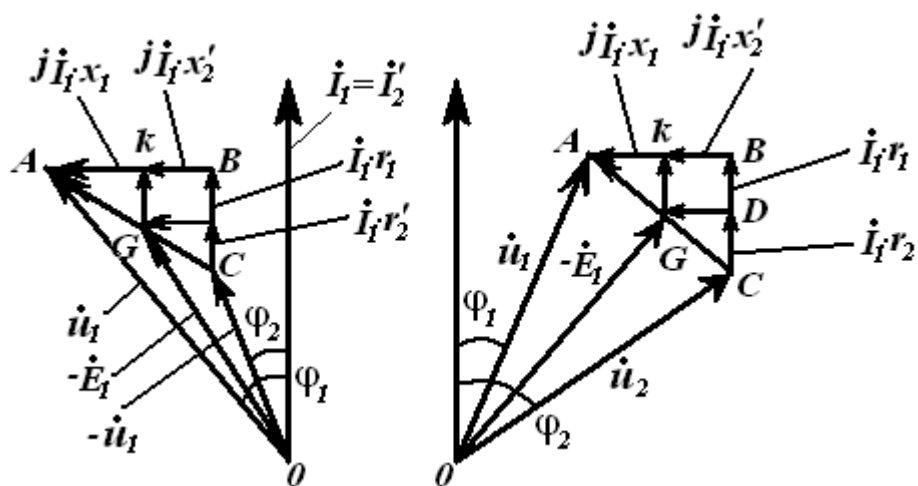
Бирламчи ва иккиламчи чулғамлар индуктив қаршиликлари (x_1 ва x'_2) алоҳида аниқланишининг имконияти бўлмаганлиги, $\dot{I}_1$ ва $\dot{I}'_2$ тоқлар ва шу сабабли АКГ ва GDC бурчакларнинг томонлари ҳар хил йўналгани учун 5.3,б ва в расмдаги вектор диаграммалари асосан назарий аҳамиятга эга бўлиб, тажрибада қўлланилмайди.

Номинал режимда ишловчи кучли трансформаторнинг магнитловчи тоқи I_0 номинал ток I_H нинг 3-8% ни ташкил этади. Бу қиймат деярли кичик эмас, аммо (5.5) дан $\dot{I}_0$ ни ҳосил қилиш учун $\dot{I}_1$ ва $\dot{I}'_2$ тоқлари геометрик қўшиладилар. Шунини ҳисобга олсак, $\dot{I}_0 \approx 0$ яъни $\dot{I}_1 \approx \dot{I}'_2$ деб қабул қилганимиздаги хато кичрайдиган. Ундан ташқари I_0 ни ҳисобга олмаслик, U_1 га нисбатан жуда кичик (3-5%) қиймат бўлмиш, бирламчи занжир кучланишлар пасаяви $\dot{I}_1 \cdot Z_1$ нинг қийматига таъсир этади холос.

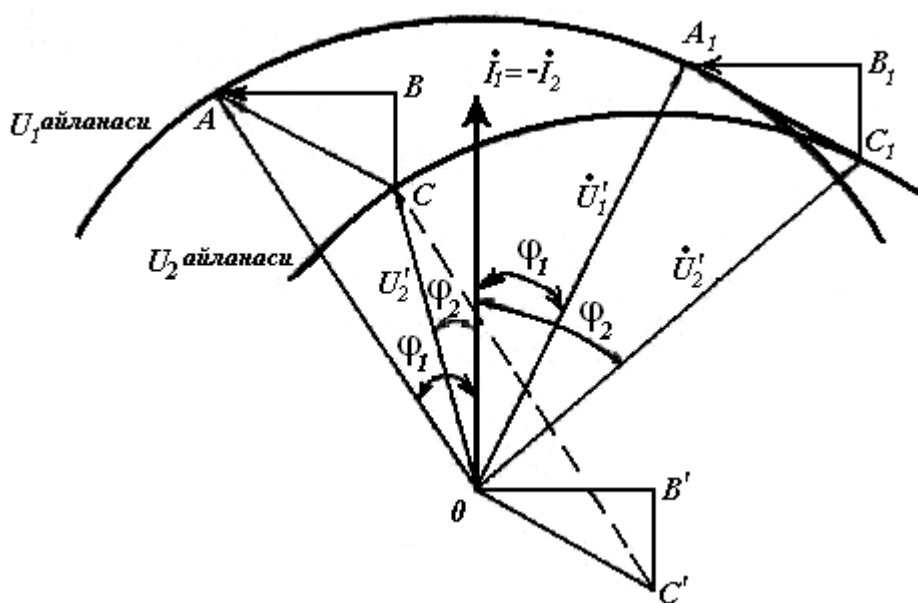
Қилинган фараздан сўнг трансформаторнинг алмаштириш схемаси 5.4-расмда кўрсатилган шаклга келади. Бу схема $Z_1 = r_1 + jX_1$, $Z'_2 = r'_2 + j \cdot X'_2$ ва $Z'_{\text{юк}} = r'_{\text{юк}} + jX_{\text{юк}}$ кетма-кет уланган қаршиликлардан иборат. Унга актив-индуктив



5.4 — расм. Трансформаторнинг соддалаштирилган алмаштириш схемаси.



5.5 – расм. Алмаштирилган трансформаторнинг соддалаштирилган вектор диаграммалари: а – актив – индуктив; б – актив – сиғим характерли



5.6 – расм. $u_2 = f(\cos \varphi_2)$ диаграммасини қуришга тааллуқли.

ва актив-сиғим токлари учун қурилган соддалаштирилган вектор диаграммалари мос келадилар (5.5, а ва б-расм) бирламчи ток вектори $\dot{I}_1$ ордината ўқининг мусбат йўналиши бўйича жойлаштирилади. Кучланишлар пасажуви векторлари $\dot{I}_1 \cdot r_2'$, $j \cdot \dot{I}_1 \cdot X_2'$, $\dot{I}_1 \cdot r_1$ ва $j \dot{I}_1 \cdot X_1$ катетлари ўзаро параллел бўлган тўғри бурчакли учбурчак CDG ва GKA ларни ташкил этадилар. Диаграммадан кўриш мумкинки, вектор

$\overline{CB} = \dot{I}_1(r_1 + r_2) = \dot{I}_1 \cdot r_k$ ва вектор $\overline{BA} = j \dot{I}_1(X_1 + X_2') = j \dot{I}_1 \cdot X_k$ бўлади. Шундай қилиб, учбурчак ABC қисқа туташув учбурчаги (4.4, а-расм) ни ҳосил қилади. Учбурчак ABC нинг $\dot{I}_1$ ток билан бир хил фазада бўлган томони трансформатордаги актив кучланишлар пасаювини, $\dot{I}_1$ токи векторидан 90° га олдинда бўлган иккинчи катети эса, ундаги индуктив кучланишлар пасаювини кўрсатади. Агар кучланиш $\dot{U}_1$ ток $\dot{I}_1$ ва юкнинг характери (ёки φ_2) ларнинг қийматлари берилган бўлса, диаграммалардан кўринадики, иккиламчи кучланиш $\dot{U}_2'$ вектори осонлик билан аниқланиши мумкин. Бунинг учун $\dot{U}_1$ вектори учига қисқа туташув учбурчаги ABC шундай жойлаштириладики, унинг A учи $\dot{U}_1$ вектори учининг устига мос келади ва C учи координата боши O нуқтасидан ордината ўқига нисбатан φ_2 бурчак остида ўтказилган нур устига тушади. Шунинг учун иккиламчи кучланиш $-\dot{U}_2' = \overline{OC}$ нинг қийматини юксиз ишлаш режимининг натижаси бўлмиш $\overline{OA} = \dot{U}_1$ га қисқа туташув режимининг натижаси бўлмиш ABC учбурчагини жойлаштириш йўли билан аниқлаш мумкин.

5.4. КЕЛТИРИЛГАН ИККИЛАМЧИ КУЧЛАНИШНИНГ ЮК ХАРАКТЕРИ ($\cos \varphi_2$) ГА БОҒЛИҚЛИГИ

Вектор $\overline{OC} = \dot{U}_2'$ ни (5.5 расм) қуришнинг соддароқ усули қуйидагичадир. ABC (5.6-расм) учбурчакни ўз томонларига нисбатан параллел равишда шундай суриладики, у $O'B'C'$ ҳолатга келсин. O нуқтасидан ордината ўқига φ_2 бурчак остида нур ўтказамиз ва ундан C' марказидан $C'C = U_1$ радиус билан ёй чизиб C нуқтани белгилаймиз. Унда $\overline{OC}$ вектори иккиламчи кучланиш $-\dot{U}_2'$ векторига тенг бўлади.

Агар $\dot{U}_1$ кучланиш ва $\dot{I}_1$ ток берилган ва ўзгармас бўлсалар ва юк характери (ёки φ_2) эса ўзгарса, у ҳолда иккиламчи чулғам кучланиши $\dot{U}_2'$ нинг ўзгариши қуйидагича аниқланади. O нуқтани марказ деб қабул қилиб, унда $\overline{OA} = \dot{U}_1$ радиусли айлана ёёи чизилади ва бу айланада бирламчи кучланиш векторининг учлари жойлашган бўлади. Сўнгра C' нуқтани марказ деб, радиус U_1 га тенг бўлган ва C нуқтадан ўтган бошқа айлана чизилади. Юқорида айтилганлардан келиб чиқадики, бу айланада иккиламчи кучланиш векторининг учи ётади.

5.6-расмда бурчак φ_1 нинг ҳар бир қийматлари учун U_2' кучланиши аниқланган. Диаграмма трансформатор токи характерининг кучланишга таъсирини яққол акс этади. Ундан кўринадики, сиғимли юк бўлганда келтирилган иккиламчи кучланиш U_2' нинг қиймати бирламчи кучланишнинг қийматидан ҳам ошиши мумкин.

5.5. ИККИЛАМЧИ КУЧЛАНИШ ЎЗГАРИШИНИ АНИҚЛАШ

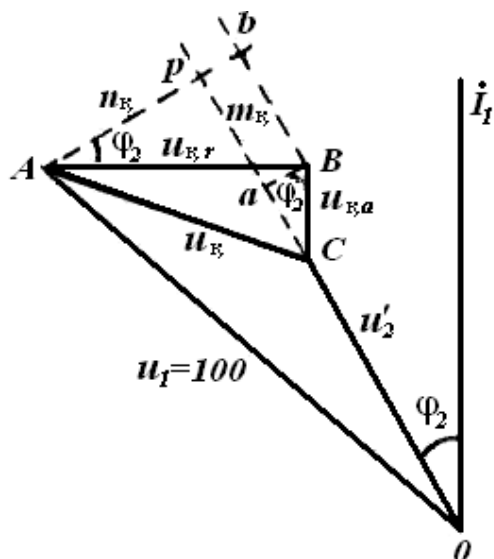
Давлат стандартига кўра икки чулғамли трансформаторнинг берилган қувват коэффицентидаги кучланиш пасаюви деб, юксиз ишлашдаги иккиламчи чулғам кучланиши билан иккиламчи номинал ток ўтгандаги шу чулғам кучланиши орасидаги айирманинг иккиламчи номинал кучланишга нисбатан фоизда ҳисобланган қийматига айтилади. Бунда кучланиш ўзгариши чулғамнинг 75^0C даги шарт ҳароратига келтирилади.

Шундай қилиб,

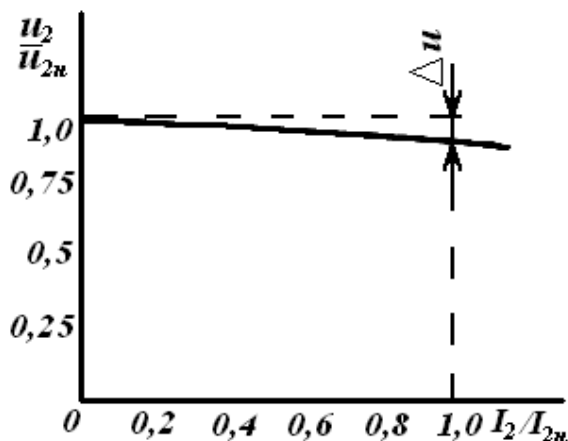
$$\Delta U_2 = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}} \cdot 100 = \frac{U_{2H}' - U_2'}{U_{2H}'} \cdot 100 = \frac{U_1 - U_2'}{U_1} \cdot 100 \quad (5.6)$$

Учбурчак ABC нинг (5.6-расм) томонлари кучланишларга нисбатан жуда кичик бўлгани учун, бу биринчидан, диаграмма қуришни қийинлаштирса, иккинчидан, ΔU_2 қийматини ҳисоблаш аниқлигини камайтиради. Шунинг учун 5.6-расмдаги диаграммани ΔU_2 нинг қийматини график усулда аниқлашда тўғридан-тўғри фойдаланилмайди, балки, ундан ΔU_2 ни аниқлашнинг аналитик усулини ҳосил қилишда фойдаланилади.

Кучланиш пасаюви ΔU_2 ни токнинг номинал қиймати I_H учун ҳисобланади, деб шартлашайлик. Бу ҳолда кучланиш U_1 нинг вектори $\overline{OA}$ узунлигини 100 шартли бўлакларга ажратилади (5.7-расм) ва ABC учбурчакнинг томонлари U_k , U_{ka} ва $U_k \cdot r$ лардан иборат бўлади. Арифметик айирма тўғрисида гапирилаётганлиги сабабли, ABC учбурчаги томонларидаги векторларни оддий тўғри чизиқлар билан алмаштирамиз.



5.7 — расм. ни аниқлаш



5.8 — расм. Трансформаторнинг ташқи тавсифи.

Юқоридаги (5.6) тенгликка кўра

$$\Delta U_2 = \frac{100 - U'_2}{100} \cdot 100 = 100 - U'_2$$

А нуқтасидан U'_2 векторининг давомига перпендикуляр АР ни ўтказамиз. Кесма СР ва РА лар m'_k ва n_k бўлакларга тенг деб қабул қиламиз.

у ҳолда

$$U'_2 = \sqrt{100^2 - n_k^2} - m_k = 100 \sqrt{1 - \left(\frac{n_k}{100}\right)^2} - m_k.$$

Илдиз остидаги қийматни биноминал қаторга ёямиз ва иккинчи тартибли ташкил этувчиларидан юқорисини ҳисобга олмаймиз.

Шунинг учун

$$U'_2 = 100 \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{n_k}{100} \right)^2 \right] - m_k$$

$$\Delta U_2 = 100 - U'_2 = 100 - 100 + \frac{n_k^2}{100} + m_k = m_k + \frac{n_k^2}{200}$$

Юқоридаги қийматлар m_k ва n_k ни U_{ka} ва $U_k \cdot r$ лар орқали ифодалаш учун В нуқтадан СР кесмага Ва ва АР кесманинг давомига Вв перпендикулярни ўтказамиз. У ҳолда

$$m_k = C_p = C_a + aP = U_{ka} \cdot \cos \varphi_2 + U_k \cdot r \cdot \sin \varphi_2$$

ва

$$n_K = A_p = AB - BP = U_{KR} \cos \alpha_2 - U_{KA} \cdot \sin \alpha_2$$

Шундай қилиб,

$$\Delta U_2 = U_{K\alpha} \cdot \cos \alpha_2 + U_{Kr} \cdot \sin \alpha_2 \frac{(U_{Kr} \cdot \cos \alpha_2 + U_{K\alpha} \cdot \sin \alpha_2)^2}{200} \quad (5.7)$$

Аксарият, (5.7) нинг иккинчи қўшилувчиси биринчисига нисбатан жуда кичик сондир. Шунинг учун, ҳисоблардаги катта аниқликка ҳожат бўлмаган ҳолларда қуйидагича қабул қилинади:

$$\Delta U_2 = U_{K\alpha} \cdot \cos \alpha_2 + U_{Kr} \cdot \sin \alpha_2 \quad (5.8)$$

Бунда ΔU_2 нинг қиймати номинал юк учун ҳисобланади. Агар юк номиналдан фарқланса, масалан, юк коэффиценти $K_{ЮК} = P_2 / P_H$ бирга тенг бўлмаса, кучланишлар пасажуви $K_{ЮК}$ га пропорционал равишда ўзгаради.

$$\Delta U = K_{ЮК} \cdot (U_{K\alpha} \cdot \cos \alpha_2 + U_{Kr} \cdot \sin \alpha_2) \quad (5.9)$$

Юқоридаги боғланишлардан кўринадики, кучланиш пасажуви трансформаторнинг параметрлари берилган ҳолларда юкнинг қиймати ва характериға боғлиқ экан.

5.6. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТАШҚИ ТАВСИФИ ВА ФОЙДАЛИ ИШЛАШ КОЭФФИЦИЕНТИ (Ф.И.К.)

Трансформаторнинг ташқи тавсифи деб бирламчи кучланиш ва юк характери ўзгармас бўлгандаги $U_1 = \text{Const}$ ва $\cos \alpha_1 = \text{Const}$ $U_2 f(I_2)$ боғланишиға айтилади (5.8-расм). Ташқи тавсиф кучланиш пасажувини аниқлашға имкон беради. Масалан, $I_2 = I_{2H}$, $\cos \alpha_2 = 0.8$ ва $U_K = 55 - 105\%$ бўлганда, кучланиш пасажуви $\Delta U_2 = 5 \div 8\%$ бўлади.

Ҳамма электр машиналари сингари, трансформаторларда ҳам ф.и.к. η деб, трансформаторнинг актив қувват бирлигида (яъни киловатт, ёки ватт) тармоққа узатилаётган (иккиламчи) қуввати P_2 нинг унга келтирилаётган бирламчи (шу бирликдаги) қувват P_1 га нисбатига айтилади. Шундай қилиб, ф.и.к. нинг қиймати қуйидагига тенг бўлади:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{ёки} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (5.11)$$

Кучли трансформаторларда ф.и.к. нинг қиймати жуда юқори (катта қувватларда 99% ва ундан юқори) бўлади. Шунинг учун Ф.И.К. ни бевосита аниқлаш усули, яъни P_1 ва P_2 ларни ўлчов асбоблари ёрдамида аниқлаб, ф.и.к. ни ҳисоблаш усули қўлланилмайди, чунки P_1 ва P_2 ларни ўлчаш ноаниқликлари Ф.И.К. ни аниқлашдаги қўпол хатоликка олиб келиши мумкин.

Бундай ҳолларда Ф.И.К. ни аниқлашнинг бевосита усули, яъни у ёки бу қувватни аниқлаш бошқа қувват ва исрофлари орқали амалга оширилади.

Агар P_M – чулғамлар мисадаги, P_{II} – пўлатдаги қувват исрофи бўлса, $P_1 \approx P_2 + P_{II} + P_M$ ва

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{II} + P_M} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{P_{II} + P_M}{P_2 + P_{II} + P_M}\right) \cdot 100\% \quad (5.11)$$

Ушбу қийматларни аниқлашда баъзи фаразлар қабул қилинадики, бунда ф.и.к. ни аниқлаш бирмунча соддалашади ва шу билан бирга, қоникарли аниқликдаги натижалар олинади, чунки фаразлар натижасида ҳосил бўлувчи хатоликлар, ёки иккинчи тартибдаги кичик қийматлар ёки бир-бирини компенсацияловчи қийматлар бўлади. Бу фаразлар қуйидагилардир.

А.Иккиламчи қувват P ни трансформаторнинг ҳисобий қуввати деб аталади. Уни қуйидагича аниқланади:

$$P_2 = K_{\text{ЮК}} \cdot P_H \cdot \cos \alpha_2; \quad (5.12)$$

Бунда $K_{\text{ЮК}}$ – трансформаторнинг юк коэффиценти.

Бу қувват шартли характерга эга бўлиб, трансформаторнинг иккиламчи тармоққа аслида узатаётган қувватига тенг эмас. Бунга иқдор бўлиш учун 1.1. га мурожаат қиламиз. Унга кўра иккиламчи чулғам номинал кучланиш деб, трансформаторнинг юксиз ишлаган режимидаги иккиламчи кучланиши $U_{2H} \approx U_{20}$ қабул қилинган эди. Демак, трансформаторнинг иккиламчи чулғами номинал қуввати $U_{20} \cdot U_{2H}$ га тенг бўлади. Трансформаторнинг чулғаида I_{2H} токи бўлгандаги ҳақиқий номинал қуввати эса $P_2 = U_2 \cdot I_{2H}$

Бунда U_2 - трансформатор юкли ишлаб, I_{2H} токи ўтаётгандаги кучланишдир. Демак, юксиз ишлаш кучланиш U_{20} , яъни номинал кучланиш номинал юкли ишлагандаги U_2 кучланишдан қанчалик фарқланса, ҳисобий қувват тармоққа узатилаётган ҳақиқий қувватдан шунчалар фарқланади.

Қувват исрофлари P_{II} ва P_M ни аниқлаш ҳам шу каби шартли характерга эга.

Б. Фараз киламизки, трансформатор номинал бирламчи кучланиш $U_1 = U_{1H} = \text{Const}$ ва номинал давр тезлик (частота) $f = f_H = \text{Const}$ билан ишламаяпти.

Юқорида ((2.14) га қаранг) таъкидлангандек, юксиз ишлаш режимида $P_{II} \approx P_0$. иккинчи томондан, берилган давр тезлик f да пўлат исрофлари $P_{II} \equiv B^2 \equiv E_1^2$. Аммо, $E_1 = -(U_1 - I_1 Z_1)$. Демак, E_1 нинг ўзгариши трансформатор бирламчи чулғаи кучланиш пасажуига боғлиқ; индуктив характердаги юкнинг қиймати ошганда э.ю.к. E_1 камаяди, сиғимли характерда эса E_1 ошади (5.5- расмга қаранг). Демак трансформатор юки индуктив характерда бўлса, пўлатдаги исроф юксиз ишлаш

режимидагидан кичик бўлади, сигим характерли юкда эса – кўпроқ бўлади. Аксарият, юкнинг ўзгариши нормал диапазонда бўлса, э.ю.к. нинг ўзгариши 1,5-4% дан ошмайди. Демак, пўлат исрофлари 3-8% оралиқда ўзгармайди. Шундай қилиб, юқорида келтирилган шароитда (P_{Π} нинг ўзгаришини ҳисобга олмай) пўлат исрофлари юкка боғлиқ эмас, деб ҳисоблаш мумкин, яъни

$$I_1 = I_0 + (-I_2^1)$$

Бу ўтишда юк индуктив характерда бўлса, I_1 нинг қиймати қисқа туташувдагидан кўра ортади ва шу билан бирга бирламчи чулғам мисдаги қувват исрофи ортади, юк сигим характерда бўлса, тескари ҳодиса бўлади, яъни I_1 ва у билан бирга P_M камаяди. (5.3.а,б-расм). Шундай қилиб, магнитловчи ток I_0 нинг қийматини ҳисобга олмаслик, юк индуктив характерда бўлганда мисдаги исрофлар қийматини (ҳақиқий қийматга нисбатан) камайтириб, сигим юкида эса – кўпайтириб ҳисобга олар эканмиз. Аммо, I_0 нинг таъсири жуда кичик бўлганлиги сабабли, мазкур учинчи фараз ҳам, қолган иккитаси сингари, ф.и.к. нинг қийматига деярли таъсир қилмайди, аксинча, у пўлат исрофини аниқлашдаги хатоликни қисман компенсациялайди.

Қисқа туташув қуввати P_K нинг чулғамларда номинал ток ва 75 °С бўлгандаги қиймати давлат стандартига кўра трансформаторларида келтирилади.

Агар юк қиймати номинал юкнинг $K_{ЮК}$ қисмини ташкил этса, у ҳолда $K_{ЮК}$ марта чулғамдаги тоқлар ҳам ўзгаради. Бунда чулғам ҳарорати ўзгариши ҳисобга олинмайди (чулғам керакли ҳароратгача қизиган ва у ўзгармайди, деб ҳисобланади). Бунда мисдаги қувват исрофи

$$P_M = K_{ЮК} \cdot P_K, \quad (5.14)$$

ва трансформаторнинг ф.и.к. умумий ҳол учун қуйидагича ёзилади:

$$\eta = (1 - \frac{P_0 + K_{ЮК} \cdot P_K}{K_{ЮК} \cdot P_H \cdot \cos \alpha_2 + P_0 + K_{ЮК}^2 \cdot P_K}) \cdot 100\%. \quad (5.15)$$

Келтирилган боғланишда $\cos \alpha_2$ берилган ўзгармас қиймат бўлса, у ҳолда мазкур тенгламанинг ёлғиз ўзгарувчиси $K_{ЮК}$ бўлади ва бу коэффициентнинг қандай қийматида трансформаторнинг ф.и.к. максимал бўлишини ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун η нинг $K_{ЮК}$ бўйича биринчи ҳосиласи олиниб, нолга тенглаштирилади. Шундан сўнг қуйидаги ҳосил қилинади:

$$P_0 = K_{ЮК}^2 \cdot P_K, \quad (5.16)$$

яъни, трансформаторнинг ф.и.к. максимал бўлиши учун мисдаги қувват исрофлари пўлатдаги қувват исрофларига тенг бўлиши керак.

Бошқача айтганда, ўзгарувчан (P_m) қувват исрофлари ўзгармас (P_n) қувват исрофларига тенглашгандаги $K_{\text{ЮК}}$ нинг қийматида ф.и.к. максимал қийматига эришади.

ОЛТИНЧИ БОБ

УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ НОСИММЕТРИК

ЮКЛАНИШИ

6.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

СИММЕТРИК ТАШКИЛ ЭТУВЧИЛАР УСУЛИ

Уч фазали трансформаторларнинг ишлатилишида кўпинча бир фазали истеъмолчиларнинг трансформатор учала фазаларига нотекис тақсимланиши, шунингдек, бир фазали ва икки фазали қисқа туташувлар натижасида ҳосил бўлувчи авария режимлари ёки бирор фаза ўтказгичининг узилиши натижасида трансформаторнинг учала фазасида токларнинг нотекис тақсимланишини кўриш мумкин. Бунинг натижасида трансформатор иккиламчи чулғами кучланишининг носимметрик истеъмолчиларда кўпгина ноқулайликлар туғдиради. Масалан, ўзгарувчан токли уч фазали юритгичларни носимметрик кучланиш билан ишлатилса, унинг қуввати камаяди; чўғланма лампалар оширилган кучланишда ишласа, унинг умри кескин қисқаради, пасайтирилган кучланишлар эса ёруғлик кучи кескин камаяди. Носимметрик юкланиш трансформаторларнинг ўзига ҳам салбий таъсир кўрсатади: айрим чулғамларда ўта юкланиш вужудга келади; фаза кучланишлар ошиб кетади ва магнит ўтказгичларнинг ўта тўйинишига олиб келиши мумкин.

Шунинг учун трансформатордаги носимметрик юкланиш жараёнларини ўрганиш муҳим амалий аҳамиятга эга, чунки у ёки бу носимметрик юкланишнинг натижаларини олдиндан билиш, истеъмолчи ва шу билан бирга, трансформаторнинг нормал ишлаш қобилятилари, носимметрик юкланишнинг қандай қийматларигача сақланиши ҳақида таклифларни ишлаб чиқишга имкон беради.

Трансформаторнинг носимметрик режимларини ўрганишдан мақсад бирламчи линия кучланишлари $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ ва юкнинг носимметрик тўла қаршиликлари берилган бўлса, трансформатор ишини характерловчи ҳамма бошқа қийматларни иккиламчи фаза ва линия токлари ва кучланишлари, бирламчи фаза ва линия токлари ва фаза кучланишларини аниқлашдир.

Трансформаторнинг носимметрик юкланишини ўрганишда симметрик ташкил этувчилар усули кенг қўлланилади.

Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, исталган $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ носимметрик тоқлар тизими (системаси) уч симметрик тўғри, тескари ва нолли фаза кетма-кетликлари тизимларининг йиғиндиси сифатида кўриш мумкин. Бунда мазкур ташкил этувчилар бир-бирларидан ўзларининг максимумларига эришиш кетма-кетлиги билан фарқланадилар (6.1-расм):

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_a &= \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (6.1.)$$

Тўғри кетма-кетликни $\dot{I}_{a1}, \dot{I}_{B1}, \dot{I}_{C1}$ ташкил этувчи тоқлар тизими ўзларининг максимумларига а, в, с фазалари кетма-кетлигида эришадилар. Тескари кетма-кетликни ташкил этувчи $\dot{I}_{a0}, \dot{I}_{B0}, \dot{I}_{C0}$ ҳамма учала фазаларда ҳам бир хил йўналишли (фазалар силжиши нолга тенг) бўлади.

Ҳисоблашни қулайлаштириш учун қуйидаги комплекс коэффициент «а» киритилади:

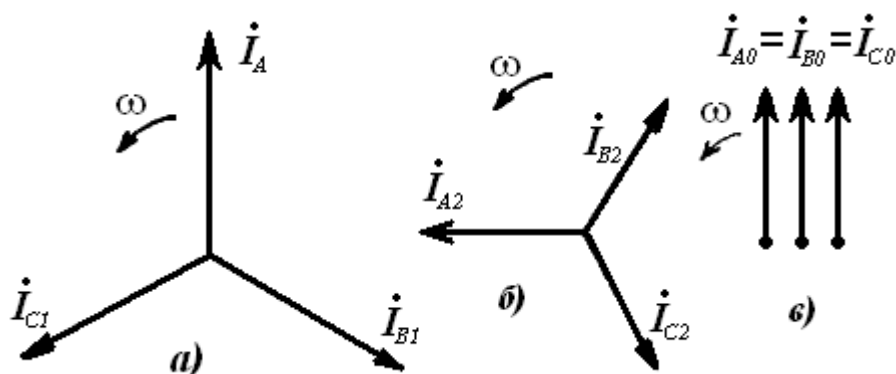
$$a = e^{j2\pi/3} = \cos \frac{2\pi}{3} + j \sin \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

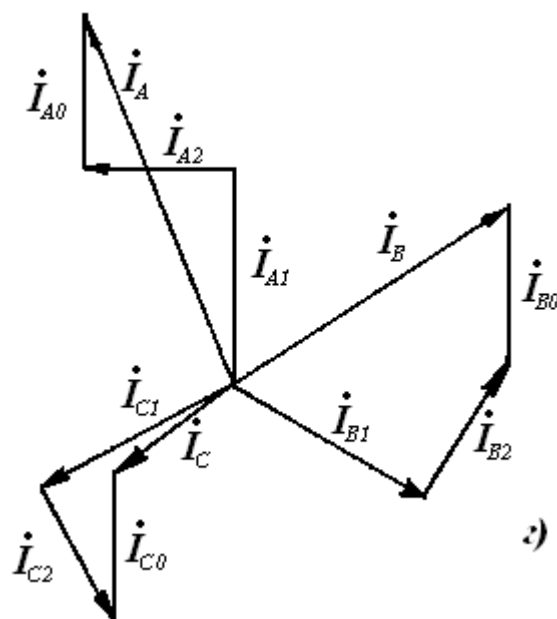
Бирор векторни шу коэффициент «а» га кўпайтириш наижасида, шу векторнинг узунлиги ўзгармаган ҳолда, унинг аргументи $2\pi/3$ га ўзгаради, яъни вектор $2\pi/3 = 120^\circ$ га айланиш йўналишида бурилади. Векторни a^2 қийматига кўпайтирилса, уни шу йўналишда $4\pi/3 = 240^\circ$ га буради. Демак:

$$a = 1, \quad 1 + a + a^2 = 0, \quad a^4 = a^3 \cdot a = a$$

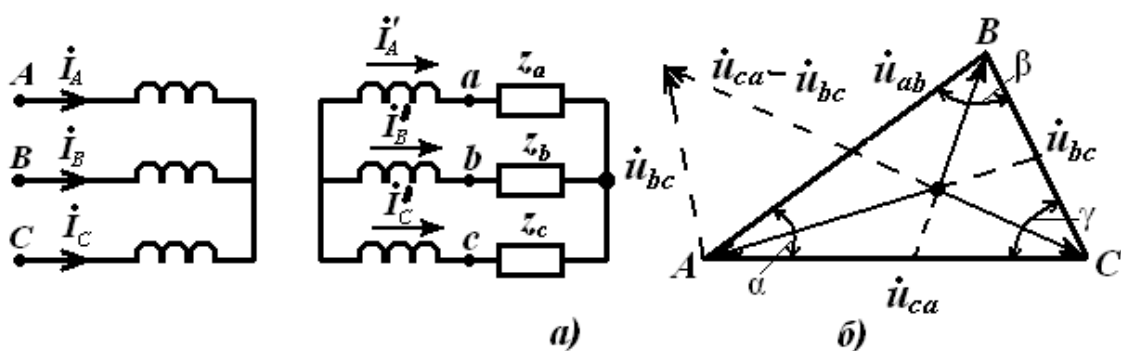
(6.1.) – тенгламаларга a ва a^2 коэффициентларни киритсак:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_a &= \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{OK} \\ \dot{I}_B &= a^2 \dot{I}_{a1} + a \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{OK} \\ \dot{I}_C &= a \dot{I}_{a1} + a^2 \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{OK} \end{aligned} \right\} \quad (6.2.)$$





6.1-расм. Уч фазали носимметрик токлар вектор диаграммалари: а, б, в – тўғри, тескари ва нолли ташкил этувчилари; г – натижавий диаграмма.



6.2–расм.

бунда $\dot{I}_{D1} = a^2 \dot{I}_{a1}$; $\dot{I}_{B2} = a \cdot \dot{I}_{a2}$; $\dot{I}_{C1} = a \dot{I}_{a1}$; $\dot{I}_{C2} = a^2 \dot{I}_{a2}$; $\dot{I}_{a0} = \dot{I}_{B0} = \dot{I}_{C0} = \dot{I}_{OK}$

Тенгламалар (6.2.) дан кўринадики, тўғри, тескари ва нолли кетма-кетлик токлари носимметрик токлар орқали қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a\dot{I}_B + a^2\dot{I}_C), \\ \dot{I}_2 &= \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a^2\dot{I}_B + a\dot{I}_C), \\ \dot{I}_0 &= \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \dot{I}_B + \dot{I}_C), \end{aligned} \right\} \quad (6.3.)$$

Агар берилган уч фазали бирламчи чулғам кучланишлари носимметрик бўлса, уларни ҳам шундай симметрик ташкил этувчилар орқали ифодалаш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{U}_{a1} + \dot{U}_{a2} + \dot{U}_{ok} \\ \dot{U}_b &= \alpha^2 \cdot \dot{U}_{a1} + \alpha \dot{U}_{a2} + \dot{U}_{ok} \\ \dot{U}_c &= \alpha \dot{U}_{a1} + \alpha^2 \dot{U}_{a2} + \dot{U}_{ok}, \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{a1} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_a + a\dot{U}_b + a^2\dot{U}_c) \\ \dot{U}_{a2} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_a + a^2\dot{U}_b + a\dot{U}_c) \\ \dot{U}_{ok} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c) \end{aligned} \right\} \quad (6.5.)$$

Мазкур усулнинг афзаллиги шундаки, бошқа кетма-кетлик токлари тизимларини ҳисобга олмаган ҳолда, айрим кетма-кетлик токлари тизимларига нисбатан математик ва график анализларнинг маълум усуллари қўллаш мумкин. Аммо, симметрик ташкил этувчилар усули суперпозиция усулини қўллашни кўзда тутганлиги учун, уни фақат чизиқли боғланишга татбиқ этиш мумкин. Трансформаторларга қўллашда бу талаб қуйидаги фаразларни қабул қилишга олиб келади: магнит ўтказгич тўйинмаган бўлсин, яъни $Z_0 = \text{Const}$, ёки юксиз ишлаш токини (I_0 қ 0) ҳисобга олмасин, яъни $Z_0 = \infty$. Шу билан бирга, бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ўрамли сони тенг (W_1 қ W_2) трансформациялаш коэффициенти ($K_{TR} \text{ қ } W_1/W_2 \text{ қ } 1$) бирга тенг, деб қабул қилинсин. Бу эса трансформаторнинг иккиламчи чулғами бирламчига келтирилган эканлигини билдиради. Шунинг учун кейинги ёзувларда иккиламчи чулғам қийматларини штрих билан (U_2^1 , U_a^1 , I_2^1 , U_{a2}^1 , U_{ao}^1 ва *хоказо*) белгилаш қабул қилинади.

Шуни ҳам кўзда тутиш керакки, валлари айланувчи электр машиналаридан фарқли ўлароқ, трансформаторларда тўғри кетма-кетлик қаршилиги тескари кетма-кетлик қаршилигига тенгдир. Ҳақиқатдан ҳам, симметрик юк билан ишлаётган трансформаторнинг фазалар кетма-кетлиги (трансформаторга келувчи уч фаза ўтказгичларидан иккисининг ўринлари) алмаштирилса, у ҳолда трансформатор тоқларининг ҳам фаза кетма-кетлиги тескарисига алмашади, аммо, аниқки, трансформаторнинг ички қаршилиги ўзгармайди. Демак, тескари кетма-кетлик токлари сингари тўғри кетма-кетлик токлари, иккиламчи чулғамдан бирламчига трансформациялашда ва улар симметрик трансформаторларини таҳлил қилгандаги каби ўхшаш алмаштириш схемаларга эга бўладилар (1.12-

расм). Бу эса трансформаторларини носимметрик режимда ишлаш тадқиқотини анчагина соддалаштиради, чунки тўғри ва тескари ташкил этувчиларнинг ҳар бирини алоҳида кўришнинг ўрнига уларнинг геометрик йиғиндиларини кўриш мумкин бўлади.

Шуларга кўра, носимметрик тоқлар тизимлари учун қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_a &= \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{ao} = \dot{I}_a^H + \dot{I}_{ao} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{ao} = \dot{I}_B^H + \dot{I}_{Bo} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{co} = \dot{I}_C^H + \dot{I}_{Co} \end{aligned} \right\} \quad (6.6.)$$

Уч фазали трансформаторнинг чулғамлари Y/Y , Y/Y_0 , Y/Δ , Δ/Y , Δ/Y_0 , ва $Y/\Delta/Y_0$ усулларда улангандаги носимметрик юкланганлигини кўрайлик.

6.2. ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИНИ Y/Y УЛАНГАНДАГИ НОСИММЕТРИК ЮКЛАНИШИ

Кўриладиган схемада (6.2,а-расм) бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг нейтрал сими йўқдир ва бирламчи ва иккиламчи линия тоқлари учун қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (6.7)$$

$$\dot{I}'_a + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C = 0 \quad (6.8)$$

Юқоридаги (6.7) ва (6.8) тенгламалардан келиб чиқадики, трансформатор чулғамларининг ушбу уланишда нолли кетма-кетлик тоқлари бўлмайди, чунки (6.3) га кўра

$$\text{ва} \quad \left. \begin{aligned} \dot{I}_{ao} &= \dot{I}_{Bo} + \dot{I}_{Co} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = 0 \\ \dot{I}'_{ao} &= \dot{I}'_{Bo} = \dot{I}'_{Co} = \frac{1}{3}(\dot{I}'_a + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C) = 0 \end{aligned} \right\}$$

Нолли кетма-кетлик тоқлари бўлмаган ҳолда, тўғри ва тескари кетма-кетлик ҳар бирининг алмаштириш схемалари симметрик трансформаторларни текширганда қўлланилган алмаштириш схемалари (1.12-расм) дан фарқ қилмайди, шу туфайли уларнинг қисқа туташув қаршиликлари ҳам бир хил бўлмайди.

Уч устунли трансформатор (1.2-расм) учун тўла ток қонунига асосан, ($W_1=W_2$ ва $I_0=0$ бўлганда) қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\dot{I}_A + \dot{I}'_a - \dot{I}'_B - \dot{I}_B = 0 \quad (6.9)$$

$$\dot{I}'_A + \dot{I}'_a - \dot{I}'_C - \dot{I}_C = 0 \quad (6.10)$$

Юқоридаги (6.7), (6.8), (6.9), ва (6.10) тенгламаларни биргаликда ечсак, у ҳолда токларни аниқлаймиз:

$$\dot{I}_A + -\dot{I}'_a, \dot{I}_B = -\dot{I}'_B, \dot{I}_C = -\dot{I}'_C \quad (6.11)$$

Демак, трансформатор чулғамлари Y/Y уланганда, нолли кетма-кетлик токлари бўлмаса, бирламчи ва иккиламчи чулғамларининг токлари ўзаро тенг ва фазалари тескари бўлади. Бу тенглик трансформаторнинг симметрик ва носимметрик юкланганлигида ҳам амал қилади.

Юлдуз уланган чулғамларда линия ва фаза кучланишлари орасида қуйидаги боғланиш мавжуд:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A, \end{aligned} \right\} \quad (6.12)$$

Ўз навбатида, фаза кучланишларини трансформатор чулғами кучланишларини тенгламаси (1.33) ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= -\dot{E}_A + \dot{I}_A \cdot Z_1 \\ \dot{U}_B &= -\dot{E}_B + \dot{I}_B \cdot Z_1 \\ \dot{U}_C &= -\dot{E}_C + \dot{I}_C \cdot Z_1 \end{aligned} \right\} \quad (6.13)$$

Кўрилатган трансформатор уч устунли бўлганлиги учун, улардаги магнит оқимлари қуйидаги тенгламани қаноатлантиришлари шарт:

$$\dot{\phi}_A + \dot{\phi}_B + \dot{\phi}_C = 0$$

Шунинг учун, бу оқимлардан индуктивланган Э.Ю.К. лар ҳам шу каби тенгламани қаноатлантирадилар:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \quad (6.14)$$

(6.13.) тенгламаларни қўшиш натижасида, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = -(\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) + (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \cdot Z_1$$

Тенгламалар (6.7.) ва (6.14) ларни ҳисобга олсак, қуйидагиларни топамиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \frac{\dot{U}_{AB} - \dot{U}_{CA}}{3} \\ \dot{U}_B &= \frac{\dot{U}_{BC} - \dot{U}_{AB}}{3} \\ \dot{U}_C &= \frac{\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BC}}{3} \end{aligned} \right\} \quad (6.16.)$$

Шундай қилиб, кўрилатган уланиш схемасида бирламчи фаза ва линия кучланишлари юкланишга боғлиқ бўлмайди ва уларнинг нейтрал нуқталари линия кучланишлари ҳосил бўлган учбурчакнинг оғирлик маркази билан мос келар экан (6.2, б-расм). Учбурчакнинг оғирлик маркази унинг медианалари кесишган нуқтада эканлигини, медианалари эса мазкур нуқтада 2:1 нисбатда бўлинишларини ҳисобга олсак, у ҳолда фаза кучланишлари қиймати қуйидагича аниқланадилар:

$$\begin{aligned} U_A &= \frac{1}{3} \sqrt{U_{AB}^2 + U_{CA}^2 + 2U_{AB} \cdot \cos \varphi}, \\ U_B &= \frac{1}{3} \sqrt{U_{BC}^2 + U_{AB}^2 + 2U_{BC} \cdot \cos \beta}, \\ U_C &= \frac{1}{3} \sqrt{U_{CA}^2 + U_{BC}^2 + 2U_{CA} \cdot \cos \gamma}, \end{aligned}$$

5.3-расмдаги вектор диаграммасидан ҳар уччала фаза учун $\dot{U}_2^1$ ни аниқласак, қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_A &= -\dot{U}_A + \dot{I}_A \cdot Z_{K.T} \\ \dot{U}'_B &= -\dot{U}_B + \dot{I}_B \cdot Z_{K.T} \\ \dot{U}'_C &= -\dot{U}_C + \dot{I}_C \cdot Z_{K.T} \end{aligned} \right\} \quad (6.17)$$

бунда $Z_{K.T.} = r_{K.T.} + jX_{K.T.} = (r_1 + r_2^1) + j(X_1 + X_2^1)$

Иккиламчи линия кучланишлари фаза кучланишларининг айирмаси сифатида аниқланади:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_{aB} &= \dot{U}'_a - \dot{U}'_B \\ \dot{U}'_{BC} &= \dot{U}'_B - \dot{U}'_C \\ \dot{U}'_{Ca} &= \dot{U}'_C - \dot{U}'_a, \end{aligned} \right\} \quad (6.18)$$

Бирламчи ва иккиламчи тоқларни аниқлаш учун 6.2-расмга кўра

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_a - \dot{U}'_b &= \dot{I}'_a \cdot Z_\alpha - \dot{I}'_b \cdot Z_b \\ \dot{U}'_a - \dot{U}'_c &= \dot{I}'_a \cdot Z_\alpha - \dot{I}'_c \cdot Z_c \end{aligned} \right\} \quad (6.19)$$

бўлганини ҳисобга олиб, (6.17) ва (6.18) тенгламаларни (6.7) ва (6.11) лар билан бирга ечсак, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{(\dot{U}_A - \dot{U}_b)(Z_k + Z_c) - (\dot{U}_c - \dot{U}_A)(Z_k + Z_b)}{(Z_k + Z_\alpha)(Z_k + Z_b) + (Z_k + Z_b)(Z_k + Z_c) + (Z_k + Z_c)(Z_k + Z_\alpha)} \\ \dot{I}_B &= \frac{(\dot{U}_B - \dot{U}_C)(Z_k + Z_\alpha) - (\dot{U}_A - \dot{U}_B)(Z_k + Z_c)}{(Z_k + Z_\alpha)(Z_k + Z_c) + (Z_k + Z_b)(Z_k + Z_c) + (Z_k + Z_c)(Z_k + Z_\alpha)} \\ \dot{I}_C &= \frac{(\dot{U}_C - \dot{U}_A)(Z_k + Z_b) - (\dot{U}_B - \dot{U}_C)(Z_k + Z_\alpha)}{(Z_k + Z_\alpha)(Z_k + Z_b) + (Z_k + Z_b)(Z_k + Z_c) + (Z_k + Z_c)(Z_k + Z_\alpha)} \end{aligned} \right\} \quad (6.20)$$

Шундай қилиб, берилган бирламчи линия кучланиши ва исталган юкланиш қаршилигида бизни қизиқтирган ҳамма қийматлар аниқланди, бунда (6.16) тенгламалар бирламчи фаза кучланиши, (6.20) ва (6.11) – бирламчи ва икиламчи чулғам тоқларини ва (6.17) билан (6.18) – иккинчи фаза ва линия кучланишларини аниқлашга имкон беради.

Кўрилган жараён учун вектор диаграммасини (6.17) – (6.20) тенгламалар ёрдамида қуриш мумкин.

Шуни таъкидлаш керакки, бирламчи кучланишлар симметрик ва юкланиш носимметрик бўлганда икиламчи чулғам фаза ва линия кучланишларининг носимметрияси (6.17) ва (6.18) тенгламаларга кўра, фақатгина трансформатор фазаларидаги кучланишлар пасаяувининг ҳар хиллиги натижасида вужудга келади. Аммо, қисқа туташув қаршилиги Z_k юнинг номинал қаршилигидан анчагина кичик бўлганлиги сабабли, трансформатор фазаларидаги кучланишлар пасаяуви номиналга нисбатан кичик бўлади. Шу туфайли, носимметрик юкланиш, чулғамлари Y/Y уланган трансформатор икиламчи кучланишларининг симметриясини сезиларсиз ўзгартиради.

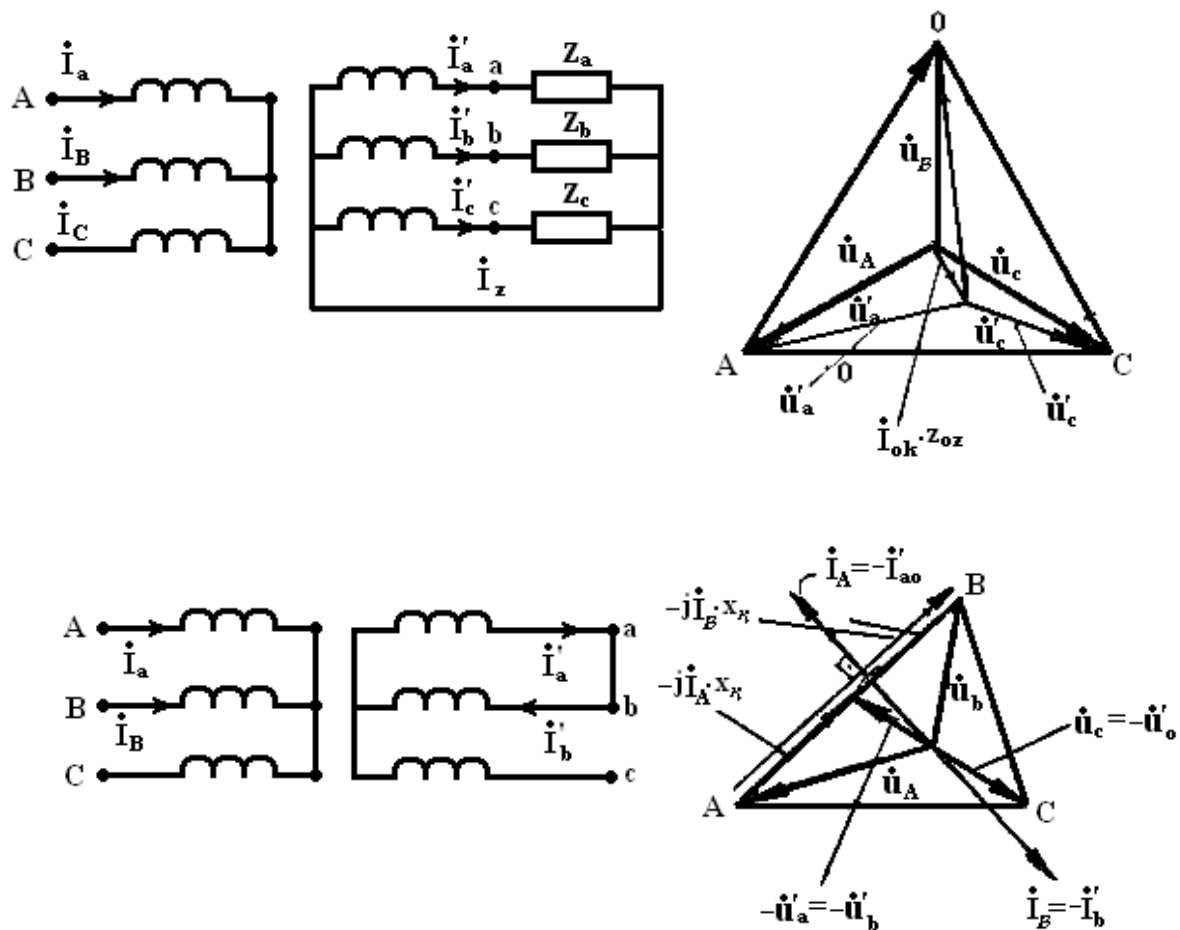
Чулғамлари Y/Y уланган трансформатор носимметрик юкланишининг чегаравий ҳолати (максимал юкли), унинг икки фазали қисқа туташувидир (6.3, а-расм). Бу ҳолатда икиламчи чулғам тоқлари

$$\dot{I}'_\alpha = -\dot{I}'_b = \dot{I}'_k, \quad \dot{I}'_c = 0$$

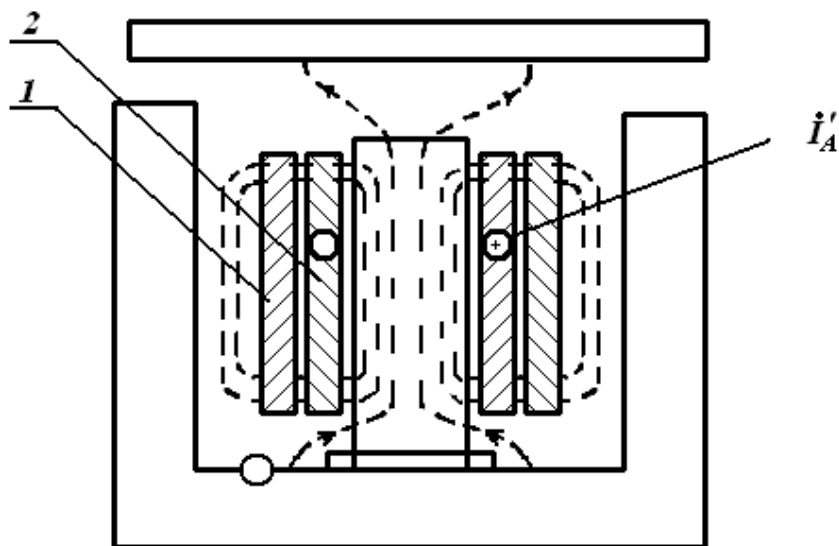
Бирламчи чулғам тоқлари (6.11) га кўра:

$$\dot{I}_A = -\dot{I}_B = \dot{I}_k, \quad \dot{I}_c = 0$$

Икиламчи фаза кучланишлари (6.17) га кўра:



6.4-расм. Чулғамлари Y/Y₀ уланган трансформаторнинг носимметрик уланиши:
а – уланиш схемаси; б – вектор диаграммаси.



6.5-расм. Нолли кетма-кетлик токлари ҳосил қилган магнит оқим тасвири
(1 – бирламчи ва 2 – иккиламчи чулғамлари).

$$\begin{aligned}
\dot{U}'_{\alpha} &= -\dot{U}_A + \dot{I}_k \cdot Z_k \\
\dot{U}'_b &= -\dot{U}_B + \dot{I}_k \cdot Z_k \\
\dot{U}'_c &= -\dot{U}_c
\end{aligned}
\tag{6.21}$$

қиска туташувда $\dot{U}'_{\alpha} - \dot{U}'_b = 0$, яъни $\dot{U}'_{\alpha} - \dot{U}'_b$, эканлигини ҳисобга олиб ва (6.21) даги биринчи ва иккинчи тенгламаларни қўшиб, қуйидагини аниқлаймиз:

$$\dot{U}'_{\alpha} - \dot{U}'_b = -\frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B}{2}, \quad \dot{U}'_c = -\dot{U}_c$$

Иккиламчи линия кучланишлари (6.18) дан аниқланади:

$$\dot{U}'_{ab} = 0, \quad \dot{U}'_{bc} = -\frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B}{2} + \dot{U}'_c, \quad \dot{U}'_{ca} + \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B}{2}$$

Тенгламалар (6.21) нинг биринчисидан иккинчисини айирсак:

$$\dot{I}_A = -\dot{I}_B = \dot{I}_k = \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_B}{2Z_k} = \frac{\dot{U}_{AB}}{2Z_k}$$

Кўрилган трансформаторнинг икки фазали қиска туташуви ($Z_k \approx jX_k$, $r_k \approx 0$) учун вектор диаграмма 6.3, б-расмда қурилган.

Шуни таъкидлаш керакки, тескари кетма-кетлик токи ёки кучланишининг, мос равишда, тўғри кетма-кетлик токи ёки кучланишига нисбати 5% дан кўп бўлмаса, бундай уч фазали токлар ёки кучланишлар тизими тажрибада симметрик, деб қабул қилинади.

Бирламчи симметрик кучланиш ва икки фазали носимметрик юкланиш натижасида иккиламчи чулғам кучланишлари симметрияси сақланиши учун юк токининг қиймати қуйидагидан ошмаслиги керак:

$$\dot{I}_2 \leq \frac{5\sqrt{3}(1 - \Delta U / 100)}{U_k} \cdot I_{2ном} \tag{6.22}$$

Бунда ΔU ва U_k фоизга келтирилган, мос равишда, кучланишлар, пасажуви ва қиска туташув кучланиши.

Демак, (6.22) дан кўринишича, токлари номиналдан ошмаган икки фазали носимметрик юкланиш, қиска туташув кучланиши даражасида иккиламчи кучланиш симметриясини бузар экан.

6.3. ЧУЛҒАМЛАРИ Y/Y₀ УЛАНГАНДАГИ НОСИММЕТРИК ЮКЛАНИШИ

Кўрилатган схемада (6.4, а-расм) бирламчи ва иккиламчи тоқлар йиғиндиси Кирхгофнинг биринчи қонунига асосан:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0, \quad (6.23)$$

$$\dot{I}'_\alpha + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C + \dot{I}'_2 = 0 \quad (6.24)$$

Мазкур схемада Y/Y улангандагига ўхшаш, бирламчи чулғам тоқлари таркибида фақат тўғри ва тесқари кетма-кетлик ташкил этувчилари мавжуд, чулки

$$\dot{I}_{AO} = \dot{I}_{BO} = \dot{I}_{CO} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = 0,$$

яъни

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = \dot{I}''_A \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} = \dot{I}''_B \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} = \dot{I}''_C \end{aligned} \right\}$$

Иккиламчи чулғам тоқлари таркибида эса ҳамма кетма-кетлик ташкил этувчилари мавжуд:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}'_a &= \dot{I}'_{a1} + \dot{I}'_{a2} + \dot{I}'_{ao} = \dot{I}''_a - \dot{I}'_{ao} \\ \dot{I}'_b &= \dot{I}'_{b1} + \dot{I}'_{b2} + \dot{I}'_{bo} = \dot{I}''_b + \dot{I}'_{bo} \\ \dot{I}'_c &= \dot{I}'_{c1} + \dot{I}'_{c2} + \dot{I}'_{co} = \dot{I}''_c + \dot{I}'_{co} \end{aligned} \right\} \quad (6.25)$$

бунда $\dot{I}''_A$, $\dot{I}''_B$, $\dot{I}''_C$ ва $\dot{I}''_a$, $\dot{I}''_b$, $\dot{I}''_c$ лар бирламчи ва иккиламчи тўғри ва тесқари кетма-кетлик ташкил этувчиларининг мазкур фаза ва чулғам тоқлари йиғиндиларидир. (6.26) ва (6.24) лардан, нолли кетма-кетлик тоқлари

$$\dot{I}'_{ao} = \dot{I}'_{bo} = \dot{I}'_{co} = \frac{1}{3}(\dot{I}'_a + \dot{I}'_b + \dot{I}'_c) = -\frac{1}{3}\dot{I}'_2$$

Иккиламчи тоқлар тўғри ва тесқари кетма-кетликларининг ҳар бир фаза тоқлари геометрик йиғиндиси:

$$\dot{I}''_\alpha = \dot{I}'_{\alpha 1} + \dot{I}'_{\alpha 2} = \dot{I}'_\alpha - \dot{I}'_{0k} = \dot{I}'_{\alpha 1} + \frac{1}{3}\dot{I}'_2;$$

$$\begin{aligned} I_b'' &= I_{b1}' + I_{b2}' = I_b' - I_{0k}' = I_{b1}' + \frac{1}{3} I_z'; \\ I_c'' &= I_{c1}' + I_{c2}' = I_c' - I_{0k}' = I_{c1}' + \frac{1}{3} I_z'; \end{aligned}$$

Трансформатор иккиламчи чулғамининг тўғри ва тескари кетма-кетлик токлари бирламчи чулғамнинг уларга мос токлари билан мувозанатлашадилар ва уларга трансформацияланадилар, яъни:

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_A'' = -I_a'' = -I_a' + I_{ok}' \\ I_B &= I_B'' = -I_b'' = -I_b' + I_{ok}' \\ I_C &= I_C'' = -I_c'' = -I_c' + I_{ok}' \end{aligned} \right\} \quad (6.26)$$

Иккиламчи чулғам нолли кетма-кетлик токлари бирламчи чулғамнинг нолли кетма-кетлик токлари билан мувозанатлашмайди, чунки

$$I_{Ao} = I_{Bo} = I_{Co} = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C) = 0,$$

ва демак, бирламчи чулғамга трансформацияланмас экан. Шунинг учун нолли кетма-кетлик токлари фақат иккиламчи чулғамдан оқиб ўтадилар ва магнитловчидирлар. Улар магнит ўтказгичнинг ҳар бирида нолли кетма-кетлик магнит оқимлари φ_{ok} ни ҳосил қиладилар. Ҳар бир ўзакдаги оқим бир хил қийматли ва бир хил йўналгандир, чунки $I_{ao}' = I_{bo}' = I_{co}' = -\frac{1}{3} I_2' = I_{ok}'$. Шу сабабли ҳар бир ўзакдаги оқим берк контур ҳосил қилиши учун бошқа ўзакдан ўтолмайди, чунки ҳар бир бошқа ўзакдан оқаётган φ_{ok} га тенг, аммо тескари йўналган ўзининг φ_{ok} оқими бунга қаршилиқ кўрсатади. Натижада ҳар бир ўзакнинг оқими бир магнит тўсиндан ўтиб, ундан иккинчи магнит тўсинга ўтиш учун чулғамнинг атрофидаги муҳитдан оқиб ўтади (расм 6.5).

