

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ
ВАЗИРЛИГИ



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТИ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭНЕРГЕТИКА КАФЕДРАСИ

10-КТЭ-09 гуруҳ талабаси Косимов Хуршиднинг
“ЎТИШ ЖАРАЁНЛАРИ” ФАНИДАН ТАЙЁРЛАГАН

КУРС ИШИ

НАМАНГАН – 2013

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
НАМАНГАН МУХАНДИСЛИК ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭНЕРГЕТИКА КАФЕДРАСИ

“Тасдиқлайман”
 “Электротехника ва энергетика” кафедраси
 мудири _____
 “ ____ ” _____ 201 й

“ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАР” фанидан курс ишига

ТО П Ш И Р И Қ

Мавзу: Электр станциядаги уч фазали қисқа туташувни ҳисоблаш

1. Кириш. Курс ишини мақсади ва вазифалари
2. Берилган электростанцияни схемаси ва бошланғич маълумотлари
3. Ҳисоблаш учун алмаштириш схемаси тузилсин
4. Ҳисоблашни нисбий биирликларда бажарисин
5. Ҳисоблашни номланган бирликларда ҳисоблансин
6. Хулоса
7. Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

Вариант № 4

Талабанинг исми фамилияси Косимов Хуршид гуруҳи 10-КТЭ-09

Г1, Г2 генератор			Г 3 генератор			Реактор		
Типи	S_T (МВА)	$X''_{d(ном)}$	типи	S_T (МВА)	$X''_{d(ном)}$	типи	$I_{ном}$ (кА)	X_p (Ом)

Л1/Л2	Т1, Т2 трансформатор			Т 3 трансформатор			Т4, Т5 трансформатор		
	ти- пи	S_T (МВА)	U_K	типи	S_T (М ВА)	U_K	Типи	S_T (МВА)	U_K

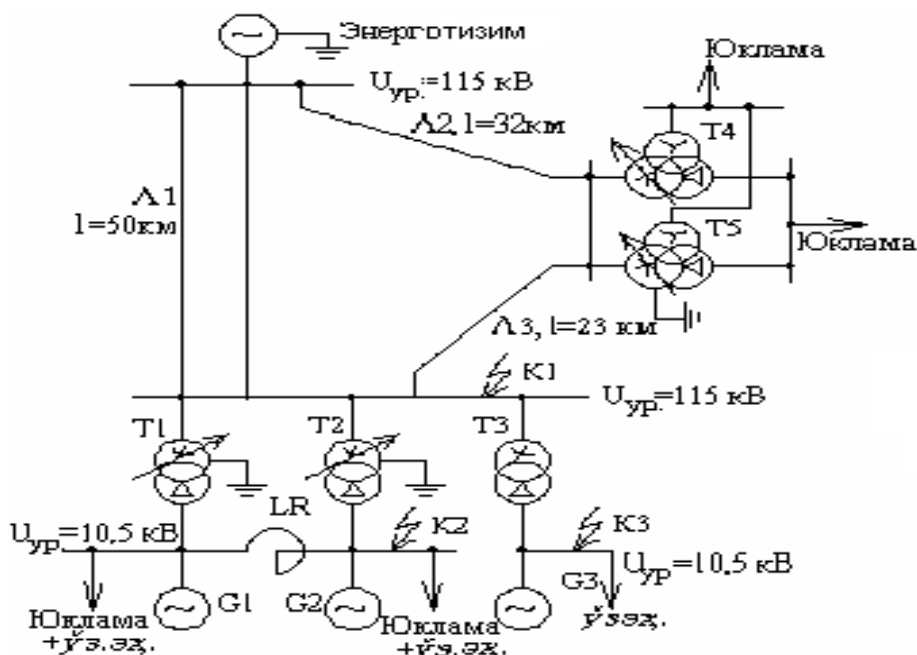
Изоҳ: Курс ишининг ҳисоб тушинтирув ёзуви матни А4 форматда қўл ёзма шаклида 25-30 вароқдан иборат бўлади. Чизмалар қалам билан А11 форматда бажарилади.

Рахбар:

Д.Юсупов

Топширик учун берилган ҳисобий схемаси

Электр ускунаси ҳисобий схемаси деганда қ.т. токига таъсир этувчи ҳамма элемент ва параметрлар кўрсатилган бир чизиқли схема тушунилади.



Ҳисобий схема мисоли расм 1-да келтирилади.

Расм 1. Қ.т. тоқларини топиш учун ҳисобий схема мисоли:

Элемент параметрлари: T1 ва T2-ТДН-40000/110, 40 МВ·А, $u_k=10,5\%$; T3-ТД-125000/110, 125 МВ·А, $u_{kT}10,5\%$; T4 ва T5-ТДТН-40000/110, 40 МВ·А, $u_{kВ-Нк}10,5\%$; G1 ва G2-ТВФ-60-2, 75 МВ·А, $x''_{d*(ном)}=0,146$; G3-ТВФ-100-2, 118 МВ·А, $x''_{d*(ном)}=0,183$; LR-РБДГ10-2500-0,25, $I_{ном}=2,5$ кА, $x_p=0,25$ Ом.

Агар ҳисоб фақат нормал схема учун эмас, таъмир режими, яъни ускуна элементлари қисми (линия, генератор, трансформатор) ўчирилганлигида бажарилиши керак бўлса, бу ҳисобий схема иловасида кўрсатилиши керак.

Ҳисобий схема ёки иловаларда параметрларни (кучланиш, кувват, қаршилиқ) номинал қийматлари кўрсатилади. Масалан расмда қаршилиқлари қ.т. тоқларини юқори кучланиш ускуналарида ҳисобга олинган ҳамма элемент параметрлари кўрсатилган (генератор, трансформатор, узатиш линия, реакторлар).

Баъзи ҳолларда аниқлаштирилган ҳисоб учун схемада юклама параметрлари ҳам кўрсатилиши керак.

Бир кВ-гача ускуналарда қ.т. тоқлар ҳисобларида шина, ток трансформатори, рубильник, автоматик ўчиргич қаршилиғи ҳисобга олиниши керак, параметрлар ҳисобий схемада кўрсатилиши керак. Расмда келтирилган ҳисобий схемада трансформатор билан боғланган бир неча кучланиш поғоналари мавжуд (115; 10,5 кВ).

Ҳисобларни соддалаштириши мақсадида ҳар бир электр поғона учун ҳисобий схемада уни ҳақиқий кучланиши ўрнига амалдаги шкала бўйича ўрта кучланиш $U_{ур}$ кўрсатилади: 770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15.

Ҳар бир электр поғона учун ўрта кучланиш қабул қилиб, кўрилаятган поғонага уланган ҳамма элементни номинал қийматлари уни ўрта қийматига тенг деб ҳисобланади.

Тармоқ элементлари қаршилиқларини топиш учун ҳисобий схемада, одатда, номланган параметрлар, кўп ҳолларда эса нисбий бирликларда ёки фоизларда кўрсатилади (трансформаторни қ.т. кучланиши, генераторни индуктив қаршилиқлари ва бошқалар).

Нисбий бирликларда катталиклар ҳисоби, яъни қандайдир белгиланган, асосий қиймат қисмлари ёки фоизлардаги қиймати, олдин ўрганилган фанларда учраган: физика, электротехникани назарий асослари, электр машина ва бошқаларда. Нисбий бирликлар қ.т. токлари ҳисобларида ҳам ишлатилади.

Уч фазали занжирни қайсидир элементини (трансформатор, генератор, реактор) қуйидаги номинал параметрлари билан оламир: $U_{ном}$, кВ; $I_{ном}$, кА; $S_{ном}$, МВ·А; $x_{ном}$, Ом.

Номинал параметрлар ўзаро маълум нисбатлар орқали боғланган

$$\left. \begin{aligned} S_{ном} &= \sqrt{3} I_{ном} U_{ном}; \\ x_{ном} &= U_{ном} / \sqrt{3} I_{ном}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Занжир шу элементи ҳар қайси бошқа иш режими, қ.т.-ни ҳам қўшиб, кучланиш U , ток I , қувват $S=\sqrt{3} IU$ ва қаршилик $x=U/\sqrt{3} I$ билан характерланади, уни кўрилаятган элемент номинал параметрларини қисмлари билан ифодалаш мумкин, бу ҳолда улар асос деб қабул қилинади:

$$\left. \begin{aligned} U_{*(ном)} &= U / U_{ном}; I_{*(ном)} = I / I_{ном}; \\ S_{*(ном)} &= S / S_{ном}; x_{*(ном)} = x / x_{ном}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Шу йўл билан олинган қийматлар занжир элементини белгиланган иш шароитларида характерловчи нисбий катталик (индекс $*$ кўрсатадики, кучланиш катталиги нисбий бирликда берилган).

Нисбий қаршилик $x_{*(ном)}$ учун келтирилган ифода $x_{ном}$ -ни (2)-дан олинган қийматига алмаштириб ўзгартирилиши мумкин: $x_{*(ном)} = \sqrt{3} I_{ном} x / U_{ном}$. (4)

Бундан келиб чиқадики, асосий номинал шароитда кўрилаятган элементдан номинал ток оққандаги нисбий қаршилик кучланиш тушувини номинал кучланиш нисбатига тенг. (4)-да номинал токни номинал қувват ва номинал кучланишга алмаштириб, оламир $x_{*(ном)} = x S_{ном} / U_{ном}^2$. (5)

Ток, кучланиш ва бошқа параметр нисбий қийматлари фақат занжирни кўрилаятган элементини номинал қийматларига нисбатан эмас, ҳисоб асосига қўйилган ҳар қандай бошқа қийматларни асос тизимига нисбатан ҳам топиш мумкин. Аниқки, катталикларни асос тизимига уч фазали тизим учун $S_a = \sqrt{3} I_a U_a$ қувват ифодаси билан боғланган асосий қувват S_a , кучланиш U_a , ток I_a , ҳамда асосий қаршилик $x_a = U_a / \sqrt{3} I_a$ кириши керак, яъни ихтиёран фақат иккита асосий катталик белгиланади. Одатда қувват ва кучланишни асосий қийматларини белгилаш қулай ва уларга қараб асосий ток $I_a = S_a / \sqrt{3} U_a$ ва асосий қаршилик топилади.

Асосий қийматлар одатда қуйидаги бирликларда берилади: кучланиш-кВ-да, қувват-мегавольт-амперда, қаршилик-Ом-да.

