

И.Б. ХАЛИКУЛОВ, Д.А.ХАЛИЛОВ

ФИЗИКАВИЙ ЎЛЧАШЛАРНИНГ ЗАМОНАВИЙ УСУЛЛАРИ

ФАРҒОНА-ТЕХНИКА – 2005

И.Б. ХАЛИҚУЛОВ, Д.А.ХАЛИЛОВ

Физикавий ўлчашларнинг замонавий усуллари

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги томонидан олий
ўқув юртлари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган

ФАРҒОНА-ТЕХНИКА 2005

УДК 621.317.39 (075.8)

Физикавий ўлчашларнинг замонавий усуллари. И.Б.Одиловга миннатдорчилик билдирадилар.

БИРИНЧИ БОБ

Физикавий ўлчашлар

1.1. Асосий тушунчалар ва таърифлар

Давлат стандарти бўйича физикавий катталиқнинг таърифи қуйидагича: физикавий катталиқ сифат кўрсаткичи бўйича кўп объектлар учун умумий, миқдор кўрсаткичи бўйича ҳар бир объект учун индивидуал хоссадир.

Ўлчашларнинг асосий вазифаси – физикавий катталиқларнинг қиймати ҳақидаги информацияни шу катталиқ учун қабул қилинган бирликларда ифодалаб олиш.

Физикавий катталиқ бирлиги – бу физикавий катталиқнинг таъриф бўйича сон жиҳатидан бирга тенг деб олинган қиймати. Физикавий катталиқнинг ҳақиқий қиймати иши – объектни сон ва сифат жиҳатидан идеал равишда тавсифлайди. Ўлчашлар натижалари физикавий катталиқ ҳақида қандайдир ҳатолик билан маълумот беради.

Физикавий катталиқлар бир неча белгилар орқали синфланади ва ўз навбатида физикавий катталиқлар бир нечта синфлар билан ажратилади. Ўлчов информацияси сигналига нисбатан физикавий катталиқлар пассив ва активларга бўлинади.

Актив катталиқлар ҳеч қандай ёрдамчи энергия манбаисиз ўлчов сигналига айлантирилади ва ишлатилади. Ўлчанаётган физикавий катталиқ билан у ҳақидаги информация сигнали ўзаро функционал боғланган. Бундай катталиқларга ток кучи, кучланиш, температура, куч ва бошқалар киради.

Пассив катталиқларни (электр қаршилик, индуктивлик, масса ва ҳоказо) ўлчаш учун ёрдамчи энергия манбаи керак. Манба ёрдамида ўлчов информацияси ҳосил қилинади, яъни ўлчанаётган пассив катталиқлар актив катталиқларга айлантириб олиниб ўлчанади.

Пассив катталиқларнинг аниқ мезонлари мавжуд бўлса ҳам (сиғим, актив қаршилик ва ҳоказо) ўлчанаётган пассив катталиқни ўлчов бирлиги билан таққослашнинг иложи йўқ. Электр занжирлари параметрларини ўлчаш учун занжир орқали электр токи ўтказилади, ўлчанаётган параметр билан функционал боғлиқ бўлган ток ва кучланиш тушиши ўлчанади. Жисмнинг массаси аниқланаётганда унга пропорционал, ернинг гравитация майдонининг жисмга таъсир қилаётган кучи ва қиймати маълум бошқа куч ўзаро таққосланади.

Физикавий катталиқлар аддитивлик белгиси орқали аддитив (экстенсив) ва ноаддитив (интенсив) катталиқларга бўлинади.

Аддитив катталиқлар одатда объектнинг физик ёки энергетик хоссаларига тааллуқли бўлади. Буларга қўшиш ва айриш амаллари қўлланилади. Бундай катталиқларни (узунлик, масса, куч, вақт, ток кучи, электр юритувчи куч (ЭЮК), тезлик ва ҳоказоларни) бўлаклаб ўлчаш мумкин. Уларни кўп қийматли мезон ёрдамида алоҳида мезонларни қўшиш йўли билан баҳолаш мумкин. Масалан, тоқлар бир нечта симлар орқали бир тугунга йиғилса қўшилади; қаршиликлар кетма-кет, ўтказувчанлик эса параллел туташганда қўшилади (резисторлар, қувурлар ва ҳоказо); объектнинг массаси эса объектни ташкил этувчи бўлақлар йиғиндисига тенг.

Ноаддитив катталиқларга, масалан, солиштирама электр ўтказувчанлик, магнит киритувчанлик, зичлик, ёпишқоқлик каби катталиқлар киради. Бундай катталиқларни тўғридан - тўғри ўлчаш имконияти йўқ. Шунинг учун улар бошқа катталиқларга ўзгартирилади ёки билвосита ўлчаш усули орқали ўлчанади. Ноаддитив катталиқларни тиклаш, баҳолашда бир неча қийинчиликлар мавжуд. Бу - юқори аниқликдаги стандарт эталонларни яратишдаги қийинчиликлардир. Материал ва модда хусусиятлари бўйича характерланувчи физикавий катталиқлар стандарт намуналар ёрдамида яхшироқ қайта тикланади.

СИ системасида еттита асосий физик катталиқлар мавжуд:

- масса – килограмм (кг),
- узунлик – метр (м),
- вақт – секунд (с),
- ток кучи – Ампер (А),
- термодинамик температура – Келвин (К),
- ёруғлик кучи - кандела (кн),
- модда миқдори – моль,
- қўшимча иккита бирлик - радиан ва стерadian.

Бундан ташқари 100 дан ортиқ ҳосила бирликлари амалда қўлланилади. СИ системасига киритилган физик катталиклар объектнинг, жараённинг, ҳодисаларнинг турфалигини қамраб олмайди. Ривожланаётган фан ва техника соҳаларида янги физик катталиклар ва уларнинг бирликларини аниқлашга муҳтожлик сезилмоқда. Бундай фанларга мисол бўлиб, ядро физикаси, лазер техникаси киради.

Физикавий катталиқнинг бир номли физикавий катталиққа нисбати нисбий катталиқни ифодалайди. Бундай нисбатнинг логарифми эса – логарифмик катталиқ дейилади. Бундай катталиклар:

- кучайтириш коэффициенти,
- сўниш коэффициенти,
- тебраниш контурининг асслиги (добротность),
- фойдали иш коэффициенти (ФИК).

Нисбий катталиқларга геометрик ва фазавий бурчаклар ҳам киритилиши мумкин. Нисбий катталиклар:

- фоизларда (%) $1\% = 10^{-2}$
- мингдан бир улуш $0.1\% = 1\text{‰} = 10^{-3}$ (промилле)
- миллиондан бир улуш (млн^{-1} , ppm) $1\text{ppm} = 10^{-6}$
- миллиарддан бир улуш (млрд^{-1} , ppb) $1\text{ppb} = 10^{-9}$

кабиларда ифодаланиши мумкин.

Логарифмик катталиклар: Белл (Б) – иккита бир номли катталиклар нисбатининг ўнли логарифми, децибелл (дБ) – Беллдан 10 марта кичик. Амалда Б/окт, дБ/окт, Б/дек, дБ/дек каби логарифмик катталиклар кўп қўлланилади. Бу ерда октава – қаралаётган катталиклар аргументлари ўзгаришининг шундай оралиғи, унинг чегаралари бир-биридан икки марта фарқ қилади; декада – чегаралари бир-биридан ўн марта фарқ қиладиган оралик.

Физикавий катталиклар вақт бўйича ўзгармас ва ўзгарувчи катталикларга бўлинади. Физикавий катталикларнинг асосий қисми вақт бўйича ўзгаради. Ҳақиқатан, ўзгармас катталикларни ўлчаш масаласи камёб ҳисобланади. Бундай ўлчашлар фундаментал физика константаларини аниқлашда учрайди. Масалан, вакуумда ёруғлик тезлигини аниқлаш, Ридберг бирлиги, Авогадронинг сони ва ҳоказоларни аниқлаш. Физикавий катталикларни ўзгармас ва вақт давомида ўзгарувчиларга бўлиниши шартлидир, чунки ўзгарувчи катталикларни ўлчашда хатоликнинг динамик ташкил этувчиси ўлчанаётган ўлчамнинг ўзгариш вақти ва ўлчаш олиб борилаётган қурилманинг динамик характеристикасига боғлиқ.

Ўлчаш усуллари – бу ўлчаш воситалари ва тамойилларидан фойдаланиш қоидаларининг мажмуи. Ўлчаш тамойили деганда ўлчашлар асосланган физикавий ҳодисаларнинг мажмуи тушунилади. Кўриниб турибдики, ўлчаш усуллари – кенг қамровли тушунча. Бу таърифга асосланиб, ўлчаш усуллари ҳар хил синфларга ажратиш мумкин:

- ўлчанаётган катталиқни ўлчов бирлигига таққослаш усули (алгоритми) бўйича;
- ўлчашлар асосига қўйилган қонуниятлар бўйича;

- ўлчаш объектининг ўлчаш воситаси билан ўзаро таъсири бўйича;
- ўлчов ўзгартиришлари бўйича;
- катталикини берилган ўлчамига қараб тиклаш усули бўйича;
- ўлчаш воситаларининг турлари бўйича;
- ўлчов информациясининг информатив параметри бўйича;
- объектнинг ўлчашда фойдаланилаётган хоссалари бўйича.

Ўлчаш усулига бундай кенг ёндашиш ўлчаш воситасини бир ёки бир нечта ўлчаш усулининг қўлланилиши натижаси деб, ҳисоблаш керак.

1.2. Ўлчашларни ташкил этиш ва режалаштириш

Физикавий катталикларни ўлчаш халқ хўжалигининг ҳамма соҳаларида муҳим аҳамият касб этади. Ўрганилаётган жараёнлар ва объектлар кўп қиррали бўлиб улар турли хоссалари ва миқдорлари билан характерланади. Ҳар қандай экспериментал изланиш қуйидаги босқичларни ўз ичига олади:

- объект модели ёки модель синфини танлаш, мақсадни ифодалаш ;
- экспериментнинг дастурини тузиш, унинг услубий ва моддий тайёргарлиги;
- тажрибани ўтказиш ва бирламчи қийматларни реал вақт масштабида ҳисоблаш;
- натижаларни қайта ишлаш ва ўлчашлар хатолигини баҳолаш;
- олинган қийматларни таҳлил қилиш, кузатишлар натижаларини ифодалаш, кузатишларни баҳолаш.

Физикавий катталикларни ўлчаш типик масала бўлиб, қуйидаги турларга ажратиш мумкин:

- скаляр катталиклар қийматларини баҳолаш (геометрик ўлчашлар, частота, масса, концентрация ва ҳ. к.);
- вектор катталиклар қийматларини баҳолаш (индукция, куч, тезлик ва ҳ. к.);
- жараёни “физикавий катталик – вақт” координаталарида ифодалаш;
- жараён ёки объект характеристикаларини керакли координаталарда тиклаш (вольт-ампер характеристикаси, гистерезис сиртмоғи, ўтиш амплитуда-частотавий характеристикаси).

Ўлчаш тажрибаси аниқликка таъсир этувчи барча омиллар мажмуини ҳисобга олишни тақозо қиладики, тажриба шунга қараб режалаштирилади ва ташкил қилинади.

Умумий ҳолда физик катталикларни ўлчаш кўп қиррали жараён ҳисобланади. Бу ўз навбатида ўлчаш муолажасидан ташкил топган типик ўлчаш жараёнларини ўз ичига олади (ўлчов ўзгартиришлари, катталикларни таққослаш, берилган ўлчамли катталикларни тиклаш ва ҳ. к.).

Ўлчаш жараёнини учта асосий босқичга бўлиш мумкин:

- ўлчашларга тайёрланиш ва режалаштириш;
- ўлчашларни бажариш;
- олинган қийматларни қайта ишлаш ва таҳлил қилиш.

Ўлчаш тажрибасигача биринчи босқичда бир неча масалаларни ҳал қилиш керак:

- ўлчашларнинг мақсади ва вазифалари;
- изланиш олиб борилаётган объект ва ўлчаш катталиклари ҳақида информация (ўлчанаётган катталиклар орасида функционал боғлиқлик ва олдиндан ўлчашлар натижалари, тақлиф қилинаётган ўлчаш оралиқлари ва ҳ. к.);
- борлиги ўлчанаётган физик катталиклар ва объект моделлари;
- аниқланаётган катталик ва бевосита ўлчанаётган катталиклар орасидаги боғлиқлик;

- ўлчаш шароити ва таъсир қилувчи катталиклар (омиллар);
- ўлчашлар давомида йўл қўйиладиган хатоликлар (билвосита ўлчашлар олиб борилганда ҳар бир ўлчаш жараёнида йўл қўйиладиган хатоликлар аниқланиши керак);
- алоҳида катталикларни ўлчашнинг керакли методлари;
- ўлчашларга керакли воситалар (средства), уларнинг метрологик характеристикалари ва ўлчашларни автоматлаштириш усуллари;
- ўлчашларни режалаштириш ва унинг математик усуллари;
- ўлчов хатоликларини коррекция қилиш (тўғрилаш) усуллари;
- ўлчов натижаларини керакли шаклга келтириш;
- тажриба натижаларини ишлаш учун керакли алгоритм ва воситалар, хатоликларни баҳолаш ва уларнинг ишончилигини таъминловчи усуллар;
- керакли ва мавжуд ресурслар, яъни қўйилган мақсадларга етиш учун кетадиган сарфлар;
- ўлчашларнинг иқтисодий самарадорлиги.

Изланиш олиб борилаётган объект ва ўлчашлар мақсади одатда берилган бўлади. Лекин бу ҳолда ҳам қўйилган масаланинг тўғрилигини текшириб кўриш керак.

Физикавий катталиклари ўлчаш натижалари изланиш олиб борилаётган объектни, унинг фаолияти самарадорлигини баҳолаш ва қарорлар қабул қилиш учун қандай ишлатилиши кераклигини олдиндан таҳлил қилиб кўриш лозим.

Бундай таҳлил асосида мақсад ва ўлчов тажриба масалалари аниқлаб олинади. Ўлчашларга тайёргарликнинг муҳим босқичи – ўлчаниши лозим бўлган физикавий катталиклари ҳолати ва уларнинг ўзгариш характерини аниқлаш ҳисобланади.

Изланиш олиб борилаётган объект хоссаларини ҳисобга олган ҳолда ва қўйилган мақсад асосида берилган объектга хос физикавий катталик аниқлаштирилади. Уларнинг ўзгариш чегаралари аниқланади; хусусий спектр, узвий алоқалар ва ҳоказолар белгиланади. Буларнинг ҳаммаси таянч (бирламчи) маълумотлар, зарур бўлса дастлабки ўлчашлар асосида аниқланади.

Ўлчашларда йўл қўйиладиган хатоликларга талаблар белгилашда, яъни ўлчаш аниқлигини танлашда ўлчашлар мақсадидан келиб чиқилади. Кўп ўлчашлар давомида ўлчашларнинг тежамкорлигини таъминлаш ёки ноаниқ ўлчашлар оқибатида юз берадиган сарфларни минимумлаштириш вазифаси муҳим омил бўлиб ҳисобланади.

Ўлчаш натижалари аниқлигига талаблар асосланган бўлиши керак ва уларни ортиқча кучайтирилишига йўл қўймаслик керак. Ўлчаш аниқлиги қанча катта бўлса, тажрибани бажариш учун шунча кўп вақт ва ресурслар сарфланади. Асбобнинг сезгирлиги ва аниқлиги қанча катта бўлса, у шунча мураккаб, ишончилиги кам ва унга хизмат кўрсатиш учун кўп ва юқори малака талаб қилинади.

Ўлчашларда ҳар хил физикавий ва математик моделлар қўлланилади. Бундай моделлар тақрибий ва аниқ бўлиши мумкин. Хусусан:

- дифференциал тенглама ёки узатиш функцияси (объектнинг динамик модели);
- скаляр катталик;
- вектор катталик (икки ўлчамли ва кўп ўлчамли вектор);
- тензор (механик кучланиш майдони модели);
- даврий сигнал;
- тасодифий сигнал;
- сигналлар тўплами (спектр, ўзаро спектр);
- геометрик жисм;
- икки ўлчамли майдон;
- жипсланган параметрли занжир;

- тўрткутблилар ва ҳоказо.

Ўлчашлар давомида моделга аниқлик киритиш ёки қайта аниқлаш вазиятлари келиб чиқиши мумкин;

Изланиш олиб борилаётган объектда ўлчашларни бажариш учун бир нечта типик ва аниқ аттестацияланган усуллар мавжуд. Бу усуллар Давлатнинг бир нечта стандартларида кўзда тутилган.

1.3. Ўлчаш хатоликлари

Ўлчашлар хатолигининг келиб чиқиш таҳлили, уларни аниқлаш усулини танлаш ва камайтириш - ўлчаш жараёнининг бир босқичини ташкил этади. Ўлчаш хатоликлари ўз навбатида

- систематик ва
- тасодифий

хатоликларга бўлинади. Систематик ва тасодифий хатоликлар ўлчаш давомида биргаликда ностационар тасодифий жараён сифатида пайдо бўлади. Хатоликларнинг систематик ва тасодифийга бўлиниши нисбийдир. Таҳлил қилиш ва ўлчов натижаларига таъсирини камайтириш методларини ишлаб чиқиш қулай бўлсин учун улар алоҳида - алоҳида ўрганилади.

Хатоликлар назарияси, асосан, тасодифий хатоликларга бағишланган. Уларни баҳолаш методлари эҳтимоллар назарияси ва математик статистика усуллари асосланган. Бунда систематик хатоликлар бошқа методларни қўллаш ва тузатмалар киритилиши натижасида тўғриланган, йўқотилган ҳисобланади. Ҳисобга олинмаган, тузатилмаган систематик хатоликлар тасодифий хатоликларнинг бир қисмидек кўриб ўтилади ва улар каби эҳтимолий қийматлар билан баҳоланади.

Бу ерда систематик хатоликларни аниқлаш ва йўқотиш усуллари кўриб ўтилади. Улар танланган ўлчаш методи, воситалари ва баъзи таъсир этувчи омиллар билан боғлиқ.

Систематик хатоликлар ўлчашлар сифатини ва тўғрилигини аниқлаб беради. Систематик хатоликлар қанча кам бўлса, ўлчаш шунча тўғри, яъни ўлчаш давомидаги объект модели, усул ва ўлчов воситалари, ўлчов процедуралари, ҳисоб амалларининг алгоритмлари тўғри танланган бўлади.

Ўлчашларнинг тўғрилиги тажриба ўтказувчининг малакасига боғлиқ, чунки тайёргарлик ва тажриба бажарилиш жараёнида систематик хатоликларнинг олдини олиш ва топиш осон.

Кўпгина систематик хатоликларни топиш ва баҳолаш объект хоссаларининг таҳлили, ўлчов шароитлари, усулнинг хусусияти, қўлланилаётган ўлчов воситаларининг характеристикалари, олдиндан маълум (априор) маълумотлардан келиб чиққан ҳолда бажарилиши мумкин.

Ўлчашларнинг ечимга интилиши (сходимость) – бир хил шароитда бажарилган такрорий ўлчашларда натижаларнинг бир-бирига яқинлиги – уларнинг сифатини белгилайди. Тасодифий хатоликлар қанча кам бўлса, ўлчашларнинг ечимга интилиши, ечимлилиги шунча яхши.

Тасодифий хатоликларни, систематиклардан фарқли ўлароқ ўлчов жараёни давомида ёки ундан олдин аниқлаб ва йўқотиб бўлмайди. Уларнинг ўлчов натижаларига таъсирини кўп маротаба тажриба ўтказиш, тажрибани кузатиш ва кейинги тажриба натижаларини қайта ишлаш йўли билан камайтириш мумкин. Ўлчашлар уларнинг мақсадидан келиб чиққан ҳолда режалаштирилади. Керакли аниқлик, қўлланилаётган усул, ўлчаш воситалари ва бошқа сабабларга кўра баъзи ҳолларда физикавий катталикларни такрорий ўлчашлар кўзда тутилади. Хусусан, метрологик ўлчашлар кўп марта, такрорий ўтказилади. Лекин аксарият ҳолларда ўлчашлар бир марта бажарилади. Яқка тажрибаларда систематик хатоликларни камайтиришга катта аҳамият берилади.

Систематик хатоликлар ўзгариш характерига қараб доимий (ўзгармас) ва ўзгарувчанларга бўлинади. Охиргилар ўз навбатида, даврий, ўсувчан (прогрессив) га бўлинади. Доимий хатоликларга, масалан, қуйидагилар киради:

- асбоб шкаласининг даражаланиши (градуировкаси) дан келиб чиққан хатолик;
- мезон ўлчамининг номинал қийматидан четланиши;
- объект моделини ноаниқ танлаб олинганлиги билан боғлиқ хатоликлар.

Даврий хатоликлар – даврий қонун бўйича ўзгаради. Масалан, минора соатидан вақтни аниқлашда пайдо бўлувчи хатоликлар шулар жумласига киради.

Одатда номаълум ва мураккаб қонун бўйича ўзгарувчи (ўсувчи ёки камаювчи) хатоликлар прогрессив хатоликлар дейилади. Улар кўпинча элементларнинг эскириши билан боғлиқ бўлиб, вақти-вақти билан ўтказилган тўғрилашлар орқали бу систематик хатоликни йўқотиш мумкин.

Хатоликлар уларнинг келиб чиқиш сабабига кўра учта асосий турга бўлинади: услубий (методик), инструментал ва ўзаро таъсир хатоликлари.

Услубий (методик) хатоликлар реал объектнинг моделга ўхшамаслиги, ўлчов усулларининг номукамаллиги, ўлчов объектнинг ноаниқлиги ўлчов асосига қўйилган боғланишларни соддалаштириш каби сабаблардан келиб чиқади.

Реал объектнинг моделга ўхшамаслиги олдиндан ўлчаш ва ўлчов объекти таҳлили асосида баҳоланиши мумкин. Масалан, юмалоқ маҳсулотларнинг (валлар, қувурлар ва ҳоказоларнинг) геометрик ўлчамларини ўлчашда модель объекти сифатида цилиндр ишлатилади. Моделнинг параметри сифатида унинг диаметри ва ясовчиси олинади. Цилиндрнинг диаметри кўндаланг кесим ва бурчак координатасига инвариант (мустақил, боғлиқмас), ясовчилари эса бир хил узунликларга эга бўлиши керак. Лекин объектни яратишдаги ноаниқликлар оқибатида унинг ҳар хил жойларидаги диаметр ва ясовчини ўлчаш натижаларининг айирмаси кутилаётган хатоликлардан катта бўлиши мумкин. Бу шундан далолат берадики, қабул қилинган модель реал объектга ўхшамайди ва бундай модель аниқлаштирилиши лозим.

Бошқа мисол: магнит индукцияси эталонига кирувчи цилиндр магнит индукция мезонларининг характеристикаларини аниқлашда (соленоид, Гельмгольц, чулғами) ўрамлар диаметри ва чулғам узунлигидан ташқари чулғамнинг конуссимонлиги ва эллипссимонлиги аниқланади.

Даврий жараёнларни ўрганаётганимизда юқори гармоника параметрларини эътиборга олмаслик мумкин бўлса, объектнинг математик модели сифатида синусоидал жараён қўлланилади.

Инструментал хатоликлар ўлчов воситасида қўлланилаётган тамойил ва ўлчов услуги хусусиятига асосан келиб чиқади. Бундан ташқари схематик, конструктив ва технологик воситаларнинг номукамаллиги бундай хатоликларнинг манбаи ҳисобланади. Инструментал хатоликларга иш жараёнида йўл қўйилган хатоликлар киради. Улар асосий, қўшимча (таъсир этувчи омиллардан, ноинформатив параметрлардан келиб чиққан) ва динамик хатоликлардан ташкил топган бўлади. Муайян ўлчов воситасининг инструментал хатолиги синаш (поверка) пайтида аниқланади ва техник хужжатларда (паспорти, текширилиши ҳақидаги гувоҳнома ва ҳоказоларда) қайд этилади.

Ўзаро таъсир хатолиги ўлчов воситаларининг, изланиш олиб борилаётган объект ва экспериментатор ўзаро таъсир сабаби бўйича келиб чиққанлиги билан тушунтирилади. Воситаларнинг ўзаро таъсир хатолиги ва объект ўлчовини одатда методик хатоликларга киргизишимиз мумкин, экспериментатор таъсири билан боғлиқ хатоликлар эса, хусусий хатоликлар деб ҳам аталади. Лекин бундай синфланиш кўриб ўтилаётган хатоликларнинг моҳиятини тўлиқ акс эттирмайди.

Методик хатоликка мисол бўлиб қаршиликни ундан оқаётган ток ва ундаги кучланиш тушишини ўлчаб аниқлашда фойдаланилган амперметр ва вольтметрнинг

хусусий истеъмоли ҳисобига йўл қўйган хатолик хизмат қилади. Лекин бунда пайдо бўлган хатоликлар, асосан, ўлчов услуби билан эмас, қўлланилаётган ўлчов воситаларини номукамаллиги билан белгиланади. Агар қаршилиқдаги кучланиш тушувини чексиз катта қаршиликли вольтметр билан, токни эса қаршилиги чексиз кичик амперметр билан ўлчанганда, хатолик бўлмас эди. Бунда хатоликларни инструментал хатоликлар туркумига киритиш тўғридек кўринади. Лекин кўриб ўтилаётган хатоликлар ўлчов воситаларининг параметрларига ҳам ёки, аниқроғи, уларнинг ўзаро муносабатига боғлиқ. Шунинг учун бундай хатоликларни ўзаро таъсир хатоликлари турига ўтказган маъсул. Масалан, $R_{ю}$ қаршиликли юкламадаги токни қаршиликли амперметр билан ўлчаганда юз берадиган хатолик γ :

$$\gamma = - R_A / (R_i + R_{ю} + R_A), \quad (1.1)$$

бунда R_i -ток манбасининг ички қаршилиги.

Ўзаро таъсир хатолигини келтириб чиқарадиган параметрлар метрологик характеристикалар туркумига киради ва турли ўлчов воситалари учун ҳар хилдир. Бундай параметрларга истеъмол қуввати, кириш қаршилиги, изоляция қаршилиги, иссиқлик сизими, контакт босими, датчик массаси ва ҳоказолар мисол бўлиши мумкин. Бу параметрларни билиб, ўзаро таъсир хатолигига баҳо бериш ва олинган ўлчов натижаларини тўғрилаш мумкин.

Контактсиз усул ва ўлчов воситалари қўлланилганда ўзаро таъсир хатолиги амалда йўқ бўлади, бу ҳолда изланиш олиб борилаётган объектга ва ўлчанаётган катталиққа ўлчов воситаларининг таъсири минимал даражага туширилади ёки бу таъсир умуман йўқолади. Агар қўлланилаётган ўлчов воситаси шу объектга уланган бўлса, яъни унинг ажралмас қисми бўлса, ўзаро таъсир хатолиги янада кам бўлади.

Ўлчов воситалари санок қурилмаларининг (отсчетные устройства) такомиллашуви, айниқса рақамли санок қурилмаларининг ишлатилиши санок (баҳолаш) хатолигини бартараф қилади. Лекин олинаётган ўлчов информацияси ҳажмининг катталашуви ва психофизиологик юкламанинг ўсиши сезиларли даражада ўзаро таъсир хатолиги пайдо бўлишига олиб келиши мумкин. Кичик кучланиш ва токни ўлчаётганда экспериментаторнинг симларга, қисмларга яқинлашганида ёки уларга текканида ҳосил бўладиган термо-ЭЮКдан ва унинг танаси орқали кириш занжирларига ўтган ҳалақитлар таъсиридан хатолик келиб чиқиши мумкин. Бундай тажрибаларда синтетик материалли кийимдан фойдаланиш тавсия этилмайди, чунки бундай материалларда пайдо бўладиган электр зарядлари ҳалақитларнинг ва оқибатда, хатоликларнинг сабаби бўлиши мумкин.

1.4. Систематик хатоликлар ҳамда уларнинг келиб чиқиш сабабларини топиш ва йўқотиш усуллари

Ўлчашларнинг систематик хатоликларини топиш ва йўқ қилиш турли усуллар билан амалга оширилади. Улар ўлчанаётган физикавий катталиқ турига, қўлланилаётган ўлчов усули ва ўлчов воситасига боғлиқ. Хусусан, у ёки бу ўлчаш усули энг кам сарфлар билан энг кам хатоликка эга бўлган натижалар олиш мақсадидан келиб чиқиб танланади.

Хатоликларнинг келиб чиқиш сабабларини топиш ва йўқотиш усули - барча турдаги систематик хатоликларни камайтириш учун қўлланиладиган кенг тарқалган усулдир. Бундай усулга мисол қилиб, ўлчаш асбобини бутунлай ёки айрим қисмларини термостатлаш, иссиқлик хатоликларидан қутулиш учун ўлчовларни термостатлаштирилган хоналарда ўтказиш, экранларни қўллаш, электромагнит майдон таъсирида келиб чиқадиган хатоликлардан қутулиш учун филтрлар ва махсус занжирларни (масалан, эквипотенциал занжирларни) қўллаш, приборларни амортизациялаш, ўлчов воситалари ва тадқиқот объектга таъсир қилаётган манбани йўқотиш, катта термо-ЭЮК ҳосил қилиши мумкин бўлган материалларни ўлчов занжирларидан йўқотиш кабиларни келтириш мумкин. Масалан, никель мис билан

жуфтликда 19 мкВ/К термо ЭЮК ҳосил қилади. Магнит индукциясининг аниқ меъёрларини аттестациялашда ернинг магнит майдонини компенсация қилиш учун токли ғалтакларнинг уч компонентли системаси қўлланилади. Паразит термо-ЭЮКни компенсациялаш учун занжирга қўшимча термопара улаш мумкин.

Ўлчов воситалари элементларининг (қаршилик, доимий магнит, тортқи ва ҳоказо) эскиришидан келиб чиқадиган ўсувчи хатоликларни камайтириш учун бундай элементларнинг параметрлари сунъий ва табиий эскиртириш билан стабиллаштирилади.

Систематик хатоликларни камайтириш учун ўлчов воситаларини бир-бирига, таъсир қилувчи манбаасига ва изланиш олиб борилаётган объектга нисбатан рационал жойлаштириш усули ҳам кўп қўлланилади. Масалан, магнитоэлектрик приборлар бир-биридан маълум масофада, индуктив ғалтаклар ўқлари 90^0 бурчак остида, термопара чиқишлари объектнинг изотермик чизиқларида бўлиши керак.

Таъсир этувчи катталикларнинг вақт давомида ўзгармас функцияси ёки стабил физик эффект сабабли келиб чиққан систематик хатоликларнинг кўпи назарий ҳисобланган бўлиши мумкин ва тузатмалар ёрдамида ёки махсус тўғриловчи занжир қўлланилиб йўқотилиши мумкин. Масалан, ядровий магнит резонанси усулига кўра ўлчаш жараёнида атом электрон қатламининг экранловчи майдони таъсирида юз берадиган хатоликни ҳисоб-китоб йўли билан топиладиган тузатмалар орқали йўқотилади. Ўзаро таъсир хатоликларнинг ҳам баъзиларини, масалан, ўлчов воситасининг хусусий қувват истеъмол қилиши натижасида келиб чиққан хатоликни ҳисоблаш йўли билан аниқлаш мумкин.

Систематик хатоликларни йўқотишнинг бошқа радикал усули – бу ўлчов натижаларига тузатиш киритиш мақсадида **ўлчов воситаларни ишчи шароитда текширишдир**. Ушбу усулнинг афзаллиги шундаки, у келиб чиқиш сабабларини аниқлаб ўтирмасдан барча систематик хатоликларни ҳисобга олиш имконини беради. Бу ҳолатда систематик хатоликларни коррекциялаш (тўғрилаш) даражаси, қўлланилаётган намунавий приборларнинг метрологик характеристикасига ва текширилаётган приборнинг тасодифий хатоликларига боғлиқ. Агар тасодифий хатоликлар систематик хатоликлардан кам бўлиб, охиригилари секин ўзгарса, у ҳолда ўлчаш воситаларини иш шароитида текшириш амалда улардан кўра юқори аниқлик синфига мансуб бўлган намунавий воситалардан фойдаланилгандек натижа беради.

Инвертирлаш (акслантириш, тескарилаш) усули доимий ва секин ўзгарувчи систематик хатоликларни йўқотиш учун кенг қўлланилади. Бу усул ва унинг бошқа турлари хатоликларни белгиси бўйича йўқотиш, икки каррали ўлчашлар, коммутацион инвертирлаш усули, структуравий модуляция усули, ўзгартириш функциясини инвертирлаш усули ва ҳоказо номлар билан ҳам маълум. Бу усулларнинг ҳаммаси инвертирлаш натижасида йўналишини ўзгартирган жуфт сонли информатив, таянч сигналлари ёки хатолик ишорасининг алгебраик йиғиндисини топишга асосланган.

Инвертирлаш усулига модуляция-демомодуляция усули яқин. Бунда кириш сигнали даврий равишда инвертирланиб (тескари уланиб) туради. Натижада бир йўналишдаги ҳалақитлар ва бошқа омиллар йўқотилади.

