

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА

МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ҚАРШИ МУХАНДИСЛИК ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

“Электр энергетика” кафедраси

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНИНГ НАЗАРИЙ АСОСЛАРИ

Фанидан 1-қисм бўйича
(Маърузалар матни тўплами)

Қ а р ш и - 2007

Тузувчи:

Ю.Д.Холиков

Тақризчилар:

Ғоибов Т.Ш.
Ҳамраев Ж.Ҳ.

«Электротехниканинг назарий асослари» фанидан «маърузалар матнларининг тўплами», «Электроэнергетика» йўналиши бўйича бакалаврлари таълим олаётган Олий техника ўқув юрти ва махсус техника коллежларининг талабалари, ҳамда ўқитувчилари учун мўлжалланган бўлиб, Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим Вазирлиги томонидан 1999 йили тасдиқланган Давлат таълим стандарти дастўри асосида ёзилган.

Тўпламда электротехниканинг назарий асосларига тегишли қонуниятларнинг яратилиш тарихи, электр ва магнит майдонларининг физик моҳиятлари, чизиғий электрик занжирлар ва улардаги жараёнлар, классик қонунларнинг моҳияти ҳақидаги маълумотлар ўз аксини топган бўлиб, тўлиқ курснинг 1-қисмга тегишли маърузалар батафсил ёритилган.

Мазкур маъруза матнлари тўплами «Электр энергетика» ва «Мухандис техника» факультети услубий кенгашлари йиғилишларига кўриб чиқилиб чоп этишга тавсия этилган.

СЎЗ БОШИ

Олий таълимнинг поғонали ва узлуксиз тизимига ўтишида (бакалавр-муҳандис-магистр) «Электротехниканинг назарий асослари» курсининг роли янада ўсади, чунки бакалаврлар биринчи навбатда фундаментал фанлардан чуқур билимга эга бўлишлари керак.

Электр энергетикаси ҳозирги замон энергетикасининг ва электроникасининг асосини ташкил этиб, усиз ҳалқ хўжалигининг барча соҳаларини тасаввур қилиб бўлмайди.

«Электротехниканинг назарий асослари» курси асосан тўртта қисмдан иборатдир. Бакалавр йўналишларига ажратилган вақтга боғлиқ ҳолда фақат уч қисми ўқилади. Коллежларда таълим олаётган талабалар учун эса асосий тушунчаларни қисқартирилган соатли дастур асосида ўқитилади.

Мазкур тўпламга биринчи қисмга тегишли маълумотлар, яъни «Электромагнит майдон тушунчаси ва қонуниятлари ҳамда электр ва магнит занжирлари назарияси» деб номланган қисмнинг тўлиқ маълумотлари, иккинчи «Чизиқли электр занжир назарияси» қисмидан ҳам кўпгина маълумотлар тўпламда акс эттирилган. Иккинчи қисмдан чизиқли электр занжирлар хусусиятлари ва жараёнларни ҳисоблаш усуллари келтирилган.

Қаралаётган масалаларнинг мураккаблиги туфайли маълумотлар қисқартириб берилган. Шунинг учун муаллифлар тўпламдаги камчиликларни туғирлаш ва таклифлар беришда қатнашишингизни сурайди. Такриз ва таклифларни ҚМIIИ МТФ «Электр энергетикаси» кафедрасига юборишингиз мумкин.

I. КИРИШ

Мавзу 1.1. Фаннинг қисқача ривожланиш тарихи. «ЭТНА» фанининг электроэнергетика йўналиши фанлари билан боғлиқлиги.

Режа:

1. Фаннинг қонуниятлари яратилиши ҳақидаги тарихий маълумотлар.
2. «ЭТНА» фанини электроэнергетика йўналиши фанлари билан боғлиқлиги.
3. Фаннинг электротехника умумий таълим тармоғида тутган ўрни.

Таянч иборалар: электр майдон, магнит майдон, электр заряд, резисторлар, индуктив чўлғамлар, актив қаршилик, индуктив қаршилик, сиғим қаршилик, конденсаторлар, ферромагнит.

1. Фаннинг қонуниятлари яратилиши ҳақидаги тарихий маълумотлар.

Ўзбекистон мустақилликка эришганидан сўнг ўтган вақт давомида бутун халқ хужалигини кенг электрлаштириш бўйича кўпгина муҳим ишлар амалга оширилди.

Мухандис-магистр ва бакалаврлар мамлакатимиз олдида турган йирик вазифаларни илмий асосларда муваффақиятли ҳал қилишлари учун кенг назарий билимларга эга бўлишлари ва уларни амалиётда тадбиқ эта олишлари зарур ва шартдир. «Электротехниканинг назарий асослари» курсида назарий масалаларни кўриб чиқиш амалиётдаги масалалар билан ўзвий боғлиқлиги сабабли ушбу курс мухандис ва бакалавр-электрикларни тайёрлашда муҳим аҳамият касб этади.

Россияда электр тўғрисидаги дастлабки изланишлар рус олими, академик М.В.Ломоносов томонидан амалга оширилган. Унинг таклифига кўра 1755 йилда Россия Фанлар академияси «Электр кучларининг ҳақиқий сабабларини аниқлаш ва унинг тўғри назариясини яратиш» мавзусида танлов эълон қилган. М.В.Ломоносовнинг замондоши рус академиги Ф.Эплинусга термоэлектр ҳодисалари ва электростатик индукцияни кашф этилиши тегишлидир. Айниқса унинг Россия Фанлар академиясида 1758 йилда «Электр кучлари ва магнитизмни бир хиллиги» мавзусидаги маърузаси диққатга сазовордир.

Электр зарядланган жисмлар ва магнит кутбларининг механик таъсирини микдорий нисбатларини биринчи бўлиб француз олими Кулон 1875 йилда аниқлади. Шу вақтнинг ўзида Кулон электр зарядлари ва магнит массалари ўртасидаги катта тафовутлар борлигига эътиборни қаратди.

Магнит ҳодисаларининг ҳақиқий табиатини очилиши ўтган XIX асрнинг бошларига тўғри келди.

1820 йилда Эрстед электр токининг магнит стрелкасига механик таъсирини курсатувчи тажрибаларни ўтказди. Шу йилнинг ўзида Ампер токли соленоид ўзининг таъсирига кўра магнитга ўхшашини исботлади ва доимий магнитларни ҳосил бўлишининг ҳақиқий сабаби магнит жисм ичидаги қандайдир кичик элементар контурлардан оқётган электр токидир деган фаразни ўртага ташлади.

Шундай қилиб, амалда магнит массалари мавжуд эмас эканлиги тўғрисидаги тасаввурга келинди.

1831 йилда Фарадей электромагнит индукцияси ҳодисасини кашф этди.

1833 йилда рус академиги Э.Х.Ленц биринчи бўлиб ўта муҳим ҳолатни, яъни Эрстед ва Фарадей томонидан кашф этилган ҳодисаларнинг умумийлиги ва бири-бирига айланиши мумкинлигини кашф этди. Э.Х.Ленц электродинamikанинг фундаментал тамойили – индукцияланган токнинг йўналишини аниқловчи электромагнит инерцияси тамойилини яратди.

Электромагнит майдони назарияси Максвелл томонидан 1873 йилда “Электр ва магнетизм тўғрисида трактат” асарида яратилди.

Ушбу назариянинг янада ривожлантирилиши ва амалдаги тажрибалар билан тасдиқланиши 1886-89 йилларда немис олими Г.Герц томонидан амалга оширилди.