Маълум бўлган U_a , I_a , S_a ва x_a асосий катталикларда нисбий асосий қийматлар (3)-га ўхшаш ифодалардан топилади:

$$\left. \begin{aligned} U_* &= U / U_a; I_* = I / I_a; \\ S_* &= S / S_a, x_* = x / x_a. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(4) ва (5)-ларга ўхшаш ифодаларга кўра қаршиликни нисбий асосий қиймати учун ёзиш мумкин

$$x_* = \sqrt{3} I_a x / U_a \quad (7)$$

ва

$$x_* = S_a x / U_a^2. \quad (8)$$

Маълумотномаларда машина ва аппаратлар кўрилаятган ҳолда асосийга қабул қилинган ва номинал қувват, қаршилик, кучланишга нисбатан топилган параметрлар нисбий қийматлари келтирилади.

Баъзи ҳолларда нисбий номинал катталик фоизларда берилади. Аниқки, $U\% = U_{*(ном)} \cdot 100$; $I\% = I_{*(ном)} \cdot 100$; $S\% = S_{*(ном)} \cdot 100$; $x\% = x_{*(ном)} \cdot 100$.

Асос бўлган шароит номиналдан фарқ қилса нисбий асос қаршилиқ маълум бўлган нисбий номинал қаршилиқдан топилиши мумкин:

$$x_* = x_{*(ном)} \frac{I_{\phi} U_{ном}}{I_{ном} U_{\phi}} \quad (9)$$

ёки

$$x_* = x_{*(ном)} \frac{S_{\phi} U_{ном}^2}{S_{ном} U_{\phi}^2} \quad (10)$$

Бундан фойдаланиб, қаршилиқ нисбий бирликлардаги маълум қийматдан Ом-ларда топилиши мумкин.

Параметрларни нисбий қийматидан фойдаланиб, электротехника қонунларига биноан ҳисобларни бажариш мумкин, бунда ифодаларга кирадиган ҳамма катталиқ бир хил асос шароитларда топилган бўлиши керак.

Кўзда тутиш керак, линиявий (фазалараро) ва фазовий кучланишлар нисбий қийматлари бир-бирига тенг:

$$U_{*лин} = \frac{U_{лин}}{U_{\phi, лин}} = \frac{\sqrt{3} U_{\phi}}{\sqrt{3} U_{\phi, \phi}} = \frac{U_{\phi}}{U_{\phi, \phi}} = U_{* \phi} \quad (11)$$

Шунинг учун, масалан, нисбий бирликдаги Ом қонуни $I_{*лин} = U_{*} / x_{*}$, уч фазали тармоқ қуввати $S_{*} = U_{*} I_{*}$.

Схема турли элементлари қаршилиқларини топилишини кўрамиз.

Синхрон машина. Ҳисобий схемага синхрон машина индуктив қаршилиқни бўйлама ўқи ўта ўтиш қиймати сифатида киритилади, у каталогларда нисбий бирликда ёки фазда номинал асос шароитларда келтирилади:

$$x''_{d*(ном)} = x''_d \frac{\sqrt{3} I_{ном}}{U_{ном}} = x''_d \frac{S_{ном}}{U_{ном}^2}, \quad (12)$$

ёки

$$x''_{d\%} = x''_d \frac{\sqrt{3} I_{ном}}{U_{ном}} 100 = x''_d \frac{S_{ном}}{U_{ном}^2} 100, \quad (13)$$

бу ерда $I_{ном}$, $U_{ном}$, $S_{ном}$ -генератор (компенсатор, двигателни) номинал ток, кучланиш ва қуввати; $x''_{d\%}$ -ўта ўтиш қаршилиқ, Ом.

Юқори кучланиш электр машина актив қаршилиғи индуктив қаршилиқдан кўп марта кичик ($x/r = 15 \div 150$).

Қ.т. тоқлари ҳисобида генератор кўпинча умумлаштирилган эквивалент манбаага алмаштирилади. Агар қ.т. нуқтаси генератор (синхрон компенсатор) қисқичларида ёки уларни яқинида, масалан, алоқа трансформаторидан кейин бўлса, бундай электр машина схемада ўзини параметрлари билан ҳисобга олинади. Тизимни қолган қисми, у ерда, одатда генерирловчи қувватлар бўлади, ягона манбаа сифатида кўрилиб, шиналари ўзгармас кучланишли дейилади, уни қ.т.-даги роли фақат элемент қаршилиқлари билан чегараланган (линия, трансформатор, реактор) бўлиб, улар орқали қ.т. нуқтаси тизимни бу қисми билан боғланган бўлади.

Агар қ.т. тоқи даврий ташкил этувчисини бошланғич қиймати $I_{Д,0}$, ёки уч фазали қ.т.-да қувват маълум бўлса:

$$S_k = \sqrt{3} I_{Д,0} U_{\dot{y}p},$$

ундан тизим индуктив қаршилиғини шу нуқтага нисбатан топиш мумкин:

$$x_c = \frac{U_{\dot{y}p}}{\sqrt{3} I_{Д,0}} = \frac{U_{\dot{y}p}^2}{S_k}, \quad (14)$$

бу ерда $U_{\dot{y}p}$ -ток $I_{Д,0}$ ёки қувват S_k маълум бўлган поғонани ўрта кучланиши. Бу қаршилиқдан кейин доимий кучланиш шиналари бўлади, $U = U_{\dot{y}p} = \text{const}$.

Энерготизим қаршилиғини мазкур тугунда ўрнатилган ёки ўрнатишга мўлжалланган узгични чегаравий ишлатиш шартидан топиш мумкин, яъни шу узгичдан кейинги уч фазали қ.т.-да ток ўчириладиган номинал ток $I_{ном, \dot{y}ч}$ -га тенг деб ҳисоблаб. Унда:

$$x_c = U_{\dot{y}p} / (\sqrt{3} I_{ном, \dot{y}ч}). \quad (15)$$

Тизимни эквивалент генератор параметрлари билан, яъни нисбий номинал қаршилиқ $x_{*c(ном)}$ ва номинал қувват $S_{ном}$, билан ҳам белгилаш мумкин. Унда $S_{ном}$ манбаалар номинал қувватлари йиғиндисига тенг бўлади.

x/r нисбат ўрта қийматини тизим учун топиш қийин, чунки у қ.т. нуқтасини ҳолатига боғлиқ. Агар қ.т. тизимдан электр узатиш линиялари билан ажратилган бўлса, нисбат камаёди; линиялар узунлиги қисқариб, қ.т. қувватли станциялар шинасига яқинлашганда нисбат қиймати кўпаяди.

Трансформатор ва автотрансформаторлар. Ҳар бир куч трансформатори учун паспортда қ.т. кучланиши берилади, у трансформаторни нисбий номинал қаршилигига тенг:

$$u_k\% = \frac{U_k}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} I_{ном} Z_T}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{Z_T}{Z_{ном}} \cdot 100 = Z_T\% \quad (16)$$

Одатда $x_T \gg r_T$, ва демак $Z_T\% \approx x_T\%$. Икки чулғамли трансформаторлар учун каталоглар ва бошқа маълумот материалларда $u_{кв-н}\%$ берилади. Уч чулғамли трансформаторлар, автотрансформаторлар ва паст кучланиш чулғами майдаланган трансформаторлар учун қ.т. кучланишлари ҳар бир жуфт чулғамлар учун берилади. Ҳар бир чулғамни индуктив қаршилигини топишда маълум ифодалардан фойдаланилади, асосийлари жадвалларда келдирилади.

Реактор. Паспортда одатда номинал ток ва Ом-лардаги қаршилиги кўрсатилади.

Ҳаволи ва кабелли узатиш линиялари. Ҳисобий схемада узунлиги, фазалар солиштирма индуктив қаршиликлари жадвал 1-да келтириладиган ўрта қийматлардан олиш мумкинлигини ҳисобга олиб, кўрсатилади.

Жадвал 1.

Ҳаволи ва кабелли электр узатиш линияларини солиштирма ўрта индуктив қаршиликлари

Электр узатиш линияси тури	$x_{сол.}$, Ом/км
Бир занжирли ҳаво линияси, 6–220 кВ	0,4
Бир занжирли ҳаво линияси, 220–330 кВ, фазада икки симга майдаланса	0,32
Бир занжирли ҳаво линияси, 400–500 кВ, фазада уч симга майдаланса	0,3
Уч симли кабель:	
6–10 кВ	0,08
35 кВ	0,12
Бир симли мой тўлдирилган кабель, 110 кВ	0,16

Генератор, синхрон компенсатор ва электродвигателлар учун ўта ўтиш **ЭЮК** берилиши керак.

Ҳамма синхрон машина қ.т.–гача номинал параметрларда ишлаган деб шартли ҳисобланади. Ҳамма синхрон машина уйғотишни автоматик ростлагичлари ва уйғотишни тезлатувчи ускуна билан таъминланган деб ҳисобланади. Манбаалар **э.ю.к.**-лари ўрта қийматлари жадвал 2-да келтирилган.

Жадвал 2.

Турли манбаалар **э.ю.к.**-ларини ўрта қийматлари

Манбаалар	$E_{*}^{11} (ном)$
100 МВт-гача турбогенератор	1,08
100–500 МВт-гача турбогенератор	1,13
Тинчлантирувчи чулғамли гидрогенератор	1,13
Тинчлантирувчи чулғамсиз гидрогенератор	1,18
Синхрон компенсатор	1,2
Синхрон двигател	1,1
Асинхрон двигател	0,9

Жадвал 2-га двигателли юклама **э.ю.к.**-лари тўғрисида маълумотлар қўшилган. Таъкидлаш лозимки, қ.т. тоқларини ҳисобида юклама бошқача ҳисобга олинади: генераторларга тўғридан-тўғри улангани (**ИЭМ**) ва генераторлар қуввати билан солиштирса бўладиган қувватга эгалари $E_{*(ном)}=1$ қийматгача коррекциялаб, ҳисобга олинади. Қ.т. жойига

яқиндаги қувватли юкламалар $E''_{*(ном)}=0,85$; $x_{*(ном)}=0.35$ ўз параметрлари билан умумлаштирилган манбаа сифатида ҳисобга олинади. Қ.т. юкламалардан узун линиялар, трансформация поғоналари билан ажратилган бўлса, одатда ҳисобга олинмайди. Қ.т.-да электр станциялар ўз эҳтиёжлари тизимидаги двигателли юкламалар таъсири алоҳида ҳисобга олинади.

Ўриндош электр схема

Электр ускунаси ҳисобий схемасида қ.т. бўлиши мумкин фараз қилинган нуқталар белги-ланади. Кейин бу нуқта учун эквивалент ўриндош схема тузилади.