Бу усулнинг яна бир кўриниши – хатоликларни ишораси бўйича йўқотишдир. Масалан, доимий магнит майдонлари, термо-ЭЮК каби бир хил йўналишда таъсир этувчи омиллардан пайдо бўлган хатоликлар икки такрорий ўлчаш орқали йўқотилади: иккинчи ўлчашда хатолик манбанинг натижага тескари ишора билан кириши таъминланади. Магнит майдонининг таъсирини йўқотиш учун иккинчи ўлчашда ўлчаш асбоби 180^0 га буриб қўйилади. Икки ўхшаш ўзгартиргичи мавжуд астатик ўлчаш асбобларида уларнинг ўқлари ўзаро 180^0 бурчак ҳосил қилса, хатоликлар ишоралари бўйича ўзаро компенсацияланиб йўқолади.

Кириш сигналини инвертирлаш усули аддитив, ўлчанаётган катталик йўналишига боғлиқ бўлмаган хатоликларни, масалан ноли шкала ўртасида бўлган приборларда,

термо-ЭЮК билан, ташқи магнит майдон билан боғлиқ хатоликларни. тўғрилашда кенг қўлланилади. Юқори аниқликдаги компенсаторларда ва рақамли ўзгармас ток вольтметрлардаги термо-ЭЮК дан қутилиш учун такрорий ўлчашлар олиб борилади ва бу билан биргаликда ўлчанаётган кучланиш ва ишчи токнинг кутби ўзгартириб турилади. Чунки термо-ЭЮК токнинг кутбига боғлиқ эмас, бунда икки ўлчаш натижаси қуйидагича бўлади :

$$U_{x1} = U_x + E_{ТЭЮК}; \quad -U_{x2} = -U_x + E_{ТЭЮК}; \quad (1.2)$$

бундан

$$U_x = (U_{x1} + U_{x2}) / 2. \quad (1.3)$$

Инвертирлаш усули ҳозирги пайтларда замонавий ўлчаш воситаларидаги хатоликларни камайтириш учун кенг қўлланилади. Бунга дифференциал киришли ўлчов ўзгартиргичлари ва тезкор микроэлектрон коммутатор ҳамда сумматорларнинг ривожланиши туртки бўлди. Инвертирлаш усулини узлуксиз амалга ошириш мумкин. Бунинг учун бир хил ўзгартириш функцияларига эга бўлган икки ўзгартиргичга тескари ишоралар билан битта кириш сигнали берилиб, чиқиш сигналини навбат билан ўлчаш механизмига узатилади.

Алмаштириш (Ҳар хил вақтларда такқослаш, метод замещфячения) усули кўпчилик систематик хатоликларни йўқотувчи универсал усул ҳисобланади. Ўлчашлар икки вақтда бажарилади. Дастлаб ўлчаш асбоби ёрдамида санок қурилмасида ўлчанаётган катталик ҳосил қилган қиймат белгиланади. Сўнггра тажрибанинг барча шароитлари сақлаб қолинган ҳолда ўлчанаётган катталик ўрнига ростланувчан мезон ёрдамида маълум катталик берилади. Мезон шундай ростланадики, асбобнинг санок қурилмаси яна олдинги, ўлчанаётган катталик ҳосил қилган қийматни кўрсатсин.

Бу ҳолда ўлчаш хатолиги мезоннинг ва асбобнинг $\sqrt{2}$ га кўпайтирилган тасодифий хатоликлари йиғиндисидан ташкил топган бўлади. Алмаштириш усули кўпгина катталикларни ўлчашда асбобларнинг аниқлигини ошириш учун қўл келади. Масалан, аниқлиги паст тарозиларни, қаршиликларни ўлчаш асбобларининг, яъни ростланувчан аниқ мезонлари бор катталикларни ўлчовчи асбоблар аниқлигини оширишда қўлланилади.

Ҳар хил вақтда такқослаш усулининг яна бир кўриниши – Ҳар хил вақтда компарациялаш бўлиб, у ростланувчан аниқ мезони йўқ (мураккаб қонун бўйича ёки юқори частота билан ўзгарувчан) катталикларни ўлчашда ишлатилади. Бунда ростланувчан аниқ катталиклар сифатида ўлчанаётган катталик синфига кирувчи, бироқ ўзгармас ва компаратор (такқословчи қурилма) да, масалан, магнит майдон параметрларини ўлчашда) худди шундай натижа берувчи катталик ишлатилади.

Намунавий сигнал усули алмаштириш усулининг бир кўриниши ҳисобланади. Бунда асбоб киришига даврий равишда ўлчанаётган катталик ўрнига шу синфга кирувчи намунавий сигнал бериб турилади. Амалдаги даражалаш билан номинал даражалаш орасидаги фарқ сезгирликни ростлаш ёки натижани автоматик тарзда тўғрилаш учун ишлатилади. Бунда ҳам барча систематик хатоликлар ўлчаш оралиғининг намунавий сигналларга мос нуқталарида йўқотилади. Бунга мисол бўлиб автоматик потенциометрларда ишчи токни даврий равишда ростлаб туриш хизмат қилади.

Намунавий сигнал усулига тест усули яқин туради. Бу усулни қўллашда ўлчанаётган катталик қиймати бир нечта кузатишлар натижасида топилади. Биринчи бўлиб ўлчаш асбобига ўлчанаётган катталик X , кейин киришга бу катталикнинг функциялари X_1 , X_2 , X_3 бўлган тест сигналлари берилади. Бу функциялар Ҳар хил кўринишда бўлиши мумкин:

$X_1 = X + \Delta X$, $X_2 = aX$, $X_3 = bX$, ΔX – катталикнинг мезон таъсиридаги ўзгариши, a ва b – доимий коэффициентлар. Кўпгина хатоликларни тўғрилаш учун тест усулини қўллаш мумкин. Бу усулнинг самарадорлиги ΔX катталикни тиклаш хатолиги ва тасодифий хатоликларнинг мавжудлигига боғлиқ.

Ёрдамчи ўлчашлар усули таъсир этувчи омиллар оқибатида ҳосил бўладиган хатоликларни йўқотиш учун ишлатилади.

Бу усул ташқи таъсир этувчи омиллар ва кириш сигнаlining ноинформатив параметрларидан ҳосил бўладиган хатоликларни йўқотишга хизмат қилади. Бу усулни амалга ошириш учун ўлчанаётган катталик билан бир вақтда ёрдамчи асбоблар билан таъсир этувчи омиллар ҳам ўлчаб борилади ва боғлиқлик формулаларидан уларнинг ўлчаш натижасига таъсир қиймати топилиб керакли тузатиш киритилади. Бу усулнинг кенг қўлланилишига микропроцессорлар техникаси қўл келади.

Симметрик кузатишлар усули тенг вақт оралиқлари бўйича кўп марта ўлчашларни тақозо қилади. Натижа ўрта арифметик қийматлар атрофида симметрик жойлашган Ҳар бир ўлчаш натижаларининг ўртачаси сифатида олинади. Бу усул, одатда, чизиқли прогрессив (ўсувчан) хатоликларни тузатишда ишлатилади. Масалан, умумий манбаага намунавий қаршилик билан кетма-кет уланган номаълум қаршиликни ўлчаётганда манба кучланиши пасайишидан хатолик келиб чиқиши мумкин. Бундай хатоликни йўқотиш учун уч марта тенг вақт оралиқларида ўлчашлар бажарилади.

Биринчиси намунавий R_0 қаршиликдаги кучланиш тушиши: $\Delta U_{01} = I \cdot R_0$. (1.4)

Иккинчиси номаълум қаршилик R_x даги кучланиш тушиши:

$$\Delta U_x = (I - \Delta I_1) \cdot R_x. \quad (1.5)$$

Учинчи: яна намунавий қаршилик R_0 да кучланиш тушиши ўлчанади:

$$\Delta U_{02} = (I - \Delta I_2) R_0, \quad (1.6)$$

бу ерда ΔI_1 , ΔI_2 манба токининг мос ҳолда иккинчи ва учинчи ўлчашлар вақтига келиб камайиши.

Агар ток чизиқли камаяётган бўлса, унда

$$\Delta I_2 = 2\Delta I_1; \quad (1.7) \quad I - \Delta I_1 = \frac{(U_{01} + U_{02})}{2R_0} \quad (1.8)$$

ва номаълум қаршилик:

$$R_x = R_0 \frac{2U_x}{(U_{01} + U_{02})}. \quad (1.9)$$

Симметрик кузатишлар усулини бошқа кўринишдаги хатоликларни йўқотиш учун ҳам қўллаш мумкин. Масалан, у даврий қонун бўйича ўзгараётган таъсир этувчи катталиклардан пайдо бўлган хатоликларни тузатиш учун ҳам қўлланилади. Бунда хатолик Ҳар хил ишорага ва бир хил қийматларга эга бўлганда симметрик (даврий) кузатишлар ярим даврдан сўнг ўтказилади.

Юқорида кўриб ўтилган систематик хатоликларни камайтириш усуллари ўлчов воситаларини яратишда, турли аниқлик талабларига эга бўлган тажрибаларни ўтказишда, натижаларни таҳлил қилиш ва улардан фойдаланишда ишлатилади. Масалан, приборларда сезгирлик ва нолни тўғрилаш автоматик қурилмасида, Ҳарорат ва частота хатолигини тўғрилаш занжирларида, хатоликларни автоматик тўғрилашнинг мураккаб қурилмаларида, систематик хатоликларни топиш, камайтириш ёки йўқотиш кабилар кўриб ўтилган усуллар ёки уларнинг комбинацияси асосида амалга оширилади. Бу усуллар ўлчов хатоликларини камайтириш ва топиш учун йўналтирилган. Бу мақсадга, асосан, экспериментни мураккаблаштириш, мураккаб ва қиммат ўлчов воситаларини қўллаш ҳисобига эришилади. Қўлда тўғрилашда экспериментаторнинг меҳнат унумдорлиги пасайиб кетади.

1.5. Модификацияланган кичик квадратлар усули

Турли физик катталикларни ўлчаш жараёнида кўпинча тажриба натижаларининг аниқлигини ошириш ҳамда тасодифий хатоликлардан ҳоли бўлиш учун экспериментал боғлиқликларни силлиқлаш масаласини ечишга тўғри келади.

Одатда тажриба ўтказгунча функционал боғланиш шакли $y=f(x)$ маълум бўлади, бу ўз навбатида кичик квадратлар усули (ККУ) номи билан машҳур ҳисоблаш усулини қўллаш имконини беради.

Ушбу усулнинг силлиқлаш масаласига татбиқи қуйидагича.

Айтайлик, N та нуқтада $U_1, U_2, \dots, U_N$ ва $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$, факторлар ҳамда уларга мос келувчи $I_1, I_2, \dots, I_N$ жавоблар тажриба йўли билан ўлчаб олинган.

$$I_i = A U_i^\alpha \Phi_i^\beta \quad (1.10)$$

аналитик функция билан ифодаланган функционал боғланиш амалда барча I_i нинг экспериментал қимматлари билан тўла мос келмайди, яъни барча ёки баъзи бир нуқталарда

$$\Delta I_i = I_i - A U_i^\alpha \Phi_i^\beta \quad (1.11)$$

айирма нолдан фаркли бўлади.

Кичик квадратлар усулида (1.10) функциянинг шундай параметрларини топиш талаб этиладики, (1.11) айирмалар квадратларининг йиғиндиси энг кичик қийматига эга бўлсин, яъни қуйидаги ифодани минимумга айлантириш талаб этилади:

$$\delta = \sum_{i=1}^N \Delta I_i^2 = \sum_{i=1}^N [I_i - A U_i^\alpha \Phi_i^\beta]^2 \quad (1.12)$$

(1.10) функция даражали функция бўлганлиги туфайли кўпинча тажриба натижаларининг логарифмларига ўтилади:

$$\ln I_i = \ln A + \alpha \ln U_i + \beta \ln \Phi_i \quad (1.13)$$

$$z_i = c + \alpha x_i + \beta y_i \quad (1.14)$$

Шундай қилиб,

$$\delta = \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2 = \sum_{i=1}^n [Z_i - C - \alpha X_i - \beta Y_i]^2 \quad (1.15)$$

функция минимизация қилинади.

Маълумки, амалдаги тажриба шароитларида олинган катталиклар бир-биридан оз фарқ қилади. Шунинг учун логарифмик масштабда кичик квадратлар усули нотўғри натижаларга олиб келади. Модификация қилинган кичик квадратлар усули эса бундай шароитда кўрсатилган камчиликлардан қутилишга имкон беради.

Модификация қилинган кичик квадратлар усулининг мазмуни шундан иборатки кичик квадратлар усулининг давомида (1.15) - функция I_i^M вазн функцияси билан минимизация қилинади:

$$F = \sum [Z_i - C - \alpha X_i - \beta Y_i]^2 I_i^M \Rightarrow \min, i=1,2,\dots,N; \quad (1.16)$$

(1.16) - функцияни номаълум C, α, β параметрлар бўйича дифференциаллаб, ҳосилани 0 га тенглаб, қуйидаги тенгламалар системасини оламин:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dF}{dC} = -2 \sum_{i=1}^N (z_i - c - \alpha x_i - \beta y_i) I_i^M = 0 \\ \frac{dF}{d\alpha} = -2 \sum_{i=1}^N (z_i - c - \alpha x_i - \beta y_i) I_i^M x_i = 0 \\ \frac{dF}{d\beta} = -2 \sum_{i=1}^N (z_i - c - \alpha x_i - \beta y_i) I_i^M y_i = 0 \end{array} \right\} \quad (1.17)$$

Бироз ўзгартиришдан сўнг (6) тенгламалар системасидан қуйидаги системани оламиз:

$$\left\{ \begin{array}{l} CN \sum_{i=1}^N I_i^M + \alpha \sum_{i=1}^N x_i I_i^M + \beta \sum_{i=1}^N y_i I_i^M = \sum_{i=1}^N z_i I_i^M \\ CN \sum_{i=1}^N I_i^M + \alpha \sum_{i=1}^N x_i^2 I_i^M + \beta \sum_{i=1}^N y_i I_i^M = \sum_{i=1}^N z_i x_i I_i^M \\ CN \sum_{i=1}^N I_i^M + \alpha \sum_{i=1}^N x_i I_i^M + \beta \sum_{i=1}^N y_i^2 I_i^M = \sum_{i=1}^N z_i y_i I_i^M \end{array} \right\} \quad (1.18)$$

ёки

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}c + a_{12}\alpha + a_{13}\beta = \epsilon_1 \\ a_{21}c + a_{22}\alpha + a_{23}\beta = \epsilon_2 \\ a_{31}c + a_{32}\alpha + a_{33}\beta = \epsilon_3 \end{array} \right\} \quad (1.19)$$

Бу ерда

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11} = \sum_{i=1}^N I_i^M, a_{11} = \sum_{i=1}^N x_i I_i^M \\ a_{12} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i I_i^M, a_{22} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 I_i^M \\ a_{13} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i I_i^M, a_{22} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 I_i^M, \\ a_{23} = a_{32} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i I_i^M, a_{33} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 I_i^M, \\ \epsilon_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i I_i^M, \\ \epsilon_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i x_i I_i^M, \\ \epsilon_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i y_i I_i^M, \end{array} \right\} \quad (1.20)$$

(1.20) тенгламалар системасини ечиб, c , α ва β параметрларнинг қийматларини оламиз.

Назорат саволлари

1. Физикавий катталикларнинг таърифи қанақа?
2. Ўлчов бирлиги деб нимага айтилади?
3. Ҳақиқий қиймат деб нимага айтилади?
4. Актив ва пасив катталиклар қандай хусусиятларга эга?
5. Аддитив ва ноаддитив катталиклар нима?
6. Асосий ва ҳосила катталикларга нималар киради?

7. Қандай катталиклар ўзгармас ёки ўзгарувчан ҳисобланади?
8. Ўлчаш қандай босқичлардан тузилган?
9. Ўлчаш қандай вазифаларни бажаради?
10. Ўлчашларни режалаштириш ва ташкил этишга боғлиқ қандай дастлабки масалалар ҳал қилиниши керак?
11. Келиб чиқиш сабабларига кўра, хатоликлар қандай турларга бўлинади?
12. Систематик хатоликлар қандай хусусиятларга эга?
13. Тасодифий хатоликлар қандай хусусиятларга эга?
14. Ўлчашларнинг сифатини қайси хатолик белгилайди?
15. Қайси хатоликларни олдиндан қилинган таҳлиллар асосида аниқлаш, баҳолаш ва натижадан чиқариб ташлаш мумкин?
16. Қайси хатоликларни олдиндан қилинган таҳлиллар асосида аниқлаш, баҳолаш ва натижадан чиқариб ташлаш мумкин эмас?
17. Даврий, ўзгарувчан ва ўзгармас систематик хатоликларга Қандай мисоллар келтириш мумкин?
18. Услубий (методик), инструментал ва ўзаро таъсир хатоликлари қандай хусусиятларга эга?
19. Систематик хатоликларни топиш ва йўқотиш усуллари қанақа?
20. Метрологиянинг усул ва воситалари асосида қандай квант эффектлар ётади?

ИККИНЧИ БОБ

Кичик ток ва кучланишларни ўлчаш

2.1. Умумий маълумотлар

Бу масала кичик сигналли сезгир элементлар (датчиклар) билан ишлашда пайдо бўлади. Ҳар хил физикавий катталикларни электр сигналига ўзгартирувчи термоэлектрик, пьезоэлектрик, тензометрик ионизация датчиклари, биопотенциаллар шунга кирази. Токнинг кичик қийматлари: 10^{-18} дан 10^{-5} Ампергача, кучланишларники: 10^{-10} дан 10^{-5} Вольтгача, электр миқдориники: 10^{-12} дан 10^{-5} Кулонгача ҳисобланади. Асосан частотаси 1 Гц дан паст кичик сигналлар ўлчанади.

Кичик сигналларни ўлчаш усулларининг кўпи ўлчанаётган сигнални дастлаб кучайтириб олишга асосланган. Бунда фотогальванометрик (электромеханик) ва электрон (спектрни ўзгартирмасдан ва ёки ўзгартириб) кучайтиргичлар ишлатилади. Барча усулларнинг таснифи (синфланиши) 2.1-расмда келтирилган. Магнитоэлектрик ва электромагнит гальванометрлар билан кичик сигнални бевосита ўлчаш усули ҳам мавжуд. Ўта кичик ток ва кучланишларни ўлчашда Джозефсон эффектига асосланган усуллар ҳам қўлланилади.

Кичик сигнални ўлчашдаги асосий тўсиқлар ўлчов асбобининг ички шовқинлари ва ташқи халақитлар (помеха) билан боғланган.

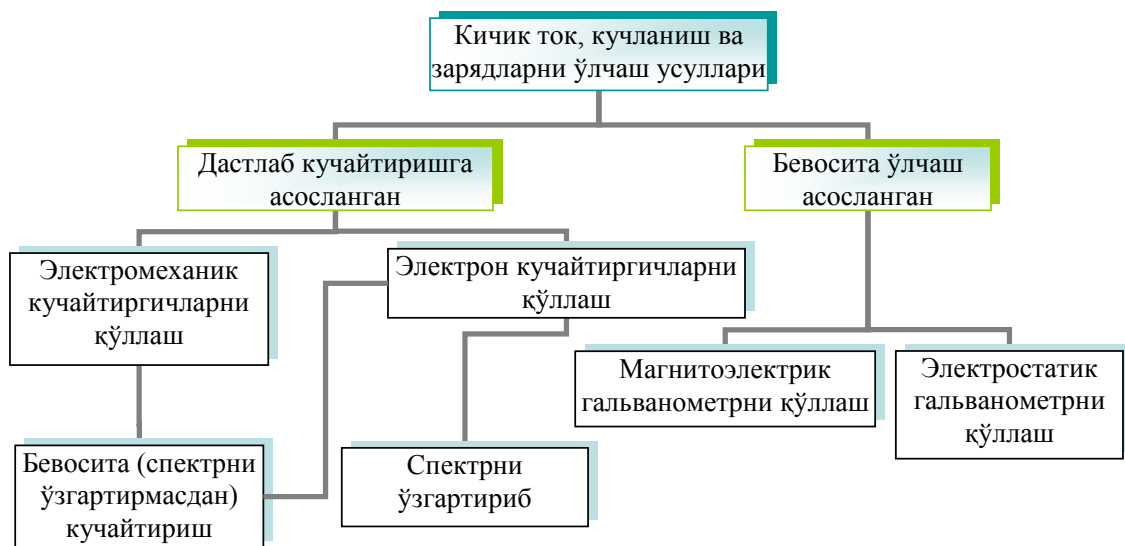
Шунинг учун уларни ўлчашда тор оралиқли кучайтиргичлар ва спектрни ўзгартирувчи (модуляция ва демодуляция) усуллар кенг қўлланилади. Бундай усулларнинг моҳияти ва уларнинг самарадорлиги ушбу ва келгуси бобларда батафсил ёритилган.

Кичик тоқлар, кучланишлар ва зарядларни ёки электрланиш миқдорини ўлчашда қўлланиладиган усулларнинг таснифи қуйида келтирилган.

2.2 Кичик ток, заряд ва кучланишларни ўлчашнинг бевосита кучайтириб олиш усуллари

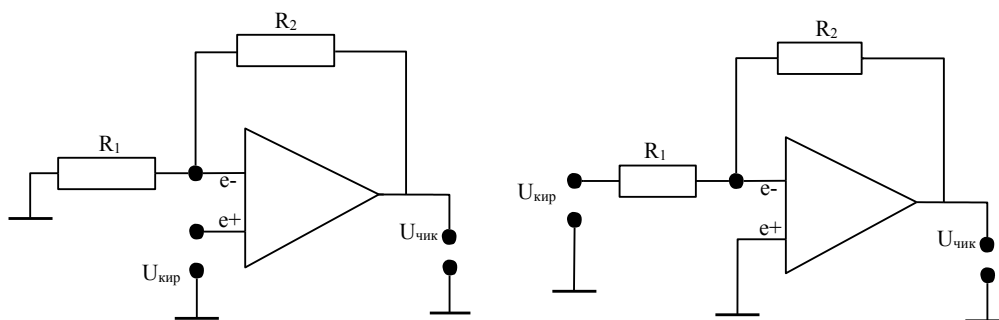
Маълумки, хатоликни камайитиришнинг асосий йўлларида бири – кириш ва чиқишлар орасига манфий тескари алоқа киритишдир.

Бундай алоқани фақат кучайтиргични қўллаб киритиш мумкин. Кучайтиргич ва тескари алоқа занжиридан ташкил топган ёпиқ контур катта кучайтириш коэффициентига эга бўлса, кучайтириш коэффициентининг аниқлиги бутунлай тескари алоқанинг аниқлиги билан белгиланади. Муайян тескари алоқалар ёрдамида керакли кириш ва чиқиш қаршиликларининг қийматлари ҳам тахминланади. Ўлчаш асбоби ўлчанаётган объектга иложи борича кам таҳсир қилиши учун унинг кириш қаршилиги кучланишни ўлчашда катта, токни ёки зарядни ўлчашда эса кичик қийматларга эга бўлиши тахминланади. Кичик чиқиш қаршилиги, одатда, кейинги ўзгартиргичларнинг иши қулай ва самарадор бўлиш учун керак.



2.1-расм. Кичик сигналларни ўлчаш усуллариинг таснифи

Кучланишни кучайтириш учун қуйидаги чизмалардан фойдаланилади:



2.2-расм. Кичик кучланишни ўлчаш кучайтиргич схемаси: а) кетма-кет, б) параллел

Бу ерда операцион кучайтиргичлар (ОК) дан фойдаланилган. ОК лар ўзгармас ток кучайтиргичи ҳисоблансада, ўзгарувчан токларни ҳам (частотаси бир неча юз килогерцгача бўлган) кучайтириш учун хизмат қилиши мумкин. Бундай кучайтиргичлар кетма-кет ёки параллел усулларда қўлланилиши мумкин. Умуман олганда ОК лар ярим ўтказгичли, лампали ёки фотогальванометрик бўлиши мумкин. Уларнинг кириш қаршилиги катта, кучланишни кучайтириш коэффиценти баланд ва шовқинлари кам бўлиши керак.

Амплитуда - частотавий характеристикасининг чизиқли қисмида ишлаётган операцион кучайтиргичнинг кетма-кет кучайтиргич сифатитда қўлланилган чизмаси учун қуйидаги муносабатлар ўринли: (2.1)

б) параллел кучайтиргич кўрсатилган чизма учун:

$$\frac{U_{\text{чиы}}}{U_{\text{кир}}} = \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{k\beta}} \right); R_{\text{кир}} \approx R_{\text{вх}} + R_2(k + 1)$$

(2.2)

бу ерда $U_{кир}$ ва $U_{чик}$ лар – кириш ва чиқиш кучланишлари,

$R_{кир}$ – кучайтиргичнинг кириш қаршилиги,

$r_{кир}$ – операцион кучайтиргичнинг хусусий кириш қаршилиги,

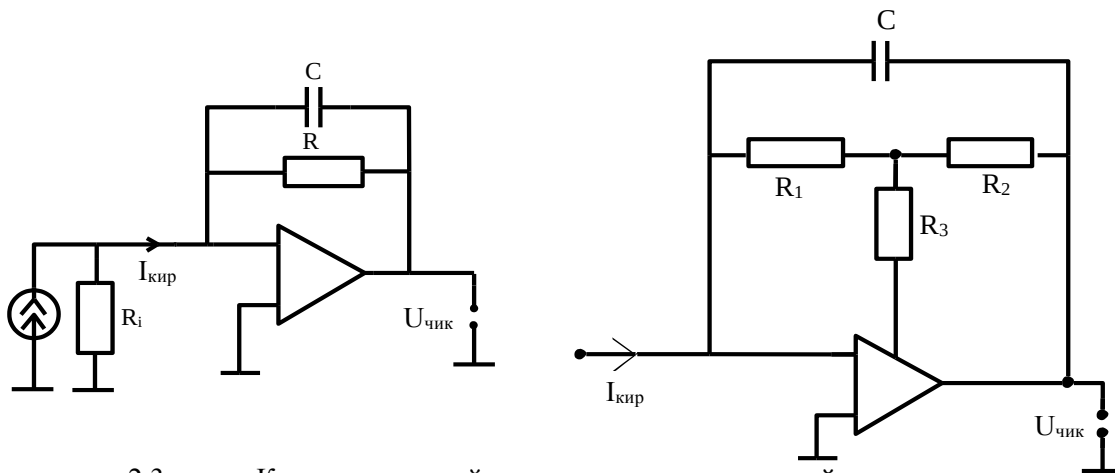
$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ – тескари алоқа коэффиценти

k – операцион кучайтиргичнинг хусусий кучайтириш коэффиценти.

Кетма-кет кучайтиргичнинг кириш қаршилиги $k\beta$ боғлиқлиги унинг афзаллиги ҳисобланади.

$k\beta \geq 1$ ёки $k\beta \gg 1$ шартларини бажариб, жуда катта кириш қаршиликларига эришиш мумкин.

Кичик токларни кучайтириш учун токли киришга эга кучайтиргичнинг икки варианты қўйидаги чизмаларда берилган:



2.3-расм. Кичик токларни ўлчаш учун операцион кучайтиргичларни қўллаш: а) биринчи вариант; б) иккинчи вариант.

биринчи вариант учун :
$$U_{\text{ч}} = -I_{\text{к}} R \frac{K}{K + 1 + R/r_{\text{к}}}; \quad (2.3)$$

$$R_{\text{кир}} = \frac{R}{(K + 1)} \frac{1}{1 + (R/r_{\text{кир}})/(K + 1)}. \quad (2.4)$$

Агар $K \gg 1$ ва $K \gg R/r_{\text{кир}}$ бўлса, унда $U_{\text{чик}} \approx -IR$;

$R_{\text{кир}} \approx R/K$.

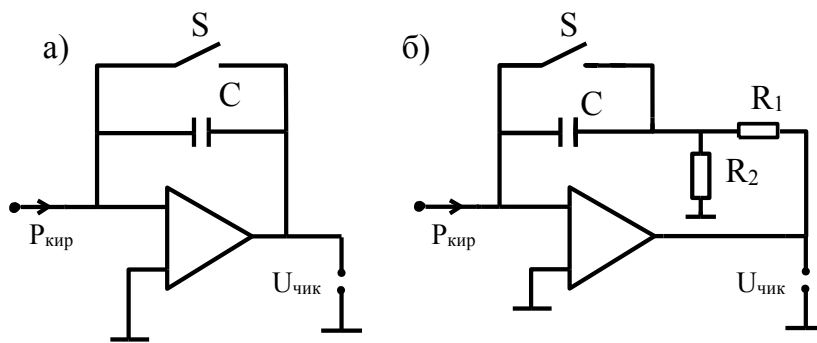
Кўриниб турибдики, кучайтириш коэффиценти ошириш учун R ни ошириш керак.

Иккинчи вариант учун

$$U_{\text{чик}} = -I_{\text{кир}} \frac{R_1 + R_2 + R_1 R_2 / R_3}{1 + [1 + (R_2 / R_3) + (R_1 + R_2 + R_1 R_2 / R_3) / r_{\text{кир}}] / K} \quad (2.5)$$

Бу вариант юқори Ом лик резисторларни қўлламаслик имконини беради. Кучайтиришни ошириш учун R_2 / R_3 нисбатни ошириш етарли.

Зарядларни кучланишга ўзгартириб ўлчаш учун қўйидаги кучайтиргичлардан фойдаланиш мумкин:



2.4-расм. Кичик разрядларни ўлчаш учун кучайтиргич схемаси:
а) биринчи вариант; б) иккинчи вариант.

биринчи вариантда C конденсатор дастлаб разрядланган бўлса, q_k заряди кучайтиргичга берилганда, унинг чиқишида $U_{чик} = -q_k/C$ кучланишини оламиз. ($k \gg 1$).

S – конденсаторни разрядлаш учун керак бўлган улагич.

иккинчи вариант C сиғимни кичрайтириб ўтирмасдан катта кучайтириш коэффициентини олиш имконини беради:

$$U_q = \frac{-q_k(1 + R_1/R_2)}{C}. \quad (2.6)$$

Ушбу чизмалар кичик токларни ҳам ўлчаш учун ишлатилиши мумкин. Ҳақиқатдан $q = I_{кт} t$ эканлигини эътиборга олиб, t вақт ичида чиқиш кучланишининг ўзгариши $U_{чик}$ токка боғлиқ эканини кўрамиз:

$$\begin{aligned} \text{а)} \quad \Delta U_{чик} &= -\frac{I_{кп} t}{C} \\ \text{б)} \quad \Delta U_{чик} &= -\frac{I_{кп} t \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}{C} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Хусусан, (а) чизма учун интеграллаш вақти $t = 10$ сек, сиғим $C = 100$ пФ бўлганда кириш қаршилигининг қиймати

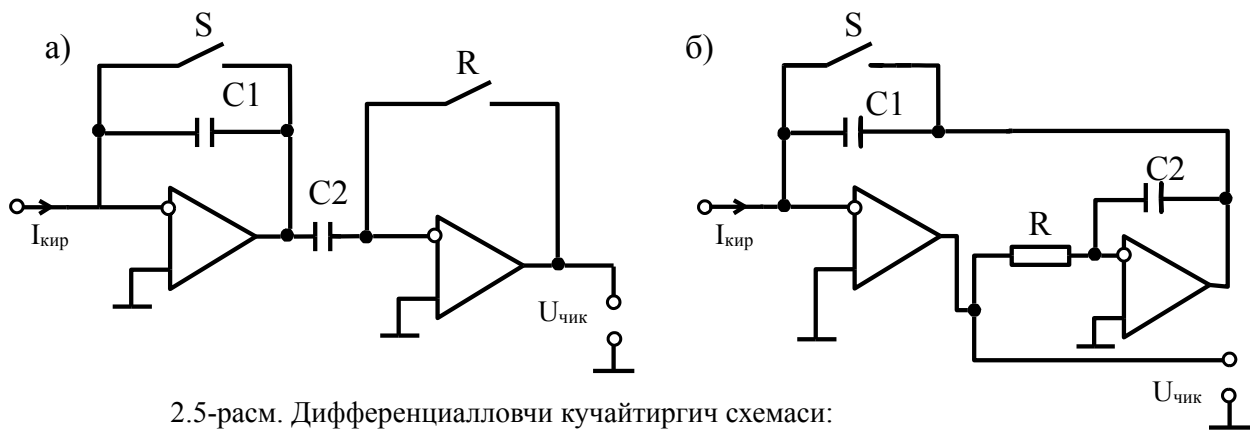
$$-\frac{\Delta U_{кп}}{\Delta I_{кп}} = \frac{t}{C} = \frac{10}{10^{-10}} = 10^{11} \Omega \quad (2.8)$$

га тенг бўлади.