Электромагнит ҳодисаларига асосланган назарияларнинг тараққиёти даврида электр ва магнит занжирлари назарияси ҳам яратилди ва ўз ривожини топди. Электр занжирлари назариясига 1827 йилда Ом, 1841 йилда Жоуль, 1842 йилда Ленц ва 1847 йилда Кирхгофлар томонидан кашф этилган қонунлари асос солган. Ушбу назариянинг кейинги тарққиётига кўпгина давлатлар олимлари катта ҳисса қўшдилар.

Ҳозирги замонавий электроэнергетика тизими, радиотехника ва электр ўлчов аппаратлари, автоматли назорат қилиш ва бошқариш тизимлари, тез ҳаракат қилувчи ЭХМ лари ва бошқа қурилмаларнинг ўта мураккаблашиб кетиши шароитида таҳлил

қилишнинг шундай умумлаштирувчи усуллари яратиш зарурияти ҳосил бўлмоқдаки, улар ёрдамида ушбу мураккаб тизимлар ва электр занжирларининг таркибий қисмлари бўлган тўлиқ алоҳида комплекслар ўзларининг умумлаштирилган параметрлари ёрдамида таҳлил қилинади. Занжир элементларининг шундай комплекслари бўлиб, масалан, электр энергиясини ишлаб чиқарувчи генерация қурилмалари, электромагнит энергиясини ўзатувчи ёки ўзгартирувчи қурилмалар (Электроэнергетика тизимида); радио ва телеэшиттиришлар тизими, симли алоқа тизимлари ва бошқа назорат ҳамда бошқаришга мўлжалланган замонавий тизимларда электромагнит сигналларни ишлаб чиқарувчи генераторлар, кучайтиргич ва ўзгартиргичлар: ЭХМ ларидаги дифференциялаш, интеграциялаш, мантикий жараёнларни бажарувчи блоклар ва ҳоказолар қабул қилиниши мумкин.

Ушбу алоҳида комплекслар ўз таркибига занжирнинг алоҳида чизиқли элементларини олади. Масалан, параметрлари токка боғлиқ бўлмаган резисторлар, индуктив чўлғамлар, конденсаторлар ва чизиқли бўлмаган, параметрлари ток ёки кучланишга боғлиқ бўлган электрон лампалар, транзисторлар, ферромагнит ўзакли индуктив ғалтаклар ва ҳоказо. Ушбу элементлар комплекслар ичида ҳар хил усулларда бир-бири билан боғланиб анча мураккаб электр занжирларини ҳосил қилади. Комплексларнинг ўзлари ҳам ўз навбатида ҳар-хил усулларда бир-бирига боғланиб мураккаб тизимларни ҳосил қилади.

Мураккаб тизимларни таҳлил қилишнинг умумлаштирилган усуллари ҳам электр занжирларининг асосий физикавий қонунлари - Ом ва Кирхгоф қонунларига асосланган.

Баён этилганлар юқори даражали илмий электротехник таълим олишни ташкил этишга нисбатан алоҳида талабларни кўяди. Мана шу талабларга жавоб берувчи фан сифатида «Электротехниканинг назарий асослари» фани яратилган ва ривожланиб келмоқда.

Ушбу фаннинг биринчи, энг қисқа, қисми «Электромагнит майдон назарияси ҳамда электр ва магнит занжирлар назариясининг асосий тушунчалари ва қонунлари» деб номланиб, ўз ичига физика курсидан маълум бўлган тушунча ва билимлардан фойдаланган ҳолда электромагнит ҳодисаларни ёритиб берувчи тушунча ва қонунларни умумлаштиради, электр, магнит занжирлари назариясига тегишли тушунча ва қонуниятларни ривожлантириб берувчи таърифлар ва аниқликларни ўз ичига олади. Биринчи қисм «Физика»

ва «Электротехниканинг назарий асослари» фанлари ўртасида боғловчи курс вазифасини ўтайди ҳамда электр ва магнит занжирларида, электромагнит майдонларида содир бўладиган жараёнлар тўғрисида физикавий тушунчалар ва тасаввурларни беради.

2. «ЭТНА» фанини электроэнергетика йўналиши фанлари билан боғлиқлиги.

«Электротехниканинг назарий асослари» фани умум техника фанлари ичида Электроэнергетика, Электротехника, Электромеханика, Автоматика, Телемеханика, Информацион ўлчаш ва ҳисоблаш техникаси мутахассисликларига кадрларни тайёрлашда асосий ўринни эгаллайди.

Хусусан, «Электроэнергетика» йўналишида ўқитилаётган «Электротехника материаллари», «Электроника асослари», «Электромеханика», «Электр энергиясини ишлаб чиқариш, ўзатиш ва тақсимлаш», «Ўтиш жараёнлари» каби фанлар билан ўзвий боғланган. Санаб ўтилган фанлардан назарий билимларни «Электротехниканинг назарий асослари» фанидаги дастлабки билимларсиз эгаллаб бўлмайди. Аммо «ЭТНА» курсини ҳам «Физика», «Олий математика» курсларидаги тегишли назарий маълумотларни тушунмасдан тўлиқ урганиб бўлмайди. Фанни чуқур ўрганиш учун лаборатория ишларининг аҳамияти бекиёсдир. Аниқ бажарилган тажриба ишлари талабанинг фикрлашига катта ижобий таъсир курсатади. Шу билан бир қаторда ўқитувчи иштирокида ва мустақил топширик сифатида олинган ҳисоб-графика ишларини бажариш талабанинг дунё қарашини ҳамда мантикий фикрлашини ривожлантиради.

3. Фаннинг электротехника умумий таълим тармоғида тутган ўрни.

ҳар қандай занжирдаги энергетик жараёнларни тўғри тушуниб етмасдан электр энергиясини ишлаб чиқариш, ўзатиш ва истеъмол қилишнинг туб моҳиятини англаш мумкин эмас. Электр энергиясининг мураккаб қирраларидан унинг кўзга кўринмаслиги, ранг ва хиди йўқлиги, энг асосийси инсон танаси билан токли ўтказгичга тегиши натижасида сезиши ҳисобланади. Кўп ҳолларда инсоннинг ток таъсирига тушиб қолиши салбий оқибатларга олиб келади. Занжирдан ток юриши учун учта асосий шартнинг

бажарилиши ҳар бир электр энергетикаси қурилмасига тегишли.
Бўларга:

- 1) ўзгарувчан ёки ўзгармас ток манбасининг мавжудлиги;
- 2) ўтказгич ва истеъмолчининг мавжудлиги;
- 3) 1 ва 2 даги шартлар ўзаро контур ҳосил қилиши ҳамда ушбу контурнинг берк бўлиши киради.

Берк контурлардаги электромагнит энергиясининг занжирнинг асосий элементлари ҳисобланган актив қаршилиқ (r), индуктив қаршилиқ (L) ва сўғим қаршилиги (C) да ўзгартирилиши, бу жараёнлардаги қонуниятлар таҳлили мазкур тўпламда қаралади. Назарий билимларни пухта эгаллаш талабаларни бошқа мутахассислик фанларидан сифатли билим олиши учун асос бўлади. Шу сабабли «Электротехниканинг назарий асослари» фанининг умумий таълим тармоғида тутган ўрни бекиёсдир.