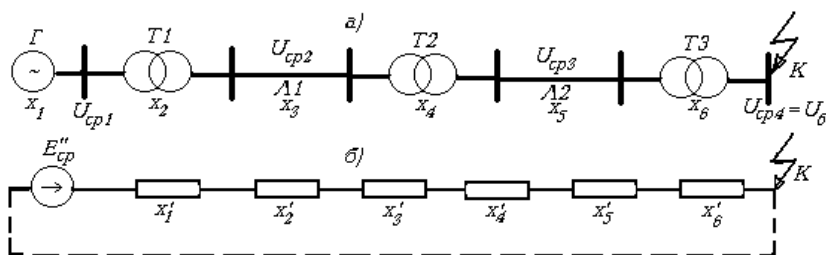
Ўриндош схема деб берилганлар бўйича ҳисобий схемага тўғри келадиган, аммо ҳамма магнит (трансформатор) алоқалар электр алоқаларга алмаштирилган электр схемага айтилади.

Ҳисобий схема параметрлари номланган бирликларда бўлса, ҳамма қаршиликлар Ом-да бўлиб, битта базавий кучланишга келтирилган бўлиши керак (электр поғонани ўрта кучланиши). Бундай келтириш, агар манбаа ва қ.т. нуқтасини орасида бир ёки бир нечта трансформация поғоналари бўлса керак (расм 2, в).

Базавий кучланиш сифатида қ.т. содир бўлган поғона ўрта кучланишини қабул қилиш кулай. Қаршиликни танланган базавий кучланишга қуйидаги ифода бўйича келтирилади:

$$x' = (n_1 n_2 n_3 \dots n_k)^2 x, \quad (17)$$

бу ерда: $n_1 n_2 n_3 \dots n_k$ —қаршилик x —ни базавий кучланиш билан боғлайдиган трансформаторлар трансформация коэффициенти;



Расм 2. Ҳисобий радиал ва ўриндош схема.

шу коэффициентларни танланган базавий поғонадан кўрилаятган қаршилик уланган поғона томон аниқланади.

Ҳар бир электр поғона учун ўрта кучланиш топилиши муносабати билан қаршиликни келтириш учун ишлатиладиган трансформация коэффициенти икки поғонани ўрта кучланиш нисбати. Шунинг учун оралик трансформация коэффициенти қисқаради ва қаршиликлар қуйидаги ифодадан топилади:

$$x' = x \cdot U_6^2 / U_{yp}^2, \quad (18)$$

бу ерда: x —мазкур элемент индуктив қаршилиги, фазада Ом, мазкур элемент уланган поғонадаги ўрта кучланишга берилган; x' —индуктив қаршилик, мазкур элемент фазасида қабул қилинган базавий кучланиш U_6 —га келтирилган, Ом.

Жадвал 3-да қаршиликларни номланган бирликларда базавий кучланишга келтирадиган ифодалар.

Жадвал 3.

Қаршиликни келтирилган қийматини топиш учун ҳисобий ифодалар

Электр қурилма элементи	Бошланғич параметр	Номланган бирликлар	Нисбий бирликлар
Генератор	$x_{d*ном}$ $S_{ном}$	$x = x_{d*(ном)} \frac{U_0^2}{S_{ном}}$	$x^* = x''_{d*(ном)} \frac{S_0}{S_{ном}}$
	$x''_{d\%}$ $S_{ном}$	$x = \frac{x''_{d\%}}{100} \frac{U_0^2}{S_{ном}}$	$x^* = \frac{x''_{d\%}}{100} \frac{S_0}{S_{ном}}$
Энерготизим	S_r	$x = U_6^2 / S_k$	$x^* = S_0 / S_k$

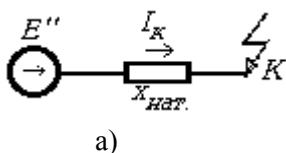
	$I_{ном,уч}$	$x = \frac{U_{\delta}^2}{\sqrt{3} I_{ном,уч} U_{урт}}$	$x^* = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} I_{ном,уч} U_{урт}}$
	$\frac{x_{*c(ном)}}{S_{ном}}$	$x = x_{*c(ном)} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x^* = x_{*c(ном)} \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
Трансформатор	$\frac{x_m\%}{S_{ном}}$	$x = \frac{x_m\%}{100} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x^* = \frac{x_m\%}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
Реактор	x_p	$x = x_p \frac{U_{\delta}^2}{U_{урт}^2}$	$x^* = x_p \frac{S_{\delta}}{U_{урт}^2}$
Узатиш линиялари	$x_{сол} l$	$x = x_{сол} l \frac{U_{\delta}^2}{U_{урт}^2}$	$x^* = x_{сол} l \frac{S_{\delta}}{U_{урт}^2}$

Иловалар. $S_{ном}$ -элементлар (генератор, трансформатор, Энерготизим)-ни номинал қувватлари, МВ·А; S_{δ} -базавий қувват, МВ·А; S_k -энерготизим қ.т. қуввати, МВ·А; $I_{ном,уч}$ -узгич ўчирадиган номинал ток, кА; $x_{*c(ном)}$ -энерготизимни нисбий номинал қаршилиги; x_m -трансформаторни нисбий қаршилиги, u_k -трансформаторни қ.т. кучланиши орқали аниқланган; I_{δ} -базавий ток, кА; $U_{урт}$ -мазкур элемент ўрнатилган жойдаги ўрта кучланиш, кВ; $x_{сол}$ -линияни 1 км узунлигига индуктив қаршилик, Ом/км; l -линия узунлиги, км.

Ҳисоб, одатда, нисбий бирликларда бажарилади, шунинг учун ўриндош схема ҳамма элементлари қаршиликларини олдиндан базавий шартларга келтириб олиш керак. Базавий шароит ҳисобларни бажариш қулайлигини ҳисобга олиб танланиши керак. Масалан, базавий қувватга асосан 100, 1000 ёки 10000 кВ·А қабул қилинади, баъзида эса алоҳида элементлар схемада тез-тез қайтариладиган қувват қабул қилинади. Базавий кучланиш сифатида мазкур ўрта кучланишни қабул қилиш қулай.

Қ.т. токи даврий ташкил этувчиси қийматини ҳисоблаш учун уч фазали қ.т.-да битта фаза учун ўриндош схема тузилади (расм 2, б), чунки занжирни ҳамма фазалари бир хил шароитда бўладилар.

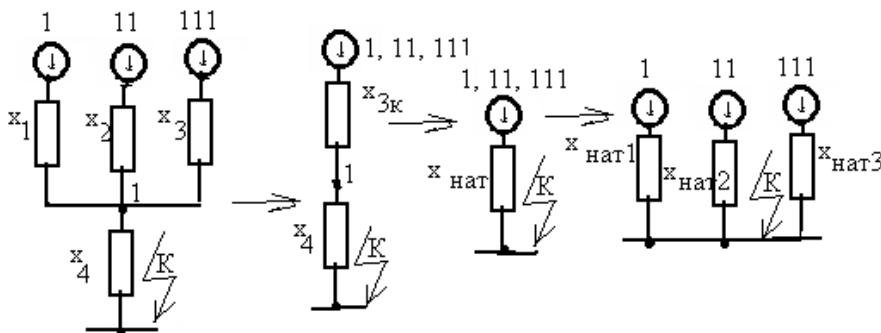
Ўриндош схема тузилиб, ҳамма элемент қаршиликлари аниқлангандан кейин, у энг оддий кўринишга ўзгартирилади (расм 3). Ўзгартиришлар манбаадан қ.т. томон бажарилади. Ўриндош схемани ўзгартириш жараенида боғланган занжир-



Расм 3. Натижавий ўриндош схема.

ларни бўлиш масаласи пайдо бўлади. Бундай ҳолат расм 4-да кўрсатилган.

Расм 4. Боғланган занжирларни ажратиш.



1, 11, 111 манбаалардан тоқлар умумий қаршилик x_4 -дан ўтади. Шикастланган жойга алоҳида манбаалардан келаятган тоқни топиш учун схемани расм 4, г-да кўрсатилган кўринишга олиб келиш керак.

Бундай ўзгартиришда олинган схема бўйича ҳисобларда шикастланган нуқтага алоҳида манбаалардан оқиб келаятган тоқлар ўзгартиришдан олдингидай бўлиши керак. Ҳисоб қуйидаги тартибда бажарилади.

Берилган қ.т. нуктаси учун ўриндош схема тузилади ва кетма-кет ўзгартиришлар йўли билан уни оддий кўринишга олиб келинади (расм 4, а), бунда манбаалар параллел шохлари сони ихтиёрий бўлиши мумкин.

Кейин схемани натижавий қаршилиги топилади (расм 4, а-в): $x_{нат} = x_{экв} + x_4$, (19)

бу ерда $x_{экв}$ -хамма манбааларни схемани 1 нуктасига нисбатан эквивалент қаршилиги $x_{экв} = x_1 \parallel x_2 \parallel x_3$. (20)

Шикастланган жойдаги токни даврий ташкил этувчиси нисбий қийматини бир деб қабул қилинади ($I_{Д.}$). Кейин тақсимлаш коэффициентларини, яъни ҳар бир манбаани қ.т. токидаги улуши топилади. Кирхгоф қонунларига биноан:

$$I_{Д.1} + I_{Д.11} + I_{Д.111} = I_{Д.} = 1, \text{ ҳамда}$$

$$\frac{I_{Д.1}}{I_{Д.}} = \frac{x_{эк}}{x_1}; \quad \frac{I_{Д.11}}{I_{Д.}} = \frac{x_{эк}}{x_2} \text{ ва шунга ўхшаш.}$$

Бундан шохлар бўйича тақсимлаш коэффициентлари:

$$C_1 = I_{Д.1} = x_{эк}/x_1; \quad (21)$$

$$C_2 = I_{Д.11} = x_{эк}/x_2 \text{ ва шунга ўхшаш.}$$

Шундай қилиб, тақсимлаш коэффициентларидан фойдаланиб, қ.т. жойидаги йиғинди токдан уни шохларга тақсимланишини топиш мумкин.

Коэффициентлар ҳисобини тўғрилигини қуйидаги шартни бажарилишидан текшириш мумкин:

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1. \quad (22)$$

Шохлар бўйича ток тақсимланиши доимий қилинлигини ҳисобга олиб (расм 4, г): $x_{нат.1} = x_{нат.}/C_1$; (23)

$$x_{нат.2} = x_{нат.}/C_2; \text{ ва шунга ўхшаш.}$$

Маълум бўлган натижавий ўриндош схемадан қ.т. токи даврий ташкил этувчисини топиш қийин эмас.

Ҳисоб нисбий бирликлардалигида $I_{Д.0} = I_{Д.} \cdot E'' / x_{нат.}$, (24)

бу ерда: E'' —манбаа э.ю.к.-си, нис.бирл.; $x_{нат.}$ —қ.т. занжирини базовий шароитларга келтирилган натижавий нисбий қаршилиги; $I_{Д.}$ —қ.т. жойида берилган $S_{Д.}$ ва $U_{Д.} = U_{ур.}$ -ларда топилган базавий ток.