Шундай қилиб, бу кучайтиргич токни ўлчаш учун ишлатилса, тескари алоқа занжирида 10^{11} Ом бўлган кучайтиргичга эквивалент бўлар экан. Чиқиш кучланиши бу чизмалар бўйича бажарилган кучайтиргичда нафақат токка, балки вақтга ҳам боғлиқ бўлгани учун унинг қиймати тўхтовсиз ошиб боради. Чиқишда фақат токка боғлиқ бўлган кучланиш олиш учун унга кетма – кет дифференциалловчи аъзо улаш керак. Бу ҳолда чиқиш кучланишининг ифодаси:

$$U_{чик} = I_{кп} (C_1/C_2)R. \quad (2.9)$$

Кучайтиргичлар эса 2.5-расмда келтирилган чизмалар асосида бажарилган бўлади.



2.5-расм. Дифференциалловчи кучайтиргич схемаси:
а) биринчи вариант; б) иккинчи вариант

Назорат саволлари

1. Кичик сигналларни ўлчашга қандай эҳтиёжлар бор?
2. Қандай кичик сигналларнинг манбаларини биласиз?
3. Қандай тоқлар кичик тоқлар ҳисобланади?
4. Қандай кучланишлар кичик кучланишлар ҳисобланади?
5. Қандай заряд кичик заряд ҳисобланади?
6. Кичик сигналларни ўлчаш усулларини таснифлаб беринг?
7. Кичик сигналларни ўлчашдаги асосий тўсиқлар?
8. Кучланишни тўғридан-тўғри кучайтириб олишда қандай кучайтиргичдан фойдаланиш мумкин?
9. Операцион кучайтиргичнинг параллел ва кетма-кет тескари алоқа ҳолларидаги узатиш муносабатлари қандай?
10. Кичик ток ва зарядларни ўлчашга мўлжалланган чизмаларни келтиринг?

УЧИНЧИ БОБ

Кучайтиргичлар сезгирлигининг таҳлили

3.1. Кучайтиргичлар сезгирлигининг эришиш мумкин бўлган чегаравий бўсағаси

Кучайтириш коэффициенти анча юқори бўлган (10^6) кучайтиргичнинг чегаравий сезгирлиги уларнинг бу параметри билан эмас, кучайтиргичнинг ва сигнал манбасининг ички шовқинлари билан аниқланади.

Электрон кучайтиргичлар хусусий шовқинларининг частотаси бўйича шартли равишда икки ҳилга ажратилади:

- Оқ шовқин. Унинг қуввати спектрал зичлиги (S_0) частотага боғлиқ эмас.
- Фликкер шовқин ёки қизғиш шовқин. Унинг қуввати спектрал зичлиги эса S_0 частотага тескари пропорционал бўлади.

Бу катталикини бундан кейин қисқароқ қилиб спектрал зичлик деб атаймиз.

Шунинг учун шовқиннинг умумий спектрал зичлиги

$$S_{\Sigma 1} = S_0 \left(1 + \frac{f_0}{f}\right) \quad (3.1)$$

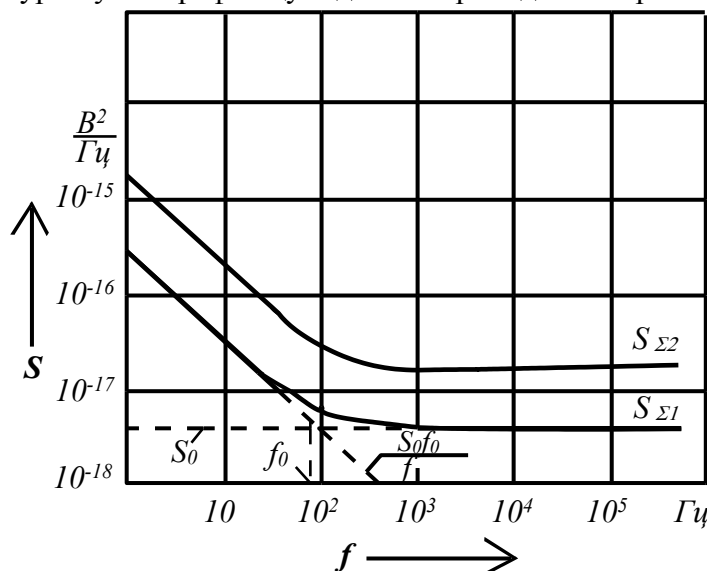
муносабат билан кўрсатилиши мумкин;

бу ерда

f – шовқин частотаси;

f_0 – оқ ва қизғиш шовқинлар бир хил спектрал зичликка эга бўлган, туташув такрорийлиги.

Кучайтиргичга хос бўлган шовқин спектрал зичлигининг частотага боғлиқлигини кўрсатувчи график қўйидаги 3.1-расмда келтирилган:



3.1-расм. Шовқин спектрал зичлигининг частотага боғлиқлиги

Суратдаги $S_{\Sigma 1}$ чизиғи сигнал манбасининг қаршилиги $R_i=0$ хол учун кучайтиргичнинг киришига келтирилган умумий шовқин.

Манба қаршилиги R_i ошаверса шовқин сатҳи кўпаяди ва чизик юқоридан ўтади $S_{\Sigma 2}$. Бунинг бир нечта сабаблари мавжуд:

- Кучайтиргич шовқинига кириш токининг сигнал манбасининг қаршилигидан ўтишидаги флюктуацияси кўшилади;
- Бу шовқинга сигнал манбасининг ички шовқини кўшилади.

Ҳар қандай электр актив қаршиликка оқ шовқин хосдир. Бу Найквист формуласидан келиб чиқади. Унга кўра оқ шовқиннинг спектрал зичлиги:

$$S_R = 4KTRi \quad (3.2)$$

Агар Болцман доимийси - $K=1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/к –, абсолют температура $T=300$ К, ва манба қаршилиги $R_i=1$ кОм бўлса, спектрал зичликнинг қиймати

$S_R = 16.6 \cdot 10^{-18} \text{ В}^2/\text{Гц}$ бўлади.

Шовқин кучланишининг кучайтиргич чиқишидаги дисперсияси шовқин спектрини барча частоталар бўйича интеграллаб топилади:

$$U_{\text{ш}}^2 = \int_0^{\infty} S(f) \cdot |G(f)|^2 df. \quad (3.3)$$

бу ерда:

$G(f)$ – кучайтиргичнинг амплитуда–частотавий характеристикаси (АЧХ).

$S(f)$ - шовқиннинг барча частоталар бўйича спектрал зичлиги.

Оддий ҳолда кучайтиргич паст частоталар филътрига (ПТФ) эквивалент бўлса, унинг $f=0$ частотага келтирилган АЧХ си :

$$\frac{G(f)}{G(0)} = \frac{1}{(\omega\tau)^2 + 1} \quad (3.4)$$

бу ерда τ - ПЧФ вақт доимийси,

$\omega = 2\pi f$ - даврий частота.

Унда киришга келтирилган S_0 спектрал зичликли оқ шовқин, кучайтиргич чиқишида ўрта квадратик қиймати қўйидагича бўлган оқ шовқин кучланишини ҳосил қилади:

$$U_{\text{шо}} = \sqrt{U_{\text{ш}}^2} = \left[\int_0^{\infty} \frac{S_0}{(\omega\tau)^2 + 1} \right]^{0.5} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{S_0}{\tau}}. \quad (3.5)$$

Хусусан, манбанинг шовқин кучланиши:

$$U_{\text{шм}} = \left[\int_0^{\infty} \frac{S_R df}{(2\pi f)^2 + 1} \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{kTR_i}{\tau}}, \quad (3.6)$$

бу ерда $S_R = 4kTR_i$.

Ушбу (3.6) ифода шовқини йўқ идеал кучайтиргичнинг сезгирлик чегарасини кўрсатади.

Масалан, сигнал манбасининг ички қаршилиги $R_i = 1 \text{ кОм}$; вақт доимийси $\tau = 1 \text{ с}$, абсолют ҳарорат $T = 300 \text{ К}$ бўлса, киришга келтирилган шовқин кучланиши

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1000 / 1} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ В} \quad (3.7)$$

бўлади.

Агар реал кучайтиргич ишлатилса, мавжуд манба шовқинига кучайтиргичнинг хусусий шовқини қўшилади. Унинг ўз (хусусий) шовқинининг хусусияти шундаки, частота камайса шовқиннинг спектрал зичлиги чексиз оша боради. Масалан, частотавий оралиғининг пастки чегараси f_n нолдан фарқли бўлган ўзгарувчан ток кучайтиргичи учун киришга келтирилган кучайтиргичнинг хусусий шовқини юқоридаги ифодадан келиб чиққан ҳолда қўйидагича ифодаланади:

$$U_{\text{ш.к}} = [S_0(f_{\text{ю}} - f_n) + S_0 f_0 \ln(f_{\text{ю}} / f_n)]^{0.5}, \quad (3.8)$$

бу ерда:

кучайтириш коэффициенти бирга тенг деб фараз қилинган; $f_{\text{ю}}$ - кучайтиргич ўтказиш оралиғининг юқори чегараси.

Кўриниб турибдики, ўзгарувчан ток кучайтиргичининг хусусий шовқинини пасайтириш (сезгирлигини ошириш) учун унинг ўтказиш оралиғини торайтириш керак. Бундан ташқари бу ораликнинг оқ ва қизғиш шовқинлар туташув частотасини f_0 дан юқорида жойлаш керак.

Охирги ифодадан кўринаяптики, ўзгармас ток кучайтиригичи учун ($f_n=0$) шовқин

сигналининг дисперсияси чексиз катта. Аммо, бу хулоса реал тажриба шароитлари учун ўринли эмас. Чунки кучайтиригичнинг чекланган ишлаш давомийлиги ва кузатиш вақти t_k ҳисобига частотавий оралиғининг пастки чегараси f_n айнан нолга тенг эмас. Шунинг учун ўзгармас ток кучайтиригичининг шовқини қониқарли даражада кам ва шу сабабли улар кўп қўлланилади.

Кузатиш вақти t_k ни кучайтиригични навбатдаги ростлаш (коррекция) дан сўнг ўтган вақт t_p деб ҳисоблаш мумкин. Унинг шовқинини баҳолаш учун юқорида келтирилган шовқин сигнали дисперсияси ифосидадан фойдаланамиз. Ифодадаги частота характеристикаси $G(f)$ ўрнига кучайтиригичнинг жорий частотавий характеристикасини (ЖЧХ) $G_{ж}(f)$ ни ишлатамиз:

$$G_{ж}(f) = \int_0^{\infty} g(t) e^{-j2\pi ft} dt, \quad (3.9)$$

бунда $g(t)$ - кузатиш вақти t_k билан чегараланган импульс характеристикаси.

Агар даврий равишда тўғриланиб турадиган ўзгармас ток кучайтиригичи ўз динамик хусусиятларига кўра биринчи тартибли паст частоталар фильтри деб ҳисобланса, унинг ЖЧХ си қўйидагича ифодаланиши мумкин:

$$G_{ж}(f) = \frac{2 |\sin(\pi f t_p)|}{\sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 \tau^2}}, \quad (3.10)$$

бу ерда τ – кучайтиригичнинг вақт доимийси;

t_p – ростлаш, тўғрилаш даври.

Юқоридаги ифодалардан $t_p \gg \tau$ эканлигини эътиборга олиб, кучайтиригич чиқишидаги шовқин кучланишини қўйидагича ёзиш мумкин:

$$U_{ш.к.} = \left[\frac{S_0}{2\tau} + 2S_0 f_0 \left(\ln \frac{t_p}{\tau} + C \right) \right]^{0.5}, \quad (3.11)$$

бу ерда $C = 0.577$ - Эйлер доимийси. Ўнг томондаги қўшилувчилар оқ ва қизғиш шовқинларга тегишли флюктуацияларнинг кучайтиригич киришига келтирилган дисперсияларидир.

Охирги (3.11) ифода асосида кучайтиригич нолини ростлаш оқ шовқин кучланиши дисперсиясини икки барабар кўпайтиради, дейиш мумкин. Бу қўйидагича изоҳланади: коррекциялаш (ростлаш) вақтида кучайтиригич киришидаги шовқин кучланиши компенсацияланади. Маълум $t_p \gg \tau$ вақтдан сўнг шовқин кучланиши ва олдинги шовқин кучланиши орасидаги ростланиш, тўғриланиш (корреляция)- флюктуация ҳисобига йўқолади ёки камаяди. Натижада, киришда олдинги компенсацияловчи кучланиш ва ҳозирги мавжуд шовқин кучланиши қолади. Бу (41) ифодадаги иккинчи қўшилувчи фликкер шовқиндир. Биринчи ёндашувда оқ шовқинни озлиги учун эътиборга олмаслик мумкин. Электрон кучайтиригичлар учун оқ ва қизғиш шовқинлар туташув частотаси $f_0 = 10$ Гц дан 10 кГц гача ҳисобланади. Агар кучайтиригичнинг вақт доимийси $\tau \geq 10^{-1} \dots 10^{-4}$ ҳамда $t_p \gg \tau$ эканлигини эсласак, охирги ифодани қўйидагича ёзиш мумкин:

$$U_{ш.к.} \approx \sqrt{2S_0 f_0 \ln \frac{t_p}{\tau}}. \quad (3.12)$$

Спектрал зичлик S_0 ва туташув частотаси f_0 кўпайтмаси электрон кучайтиригичлар учун $10^{-16} \dots 10^{-12}$ В² бўлиб, $\tau = 0.1$ с да кучайтиригич чиқишидаги шовқиннинг кучланиши ростлашдан сўнг 1 с ўтганда $U_{ш.к.} = 0.02 \dots 2$ мкВ, 1 ой ўтганда $U_{ш.к.} = 0.05 \dots 5$ мкВ бўлади.

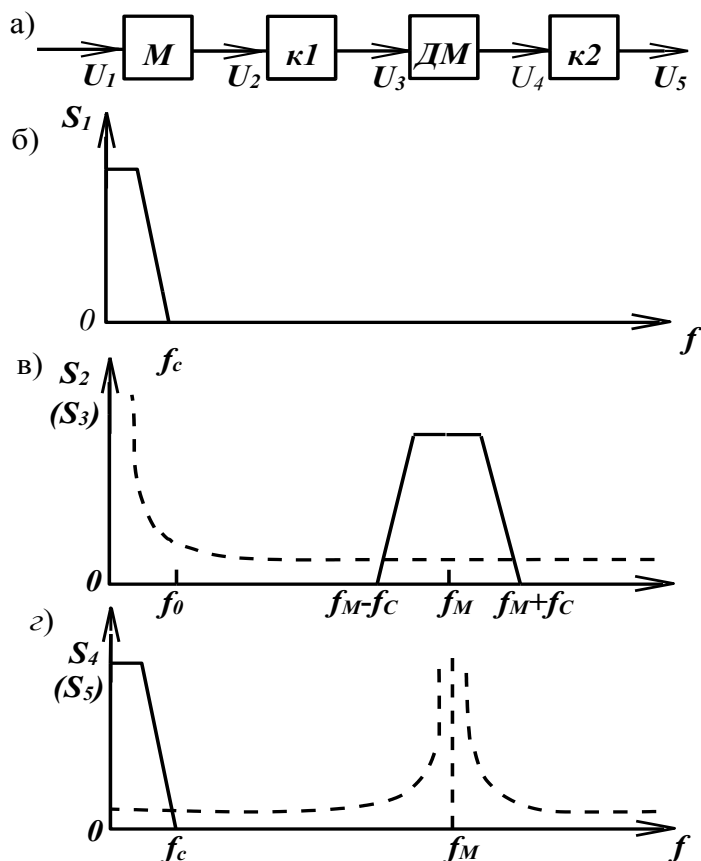
Кўриниб турибдики, қизғиш шовқинни камайтириш учун ростлаш вақти (t_p) ни камайтириш, яъни тез-тез нолни ростлаб туриш керак. Тўла шовқин сигналинин ҳисоблашда манба ва кучайтиригич шовқинларининг ўзаро статистик боғлиқ эмаслигини

эътиборга олиш керак:

$$U_{ш} = \sqrt{U_{шм}^2 + U_{ш.к.}^2} . \quad (3.13)$$

3.2. Спектрни ўзгартириб кучайтиргичларнинг сезгирлик чегарасини ошириш

Спектрни ўзгартириб кучайтиргич ёки модулятор-демодуляторлик кучайтиргич таркибидаги модулятор (М), ўзгарувчан ток кучайтиргичи (К1), демодулятор (ДМ) ва чиқишдаги ўзгармас ток кучайтиргичи (К2) ўлчаш воситасининг таркибини мураккаблаштиришига ва қимматлаштиришига қарамасдан кенг қўлланилади (3.2 - расм)



3.2-расм. Спектрни ўзгартириб кучайтиргичлар сезгирлигини ошириш

сезилмас даражада кам бўлган соҳага кўчирилган. Бунинг асосий шarti - $f_m - f_c$ фарқ оқ ва фликкер – шовқин туташув частотаси f_0 дан юқорида бўлиши керак. Юқори частотали филътр билан фойдали сигнал спектри ажратиб олиниши мумкин.

Демодулятордан сўнг сигнал спектри икки ён ташкил қилувчидан иборат: биринчиси 0 дан f_c гача ораликда, иккинчиси - $2f_m - f_c$ дан $2f_m + f_c$ гача ораликда (3.2 -г расм; иккинчи ён ташкил қилувчи кўрсатилмаган). Агар фликкер – шовқин модулятордан сўнг юқори частотали филътр билан сўндирилмаган бўлса, К2 кучайтиргичдан сўнг унинг спектри демодулятор таъсирида f_m соҳага кўчади. (3.2-г расмда штрих чизик). Энди ундан қутулиш учун паст частотали филътр қўлланилади. К2 кучайтиргичнинг хусусий шовқини сезилмас даражада бўлади. Чунки фойдали сигнал К1 кучайтиргич билан кучайтириб олинган.

МДМ кучайтиргичнинг сезгирлик чегараси К1 кучайтиргичнинг киришга келтирилган оқ шовқин спектри билан белгиланади (модуляторнинг шовқини сезилмас даражада оз) :

Сигнал спектрини модулятор ёрдамида ўзгартириб, кучайтиргич билан кучайтириб, сўнгга демодулятор билан эски сигнал ҳосил қилинса, фликкер шовқин анча камаяди.

Модулятор–демодуляторлик (МДМ) кучайтиргичларида ташувчи (модуляцияловчи) частота (f_m) да гармоник ёки тўртбурчак сигнални амплитудавий модуляциялаш қўлланилади. Кучайтириладиган сигнал спектри 0 дан f_c гача ораликда жойлашган бўлсин (3.2 - б расмга қаранг).

Амплитудали модуляциядан сўнг сигнал спектри (S_2) пастки ($f_m - f_c$) ва юқори ($f_m + f_c$) ён оралиқларга ўзгартирилади (3.2 - в расм). Бу оралиқлар модуляция частотаси f_m соҳасида жойлашади. К1 кучайтиргичнинг шовқин спектри (S_3) штрих чизик билан кўрсатилган. Яъни модуляция ёрдамида фойдали сигнал спектри фликкер – шовқин

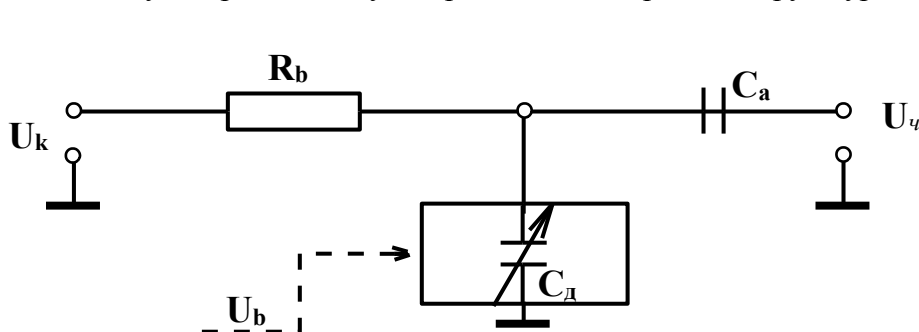
$$U_{ш.к} = [S_0(f_{ю} - f_n)]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.14)$$

бу ерда S_0 – кучайтиргичнинг киришга келтирилган оқ шовқини спектрал зичлиги;
 $f_{ю}, f_n$ – кучайтиргич ўтказиш оралиғининг юқори ва пастки чегаралари.

Юқоридаги графиклар гармоник амплитудали модуляцияловчи сигнал учун келтирилган. Бироқ барча фикрлар тўғри бурчакли модуляцияловчи сигнал учун ҳам ўринли. К1 кучайтиргичи фақат ўзгарувчан сигналнигина кучайтиради ва унинг ноли силжиши МДМ чиқишидаги кучланишга таъсир этмайди. МДМ нолининг умумий силжиши ишлатилаётган модуляторнинг сифатига, унинг кириш занжирида ҳосил бўлган хусусий термо–ЭЮК қийматига боғлиқ.

Модулятор бошқарув сигнали таъсирида ўз ўтказувчанлигини кескин ўзгартирадиган ҳар хил электрон ёки электромагнетик элементлар асосида тузилади. Ўтказувчанлик актив сиғим ёки индуктив характерга эга бўлиши мумкин. Сизгирлик бўсағасининг энг кичик қийматлари изоляцияланган затворли майдон транзисторларини қўллаб эришилмоқда.

Модулятор ва демодуляторнинг калитлари бошқарув қурилмаси ёрдамида синхрон



улашиб – узилиб туради. Уланиш такрорийлиги 1-10 кГц. Натижада чиқиш кучланиши кириш кучланишининг ўзгаришига мос ва кучайтирилган бўлиб, шовқинлар ва кучайтиргичлар дрейфларининг кўп

3.3-расм. Электростатик модулятор схемаси

қисмидан халос бўлади. МДМ кучайтиргичларнинг ҳар 10^0 °C га тўғри келадиган дрейфи (нолининг силжиши) одатда 1-2 мкВ. Бироқ кириш занжирлари ва модулятор ҳафсала билан аниқ бажарилса, дрейф 5-20 марта камайтирилиши мумкин. Серияли МДМ асбобларда кучланиш бўйича 10^{-8} В, ток бўйича 10^{-17} А гача сезгирликка эришилган.

Динамик конденсатор ёрдамида ҳам модулятор ижро этиш мумкин. Унинг сиғими C_g конденсатор юпқаларидан бирини силжитиш йўли билан ўзгартириб турилади. Бу иш электростатик ёки электромагнет майдонлар билан амалга оширилади. 3.3 - расмда электростатик модуляторнинг чизмаси келтирилган.

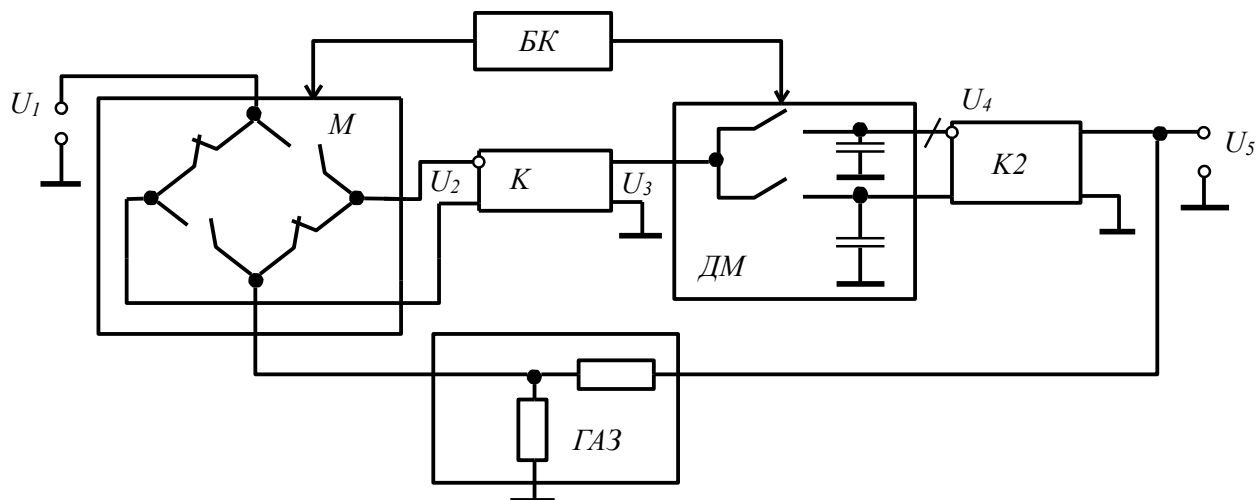
Модуляторнинг чиқишига уланган кучайтиргичнинг кириш қаршилиги балласт қаршилиқ (R_6) дан анча катта бўлиши керак. Бошқарувчи кучланишнинг ўзгариш даври $R_6 C_d$ вақт домийлигидан анча кичик бўлса, модуляторнинг чиқиш кучланиши биринчи ёндашувда кириш кучланишининг динамик конденсатор сиғимининг ўзгариши кўпайтмасига тенг:

$$U_q \approx \Delta C U_k. \quad (3.15)$$

Бундай модуляторнинг ўзгармас кириш токи динамик (C_d) ва ажратиб турувчи (C_a) конденсаторларнинг ҳамда кириш занжирининг изоляциясига боғлиқ. Энг яхши динамик конденсаторлар олтин юпқалардан тайёрланади ва вакуумда жойлаштирилади. Уларнинг изоляцияси 10^{16} Ом қаршилиқка эга. Ток бўйича сезгирлиги $10^{-16} - 10^{-18}$ А га етади. Олтин

юпқали конденсаторларда контакт потенциаллари фарқи жуда кам бўлади. Бундай МДМ кучайтиргичларда дрейф бир неча соатда 10-100 мкВ га етади. МДМ русумли кучайтиргичлар ёрдамида инфрапаст частотали (бир неча ўн герцгача) кичик сигналлар ўлчанади.

Қўйидаги 3.4 - расмда комплементар изоляцияланган затворли майдон транзисторларида қурилган кўприкли модулятор келтирилган:



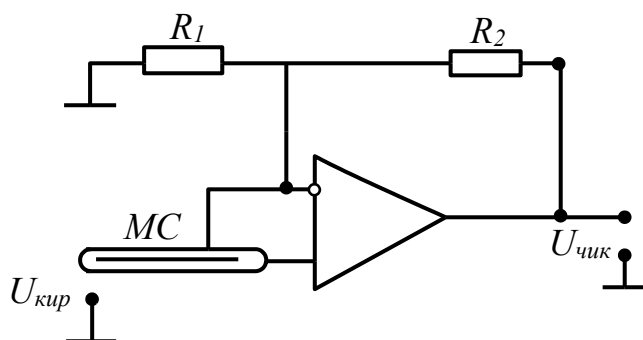
3.4-рasm. Кўприкли модулятор схемаси

Бу транзисторлар чизмада (3.4- рasm) калитлар сифатида кўрсатилган. Ўтказувчан ҳолатда улар бир неча ўн ёки юз Ом қаршиликка эга. Ёпиқ ҳолатда улардан 10-100 нА ток ўтиши мумкин ҳолос. Модулятор К1 кучайтиргич киришига берилаётган кучланишнинг ишорасини бошқариш қурилмаси (БК) ёрдамида даврий ўзгартириб туради. Бу кучланиш кириш (U_1) ва тескари алоқа занжири (ТАЗ) орқали келтирилган чиқиш (U_5) кучланишлари фарқига тенг. К1 ва К2 кучайтиргичлар орасига жойлашган демодулятор (ДМ) иккита ўзаро тескари ишлайдиган калит ва иккита хотира конденсаторидан тузилган.

Кичик сигналларни ўлчашда ҳалақитларга қарши чоралар

Ҳалақитлар ўлчаш воситасига четдан таъсир қилади. Улар шовқинларга нисбатан кучлироқдирлар ва асбоб сезгирлигини белгиловчи асосий омилдир.

Улар электростатик, электромагнит майдонлар ёки ўлчаш воситаларининг изоляцияси орқали киришга ўтиши мумкин. Намоён бўлишига қараб, ҳалақитлар икки катта гуруҳга бўлинади. Биринчи гуруҳ – синфазали ёки бўйлама ёхуд умумий ҳалақитлар дейилади. Улар ер билан асбоб киришлари орасида таъсир қилади. Иккинчи гуруҳ – дифференциал

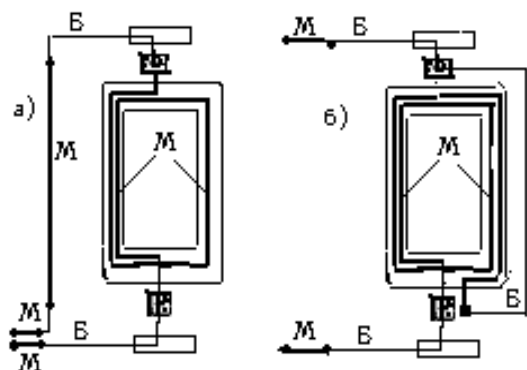


ёки кўндаланг ҳалақитлар бўлиб, улар киришлар орасида таъсир қилади. Айнан кўндаланг

3.5-рasm. Кучланиш кучайтиргичининг схемаси ²⁷

халақитлар хатоликлар келтириб чиқаради. Чунки улар асбоб учун худди ўлчанаётган фойдали сигнал кабидир. Бўйлама халақитлар эса охир оқибатда қисман кўндаланг халақитга айланиши мумкинлиги билан ҳавфли.

Ўлчаш воситаларини лойиҳалаш ва ишлатишда халақитларнинг пайдо бўлишига ва ўлчаш воситасига кириб келган халақитларнинг таъсирига қарши чоралар кўриш керак. Халақитларга қарши анъанавий чоралардан бири – экранлаш. Умумий сим («ер») билан туташтирилган ўтказувчан экранлар ўлчов занжирини электростатик ва юқори частотали электро-магнит майдонлардан сақлайди. Ферромагнит экранлар доимий ва паст частотали магнит майдонларидан яхши сақлайди. Паразит гальваник алоқалар орқали киришга келадиган халақитларни камайтириш учун изоляцияни яхшилаш, муҳофаза симларидан



3.6 – расм. Фотогалвнометрик кучайтиргич схемаси: а) Ф117/ 1 русумли; б) Ф127 русумли

фойдаланиш керак. Охиргилар паразит оқувчи токларни корпусга ёки қурилманинг ҳавфсиз нукталарига ўтказиб юборади. Суратда келтирилган кучланиш кучайтиргичида фойдали сигнал келувчи сим печат платанинг муҳофаза симлари (МС) орасида жойлаштирилган (3.5- расм)

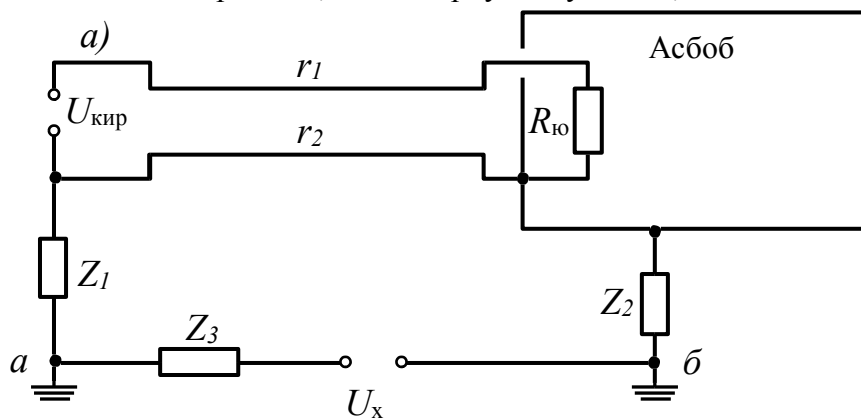
Бу симлар схемадаги паст Омлик бўлгичга уланганлиги учун изоляциядан ўтувчи (сизиб ўтувчи) тоklar кириш кучланишига таъсир қилмайди. Бундан ташқари муҳофаза ва кириш симлари орасидаги изоляциянинг кам қаршилиги ҳам ёмон оқибатларга олиб кела олмайди. Чунки, иккала сим ҳам изоляцияга нисбатан бир хил потенциалга эга (эквипотенциал химоя принципи ишлатилмоқда).

Ўзгармас ток катталикларини ўлчашда муҳим халақит берувчи омил – кириш занжирларидаги паразит термо – ЭЮКлар. Бу ЭЮК лар занжирда бир жинсли бўлмаган материаллар мавжудлигидан пайдо бўлади. Хусусан, мис симни қалай кўрғошинли кавшарлаш натижасида ҳар бир градус ҳароратга 2,8 мкВ паразит ЭЮК ҳосил бўлади. Ундан сақланиш учун асбоб ичида ҳарорат градиенти (таксимланиши ва йўналиши) ни камайтириш керак. Бунинг учун иссиқликдан химоя қилувчи, ҳароратни вертикал бўйича бир хил қилиб турувчи экранлар қўллаш керак. Ҳар хил материалли контактларни бир хил баландликда, бир-бирига яқин жойлаш керак. Масалан, Ф117 фотогалвнометрик кучайтиргич мукамал иссиқлик экранларига эга бўлишига қарамасдан, ҳар хил материалли контактларнинг бетартиб жойлашуви хисобига паразит ЭЮК 150 ... 250 нВ гача етади. Унинг манбаи – асбобнинг ўлчов занжирида мис симлар (чўлғам, кириш симлари) бронза тортқилар билан туташган жойлардир. Янада мукамалроқ Ф117/1 фотогалвнометрик кучайтиргичда (3.6- расм) паразит ЭЮК ни камайтириш учун монтажнинг кўп қисми бронза симларда бажарилган ва чўлғамнинг мис – бронза контактлари билан бир хил баландликда атайлаб махсус мис – бронза жуфтли контактлар киритилган (3.6- расм, а). Натижада бир хил баландликда (ҳароратда) турган мис – бронза жуфт уламлари, бир хил қийматли ва ўзаро тесқари йўналган ЭЮКлар жуфтини ҳосил қилади. Улар ўзаро компенсацияланиб, «еишиб» кетади ва натижада паразит термо-ЭЮКнинг қиймати 40...60 нВ га пасаяди. Ф127 фотогалвнометрик кучайтиргичда барча монтаж бронза симларда бажарилган. Мис чўлғамга бронза симларга уланишлари бир хил баландликда (3.6- расм, б). Унда паразит термо - ЭЮК 10 ... 20 нВ гача тушади.