Уч фазали трансформаторларда нолли кетма-кетлик оқими φ_{ok} бир магнит тўсиндан иккинчисига ҳаво, мой ва турли маҳкамлаш қисмлари ва ғилоф ёки бокнинг деворлари орқали оқиб ўтиши сабабли, φ_{ok} нинг қиймати нисбатан кичик бўлади. Бу оқимнинг турли маҳкамлаш қисмлари ва ғилоф ёки бок деворлари орқали оқиб ўтиши шу жисмларда қўшимча қувват исрофини ҳосил қилади. Бу томондан, нолли кетма-кетлик оқими магнит ўтказгичнинг тўйинишидан ҳосил бўлувчи магнит оқимининг учинчи гармоникаси φ_3 га ўхшашдир. Аммо улар орасида қуйидагилардан иборат бўлган тафовутлар ҳам мавжуддир: 1) оқим φ_3 трансформаторнинг юксиз ишлашида ҳам, токли ишлашида ҳам тахминан ўзгармас қийматга эга, ҳолбуки, φ_{ok} оқими трансформаторнинг носимметрик юкли қийматига боғлиқдир; 2) оқим φ_3 нинг давр тезлиги тармоқникидан уч марта катта бўлса, φ_{ok} нинг давр тезлиги тармоқникига тенг; 3) оқим φ_3 бирламчи ва

иккиламчи фаза Э.Ю.К. ларнинг шаклини ўзгартириб, уларнинг симметриясини бузмаса, φ_{ok} оқими Э.Ю.К. лар шаклини ўзгартирмаган ҳолда, улар симметриясига катта таъсир кўрсатади.

I'_{ok} токи ҳосил қилган φ_{ok} магнит оқими чулғамларнинг ҳар бир фазасида нолли кетма-кетлик Э.Ю.К. лари индуктивлайди. Шунинг ҳисобга олган ҳолда, бирламчи чулғам кучланишлар тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= -\dot{E}_A - \dot{E}_{ok} + \dot{I}_A \cdot Z_1 \\ \dot{U}_B &= -\dot{E}_B - \dot{E}_{ok} + \dot{I}_B \cdot Z_1 \\ \dot{U}_C &= -\dot{E}_C - \dot{E}_{ok} + \dot{I}_C \cdot Z_1 \end{aligned} \right\} \quad (6.27)$$

Э.Ю.К. ларни ток ва қаршиликлар орқали ифодаласак:

$$\dot{E}_{ok} = -\dot{I}_{ok} \cdot Z_{ok}$$

Бунда $Z_{ok} = r_{ok} + jX_{ok}$ – нолли фазалар кетма-кетлигининг тўла қаршилиги; X_{ok} – магнит оқим φ_{ok} га боғлиқ бўлган индуктив қаршилик; r_{ok} – магнит оқим φ_{ok} нинг оқиши натижасида пўлат жисмларда ҳосил бўлган қувват исрофларини ҳисобга олувчи актив қаршилик.

Юқоридаги (6.27) тенгламаларни ўзаро қўшиб, (6.7) ни, ҳамда тўғри ва тескари кетма-кетлик магнит оқимларидан индуктивланган Э.Ю.К. ларнинг геометрик йиғиндиси $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$ ни ҳисобга олсак, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = -3\dot{E}_{ok} = 3\dot{I}_{ok} \cdot Z_{ok} \quad (6.28)$$

Бирламчи чулғам фаза кучланишлари (6.12) дан (6.28) ни ҳисобга олган ҳолда қуйидагини аниқлаш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \frac{\dot{U}_{AB} - \dot{U}_{CA}}{3} + \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = \dot{U}''_A + \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = \dot{U}''_A - \dot{U}_{AO} \\ \dot{U}_B &= \frac{\dot{U}_{BC} - \dot{U}_{AB}}{3} + \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = \dot{U}''_B + \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = \dot{U}''_B - \dot{U}_{BO} \\ \dot{U}_C &= \frac{\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BC}}{3} + \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = \dot{U}''_C + \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = \dot{U}''_C - \dot{U}_{CO} \end{aligned} \right\} \quad (6.29)$$

Ушбу (6.29) тенгламалар ёрдамида қурилган бирламчи кучланишлар вектор диаграммаси 6.4,б-расмда келтирилган. Ундан кўринадики, бирламчи чулғам векторлари диаграммаси нейтрал (0 нуқтаси потенциали) нолли кетма-кетлик токлари мавжудлиги сабабли линия кучланишлари учбурчаги оғирлик маркази 0 нуқтасидан $\dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok}$ узунликка силжиган бўлади.

Иккиламчи чулғам фаза кучланишлари (6.17) ва (6.25) ларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} U'_\alpha &= -\dot{U}_A + \dot{I}_A \cdot Z_1 - \dot{I}_A'' \cdot Z'_2 - \dot{I}_{ao} \cdot Z'_z = -\dot{U}_A + \dot{I}_A \cdot Z_k - \dot{I}_{ok} \cdot Z'_2 \\ U'_b &= -\dot{U}_B + \dot{I}_B \cdot Z'_k - \dot{I}_{ok} \cdot Z'_2 \\ U'_c &= -\dot{U}_C + \dot{I}_C \cdot Z'_k - \dot{I}_{ok} \cdot Z'_2 \end{aligned} \right\} \quad (6.30)$$

(6.29) ни (6.30) га қўйсақ ушбу кучланишларни ҳосил қиламиз:

$$\left. \begin{aligned} U'_\alpha &= -\dot{U}_A'' + \dot{I}_A \cdot Z_k - \dot{I}_{ok} (Z_{ok} + Z'_2) \\ U'_B &= -\dot{U}_B'' + \dot{I}_B \cdot Z_k - \dot{I}_{ok} (Z_{ok} + Z'_2) \\ U'_C &= -\dot{U}_C'' + \dot{I}_C \cdot Z_k - \dot{I}_{ok} (Z_{ok} + Z'_2) \end{aligned} \right\} \quad (6.31)$$

Тенгламалар (6.31) шуни кўрсатадики, иккиламчи чулғам нейтрал нуктаси потенциалининг силжиши бирламчи чулғам нейтрал нуктаси потенциалининг силжишидан бирмунча кўпроқдир, чунки $Z_{ok} + Z'_2 = Z_{аном} > Z_{ok}$. Аммо бу фарқ деярли катта эмас. Иккинчи линия кучланишлари (6.30) ни (6.28) га қўйиб, қуйидагилар аниқланади:

$$\left. \begin{aligned} U'_{ab} &= \dot{U}'_a - \dot{U}'_b = -\dot{U}_A + \dot{I}_A \cdot Z_k - \dot{I}_{ok} \cdot Z'_2 + \dot{U}_B - \dot{I}_B \cdot Z_k + \dot{I}_{ok} \cdot Z'_2 = \\ &= -\dot{U}_A + \dot{U}_B + (\dot{I}_A - \dot{I}_B) \cdot Z_k = -\dot{U}_{AB} + (\dot{I}_A - \dot{I}_B) \cdot Z_k \\ U'_{bc} &= -\dot{U}'_B + \dot{U}'_c + (\dot{I}_B - \dot{I}_c) \cdot Z_k = -\dot{U}_{Bc} + \dot{U}_{Bc} + (\dot{I}_B - \dot{I}_c) \cdot Z_k = \\ U'_{ca} &= -\dot{U}'_C + \dot{U}'_a + (\dot{I}_C - \dot{I}_A) \cdot Z_k = -\dot{U}_{CB} + (\dot{I}_A - \dot{I}_A) \cdot Z_k \end{aligned} \right\} \quad (6.32)$$

Тенгламалар (6.32) дан кўринадики, иккиламчи чулғам линия кучланишларининг қийматларига нолли кетма-кетлик токлари таъсир этмайди. Ҳақиқатдан ҳам, трансформатор иккиламчи чулғамининг ҳар бир фазасида бир-бирига тенг ва бир хил фазадаги нолли кетма-кетлик фаза кучланишлари ҳосил бўлади. Шунинг учун, икки фаза кучланишларининг геометрик айирмасига тенг бўлган линия кучланишида, ушбу ташкил этувчилар бир бирини компенсация қиладилар (бир бирини қисқартирадилар). Шу сабабли, носимметрик юкланишда, иккиламчи линия кучланишларининг ўзгариши нуктаи назаридан, Y/Y_0 усулда чулғамлар уланиши, Y/Y усулдагига ўхшашдир, яъни иккиламчи линия кучланишларига фақат тўғри ва тескари кетма-кетлик токлари таъсир этади.

Иккиламчи кучланишлар векторлари диаграммаси бирламчиникига ўхшаш (6.4-рasm), шунинг учун у алоҳида келтирилмаган.

Чулғамлардан оқаётган токларни аниқлаш учун аввал иккиламчи фаза кучланишлари боғланишларини қулайроқ шаклга келтирамиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_a &= \dot{I}'_a \cdot Z_a = \left(\dot{I}''_a + \dot{I}'_{ao} \right) \cdot Z'_a = \left(-\dot{I}_A + \dot{I}'_{ok} \right) \cdot Z_a \\ \dot{U}'_b &= \dot{I}'_b \cdot Z_b = \left(\dot{I}''_b + \dot{I}'_{bo} \right) \cdot Z'_b = \left(-\dot{I}_B + \dot{I}'_{ok} \right) \cdot Z_b \\ \dot{U}'_c &= \dot{I}'_c \cdot Z_c = \left(\dot{I}''_c + \dot{I}'_{co} \right) \cdot Z'_c = \left(-\dot{I}_C + \dot{I}'_{ok} \right) \cdot Z_c \end{aligned} \right\} \quad (6.33)$$

сўнгра, (6.33) ни (6.30) га қўйсак, бирламчи фаза кучланишларининг тоқлар орқали ифодаларини аниқлаймиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A (Z_k + Z_a) - \dot{I}'_{ok} (Z'_2 + Z_a) \\ \dot{U}_B &= \dot{I}_B (Z_k + Z_b) - \dot{I}'_{ok} (Z'_2 + Z_b) \\ \dot{U}_C &= \dot{I}_C (Z_k + Z_c) - \dot{I}'_{ok} (Z'_2 + Z_c) \end{aligned} \right\} \quad (6.34)$$

Бу тенгламалар (6.34) дан бирламчи тоқларни аниқлаймиз:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A + \dot{I}'_{ok} (Z'_2 + Z_a)}{Z_k + Z_a} \quad (6.35)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B + \dot{I}'_{ok} (Z'_2 + Z_b)}{Z_k + Z_b} \quad (6.36)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C + \dot{I}'_{ok} (Z'_2 + Z_c)}{Z_k + Z_c} \quad (6.37)$$

$\dot{I}'_{ok}$ тоқ қийматини аниқлаш учун, (6.34) ва (6.23) тенгламаларни биргаликда ечамиз:

$$\begin{aligned} \dot{I}'_{ok} &= \frac{U_A (Z_k + Z_b) \cdot (Z_k + Z_c) + U_B (Z_k + Z_a) (Z_k + Z_c) +}{(Z_k + Z_b) (Z_k + Z_c) (Z_2 + Z_a) (Z_k + Z_a) (Z_k + Z_c) (Z_2 + Z_b) +} \\ &\quad \frac{+ U_C (Z_k + Z_a) (Z_k + Z_b)}{+ (Z_k + Z_a) (Z_k + Z_b) (Z_2 + Z_c)} \end{aligned} \quad (6.38)$$

Трансформаторнинг нейтрал симидаги тоқнинг қиймати:

$$\dot{I}'_{H.c} = - \left(\dot{I}'_a + \dot{I}'_b + \dot{I}'_c \right) = -3 \dot{I}'_{ok}$$

Трансформатор иккиламчи чулғам тоқлари:

$$\dot{I}'_a = \dot{I}''_a + \dot{I}'_{ao} = -\dot{I}_A + \dot{I}'_{ok}$$

$$\dot{I}'_b = \dot{I}''_b + \dot{I}'_{bo} = -\dot{I}_B + \dot{I}'_{ok}$$

$$\dot{I}'_c = \dot{I}''_c + \dot{I}'_{co} = -\dot{I}_C + \dot{I}'_{ok}$$

Шундай қилиб, трансформатор чулғамлари Y/Y_0 усулда уланиб, носимметрик юкланса, бирламчи ва иккиламчи чулғамларда қўшимча Э.Ю.К. $E'_{ok} = I'_{ok} \cdot Z_{ok}$ ҳосил бўлади. қаршилик Z_{ok} бирламчи фаза кучланишларининг носимметрик ўзгаришларини, $Z_{ok} + Z'_2 = Z_{o.nom}$ қаршилиги эса иккиламчи фаза кучланишларининг носимметрик ўзгаришини аниқлайдилар. Иккала қаршиликлар Z_{ok} ва $Z_{o.nom}$ ҳам нолли кетма-кетлик қаршиликлари, деб аталадилар ва юқорида келтирилганидек, улар бир бирларидан кам фарқланадилар. Трансформаторни ишлатиш тажрибасида $Z_{o.nom}$ қаршилиги нолли кетма-кетлик номинал қаршилиги, деб аталади ва у трансформатор каталогларида келтирилади.

Уч ўзакли трансформаторларда

$$Z^*_{0.ноб} = \frac{I_H \cdot Z_{o.nom}}{U_H} = 0.3 \div 1$$

Бунда U_H ва I_H трансформаторнинг номинал кучланиши ва токидир.

Фаза кучланишлар тизими вектор диаграммасининг нейтрал нуқтаси силжиши ўртача фаза кучланишларининг 5% дан ошмаса, симметрик фаза кучланишлари дейилади, яъни

$$\frac{I_{ok} \cdot Z_{o.nom}}{U_H} \leq 0.05$$

Шунга кўра, фаза кучланишлари тизими носимметрик бўлмаслигини таъминловчи нейтрал симнинг максимал токи қиймати қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\frac{I_{ok} \cdot Z_{o.nom}}{U_H} \cdot \frac{I_H}{I_H} = \frac{I_{H.C}}{3 \cdot I_H} \frac{I_H \cdot Z_{o.nom}}{U_H} \leq 0.05 \quad (6.39)$$

ва

$$I_{0.C.} \leq 0.15 \frac{I_H}{Z^*_{0.ном}}$$

Масалан, $Z_{o.nom} = 0.6$ да трансформаторнинг фаза кучланишлари симметриясини йўқотмаслиги учун, нейтрал сим токи $I_{H.C}$ нинг қиймати $I_{H.C} = 0.25 I_H$ дан ошмаслиги керак.

Уч ўзакли трансформаторлар учун $Z_{o.ном}$ қаршиликни ҳисоблаш мураккабдир, чунки мойли ва қуруқ трансформаторларда магнит

ўтказгич атрофида ҳар хил ёрдамчи ва маҳкамловчи қисмлар бўлганлиги ва ҳар хил магнит материаллардан иборат бўлган ғилоф ва бокларга эга бўлганлиги сабабли, нолли кетма-кетлик оқими мураккаб тасвирга эга. Шунинг учун, трансформаторлар ишлатилишида ва ҳисобларда $Z_{0.ном}$ қаршилиги аксарият тажриба усулда аниқланади. Бунинг учун трансформатор чулғамлари шундай уланадиларки, ҳар бир фаза чулғамидан бир хил қийматлардаги ва бир хил йўналиш (фаза) даги ток оқиб ўтсин ва улар, ўз навбатида, ҳар бир ўзакда бир хил қийматли ва йўналиш (фаза) ли магнит оқимларни ҳосил қилсин. Бу шартга 6.6, а-расмда кўрсатилган схема тўғри келади. Бунда трансформаторнинг иккиламчи чулғамлари кетма-кет уланиб, бир фазали кучланиш берилади, бирламчи чулғамлар эса узилган. Ушбу уланишнинг алмаштириш схемаси 6.6, б расмда кўрсатилган. Ўлчаш асбобларининг (6.6, а-расм) кўрсатиш бўйича, қуйидагилар ҳисобланади:

$$Z_{0.ном} = \frac{U}{3I}, \quad r_{0.ном} = \frac{P}{3I^2}, \quad X_{0.ном} = \sqrt{Z_{0.ном}^2 - r_{0.ном}^2}$$

Учта бир фазали трансформаторлардан иборат бўлган уч фазали гуруҳ трансформаторида ва уч фазали қобикли (1.2 га қаранг) трансформаторларда нолли кетма-кетлик оқимлари асосий магнит оқим сингари магнит ўтказгичдан ўтади ва берк контур ҳосил қилади. Шу туфайли $Z_{0.ном}$ қаршилиқнинг қиймати катта ва тахминан Z_0 нинг қийматига яқинлашади. Бу ҳолда, $I'_{ок}$ нинг жуда кичик қийматларида ҳам нолли кетма-кетлик Э.Ю.К. лари $E'_{0.ном} = I'_{ок} \cdot Z_{0.ном}$ ва $E'_{ок} = I'_{ок} \cdot Z_{ок}$ нинг қийматлари катта бўлиб, нейтрал нуқтанинг силжиши салмоқли бўлади, ва демак, бирламчи ва иккиламчи фаза кучланишларининг ўзгаришлари сезиларли бўлади. Шу сабабли, уч фазали гуруҳли трансформатор ҳам, уч фазали қобикли трансформатор ҳам Y/Y_0 усулда уланиши тажрибада қўлланилмайди.

Трансформатор чулғамлари Y/Y_0 улангандаги носимметрик юкланишнинг чегаравий ҳолати, уларнинг бир фазали қисқа туташувидир (6.7-расм), бунда масалан, $Z_a = 0$; $Z_b = Z_c = \infty$ ҳолатини кўрайлик.

$$\dot{U}_a = 0, \quad \dot{I}'_a = \dot{I}'_k = \dot{I}'_{H.C} \quad \text{ва} \quad \dot{I}'_b = \dot{I}'_c = 0,$$

(6.3) га кўра

$$\dot{I}'_{a1} = \dot{I}'_{C2} = \dot{I}'_{a0} = \dot{I}'_{ок} = \frac{1}{3} \dot{I}'_a = \frac{1}{3} \dot{I}'_{H.C}$$

Уни (6.13) га қўйсак:

$$\dot{U}'_a = 0 \quad \text{ва} \quad \dot{I}'_A = -\dot{I}'_a = -\left(\dot{I}'_{a1} + \dot{I}'_{a2}\right) = -\left(\frac{1}{3} \dot{I}'_a + \frac{1}{3} \dot{I}'_a\right) = -\frac{2}{3} \dot{I}'_a$$

Бу ҳолда трансформатор иккиламчи чулғамидан оқаётган бир фазали қисқа туташув токининг қиймати аниқланади:

$$\dot{I}_k = \dot{I}'_a = \frac{3\dot{U}''_A}{2Z_k + Z_{0.ном}}$$

(6.26) га кўра ва 6.23) ни ҳисобга олган ҳолда бирламчи тоқлар:

$$\dot{I}_A = -\frac{2}{3}\dot{I}_k = \frac{2\dot{U}''_A}{2Z_k + Z_{0.ном}}$$

$$\dot{I}_B = -\dot{I}'_b = -(\dot{I}'_{b1} + \dot{I}'_{b2}) = -(\alpha^2 \dot{I}'_{a1} + \alpha \dot{I}'_{a2}) = \frac{1}{3}\dot{I}_k,$$

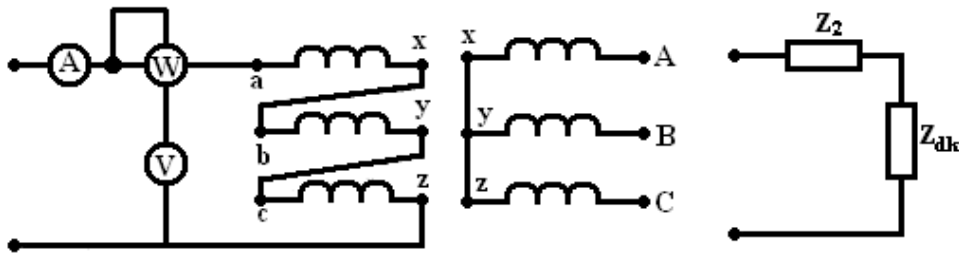
$$\dot{I}_C = -\dot{I}'_c = \frac{1}{3}\dot{I}_k$$

Бирламчи фаза кучланишлари (6.29) дан қуйидагиларни ҳисобга олган ҳолда аниқланади:

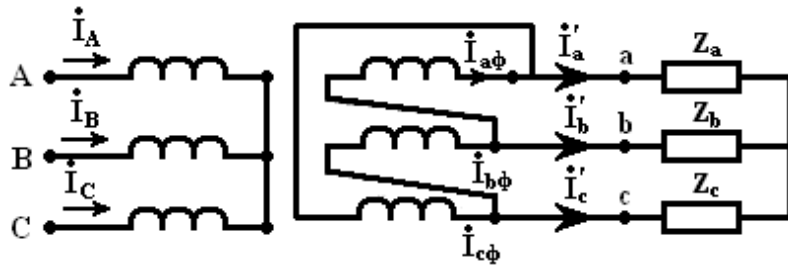
$$\dot{U}_{AO} = \dot{U}_{BO} = \dot{U}_{CO} = \dot{I}'_{ok} \cdot Z_{ok} = -\dot{U}''_A \frac{Z_{ok}}{2Z_k + Z_{0.ном}} \quad (6.40)$$

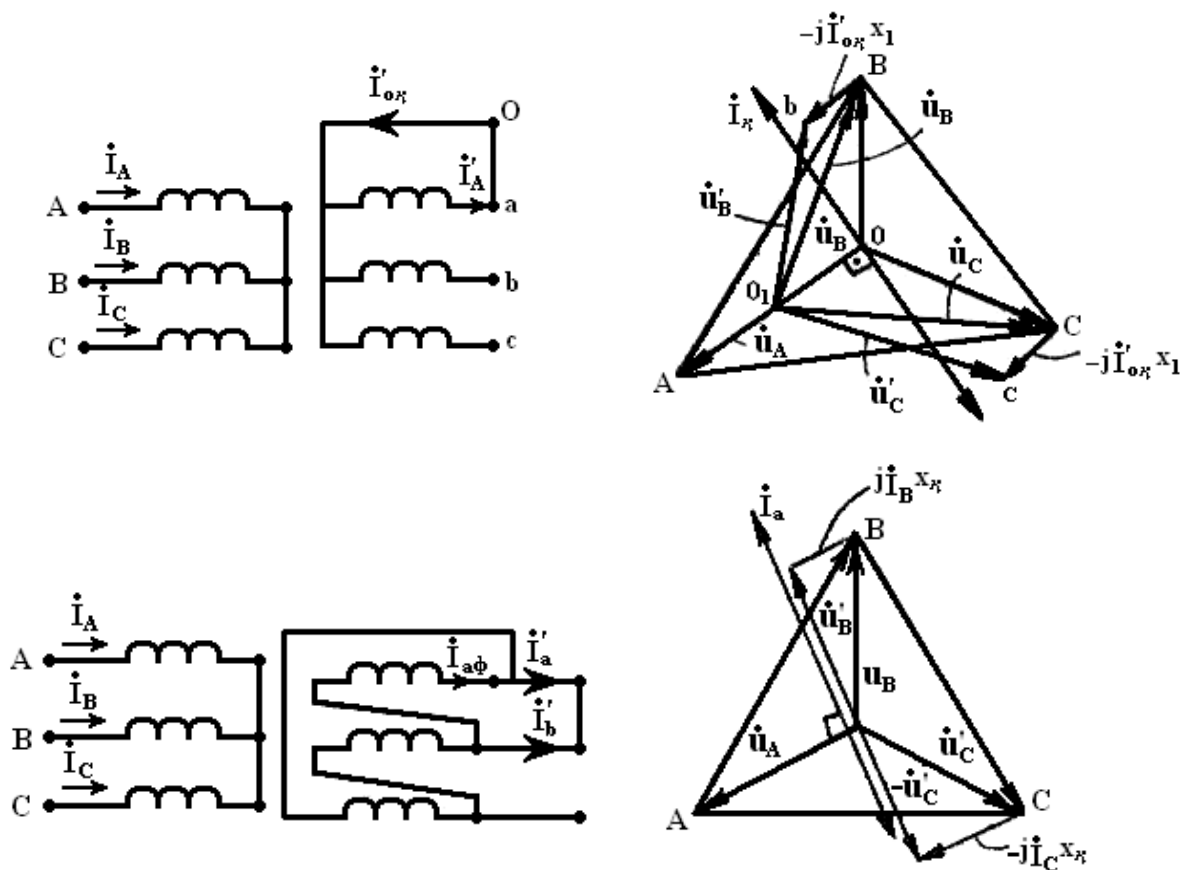
Иккиламчи фаза кучланишлари (6.30) га кўра

$$\dot{U}'_b = -\dot{U}_B + \frac{\dot{I}_k(Z_k - Z_2)}{3},$$



6.6 – расм. Чулғамлари Y/Y₀ уланган трансформтаорнинг ноли кетма – кетлик қаршилигини экспериментал аниқлаш схемаси – а; вектор





6.7 – расм. Чулғамлари Y/Y₀ уланган трансформаторнинг бир фазали қисқа туташуви: а – уланиш схемаси; б – вектор диаграммаси.

(6.32) га кўра иккиламчи линия кучланишлари

$$U'_{ab} = -U_{AB} - I_k \cdot Z_k,$$

$$U'_{bc} = -U_{BC},$$

$$U'_{ca} = -U_{CA} + I_k \cdot Z_k,$$

Трансформаторнинг чулғамлари Y/Y₀ улангандаги бир фазали қисқа туташувда, агар $Z_k \approx jX_k$, ($r_k \approx 0$); $Z_{o,ном} \approx jX_{\omega,ном}$, ($r_{o,ном} \approx 0$); ва бирламчи линия кучланишлари симметрик деб фараз қилингандаги вектор диаграммаси 6.7-расмда келтирилган. Актив қаршиликлар δ_k ва $r_{o,ном}$ нолга тенг, деган фаразда I_k токи кучланишдан 90° га орқада бўлади, бунинг натижасида нолли кетма-кетлик φ_{ok} оқими қисқа туташган фазанинг асосий магнит оқимиға қарама-қарши йўналади. Трансформатор нейтрал нуктаси O дан O₁ нуктасига силжиши A нукта томон йўналади, бунда

$U_{01} = U'_{Ao}$ ва уннинг қиймати (6.40) билан ифодаланади. Бунда фаза кучланишлари U'_b ва U'_c сезиларли ортади ва шу фазага уланган истеъмолчиларнинг ишига салбий таъсир кўрсатади.

Шуни таъкидлаш ўринлики, уч фазали гуруҳ трансформаторлари ва уч фазали қобикли трансформаторларда қисқа туташув токи фақат юксиз ишлаш токининг қийматигача ошиши мумкин ($\dot{I}_k = \dot{I}_o$), бунда нолли кетма-кетлик оқими қисқа туташган фазасининг асосий магнит оқимига тенг бўлиб, қарама-қарши йўналганлиги учун, уни бутунлай магнитсизлайди. Шунинг учун фаза кучланишлари нейтрални А нуқтага силжийди ва бирламчи ва иккиламчи чулғамлар фаза кучланишлари линия кучланишларига тенглашадилар.

6.4 ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИ Y/Δ УЛАНГАНДАГИ НОСИММЕТРИК ЮКЛАНИШ

Кўрилатган уланиш схемаси (6.8-расм) да нолли кетма-кетлик токлари бўлмайди. Бу схема учун, Y/Y уланишдаги сингари, (6.7) ва (6.8) тенгламалар кучга эга. Бирламчи ва иккиламчи чулғамлар магнит мувозанати шартига кўра, (6.9) ва (6.10) лар асосида қуйидагиларни келтириш мумкин:

$$\dot{I}_A = -\dot{I}'_{a\varphi}; \quad \dot{I}_B = -\dot{I}'_{b\varphi}; \quad \dot{I}_C = -\dot{I}'_{c\varphi}; \quad (6.41)$$

Бунда $\dot{I}'_{a\varphi}$, $\dot{I}'_{b\varphi}$, $\dot{I}'_{c\varphi}$ - иккиламчи чулғам фаза токлари.

Шунга кўра ва (6.7) асосида, иккиламчи фаза токларининг йиғиндиси нолга тенг эканлиги келиб чиқади:

$$\dot{I}'_{a\varphi} + \dot{I}'_{b\varphi} + \dot{I}'_{c\varphi} = 0$$

Иккиламчи чулғам учбурчак уланганда унинг линия токлари фаза токларининг геометрик айирмасига тенг:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}'_a &= \dot{I}'_{a\varphi} - \dot{I}'_{c\varphi} \\ \dot{I}'_b &= \dot{I}'_{b\varphi} - \dot{I}'_{a\varphi} \\ \dot{I}'_c &= \dot{I}'_{c\varphi} - \dot{I}'_{b\varphi} \end{aligned} \right\} \quad (6.42)$$

У ҳолда (6.41) ҳисобига олган ҳолда, фаза токларини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} I'_{a\phi} &= \frac{I'_a - I'_b}{3} \\ I'_{b\phi} &= \frac{I'_b - I'_c}{3} \\ I'_{c\phi} &= \frac{I'_c - I'_a}{3} \end{aligned} \right\} \quad (6.43)$$

Ҳосил бўлган боғланишлар (6.43) дан шуни таъкидлаш мумкинки, фаза токлари векторлари ҳосил қилган юлдузнинг маркази, линия токлари векторларидан ҳосил бўлган учбурчакнинг оғирлик маркази билан мос келар экан.

6.8-расмдаги юк занжири кучланишлари тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} U'_a &= (I'_a - I'_c)Z_a - (I'_b - I'_a)Z_b \\ U'_b &= (I'_a - I'_c)Z_a - (I'_b - I'_a)Z_b \end{aligned} \right\} \quad (6.44)$$

Иккиламчи кучланишлар (6.17) тенглама билан ифодаланишини ҳисобга олсак ва иккиламчи чулғамлар учбурчак уланганда

$$U'_a + U'_b + U'_c = C \quad (6.45)$$

ва (6.44), (6.45), (6.17) ларни биргаликда ечилса:

$$I'_A = \frac{U'_A(Z_k + Z_b + 2Z_c) + U'_b(Z_b - Z_a)}{(Z_k + Z_b + 2Z_a)(Z_k + Z_b + 2Z_c) + (Z_a - Z_b)(Z_b \cdot Z_c)}$$

$$I'_B = \frac{U'_B(Z_k + Z_c + 2Z_a) + U'_c(Z_c - Z_b)}{(Z_k + Z_c + 2Z_b)(Z_k + Z_c + 2Z_a) + (Z_b - Z_c)(Z_c \cdot Z_a)}$$

$$I'_C = \frac{U'_C(Z_k + Z_a + 2Z_b) + U'_a(Z_a - Z_c)}{(Z_k + Z_a + 2Z_c)(Z_k + Z_a + 2Z_b) + (Z_c - Z_a)(Z_a \cdot Z_b)}$$

Бирламчи фаза кучланишларини ҳосил қилиш учун (6.17) даги тенгламаларни қўшамиз ва (6.26), (6.45) ларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагиларни топамиз:

$$U'_A + U'_B + U'_C = 0 \quad (6.46)$$

Тенглама (6.46) дан муҳим хулоса келиб чиқадики: трансформаторнинг чулғамларидан бири учбурчак уланган бўлса, бошқа юлдуз уланган чулғамнинг фаза кучланишлари векторлари юлдузининг маркази, линия кучланишлар учбурчаклари оғирлиги марказига мос

келади. Бунга асосан, чулғамлар Y/Δ уланган бўлса, бирламчи чулғам фаза кучланишлари (6.16) тенгламадан аниқланиши мумкин.

Шундай қилиб, трансформатор чулғамлари Y/Δ уланганда, Y/Y улангандагига ўхшаш, Z_k – қисқа туташув қаршилигидаги кучланишлар пасажуви ҳисобига линия ва фаза кучланишларининг симметриясини бузади.

Энди, чулғамлари Y/Δ уланган трансформатор носимметрик юкланишининг чегаравий ҳолати бўлган, бир фазали қисқа туташув режимини кўрайлик (6.9, а-расм)ю Бунда $Z'_a = Z'_b = 0$ ва $Z'_c = \infty$ бўлсин.

Тенгламалар тизими (6.17) нинг биринчи тенгласига

$$\dot{I}_A = -\dot{I}'_{a\phi} = \frac{\dot{U}_A}{Z_k} \quad (6.47)$$

(6.17) нинг иккинчи ва учинчи тенгламаларини қўшиб ва (6.46) ни ҳисобга олган ҳолда, қуйидагини топамиз:

$$\ddot{I}_B = \dot{I}_c = -\dot{I}'_{b\phi} = -\frac{\dot{I}_A}{2} = -\frac{\dot{U}_A}{2Z_k} \quad (6.48)$$

(6.42) га асосан иккиламчи линия токлари

$$\dot{I}'_a = \dot{I}'_b = -\frac{3\dot{U}_A}{2Z_k}, \quad \dot{I}'_c = 0$$

(6.47) ва (6.48) лардан кўриш мумкинки, ҳар бир фазанинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари М.Ю.К. лари ўзаро мувозанатдирлар, шу сабабли трансформатор магнит ўтказгичида қўшимча магнит оқимлар пайдо бўлмайди, ва шу туфайли, иккиламчи чулғам учбурчак уланганда ҳар бир фазани алоҳида мустақил трансформатор деб қараш мумкин.

Бирламчи ва иккиламчи фаза кучланишларини, мос равишда, (6.16) ва (6.17) дан аниқлаш мумкин:

6.9,б-расмда (6.17) (6.12) (6.45) ва (6.48) тенгламалар ёрдамида симметрик бирламчи кучланиш ва $Z_k = jX_k$ учун вектор диаграммаси қурилган.

6.5. ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИ Δ/Y УЛАНГАНДАГИ НОСИММЕТРИК ЮКЛАНИШ

Кўрилатган уланиш схемасида (6.10-расм), бундан аввалги ҳолга ўхшаш (6.7) ва (6.8) тенгламалар ўз кучларини сақлайдилар. Бирламчи ва иккиламчи чулғамлар магнит мувозанатидан:

$$\dot{I}_{A\phi} = -\dot{I}'_{\alpha}, \quad \dot{I}_{B\phi} = -\dot{I}'_{\beta}, \quad \dot{I}_{C\phi} = \dot{I}'_{\gamma}$$

Бирламчи линия токлари фаза токларнинг айирмаси сифатида, аниқланадилар:

$$\dot{I}_{A\phi} = \dot{I}_{A\phi} - \dot{I}_{C\phi}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B\phi} - \dot{I}_{A\phi}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C\phi} - \dot{I}_{B\phi}$$

бунда бирламчи фаза токлари $\dot{I}_{A\phi}$, $\dot{I}_{B\phi}$, ва $\dot{I}_{C\phi}$ ни (6.20) ёрдамида аниқлаш мумкин.

Бирламчи фаза кучланишлари берилган линия кучланишларига тенг, иккиламчи фаза кучланишлари эса қуйидаги борланишлар билан аниқланади:

$$\dot{U}'_{\alpha} = -\dot{U}_A + \dot{I}_{A\phi} \cdot Z_K$$

$$\dot{U}'_B = -\dot{U}_B + \dot{I}_{B\phi} \cdot Z_K$$

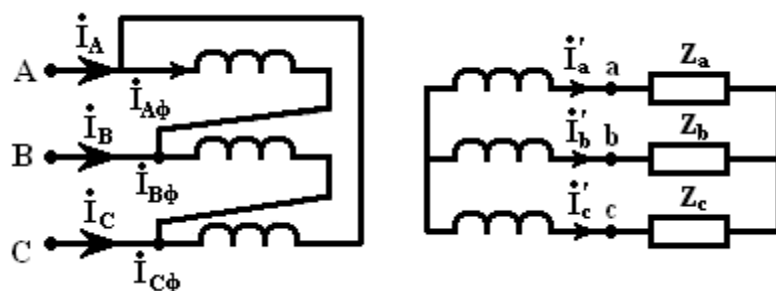
$$\dot{U}'_C = -\dot{U}_C + \dot{I}_{C\phi} \cdot Z_K$$

Иккиламчи линия кучланишлари (6.48) ёрдамида аниқланади. Келтирилган боғланишлардан кўринадик, чулғамлари Δ/Y уланган трансформатордан фарқ қилмас экан, истаглан шаклдаги магнит ўзакларда ишлатилиши мумкин экан.

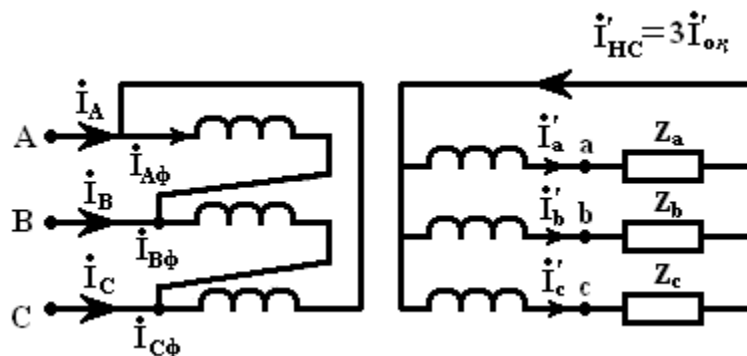
6.6. ЧУЛҒАМЛАРИ Δ/Y_0 УЛАНГАН ТРАНСФОРМАТОНИНГ НОСИММЕТРИК ЮКЛАНИШИ

Кўрилаётган уланиш схемасида (6.11-расм) бирламчи линия токлари ва иккиламчи токлари учун, Y/Y_0 усулда уланган трансформаторларга ўхшаш (6.14-расм), юкнинг алоҳида фазалар орасида қандай тақсимланишидан қатъий назар, (6.23) ва (6.24) тенгламалар ўз кучларини сақлайдилар, шу туфайли, иккиламчи тоklar тўғри, тескари ва нолли кетма-кетлик ташкил этувчиларга эга ва улар учун (6.25) тенгламалар ўринлидир. Аммо Y/Y_0 уланиш схемасидан фарқли равишда, Δ/Y_0 уланиш схемасида иккиламчи чулғамдан бирламчига на фақат тўғри ва тескари кетма-кетлик токлари трансформацияланадилар, балки нолли кетма-кетлик токлари ҳам трансформацияланадилар. Бу шунинг учун содир бўладики, иккиламчи чулғам нолли кетма-кетлик токи $\dot{I}_{OK}$ нолли кетма-кетлик оқими ϕ_{OK} ни ҳосил қилиб, у ўз навбатида, бирламчи чулғам фазаларида йўналиши ва қиймати жиҳатидан мос бўлган $\dot{E}_{OK}$ э.ю.к. ни индуктивлайди. Натижада бирламчи чулғам учбурчаги ичида берк контур ҳосил қилувчи нолли кетма-кетлик бирламчи токи $\dot{I}_{OK}$ оқади. Бирламчи чулғам актив қаршилиги ва бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги тарқоқ оқимини ҳисобга олмасак, ток $\dot{I}_{OK}$ иккиламчи чулғам нолли кетма-кетлик токи $\dot{I}_{OK}$ га тенг ва тескари йўналган (акс фазали) бўлади. Демак, Δ/Y_0 уланиш схемасида ҳар бир магнит ўзакдаги чулғамларда м.ю.к лар мувозанатдадирлар ва шунинг учун, нейтралнинг силжиши ва фаза

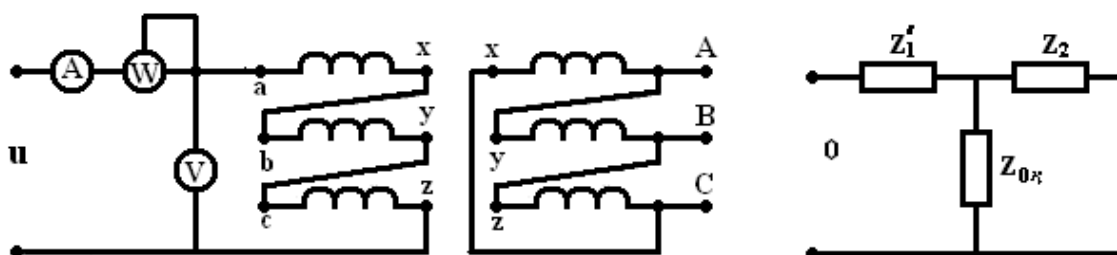
кучланишлари симметриясининг бузилиши Y/Y_0 уланишга нисбатан анчагина кичикдир.



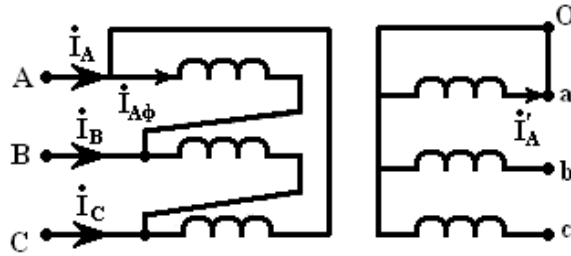
6.10 – расм. Чулғамлари Δ/Y уланган трансформаторнинг носимметрик юкланиши.



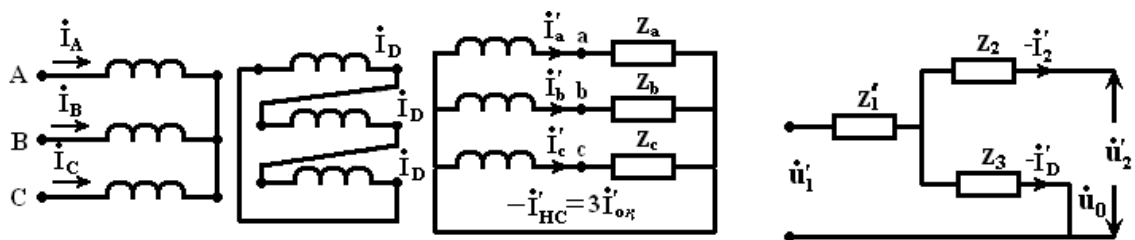
6.11 – расм. Чулғамлари Δ/Y_0 уланган трансформаторнинг носимметрик юкланиши.



6.12 – расм. Чулғамлари Δ/Y_0 уланган трансформаторнинг ноли кетма – кетли қаршилигини аниқлаш тажрибасининг схемаси – а; алмаштириш



6.13 — расм. Чулғамлари Δ/Y_0 уланган трансформаторнинг бир фазаги қисқа туташуви.



6.14 — расм. Чулғамлари $Y/\Delta/Y_0$ уланган трансформаторнинг носимметрик юкланиши схемаси — а; алмаштириш схемаси — б.

Айтилганларга мувофиқ. Бирламчи фаза кучланишлари учун қуйидагилар ёзилиши мумкин:

$$\left. \begin{aligned} i_{A\phi} &= i''_{A\phi} + i_{OK} = -(i''_{O\alpha} + i'_{OK}) = -i'_{\alpha} \\ i_{B\phi} &= i''_{B\phi} + i_{OK} = -(i''_{OB} + i'_{OK}) = -i'_B \\ i_{C\phi} &= i''_{C\phi} + i_{OK} = -(i''_{OC} + i'_{OK}) = -i'_B \end{aligned} \right\} \quad (6.49)$$

Бирламчи линия кучланишлари ўз таркибида нолли кетма-кетлик тоқларига эга эмас, чунки

$$\left. \begin{aligned} i_A &= i_{A\phi} - i_{C\phi} = -i''_{\alpha} + i''_C \\ i_B &= i_{B\phi} - i_{A\phi} = -i''_B + i''_{\alpha} \\ i_C &= i_{C\phi} - i_{B\phi} = -i''_C + i''_B \end{aligned} \right\} \quad (6.50)$$

Иккиламчи ва бирламчи фаза кучланишлари орасидаги боғланиш (6.49) ни ҳисобга олган ҳолда, улар қуйидаги тенглама орқали ифодаланиши мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_{\alpha} &= -\dot{U}_A + \dot{I}_{A\phi} \cdot Z_K + \dot{I}_{OK} \cdot Z_{O,HOM} \\ \dot{U}'_B &= -\dot{U}_B + \dot{I}_{B\phi} \cdot Z_K + \dot{I}_{OK} \cdot Z_{O,HOM} \\ \dot{U}'_C &= -\dot{U}_C + \dot{I}_{C\phi} \cdot Z_K + \dot{I}_{OK} \cdot Z_{O,HOM} \end{aligned} \right\} \quad (6.51)$$

бунда $Z_{O,HOM}$ – нолли кетма-кетлик номинал қаршилиги.

Чулғамлари Δ/Y_0 усулда уланган трансформаторнинг $Z_{O,HOM}$ қаршилигини аниқлаш учун тажриба усулидан фойдаланилади (6.12, а-расм). Бу ҳолда алмаштириш схемаси бир фаза учун 6.12, а-расмдагидек бўлади. Δ/Y_0 схемасида бирламчи чулғам берк учбурчакка уланиб, нолли кетма-кетлик тоқларига нисбатан қисқа туташган бўлганлиги сабабли, ушбу алмаштириш схемасига мосдир, бунда Z_{OK} га алмаштириш схемаси қисқа туташган трансформаторнинг алмаштириш схемасининг Z_O мос келади. Тажриба натижаларидан (6.12, а-расм) ва алмаштириш схемаси (6.12, а-расм) дан қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$Z_{O,HOM} = \frac{U}{3I} = Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_{OK}}{Z_1 + Z_{OK}} = Z_2 + \frac{Z_1}{1 + Z_1/Z_{OK}}$$

$Z_{OK} \gg Z_1$ бўлганлиги сабабли, етарли даражада аниқлик билан $Z_{O,HOM} \approx Z_1 + Z_2 = Z_K$

У ҳолда (6.51) тенгламаларни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_{\alpha} &= -\dot{U}_A + \dot{I}_{A\phi} \cdot Z_K \\ \dot{U}'_B &= -\dot{U}_B + \dot{I}_{B\phi} \cdot Z_K \\ \dot{U}'_C &= -\dot{U}_C + \dot{I}_{C\phi} \cdot Z_K \end{aligned} \right\} \quad (6.52)$$

6.11-расмга кўра юк занжири учун кучланишлар тенгламалари қуйидагича ёзилади:

$$\dot{U}'_{\alpha} = \dot{I}'_{\alpha} \cdot Z_{\alpha}; \dot{U}'_B = \dot{I}'_B \cdot Z_B; \dot{U}'_C = \dot{I}'_C \cdot Z_C. \quad (6.53)$$

Охирги тенгламалардаги иккиламчи тоқлар ўрнига (6.49) дан бирламчи тоқларни тескари ишора билан олсак ва топилган ибораларни (6.52) га қўйсак бирламчи фаза тоқларини аниқлаймиз:

$$\dot{I}_{A\phi} = \frac{\dot{U}_A}{Z_K + Z_A}; \dot{I}_{B\phi} = \frac{\dot{U}_B}{Z_K + Z_B}; \dot{I}_{C\phi} = \frac{\dot{U}_C}{Z_K + Z_C} \quad (6.54)$$

Трансформаторнинг нейтрал симидаги тоқнинг қиймати

$$\dot{I}'_{H.C} = 3\dot{I}'_{OK} = \frac{\dot{U}_A}{Z_K + Z_A} + \frac{\dot{U}_B}{Z_K + Z_B} + \frac{\dot{U}_C}{Z_K + Z_C} \quad (6.55)$$

Иккиламчи фаза кучланишлари (6.53) ва (6.54) ларни ҳисобга олган ҳолда, қуйидагича аниқланадилар:

$$\dot{U}'_{\alpha} = -\dot{U}_A \frac{Z_{\alpha}}{Z_K + Z_{\alpha}}; \dot{U}'_B = -\dot{U}_B \frac{Z_B}{Z_K + Z_C}; \dot{U}'_C = -\dot{U}_C \frac{Z_C}{Z_K + Z_C}; \quad (6.56)$$

Трансформаторларнинг оддий шароитда ишлаганида юқларининг қаршиликлари Z_{α}, Z_B, Z_C қисқа туташув қаршиликлари Z_K нинг қийматидан анчагина каттадирлар, шунинг учун, (6.56) дан кўринадики

иккиламчи чулғамнинг носимметрияси, асосан, бирламчи чулғамнинг носимметриясига боғлиқ экан.

Трансформаторнинг Δ/Y_0 уланиш учун носимметрик юкланишнинг чегаравий ҳолати бўлмиш, бир фазали қисқа туташувни кўрайлик (6.13-расм). Расмда $Z_\alpha = 0, Z_B = \infty$ ва (6.54) га кўра трансформатор чулғамларидан оқиб ўтаётган токларнинг қийматлари қуйидагиларга тенг:

$$\dot{I}_{A\phi} = -\dot{I}'_\alpha = \frac{\dot{U}_A}{Z_K}; \dot{I}_{B\phi} = -\dot{I}'_B = 0; \dot{I}_{C\phi} = -\dot{I}'_C = 0$$

Иккиламчи фаза кучланишлари (6.56) га кўра қуйидагиларга тенг:

$$\dot{U}'_\alpha = 0; \dot{U}'_B = -\dot{U}_B; \dot{U}'_C = \dot{U}_C \quad (6.58)$$

Шундай қилиб, трансформатор чулғамлари Δ/Y_0 уланганда бирламчи ва иккиламчи чулғамларидаги тоklar фақат биргина (қисқа туташагн) фазадан оқиб ўтар экан, холбуки, Y/Y_0 улангандаги шунга ўхшаш бир фазали қисқа туташувда тоklar бирламчи чулғамнинг ҳамма фазаларидан оқади. Ундан ташқари, қисқа туташган фазанинг бирламчи ва иккиламчи м.ю.к. лари ўзаро мувозанатда бўладилар, нолли кетма-кетлик магнит оқими бўлмайди ва иккиламчи чулғамнинг бошқа (қисқа туташмаган) фазалари кучланишларининг носимметрияси фақат бирламчи кучланишлар носимметриялари бўлгандагина вужудга келади. Бу келтирилган хулосалар магнит ўтказгичнинг барча хиллари учун тааллуқлидир.

6.7. ТРАНСФОРМАТОР ЧУЛҒАМЛАРИ $Y/\Delta/Y_0$ УЛАНГАНДАГИ НОСИММЕТРИК ЮКЛАНИШИ

қувватли юқори кучланишли трансформаторнинг чулғамлари изоляциясининг шартларига кўра улар чулғамлари Y/Y_0 уланишда бажарилади. Бу ҳолларда носимметрик юкланишлар туфайли содир бўлувчи кучланишлар носимметриясини камайтириш ва магнит ўтказгичнинг тўйиниши натижасидаги асосий оқим шаклининг ўзгаришини камайтириш мақсадида трансформаторда компенсацияловчи учбурчак уланган ёки қўшимча уланган чулғам ишлатилади. Бу учламчи чулғам на бирламчи ва на иккиламчи чулғам билан электрик боғланмаган бўлади. Бундай трансформаторнинг чулғамлари уланиши схемаси 6.14, а расмда келтирилган.

Трансформатор чулғамларидан оқаётган токлари учун қуйидаги тенгламаларни келтириш мумкин:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= 0 \\
\dot{I}'_\alpha + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}'_{H.C} &= 0 \\
\dot{I}_A + \dot{I}_D + \dot{I}_O - \dot{I}_\theta - \dot{I}_D - \dot{I}_B &= \dot{I}_A + \dot{I}'_\alpha - \dot{I}'_B - \dot{I}_B = 0 \\
\dot{I}_\beta + \dot{I}_D + \dot{I}_B - \dot{I}_C - \dot{I}_D - \dot{I}_C &= \dot{I}_\beta + \dot{I}'_B - \dot{I}'_C - \dot{I}_C = 0
\end{aligned}$$

Булардан бирламчи тоқлар аниқланади:

$$\left. \begin{aligned}
\dot{I}_A &= -\dot{I}'_\alpha - \dot{I}'_{H.C} / 3 = -\dot{I}'_\alpha - \dot{I}'_{OK} = -\dot{I}''_\alpha \\
\dot{I}_\beta &= -\dot{I}'_B - \dot{I}'_{H.C} / 3 = -\dot{I}'_B - \dot{I}'_{OK} = -\dot{I}''_B \\
\dot{I}_C &= -\dot{I}'_C - \dot{I}'_{H.C} / 3 = -\dot{I}'_C - \dot{I}'_{OK} = -\dot{I}''_C
\end{aligned} \right\} \quad (6.59)$$

Тенгламалар тизими (6.59) да кўринадики, иккиламчи чулғамнинг тўғри ва тескари кетма-кетлик тоқлари бирламчи чулғамга трансформацияланади. Нолли кетма-кетлик тоқи бирламчи чулғамга юлдуз уланганда ундан оқмайди, бироқ компенсацион чулғамда бир фазали циркуляцион (учбурчак ичида айланувчи) тоқ ҳосил қилади. Компенсацион чулғамнинг актив қаршилиғи ва иккиламчи билан компенсацион чулғамлар орасида тарқоқ оқим нолга тенг, деган фаразни қабул қилсак, бу тоқнинг қиймати қуйидагига тенг бўлади:

$$\dot{I}_{D\alpha} = \dot{I}_{D\beta} = \dot{I}_{DC} = \dot{I}_{H.C} / 3 = \dot{I}'_{OK}$$

Шундай қилиб, $Y / \Delta / Y_0$ уланишли трансформатор учала чулғамларида тоқ оқади.

Кўрилатган уланишнинг алмаштириш схемасидан (6.14, б-расм) А фазаси учун кучланишлар тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$\dot{U}_A - \dot{I}_A Z_1 + \dot{I}'_\alpha Z'_2 = -\dot{U}'_\alpha, \quad (6.60)$$

ёки (6.69) га кўра

$$\dot{U}_A - \dot{I}_A (Z_1 + Z'_2) - \dot{I}'_{OK} \cdot Z_2 = -\dot{U}'_\alpha,$$

$Z_1 + Z'_2 = Z_{K1,2}$ ва $\dot{U}'_\alpha = \dot{I}'_\alpha Z_\alpha = -(\dot{I}_A + \dot{I}'_{OK}) Z_\alpha$ бўлишини ҳисобга олсак, бирламчи фаза кучланишлари қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned}
\dot{U}_A - \dot{I}_A (Z_{K1,2} + Z_\alpha) - \dot{I}'_{OK} (Z'_2 + Z_\alpha) &= 0 \\
\dot{U}_B - \dot{I}_B (Z_{K1,2} + Z_\beta) - \dot{I}'_{OK} (Z'_2 + Z_\beta) &= 0 \\
\dot{U}_C - \dot{I}_C (Z_{K1,2} + Z_\gamma) - \dot{I}'_{OK} (Z'_2 + Z_\gamma) &= 0
\end{aligned} \right\} \quad (6.61)$$

Ҳосил бўлган тенгламалар (6.61) нинг бирламчи тоқлар ва нолли кетма-кетлик тоқларига нисбатан ечимларини аниқласак (6.46) – (6.49) тоенгламаларга ўхшаш тенгламаларни ҳосил қиламиз. Бунда Z_K нинг ўрнига $Z_{K1,2} \text{ қ } Z_1 + Z_2$ ни қўйиш шарт.

$$\left. \begin{aligned}
\dot{U}_A - \dot{I}_A \cdot Z_1 + \dot{I}_D \cdot Z_3 &= \dot{U}_A - \dot{I}_A Z_1 + \dot{I}_{OK} \cdot Z_3 = -\dot{U}_{D\alpha} \\
\dot{U}_B - \dot{I}_B \cdot Z_1 + \dot{I}'_{OK} \cdot Z_3 &= -\dot{U}_{D\beta} \\
\dot{U}_C - \dot{I}_C \cdot Z_1 + \dot{I}'_{OK} \cdot Z_3 &= -\dot{U}_{DC}
\end{aligned} \right\} \quad (6.62)$$

Компенсацион чулғам учбурчак уланганини, унинг кучланишлари $\dot{U}_{D\alpha} + \dot{U}_{Db} + \dot{U}_{DC} = 0$ шартига бўйсинишини ҳисобга олиб, (6.62) даги тенгламаларни қўшсак, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = -3\dot{I}'_{OK} Z_3 \quad (6.63)$$

(6.12) ва (6.63) ларни биргаликда ечсак, бирламчи фаза кучланишларининг қийматларини аниқлаймиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \frac{\dot{U}_{AB} - U_{CA}}{3} - \dot{I}'_{OK} Z_3 = \dot{U}''_A - \dot{I}'_{OK} Z_3 \\ \dot{U}_B &= \frac{\dot{U}_{BC} - U_{AB}}{3} - \dot{I}'_{OK} Z_3 = \dot{U}''_B - \dot{I}'_{OK} \cdot Z_3 \\ \dot{U}_C &= \frac{\dot{U}_{CA} - U_{BC}}{3} - \dot{I}'_{OK} Z_3 = \dot{U}''_C - \dot{I}'_{OK} \cdot Z_3 \end{aligned} \right\} \quad (6.64)$$

Иккиламчи фаза ва линия кучланишлари, мос равишда, (6.60) ва (6.18) тенгламалардан аниқланади.

(6.64) дан шуни хулоса қилиш мумкинки, компенсацион чулғамнинг эквивалент қаршилиги Z_3 қанча кичик бўлса, фаза кучланишининг носимметрик бузилиши шунча кам бўлади.

ЕТТИНЧИ БОБ

ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

7.1. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШ ШАРТЛАРИ

Трансформаторлар ишлаши жараёнида улар шикастланганда (авария) ёки таъмирлаш ишларини олиб борганда истеъмолчини электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш масаласи туради. Буни амалга оширишда икки (ёки ундан кўп) трансформаторларни параллел улаш усули кенг қўлланилади. Ундан ташқари, бундай улаш натижасида параллел ишлаётган трансформаторларнинг сонини ўзгартириб, уларнинг максимал ф.и.к. лари билан, ҳамда уларнинг ҳар бирини оптимал ишлашларини таъминлаш мумкин.

Трансформаторлар параллел уланганда, улар ҳар бирининг бирламчи чулғамлари таъминловчи тармоққа, иккиламчи эса истеъмолчининг тармоғига уланадилар (7.1-расм).

Трансформаторларни параллел улаш учун қуйидаги шартлар бажарилиши лозим:

1) параллел уланаётган трансформаторларнинг бирламчи номинал кучланишлари ўзаро ва иккиламчи номинал кучланишлари ўзаро тенг бўлишлари керак, яъни

$$U_{1I} = U_{1II} = U_{1III} = \dots = U_{1N}, \quad (7.1)$$

$$U_{2I} = U_{2II} = U_{2III} = \dots = U_{2N}. \quad (7.2)$$

Бу шарт тажрибада параллел уланаётган трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентлари тенг бўлиши кераклигига олиб келади:

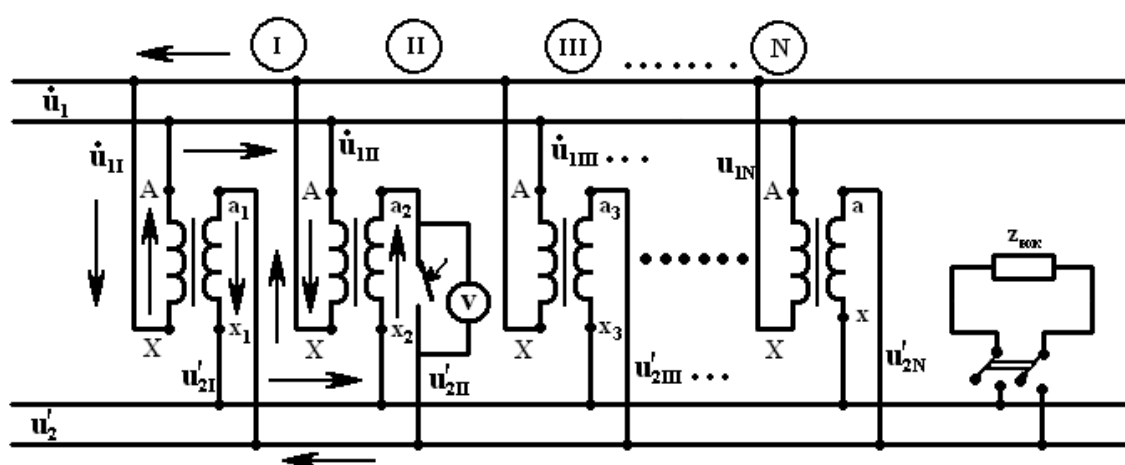
$$K_I = K_{II} = K_{III} = \dots = K_N; \quad (7.3)$$

2) параллел уланаётган трансформаторларнинг уланиш гуруҳлари бир хил бўлиши шарт;

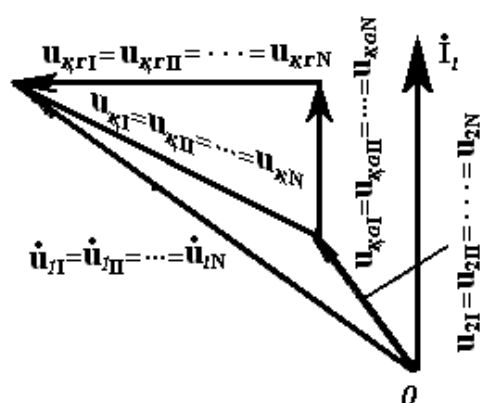
3) қисқа туташув кучланишининг актив ва индуктив ташкил этувчилар ўзаро тенг бўлишлари керак, яъни

$$U_{K,\alpha I} = U_{K,\alpha II} = U_{K,\alpha III} = \dots = U_{K,\alpha N}, \quad (7.4)$$

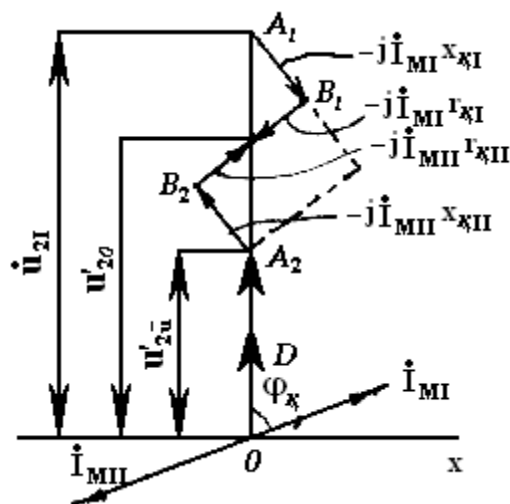
$$U_{K,\rho I} = U_{K,\rho II} = U_{K,\rho III} = \dots = U_{K,\rho N}. \quad (7.5)$$



7.1-расм. Трансформаторларнинг параллел ишлаш схемаси.