Ҳисоб номланган бирликлардалигида $I_{Д.0} = E_{ф.}'' / x_{нат.}$, (25)

бу ерда $x_{нат.}$ —қ.т. занжирини натижавий қаршилиги, Ом; $E_{ф.}''$ —манбаа э.ю.к.-си (фаза қиймати), қ.т.

кўрилатган поғонага келтирилган: $E_{ф.}'' = E''_{манбаа} \cdot \frac{U_{Д.}}{U_{ур.манб.}}$. (26)

Кучланиши 1 кВ-гача электр тармоқларида қ.т. бўлганда ўриндош схема тузиш ва токни бошланғич қийматини топишда бир оз хусусиятлар бор. Бу тармоқларда ҳаммадан аввал занжир элементларини индуктив ва актив қаршиликларини ҳисобга олиш керак, чунки улар солиштирса бўладиган.

Кучланиши 1 кВ-гача электр тармоқларида қ.т. токига катта бўлмаган кесимли қисқа ўтказгичлар, ток трансформаторлари, автоматларни ток ғалтаклари, контакт бирикмалар қаршиликлари сезиларли таъсир қилади. Улар юқори кучланишларда ҳисобга олинмайди.

Бир вақтни ўзида ҳисобларни сезиларли кўполлаштирмасдан ташқи алоқалар қаршилигини ҳисобга олмаса бўлади ва ҳисоблаш мумкин, паст кучланиш тармоғини таъминлайтган трансформаторни юқори кучланиш шиналари ўзгармас кучланиш шиналари.

Кучланиши 1 кВ-гача тармоқларни ўриндош схемалари параметрларини номланган бирликларда тақдим этиш қулай. Ўрта қийматларга қуйидаги қатордаги кучланишлар қабул қилинади: 690, 525, 400, 230, 127 В.

Қ.т. токи бошланғич қиймати (25) ифодада ҳисобланади, у ерда $E_{ф.}''$ ўрнига $U_{ур.}/\sqrt{3}$, $x_{нат.}$ ўрнига эса $Z_{нат.}$ қўйилади:

$$Z_{нат.} = \sqrt{(\sum r_i)^2 + (\sum x_i)^2}$$

r_i ва x_i катталикларни тармоқни i -нчи элементи учун мос маълумотномалардан олинади. Хусусан, куч трансформатори учун улар «Электр машиналари» курсидан маълум ифодалардан ҳисобланиши мумкин, МОМ:

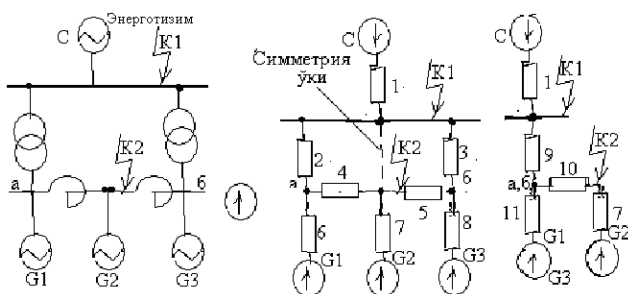
$$r_i = \Delta p_k \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2} 10^6; x_i = \frac{\sqrt{U_{к}^2 - \left(\frac{100 \Delta p_k}{S_{ном}}\right) U_{ном}^2}}{S_{ном}} 10^4.$$

бу ерда $S_{ном}$ -трансформаторни номинал қуввати, кВ·А; $U_{ном}$ -трансформатор паст кучланиш чулғамини номинал линиявий кучланиши, кВ; Δp_k -трансформатордаги қ.т. исрофлари, кВт; u_k -трансформаторни қ.т. кучланиши, %.

Мураккаб ўриндош схемаларни ўзгартириш хусусиятлари

Схемаларни соддалаштиришда қ.т. нуктаси кўп бурчакликни тугунларидан биридалигида, бошқаларига эса генерирловчи шохчалар уланган бўлса маълум қийинчиликлар пайдо бўлади. Мисол сифатида расм 5-7-даги схемалар хизмат қилиши мумкин.

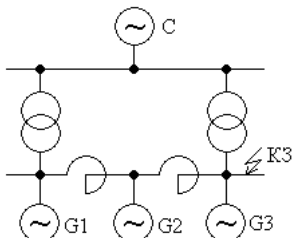
Расм 5. Симметрик мураккаб схемада қисқа туташув.



Агар қ.т. нуктаси схемани икки симметрик қисмларга бўлса, масалан расм 5, а ва б-да $K1$, $K2$ нукталар, генераторлар $G1$, $G3$ ва трансформаторларни характеристикалари бир хиллигида схемани а ва б тугунлари бир хил потенциалларга эга бўладилар, шу туфайли уларни бир жойда бирлаштириш мумкин.

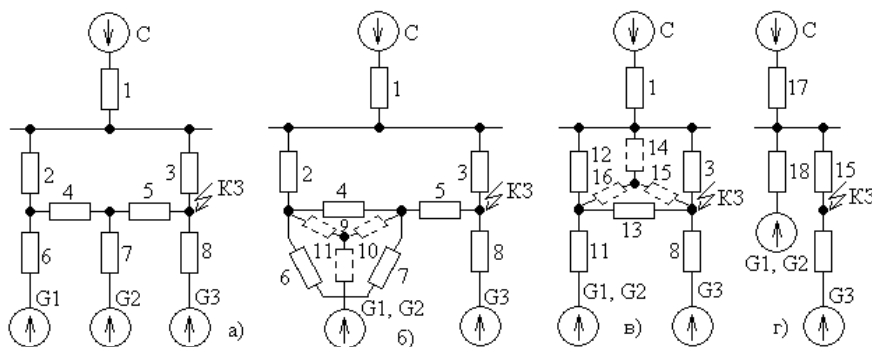
Бунда $G1$ ва $G3$ генераторларни шохчалари бирлаштирилади ва уларни $S=2S_{ном}$ эквивалент машина деб фараз қилинади. Натижада 5, в-да келтирилган схема вужудга келади. Бу схемада $x_9=x_2 \parallel x_3$; $x_{10}=x_4 \parallel x_5$; $x_{11}=x_6 \parallel x_8$. Схемани кейинги ўзгартиришлари одатдаги қоидалар бўйича бажарилади.

Расм 6-да кўрсатилган бошқа ҳолатни кўриб чиқамиз. Ўриндош схема расм 7, а-да кўрсатилган.



Расм 6. Мураккаб носимметрик схемада қ.т.

$G1$ ва $G2$ генераторлар бир хил э.ю.к.-ларга эга, уларни $S=2S_{ном}$ бўлган эквивалент машинага бирлаштириш мумкин. Бундай бирлаштиришда қаршиликлар уч бурчаги ҳосил бўлади (x_4 , x_6 , x_7) ва у, расм 7, б-да кўсатилгандай, юлдузга ўзгартирилади (x_9 , x_{10} , x_{11}). Расм 7, в-даги схемада $x_{12}=x_2+x_9$ ва $x_{13}=x_5+x_{10}$ қаршиликлар топилади. Натижада ҳосил бўлган уч бурчак (x_3 , x_{12} , x_{13}) юлдузга ўзгартирилади (x_{14} , x_{15} , x_{16}). $x_{17}=x_1+x_{14}$ $x_{18}=x_{11}+x_{16}$ қаршиликлар аниқлангандан кейин, расм 7, г-да келтирилган схема оламиз.



Мураккаб ҳолатларда қ.т. токи даврий ташкил этувчиси Расм 7. Мураккаб схемани уч бурчак-юлдуз усули бўйича ўзгартириш.

бошланғич қийматини ҳисобларини мавжуд ўриндош схема бўйича бажариш учун тез-тез ўзгармас токли модел-анализаторлар ва ЭХМ учун типли дастурлар ишлатилади.

Мисолларда қ.т. тоқларини номланган ва нисбий бирликларда ҳисоблашда ўриндош схема тузиш ва уларни ўзгартириш тартиби келтирилган.

Қ.т.-ни чегаравий тоқларини аниқлаш

Қисқа туташув чегаравий тоқини топиш учун трансформатор ёки реактор доимий кучланиш шиналарига уланган деб фараз қилинади. Қ.т. чегаравий тоқи бунда:

$$I_{Д,0} = \frac{U_{ур.к}}{\sqrt{3}x} \quad (27)$$

агар қаршилиқ Омларда берилган бўлса, ва $I_{Д,0} = I_{ном.} / X_{(ном)}$ (28)

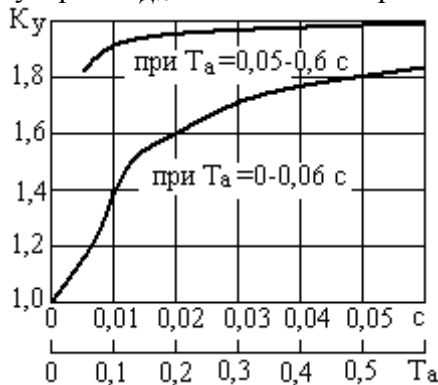
агар қаршилиқ нисбий бирликларда берилган бўлса.

Бу ерда $U_{ур.к}$ -қ.т. нуктасидаги ўрта кучланиш; $I_{ном.}$ -реактор ёки трансформаторни номинал тоқи.

Қ.т.-ни зарба тоқини аниқлаш

Зарба тоқи қ.т. содир бўлганда 0,01 с-дан кейин бўлади, уни қиймати: $i_y = \sqrt{2} \cdot I_{Д,0} k_y$ (29)

бу ерда: $I_{Д,0}$ -қ.т. тоқи даврий ташкил этувчисини бошланғич қиймати; k_y -қ.т. тоқи нодаврий ташкил этувчиси сўнишини вақт доимийсига боғлиқ зарба коэффициентини.



Расм 8. Зарба коэффициентларини топиш графиги.

T_a ва k_y доимийлар қуйидаги нисбат билан боғланган:

$$k_y = (1 + e^{-0,01 / T_a})$$

У график тарзда расм 8-да кўрсатилган.

Агар қ.т. генератор чиқиқларида бўлса, унинг шохчаси учун T_a каталогдан олиниши мумкин. Хусусан, жадвал 4-да берилганлардан фойдаланса бўлади.

Жадвал 4.