Электромеханик ўлчаш асбоблари титрашга, туртки ва чайқалишларга сезувчан. Уларни бикир асосли жойларга ўрнатиш керак. Сизгир электромеханик электрон ўлчаш асбоблари ҳатто Ернинг магнит майдонидаги титраш таъсирида ЭЮК ҳосил қилиб,

натижага хатолик киритиши мумкин. Кириш занжирларининг жуфт симлари эшилган бўлса, ташки электромагнит майдонларда пайдо бўлиши мумкин халақитлар синфазали бўлиб ўзаро компенсацияланади.

Ўлчаш воситаларига таъсир қиладиган бўйлама халақитларни сўндириш усуллари қараб чиқамиз (3.7-расм). Биринчи ёндашувда сигнал манбаи асбобнинг паст потенциалли киришига, асбоб корпусига уланган, деб ҳисоблаш мумкин.



Z_1, Z_2 манба ва асбоб билан ер орасидаги қаршилик, Z_3 – “а” ва “б” нуқталар орасидаги қаршилик U_x – бўйлама халақит манбаи (трамвайлар, саноат қурилмаларидан адашган тоқлари).

Агар $r_1, r_2 \ll R_{к.р.}$, бўлса бу халақитдан кўндаланг халақит қучланиши пайдо

3.7-расм. Ўлчаш воситаларига таъсир қиладиган бўйлама халақитларни сўндириш усулини тушунтирувчи схема

бўлади:

$$U_{к.б.} = U_x \frac{r_2}{r_2 + Z_{1,2,3}}; \quad (3.16)$$

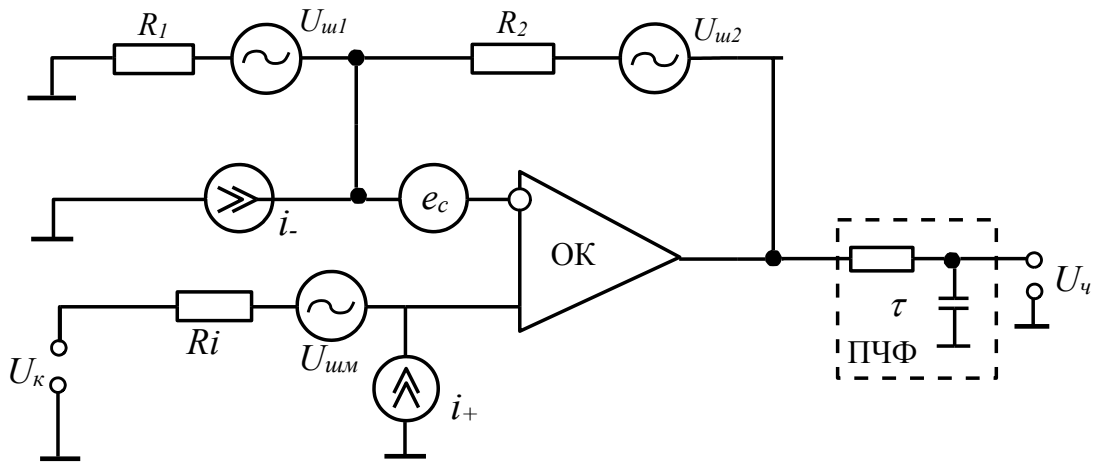
$$Z_{1,2,3} = Z_1 + Z_2 + Z_3. \quad (3.17)$$

Бўйлама халақитнинг таъсирини камайитириш учун асбоб киришини симметрик қилиб, кириш занжирлари билан ер орасидаги қаршиликни ошириш керак. Бу ҳолда кириш занжирлари кўприк кўринишига келиб, унинг чизмаси анча мураккаблашади.

Халақитлардан сақланишнинг самарали чораларидан бири - кириш занжирини экранилаш, кириш сим жуфтларини ўзаро эшиш.

21-бетга 2004-йилга ФЎЗУ

Кучайтиргичларнинг шовқин хусусиятларини ўрганишда шовқинларнинг барча манбаларини эътиборга олишга тўғри келади. Мисол сифатида кетма-кет тескари алоқали кучайтиргичнинг шовқинларини кўрамиз. (3.2-расм)



3.2-расм. Кучайтиргичдаги барча шовқин манбалари

3.2-расмдаги схемада операцион кучайтиргичнинг чиқишидаги (киришга келтирилган) силжиси кучланиши e_c , кириш токлари, i_- ва i_+ алоҳида манбалар сифатида кўрсатилган. Қаршиликларнинг шовқинлари кучланишлари ҳам қаршиликлардан ташиқарида чизилган. Аслида барча манбалар ўз объектларининг ичида, яъни i_- ва i_+ e_c , - операцион кучайтиргичда, $U_{ш1}$, $U_{ш2}$, $U_{шм}$ лар эса қаршиликларда мавжуд. Кучайтириш коэффициентини чексиз ҳисобланганда схеманинг чиқиш кучланиши

$$U_r = (U_k + e_c + i_+ R_i + U_{шм}) \cdot (R_2/R_1 + 1) + U_{ш2} - U_{ш1} R_2/R_1 - i_- R_2$$

Ифода билан аниқланиши равшан.

Силжиси кучланиши U_c ва кириш токлари i_+ ва i_- ни систематик хатолик келтириб чиқарувчи доимий ташиқил қилувчи ва тасодифий хатолик келтириб чиқарувчи шовқин $e_{ш}$, $i_{ш+}$ $i_{ш-}$ ташиқил қилувчилардан тузилган деб қараиш мумкин.

Шовқин ташиқил қилувчиларни ўзаро бир-бирига боғлиқ эмаслигини назарда тутиб, киришдаги шовқинни

$$\overline{U_{ш.к}}^2 = \overline{e_{ш.к}}^2 + \overline{(i_{ш+} \cdot R_i)}^2 + \overline{(i_{ш-} \cdot \frac{R_i \cdot R_2}{R_i + R_2})}^2 + \overline{U_{ш.м}}^2 + \overline{(U_{ш1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2})}^2 + \overline{(U_{ш2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2})}^2 \quad (3.14)$$

Актив қаршиликнинг шовқинлари текис спектрал зичлик билан характерланади ва Найквист формуласи билан аниқланади (3.2). Силжиси кучланиши e_c кучайтиргичнинг кириш токлари i_+ ва i_- ларга тегишли товушлар оқ ва фликкер ташиқил этувчиларга эга. Уларнинг $B^2/\Gamma\zeta$ ва $A^2/\Gamma\zeta$ ўлчов бирликли S_e ва S_I спектрал зичликлари (3.1) ифодага мос равишда

$$S_e = S_{oe} (1 + \frac{f_{oe}}{f}); \quad S_I = S_{oI} (1 + \frac{f_{oI}}{f})$$

формулалар билан ифодалаш мумкин.

i_+ ва i_- токларнинг шовқинлар бир хил интенсивликка эга ва кучайтиргич чиқишидаги ўлчаи асбобининг динамик хусусиятлари 1-тартибли филтрга мос деб фараз қилсак, киришга келтирилган чиқишдаги шовқин кучланишининг дисперсияси (3.14) га асосан, (3.11) ни

2004-йилга ФЎЗУ

Эътиборга олиб, қуйидагича ёзилади:

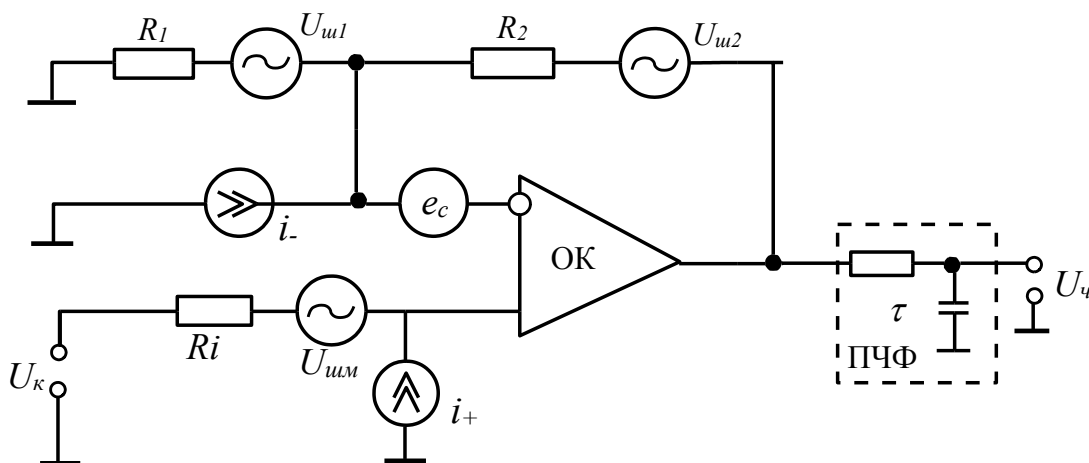
$$\overline{U_{ш,\Sigma}^2} = 2S_{oe} f_{oe} \ln \frac{tp}{\varepsilon} + 2S_{oi} (R_i^2 + \frac{R_i \cdot R_2}{R_i + R_2})^2 f_{oi} \ln \frac{tp}{\varepsilon} + 2kT(R_i + \frac{R_i \cdot R_2}{R_i + R_2}) \quad (3.15)$$

бу ерда t_p – охирги ростлашдан сўнг ўтган вақт, ε – паст частоталар филтри вақт доимийси.

Охирги формулаларда катталиклар белгилари тепасидаги чизиқча ушибу катталикнинг вақт бўйича ўртача қийматини билдиради. (3.15) нинг ўнг томонидаги биринчи иккита қўшилувчилар операцион кучайтиргичнинг хусусий шовқинини баҳолайди. Учунчи қўшилувчи – актив қаршиликларнинг шовқини ҳисобланади. Ўзгармас ток кучайтиргичларида фликкер шовқин, одатда, оқ шовқиндан катта. Шунинг учун кучайтиргичнинг сезгирлик бўсағасини пасайтириш (сезгирлигини ошириш) мақсадида фликкер шовқини паст кучайтиргичлардан фойдаланиш ва ростлаш вақти t_p ни камайитиш керак, яъни тез-тез кучайтиргичнинг нолини тўғрилаб (ростлаб) туриш керак.

Лекин, фликкер шовқиндан қутилишининг енг самарали усули – спектрни ўзгартирувчи кучайтиргичларни қўллаш.

Кучайтиргичларнинг шовқин хусусиятларини ўрганишда шовқинларнинг барча манбаларини эътиборга олишга тўғри келади. Мисол сифатида кетма-кет тескари алоқани кучайтиргични шовқинларни кўрамыз. (3.2-расм)



3.2-расм. Кучайтиргичдаги барча шовқин манбалари

3.2-расмдаги схемада операцион кучайтиргичнинг чиқишидаги (киришга келтирилган) силжиси кучланиши e_c , кириш токлари, i_- ва i_+ алоҳида манбалар сифатида кўрсатилган. Қаршиликларнинг шовқинлари кучланишлари ҳам қаршиликлардан ташиқарида чизилган. Аслида барча манбалар ўз объектларининг ичида, яъни i_- ва i_+ e_c , - операцион кучайтиргичда, $U_{ш1}$, $U_{ш2}$, $U_{шм}$ лар эса қаршиликларда мавжуд. Кучайтириш коэффиценти чексиз ҳисобланганда схеманинг чиқиш кучланиши

$$U_r = (U_k + e_c + i_+ R_i + U_{шм}) \cdot (R_2/R_1 + 1) + U_{ш2} - U_{ш1} R_2/R_1 - i_- R_2$$

Ифода билан аниқланиши равишан.

Силжиси кучланиши U_C ва кириш токлари i_+ ва i_- ни систематик хатолик келтириб чиқарувчи доимий ташиқил қилувчи ва тасодифий хатолик келтириб чиқарувчи шовқин $e_{ш}$, $i_{ш+}$ $i_{ш-}$ ташиқил қилувчилардан тузилган деб қараиш мумкин.

Шовқин ташиқил қилувчиларни ўзаро бир-бирига боғлиқ эмаслигини назарда тутиб, киришдаги шовқинни

$$\overline{U_{ш.к}}^2 = \overline{e_{ш.к}}^2 + (\overline{i_{ш+} \cdot R_i})^2 + (\overline{i_{ш-} \cdot \frac{R_i \cdot R_2}{R_i + R_2}})^2 + \overline{U_{ш.м}}^2 + (\overline{U_{ш1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}})^2 + (\overline{U_{ш2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}})^2 \quad (3.14)$$

Актив қаршиликнинг шовқинлари теккис спектрал зичлик билан характерланади ва Найквист формуласи билан аниқланади (3.2). Силжиси кучланиши e_c кучайтиргичнинг кириш токлари i_+ ва i_- ларга тегишли товушлар оқ ва фликкер ташиқил этувчиларга эга. Уларнинг $B^2/\Gamma\zeta$ ва $A^2/\Gamma\zeta$ ўлчов бирликли S_e ва S_I спектрал зичликлари (3.1) ифодага мос равишда

$$S_e = S_{oe} (I + \frac{f_{oE}}{f}); \quad S_I = S_{oI} (I + \frac{f_{oI}}{f})$$

формулалар билан ифодалаш мумкин.

i_+ ва i_- токларнинг шовқинлар бир хил интенсивликка эга ва кучайтиргич чиқишидаги ўлчаши асбобининг динамик хусусиятлари 1-тартибли филтрга мос деб фараз қилсак, киришига келтирилган чиқишидаги шовқин кучланишининг дисперсияси (3.14) га асосан, (3.11) ни

Эътиборга олиб, қуйидагича ёзилади:

$$\overline{U_{ш.Σ}}^2 = 2S_{oe} f_{oe} \ln \frac{tp}{\varepsilon} + 2S_{oI} (R_i^2 + \frac{R_i \cdot R_2}{R_i + R_2})^2 f_{oI} \ln \frac{tp}{\varepsilon} + 2kT(R_i + \frac{R_i \cdot R_2}{R_i + R_2}) \quad (3.15)$$

бу ерда t_p – охирги ростлашдан сўнг ўтган вақт, ε – паст частоталар филтри вақт доимийси.

Охирги формулаларда катталиклар белгилари тепасидаги чизикча ушибу катталиклнинг вақт бўйича ўртача қийматини билдиради. (3.15) нинг ўнг томонидаги биринчи иккита қўшилувчилар операцион кучайтиргичнинг хусусий шовқинини баҳолайди. Учунчи қўшилувчи – актив қаршиликларнинг шовқини ҳисобланади. Ўзгармас ток кучайтиргичларида фликкер шовқин, одатда, оқ шовқиндан катта. Шунинг учун кучайтиргичнинг сезгирлик бўсағасини пасайтириши (сезгирлигини ошириши) мақсадида фликкер шовқини паст кучайтиргичлардан фойдаланиши ва ростлаши вақти t_p ни камайитириши керак, яъни тез-тез кучайтиргичнинг нолини тўғрилаб (ростлаб) туриши керак.

Лекин, фликкер шовқиндан қутилишининг енг самарали усули – спектрни ўзгартирувчи кучайтиргичларни қўллаш.

Халақитларнинг кўп қисмини саноат частотасига қаррали бўлган тармоқ сигналлари ташқил қилади. Бу халақитларнинг таъсирини камайитириш учун асбобнинг динамик хоссалари паст частотали филтраникига ўхшатилади. Масалан, асбоб вақт доимийси $\tau=2$ сек бўлса, 50 Гц лик халақит

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{(2p\tau)^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{(2 * 3.14 * 50 * 2)^2 + 1}} = \frac{1}{630} = -56\text{dB} \quad (3.18)$$

коэффициентига камаяди.

Назорат саволлари

1. Кучайтиргичнинг сезгирлиги қандай омиллар билан белгиланади?
2. Нима учун кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициентини чексиз ошириб, унинг сезгирлигини кўтариш мумкин эмас?
3. Шовқинларнинг қандай турларини биласиз?
4. Оқ шовқиннинг қандай хусусиятлари бор?
5. Фликкер (қизғиш) шовқиннинг қандай хусусиятлари бор?
6. Кучайтиргичга хос бўлган шовқин спектрал зичлиги частотага қандай боғлиқ?

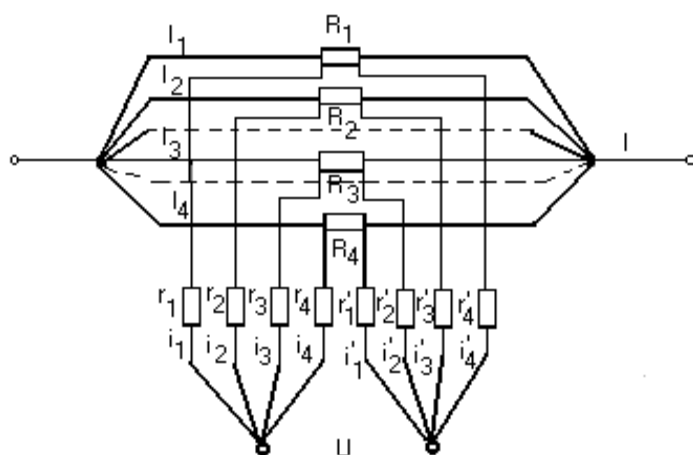
7. Найквист формуласи нимани ифодалайли?
8. Ўз шовқини йўқ кучайтиргичнинг сезгирлик чегараси қандай ифодаланади?
9. Ўзгарувчан ток кучайтиргичнинг хусусий шовқини қандай ифодаланади?
10. Ўзгарувчан ток кучайтиргичининг хусусий шовқинини камайтириш учун унинг частотавий оралиғи қандай бўлиши керак?
11. Шовқинларнинг туташув частотаси қандай маънога эга?
12. Манба қаршилигининг қиймати шовқинга қандай таъсир кўрсатади?
13. Халақитларнинг қандай манбаларини биласиз?
14. Қайси халақитлар ўлчаш воситаси учун асосий хатолик манбаи ҳисобланади?
15. Қайси хатолик қандай қилиб қўндаланг хатоликка айланади?
16. Халақитлардан ҳимоя қилишнинг қандай чоралари бор?
17. Эквипотенциал ҳимоя тамойилининг моҳияти нима?
18. Титраш қандай қилиб халақит ЭЮК ни пайдо қилади?
19. Мис ва қалай туташувида қандай ЭЮК мавжуд?
20. Паразит ЭЮК лардан сақланишнинг қандай чоралари бор?

ТҶҰРТИНЧИ БОБ

Катта ток ва кучланишларни ўлчаш

4.1. Масштабли ўзгартиргичларни қўллаш

Катта кучланишлар (10 МВгача) ва тоқлар (1-2 МА) ўзгармас, ўзгарувчан (50 Гц) ёки импульсли бўлиши мумкин. Катта ўзгармас тоқларни ўлчаш учун паст Омлик манганин шунтлар қўлланилади. Катта тоққа мўлжалланган шунтларни тайёрлаш ва синаш ноқулай. Шунинг учун шунтларни параллел улаш усулидан фойдаланилади.



4.1 – расм. Шунтларни параллел улаш схемаси

Шунтларнинг потенциал чиқишлари икки умумий нуқтага мувозанат қаршиликлари (r_i ва r'_i) орқали туташтирилиб, чиқиш кучланиши (U) ни ҳосил қилади. Бу чизма (4.1-расм) учун қўйидаги тенгламалар системасини ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} I_1 R_1 + i_1 r_1 + i'_1 r'_1 &= U \\ I_2 R_2 + i_2 r_2 + i'_2 r'_2 &= U \\ \dots &\dots \\ I_n R_n + i_n r_n + i'_n r'_n &= U \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Бундан қўйидаги ифодани оламиз:

$$\sum_1^n I_j + \sum_1^n i_j r_j / R_j + \sum_1^n i'_j r'_j / R_j = U \sum_1^n \frac{1}{R_j} \quad (4.2)$$

Мувозанат қаршиликлари

$$r_1 / R_1 = r_2 / R_2 = \dots = \frac{r_n}{R_n} = c \quad (4.3)$$

$$r'_1 / R_1 = r'_2 / R_2 = \dots = \frac{r'_n}{R_n} = c' \quad (4.4)$$

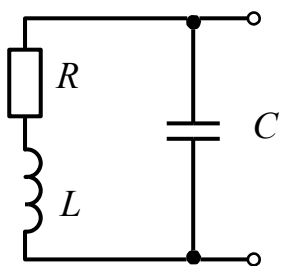
шартлари бажариладиган қилиб тайёрланади.

Маълумки $\sum_1^n I_j = I \quad (4.5)$

Унда $I = c \sum_1^n i_i + c' \sum_1^n i'_j = U \sum_1^n \frac{1}{R_n} \quad (4.6)$

Кирхгоф қонунига кўра $c \sum_1^n i_j = c' \sum_1^n i'_j \quad (4.7)$

Натижада, агар U кучланиш мувозанатлаш усулида ўлчанаётган бўлса қуйидаги ифодага эга бўламиз:



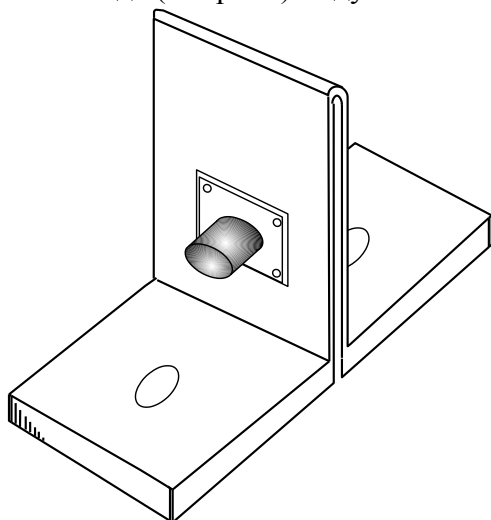
4.2-расм. Оддий шунтнинг эквивалент алмаштириш схемаси

$$I = U \sum_1^n \frac{1}{R_j} . \quad (4.8)$$

Кўриниб турибдики, ҳар бир шунтдаги кучланиш тушишининг йиғиндиси ўлчанаётган токка пропорционал.

Импульсли ва ўзгарувчан катта тоқларни ўлчашда индуктивлиги ўта кам бўлган шунтлардан фойдаланилади.

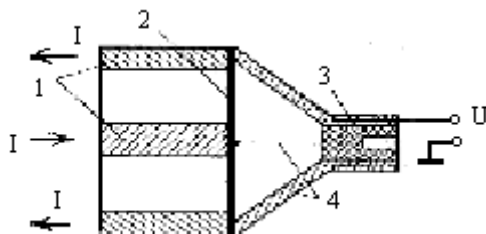
Оддий шунтнинг эквивалент алмаштириш чизмасида (4.2-расм) индуктив ва сиғим қаршиликлари ҳам бор.



4.3-расм. Бифиляр шунт

Сиғимнинг кичиклиги уни эътиборга олмаслик учун имкон берса, индуктивликни албатта эътиборга олиш керак. Бир неча мегагерцлик тоқлар ва импульслар учун шунтнинг индуктивлиги L сезиларли бўлади. Уни камайтириш учун бифиляр ёки коаксиал шунтлар ишлатилади.

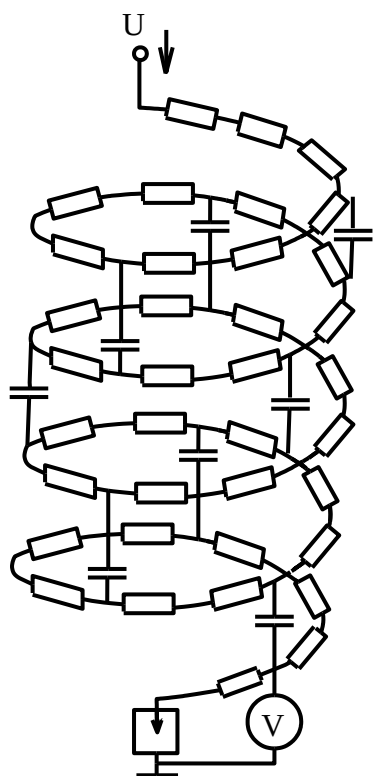
Бифиляр шунтнинг конструкцияси 4.3 – расмда келтирилган.



4.4 – расм. Шайбасимон коаксиал шунт: 1 – электр шўказгич; 2 – шайбасимон резистив; 3 – штепсель; 4 – шунтнинг потенциал чиёиши

4.4-расмда келтирилган шайбасимон коаксиал шунт энг катта частотавий ораликқа эга (1ГГц). Тоқопровод 1 дан келган ток I шайбасимон резистив элемент 2 да ҳосил қилган кучланиш тушиши штепсель 3 дан олинади.

Катта кучланишларни масштаби ўзгартиргичлар билан ўлчашда кучланиш бўлгичлари ва қўшимча қаршиликлардан фойдаланилади.



4.5-рasm. Қўшимча қаршиликлар занжирининг схемаси

100 кВ гача бўлган кучланишларни ўлчашда полиэтилен қувурга солинган қўшимча қаршиликлар занжиридан фойдаланилади. Қувур трансформатор мойига жойлаштирилади ва ўтиш жараёнларидаги ўта кучланишларни текис тақсимлаш мақсадида конденсаторлар билан шунтлаб қўйилади (4.5- рasm).

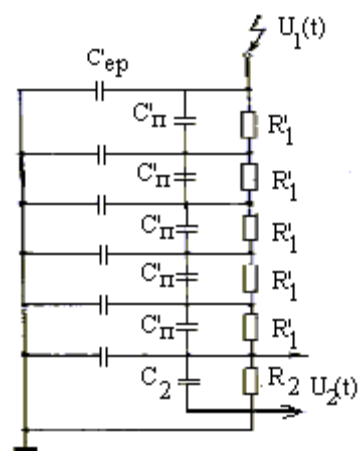
Кучланиш бўлгичлари юқори ўзгармас, импульсли ва ўзгарувчан кучланишларни ўлчашда қўлланилади.

Бундай бўлгичнинг бўлиш коэффициенти:

$$K = (R_{\Sigma} + R_n) / R_n \quad (4.9)$$

Бу ерда R_{Σ} - юқори кучланишли елканинг ва манбанинг умумий қаршилиги;
 R_n - паст кучланишли елканинг ва вольтметрнинг умумий қаршилиги.

Кучланиш бўлгич(КБ)ларида (4.6-рasm)



4.6 – рasm. Катта кучланишларни ўлчашда ишлатиладиган кучланиш бўлгичи

қаршиликларнинг хусусий сиғимлари сезиларли хатолик киритади.

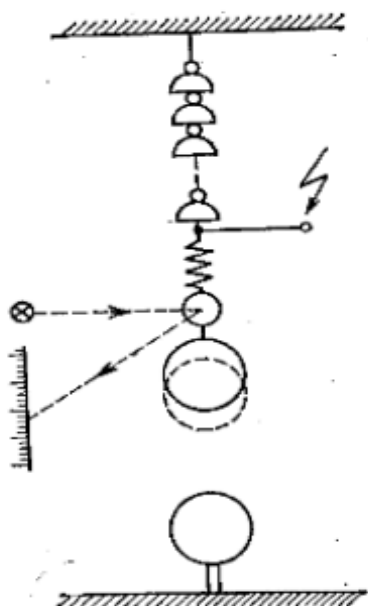
Бундан

ташқари, қаршиликларнинг қизиши ва тож ёйининг пайдо бўлиши исрофлар ва хатоликка олиб келади. Кучланиш бўлгичларининг асо-сий хатолиги 1-2% дан ошмайди. Катта кучланишларда резис-торларнинг ерга нисбатан хусусий сиғимлари ($C_{\Sigma P}$) кучланиш бўлгичларнинг частотавий характеристикаларини ёмонлаштириб, улар-нинг заряд тоқлари кучланишни КБ бўйича нотекис тақсимланишига олиб келади. Сигимларнинг салбий таъсирини камайтириши учун шунтловчи параллел сигимлар (C_{Σ}) жойлаштирилади. Бундай кучланиш бўлгичлар “резистив-сиғимли” дейилади. Уларнинг бўлиш коэффициенти:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 + R_2 / (1 + j\omega R_2 C_2)}{R_2 / (1 + j\omega R_2 C_2)}; \quad (4.9)$$

4.7 – рasm. Электростатик вольтметр

C_2 - паст кучланишли елканинг умумий сиғими.



Саноатда 300 кВ гача бўлган кучланишларни ўлчаш учун кучланиш бўлгичлари тайёрланган.

Электростатик вольтметрлар билан катта кучланишларни бевосита ўлчаш мумкин. Уларнинг такрорийлигий оралиғи кенг - 0...10 МГц. Хусусий истёмоли кам. Кириш қаршилиги катта. Асосий хатолиги - 1 ... 1,5 %. Ўлчаш чегараси 600 кВ гача етади.

4.7- расмда келтирилган киловольтметр билан 1-2 МВ гача кучланишни ўлчаш мумкин.

4.2. Ток ва кучланишларни ўлчашнинг электромагнит усуллари

Уларнинг назарий асоси - Максвелл тенгламаларидир. Тенгламаларнинг рационал кўриниши:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt}; \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho; \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \vec{B} &= \mu[\vec{H}]; \vec{D} = \varepsilon[\vec{E}]; \vec{J} = \gamma[\vec{E}] \end{aligned} \quad (4.10)$$

бу ерда μ, ε - магнит ва диэлектрик сингдирувчанликлар.

γ - солиштирама ўтказувчанлик.

[] - гистерезис мавжудлигини билдирувчи белги. Электромагнит усулларнинг кўпи - контакtsiz ўлчаш имконини беради.

Холл ўзгартир-гичлари (ХЎ) ўлчанаётган токдан ҳосил бўлган магнит майдони пара-метрларини ўлчаб, ток ҳақида маълумот беради.

Ток ва унинг магнит майдони орасидаги боғланишни тўла ток қонуни ифодалайди:

$$\oint H dl = I. \quad (4.11)$$

Ўлчанаётган токнинг магнит индукцияси интеграллаш йўли номагнит (масалан: ҳаво бўшлиғи) ва магнитли бўлиши мумкин.

Агар интеграллаш контури магнитланувчи муҳит орқали ўтмаса, бу ифодани бошқача ёзиш мумкин:

$$\oint B dl = \mu_o I \quad (4.12)$$

Холл ўзгартиргичлари (ХЎ) номагнит интегралловчи контурли асбобларда токли шинанинг атрофида айлана бўйича жойлашган (4.8 - расм). Тўла ток қонунига кўра

$$(B_1 \cos \alpha_1 + B_2 \cos \alpha_2 + \dots + B_n \cos \alpha_n) \Delta l = \mu_o I; \quad (4.13)$$

бу ерда B_i - i - нчи ХЎ жойлашган нуқтадаги магнит индукцияси;

α_i - индукция йўналиши билан ХЎ йўналиши орасидаги бурчак, Δl - икки кўшни ХЎ орасидаги масофа.

Ҳамма ХЎ лар бир хил сезгирлик (S_B)га эга бўлса, уларнинг чиқиш кучланишлари йигиндиси

$$\sum_{i=1}^n U_x = \mu_o \cdot S_B \cdot I / \Delta l. \quad (4.14)$$

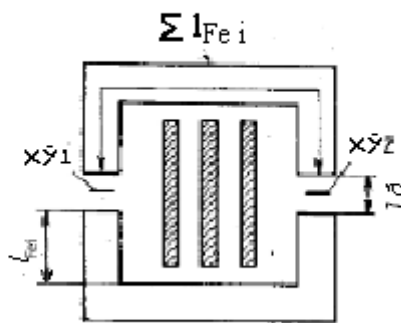
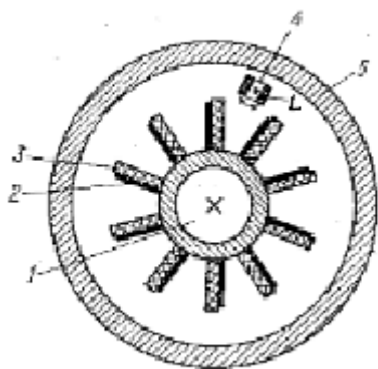
n та ХЎ ларнинг чиқиш сигналларини қўшиш умумий чиқиш кучланишидаги ҳарорат дрейфини камайтиради ва сигналнинг шовқинга нисбатини $\sqrt{n}$ марта оширади.