Назорат саволлари:

1. Электр токи ҳақидаги дастлабки қонуниятлар қачон яратилган?
2. Кулон қонунининг физик моҳиятини тушунтиринг.
3. Электр ва магнит майдонлари борлигини исботловчи тажриба ким томонидан ва қачон амалга оширилган?
4. «ЭТНА» фанини электроэнергетика йўналиши фанлари билан боғлиқлигини тушунтиринг.
5. Фаннинг электротехника умумий таълим тармоғида тутган ўрнини айтинг.
6. Электр занжирлари назарияси асосларини қайси қонунлар ташкил этади?
7. Занжир элементлари комплексининг қайси элементларини сиз биласиз?
8. Эрстеднинг тажрибаларини айтинг.
9. Электр, магнит майдонининг классик назарияси қайси асарда илк бор умумлаштирилган?
10. Электр энергиясининг мураккаб қирраларига қайси томонлари мансубдир.

II. ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОН НАЗАРИЯСИ ВА ЭЛЕКТР ҲАМДА МАГНИТ ЗАНЖИРЛАР НАЗАРИЯСИНING АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАРИ ВА ҚОНУНЛАРИ

Мавзу 2.1. Электр занжирлари назариясида қўлланиладиган электромагнит майдон тушунчаси ва интеграл катталиклар.

Режа:

1. Электр ва магнит майдонлари, ўзига хосликлари ҳамда уларни яхлит электромагнит майдонининг иккита томони сифатидалиги.
2. Электромагнит майдон назарияси ҳамда электр ва магнит занжирлари назарияси масалаларининг умумий физик асоси.
3. Назарияни асослашдаги интеграл катталиклар.

Таянч иборалар: магнит майдон, электр майдон, магнит индукцияси, электр заряд, гальваник элементлар, электролизли қурилмалар, резисторлар, индуктив чўлғамлар, актив қаршилик, индуктив қаршилик, сиғим қаршилик, конденсаторлар.

1. Электр ва магнит майдонлари, ўзига хосликлари ҳамда уларни яхлит электромагнит майдонининг иккита томони сифатидалиги.

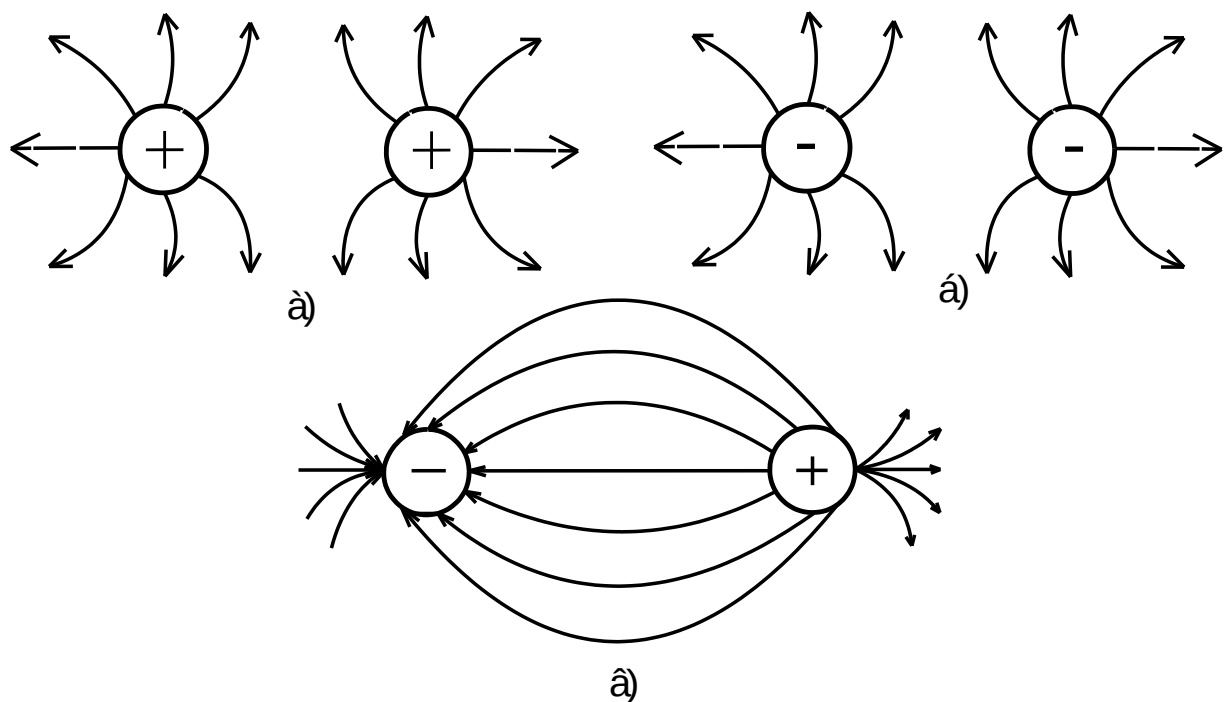
Электр ва магнит майдонлари, тарихий маълумотлардан ҳам кўринадики, кўп йиллар алоҳида-алоҳидаҳодиса, воқийлик сифатида ўрганиб келинган. Электр майдонини қадимги Юнонистонда ҳам жисмларни зарядланиб қолиши тажрибалари орқали кузатишган. Аммо бу кузатувлардан назария асосларини ва қонуниятлари яратилмаган. Ҳаттоки «атом» - бўлинмас заррачадир деган нотўғри тасаввур икки ярим минг йилдан кўп мавжуд бўлди. XIX аср охири XX асрда электр ва магнит майдонини назариясини яратиш, амалда қўллаш бўйича мисли қурилмаган инқилобий кашфиётлар ва янгиликлар яратилди. Айниқса электромагнит майдони таъсирида жисмларга ишлов бериш, уларнинг хоссаларини ўзгартириш инсоният учун фойдали янгиликлар яратилишига олиб келди.

Электр майдонининг ўзига хосликлари ҳам мавжуд. Ушбу майдоннинг куч чизиқлари узлуксиз бўлиши билан бир қаторда (яъни

электр майдони берк ҳалқа тарзида тарқалади) уни аниқ қутбларга ажратиш мумкин. Исталган катталиклардаги заррачаларда мусбат ва манфий қутбларни яққол ажратиб, ҳатто уларнинг ўзаро таъсирлашишини ҳам кузатишимиз мумкин. Ушбуҳодисани 1-расмда кўрсатишга ҳаракат қиламиз.

Ушбу расмнинг а) ва б) тасвирларидан кўринадики, бир хил ишорали зарядларнинг электр майдон куч чизиқлари бир-биридан итарилади. Расмнинг в) тасвирида турли хилдаги ишорали заррачаларнинг электр майдон куч чизиқлари бир-бирига тортилади, яъни мусбат ишорали заряддан чиқиб манфий ишорали зарядда якунланади. Электр майдонининг бу хоссасидан амалда кўп фойдаланилади. Масалан, гальваник элементлар, электролизли қурилмалар, электр кинетик таъсирли ҳамда электрон нурли қурилмалар ва бошқалар.

Магнит майдонининг ўзига хосликлари ҳам мавжуд. Унинг шимолий ва жанубий қутблари борлиги ва улар орасида магнит майдони куч чизиқларининг беркилиши қаралади. Аммо, электр майдонидан фарқли равишда, магнит майдонини исталганча кичик заррачага майдаланган магнит хоссали материалларда ҳам алоҳида (яхлит) шимолий ва жанубий қутбларга ажратиб бўлмайди. Энг кичик заррачада ҳам қутблар жуфтлиги сақланиб қолади, яъни N–S ёки S–N.