Хозирги замон генератор ва синхрон компенсаторлар учун T_a ва k_3 қийматлари

Генератор ёки синхрон компенсатор тури	T_a , с	k_3	Генератор ёки синхрон компенсатор тури	T_a , с	k_3
T2-6-2	0,106	1,913	ТВВ-500-2	0,34	1,971
T2-12-2	0,106	1,913	ТГВ-500	0,408	1,98
ТВС-32	0,249	1,961	ТВВ-800-2	0,33	1,97
ТВФ-60-2	0,245	1,96	ТВВ-1000-2	0,44	1,978
ТВФ-63-2	0,222	1,955	ТВВ-1200-2	0,38	1,973
ТВФ-100-2	0,417	1,976	КС-16-6	0,145	1,934
ТВФ-120-2	0,4	1,975	КС-16-11	0,16	1,939
ТВВ-160-2	0,267	1,963	КСВБ-50-11	0,23	1,957
ТВВ-165-2	0,41	1,976	КСВБ-100-11	0,25	1,961
ТВВ-200-2	0,31	1,969	КСВБ-160-15	0,257	1,962
ТВВ-220-2	0,326	1,97	Яққол қутбли		
ТГВ-200	0,546	1,982	демпфер чулғамли	0,05÷0,45	1,82÷1,979
ТВВ-320-2	0,368	1,973	гидрогенератор		
ТГВ-300	0,54	1,981	Юкоридаги,		
ТВМ-300	0,392	1,975	аммо демпфер чулғамсиз	0,1÷0,5	1,905÷1,98

Агар қ.т. генераторлардан қандайдир узоқликда бўлса, натижавий ўриндош схемани ҳар бир шохчаси учун вақт доимийси T_a тахминан қуйидаги ифодадан топилиши мумкин

$$T_a = x_{нат.} / \omega r_{нат.} \quad (30)$$

бу ерда $x_{нат.}$ ва $r_{нат.}$ -мос холда қ.т. занжири натижавий индуктив ва актив қаршилиқлари.

Соддалаштириш учун T_a -ни ҳисобламай, электр тармокни характерли нукталари учун жадвал 5-да келтирилган T_a ва k_y -ларни ўрта қийматларидан фойдаланилса ҳам бўлади.

Энерготизимни элементлари ёки қисмлари	T_a, c	k_y
Турбогенераторлар, қуввати, МВт:		
12-60	0,16-0,25	1,94-1,955
100-1000	0,4-0,54	1,975-1,98
Қуввати 60 МВт турбогенератор ва трансформатор (юқори кучланиш томонида)-дан иборат блоклар генератор кучланиши, кВ:		
6,3	0,2	1,95
10	0,15	1,935
Турбогенератор ва кўпайтирувчи трансформатордан иборат блоклар, генератор қуввати, МВт:		
100-200	0,26	1,935
300	0,32	1,97
500	0,35	1,973
800	0,3	1,967
Қ.т. кўриб чиқилаётган йиғма шиналар билан боғлиқ тизим, ҳаво линиялар кучланиши, кВ:		
35	0,02	1,608
110-150	0,02-0,03	1,608-1,717
220-330	0,03-0,04	1,717-1,78
500-750	0,06-0,08	1,85-1,895
Қ.т. кўриб чиқилаётган трансформатор орқали 6-10 кВ йиғма шиналар билан боғлиқ тизим, трансформатор бирлигидаги қувват, МВ · А:		
80 ва юқори	0,06-0,15	1,85-1,935
32-80	0,05-0,1	1,82-1,904
5,6-32	0,02-0,05	1,6-1,82
Номинал токи, А реактор билан ҳимояланган шохчалар:		
1000 ва юқори	0,23	1,956
630 ва паст	0,1	1,904
Кучланиши 6-10 кВ тақсимлаш тармоқлари	0,01	1,369

Жадвал 5. Қ.т. токи нодаврий ташкил этувчиси вақт доимийси ва зарба коэффициентлари қийматлари

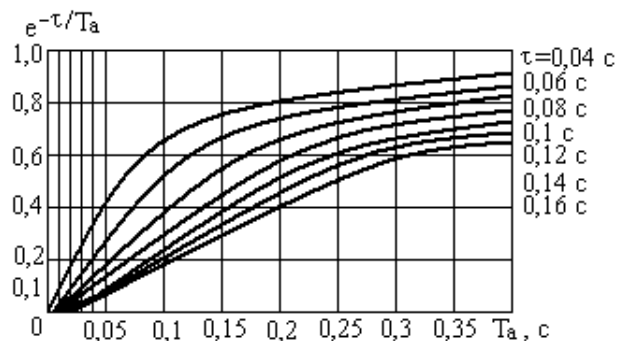
Қ.т. токни ўтқинчи жараёни ҳар қандай вақти учун топиш

Қ.т. токини даврий ва нодаврий ташкил этувчилари қийматини $t > 0$ вақт учун коммутация аппаратларини танлаш учун керак.

Қ.т. тоқларини аниқлаш керак бўлган ҳисобий вақт қуйидаги ифодадан топилади $\tau = t_{y\ddot{y}3e} + 0,01 c$, бу ерда $t_{y\ddot{y}3e}$ —узгични ўз вақти, ҳозирги замон узгичлар учун у 0,2 с-дан ошмайди.

Қ.т. токини нодаврий ташкил этувчиси: $i_{2,\tau} = i_{2,0} e^{-\tau/T_a}$,
максимал қиймат шарти бажарилса $i_{a,\tau} = I_{D,m} \sqrt{2} I_{D,0} e^{-\tau/T_a}$. (31)

Ҳисобларни тезлаштириш учун $e^{-\tau/T_a}$ қийматини τ ва T_a маълумлигида расм 9 эгри чизикларидан топиш мақсадга мувофиқ.



Расм 9. Қ.т. токи нодаврий ташкил этувчиси сўнишини эгри чизиклари.

Вақт онлири 0,5 с-гачалигида қ.т. токини даврий ташкил этувчиси қийматларини топишда кўрсатмалар [6] типли эгри чизиклар усулини тавсия этади.

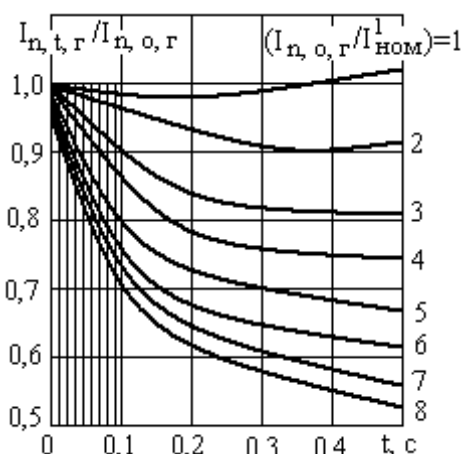
Бу усул генератордан бўлган қ.т. токи даврий ташкил этувчиси эгри чизиклари вақтда ўзгаришларини қайсидир тасодифий вақтни

олганда ($I_{D,t,\tau}$) ва қ.т.-ни бошланғич вақтида ($I_{D,0,r}$) шикастланган жой турлича узокликда бўлганда асосланган. Охиргилари $I_{D,0,r}/I_{ном.}$ нисбат билан характерланади, бу ерда $I_{ном.}$ —генераторни қ.т.

нуктаси мавжуд кучланиш поғонасига келтирилган номинал ток; бу токни ифодадан топиш

$$\text{мумкин } I_{ном.} = \frac{P_{ном.}}{\sqrt{3} U_{\text{ўр.к.}} \cos \varphi_{ном.}}; \quad (32)$$

бу ерда $P_{ном.}$ ва $\cos \varphi_{ном.}$ - мос холда генератор куввати, МВт, ва кувват коэффициенти; $U_{\text{ўр.к.}}$ - к.т.



нуктаси мавжуд ўрта кучланиш поғонаси, кВ.

$I_{д,т,г}/I_{д,о,г}=f(t)$ типли эгри чизиклар расм 10-да келтирилади.

Расм 10. Қ.т. токи даврий ташкил этувчиси сўнишини топишни типли эгри чизиклари.

Уларни куришда турбогенераторлар ва синхрон компенсаторларни чегаравий уйғотиши номинал уйғотишдан 2 марта катта ва гидрогенераторлар учун-1,8 марта. Уйғотишни тезлатишда генератор ва синхрон компенсаторларда кучланиш кўпайишини вақт доимийси нол деб қабул қилинган; $I_{д,о,г}/I_{ном.}=8$ -га мос эгри чизик бундан истисно; уни куришда вақт доимийси 0,25 с қабул қилинган. Эгри чизиклар куввати 12÷800 МВт турбогенератор, 500

МВт-гача гидрогенератор ва ҳамма катта синхрон компенсаторлар учун хақиқий.

$I_{д,о,г}/I_{ном.}$ нисбат бирдан кичиклигида ҳисоблаш мумкин $I_{д,т,г}=I_{д,о,г}=\text{const}$ (узокдаги нукта).

Агар ҳисобий схемада битта генератор (ёки қ.т. нуктасига бир хил шароитда бўлган бир нечта бир типли) бўлса, тасодифий танланган вақт учун типли эгри чизиклар усулини ишлатиб қ.т. токини ҳисобини қуйидаги тартибда бажариш мақсадга мувофиқ:

1) генератордан (ёки улар гуруҳидан) қ.т. токини даврий ташкил этувчиси ва $I_{д,о,г}/I_{ном.}$ нисбатни топиш. Бир нечта бир типли генераторлар мавжудлигида (32) $P_{ном.}$ ўрнига ҳамма генераторларни йиғинди кувватини кўйиш керак;

2) $I_{д,о,г}/I_{ном.}$ нисбатни топилган қийматига мос $I_{д,т,г}/I_{д,о,г}=f(t)$ эгри чизикдан вақтни керакли они учун тоқлар нисбати $I_{д,т,г}/I_{д,о,г}$ -ни топиш;

3) 1 ва 2 бандларда топилган $I_{д,о,г}$ ва $I_{д,т,г}/I_{д,о,г}$ -дан генератордан ёки улар гуруҳидан қ.т. токи даврий ташкил этувчисини таъсир этувчи қийматини t вақт учун топиш.