7.2-расм. Энг қулай шароитда параллел ишлаётган трансформаторнинг вектор диаграммалари.



7.3-расм. Трансформаторлар юксиз ишлагандаги ва $K_I < K_{II}$ бўлгандаги параллел ишлаш вектор диаграммаси.

Учинчи шартлардан трансформаторларнинг қисқа туташув кучланишлари тенг бўлишлари шarti келиб чиқади:

$$U_{K.I} = U_{K.II} = U_{K.III} = \dots = U_{K.N}, \quad (7.6)$$

Юқоридаги шартлар бажарилса, умумий юк параллел уланаётган ҳар бир трансформаторга уларнинг номинал қувватларига мос равишда юкланишлар тақсимланди ва уларнинг нисбий бирликда қурилган вектор диаграммлари (7.2-расм) устма-уст жойлашади.

Трансформаторларни эксплуатация тажрибаси шунини кўрсатадики, фақат иккинчи шартнинг сўзсиз бажарилиши қатъий талаб этилади; биринчи ва учинчи шартларнинг бажарилиши эса қатъий талаб қилинмай, бироз чекинишга йўл бўлади. Шу чекинишларнинг чегарасини аниқлайлик.

7.2. ТРАНСФОРМАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТЛАРИ ТЕНГ БЎЛМАГАН ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

7.2.1. Икки параллел уланган трансформаторларнинг юксиз ишлаши.

Фараз қилайлик, параллел ишлаётган I ва II трансформаторларда иккинчи ва учинчи шартлар бажарилиб, биринчиси бажарилмаяпти ва $K_I < K_{II}$ бўлсин. Трансформатордаги ҳодисаларнинг моҳиятини аниқлаш учун икки бир фазали трансформаторларни ёки уч фазали трансформаторнинг мазкур бир фазаларини кўриш мумкин (7.1-расм). Бу расмдаги иккитадан қолган трансформаторларни ҳисобга олмаймиз. Бирламчи тармоқнинг кучланиши иккала трансформаторнинг бирламчи номинал кучланишларига тенг, деб фараз қиламиз, яъни

$$U_1 = U_{1HI} = U_{1HII}$$

У ҳолда $U_{2I} = \frac{U_1}{K_I} > U_{2II} = \frac{U_1}{K_{II}}$

Бунда $\dot{U}_{2I} = \overline{OA_1}$ ва $\dot{U}_{2II} = \overline{OA_2}$ векторларининг фазалари мос келади (7.3-расм). Кучланишлар фарқи $\dot{U}_{2I} - \dot{U}_{2II} = \Delta\dot{U} = \overline{A_2A_1}$ таъсири натижасида I ва унга уланган II трансформаторлар орасида мувозанатловчи ток I_M оқади. Бу токнинг ихтиёрий бир ондаги тақсимланиши 7.1-расмда кўрсатилган. Ундан кўринадики, I_M токига нисбатан I ва II трансформаторлар қисқа туташув режимидадурлар ва трансформаторлар чулғамларида юк токлари ўзаро қарама-қарши йўналишда оқадилар. Шунга кўра 7.3-расмда мувозанатловчи ток икки векторнинг ёрдамида акс эттирилган: I_{MI} токи I ҳамда I_{MII} токи II трансформаторда оқадилар.

Агар Z_{KI} ва Z_{KII} I ва II трансформаторларнинг қисқа туташув тўла қаршиликлари бўлсалар, у ҳолда

$$\dot{I}_M = \frac{\Delta\dot{U}}{Z_{KI} + Z_{KII}} = \frac{\dot{U}_1 \left(\frac{1}{K_I} - \frac{1}{K_{II}} \right)}{Z_{KI} + Z_{KII}} = \frac{\dot{U}_1 \frac{K_{II} - K_I}{K_I \cdot K_{II}}}{Z_{KI} + Z_{KII}}. \quad (7.7)$$

Бу тенгламани соддалаштириш учун $K_I \cdot K_{II} = K^2$, $U_1 / K = U_{2\check{y}}$ деб қабул қиламиз. Бунда K - иккала трансформаторларнинг ўртача трнсформациялаш коэффициентлари ва $U_{2\check{y}}$ - иккиламчи кучланишларнинг ўртача қийматлари. $U_{K\alpha I} = U_{K\alpha II}$ ва $U_{KPI} = U_{KPII}$ (учинчи шарт) бўлганлиги учун, қуйидагилар ҳосил қилинади.

$$I_M = \frac{\frac{U_1}{K} \frac{K_{II} - K_I}{K}}{Z_{KI} + Z_{KII}} = \frac{U_{2\check{y}} \frac{K_{II} - K_I}{K} \cdot 100}{\frac{Z_{KI} \cdot I_{2HI}}{I_{2HI}} \cdot 100 + \frac{Z_{KII} \cdot I_{2HII}}{I_{2HII}} \cdot 100} = \frac{\Delta K}{\frac{Z_{KI} \cdot I_{2HI}}{U_{2\check{y}} \cdot I_{2HI}} \cdot 100 + \frac{Z_{KII} \cdot I_{2HII}}{U_{2\check{y}} \cdot I_{2HII}} \cdot 100} = \frac{\Delta K}{\frac{U_{KI}}{I_{2HI}} + \frac{U_{KII}}{I_{2HII}}}$$

Бунда $\Delta K = [(K_I - K_{II}) / K] \cdot 100$ ўртача трансформациялаш коэффициентига нисбатан фоизда берилган трансформациялаш коэффициентлари айирмаси; I_{2HI} ва I_{2HII} I ва II трансформаторларнинг иккиламчи чулғамлари номинал токлари.

Аксарият I_M токи трансформаторлардан бирининг номинал токига нисбатан фоизда ифодаланади, масалан I трансформаторнинг токига нисбатан.

$$I_{M[\%]} = \frac{I_{M1}}{I_{2HI}} \cdot 100 = \frac{\Delta K \cdot 100}{U_{KI} + U_{KII} (I_{2HI} / I_{2HII})} = \frac{\Delta K \cdot 100}{U_{KI} + U_{KII} (P_{2HI} / P_{2HII})} \quad (7.9)$$

бунда P_{HI} ва P_{HII} I ва II трансформаторларнинг номинал қувватлари. Масалан, $\Delta K = I\%$; $U_{KI} = U_{KII} = 5,5\%$ ва уч ҳолат учун: а) $P_{HI}/P_{HII} \approx 100/100$ / , б) $100/320$ ва в) 100∞ кўрайлик. У ҳолда I_M қ 9, 1%; 14% ва 18,3% бўлади. Кучланишлар фарқи ΔU га нисбатан I_{M1} токнинг фазаси

$$\psi_K = \arctg \frac{X_{KI} + X_{KII}}{r_{KI} + r_{KII}} \quad (7.10)$$

бурчагига силжиган бўлади.

Мувозанатловчи I_{M1} ва I_{M11} тоқлар I ва II трансформаторларда U_{23} ва U_{2II} кучланишларга геометрик қўшилувчи - $j\dot{I}_{M1} \cdot X_{KI}$; $-\dot{I}_{M1} \cdot r_{KI}$; $-j\dot{I}_{MII} \cdot X_{KII}$; $-\dot{I}_{MII} \cdot r_{KII}$ э.ю.к. ларни ҳосил қиладилар. Агар трансформаторларнинг номинал қувватлари тенг $P_{HI} \approx P_{HII}$ бўлса, у ҳолда $U_{KI} = U_{KII}$ бўлганда (учинчи шарт) $Z_{KI} = Z_{KII}$ бўлади. Бу ҳолда қиска туташув учбурчак $A_1B_1C_1$ ва $A_2B_2C_2$ ларнинг қийматлари тенг ва A_2A_2 кесма С нуқтасида тенг икки бўлакка $A_1C = C A_2$ бўлинади. Шундай қилиб, I_{M1} тоқи U_{2I} кучланишини умумий иккиламчи тармоқ кучланиши $\dot{U}_{20} = \overline{OC}$ гача камайтиради ва ток I_{M2} иккинчи трансформаторнинг U_{2II} кучланишини $\dot{U}_{20} = \overline{OC}$ гача оширади. Мувозанатловчи токнинг моҳияти ҳам ана шундадир.

Агар трансформаторлар ҳар хил қувватли масалан, $P_{HI} < P_{HII}$, бўлсалар, у ҳолда $U_{KI} = U_{KII}$ бўлганда r_K ва X_K қаршилиқлар қувватларга тескари пропорционал, яъни $r_{KI} > r_{KII}$ ва $X_{KI} > X_{KII}$ бўладилар. Булардан, 7.3-расмдаги $A_1B_1C_1$ учбурчак $A_2B_2C_2$ дан каттароқ бўлади, аммо бу учбурчаклар ўхшашлигича қоладилар. Шу туфайли С нуқтаси $A_1 A_2$ кесмада пастроққа сурилади. Агар, чегаравий ҳолат $P_{HII} \gg P_{HI}$ бўлса, С нуқтаси A_2 нуқтага мос келиб, $A_1B_1C_1$ учбурчаги $A_1B A_2$ нинг ҳолатини эгаллайди. Бунда, $\dot{U}_{2D} = \dot{U}_{2II} = OA_2$ бўлади.

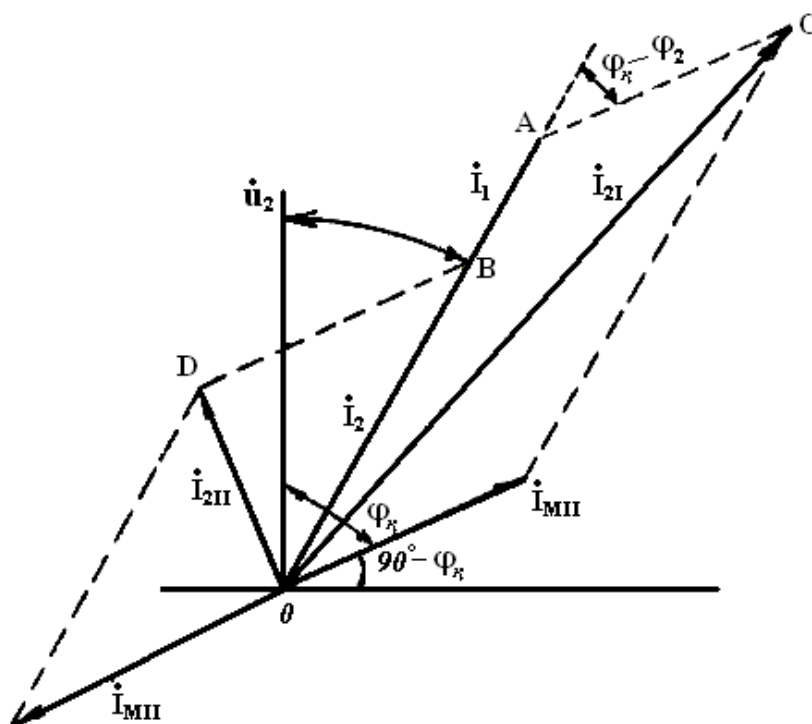
7.2.2. Икки параллел уланган трансформаторларнинг юкланиши

Юқоридагидек, $K_I < K_{II}$ ва $P_{HI} < P_{HII}$ ва иккинчи ҳамда учинчи шартлар бажарилса, деб ҳисоблаймиз.

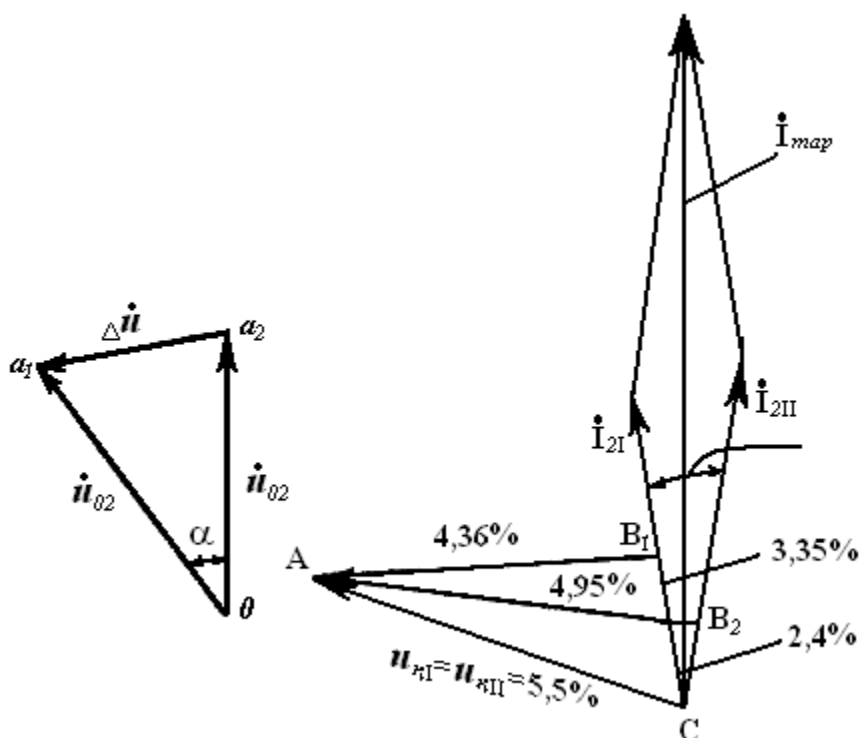
Кўрилатган режимни ўрганишнинг асосига икки режимни устма-уст жойлаштириш суперпозиция усули қўйилади. Ҳақиқатдан ҳам, мувозанатловчи токнинг мавжудлиги иккала трансформаторнинг иккиламчи кучланишларини умумий $\dot{U}_2 = \overline{OC}$ кучланишига тенглаштиришни таъминлайди (7.3-расм). Шунинг учун, ташқи юкланиш вужудга келганда, ташқи юкланиш тоқи трансформаторлар орасида уларнинг номинал қувватларига пропорционал равишда тақсимланади. Шундай қилиб, фараз қиламизки, ҳар бир трансформаторда икки ток

мавжуд - мувозанатловчи I_M токи ва ташқи юкланишга мос келувчи юкланиш $I_{Ю}$ токи. Аслида эса, трансформаторларнинг ҳар бирида эслатилган I_M ва $I_{Ю}$ токларнинг геометрик йиғиндиси бўлмиш биргина ток мавжуддир.

Трансформаторлар юкланганда уларнинг иккиламчи чулғамларида кучланишлар тахминан бир хил ўзгарганлиги сабабли, юкланишнинг қиймати номиналгача ўзгарганда, I_{MI} ва I_{MII} мувозанатловчи токларнинг қийматлари юкланишга боғлиқ бўлмайди.



7.4-расм. Трансформациялаш коэффициентлари ҳар хил ($K_I < K_{II}$) бўлгандаги тоklar диаграммаси.



7.5—расм. Уланиш гуруҳлари ҳар хил (яқин) бўлган уч фазали трансформаторлар параллел ишлаши Кучланишлар диаграммаси.

7.6—расм. қисқа туташув кучланишлари $u_{KI}=u_{KII}$ тенг, аммо ташкил этувчилари ҳар хил бўлгандаги диаграмма.

7.4-расмдаги мувозанатловчи тоқларнинг вектор диаграммаларида I ва II трансформаторларнинг $I_{юI}$ ва $I_{юII}$ юкланиш тоқлари OA ва OB векторлари билан ифодаланган ва уларнинг қийматлари бир-биридан $OA/OB = I_{юI}/I_{юII} = P_{HI}/P_{MII} = 2$ марта фарқ қилиши кўрсатилган. OA ва OB векторлари $\dot{U}_2$ кучланиши векторига нисбатан бир хил бурчак φ_2 (ташқи юкнинг параметрига боғлиқ бўлган) га силжиганлар (масалан, кечикканлар) I ва II трансформаторларнинг натижавий тоқлари векторлари $\overline{OC} = \dot{I}_{юI} + \dot{I}_{mI} = \dot{I}_{2I}$ ва $\overline{OD} = \dot{I}_{юII} + \dot{I}_{mII} = \dot{I}_{2II}$ билан ифодаланадилар.

Учбурчак OAC ва OBD лардан қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$I_{2I} = \sqrt{I_{юI}^2 + I_m^2 + 2I_{юI} \cdot I_m \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2)}, \quad (7.11)$$

$$I_{2II} = \sqrt{I_{юII}^2 + I_m^2 + 2I_{юII} \cdot I_m \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2)} \quad (7.12)$$

Трансформаторларнинг мувозанатловчи токлардан юкланганлик ўлчови сифатида қуйидаги нисбатлар олиниши мумкин:

$$\frac{I_{2I}}{I_{\text{нI}}} = \sqrt{1 + \left(\frac{I_m}{I_{\text{юI}}}\right)^2 + 2 \frac{I_m}{I_{\text{юI}}} \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2)} \quad (7.13)$$

ва

$$\frac{I_{2II}}{I_{\text{нII}}} = \sqrt{1 + \left(\frac{I_m}{I_{\text{юII}}}\right)^2 + 2 \frac{I_m}{I_{\text{юII}}} \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2)} \quad (7.14)$$

Кейинги ифодалардан кўринадик, трансформаторларнинг ўта юкланганлик ёки чала юкланганлик даражаси биринчидан трансформатор параметрларидан келиб чиқувчи қийматларидан келиб чиқувчи қийматлар I_m ва φ_k га боғлиқ ва иккинчидан, ташқи юкланиш параметрларини характерловчи φ_2 бурчакка боғлиқ экан.

Хусусан, индуктив характердаги юкланиш $\varphi_2 = \varphi_k$ бўлса, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\frac{I_{2I}}{I_{\text{юI}}} = 1 + \frac{I_m}{I_{\text{юI}}} \quad (7.15, \text{ а})$$

ва

$$\frac{I_{2II}}{I_{\text{юII}}} = 1 + \frac{I_m}{I_{\text{юII}}} \quad (7.15, \text{ б})$$

Бунда, I трансформатор ўта юкланган ва II трансформатор эса, чала юклангандир.

Сигим характердаги юкланиш бўлса

$$\frac{I_{2I}}{I_{2II}} = \sqrt{1 + \left(\frac{I_m}{I_{\text{юI}}}\right)^2} \quad (7.16, \text{ а})$$

$$\frac{I_{2II}}{I_{\text{юII}}} = \sqrt{1 + \left(\frac{I_m}{I_{\text{юII}}}\right)^2} \quad (7.16, \text{ б})$$

яъни иккала трансформаторлар ҳам ўта юкланган.

Мисол учун номинал қувватлари $P_{\text{нI}}=100$ кВА, ва $P_{\text{нII}}=320$ кВА бўлган трансформаторлар параллел ишласин. $I_m/I_{\text{нI}}=0,14$; $\cos \varphi_2 = 0.8$ ва $\varphi_k = 75^\circ$; у ҳолда $I_{2I}/I_{\text{юкI}}=1.115$ ва $I_{2II}/I_{2II}=0,955$, яъни мувозанатловчи токнинг оқиш сабабли I трансформатор 11,5% га ўта юкланган, II трансформатор эса 4,5% га чала юкланган.

Юқорида келтирилган ифодаларда $K_I < K_{II}$, деб ҳисобланган эди. Агар трансформатор коэффицентлари тескари, яъни $K_I > K_{II}$ тенгсизликда бўлсалар, мувозанатловчи тоklar $I_{\text{мI}}$ ва $I_{\text{мII}}$ ларнинг векторлари ўрин алмашиб (7.4-расм), қуввати каттароқ трансформатор ўта юкланади ва юқоридаги мисолнинг сон қийматлари такрорланса, II трансформаторнинг ўта юкланиши 5% дан ошмайди, I трансформатор эса, чала юкланади.

Бу трансформаторлар биринчи мисолдагидан кўра енгилроқ шароитда ишлайдилар. Шунинг учун трансформациялаш коэффицентлари ҳар хил бўлган трансформаторларнинг параллел ишлаганида қуввати кичик бўлган трансформаторнинг трансформациялаш коэффиценти каттароқ бўлгани мақсадга мувофиқдир. Трансформаторнинг ўта қизишига йўл қўйилмаслиги, уларни ўта юклаш (номинал юкдан кўпроқ юклаш) мумкин бўлмаслиги сабабли, ташқи юкнинг қийматини шундай камайтириш керакки, ундан ўта юкланган трансформатор нормал шароитга келсин. Бунда, бошқа трансформатор чала юкланган бўлиб, электроэнергетик тизимнинг ишлаш режими ёмонлашади. Юқорида келтирилган иккинчи мисолда II трансформатор 5% га ўта юкланган эди. Шу сабабли, ташқи юкланиш токининг қийматини шунгача камайтириш керак ва шу трансформаторнинг тўла юкки ўзининг номинал қийматидан ошмайди.

Давлат стандарти таклифига кўра параллел ишлайдиган трансформаторларнинг трансформациялаш коэффицентлари ўрта арифметик коэффицентидан 0,5% га ошмаслиги шарт.

7.3. УЛАНИШ ГУРУХЛАРИ ҲАР ХИЛ БЎЛГАН УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Параллел ишлаётган трансформаторларда биринчи ва учинчи шартлар бажарилиб, уларнинг уланиш гурухлари ҳар хил бўлсин. У ҳолда икала трансформаторлар чулғамларининг a_1 - a_2 , b_1 - b_2 ва c_1 - c_2 учлари орасида (7.1- расм) ҳар доим кучланишлар фарқи $\Delta U = \dot{U}_{02I} - \dot{U}_{02II}$ ҳосил бўлади, чунки трансформаторларнинг иккиламчи кучланишлари орасида фаза силжиши мавжуд бўлади (7.5-расм). Иккиламчи кучланишлар векторларининг модуллари $Oa_1 = Oa_2$ ёки $|U_{02I}| = |U_{02II}| = |U_2|$ тенг бўлганда кучланишлар фарқи ΔU Oa_1a_2 тенг ёнли учбурчакдан аниқланади:

$$\Delta U = 2U_{02} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Бу кучланишнинг таъсирида трансформаторларнинг чулғамларида мувозанатловчи (I_M) ток пайдо бўлади. Унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_M = \frac{\Delta U}{\frac{U_{KI} \cdot U_{02}}{I_{II} \cdot 100} + \frac{U_{KII} \cdot U_{02}}{I_{III} \cdot 100}} = \frac{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{U_{KI}}{I_{II} \cdot 100} + \frac{U_{KII}}{I_{III} \cdot 100}} \quad (7.17)$$

Юқорида кўрилган 3.7 дан маълумки α бурчакнинг минимал қийматини ($\alpha \rightarrow 0$) фақат икки трансформаторнинг уланиш гурухлари бир

хил бўлгандагина хосил қилиш мумкин. Уланиш гурухлари хар хил бўлган трансформаторларда эса минимал қиймат $\alpha = \pi/6 = 30^\circ$ фақат уланиш гурухларининг рақамлари ёнма-ён бўлгандагина учраши мумкин. Масалан, биринчи трансформатор Y/Y-0 ва иккинчиси /Y-11 бўлсин. Трансформаторларнинг қувватлари $P_{HI} = P_{HII}$ /ва $I_{2I} = I_{2II} = I_2$ / ва уларнинг қисқа туташув кучланишлари $U_{KI} = U_{KII} = U_K$ / тенг бўлганда, яъни энг енгил шароитда параллел улансалар юксиз ишлаганда ҳам мувозанатловчи ток I_M мавжуддир ва унинг қиймати қуйидагига тенг:

$$I_M = \frac{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot \frac{U_K}{I_2 \cdot 100}} = \frac{2 \cdot \sin \frac{\pi}{12}}{2 \cdot \frac{U_K}{I_2 \cdot 100}}$$

ва унинг номинал тока нисбати

$$\frac{I_M}{I_{2H}} = \frac{100 \cdot \sin \frac{\pi}{12}}{U_K}$$

га тенг бўлади.

Кучланишлари қуйидаги қийматда $U_K = 5,5\%$, $U_H = 6-10\text{kV}$ ва уланиш гурухлари Y/Y-0 ва /Y-11 бўлган икки параллел уланган трансформаторлардаги мувозанатловчи токнинг қиймати иккиламчи номинал токда

$$\frac{I_M}{I_{2H}} = \frac{100 \cdot \sin \frac{\pi}{12}}{5.5} = 4.7$$

марта катта бўлади.

Бундан кўринадики, хар хил гурухли трансформаторларни параллел улашнинг ўзи на фақат мумкин эмас, балки хавфлидир.

Бироқ, чулғамларнинг уланишида ўзгартириш киритиб, параллел ишашга имкон яратиш мумкин. Бунинг учун жадвал 7.1 даги таклифлардан фойдаланиш мумкин (Л.7).

Асосий гурухда, масалан Y/Y-0 даги трансформаторни исталган гурух, масалан Y/Y-I даги трансформатор билан параллел улаш учун, кейингисининг чулғамларини қайта белгилаб Y/Y-0 га келтириш керак. қуйида (7.1-жадвал) маълум асосий гурухдаги трансформаторларни бошқа гурухдаги трансформаторлар билан чулғамлари қайта белгиланиб параллел уланиши мумкинлиги кўрсатилган. Бунда «Ха» мумкин ва «Йўқ»-улаш тақиқланади деган шартли қисқартиришлар киритилган.

7.1-жадвал.

Гурухлар	12 (4,8)	6 (10,2)	5 (9.I)	11 (3.7)
12 (4.8)	Ха	Йўқ	Йўқ	Йўқ

6 (10,2)	Йўқ	Ҳа	Йўқ	Йўқ
5 (9.1)	Йўқ	Йўқ	Ҳа	Ҳа
11 (3.7)	Йўқ	Йўқ	Ҳа	Ҳа

5- ва 11- гуруҳ трансформаторларнинг параллел ишлаши фақат чулғамлар бағишланиши қуйидагича бажарилгандагина амалга оширилиши мумкин:

7.2-жадвал

Гу руҳлар	Ю .К	Ю .к.
5	А BC	а bc
11	А CB C BA B AC	а ba ac cb

7.4. ҚИСҚА ТУТАШУВ КУЧЛАНИШЛАРИ ҲАР ХИЛ БЎЛГАН ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Фараз қилайлик, трансформаторлар параллел ишлаш шартларининг биринчи ва иккинчилари бажарилиб, учинчиси бажарилмаяпти ($U_{kI} \neq U_{kII}$). қисқа туташув кучланишларининг тенг эмаслиги тўғрисида сўз кетганда шуни назарга олиш керакки, биринчидан U_k ларнинг қийматлари тенг бўлмаслиги мумкин, иккинчидан U_k лар тенг бўлиб, уларнинг ташкил этувчи $U_{k.a}$ ва $U_{k.p.}$ лари ўзаро тенг бўлмасликлари мумкин.

1. Аввалига иккинчи ҳолнинг таъсирини кўриб чиқайлик. Масалан, қувватлари 10 ва 100 кВА бўлган трансформаторларни олайлик. Давлат стандартига кўра қуввати 10 кВА бўлган трансформатор учун $U_k=5,5\%$, $U_{k.a}=3,35\%$, $U_{k.p.}=4,36\%$; ҳудди шунингдек, 100 кВА лик трансформатор учун: $U_k=5,5\%$, $U_{k.a}=2,4\%$ ва $U_{k.p.}=4,95\%$. қисқа туташув учбурчаклари AB_1C ва AB_2C нинг гипотенузаларини устма-уст жойлаштирсак, 7.6-расмдаги вектор диаграммасини ҳосил қиламиз. Агар юксиз ишлаш токининг қийматини ҳисобга олмасак, қисқа туташув кучланишининг актив ташкил этувчиси CB_1 нинг йўналиши ток I_{2I} нинг йўналиши билан мос ва, шунга ўхшаш, CB_2 нинг йўналиши I_{2II} нинг йўналиши билан мос бўлишини кўрамыз. Демак, I_{2I} ва I_{2II} тоқларининг векторлари фазалари

билан $\varphi_k = \varphi_{kII} - \varphi_{kI}$ бурчагига фарқ қилар экан ва тармоқ токи $\dot{I}_{2I} = \dot{I}_{2I} + \dot{I}_{2II}$. Аммо, 7.6-расмдаги диаграммадан кўринишича, параллел уланаётган трансформаторлар ва $U_{k.p.}$ ларининг ўзаро фарқи жуда катта бўлганда ҳам $\Delta\varphi_k$ бурчаги шунчалар кичикки, I_{2I} ва I_{2II} векторларнинг геометрик йиғиндисини алгебраик йиғинди билан алмаштириш мумкин бўлади, яъни

$$I_{2T} = I_{2II} + I_{2I} \quad (7.18)$$

Бу хулоса умумий характерга эга, яъни уни бошқа исталган сонли трансформаторларга татбиқ этиш мумкин.

II. Энди фараз қилайлик $U_{kI} = U_{kII}$. Параллел ишлаётган трансформаторларнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари кучланишлари ўзаро тенг ва фазалари мос (иккинчи шарт) бўлганлиги сабабли, ҳамма трансформаторлардаги кучланишлар пасажуви тенг бўлади, яъни:

$$\dot{I}_1 \cdot Z_{kI} = \dot{I}_2 \cdot Z_{kII} = \dots = \dot{I}_m \cdot Z_{k.m} = \dot{I}_n \cdot Z_{kw}$$

Демак,

$$\begin{aligned} I_I : I_{II} : \dots : I_m : \dots : I_n &= P_I : P_{II} : \dots : P_m : \dots : P_n = \\ &= \frac{1}{Z_{kI}} : \frac{1}{Z_{kII}} : \dots : \frac{1}{Z_{km}} : \dots : \frac{1}{Z_n}, \end{aligned} \quad (7.19)$$

бунда $P_I, P_{II}, \dots, P_m, \dots, P_n$ - ҳар бир параллел ишлаётган трансформаторларнинг қувватлари.

(7.19) тенгликдан қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} \frac{P_m}{\sum_1^n P_m} &= \frac{\frac{1}{Z_{km}}}{\sum_1^n \frac{1}{Z_{k.m}}} = \frac{1}{Z_{k.m} \sum_1^n \frac{1}{Z_{k.m}}} = \\ &= \frac{1}{\frac{I_H Z_{km}}{U_1} \cdot 100 \sum_1^n \frac{I_{Hm} \cdot Z_{km}}{U_1}} = \frac{1}{\frac{U_{km}}{P_{H.m}} \sum_1^n \frac{P_{H.m}}{U_{km}}} \cdot \frac{P_{Hm}}{U_{k.m}} \end{aligned}$$

Демак, m - трансформаторнинг қуввати

$$P_m = \frac{\sum_1^n P_m}{\sum_1^n \frac{P_{H.m}}{U_{k.m}}} \cdot \frac{P_{H.m}}{U_{k.m}} \quad (7.20)$$

га тенг.

Мисол учун, учта мойли трансформатор параллел уланиш керак бўлсин. Ҳар бирининг номинал қуввати 100 кВА дан қисқа туташув кучланишлари $U_{KI}=3,5\%$, $U_{KII}=4,0\%$ ва $U_{KIII}=5,5\%$ бўлсин. Умумий юкнинг қиймати эса $\sum_1^m P_m = 300$ кВА.

Юқоридаги (7.20) тенгликка кўра

$$\sum_1^m \frac{P_{H.m}}{U_{k.m}} = \frac{100}{3,5} + \frac{100}{4} + \frac{100}{5,5} = 71,8$$

Демак, ҳар бир трансформаторлар қуйидагича юкланганлар:

$$P_I = \frac{300}{71,8} \cdot \frac{100}{3,5} = 119,5 \text{ кВА}$$

$$P_{II} = \frac{300}{71,8} \cdot \frac{100}{4} = 104,5 \text{ кВА}$$

ва

$$P_{III} = \frac{300}{71,8} \cdot \frac{100}{5,5} = 76,0 \text{ кВА}$$

яъни, биринчи трансформатор 19,5% га иккинчиси- 4,5% ўта юкланганлар ва учинчи трансформатор 24% га чала юкланган.

Ташқи юкланишнинг қийматини 19,5% га камайтириб, трансформаторлар юкланишининг янги тақсимотини аниқлаймиз:

$P_I=100$ кВА; $P_{II}=81,2$ кВА ва $P_{III}=63,5$ кВА. Бу ҳолда биринчи трансформатор нормал юкланган ва қолганлари чала юкланган бўлади. Трансформаторларнинг бундай параллел ишлаш шароитларини нормал деб бўлмайди. Шунинг учун давлат стандартларининг талабига кўра, параллел ишлашга мўлжалланган трансформаторлар қисқа туташув кучланишларининг қийматлари ўртача арифметик қийматдан 10% га фарқ қилиши мумкин.

Агар трансформаторлар ҳар хил қувватли бўлса, бу ҳолда ҳам қуввати каттароқ трансформаторнинг U_k си бошқаларникидан каттароқ бўлгани яхши. Ҳақиқатдан ҳам, юкланганда мазкур трансформатор камроқ чала юкланган бўлиб, бу катта ноқулайликлар ҳосил қилмайди, чунки кичик қувватли трансформаторнинг чала юкланиши, электроэнергетик тизимнинг умумий қувватига, катта қувватли трансформаторнинг чала юкланишидан кўра камроқ таъсир этади. Аксинча, агар кичик қувватли трансформатор кичик қийматли U_k га эга бўлса, у ҳолда бу трансформатор умумий юкланишига чекловчи таъсир этади, чунки унинг ўта

юкланганлигини номинал юккача пасайтириш учун умумий юкнинг қийматини (бошқа трансформаторлар қуввати билан биргаликда) пасайтириш лозим бўлур эди.

Трансформаторлар қувватларининг фарқи қанча катта бўлса, уларнинг қулай шароитдан узоқлашиши шунчалар кўпроқ бўлади. Шу сабабли, давлат стандартининг таклифига кўра, параллел уланувчи трансформаторлар энг катта номинал қувватининг энг кичигига нисбати 3:1 дан ошмаслиги керак.

САККИЗИНЧИ БОБ

ТРАНСФОРМАТОРЛАР КУЧЛАНИШИНИ РОСТЛАШ

Трансформаторларнинг кучланишини ростлаш учун бирламчи ёки иккиламчи чулғамларнинг ўрамлари сонини контактларни қайта улагичлар ёки контактсиз усулда ўзгартириш орқали амалга оширилади. Кучли трансформаторлар турли хилдаги ростловчи қурилмалар билан жиҳозланадилар; оддий қурилмалар - уларни ишлатиш учун трансформаторлар тармоқдан узиб қўйилади, ёки мураккаброқ қурилмалар – трансформатор кучланишлари юкланишни узмаган ҳолда (юкланиш жараёнида ёки юкланиш остида) ростланади. Контактли қайта улагичлар билан бир қаторда қўшимча магнитланувчи трансформаторлар ва қувватли ярим ўтказгич асбобларини ўз ичига олган беконтакт қайта улагичларлар ҳам кенг қўлланилмоқда. Уларда ярим ўтказгичлар (тиристорлар) трансформатор чулғамларига кетма-кет уланиб, қувватни ЭҲМ ни, радиоэлектрон ускуналар ва махсус электротехник ускуналарни таъминловчи трансформаторлардаги кучланишларни беинерция (инекциясиз) ростлашга имкон беради.

8.1. Трансформатор кучланишларини ростлашнинг асосий усуллари

Электр тармоғининг турли қисмларида кучланишнинг қийматини маълум даражада сақлаш кераклиги, трансформатор кучланишини ростлаш эҳтиёжини туғдиради. Электр энергиясининг сифатини белгиловчи давлат стандартининг (ГОСТ 1310967) таклифига кўра, кўпчилик истеъмолчилар учун кучланишнинг номинал қийматидан оғиши $\pm 5\%$ дан ошмаслиги керак.

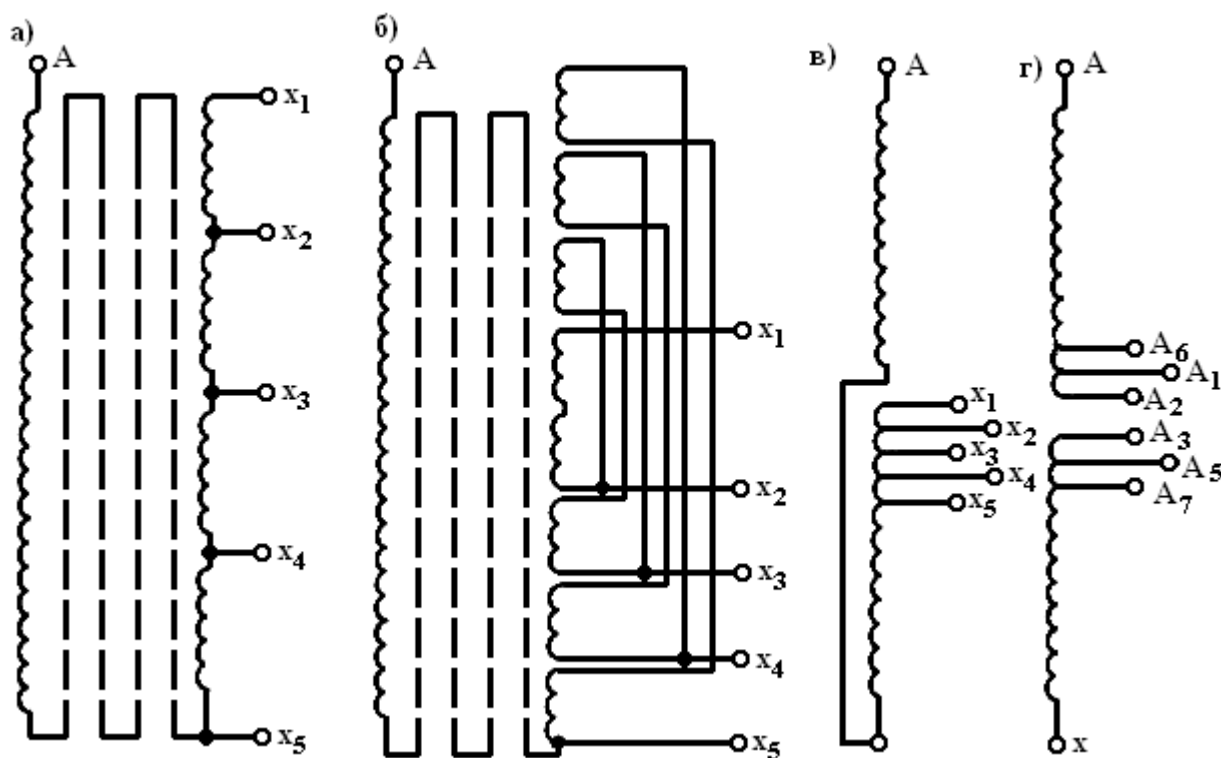
Баъзи истеъмолчилар гуруҳи учун кучланишни ундан ҳам аниқроқ - $\pm 2,5\%$, айрим ҳолларда эса 1 % гача стабиллашни талаб этилади. Булар кўпчилик автоматик, радиоэлектроника тизимлари ва ЭҲМ ларнинг хусусияти билан боғлиқ.

Ҳозирги пайтда энерготизимларда кўплаб миқдорда ҳар хил қурилмалар ишламоқдаки, улар истеъмолчиларнинг кучланишини талаб

этилган режимда бошқариш учун трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентини ўзгартириш (ўрамлар сонини қайта улаш) асосида бажармоқдалар.

Ўрамлар сонини қайта улаш юк чулғамларида бажарилгани мақсадга мувофиқдир. Чунки ростлаш жараёнида чулғам токининг қиймати кичик бўлса, чулғам кучланишининг қандайлигидан қатъий назар ростлаш қурилмаси қ.к ростлагичидан кўра анчагина тузилиш жиҳатидан соддарок, енгилроқ ва арзонроқ (тежамлироқ) бўлади.

Ҳамма кучли трансформаторларда чулғамлар ўрамларидан контактли ёки беконтакт ростлагичларга чиқарилган шахобланиш симлари мавжуд. қуввати 1600 кВА гача бўлган умуммўлжал трансформаторларида аксарият юк чулғаида бешта ростловчи шахобчалари мавжуд (+5; +2,5; 0; -2,5; -5 %). Улар содда ва арзон бўлган контактли қайта улагичлар ёрдамида, юк ва қ.к чулғамларини таромқдан узган ҳолда шахобчаларнинг уланган уч фазали чулғамларининг нейтрал нуқта яқинидан (расм 8.1)



8.1-расм.

кўрсатилганидек чиқарилади.

Кичик қувватли трансформаторларда чулғам баландлиги устига симметрияланмаган қайта улаш ўрамлари бўлган савдо схема (расм 8.1,а) ишлатилиши мумкин. Катта қувватли трансформаторларнинг қисқа туташув режимларида қайта улаш ўрамларининг бундай жойланиши катта динамик кучларнинг ҳосил бўлишига олиб келади ва қайта улаш ўрамларининг чулғам баландлиги бўйича симметриялаш учун: кўп

қатламли чулғамларда 8.1,б-расмдаги схема ишлатилади; узлуксиз чулғамларда 8.1,в,г-расм схемалари қўл келади.

Бу ростлаш турлари юксиз қайта улаш (ЮҚУ) деб номланади ва кенг қўлланилишига қарамай, кучланишнинг керакли сифатини таъминлашда катта имкониятларга эга эмас. Чунки ўрамларнинг қайта улаш учун трансформаторни тармоқдан узиб қўйиш шарт. Шу сабабли трансформаторларни тармоқлардан узмаган ҳолда кучланишни юкли ростлаш (КЮР) усули охириги пайтда жадал қўлланилмоқда.

Трансформаторларнинг ростлаш ўрамларини юкли қайта улаш асосан қуввати 1000 кВА дан юқори бўлган трансформаторларда ишлатилади. Бундай КЮР ли трансформаторлар юк чулғамларида жуда кўп кичик қадамли ($1,5 \div 1,0\%$ гача) ростлаш ўрамларига эга бўлиб, умумий ростлаш оралиғи (диапазони) 10 – 20 % ни ташкил этади.

Махсус трансформаторларда, масалан ярим ўтказгичлар техникасида ишлатилувчи трансформаторларда, КЮР ни қўллаган ҳолда ёки ЮҚР ва ЮҚУ ларнинг биргаликдаги (комбинацион) қўлланилишида ростлаш диапазони 80% гача бўлиши мумкин.

Чулғамнинг қайта улаш ўрамлари ёки бошқача қилиб айтганда ростловчи ўрамлари махсус қурилган бўлиб, алоҳида ўрама ҳолида бўлади ва трансформатор ўзагига жойлаштирилган мазкур фаза чулғамининг ташқарисига (максимал диаметрда) жойлаштирилади. Бу эса бакнинг ичида махсус қурилма сифатида жойлаштирилган КЮРнинг контактларини чулғамнинг ростловчи ўрамлари учлари билан боғловчи симларнинг қулай жойланишига имкон беради. КЮР нинг ўт ўчириш хоналари трансформатор бакидаги мойнинг асосий ҳажмидан изоляцияланган бўлади.

Трансформаторнинг қўввати ва кучланиши ошиши билан КЮР нинг иқтисодий самараси кўпайиб боради. КЮР нинг қўлланилиши кучланиш диапазонининг $35 \div 330$ кВга тўғри келади. Трансформатор қуввати 100 мВА дан ошса КЮР 110 кВ ва ундан юқори кучланишга мўлжаллаб ҳисобланади. Бундай қувват ва кучланишлар диапазонларида алоҳида ростловчи автотрансформаторлар кенг қўлланилади.

Бундай трансформаторларнинг КЮР билан уланган ростловчи чулғамлари бирламчи чулғамга нисбатан иккиламчи – вольт қўшувчи (вольтодобовочная) ҳисобланиб, чулғамларнинг ҳисобий қувватлари берилган ростлаш диапазонида тааллуқли бўлади. Бу, ўз навбатида, ростлаш диапазони жуда кичик бўлганда ҳам ҳамма трансформатор комплекси савлатининг ошишига олиб келади, чунки, қўшимча вольтқўшувчи трансформатор ҳисобига актив материалларнинг солиштирма сарфи ошади.

Актив ва конструктив материалларнинг қўшимча сарфланишига қарамай, бутун КЮР нинг ҳамма ростлаш тизимларини асосий трансформатордан ажратиб олиш, ростлаш контурларини ўта кучланишдан

ҳимоялаш масалаларини енгиллаштириш керак бўлганда, асосий трансформаторни эксплуатациядан чиқармасдан туриб, ростлаш тизимини узиб қўйиш каби бир қанча афзалликларга олиб келади.

Ишлаб чиқарилаётган токли ростлашнинг механик қурилмалари электроэрозия емирилиш ҳисобига контакт элементларнинг едирилишга чидамлилиги чеклангандир.

Шу сабабли, ҳамда механик тизимларнинг секин ҳаракатланиши сабабли (айниқса трансформация коэффицентини ростлашнинг бир неча поғонасига ўзгартириш мўлжалланса), КЮР қурилмаларининг эксплуатацион хусусиятлари маълум танқидларга учрайди. Масалан, аниқландики, трансформаторнинг 35÷60 % ишга яроқликлари КЮР даги шикастланиш сабабли бўлар экан.

Кучланишни ростловчи тизимларнинг тезкорлигини оширишнинг афзаллиги контактли механик ростлаш қурилмалари ўрнига беконтакт қайта улаш қурилмалари ёки беконтакт ростлагич (БР) ларнинг кенг қўламда қўлланилишига сабаб бўлди.

қуввати 1000 кВА гача ва кучланиши 10 кВ гача бўлган трансформаторлардаги қайта уловчи механик қурилмалар самарадорлигининг пастлиги кейинги ўн йил мобайнида тиристорли ва транзисторли ростлаш тизимларини татбиқ этиш кенг қўламда олиб борилмоқда. Улар трансформациялаш коэффицентларини дискрет ёки раванон контактсиз ўзгартиришни юқори тезликда (баъзи ҳолларда кучланиш даврининг ярмида) амалга оширадилар.

Трансформаторлар кучланишларини ростлаш тизимлари уч хил турга бўлинадилар:

1. Кучланишни фақат механик ростлаш тизимлари:

а) трансформациялаш коэффицентини ўзгартириш пайтида трансформаторни бирламчи ва иккиламчи тармоқлардан буткул узувчи юксиз қайта улаш (ЮСКУ);

б) КЮР – кучланишни юкли ростлаш, яъни контактларни трансформаторни тармоқлардан узмаган ҳолда қайта улаш. Бундай ростлаш контурларидаги тоқлар клапинловчи ва қайта улашдаги электр ўчирилади.

2. Тиристорли ва механик ростлаш қурилмаларининг биргаликдаги ишлатилиши ёки қўшимча вольтқўшувчи трансформатор ёрдамида контактларни билвосита улаш.

3. Беконтакт раванон ростлаш тизимлари:

а) дискрет турдаги;

б) трансформациялаш коэффицентини фазали ростлаш;

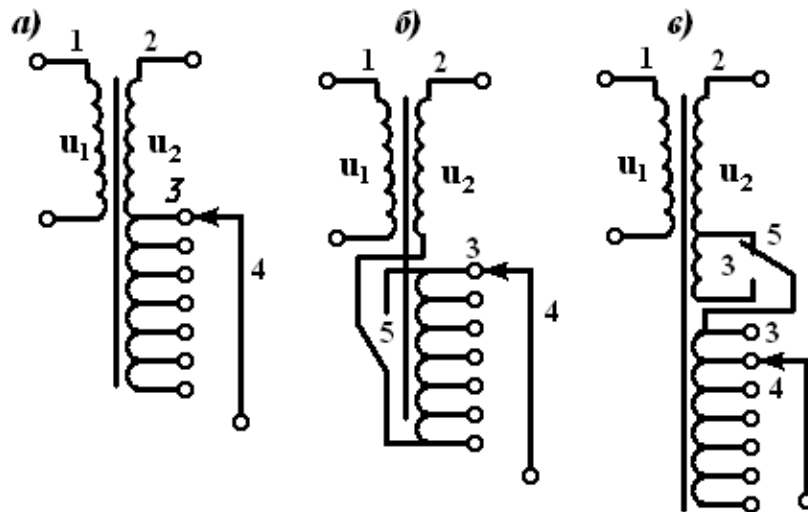
в) кучли трансформатор қайта улаш ўрамларини юқори частотали коммутациялаш.

8.2. Трансформатор кучланишини ростлашнинг механик тизимлари

Ростлашнинг механик тизимлари энг содда ҳолда ЮКҚУ қурилмаларининг турларида (8.1-расм) акс эттирилиб, уларга нисбатан КЮР қурилмалари, шубҳасиз мураккаброқ тузилишга эга, КЮР ростлагичларининг асосий турлари 8.2-расмда акс эттирилган.

Бу расмлардан кўринадики, КЮРли трансформаторлар таркибида бирламчи 1 ва иккиламчи 2 чулғамлардан ташқари, уларни тўлдирувчи қайта улаш ўрамларига эжга бўлган ростлаш чулғами 3 ҳам мавжуддир. қайта улаш қурилмаси реверслаш ёки ростлаш қадамини ўзгартирувчи 5 сайлагич билан тўлдирилади.

8.2,а-расмда ростлаш чулғами (РЧ) нинг кучланиши кучланишнинг ростлаш диапазониغا тенг, 8.2,б-расмда эса РЧ кучланиши – ростлаш диапазониининг ярмига мос келади. Бу эса РЧ ни реверсловчи қайта улаш аппаратларининг маълум даражада мураккабланиши ҳисобига РЧ нинг ўрамлари сонини камайтиришга имкон беради.



8.2. - расм

Чулғамнинг коммутацион токини камайтириш учун ЮК томонига ўрнатилган қайта улаш қурилмаси аксарият қуйидаги элементлардан иборат:

- 1) ростловчи чулғамнинг манбадан ажралган қисмидаги контурга контактор уланишини тайёрловчи сайлагич;
- 2) икки ёнма-ён жойлашган ростлаш симларини ўзаро уловчи контактор;
- 3) контакторнинг икки контакти бир вақтда уланган ҳолатда бўлиши натижасида ҳосил бўлувчи контур чегараловчи элемент;

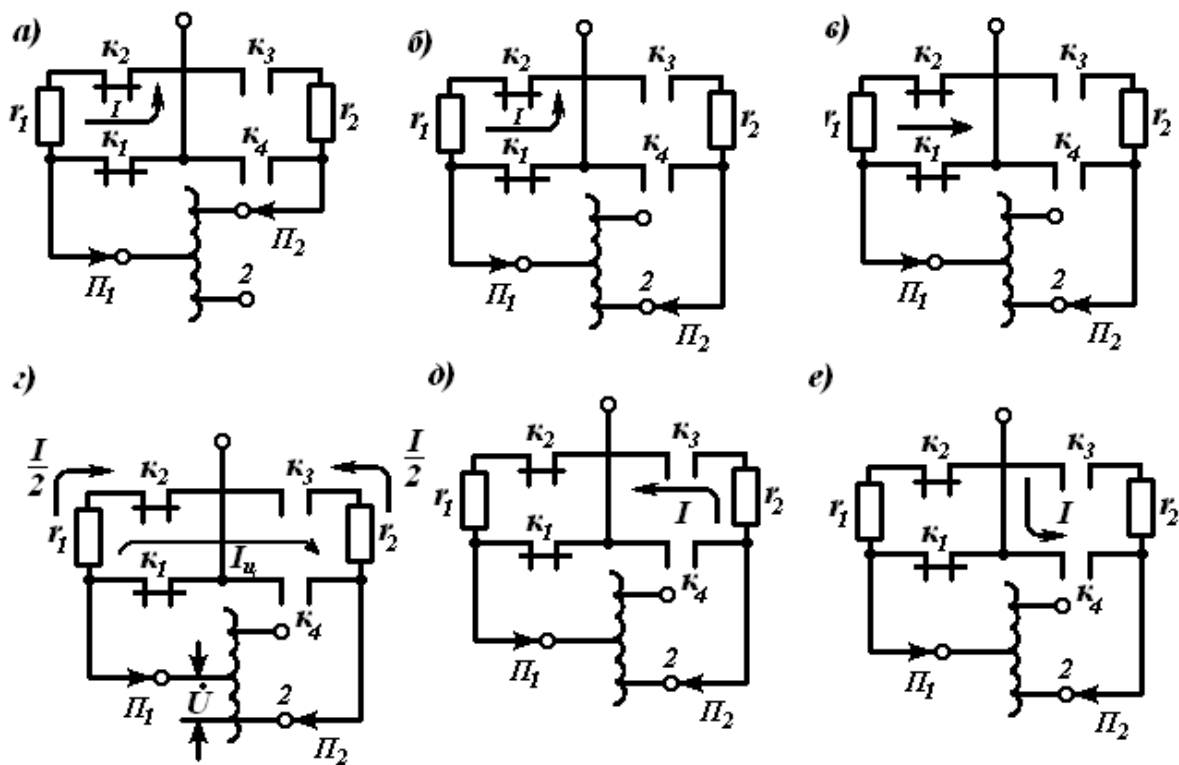
4) ҳаракатга келтирувчи механизм.

Ҳозирги пайтда асосан индуктив ток чегаралагич ўрнини эгаллаган резисторли ток чегаралагичли КЮР лар қўлланилмоқда.

қайта улаш натижасида ҳосил бўлувчи контур тоқларини камайтирувчи резисторли ток чегаралагичлардаги резисторлар қизиш шартларига кўра, тоқларнинг қисқа вақт оқиб ўтиши шрти билан ишлатиладилар. Индуктив ток чегаралагичлари эса нисбатан содда тузилган бўлиб, улар орқали ток узлуксиз оқиб ўтиши тақиқланмайди. Аммо индуктив ток чегаралагичлари контактордаги электр ёйини кучайтириб, унинг контактлари емирилишини тезлаштиради. Шу туфайли резисторли ток чегаралагичларини қайтав улаш жараёни тугагандан сўнг уларни қўшишга коммутаторлар ёрдамида қисқа туташтириш лозимлигига қарамай, улар кенг қўлланиладилар.

8.3-расмда трансформатор чулғамининг сайлагич ёрдамида аниқланган икки симининг контактор уланиши кетма-кетлиги кўрсатилган.

8.3,а,б-расмда сайлагични 2-ҳолатга тармоқдан узилгандаги



8.3-расм.

ўтказиши кўрсатилган, 8.3,в-расмда K_1 контактнинг узилиши жараёнида токни r_1 резистор ва K_2 контакт контурига ўтказиш акс эттирилган. Кейинги ҳолатда (8.3,г-расм) K_3 контактни уланганда, ростлаш симлари орасидаги кучланишлар фарқи натижасида r_1 r_2 r_3 контурдан оқувчи ток r_1 ва r_2 резисторлар таъсирида чегараланади (ошишига йўл қўйилмайди), юк токи эса резисторларга тенг тақсимланади. Ҳар бир резистордаги

нативавий токнинг оний қиймати юк ва контур токларининг йиғиндисини сифатида аниқланади.

Сўнгра (8.3,д,е-расм) K_2 контактрлари уланади, натижада ростлагич қайта уланиши жараёни тугайди.

Бундай ростлагич тизимидаги қайта улаш жараёни нисбатан узок давом этади (20 с гача). Фақат қисқа муддатли токлар оқиб ўтишига мўлжалланган резисторларнинг мавжудлиги, катта кучларни аккумуляцияловчи эластик элементлар билан биргаликда контакт элементларининг катта тезликда катта миқдордаги зарбли юкларнинг мавжудлиги ростлагичларнинг тузилишига, материалларнинг сифатига ва ишлаб чиқаришнинг аниқлигига қатъий талаблар қўяди.

Резисторли КЮР лар енгил ва кичик савлатли бўлиб, унинг резистор ва контактрлари трансформатор умумий бокида ўрнатилган қўшимча бок ичига жойлаштирилади. Чунки электр ёйи ўчирилатганда унинг мойи жуда ифлосланади ва у ўз навбатида, асосий бокнинг мойи билан аралашмаслиги керак.

8.3. Кучланишни тиристорли ва механик ростлаш тизимлари

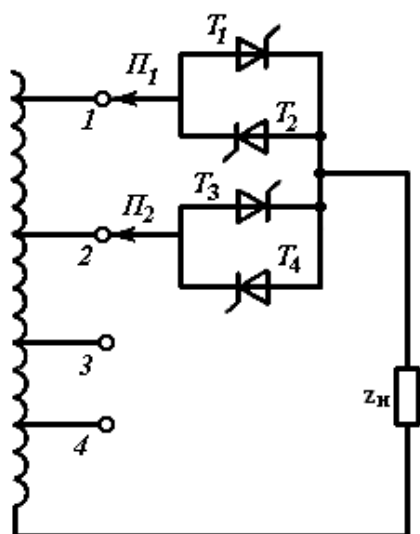
КЮРларнинг фақат механик ростлаш тизимларини ишлатишдаги асосий қийинчиликлар контакторнинг контактрлари юк занжирини узгандаги ҳосил бўлган электр ёйи билан боғлиқ. Контактларнинг емирилишга чидамлилигини оширишнинг қуйидаги усуллари мавжуд: ўта чидамли ва узок умрли контакт материалларидан фойдаланиш; мойли ёй сўндиргичлар билан бир қаторда, вакуумли ёй сўндиргичлардан фойдаланиб, ёйни магнит майдони ёрдамида сўндириш. Мазкур муаммони ҳал қилишнинг асосий йўлларида бири ёй сўндиргич хоналарининг ўрнига тиристорларни қўллашдир. Бунда ўзгарувчан токларни коммутациялаш учун икки қарши-параллел уланган тиристорлар жуфтнинг симметрик блокдан фойдаланилади.

Тиристорли қайта улаш қурилмалари юкни актив чекловчи элементли ва 8.3-расмдаги K_2 ва K_3 контактрларини тиристор блоклари билан алмаштириб ясаиши мумкин. Тиристорларнинг бундай татбиқ этилиши ташқи занжир таъсирида тиристордаги токнинг қиймати нолдан ўтаётган ондаёқ электр ёйининг тугатилишини таъминлаши натижасида реал самара беради.