1-расм.

Электр ва магнит майдонларини яхлит табиатга эга эканлигини ва улар бир-бири билан фақат ҳаракатланиш орқали чамбарчас боғланишини кашф этиш шарафига Фарадей муяссар бўлган. У 1831 йилда электромагнит индукция қонунини эълон қилди.

Таъриф: ҳаракатдаги электр майдони ўз атрофида магнит майдони ҳосил қилади ва аксинча вақт бўйича ўзгарувчи магнит майдони таъсирида электр майдони ҳосил бўлади.

2. Электромагнит майдон назарияси ҳамда электр ва магнит занжирлари назарияси масалаларининг умумий физик асоси.

Электромагнит майдони энергия ёки сигналларни ўзатувчи ёки ўзгартирувчи техник ва физик қурилмаларда қўлланадиган асосий физикавий агентдир. Электромагнит майдони билан боғлиқ жараёнлар электромагнит майдонини вақт ва фазода тўлиқ ёритиб берилишини тақозо этади. Аниқ қурилмалардаги электромагнит ҳодисаларни ёритиб беришдаги мураккабликлар ушбу жараёнларни ҳисоблашнинг вақтга боғлиқ ҳолда усулларини қидириб топиш вазифасини қўядики, бу эса электр занжирлар назариясини ривожлантириш билан боғлиқдир.

Электромагнит майдонининг у ёки бу хусусиятларини ўзида акс эттирувчи электр занжирларининг элементи сифатида аниқ қурилмаларни ажратиб берилган функцияларни бажарувчи янги мураккаб асбоб ва жиҳозларни яратиш учун электр занжирлари назариясидан фойдаланиш мумкинлигига эришамиз.

Электр занжирлари назарияси айнан электр магнит жараёнлари ҳисобини соддалаштириш имконини бергани учун ҳам асосан катта ривожланишга эга бўлди. Шу билан биргаликда бу каби соддалаштиришнинг замирида баъзи томонларни ҳисобга олмаслик ётишини тушуниш керак бўлади.

Электромагнит майдони материянинг бир тури бўлиб, ҳар бир нуқтада “Электр майдони” ва “Магнит майдони” номларини олган иккита вектор катталиқ билан тавсифланади. Электромагнит майдони бўшлиқда $C=2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ тезлик билан тарқалади.

Яхлит электромагнит майдонининг иккита томони бўлган электр ва магнит майдонларини намоён қилиш учун уларнинг ўзини сездирувчи у ёки бу хоссаларидан фойдаланилади.

Таъриф: Электромагнит майдоннинг икки томонидан бири ҳисобланган электр майдони деб, электр зарядли заррачага заррачанинг зарядига пропорционал ва унинг тезлигига боғлиқ

бўлмаган куч билан таъсир этувчи тавсифга эга бўлган майдонга айтилади.

Электр майдонини тавсифловчи асосий физик катталиқ мавжуд бўлиб, у электр майдон кучланганлиги номини олган.

Таъриф: Электр майдон кучланганлиги электр майдонини тавсифлайдиган ва электр майдони томонидан зарядли заррачага таъсир этувчи кучни аниқлайдиган вектор катталиқдир.

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0 \quad (2.1.1)$$

Заряд нолга интилганда лимитни қўллаш орқали қуйидаги ифодани ёзамиз:

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \vec{F} / q_0 \quad (2.1.2)$$

Таъриф: Электромагнит майдонининг икки томонидан бири ҳисобланган магнит майдони деб зарядли заррачага унинг тезлиги ва заррачанинг зарядига пропорционал тарзда куч билан таъсир этувчи тавсифга эга бўлган майдонга айтилади.

Магнит майдонини тавсифловчи асосий физик катталиқ мавжуд бўлиб, у магнит индукцияси деб аталади.

Таъриф: Магнит индукцияси магнит майдонини тавсифлайдиган ва магнит майдони томонидан ҳаракатдаги зарядли заррачага таъсир этувчи кучни аниқлайдиган вектор катталиқдир.

$$\vec{B} = \frac{F_2}{q \vec{V}} \quad (2.1.3)$$

Бир жинсли бўлмаган майдонда ўтказгич бўлакчасининг лимити нолга интилаётган ҳолатни қуйидагича ифодалаймиз:

$$B = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta F_2}{i \Delta l} \quad (2.1.4)$$

3. Назарияни асослашдаги интеграл катталиқлар.

Интеграл катталиқлар икки хилда бўлади. Биринчиси бу аниқ интеграллар, иккинчи ноаниқ интеграллар. Аниқ интегралда интегралланаётган оралиқнинг қуйи ва юқори чегаралари берилади. Масалан:

$$I = \int_a^b f(x) dx \quad (2.1.5)$$

Ихтиёрий олинган бу ифодада a қуйи чегара бўлса, b юқори чегара ҳисобланади. Ноаниқ интегралда қуйи ва юқори чегаралар курсатилмайди.

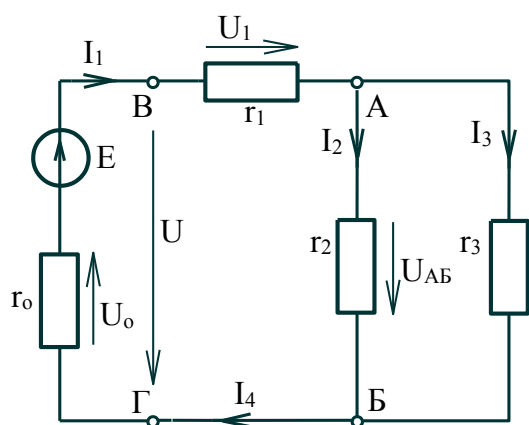
Электромагнит майдонини қараганда, ўзига хос мураккаблик мавжуд бўлиб, маълум берк юзадаги катталиқнинг интегралли қўрилиши мумкин. Бу интеграл $\oint$ қўринишда бўлса, бунда S юзани «О» белги эса берк контурни ифодалайди. Олий математика курсида интегралнинг асосий хоссалари батафсил қаралади. Электротехникада муҳитдаги жараёнлар узлуксиз кечади ва бу жараёнларда олдинги ҳолат параметрига вақт ўтгандаги ҳолат параметри йиғинди бўлиб қўшилади (ёки айрилиши ҳам мумкин, масалан конденсаторнинг зарядсизланиши). Жоуль-Ленц қонунининг интеграл ифодасини ёзамиз.

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I^2(\tau) \cdot R(\tau) \cdot d\tau \quad (2.1.6)$$

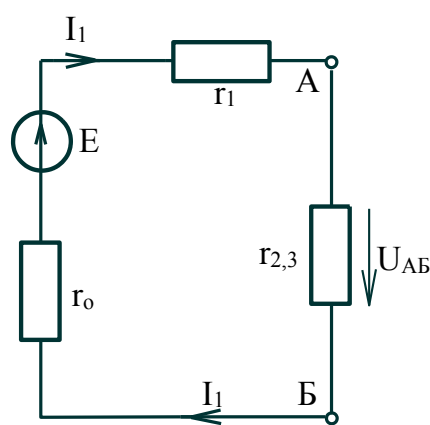
Яъни ўтказгичдан ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори τ_1 да τ_2 вақт оралиғида интеграл катталиқ бўйича ўзгаради. Мазкур тўпламнинг 2.3 мавзусида баъзи интеграл тушунчалардан мисоллар келтирилган.