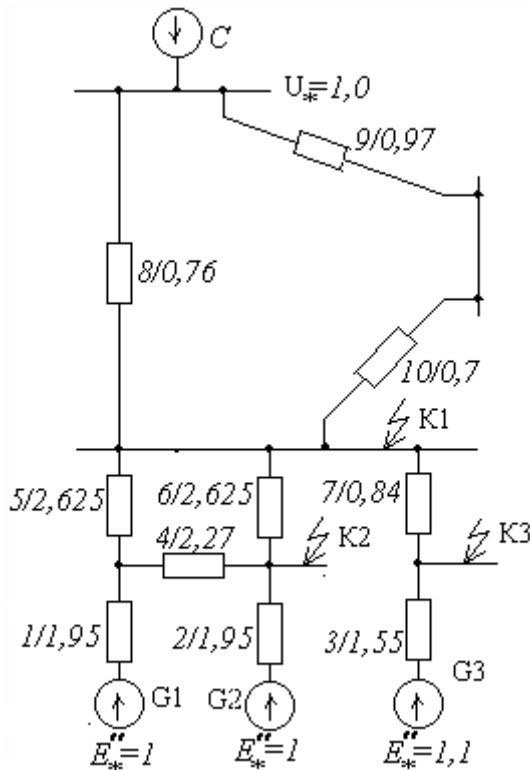
Типли эгри чизиклар усулини қ.т. нуктаси генератор (синхрон компенсатор) чиқикларидалигида ёки улардан катта бўлмаган электр узоклигида, масалан электр станцияни энерготизим билан боғлайдиган трансформаторлардан кейиндалигида. Қ.т. нуктасидан анчагина узокликдаги ҳамма генератор (синхрон компенсаторлар)-ни ва энерготизимни қолган қисмини битта манбаа билан алмаштириш керак ва уни шиналаридаги кучланишни амплитуда бўйича ўзгармас деб ҳисоблаш керак. Агар бундай манбаа (энерготизим) қ.т. нуктаси билан тўғридан-тўғри боғланган бўлса, нукта яқинида жойлашган генераторлардан мустақил, энерготизимдан токни даврий ташкил этувчисини таъсир этувчи қиймати уч фазали қиска туташувда вақтни ҳар қандай они учун $I_{д,т,г}=I_{д,о,г}=\text{const}$ деб ҳисоблаш мумкин

1. Электр станция занжирларидаги уч фазали қисқа туташувни ҳисоблаш учун ўриндош схема тузилсин ва қисқа туташув токи даврий ташкил этувчисини бошланғич қийматлари топилсин. Керакли маълумотлар ва ҳисобий схема расм 1-да.

Ечим. Ҳисобни икки вариантда: А вариант-нисбий бирликларда; Б-номланган бирликларда (факат К1 нукта учун) бажарамиз.

А. Нисбий бирликлардаги ҳисоб.

Уч фазали қисқа туташувни ҳисоблаш учун ўриндош схема расм 11-да.



Расм 11. 1-нчи мисолга умумий ўриндош схема.

Схемадаги ҳар бир қаршиликка тартиб рақам берилади ва қаршилик касрли белгиланади, сурат-қаршилик номери, маҳраж-қаршиликни рақамли миқдори.

G1 ва G2 генераторлар яқинида жойлашган юкларни генераторлар э.ю.к.-ларини $E''=1$ -гача камайитириш билан ҳисобга оламиз. Ўз эҳтиёжни нисбатан кичик юкларни таъсирини ҳисобга олмаймиз.

Асос қувват $S_a=1000$ кВ·А-лигида схема қаршиликларини (расм 11) топамиз.

G1 ва G2 генератор қаршиликлари $x_{*1}=x_{*2}=x''_{d*ном} \frac{S_a}{S_{ном}} = 0,146 \frac{1000}{75} = 1,95$.

Бундан кейин белгиланишларни соддалаштириш учун * индексни йўқотиб, қаршиликларни ҳамма қийматлари нисбий катталикларда берилиб, асос шароитларга келтирилган деб ҳисоблаймиз. Шундай қилиб, $x_1=x_2=1,95$.

G3 генератор қаршилиги $x_3=0,183 \frac{1000}{118} = 1,55$.

G3 генератор э.ю.к.-сини топамиз:

$$E'' = \sqrt{(I_{(0)} x_d'' \cos \varphi_{(0)})^2 + (U_{(0)} + I_{(0)} x_d'' \sin \varphi_{(0)})^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,183 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0,183 \cdot 0,53)^2} \approx 1,1$$

бу ерда: $I_{(0)}=1$; $U_{(0)}=1$; $\cos \varphi_{(0)}=0,85$; $\sin \varphi_{(0)}=0,53$.

Параметрларни нисбий катталиклардаги қийматлари қ.т.-гача генератор G3 номинал юкланган деб олинган.

Реактор қаршилиги $x_4=x_p \frac{S_a}{U_{yp}^2} = 0,25 \frac{1000}{10,5^2} = 2,27$.

T1 ва T2 трансформаторлар қаршилиги $x_5=x_6 = \frac{u_k \% S_{\bar{\sigma}}}{100 S_{ном}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 40} = 2,625$.

T3 трансформатор қаршилиги $x_7=10,5 \cdot 1000 / 100 \cdot 125 = 0,84$.

Электр узатиш линиялар қаршилиги:

Л1 (икки занжирли) $x_8 = \frac{x_{сол} \cdot l S_a}{2 U_{yp}^2} = \frac{0,4 \cdot 50 \cdot 1000}{2 \cdot 115^2} = 0,76$

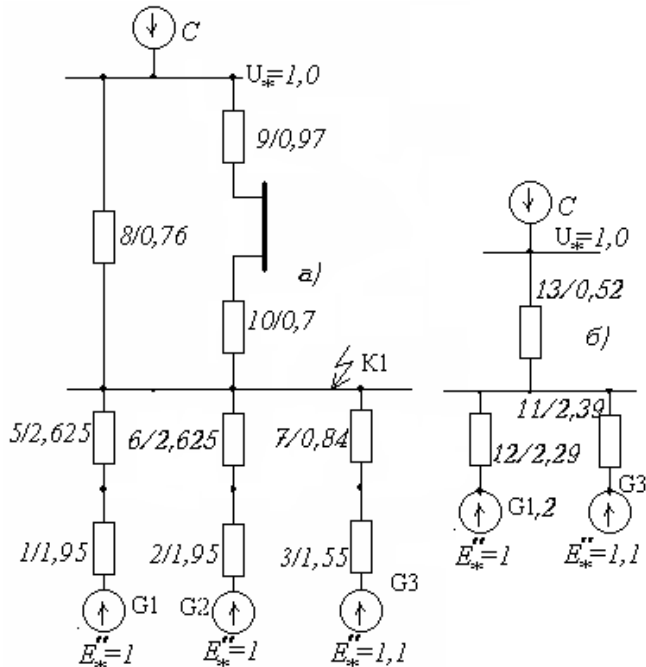
(110 кВ-ли линиялар солиштирма қаршилиги 0,4 Ом/км қабул қилинган);

Л2 $x_9=x_{сол} l \frac{S_a}{U_{yp}^2} = 0,4 \cdot 32 \frac{1000}{115^2} = 0,97$;

ЛЗ

$$x_{10}=0,4 \cdot 23 \frac{1000}{115^2}=0,7.$$

K1 нуктадаги қисқа туташув (станцияни 110 кВ шиналари). **G1** ва **G2** генераторларни шахобчалари қ.т. нуктаси **K-1**-га нисбатан симметрик. Ш.у. реактор қаршилиги x_4 -ни ўриндош схемадан олиб ташлаш мумкин, чунки у бир хил потенциал тугунлари орасига уланган ва токка таъсир этмайди. Шуни ҳисобга олиб, **K-1** нуктадаги қисқа туташув учун ўриндош схема (расм 12, а) бўлади.



Расм 12. **K1** нуктадаги қисқа туташув учун ўриндош схемалар.

Схемани соддалаштирамиз.

G3 генератор занжирини натижавий қаршилиги:

$$x_{11}=x_3+x_7=1,55+0,84=2,39.$$

Бир типли, йиғинди қуввати 150 МВ·А **G1** ва **G2** генераторлар занжирини натижавий қаршилиги:

$$x_{12}=(x_1+x_5) / /(x_2+x_6)=\frac{1,95+2,625}{2}=2,29.$$

Энерготизим шахобчаси (доимий кучланиш шиналари) натижавий қаршилиги:

$$x_{13}=(x_9+x_{10}) / / x_8=\frac{(0,97+0,7) \cdot 0,76}{0,97+0,7+0,76}=0,52.$$

Қ.т. токи даврий ташкил этувчисини

бошланғич қиймати: $I_{d,0}=\frac{E''}{x_*} I_\phi$

бунда: x_* —схема шахобчасини натижавий қаршилиги; I_ϕ —асос токи:

$$I_\phi$$

$$=\frac{S_a}{\sqrt{3}U_{yp.K-1}}=\frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115}=5,03 \text{ кА}.$$

Шаҳобчадаги ток қийматлари:

G1 ва **G2** генераторлар шахобчаси $I_{d,0}=\frac{1}{2,29} \cdot 5,03=2,2 \text{ кА};$

G3 генератор шахобчаси $I_{d,0}=\frac{1,1}{2,39} \cdot 5,03=2,31 \text{ кА};$

тизим шахобчаси $I_{d,0}=\frac{1}{0,52} \cdot 5,03=9,67 \text{ кА}.$

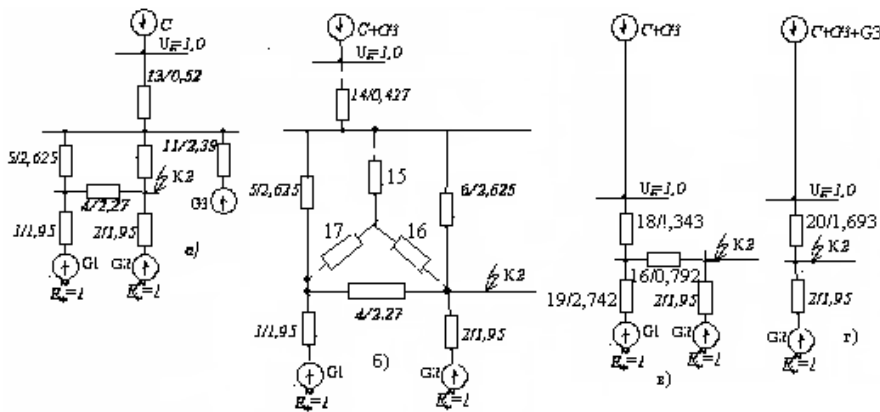
K-1 нуктадаги қ.т.-ни йиғинди токи:

$$I_{d,0,K-1}=2,2+2,31+9,67=14,18 \text{ кА}.$$

Қисқа туташув **K-2** нуктада (**G2** генератор қисқичлари). Олдинги ҳисобни ўзгартириш натижаларидан қисман фойдаланиб, қисқа туташув учун ўриндош схемани расм 13, а-дагидай тасаввур қилиш мумкин. Генератор **G3** қ.т. жойидан анча электр узоқликда, ш.у. ҳисобларни соддалаштириш учун уни, тизим қаршилигига аниқлик киритиб, тизим шахобчасига, қаршилигини ўзгартириб, қўшиш мақсадга мувофиқ (расм 13, б):

$$x_{14}=x_{13} \parallel x_{11}=\frac{0,52 \cdot 2,39}{0,52+2,39}=0,427.$$

Шундай қилиб, қ.т. нуктасига ток учта манбаадан келади, **G2**



Расм 13. *K-2* нуктадаги қисқа ту-

ташув учун ўриндош схема.

генератор шу нуктани ўзига уланган.