Ростлаш қадами кучланишининг ва юкланиш токларининг қийматлари нисбатан катта бўлганда тиристорларни кетма-кет (кучланишлар қийматига кўра) ва параллел (юкланиш токи ва тиристорларнинг ишчи токларини қийматларига кўра)

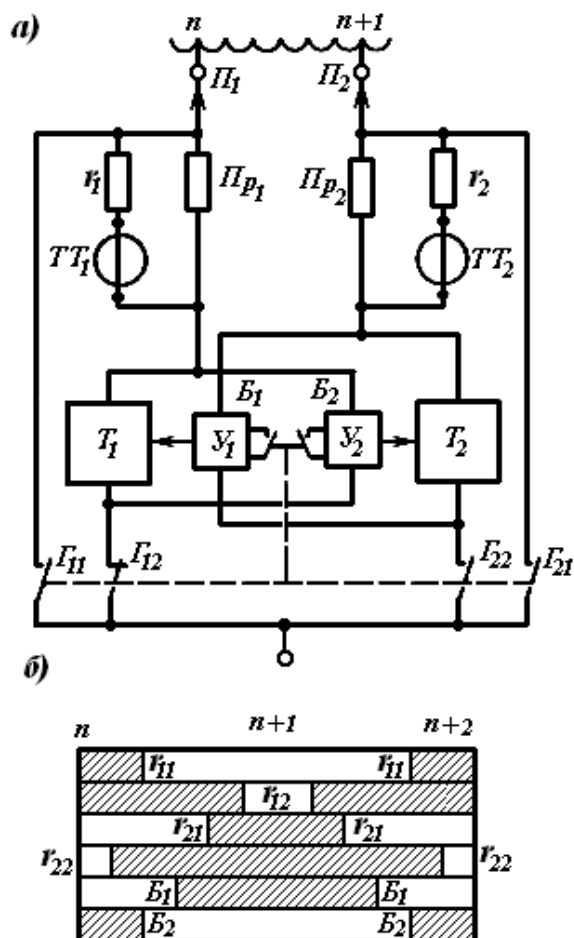
уланади, бунда кучланиш ва тоқларнинг тиристорларда тақсимланиши учун махсус чоралар кўрилади.

Тиристорлардан бирининг шикастланиши натижасида ҳосил бўлувчи



8.4-расм.

8.5-расм.



қиска туташув тоқларидан ҳимояланиш ростлашнинг кичик поғоналарида анча мушкул вазифадир. Махсус чоралар кўрилмаса, бу тоқлар ростлаш ўрамларини шикастлайдилар. Бу токни камайтириш мақсадида ҳар бир тиристор занжирига кетма-кет ва узоқ ишлаш режимига мўлжалланган токни чекловчи реактор уланиши шарт.

Тиристор-контактли схема (8.4-расм) ишлаш принципи шунга асосланганки, аввал бошқариш кучланиши бир жуфт тиристорларга, масалан, T_1 ва T_2 ларга берилади ва улар 1 ростлаш шахобчаси ва Y_1 сайлагичнинг контактлари орқали юкланиш токини ўтказадилар. Агар T_1 ва T_2 тиристорлардаги бошқариш кучланишини узсак, ўтказувчи ҳолтадаги ушбу тиристорлар берк ҳолатга ўтадилар. Сўнгра кейинги, уланиши керак бўлган 2 шахобчанинг Y_2 сайлагичи контактига кетма-кет уланган T_3 ва T_4 тиристорларга бошқариш кучланишлари узатилса, T_3 ва T_4 лар очилиб ток иккинчи шахобчадан ўта бошлайди ва Y_1 ни узиб қуйиш мумкин.

Бундай схеманинг камчилиги шундаки, тиристор занжири узилгандан сўнг мазкур тиристор қутбларида тармоқнинг тўла кучланиши

тикланади. Айниқса индуктив юкланишда тиристорни ўта кучланишдан ҳимоялаш чоралари кўрилиши керак. Шундай КЮР нинг структура схемаси 8.5-расмда кўрсатилган.

Ҳар бир тиристорлар гуруҳи учун бошқариш кучланиши бошқа тиристорлар гуруҳидан олинади. Бошланғич ҳолатда бош контактлар K_{11} ва K_{12} билан блок-контакт K_2 лар уланган ва бош контактлар K_{21} ва K_{22} билан блок-контакт K_1 узилган бўлади. Контакт K_{11} биринчи шахобча тиристорларини шунтласа, иккинчи шахобча тиристорлари тармоқдан контакт K_{22} билан узилган бўлади. Контактларнинг ишлаш диаграммаси 8.5,б-расмда келтирилган. қайта улаш даври K_{22} контактнинг уланишидан бошланади, бунинг натижасида T_2 тиристор жуфтида ростлаш кучланишининг қадамига тенг бўлган кучланиш пайдо бўлади ва бу кучланиш биринчи шахобчани бошқариш блоки B_1 га узатилади. Бошқариш блоки B_2 да кучланиш йўқ, шунинг учун T_2 тиристорлар жуфти ёпиқ қолаверадилар.

Блок-контакт K_1 узилган ҳолда кучланиш берилган B_1 блоки T_1 тиристорлар жуфти учун бошқариш кучланишини ҳосил қилади.

Кейинчалик K_{11} контакт узилганда унинг узилиши ёйсиз бўлиб, бунга ягона сабаб, T_1 тиристорнинг очиклигидир.

Ундан сўнг блок-контакт K_2 узилади ва блок-контакт K_1 уланади. Тиристорлар T_1 дан бошқариш кучланиши узилгандан сўнг ва ўтказувчи шахобча T_1 даги ток нолгача камайгандан сўнг, бу шахобча тиристорларида кучланиш тиклана бошлайди ва B_2 бошқариш блокига келувчи кучланиш оша бошлайди. Натижада T_2 тиристор блоки очилади.

Токлар сукути қисқа вақтли бўлиб, схема сиғимларининг йўқлиги сабабли, бундай турдаги схемаларда занжирнинг узилиши сезиларли бўлмайди.

Коммутация жараёни тугагандан сўнг тиристор T_2 ни шунтловчи контакт K_{21} уланади ва контакт K_{22} узилади.

Кейинги босқичдаги қайта уланиш жараёнлари шунга ўхшаш бўлади.

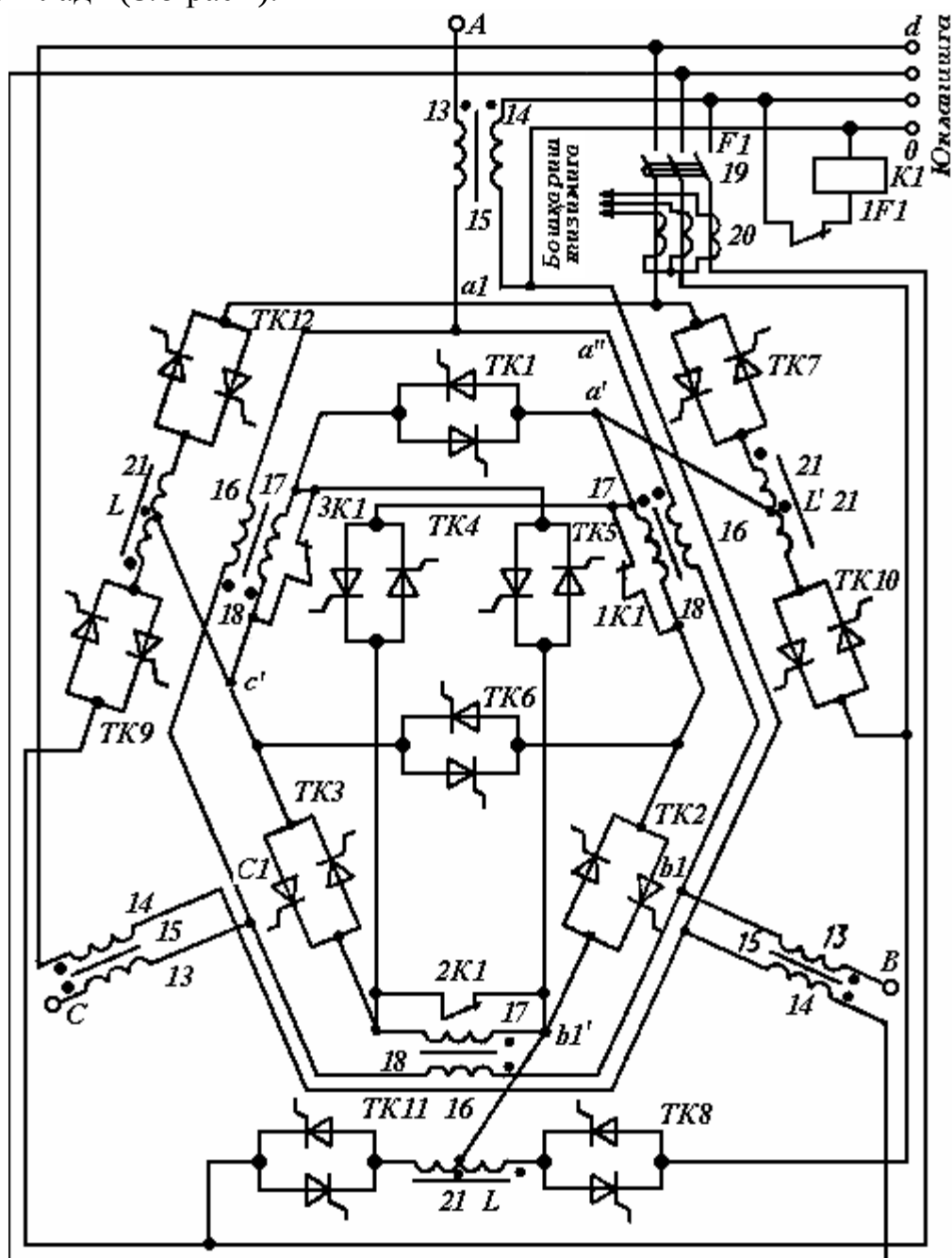
Сақлагич C_1 ва C_2 лар кўп ҳолларда тиристорлар шикастланганда ростлаш ўрамларини ҳимоялаш учун қўлланилади. Сақлагичлар C_1 ва C_2 лар кўп ҳолларда тиристорлар шикастланганда ростлаш ўрамларини ҳимоялаш учун қўлланилади. Сақлагичлар ишлаб кетса (яъни узилса), трансформатор Tr_1 ва Tr_2 лардан r_1 ва r_2 резисторлар орқали ток ўтиб, кучли трансформаторни тармоқдан узувчи хабар автоматик ўчиргич учун ҳосил қилинади.

8.4. Вольт қўшувчи трансформаторли (ВҚТ) тиристор-контактли кучланишни ростлаш тизимлари

Ростлаш ўрамларини токсиз қайта улашда айниқса кўп фазали коммутацион тизимларни ҳосил қилишда қўшимча вольтқўшувчи

трансформаторларни татбиқ этиш тиристорнинг ишончли (надежность) ишлашини оширади. ВҚТ ли тиристор қайта улаш қурилмалари (ТҚУҚ) корхоналарнинг электр таъминоти кучланиши $(6\div 10)/0,4$ кВ бўлган трансформаторларида эффектив қўлланилмоқда.

Ҳозирги замон ВҚТ ли ТҚУҚ ларда кучли трансформаторларнинг бирламчи чулғами кучланишининг вектори билан ТҚУҚ иккиламчи чулғами кучланишининг вектори геометрик қўшиш ёки айириш принципи қўлланилади (8.6-расм).



8.6-расм

қурилманинг таркибига кучли трансформатор 15, вольтқўшувчи трансформатор 18, ўн иккита комутацион тиристор КТ1 – КТ12 лар киради.

ВҚТ 18 нинг учбурчак уланган иккиламчи чулғами 16 кучли трансформатор 15 нинг юқори кучланишли уч фазали чулғами 13 нейтралига уланган.

ВҚТ нинг бирламчи 17 чулғами 19 контактор ва коммутатив тиристорлар (КТ) орқали кучли трансформаторнинг 15 чулғамига уланган, бунда ВҚТ нинг бирламчи чулғами 17 КТ1 - КТ6 ёрдамида икки усулда учбурчак уланиши мумкин: КТ1 - КТ3 ёрдамида «тўғри учбурчак» схемасида ва КТ4 – КТ6 ёрдамида «тескари учбурчак» схемасида. Бунда ВҚТ ли ТҚУҚ беш хил режимда ишлаши мумкин ва бу режимларнинг вектор диаграммалари жадвал 8.1 да келтирилган.

«қисқа туташув» режимида КТ1 – КТ6 лар уланади ва ВҚТ нинг бирламчи чулғами қисқа туташади. Натижада у ток трансформатори каби ишлайди ва юкланишдаги кучланишнинг қиймати кучли трансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти билан аниқланади.

«1-камайтириш» режимида КТ7 – КТ9 ва КТ4 – КТ6 тиристорлар уланиб, кучли трансформаторнинг бирламчи чулғам фаза кучланишлари вектор $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ лари тахминан ВҚТ иккиламчи чулғамлари кучланиши векторининг $\frac{1}{(2\sqrt{3})}$ қисмига камаяди. Бу камайиш эса кучланиш ростланишининг биринчи поғонасига мос келади.

«2-камайтириш» режимида КТ7 – КТ9 ва КТ1 – КТ3 тиристорлари уланиб, кучли трансформатор бирламчи чулғамлари фаза кучланишлари вектори ВҚТ нинг иккиламчи чулғами кучланишининг $1/\sqrt{3}$ қисмига камаяди ва «қисқа туташув» режимига нисбатан юкланиш кучланиши ростланишининг иккинчи поғонасига мос келади.

8.1-жадвал

№ К/К	ЮКР қурилмасининг стационар ишлаш режимлари	Мазкур режимда уланган тиристорлар номери	Кучланишлар вектор диаграммалари
1	2	3	4
	қисқа туташув	КТ1-КТ6 тиристорлари уланган	
2	"1-камайтириш"	КТ4-КТ9 тиристорлари уланган	
3	"2-камайтириш"	КТ1-КТ3 ва КТ7-КТ9 тиристорлари уланган	
4	"1-ошириш"	КТ4-КТ6 ва КТ10-КТ12 тиристорлари уланган	
5	"2-ошириш"	КТ4-КТ6 ва КТ10 - КТ12 тиристорлари уланган	

«1-ошириш» режими бўлиши учун КТ1-КТ3 ва КТ10-КТ12 тиристорлари уланиши керак. Бу ҳолда кучли трансформатор бирламчи чулғами фаза

TK1					
TK2					
TK3					
TK4					
TK5					
TK6					
TK7					
TK8					
TK9					
TK10					
TK11					
TK12					
	Қисқа туташув	1—оралиқ босқич	2—оралиқ босқич	3—оралиқ босқич	Қўшиқча 1 кириши

8.7—расм.

кучланишлари вектор $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ лари тахминан ВҚТ иккиламчи чулғамлари кучланиши векторларининг $\frac{1}{(2\sqrt{3})}$ қисмига ошади ва «қисқа туташув» режимидагидан бир поғона юқори ҳисобланади.

«2-ошириш» режимида КТ4-КТ6 ва КТ10-КТ12 тиристорлари улаиб кучли трансформатор бирламчи чулғами фаза кучланишларининг

векторлари ВҚТ иккиламчи чулғамлари кучланиши векторларининг $\frac{1}{\sqrt{3}}$) қисмига ошади ва юкдаги кучланиш икки поғонага ошади.

Келтирилган беш поғона кучланиш ростланишининг тавсифлари жадвал 8.1 да берилган.

Мазкур ростлаш тизимининг контакт қурилмалари, аввало КТ ларни ҳимоялаш вазифасини бажариб, КТ лар шикастланганда уларни юксизлантириш учун ҳам ишлатилади.

КТ лардан бири шикастланганда ҳосил бўлувчи катта токли ўта юкланишлар ток трансформатори 20 орқали ўлчанади (сезилади) ва бошқариш тизими ёрдамида контактор 19 узилиб, ВҚТнинг бирламчи чулғами узилади. Шу ондаёқ ВҚТ иккиламчи чулғамининг «қисқа туташув» режимининг ўрнини босувчи контакторлар 4К1, 2К1 ва 3К1 нинг уланиши содир бўлади, яъни кучли трансформаторнинг иккиламчи кучланиши қиймати унинг трансформациялаш коэффиценти билан аниқланади.

ВҚТ ли ТқУқ ларни бир режимдан иккинчи режимга ўтказиши шундай бажариладики, юкланиш токиннинг қиймати ва характерида қатъий назар, КТларнинг қатъий ва табиий беркилиши таъминланади.

Масалан, «қисқа туташув» режимининг кучланиш поғонасидан “1 орттириш” режимига ўтиш учун учта оралик босқичдан ўтиш керак (расм 8.7).

Биринчи оралик босқичи КТ2 ва КТ4 тиристорларидан бошқариш импульсини узиб, шу КТ лардаги токнинг нолдан ўтаётганда мазкур КТлардаги токнинг сўнишидан бошланади. Сўнгра КТ8 ва КТ10 ларга бошқариш импульси берилади. КТ8 ва КТ10 ларнинг очилиш онлари шундай танланадики, КТ2 ва КТ4 лардан бошқариш импульси узилгандан сўнг тармоқ кучланиши ярим даврига тенг бўлган вақт ўтсин.

Бунда кучланиш векторлари диаграмма ўзгармайди, ток векторлари диаграммаси эса шу тоқлар оқадиган контурларнинг ўзгаришига кўра ўзгаради.

Иккинчи оралик босқич КТ12 нинг уланиши ва КТ5 билан КТ8 нинг узилишидан сўнг пайдо бўлади. ВҚТ нинг бирламчи чулғами $a_1 - c_1$ га кучли трансформаторнинг паст кучланишли чулғамининг кучланиши берилади, v_1 фазаси эса юксиз ишлаш режимида бўлади.

Учинчи оралик босқичи КТ6 дан бошқариш импульси узилиши ва КТ11 нинг уланишидан бошланади. Бу ҳолатда ВҚТ нинг бир фазасига $\dot{U}_{a_1c_1}$ тўла кучланиш уланиб, иккинчи фазасига $\dot{U}_{b_1c_1}$ тўла кучланиши уланган бўлади, учинчи фазаси эса юксиз ишлаш режимида бўлади. Иккинчи ва учинчи оралик даврларда ВҚТ носимметрик кучланиш олишига қарамай, ВҚТ нинг чулғамларидан мувозанатловчи ток оқмайди. Бу эса ВҚТ чулғамлари ҳосил қилган контурларидаги кучланишнинг нолга тенглигидан далолат беради.

«1 ортиш» режими КТ2 нинг уланиши билан бошланади ва ВҚТ нинг носимметрик кучланиш билан таъминланиши нисбатан тезлик билан симметрик кучланиш билан алмашади.

Ҳар бир фанни даврнинг бошланиш они тиристорларни бошқариш схемасининг махсус алгоритми асосида бошқарилиб, ўткинчи тоқларнинг қийматини минималлаштириш мақсадида уларни қўшимча демиферлаш (камайтириш) реактор 22 лари билан таъминланади. Бундан ташқари, тиристорлар шикастланганда ёки бошқариш схемаси камчиликлари сабабли тиристорлардан оқадиган ўта тоқларни ҳам чеклашни ҳам реактор 21 бажаради.

Мазкур мисол контактли-механик ростлаш схемаларининг ўрнига келаётган тиристорли коммутациялаш схемаларининг юқори ривожланиш йўналишда эканлигидан далолат беради.

8.5. Уч фазали тармоқлар кучланишини автоматик стабиллаш ва симметриялашда қўлланилувчи контактсиз равон ростловчи қўшимча магнитланувчи трансформаторлар

Ҳозирги замон контактсиз равон ростловчи трансформаторларнинг чулғамларини қувватли ярим ўтказгичли асбоблар ёрдамида коммутациялаш схемаларининг ривожланиши билан бир қаторда, юқори ишончлилиги (надёжность), ишлаб чиқаришдаги паст таннархи ва камюмушлилиги билан ажралиб турувчи магнитланувчи трансформаторлар ҳам электроэнергетикада муҳим ўрин тотмоқда. Бироқ қўшимча магнитланувчи трансформаторларнинг кўп материал исрофлилиги ва энергетик кўрсаткичларининг салбийлиги, уларнинг янада қўлланилиши ва ривожланишига тўсқинлик қилмоқда.

Шу билан бирга, қўшимча магнитланувчи трансформаторларнинг кучланиш стабилизаторлари сифатида ишлатилишида ҳозирги пайтгача улар ўринбосарсиз эканлиги ҳам аниқдир. Қўшимча магнитланувчи трансформаторларнинг конструкциялари саноатда кенг қўлланилмоқда:

- 1) магнитли коммутацияловчи трансформаторлар (МКТ) ва автотрансформаторлар (МКАТ);
- 2) кучланишни қайта тақсимлаб ростловчи трансформаторлар (КҚРТ) ва автотрансформаторлар (КҚРАТ).

I. Магнитли коммутацияловчи трансформаторлар ва автотрансформаторлар

Магнитли коммутацияловчи трансформаторлар (МКТ) нинг ҳозирги замон тузилишлари ва ишлаш принципи ораларидаги масофа бирмунча узайтирилган бирламчи ва иккиламчи чулғамларни кесиб ўтувчи магнит

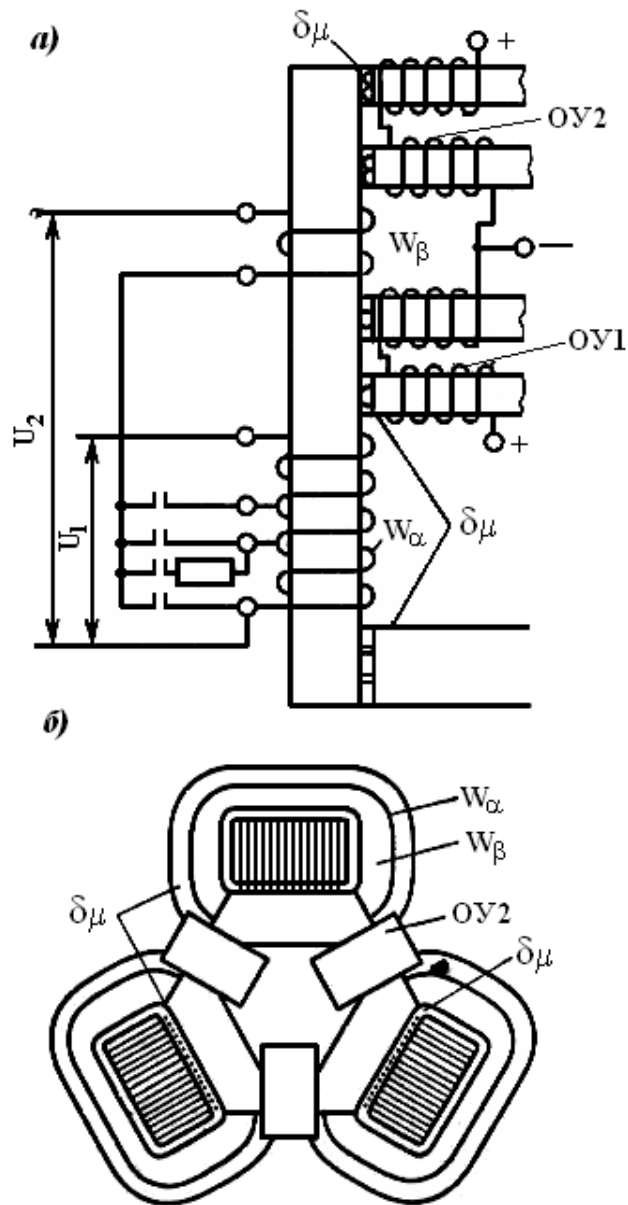
оқимнинг ўзгартирилишига асосланган. қўшимча магнитловчи чулғамлар магнит ўзакнинг махсус қисмида бошқарувчи тўсинларда жойлаштирилади. Ўзакнинг бир қисми, аслида, магнит шунт вазифасини бажариб, қўшимча магнитланиш даражаси (қўшимча ўзгармас магнит оқимининг қиймати) ва юкланиш токининг қийматларига кўра асосий магнит майдонини шунтлаш коэффициентини ўзгартиради ва натижада, бирламчи ва иккиламчи чулғамлар орасидаги магнит боғланишни камайтириб ёки кучайтириб туради. Бундай трансформаторларнинг иккиламчи чулғамлари катта қиймати қўшимча тарқоқ индуктивликка эга бўлиб, МКТ ни лойиҳалаш жараёнидан камайтирилиши кўзда тутилади.

МКТ турдаги трансформаторларнинг асосий тузилиши расм 8.8 да кўрсатилган. Жуфт гармоникаларнинг ночизиқли таъсирларини камайтириш мақсадида бошқарувчи тўсинлар икки қисмга ажратилган ҳолда ва уларнинг қўшимча магнитлаш чулғамлари улардаги индуктивланаётган асосий (частотали) давр тезликли э.ю.к. ларга нисбатан қарама-қарши уланадилар.

Ўзгарувчан ток чулғамлари «юлдуз» усулда уланадилар. Бу ҳолда симметрик юкланишларда ростлагичнинг учларидаги линия кучланишлари таркибидаги учинчи гармоникалар деярли йўқ бўлиб, юқори гармониклар мавжудлиги коэффициенти 3-5 % гача камаяди.

МКТ ларнинг рагон ростлаш диапазонини кенгайтиришнинг эффектив усулларида бири уларнинг қўшимча тарқоқ индуктивлигини сиғимли компенсациялашдир. Бунинг учун МКТнинг чулғамларига параллел ёки кетма-кет конденсаторлар уланади. Бундай МКТ ларда рагон ростлаш диапазонининг кенгайиши билан бирга, трансформаторнинг қувват коэффициенти ҳам ошади.

Бундай турдаги трансформаторлар ва айниқса, автотрансформаторлар ҳар бир ростлаш даражасида уни стабилизациялаш лозим бўлган кўпгина электротехнологик жараёнларда ишлатиладилар. Бундай ҳолларда, трансформаторнинг кучланиши кенг диапазонда қўлда ёки автоматик равишда ростланишидан сўнг, кераклича аниқлик билан кучланишнинг стабилизацияси бажарилади.



8.8-расм.

Кўпинча кучланишнинг равои ростланиши, чулғамларнинг поғонали қайта уланиши (расм 8.8) билан бирга олиб борилади ва иккиламчи кучланишнинг нолга яқин қийматидан бошлаб равои ростлаш имконини беради. Бундай трансформаторлар 25-250 кВА қувватлар оралиғида кўпроқ қўлланилади. МТА автотрансформаторлари эса уларнинг массаси билан савлати нисбатан катталиги ва қувват коэффиценти билан ФИК нинг нисбатан кичиклигига қарамай, стабиллашнинг кучланишнинг қиймати кенг диапазонда ўзгарувчи стабилизатор сифатида рақобатсиздир.

II. Кучланишни қайта тақсимлаб ростловчи трансформаторлар (КҚТР) ва автотрансформаторлар (КҚРА). Иккиламчи кучланиш стабилизацияланган Ққийматининг ўзгариши шарт бўлмаса, чулғами автотрансформатор схемасида уланган ва тузилиши расм 8.9. да

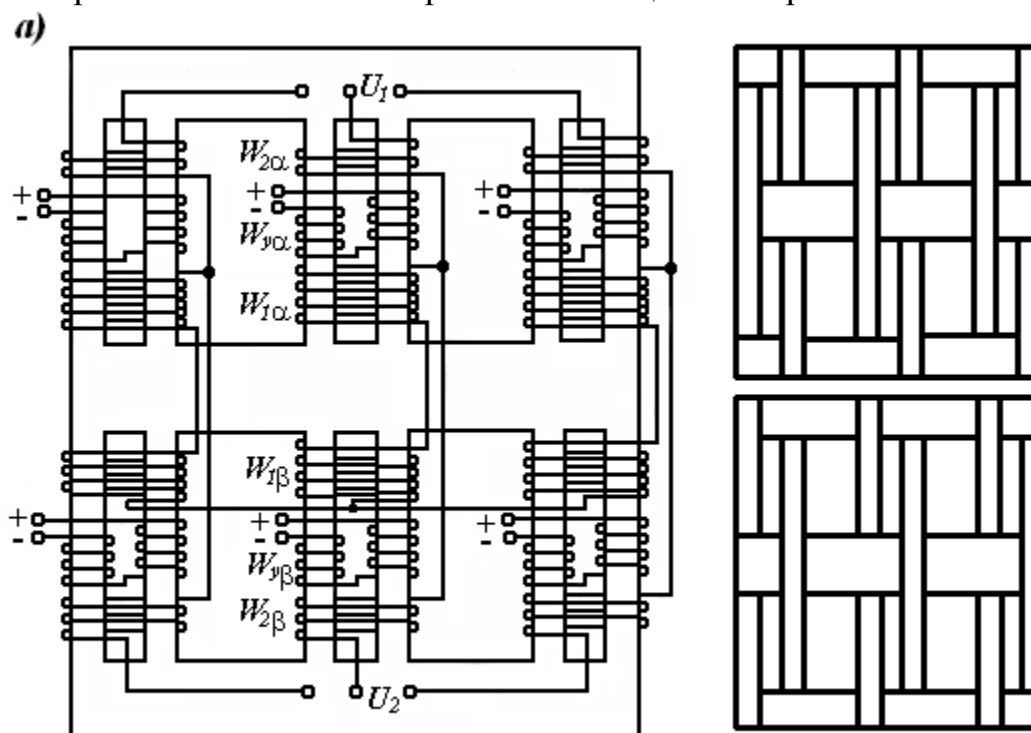
кўрсатилган кучланишни қайта тақсимлаш равон ростловчи трансформаторлар (КҚРТ) кенг қўлланилади.

КҚРТ ларнинг ҳар бирида икки гуруҳдан бирламчи ва иккиламчи чулғамлари мавжуд бўлиб, магнит ўтказгичларининг иккита ярим ўзакларида қўшимча магнитловчи чулғамлар жойлаштирилади ва улар асосий э.ю.к. ларга қарама-қарши уланади.

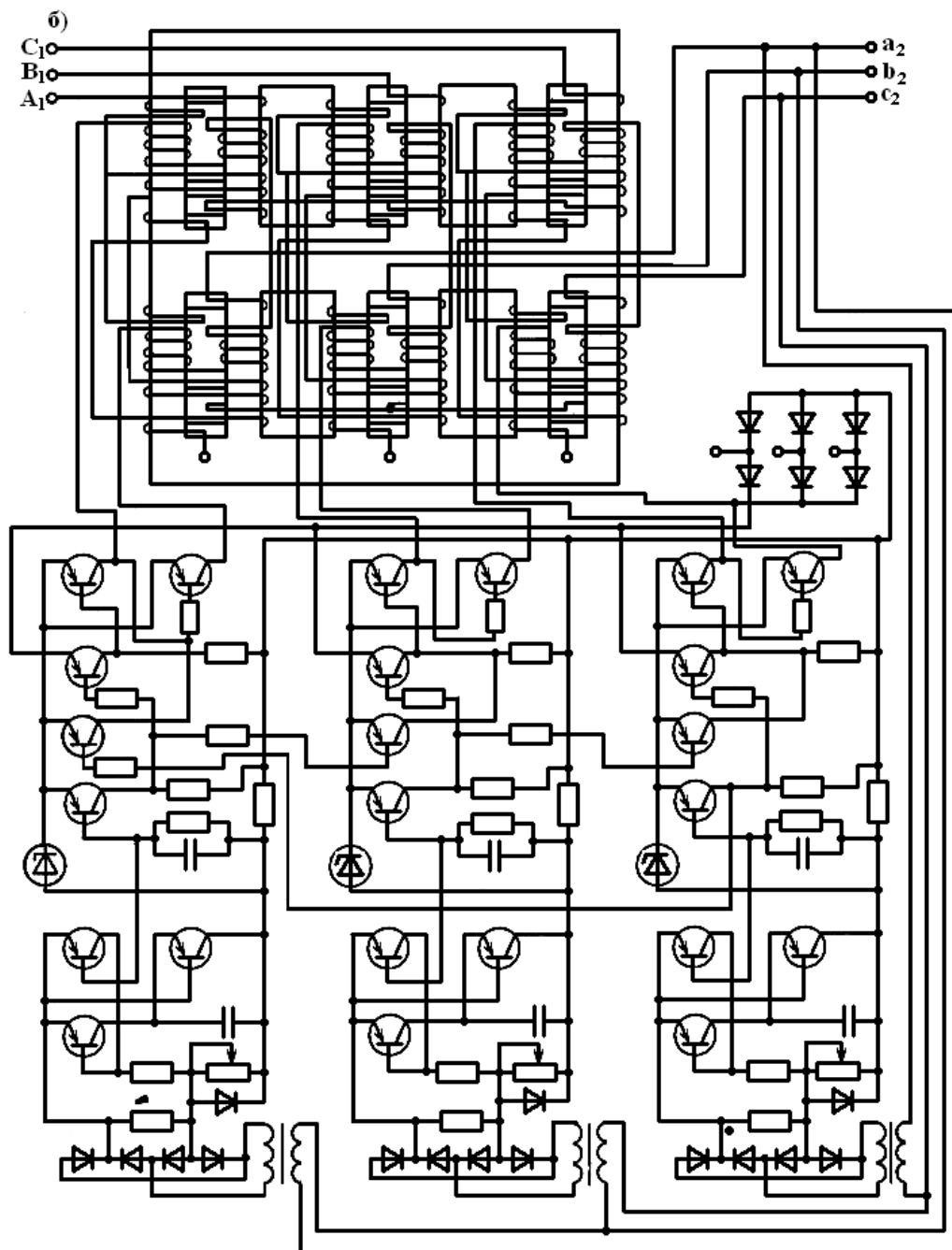
КҚРТ ларнинг ишлаш принципини тушуниш магнитловчи тавсифнинг тўғри бурчакли аппроксимацияси (расм 8.10,а даги а чизиғи) ёрдамида амалга ошириш қулайдир. Бундай тавсиф ҳозирги замон КҚРТ лари совуқ жўваланган пўлатларининг қайта магнитланиш жараёнини аниқ кўрсатади.

КҚРТ ишлашининг асосий хусусияти шундаки, трансформаторнинг α ва β ярим ўзакларидаги чулғамлар галма-гал олиниб, кучланишни K_α ва K_β трансформациялаш коэффициентлари галма-гал ўзгариши натижасида ростлайди (расм 8.10,б).

Кучланишнинг бир вақтнинг ўзида α ва β ярим ўзаклар чулғамлари ёрдамида трансформацияланиш эҳтимоли чекланган, чунки α ва β чулғамлари магнитловчи тоқларининг оний қийматлари



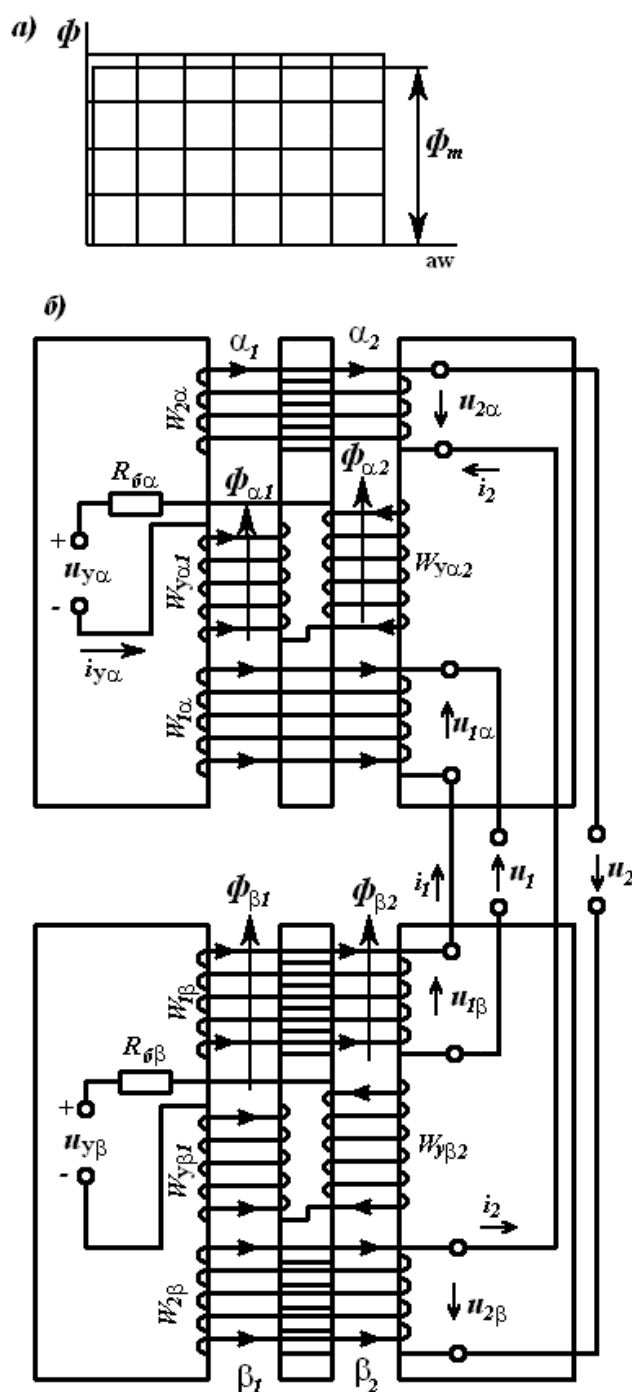
8.9-расм.



$$i_{0\alpha} = i_1 + i_2 \cdot k_{\alpha}; \quad i_{0\beta} = i_1 + i_2 \cdot k_{\beta},$$

ҳар хил, чунки $k_{\alpha} = w_{2\alpha}/w_{1\alpha}$ ва $k_{\beta} = w_{2\beta}/w_{1\beta}$ тенг эмас.

Бирорта ярим ўзакнинг тўйинмаган ҳолати учун $i_1 w_1 + i_2 w_2 = 0$ ва $I_2 \neq 0$ бўлса, иккинчи ярим ўзак албатта тўйинган бўлади ва унга $i_1 w_1 + i_2 w_2 \neq 0$ тенгсизлик мос келади. Тўйинган ярим ўзакнинг магнит сингдирувчанлиги жуда кам бўлганлиги сабабли унинг чулғамларидаги кучланиш нолга яқин бўлади, кучланишнинг трансформацияланиши тўйинмаган ярим ўзақлар чулғамлари орқали амалга оширилади. Ярим ўзақларнинг галма-гал тўйиниш жараёни даврий равишда ўзгариб туради.



Умумий ҳолда, кучланишнинг ярим даврида трансформациялашнинг икки даври (яъни ҳар бир даврда α ва β чулғамлари орқали галма-гал трансформацияланади) мос келади.

Магнитловчи тавсифнинг тўғри бурчакли аппроксимациясига трансформаторнинг k_α трансформациялаш коэффициентида k_β га ўтиши бир онда содир бўлиши мос келади. Аслида эса, магнитловчи тавсифнинг ҳақиқий кўриниши тўғри бурчакли аппроксимациядан фракланганлиги (расм 8.10, а даги б чизиғи) сабабли k_α дан k_β га ўтиши кучланиш ярим даврининг $0,05 \div 0,01$ қисмини ташкил этади.

А. Трансформациялашнинг α даври. Трансформациялашнинг α даврида иккала α_1 ва α_2 ярим ўзаклар тўйинмаган (расм 8.10,б), β ярим ўзакнинг иккитадан ҳеч бўлмаганда бири тўйингандир.

Ярим ўзак β_2 тўйинган бўлса, бошқарув чулғами w_{b,β_2} да индуктивланаётган э.ю.к. нолга тенг бўлади, w_{b,β_1} даги э.ю.к. актив қаршилиги $R_{\delta,\beta}$ нисбатан кичик бўлган β бошқарув занжирида таъсир этади. Шу сабабли, w_{b,β_1} бошқарув чулғами β ярим ўзакнинг бирламчи чулғамига нисбатан қисқа туташувга яқин бўлади. Натижада α ўзакнинг бирламчи чулғами кучланиши $u_{1\alpha}$ нинг қиймати $u_{1\beta}$ га нисбатан ҳисобга олинмас даражада кичик бўлади.

Агар ўзгарувчан ток чулғамининг актив ва тарқоқ индуктив қаршиликларини ҳисобга олмасак, у ҳолда α даври қуйидаги тенгламалар билан таърифланади:

$$\left. \begin{aligned} u_{1\alpha} &= u_1, \quad u_2 = u_{2\alpha} = -u_1 k_\alpha, \\ i_2 &= \frac{u_2}{R_H} = -\frac{u_1 k_\alpha}{R_H}, \quad i_{0\alpha} = i_1 + i_2 \cdot k_\alpha = 0, \\ i_1 &= -i_2 k_\alpha = \frac{u_1 \cdot k_\alpha^2}{R_H}, \\ i_{0\beta} &= i_1 + i_2 k_\beta = \frac{u_1 \cdot k_\alpha}{R_H} (k_\alpha - k_\beta), \\ i_{\delta,\alpha} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

Ўзак α нинг бошқарув чулғамидаги ток нолга тенг, чунки иккала α_1 ва α_2 ярим ўзаклар тўйинмаган ва бошқарув чулғамидаги $u_{b,\alpha}$ кучланиши w_{b,α_1} ва w_{b,α_2} чулғамларида индуктивланган ва қуйидаги тенгламалар билан ифодаланган э.ю.к.лар айирмалари билан тенглашади:

$$u_{\delta,\alpha} = w_{\delta\alpha} \left(\frac{d\Phi_{\alpha_1}}{dt} - \frac{d\Phi_{\alpha_2}}{dt} \right), \quad (8.2)$$

Ўзак β учун магнитловчи тоқлар тенгламаси қуйидагича кўринишда ёзилади:

$$i_{\alpha\beta} = \frac{u_1 k_\alpha}{R_H} (k_\alpha - k_\beta), \quad (8.3)$$

ва ўз навбатида, шуни кўрсатадики, трансформациялашнинг α даврида тармоқ кучланишининг мусбат ярим даврида бу ўзакнинг ўзгарувчан тоқли чулғамларининг м.ю.к. лари манфий қийматга эга, шу билан бирга, β_2 ярим ўзакдаги магнитловчи чулғам м.ю.к. и билан қўшилади. Шунинг учун β_2 ярим ўзак тўйинган ва ундаги магнит оқим тўйиниш оқими Φ_T нинг манфий қийматига тенг.

Тўйинмаган β_1 ярим ўзагида, уч фазали трансформаторлардаги каби, м.ю.к. лар йиғиндиси нолга тенг бўлади:

$$i_1 w_{1\beta} + i_2 w_{2\beta} + i_{\delta,\beta} \cdot w_{\delta,\beta} = 0, \quad (8.4)$$

ва магнитловчи чулғамга трансформацияланувчи токнинг қий

$$i_{\delta,\beta} = \frac{u_1 \cdot k_\alpha (k_\beta - k_\alpha)}{R_H}. \quad (8.5)$$

Бунда β бошқарув чулғамининг занжири учун қуйидаги тенгламалар қониқарли ҳисобланади:

$$\begin{aligned} u_{\delta,\beta} &= i_{\delta,\beta} \cdot R_{\delta,\beta} + w_{\delta,\beta 1} \frac{d\Phi_{\beta 1}}{dt} - w_{\delta,\beta 2} \frac{d\Phi_{\beta 2}}{dt} = \\ &= \frac{u_1 k_\alpha}{R_H} (k_\beta - k_\alpha) + w_{\delta,\beta} \frac{d\Phi_{\beta 1}}{dt}, \end{aligned} \quad (8.6)$$

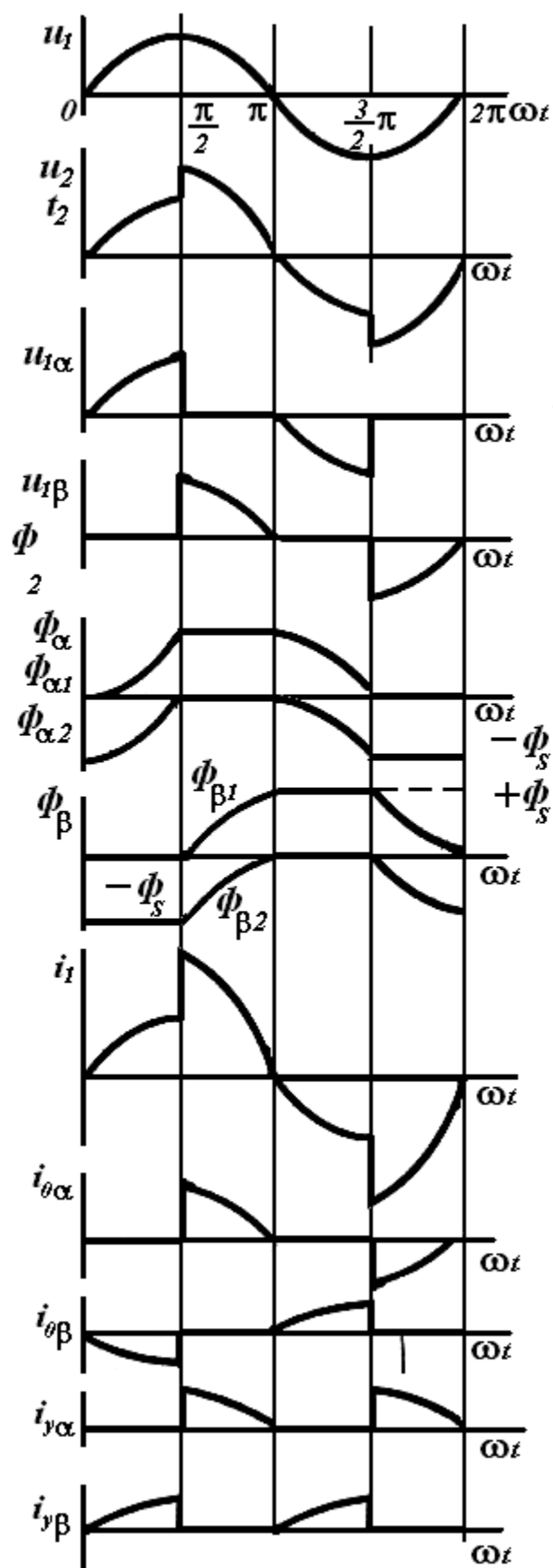
Кучланишнинг манфий ярим даврида шу жараёнлар қайтарилади ва юқорида кўрилгандан фарқи шундаки, β_1 ярим ўзак тўйинади, чунки ундаги ўзгарувчан ток чулғамларининг м.ю.к. лари энди магнитловчи чулғам м.ю.к. лари билан мос бўлади.

Б. Трансформациялаш даври α дан трансформациялаш даври β га ўтиш жараёни.

Трансформациялаш даври α нинг бошланишида ва бирламчи кучланишнинг мусбат ярим даврида α_2 ярим ўзакдаги магнит оқим Φ_T тўйиниш оқимининг манфий қийматига тенг бўлади. Бу ҳол кучланишнинг мусбат ярим давридан келиб чиққан мажбурий вазиятдир. Ярим ўзак α_1 даги магнит оқим, α трансформациялаш даври бошида маълум $\Phi_{\alpha 11}$ қийматга эга бўлиб, трансформациялаш даври α нинг узунлигига боғлиқ. Давр α тугашида α_1 ярим ўзак тўйинади ва иккиламчи кучланиш ва токларнинг қийматлари сакраб ўзгаради, бунда

$$i_{o\beta} = i_1 + i_2 k_\beta = 0, \quad i_{\delta\beta} = 0, \quad i_{\delta\alpha} = i_2 (k_\beta - k_\alpha). \quad (8.7)$$

Бундай ўзгаришларнинг сабаби шундаки, α_1 ярим ўзак тўйиниши натижасида $w_{\delta,\alpha 1}$ бошқарув чулғами қисқа туташувга яқин бўлиб, бирламчи токнинг ошишига имконият туғилади.



8.11 – расм

Трансформациялаш даври α оралиғида бирламчи токнинг қиймати $|i_2 \cdot k_\alpha|$ дан ошолмайди, чунки унинг янада ошишига α ўзак бирламчи чулғамидаги э.ю.к. тўсқинлик қилган эди. Ҳозирги вазиятда эса, бирламчи токнинг қийматининг ошиши β ўзак бирламчи чулғамидаги э.ю.к. тўсқинлик қилмагунча давом этади, бунда

$$i_{0\beta} = i_1 + i_2 k_\beta = 0. \quad (8.8)$$

Трансформациялаш даври β учун ўзгарувчилар тенгламалари трансформациялаш даври α га ўхшаш бўлади ва қуйидагича ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} u_{1\beta} &= u_1, \quad u_2 = u_{2\beta} = -u_1 k_\beta, \\ i_2 &= \frac{u_2}{R_H} = -\frac{u_1 k_\beta}{R_H}, \quad i_{\delta\beta} = 0; \\ i_{0\beta} &= i_1 + i_2 \cdot k_\beta = 0, \quad i_1 = \frac{u_1 \cdot k_\beta^2}{R_H}, \\ i_{0\alpha} &= \frac{u_1 \cdot k_\beta}{R_H} (k_\beta - k_\alpha), \\ u_{\delta\beta} &= w_{\delta\beta} \left(\frac{d\Phi_{\beta 1}}{dt} - \frac{d\Phi_{\beta 2}}{dt} \right); \quad u_{1\beta} = w_{1\beta} \left(\frac{d\Phi_{\beta 1}}{dt} + \frac{d\Phi_{\beta 2}}{dt} \right); \\ i_{\delta\alpha} &= \frac{u_1 \cdot k_\beta}{R_H} (k_\beta - k_\alpha) R_{\delta\alpha} + W_{\delta\alpha 2} \frac{d\Phi_{\alpha 2}}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (8.9)$$

Ўзак β даги магнит мувозанатининг бирламчи токнинг мумкин қадар катта қийматларида бажарилиши, трансформациялаш даврлари α ва β ларнинг алмашинувиға олиб келади, бунда α даври β давридан олдин келади. Бирламчи токнинг ошиб бориши жараёнида магнит мувозанатнинг бажарилиш шарти $i_1 w_1 + i_2 w_2 = 0$ ўзак α учун бажарилиб, сўнгра α_1 ярим ўзак тўйиниши натижасида α ўзакнинг имкониятлари тугагандан сўнг, тоқларнинг сакраб ўзгариши натижасида магнит мувозанатлиги шарти β ўзак учун бажарилади. Шу тариқа α ва β ярим чулғамлар даврий (галмагал) қайта улашда бўладилар.

В. Бошқариш кучланишининг трансформациялаш α ва β даврларига таъсири. трансформациялаш α ва β даврлари тенгламаларини интеграллаш натижасида қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$w_1 f_1 \Delta\Phi_{\alpha 1} = -\rho_\beta \frac{u_{1ypma}}{R_H} k_\beta (k_\beta - k_\alpha) R_{\delta\alpha} + u_{\delta\alpha}; \quad (8.10)$$

$$w_1 f_1 \Delta\Phi_{\beta 1} = -\rho_\alpha \frac{u_{1ypma}}{R_H} k_\alpha (k_\beta - k_\alpha) R_{\delta\beta} + u_{\delta\beta};$$

бунда $\Delta\Phi_{\alpha 11}$ ва $\Delta\Phi_{\beta 11}$ - бошқариш чулғамларининг трансформациялаш ярим давридаги магнит илашув ўзгариши,

$$\rho_{\alpha} = \frac{\int_0^{T/2} u_{1\alpha} dt}{\int_0^{T/2} u_1 dt}; \quad \rho_{\beta} = \frac{\int_0^{T/2} u_{1\beta} dt}{\int_0^{T/2} u_1 dt}.$$

Юқоридаги (8.10) тенгламалар бошқариш кучланишининг α ва β ўзаклари $\Phi_{\alpha 11}$ ва $\Phi_{\beta 11}$ магнит оқимлари бошланғич қийматларига таъсирини аниқ кўрсатади ва ихтиёрий нобарқарор режимдан барқарорлашган режимга ўтишни аниқлайди.

Барқарорлашган режимда трансформациялаш даврлари α ва β нинг ρ_{α} ва ρ_{β} қийматлар билан аниқланувчи давомийлиги (узунлиги) шундайки, бошқарув чулғамларининг актив қаршиликлари $R_{\delta,\alpha}$ ва $R_{\delta,\beta}$ қийматлари бошқариш кучланишларининг ўртача қийматларига мос келади:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\alpha} &= \frac{u_{\delta\beta} \cdot R_H}{u_{1ypma} \cdot k_{\alpha} (k_{\beta} - k_{\alpha}) R_{\delta,\beta}}, \\ \rho_{\beta} &= \frac{u_{\delta\alpha} \cdot R_H}{u_{1ypma} \cdot k_{\beta} (k_{\beta} - k_{\alpha}) R_{\delta,\alpha}}, \end{aligned} \right\} \quad (8.11)$$

ва ярим даври вақт орасида магнит илашув ўзгариши бўлмайди.

Нобарқарор режимларнинг (Φ_T - $\Phi_{\alpha 11}$) ва (Φ_T - $\Phi_{\beta 11}$) лар билан ифодаланувчи α ва β трансформациялаш даврларида бошқариш кучланишлари актив қаршиликлар кучланишлар пасаювларида тўла тўқис мувозанатлашмайди. Натижада ҳар бир ярим даврдан кейинги ярим даврга $\Phi_{\alpha 11}$ ва $\Phi_{\beta 11}$ оқимлар бошланғич қийматларининг секин аста ўзгариб боришини кўриш мумкин. Бу ўзгариш (8.11) тенгликлар бажарилгунга қадар давом этади. КҚРТ ларнинг бундай ўткинчи жараёни учун вақт доимийси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$T_{\delta} = \frac{R_H}{4 f_1 R_{\delta\alpha\beta} (k_p^2 - k_{\alpha})}.$$

Юқоридаги тенгликлар (8.1), (8.9) ва (8.11) ларни ҳисобга олган ҳолда КҚРТ нинг қайта уланишлар ўткинчи жараёнидаги интеграллашган трансформация коэффиценти қуйидаги кўринишда бўлади:

$$k_{21} = k_{\alpha} \cdot \rho_{\alpha} + k_{\beta} \cdot \rho_{\beta},$$

бунда бошқариш кучланишлари $u_{\delta,\alpha}$ ва $u_{\delta,\beta}$ нинг ўзгаришида $\rho_{\alpha} + \rho_{\beta} = 1$ тенглик сақланади.

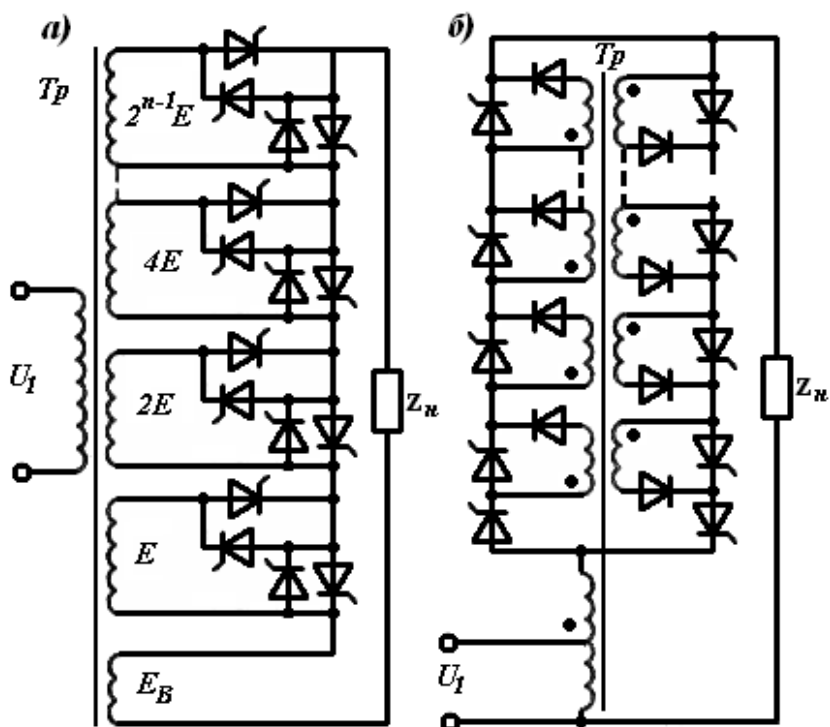
Трансформатор кучланишини ростлаш жараёнида бошқариш кучланиши $u_{\delta,\alpha}$ нинг ошиши, ρ_{β} нинг қиймати билан боғлиқ бўлган трансформациялаш даври β нинг ошишига олиб келади. Шу вақтнинг

ўзида $u_{\delta,\alpha}$ га мос равишда, ρ_β ва $u_{\delta,\beta}$ нинг камайишлари тўғри келади ва натижада умумий трансформациялаш коэффиценти k_{21} нинг қиймати ошади, чунки $k_\beta > k_\alpha$ экани илгаридан маълум.

Бошқариш кучланишларининг тескари томонга ўзгариши k_{21} нинг камайишига олиб келади. Шундай қилиб, трансформатор иккиламчи кучланишининг қийматини $u_1 \cdot k_\alpha < u_2 < u_1 \cdot k_\beta$ диапазонда ростлаш имконияти туғилади.

КҚРА асосидаги кучланишнинг автотрансформаторли стабилизаторлари МДХ электротехника корхоналарида кўплаб ишлаб чиқарилмоқда ва кўпчилик теле- ва радиомарказларда, қувватли ЭХМ нинг электр таъминланишида қўлланилмоқда. Бундай трансформаторлар «уч фазага курак стабилизатор» (УКС) деб номланиб, унинг электр схемаси расм 8.12,б да келтирилган.

КҚРА нинг иккиламчи чулғамини стабилизациялаш, яъни кучланиш пасажуви ΔU_2 ни компенсациялаш трансформациялаш коэффиценти k_{21} ни ўзгартириш натижасида амалга оширилади.



8.12-расм

Иккиламчи чулғам кучланишининг номиналдан оғишини автоматик бошқариш тизимининг ўлчагич бўғини ёрдамида аниқланади ва бу қиймат кучайтиргичларда ўзгартирилиб, трансформатор магнитловчи токининг ростланишига таъсир кўрсатади.

Трансформациялаш коэффициентининг ҳар бир фазада алоҳида ростланиши сабабли юкланиш носимметрик даражасининг қийматидан қатъий назар, трансформатор-нинг линия кучланишлари стабилизацияланадилар.

Уч фазали тармоқлар кучланишларининг носимметриклиги 10-15 % гача ўзгарганда ҳам, стабилизаторнинг бирламчи кучланиш носимметриясини текислаш қобилияти, уларнинг нодир имкониятларига киради. Стабилизаторларнинг линия кучланишларини симметриялаш хусусиятига мазкур носимметрик линия кучланишининг трансформациялаш коэффициентларига ўлчагич бўғинларининг бир вақтнинг ўзидаги таъсири натижасида эришилади.

Мазкур турдаги стабилизаторларнинг УҚС-2М (СТС-2М) охириги модификациясининг асосий хусусиятлари жадвал 8.1 да келтирилган.

Жадвал 8.1

УҚС-2М* (СТС-2М) стабилизаторларининг асосий хусусиятлари

Турлари	Бирламчи номинал кучланиш, В	Иккиламчи номинал кучланиш, В	Кучланишнинг ўзгариш чегараси, %	Номинал қувват, кВА	Бирламчи куч- ланиш 0,05 дан 1,1 и _н гача сак- раб ўзгаргандаги иккиламчи кучланишнинг тикланиш вақти,	Ф.И.К., %	Қувват коэффи- циенти	Масса, кг
СТС-2М- 10/0,5	220	220	10	0	0,2	5,5	0,93	125
	380	380	10					
СТС-2М- 16/0,5	220	220	10	6	0,3	96,5	0,93	165
	380	380						
СТС-2М- 25/0,5	220	220	10	25	0,35	6,5	0,93	235
	380	380						
СТС-2М- 40/0,5	220	220	-15	0	0,4	97,0	0,93	283
	380	380						
СТС-2М- 63/0,5	220	220	-15	63	0,4	7,5	0,93	425
	380	380						
СТС-2М- 100/0,5	220	220	-15	100	0,4	98,0	0,93	525

ТЎҲҚЗИНЧИ БОБ ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАРИ

Трансформатор ишлашини аниқловчи қийматлар (кучланиш, давр тезлик, юкланиш ва ҳ.к.) дан бири ёки бир нечтасининг ҳар қандай ўзгариши натижасида трансформаторнинг бир ўрналган (барқарорлашган) ҳолатидан иккинчи ўрнатилган ҳолатига ўтиш жараёни жуда қисқа вақт давом этишига карамай, трансформатор учун анчагина муҳим ва хавфли эффектлар – чулғамлараро ёки чулғамнинг баъзи қисмлари ўртасида ўта катта механик кучлар содир бўлиши чулғамларнинг алоҳида қисмлари орасида, баъзан эса, алоҳида ўрамлар орасида кучланишнинг нотекис тақсимланиши, чулғамларнинг кескин қизиб кетиши эҳтимоли мавжуддир. Бу эффектлар, айниқса ҳозирги замон қувватли юқори кучланишли кучли трансформаторларда яққолроқ содир бўлади. Шу сабабли, ҳозирги замон трансформаторсозлиги ва трансформаторларнинг механик, электрик ва термик чидамлилигини оширишда кўпгина тадбирлар ишлаб чиқарилган.