1) масала. Электр юритувчи кучи $E=120$ В ва ички қаршилиги $r_0=2$ Ом бўлган манба занжирга (2-1-расм) уланган, занжир $r_1=18$ Ом, $r_2=100$ Ом, $r_3=150$ Ом.

Занжирнинг ҳамма қисмларида ток, истеъмолчилар ва манба қисмларидаги кучланишлар, шунингдек, манбанинг ва ҳамма истеъмолчиларнинг қуввати ҳисоблансин.



2-1-расм. Кучланиш манбаи тармоқланган занжир.



2-2-расм. Занжирнинг содда-лаштирилган схемаси.

1. Занжирнинг умумий қаршилигини ҳисоблаш. Схеманинг айрим қисмларидаги кетма-кет ва параллел уланган қаршиликларни уларнинг умумий қаршиликлари билан алмаштириб, схемани соддалаштириш мумкин.

Бунинг учун r_2 ва r_3 қаршиликларни уларнинг умумий қаршилиги билан алмаштирамиз:

$$r_{2,3} = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3} = \frac{100 \cdot 150}{100 + 150} = \frac{15000}{250} = 60 \text{ Ом}$$

Бундай алмаштиришдан сўнг оддий тармоқланмаган занжир ҳосил бўлади (2-2-расм).

2. Токларни ва кучланишларни ҳисоблаш. Токлар қандай кетма-кетликда ҳисобланади? Энг аввал соддалаштирилган схемадаги токни аниқлаймиз (2-2-расм),

$$I_1 = \frac{E}{r_1 + r_{2,3}} = \frac{120}{2 + 18 + 60} = 1,5 \text{ А},$$

сўнггра дастлабки схемага ўтамиз (2-1-расм), аввал кўрсатилганидек, бу схема учун

$$I_2 + I_3 = I_1 \quad (1)$$

ёки

$$I_2 + I_3 = 1,5 \text{ А} \quad (2)$$

Бошқа томондан, параллел шохобчаларда токлар шохобчаларнинг қаршиликларига тескари пропорционал ёки

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{r_3}{r_2} = \frac{150}{100} = 1,5 \quad (3)$$

(чунки $U_{BA} = r_2 I_2 = r_3 I_3$), бундан

$$I_2 = 1,5. \quad (4)$$

(2.2) тенгламадаги I_2 токни унинг (2.4) даги қиймати билан алмаштириб, қўйидагиларни ҳосил қиламиз: $1,5 I_3 + I_3 = 1,5$. ёки $I_3 = 1,5 / 2,5 = 0,6 \text{ А}$.

Ҳамма қаршилигларда кучланиш пасайишини аниқлаймиз (2-1-расм):

$$U_1 = r_1 I_1 = 18 \cdot 1,5 = 27 \text{ В};$$

$$U_o = r_o I_1 = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ В};$$

$$U_{AB} = r_2 I_2 = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ В}.$$

Манбанинг ВГ қисмларидаги кучланиш:

$$U = E - U_o = 120 - 3 = 117 \text{ В}.$$

3. Қувватни ҳисоблаш. Манба ҳосил қиладиган қувват $P_m = EI_1 = 120 \cdot 1,5 = 180 \text{ Вт}$. Ички қаршиликда исроф бўладиган қувват $P_o = r_o(I_1)^2 = 2 \cdot (1,5)^2 = 4,5 \text{ Вт}$. Демак, манбанинг ташқи занжирга берадиган қуввати

$$P = P_m - P_o = 180 - 4,5 = 175,5 \text{ Вт}.$$

Бу қувватни бошқача ҳисоблаш ҳам мумкин:

$$P = UI = 117 \cdot 1,5 = 175,5 \text{ Вт}.$$

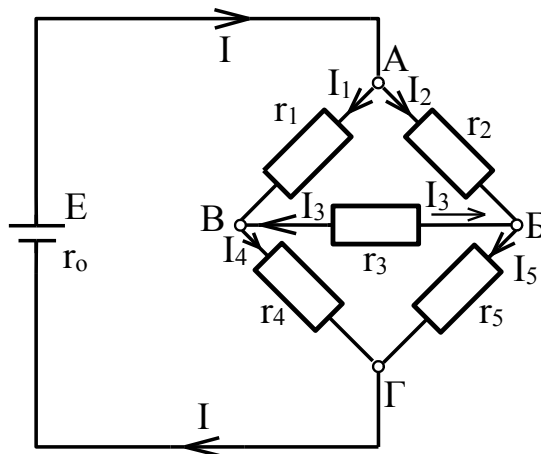
Бошқа томондан:

$$P = r_1 I_1^2 + r_{2,3} I_1^2 = (r_1 + r_{2,3}) I_1^2 = (18 + 60) \cdot 1,5^2 = 175,5 \text{ Вт}.$$

Занжирнинг тўғри ҳисобланганлигини қандай текшириш мумкин?

Бунинг учун қувватлар балансини тузиш лозим. Манба берадиган қувват $P_m - P_o = 175,5 \text{ Вт}$ ва истеъмолчиларнинг қуввати $P = 175,5 \text{ Вт}$, яъни баланс тўғри келади.

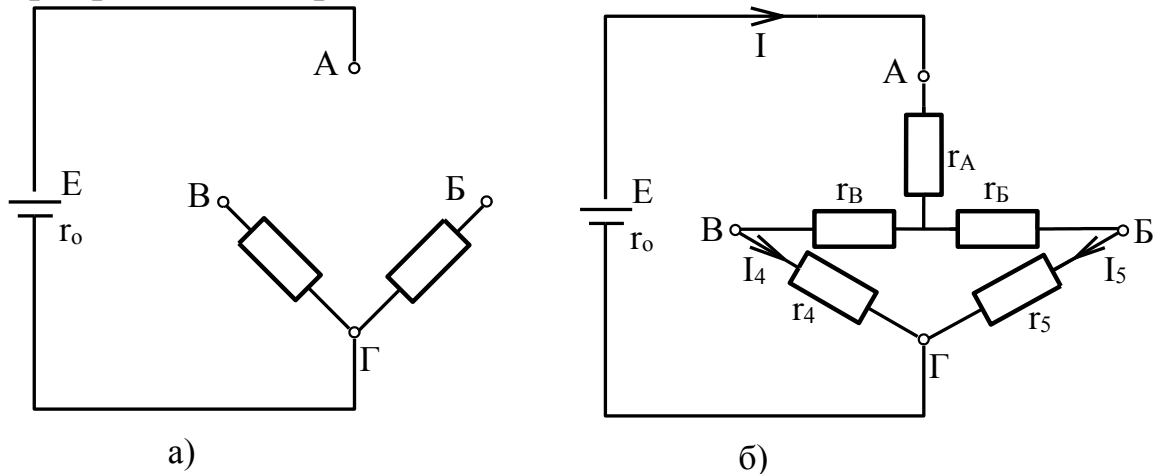
2) масала. 2-3-расмдаги занжир учун: $E=3,6 \text{ В}$; $r_o=0,12 \text{ Ом}$; $r_1=8 \text{ Ом}$; $r_2=10 \text{ Ом}$; $r_3=2 \text{ Ом}$; $r_4=4 \text{ Ом}$; $r_5=5 \text{ Ом}$ берилган. Ҳамма тоқлар ҳисоблансин.