ХЎ ларнинг токка нисбатан носимметрик жойлашиши хатолик келтириб чиқаради. Масалан: ХЎ лар олтита бўлса, сим марказининг контур радиусининг ярмигача силжиши 1% хатолик беради.

ХЎ (4.8 - расм) сезгирлигини ошириш ва ўлчашнинг пастки чегарасини камайтириш учун улар ферромагнитга жойлаштирилган ҳолда ишлатилади (4.8 - а расм).

Цилиндрсимон токли сим 1 атрофида симметрик ҳолда бир нечта ХЎ 2 феррит пластиналар 3 га жойлаштирилган. Корпус 4га ўрнатилган коррекция чўлғами ХЎ ларида индукцияланган ўзгарувчан ЭЮКларни компенсация қилиш учун ишлатилади. ХЎ ларини ишга туширишдан олдин, дастлабки созлаш ишлари бажарилади. Бунинг учун ХЎ манбадан ўчирилган ҳолда, чиқиш кучланиши нолга тенг бўлгунча тўғрилаш чулғами айлантирилади. Бундай ХЎ лар содда ва арзон бўлиб, юқори кучланишли тоқларни ўлчашда ишлатилиши мумкин. Улар импульсли тоқларни ўлчаш ва осциллографлашда ҳам қўлланилади, чунки уларнинг инерцияси йўқ. Ташқи магнит майдонларидан сақлаш учун экран 5дан фойдаланилади.

Холл ўзгартиргичлари германий, кремний, InSb, GaAs каби яримўтказгич материаллардан тайёрланади. Охириги яримўтказгичлар турлари юқори кўрсаткичларга эга бўлган Холл ўзгартиргичлари яратиш имконини беради.



4.8 – расм. а) – интеграллаш йўли номагнит (хаво оралиғи) материалдан иборат Холл ўзгартиргичи. 1 – токи ўлчанаётган сим, 2 – Холл датчиги, 3 – ферромагнит асос, 4 – ростлаш чўлғами, 5 – экран. б) – интеграллаш йўли магнитли (ферромагнит) материалдан иборат Холл ўзгартиргичи. 1 – токи ўлчанаётган симлар, 2 – ферромагнит ўзак.

ХЎ ларнинг сезгирлигини янада ошириш учун, интеграллаш йўли ферромагнит материаллардан тайёрланади (4.8 - расм). ХЎлари ферромагнит (магнит ўтказувчи) интеграллаш йўлидаги ҳаво оралиқларига жойлаштирилади. Агар магнит ўтказувчи n бўлак, ҳаво оралиғи m бўлак бўлса, тўла ток қонунига асосан

қўйидаги тақрибий тенгламани тузиш мумкин:

$$\sum_{i=1}^n H_{Fei} \cdot l_{Fei} + \sum_{K=1}^m H_{\delta K} \cdot l_{\delta K} = I; \quad (4.15)$$

бу ерда H_{Fei} ва $H_{\delta K}$ - i ферромагнит (магнит ўтказгич) ва ҳаво оралиқларидаги магнит майдон кучланганликлари. H_{Fei} ва $l_{\delta K}$ - мос ҳолда i магнит ўтказгич ва K ҳаво оралиқлари узунликлари.

Барча ҳадларни μ_0 га кўпайтириб, $l_{\delta K} = l_{\delta}$ холи учун қўйидаги ифодани оламиз:

$$\sum_{k=1}^m B_{\delta k} = \frac{I \cdot \mu_0}{l_{\delta}} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n H_{Fei} l_{Fei}}{I} \right); \quad (4.16)$$

Барча ХЎ ларнинг сезгирликлари бир хил ва S_B бўлса, уларнинг умумий кучланиши $\sum U_{\delta k}$

$$\sum_{K=1}^m U_{\delta k} = \frac{I \mu_0 S_B}{l_{\delta}} \left(1 - \sum_{i=1}^n H_{Fei} \cdot l_{Fei} / I \right); \quad (4.17)$$

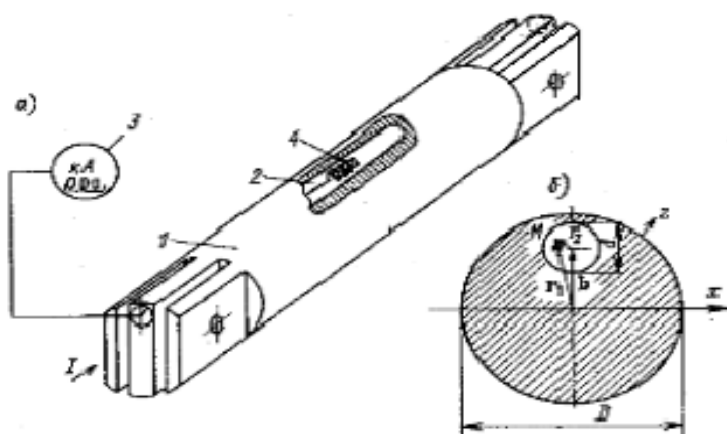
Бу ифодадаги қўшилувчи $\sum_{i=1}^n H_{Fei} l_{Fei} / I \ll 1$, чунки ток катта, магнит майдон кучланганлиги эса кичик. Шунинг учун:

$$U_{xy} = \sum_1^K U_{\delta k} = \frac{I \mu_0 S}{l_{\delta}}; \quad (4.18)$$

Токни магнит индукциясига ўзгартиришдаги хатолик магнит ўтказгич асосий характеристикасининг нозичлиги ва гистерезис билан белгиланади. Қиймати 150 кА гача бўлган ўзгармас токларни ўлчашда бу ХЎ нинг хатолиги 0,2 ... 0,5 % дан ошмайди.

4.3. Катта токларни ядровий магнит резонанси (ЯМР) усулида ўлчаш

Бу усул атом ядроларининг магнит майдонидаги прецессияси частотасини ўлчашга асосланган. Бу усул энг аниқ бўлиб, бир жинсли магнит индукция (МИ) ни ўлчашда 0,001 % аниқликни таъминлайди. Ўлчанаётган токнинг магнит индукцияси қанчалик бир жинсли бўлса, ўлчашнинг аниқлиги ҳам шунча юқори бўлади. Бунинг учун токни геометрик параметрлари назарий ва амалий жиҳатдан аниқ бажарилган қурилмадан ўтказиб, унинг МИси ни бир жинслилигига эриши керак. Қўйидаги “ток - индукция” ўзгартиргичи (4.9 - расм) цилиндрсимон ўтказгич ва унинг танасидаги эксцентрик ҳаво каналига жойлаштирилган ЯМР датчидан тузилган.



4.9- расм. Ток – индукция ўзгартиргичи. а) конструкцияси; б) ўлчамлари Ток - индукция орасидаги боғланишни тушунтирувчи схема

Ток ўтказгичда бир текис тақсимланса, ҳаво бўшлиғидаги магнит майдони бир жинсли бўлади ва назарий жиҳатдан аниқ ҳисобланиши мумкин. Ўтказгичнинг магнит киритувчанлиги μ_0 , бўлса, яъни у номагнит материалдан тайёрланган бўлса, ҳаво каналидаги магнит индукциясини суперпозиция тамойилига асосан икки индукциядан ташкил топган дейиш мумкин: бири

ўтказгичдаги, зичлиги J бўлган токдан, иккинчиси - ҳаво бўшлиғидаги, зичлиги $(-J)$ бўлган токдан ҳосил бўлган индукциялар.

Бирор M нуқтадаги зичлиги J бўлган токдан ҳосил бўлган индукцияни

$$\oint \vec{B}_1 d\vec{l} = \mu_0 \pi r_1^2 J \quad (4.19)$$

тенгламадан топиш мумкин:

$$\bar{B}_1 = \mu_o [\bar{J} \bar{r}_1] / 2, \quad (4.20)$$

бу ерда $\bar{r}_1$ - ўтказгич марказидан М нуқтага ўтказилган радиус-вектор.

Худди шундай, ҳаво каналидаги (-J) зичликли токдан ҳосил бўлган индукция

$$\bar{B}_2 = \mu_o [-\bar{J} \bar{r}_2] / 2, \quad (4.21)$$

бу ерда $\bar{r}_2$ - ҳаво канали марказидан М нуқтага ўтказилган радиус-вектор.

М нуқтадаги умумий магнит индукцияси вектори

$$\bar{B} = \bar{B}_1 + \bar{B}_2 = \mu_o [\bar{J}(\bar{r}_1 - \bar{r}_2)] / 2 = \mu_o [\bar{J} \cdot \bar{b}] \quad (4.22)$$

бу ерда $\bar{b}$ - ҳаво канали ва ўтказгич марказларини туташтирувчи вектор.

$$\text{Ёки } B = 2\mu_o bI / (\pi(D^2 - d^2)), \quad (4.23)$$

бу ерда D ва d - ўтказгич ва ҳаво каналлари диаметрлари.

$I = \frac{J4}{\pi(D^2 - d^2)}$ - ўтказгичдан ўтаётган, ўлчанаётган ток.

Юқоридаги ифодага асосан, магнит индукцияси вектори $\bar{B}$ фақат бир ташкил этувчига эга ва у (х) ўқи бўйича йўналган. Яъни, у - бир жинслидир. Бу магнит индукцияси ЯМР усулида ўлчанганда

$$B = 2\pi f / \gamma \quad (4.24)$$

формулага кўра ядровий магнит резонанси частотаси (f) индукция қийматига пропорционал ўзгаради.

Бу ерда γ - ҳар бир элемент атоми ядросига хос бўлган гиромангнит нисбати (заррача магнит моментининг механик моментига нисбати). Юқоридаги ифодалардан:

$$I_2 = \pi^2 (D^2 - d^2) f / (\mu_o b \gamma) = kf \quad (4.25)$$

Кўриниб турибдики, токни ўлчашдаги аниқлик цилиндрсимон ўтказгич геометрик ўлчамларининг аниқлиги ва резонанс частотасини ўлчовчи частотомернинг аниқлиги билан таъминланади.

Юқорида келтирилган конструкцияли ЯМР ўзгартиргичида сув протонлари резонанси ишлатилганда, $K = 0,001 \text{ А/ Гц}$ бўлган.

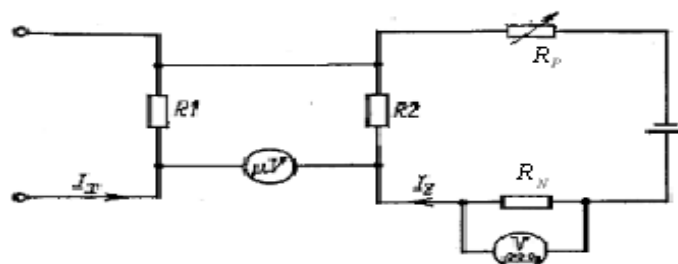
Сув протони гиромангнит нисбати $\gamma = 2,67513 \text{ 1/(Тл} \cdot \text{сек)}$;

4.4. Компарация усули

Бу - билвосита таққослаш усулига киради. Икки бир жинсли катталик - бири ўлчанаётган катталикка пропорционал, иккинчиси - юқори аниқликда маълум - ўзаро таққосланади. Бу усул ўзгарувчан ва ўзгармас токни, кучланиш ва қувватни аниқ ўлчашда кенг қўлланилади.

Катта тоқларни ўлчашда қўлланиладиган резистив компараторнинг чизмаси қуйида келтирилган (4.10 - расм).

Унда R_1 ва R_2 компарация қилувчи (таққословчи) аниқ қаршилиқлардир. Улардаги кучланиш тушишлари микровольтметр (μV) да таққосланади (ёки тенглаштирилади). Натижани ўқиш пайтида



4.11 – расм. Резистив компаратор

$$I_2 \cdot R_2 = I_x \cdot R_1 \quad (4.26)$$

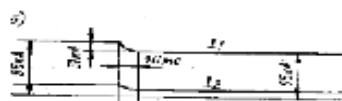
муносабат мавжуд. Бу холда микровольтметр нолни кўрсатади. Агар $R_1 \ll R_2$ бўлса, қиймати катта бўлган I_x юқори аниқлик билан

$$I_x = I_2 \frac{R_2}{R_1} \quad (4.27)$$

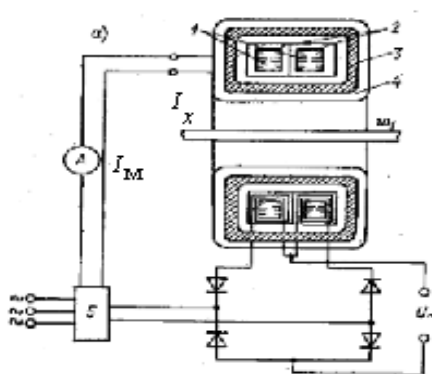
ифодадан топилиши мумкин. Қиймати кичик ток I_2 эса намунавий қаршилик R_N даги кучланиш тушиши орқали бошқа вольтметр (V) ёрдамида топилади.

Магнитли компараторлар ёрдамида ҳам катта ўзгармас ва ўзгарувчан тоқларни ўлчаш мумкин. Ўлчанаётган катта тоқнинг магнит юритувчи кучи (МЮК) кичик, кўп сонли ўрамлардан ўтаётган намунавий тоқнинг МЮКи билан таққосланади. Агар ферромагнит ўзак гистерезисга эга бўлмаса ва ўлчанаётган намунавий тоқлар ўзакда бир жинсли магнит майдони ҳосил қилса МЮК лар мувозанати тўғри ҳисобланади. Бундан ташқари, ташқи магнит майдонлар ва сизма (утечка) тоқлар йўқ бўлиши керак. МЮКлар ўзаро мувозанат ҳолида

$$I_x \omega_1 = I_H \cdot \omega_2 \quad (4.28)$$



4.11 – расм. Гармони-кали модуляцияли МЮК ўзгартиргич



тенглик мавжуд. Бу ерда I_x , I_H - ўлчанаётган ва намунавий тоқлар, ω_1, ω_2 - шу тоқлар ўтаётган чулғамларнинг ўрамлар сони.

Юқори сезгирликли номувозанат ўзгартгичлари (преобразователг неравновесия)

қўлланилганда тоқларни ўлчаш хатолиги $10^{-6} \dots 10^{-7}$

⁷ дан ошмайди.

Магнитли тоқ компаратори одатда юқори магнит сингдирувчанликли иккита халқасимон ферромагнит ўзак, икки чулғам (бири - ўлчанаётган тоқ учун, иккинчиси мувозанатлаш учун) ва МЮК номувозанатини ўзгартиргичдан тузилган. Қуйида тоқ гармоникали магнитомодуляцион МЮК ўзгартгичи келтирилган.

Иккита халқасимон юмшоқ магнитли ўзак чулғамлари 2 ўзгарувчан тоқ билан таъминланган. Ўзақлар тороидал ферромагнит экранларга 3 жойлаштирилган (ташқи магнит майдонларидан ҳимоя). Экрaн устидан мувозанатловчи чулғам 4 ўралаган, бу чулғамдан мувозанатловчи тоқ I_M оқиб туради. Бу тоқ ўлчанаётган тоқ I_1 дан ҳосил бўлган МЮК ни мувозанатлайди ва экранни тўйинишдан сақлайди. Экрaннинг бошқа муҳим вазифаси I_1 тоқининг МЮК ни 1 ўзақларда бир текис тақсимлайди. Чулғам 2 ўзақ 1 билан бирга магнит кучайтиргич ҳисобланади (ички мусбат тескари алоқа мавжуд) ва номувозанатлик ўзгартиргичи вазифасини бажаради.

Ўзгартиргични бошқарувчи сигнал сифатида ўлчанаётган I_1 ва мувозанатловчи I_M тоқларнинг МЮКлари фарқи ишлатилади. Мувозанатловчи тоқнинг пульсациясини камайтириш учун чулғам 4 тўғриланган тоқ билан таъминланади. Бу тоқ ҳам уч фазали магнит кучайтиргич 5 орқали берилади. Магнит кучайтиргични бошқариш тоқи номувозанатни ўзгартиргичдан (2-чулғамдан) икки ярим даврли тўғрилагич орқали олинади. Магнитли комапаратор 120 кА токни 0,1% аниқликда ўлчайди.

4.5. Кучланишни зарядланган заррачаларни тезлаштириш усули билан ўлчаш

Бу усул ўлчанаётган кучланиш таъсирида тезлаштирилган заррачаларнинг кинетик энергиясини ўлчашга асосланган. Ўлчаш курилмаси, асосан, заррачани тезлаштиргич (ускоритель) ва уларнинг энергиясини таҳлил қилувчи қисмдан тузилган. Агар заррача сифатида электрон ишлатилса, U_x кучланиши таъсирида у эришган энергия қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{m_0 V^2}{2} = e U_x. \quad (4.29)$$

Бу ерда e - электрон заряди, m_0 - унинг сокинлик массаси, V - унинг тезлиги.

Унда $U_x = \frac{m_0 V^2}{2e}; \quad (4.30)$

Электроннинг тезлиги ёки энергиясини ўлчаш учун учиш вақтини, тормозланувчи нурланиш, электронларнинг кристалл панжарадаги дифракциясини ўлчаш усулларида фойдаланиш мумкин. Тезликнинг ўрнига электроннинг тўлқин узунлигидан фойдаланиш мумкин:

$$\lambda = \frac{h}{m_0 V}, \quad (4.31)$$

h-Планк доимийси

Тўлқин узунлигини эса электронларнинг кристалл панжарадаги дифракцияси ёрдамида юқори аниқлик билан топиш мумкин:

$$\lambda = e \cdot d \cdot \sin \alpha, \quad (4.32)$$

бу ерда d - кристалл панжара текисликлари орасидаги масофа, α - электронлар йўналиши ва текислик ҳосил қилган бурчак.

Катта кучланишларни юқоридаги усуллардан ташқари резонансли ядровий реакциялар, электрооптик усуллар (Фарадей эффекти, Керр эффекти, Поппелл эффекти) билан аниқлаш мумкин.

Назорат саволлари

1. Атом ядросининг прецессияланиши нима?
2. Ядровий магнит резонанси нима?
3. ЯМР усулида катта тоқларни ўлчаш мумкинлигини қандай тушунтирасиз?
4. ЯМР датчиги қандай тузилган?
5. Гиромангнит нисбат нимани билдиради?
6. Индукция ва ЯМР частотаси қандай боғланган?
7. Компарация усулининг моҳияти нимада?
8. Компаратор схемасидаги аниқ қаршиликларнинг вазифаси нима?
9. Мангитли компараторнинг тўзилишини тушунтиринг?
10. Мангитли компараторнинг бошқарув ва мувозанатловчи тоқларининг вазифаси нима?

БЕШИНЧИ БОБ

Фаза силжиш бурчагини ўлчаш усуллари

5.1. Асосий тушунчалар

Фаза силжиши бурчаги (ФСБ), гармоник сигналнинг муҳим кўрсаткичи – аргументидир

Гармоник тебранишнинг $x = X_m \cos(\omega t + \varphi)$ асосий кўрсаткичлари: X_m – амплитуда, ω – даврий (айланма) частота, $(\omega t + \varphi)$ аргумент, тебранишнинг фазаси, ωt – ўзгарувчан фаза, φ – доимий фаза силжиши. Одатда фазанинг ўзини эмас, икки гармоник сигнал орасидаги фаза силжиши бурчагини ўлчашга тўғри келади. Яъни $x_1 = X_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1)$ ва $x_2 = X_{m2} \cos(\omega t + \varphi_2)$

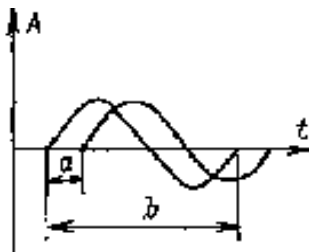
$\cos(\omega t + \varphi_2)$. Бу ҳолда фаза силжиш бурчаги иккала сигналдаги фазалар доимий ташкил этувчиларининг фарқи билан аниқланади ва вақтга боғлиқ эмас :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (5.1)$$

ФСБ ни аниқлашнинг кўп усуллари мавжуд ва уларни икки гуруҳга ажратиш мумкин: тўғридан-тўғри ва мувозанатловчи ўзгартиргичлар воситасида ўлчаш.

5.2. ФСБ ни осциллограф усулларида ўлчаш

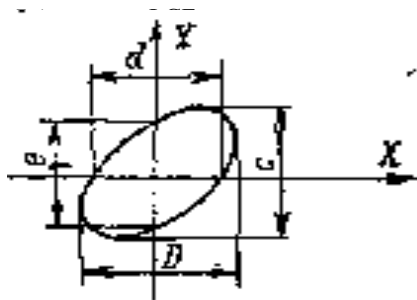
Бу усул биринчи гуруҳга мансуб. Икки нурли осциллографнинг иккала киришига икки сигнал берилади. Уларни нолдан ўтиш моментлари орасидаги масофа “а” ва бир давр эгаллаган масофа “в” аниқланади. Қидирилаётган ФСБ



$$\varphi = \frac{a}{b} 360^\circ \quad (5.2)$$

ифодаси билан топилади (5.1 - расм).

Бир нурли осциллограф билан ФСБ ни аниқлаш учун Лиссажу фигураларидан фойдаланилади (5.2 - расм). Осциллографли усулларнинг аниқлиги 2 ... 15% дан ошмайди.



Ўлчашлардан олдин горизонтал ва вертикал оғдириш каналларининг симметрияси таъминланади. Нурни ёйишда синусоидал сигналдан фойдаланилади. Сигналлардан бири вертикал оғдириш каналига, иккинчиси горизонтал оғдириш каналига берилади. Бу сигналлар частотаси бир хил бўлгани учун экранда эллипс ҳосил бўлиб, унинг ётиш бурчаги фаза силжиш бурчаги (ФСБ) га мос бўлади:

$$\varphi = \arcsin(e/c) = 2 \arctg(d/D).$$

5.2 – расм. ФСБни бир нурли осциллографда Лиссажу фигуралари ёрдамида ўлчаш

Бу ерда c, d - эллипснинг ордината ва абсцисса ўқларига проекцияси, e, d - эллипснинг ордината ва абсцисса ўқлари билан кесишган нуқталари орасидаги масофалар.

5.3. ФСБ ни ток ёки қучланишга ўзгартириб аниқлаш усули

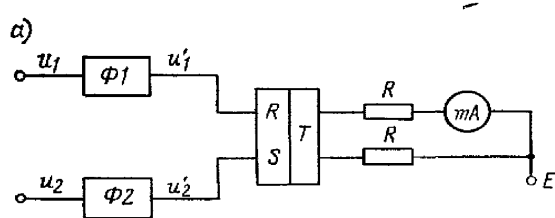
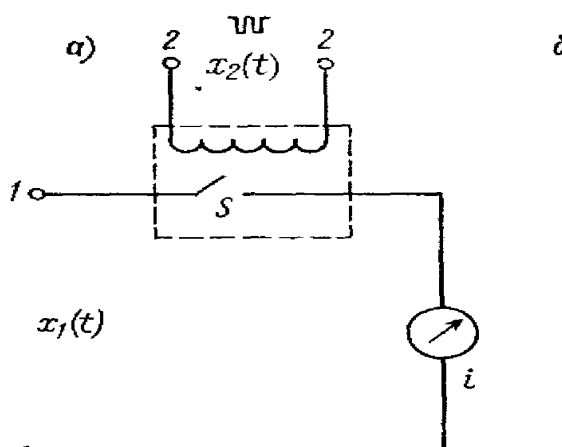
Бу усулда фаза сезувчи тўғрилагичлардан фойдаланилади. Сигналларнинг бири $X_1(t)$ – 1 киришга, иккинчиси $X_2(t)$ – 2 киришга берилади. Иккинчи сигнал S калитни улаб-ўчириб, биринчи сигнални ўлчаш асбобига бериб, узиб туради. Чиқиш токи (I_0) нинг доимий ташкил этувчиси:

$$I_0 = C X_{1m} G_0 \cos \varphi. \quad (5.3)$$

Бу ерда C – коэффициент, G_0 - калитнинг ўтказувчанлиги. 5.3 – расмда ушбу усулни амалга оширувчи схема (а) ва ундаги катталикларнинг ўзгариш графиклари келтирилган.

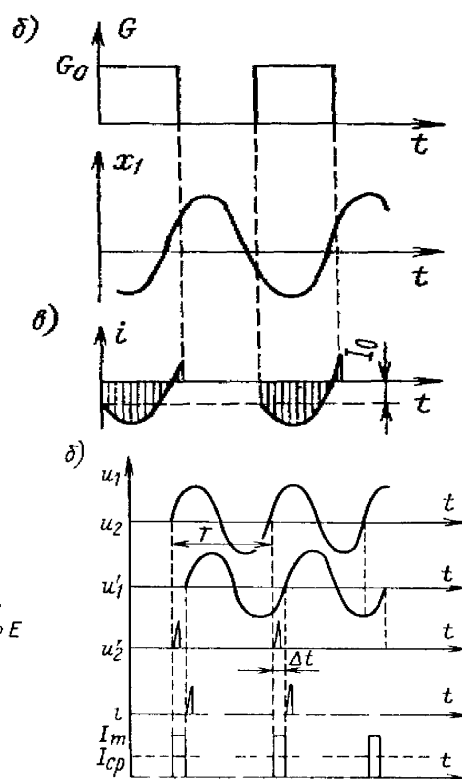
Кўриниб турибдики, ўлчаш асбобидаги ток I_0 биринчи сигналнинг амплитудаси X_{1m} га ва ФСБ га боғлиқ. Шунинг учун бу усулда ФСБ нинг аниқлиги бошқа омиллар билан бир қаторда X_{1m} амплитуданинг ўзгармас бўлишига кучли боғлиқ.

Ушбу усулни яна бир кўриниши – ФСБ ни вақт оралиғига айлантириб, бу ораликқа мос ток ёки қучланишни ўлчашга асосланган.



5.5 - расм

Кириш



5.6 - расм

сигналлари X_1 ва X_2 импульс шаклантиргич (Φ_1 , Φ_2) лари орқали триггернинг R ва S киришларига қисқа, сигналларнинг нолдан ўтиш моментларига тўғри келувчи импульслар ҳолида берилади. Ўлчаш асбобидаги ток ФСБ га мос келувчи вақт оралиғи Δt да мавжуд, қолган вақт оралиғида – нолга тенг. Бу токнинг бир давр (T) даги ўртача қиймати

$$I_{cp} = I_m \cdot \Delta t / T = I_m \cdot (\varphi / 360) \quad (5.4)$$

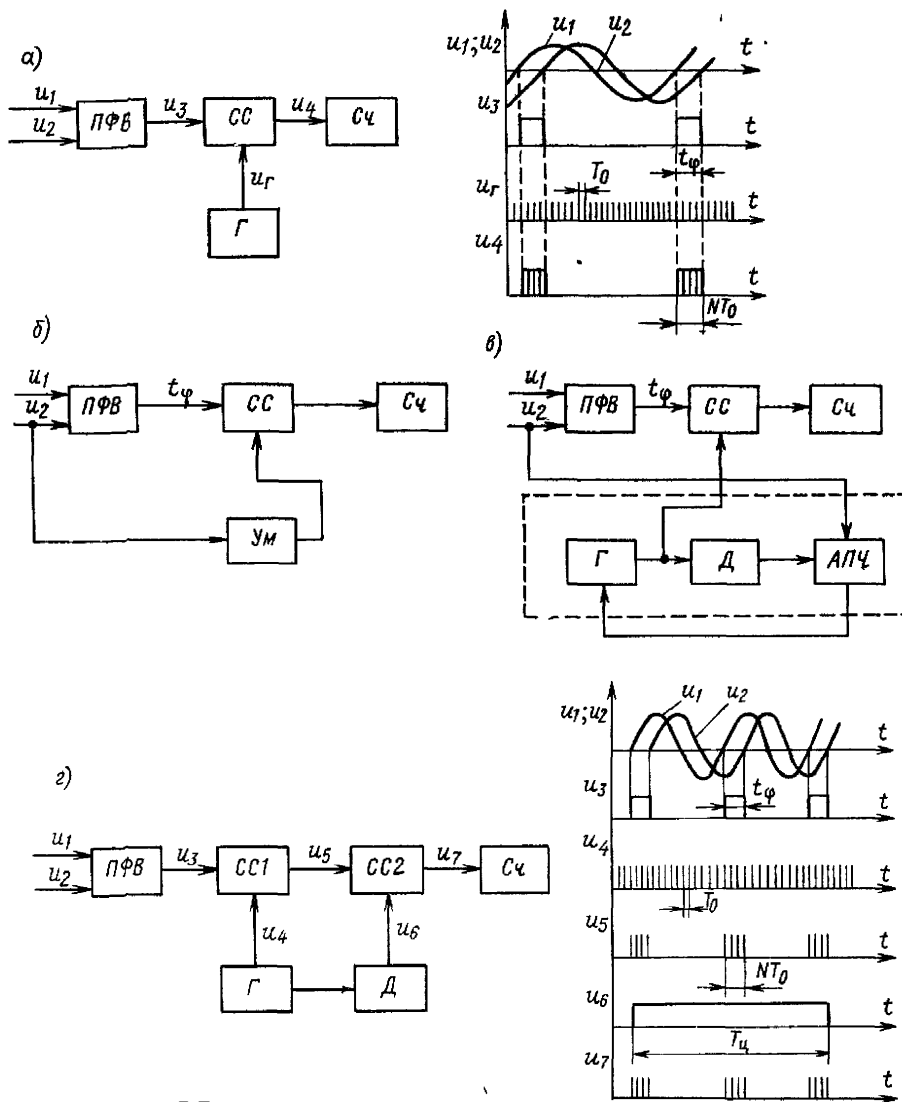
ифода билан аниқланади, яъни

$$\varphi = \frac{I_{cp}}{I_m} 360^\circ \quad (5.5)$$

ифодасига кўра ФСБ нинг қиймати ўртача токнинг қиймати билан баҳоланади. Бу усулнинг чизмаси ва уни тушунтирувчи графиклар юқоридаги суратда келтирилган.

5.4. Фаза силжиш бурчагини кодга ўзгартириб ўлчаш

Бу усул билан ишлайдиган энг оддий фазометрнинг чизмаси куйида чизмаларда



5.7 - расм

Унда

$$N = \varphi \frac{T}{T_0} \cdot \frac{1}{360} \quad (5.6)$$

$T_0 = 1 / f_0$, - U_r импульслар даври. Бу импульсларни санокчи санаб, ФСБ қийматларида ифодалаш учун индикация блокига беради.

Бу усулга хос хатоликлар ФВЎ даги триггер ишлаш вақтидаги бир хилликнинг йўқлигидан, триггер ишлаш кучланишининг ҳар хиллигидан ва асосан квантлаш хатолигидан ташкил топган. Квантлаш хатолиги ФСБ қийматини U_4 такрорийлигининг бир даври T_0 га мос бўлагидан аниқроқ топиш мумкин эмаслигидан келиб чиқади. Масалан: $\varphi = 360^\circ$ бўлганда квантлашнинг максимал хатолиги :

$$\delta = \frac{1}{N_{\max}} \cdot 360 = 360 \cdot \frac{T_0}{T} \quad (5.7)$$

Бундай фазометрнинг пастки такрорийлигиси чекланмаган. Лекин максимал частоталарда хатолик ошаверади. Максимал (рухсат этилган) квантлаш хатолиги ($\delta_{\max}$) га тўғри келувчи частота

келтирилган. У “фаза-вақт” ўзгартиргичи (ФВЎ), квантловчи импульслар генератори Г, такқослаш блоки ТБ, санокчи СЧ ва индикация блоки ИБ дан тузилган.

U_1 ва U_2 сигналлар орасидаги ФСБ «фаза-вақт» ўзгартиргичи (ПФВ) ёрдамида U_3 импульсларига ўзгартирилади. U_3 нинг давомийлиги t_ϕ ФСБ га мос. U_3 такқослаш блоки(ТБ)га берилади. Генератордан U_4 импульслар ҳам бу блокка киради. U_4 нинг частотаси (f_0) U_1 ва U_2 сигналлари частотасидан анча юқори. ТБ чиқишида давомийлиги t_ϕ га тенг бўлган U_4 импульслари мавжуд. Уларнинг сони N ўлчанаётган ФСБ га мос бўлган вақт t_ϕ га пропорционал: $N = t_\phi f_0$

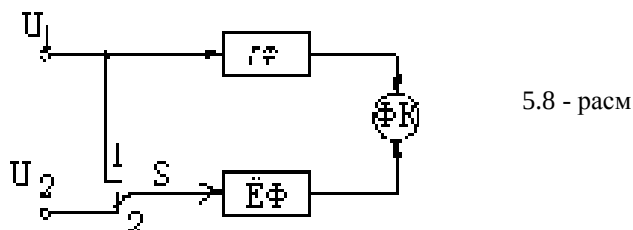
Маълумки, $t_\phi = \varphi (T/360)$; T билан U_1 ва U_2 сигналларнинг даври белгиланган.