Икки омил (фактор) дан қайси бири (кучланиш ёки ток) ўткинчи жараён чекишини аниқлашига қараб, ўткинчи жараён икки асосий гуруҳга бўлинади: а) ўта тоқлар ҳодисаси; б) ўта кучланишлар ҳодисаси. Бу ҳодисаларни ўрганиш муҳим эксплуатацион аҳамиятга эга.

9.1. Ўта тоқлар

Ўта тоқлар қуйидаги ҳолларда яққол кўринишда намоён бўлади:

а) трансформаторни юкланишсиз ҳолатда тармоққа улаш; б) қисқа туташувда.

А. Уланиш токи. Трансформаторнинг иккиламчи чулғами узилган деб ҳисоблаймиз. Маълумки, кучли трансформаторнинг ўрналган (барқарорлашган) режимида юксиз ишлаш токи номинал тоқнинг 10% дан ошмайди. Аммо, трансформаторни номинал кучланишли тармоққа уланганда, номинал тоқдан бир неча марта каттароқ бўлган тоқнинг сакрашлари бўлади. Тоқнинг бундай сакрашлари қуйидаги физик жараёнлар асосида содир бўлади. Трансформаторнинг юкланишсиз ишлашининг барқарорлашган режимида бирламчи кучланишнинг берилган қиймати $u_1=ab$ (расм 9.1) га барқарорлашган магнит оқимнинг $\Phi_{бар} = as$ қиймати мос келади. Лекин, агар қолдиқ магнит оқимининг қийматини ҳисобга олмасак, трансформаторни тармоққа улаш ондаги i_0 токи ва у ҳосил қилган Φ_0 магнит оқими нолга тенг бўлиши керак. Шунинг учун, трансформатор тармоққа уланганда унда эркин Φ_s магнит оқимининг шундай қиймати ҳосил бўладики, у қуйидаги тенгликни қониқтирсин:

$$\Phi_{бар} + \Phi_s = 0.$$

Агар бирламчи чулғам занжирининг актив қаршилиги нолга тенг бўлса ($r_1 = 0$), у ҳолда Φ_3 оқимиға мос келувчи электромагнит энергияси сўнмас эди ва Φ_3 оқимининг қиймати ва ишораси узоқ вақт ўзгармас бўлар эди (расм 9.1 даги пунктир чизик) ва Φ_3 оқими даврий ўзгарувчи $\Phi_{бар}$ оқимға қўшилиб умумий магнит оқимини ҳосил қилади. Бунда $\Phi_{бар}$ ва Φ_3 нинг ишоралари мос келган вақт оралиқларида, яъни улар йўналишлари бир хил бўлганда, улар арифметик қўшилиб, барқарорлашган юксиз ишлаш режимдагига нисбатан магнит ўзак кучлироқ тўйинган бўлиб, бу йиғинди магнит оқимиға мос келган трансформатор магнитланиш эгри чизиги орқали аниқланадиган юксиз ишлаш токининг қиймати ҳам катта бўлади.

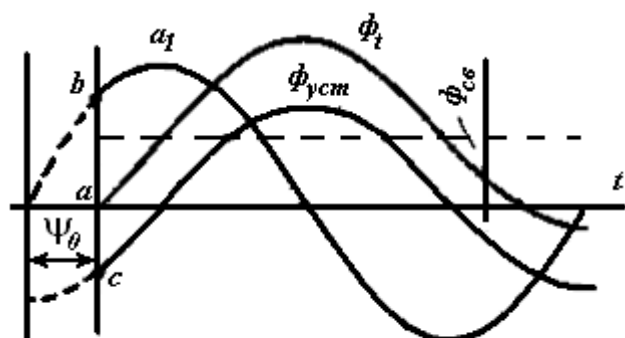
Аслида эса, $r_1 \neq 0$, шунинг учун Φ_3 секин аста сўна бошлайди.

Келтирилган (бирламчи кучланиш) синусоидал ўзгаради ва трансформаторнинг ишлаш режимига боғлиқ эмас. Бу ҳолда, трансформатор тармоққа уланаётгандаги э.ю.к. тенгламаси қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \Psi_0) = i_0 \cdot r_1 + w_1 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (9.1)$$

Бунда Ψ_0 – уланиш фазаси, яъни трансформатор тармоққа уланаётган

ондаги u_1 кучланишнинг қийматини аниқловчи фаза бурчаги (расм 9.1)



9.1-расм.

Магнит оқимининг токиға боғлиқлиги $\Phi = f(i_0)$, трансформатор магнитланиш тавсифига кўра мураккаб функция бўлганлиги учун, (9.1) тенгламанинг аниқ ечими фақат ЭХМ ёрдамида топилиши

мумкин. Ўткинчи жараённинг физик талқинини яратишда (9.1) нинг ечимини аниқлаш учун эса $\Phi = f(i_0)$ ни чизиқли боғланишда деган соддалаштирувчи фараз қабул қиламиз, яъни $\Phi \cdot w_1 = L_1 \cdot i_0$, бунда L_1 – бирламчи чулғам билан илашаётган ҳамма магнит оқимға тааллуқли бўлган индуктивлик. Бу ҳолда (9.1) тенглама қуйидаги шаклга келади:

$$U_{1m} \cdot \sin(\omega t + \Psi_0) = \frac{\Phi \cdot w_1}{L_1} \cdot r_1 + w_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

ёки

$$\frac{\Phi}{L_1} \cdot r_1 + \frac{d\Phi}{dt} = \frac{U_{1m}}{w_1} \sin(\omega t + \Psi_0) \quad (9.2)$$

Бу тенгламани ечиш учун Φ оқими икки магнит оқимлари (барқарорлашган режимга мос келган $\Phi_{\text{бар}}$ ва ўткинчи жараёнга мос келган $\Phi_{\text{э}}$) нинг йиғиндисидан иборат деб ҳисоблаймиз. Демак

$$\Phi = \Phi_{\text{бар}} + \Phi_{\text{э}} \quad (9.3)$$

Барқарорлашган магнит оқими $\Phi_{\text{бар}}$ бирламчи чулғам кучланиши u_1 дан вақт бўйича 90° га кечикади. Шунинг учун

$$\Phi_{\text{бар}} = \Phi_m \cdot \sin\left(\omega t + \Psi_0 - \frac{\pi}{2}\right) = -\Phi_m \cdot \cos(\omega t + \Psi_0), \quad (9.4)$$

бунда Φ_m – барқарорлашган режимдаги магнит оқими амплитуда қиймати.

Эркин магнит оқими $\Phi_{\text{э}}$ нинг қийматини аниқлаш учун (9.2) тенгламанинг ўнг томонини нолга тенглаштирамиз ва бундан ҳосил бўлган тенгламани ёзиб, қуйидагини аниқлаймиз:

$$\Phi_{\text{э}} = C \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t} \quad (9.5)$$

бунда C - ўткинчи жараённинг бошланғич шартлари асосида аниқланувчи интеграллаш доимийси. Трансформаторни тармоққа улаш онда ($t=0$), магнит ўтказгичда фақат қолдиқ оқими Φ_k мавжуддир. Бу ҳолда (9.3) тенгламаси қуйидаги ҳолда ёзилади:

$$\Phi = \pm \Phi_k = -\Phi_m \cdot \cos \Psi_0 + C,$$

бундан

$$C = \Phi_m \cdot \cos \Psi_0 + \Phi_k.$$

Интеграллаш доимийси C нинг бу қийматини (9.5) тенгламага қўйсак, қуйидагини ҳосил қиламиз

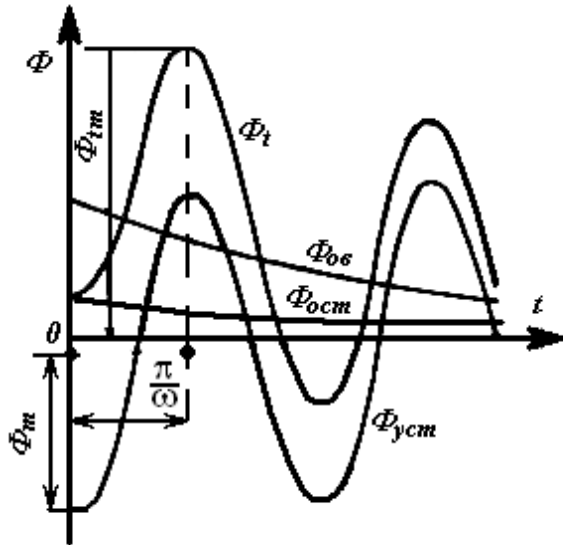
$$\Phi_{\text{э}} = \Phi_m \cdot \cos \Psi_0 \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t} \pm \Phi_k \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t}. \quad (9.6)$$

У ҳолда

$$\Phi = \Phi_{\text{бар}} + \Phi_{\text{э}} = -\Phi_m \left[\cos(\omega t + \Psi_0) - \cos \Psi_0 \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t} \right] \pm \Phi_k \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t}. \quad (9.7)$$

Бундан кўринадики, трансформаторнинг тармоққа уланишидаги энг қулай вазият $\Psi_0 = \frac{\pi}{2}$ ва $\Phi_k = 0$ бўлганда вужудга келади, чунки

$$\Phi_{\text{бар}} = -\Phi_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \Phi_m \cdot \sin\omega t, \quad \Phi_{\text{с}} = 0,$$



9.2-расм.



9.3-расм.

яъни трансформатордаги магнит оқими бир ондаёқ барқарорлашган қийматга етади.

Трансформаторни тармоққа улашдаги энг ноқулай вазият $\psi_0 = 0$ да, яъни кучланиш нолдан ўтаётганда (кучланишнинг оний қиймати нолга тенг бўлганда, $u_1 \approx 0$) ва оқим $\Phi_{\text{с}}$ нинг ишораси $\Phi_{\text{к}}$ нинг ишорасига қарама-қарши бўлганда кўрилади (9.2-расм). Бу ҳолда

$$\Phi = -\Phi_m \cdot \cos\omega t + \Phi_m \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t} + \Phi_{\text{к}} \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t}. \quad (9.8)$$

Аксарият, $\Phi_{\text{к}} = (0,2 \div 0,3)\Phi_{\text{бар}}$. Бу ҳолда $\omega t = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = \pi$ ярим даврдан сўнг қуйидаги ҳосил бўлади:

$$\Phi = \Phi_m + \Phi_m \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t} + (0,2 \div 0,3)\Phi_m \cdot e^{-\frac{r_1}{L_1}t}.$$

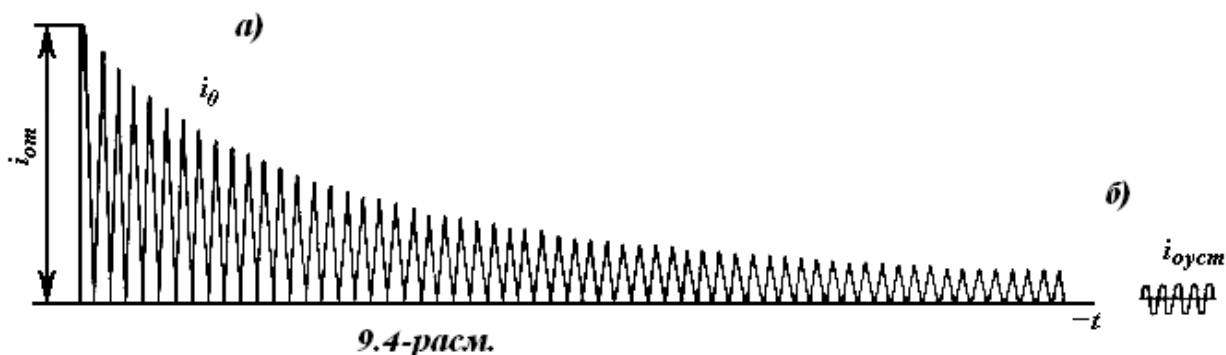
Юқорида келтирилганидек, $r_1 \ll \omega L_1$ бўлганлиги учун,

$$e^{-\frac{r_1}{\omega L_1}\pi} \approx 1$$

$$\text{ва } \Phi_{\text{tm}} = \Phi_m + \Phi_m + (0,2 \div 0,3)\Phi_m = (2,2 \div 2,3)\Phi_m.$$

Бундаги ўта катта қийматдаги магнит оқимини ҳосил қилиш учун сарф бўладиган i_0 магнитловчи токининг қийматини магнитланиш тавсифидан аниқланади. Расм 9.3 да А ва В нуқталари кучли трансформатор магнитланиш тавсифининг нормал ва ундан икки марта катта индукцияси учун, яъни $\Phi_{\text{бар}}$ оқимнинг нормал ва ундан икки марта катта қийматлари учун қурилган. Ундан кўринадики, уланиш токи i_0 нинг амплитудаси барқарорлашган токсиз ишлаш токи $I_{\text{ом}}$ амплитудасидан бир неча марта каттароқ бўлиши мумкин. Уланиш токининг осциллограммаси

шунинг кўрсатадики, индукция В нинг қиймати 1,4 Тл бўлганда, тоқлар нисбати $i_{om}/I_{om} = 50 \div 80$, индукция 1,4 Тл дан каттароқ бўлганда эса 100÷120 гача боради. Агар тоқсиз ишлаш тоқи I_0 нинг қиймати номинал I_H тоқнинг 5 % ини ташкил этса, у ҳолда уланиш тоқи номиналдан 4-6 марта ошиши мумкин.



9.4-расм.

Расм 9.4 да уланиш тоқининг $i_0(t)$ даги осциллограммаси кўрсатилган.

Солиштириш учун расм 9.4, б да барқарорлашган юксиз ишлаш тоқи келтирилган. Актив қаршилиқнинг қиймати жуда кичик бўлганлиги сабабли $r_1 \ll \omega L_1$, уланиш тоқининг сўниши узокроқ бўлади: трансформатор уланишидан 1 сек. ўтганда ҳам уланиш тоқи қиймати i_0 дан уч марта катта бўлади. Ўткинчи жараён тоқининг тўла сўнишини 6-8 сек. дан кейин кўриш мумкин. Аммо катта қувватли ва катта кучланишли трансформаторларга тоқнинг сўниши баъзан 20 сек. ёки ундан ҳам кўпроқ давом этиши мумкин. Уланиш тоқи трансформаторга салбий таъсир кўрсатмайди, аммо уни тармоқдан ҳимоявий ўчирилишига олиб келиши мумкин. Шунинг учун ҳимоя аппаратлари шундай ҳисобланган бўлиши керакки, трансформатор тармоққа уланиш жараёнидаги тоқнинг ошиши уни ўчирилишига сабаб бўлмаслигини таъминлаш керак.

Бизнинг ҳамма мулоҳазаларимиз бир фазали трансформатор учун жоиздир. Уч фазали трансформаторларни тармоққа улашда ҳар доим катта ёки кичик миқдордаги тоқлар ошиши мавжудлигини ҳисобга олишимиз лозим. Чунки, уч фазадан ҳеч бўлмаганда бир фаза кучланиши трансформатор уланиш онидан нолга яқин бўлади.

Б. Бехосдан қисқа туташув тоқи. Трансформаторнинг бехосдан қисқа туташувида, қисқа туташув синотидаги сингари бирламчи тоқнинг таркибидаги юксиз ишлаш тоқининг жуда кичиклиги сабабли, ҳисобга олмаслигимиз мумкин. Бу ҳолда трансформаторнинг алмаштириш схемаси умумий актив қаршилиги $r_k = r_1 + r_2'$ ва умумий индуктив қаршилиги $X_k = X_1 + X_2' = \omega L_{\sigma 1} + \omega L_{\sigma 2}' = \omega L_k = \text{const}$ (расм 4.2) бўлган элементар электр занжирига айланади (L_k – трансформаторнинг тарқоқлик индуктивлиги). Тарқоқ магнит майдонлар аксарият номагнит муҳитдан оқиб ўтиши

сабабли, L_k қ const бўлади. Бу ҳолда бехосдан қисқа туташувдаги э.ю.к. лар тенгламалари қуйидаги кўринишда бўлади:

$$u_1 = U_{1m} \cdot \sin(\omega t + \psi_k) = i_k \cdot r_k + L_k \frac{di_k}{dt}, \quad (9.9)$$

бунда ψ_k – трансформатор қисқа туташуви уланиш фазаси [ψ_0 – қисқа туташув уланиш фазаси сингари (расм 9.1)].

Тенглама (9.9) ни қисқа туташув токи i_k га нисбатан ечилса ва

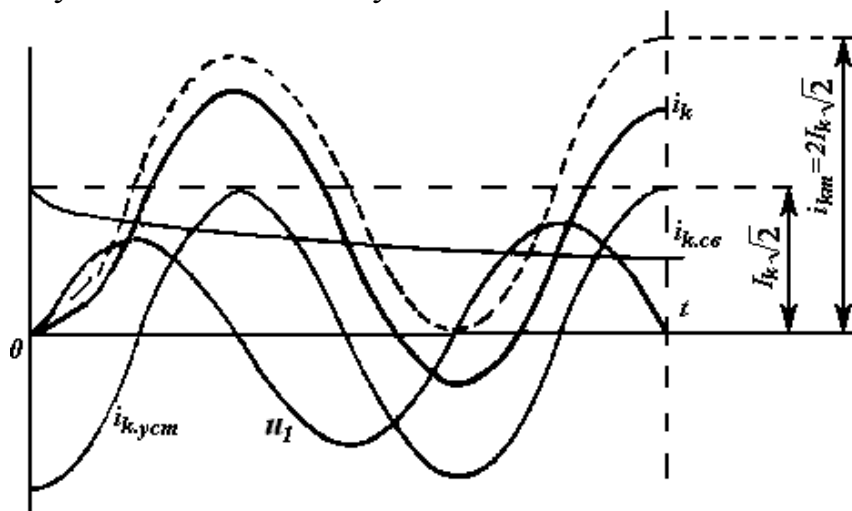
$$\varphi_k = \arctg \frac{x_k}{r_k} \approx 90^\circ, \text{ деб ҳисобланса, қуйидагиларни}$$

ҳосил қиламиз:

$$i_k = i_{k,бар} + i_{k,э.} = -\frac{U_{1m}}{\sqrt{r_k^2 + (\omega L_k)^2}} \cos(\omega t + \psi_k) + \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_k^2 + (\omega L_k)^2}} \cdot \cos \varphi_k \cdot e^{-\frac{r_k}{L_k} t} = \quad (9.10)$$

$$= -I_k \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t + \psi_k) + I_k \sqrt{2} \cdot \cos \psi_k \cdot e^{-\frac{r_k}{L_k} t}.$$

Бу ерда $i_{k,бар}$ ва $i_{k,э.}$ – барқарорлашган ва эркин қисқа туташув тоқларининг оний қийматлари; $I_k \cdot \sqrt{2} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_k^2 + (\omega L_k)^2}}$ – барқарорлашган қисқа туташув тоқининг амплитуда қиймати.



9.5-расм.

трансформаторларни лойиҳалаш ва эксплуатациялашда ҳисобга олиниши лозим бўлган, қисқа туташувнинг энг ноқу $\sqrt{2}$ лай (оғир) вазияти $\psi_k = 0$, яъни u_1 нолдан ўтаётгандаги ($u_1 \neq 0$) ҳолатдир; бу онда

$$i_{k(\psi_k=0)} = -I_k \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \omega t + I_k \sqrt{2} \cdot e^{-\frac{r_k}{L_k} t}. \quad (9.11)$$

Агар қисқа туташув жараёни трансформатор кучланишининг қиймати номинал бўлганда чекаётган бўлса, у ҳолда $I_k \cdot \sqrt{2} = \frac{100\sqrt{2}}{u_k} I_H$, бунда u_k – фоизда ифодаланган қисқа туташув кучланиши; I_H – номинал ток.

Чегаравий идеал ҳолатда, яъни $r_k/L_k = 0$ бўлганда, эркин ток $i_{\text{э}}$ сўнмайди (расм 9.5 даги штрих чизик), демак, бехосдан қисқа туташув бўлган ондан бошлаб ярим давр ўтиши билан қисқа туташув токининг амплитудаси барқарор қисқа туташув токининг амплитудасидан икки марта катта бўлади, яъни

$$\frac{i_{km}}{I_k \sqrt{2}} = R_k = 2.$$

Реал трансформаторларда r_k/L_k нисбат қанча катта бўлса $i_{\text{к.э.}}$ эркин токи шунча тез сўнади.

Кичик қувватли трансформаторларда $[r_k/(\omega L_k) = (0,3 \div 0,5)]$ $i_{\text{к.э.}}$ нинг сўниш жараёни бир-икки давр давом этади, яъни $R_k 1,2 \div 1,3$. Ушбу нисбатан кичикроқ $\left[\frac{r_k}{\omega L_k} \leq \frac{1}{10} \right]$ бўлган трансформаторларда $R_k 1,7 \div 1,85$.

9.2. Трансформаторлардаги ўта кучланганлик сабаблари

Трансформатор чулғамларининг изоляцияси кучланишнинг маълум қийматига мўлжалланган бўлади. Аммо улардаги кучланишнинг қиймати энг катта ишчи кучланишдан ошмаслиги шарт.

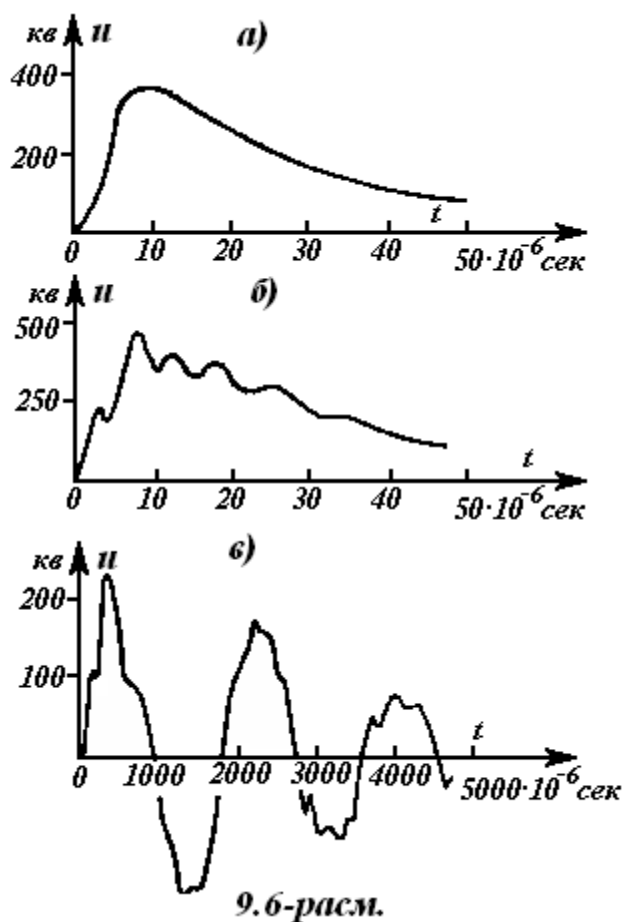
Трансформатор чулғамларининг изоляцияси мўлжалланган кучланишга боғлиқ равишда қуйидаги энг катта ишчи кучланишлари белгиланган.

Жадвал 9.1.

Трансформатор изоляцияси мўлжалланган кучланиш, кВ	3	6	10	20	35	110	54	220
Энг катта ишчи кучланиш, кВ	3,5	6,9	11,5	23	40,5	121	69	242

Трансформатор чулғамидаги кучланишнинг энг катта ишчи кучланишидан ҳар қандай ошишига трансформатордаги ўта кучланганлик дейилади. Аксарият, ўта кучланганлик деб, даврий ёки нодаврий (апериодик) характердаги қисқа импульслар билан боғлиқ бўлган қисқа вақтли жараёнга айтилади.

Ўтакучланганлик қуйидаги сабабларга кўра ҳосил бўлиши мумкин:



1) атмосферадаги ўзгаришлар туфайли: электр узатиш линиясига тўғридан-тўғри яшин тушиши, зарядланган булутларнинг разрядланиши натижасида ЭУЛ электромагнит индукцияси ҳодисалари, майда чангли шамол, қор ва бошқалар таъсирида ЭУЛ симларининг электрланиши ва бошқалар;

2) коммутацион жараёнлар – юкланишларнинг уланиши узилиши, бехосдан ўзгариши натижасида тизимнинг электромагнит энергиясининг ўзгариши;

3) жароҳат (авария) лар жараёни натижасида (қисқа туташув ва узилиш, қайта заминланиш ёйлари ва ҳ.к.).

Трансформатордаги ўтакучланганликдаги жараёнлар кечиши электромагнит тўлқиннинг шаклига боғлиқ. қуйидаги тўлқинлар турлари мавжуд: а) нодаврий оддий тўлқин (расм 9.6,а) ва мураккаб тўлқин (расм 9.6,б). Улардан оддийи атмосфера ўтакучланганлигидан пайдо бўлади; б) даврий тўлқинлар (расм 9.6,в), коммутацион жараёнлардан содир бўлади.

Тадқиқотлар шуларни кўрсатадики: а) улаш, ўчириш жараёнлари туфайли содир бўлувчи (коммутацион) ўта кучланганликлар натижасида фаза кучланишлари номинал қийматдан 2-5 марта ортади; б) шикастланиш (авария) ўтакучланганлигида -7-8 марта ва в) атмосфера сабабли ўтакучланганликларда -7-12 марта ортади.

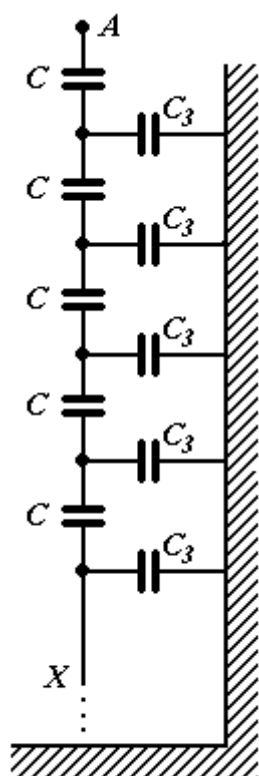
Линия ишчи кучланишидан 2,5 марта ошган ўта кучланганлик хавфсиз ҳисобланади; ундан юқорилари эса хавфли дейилади.

Трансформатор чулғамларининг қисмаларигача етувчи ўта кучланганликдан ҳар хил турдаги химоялар ёрдамида эҳтиётланиш мумкин. Аммо, трансформаторнинг чулғамларида содир бўлувчи ўта кучланганлик анчагина хавфлидир. Электромагнит тўлкинлари чулғам бўйича тақсимланишида трансформатор чулғамларининг ўрамалари, баъзида эса, айрим ўрамлари орасидаги ўта кучланганлик трансформатор нормал режимидаги кучланишга нисбатан анчагина ортиши мумкин. Тажриба кўрсатадики, аксарият чулғамлар қисмаларига яқин жойлашган ўрамлари тезроқ шикастланадилар, бироқ, умуман олганда, ўта кучланганлик ва унинг натижаси сифатида, изоляциянинг тешилиши (бузилиши), чулғамнинг ихтиёрий нуқтасида содир бўлиши мумкин. Бу эса, трансформаторнинг ишдан чиқишига ва у билан боғлиқ бўлган бошқа қурилмаларнинг нормал ишлаши бузилишига олиб келади. Шу сабабли, трансформаторнинг ўта кучланганлиги кўпгина тадқиқотларнинг олиб борилишига сабаб бўлади.

Шуни назарда тутиш керакки, трансформатор чулғамида ўта кучланганлик тўлкинининг тақсимланиши жараёни, мураккаб ва ўта ҳажмда математик анализга бўйсинмайди. Уни ўрганиш учун кўпгина соддалаштирувчи фаразлар қабул қилиниб, мазкур жараённинг асосий хусусиятларига эътиборни қаратади. Олинган натижалар бир қатор муҳим хулосалар чиқаришга имкон беради ва ўта кучланишга бўлган янгича муносабатларни шакллантиришга, хусусан янги яшинга чидамли трансформатор турини ривожлантиришга имкон берди.

9.3. Трансформаторнинг ўта кучланганлигидаги алмаштириш схемаси

Трансформатордаги ўта кучланганликнинг соддалаштирилган вазиятини кўрамиз, яъни тармоқнинг А линиясидан трансформатор ЮК ли чулғамининг фақат А қисмасига (расм 9.7) келувчи ўтакучланганликни ўрганамиз ва чулғамнинг бошқа қисмаси Х (нейтраль) ёки ажратилган (изоляцияланган) ёки заминланган деб фараз қиламиз.



9.7-расм.

Барқарорлашган режимда ишлаётганда ток фақат чулғамдан ўтади ва ўз йўлида актив ва индуктив қаршиликларга учрайди. Аммо, ўта кучланганликда бу жараён тубдан ўзгаради. Ҳақиқатдан ҳам, ўта кучланганлик билан боғлиқ бўлган жараёнлар шундай катта тезликда кечадики, трансформаторда жуда юқори давр тезликли тебранма жараёндек қабул қилинади. Бунда трансформаторнинг индуктив қаршилиги жуда катта қийматда бўлиб, сиғим қаршилиги, аксинча, жуда кичрайиб кетади.

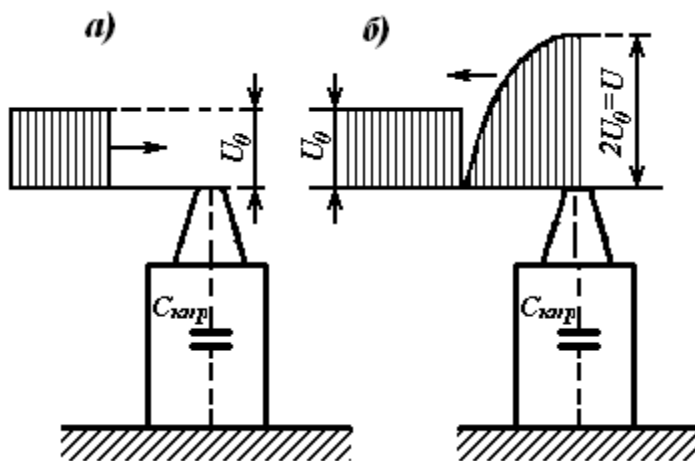
Шу туфайли, ўта кучланганликда ток фақат сиғим қаршиликларидан оқади деб ҳисоблаймиз. Жараёни соддалаштириш учун алоҳида чулғамлар орасидаги сиғим ҳисобга олинмайди. Бундай шароитда трансформаторнинг алмаштириш схемаси расм 9.8. да кўрсатилгандек бўлади.

С сиғимлар кетма-кет уланганликлари учун, чулғамнинг узунлиги бўйича умумий сиғим қуйидагича аниқланади

$$C_{\text{ум}} = \frac{1}{n} C,$$

бунда n – чулғамнинг ташкил этувчи қисмларининг сони.

Заминга нисбатан сиғимлар C_3 параллел уланганлиги учун, чулғамнинг заминга нисбатан сиғими:



9.8 – расм.

C_{31} қ nC_3

Ушбу $C_{\text{ум}}$ ва C_{31} сиғимларини битта эквивалент сиғими ёки кириш сиғими билан алмаштириш мумкин:

$$C_{кир} = \sqrt{C_{ум} \cdot C_{31}}$$

Трансформатордаги ўта кучланганлик билан боғлиқ жараёни татқиқот қилинганда, трансформаторга тўғри бурчакли шаклдаги жуда узун тўлқин келаяпти, деб фараз қилинади. Маълумки, ўта кучланганлик тўлқили линия бўйлаб $v = \frac{1}{\sqrt{LC_{л}}}$ (L ва $C_{л}$ – линиянинг бир узунлик бирлигига мос келувчи индуктивлиги ва сиғими) тезлик билан тарқалади. Ҳаво линиялари учун бу тезлик ёруғлик тезлигига яқин. Бунда линиянинг асосий хусусиятларидан бири, унинг тўлқин қаршилиги $Z = \sqrt{L/C_{л}}$ дир; ҳаво линиялари учун $z \approx 350 \div 450$ Ом; кабель линияларининг катта сиғимлилиги учун $z \approx 50$ Ом. Трансформаторнинг тўлқин қаршиликлари ҳаво линияларининг тўлқин қаршилигидан бир неча марта каттадир.

Назарий электротехника асослари курсидан маълумки, кучланиш тўлқини тўлқин қаршилиги кичик бўлган занжирдан – мазкур шароитда электр тармоғидан – тўлқин қаршилиги катта бўлган занжирга – трансформаторга ўтганда, трансформатор қисмаларидаги кучланиш ортади, баъзан иккиланиш мумкин (расм 9.8). Трансформатор қисмаларидаги кучланишнинг U_0 қийматидан $2U_{ок}$ қийматигача ортишига сарфланган вақт нисбатан кичик – тахминан 0,1 мк сек. Бундай кичик вақт оралиғда тахминан бир онда трансформаторнинг сиғимли занжири (расм 9.7) зарядланади ва чулғам бўйлаб кучланишнинг бошланғич тақсимланиш тасвири ҳосил бўлади. Бундай тақсимланиш тасвири трансформатор барқарорлашган режимидаги чулғам кучланиши тақсимланиши тасвиридан кескин фарқланади.

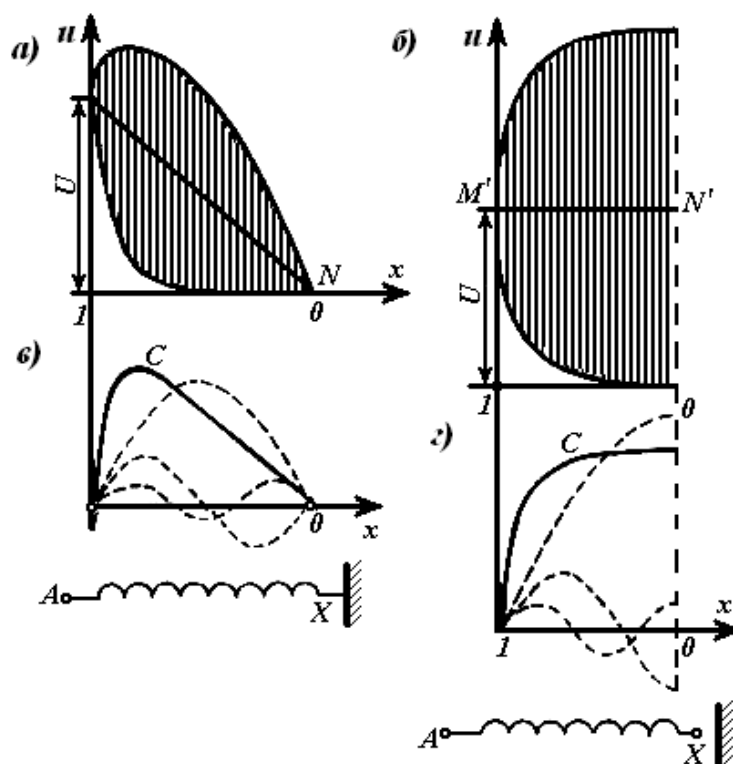
Ўта кучланганлик жараёнининг кейинги кечиши ва трансформатор чулғами сиғим ва индуктив қаршиликларнинг мураккаб мажмуасидан иборат бўлганлиги сабабли, тақсимланишнинг бошланғич ҳолатидан барқарорлашган ҳолатига ўтиш жараёни чулғамнинг актив қаршиликлари ва изоляциянинг ўтказувчанлиги таъсирида секин-аста сўнувчи тебранма жараёндан иборатдир.

9.4. Трансформатор чулғами бўйлаб кучланишнинг бошланғич тақсимланиши

Расм 9.7 даги схемадаги чулғамнинг X қисмаси заминланган деб фараз қилайлик. Агар заминлаш сиғими C_3 бўлмаганда, ҳамма C сиғимлар кетма-кет уланиб, бундай занжирнинг ҳамма қисмидан бир хил қийматдаги ток оқарди. Сиғимлар C нинг тенглигида, чулғам узунлиги бўйлаб барқарорлашган режимдагидек, ўта кучланганлик текис тақсимланар эди. Расм 9.4, а да бундай тақсимланиш M ва N нуқталарни бирлаштирувчи нишаб (қия) тўғри чизиқ билан ифодаланган. Бу нуқталар ўз ўрни билан

чулғамнинг қисмаларидаги кучланишни белгилаб, M да U кучланишга ва N да $U_{\text{ко}}$ бўлади.

Аксинча, агар C сиғимлари бўлмаса ($C=0$), ток линиядан заминга биринчи жойлашган C_3 сиғими орқали ўтар эди. Физик жиҳатдан бу жараён шуни кўрсатадики, ҳамма кучланиш биринчи ўрамда тўпланади ва шунинг учун ниҳоятда ўтакучланган бўлади. Расм 9.9, а да кучланишнинг бундай тарқалиши M нуқтани координата боши билан бирлаштирувчи вертикал чизик тасвирлайди. Аслида эса, чулғам узунлиги бўйлаб кучланишнинг тақсимланиш тасвири юқоридаги икки тўғри чизиклар оралиғида жойлашади.



9.9-расм.

Кучланишнинг тақсимланиши характери мисолда кўрайлик. Фараз қилайлик, Ю.К. чулғами n қ 5 қисмдан (ўрамдан) иборат ва $C = C_3$ (расм 9.10,а). $U_1, U_2, \dots, U_5$ – сиғим C_3 нинг қисмаларидаги кучланишлар, бунда сиғимларнинг саноғини чулғам кети X дан боши A га томон қабул қиламиз. У ҳолда $u_1 = q_1/C_3 = q/C_3$, бунда $q_1=q$ – чулғам кетидан бошлаб биринчи сиғимнинг заряди. C_3 ва C сиғимлари кетма-кет уланганликлари учун, $q' = q$.

Бу ҳолда кучланиш $u_2 = q_2/C_3$, аммо $u_2 = u_1 + \frac{q_1}{C_3} = \frac{q}{C_3} + \frac{q}{C_3} = 2\frac{q}{C_3}$ бўлганлиги учун, q_2 к $2q$. Шунга ўхшаш $q'' = q_2 + q' = 2q + q = 3q$. Бу эса q_3 заряднинг қийматини аниқлашга имкон беради: $u_3 = \frac{q_3}{C_3}$ ёки $u_3 = u_2 + \frac{q''}{C_3} = \frac{2q}{C_3} + \frac{3q}{C_3}$, шу сабабли $q_3 = 5q$.

Зарядларнинг қийматини шу тариқа ҳисоблашда давом этсак, расм

$$q''' = q_3 + q'' = 5q + 3q = 8q;$$

9.10,б даги занжирни ҳосил қиламиз, бунда $q_4 = q''' + q_3 = 13q$; $q^{IV} =$

$$= q_4 + q''' = 21q;$$

$$q_5 = q^{IV} + q_4 = 34q;$$

$$q^V = q_5 + q^{IV} = 55q.$$

Тўлароқ математик таҳлил шуни кўрсатадики, занжир бўйлаб (чулғам бўйлаб) кучланишнинг тақсим-ланиши гиперболик функция қонунига кўра ўзгариб, чулғам кетидан x масофада жойлашган ихтиёрий нуктанинг заминга нисбатан кучланиши U_x қуйидаги боғланиш орқали аниқланади:

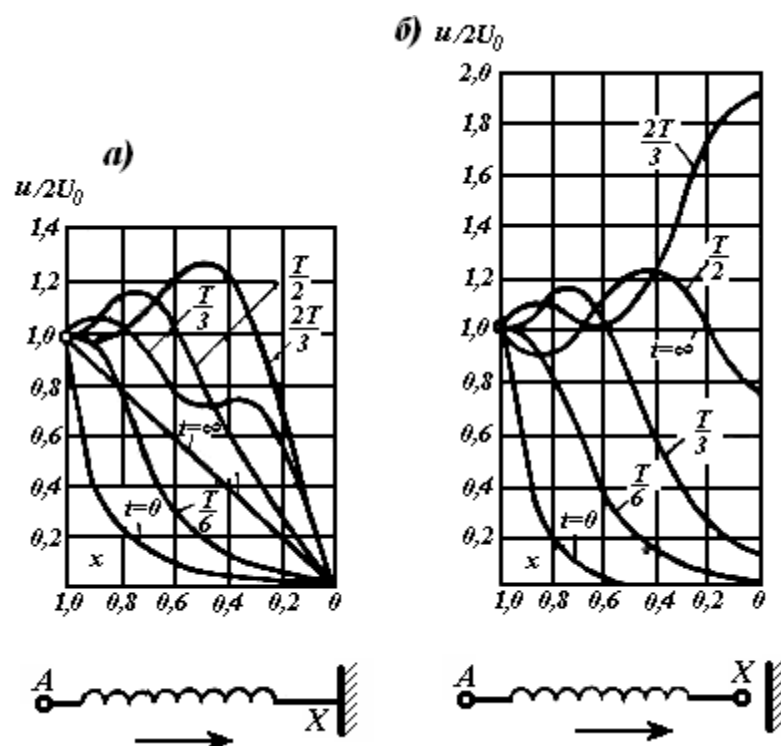
а) заминланган нейтрал билан:

$$u_x = \frac{u_{sh} \frac{dx}{C} u_{sh} \frac{dx}{l}}{Sh\alpha}; \quad (9.12)$$

б) изоляцияланган нейтрал билан:

$$u_x = \frac{u_{ch} \frac{dx}{l}}{Ch\alpha}; \quad (9.13)$$

Бунда U – трансформатор (расм 9.8,б) чулғамидаги кучланиши; $\alpha = \sqrt{C_{31}/C_{ym}}$; l – трансформатор чулғами-нинг тўла қаршилиги.



9.10-расм.

Ҳозирги замон трансфор-маторларида $\alpha \approx 5 \div 15$; шу сабабли (9.12) ва (9.13) тенгликлар иккала кўрилатган ҳол (расм 9.9, а ва б) учун кучланишнинг бошланғич тақсимланишини тахминан бир хил қийматларини кўрсатади. Биз юқорида кўраётган хусусий ҳолда $C_{31} = 5C$, $C_{ym} = 6/5$ ва $\alpha = \sqrt{C_{31}/C_{ym}} = 5$. Расм 9.10, б да келтирилган занжирга мос келган кучланиш тақсимланиши эгрилиги, (9.12) ва (9.13) тенгликлар ёрдамида ҳисобланган ва расм 9.9, а ва б да кўрсатилган $\alpha = 5$ эгри чизикқа ўхшаш эканлигини кўриш мумкин.

Чулғамнинг электрик мустаҳкамлигини ҳисоблаш учун чулғамнинг икки қўшни элементлари (ўрамалари, ўрамлари) орасидаги кучланиш градиентини (кучланишнинг ўзгариш даражаси) аниқлаш лозим. Расм 9.9, а ва б лардан кўринадики, вақтнинг ўзгариши бошланишида кучланишнинг энг катта градиенти чулғам бошланишидаги бунинг биринчи ўрамлари тўғри келади, яъни $x = l$ да. Бу градиентнинг сон қиймати (9.12) ва (9.13) тенгликлардан олинган $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ ҳосилага тенг. Бунда $\alpha \geq 3$ бўлганида $\tanh \alpha \approx \coth \alpha \approx 1$ эканини ҳисобга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\left[\frac{\partial u_x}{\partial x} \right]_{x=l} = \frac{u}{l} \alpha \quad (9.14)$$

Бу тенгликдаги биринчи кўпайтма чулғам узунлиги бўйлаб кучланишнинг текис тақсимлангандаги кучланиш градиентини берса, иккинчиси, вақтнинг ўзгариши бошланишида чулғамнинг А бошига яқин жойлашган элементларига кучланиш текис тақсимланганлигидан $\alpha = 10 \div 15$ марта каттароқ эканлигини кўрсатади. Бу ҳол чулғам ўрамлари изоляциясини мустаҳкамлашга мажбур қилади.

9.5. Ўткинчи жараён ва кучланишнинг якуний тақсимланиши

Расм 9.9,а ва б да $\alpha = 10$ учун келтирилган эгри чизиғи кучланиш тақсимланишининг вақт бўйича бошланғич вақтига ($t=0$) мос келади. Ундан сўнг ўткинчи жараён бошланиб, маълум вақт оралиғидан сўнг, ўткинчи жараён охирида кучланиш тўлқини чулғам бўйлаб бир меъёрга тақсимланади. Чулғам нейтралли заминланган бўлса, кучланишнинг якуний (ўткинчи жараён якунида) тақсимланиши расм 9.11,а даги MN чизиқ билан ифодаланди. Изоляцияланган нейтралда эса чулғамнинг ҳамма қисмлари бир хил қийматдаги потенциалга эга бўлиб, расм 9.11, б даги M'N' тўғри чизиқ билан ифодаланади. Юқорида таъкидланганидек, ўтакучланганликнинг бошланғич тақсимланишидан якуний тақсимланишига ўтиши тебранишлардан иборат бўлган ўткинчи жараён натижасида содир бўлади. Бундай ўткинчи жараёнларни анализ мураккаблиги шундан иборатки, унда чулғам таркибий қисмлари орасидаги ўзаро боғлиқликлар таъсири оддий қонуниятларга бўйсинмайди.

Тилга олинган таъсирларни соддалаштириш мақсадида, у ёки бу фаразларни қабул қилиш, трансформатор чулғамидаги тебранишлар кечишининг у ёки бу қонунияти ҳосил қилинади. Энг содда фаразлар натижасида изланаётган математик боғланишлар тўртинчи даражадан кам бўлмаган хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалардан иборат бўлади. Бу тенгламалар ечимларини анализ қилиш қуйидаги ҳулосаларни беради: а) чулғамдаги жараён даврий бўлиб, кўрсаткичли (экспотенциал) функцияси қонунияти билан сўнувчи бўлади; кучланишнинг қиймати фазода x координата (ёки чулғам узунлиги) бўйича ва вақт бўйича ўзгаради; б) кучланишнинг якуний тақсимланиши (расм 9.11,а ва б даги MN ва M'N' чизиқлари) чизиқларини тебраниш жараён кечиш ўқлари деб қабул қилиш мумкин; эҳтимол тебранишлар чегаралари расм 9.11,а ва б даги штрихланган юзаларда жойлашади; в) бошланғич ва якуний кучланишлар тақсимланиши ораларидаги айирмани гармоник қаторга ёйиш мумкин, бунда: нейтралли заминланган трансформатор учун бир, икки, уч ва ҳ.к. ярим тўлқинлардан иборат (расм 9.11,в) гармоник қатор, изоляцияланган нейтралли трансформаторлар учун эса $\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{5}{4}$ ва ҳ.к. тўлқинлардан иборат (расм 9.11,г) гармоник қаторлар ҳосил бўлади; вақт

бўйича юқори гармоникалар $f \cdot v$ давр тезлик билан (бунда v - гармоник қатор тартиби) тебранади.

Кучланиш гармоникаларининг ҳар хил тартибдагилари чулғамнинг узунлиги бўйлаб ҳар хил тезлик билан тарқалади, шу туфайли чулғамдан ўтувчи тўлқин узлуксиз деформацияланади (шакл ўзгартиради). Расм 9.12.а да заминланган ва расм 9.12, б да изоляцияланган нейтралли чулғамларнинг узунлиги бўйича вақтнинг ҳар хил онлари учун кучланиш тақсимланиши кўрсатилган, бу расмларда вақтнинг, бошланғич кучланиш тақсимлангандан бошланган қиймати тебраниш даврининг улуши сифатида берилган. Таҳлил шуни кўрсатадики, трансформаторнинг тўлқин қаршилиги ўзгармас қиймат бўлмай, гармоник қатор тартибининг функцияси экан. Тўлқин деформацияланиши ва тўлқин қаршиликларига кўра, трансформатор электр ўтказиш линияси (йўли) дан кескин фарқ қилади, чунки ЭЎЛ сидан тўлқин ҳеч қандай ўзгаришсиз тарқалади ва ЭЎЛ лар ҳар қандай тўлқин ва импульслар учун ўзгармас тўлқин қаршилигига эга.

Бундан мураккаброқ ҳодиса бўлмиш, трансформаторга ихтиёрий шаклдаги нодаврий импульснинг таъсирини ҳам юқоридаги тарзда таҳлил қилиш мумкин. Агар импульс юқори давр тезликка эга бўлган тўлқин бўлса, шу давр тезликдаги импульс ва ташкил этувчи гармоникаларнинг бири билан резонанс ҳодисаси вужудга келиш хавфи мавжуд. Натижада, трансформатор чулғамининг бирор нуқтаси ва замин орасида ёки чулғамнинг қўшни қисмлари (ўрамлари) орасида каттагина кучланиш градиенти ҳосил бўлиши мумкин. Бу ҳодисаларнинг ҳар бирида, трансформаторни анча вақтгача ишдан чиқарувчи, трансформатор шикасти (аварияси) содир бўлиши мумкин.

9.6. Трансформаторларни ўта кучланганликдан ҳимоялаш

Трансформаторларни ўта кучланганликдан ҳимоялаш тадбирлари икки хил бўлади – ташқи ва ички. Ҳимоялашнинг ташқи тадбирлари, трансформаторга келаётган тўлқинни керакли даражада хавфсизлантириш (амплитудасини камайтириб) мақсадида бажарилади. Бу тадбирларга қуйидагилар киради: ЭЎЛ ларнинг трассасини тўғри танлаш; заминловчи тролларни ўрнатиш, ҳар хил турдаги зарядсизлагичларни ўрнатиш ва шунингдек, мувофиқловчи деб номланган, махсус «учқунли оралиқлар» ёрламида ҳамма изоляция тизимини мувофиқлаш (бунда чулғам изоляцияси бутун тизимда энг кучли бўлиб қолишини таъминлаш).

Илгари, ҳимоя тадбирлари сифатида қўлланилган реактив ўрамалар ва конденсаторлар ҳозирги вақтда ишлатилмайди, чунки тажриба шуни кўрсатадики ва таҳлил тасдиқладики, бундай ҳимоялашнинг самараси етарлича эмас экан.

Трансформаторларни ҳимоялашнинг ички тадбирларига қуйидагилар киради: чулғам бошланиши ва тугашидаги (сўнгги) ўрамаларнинг изоляциясини кучайтириш (юқорида кўрганимиздек, бу ерда кучланишнинг юқори градиенти вужудга келади); трансформаторни сиғимли ҳимоялаш.

Ҳозирги вақтда ишлаб чиқарилаётган кучланиши 38,5 кВ гача бўлган куч трансформаторлар ўтакучланганлик ҳимояси фақат Ю.К ли чулғамлар сўнгги ўрамлари ҳисобига амалга оширилади. Бундай трансформаторнинг нормал ўрамлари изоляцияси иккала томон қалинлиги 0,5 мм бўлса, изоляцияси кучайтирилган ўрамалар 1,4 мм қалинликдаги изоляция билан бириктирилади. Бундай ҳолда чулғам совитилиши қийинлашгани учун, кучайтирилган изоляцияли ўрамаларнинг ток зичлиги нормал ўрамаларникидан 20-30% га камроқ бўлади. Кучайтирилган изоляцияли ўрамалар сони чулғам умумий ўрамалари сонининг 5-7% ни ташкил қилади.

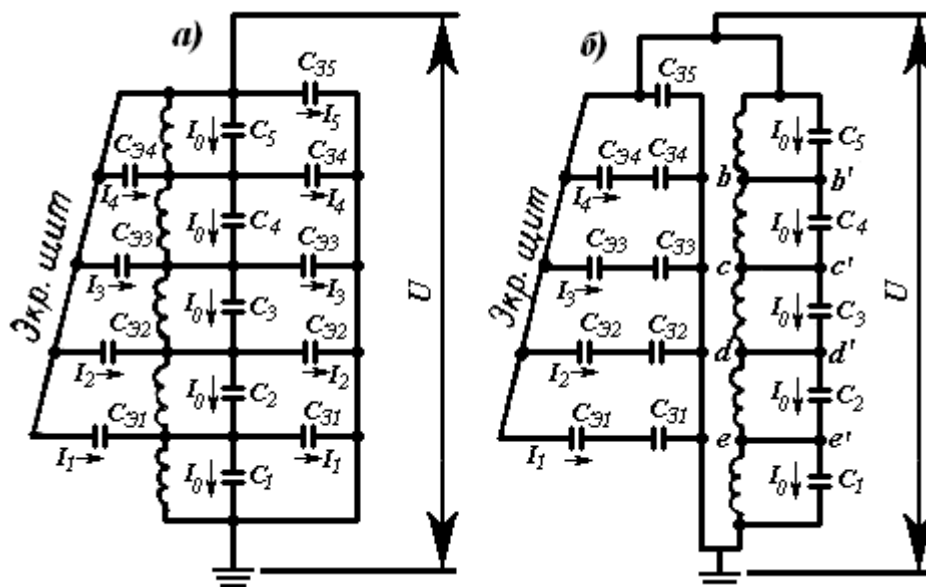
Кучланиши 110 кВ ва ундан юқори бўлган трансформаторларда чулғамларнинг сўнгги ўрамлари изоляциясини кучайтириш билан бирга, сиғимли ҳимоя шундай қўлланиладики, ўта кучланганлик импульси чулғам узунлиги бўйича, кучланишнинг якуний тақсимланишига ўхшаш, бир текисда тақсимлансин. Бундай чулғамда чулғам қисмлари орасида кучли тебранишлар жараёни бўлмайди ва шу туфайли, ҳаддан ташқари кучли кучланиш градиенти ҳосил бўлмайди. Бундай ҳимоя билан таъминланган трансформаторлар **резонанслашмайдиган ёки яшинга чидамли** дейилади.

Сиғимли ҳимоялаш қуйидагича амалга оширилади. Агар трансформатор чулғамини шундай бажариш мумкин бўлсаки, ундаги $C_{31} = 0$ бўлса, у ҳолда $\alpha = \sqrt{C_{31}/C_{ум}} = 0$ бўлади; бу ҳолда расм 9.9, а ва б дан кўринганидек, чулғам бўйлаб кучланишнинг тақсимланиши, ўта кучланишнинг биринчи онидаяк, яъни трансформаторга ўтакучланганлик тўлқинини келишининг биринчи онидаяк, бир текисда тақсимланади. Заминга нисбатан сиғимни йўқотиб бўлмайди, аммо бу сиғимни зарядловчи тоқларни трансформатор чулғамини экранловчи ҳимоя сиғимлари $C_{ср}$ линиядан келаётган ток билан компенсациялаш мумкин.

Ҳимоя сиғимини ҳосил қилиш учун ҳар хил йўллардан фойдаланилади.

Расм 9.11,а да ҳимоя сиғимини ҳосил қилиш махсус экранловчи қалқон ёрдамида бажарилган, нейтралли заминланган тизим кўрсатилган. Бунда ҳимоя сиғимининг қалқони изоляцияланган ҳолда устидан металлаштирилган юза ҳосил қилиниб, у ўз навбатида, чулғамнинг фаза уланган учига улаб қўйилади. Ҳимоя сиғимларини танлангандан сўнг, мазкур заминланган сиғимни зарядловчи ток, масалан C_{32} сиғимини зарядловчи I_2 токи (ёки C_{33} ва I_3 ва ҳ.к.) бевосита C_{32} сиғими (C_{33} ва ҳ.к.)

орқали, кетма-кет уланган C ($C_1, C_2, C_3 \dots C_5$) сиғимлардан ўтмаган ҳолда келтирилади. Шу сабабли, расм 9.11,а даги схемани расм 9.11,б даги схема билан алмаштириш мумкин. Унинг чап томони сиғимлардан иборат бўлиб, демак резонансланмайдиган тизимни ташкил этади.



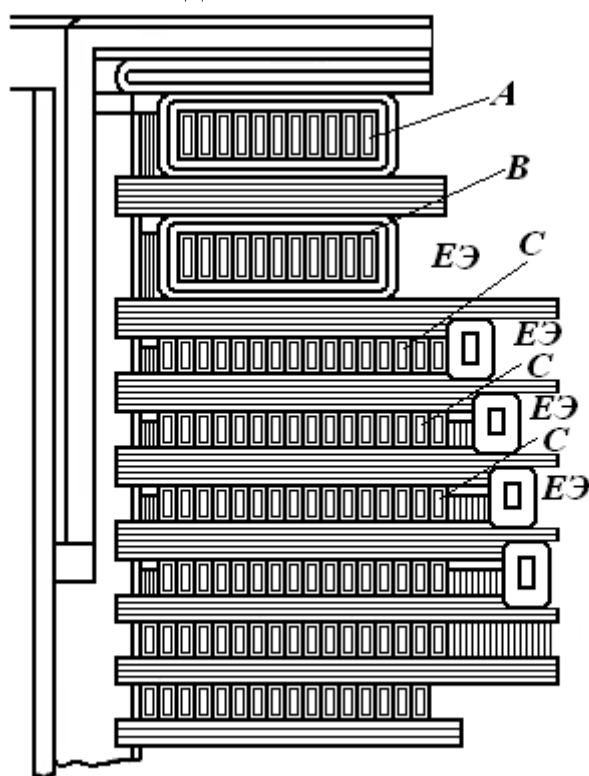
9.11-расм.

Шу схеманинг ўнг томонини икки параллел шахобчалар ташкил этиб, улардан бири кетма-кет уланган индуктивликларни ҳосил қилиб, иккинчиси ўрамалар орасидаги сиғимлардан иборат ҳар бир занжирнинг ҳамма ташкил этувчилари бир хил; шунинг учун ҳар бир занжирдаги ҳар бир ташкил этувчиларидаги кучланишлар бир хил бўлиб, барча занжирдан унинг ҳамма узунлиги бўйлаб маълум қийматдаги ток оқади. Улагич bb' , cc' ва ҳ.к. лардан ток оқмайди, яъни икки занжир шундай уланганки, улар бир-бирига электрик боғлиқ бўлмаган мустақил занжирлардек туюлади. Шу сабабли, схеманинг ўнг қисми, чап қисми сингари норезонанс тизимларни ташкил этадилар.

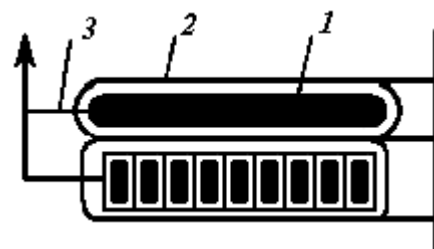
Экранловчи қалқонлар сифатида бажарилган ҳимоя сиғимлари трансформатор тузилишини мураккаблаштиради. Шу сабабли Москва трансформатор заводида (муаллиф С.И. Рабинович ва б.) қисман сиғимли ҳимоялаш тизими ташкил этилди. Бундай ҳимоялаш схемаси расм 9.12 да келтирилган. Ҳимоялаш анжомлари қуйидагилардан иборат: а) бир томон қалинлиги 3,5-5 мм бўлган, кучайтирилган изоляцияли А ўрамаси; б) унга ўхшаш кучайтирилган изоляцияли В ўрамаси ва ўрамага бандажланган (ўрамага белбоғланган) экранлашган сиғим ЭС ва б.) нормал изоляцияли ва экранлашган сиғимли ЭС тўртта С ўрамалари.

Кучайтирилган изоляцияли ўрамаларнинг ўтказгичлари кесим юзаси 1.5-2 марта каттароқ ва бошқа ўрамаларга нисбатан кичикроқ ток зичлиги билан бажарилади.

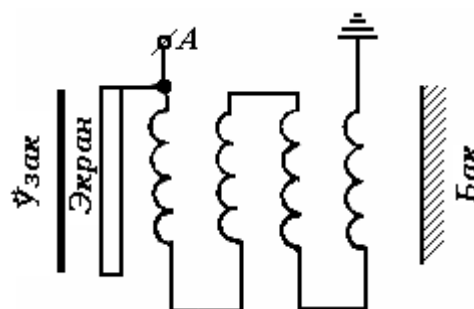
Экранлашган сиғимлар мазкур ҳимояланаётган ўрама ясалган мис ўтказгичлардан тайёрланади ва чулғамнинг линия уланган учига уланади, яъни линиянинг потенциалига эга бўладилар. Экран ўтказгичи чулғам ўрамасидан бир томони 5 мм қалинликдаги изоляция билан пухта изоляцияланади. Ўрама ва экран орасидаги масофа керакли қийматдаги ҳимоя сиғимини ҳосил қилади. Экранлаштирувчи сиғим берк контур ҳосил қилмаслиги лозим (қиска туташган ўрам ҳосил қилмаслик учун) ва ўраманинг узунлиги бўйлаб, ўрама айлана узунлигининг $\frac{2}{3}$ қисмини ташкил этади.



9.12-расм.



9.13 – расм.



9.14 – расм.