2-3-расм. Учбурчак шаклида уланган қаршиликларни юлдуз шаклида улашга ўзгартириб соддалаштирилиши мумкин бўлган схема.

1. Умумий қаршиликни ҳисоблаш. Занжирнинг умумий қаршилигини олдинги масалаларда кўрилган усуллар билан аниқлаш бу ҳол учун тўғри келмайди. Шунинг учун “Схемани, аввал кўриб чиқилган усулларни қуллаш мумкин бўладиган қилиб ўзгартириш мумкин бўлмасмикан?” деган савол туғилади.

Агар учбурчаклик шаклида уланган қаршиликларни юлдуз шаклига ёки, аксинча, юлдуз шаклида уланган қаршиликларни учбурчаклик шаклига ўзгартирилса, ўша усулларни қўллаш мумкин бўлар экан. Учбурчаклик шаклида уланган r_1 , r_2 ва r_3 қаршиликларни ўзгартиришни бажарамиз.



2-4-расм. 2-3-расм бўйича учбурчак шаклида уланган r_1 , r_2 , r_3 қаршиликлари схемадан чиқариб ташланган (а) схема.

Энг олдин схемани алмаштириладиган учбурчакликсиз, лекин А, Б ва В нуқталар билан белгилаб (2-4-расм, а) қайта чизамиз. Сўнгра бу нуқталарга r_A , r_B ва r_C қаршиликларни юлдуз шаклида улаймиз (2-4-расм, б). Юлдузнинг ҳар бир қаршилиги учбурчакликнинг икки ён томонидаги қаршиликлар кўпайтмасининг унинг учала қаршилиги йиғиндисининг нисбатига тенглигини ҳисобга олиб, кўйидагини топамиз:

$$r_A = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{8 \cdot 10}{8 + 10 + 2} = \frac{80}{20} = 4 \text{ Ом}$$

$$r_B = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{10 \cdot 2}{8 + 10 + 2} = \frac{20}{20} = 1 \text{ Ом}$$

$$r_C = \frac{r_3 \cdot r_1}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{2 \cdot 8}{8 + 10 + 2} = \frac{16}{20} = 0,8 \text{ Ом}$$

Кейин 2-4-расм, б даги эквивалент схемани ҳисоблаш бизга маълум усул билан олиб борилади. Ҳақиқаттан ҳам, r_B қаршилик r_4 билан, r_C қаршилик r_5 билан кетма кет уланган. Шунинг учун ОБГ шохобча учун умумий қаршилик $r_{B.4} = r_B + r_4 = 0,8 + 4 = 4,8 \text{ Ом}$,

ОБГ шохобча учун $r_{B,5} = r_B + r_5 = 1 + 5 = 6 \text{ Ом}$. $r_{B,4}$ ва $r_{B,5}$ қаршиликлар параллел уланган ва уларнинг умумийси:

$$r_{OG} = \frac{4,8 \cdot 6}{4,8 + 6} = \frac{28,8}{10,8} = 2,67 \text{ Ом}.$$

Бутун занжирнинг умумий қаршилиги:

$$r_y = r_A + r_{OG} = 4 + 2,67 = 6,67 \text{ Ом}.$$

2. Токларни ҳисоблаш. Занжирдаги (2-4-расм, б) токларни аниқлаш олдинги масалаларда бажарилган эди ва бу ерда муфассал тушунтиришсиз келтирилди.

$$I = \frac{E}{r_{ym} + r_o} = \frac{3,6}{6,67 + 0,12} = 0,53 \text{ А}.$$

ОБГ шохобчанинг токи:

$$I_4 = I \frac{r_{B,5}}{r_{B,5} + r_{B,4}} = 0,53 \cdot \frac{6}{6 + 4,8} = 0,295 \text{ А}.$$

ОБГ шохобчанинг токи:

$$I_5 = I + I_4 = 0,53 - 0,295 = 0,235 \text{ А}.$$

2-3 ва 2-4-расм, б даги схемаларда ВГ ва ГБ қисмлар ўзгартирилмаганлиги сабабли I_4 ва I_5 токларнинг ҳисобланган қийматлари иккала схема учун бир хилдир. Дастлабки 2-4-расмдаги схемага ўтамиз: ВБГ контур учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тенглама ёзамиз (I_3 токни туташ стрелка билан кўрсатилгандек йўналган деб ҳисоблаймиз):

$$-I_3 \cdot r_3 + I_5 \cdot r_5 - I_4 r_4 = 0.$$

Сон қийматларини қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$-I_3 \cdot 2 + 0,235 \cdot 5 - 0,295 \cdot 4 = 0$$

ёки

$$2I_3 \approx 0,12 - 0,12 = 0,$$

яъни $I_3 = 0$;

$$I_1 = I_4 + I_3 = I_4; \quad I_2 = I_3 + I_5 = I_5.$$

Назорат саволлари:

1. Электр майдоннинг ўзига хосликларини айтинг.
2. Магнит майдонининг ўзига хосликларини айтинг.
3. Турли хил ишорали бир жуфт зарядланган заррачаларнинг ҳосил қилган электр майдони куч чизиқларини тасвирланг.
4. Электромагнит майдон қандай агент ҳисобланади ва у вақт-фазо тизимида қандай намоён бўлади ?
5. Электр майдонига таъриф беринг ва уни тавсифловчи электр майдон кучланганлиги ифодасини ёзинг.
6. Электр майдон кучланганлигини акс эттирувчи ифодани ёзинг.
7. Магнит майдонига таъриф беринг ва уни тавсифловчи магнит индукция ифодасини ёзинг.
8. Интеграл катталиклар ҳақида нималарни биласиз?
9. Магнит майдонни таърифланг.
10. Бўшлиқда электр магнит майдони қандай тезликда тарқалади ?

Мавзу 2.2. Кучланиш, ток, потенциаллар фарқи. Электр юритувчи куч (Э.Ю.К.)

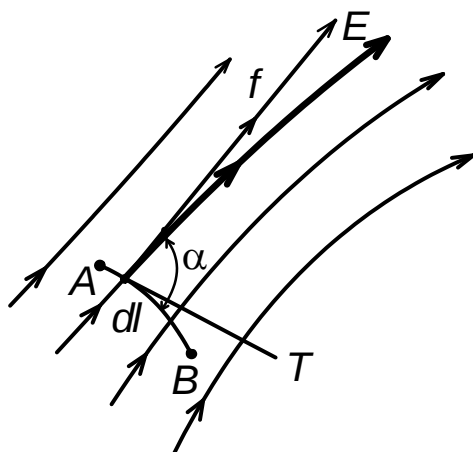
Режа:

1. Электр кучланиш, электр потенциаллари айирмаси.
2. Ток ва уни ташкил этувчилари.
3. Электр юритувчи куч.

Таянч иборалар: электр ўтказувчанлик, магнит майдон, электр майдон, магнит индукцияси, электр заряд, резисторлар, индуктив чўлғамлар, актив қаршилик, индуктив қаршилик, сиғим қаршилик.

1. Электр кучланиш, электр потенциаллари айирмаси.

Заряд электр майдонида муайян бир йўл бўйича кўчирилганда унга таъсир қилувчи майдон кучлари маълум миқдорда иш бажаради. Ушбу иш миқдорининг кўчирилган зарядга нисбати физикавий катталик бўлиб, электр кучланиши деб аталади. Фараз қилайлик зарядли заррача dl йўл бўйлаб кўчирилаяпти (1-расм).