$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{\delta_{\max} \cdot f_0}{360} \quad (5.8)$$

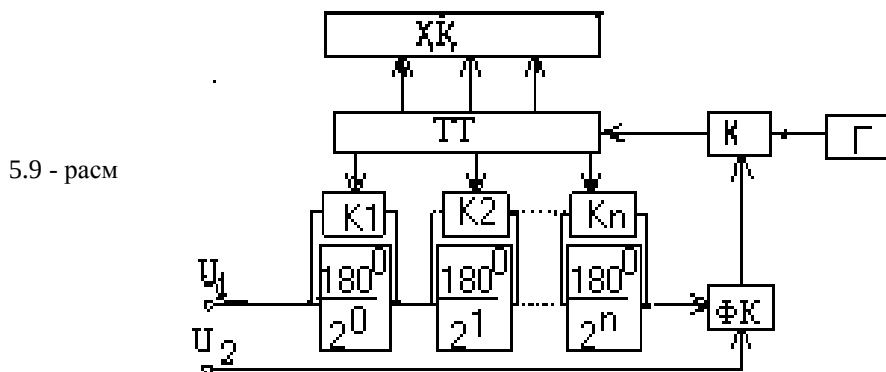
5.5. Фаза силжиш бурчагини мувозанатловчи ўзгартириш усули билан ўлчаш

Бу усулда ўлчанаётган ФСБ фазабурагич ёрдамида ҳосил қилинган ФСБ билан таққосланади. Натижа фазабурагич иккаласидан ўқилади. Қуйидаги а) суратда фазабурагичли ФСБ ўлчагичи келтирилган.

Иккала каналдаги фазавий бузилишларни йўқотиш учун дастлаб иккала каналга ҳам S улагични юқори ҳолатга ўтказиб, битта сигнал берилади. Градуировкали фазабурагич (ГФ) ни ноль ҳолатга қўйиб, ёрдамчи фазабурагич (ЁФ) билан фарқ кўрсаткичи (ФК)нинг стрелкаси нолга келтирилади. Сўнгра S улагич пастки ҳолатга ўтказилиб, биринчи каналга U_1 ва иккинчи каналга U_2 сигналлари берилади ҳамда ГФ ёрдамида U_1 нинг фазаси бурилиб, фарқ кўрсаткичи (ФК) стрелкаси нолга келтирилиб, ГФ нинг шкаласидан натижа ўқилади.



5.8 - расм



5.9 - расм

5.6. Автоматик мувозанатланувчи фазометр

Автоматик мувозанатланувчи фазометрнинг чизмаси юқоридаги б) суратда келтирилган.

Ораларидаги фазаси ўлчанаётган сигналлардан бири U_2 тўғри фарқ кўрсаткичи (ФК)га иккинчиси кетма – кет уланган фазабурагичлар $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_n$ орқали ФК га берилади. Фазабурагичлар мос ҳолда $180^\circ/2^0, 180^\circ/2^1, 180^\circ/2^2, \dots, 180^\circ/2^n$ га тенг ФСБ ҳосил қилади. Агар фарқ кўрсаткичи (ФК)га кириш сигналлари орасида фаза силжиши мавжуд бўлса, у К калитни улайди ва генератор(Г)дан такт импульслари триггерли таксимлагич (ТТ) га берилади. ТТ ўз навбатида разрядма - разряд $K_1, K_2, \dots, K_n$ калитларни улаб, мос фазабурагичларни туташтиради. Фарқ кўрсаткичи кириш сигналлари орасидаги ФСБ нолга тенглашмагунча калитларнинг уланиши давом этади. ФСБ ноль бўлганда фарқ кўрсаткичи К калитни узади ва қолган фаза бурагичларини туташуви тўхтайди. Ушбу моментдаги триггерларнинг ҳолати ўлчанаётган ФСБ га тенг бўлиб, ҳисоблаш қурилмаси (ХК)да акс этади.

Кўриб чиқилган мувозанатловчи фазометрларнинг асосий қисми - фазабурагичлардир. Уларнинг тури кўп. Масалан, параметрик, айланма фазабурагичлар. Параметрик фазабурагичлар $0 \dots 180^\circ$ ораликда, индуктив ёки сиғимли айланма фазабурагичлар $0 \dots 360^\circ$ ораликда ФСБ ҳосил қилиши мумкин. Резистив фазабурагичлар овоз частоталаригача бўлган сигналлар учун ишлатилади. Хатолиги $0,2^\circ$. Индуктив фазабурагичлар бир неча юз герцдан бир мегагерц ораликда (хатолиги $0,1 \dots 1\%$), сиғимли фазабурагичлар $10 \dots 100$ мегагерцлар оралиғида фазани силжитиши мумкин. ФСБни кенг такрорийлигий ораликда ўлчашга интилиш частотага боғлиқ фаза силжишлари пайдо бўлишига олиб келади. Бу ҳол хатоликлар манбаи ҳисобланади. Бу камчиликни йўқотиш учун сигналлар такрорийлигий спектри ўзгартирилиб, ўлчашларни бирор таянч частотада бажариш усули қўлланилади.

Назорат саволлари

1. Гармоник тебранишларнинг аргументи (фазаси) деганда нимани тушунасиш?
2. Гармоник тебранишларнинг ўзгарувчан ва ўзгармас фазалари нималар?
3. Фаза ва бурчак тушунчалари орасида қандай умумийлик бор?
4. Иккита бир хил частотали сигналлар орасидаги фаза силжиш бурчаги (ФСБ) нима учун вақтга боғлиқ эмас?
5. Икки нурли осциллограф ёрдамида қандай қилиб фаза силжиш бурчагини ўлчаш мумкин?

6. Лиссажу фигуралари қандай ҳосил қилинади ва нимага ишлатилади?
7. ФСБ ни ток ёки кучланишга айлантириб ўлчаш усулини тушунтириб беринг.
8. ФСБни вақт оралиғига айлантириб, унга мос ток ёки кучланишни ўлчаб топиш усулини тушунтиринг.
9. ФСБ ни осциллограф усулида аниқлашнинг камчиликлари қандай?
10. ФСБ ни кодга ўзгартириб ўлчаш усулини тушунтиринг.
11. ФСБ ни кодга ўзгартириб ўлчаш усулининг хатолиги қандай аниқланади?
12. ФСБ ни мувозанатлаб ўзгартириш ва ўлчаш усулининг моҳияти нимада?
13. ФСБ ни ўлчашнинг ҳар хил усулларига тегишли такрорийлигий имкониятларни санаб ва тафсифлаб беринг.

ОЛТИНЧИ БОБ

Қувват ва энергияни ўлчаш усуллари

6.1. Умумий маълумотлар

Қувват ва энергия кўпчилик объектлар, жараён ва ҳодисаларнинг асосий тавсифидир. Уларни етарли аниқлик билан ўлчаш халқ хўжалигида жуда катта аҳамиятга эга. Қувват ва энергия кўп шаклларда мавжуд. Масалан, электр, иссиқлик, механикавий, нурланиш турлари. Электрнинг қуввати ва энергиясини ўлчаш кенг тарқалган ва жуда муҳим аҳамиятга эга. Уларнинг бошқа турларини ўлчаш эса электр ўлчашлари орқали бажарилади. Амалда 10^{-30} Вт дан $10^{6...8}$ Вт гача қувватларни ва шунга мос энергияларни ўлчашга тўғри келади. Бу катталикларнинг ўзгариш частотаси 0 дан 10^9 Гц гача етади.

Электр занжиридаги токнинг қуввати

$$P = U \cdot I; \quad P = I^2 \cdot R; \quad P = U^2 / R; \quad P = k \cdot q \quad (6.1)$$

ифодалари билан аниқланиши мумкин, бу ерда:

I - занжирдаги ток, U - юкламадаги кучланиш, R - юклама қаршилиги, q - юкламада вақт бирлиги ичида ажраб чиққан иссиқлик, k - пропорционаллик коэффиценти.

Ўзгарувчан бир фазали электр занжиридаги қувват бир давр ичидаги қувватнинг ўртача қийматига тенг.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T U i dt \quad (6.2)$$

бу ерда: U, i, P - кучланиш, ток ва қувватнинг оний қийматлари.

Агар U ва i синусоидал бўлса

актив қувват $P = UI \cos \varphi,$
(6.3)

реактив қувват $Q = UI \sin \varphi$ (6.4)

ифодалари билан аниқланади; бу ерда $UI = S$ - тўла қувват, φ - ток ва кучланиш орасидаги бурчак, $\cos \varphi$ - қувват коэффиценти.

Агар занжирда импульсли режим мавжуд бўлса, қувватнинг бир даврдаги қиймати

$$P_H = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau U i dt$$

ёки (6.5)

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U i dt = \frac{\tau}{T} P_H$$

билан ифодаланади. Бу - қувватнинг бир давр (T) ичидаги ўрта қийматидир.

Кўп фазали (n - та фазали) занжирнинг актив ва реактив қувватлари :

$$P = \sum U_{\Phi i} I_{\Phi i} \cos \varphi_i; \quad Q = \sum U_{\Phi i} I_{\Phi i} \sin \varphi_i; \quad (6.6)$$

Бу ерда $U_{\Phi i}, I_{\Phi i}$ - фазалардаги кучланишлар ва тоқлар; φ_i - мос ток ва кучланишлар

орасидаги бурчаклар;

n – фазалар сони.

Энергияларнинг ифодаларини юқоридаги қувватлар ифодаларидан вақт бўйича олинган интеграл сифатида топилади.

Юқоридаги ифодалардан кўринадики, қувватни ва энергияни топиш учун UI ёки U_i кўпайтириш амалини бажариб, сўнгра оний ёки импульс қувватнинг маълум даврдаги ўртача қиймати аниқланади. Кўпайтириш амалини ҳар хил усуллар билан бажариш мумкин.

Улардан бири қуйидаги икки ифодани математик моделлаштиришдир:

$$U_V U_i = \left[(U^2_V + U^2_i)^2 - (U_V - U_i)^2 \right] / 4$$

$$U_V U_i = \left[(U^2_V + U^2_i)^2 - (U^2_V - U_i)^2 \right] / 4, \quad (6.7)$$

бу ерда кучланиш U_V ва ток i га пропорционал кучланишлардир. Аналогли усуллар (масалан, операцион кучайтиргичлар) билан квадратга кўтариш ва қўшиш амалларини бажариш осон. Бунда ўлчаш хатолиги сумматор ва квадраторларнинг метрологик ҳарактеристикаларига кўпроқ боғлиқ бўлади. Юқоридаги аналогли кўпайтиришдан ташқари қувват ва энергияни ўлчашнинг электромеханик, электроиссиқлик (калориметрик) ва компарация усуллари мавжуд.

6.2. Электромеханик ваттметрлар

Электромеханик ваттметрлар электродинамик ўлчаш механизми асосида қурилган. Такрорийлигий оралиғи -- 0 ; 50 - 1000 Гц ; 10 - 15 кГц. Хатоликлари — 0,1 ...0,2 %.

Маълумки, электродинамик ўлчаш механизмининг оғиш бурчаги $\alpha = \kappa I_1 I_2$, бу ерда κ - ўзгармас коэффициент, I_1 , I_2 - кўзғалмас ва кўзғалувчан чўлғамлардаги тоқлар. Бу механизм ўзгармас ток занжирида бўлса, оғиш бурчагининг ифодаси :

$$\alpha = KI \frac{U}{R_v + R_k} = K_1 UI = K_2 P, \quad (6.8)$$

бу ерда $I=I_1$ - электродинамик ўлчаш механизмининг “ток” чўлғамидан юклама $R_{ю}$ га оқаётган ток; Унинг “кучланиш” чўлғамидан оқаётган ток;

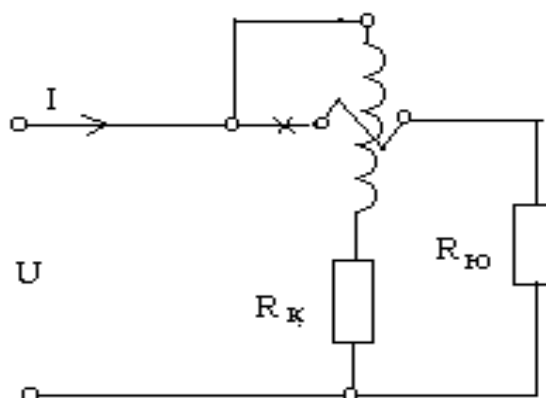
$$I_2 = \frac{U}{R_v + R_k}$$

бу ерда U - юкламага ва кучланиш чўлғамига қўйилган кучланиш, R_v - кучланиш чўлғамининг қаршилиги, R_k -кўшимча қаршилиқ. Ток ва кучланиш чўлғамларининг қутблари мос ҳолда уланиши керак.

Энди ушбу механизмнинг бир фазали ўзгарувчан ток занжирида қувватни ўлчай олишини кўрсатамиз.

чўлғаида $I=I_1$, яъни

Унинг ток юкламадаги ток,



6.1 - расм

кучланиш чўлғамида $I_2 = U / (Z_v + Z_k)$, яъни кучланишга пропорционал ток мавжуд. Уларни оғиш бурчаги ифодасига қўйсак,

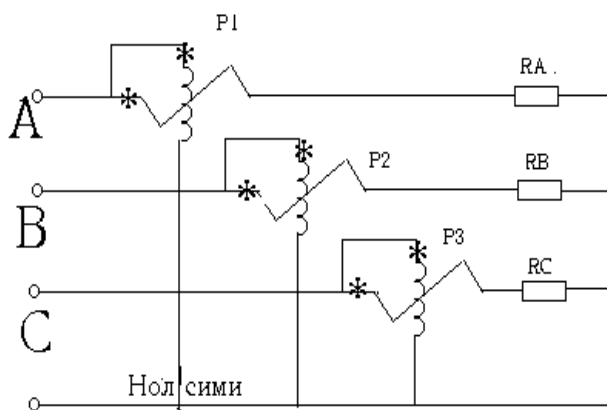
$$\alpha = k \bar{I}_1 \bar{I}_2 = k \bar{I} \bar{U} \cos \psi \frac{1}{Z_v + Z_k} \quad (6.9)$$

бу ерда: ψ - ток I_2 ва кучланиш U орасидаги бурчак. Саноат тақрорийлигида амалда $Z_v \approx R_2$ ва $Z_k \approx R_k$ бўлиб, I_2 ток U кучланиш билан ҳосил килинган фаза бурчаги ψ нолга тенг. Унда оғиш бурчаги

$$\alpha = k_1 I U \cos \varphi \quad (6.10)$$

ўзгарувчан токдаги актив қувватга пропорционал.

6.3. Уч фазали занжирдаги қувватни ўлчаш



6.2 - расм

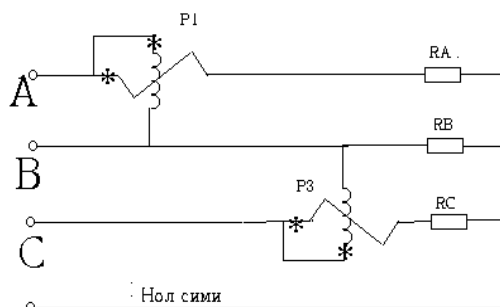
Агар уч фазали занжир симметрик бўлса, яъни фазалардаги тоқлар ва кучланишлар тенг бўлса, битта фазадаги ток ва кучланиш ёрдамида ўша фазанинг қувватини ўлчаб, уни 3 га кўпайтириб қўйиш етарли.

Уч фазали занжир носимметрик бўлса, уч ваттметр ёки икки ваттметр усули қўлланилади. Уч ваттметр усулида ҳар бир фаза токи ва унинг ерга (ноль симига) нисбатан фаза кучланиши учта ваттметрга уланади. Умумий қувват уччала ваттметрларнинг кўрсатишлари йиғиндиси

тенг:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (6.11)$$

Икки ваттметр усулида иккита ваттметрга иккита фаза токи ва иккита фазалараро кучланиш уланади.



6.3 - расм

сигналларини модуляциялаш, юқорида келтирилган кўпайтириш амалларини бажарувчи (6.1) функционал ўзгартиргичлар ва усуллар қўлланилади.

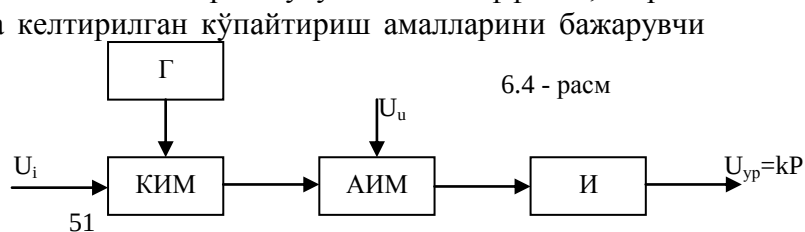
Умумий қувват иккала ваттметрлар кўрсатганларнинг йиғиндиси

$$P = P_1 + P_2$$

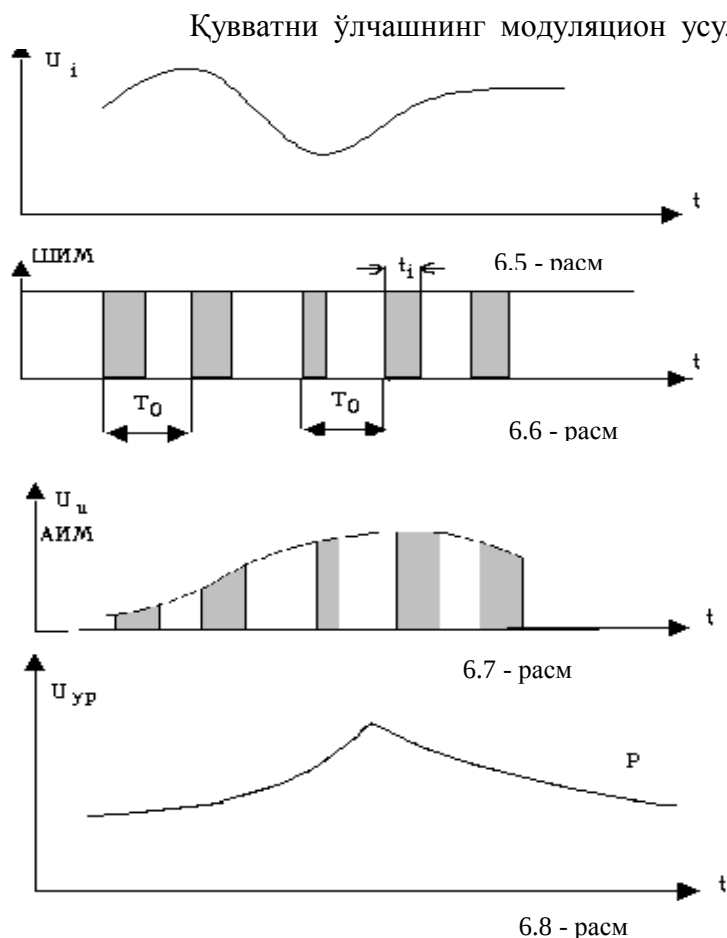
Қувват коэффиценти кичик ($\cos \varphi = 0.1$) бўлган ҳолларда “кичик косинусли” ваттметрлардан фойдаланиш керак. Уларда ТТЭ пружиналар кучи камайитириб, сезгирлиги оширилган.

6.4. Электрон кўпайтиргичларни қўллаш

Қувват ва энергияни ўлчашда кўпайтириш амалини бажариш учун Холл эффекти, кириш



6.4 – расм. Модуляцион усулда қувватни ўлчовчи қурилманинг блок-схемаси



Кувватни ўлчашнинг модуляцион усулида импульс сигнали кучланиш ва токка пропорционал бўлган U_u ва U_i кириш сигналлари билан икки карра модуляцияланади. Бу иш кўпайтириш амалига эквивалент бўлади. Бунда U_u ва U_i аналогли сигналлар импульснинг такрорийлигисига, даврига, амплитудасига ёки давомийликка чизиқли ўзгартирилади ва интегралланади. Асосан, “Кенглик - импульсли” ва амплитудавий модуляциялар комбинацияси кенг қўлланилади (КИМ-АИМ). “КИМ-ЧМ” (частотавий модуляция) комбинацияси ҳам кенг тарқалган.

КИМ-АИМ усулидаги ваттметрда кенглик модулятори КИМ генератор Γ дан $f_0 = 1/T_0$ доимий частота билан чиқаётган импульсларнинг кенглиги t ни U_i кириш сигналига қараб модуляциялайди.

“КИМ”нинг чиқишидаги давомийлиги $t = kU_i$ бўлган импульслар амплитуда модуляторида U_u сигнал билан амплитуда бўйича модуляцияланади. Импульслар даври T_0

жуда кичик бўлса, ҳар бир импульснинг АИМ чиқишидаги юзаси қувватнинг оний қийматига пропорционал бўлади:

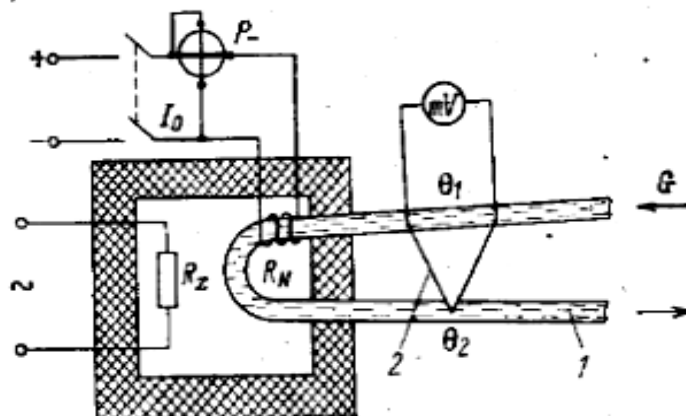
$$S(t) = U_u \cdot t_i = kU_u \cdot U_i. \quad (6.12)$$

Интегратор чиқишидаги кучланиш ўлчанаётган қувватнинг ўртача қийматига пропорционалдир.

6.5. Калориметрик усул билан қувватни ўлчаш

Калориметрик усул юқори ва ўта юқори частотали сигналларнинг қуввати ва энергиясини ўлчашда кенг қўлланилади. Бу усулда қувват электромагнит энергиясини бевосита иссиқликка айлантириб, сўнгра иссиқлик миқдори (ҳарорат, узайиш, электр қаршилиги, модда миқдори) параметрларини ўлчаш йўли билан аниқланади. Калориметрик усул ўлчанаётган қувват бевосита чиқиш сигналига айланадиган ёки маълум қувват билан таққосланадиган ягона усул. Уни амалга ошириш учун ўлчанаётган электромагнит энергияни бирор улуши калориметрик муҳитга берилади. Бу муҳит (сув, минерал ё, нитробензол ва ҳоказо) қизийди ва иссиқлик миқдори юқоридаги параметрларнинг бирортаси орқали баҳоланади. Бу усулни қувватни ёки маълум вақт ичида ажралиб чиққан иссиқликка пропорционал бўлган энергияни (калориметрик интегратор) ўлчаш учун қўллаш мумкин. Калориметрик ваттметр диатермик режимда, яъни қувватни калориметрик муҳит температураси ўзгариши орқали баҳолаш режимида ишлайди. (6.6 - расм) R_x юкламада ажралаётган номаълум қувват P_x ва унга мос иссиқлик калориметрик муҳитнинг кириш ва чиқишида ҳароратлар фарқини ҳосил қилади. Бу фарқ термopара ёрдамида ўлчанади.

Калориметрик суюкликнинг сарфи табиийки ўзгармас бўлиши керак.



Қуйидаги формула у 6.9 – расм. Калориметрик усул билан қувватни ўлчаш қурилмасининг схемаси.

бу ерда: C - калориметрик суюкликнинг солиштирма иссиқлик сиғими [$\text{ДЖ}/(\text{м}^3 \text{ К})$], Q - суюклик сарфи [$\text{м}^3/\text{сек}$]; t_1, t_2 - кириш ва чиқишдаги ҳароратлар. 50 Гц - 1 МГц частотларда 1 мВт гача қувватларни ўлчайди. Хатолиги- 0.1- 2% . Калориметрик ваттметрни градуировкалаш қиймати маълум R_N қаршиликдан маълум I_0 ўзгармас токини калориметр ичидан ўтказиб, намунавий ваттметр P ёрдамида бажарилади.

Калориметрик усул натижаларига атроф – муҳит температурасининг ва иссиқлик ташувчининг киришдаги температурасининг ўзгариши ҳамда унинг тезлиги ўзгариши каби омиллар хатолик олиб киради. Калориметрдан иссиқликнинг қочишини олдини олиш учун бутун калориметрни термостатлаш ёки унинг деворларидаги температуранинг автоматик тарзда ўзгармас ушлаб туриш керак. Аниқлигини ошириш учун тестлаш усуллари қўлланилади. Тест воситаси сифатида сунъий ҳосил қилинадиган иссиқлик исроқлари ва ўзгармас токнинг маълум қуввати ишлатилади.

Иккита бир – ҳил калориметр ёрдамида амалга ошириладиган дифференциал усулда юқори частотали қувватни 1 мкВт абсолют хатолик билан аниқлаш мумкин. Бунда калориметрларнинг бирига ўлчанаётган қувват, иккинчисига маълум ўзгармас ток эквивалент юкламада ажратаёиган қувват берилади.

6.6. Қувватни ўлчашнинг статистик синовлар (Монте - Карло) усули.

Бу усул кўпайтириш амалини эҳтимоллар назарияси асосида амалга оширишни кўзда тутди. Иккита мустақил тасодифий ҳодиса E_1 ва E_2 нинг туташуви эҳтимоли бу ҳодисалар пайдо бўлиши эҳтимолликларининг кўпайтмасига тенг.

$$P\{E_1 E_2\} = P\{E_1\}P\{E_2\} \quad (6.14)$$

Қувватни ўлчаш кириш сигналлари $U_U(t)$ ва $U_i(t)$ оний қийматларини вақт бўйича ва

$$-U_1 \leq U_{1\text{Tac}} \leq U_1 \text{ ва } -U_2 \leq U_{2\text{Tac}} \leq U_2 \quad (6.15)$$

оралиқда тақсимланган икки мустақил тасодифий сигналлар оний қийматлари билан кўп марта таққослаш орқали амалга оширилади.

Кўпайтириш билан таққослаш амалларини мантикий кўпайтириб, интеграллаш ва ўртачалаш эса реверсив санокчи (счётчик)да таққослаш моментидаги кўпайтиришлар сони ва ишорасини санаб бажарилади.

Бир вақтнинг ўзида $U_U(t)$ билан $U_{1\text{Tac}}(t)$ ва $U_i(t)$ билан $U_{2\text{Tac}}$ оралиғи $T_{\text{га}}$ тенг бўлган даврда $\Delta t \rightarrow 0$ вақт ораллиқларда таққосланиб турилса, E_1 ва E_2 ҳодисаларнинг туташуви частотасининг математик кутилиши

$$M = \frac{1}{4U_1U_2} \frac{1}{T} \int U(t)U(t)dt \quad (6.16)$$

ифодаси билан аниқланади. Кўриниб турибдики, M нинг қиймати актив қуввати пропорционал.

Амалда интеграллаш чекланган сонли қўшилувчиларни қўшиш билан алмаштирилади. 4.4,а – расмда статистик синовлар усулидай ишлайдиган ваттметрнинг таркибий чизмаси келтирилган. ТСГ 1 ва ТСГ2 тасодифий сигналлар генераторлари F такт частотаси билан мустақил, қийматлари эҳтимоллиги зичлиги текис тақсимланган икки кутбли тасодифий сонлар ишлаб чиқаради. Такт частотасини такт генератори ТГ беради. «Рақам – аналогли ўзгартиргичлар» РАЎ1 ва РАЎ2 бу сонларни $U_{1\text{Тас}}(t)$ ва $U_{2\text{Тас}}(t)$ кучланишларга ўзгартиради (4.4б-расм). Ҳар бир тактда бу кучланишлар таққослаш қурилмалари ТК1 ва ТК2 ларда $U_U(t)$ ва $U_i(t)$ кириш кучланишлари билан таққосланади.

Мантикий қурилма МК реверсив санокчи (РС)нинг ишини бошқаради. Ҳар бир тактдаги мос кириш сигнали ва тасодифий сигналлар таққосланиш натижасига қараб РС чиқишидаги санок қўшилиши ёки айрилиши мумкин. Агар оний қувват мусбат бўлса,

$$P_k = [U_U(t_k) U_i(t)] > 0 \quad (6.17)$$

яъни:

$$U_V(t_k) > U_{1\text{Тас}}(t_k) > 0 \quad (6.18)$$

ва $U_i(t_k) > U_{2\text{Тас}}(t_k) > 0 \quad (6.19)$

ёки

$$U_V(t_k) < U_{1\text{Тас}}(t) < 0 \quad (6.20)$$

ва $U_i(t_k) < U_{2\text{Тас}}(t) < 0 \quad (6.21)$

бўлса, такт импульси санокчининг қўшиш киришига берилади. Оний қувват манфий бўлса,

$$P_k = [U_V(t_k) U_i(t_k)] < 0 \quad (6.22)$$

яъни

$$U_V(t_k) > U_{1\text{Тас}}(t_k) > 0 \quad (6.23)$$

ва

$$U_i(t_k) < U_{2\text{Тас}}(t_k) < 0 \quad (6.24)$$

ёки

$$U_V(t_k) < U_{1\text{Тас}}(t_k) < 0 \quad (6.25)$$

ва

$$U_i(t_k) > U_{2\text{Тас}}(t_k) > 0 \quad (6.26)$$

бўлса, такт импульси санокчининг айириш киришига берилади. Бу ерда K – жорий такт номери. Бошқа ҳар қандай муносабатларда санокчининг ҳисоби ўзгармайди.

Шундай қилиб, T вақт даврида санокчи тўплаган m импульслар сони актив қувватга пропорционал. Такт импульслари (таққослашлар) сони етарли даражада таъминланганда, ҳамда $U_{1\text{Тас}}$ ва $U_{2\text{Тас}}$ тасодифий кучланишлар ўзгариши оралиғи кириш кучланишлари U_V ва U_i билан тўғри мослаштириб танланганда рақамли индикатор қурилмаси (РИҚ) бевосита актив қувватни кўрсатади.

Бу усул энг кам ўзгартиришлар билан қувватни рақамли кодга айлантириб беради. Унинг афзаллиги шундаки, нисбатан кам хатолик билан кенг частотавий оралиқдаги қувватларни ўлчаш мумкин. Хатолиги, асосан, таққослаш қурилмаларининг тезкорлиги билан аниқланади ва тахминан қуйидаги ифода ёрдамида баҳоланиши мумкин:

$$\alpha_f = 3 (ft)^2$$

Бу ерда f – ўлчанаётган занжирдаги токнинг частотаси; τ - таққослаш қурилмасининг ишлаш вақти (битта таққослаш учун етарли вақт).

Частоталарнинг овоз оралиғида бундай ваттметрнинг хатолиги 0, 05%дан

ошмайди. Усул кичик $\cos\varphi$ га эга бўлган занжирларда ҳам қўлланилиши мумкин, чунки частотавий оралиғи кенг бўлганлиги учун фазавий хатоликлар кам. 1- 2 мГц частоталарда 0,2.....0,5%дан ошмайди. Бунда таққослаш қурилмасининг ишлаш вақти 20нсдан кам бўлиши керак.

6.7 – расм. Монте – Карло усули билан қувватни ўлчаш; а) таркибий схема; б) тушунтирувчи графиклар.

Назорат саволлари

1. Қувват ва энергияни ўлчаш қандай аҳамиятга эга?
2. Актив, реактив ва тўла қувватлар қандай ифодаланади?
3. Импульснинг қуввати қандай ифодаланади?
4. Қандай қилиб қувватни аниқлашдаги кўпайтириш амалини даражага ошириш ва йиғинди олиш амалларига алмаштириш мумкин?
5. Электродинамик ўлчаш механизми миллининг
6. оғиш бурчаги қувватга қандай боғлиқ?
7. Икки ваттметр усулида уч фазали ўзгарувчан ток занжиридаги қувватни ўлчаш чизмасини келтиринг.
8. Уч ваттметр усулида уч фазали ўзгарувчан ток занжиридаги қувватни ўлчаш чизмасини келтиринг.
9. Қандай электрон кўпайтиргичлар ёрдамида қувватни аниқлаш мумкин?
10. Кириш сигналларини модуляциялаб кўпайтириш усули ва қурилмасини тушунтиринг.
11. Қувватни ўлчашнинг калориметрик усулини тушунтиринг.
12. Монте – Карло усулида қувватни ўлчашни тушунтиринг.

ЕТТИНЧИ БОБ

Температурани ўлчаш

7.1. Умумий маълумотлар

Температуранинг табиий эталонлари йўқ, шунинг учун температура ҳақида жисмларнинг физикавий хоссаси ўзгаришига қараб фикр юритилади (иссиқдан кенгайиши, термо ЭЮК, қаршилиги). Ўлчов бирлигини эса температура шкаласига нисбатан аниқланади.

Температура шкаласини тузиш учун баъзи тоза моддаларнинг температурага боғлиқ маълум хусусиятлардан фойдаланилади: қайнаш қотиш тепературалари. Бу температураларга ихтиёрий сонлар берилади (t' - t''). Тепературари t' - t'' бўлган интервални қандайдир (n) сонга бўлиб, $1/n$ тенг бўлакчалар ҳосил қилинади. Бу бўлакчалар градус дейилади. t' - t'' интервал асосий температура шкаласи дейилади.