Ўрама бошланишида кучланиш градиентлари энг катта қийматга эга бўлганлиги сабабли, унинг ўрамалари орасидаги кучланишни иложи борица текис тақсимланишини таъминлаш муҳим аҳамиятга эга. Шу сабабли ҳозирги замон кучли трансформаторларида экранлаштирилган сиғимларга қўшимча равишда ҳалқали сиғимлар қўлланилади. Уларнинг тузилиши қуйидагича бўлади: прессланган электрокартондан қалинлиги 8-10 мм ли ва учлари думалоқлаштирилган ҳалқа (шайба) лар мис тасмаси билан ўралади ва устидан изоляцияланади (расм 9.13). Мис тасма улаш кабелли ёрдамида чулғамнинг линия учи ёки нейтралига уланади. Ҳалқали

сиғим, экранлаштирилган сиғим каби, электрик контурни ташкил этмаслиги лозим.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, юқоридаги усулда химояланган трансформаторлар ўзининг таъсири билан энг хавфли бўлган атмосфера ўтакучланганлигига нисбатан чидамли бўлади. Шунинг учун бундай трансформаторлар аксарият яшинга чидамли дейилади.

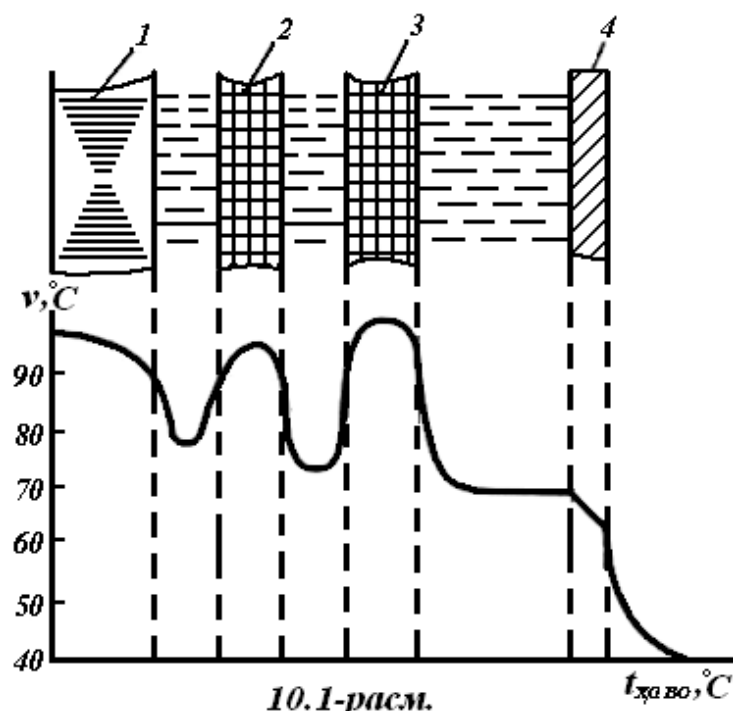
Трансформаторни шундай ўта кучланганликдан химоялаш мақсадида кўп қатламли цилиндрик чулғамлар (расм 9.14) қўлланилади. Бунда қатламлараро сиғим $C_{ум}$ нинг қиймати заминга нисбатан сиғим $C_{з1}$ қийматидан анчагина каттароқдир. Демак, $\alpha = \sqrt{C_{з1}/C_{ум}}$ катта эмас ва кучланишнинг бошланғич тақсимланиши якуний тақсимланишдан катта фарқ қилмайди. қатламлараро сиғимни тенглаштириш ва чулғам ва ўзак орасидаги сиғимни йўқотиш учун бир ёки бир неча цилиндрик экран (расм 9.14) қўлланилади.

ЎНИНЧИ БОБ

ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ҚИЗИШИ ВА СОВУТИЛИШИ

10.1. Умумий тушунчалар. Трансформаторларни совутиш усуллари. Иссиқлик оқимлари

Трансформатор ишлагандаги электр энергиясининг исрофи иссиқлик энергиясига айланиб, унинг қисмларини қизитади. Трансформаторларда иссиқликнинг асосий манбаи сифатида унинг магнит ўтказгичи ва чулғамлари ҳисобланади. Номинал режимда улардан ажралиб чиқаётган қувват исрофи умумий исрофнинг 75% ини ташкил этади. Трансформатор қувватини оширишга асосий тўсиқ – бу унинг қизишидир. Чунки унинг чулғамлари, магнит ўтказгичлари ва бошқа конструктив элементларининг максимал имконли қизиш ҳарорати, трансформаторни совутиш жадаллиги, ишлатилаётган изоляцион модданинг қизишга чидамлилиги ва трансформаторнинг белгиланган хизмат вақтига боғлиқдир.



10.1-расм.

Трансформатор тармоққа ёки юкланишга улангандан сўнг бошланғич вақтда барқарорлашмаган иссиқлик жараёни содир бўлади. Бу вақт оралиғида магнит ўзак ва чулғамлардаги ажралаётган иссиқлик энергияси қисман ушбу магнит ўзак ва чулғамларни қизитади, қисман атроф-мухитга тарқалади. Магнит ўзак ва чулғамларнинг ҳарорати ошган сари, иссиқликнинг атроф-мухитга тарқалиши ортади. Магнит ўзак ва чулғамларнинг маълум ҳароратида трансформатордаги иссиқлик режими барқарорлашади, яъни магнит ўзак ва чулғамлардаги ажралаётган иссиқликнинг қиймати атроф-мухитга тарқалаётган иссиқлик миқдорига тенг бўлади. Трансформатор иссиқлик жараёни барқарорлашгандан сўнг, унинг барча қисмларининг ҳароратлари ўзгармас бўлади, яъни у қисмларнинг ташқи совутувчи мухитга нисбатан ҳарорат ортувлари ўзгармас бўлади. Шу вақтга мос келувчи трансформатор қисмлари горизонтал кесими бўйича ҳароратнинг тақсимланиши 10.1-расмда келтирилган. Ундан кўринишича, иссиқлик оқимининг магнит ўтказгич ва чулғамлардан трансформатор атрофидаги мухитгача оқишидаги мухит қуйидаги характерли бўлимларга ажратилиши мумкин: 1 – магнит ўтказгич ёки чулғам ички нуқталаридан уларнинг ташқи юзаларига бўлган мухит; 2 – магнит ўтказгич ёки чулғам ташқи юзаларидан уларни ювиб ўтаётган мойга; 3 – мойдан бокни ички юзасига; 4 – бокнинг ички юзасидан унинг ташқи юзасигача; 5 – бок ташқи юзасидан атроф-мухитга.

Биринчи ва тўртинчи бўлимларда иссиқлик тарқалиши иссиқлик узатилиши ёрдамида узатилади; иккинчи ва учинчи бўлимларда – конвекция ва нихоят, бешинчи бўлимда нурланиш ёрдамида тарқалади.

Ушбу бўлимлардан аҳамиятлироғи учинчисидир. Расм 10.2,а да най бокли трансформаторда (табиий мойли совутиш) мойнинг конвекцион оқимлари йўллари кўрсатилган. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, мойнинг ўртача ҳарорати $\nu = 50 \div 60^\circ\text{C}$ ва шу ҳароратга мос келувчи мойнинг қовушқоқлигида мой конвекциясининг иссиқлик узатиш коэффиценти

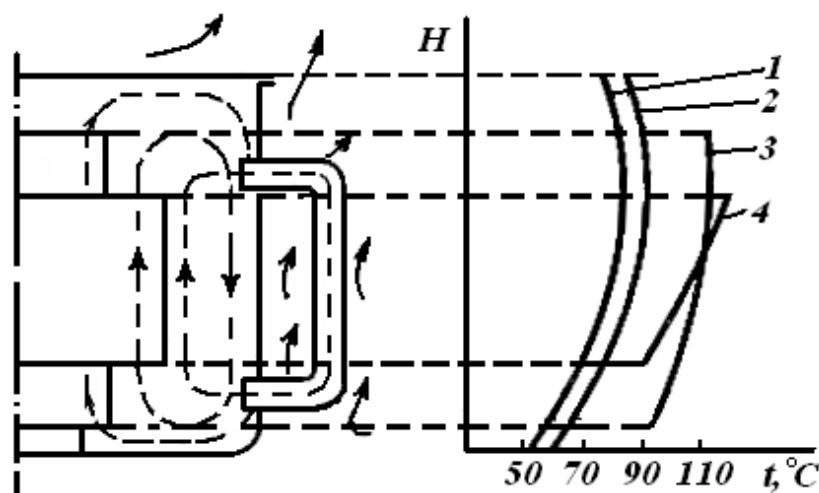
$$\lambda_{\text{м.кон}} = 40,34 \sqrt{\frac{\tau}{H}} \quad (10.1)$$

бу ерда τ - юза ҳароратининг мой ҳароратидан ортуви ($^\circ\text{C}$);

H – иссиқлик тарқатувчи юзанинг баландлиги (м.)

Мисол учун, ўртача $\tau = 20^\circ\text{C}$ ва $H = 0,5 \div 1$ м бўлса,

$$\lambda_{\text{м.кон}} = 80 \div 100 \text{ Вт/(град} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$



10.2-расм

Бу қийматлар ҳаво конвекцияси коэффицентида 10 марта ортиқдир. Мой иссиқлик ўтказиш хусусиятининг юқори аҳамиятлилиги ҳам шундадир.

Чулғамлардаги ва магнит ўтказгичлардаги ҳарорат тақсимланишини кўрилганда ҳисобни соддалаштириш учун ўзак ва чулғамлар орасида, алоҳида чулғамларнинг орасидаги каби, иссиқлик алмашинуви бўлмайди, чунки улар мой ўтиш оралиғи билан ажратилган деб фараз қилинади.

10.2. Трансформатор магнит ўтказгичининг қизиши

А. ички ҳарорат фарқи. Мойли трансформатор магнит ўзагида ҳосил бўлувчи иссиқлик уч йўналиш бўйича узатилиши мумкин. Бу йўналишлар қуйидагилар: а) пўлат тунукаси ёки унинг ўқи бўйлаб (расм 10.3); б) магнит ўтказгичнинг кўндаланг кесимида ўзак шодаси (пакет) бўйлаб, яъни расм текислигига перпендикуляр йўналишда; в) шу текисликда ўзак шодаси (пакети) га перпендикуляр йўналишда, яъни х ўқи йўналишида. Биринчи икки «а» ва «б» бандлардаги иссиқлик оқимлари ҳарорати фарқи ҳисобга олинмайди, чунки пўлатнинг юқори иссиқлик

ўтказувчанлиги сабабли у ўқи бўйича магнит ўзакдаги ҳарорат бир хил тақсимланади (масалан, расм 10.2 даги 2-эгри чизиқни кўринг).

Аксинча, учинчи турдаги иссиқлик оқими ўз йўлида тунукалараро изоляцияни учратади. Изоляциянинг иссиқлик ўтказувчанлиги электротехник пўлатникидан бир неча ўн марта кичикдир.

Ўзак кўндаланг кесимида х ўқи йўналишидаги ҳарорат ортувини аниқлаш учун қуйидаги фаразларни қабул қиламиз: а) пўлатнинг иссиқлик ўтказувчанлиги изоляциянинг иссиқлик ўтказувчанлигига нисбатан чексиз марта каттадир; б) ўзак шодасининг иккала ён томонлари юзасидаги ҳарорат ортуви мойнинг ҳарорат ортувиغا тенгдир (расм 10.3); в) пўлат бирлик ҳажмидаги қувват исрофлари ўзгармасдир ($P_n = \text{const}$).

Бу соддалаштиришлардан сўнг қилинган таҳлил шуни кўрсатадики, ўзак ўқидан х масофада жойлашган нуқтанинг ҳарорат ошуви τ_x қуйидаги боғланишда экан:

$$\tau_x = \tau_1 + \frac{p_{\Pi} \cdot b^2}{8\lambda_{u,y}} \left[1 - \left(\frac{2x}{b} \right)^2 \right] = \tau_1 + \Delta\tau_m \left[1 - \left(\frac{2x}{b} \right)^2 \right] \quad (10.2)$$

бунда b - ўзак шодаси қалинлиги; $\lambda_{u,y}$ - ўзакнинг х йўналишидаги ўртача иссиқлик ўтказувчанлиги; $\Delta\tau_m$ - ўзак шодасидаги ҳарорат фарқи

$$\Delta\tau_m = \frac{p_{\Pi} \cdot b^2}{8\lambda_{u,y}}.$$

Шундай қилиб, шода кенглиги бўйича ҳарорат ошуви квадратик парабола қонунига бўйсинар экан.

Ҳарорат ошувининг энг катта қиймати ўзакнинг ўқида ($x=0$) бўлиб, қуйидагига тенг:

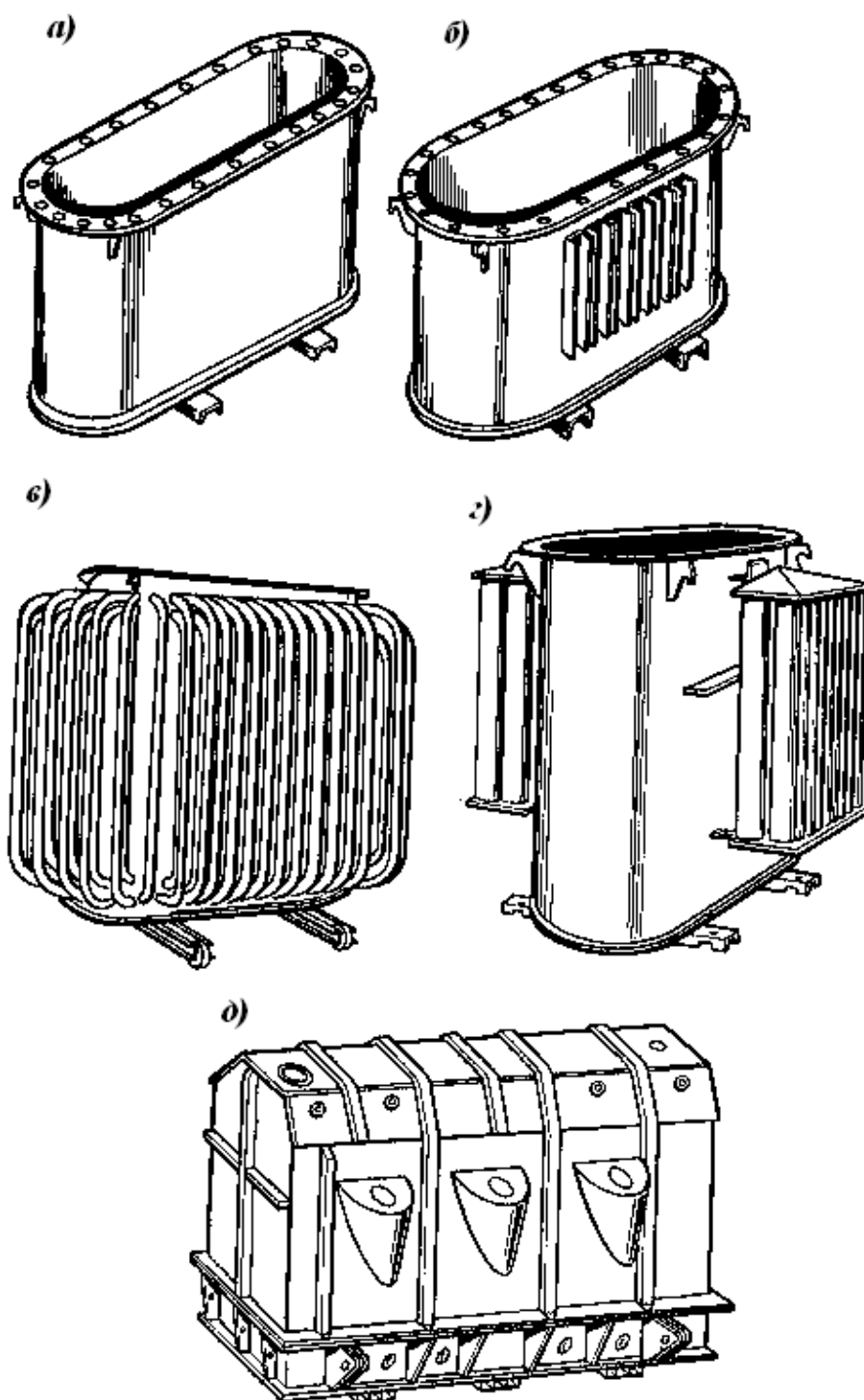
$$\tau_m = \tau_1 + \Delta\tau_m. \quad (10.3)$$

Б. Ўзак юзасидан иссиқликни олиш. Магнит ўтказгичнинг юзасидан совиткич (мой, ҳаво ва ҳ.к.) оқиб ўтиши (ёки магнит ўтказгичнинг юзаси ва совуткич ўзаро тегиши) натижасида иссиқ оқим совуткичга ўтишини ҳисоблашда ўзакнинг ўртача ҳарорат ортуви тушунчаси киритилади ва бунда

$$\tau_{yp} = \tau_1 + \frac{2}{3} \Delta\tau_m = \tau_1 + \frac{p_{\Pi} \cdot b^2}{\lambda_{u,y}}. \quad (10.4)$$

Аксарият ҳолларда $\tau_{yp} = 12 \div 20^\circ\text{C}$ булади. Трансформатор мойига $\lambda_{кв..м} = 80 \div 100 \text{ Вт}/(\text{град} \cdot \text{м}^2)$ бўлганлиги учун, табиий мойли совутишда ўзакнинг

1 м^2 иссиқлик тарқалувчи юзасидан иссиқликни олиш $q_0 = 1000 \div 2000 \text{ Вт}/(\text{град} \cdot \text{м}^2)$ ва ундан ортиқроқ бўлади.



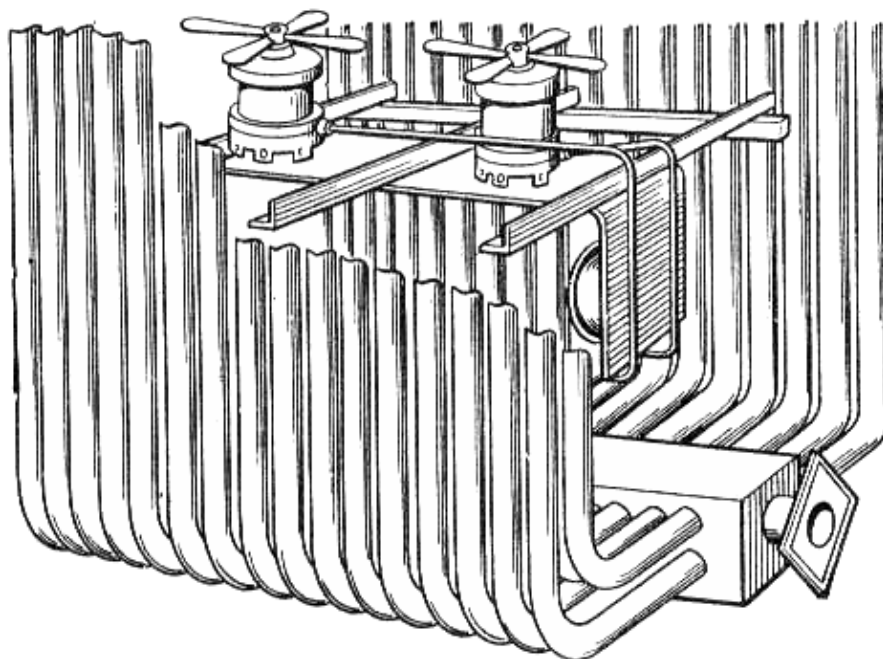
Ўзак шодаси кенглиги катта бўлганда харорат фарқи ($\Delta\tau_m \sim b^2$) ўта катта қийматларга эришиши мумкин. Бундай ҳолларда магнит ўтказгич бир неча кўндаланг ва бўйлама каналли қилиб бажарилади.

10.3. Трансформатор чулғамларининг қизиши

А. Чулғам кенглиги ва баландлиги бўйлаб харорат фарқи.
Чулғамлардаги иссиқликнинг тарқалиш шароитлари магнит ўзакниқидан

анча мураккаброқ ва бир қанча омилларга боғлиқ. Бу омилларга чулғам тури, совутувчи каналларнинг сони, катталиги ва тузилиши ва совутиш турлари кирадилар. Асосан, чулғам кенглиги бўйлаб, юқорида магнит ўтказгичлар учун келтирилган квадратик параболик (расм 10.3) қонунига бўйсинади. Бироқ, трансформатор чулғамининг ташқи ва ички сиртлари совутилиш шароитлари бир хил бўлмаганлиги сабабли ($\tau_1 \neq \tau_2$), ундаги ҳарорат ошувининг энг катта қиймати чулғам ўртасидан унинг чеккасига силжиган бўлади. Расм 10.4 да кўрсатилган чулғам бўйлама кесимининг бир чеккасида тор совутиш канали бўлиб, иккинчи чеккасидан эса мой бемалол оқиб ўтади. Шунинг учун, мазкур чулғам сиртларининг чап (тор каналли) томони сустроқ, ўнг томони эса жадалроқ совутилади.

Шунга ўхшаш, трансформатор чулғами баландлиги бўйича ҳам (расм 10.2, даги 1-эгри чизик) ҳарорат ортуви нотекис тақсимланади. Бунга сабаб, мойнинг пастдан юқорига ҳаракатида унинг ҳарорати ортади (расм 10.2,б даги 3-эгри чизик). Чулғам ҳароратини аниқлашдаги тахминий ҳисобларда, унинг максимал ҳароратини топиш учун қаршилик усули билан



10.4-расм.

аниқланган чулғамнинг ўртача ҳароратининг қийматига 10^0C ни қўшиш мумкин.

Б. Чулғам юзасидан иссиқликни олиш. Трансформатор чулғамининг баландлиги ва кенглиги бўйича ҳарорат тақсимланиши нотекис бўлганлиги учун, ҳисоблашларда мойникига нисбатан чулғамнинг ўртача ҳарорати ортуви τ_m тушунчаси киритилади. Экспериментал тадқиқотлар шуни кўрсатадики, τ_m қуйидаги эмпирик формула билан ифодаланиши мумкин:

$$\tau = k \cdot q_0^n \quad (10.5)$$

Бу ерда k ва n – экспериментал усулда аниқланган ўзгармас коэффициент ва чулғам тури билан совутиш усулига боғлиқ бўлган кўрсаткич даражаси; q – чулғамнинг солиштирма иссиқликдан юкланиши; яъни мойнинг вақт бирлигида чулғамнинг бирлик юзасидан барқарорлик режимида олаётган иссиқлик қийматига тенг. Аксарият, q_0 1^2_m га мос келувчи Ватт билан ўлчанади ($Вт/м^2$).

Агар P_M – чулғамндан ажралаётган иссиқлик қийматининг ҳаммаси бўлса, S_0 – чулғамнинг иссиқлик тарқатувчи юзаси бўлса, у ҳолда

$$q_0 = \frac{P_M}{S_0}.$$

Чулғамдаги P_M нинг қиймати нисбатан катта аниқликда ҳисобланиши мумкин. Аксинча, актив совутилувчи юзанинг қиймати фақат тахминан аниқланиши мумкин. Масалан, чулғамлар расм 10.5,а, б, в да кўрсатилганидек бажарилган бўлса, унда биринчи ҳолда (расм 10.5,а) совутилувчи юзанинг қиймати фақат чулғамнинг ташқи юзаси (кўпинча чулғамнинг ён томонларини ҳисобга олмаган ҳолда) билан аниқланади; иккинчи ҳолатда (расм 10.5,б) ҳисобга чулғамнинг ички ва ташқи юзалари S_0 киритилади ва S_0 нинг 60-70% ни ташкил этувчи чулғамларни маҳкамловчи қисмлар эгаллаган юзани ҳисобга олинади, ниҳоят, учинчи (расм 10.5,в) ҳолда, каналнинг кенглиги $b_k \geq 5$ мм бўлганда, чулғамни маҳкамловчи қисмлар эгаллаган юза билан бирга, ўраманинг ҳамма ташқи юзасини актив деб ҳисоблаш мумкин.

Табиий совутилувчи трансформаторларда рухсат этилган $\tau_M = 25 \div 30$ °C га $q_0 = 1200 \div 1600$ $Вт/м^2$ мос келади; пуркашли совутилувчи трансформаторларда $q_0 = 2000 \div 2500$ $Вт/м^2$; мойни мажбурий циркуляцияли трансформаторларда $q_0 = 2500 \div 3000$ $Вт/м^2$.

10.4. Трансформатор қисмларининг рухсат этилган ҳарорат меъёrlари

Трансформатор барқарор режимида чулғамларнинг ҳарорати атроф-муҳитнинг ҳароратидан ортуви стандартга (ГОСТ 11677-85) кўра қуйидагилардан ошмаслиги шарт:

Мойли трансформаторлар учун изоляция иссиққа чидамлилигининг А туркуми:

- табиий ёки мажбурий циркуляцияли мойнинг оқими чулғам орқали йўналтирилмагандаги - 65 °C;
- мажбурий циркуляцияда мойнинг оқими чулғам орқали йўналтирилгандаги - 70 °C;
- магнит ўзакнинг ва ёрдамчи қисмларнинг юзасидаги ҳарорат (мой ёки бошқа диэлектрикнинг юқори қисмларида) – 75 °C;

- трансформаторни герметик ёки кенгайтиргичли қилиб бажарганда - 60 °C;

- трансформаторни негерметик ёки кенгайтиргичсиз қилиб бажарганда 53 °C.

Қуруқ трансформаторларда стандарт (ГОСТ 8865-70) га кўра изоляциянинг қуйидаги иссиққа чидамлилигининг туркумларида чулғамнинг ҳарорати атроф-муҳитнинг ҳароратидан ортуви ошмаслиги керак:

А - 60 °C; Е - 75 °C; В - 80 °C; F - 100 °C; Н - 125 °C.

Трансформатор айрим қисмлари ҳароратининг атроф-муҳит ҳароратидан юқорида келтирилган ортувлари, трансформаторларнинг номинал режимда узлуксиз ишлаганда атроф-муҳитнинг қуйидаги шароитларига мос келади:

атроф-муҳитнинг табиий ҳарорат ўзгариши +40 °C дан юқори эмас ва -45 °C дан паст эмас;

совуткичга кирувчи совутувчи сувнинг ҳарорати +25 °C дан юқори эмас;

ҳавонинг ўртача кунлик ҳарорати +30 °C дан юқори эмас;

ҳавонинг ўртача йиллик ҳарорати +20 °C дан паст эмас.

Трансформатор алоҳида қисмлари ҳароратининг рухсат этилган ҳарорати меъёридан ошиши биринчи галда изоляциянинг эскиришига олиб келади. Изоляцион модданинг ҳарорати қанча юқори бўлса, унинг эскириши, яъни электрик ва механик мустаҳкамлиги (пишиқлиги) нинг камайиши шунча жадалроқ бўлади. Масалан, ҳозирги замон мойли трансформаторларида кенг қўлланилаётган қоғоз изоляциясининг ҳарорати меъёридан 8 °C га ошса, унинг хизмат муддати икки марта қисқаради. Шу сабабли, чулғам ҳарорати ортувининг меъёри стандартга кўра (ГОСТ 11677-85) шундай белгиланганки, чулғамнинг ўртача йиллик ҳарорати 75 °C бўлганда, йилнинг энг иссиқ вақтида, унинг энг катта ўртача ҳарорати 105÷110 °C дан ошмасин. Бу ҳолда, трансформаторнинг давомли ва қисқа вақтли ўта юкланишлари стандарт (ГОСТ 11677-85 ва ГОСТ 14209-85) да шартланади.

10.5. Трансформаторни совутиш тузилмалари

Ҳозирги пайтда ишлатилаётган трансформаторларни совутиш тузилмалари ва уларнинг ушбу дарсликда қабул қилинган шартли белгилари жадвал 10.1 да келтирилган.

О.Қ ва Қ.Х. турдаги совутишли трансформаторларда актив қисм (магнит ўтказгич ва чулғамлар конструктив деталлари билан) ташқи муҳит ҳавоси билан бевосита алоқада (сопрокосновение) бўлиб, унинг совутилиши ҳавонинг табиий нурланиши ва конвекцияси натижасида амалга оширилади.

ҚГ турдаги совутишли трансформаторларда, унинг актив қисми бокка жойлаштирилиб, газ, масалан элегаз (газсимон олти фторли олтингугурт) тўлдирилади. Бу ҳолда совутилиш газ ва ҳавонинг табиий циркуляцияси натижасида амалга ошади.

Жадвал 10.1

Трансформаторни совутиш тузилмалари ва уларнинг шартли белгилари

	Курук тузилмалари	Шартли белгилари
1.	Очиқ бажарилган ҳаволи табиий совутиш	О.Қ. Қ.Х. Қ.Г. Қ.М.Ц.
2.	Ҳимояланган ҳаволи табиий совутиш	
3.	Герметик бажарилган ҳаволи табиий совутишли	М
4.	Ҳаволи мажбурий циркуляцион совутиш	МТ
5.	Мойли трансформтаорлар	МЦ
6.	Ҳаво ва мойни табиий циркуляциялаб совутиш	
7.	Ҳавони мажбурий циркуляциялаб ва мойни табиий циркуляциялаб совутиш	МЙЦ
8.	Ҳавони табиий циркуляциялаб ва мойни йўналтирилмаган оқимда мажбурий циркуляциялаб совутиш	ММЦ
9.	Ҳавони табиий циркуляциялаб ва мойни йўналтирилган оқимда мажбурий циркуляциялаб совутиш	ММЙЦ
10.	Ҳавони мажбурий ва мойни мажбурий йўналтирилмаган оқимда циркуляциялаб совутиш	ММС
11.	Ҳавони мажбурий ва мойни мажбурий йўналтирилган оқимда циркуляциялаб совутиш	ММСЙ
12.	Сувни мажбурий ва мойни мажбурий йўналтирилмаган оқимда циркуляциялаб совутиш	
13.	Сувни мажбурий ва мойни мажбурий йўналтирилган оқимда циркуляциялаб совутиш	Ё
14.	Ёнмас суюқ диэлектрикли трансформаторлар	ЁМ
15.	Ёнмас суюқ диэлектрикли табиий циркуляциялаб совутиш	
	Ёнмас суюқ диэлектрикли ҳавони мажбурий циркуляциялаб совутиш	ЁМЙ
	Ёнмас суюқ диэлектрикли, ҳавони мажбурий циркуляциялаб ва суюқ диэлектрикли йўналтирилган оқимли	

ҚМЦ турдаги совутишли трансформаторда шамол паррак ёрдамида сунъий равишда ҳаво ҳаракати тезлаштирилади. Шунинг эслатиш керакки, ҳавонинг мойга нисбатан паст иссиқлик ўтказувчанлиги ва электрик мустаҳкамлиги (пишиқлиги) сабабли, куруқ трансформаторлар 1600÷2500 кВ·А гача қувватларда ва 15±20 кВ гача бўлган кучланишларда ишлатиладилар. Бунда улар фақат куруқ ва ҳавонинг нисбий намлиги 80% гача бўлган хоналарда ўрнатилиши мумкин.

М турдаги совутишли трансформаторларнинг актив қисмлари бокка жойлаштирилади. Бокнинг тузилиши трансформатор қувватига кўра хилма-хил бўлади (расм 10.6). Ичига трансформаторнинг актив қисми жойлаштирилган бокка трансформатор мойи (тозаланган минерал мой) тўлдирилади. қизиган чулғам ёки магнит ўтказгичнинг юзалари билан мой тутатиши натижасида қизийди ва унинг зичлиги камаёди. қизиган мой бокнинг юқори қисмига кўтарилади. Кўтарилишида ўзининг деворлари орқали иссиқнинг бир қисмини ташқи муҳитга узатади (расм 10.6). Бокда совутувчи найлар ёки радиаторлар (совуткичлар) бўлганида мойнинг бир қисми улар ичига ўтади ва уларга ўзининг иссиқлигини узатади. Совутилган мой совуткичлардан бокнинг пастки сатҳига киради ва яна магнит ўзакка ва чулғамларга учрайди ва совутиш жараёни такрорланади. Натижада трансформаторнинг қизиган қисмларидан унинг девори ва совуткичларига иссиқликнинг конвекцион узатувчи мойнинг узлуксиз циркуляцион оқими пайдо бўлади. Совуткичлар эса ўз навбатида нурланиш ва ҳавонинг табиий конвекцияси ёрдамида ўз иссиғини ташқи муҳитга узатади.

Қуввати 25-40 кВ·А гача бўлган трансформаторларда силлиқ боклар (расм 10.6,а) қўлланилади. қувват катталашганда трансформатор боки қовурғали (расм 10.6,б) ёки найли (расм 10.6,в) бўлиб, бокнинг совутилиш юзаси сунъий равишда оширилади. Айлана ёки эллипс кесим юзали найлар эгилган учлари билан бокнинг юқори ва қуйи сатҳларига пайвандланадилар. Керакли совутиш юзасининг қийматига кўра, найлар бир, икки, уч, баъзан эса, тўрт қаторга жойлаштириладилар. Найлар қаторини тўрттадан ошириш мақсадга мувофиқ бўлмайди, чунки бу ҳолда ички қаторлардаги найларнинг совутилиши қийинлашади. Масалан, найлар уч қатор жойлаштирилганда, бир қатор жойлаштирилганга нисбатан уларнинг иссиқлик узатиш самараси 83% бўлса, олти қатор бўлганда 50% гача камаёди. Найли боклар қуввати 1600 кВ·А гача бўлган трансформаторларда ишлатилади. Найли бокар билан бир қаторда, қуввати 63 – 6300 кВ·А бўлган ҳозирги замон трансформаторларида осма найли радиаторли (расм 10.6,г) боклар кенг қўлланилмоқда. Уларда найли бокларга нисбатан анча каттароқ совутиш юзаси ҳосил қилиш мумкин.

МТ турдаги совутишли трансформаторларнинг радиаторлари ёки бок ташқи деворлари бўйлаб ҳавони мажбурий йўналтирувчи шамол паррак

(вентилятор) лар ўрнатилади (расм 10.7) ва улардаги мой табиий циркуляцияланади. Бу ҳолда иссиқлик узатиш М турдаги совутишли трансформаторлардагидан тахминан икки марта ортади. Бундай совутиш турлари қуввати 10000-80000 кВ·А бўлган трансформаторларда ишлатилади. Агар трансформаторнинг юкланиши номиналнинг 50% дан ошмаса, ўчирилган шамолпарракларсиз узок вақт ишлашга рухсат этилади.

Шуни таъкидлаш керакки, акти қисмларининг массаси 25 Т дан ортиқ бўлган трансформаторлар боклари кўнғироқсимон бажарилиб, қовуштиргич (улагич ёки разъем) лари бокнинг қуйи қисмида (расм 10.9,д) жойлаштирилади. Бундай тузилиш трансформаторнинг актив қисмини бокдан чиқармасдан таъмирлашга имкон беради. Натижада катта юк кўтаришлик даражаси (грузоподъемность) га эга бўлган юк кўтаргичларга эҳтиёж бўлмайди. Ундан ташқари, кўнғироқсимон бокли трансформаторлар кенглиги темир йўл габаритларидан кичик экани, уларни ташиш имкониятини оширади.

МЦ ва МЙЦ турдаги совутишли трансформаторларнинг ҳар бир совуткичида циркуляцияланувчи мойнинг оқимини тезлатиш учун насослар ўрнатилади. Мойнинг таркибига ҳаво кирмаслигини таъминлаш мақсадида насос ва унинг электр юриткичи мойўтказгичнинг таркибий қисми сифатида бажарилади. Бундан ташқари, МЙЦ совутиш тизимида махсус йўналтирувчи мосламалар (расм 10.7) бўлиб, улар ёрдамида чулғам ва магнит ўтказгич каналларида магнит йўналтирилган ҳаракати таъминланиб, иссиқлик узатишни оширади ва трансформатор савлатини камайтиради. МЦ ва МЙЦ совутиш тизимларининг насосларини ўчирганда, номинал юкнинг 30-40% дан ошмаган юкланиш билан трансформаторнинг узок муддат ишлашига рухсат этилади.

ММЦ ва ММЙЦ турдаги совутишли трансформаторларда махсус кичик савлатли совуткичлар (расм 10.8) орқали мойнинг мажбурий циркуляцияси ҳосил қилинади. Бундай совуткичларда мой махсус юпқа деворли қовурғали найчалар орқали оқади. Найларнинг ташқи томонидан ҳаво пуркалиши, ҳар бир совуткичдан 200 кВт гача қувват исрофи тарқалишига олиб келади. Бундай совутиш тизими қуввати 80000-400000 кВ·А бўлган кучли трансформаторларда қўлланилади.

ММС ва ММСЙ турдаги совутишли трансформаторларда мойни совуткичдан мажбурий циркуляциялаб, совуткичлардан мажбурий циркуляцияланган сув оқими ҳосил қилинади. Бундай совуткичлар (расм 10.9) да сув найлардан оқиб, мой эса махсус йўналтирувчилар билан жихозланган ва совутиш самарасини кескин оширувчи найлараро бўшлиқдан ўтказилади. Мазкур совутиш тизими ММЦ тизимидан самаралироқдир. Чунки майдон сувга иссиқлик ўтказиш коэффициенти мойдан ҳавога иссиқлик ўтиш коэффициентида кататроқдир. Шу туфайли сувли совуткичлар ҳаво совуткичларидан ихчамроқ бўлиб, 1000 кВ·А гача қувват исрофини тарқатишлари мумкин. Аммо, бу совутиш тизимлари

учун жуда катта микдордаги совутиш суви бўлиши шарт ва трансформаторнинг юксиз ишлаган режимда ҳам насосни ўчириш таъқиқланади.

Ё, ЁМ ва ЁМЙ турдаги совуткичли трансформаторларда актив қисм синтетик ёнмас ва оксидланмайдиган суюқлик – совтол (бошқа номлари клофен, пиранол, пирохлор ва б.) тўлдирилган бокка жойлаштирилади. Совтол, бу савол (полихлордифенил) ва трихлорбензолнинг аралашмасидан иборат. Совтолни мўътадил иқлимли минтақаларда ишлатилганда унинг таркибида 65% савол ва 35% трихлорбензол, тропик иқлимли минтақаларда ишлатилганда 90 ва 10% бўлади. Трихлорбензолни қўшиш билан суюқликнинг қовушқоқлиги ва қотиш ҳарорати камайтирилади. Совтол трансформатор мойига ўхшаш электр изоляциялаш хусусиятига ва у билан бир хил иссиқлик ўтказишга эга. Бироқ, совтол трансформатор мойидан қимматроқ, захарлироқ бўлиб, совутиш тизимининг юқори даражадаги герметизацияланишини тақозо этади.

10.6. Мойли трансформаторлар совутиш тизимларининг ёрдамчи ускуналари

Мойли трансформаторлар совутиш тизимларининг ёрдамчи ускуналари мой ҳолатини назорат қилиш, уни атроф-муҳит ҳавоси таъсиридан ҳимоялаш ва трансформаторнинг ички шикастлари натижасида бокнинг парчаланишидан ҳимоялаш учун қўлланилади. Ёрдамчи ускуналар қаторига қуйидаги асосий ускуналар киради: кенгайтиргич, мой сатҳи кўрсаткичи, термометр ёки термометрик хабарловчи (сигнализатор), ҳаво қурутгич, термосифон саралагич (фильтр), газ релеси, чиқарувчи най ва бокнинг арматураси.

Кенгайтиргич – трансформатор эксплуатацияси жараёнида ҳар қандай ҳарорат ўзгариши натижасида содир бўлувчи бокдаги мой сатҳининг ўзгаришини компенсациялаш ва бокдаги мойга атроф-муҳит ҳавоси таъсир этишидан асраш учун хизмат қилади. қуввати 25 кВт ва кучланиши 5 кВ дан ктата бўлган барча мойли трансформаторларда ўрнатилади. Тузилиши жиҳатидан кенгайтиргич пўлат цилиндрик идиш шаклида бўлиб, горизонтал ҳолатда бок қопқоғи устига ўрнатилади ва у билан най орқали уланади (расм 10.10). Кенгайтиргич ҳажми бокдаги мой ҳажмининг 10 % ини ташкил этади. Кенгайтиргичдан фойдаланиш натижасида мойнинг муддатидан илгари оксидланиши бартараф этилади, чунки, биринчидан, кенгайтиргичдаги мойнинг ҳаво билан туташган юзаси трансформатор бокидагидан анчагина кичикдир, иккинчидан, кенгайтиргичдаги мойнинг ҳарорати, бокнинг юқори сатҳидаги ҳароратдан пастроқ ва учинчидан, кенгайтиргичдаги мойнинг циркуляцияси бўлмаганлиги сабабли, унга атроф-муҳитдан тушадиган сув ва ундаги

оксидланиш маҳсулотлари кенгайтиргич тубига йиғилади ва трансформатор бокига тушмайди.

Мой сатҳи кўрсаткичи трансформатордаги мойнинг сатҳини назорат қилиш учун қўлланилади ва кенгайтиргичнинг Қ.К. томонидаги ёнига, кенгайтиргичсиз трансформаторларда эса – бок деворининг юқори қисмида ўрнатилади. Кенгайтиргичда ёки бевосита мой кўрсаткичда учта назорат чизиғи кўрсатилиб, улардан ҳар бири трансформатор ишлаётгандаги атроф-муҳит ҳарорати -45°C , $+15^{\circ}\text{C}$ ва $+40^{\circ}\text{C}$ (расм 10) бўлгандаги мойнинг сатҳини кўрсатади.

Термометр бокдаги мойнинг юқори қисмларидаги ҳароратни ўлчаш учун мўлжалланган бўлиб, унинг қопқоғида ўрнатилади. қуввати 630 кВ·А гача бўлган трансформаторларда 0 дан 15°C гача даражаланган шкалали симоб шиша термометри ўрнатилади. Нормал ишланган 1000 кВА ва ундан каттароқ бўлган трансформаторларда, шунингдек, қуввати 160 кВ·А ва ундан катта бўлган герметик трансформаторларда ҳароратни назоратлаш мақсадида бокнинг деворига термометрик хабарловчи (сигнализатор) ўрнатилади (расм 10.11). Совутиш турлари МТ, МЦ, МЙЦ, ММЦ, ММЙЦ, ММС ва ММСЦ бўлган трансформаторларда иккитадан термохабарловчи ўрнатилади. Улардан бири мой ҳароратини ўлчаса, иккинчиси насослар ва шамолпарракларни автоматик бошқариш учун қўлланилади.

Ҳаво қуруткич – трансформатор ҳарорати ўзгаришидан унинг сатҳи тебраниши натижасида бокка кираётган ҳавони намлик ва ифлосланишдан тозалаш учун қўлланилади. қуввати 630 кВ·А гача бўлган трансформаторларда ҳаво қуруткич кенгайтиргич (расм 7.10) билан бирга бўлади. қуввати 1000 кВ·А ва ундан катта бўлган трансформаторларда кенгайтиргичнинг устига ўрнатилган мойли тўсикли метал цилиндр (расм 7.8 ва 7.11) бўлиб, унинг ичига силикагель тўлдирилади. Кенгайтиргичдаги мой сатҳи пасайганда, трансформатор сўраётган ҳаво силикагель қатламларидан ўтиб қурилади (намдан тозалайди). Кенгайтиргичда мойнинг сатҳи кўтарилганда ортиқча ҳаво юқорида келтирилган йўналишга тесқари ўтади. Кучланиши 220 кВ ва ундан ортиқ бўлган трансформаторларда мойни оксидланишдан пухтароқ химоялаш учун азотли химоядан фойдаланилади. Бунда кенгайтиргичдаги мойдан қолган фазога азот тўлдирилади, кенгайтиргич эса, ёки герметик беркитилади, ёки эластик парда билан беркитилади.

Термосифон саралагич қуввати 1000 кВ·А ва ундан катта трансформаторларда ўрнатилиб, мойни узлуксиз автоматик тиклайди. 1985 й. гача термосифон саралагич қуввати 160 кВ·А ва ундан юқори бўлган трансформаторларга ўрнатилад эди. Термосифон саралагичларнинг қўлланилаётган турлари расм 7.12 да келтирилган.

Термосифон саралагич ЙҒЙС навли (йирик ғовакли йирик силикагель) силикагель билан тўлдирилади. У мойдан нам, мой ва

трансформатор қаттиқ изоляциясининг эскириши натижасида ҳосил бўлувчи тошқол, кислота ва пероксид бирикмаларини шимиб олади.

Газ релеси кенгайтиргични бок билан боғловчи найга ўрнатилади. Трансформаторнинг ички шикастлари (чулғамлардаги ўрамлар қисқа туташуви, изоляциянинг тешилиши, магнит ўзак «пўлатдаги ёнғин» ва ҳ.к.) натижасида газ ажралиб чиқишида газ релеси ишга тушиб, трансформаторни ҳимоялайди (расм 7.8.). газ релесининг тузилиш принципи расм 7.13 да кўрсатилган. Реленинг ичида икки 1 ва 2 пўкаклар жойлашган. Уларга симобли шиша қайтаўчиргич 3 маҳкамланган. Нормал ҳолатда реле мой билан тўлдирилган, пўкаклар юқори ҳолатда ва контактлар уланмаган. Трансформаторнинг ичида суств газ ажратувчи ички шикаст пайдо бўлганда, бокдаги газ юқори кўтарилади, релега киради ва ундаги мойни кенгайтиргичга сиқиб чиқаради. Натижада 1 пўкак пастга тушади ва овоз хабарловчининг контактини улайди. Ўйроқроқ ички шикастланиш натижасида газ ажралиши жадаллашади, натижада мойнинг кучли оқими реле орқали кенгайтиргичга ҳаракатланади, пўкак 2 мой ўйналишида улоқтирилади ва унинг контактлари уланиб, трансформаторни тармоқдан узишга олиб келади. Реленинг ишга тушиш вақти 0,1 с. Газ релеси қуввати 1000 кВ·А ва ундан катта трансформаторларда ўрнатилади.

Чиқарувчи (эҳтиётловчи) най трансформатор бокини мойнинг кучли босимларидан ҳимоялайди. Трансформаторнинг ички шикастлари натижасида электр ёйи ҳосил бўлиб, катта миқдорда газ ажралади ва бок ичидаги босим кескин ошади. Чиқарувчи най бок қопқоғига (расм 7.8) ўрнатилади. Найнинг пастки учи қопқоқдаги тешик орқали бок билан боғланган, юқоридаги учи эса мембрана (шиша гардиш) билан беркитилган. Трансформатор боки ичида босим ошганда ва трансформаторни тармоқдан узувчи ҳимоялар ишламас, шиша мембрана синади ва газлар билан мой ташқи муҳитга ташланади. Чиқарувчи найлар қуввати 1000 кВ·А ва ундан катта трансформаторларда қўлланилади.

Бок арматураси трансформаторга мой қўйиш, намуна учун мой олиш, оқизиб юбориш ва мойни тозалаш учун хизмат қилади. Уларга кранлар, вентиллар, тўсиқлар киради.

ЎН БИРИНЧИ БОБ

МАҲСУС ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Ўзгарувчан токни ўзгармасга ва аксинча ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантиришлар илгари электр машиналари “электр машинали ўзгарткичлар” ёрдамида амалга оширилган эди. Бугунги кунда уларнинг ўрнини ихчам ва арзон нархли ўзгарувчан токни ўзгармасга айлантирувчи тўғрилагичлар (вўпрямители) ва ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантирувчи инвертор агрегатлари эгалладилар. Бу агрегатларнинг барчасида ҳозирги замон техникасида аҳамияти жуда катта бўлган трансформаторлар иштирок этади. Аксарият ўзгарткич

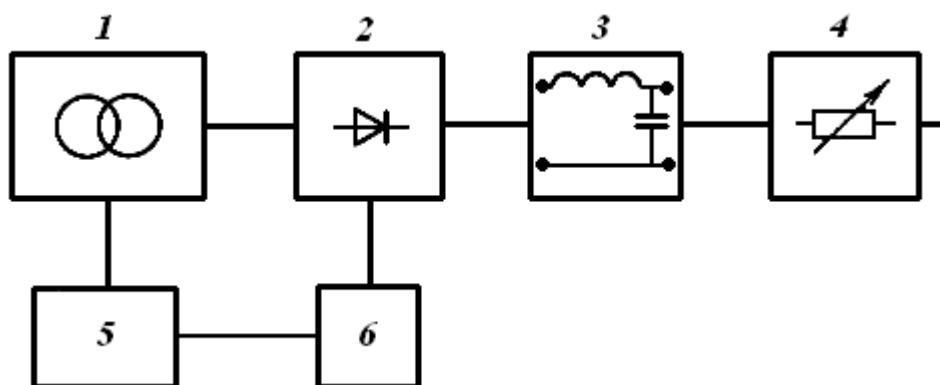
трансформаторларнинг чулғамларидан носинусоидал тоқлар оқади. Ишлатилаётган ўзгарткич схемалари турига қараб трансформаторларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш муаммолари турлича бўлади. Кўпгина трансформаторларнинг нисбатан кичик бўлган чиқиш кучланишларида ток қийматлари юзлаб килоамперни ташкил этади.

11.1. Ўзгарткич техникасида қўлланилувчи трансформаторларнинг таснифи

Юқорида таъкидланганидек, ўзгарувчан токни ўзгармасга ва аксинча айлантиришга электр машинали ва статик ўзгарткичлар қўлланилади. Схемалари мотор-генетор ёки бир якорли ўзгарткичдан иборат бўлган электр машинали ўзгарткичлар ўрнини энергетик кўрсаткичлари баланд, нархи арзон ва эксплуатацион харажатлари кичик бўлган статик ўзгарткичлар кейинги ўн йилликлар мобайнида деярли буткул эгалладилар.

Статик ўзгарткичлар деб ярим ўтказгичли диод ва тиристорлари (ёки транзисторлари) бўлган ўзгарткичларга айтилади.

Ўзгарткич агрегатлари таркибига кўп ҳолларда уларнинг энергетик курсаткичларини юқори кўтарувчи кучли трансформаторлар ҳам киради. Ўзгарткичлардаги қувват исрофлари қувватнинг 2÷5% ини ташкил этса, бу қийматнинг 30-50% трансформаторларда иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқади. Статик ўзгарткичлар таркиби учун кучли трансформаторлардан ташқари, қўшимча индуктив ускуналар ҳам ишлаб чиқарилади. Улар қаторига мувозанатловчи, катодли ва тўлқинларга ҳалақитли (помехозаҳитнўе) реакторлар, анодли бўллагич, тўйиниш дросселлари, стабиллаш ускуналари ва ³ бошқалар киради (11.1-расм).



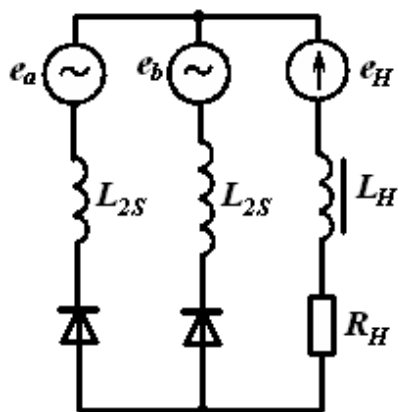
11.8-расм. Ўзгарткич агрегатнинг тузилиш схемаси
1 – трансформатор; 2 – вентиль схемаси; 3 – силлиқлаш фильтри; 4 – юк;
5.6 – кучлашни фазали бошқариш тизими элементлари.

Ҳозирги пайтда ўзгарткич ускуналари учун туркум қувватлари 400-20000 кВ·А бўлган, юкланган ҳолда кучланишни ростловчи туркум қувватлари 1600-80000 кВ·А бўлган мойли трансформаторлар, 10-3200 кВ·А қувватли қуруқ трансформаторлар ва ёнмайдиган суюқликли қуввати 200-2000 кВ·А бўлган трансформаторлар ишлаб чиқарилмоқда. Уларнинг бир қанча турдагилари республикаimizдаги Чирчиқ трансформатор заводи ва бошқа кичик корхоналарда чиқарилмоқда.

Ушбу трансформаторлар 50 кА гача бўлган ток билан ўзгарткич ускуналарини таъминлайдилар. Ҳозирги кунда 200 кА токкача бўлган 200 мВ·А қувватли трансформаторлар лойиҳаланаёпти.

Республикаimiz ва баъзи чет давлатларида ишлаб чиқарилаётган ўзгарткич трансформаторларининг асосий тавсифлари 11.1-жадвалда келтирилган.

Ўзгарткич агрегатлар трансформаторлари мўлжалланишига кўра қуйидаги туркумларга бўлинадилар:



11.9-расм.

а) рангли металлургия ва химия саноати электролиз ускуналари тўғрилагичлари учун;

б) вентилли электр юритмалари қурилмалари учун;

в) электрлаштирилган транспорт учун;

г) ёйли плазма ускуналарини таъминлаш учун;

д) синхрон машиналарининг вентилли қўзғаткичлари учун;

е) ўзгармас токли электр узатиш линиялари ва кондукцион (магнетогидродинамик) генераторлар учун.

Ўзгарткич трансформаторлари эксплуатацияси жараёнида қўлланиладиган атамашуносликка мувофиқ, бирламчи чулғам – тармоқ кучланиши уланадиган чулғами тармоқ чулғами деб аталади; иккиламчи чулғам – схеманинг вентиллари уланадиган чулғами вентил чулғами ёки схема чулғами дейилади.

Уч фазали ўзгарткич трансформаторлар тармоқ чулғамлари «юлдузча» ёки «учбурчак» усулда уланадилар, вентил чулғамлари учун эса оддий ва мураккаб схемаларга бўлинувчи ҳар турдаги бир неча улаш усуллари мавжуддир.

Вентиль чулғамларининг қуйидаги оддий схемалари мавжуд:

- ажратилган ёки юлдуз – оддий юлдуз, қўшюлдуз, оддий z-симон, қўш z-симон ва икки карра қўш z-симон; z-симон схемалар тенг томонли ва ҳар хил томонли, мос йўналган ва қарама-қарши йўналган бўлиши мумкин;

- берк – учбурчак ва кўпбурчак (олтибурчак).

Мураккаб схемалар ўзаро боғланмаган оддий схемалар мажмуасидан ёки улар комбинациясидан иборат бўлади.

Вентиль чулғамларининг кўп қўлланиладиган схемалари ўзгарткич агрегатларнинг принципиал схемалари 11.4-11.11-расмларда келтирилган.

11.1-жадвал

Ўзгарткич трансформаторларининг асосий параметрлари

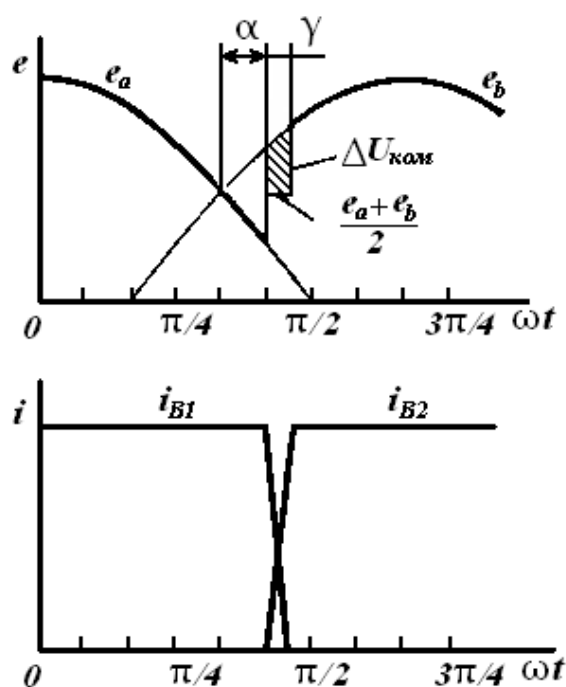
Қўлланиш соҳаси	Тўғриланган кучланиш қиймати, В	Тўғриланган ток қиймати, А	Трансформаторнинг туркум қуввати, кВА	Тармоқ чулғами кучланиши, кВ	Кучланишни ростлаш	Трансформаторнинг совутиш тизимининг тайёрланиши
Электр-лиз ускуналари	75; 150; 300; 450; 600; 850	6300; 12500; 25000; 50000; 63000	2500-80000	6; 10; 35; 110	Кучланишни юкли ростлаш (КЮР)	Мойли табиий, пуркатиб ва циркуляцияли совутиш
Электрлаштирилган темир йўл транспорти	3300; 3700	1600; 3200	2500-20000	6; 10; 35; 110	КЮР қўзғатишси з қайта улаш (қСқУ)	Мойли табиий ва пуркатиб совутиш
Шаҳар электрлаштирилган транспорти	-600; 825	1000; 1600; 20000; 3200	800-4000	6;10	қСқУ, КЮР	Мойли табиий совутиш; курук
Ўзгарувчан токли контакт тармоқли электро-возлар	1350-4200	600-4000	2000-6300	25	қСқУ	Мойли жадаллаштирилган совутиш
Вакуумда ёйли ва плазматрон электр печлари	75; 300; 460; 600; 825	3200; 6300; 10000; 12500; 25000; 40000; 50000	2000-25000	6; 10	КЮР	Мойли табиий ва пуркатиб совутиш
Гальвано-техника, металллар	6; 12; 24; 36; 48	100; 330; 400; 630; 1000; 1600; 3200;	0,38; 10-4000	0,38; 6; 10	қЮқУ	курук; совтолли; мойли табиий

-га электро- кимёвий ишлов бериш		12500; 25000				совутиш
Ўзгармас ток электр юритма- лари	115; 230; 460; 660; 825; 1050	50-25000	10-40000	0,38; 6; 10; 35; 110	қЮқУ КЮР	курук; совтолли; мойли табиий ва пуркаб совутиш
Синхрон машиналар статик қўзғатки чи	110-825	100-4000	100-6300	0,38; 3; 6; 10; 15; 20	қЮқУ	курук; мойли табиий совутиш

Бир фазали ўзгарткич агрегатлари асосан «ўрта» нуктали (11.4-расм) ва кўприксимон схемалар ёрдамида бажарилади.

Аксарият ҳолларда ўрта ва катта қувватли ўзгарткич агрегатлари уч фазали кучланиш тармоғидан таъминланадилар; бу эса уч-; олти- ёки ўн икки фазали ўзгарткич схемасини ҳосил қилиш имконини беради.

Уч фазали «нол» нуктали схема ўрта қувватли агрегатларда (11.7-расмга қаранг) қўлланилади. Олти фазали кўприксимон (11.11-расм) ва мувозанатловчи реакторли (11.10-расм) ўзгарткичлар кенг тарқалган ҳисобланади.



11.10-расм.

Оддий вентиль схемаларининг йиғиндисидан иборат бўлган мураккаб вентиль схемаларидан таъминланувчи кўприксимон схемалар оддий схемаларнинг яхши фазилатларини сақлаб қоладилар ва бирламчи тармоқдан олинаётган чулғанинг токи шаклини кескин яхшилашга, ҳамда тўғриланган кучланишнинг пульсланишини камайтиришга имкон беради.

11.2. Ўзгарткич трансформаторлари фазалари орасидаги токнинг коммутацияси

Ўзгарткич трансформаторларининг икки-ламчи чулғамларига уланган вентиллар (11.2-расм) галма-галлик билан ток ўтказадилар. Бу тоklar оқими вентиль чулғамлари ҳар бир фазалари оний қийматларининг даврий ўзгариб туришига боғлиқ бўлиб, юк билан учала фаза чулғамларини боғлайди; ушбу фаза вентили токининг оқими, кўрилаётган вақт оралиғида шу фаза кучланишининг оний қиймати бошқа фазаларниқидан катта бўлганда вужудга келади.

Бу вентиллар анодидаги потенциал катоддагига нисбатан мусбат бўлганда ўтказувчанлик ҳолатида бўладилар. қолган вентиллар эса (шу онда) тескари кучланиш таъсирида ёпиқ ҳолатда бўлиб, оний қийматлари кичик бўлган кучланишли чулғамларни узадилар.

Ушбу фазалар вентиллари очилишининг галма-галлик муносабати бошқарилмайдиган вентилли (диодли) ўзгарткич схемаларига хосдир. Бошқарилувчи вентиллар (масалан тиристорлар) қўлланганда мазкур электродларга бошқарувчи сигналлар берилгандагина тиристор очилади ва потенциали каттароқ бўлган чулғамдан юкка узатилаётган кучланишни ўтказаетган тиристорнинг очилиш они ўзгариб бироз кечикиш ҳосил қилиш мумкин. Айнан шу ҳодисага, диодни очик ҳолатига ўтиш онига нисбатан тиристор очилишини кечиктириши натижасида тўғриланган кучланиш қиймати максимал қийматига нисбатан камайишини таъминловчи жараёнга тўғриланган кучланишнинг фазовий бошқарилиши дейилади.