1-расм

Майдоннинг А нуктасидан В нуктасигача бўлган бутун бу йўл бўйлаб зарядланган заррача кўчирилганда майдон кучлари томонидан бажариладиган ишнинг математик ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$A = \int_A^B f \cdot \cos \alpha \cdot dl = q \int_A^B E \cdot \cos \alpha \cdot dl = q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.2.2)$$

Ушбу чизиқли интеграл А нуктадан В нуктагача бўлган берилган йўл бўйича электр кучланишига тенг. Кучланишни V ҳарфи билан белгилаш қабул қилинган.

Бинобарин:

$$V_{AB} = \int_A^B E \cdot \cos \alpha \cdot dl = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.2.3)$$

У ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$A = q \cdot V_{AB} \quad (2.2.4)$$

Таъриф: Электр кучланиши деб, кўриб чиқиладиган йўл бўйлаб электр майдонини тавсифловчи ва электр майдони кучланганлигининг ушбу йўл бўйлаб чизиқли интегралига тенг бўлган физик катталиikka айтилади.

Электр потенциаллари фарқини кўриб чиқайлик. 2-расмда электростатик (зарядланган жисмлар ҳаракатсиз турган) майдон тасвирланган. Маълумки, электростатик майдонда ихтиёрий олинган ёпиқ контур учун майдон кучланганлигининг чизиқли интеграли нолга тенг: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$.

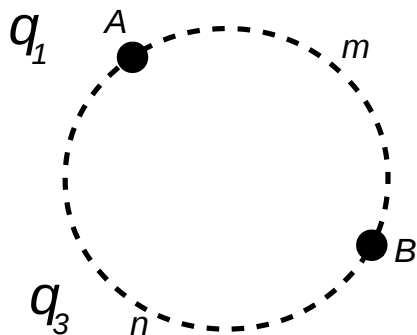
Электростатик майдонининг ушбу хусусияти энергиянинг сакланиш қонунига асосланган. Фараз қилайлик ёпиқ $A_m B_n A$ контур бўйича q зарядга эга бўлган нуктали жисм ҳаракатланаётган бўлсин.

Бу ҳолда майдон кучлари қуйидаги миқдорга тенг иш бажаради.

$$dA = f \cdot \cos \alpha \cdot dl = q E \cos \alpha \cdot dl = q E dl \quad (2.2.1)$$

Бунда dl - катталиги жиҳатидан dl - йўлга тенг ва зарядланган заррача кўчириладиган йўлга T ўринма бўйича заряд ҳаракатланаётган йўналишга мос йўналтирилган вектордир. α - E ва dl векторлари орасидаги бурчак.

Кўрилатган контурнинг ҳар бир охириги нуқталарида майдон кучларининг иши қарама - қарши қийматга эга бўлади (ҳар хил ишорали).



2-расм

Агарда контурнинг бошида ҳаракат майдон кучлари йўналиши билан бир хил йўналган бўлса, контур охирида эса майдон кучларига қарама-қарши йўналган бўлади (мос ҳолда мусбат (+) ва манфий (-) ишорали ишларга эга бўламиз). Бутун ёпиқ контур бўйича бажарилган иш миқдори нолга тенг бўлади:

$$q \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \text{ ёки } \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (2.2.5)$$

Ҳақиқатдан ҳам, агарда мазкур ҳолат мавжуд бўлмаганда исталган вақтда A_m B_n A контурни шундай айланиб чиқиш йўналишини танлаш имкони мавжуд бўлар эдики, бу ҳолда бажарилган иш миқдори мусбат қийматни ҳосил қилар эди.

Кўриб чиқилаётган контур учун қуйидаги ифодага эгамиз :

$$\oint_{A_m B_n A} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{A_m B} \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_{B_n A} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (2.2.6)$$

бундан

$$\int_{A_m B} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_{B_n A} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{A_n B} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.2.7)$$

m ва n йўл қисмлари ихтиёрий танлаб олинганлиги сабабли, электростатик майдонда $\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$ интегралнинг қиймати интеграллаш усулини танлашга боғлиқ бўлмасдан, фақатгина A ва B нуқталар координаталарининг функцияси бўлиб қолади.

Таъриф: Юқорида келтирилган интегралга тенг катталикини A ва B нуқталар электр потенциалларининг фарқи деб аталади ва $V_A - V_B$ кўринишда белгиланади.

У ҳолда:

$$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.2.8)$$

тенгликка эга бўламиз.

2. Ток ва уни ташкил этувчилари.

Заряд ташувчиларнинг бир томонга йўналтирилган ҳаракатланиши ҳодисаси ва (ёки) электр майдонининг вақт бўйича магнит майдони ҳосил қилган ҳолда ўзгариши ҳодисасини тўла электр токи деб аталади.

Тўла электр токи учта асосий турга бўлинади:

- 1) ўтказувчанлик токи;
- 2) кучиш токи;
- 3) силжиш токи.

Таъриф: Ўтказувчанлик электр токи деб, эркин электр заряди ташувчиларининг модда ичида ёки бўшлиқда йўналтирилган ҳаракати ҳодисасига айтилади.

Электр токи скаляр катталиқдир: $i = \frac{dq}{dt}$

S сиртдаги ҳар хил элементларда зарядланган заррачаларни ҳаракатланиш йўналиши хилма - хил бўлиши мумкин. Сирт чексиз кичрайтирилиб борганда, яъни $\Delta S \rightarrow 0$, ҳолат тобора турғунлашиб боради. Баён этилганлар асосида кўриб чиқиш учун вектор катталиқ – ток зичлиги тушунчаси киритилади. Ушбу вектор миқдор жиҳатдан Δi токни ўзи оқиб ўтаётган dS сирт элементига нисбатининг лимитига тенг бўлиб, зарядланган заррачалар ҳаракатланиш йўналиши ва dS сирт элементига перпендикуляр йўналгандир. Лимит нолга интилганда

$$I = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta S} = \frac{di}{dS} \quad (2.2.9)$$

Ушбу векторнинг йўналиши мусбат зарядланган заррачалар ҳаракатланиши билан мос тушади ва аксинча, манфий зарядланган заррачалар ҳаракатланишига тескари йўналгандир.

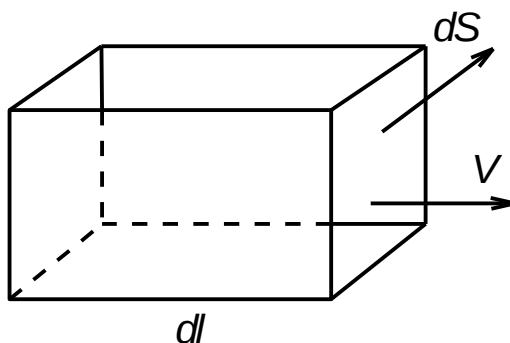
Баъзи моддалар электр ўтказувчанлик деб аталувчи хоссага эга бўладилар ва вақт давомида ўзгармас бўлган электр майдони таъсири остида вақт бўйича ўзгармас бўлган электр токини ўтказадилар.

Кўчириш электр токи деганда, электр зарядини бўшлиқ фазода зарядланган заррачалар ёки жисмларнинг ҳаракатланиши орқали кўчириш ҳодисасига айтилади.

Токнинг ушбу тури ўтказувчанлик электр токидан шу билан фарқланадики, унинг зичлигини $I = \gamma \cdot E$ нисбат орқали ифодалаб бўлмайди. Электр зарядли заррачалар ёки зарядланган жисимларнинг электр майдонида эркин ҳаракатланиши ҳолатида эса, уларнинг тезлиги электр майдони E кучланганлигига пропорционал боғлиқ бўлмайди.