Халқаро СИ ситемасида температура бирлиги сифатида Кельвин қабул қилинган. Унинг асосий репер нуктаси: сувнинг учланган нуктаси 273,16 К олинган. Халқаро амалий температуранинг шкаласи асосига “Термодинамик температура шкаласи” қўйилган бўлиб, уни 1848 йили Кельвин таклиф қилган. Бу шкала аниқ ва бир текис, чунки у термодинамика тенгламалари асосида яратилган. Бу шкала билан бир қаторда халқаро амалий юз градуслик шкала ҳам ишлатилишга рухсат этилган (1948 йилда Цельсий шкаласи дейилган). Унинг ўлчов бирлиги Халқаро амалий градус ($^{\circ}\text{C}$). Асосий интервали $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сувнинг учланган нуктасидан) $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сувнинг қайнаш нуктаси)

гача. Кельвин ва Цельсий градусларида ($t^{\circ}\text{C}$) ифодаланган температуралар орасидаги муносабатлар:

$$T=(t+273.15)\text{K}; \quad t=(T-273.15)^{\circ}\text{C}$$

Барча ўлчанадиган температуралар оралиғини шартли равишда термометрияга (-200°C дан $+650^{\circ}\text{C}$ гача) ва пирометрияга (-50°C дан $+6000^{\circ}\text{C}$ гача) ажратишган.

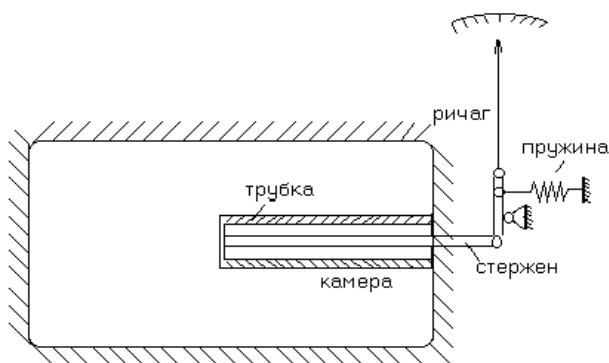
7.2. Кенгайиш термометрлари

Бунда жисмнинг температурадан кенгайиши ёки торайишидан фойдаланилади. Суюқлик ва механикавий термометрлар шу принципда ишлайди.

Кенг тарқалганларидан: симобли, этил спиртли, толуол ва ҳоказо. Симобнинг ўртача температурадан кенгайиш коэффициентини $0,1810^{-3} \text{ 1/град}$. Унинг ўлчаш чегаралари $-30+500^{\circ}\text{C}$ Юқори чегараси шишанинг юмшалиши билан чегараланган. Симобли термометр: симобли термабаллон капилляр трубка ва шкала. Ички босимни ($1,96 \text{ МПа}$ босимли азот билан) ошириб, симобли термометрнинг юқори чегарасини кўтариш мумкин (лекин 500°C дан ортиқ бўлмайди). Улар мўрт инерцияли яхши кўринмайди, натижа регистрация қилинмайди ва масофага узатилмайди. Органик тўлдирувчилик шиша термометр паст температураларни ўлчай олади ($-200 \dots +60^{\circ}\text{C}$)

7.3. Механикавий термометрлар

Уларга дилатометрик ва биметалл термометрлар киради. Ишлаш принципи: икки хил қаттиқ жисмнинг ҳар хил температуравий кенгайишига асосланган.



7.1 – расм. Дилатометрик термометрнинг тузилиши

Дилатометрик термометрнинг тузилиши суратда кўрсатилган:

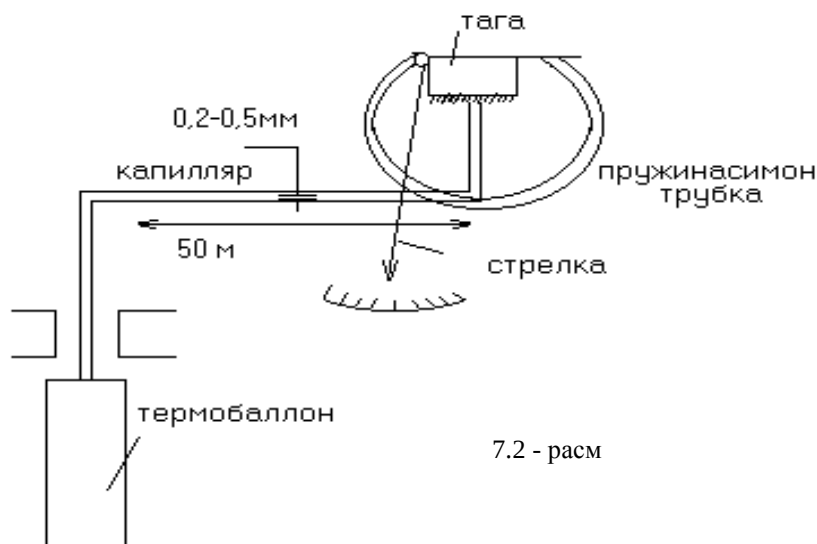
Асосий элементи—трубка. У иссиқдан кенгайиш каэффицент баланд материалдан мис, латун, алюминдан қилинган бир томони ёпиқ. Стержен эса трубага киритилган бўлиб, тубига қадалиб туради. (пружина ёрдамида). Стержен чинни, кварц, инвар қотишмасидан қилинади. Температура ўзгарганда трубканинг узунлиги ўзгариб стержен ҳаракатга келтиради. ва стерженни силжитади. ТУДЭ прибори -60 дан $+1000^{\circ}\text{C}$ гача температурани ўлчаб, ростлаши мумкин (контаклари бор биметалл

термометрлар).

7.4. Босимли термометрлар

Улар температура таъсирида суюқлик ёки газнинг босимли ўзгаришига асосланиб ишлайди, 600°C гача ўлчай олади. Ўзи ёзадиган, кўрсатиладиган турлари бор. Суюқликли газли конденсацияли турлари мавжуд. Суюқлики —симоб, ксилол билан. Газлиси — азот билан, конденсатлиси — фреон 22, хлорометил, этилбензол билан тўлдирилган. (7.2 - расм) Босимли термометрларининг камчиликлари:

1) Ҳаво

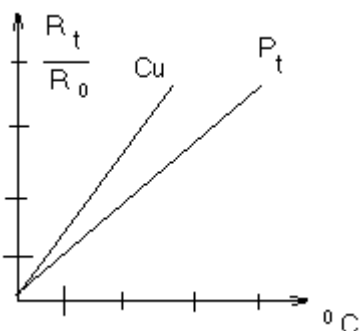


температураси капилляр ва пружинага таъсир қилиб, хатолик туғдиради.

- 2) Гидростатик хатолик терма-баллон билан манометр оралиғидан баландликдан пайдо бўлган. Уни йўқотиш осон: термометр жойлашиб бўлгандан сўнг стрелкаси корректор ёрдамида температурага ростлаб қўйилади.
- 3) Барометрик хатолиги бор: атмосфера босимнинг ўзгариши таъсирида пайдо бўлади. Уни камайтириш учун ички босимни баланд қилинади ($20 \cdot 10^5$ Па).

7.5. Қаршиликли термоўзгартиргичлар

Улар температурани -200°C дан $+650^\circ\text{C}$ гача ўлчаш учун ишлатилади. Улар содда анча аниқ, катта ўлчаш масофасига эга. Энг яхши материал: платина. Унинг қаршилигини температурадан ўзгариши коэффиценти (ҚТК) $3,94 \cdot 10^{-3}$ (1/град). Солиштирма қаршилиги $0,0099 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2 / \text{м}$.



7.3 – расм. Материаллар қаршилигининг температурага боғлиқлиги

$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$ формуласи билан ифодаланади.

R_0 – ноль градусдаги қаршилиги, A , B – коэффицентлар. Платинадан фарқли ўлароқ мис арзон ва кўп.

Унинг ҚТК си $4,25 \cdot 10^{-3}$ (1/град), $-50^\circ\text{C} \dots +200^\circ\text{C}$ оралиқда $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ билан ифодаланади. Бунда α – ҚТК. Миснинг камчилиги шуки, солиштирма қаршилиги

кичик: $\rho = 0,018 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}$ ва симлар оксидланади.

Термоқаршиликларни ўзаро алмаштира олиш учун улар 0°C да бир хил R_0 га тенг бўлиши керак. Мис ва платина қаршиликларининг температурага боғлиқлиги 7.3 - расмда

кўрсатилган. Жадвалда баъзи термо қаршиликларнинг параметрлари келтирилган.

	$R_0 = R_{\text{ном}}$	$t^\circ\text{C}$
ТСП	1	-50+1100
	5	-100+1100
	10	-200+1100
	100	-260+1100
	5000	-260+300
ТСМ	10	-50+200 $^\circ\text{C}$
	50	-50+200 $^\circ\text{C}$

	100	-50+200 °C
--	-----	------------

Вибро чидамли инерцияли ва инерциясиз, герметик, битталик, кўплик ва бошқа термоқаршиликлар бўлади.

7.6. Термоэлектр ўзгартиргичлар

Уларнинг иши шунга асосланган: ҳар хил металлдан тузилган ёпиқ занжирнинг икки уламидан температуралар фарқи таъсирида бири иккинчисига нисбатан ток ҳосил бўлади.



7.4 – расм. Ҳар хил металлдан тузилган ёпиқ занжир

Агар А металлдаги атомлар (шунингдек, электронлар) сони В дагидан кўп бўлса электронлар А дан В га кўпроқ диффузия бўлади, акс йўналишдаги диффузия эса камроқ бўлди. А сим мусбат В сим манфий зарядланиб қолади.

Маълум даражадаги диффузиядан кейин уланиш жойларда электрон майдон ҳосил бўлади ва электронлар диффузиясига қаршилиқ қилади. Электронларнинг қарама-қарши ҳаракати тенглашади. Ҳаракатдаги динамик мувозанат пайдо бўлади. Бу ҳолатда симларнинг эркин учлари қандайдир потенциаллар фарқига эга бўлади. Термоэлектр ҳодисаси занжири бир хил металлдан бўлган симларнинг учлари ҳар хил температурага эга бўлганда ҳам ҳосил бўлади. Бунда иссиқ учлардан совуқ учларга электронлар ҳаракат қиладилар. Совуқ учлар манфий, иссиқ учлар мусбат зарядланиб қолади. Бу ҳолда ҳам мувозанат юз беради.

Шундай қилиб термоэлектр занжирида 4 та ЭЮК (А ва В уламларида ва А ва В симларнинг учларида) ҳосил бўлади. Жами ЭЮК тўртала ЭЮКлар ўзаро таъсири билан аниқланади. Умумий ҳолда жами ЭЮК

$$e_{AB}(tt_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) \quad (7.1)$$

$e_{AB}(t), e_{BA}(t_0)$ - А, В симларнинг контакт потенциаллар фарқи билан ва

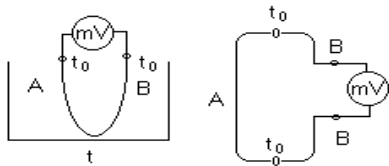
температуралар фарқи билан боғлиқ ЭЮК лар иккала спай (улам) нинг температуралари тенг бўлса симнинг термо ЭЮК лари тенг ва қарама-қарши йўналган.

$$e_{AB}(tt_0) = e_{AB}(t_0) + e_{BA}(t_0) \quad (7.2) \quad \text{яъни}$$

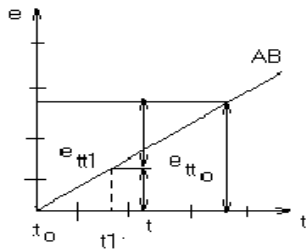
$$e_{AB}(t_0) = -e_{BA}(t_0)$$

ўрнига қўйиб

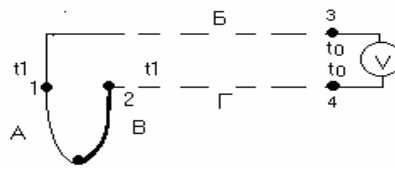
$$e_{AB}(tt_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (7.3)$$



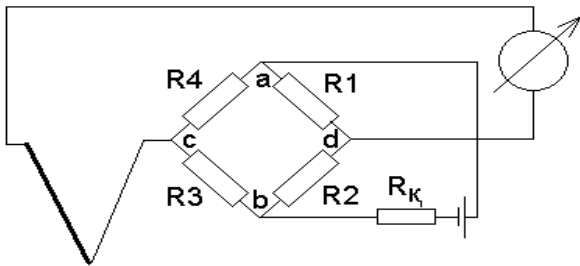
7.5 – расм. ТЭЮКни ўлчаш асбобини занжирга улаш схемаси а) совуқ лумлар орасига; б) сим орасига



7.6 – расм. АВ симлар совуқ уламлари орасидаги ТЭЮКнинг температурага боғ



7.7 – расм. Компенсация (посанги) киритилган термоэлектр ўзгартиргич



7.8 – расм. Мувоzanатлаш мосламаси ёрдамида термоэлектр улаш

Яъни термоэлектр ўзгартиргичнинг ЭЮК унинг иссиқ ўлчами температурасига ва совуқ улами температурасига боғлиқ. Агар t_0 const бўлса, термо ЭЮК фақат t га боғлиқ бўлиб бу ҳолда ЭЮК ни ўлчаб температура ҳақида фикр юритиш мумкин.

Бу ЭЮК ни ўлчайдиган асбобни эркин совуқ уламнинг оралиғига ёки бирорта симга улаш мумкин. 7.5 – расм. Эркин

учлар бир хил t_0 температура га эга бўлса асбобни киритиш ЭЮК ни ўзгартирмайди. Саноат ТВР – (термоэлектр-преобразователи вольфрам – раниевий), ТПР (платинородиевий), ТПП (платинородиевий – платина), ТХА (хромель – алюмелевий) каби термоэлектр ўзгартиргичлар ишлаб чиқаради.

Амалда эркин учлар температураси (t_0) олдиндан ўзгариб туриши мумкин. Натижада, ТЭЮК ҳам ўзгариб, ўлчашда хатолик пайдо

бўлади. Бунинг олдини икки хил усул билан олиш мумкин. Биринчи ҳолда хатоликни аналитик ёки экспериментал йўл билан ҳисоблаб, ТЭЮК киритиш мумкин 7.7 - расм, иккинчи ҳолда эркин учлар термостатланиши керак. t_0 айтилгандан фарқли (масалан t_1) бўлганда киритиш керак бўлган ТЭЮК 7.6 – расмда келтирилган E_{t0} .

1 ва 2 уламнинг температураси ўзгариб турувчи булса, компенсацияловчи (посанги) симлар Б ва Г ёрдамида ўлчаш асбоби V температуралари ўзгармас жойга кўчирилади. Посанги симлар ўша термopара материалларидан тайёрланиши мақсадга мувофиқ.

Мувоzanатлаш мосламаси ёрдамида термоэлектр ўзгартиргичини улаш куйидагича 7.8–расм бўйича бажарилади. Муҳит температурасининг ўзгариши автоматик тарзда кўприк ёрдамида мувоzanатланади. R_1, R_2, R_3 , қаршилиқлар температурага боғлиқмас (улар манганиндан тайерланган). R_4 – температурага боғлиқ. У мисдан таёрланган. Термopара эркин (совуқ) учларида температура ўзгарса улар билан ёнма-ён жойлашган R_4 қаршилиги ҳам ўзгаради. Кўприкнинг мувоzanати бузилиб, мумкин бўлган ўзгариш (хатолик) га тескари кучланиш cd диагоналида пайдо бўлиб, мувоzanат хато ЭЮК га тескари таъсир қилади ва хатони тўғрилайди, 20°C да кўприк мувоzanат ҳолатда бўлади.

7.7. Нурланиш пирометрлари

Параметрик усуллар қизиган жисмларнинг $+50^\circ\text{C} \dots +5000^\circ\text{C}$ оралиғидаги температурасини ўлчайди. Ишлаш принципи қизиган жисмлар ўзидан чиқараётган энергияни ўлчашга асосланган.

Бу усуллар объект иссиқлик нурланиш параметрларини унинг иссиқлик майдонини бузмасдан ўлчашга имкон беради. Иссиқлик нурланиши мохиятанқаттиқ, суюқ, газсимон моддалар атом ва молекулаларининг иссиқлик таъсиридан уйғониб (қўзғолиб),

электромагнит нурланишидир. 4000°C дан юқори температураларда нурланиш диссоциация ва ионизация жараёнларидан пайдо бўлади.

Табиий кириш катталигига қараб, тўла (радиацион) нурланиш пирометрлари, қисман (равшанлик, ёруғлик) нурланиш пирометрлари ва спектрал нисбатлар пирометрлари (ранг пирометрлари) мавжуд. Тўла (радиацион) пирометрлар нурланишнинг тўла интеграл энергиясини қабул қилиб ишлайди. Абсолют қора жисмнинг (АҚЖ) барча тўлқин узунликларидаги нурланиш интеграл қувватининг температурага Стефан – Болцман қонуни билан боғланган:

$$M_T^0 = \sigma T^4 \quad (7.4)$$

Реал жисм учун бу ифода

$$M_T = \varepsilon \sigma T^4 \quad (7.5)$$

кўринишда бўлиб, $\varepsilon = 0,04 \dots 1$ – иссиқлик нурланиш коэффициенти дейилади. У нурланувчи материалга, унинг температураси ва юзасининг ҳолатига боғлиқ; $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – Стефан – Больцман доимийси.

АҚЖ нурланиши бўйича градуировкаланган пирометр реал объектда ишлатилса (улчаса), радиацио температура дейилмиш T_p температурани кўрсатади. T_p доим T ҳақиқий температурадан кичик. Радиацион температура деганда АҚЖнинг шундай температураси тушуниладики, бу температурада унинг барча тўлқин узунликларидаги ($0 \leq \lambda \leq \infty$) тўла нурланиш қуввати реал объектнинг T температурадаги нурланиш қувватига тенг.

Радиацион температура T_p билан объектнинг ҳақиқий температураси орасидаги боғланиш

$$\tau T_p^4 = \varepsilon T^4 \quad (7.6)$$

тенгликдан аниқланади:

$$T = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (7.7)$$

Тўла нурланиш параметрлари $-50 \dots +3500^{\circ}\text{C}$ оралиқдаги температураларни ўлчаш учун ишлатилади. Уларнинг ёрдамида ёпиқ печлар, оғзи кичик ўчов (топка), инсон териси, шиша, резина ва бошқалар каби нурланиш хусусиятлари АҚЖ яқин объектларнинг температурасини ўлчаш мумкин.

Қисман нурланиш параметрларда чекланган тўлқин узунликлари оралиғидаги нурланиш қувватининг температурага боғланишидан фойдаланилган. Асосий хатоликлари $0,25 \dots 2,5\%$, тезкорлиги $0,001 \dots 2,5$ с. Монохроматик равшанлик парометр қисман нурланиш параметрининг бир тури бўлиб, тор спектр оралиғида ўлчанаётган объектнинг энергетик равшанлигини намунавий объект энергетик равшанлиги билан таққослашга асосланган. Намунавий нурлатувчи сифатида юпқа вольфрам чўғланма симли лампа ишлатилади. У 1500°C гача бўлган температураларда равшанлик ва ток орасида мунтазам (стабил) боғланиш беради. Реал жисмлар нурланиши тўлиқсизлиги сабабли равшанлик параметрлари ҳақиқий температурани эмас, балки равшанлик темперутураси дейилмиш T_{pv} катталикни ўлчайди. Ҳақиқий ва равшанлик температуралари орасидаги муносабат.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{36}} + \frac{\lambda}{C_2} \ln E_{\lambda} \quad (7.8)$$

билан ифодаланиб. Бу ерда E_{λ} - λ тўлқин узунлиги учун иссиқлик нурланиш коэффициенти.

Спектрнинг кўринарли соҳасида ишловчи равшанлик пираметрларнинг кўпи самарали тўлқин узунлиги ($\lambda = 0,656 \pm 0,008$ мкм)ни таъминловчи қизил элак (красный светофильтр)га эга.

Нурлатувчи объект (ўлчанаётган жисм)нинг материали, юзаси ҳолатига қараб иссиқлик нурланиш коэффициенти кенг оралиқда жойлашади $\varepsilon = 0 \dots 1$

Масалан ялтироқ мис учун - λ 0,03; кумуш учун - 0,04...0,07; вольфрам учун - 0,6;

оксидланган темир учун – 0,6...0,9; ўтга чидамли силикатлар учун – 0,9.
300...6000⁰С температуралар учун юқолиб қолувчи чўғланма симли пирометрлар кенг тарқалган (7.9 а - расм).

Спектрдан Рис. 12 – 13.

7.9 – расм. Равшанлик пирометри:

а) принципиал схемаси; б) ўлчаш жараёнида симнинг кўриниши.

Бу пирометрда объект (1)нинг тасвири объектив (2) силжитилиб 4 лампа сими (3)нинг текислиги билан устма – уст тушурилади. Объект ва лампа сими тасвирларини 5 қизил элак ёрдамида кузатиб, симдан оқаётган ток ўзгартирилади. Токнинг шундай қиймати тўпланадики, симнинг ўрта қисми объект фонида кўринмай қолсин. Бу нурлатувчи объект ва чўғланма сим энергетик равшанликларнинг тенглигидан далолат беради.

Натижа чўғланиш симидан ўтаётган токнинг қийматига қараб баҳоланади. Ток билан сим равшанлиги ўзаро бешинчи даражали ($T_p \equiv I_5$) боғланишга эга бўлганлиги учун, бундай пирометрнинг шкаласи жуда нозичлик характерга эга. Агар токни ва, оқибатда, симнинг → равшанлигини ўзгармас ушлаб турилса, сим ва объект равшанликларини эса ўзгарувчан зичликни нейтрал ютувчи муҳит (оптик пона)ни силжитиб тенглаштирилса чизикли, текис шкала олиш мумкин. Бу ҳолатда натижа оптик пона (7) билан боғланган шкаладан ўқилади.

Назорат саволлари

1. Температура ҳақида нимани биласиз?
2. Қандай температура шакиллари мавжуд?
3. Кенгайиш термометрлари қандай тузилган ва ишлайди?
4. Механикавий термометрлар қандай тузилган ва қандай ишлайди?
5. Босимли термометрлар қандай тузилган ва ишлайди?
6. Қаршиликли термоўзгартиргичлар қандай тузилган ва ишлайди?
7. Термоўзгартгичлар қандай компенсацияланади?
8. Қандай термоўзгартгичлар юқори температураларда ишлашга мўлжалланган?
9. Термоўзгартгичлар таркибига қандай металллар киради?
10. Термоэлектр ўзгартгичлар қандай тузилган?

САККИЗИНЧИ БОБ

Магнит майдон параметрларини ўлчаш

8.1. Умумий маълумотлар

Магнит майдон (ММ) параметрлари магнит майдонни тавсифловчи скаляр, вектор ва тензор катталиклари бўлиб, улар координаталар системасига инвариантдир. Уларга магнит оқими, магнит индукцияси вектори, магнит майдон кучланганлиги вектори, магнит индукцияси векторининг градиенти $\text{gradB}(\nabla B)$ (тензор), магнит индукцияси вектори модулининг градиенти $\text{gradB}(\nabla B)$ (вектор) кирилади. Одатда, скаляр катталиклари магнит оқими, магнит индукцияси векторининг модули, унинг ташкил этувчилари ва ҳосилалари бевосита ўлчанади, улар орқали бошқа хусусиятлари аниқланади.

Магнит майдон параметрларини ўлчаш бошқа ҳар қандай магнит ўлчашларнинг асосидир. Улардан келиб чиқиб, материаллар, маҳсулотлар, моддаларнинг магнит хусусиятлари аниқланади, ҳамда кўплаб илмий ва халқ хўжалиги муаммоларига боғлиқ масалалар ечилади.

Бозирги вақтда 10^{-16} Тесладан (магнит вакууми) 30 Тесла (тл)гача ўзгармас магнит майдон индукцияси, 10^{-15} тл дан бир неча Теслагача ўзгарувчан магнит майдон индукцияси (бир неча Гц дан бир неча ўн МГц гача), 10^{-15} Тесладан бир неча юз Теслагача импульсли магнит майдон индукциясини ўлчашга тўғри келади. Магнит оқими кванти ($2,07 \cdot 10^{-15}$ Вебер) нинг мингдан бир улишларидан ўнлаб Вебергача қийматларини ўта паст ёки ўта юқори температураларда, катта ёки кичик босимларда ўлчашга тўғри келади.

Бозирги вақтда магнитрезонанс, гальваномагнит, индукцион усуллар магнит майдон параметрларини ўлчашда кенг қўлланилмоқда. Холл эффекти (гальваномагнит усул) қўлланилганда аниқлик, асосан, Холл ўзгартгичининг аниқлигига боғлиқ бўлиб, юқори кўрсаткичга эга. Магнитооптик усули Фарадей эффектига асосланган бўлиб, катта магнит майдон параметрларини ўлчашга хизмат қилади.

Индукцион усулларнинг кенг тарқалган кўриниши магнитомодуляцион усулдир. Феррозонд ўзгартиргичлардан фойдаланадиган бу усул юқори сезгирлиги ва кичик ўлчамлари билан ажралиб туради.

8.2. Магнит майдон параметрларини ўлчашнинг квант магнитрезонанс усуллари

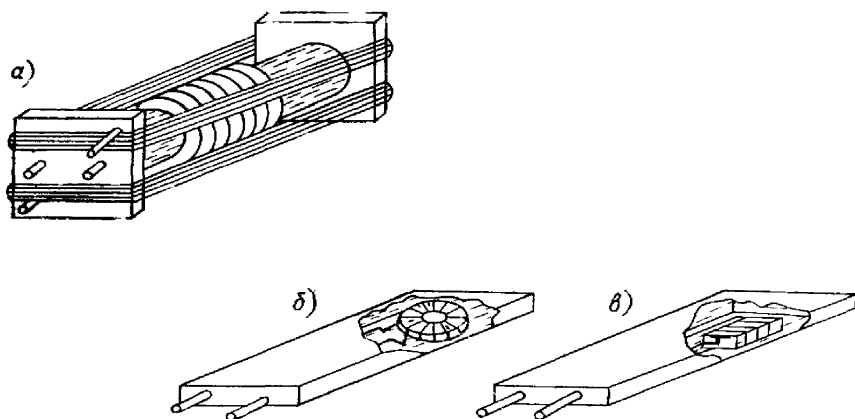
Бу усуллар доимий магнит майдони таъсирида атом заррачалари томонидан энергетик остки сатҳларидан магнитли диполь ўтишда юқори частотали энергияни чиқариш ёки ютиш ҳодисаларига (магнит резонансига) асосланган. Зеeman магнит остки сатҳлари ташқи магнит майдонлари ҳамда ички, микрзаррачаларнинг магнит моментлари билан ҳосил қилиниши мумкин. Механикавий (спин) ва магнит моментларига эга бўлган атом заррачаларида магнит резонанси макроскопик миқдорда кузатилиши мумкин. Классик механикага қиёс қилинадиган бўлса, худди гироскоп гравитация майдонида прецессия қилганидек, заррачалар ҳам магнит майдонда прецессия қилади. “Резонанс” атамаси моҳияти ушбу ҳолда шундан иборатки, ушбу ҳодиса пайтида системанинг хусусий частотасига ростланиш рўй беради. Бу хусусий частота эса ўзгармас магнит майдонидаги магнит заррачаларининг прецессия частотасига тенг бўлиб, Лармор тенгламаси $\omega = \gamma B$ билан аниқланади.

Бу ерда γ - заррача магнит моментининг механик моментига нисбатидир (гиромагнит нисбат).

Резонанслашадиган заррачаларга қараб ядровий, электрон парамагнит, ферромагнит, антиферромагнит ва бошқа магнит резонанс турлари мавжуд. Ядровий резонанс ядро диполлари билан, бошқалари электрон диполлари билан боғлиқ, электрон парамагнит резонансни атом ёки молекулалари жуфтлашмаган электронларга эга бўлган

моддаларда кузатиш мумкин. Ферро ва антиферромагнит резонансини электрон диполлари алмашиш кучлари орқали домен таркибларга боғланган моддаларда кузатилади.

8.3. Ядровий магнит резонанс (ЯМР) усули



8.1 – расм. ЯМР штказгичларининг турли конструкциялари

Бу усул ўзгармас ва секин ўзгарувчан магнит индукцияларни ўлчаш учун ишлатилади. Фундаментал катталиқ ҳисобланган атом ядросининг (масалан, водород ядроси - протоннинг) гиромангнит нисбати ўлчанаётган индукция билан ядро прецессия частотасини ўзаро боғлаганлиги туфайли бу - энг аниқ усуллардан биридир.

ЯМР ўлчов ўзгартгичи одатда бир ёки икки чўлғамдан ва атом ядроси магнит моментига эга бўлган ишчи моддадан иборат. Ишчи модда цилиндрик, тўртбурчак ёки тороидал чўлғам ичида ёки, аксинча, бу чўлғамлар ишчи модда ичида жойлашган бўлиши мумкин. (8-1-расмларга қаранг). Иккинчи ҳолда (б ҳолда) ўзгартиргичнинг тўлдирилиш коэффиценти ошади.

ЯМР ўзгартиргичида, одатда, атомларнинг магнит моменти нолдан фарқли бўлган суюқ, диамагнит моддалар ишлатилади. Бу момент фақат жуфт сонли протон ва жуфт сонли нейтронга эга бўлган атом ядроларидагина нолга тенг. Ўзгармас магнит майдонида магнит моментли атом ядролари сони $2 \cdot I + 1$ га тенг бўлган муайян энергетик сатҳларни эгаллайди. Ядро ва ташқи магнит майдон индукцияси B_0 нинг ўзаро таъсир энергияси ушбу

$$E_m = - m \mu_I B_0 / I \quad (8.1)$$

ифода билан аниқланади.

Бу ерда m - магнит квант сони; μ_I ядронинг магнит моменти, I - фақат $1/2$ га қаррали қийматларни қабул қилиши мумкин бўлган спин квант сони.

Масалан, водород ядроси - протон $1/2$ спинга эга. Танлаш қоидаларига биноан $\Delta m = \pm 1$ энергетик сатҳлар орасидагина ўтишлар мумкин. Яҳни бу сатҳлар орасидаги энергиялар фарқи $\mu_I \cdot B_0 / I$. Ўтишлар пайтида квантларнинг нурланиши ёки ютилиши юз беради. Ушбу ўтишлардаги квантлар энергияси hf сатҳлар энергиялари фарқига тенг:

$$hf = \mu_I B_0 / I. \quad (8.2)$$

Бундан келиб чиқадики, дипол магнитли ўтишлар резонанс кўринишга эга ва ташқи магнит майдонидаги классик ядровий прецессия частотасига мос келади:

$$\omega = 2\pi \mu_I B_0 / (Ih) = \gamma B_0. \quad (8.3)$$

Бу ерда $\gamma = 2\pi \mu_I / Ih$ - ядросининг гиромангнит нисбати; $\omega = 2\pi f$ - прецессиянинг айланма частотаси.

Шундай қилиб, ушбу ҳодиса ядровий магнит резонанси (ЯМР) ҳисобланади. ЯМР ҳодисасини экспериментлар ёрдамида топиш учун ҳар - хил усуллардан фойдаланилади. Резонансли ядровий магнит ютилиши усулида юқори частотали магнит майдон ҳосил қилувчи тебраниш контуридаги энергиянинг қўшимча исрофлари орқали ЯМР

баҳоланади. Ядровий магнит индукцияси усулида қабул чулғамида прецессиялашаётган ядролар ҳосил қилган ЭЮК информация манбаи ҳисобланади. ЯМР юз берган ҳолатдаги юқори частотали тебранишларни ўлчаб, гиромагнит нисбати (γ) ни билган ҳолда, юқори аниқлик билан доимий магнит майдон индукциясини ёки у орқали бошқа физикавий катталикларни баҳолаш мумкин. Шундай қилиб, магнит моментида эга бўлган ядролар системаси идеал “индукция - частота” ўзгартиргичи бўлиб, аниқлиги ва тезкорлиги бўйича ўта юқори кўрсаткичлар беради. Эркин прецессия жараёнида резонанс частотаси прецессия даврининг улушларида тикланади.

Бир жинсли магнит майдонда ядролар бир хил частота билан, лекин ихтиёрий фазаларда прецессияланади. Оқибатда, ядровий магнитланиш вектори (ишчи модда бирлик ҳажмидаги умумий ядровий магнит моменти) фақат бўйлама (J_x) ташкил этувчига эга бўлиб, у ўзгармас магнит майдон индукцияси B_0 йўналишига мос бўлади.

Прецессия частотаси $\omega = \gamma B_0$ ҳақидаги информацияни берувчи сигнални олиш учун ядролар прецессиясини шундай фазалаштириш керакки, ядровий магнитланишнинг кўндаланг (ω частота билан ўзгарувчи) ташкил этувчиси (J_y) пайдо бўлсин ва уни электр сигналига айлантириш мумкин бўлсин. Бунга эришиш учун ўзгартиргичга B_0 векторга перпендикуляр бўлган қўшимча, қутбловчи магнит индукцияси B_k билан таъсир этилади.