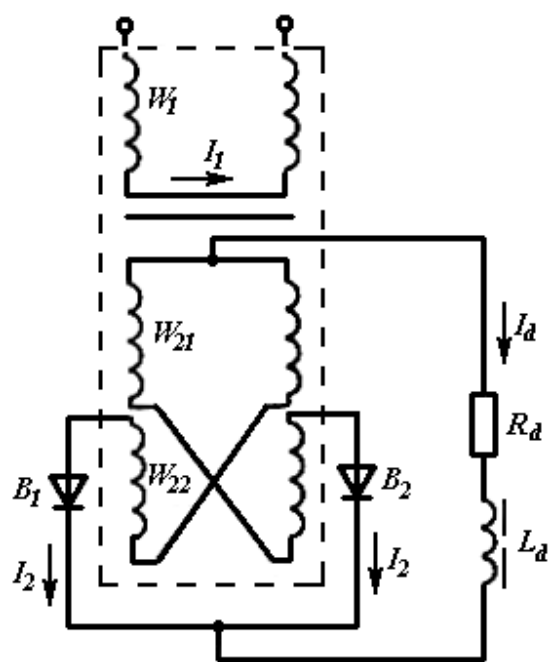
Ўзгарткич вентилларининг галма-гал ишлашидаги ток оқиши жараёнининг бир вентилдан иккинчи вентилга ўтказилиши коммутация жараёни (коммутацион ён) дейилади ва ўзгарткич агрегати ишлаш жараёни ёни учун катта аҳамиятлидир. Вентиллар ва, демак ўзгарткич трансформаторлари фазалари орасидаги токнинг коммутацияси умумий анодди ёки катодди чиқиш клеммалари бўлган жуфт вентиллардан иборат бўлган контурларда ва ушбу вентиллар уланган схема чулғамларида таъсир этувчи ЭЮК га боғлиқ.

Ушбу ЭЮК нинг коммутацион оралиқдаги ишораси ўзгарткич юкининг ток оқаётган вентил ўтказиш йўналишига мос бўлади, кўрилаётган жуфт вентилнинг иккинчиси учун эса бу ишора беркитувчи ҳисобланади. Жуфт вентиллар контуридаги ЭЮК нинг ишораси ўзгариш онидан бошлаб коммутация жараёнини имкони туғилади; бу жараён оддий

бошқарилмайдиган вентилларда ЭЮК нинг ишораси ўзгариши они билан дарҳол бошланса, бошқарилувчи вентилларда эса тиристор очилиш онининг силжишини таъминлайдиган α бурчагига кечикади.

Узилаётган ва ишга тушаётган вентиллар орасидаги ток коммутацияси жараёнининг давомийлиги трансформатор чулғамларининг тарқоқ индуктивлигини қиймати билан аниқланади; маълумки ушбу индуктивлик юк токининг бир вентилдан иккинчи вентилга бир онда ўтишига йўл қўймайди. Бунда тўғриланган ток қиймати икки фаза ёки вентиллар токлари йиғиндисига тенг бўлади; вентиль чулғамларининг ЭЮК лари эса вентиллар орқали иккиламчи чулғам тарқоқ индуктивликларига қуйилган бўлади.

Биринчи вентиль токи коммутация контури ЭЮК нинг таъсири натижасида камаяди, иккинчи вентилнинг токи эса нол қийматдан бошлаб орта бошлайди. Биринчи вентилнинг токи нолгача камайгандан сўнг шу вентиль тескари кучланиш таъсирида бўлади ва барча юк токи иккинчи вентил орқали оқа бошлайди; яъни бир жуфт вентиллар орасидаги коммутация жараёни тамом бўлиши билан иккинчи жуфт вентиллар орасидаги коммутация жараёни бошланади; бун эюк токи фақат битта вентилдан оқади.



11.11-рasm.

Кўпгина ҳолларда коммутация оралиғини шундай ошириш имкони яратиладики, бунда кейинги жуфт вентиллар коммутацияси бошланишида биринчи жуфт вентиллар коммутацияси тугамайди ва бир вақтнинг ўзида бир неча (уч ёки тўрт) вентил орқали ток ўтказилади. Эътиборга кўпроқ лойиқ бўлган жараён – коммутациялараро ораликда катод ёки анод гуруҳларининг бир вентили очилишидир; бу жараён оддий қоплаш деб аталади. қоплашнинг давомийлиги коммутацияланувчи чулғамлар орасида ток тақсимланишига зарур бўлган вақт оралиғига боғлиқ ва демак, қоплаш бурчаги ва давомийлиги, биринчи галда, трансформатор чулғамлари

тарқоқ индуктивлигига ва ўзгарткич юкининг токи қийматига боғлиқ экан.

Коммутацион жараён таҳлил қилинганда иккиламчи ЭЮК ни юксиз ишлаш ЭЮК га тенг бўлмаган вақтнинг синусоидал функцияси деб қабул қилинади; асосий аниқловчи қийматлар деб тўғриланган кучланишнинг ва коммутация бурчагининг қийматлари қабул қилинади.

Коммутацион ораликда беркилаётган иккиламчи чулғам (11.2-расм) нинг э.ю.к.и $e_{2a} = E_{2m} \cos(\omega t + \pi/m + \alpha)$ га тенг, очилаётган чулғамнинг э.ю.к.и эса

$$e_{2b} = E_{2m} \cos(\omega t - \pi/m + \alpha) \quad (11.1)$$

бўлади.

Умумий ҳолда юк занжири, яъни тўғриланган токнинг занжири кетма-кет уланган индуктивлик ва актив қаршиликлардан, ҳамда вақтнинг ихтиёрий функциясида бўлиши мумкин бўлган тескари эюк дан иборат бўлиши мумкин. қоплашгача бўлган ораликда бир контур биринчи вентиль орқали беркилган бўлади ва ушбу контур учун э.ю.к. лар тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$u_\alpha = e_H + R_H id + L \frac{di_a}{dt} = e_{2a} - L_{\sigma 2} \frac{di_a}{dt}. \quad (11.2)$$

қоплаш оралиғида тизимнинг ишлаш режими икки вентилларнинг контури учун икки тенглама билан ифодаланиши мумкин:

$$u_d = e_{2a} - L_{\sigma 2} \frac{di_a}{dt}, \quad (11.3)$$

$$u_d = e_{2b} - L_{\sigma 2} \frac{di_b}{dt}, \quad (11.4)$$

бунда $L_{\sigma 2}$ - иккиламчи чулғамнинг тарқоқ индуктивлиги.

Тенгламаларда (8.4) дан (8.3) ни айириб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$e_{2b} - e_{2a} = L \left(\frac{di_b}{dt} - \frac{di_a}{dt} \right) = 2L_{\sigma 2} \frac{di_b}{dt}. \quad (11.5)$$

Коммутация жараёнига деярли таъсир қилмайдиган чулғам актив қаршилигини ушбу жараённи таҳлил қилишда эътиборга олмаса бўлади.

Коммутация оралиғида тўғриланган кучланишнинг қийматини 8.3-расмдан келиб чиққанидек, коммутация оралиғидаги кучланиш пасаяювига мос келган э.ю.к. фарқининг ярмисига тенг:

$$u_d = (e_{2a} + e_{2b})/2 = e_{2b} - (e_{2b} - e_{2a})/2. \quad (11.6)$$

Тенгликлар (8.1) ва (8.5) асосида қуйидагини ҳосил қилиш мумкин:

$$\frac{E_{2m}}{2\omega} \int_0^{\gamma} \left[\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{m} + \alpha\right) - \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{m} + \alpha\right) \right] d\omega t = L_{\sigma 2} \int_0^{\gamma/\omega} di_b = I_d L_{\sigma 2} \quad (11.7)$$

ва умумий ҳолда коммутацион оралик давомлилиги γ қуйидагича ифодаланади:

$$\sin\left(\frac{\pi}{m} + \alpha\right)(1 - \cos \gamma) = \frac{I_d X_{\sigma 2}}{E_{2m}}. \quad (11.8)$$

Хусусий $\alpha \neq 0$ бўлган ҳолат учун бошқарилмайдиган тўғрилагичнинг қоплаш бурчаги ҳосил бўлади.

Кучланиш коммутацион пасайишининг ўртача қиймати қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\Delta u_k = \frac{m}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{e_{2b} - e_{2a}}{2} dt = \frac{mE_{2m}}{4\pi} \int_0^{\frac{\pi}{m}} \left[\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{m} + \alpha\right) - \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{m} + \alpha\right) \right] d\omega t =$$

$$= \frac{mE_{2m}}{2\pi} \sin\left(\frac{\pi}{m} + \alpha\right) (1 - \cos \alpha). \quad (11.9)$$

11.3. Ўзгарткич трансформаторлар параметрларининг тўғрилаш схемасига боғлиқлиги

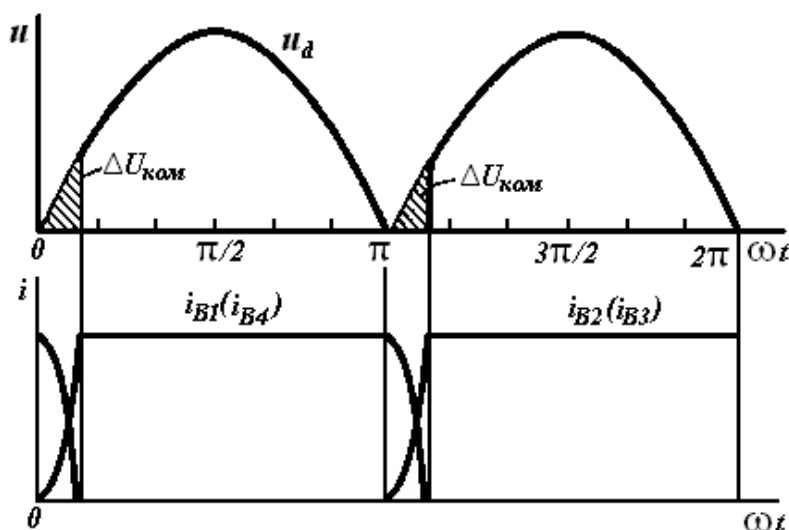
Ўзгарткич трансформаторларини лойиҳалаш (ёки танлаш) учун бажариладиган ҳисоблашларда дастлабки қийматлар сифатида тўғриланган кучланиш u_d , ток I_d ларнинг ўртача қийматлари ва тармоқ кучланишининг эффе́ктив қиймати u_1 қабул қилинади.

Трансформатор асосий параметрларини ҳисоблаш учун қўлланиладиган боғланишлар таркибида бошқарилмайдиган ўзгарткичларда коммутацияларро ва коммутацион ораликлар қатнашадилар; бу боғланишлар бошқарилувчи ўзгарткичларда тўғриланган кучланишнинг энг катта қийматларига мос келади.

Бир фаза́ли икки ярим даврли ўртача нуқтали тўғрилаш схемаси

Ушбу схемада (11.4-расм) $L = \infty$ га мос келувчи тўғриланган ток идеал силлиқланган деб фараз қилинади (11.5-расм).

Коммутацион жараёни ҳисоблаш учун ишлатиладиган ифодаларни (11.8) ва (11.9) тенгламалар ёрдамида аниқланади; бунда тенгламалардаги иккиламчи чулғам тарқоқ индуктивлиги трансформаторнинг тўла тарқоқ



11.12-расм.

индуктивлиги билан алмаштирилади; тўла тарқоқ индуктивлик эса трансформаторнинг тармоқ чулғами тарқоқ индуктивлигини вентиль чулғамига келтирилган қиймати билан вентиль чулғами тарқоқ индуктивлиги йиғиндисига тенг деб олинади.

Қисқа туташув индуктивликларининг

бундай ҳолатда киритилиши натижасида (8.8) ва (8.9) тенгламалардаги

э.ю.к. юксиз ишлаш режимидаги ҳолатдагидек бирламчи чулғам кучланиши ва трансформациялаш коэффиценти орқали аниқланиш имкони яратилади.

Трансформатор юксиз ишлагандаги иккиламчи чулғам э.ю.к. нинг таъсир этувчи қиймати қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$E_{20} = 1,11u_{d0}. \quad (11.10)$$

Трансформациялаш коэффиценти қуйидагича аниқланади:

$$k_{12} = U_1 / E_{20}. \quad (11.11)$$

Вентиль чулғамлар токининг таъсир этувчи қиймати аниқланишида қуйидагилар тахмин қилинади: ўзгарткич трансформаторлари чулғамларидаги токнинг шакли, ушбу вазиятда, ишораси ўзгарувчи тўртбурчак шаклга яқин, ён томонлари нишаблиги коммутацион ораликларга мос келувчи трапециядан иборат ва уларнинг ҳар бири галмагалдан кучланишнинг мусбат ва манфий ярим даврларида оқади; демак токнинг таъсир этувчи қиймати $I_{w2} = I_d \cdot \sqrt{2}$.

Бирламчи чулғам таъсир этувчи токини аниқлашда юксиз ишлаш токи эътиборга олинмайди:

$$I_1 = I_d / K_{12} = \sqrt{2} I_2 / K_{12}.$$

Тармоқ чулғамининг қуввати $s_1 = u_1 I_1 = 1,11 \cdot p_{d0}$ га тенг, бунда $P_{d0} K_{d0} I_d$ – юкнинг қуввати.

Икки вентиль чулғамининг умумий қуввати

$$S_2 = 2E_\phi I_2 = 1,57 \cdot p_{d0}.$$

Ўзгарткич трансформаторларининг мўлжалланган (типик) қуввати бирламчи ва вентиль чулғамлари мўлжалланган қувватларининг ярим йиғиндисига тенг:

$$s_T = 0,5(s_1 + s_2) = 1,34 \cdot p_{d0}.$$

Вентиллардаги токнинг коммутацион бурчаги қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\cos \varphi_\gamma = 1 - \frac{X_k I_d}{\sqrt{2} E_2}.$$

Вентиллар орасидаги коммутацион ораликдан келиб чиққан индуктивликдаги кучланишлар пасаювининг ўртача қиймати

$$\Delta U_k = \frac{\sqrt{2} E_2}{\pi} (1 - \cos \gamma) = \frac{x_k I_d}{\pi}$$

га тенг. Тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати эса қуйидагига тенг:

$$u_d = u_{d0} - \Delta u_k - \Delta u_R - \Delta u_B$$

бунда u_{d0} – юксиз ишлагандаги тўғриланган кучланиш қиймати; Δu_R ва Δu_B – чулғамлардаги актив қаршилик ва вентиллар қалинлиги туфайли ҳосил бўлган кучланишлар пасаюви.

Нол чиқиш (клемма) ли схемалар шу билан ажралиб турадиларки, иккиламчи чулғамларда бир томонга йўналган ток оқади; унинг таркибида ўзгармас ва ўзгарувчан ташкил этувчилари мавжуддир; вентиль чулғамлари м.ю.к. нинг ўзгармас ташкил этувчиси компенсациялаш учун бир фазали икки стерженли трансформаторларда 11.4-расмдаги схема қабул қилинади.

Бир фазали кўприксимон схема. Ушбу схемада (11.6-расм) нол нуқтали схемадан фарқи равишда трансформатор битта тармоқ ва битта вентиль чулғамига эга. Вентиль чулғами эюк нинг таъсир этувчи қиймати ва трансформациялаш чулғами (11.10) ва (11.11) ифодалардан аниқланади. Бу схемада вентиль чулғами токининг таъсир этувчи қиймати тўғриланган ток қийматига тенг ва $I_1 = I_d / k_{12}$.

Демак, вентиль ва тармоқ чулғамлари қуввати қуйидагига тенг бўлади

$$s_1 = s_2 = \frac{U_1}{I_1} \approx \frac{U_2}{I_2} = 1,11P_{d0}$$

ва трансформаторнинг мўлжалланган (типик) қуввати

$$s_T = 1,11P_{d0}.$$

Коммутацион бурчак қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$1 - \cos \gamma = \frac{2x_k I_d}{\sqrt{2}E_2}.$$

Бундан кўринадики, аввалги схемадан фарқи равишда, ушбу схемада чулғамларнинг қисқа туташув индуктивлигининг коммутация давомийлигига таъсири икки марта каттароқ экан. Демак, шуни таъкидлаш зарурки, чулғамларнинг жойлашишига қараб ўртача нуқтали трансформаторда ва кўприксимон схема учун мўлжалланган икки чулғамли трансформаторда қисқа туташув индуктивликлари тубдан фарқи бўлиши мумкин. Иккинчи турдаги трансформаторда вентиль чулғамларнинг тежамли ва ҳажмининг кичик қилиб бажарилиши туфайли тарқоқ индуктивлик қийматининг камайиши ва иккала схемада ҳам коммутацион давомийликнинг амалда тенглашувини кузатиш мумкин.

Кўприксимон схемада тўғриланган (чиқиш) кучланиши қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$u_d = u_{d0} - \frac{2x_k I_d}{\pi} - \frac{\pi - \gamma}{\pi} R_k I_d - 2\Delta u_B$$

ва ундан нол нуқтали схемага нисбатан индуктивликдаги ва вентилдаги кучланишлар пасаювининг ортганлигини кузатиш мумкин. Шу билан бирга, ушбу схемада вентиль чулғамлар токининг ўзгармас ташкил этувчиси йўқдир ва трансформатордан фойдаланиш ортади; бу эса тўғрилагичнинг чиқишидаги ток бир хил бўлганда трансформаторнинг типик қуввати сезиларли камайишини таъминлайди.

Ўртача нуқтали уч фазали схема. Уч фазали ўртача нуқтали схемада (11.7-расм) вентиль чулғамлари «юлдузча» уланиб, тармоқ

чулғамлари албатта «учбурчак» уланади; бундай «учбурчак» улаш вентиль чулғами токи ўзгармас ташкил этувчиларининг трансформаторга таъсири камайтиради (11.8-рasm).

Бундай схема учун трансформатор вентиль чулғами э.ю.к. нинг таъсир этувчи қиймати $u_{d0} = 1,17E_2$ ифодадан аниқланади, вентиль чулғам токининг таъсир этувчи қиймати эса токларнинг вақт диаграммасидан (11.8-рasm) келиб чиқиб $I_2 = I_d / \sqrt{3}$ га тенг бўлади; тармоқ чулғами токининг таъмир этувчи қиймати $I_1 = \sqrt{2} I_d / (\sqrt{3} k_{12})$ га тенг.

Келтирилган (11.7-рasm) схеманинг асосий камчилиги вентиль чулғамлари алоҳида фазаларида токнинг ўзгармас ташкил этувчиларининг мавжудлигидир. Улар натижасида вентиль чулғамлари м.ю.к. нинг $\frac{1}{3}$ қисмини ҳосил қилган м.ю.к. номувофиқлиги (небаланс) ҳосил бўлади ва трансформаторнинг магнит ўзагида йўналиши ва вақт бўйича ўзгармас ортиқча магнит майдони ҳосил бўлади. Бу магнит оқими барча стерженлардан оқиб ўтади, ярмодан ҳаво орқали трансформатор бокига ҳам ўтади; бу эса трансформатор ўзегининг кесим юзасини каттароқ танлашга мажбур этади, ҳамда қўшимча қувват исрофлари пайдо бўлишига олиб келади.

Агар 11.9-рasmда келтирилган вентиль чулғамлари «зигзаг» уланган схемадан фойдаланилса ўзгармас магнит оқимлари пайдо бўлишини бартараф этиш мумкин. Бу ҳолда вентилнинг токи вентиль чулғамининг ҳар хил фаза стерженларида жойлашган икки қисмидан оқиб ўтади, бу эса м.ю.к. номувофиқлигининг ҳосил бўлишини бартараф этади.

11.9-рasmда вентиль чулғами ҳар бир фазасининг натижавий э.ю.к. и $2E_\Phi$ га эмас, балки $\sqrt{3}E_\Phi$ га тенг; бу эса трансформатор типик қувватининг ортишига олиб келади.

Зигзаг уланганда тармоқ ва вентиль чулғамларининг мўлжалланган қувватлари

$$s_1 = 3I_{1\Phi}U_{1\Phi} = 1,21P_{d0}; \quad s_2 = \frac{6}{\sqrt{3}} I_{2\Phi}E_{2\Phi} = 1,71P_{d0}.$$

Вентиллардаги коммутацион бурчаги қуйидаги ифодалардан аниқланади:

$$1 - \cos\gamma = \frac{2x_k I_d}{\sqrt{6}E_{2\Phi}},$$

ва юклардаги тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати қуйидагига тенг бўлади:

$$u_d = u_{d0} - \frac{3x_k / I_d}{2\pi} - \frac{\pi - \gamma}{2\pi} R_\Phi I_d - \Delta u_B.$$

Олти фазали схема. Ўзгарткич агрегатларининг қуввати катта ва схемаларидаги эквивалент фазалар сони кам бўлганда зарур бўлган ўзгартириш сифати таъминланмайди ва тўғриланган кучланишнинг гармоник ташкил этувчиларини камайтириш учун силлиқлаштирувчи реакторнинг қувватини оширишга мажбур бўлинади.

Шу сабабли, қуввати 250 кВ·А бўлган агрегатлардан эквивалент олти фазали, қуввати 4000 кВ·А да эса - ўн икки фазали схемалар қабул қилиниши мақсадга мувофиқдир.

11.10-расмда олти фазали тўғрилагич агрегати схемаси келтирилган; бунда ўзгарткич агрегати трансформаторининг вентиль чулғами икки ўзаро тескари уланган «юлдузча» усулида уланган.

Тармоқ чулғамлари «учбурчак» уланганда ўзгармас магнит оқимининг кўпгина қисми бирламчи чулғамнинг «учбурчак» контуридаги ток ҳосил қилган м.ю.к. билан компенсацияланади. Вентиль чулғамлардаги ток кучланишнинг фақат 1/6 даврида оққанлиги туфайли, ушбу чулғамлар фойдали ишлатилиши каби бўлади ва трансформаторнинг типик қуввати сезиларли ортади.

Чулғамлари ва вентиллари олти фазали бир тактли схемада бўган, яъни бирламчи чулғам «юлдузча» ёки «учбурчак» ва иккиламчи чулғамда икки тескари «юлдузча» билан мувозанатловчи реактор магнит ўзакнинг мажбурий ўзгармас магнит майдони буткул бартараф этилади (11.10-расм). «Юлдузча» ларнинг O_1 ва O_2 нол нуқталари бир-бири билан бир фазали ферромагнит ўзакли мувофиқловчи реактор орқали уланган; бунда реактор чулғамининг ўртача нуқтаси ток занжирининг манфий кутби бўлиб хизмат қилади. Реактор O_1 - O_2 клеммалари орасидаги икки вентиль гуруҳлари контур токлари учун жуда катта индуктив қаршиликка эга. Бунга сабаб, чулғамларнинг икки қисми ўзаро мувофиқ уланганлигидир. Шу билан бирга, реактор чулғамларининг 0 нуқтада токларнинг O_1 ва O_2 нуқталари томон оқаётган шахобчаларидаги индуктив қаршиликлари жуда кичикдир, чунки шу ҳар бир токнинг ҳосил қлаётган м.ю.к. лари ўзгарткич юки токининг ярмисига тенг ва улар ўзаро компенсацияланади.

Мувозанатловчи реактор биринчи ва иккинчи гуурҳ вентилларига келаётган анод кучланишларининг оний қийматларини иккала гуруҳ контур токларим учун ўзининг жуда катта индуктивлиги мавжудлиги туфайли силлиқлаштиради ва юк токининг бўлинишини таъминлайди. Бу жараён фақатгина кичик токларда содир бўлмайди. Мувозанатловчи реактордаги максимал кучланишнинг қиймати вентиль чулғами фаза кучланиши амплитудасининг ярмига тенг, кучланишнинг частотаси эса тармоқ таъминловчи кучланишидан уч марта катта.

Агар тўғриланган токнинг қиймати мувозанатловчи реакторни магнитловчи ток (номинал қийматнинг 2-5%) дан кичик бўлса, мувозанатловчи реакторнинг таъсири сезилмайди, бунда тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати $u_{d0} = 1,35u_{2\Phi}$ га тенг бўлади. Тўғриланган

критик қийматдан ортгандан бошлаб тўғриланган кучланишнинг қиймати $u_{dH} = 1,17E_{2\Phi}$ бўлади.

Трансформаторнинг вентиль ва тармоқ чулғамлари тоқларининг таъхмир этувчи қиймати қуйидаги ифодаalar билан аниқланади:

$$I_2 = \frac{I_d}{2\sqrt{3}}; \quad I_1 = \frac{I_d}{\sqrt{6}}.$$

Трансформаторнинг тармоқ ва вентиль чулғамлари мўлжалланган қувватлари ва трансформаторнинг мўлжалланган типик қуввати, мос равишда қуйидагиларга тенг:

$$s_1 = 3I_1U_{1\Phi} = 1,045P_{d0};$$

$$s_2 = 6I_2E_{2\Phi} = 1,48P_{d0};$$

$$s_T = 1,265P_{d0}.$$

мувозанатловчи реакторнинг мўлжалланган қуввати, ундаги кучланиш частотасининг уч марта катталигини эътиборга олсак $s_M = 0,071P_{d0}$ га тенг бўлади.

Ушбу схемада вентилларнинг коммутацион бурчаги қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$1 - \cos\gamma = \frac{x_k I_d}{\sqrt{6}E_{2\Phi}}.$$

Тўғрилагичнинг ўта юкланганида вентилларнинг коммутацион бурчаги 60° дан ортиши мумкин. Бу жараён эса бир оннинг ўзида учта вентилдан ток оқишига олиб келади.

Асосий ишлаш режими коммутацион бурчагининг 60° дан кичик бўлган қийматларига мос келади; бунда вентиллар иккитадан – коммутациялараро ораликда ва учтадан – коммутацион ораликларда гуруҳ бўлиб ишлайдилар.

Ушбу схема учун ташқи тавсиф тенгламаси қуйидаги шаклга эга:

$$u_d = u_{dH} - \frac{3I_d}{\pi} \left[\frac{x_u}{4} + \frac{R_{k\Phi}}{2} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\gamma}{3} \right) \right] - \Delta u_B.$$

Юк қийматининг критик қийматдан кичик бўлгандаги кичик юк ток учун тўғриланган кучланишнинг кесин ортишини бартараф этиш учун жуда кичик баласт юк киритиалди ёки мувозанатловчи реакторни махсус ўзгарткич ёрдамида уч марта частотаси м.ю.к. билан қўшимча таъминланади.

Уч фазаали кўприк схема. (11.11-расм). Вентиль чулғамларнинг тоқлари диаграммасидан (11.12-расм) кўринишича, ўзгартгич трансформаторларининг тармоқ ва вентиль чулғамлари «юлдузча» ёки «учбурчак» усулда уланиши мумкин, чунки вентиль чулғамларидаги ток соф ўзгарувчан бўлиб, мусбат ва манфий ярим даврларида бир хил шаклга эга ва мажбурий ўзгармас магнит майдони ҳосил бўлмайди. Тўғриланган кучланиши тармоқ кучланишининг бир даври га тенг бўлган вақт

оралиғида олти карра пульсланишдан иборат бўлади; унинг ўртача қиймати $u_{d0} = 2,34E_{2\Phi} = 1,35E_2$ га тенг бўлади.

Тармоқ ва вентиль чулғамлари токининг таъсир этувчи қиймати, мос равишда, қуйидагиларга тенг бўлади:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d; \quad I_1 = \frac{I_2}{k_{12}}.$$

Чулғамларнинг мўлжалланган қувватлари трансформаторнинг мўлжалланган қувватига тенг:

$$s_1 = s_2 = s_T = 1,045P_{d0}.$$

Вентилларнинг коммутацион бурчаклари γ қуйидаги тенгликдан аниқланади:

$$1 - \cos \gamma = \frac{2x_k I_d}{\sqrt{6}E_{2\Phi}},$$

юклангандаги тўғриланган кучланишнинг қиймати эса қуйидагига тенг:

$$u_d = u_{d0} - \frac{3x_k I_d}{\pi} - \frac{\pi - \gamma}{2\pi} \Delta u_R - \Delta u_B.$$

Номинал юкланиш бўлганда коммутацион бурчак 60° дан ортмайди ва ўзгарткич агрегатининг ташқи тавсифи тахминан тўғри чизикдан иборат.

Уч фазали кўприк схемаси ва мувозанатловчи реакторли олти фазали схема тўғриланган кучланишда бир хил каррали пульсацияга эга ҳамда таъминловчи тармоқдан кучланишнинг бир хил гармоник ташкил этувчисига эга. Бироқ, уч фазали кўприк схемасида ўзгарткич трансформаторининг мўлжалланган қуввати анчагина кичик ва унинг ишлаш шароитлари анчагина енгиллаштирилгандир.

Мувозанатловчи реактори бўлган олти фазали схема агрегатларни нисбатан кичик тўғриланган кучланиш ва катта токли ускуналарда қўлланилади. Чунки юк токи вентиль чулғамлари, вентиллар ва мувозанатловчи реактор чулғамлари секциясидан иборат бўлган икки параллел шахобчаларда тармоқланади. Кўприксимон схемада тўғрилагич кўпригидаги икки кетма-кет уланган вентилларда контуридаги юк токи тармоқланмаганлиги (тармоқларга ажралмаганлиги) сабабли вентиль чулғамлари ва вентилларда нисбатан катта кучланишлар пасаюви ҳосил бўлади. Шу сабабли кўприксимон схемаларни тўғриланган кучланиши нисбатан катта (тахминан 100 В дан) бўган ускуналарда қўлланилади.

11.4. Рангли металлургия ва химия саноатида қўлланилувчи электролиз ускуналари ўзгарткичларини таъминловчи трансформаторлар

Электролиз ускуналари ўзгармас ток истеъмолчилари орасида энг катта қувватли ва энг кўп энергия истеъмол қилувчи ускуналардан ҳисобланади. Электролиз жараёни асосан икки босқичдан: ишга тушириш ва барқарорлашган технологик режимлардан иборат бўлади. Рангли металлургия ва химия саноатидаги ускуналарда бу режимлар ҳар хил кўринишларда бўлади.

Электролиз учун ўзгарткич трансформаторлари ускуналарнинг ишга туширилишида, таъминловчи кучланиш ўзгарганда ва электролизлар ҳамда ванналарда кучланиш ўзгаришида ишончли ростлашни таъминлаши зарур. Кўпгина ҳолларда тўғриланган кучланишнинг қийматини кенг диапазонда (номиналдан 85% гача) ростлаш талаб этилади.

Ҳозирги замон ўзгарткич агрегатлари сериялари тўғриланган кучланиши 75 дан 800 В гача бўлган 12-300 кА ли тўғриланган тоқларга мўлжалланади.

Ярим ўтказгичлар техникасининг охирги йиллардаги эришган ютуқлари туфайли эски ярим ўтказгич материаллар ўрнига кремнийли тўғрилагичларнинг қўлланилиши трансформаторсозлик олдида янги вазифаларни қуйди. Улардин бири – битта трансформатордан бир неча ярим ўтказгичли блокларни таъминлашни амалга оширишдир. Бу, ўз навбатида, трансформаторларнинг типик қувватларини ошириш ҳамда уларга тўғрилагич блоклари орасида токни тақсимлаш вазифаларини қўйди.

Электролиз ускуналари трансформаторларининг кучланишини ростлаш асосан икки усулда бажарилади: ўзгарткич трансформаторининг олдида жойлаштирилган автотрансформатор ёрдамида, ёки ўзгарткич трансформатори юқори кучланишли (Ю.К.) томонида киритилган (встроеннўй) кучланишни узмасдан ростлаш (КУР) мосламаси ёрдамида. Берилган ростлаш диапазони (глубина регулирования) таъминлаш учун юқоридаги ростлашларга қўшимча равишда тармоқ чулғамини «юлдузча»дан «учбурчак»ка қайта улаш ёрдамида амалга оширилади, чунки энг чуқур ростлаш диапазони ускуналарда таъминловчи кучланишни қисқа муддатга қайта улашни амалга ошириш мумкин.

Ҳозирги пайтда бир агрегатнинг қуввати 100 МВ·А ва ундан кўпроқ бўлиши мумкин; унда токнинг қиймати 50-100 кА, кучланиш эса 1250 В гача етказилади. Кучланиши 300 В гача бўлган агрегатларда мувозанатловчи реакторли «икки юлдузча» схемаси қўлланилади, кучланиш бундан каттароқ бўлганда – уч фазали кўприксимон схемалардан фойдаланилади.

Электролиз ускуналарида, аксарият, ўн икки фазали схемалар ишлатилади.

Тармоққа акс таъсирига кўра ўн икки фазали режимга эквивалент бўлган мувофиқловчи реакторли икки тескари «юлдузча» схемада бирламчи чулғамлари уланиши «юлдуз» ва «учбурчак» бўлган трансформаторлар қўлланилади.

Кўприксимон схемада ўн икки фазали тўғрилаш режимини ҳосил қилиш учун ҳар бири алоҳида тўғрилагични таъминлайдиган бир неча жуфт қисмларни секцияловчи вентиль чулғамларидан фойдаланилади; бунда вентиль чулғамларнинг ярмиси «юлдузча» уланса, қолган ярмиси «учбурчак» уланган бўлади.

Трансформациялаш коэффициентларини тенг бўлишини (1 % аниқликда) таъминлаш учун «юлдузча» ва «учбурчак» уланган вентиль чулғамларининг ўрамлари сони 4:7; 7:12; 11:18; 14:24; 15:26 жуфт сонлар каби қабул қилинади.

Вентиль чулғамларининг тузилиши. Параллель уланган 16 дан 48 гача иккиланган диск ғалтаклардан иборат бўлган чулғамлар (11.13-расм) кўпроқ қўлланилади. Ҳар бир ғалтак 2-6 параллель ўтказгичлардан ўралади. Бундай чулғам бир вақтнинг ўзида бир неча ўзгарткичларни таъминлайди ва бўлакларга енгил бўлинади. Бироқ, чулғамларда кўп миқдордаги параллель уланган электр ва магнит боғланган контурлар мавжудлиги ундаги жараёнларни таҳлил қилиш ва ҳисоблашни мушкуллаштиради. Хусусан, юксиз ишлаш жараёнидаёқ бундай чулғамлар ғалтакларида асосий магнит оқимининг илашиши ҳар хил бўлгани сабабли мувозанатловчи тоқлар оқа бошлайди. Магнит оқимининг тарқоқлиги туфайли магнит оқимнинг бир қисми ҳаво орқали туташади, чеккадаги ғалтаклар магнит илашувини камайтиради, мувозанатловчи тоқларни ҳосил қилади; бу ток катта индуктивлик режимларида номиналга нисбатан 15÷20 % гача етади.

Юк токининг параллель уланган ғалтаклар орасида тақсимланиши магнит оқимининг тарқоқлигига боғлиқ. Стерженнинг чеккасидаги ғалтакларнинг қисқа туташув индуктивлиги қиймати стержень ўртасида жойлашган ғалтаклардагига нисбатан каттароқ бўлади. Шу билан бирга чеккадаги ғалтакларда чекка ҳодисаси (кроевой эффект) қўшимча кувват исрофининг ортиши сабабли, уларнинг қизиши ўртадаги ғалтаклардагидан кўпроқ бўлади.

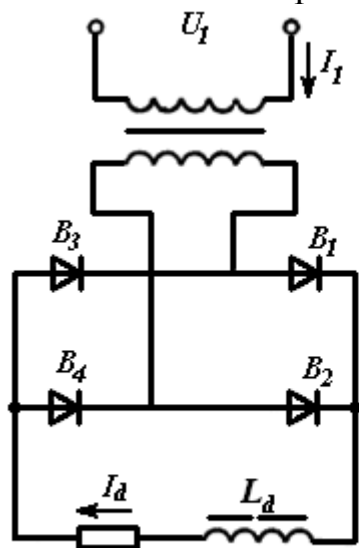
Кремний вентилли ўзгарткичларна таъминлайдиган трансформаторларнинг асосий параметрлари 11.1-жадвалда келтирилган.

11.5. Электр транспорти учун трансформаторлар

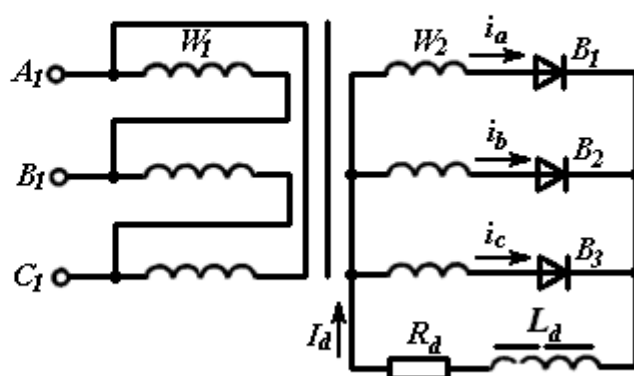
Трансформаторларни кўпроқ ишлатадиган саноат корхоналаридан кейингиси электр транспортидир. Ҳозирги кунга қадар электр транспорти (унга шаҳар ер усти ва ер ости транспорти, темир йўл транспорти киради; юқори самара билан ишлайдиган троллейбуслар келажакда шаҳарлараро аэро- ва автотранспортнинг энг йирик рақобатбардош (партнер) га айланади) асосан ўзгармас токда ишлаганлиги сабабли трансформаторлар тўғрилигич агрегатларида ишлатилади. Ўзбекистон республикасида электрлаштирилган темир йўл транспорти узунлиги ортиши билан бирга транспорт тортиш кучининг ўзгарувчан токда тортувчи электр моторларига ўтказила бошлаганлиги трансформаторларнинг қўлланилишини янада кўпайтиради.

Темир йўл транспортида янги турдаги ярим ўтказгичли ўзгарткичларнинг татбиқ этилиши трансформаторларнинг янги серияларини ишлаб чиқаришни тақозо этади; бунда энергияни қайта ўзгартириш «мувозанатловчи реакторли икки ўзаро тескари юлдузчалар» схемаси бўйича бажарилади.

Янги трансформаторлар серияси (ТМПУ) – ярим ўтказгичли ўзгарткичлар учун мослаштирувчи реакторли мойли трансформаторлар - тўғриланган кучланиши 3300 ва 1650 В ва токи 1250 ва 2500 А билан ишлаб чиқарилмоқда. Бу сериянинг кўплаб ишлаб чиқарилаётган асосий тури ТМПУ-2-6300/35 Ж трансформаторидир.



11.13-расм.



11.14-расм.

Темир йўл транспортида контакт тармоғининг кучланиши сифатини ошириш, ҳаракатдаги транспорт кучланишини ростлаш масалалари катта аҳамиятлидир. Тортувчи ўзгармас токли нимстанциялар шиналаридаги кучланишнинг номинал қиймати 3300 В, электровознинг электр юритмаси

тортувчи режимидаги кучланиши эса 3000 В қабул қилинган. Юкланиш жараёнида кучланиши ростланмайдиган тортувчи трансформаторлар тўғриланган кучланиши юксиз ишлаш режимида 3500 В бўлишини мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Бундай тортувчи подстанцияларни эксплуатация қилиш тажрибаси шуни кўрсатадики, аксарият, контакт тармоғидаги кучланиш минимал рухсат этилган (2700 В) қийматдан кам бўлади. Кучланиш қийматини оширишнинг ва қувват исрофини пасайтиришнинг кескин чораларидан бири, катта капитал маблағлар сарфини назарда тутувчи оралиқ тортувчи нимстанцияларни куриш ҳисобланади. Шу билан бирга, электрлаштирилган темир йўлнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини оширишнинг эффектив йўли юк остида кучланишни ростловчи трансформаторларни қўллашдир. Киритилган поғонали кучланиш остида ростлаш (КОР) ли трансформаторлар таъминловчи тармоқ кучланиши 110 кВ бўлган тортувчи нимстанцияларда қўлланилмоқда. Чулғам кучланишлари 35 ва 10 кВ бўлган кучланишни равон ва контактсиз ростловчи трансформаторларнинг ишлаб чиқарилиши ҳам йўлга қўйилган.

Кучланиши 110 кВ ли бош пасайтирувчи трансформаторларда кучланишни ростловчи қайта улаш ускуналари ўрнатилганда тўғриланган кучланиш 3400-3500 В қийматда бўлиши таъминланади. Тортувчи юкнинг характериға ҳамда таъминловчи тармоқ кучланишининг ўзгариши сабабли тўғриланган кучланиши қийматининг кескин тебраниб туриши КОР механизми қайта уланишлари сонининг ортишиға олиб келади. Механик КОР ларнинг жароҳатланиши нафақат кучланишни ростлашни бартараф этади, балки бутун тортувчи нимстанциянинг ишдан чиқишиға олиб келади.

Тортувчи трансформатор нимстанцияларида кучланишни контактсиз ростлаш схемаси кенг тарқалган. Уларда бирламчи чулғам ростлаш шохобчалари тўйинувчи дроссель орқали тармоққа уланади (11.14-расм). Дросселдаги навбатма-навбат магнитланиш тармоқ чулғами ростловчи шохобчаларида кучланишнинг қайта тақсимланиши натижасида ҳосил бўлади. Юкнинг ўзгариши натижасида тортувчи нимстанция шиналаридаги тўғриланган кучланиш контактсиз автоматик тизимлар ёрдамида стабиллашади. Контактсиз ростланганда юксиз ишлаш кучланишининг қиймати рекуперация жараёнини ҳосил қилади, ҳамда тортувчи трансформатор тўғрилагич – инвертор агрегатларини таъминлашиға имкон беради.

Кучланишни контактсиз ростлаш усулини жорий қилиш тўғрилагич агрегатининг оғирлиги, габарит ўлчовлари ва нархининг ортишиға олиб келади. Бироқ ҳисоблар ҳамда комплект синовлар натижалари шуни кўрсатадики, бундай ростлаш қурилмаларини қўллаш электр энергияси истеъмолини 8 % га камайтиради ёки электровознинг ўртача техник тезлигини 10% га оширади.

Аксарият, ҳудуд истеъмолчиларини электр энергияси билан таъминлаш учун тортувчи нимстанцияда 250-4000 кВ·А қувватдаги қўшимча трансформатор уланар эди. қўшимча трансформатордан воз кечиш мақсадида уч чулғамли ТДЦТРУН-25000 трансформатори лойиҳаланди; натижада бир трансформатор ҳам тортиш юкини, ҳам ҳудуд истеъмолчиларини [ўрта кучланишли чулғами (38,5 кВ) дан] таъминлайди.

Юк остида кучланишни ростлаш 110 кВ ли чулғам нейтралда амалга оширилади. Бундай трансформаторнинг камчилиги шундан иборатки, тўғриланган кучланишни ростлаш жараёнида ҳудуд таъминоти кучланиши ҳам ўзгаради.

Кучланишни тармоқ чулғами ростлаш шахобчаларига киритилган уч фазали икки тўйинган дроссель ёрдамида контакtsiz ростловчи тортувчи трансформаторлар (11.14-расмга қаранг) тармоқ кучланиши 10 ва 35 кВ ва номинал қуввати 20000 кВ·А да ишлаб чиқарилади.

Трансформатор агрегати мазкур ТДРУ-20000/35 ёки ТДПУ 20000/10 трансформатор ва тўйинган дросселлар ДТД-6300/35 ёки ДТД-6300/10 билан ишлаб чиқарилган. Агрегат кучланишни 20% диапазонда ростлашни таъминлайди. Бирламчи номинал қувват 13220 кВ·А ни, тўғриланган кучланиш токи 3000 А ва тўғриланган кучланиш қиймати 3700 В ни ташкил этади. Трансформаторнинг мўлжалланган қуввати, мувозанатловчи реактор қувватини эътиборга олганда, 18840 кВ·А ни ташкил этади.

Контактсиз ростлаш агрегатининг фойдали иш коэффиценти, тўйинган дроссель қувват исрофини эътиборга олганда, 0,98 ни ташкил этади. Тўйинган дросселнинг бошқариш токи қиймати номинал 45 А бўлганда тўйинтирувчи чулғамлари қуввати 10 кВт.

Кучланишни контакtsiz ростловчи тортувчи трансформаторнинг тузилиши қуввати тармоқ чулғамининг 20% ни ташкил этувчи учинчи ростловчи чулғамининг мавжудлиги билан фарқланади. Узлуксиз турдаги тармоқ чулғами юксиз 2х5% поғоналар билан кучланишни ростловчи шохобчалар билан таъминланган. Ростловчи чулғам кўп қатламли қилиб бажарилиб, стерженда изоляцион цилиндрга жойлаштирилган ва тармоқ чулғами билан кетма-кет улангандир. Вентиль чулғами чулғамларнинг ташқи қисмида жойлашиб, иккита дискли ғалтаклардан ташкил топиб, умумий шинага параллель уланган. Бокнинг қопқоғида вентиль чулғамнинг олти чиқиши, мувозанатловчи реакторнинг икки нол чиқиши ва тармоқ чулғамининг тўққиз чиқиши – учта линиячиқиши ва олти чиқиш.

Ишчи чулғамларини улаш учун тўйинган дроссель (ТД) нинг чиқишлари жойлашган.

Асосий трансформатор ва олти тўйинган дросселлар алоҳида бокларда жойлаштирилади. Улар пуркаб совутилади ва ташқарига жойлаштирилади.

Трансформатор ва ТД ни алоҳида ишлатиш, лозим бўлганда, трансформаторга боғлиқ бўлмаган ҳолда, ТД ни алоҳида ревизия қилиш ва таъмирлашга имкон беради; бу даврда эса, трансформатор ўзининг хусусий КОР турдаги ростлагичи билан эксплуатация қилиниши давом эттирилади.

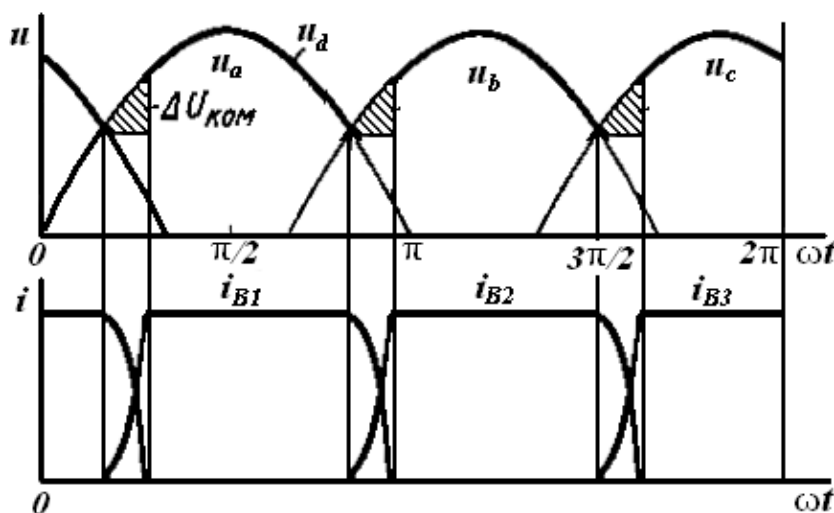
11.6. Синхрон машиналарининг вентилли қўзғатишлари учун трансформаторлар

Ҳозирги замон электр станцияларининг қурилиши кўп жиҳатдан 800-1000 МВт ва ундан катта қувватли синхрон генераторларни ишлаб чиқариш ва эксплуатация қилишни ўзлаштириш билан боғлиқ. Уларнинг ишлаб чиқаришга

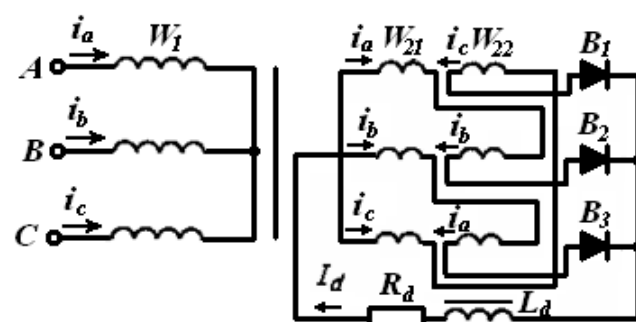
татбиқ этилиши ўрта қувватли синхрон машиналарида кенг қўлланилаётган

статик қўзғаткичларни ўзлаштириш билан узвий боғлиқ.

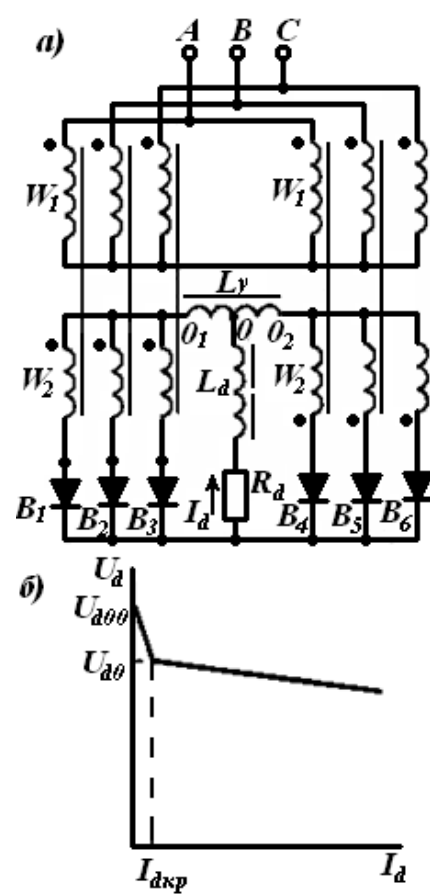
Синхрон машиналар статик қўзғаткичининг трансформаторлари ўзгарткич агрегатларининг на фақат кучли мувофиқловчи элементлари бўлиб хизмат қиладилар, балки синхрон машиналар чиқиш кучланиши, юк токи ва фазасига боғлиқ равишда қўзғатиш токини автоматик бошқариш вазифасини ҳам бажардилар. Трансформаторларни махсус улаш натижасида қўзғатиш токини асосий бошқариш схемалари 11.15-11.19-расмларда келтирилган; сўнгра қўзғатиш токи тиристорли



11.15-расм.



11.16-рasm.



11.17-рasm.

ўзгарткичлар ёрдамида керакли диапазонда фаза ўзгартишларидан сўнг коррекцияланади.

Синхрон машиналарнинг қўзғатиш чулғамларини ўзгармас ток билан таъминлашда қўлланиладиган трансформаторлар қисқача қўзғатиш трансформаторлари деб номланади.

Асосий таянч схема сифатида 11.15-расмдаги уч чулғамли трансформатор (УЧТ) схемаси қабул қилинган. УЧТ нинг икки бирламчи чулғамларига қўзғатилаётган синхрон машина статор токи ва кучланишига пропорционал бўлган кучланишлар уланади ва УЧТ да уларнинг электромагнит йиғиндиси шундай ҳосил қилинадики, натижада вентиль чулғамининг токи вентиллар орқали синхрон машина қўзғатиш чулғамларига оқиб ўтиб, синхрон машинанинг керакли бўлган режимини таъминласин.

қўзғатувчи трансформатор (КТ) ва кетма-кет трансформаторлар (КТ) билан қўзғатилаётган (11.16-расм) схема статор юкининг токи ва кучланишига пропорционал бўлган кучланишларни электрик йиғиндиси ва кетма-кет фаза компаундировкаси принципида ишлайди.

Кўпинча 11.17-расмда келтирилган схема қўлланиладигани, унда кетма-кет трансформаторнинг иккиламчи чулғами қўзғатувчи трансформаторнинг иккиламчи занжирига уланади.

11.19-расмда статик қўзғаткичнинг мосланувчи ток компаундланиши схемаси келтирилган. Бошқарилувчи ўзгарткич B_2 ли кучланиш трансформатори ток трансформатори ТТ ва бошқарилмайдиган тўғрилагич B_1 билан параллель ишлайди.

Статик қўзғаткич (11.18-расм) схемасида икки кетма-кет уланган уч чулғамли трансформатор ишлатиладигани; улардан бири берк (қисқа) туташтирилган, иккинчиси узилган магнит ўзакларига эга; бу эса генераторнинг токи ва кучланишига пропорционал бўлган кучланишларнинг йиғиндисини ҳосил қилишда уларнинг керакли қийматларини ҳосил қилиш учун ишлатилади.

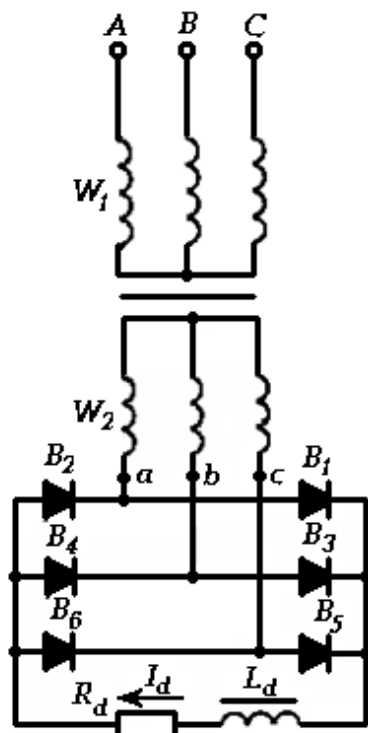
Трансформатор жиҳозлари синхрон машиналарининг статик қўзғаткичларида муҳим вазифани бажаради ва унинг кучланишини ростлаш сифатини, ФИКни, қувват коэффициентини, масса-габарит кўрсаткичларини ва нархини белгилайди.

қўзғатиш тизимининг нафақат нормал режимларда, балки авария режимларида ҳам ишончли ишлашини таъминлаш учун, генератор кучланиши ва токи мумкин бўлган ўзгариши диапазонини эътиборга олувчи трансформаторнинг электромагнит юкланиши қийматларини алоҳида танлаш зарур.

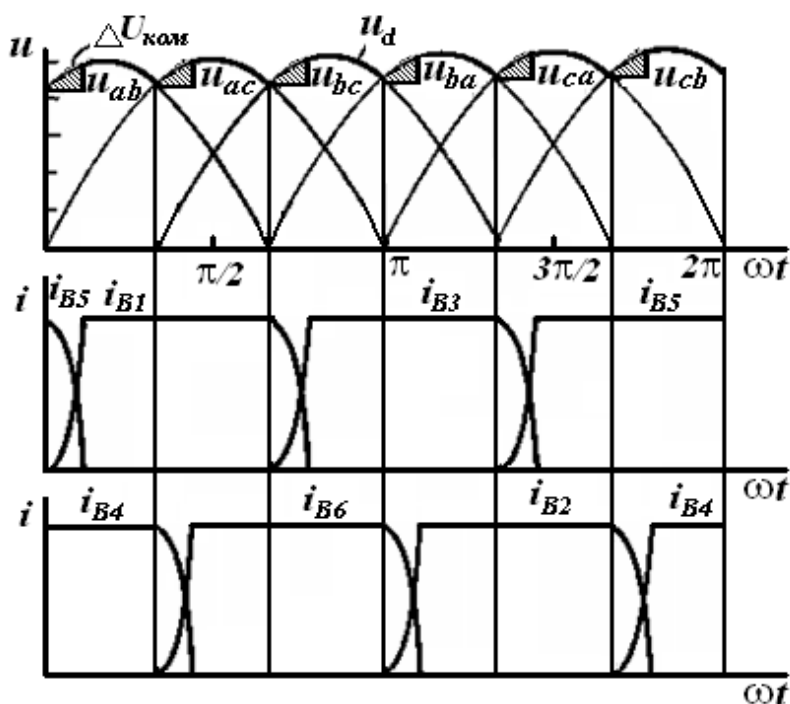
Таққослаш таҳлилларига кўра энг иқтисодий самараси деб қўзғатувчи трансформаторли ва кетма-кет трансформаторли схема тан олинган.

Кетма-кет трансформаторнинг иккиламчи чулғами, аксарият, қўзғатувчи трансформаторнинг вентиль чулғами ва вентиль блоки орасига кетма-кет уланади.

Синхрон машиналарнинг статик қўзгаткичларида уч фазали кўприксимон схема ва олти фазали мувозанатловчи реакторли икки ўзаро тескари «юлдузча» схемалари кенг қўлланилади.



11.18-расм.



11.19-расм.

Статик қўзғатиш тизимлари трансформаторлари тузилиши ва ҳисоблашнинг ўзига хос хусусиятлари.

қўзғатиш трансформаторини лойиҳалашда уларнинг бирлачи чулғами синхрон машина номинал кучланишига тенг деб қабул қилинади; бунда автоном тизимларда юкнинг кескин узилиши натижасида ҳосил бўладиган ўткинчи жараёнларнинг кучланишнинг ошиши эътиборга олинади.

қўзғатувчи трансформаторларни лойиҳалашда унинг асосий параметрлари 11.2-параграфда келтирилган ифодалар ёрдамида аниқланади; бунда тўғрилаш схемаси хусусияти ва синхрон машина қўзғатиш чулғами параметрлари эътиборга олинади.

қўзғатиш трансформатори тузилишининг асосий хусусияти – катта миқдордаги магнит мувозанатлаштирилган чулғамлар гуруҳларини қўллашдир; бу, ўз навбатида, катта бўлмаган индуктив қаршиликлар ҳосил

қилиш ва ҳар бир вентиль гуруҳларни мустақил бошқариш имконини таъминлаб, қўшимча қувват исрофини камайтириш имконини беради.

Кетма-кет вольт қўшиш трансформаторлари ва стабилизацияловчи қурилмалар.

Ўз-ўзини қўзғатиш вентиль тизимлари белгиланган қўзғатиш токи бўлишини на фақат барқарорлашган номинал ишлаш режимларида, балки ўтаюкланиш ва қисқа туташув каби авария режимларида ҳам синхрон генератор статори кучланиши кескин пасайиб кетганда ҳам таъминлаши шарт. Ушбу муаммо ток трансформатори режимида ишлайдиган кетма-кет трансформатор ёрдамида ҳал қилинади. Бу трансформаторнинг асоси хусусияти шундаки, генераторнинг авария режимларида статор токининг ошиши натижасида трансформатор магнит ўзаги тўйинишини чеклаш учун магнит ўзакда катта номагнит оралик мавжудлигидир. Бунда иккинламчи чулғамнинг токи на фақат бирламчи чулғам токига ва юк қаршилигига боғлиқ, балки юк токи билан ўлчовдош бўлган тўла ўзаро индуктивлик қаршилигига ҳам боғлиқ бўлади.

Номинал режимда кетма-кет трансформатор тўйинмаган магнит тизим (0,6-0,8 Тл) билан ишлайди, шунинг учун лойиҳалаш ҳисоблашларида уни синхрон генератор номинал қўзғатиш токига мос келган иккиламчи чулғам Э.Ю.К. га тенг бўлган ва ички қаршилиги шу чулғамнинг индуктив қаршилигига тенг бўлган э.ю.к. манбаси билан алмаштириш мумкин. Номинал токка мос қилиб индукциянинг паст қийматини қабул қилиниши кетма-кет трансформаторнинг авария режимларида қониқарли ишлаш имконини беради.