G2 генератордан қисқа туташув токи $I_{d.0} = \frac{E''}{x_2} I_0$

бунда I_0 —қ.т. нуктасида ўрта кучланишдаги токни асос қиймати, $U_{ур.K-2}=10,5$ кВ:

$$I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_{ур.K-2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.}$$

Шундай қилиб, *G2* генератордан уч фазали қ.т. токи

$$I_{d.0} = \frac{1,0}{1,95} \cdot 55 = 28,2 \text{ кА.}$$

Тизим, *G1* ва *G3* генератор, тизимлардан *K2* нуктадаги қисқа туташув токи бу манбааларни ягона эквивалент шахобчага бирлаштириб топиш осон. Бу йўлдаги оралиқ қадами қилинган—*C* ва *G3* шахобчалар бирлаштирилган ва умумий қаршилик x_{14} -га келтирилган.

x_4 , x_5 , x_6 қаршиликлар учбурчагини x_{15} , x_{16} , x_{17} эквивалент юлдузга ўзгартирамиз (жадвал):

$$x_{15} = \frac{x_5 x_6}{x_4 + x_5 + x_6} = \frac{2,625 \cdot 2,625}{2,27 + 2,625 + 2,625} = 0,916 ;$$

$$x_{16} = \frac{x_4 x_6}{x_4 + x_5 + x_6} = \frac{2,27 \cdot 2,625}{7,52} = 0,792 ;$$

$$x_{17} = \frac{x_4 x_5}{x_4 + x_5 + x_6} = \frac{2,27 \cdot 2,625}{7,52} = 0,792 .$$

13, б-даги ўриндош схема расм 13, в-дагига ўзгаради, у ерда:

$$x_{18} = x_{14} + x_{15} = 0,427 + 0,916 = 1,343;$$

$$x_{19} = x_{17} + x_{16} = 1,957 + 0,792 = 2,742.$$

K2 нуктадаги қисқа туташув тоklarини ҳисоблаш учун охириги ўриндош схема расм 13, г-даги кўриниш олади. Эквивалент шахобча қаршилиги:

$$x_{20} = x_{16} + x_{18} \parallel x_{19} = 0,792 + \frac{1,343 \cdot 2,742}{1,343 + 2,742} = 1,693.$$

Эквивалент манбаани йиғинди токи:

$$I_{d,0} = \frac{E''}{x_{20}} I_0 = \frac{1}{1,693} \cdot 55 = 32,49 \text{ кА}$$

Қ.т. токи даврий ташкил этувчисини *K2* нуктадаги бошланғич қиймати (йиғинди қиймати):

$$I_{d,0K2} = 28,2 + 32,49 = 60,69 \text{ кА.}$$

Қ и с қ а т у т а ш у в *K-3* нуктада. *G1* ва *G2* генераторлар *K-3* нуктадан анчагина электр узоқликда, ш.у. ҳисобларни соддалаштириш учун уларни энерготизим шахобчасига, қаршилигини мос равишда ўзгартириб, қўшиш маъқул. Натижавий ўриндош схема расм 14-да келтирилган.

Расм 14. **К-3** нуқтадаги қисқа туташув учун ўриндош схема.

$$\text{Бу ерда } x_{21} = x_7 + x_{12} \mid x_{13} = 0,84 + \frac{0,52 \cdot 2,29}{0,52 + 2,29} = 1,26$$

(расм 11 ва 12, а ва б-лар кўрилсин).

Қысқа тұташув **К-3** нүқтадалигиде ва $U_{br.}=10,5$ кВ ва $I_{\theta}=55$ кА-лигиде схема шахоб-

чаларидаги тоқлар:

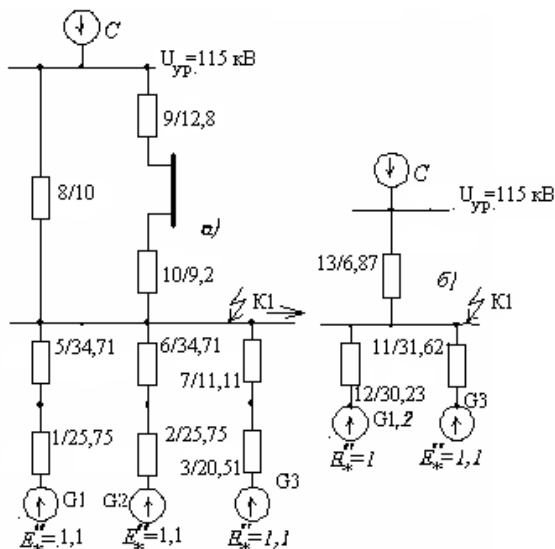
G3 генератор шахобчиси $I_{d,0}=E^* I_{\theta} X_3=1,155/1,55=39,03$ кА;

тизим C шахобчаси $I_{0.0}=1 \cdot I_{\phi}/k_{25}=1,055/1,26=43,65$ кА.

K-3 нүктасида үч фазали қисқа тұташувлигидаги йиғинди ток:

$$I_{\partial.\theta, K-3} = 39,03 + 43,65 = 82,68 \text{ кА.}$$

Б. Номланган бирликлардаги ҳисоб. К1 нуқтадаги уч фазали қ.т. расм 15, а-да келтирилган ўриндош схема расм 12, а-дагига



Расм 15. **KI** нуқтадаги қисқа туташув учун ўриндош схемалар.

ўхшаш. Аммо, схемани ҳамма қаршиликлари Омларда берилган ва қ.т. поғонаси кучланиши $U_6=115$ кВ-га келтирилган.

Қаршиликларни бирдан бошлаб номерлаймиз ва ўриндош схема қаршиликлари қийматларини, $U_{\phi} = U_{wp.KI} = 115$ кВ-га келтириб, топамиз:

$G1$ ва $G2$ генераторлар

$$X_1=X_2=x''_{d*(ном)} \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}=0,146 \frac{115^2}{75}=25,75 \text{ Ом};$$

G3 генератор

$$x_3=0,183 \frac{115}{118} = 20,51 \text{ Ом};$$

$$T1 \text{ va } T2 \text{ трансформаторлар } x_5=x_6=\frac{u_k \% U_{\phi}^2}{100 S_{ном}}=\frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 40}=34,71 \text{ Ом};$$

$$T3 \text{ трансформатор} \quad x_7 = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 125} = 11,11 \text{ Ом};$$

Электр узатиш линиялари:

$$\text{Л1} \quad x_8 = \frac{x_{\text{кол}} \cdot l}{2} = \frac{0,4 \cdot 50}{2} = 10 \text{ Ом};$$

Л2 $x_9=x_{col} l=0,4 \cdot 32=12,8 \text{ } O_M;$

ЛЗ $x_{10}=0,4 \cdot 23=9,2 \text{ Ом.}$

Олинган натижаларни ўриндош схемага киритамиз. Схемани расм 15, б-даги кўринишга келтирамиз:

$$x_{11}=x_3+x_7=20,51+11,11=31,62 \text{ Ом};$$

$$x_{12}=(x_1/x_5//_1(x/x_6))=\frac{25,75 + 34,71}{2}=30,23 \text{ Ом};$$

$$x_{13}=x_8/(x_9+x_{10})=\frac{10 \cdot (12,8 + 9,2)}{10 + 12,8 + 9,2} = 6,87 \text{ Ом.}$$

Қ.т. жойидаги ток даврий ташкил этувчисини бошланғич қиймати қуйидаги ифодадан топилиши мумкин, кА:

$$I_{D,0} = \frac{E_*'' U_{\phi} [\kappa B]}{\sqrt{3x [O_M]}}$$

Ток қиймати шахобчалар бўйича:

$$G1 \text{ ва } G2 \text{ генераторлар} \quad I_{Д,0} = \frac{1,0 \cdot 115}{\sqrt{3} \cdot 30,23} = 2,2 \text{ кА};$$

$$G3 \text{ генератор} \quad I_{Д,0} = \frac{1,1 \cdot 115}{\sqrt{3} \cdot 31,62} = 2,31 \text{ кА};$$

$$\text{Энерготизим} \quad I_{Д,0} = \frac{1,0 \cdot 115}{\sqrt{3} \cdot 6,87} = 9,67 \text{ кА}.$$

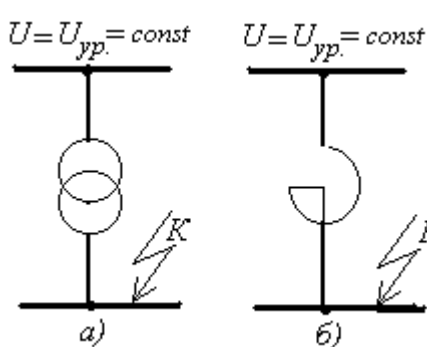
K1 нуқтадаги қ.т.-ни йиғинди токи:

$$I_{Д,0 K1} = 2,2 + 2,3 + 9,67 = 14,18 \text{ кА}.$$

Алоҳида шахобчалар ва қ.т. жойидаги ҳисоб натижалари нисбий бирликлардаги ҳисоб билан бир хил натижалар бермоқда. Номланган бирликлардаги ҳисоб кўргазмалирок, нисбий бирликлардаги ҳисоб кучланишни бир неча поғоналарига эга мураккаб схемаларни тадқиқ этишда қулайроқ.

2. а) Қуввати 10 МВ·А бўлган трансформатордан кейинги қ.т.-да чегаравий ток (даврий ташкил этувчи) топилисин. $x_m\% = u_k$, $u_k = 14\%$, $U_{вр.к} = 6,3$ кВ (расм 16, а).

Ечим. Трансформаторни $U_{вр.к} = 6,3$ кВ-даги номинал токи:



$$I_{ном} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 916 \text{ А}.$$

Расм 16. Чегаравий ток топиш учун ўриндош схема.

Қ.т.-ни чегаравий (даврий ташкил этувчи) токи:

$$I_{Д,0} = \frac{100}{14} \cdot 916 = 6550 \text{ А}.$$

б) Линия реактори РБ10-630-0,25-дан кейинги қ.т.-да чегаравий ток топилисин. (расм 16, б).

Ечим. Реакторни номинал токи $I_{нои.} = 630$ А, қаршилиги 0,25 Ом. $U_{вр.к} = 6,3$ кВ-да юқоридаги ифода бўйича

$$I_{Д,0} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,25} = 14,57 \text{ кА}.$$

3. 1-нчи мисол шароитлари ва **K-1**, **K-2**, **K-3** нуқталар учун уч фазали қ.т.-ни зарба тоқлари топилисин (расм 1).