Фазалаштириш (синхронизациялаш ҳам дейилади) усулига қараб ЯМР ўлчов асбоблари уч гuruhга бўлинади:

- Эркин тебранишлар режимида ишловчи эркин ядровий прецессия асбоблари;
- мустақил уйбониш режимида ишловчи спин генераторлари;
- ядровий магнитланишнинг мажбурий прецессиялаш ЯМР қурилмалари.

Ўзаро ва панжара билан кучсиз таъсирланувчи (масалан суюқ моддалар) ядровий системалар учун ядровий магнитланиш вектори J ташкил этувчиларини Блох

$$\begin{aligned} \frac{dJ_x}{dt} &= \gamma(J_y B_z - J_z B_y) - J_x / T_2 \\ \text{тенгламалари яхши тавсифлайди: } \frac{dJ_y}{dt} &= \gamma(J_z B_x - J_x B_z) - J_y / T_2 \\ \frac{dJ_z}{dt} &= \gamma(J_x B_y - J_y B_x) - (J_z - J_0) / T_1 \end{aligned} \quad (8.4)$$

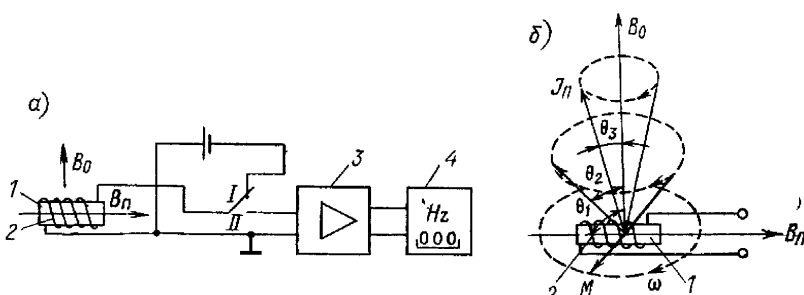
Бу ерда $J_0 = \chi H_0$ - статик ядровий магнитланиш.

T_1 - бўйлама (ёки спин -панжара) релаксация вақти.

T_2 - кўндаланг (ёки спин-спин) релаксация вақти.

Макроскопик ёндошилганда, T_1 - ташқи магнит майдон йўналишида (J_z)ги, яъни бўйлама ядровий магнитланишнинг тикланиш вақти доимийси; T_2 - кўндаланг ташкил этувчи (J_x ва J_y) ларнинг сўниш вақти доимийси.

Эркин ядровий прецессия усули кучсиз магнит майдон индукцияларини ўлчашга ишлатилади. Масалан, ернинг магнит майдон индукциясини. Қуйидаги суратда ушбу усул асосидаги тесламетрнинг таркибий чизмаси келтирилган.



ЯМР ўзгартиргич - чулғам ичига жойлаштирилган сувли ампула бўлиб, унинг ўқи ўлчанаётган магнит майдон индукцияси B_0 векторига перпендикуляр жойлашган.

Водородлар ядролари -

8.2 – расм. Эркин ЯМР усулида магнит майдон параметрларини ўлчаш

протонларни синхронизациялаш ва кўндаланг ядровий магнитланишни ҳосил қилиш учун ўзгартиргичга олдин $t \geq (2 \dots 3) T_1$ вақт ичида кучли ёрдамчи B_k кўндаланг (кутбловчи) магнит индукцияси билан таъсир қилинади, $B_k \gg B_0$. Бу чизмада S улагич юқори ҳолатда. Натижада чулғам ўқи йўналишида бошланғич ядровий магнитланиш $J_k = \chi H_k$ ҳосил бўлади. χ - макроскопик ядровий сингдирувчанлик.

$H_k = B_k / \mu_0$ - кутбловчи (кўндаланг) магнит майдони кучланганлиги.

Кўндаланг магнит майдонини тезда ўчирсак, (S улагич - пастда) ядровий магнитланиш вектори J_k ўлчанаётган B_0 индукцияси вектори йўналишида прецессиялана бошлайди. Прецессия частотаси $\omega = \gamma B_0$, амплитудаси эса секин - аста сўнади. Бурчаги Θ эса минималдан $\pi/2$ гача ошади.

Чулғамда ҳосил бўлган ядровий прецессия ЭЮК нинг частотаси кучайтиргич орқали кучайтирилиб, частотомер ёрдамида ўлчанади.

Бу ЭЮК T_2^* вақт доимийси билан экспонента бўйича камайиб боради. T_2^* вақт доимийси эса қуйидаги боғланишга эга:

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_{2\Delta B}} + \frac{1}{\tau}; \quad (8.5)$$

Бу ерда T_2 - ядроларнинг ўзаро таъсирига боғлиқ спин-спин релаксациясининг табиий вақти.

$T_{2\Delta B} = \pi / (\gamma \Delta B_0)$ - намуна ҳажмидаги магнит майдоннинг (ΔB_0) бир жинсли эмаслиги билан боғлиқ релаксация вақти.

τ - чулғамнинг спин системасига тескари таъсирини эътиборга олувчи вақт доимийси.

Дистилланган сув протонлари учун $T_2 \approx T_1 \approx 3,6$ сек. Ернинг магнит майдонида $T_{2\Delta B}$ тахмининан шу қийматга тенг. τ нинг қийматини $\tau = 2 / (\mu_0 J_0 Q \eta \gamma)$ формуласидан топиш мумкин. Бунда Q - чулғамнинг асллиги (добротность), $\eta = 0,5 \dots 1$ - чулғамнинг ишчи муҳит билан тўлганлигини кўрсатади. ЯМР ўзгартиргичнинг параметрини шундай танлаш керакки, $\tau \gg T_2^*$ бўлсин. Акс ҳолда ЭЮК жуда тез сўниб қолади. Бу ҳол учун (1-3) формулалар қуйидагича кўринишга эга:

$$\begin{aligned} J_x &= J_k \exp(-t / T_2^*) \cos \omega t \\ J_y &= J_k \exp(-t / T_2^*) \sin \omega t \\ J_z &= J_0 (1 - \exp(-t / T_2^*)) \end{aligned} \quad (8.6)$$

Чулғамда ҳосил бўлган ЭЮК эса қуйидагича топилади:

$$E = \omega J_k K_B V \exp(-t / T_2^*) \sin \omega t, \quad (8.7)$$

бу ерда V - намуна ҳажми,

K_B - чулғамнинг магнит индукцияси бўйича доимийси.

Ўзгартиргичдан чикувчи ЯМР сигналининг бошланғич амплитудаси қуйидаги ҳисобланиши мумкин

$$E_m = \omega J_k K_B V = \gamma B_0 \chi H_k K_B V. \quad (8.8)$$

Агар чулғамнинг ичида суви бор узун соленоид бўлса

$$E_m = \pi \mu_0 \gamma B_0 \chi I_k \omega^2 R^2 / l; \quad (8.9)$$

Бу ерда l соленоид узунлиги, R - соленоид радиуси,

I_k - кўндаланг (кутбловчи) магнит майдон ҳосил қилувчи ток. Ернинг магнит майдонида ($B_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ тл) ЯМР сигнали бир неча микровольт бўлиб, частотаси $f = \omega / (2\pi) = 2100$ Гц.

Эркин ядровий прецессия асосида ишлайдиган қатор тесламетрлар мавжуд. Синхрон даврий кутбланиш билан ишловчи тесламетрлар кенг тарқалган. Уларнинг ўрта квадратик четланиши $0,1 \dots 0,3$ нТл, систематик хатолиги $0,1 \dots 2,5$ нТл дан ошмайди. Сезгирлик бўсағаси

$0,01$ нТл (кузатишлар частотаси 1 Гц бўлса) ёки $0,1$ нТл (кузатишлар частотаси 5 Гц

бўлса).

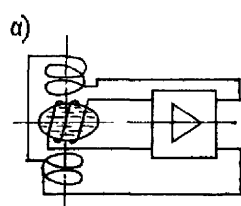
8.4. Ядровий индукция усули

Бу усул спин генераторларида, спектрометрларда модда таркибини ва концентрациясини аниқлашда қўлланилиб узлуксиз прецессиялашаётган ядролардан ЭЮК индукциялашга асосланган.

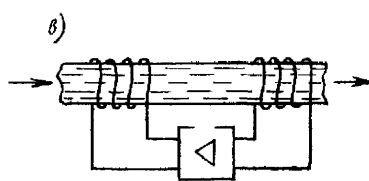
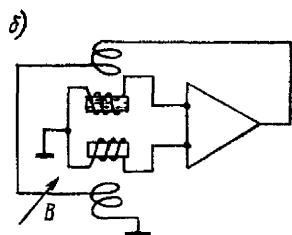
Спин генератори автотекбранувчан система бўлиб, унинг тескари мусбат алоқаси спин системаси нурланишидан индукцияланади. Бундай корпускуляр резонаторлар системасини эквивалент тебраниш контури сифатида фараз қилиш мумкин. Контур хусусий частотаси ω_y магнит майдон индукциясига боғлиқ: $\omega_y = \gamma B$;

Асллиги (добротность): $Q_y = T_2 \cdot \omega_y / 2$

Магнит моментларига эга ядролар системаси мусбат алоқа ҳосил қилган кучайтиргич энг оддий спин генератори деб қаралиши мумкин (а-сурат).



8.3 – расм. ЯМР
усулини ышқлаш
вариантлари



Модда намунаси 1 билан уйғотувчи 2 ва қабул қилувчи 3 чулғамлар ўқлари текислиги магнит индукцияси векторига перпендикуляр жойлашади. Кучайтиргич 4 уланганда ўйғотувчи 1 чулғамда шовқин тоқлари пайдо бўлади. Бу тоқлар спектрида прецессия частотасига ($\omega_y = \gamma B$) эга тоқлар ҳам мавжуд. Бу юқори (ω_y) частотали тоқнинг майдони

прецессиялашаётган магнит ядроларини фазалайди (фазирует). Натижада қўндаланг ядровий магнитланиш пайдо бўлиб, қабул чулғами (3) да прецессия частотали ЭЮК ҳосил қилади. Етарли кучайтириш коэффиценти ва фаза силжишида сўнмас тебранишлар ҳосил бўлади.

Бунда мусбат тескари алоқанинг кучсизлиги туфайли кучайтириш коэффиценти катта (10^5) олишга ва, оқибатда, ҳар хил паразит алоқаларни йўқотишларнинг мураккаб чораларини кўришга тўғри келади. Масалан, трансформаторли алоқани йўқотиш учун ўйғотиш ва қабул чулғамлари қатҳий ўзаро перпендикуляр жойлашишлари керак.

Паразит алоқаларни камайитириш учун икки қабул чулғамидан иборат спин генераторлари қўлланилади (б-сурат).

Қабул чулғамларидан бири ишчи модда билан тўлдирилган, иккинчиси – бўш. Натижада паразит алоқалар таъсирида пайдо бўлган паразит ЭЮКлар ўзаро тескари фазаларда кучайтиргич киришига берилиб, ўзаро компенсациялашади.

Паразит алоқалар таъсирини камайитиришнинг яна бир усули – қабул ва ўйғотиш чулғамларини фазада ўзаро силжитиб жойлаштириш. Натижада спин генераторининг ўйғониши ва генерациялаши вақт ва фазада бошқа-бошқа рўй беради (в-сурат).

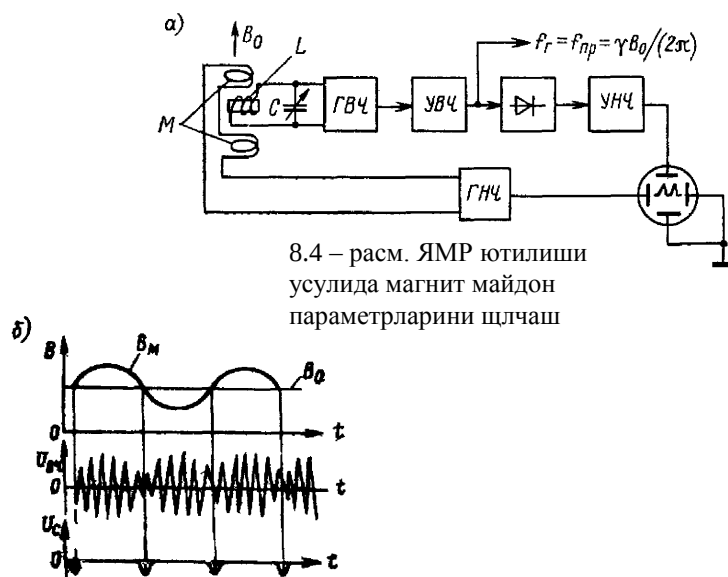
Ишчи модда бу ҳолда ҳаракатланувчан бўлади. Ўйғотиш чулғами 1 қабул чулғамидан (2) узокроқда жойлашган. Ўйғотилган, прецессиялашган ва фазаланган ядролар қабул чулғамида ЭЮК ҳосил қилади. Бу ЭЮК кучайтирилаб, яна ўйғотиш чулғамига берилади. Чулғамлар ўзаро таъсирлашмайди. Спин генераторларининг ўлчашларда кенг тарқалишига уларнинг мураккаблиги ва тор частотавий оралиғи сабаб бўлмоқда. 8.4 – расмда бу усулни амалга оширувчи қурилма чизмаси ва графиклари

кўрсатилган.

8.5. Ядровий магнит резонанс ютилиш усули

Усул ўлчанаётган магнит майдони таъсирида сатҳлараро диполь ўтишлар пайтида ядролар томонидан юқори частотали энергияни ютиш ҳодисасига асосланган.

Бу усулдаги тесламетрларда ядролар прецессиясининг синхронлаш (диполларнинг бир хил тезлик ва фазада айланишини тахминлаш) юқори частотали генератор (ЮЧГ) нинг майдони ёрдамида бажарилади. Генераторнинг частотаси прецессия частотасига тенглаштирилади ва бу ҳолда резонанс рўй беради. Резонанс ҳосил бўлганлиги ЮЧ тебранишлар сатҳининг (амплитудасининг) сусайганлигидан билинади.



8.4 – расм. ЯМР ютилиши усулида магнит майдон параметрларини шлчаш

Бу ерда бир чулғамли ЯМР ўзгартгичи LC контурининг индуктивлиги сифатида ишлатилади. Бу ерда бир чулғамли ЯМР ўзгартгичи ЮЧГ LC контурининг индуктивлиги сифатида ишлатилиб, у ишчи модданинг устидан ўралган. Ростланувчан конденсатор билан генератор частотаси ва прецессия частотаси тенглаштирилганда резонанс ҳолати вужудга келади. Бу ҳолда контурнинг

асллиги (добротность) камаяди, чунки атом ядрори энергияни ютаётган бўлади.

Натижада контур кучланиши камаяди. Даврий равишда резонанс ҳосил қилиб туриш учун ўлчанаётган магнит индукцияси B_0 ПЧГ (паст частота генераторидан) тахминланаётган модуляция чулғами M ёрдамида кучсиз магнит майдони B_m билан модуляцияланиб туради. Юқори частотали сигнал юқори частоталар кучайтиргичи (ЮЧК), демодулятор ва паст частоталар кучайтиргичи (ПЧК) орқали резонанс индикатори (осциллограф ёки фазасезувчи тўърилагич) га берилади. Модуляциянинг бир даврида резонанс шароитлари икки марта такрорлангани учун, экранда ёйиш марказига нисбатан симметрик жойлашган икки сигнал (мусбат ёки манфий ярим тўлқинлар) нинг модуляцияловчи М.М. (B_m) нолга тенг пайтлари пайдо бўлиши резонанс юз берганидан далолат ҳисобланади. Ушбу ҳолдаги ЮЧГ частотаси ўлчанаётган ММ индукциясига пропорционал бўлади (8.4 - расм).

ЯМР ўзгартгичи чиқишидаги сигнал ифодасини Блох тенгламаларини ечиб топиш мумкин; сигналнинг максимал амплитудаси E_m резонанс шароитларида $f_r = f_{np} = B_0/(2\pi)$ ва юқори частотали М.М.нинг $B_{m1}=2/(2\pi)$ қийматда мавжуд бўлади:

$$E_m = B_0^2 H K_B V (8.10)$$

Ядровий магнит резонанс ютилиш усули 0.01 Тл ва юқори магнит индукцияларинини ўлчашда ишлайди. Ундан пастда ядровий магнитланиш сусайиши сабабли етарли сезгирликни тахминлаб бўлмайди. Юқори чегараси амалда чекламаган. 0,01 ... 1 Тл оралиғидаги ўлчашлар учун парамагнит тузларнинг сувлик эритмасидаги протонлар (водород ядросининг) резонансидан (0 ... 80 °C), дизел ёидаги парамагнит

тузлари эритмасининг протонлар резонансидан ($>150^{\circ}\text{C}$) ёки битумдаги парамагнит тузларининг протонлари резонансидан (250°C гача) фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Сувга ёки бошқа ишчи моддага парамагнит релаксация вақти (T_1) ни камайтириш ва оқибатда, ЯМР ютилиш сигналининг максимал қийматини олиш. Бироқ бу тузлар концентрациясининг ошиши табиий спин-спин релаксацияси вақти (T_2) ни ҳам камайтиради. Шунинг учун концентрациянинг энг маҳкул миқдорини топиш керак. Лаборатория шароитларида $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ нинг 0,16 М сувлик эритмаси энг мақсадга мувофиқ, чунки унинг магнит сингдирувчанлиги нолга яқин.

8.6. Электрон парамагнит резонанси (ЭПР) усули

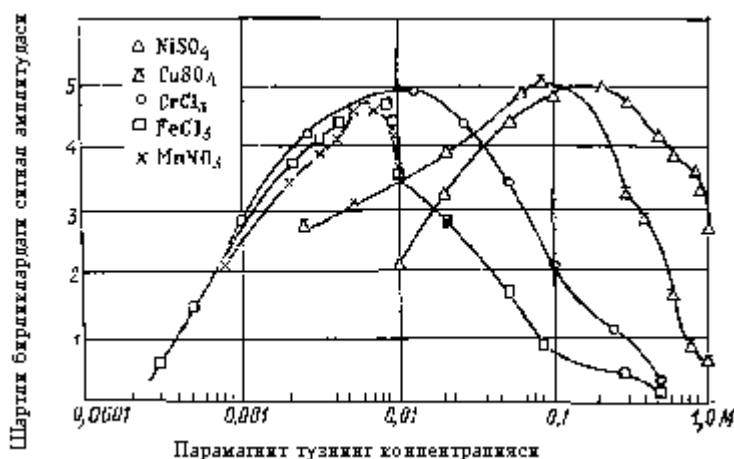
Усулда электрон қобик магнит моменти билан аниқланувчи электрон сатҳлараро резонанс ўтишлардан фойдаланилади. ЭПР ни жуфтлашмаган заррача (атомлар, ионлар ва ҳоказо) ларга эга бўлган моддаларда, яхни магнит моментига эга бўлган моддаларда кузатиш мумкин. Бундай моддаларга ўтиш гуруҳлари элементлари, эркин радикаллар, ишқорий эритмалар ва бошқалар киради.

Электрон магнитланиш ташкил этувчилари учун Блох формулалари тўла тўри келади. ЭПР усули билан улчаш ва бу усул асосида яратилган қурилмалар ЯМР ютилишига мос келади. Фарқи шунда холоски, бир хил ММ да ЭПР частотаси икки-уч тартибга ЯМР частотасидан юқори, чунки электроннинг гиромангнит нисбати γ_e протонникидан 660 марта катта: $\gamma_p / \gamma_e = 1,51927 \cdot 10^3$

ЭПР электр юритувчи кучини баҳолаш учун ЯМР никига мос формуладан фойдаланилади:

$$E_m = \pi \mu_0 \gamma B_0 \chi I_k \omega^2 R^2 / l;$$

Бу ерда $\omega, \chi, B_0, I_k, R$ ва l - мос ҳолда ишчи модданинг ЭПР частотаси, статик атом киритувчанлиги, Ернинг табиий магнит майдон индукцияси, кўндаланг (магнит майдон ҳосил қилувчи ток, соленоид радиуси ва узунлиги. ЭПР сигнали ЯМР сигналидан бир неча тартибга катта. Шунинг учун ЭПР ўзгартгичини жуда кичик ҳажмли ($0,1 \dots 1 \text{ мм}^3$) қилиб ясаш мумкин. Натижада бир жинсли бўлмаган ММлари индукциясини ҳам энг кичик оралиқларда ($10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$) ўлчаш мумкин. Ўлчашлар хатолиги $0,01 \dots 0,1 \%$ га боради. ЯМРникидан бироз каттароқ хатоликлар электрон гиромангнит нисбатни (γ_e) аниқлашдаги ноаниқликлар билан боғлиқ. ЭПР ўзгартгичлари учун ишчи восита сифатида органик радикаллар α - дефинил β -пикрилгидразил (ДФПГ) ва N- пикрин – g-аминокарбазин каби моддалар ишлатилади. Бу ҳолда ЭПР тесламетрларининг доимийси $C_0 = 2\pi/\gamma_e = 3,5685 \cdot 10^{-10} \text{ Тл/Гц}$ ($B = C_0 f$) га тенг. Релаксация вақтлари кам бўлгани учун бундай ЭПР тесламетрлар ёрдамида $10^{-4} \dots 10^{-2} \text{ Тл}$ лик индукцияларни 10^5 Гц частотали ўзгаришларини ҳам ўлчаш мумкин. 8.5 – расмда парамагнит тузлар концентрацияси ва сигнал амплитудаси орасидаги боғланиш кўрсатилган.



8.5 – расм. ЯМР сигнал амплитудасининг парамагнит тузлар концентрациясига боғлиқлиги

Ўлчашлар оралиғининг ва частотавий оралиқнинг чекланишлари ЭПР сигнали кенглиги ва частотаси ўлчанаётган магнит майдони.

Назорат саволлари

1. Магнит майдонларини қандай катталиклар тавсифлайди?

2. Сколяр вектор ва тензор катталиклар билан ифодаланиши мумкин бўлган магнит майдони катталиклари қайсилар?
3. Қандай магнит майдони катталикларини бевосита ўлчаш мумкин ?
4. Қандай муҳит магнит вакууми дейилади?
5. Қандай қийматлардаги магнит индукцияларини ўлчашга тўғри келади?
6. Магнит оқими кванти нима?
7. Магнит майдони параметрларини ўлчаш усулларини санаб беринг?
8. Магнит майдони параметрларини ўлчашнинг квант магниторезонанс усулларини тавсифлаб беринг ?
9. Магниторезонанс атамасининг моҳияти нимада?
10. Магнит резонанси қандай атом заррачаларида макроскотик ҳолда кузатилиш мумкин?
11. Лармор тенгламаси қандай катталикларни ўзаро боғлайди?
12. Ядровий индукция усулида паразит алоқаларни йўқотиш учун қандай чоралар кўрилади?
13. Ядровий магнит резонанс ютилиши усулининг моҳияти нимада?
14. Протонлар резонансини ҳосил қилиш учун қандай моддалар ишлатилади?
15. Электрон парамагнит резонансининг моҳиятини тушунтиринг?

Адабиётлар

1. Спектор Я.Г. «Электрические измерения физических величин» М: Энергоатомиздат 1987г
2. «Основы метрологии и электрические измерения», Б. Я. Авдеев, Е.М.Душин –Л.: Энергоатомиздат, 1987 г - 480 с.
3. «Электрические измерения», под.ред. Шмакова Е. Г., М.: Высшая школа, 1972.
4. «Электрические измерения», под.ред. Малиновского, М.: Энергоатомиздат, 1985 г.
5. «Электрические измерения электрических и неэлектрических величин» М.А. Гаврилюк, Е.Л. Полищук, С. С. Обозовский и др. Под.ред. Е.С. Полищука, Киев.: Высшая школа, 1984 г.
6. «Измерения в электронике: справочник», В. А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др., Под.ред. В. А. Кузнецова М.: Энергоатомиздат, 1987 г, 512 с.
7. В.М Шляндин «Цифровые измерительные устройства», М.: Высшая школа, 1981г, 335 с.

Сўз боши	5
Биринчи боб. Физикавий ўлчашлар	6
1.1. Асосий тушунчалар ва таърифлар	6
1.2. Ўлчашларни ташкил этиш ва режалаштириш	9
1.3. Ўлчаш хатоликлари	12
1.4. Систематик хатоликлар ҳамда уларнинг келиб чиқиш сабабларини топиш ва йўқотиш усуллари	15
1.5. Модификацияланган кичик квадратлар усули	20
Иккинчи боб. Кичик ток ва кучланишларни ўлчаш	25
2.1. Умумий маълумотлар	25
2.2 Кичик ток, заряд ва кучланишларни ўлчашнинг бевосита кучайтириб олиш усуллари	26
Учинчи боб. Кучайтиргичлар сезгирлигининг таҳлили	31
3.1. Кучайтиргичлар сезгирлигининг эришиш мумкин бўлган чегаравий бўсағаси	31
3.2. Спектрни ўзгартириб кучайтиргичларнинг сезгирлик чегарасини ошириш	35
3.3. Кичик сигналларни ўлчашда ҳалакитларга қарши чоралар	38
Тўртинчи боб. Катта ток ва кучланишларни ўлчаш	43
4.1. Масштабли ўзгартиргичлар қўллаш	43
4.2. Ток ва кучланишларни ўлчашнинг электромагнит усуллари	47
4.3. Катта токларни ядровий магнит резонанси (ЯМР) усулида ўлчаш	49
4.4. Компарация усули	51
4.5. Кучланишни зарядланган заррачаларни тезлаштириш усули билан ўлчаш	53
Бешинчи боб. Фаза силжиш бурчагини ўлчаш усуллари	55
5.1. Асосий тушунчалар	55
5.2. ФСБ ни осциллограф усулларида ўлчаш	55
5.3. ФСБ ни ток ёки кучланишга ўзгартириб аниқлаш усули	56
5.4. Фаза силжиш бурчагини кодга ўзгартириб ўлчаш	71
5.5. Фаза силжиш бурчагини мувозанатлаш усули билан ўлчаш	73
5.6. Автоматик мувозанатланувчи фазометр	74
Олтинчи боб. Қувват ва энергияни ўлчаш усуллари	84
6.1. Умумий маълумотлар	84
6.2. Электромеханик ваттметрлар	86
6.3. Уч фазали занжирдаги қувватни ўлчаш	87
6.4. Электрон кўпайтиргичларни қўллаш	88
6.5. Калориметрик усул билан қувватни ўлчаш	90
Еттинчи боб. Температурани ўлчаш	93
7.1. Умумий маълумотлар	93
7.2. Кенгайиш термометрлари	94
7.3. Механикавий термометрлар	94
7.4. Босимли термометрлар	95
7.5. Қаршиликли термоўзгартиргичлар	96
7.6. Термоэлектр ўзгартиргичлар	97
7.7. Нурланиш пирометрлари	100
Саккизинчи боб. Магнит майдон параметрларини ўлчаш	101
8.1. Умумий маълумотлар	101
8.2. Магнит майдон параметрларини ўлчашнинг квант магниторезонанс усуллари	102
8.3. Ядровий магнит резонанс (ЯМР) усули	103

8.4. Ядровий индукция усули	108
8.5. Ядровий магнит резонанс ютилиш усули	110
8.6. Электрон парамагнит резонанси усули (ЭПР)	113
Адабиётлар	116

Оглавление

Глава 1. Физические измерения	11
1.1. Основные определения и понятия	11
1.2. Планирование и организация измерения	15
1.3. Погрешности измерения	19
1.4. Систематические погрешности, методы исключения и исследования причин их возникновения	24
1.5. Модифицированный метод наименьших квадратов	31
Глава 2. Измерение малых токов и напряжений	36
2.1. Общие сведения	36
2.2 Методы усиления при измерении малых токов, зарядов и напряжений	37
Глава 3. Анализ чувствительности усилителей	43
3.1. Предельный достижимый порог чувствительности усилителей	43
3.2. Увеличение порога чувствительности усилителей преобразованием спектра	49
3.3. Защита от помех при измерениях малых сигналов	53
Глава 4. Измерения больших токов и напряжений	59
4.1. Применение масштабных преобразователей	59
4.2. Электромагнитные методы измерения токов и напряжений	65
4.3. Измерения больших токов методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР)	68
4.4. Метод компарации	71
4.5. Измерения напряжения методом ускорения заряженных частиц	73
Глава 5. Методы измерения угла фазового сдвига (УФС)	75
5.1. Основные понятия	75
5.2. Измерение УФС осциллографом	75
5.3. Метод определения УФС преобразованием в ток или в напряжение	76
5.4. Измерение УФС преобразованием в код	78
5.5. Измерение УФС методом уравнивания	80
5.6. Фазометр с автоматическим уравниванием	81
Глава 6. Методы измерения энергии и мощности	84
6.1. Общие сведения	84
6.2. Электромеханические ваттметры	86
6.3. Измерение мощности в трёхфазной цепи	87
6.4. Применение электронных умножителей	88
6.5. Калориметрический метод измерения мощности	90
Глава 7. Измерение температуры	93
7.1. Общие сведения	93
7.2. Термометры расширения	94
7.3. Механические термометры	94
7.4. Манометрические термометры	95
7.5. Термопреобразователи сопротивления	96
7.6. Термоэлектрические преобразователи	97
7.7. Пирометры излучения	100
Глава 8. Измерение параметров магнитного поля	101
8.1. Общие понятия	101
8.2. Квантовые магниторезонансные способы измерения параметров магнитного поля	102
8.3. Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР)	103
8.4. Метод ядерной индукции	108
8.5. ЯМР метод поглощения	110

8.6. Метод электронно-парамагнитного резонанса (ЭПР)	113
Литература	116

Chapter 1. Measurement in physics.	11
1.1. Basic definitions and conceptions	11
1.2. Measurement planning and organization.	15
1.3. Measurement errors.	19
1.4. Systematic error, methods of exception and experiments of the rising reasons.	24
1.5. Modified method of the least squares.	31
Chapter 2. Measurement of the low current and tensions.	36
2.1. General information.	36
2.2. Methods of strengthening of low current, charge and tensions during the measurements.	37
Chapter 3. The analysis on sensitivity of boosters.	43
3.1. Utmost attainable baffle of sensitivity of boosters.	43
3.2. The increasing of sensitivity baffle of boosters by spector creating.	49
3.3. Obstacle protection within small signal measurements.	53
Chapter 4. Measurements of high current and tensions.	59
4.1. Implamentation of large scale transformers.	59
4.2. Electromagnet methods of current and tension measurements.	65
4.3. Measurement of hogh tension current via method of Nuclear Magnet Resonance (NMR)	68
4.4. Method of comparison.	71
4.5. Tension measurement via method of speeding of chrged parts.	73
Chapter 5. Measurement methods of Phase Shift Angle (PSA).	75
5.1. Basic conseptions.	75
5.2. Measurement of PSA with oscilograph.	75
5.3. Identifying method of PSA via recreating either in current or in tension.	76
5.4. PSA measurement via recreating in current code.	78
5.5. PSA measurement method of equilibration.	80
5.6. Phasemetr with automatic equilibration.	81
Chapter 6. Measurement methods of energy and capacity.	84
6.1. General information.	84
6.2. Electromagnet vattmeters.	86
6.3. Capacity measurement in three phase chain.	87
6.4. Implication of electromultiplier.	88
6.5. Collorimeyric method of capacity measurement.	90
Chapter 7. Temperature measurement.	93
7.1. General information.	93
7.2. Thermometers of expansion.	94
7.3. Mechanic thermometers.	94
7.4. Manometric thermometers.	95
7.5. Thermotransformers of resistence.	96
7.6. Thermoelactric transformers.	97
7.7. Parameters of radiation. (emanation)	100
Chapter 8. Measurement of parameters of magnet field.	101
8.1. General conceptions.	101
8.2. Quantum magnet resonance methods of measurements of magnet field parameters.	102
8.3. Method of Nuclear Magnet Resonance (NMR).	103
8.4. Method of nuclear induction.	108
8.5. NMR (Nuclear Magnet Resonance) method of absorbation.	110

8.6. Method of Electro-Paramagnet Resonance (EPR).	113
Selected bibliography.	116

Ўқув – услубий нашр

Халикулов Ибодулла Бутаевич

**ФИЗИКАВИЙ ЎЛЧАШЛАРНИНГ ЗАМОНАВИЙ
УСУЛЛАРИ**

Олий ўқув юртлари учун дарслик

Мухаррир

К. Амонов

Техник муҳаррир:

Д. Мамажонова

Макет тайёрловчи:

Мусахҳих:

Теришга берилди

Ўлчови

Буюртма

Босишга рухсат этилди

Ҳажми

Адади

Баҳоси шартнома асосида

ФарПИ «Техника» ноширлик бўлими. Фарғона – 712028, Фарғона кўчаси, 86-уй,
Маъмурий бино.

Фарғона политехника институти босмахонаси.
712000 Қиргули тумани, Фарғона кўчаси, 6-уй.