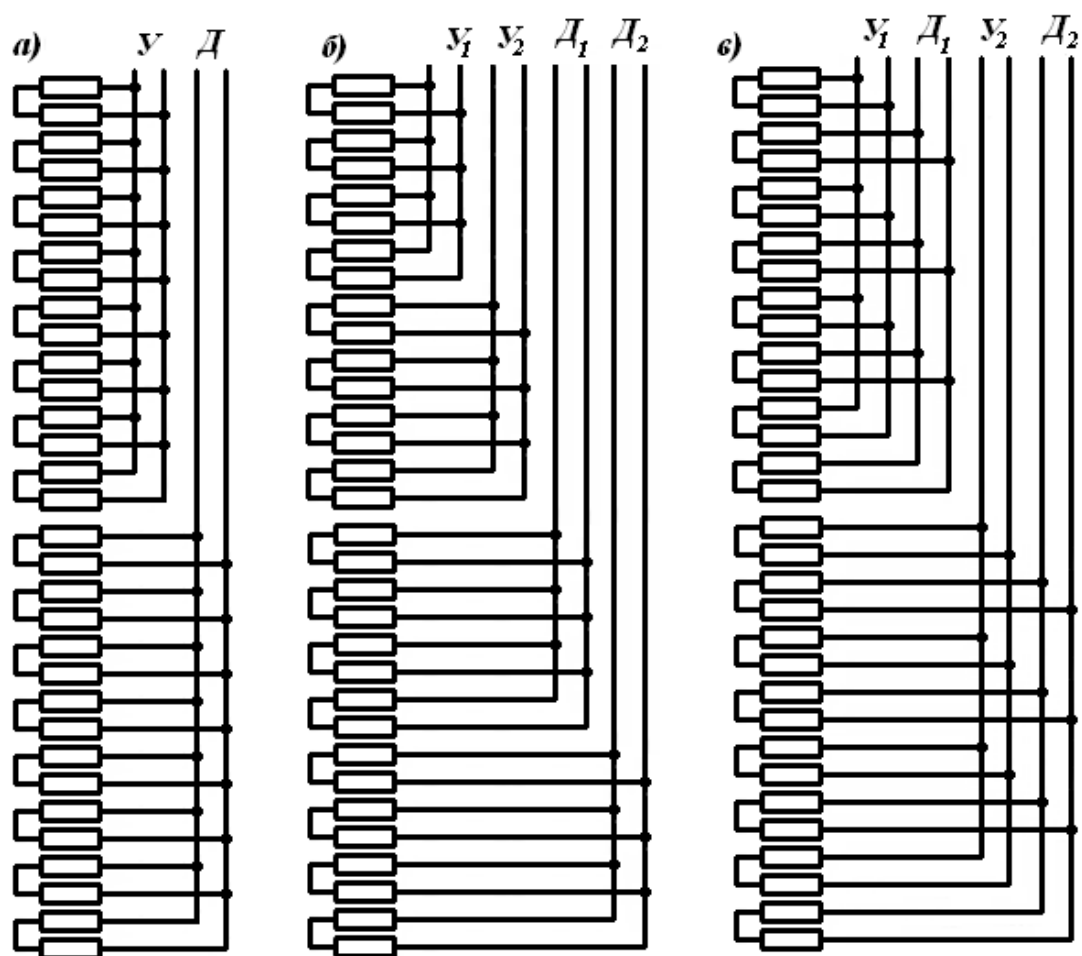
Кетма-кет трансформаторлар тузилишига алоҳида талаблар қўйилади. 10-15 кА ли бирламчи чулғамни ҳаво совутиши табиий шароитда амалга оширилади; чулғамда параллель уланган ғалтаклар мавжудлиги учун унинг ўрамлари сони юқоридир. ғалтакларда токларнинг текис тақсимланиши магнит ўзакларда номагнит ораликларнинг махсус тақсимланиши билан амалга оширилади; номагнит ораликлар изоляцион материаллар билан тўлдирилади.

қуввати 300 МВт дан юқори бўлган синхрон генераторининг қўзғатиш тизимларидаги кетма-кет трансформаторларнинг чулғамлари иичдан сув ўтказилиб совутилади. Иккиламчи чулғамлари эса табиий усулда совутилади. Ўзакларда номагнит ораликларнинг мавжудлиги юқори даражадаги вибрация ва шовқинни ҳосил қилади. Шунинг учун кетма-кет трансформаторларнинг магнит ўзакларида кучайтирилган пухта торткич тасмалар ўрнатилади, трансформаторнинг ўзи эса, фундаментал пухта маҳкамланади.

11.7. Трансформаторларни импульс ўзгарткичларда қўллаш

Импульс ўзгарткичлар автоматик бошқариш тизимлари ахборот технологиялари ускуналаридаги тиристорли қурилмаларда тиристорларни бошқариш импульсларини ҳосил қилиш ва узатиш учун қўлланилади. Улар, асосан, 11.20-расмда келтирилган схемадагидек бажарилади; бунда трансформаторнинг бирламчи чулғами w_1 транзистор T_1 ёрдамида коммутацияланади.

T_1 транзисторнинг база-эмиттер занжири орқали база ток оқиши натижасида ўзгармас ток манбасининг кучланиши T_1 нинг коллектор-эмиттер занжири орқали батамом импульс трансформатори ИТ_{р1} нинг



11.20-расм.

бирламчи чулғамига уланган бўлади.

Иккиламчи чулғамга трансформацияланаётган кучланишнинг қиймати, кўп жиҳатдан, трансформаторнинг магнитловчи токига боғлиқ; бу ток қийматининг ортиши бирламчи чулғам контуридаги қаршиликлардаги кучланишлар пасажувининг ортишига ва узатилаётган импульснинг амплитудаси пасайишига олиб келади. Бундан ташқари, узатилаётган кучланиш импульсининг шакли юқори частота диапазонида

ишлаганда тўғри бурчак шаклидан юкдаги кучланишнинг ортиши вақти ўлчанганда фарқли бўлиши мумкин.

Бундай режимларда на фақат чулғамларнинг тарқоқ индуктивлик қаршиликлари сезиларли таъсир кўрсатади, балки чулғамнинг паразит сиғимлари ҳам аҳамиятли бўлади. Бу паразит сиғимнинг эътиборга олиниши 11.21,а-расмда келтирилган; 11.21,б-расмда эса иккиламчи чулғам кучланиш импульси келтирилган. Импульс трансформаторларнинг чулғамларининг тарқоқ индуктивлиги ва паразит сиғимини камайтириш учун, аксарият, чулғамлар ўрамлари сони кичик қабул қилинади, бу эса магнит ўзак кесим юзасини ошириш билан компенсацияланади; бу, ўз навбатида магнитловчи токнинг нисбий қийматининг ортишига олиб келади.

Кучланиш импульси узатилаётганда трансформатор магнит ўзагидаги индукциянинг ўзгариши
$$\Delta\beta_s = \frac{1}{w_1 S_c} \int_0^{t_n} u_1 dt$$
 ва импульслар

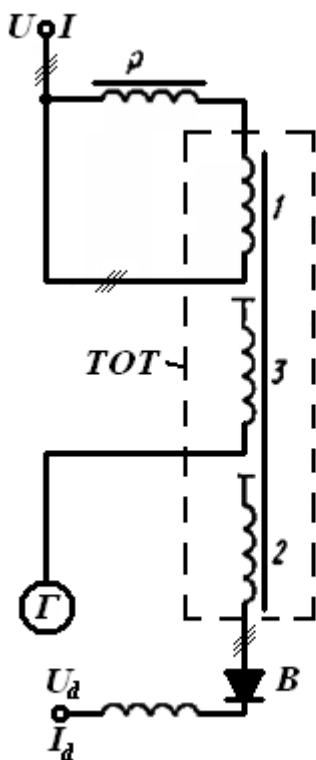
орасидаги пауза, магнит ўзакдаги магнит ҳолатнинг қайта ўзгариши учун етарли бўлиши зарур; магнит ҳолатнинг ўзгариши эса нисбатан катта омик қаршилиқ орқали ўзгармас кучланиш манбаига уланган, бирламчи чулғам билан тескари жойлаштирилган магнитсизловчи w_3 чулғам ёрдамида жадаллаштирилади.

Кучланишнинг тескари кутбини (иккинчи ярим даврини) чеклаш учун бирламчи чулғам w_1 D_1 ва D_2 стабилитрон чеклагич билан шунтланган (11.20-расм). Уларнинг таъсири трансформатор иккиламчи чулғам кучланишининг диаграммаси (11.21,б-расм) да келтирилган. Иккиламчи чулғамда ҳосил бўлаётган тескари кучланиш (бирламчи чулғам транзистор билан узилганда) «тескари кучланиш отқини» дейилади ва юкдан D_3 диод орқали кесилади (чекланади).

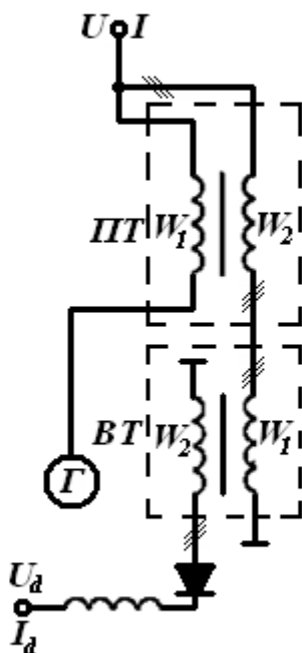
трансформаторларнинг магнит ўзаги қалинлиги 0,1-0,05 мм бўлган тунукачалардан ёки феррит материаллардан бажарилиши лозим.

Магнит кечикиш (индукция ўзгаришининг вақт бўйича магнит майдон кучланганлиги ўзгаришига нисбатан кечикиши) нинг таъсири ортиши билан импульс трансформаторининг ишлатиш самарадорлигини пасайтиради; бу эса, ҳар бир алоҳда ҳолат учун трансформатор конструкциясидаги материалларни танлашда ҳисоблаш ишларини алоҳида синчковлик билан бажаришни талаб этади. Магнитсизловчи чулғамни қўллаш (11.20-расм) юқори сифатли электротехник пўлат ёки пермалой ишлатилгандагина амалга оширилади.

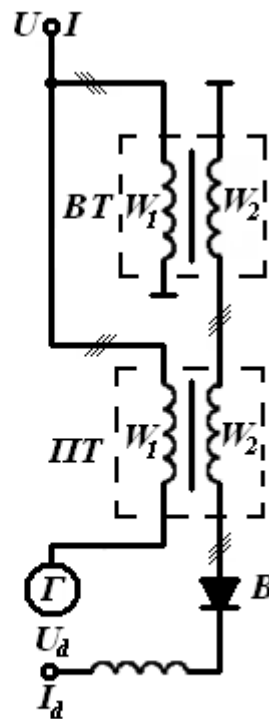
Электротехник пўлатдан номагнит оралиғи ва ферритдан ясалган элементлари туташган магнит ўзакларда магнит индукциясининг зарурий бошланғич қиймати номагнит оралиқ қийматининг оптимал танланиши билан таъминланади; оралиқнинг катталашуви импульслар орасидаги интервалда магнит ўзакнинг магнитсизланишининг таъминлайди, бироқ, шу пайтнинг ўзида, импульсни узатишда қўшимча магнит қаршилиқни ҳосил қилади. Ушбу бир-бирига зиддиятли вазиятни мувофиқлаштириш магнит ўзакнинг сифати анчагина пасайишига олиб келади; импульс схемани лойиҳалашда рационалроқ деб магнитсизловчи чулғам киритишни ёки импульслар орасидаги паузада бирламчи чулғамни тескари ишорали кучланиш билан таъминлаш қабул қилинади.



11.22-расм.



11.23-расм.



11.24-расм.

ЎН ИККИНЧИ БОБ

ТРАНСФОРМАТОРЛАР СИНОВЛАРИ

Трансформаторларнинг синовлари уларни ишлаб чиқаришдан сўнг сифатини текшириш учун ўтказилади; жорий ва капитал таъмирлашдан сўнг синалади. Бундан ташқари эксплуатация шароитида уларнинг сифатини текшириш учун даврий ва профилактик синовлар ўтказилади.

12.1. Синовларнинг белгиланиши ва турлари

Кучли трансформаторлар ва уларнинг муҳим қисмларининг синов дастурлари ва усуллари махсус стандартларда эътиборга олинган. Булар қаторига қуйидагилар киради:

- кучли трансформаторларда назарий синовларини ўз ичига олган умумий техник шартлар 11677-85 да келтирилган;
- изоляциянинг электрик мустаҳкамлигининг синови 1516.1-76 ва 1516.2-76 да келтирилган.

16505-74 давлат стандартида ҳамда 160800,230-75 соҳа стандартида қуйидаги назорат синовлари категориялари тасдиқланган: малака, қабул-топширув, даврий, типик синовлар.

Малака синовларини ишлаб чиқаришда татбиқ этилаётган маҳсулотлар учун қўлланилади. Ишлаб чиқаришда ўзлаштирилган маҳсулотлар учун қабул-топширув, даврий ва типик синовлар ўтказилади.

Бундан ташқари, трансформаторни ва унинг алоҳида қисмлари ва деталларини ишлаб чиқариш жараёнидаги операцион назоратда чулғамлар, магнит ўзак, актив қисм ва шахобчаларини қайта улаш қурилмаларининг операцион синови ўтказилади.

Умумқўлланилувчи трансформаторлар ва баъзи махсус трансформаторлар қабул-топшириш синовлари дастурига қуйидагилар киритилади:

- трансформация коэффиценти в ауланиш гуруҳларини текшириш;
- трансформатор бокидан олинган ёғ ёки суюқ ёнмас диэлектрикнинг синови (тешувчи кучланишни ва диэлектрик қувват исрофларининг тангенс бурчагини аниқлаш учун);
- ташқи манбадан олинган саноат частотали кучланиш билан изоляцияни текшириш;
- трансформаторнинг ўзида индуктивланаётган юқори частотали кучланиш билан изоляцияни синаш ;
- қувват исрофлари ва юксиз ишлаш токини текшириш;
- бокнинг мустаҳкамлигининг синови;
- трансформаторда жойлашган шахобчаларни қайта улаш қурилмасининг синови.

қабул-топширув ва малака синовлари билан бир вақтда маълум ўлчовлар қилиш ҳам бажарилади. Хусусан, чулғамларнинг ва изоляциянинг ўзгармас токка қаршиликлари ўлчанади.

Даврий синовлар дастури барча қабул-топширув ва қўшимча синовларни ўз ичига олади, булар қаторида:

- ички изоляцияларни чақмоқ импульслари синови;
- қизиш синови;
- бокни ички босимнинг орттирилган қийматларидаги механик пухатликка синови, шу билан бирга қуввати 1000 кВ·А ва ундан катта трансформаторларда эса вакуумдаги синовлари;
- қуввати 100 кВ·А ва ундан катта трансформаторларда шовқун даражасининг текшируви.

Малака синовларида, зарур бўлганда типик синовларда ҳам трансформаторларни қисқа туташув токига чидамлилигига синовлар ўтказилади.

Трансформаторларнинг синовларида, ундан ташқари, яна уларни ташқи кўриги ва чизмаларга мослиги текширилади.

12.2. Изоляциянинг электрик чидамлилиги синови

Изоляциянинг синови қуйидаги комплекс синовларни ўз ичига олади:

- трансформатор боки тўлдирилган ёғ ёки бошқа суюқ диэлектрикнинг тешувчи кучланиши аниқлаш;
- чулғамлар изоляциясининг қаршилигини ўлчаш;
- ички изоляцияни ташқи манбадан келтирилган саноат частотали кучланиш билан (1 минут давомида) синов;
- саноат кучланишидан трансформаторнинг ўзида индуктивланган кучланиш билан синови.

Малака синовларида, зарур бўлганда даврий ва типик синовларда ҳам ташқи изоляция ҳамда чақмоқ импульслари кучланиш билан (импульс синовлари) синовлари ўтказилади.

Трансформаторларнинг ишончлилиги ва кўпга чидамлилигини таъминлайдиган синов кучланишларининг қийматлари номинал кучланиш қийматидан юқори бўлиб, эксплуатация шароитига боғлиқ.

Чақмоқдан ҳимояланишнинг оддий меъёрларида чақмоқ таъсиридаги ўтакучланишлари таъсирида ишлашга мўлжалланган трансформаторларнинг синови нормал изоляциялар учун белгиланган меъёрларда ўтказилади; чақмоқнинг ўтакучланиши таъсирида бўлмаган электр ускуналари ёки махсус чақмоқдан ҳимоя чоралари кўрилган ускуналар трансформаторлари изоляциянинг енгиллаштирилган меъёрларида ўтказилади.

Трансформаторнинг изоляциясига синовлар ўтказилгунига қадар технологик жараёнларга мувофиқ ишлов берилади.

Изоляцияни 50 Гц частотали ташқи манба кучланиши билан синовда асосий изоляция (хар бир чулғамнинг алоҳида бошқа чулғамларга нисбатан, шу жумладан чиқиш шахобчаларига, ҳамда бокка, бок тагига ва трансформаторнинг бошқа заминланган қисмлари орасида) мустаҳкамлиги текширилади.

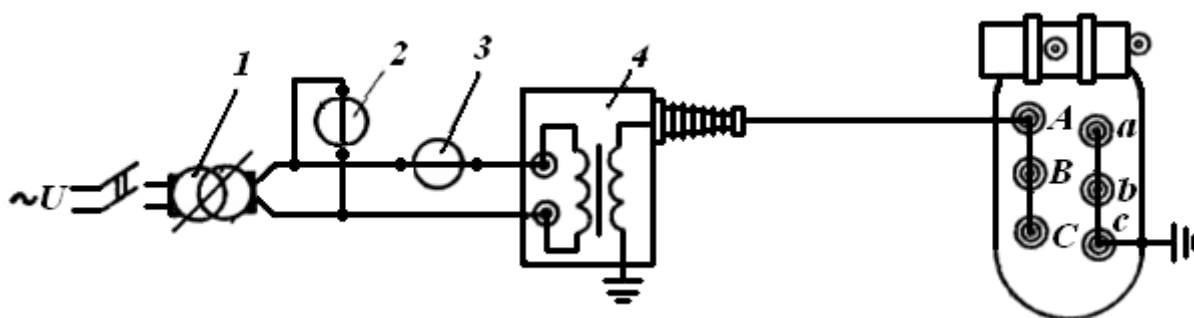
Нормал изоляцияли мойли кучли трансформаторлар учун давлат стандартининг синов кучланишлари 12.1-жадвалда келтирилган.

12.1-жадвал
Саноат частотали синов кучланишлари

Кучланиш тури, кВ	Кучланиш бўлиниши, кВ												
	,69 гача	3	6	10	15	20	35	110	150	220	330	500	750
Энг катта ишчи кучланиш	-	3,6	7,2	12	17,5	24	40,5	126	172	252	363	525	787,5
Синов кучланиши (бир минутли)	5	18	25	35	45	55	85	200	230	325	400	680	800

Синов ташқи мухит ҳароратида бирин-кетин барча чулғамлар изоляциясида ўтказилади. Синовлар 12.1-расмдаги схемага мувофиқ бажарилади. Бунда синов кучланиши синовлан ўтказилаётган ва қисқа туташтирилган чулғам билан заминланган бок орасига уланади. Бошқа чулғамларнинг барча клеммалари ўзаро уланиб бок, магнит ўзаги билан биргаликда заминланади. Синовдан ўтаётган трансформаторнинг бирламчи чулғамига бошқариладиган кўзғатиш чулғамига эга бўлган ўзгарувчан ток генераторидан ёки ростловчи автотрансформатор келтирилади. Синов кучланишини равон ошириб 1 минут давомида ушлаб турилади.

Амперметр 3 (12.1-расм) кўрсатишидаги токнинг ортиши, вольтметр 2 кўрсатишининг пасайиши, аксарият, синовдан ўтаётган трансформатор изоляциясининг нуқсони борлигини кўрсатади. Синовдаги трансформатор шикастланишлари унинг ичидаги дарз кетишлар, чарсиллаган овозлар ва разрядланиш билан маълум бўлади.



12.1-расм. Келтирилган кучланиш билан изоляция синовни схемаси (ЮК чулғами синовни):

1 – ростловчи трансформатор; 2 – вольтметр; 3 – амперметр;
4 – синовчи трансформатор; 5 – синовдан ўтаётган трансформатор.

Агар синов жараёнида тўла разрядланиш (овознинг бор ёки йўқлиги билан аниқланади) ҳимоя шар оралиғида разрядланиш, газ ва тутун ажралиб чиқиш ёки ўлчов асбобларининг ўзгариши сезилмаса, трансформатор синовдан ўтди деб ҳисобланади.

Агар синов жараёнида бокда разряд бўлиб, синов ускунасида ўзгаришлар бўлса, ёки тутун пайдо бўлса, у ҳолда трансформаторнинг актив қисмида кўрик ўтказиш зарур, реакция бўлганда – разряд ва изоляциянинг тешилиш сабабини аниқлаб бартараф қилиш учун қисмларга ажратиш зарур.

Изоляциянинг тешилиши қуйидаги сабабларга кўра содир бўлиши мумкин:

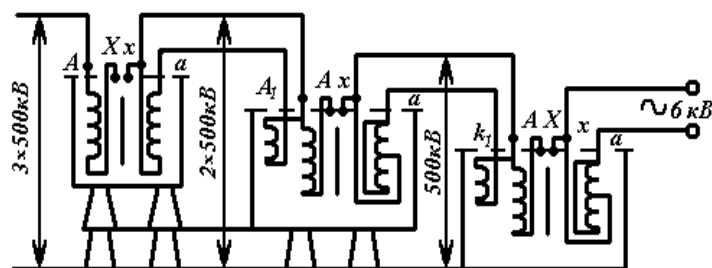
- изоляция масофаси етарли эмас, ёки изоляцион материалларни доимийларни бир хил қабул қилинмай нотўғри танлаш, натижада айрим жойларда майдон кучланишининг ортиб кетиши вужудга келади;
- технологик жараённинг бузилиши;
- изоляцион материалларнинг сифати пастлиги.

Чулғамларнинг бўйлама изоляцияси (яъни ўрамлар орасидаги, ғалтаклар, қатламлар ва фазалар орасидаги) трансформаторнинг ўзида ҳосил қилинган (индуктивланган) юқори кучланиш билан синовдан ўтказилади.

Синов ўтказишда чулғамлардан бирига кучланиши номиналдан икки марта катта бўлган юқори (400 Гц дан баланд эмас) частотали кучланиш берилади. Частотанинг юқори эканлиги индукция ва магнитловчи токнинг ҳаддан ташқари ортиб кетишини бартараф этади. Синовни токсиз ишлаш схемаси бўйича частотаси $2f_{\text{ном}}$ дан кам бўлмаган кучланиш билан ўтказилади; синов давомийлиги 1 минут. Частота $2f_{\text{ном}}$ дан катта бўлганда синов давомийлиги қуйидаги ифода бўйича камайтирилади:

$$t = 60 \frac{2f_{\text{ном}}}{f},$$

бирок, давлат стандарти 1516.2.76 га кўра, синов давомийлиги 15 секунддан кам бўлмаслиги зарур.



12.2-расм. 1500 кВ ли синов каскадининг схемаси.

Электр изоляцияси мустаҳкамлиги синов махсус ускуналарда ўтказилади. Саноат частотали кучланиш билан синов ускунаси кучланиши бошқарилуви манба ва синовдан ўтказилувчи трансформатордан (ёки

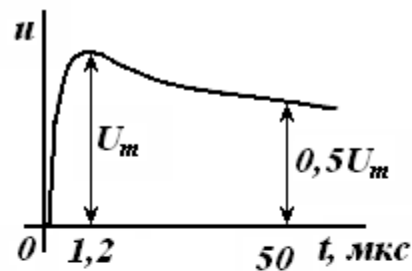
индуктивланган кучланиш билан синовда оралик трансформатор), ҳамда юқори кучланишни ўлчайдиган ускунадан иборат.

Ўта юқори даражадаги кучланишли трансформаторлар 50 Гц ли кучланишда бир минутли синовда синов кучланиши бир неча юз киловольтни ташкил этади. Бу кучланишни ҳосил қилиш учун махсус синов трансформаторлари ишлатилади; кучланиш қиймати 500 кВ дан юқори бўлганда синов трансформаторларининг каскад уланиши қўлланилади. Каскад икки ёки уч кетма-кет уланган трансформатордан иборат бўлиб, уларнинг кучланишлари каскаднинг умумий кучланишига трансформацияланади.

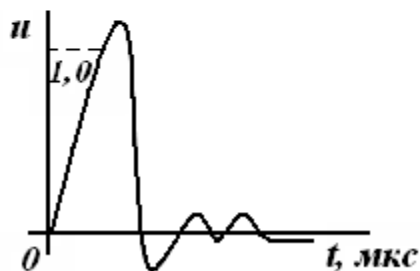
12.2-расмда уч бир фазали трансформаторларнинг 1500 кВ кучланишли каскад схемаси келтирилган. Таъминлаш томонидан биринчи ва иккинчи трансформаторлар учинчи-қўзғатувчи чулғамига эга; унинг вазифаси – кейинги элемент (трансформатор) нинг бирламчи чулғамини таъминлашдир.

Биринчи элементнинг боки заминланган, иккинчи ва учинчи элементларнинг боклари заминдан мос равишда, каскад тўла кучланишининг 1/3 ва 2/3 қисмига изоляциялангандир. Бокларнинг заминдан изоляцияланиши фарфор изоляторли таянч конструкциялар билан таъминланади.

Чакмоқ импульс кучланишлари билан трансформаторнинг синовидан мақсад – уларнинг эксплуатацияси жараёнидаги атмосфера ва коммутацион ўтакучланганликка нисбатан импульс мустаҳкамлигини текширишдир. Синовнинг меъёрлари ва усуллари, синов кучланишининг шакли ва амплитудаси давлат стандартлари (1516.1-76, 1516.2-76 ва 2756-77) да келтирилган.



12.2,а-расм.



12.2,б-расм.

Тўла импульс синов кучланиши – кучланишнинг аperiодик импульси бўлиб, тез кўтарилувчи (максимумгача) ва секин пасаяувчи қисмларига эга (12.2,а-расм) (4.1,а-расмдан).

Импульснинг давомийлиги деб τ_n – унинг шартли бошланишидан максимал U_m қийматнинг ярмигача камайишига айтилади. Унинг қиймати (50 ± 10) микросекундга тенг бўлиши зарур. Импульснинг fronti давомийлиги τ_f – импульснинг нолдан максимал қийматга эришадиган вақт оралиғига айтилади ва $(1.2 \pm 0,36)$ мкс. Атрофида бўлади.

Чакмоқ импульсининг қирқилган синов кучланиши деб шундай импульсга айтиладики, унинг разрядланишдан олдинги 2-3 мкс (12.2,в-расм) қирқиб ташланади. Синов кучланиши сифатида нисбий u_{k1} қиймати қабул қилинади. қирқилган чакмоқ импульси нимстанцияларда чакмоқ ўтакучланиши содир бўлганда разрядсизлагич ускунасининг ишлаб кетиши, ҳамда изоляциясининг ёки ҳимоя оралиғининг тешилишига мос келади. Чакмоқ импульсларининг синов кучланиши давлат стандарти 1516.1-76 бўйича 12.2-жадвалда келтирилган.

12.2-жадвал

Трансформаторлар ички изоляциясининг чакмоқ импульслари билан синовдаги синов кучланишлари

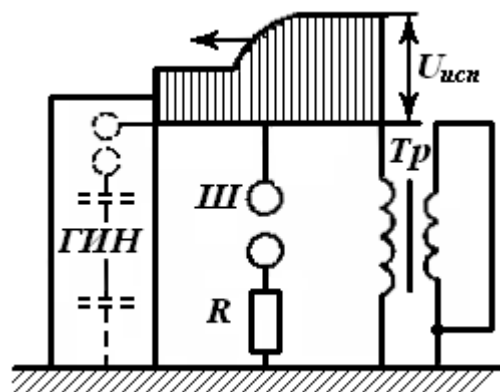
Кучланишлар даражаси, кВ	Синов кучланиши, кВ		Кучланишлар даражаси, кВ	Синов кучланиши, кВ	
	Тўла импульс	Қирқилган имп ульс		Тўла импульс	қирқилган импульс
3	44	50	110	480	550
6	60	70	220	750	835
10	80	90	500	1550	1650
20	130	150	750	2175	2300
35	200	225			

Трансформаторларни чакмоқ импульслари билан синовидан олдин унинг импульс ўлчови бажарилади. Бунда изоляция учун хавфсиз бўлган кичик амплитудали импульснинг таъмири натижасида чулғам бир нечта нукталари орасидаги кучланиш амплитудаси ўлчанади. Импульс ўлчовининг натижасида изоляциянинг электр мустаҳкамлиги захираси баҳоланади, изоляциянинг энг хавфли қисмлари аниқланади, зарур бўлганда чулғамдаги импульс ўта кучланганлиги камайитириш чоралари кўрилади.

Чакмоқ импульслари кучланишидан синовлар импульс кучланишли генератор (ИКГ) ёрдамида ўтказилади, кучланишнинг қиймати эса шартли ўлчов разрядсизлагич ёрдамида ўлчанади.

Синов ўтказиш ҳар бир линия киришига галма-галдан учтадан импульс узатиш билан олиб борилади; бунда бошқа линия киришлари,

трансформатор боки ва чулғамлари синовда иштирок этмайдилар. Синов схемаси 12.3-расмда келтирилган.



12.3-расм. Чулғам изоляциясини импульс синовини схемаси:

ИКГ – импульс кучланиш генератори;
Ш – шарли зарядсизловчи;
R – токни чекловчи қаршилик.

Синовнинг баҳолаш натижалари ҳам синов жараёнида, ҳам унинг тугаганидан сўнг олиб борилади. Синов боришида чулғамнинг потенциали ёки токининг тебранишлари осциллограммаси олинади; бу тебранишларнинг осциллограммалари дефектограмма дейилади. Дефектограмма меъёрграммалар билан таққосланади; меъёрграммаларни эса импульс амплитудасининг пасайтирилганида (синов кучланишининг 60% дан) олинади. Агар дефектограммалар меъёрграммалар билан мос келса ва изоляция тешилишининг бошқа

белгилари бўлмаса, трансформатор синовдан муваффақиятли ўтди деб ҳисобланади.

Синовларнинг натижаларини яна қуйидаги ёрдамчи сифатлар билан аниқлаш мумкин: тўлқин таъсири шаклининг бузилиши; ёғдаги акустик тўлқинлар пайдо бўлиши; бокдаги зарбанинг овози; ёғнинг сатҳида газ пуфаклари ёки тутуннинг ажралиб чиқиши.

Трансформаторнинг юқори кучланишли импульс синовларида юз минглаб вольт билан ўлчанадиган импульс кучланишлари талаб этилади. Шундай кучланишлар манбаси сифатида кўп поғонали импульс кучланишлари генератори (ИКГ) ишлатилади. Кўп поғонали ИКГ нинг ишлаш принципи шундан иборатки, бунда n та параллель уланган сиғимларни тўғрилагич ёрдамида бироз u_1 кучланишгача зарядланади; ундан сўнг улар бир неча учқун ораликлар ёрдамида автоматик равишда параллель уланишдан кетма-кет уланишга ўтилади. Бу n та кетма-кет уланган сиғимларда кучланиш $n \cdot u_1$ га тенг бўлади.

Изоляцияни саноат частотали кучланиш ва чақмоқ импульслари билан синовидан ташқари, кучланиш даражалари 150-750 кВ бўлган кучли трансформаторлар узок муддатли (0,5-1 соат) саноат частотали кучланиш (қиймати номинал кучланишнинг 1,3-1,5 га тенг) да синовдан ўтказилади; бир вақтнинг ўзида изоляциядаги қисман разрядлар даражаси ўлчанади. Бу синовлардан асосий мақсад – фақат синовда содир бўлиши мумкин бўлган изоляциянинг қисман шикастлари ёки изоляциянинг нуқсонларини аниқлаш учундир; улар бир минутли синовда содир бўлмаслиги мумкин.

Қисман разряд – электродлар орасидаги изоляцион ораликнинг бир қисмини қопловчи разряддир. Аксарият, қисман разряд ёки электр

мустаҳкамлиги камайган изоляциянинг бир қисмида ёки электр майдони кучланганлиги кўпайган ораликда содир бўлади.

Деярли суёт бўлган қисман разрядлар изоляция учун хавфсиз ҳисобланади, бироқ узок муддат ва жадал давом этадиган қисман разрядлар изоляциянинг парчаланишига, емирилишига, кўмирланишига ва газ ажралиб чиқишига олиб келади. Эксплуатация режимида содир бўлиш имкони бор бўлган шикастларнинг олдини олиш учун қисман разрядларнинг жадаллиги ўлчанади.

Трансформаторлар бирлик кувватининг, ишчи режим кучланишининг ортиши, трансформатор тузилиши ва конструкцияси танловининг самарали йўллари излаш, ҳозирги пайтда, синов кучланиши даражасини пасайтириш каби мураккаб масалани вужудга келтирди.

Эксплуатация жараёнида изоляцияга таъсир этаётган ўта кучланганликни чекловчи ҳозирги замон ҳимоя аппаратларининг такомиллашгани бу масалани ечиш имконини яратаяпти.

Охириги йилларда саноат частотали кучланиш билан синовнинг ўрнига эксплуатация жараёнида содир бўлиши мумкин бўлган коммутацион ўтакучланганликнинг имитацияси билан алмаштириш масаласи кўрилмоқда.

Малака синовлари дастурига коммутацион тўлқинлар билан бир қаторда, $1,3 \cdot U_{ф.ном.}$ кучланишда узок вақт ушлаб туришни кўзда тутувчи қисман разряд синовини киритиш таклиф этилди. қабул-топширув синовларида изоляциянинг назорати индивидуал кучланиш синовини ва ишчи кучланишга яқин бўлган кучланишдаги қисман разряд интенсивлигини ўзгартириш зарур. Ушбу масала бўйича якуний таклифлар трансформаторни ишлаб чиқарувчи корхона ва фирмаларда ҳамда уларни эксплуатацияси шароитида зарур бўлган тажриба кўрсаткичларини умумлаштирилгандан сўнг киритилади.

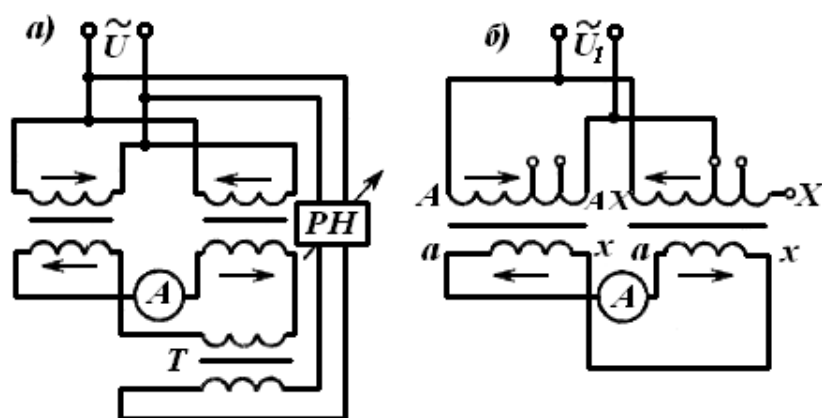
12.3. Қизиш синовлари

Қизиш (ёки қизитиш) билан ўтказиладиган синовлар трансформатор чулғами, ости (асоси) ва ёғининг юқори қисмларидаги ҳароратни юкланишнинг ва совутишнинг номинал шароитларида ташқи муҳит ҳароратига нисбатан ортиши аниқланади. Элементларида тарқок магнит майдони таъсирида нисбатан катта қўшимча кувват исрофлари бўлган трансформаторларда яхлит қисмларнинг ҳарорати ҳам аниқланади.

Синов қуйидаги усуллар билан бажарилиши мумкин:

а) бевосита юкланиш; б) ўзаро юкланиш; в) мойли трансформаторлар учун қисқа туташув ва юксиз ишлаш.

Бевосита юкланиш усули ишлаб чиқарувчи завод шароитида кичик қувватли (10 кВ·А гача) бўлган трансформаторларда ва кучли трансформаторларнинг иссиқлик синовларида қўлланилади.



12.4-расм. Ўзаро юкланиш усули ёрдамида қизиш синовии схемаси:
а – кучланишни ростлагичидан (КР) таъминланган қўшимча трансформатор ишлатиб; б – чулғамлараги ростловчи шахобчаларни ишлатиб.

Ўзаро юкланиш усули кичик ва ўрта қувватли трансформаторлар (асосан курук трансформаторлар) учун қўлланилади. Бунда трансформаторнинг номинал ишлаш шароитлари қайта тикланиши мумкин. Бироқ, қўшимча иккита трансформатор зарурлиги ва уларни жойлаштириш учун қўшимча майдон ажратилиши зарурлиги мавжуд. Иккала трансформатор ҳам бир хил номинал кучланиш, уланиш гуруҳи ва тахминан бир хил қувватга эга бўлиши зарур. Синовдан ўтаётган ва ёрдамчи трансформаторлар параллель уланади (12.4-расм). Уларнинг иккиламчи чулғамлари занжирида (дисбаланс) мувозанатланмаган кучланиш, унинг таъсирида чулғамларда мувозанатловчи ток оқади; унинг қиймати номинал қийматгача ростланади. Кучланиш дисбаланси вольтқўшувчи трансформатор ёрдамида ҳосил қилинади; у бирламчи ва иккиламчи занжирларга кетма-кет уланади (12.4,а-расм) ёки чулғамларнинг кучланишни ростлаш учун ишлатилувчи шахобчаларидан (12.4,б-расм) фойдаланилади.

қиска туташув усули катта қувватли мойли трансформаторлар синовиида қўлланилади. Бунда чулғам ва ёғнинг ташқи муҳит ҳароратидан ортганлиги ўлчанади, магнит тизимнинг ҳароратини ўлчаш учун узоқ муддат давомида юксиз ишлаш режимида номинал кучланишда ва номинал частотада трансформатор синовии ўтказилади.

қиска туташув усули билан трансформатор қизишининг синовии қиска туташув тажрибаси схемасига ўхшаш (4.5-расмга қаранг). Чулғамлардан бири қиска туташтирилиб, иккинчисига номинал частотали кучланиш уланади. Бунда мўлжалланган ҳароратда чулғамларда барча

қиска туташув номинал қувват исрофлари ($P_{к.џ.н}$) ва номинал кучланиш ва частотадаги барча юксиз ишлаш қувват исрофлари P_o йиғиндилари олинади:

$$\sum P = P_{к.џ.н} + P_o.$$

Агар қизиш жараёнида исрофларни эмас, балки ток ўлчанса, у ҳолда унинг қиймати қуйидаги ифоададан аниқланади:

$$I'_к = I_{ном} \sqrt{\frac{\sum P}{P_{к.џ.н}}},$$

бунда $I_{ном}$ – ушбу чулғамнинг номинал токи.

Аниқки, қиска туташув усулини куруқ трансформаторлар учун қўллаб бўлмайди, чунки бунда магнит тизим чулғамнинг бир қисм ҳароратини тортиб олиб деярли совуқ бўлади; нормал ишлаш шароитларида магнит тизим бу чулғамнинг қизишини оширади.

қизиш синовидида ташқи мухит, ёғ, магнит тизим ва чулғамларнинг ҳарорати ўлчанади.

Ҳаво ва ёғли табиий совутилувчи, ҳамда (II турдаги) пуркаб совутилувчи трансформаторларда атроф-мухит (совутувчи мухит)нинг ҳароратини камида учта термометр ёки трансформатор атрофи бўйлаб ҳар хил нуқталарда ўрнатилган учта термопаралар билан ўлчанади. Термометрлар ташқи ҳаво оқими ва иссиқлик тарқатувчилар таъсиридан ишончли ҳимояланган бўлиши шарт. Мой-сув совуткичли трансформаторларда атроф-мухит ҳарорати сифатида совутувчи сувнинг совуткичга кираётган қисмидаги ҳарорати олинади.

Ёғнинг ҳарорати термометр (ёки термопара) ёрдамида ёғнинг юқориги қисмида унинг сатҳидан 50-100 мм чуқурликда ўлчанади.

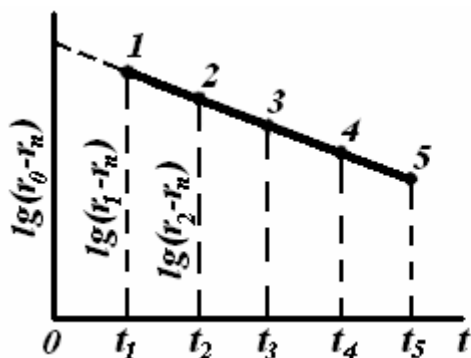
Магнит тизимнинг ҳарорати термопаралар ёрдамида энг юқори қисм бўлган юқориги ярмонинг юзасида ўлчанади.

Чулғамнинг ҳарорати билвосита усул билан ўлчанади, бунда трансформатор юкка уланишидан аввал (ҳарорати паст бўлганда) ва уни узилгандан сўнг чулғам қаршиликлари ўлчанади. Чулғам материали (мис ёки алюминий) яхши иссиқлик ўтказувчан бўлгани учун унинг ҳарорати қиска вақт трансформатор узилиши ва қаршилиги ўлчаниши оралиғида (50 секунддан 2 минутгача) совушга улгуради. Шунинг учун ўлчанган электр қаршилиқ юкланганидаги қийматига мос бўлмайди. Чулғамнинг қаршилигини график экстраполяция ёрдамида аниқланади. Трансформатор юкдан узилган ондан бошлаб совуш графигини (12.5-расм) қурилади; абцисса ўқига вақтнинг ўзгариши; ордината ўқига эса – $t_1, t_2, \dots$ вақтда ўлчанган электр қаршилиқлар фарқи $((r_1 - r_n), (r_2 - r_n), \dots)$ нинг логарифми жойлаштирилади. Ушбу 1,2,3,... нуқталар орқали тўғри чизик ўтказиб, ордината $e_g(r_0 - r_n)$ ва трансформатор узилаётган он t_0 даги чулғам қаршилиги r_0 ни аниқланади; бунда r_0 - охирги ўлчанган қаршилиқдир.

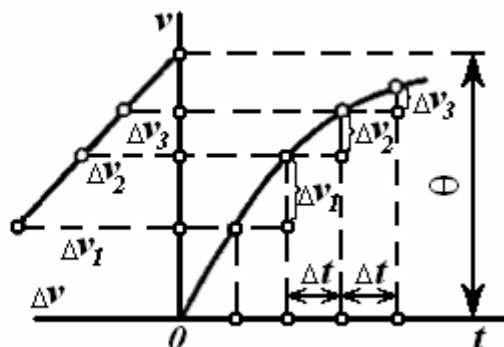
Чулғам ҳароратининг атроф-мухит $\theta_{\text{атр}}$ ҳароратидан ортганлиги

$$\theta_{\text{чулғ}} = \frac{r_0 - r_x}{r_x} (T - \theta_x) - \theta_{\text{амр.}},$$

бунда $T=235^\circ\text{C}$ – мис чулғамлар учун ва $T=245^\circ\text{C}$ – алюминийли чулғамлар учун; θ_x – синов бошланишидан олдин қаршилиги r_x бўлган



12.5-расм. Трансформатор ўчирилиш ондаги чулғам қаршилигини аниқлашнинг график усули.



12.6-расм. Қизишнинг экстраполяцияси.

чулғам ҳарорати.

Қуввати катта трансформаторларда уларнинг барқарорлик режимлари бўлгунигача қизиш синови (2 соат ёки ундан кўпроқ) ўтказилиши мумкин. Синов бошланишида қизиш жараёнини тезлатиш учун юкланишни жадаллатиш ёки сунъий равишда совутиш шароитини ёмонлаштириш мумкин. Ҳароратнинг ортиши мўлжалланган қийматнинг 70% га етганда нормал совутиш ва юкланиш режимлари ўрнатилади.

Қизишнинг охирида чулғам, магнит ўзак ва ёғнинг ҳароратлари ортиши секинлашади ва тўла барқарорлашган иссиқлик режимини ўрнатиш учун бирмунча вақт талаб этилади. Шунинг учун синов жараёнини тезлатиш учун ўтказилаётган тажриба тўхтатилади ва натижавий ҳарорат ортганлиги график экстраполяция (12.6-расм) усули билан аниқланади. Бундай экстраполяциянинг ҳақиқатга яқинлиги $\theta = v \left(1 - e^{-t/T} \right)$ тенгламадан аниқланади.

12.4. Қисқа туташувга чидамлилик синови

Бу турдаги синовдан мақсад – трансформаторнинг чулғамлари чиқишлари ва бошқа қисмларининг маҳкамланиши, ҳамда номинал қийматга нисбатан жуда катта бўлган қисқа туташув токининг чулғам изоляциясининг қизишга чидамлилигини текширишдир.

Юқорида айтилганидек, трансформаторни қисқа туташув токлари таъсиридан бузилишнинг сақланиши учун унинг конструкциясида маълум чоралар кўрилади.

Трансформаторнинг қисқа туташувга бардош бериши чулғамларнинг радиал (поналаш) ва ўқ (пресслаш) йўналишларда маҳкамланишига ва уларни ишлаб-чиқариш технологиясига боғлиқ.

Қисқа туташув токининг квадратига пропорционал бўлган механик таъсир чулғамларни қаттиқ деформациялаши, баъзида эса унинг парчаланишига олиб келиши мумкин, юқори даражадаги қизиш эса изоляцияни емириши мумкин.

Тўғри лойиҳаланган трансформатор давлат стандартлари ёки техник шартлари асосида тайёрланган синовларни ташқи қисқа туташувларни бузилишларсиз чидай олиши зарур. Чулғамлардан оқаётган қисқа туташув токи чулғамларнинг қизишига ва изоляциянинг емирилишига олиб келиши мумкин. Емирилишни бартараф этиш учун барқарорлашган қисқа туташув токида ва берилган давомийликда чулғамда ҳарорат куйидагидан ошмаслиги шарт °С:

- ёғли трансформаторлар учун иссиқликка бардошлилик даражаси А бўлган мис чулғамда	2
	50
Алюминийлик чулғамда	2
	00
қуруқ трансформаторлар учун мис чулғам билан: иссиқликка бардошлик А даражаси.....	1
	80
Е даражаси	2
	50
В, F, Н даражалари	3
	50
Алюминийлик чулғамлар: иссиқликка бардошлик А даражаси	1
	80
Е, В, F ва Н даражаларда	2
	00

Қисқа туташув давомийлиги 4 секунддан ортмаслиги зарур.

Қисқа туташув ҳосил қилган кучларнинг мўлжалланган қийматлари, актив қисм чулғамлари, чулғамларни маҳкамлаш ва пресслаш қурилмалари билан танишилгандан сўнг синовнинг дастури тузилади; унда ҳисоблаш қийматлари ва конструкция мустаҳкамлиги ҳақида дастлабки хулосалари ва синовни тўғридан тўғри ташкил этиш, қисқа туташув чидамлилиқ синови натижаларини баҳолаш киради.

Синовгача аввал чулғамларни ишлаб чиқариш натижаларини ва пресслашни ҳолатини баҳолаш учун трансформаторнинг актив қисмининг ташқи визуал кўриги ўтказилади ва зарур бўлганда, аниқланган нуқсонлар баргараф этилади.

Синов паст кучланишли чулғам қисқа туташтирилиб, юқори кучланишли чулғамга номинал кучланишни улаш билан бошланади; бунга сабаб синов вақтида трансформаторга узатилаётган токнинг қиймати кичик бўлиши таъминланади. Синовнинг схемаси 12.7-расмда келтирилган.

Синовлар барқарорлашган қисқа туташув токли бешта қисқа туташув тажрибасидан иборат.

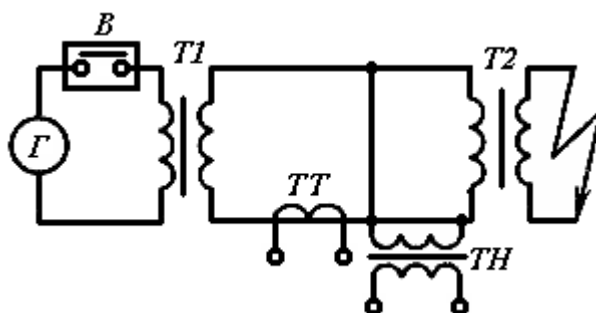
Синовлар натижасини баҳолаш ва шикастланган ерни аниқлаш учун трансформаторлардаги шикастларни индикациялашнинг ҳар хил усуллари қўлланилади:

1) ҳар бир тажрибадан сўнг чулғамлар изоляциясининг қаршиликлари ўлчанади; бу чулғамлар ва корпус орасида туташув пайдо бўлганлигини кўрсатади;

2) ҳар бир қисқа туташув тажрибасидан сўнг пасайтирилган кучланишда юксиз ишлаш қуввати исрофлари ва токини ўлчаш; бу синалаётган трансформаторнинг чулғамларида ўрамлараро қисқа туташув мавжудлигини аниқлаш имконини беради;

3) трансформатордаги вибрация ва шовқинларни осциллографларда қайд этиш (вибрация ва шовқин даражасини ўзгариши шикаст пайдо бўлганини акс эттиради);

4) ҳар бир фазанинг қисқа туташув қаршилигини ўлчаш $z_k = U_k / I_k$ (қаршилик ўзгаришининг 5% дан ортиғи чулғамнинг жиддий шикастланганлигини кўрсатади).



12.7-расм. Трансформатор қисқа туташувидаги динамик чидамлилиқка синовнинг схемаси:

$B(U)$ – узгич; T_1 – оралик трансформатори;

T_H – кучланиш трансформатори; T_2 – синовдаги трансформатор.

Синовнинг қониқарли натижаларида ва қайта ўтказилган қабул-топширув синовларидан сўнг трансформатор синовлардан муваффақиятли ўтди деб ҳисобласа бўлади.

12.5. Трансформаторларнинг монтажи, эксплуатацияси ва таъмиридан сўнг синовлари

Трансформаторни монтаж қилиш ва эксплуатацияга тушириш жараёнининг энг самарали ва вақт бўйича қисқалиги уни сақлаш ва ташиш шартларининг аниқ бажарилишидадир. Трансформаторнинг монтажи, таъмиридан сўнг ишга туширишдан аввал, ҳамда эксплуатация жараёнида трансформатор изоляцияси ҳолатини баҳолаш учун бир қатор синовлар ўтказилади:

- чулғам изоляциясининг қаршилигини R_{60} ўлчаш; бунда ўлчовлар ўзгармас кучланиш улангандан 60 секунддан кейин бажарилади;
- чулғам изоляцияси қаршиликларининг нисбатини (абсорбция R_{60}/R_{15} коэффицентини аниқлаш; қаршиликлар чулғамга ўзгармас кучланиш улангандан 60 с ва 15 с дан сўнг ўлчанади;
- чулғам изоляцияларининг диэлектрик исрофлари $\text{tg}\delta$ ўзгарувчан кучланиш берилгандан сўнг ўлчаш;
- ёғнинг изоляцион тавсифларини ўлчаш (ташиш кучланиши, диэлектрик исрофлар бурчаги ва ёғнинг намлиги);
- трансформатор боки ичида жойлаштирилган қаттиқ изоляцион намуналарининг намлигини аниқлаш;
- трансформатор чулғамлари изоляциясининг сиғимлари частотаси 2 ва 50 Гц бўлган кучланишдаги нисбатини (C_2/C_{50}) аниқлаш;
- абсорбцион сиғимнинг ортишини ($\Delta C/C$) аниқлаш.

Изоляция ҳолатининг баҳоланиши комплекс синовлар асосида амалга оширилади.

35 кВ гача кучланишли ва номинал қуввати 10000 кВ·А гача бўлган трансформаторларнинг изоляцион тавсифларнинг рухсат этилган қийматлари 12.3-жадвалда келтирилган.

121.3-жадвал

Трансформатор чулғамлари изоляцион тавсифларининг энг катта рухсат этилган қийматлари

тавсифлари	Трансформатор ҳолати	Ҳарорат, °С				
		10	20	30	50	70
$\text{tg}\delta$, %	янги	1,2	1,5	2,0	3,4	6,0
	Эксплуатацияда бўлган	2,5	3,5	5,0	11,0	20
C_2/C_{50}	янги	1,1	1,2	1,3	-	-

	Эксплуатацияда бўлган	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
$\Delta c/c, \%$	янги	13,0	2,0	30,0	-	-
	Эксплуатацияда бўлган	меъёрлаштирилмаган				

Изоляция қаршилигини R_{60} ва нисбат R_{60}/R_{15} ни ўлчаш изоляциянинг қўпол нуқсонларини (масалан, изоляциянинг бирор ери ифлосланиши, намланиши ёки шикастланиши) трансформатор уланишидан аввал аниқлаш имконини беради. Бошқа кўрсаткичлар билан биргаликда, бу тавсифлар изоляциянинг намланиши даражасини баҳолаш имконини беради.

Чулғамлар изоляцияси қаршилигини мегоомметр ёрдамида: 1000 В кучланиш билан 35 кВ кучланишли трансформаторларда; 2500 В кучланиш билан ўлчаш оралиғи 0÷10000 Мом бўлган қолган барча ҳолатларда, ҳарорати +10 °С дан паст бўлмаганда ўлчанади. Бунда мойли трансформаторларда изоляция ҳарорати деб юқори сатҳдаги мой ҳарорати олинади, куруқ трансформаторларда – атроф ҳавонинг ҳарорати олинади.

Икки чулғамли трансформатор изоляциясининг қаршиликлари қуйидагича амалга оширилади:

Юк чулғами ва бок орасидаги, ҚҚ чулғами заминлангандаги биринчи ўлчовлар (қискартириб ёзилганда ушбу ўлчов схемаси қуйидагича кўринишда бўлади ЮК – бок, ҚҚ); иккинчи ҚҚ-бок, юк; учинчи: ЮК+ҚҚ+бок.

Шу аниқланганки, изоляция қаршилигининг қиймати кучланишда бўлган вақтнинг давомийлигига боғлиқ. Вақт ўтиши билан ўлчаниш вақтигача изоляция қаршилиги ортади. Шунинг учун ўлчов асбобларидан курсаткичларни ёзиб олиш маълум вақт ўтганидан сўнг бошланади: биринчиси кучланиш берилгандан 15 секунддан сўнг, иккинчиси 60 секунддан сўнг. Бундай ўлчашда $K_{abc} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$ нисбат аниқланади; бу коэффициент (K_{abc}) абсорбция коэффициенти деб аталади. Изоляция қай даражада бир турли бўлса, яъни унда ташқи киритмалар (намлик, ифлослик ва бошқалар) қанчалар кам бўлса, шунчалар бошланғич ва кейинги ўлчанган изоляция қаршиликлари орасидаги фарқ катта бўлади.

Намланмаган ёғли трансформаторлари учун K_{abc} 1,3 дан кичик бўлмаслиги зарур.

Шу билан бирга, ўлчанган R_{60} қаршилик ушбу трансформатор ишлаб чиқарган завод шароитида ўлчанган $R_{60(зав)}$ бўлиши керак.

Изоляция намлигининг бошқа кўрсаткичи изоляциядаги диэлектрик исрофларидир. Бунда $\tan \delta$ аксарият, фақат абсолют бирликда ёки фоизда ўлчанади; $\tan \delta$ ни ўлчаш кучланиши 10 кВ бўлган сиғим кўпригида амалга оширилади.

Трансформаторни монтаждан сўнг эксплуатацияга киритиш имкони борлигини билиш учун, яъни унинг намлик ҳолатини баҳолаш учун чулғамнинг ўлчанган сиғимларидан фойдаланиш мумкин.

«Сиғим-частота» усули чулғамнинг намланган изоляцияси сиғими уланган кучланишнинг частотасига боғлиқлигига асосланган. Намлик даражасини частотаси 2 Гц даги сиғим C_2 нинг 50 Гц частотали кучланишдаги C_{50} сиғимга нисбати (C_2/C_{50}) нинг меъёрланган қийматдан фарқига қараб аниқланади. Ўлчаш жараёнлари учун махсус намликни назорат қилувчи асбоблар (ННА) мавжуд.

«Сиғим-вақт» усулида синов ўтказилаётган объект сиғимининг ўлчов занжирига разрядланиш вақти орасидаги боғланишдан фойдаланилади; бу усул изоляциянинг энг кичик намланишини ҳам аниқ кўрсатиш имконини беради. Изоляция ҳолатини баҳолаш вақт бирлигида (1 сек.) сиғимнинг геометрик сиғим C га нисбатан (ΔC) ортиши орқали олиб борилади. Ҳосил бўлган $\Delta C/C$ қийматлар 10.3-жадвалда берилган меъёрий қийматлар билан солиштирилади. Ушбу усулда ўлчовлар «Сиғим-вақт» (СВ) турдаги махсус тайёрланган асбоблар ёрдамида бажарилади; бу ўлчов усули чулғам изоляцияси сиғимининг бир мартали зарядланиши ва зарядсизланишига асосланган.

Катта қувватли $S_{ном} \geq 80$ МВ·А трансформаторларда каттиқ изоляция намланиши баҳоланишининг сон қийматларини аниқлаш учун намунавий изоляция (макет) ни жойлаштирилади.

Макет қалинлиги 0,5-3,0мм бўлган изоляцион картон пластиналардан иборат. Макетни трансформатор йиғилаётганида юқориги ярмонинг балкасига жойлаштирилади ва трансформатор билан биргаликда термовакуум ишлови таъсирида бўлади. Макетнинг нам сақлашига қараб изоляциянинг намлиги ҳақида хулоса чиқарилади. Бир неча ҳар хил қалинликдаги изоляциялар намлигига кўра намликнинг изоляцияга қандай чуқурликда кирганлиги аниқланади.

12.6. Трансформатор шикастланишлари, трансформатор ҳолатининг диагностикаси

Трансформаторларда содир бўлиши мумкин бўлган шикастларнинг таҳлили ушбу бобнинг тегишли қисмларида келтирилган, ўз навбатида уларни баъзи хил синовлар натижасида аниқлаш мумкин.

Трансформаторларни кўп йиллик эксплуатациясининг тажрибалари, маълум жиҳатдан, шикастларнинг типик турлари, сабаблари ва уларни аниқлаш таснифларини тузиш имконини беради. Мисол тариқасида шикастларнинг баъзиларини кўрайлик.

Магнит ўзак. Пўлатнинг қатламлараро изоляцияси нуқсонининг мавжудлиги натижасида пўлат қизиши содир бўлади; унинг сабаби – актив

пўлат қатламларидаги изоляция шикасти натижасида уярма тоқлар ва қиска туташув тоқларининг ортишидир.

Кўп ҳолларда ёғнинг юзасида намликнинг конденсациясини кузатиш мумкин. Юқоридаги ярмога етиб борган намлик актив пўлатнинг қатламлари орасига сув-ёғ эмульсияли сифатида сингийди, қатламлараро изоляцияни емиради ва пўлатнинг коррозиясини вужудга келтиради.

Ушбу сабаблар таъсирида ёғнинг хусусияти ёмонлашади (алангаланиш ҳарорати пасаяди, кислоталик хусусияти ортади), юксиз ишлаш қувват исрофлари ортади.

Бундай турдаги шикастларни аниқлаш учун қуйидагилар тавсия этилади: трансформатор актив қисмини бокдан чиқариб олиб ташқи кўриқдан ўтказиш; ёғ ҳолатини таҳлил қилиш, пўлат қисм ва асос орасидаги изоляцияни ўлчаб текшириш.

Чулғамлар. Чулғамларда тез-тез учрайдиган шикастланиш - ўрамлараро қиска туташувдир. Бунинг сабаби табиий эскириш ёки етарли бўлмаган совутишда давомли ўта юкланиш натижасида изоляциянинг емирилишидир. Ўрамларнинг изоляцияси емирилиши, масалан, қиска туташувдаги электродинамик куч таъсиридаги механик шикастланиш натижасида содир бўлиши мумкин.

Шикастланишнинг аломатлари – газ ҳимоясининг ишга тушиб кетиши, чулғамларнинг аномал қизиши, ўзгармас тоққа қаршилиқнинг фаза чулғамларида ҳар хиллиги ва ҳ.к. бўлиши мумкин.

Шикастланган жойни актив қисмнинг ташқи кўриқдан ўтказиш билан, чулғамларнинг ўзгармас тоққа бўлган қаршилиқларини ўлчаш, ҳамда махсус ўлчашлар билан аниқлаш мумкин.

Шикастларнинг асосий турлари ҳақида зарур бўлган ахборотларни трансформаторларни таъмирлашга бағишланган китоблардан топиш мумкин.

Қуввати 1000 кВ·А гача бўлган трансформаторларда газ релеси (ГР) ўрнатилади; ГР трансформаторнинг ҳимоя элементларидан бири бўлиб, бевосита трансформаторга ўрнатилган бўлади. Трансформатор ички қисмида шикастланиш натижасида газ ажралиб чиқиши пайдо бўлади, унинг натижасида реленинг ишлаб кетиши амалга ошади.

ГР ҳимояси ишлаб кетиши сабабларини реледаги йиғилган газни таҳлил қилиш билан аниқлаш мумкин; бунда газнинг миқдори, ёнувчанлиги, ранги ва химик таркиби ўрганилади. Газ ҳимояси – ишини назорат қилиш, унинг таҳлили шикастлар пайдо бўлиш жараёнининг дастлабки онларида уларни аниқлаб олиш имконини беради, кўпгина ҳолларда трансформатор ишлашидаги аниқланган носозлиқларни оператив (тезкорлик билан) бартараф этиш имконини беради.

Юқори кучланишли ва қувватли трансформаторларни ишлаб чиқариш ва ўрнатиш уларнинг эксплуатацион ишончлилигига,

эксплуатацияда трансформатор изоляцияси ҳолатини сифатли назоратига ва усулларига юқори даражали талаблар қўяди.

Трансформатор изоляциясини назорат қилишнинг келтирилган усуллари изоляция қисман шикастланишини бошланғич онларда аниқлаш, шикастларнинг ривожланиши даражаси, шикастланишнинг тахминий характери ва даражасини аниқлаш имконини бермайди.

Шунинг учун ишлаётган трансформаторлар шикастланишини ўрганишнинг истикболли йўналишларидан бири ёғда эриган газнинг таркибини хронометрик усулни қўллаб узлуксиз таҳлил қилишдир.