Ечим. **K-1** нуқтадаги қ.т. учун зарба тоқи. Жадвал 5-дан схема шахобчалари учун зарба коэффициентларини белгилаймиз ва зарба тоқларини аниқлаймиз:

G1 ва **G2** генератор шахобчалари

$$k_3 = 1,935; i_3 = \sqrt{2} \cdot k_3 \cdot I_{Д,0} = \sqrt{2} \cdot 1,935 \cdot 2,2 = 6,04 \text{ кА};$$

$$\text{G3 генератор шахобчаси} \quad k_3 = 1,965; i_3 = \sqrt{2} \cdot 1,965 \cdot 2,31 = 6,44 \text{ кА};$$

$$\text{энерготизим шахобчаси} \quad k_3 = 1,608; i_3 = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot 9,67 = 22,08 \text{ кА}.$$

K-1 нуқта учун уч фазали қ.т.-ни йиғинди зарба тоқи

$$i_{3, K-1} = 6,04 + 6,44 + 22,08 = 34,56 \text{ кА}.$$

K-2 нуқтадаги қ.т. учун зарба тоқи. Ўриндош схемани шахобчалари учун жадваллардан зарба коэффициентлари топамиз ва зарба тоқлари ҳисоблаймиз (жадвал 4 ва 5):

$$\text{G2 генератор шахобчаси (ТВФ-60-2)} \quad k_3 = 1,965.$$

G1, **G3** генератор ва энерготизимни секция реактори ва қуввати 80 МВ·А-дан пастрок пасайтирувчи трансформатор орқали шахобчаси, ўрта ҳисобда $k_3 = 1,956$;

Шахобчаларга мос тоқлар:

$$\text{генераторники} \quad i_3 = \sqrt{2} \cdot k_3 \cdot I_{Д,0} = \sqrt{2} \cdot 1,965 \cdot 28,2 = 78,69 \text{ кА};$$

$$\text{G1, G3 генератор ва энерготизимники} \quad i_3 = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 32,49 = 87,3 \text{ кА}.$$

$$\text{K-2 нуқта учун йиғинди зарба тоқи} \quad i_{3, K-2} = 78,69 + 87,3 = 165,99 \text{ кА}.$$

K-3 нуқтадаги қ.т. учун зарба тоқи. ТВФ-100-2 генератор қисқичларидаги қисқа туташув. Генератор занжири учун зарба коэффициентлари $k_3 = 1,98$ (жадал 4). Энерготизим учун зарба коэффи-

циентини қ.т. жойига ток 125 МВ·А-ли блокли трансформатор орқали келишини ҳисобга олиб топамиз. Жадвал 4-дан шу ҳолат учун $k_3=1,9$.

Ўриндош схемани шабоҳчалари бўйича зарба токлари:

генератор $i_3=\sqrt{2}\cdot k_3\cdot I_{d,0}=\sqrt{2}\cdot 1,98\cdot 39,03=109,74$ кА;

энерготизим $i_3=\sqrt{2}\cdot 1,9\cdot 43,65=117,77$ кА.

Йиғинди зарба токи $i_{3, \kappa 3}=109,74+117,77=227,51$ кА.

4. Қ.т.-ни ҳисобий тоқларини ИЭМ (расм 1) схемасидаги узгичларни танлаш учун топилсин. Берилганлар 1 ва 3 мисоллардан олинган.

Ечим. G2 (G1) генераторлар занжирида ўрнатиладиган МГГ узгичлар учун ҳисобий тоқлар. Ҳисобий вақт $\tau=0,12+0,01=0,13$ с (t_{Σ} МГГ узгичники 0,12 с-га тенг).

Қ.т. тоқини даврий ташкил этувчисини икки қийматини ва нодаврий ташкил этувчисини $t=\tau=0,13$ с вақт учун икки қийматини топамиз, чунки узгич орқали G2-дан ёки бирлаштирилган эквивалент G1+G3+энерготизим манбаадан ток оқиши мумкин.

Токни генератор G2-дан даврий ташкил этувчиси типли эгри чизиклар (расм 10)-дан топилиши мумкин. Бунинг учун аввал генераторни номинал токи топилади

$$I_{ном.} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{\text{фр.к}} \cos \varphi_{ном}} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,8} = 4,129 \text{ кА.}$$

Генератор G2-дан бўладиган (қ.т. K2 нукутадалигида) (мисол 1 кўрилсин) токни даврий ташкил этувчиси бошланғич қийматини номинал токка нисбати

$$I_{d,0,с}/I_{ном.}=28,2/4,129=6,83.$$

Бу нисбат ва $t=\tau=0,13$ с вақтдан эгри чизиклар ёрдамида (расм 10) нисбатни топамиз $I_{d,t,с}/I_{d,0,с}\approx 0,7$.

Шундай қилиб, Генератор G2-дан бўладиган токни даврий ташкил этувчиси τ вақтга келиб бўлади:

$$I_{d,t,с}=0,7\cdot 28,2=19,74 \text{ кА}$$

Қ.т. токи нодаврий ташкил этувчиси G2 генератордан $t=\tau=0,13$ с вақтга келиб қуйидаги ифодадан топилади

$$i_{n,t}=\sqrt{2}\cdot I_{d,0,с}\cdot e^{-t/T_a}=\sqrt{2}\cdot 28,2\cdot 0,6=24,03 \text{ кА,}$$

бу ерда e^{-t/T_a} қиймати эгри чизиклардан (расм 9) ва $t=\tau=0,13$ с вақт, бунда $T_a=0,245$ с (жадвал 4) топилиши мумкин.

Энерготизим ва унга уланган G1, G3 генераторлардан қ.т. токлари 1 мисолда қ.т. жойига ўзгармас кучланиш шиналаридан эквивалент натижавий қаршилиқ x_{20} орқали келгандай ҳисобланган. Шунинг учун у вақтда доимий қабул қилиниши ва тенг бўлиши мумкин $I_{d,t}=I_{d,0}=32,49$ кА

Эквивалент манбаадан бўладиган қ.т. токи нодаврий ташкил этувчиси

$$i_{n,t}=\sqrt{2}\cdot 32,49e^{-\frac{0,13}{0,095}}=\sqrt{2}\cdot 32,49\cdot 0,25=11,69 \text{ кА}$$

бу ерда $T_a=0,095$ мисол 3-да эквивалент манбаа учун қабул қилинган $k_y=1,9$ -га (расм 8) мос келади.

ИЭМ-ни 110 кВ узгичлари учун ҳисобий тоқлар. Кучланиши 35 кВ ва ундан юқори тақсимлаш қурилмалари узгичлари, одатда, берилган тақсимлаш қурилмасини ҳамма занжирлари учун бир типли танланади ва қ.т.-ни энг оғир шароитлари бўйича текширилади. Шундай қилиб, кўрилятган ҳолда шу типдаги узгич учун қ.т.-ни йиғинди ҳисобий тоқларини топиш керак.

У-110 узгич учун ҳисобий вақт

$$\tau=0,06+0,01=0,07 \text{ с, чунки } t_{\Sigma,y}=0,06 \text{ с.}$$

Токни даврий ташкил этувчиси энерготизим, G1 ва G2 генераторлар ва K1 нуқтада қ.т. бўлганда генератор G3-ники даврий ташкил этувчиларини қўшиб топилади (1 мисол бўйича берилганлар) ҳисобий вақт $\tau=0,07$ учун қўшиб топилади:

энерготизимники $I_{d,T}=I_{d,0}=9,67$ кА-вақтда ўзгармас ток;

G1 ва G2 генераторники

$$I_{Д,0,ε}=2,2 \text{ кА}; \dot{I}_{ном.} = \frac{2 \cdot 60}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 0,85} = 0,754 \text{ кА};$$

$I_{Д,0,ε} / \dot{I}_{ном.} = 2,2 / 0,754 = 2,92$ ва эгри чизиклардан (расм 10) $I_{Д,t,ε} / I_{Д,0,ε} = 0,91$, демак, $I_{Д,t,ε} = 0,91 \cdot 2,2 = 2 \text{ кА}$;

G3 генераторники $I_{Д,0,ε} = 2,31 \text{ кА}; \dot{I}_{ном.} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 0,85} = 0,59$

$I_{Д,0,ε} / \dot{I}_{ном.} = 2,31 / 0,59 = 3,91$ ва эгри чизиклардан (расм 10) оламиз $I_{Д,t,ε} / I_{Д,0,ε} = 0,87$, демак, $I_{Д,t,ε} = 0,87 \cdot 2,31 = 2 \text{ кА}$.

$t = \tau = 0,07 \text{ с}$ вақт учун қ.т. токи даврий ташкил этувчисини йиғинди қиймати $I_{Д,\tau} = 9,67 + 2 + 2 = 13,67 \text{ кА}$.

Қ.т. шохчалари бўйича нодаврий ташкил этувчи

энерготизимники $i_{н,\tau} = \sqrt{2} I_{Д,0ε} e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 9,67 e^{-\frac{0,07}{0,02}} = 0,69 \text{ кА};$

G1 ва G2 генераторники $i_{н,\tau} = \sqrt{2} \cdot 2,2 e^{-\frac{0,07}{0,15}} = 1,94 \text{ кА};$

G3 генераторники $i_{н,\tau} = \sqrt{2} \cdot 2,31 e^{-\frac{0,07}{0,26}} = 2,49 \text{ кА}.$

Ҳамма холларда вақт доимийси T_a жадвал 5-дан олинган. $t = \tau = 0,07 \text{ с}$ вақт учун қ.т. токи нодаврий ташкил этувчисини йиғинди қиймати $i_{н,\tau} = 0,69 + 1,94 + 2,49 = 5,12 \text{ кА}.$

Асосий:

1. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. Госстандарт. М.: 1988.
2. Аллаев К.Р. Электромеханик ўткинчи жараёнлар. Тошкент.-Молия.-2007.
3. Аллаев К.Р. Электромеханические переходные процессы. Ташкент.-Молия.-2007.
4. В.А. Веникова. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях. М.: ВШ.-1985
5. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: 1986.
6. Руководящие указания по расчету токов коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания. 1-я редакция, Главтехуправление Минэнерго СССР.-МЭИ, 1975.

Қўшимча:

7. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электр станция ва нимстанцияларнинг электр асбоб-ускуналари. Тошкент: Ўқитувчи, 1986 й.
8. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электр станция ва нимстанцияларнинг электр асбоб-ускуналари. М.: Энергоатомиздат, 1987 й.
9. Справочник по проектированию электроэнергетических систем /Ершевич В.В., Зейлигер А.Н., Илларионов Г.А. и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. М.: 1985.
10. Беляева Е.Н. Как рассчитать ток короткого замыкания. М.: Энергоатомиздат, 1983.
11. Ў. В. Шарипов, Х.А. Шамсиев. Ўтиш жараёнлар фанидан маъруза матнлари. 1-қисм. ТДТУ, 2001.
12. С. Ж. Хайдаров, Ў. В. Шарипов. Ўтиш жараёнлар фанидан маъруза матнлари. 2-қисм. ТДТУ, 2001.