Фазода dl , dS кесимга эга тўғри бурчакли V параллелепипед олиб (3-расм). Фараз dl қилайликки, dl қирраси тезлик V векторига параллел бўлсин. Параллелепипид ичидаги заряд миқдори $dq = \rho \cdot dl \cdot dS$ га тенг.

Параллелепипед ичидаги барча заряд dS сиртдан dt вақт оралигида оқиб ўтади ва бунда зарядланган элементар заррачалар dl масофани ўтади. Ушбу dt вақт оралиғи куйидаги $dl = V dt$ шарт орқали аниқланади. dS сиртдан ўтаётган элементар ток:



3-расм

$$di = \frac{dq}{dt} = \rho \cdot V \cdot dS \quad \text{ва} \quad I = \frac{di}{dS} = \rho \cdot V$$

Электр токининг учинчи тури электр силжиши токи деб аталади. Токнинг ушбу тури ўзгармас электр майдони таъсири остида диэлектрикларда ҳосил бўлади.

Маълумки, электр майдонининг вақт бўйича ҳар қандай ўзгариши натижасида диэлектрикдаги P қутбланиш ҳам ўзгаради. Мазкур ҳолатда диэлектрик моддасида модданинг атомлари ва молекулаларидаги электр зарядланган элементар заррачаларнинг ҳаракатланиши содир бўлади. Диэлектрикдаги ушбу ток - қутбланиш электр токи деб аталади. Диэлектрикда зарядланган заррачалар эркин ҳолатда бўлмасдан, электр майдон таъсирида фақатгина силжишлари мумкин. Шунинг учун қутбланиш электр токини силжиши электр токи ҳам деб аталади.

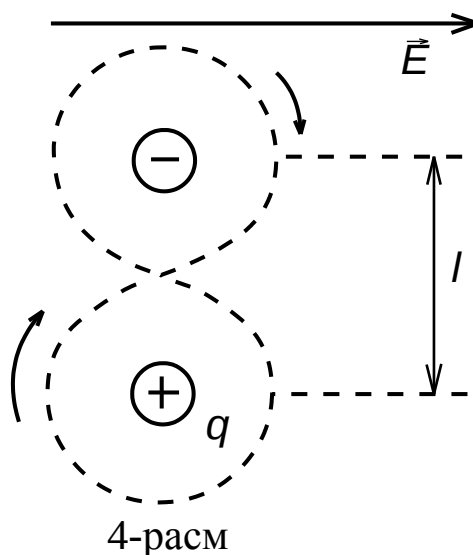
4-расмда битта диполнинг шартли модели курсатилган, бошқа айтганда манфий заряд мусбат заряд: (+) билан $\vec{E}$ электр майдони таъсирида жуфтлик ҳосил қилади ва стрелка йўналиши бўйича “гантел” силжиши ҳосил бўлади. Жуфтликнинг айланиш моменти

$$m = q \cdot l \quad (2.2.10)$$

га тенг.

Бунда: q -заряд миқдори,

l —зарядланган заррачалар уклари орасидаги масофа.



3. Электр юритувчи куч.

Электр юритувчи куч (Э.Ю.К.). Энди ушбу тушунчани кўриб чиқишга ўтамиз. Маълумки электр юритувчи кучнинг (Э.Ю.К.) пайдо бўлиши ноэлектростатик ва потенциал тавсифли электр майдони мавжудлиги билан боғлиқдир.

Таъриф: Агарда электр майдони кучланганлигининг ушбу майдонда жойлаштирилган ёпиқ контур бўйлаб чизикли интеграл нолга тенг бўлмаса, ёпиқ контурда e электр юритувчи куч таъсир қилаётган бўлади ва ушбу чизикли интеграл контурда таъсир қилаётган Э.Ю.К. га тенг бўлади:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = e \neq 0 \quad (2.2.11)$$

Электр юритувчи куч манбалари бўлиб электр генераторлари, гальваник элементлар, аккумуляторлар ва термоэлементлар ҳисобланади.

Назорат саволлари:

1. Зарядланган заррачани электр майдони таъсирида бутун йўл бўйлаб ҳаракатланишида майдон кучлари бажарадиган иш формуласини келтиринг.
2. Электр кучланиши деб нимага айтилади ?
3. Потенциаллар фарқи тушинчасига таъриф беринг.
4. Тўлиқ ток қандай токлардан таркиб топган?
5. Ўтказувчанлик токига таъриф беринг.
6. «Силжиш токи» деганда нима тушунилад?
7. Кўчириш токининг моҳиятини тушинтириб беринг.
8. Электр юритувчи куч тушунчасига таъриф беринг.

9. Электр майдонида ҳарактерланувчи зарядли заррачани тасвирланг.
10. Ҳалқаро ўлчов бирликлари системаси (СИ) бўйича ток кучини таърифланг.

Мавзу 2.3. Электр занжирлари ва улар элементларининг классификацияси.

Режа:

1. Электр занжирлари параметрлари ва уларнинг тавсифи.
2. Электр занжири элементлари, уларнинг классификацияси.
3. Электр занжирларидаги физикавий жараёнлар ва схемаси.

Таянч иборалар: электр ўтказувчанлик, магнит майдон, электр майдон, сиғими ва индуктивлиги, электр юритувчи куч, электр кучланиши, электр токи, электр заряди, магнит оқими, электр занжир, истеъмолчи.

1. Электр занжирлари параметрлари ва уларнинг тавсифи.

Маълумки, зарядланган жисмларнинг электр майдони тўлиқ ҳажмда ушбу жисмлардан ташқарида, бошқача айтганда, уларни ўраб турган диэлектрикда жойлашади. Масалан: ўтказгичлардан оқиб ўтаётган электр токининг магнит ва электр майдонлари ушбу ўтказгичлардан ташқарида ва уларнинг ичида мавжуддир. Лекин ўтказгичларнинг ичидаги электр майдони C ушбу ўтказгичлар моддасининг солиштира қаршилиги билан боғлиқ ва мос ҳолда ўтказгичлардаги электр энергияси исрофларини белгилайди. Бунда ўтказгичлар бўйлаб ўзатиладиган энергия тўлигича ўтказгични ўраб турган муҳитдаги электромагнит майдонига тегишли бўлади.

Электр занжирлари исталган элементларининг сиғими ва индуктивлиги берилган зарядлар ва тоқлар учун уларнинг электр ва магнит майдонлари билан аниқланади. Бинобарин, ҳодисани тўлиқ ҳажмда ўргана туриб, ҳар бир ҳолатда ҳам электр занжирига уланган ва тадқиқ этилаётган қурилманинг электромагнит майдонини ўрганиш зарур бўлади.

Электротехник қурилмалардаги жараёнларни фақатгина қуйидаги интеграл тушинчаларга таянган ҳолдагина ёритиб бериш мумкин:

- электр юритувчи куч: $e = \oint (\vec{E}_{\text{стар}} + \vec{E}_{\text{инд}}) d\vec{l}$;

- электр кучланиши: $U = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$;

- электр токи: $i = \int_S \vec{\delta} \cdot d\vec{S} = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$;

- электр заряди: $q = \oint \vec{D} \cdot d\vec{S}$;

- магнит оқими: $\phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

Бунда электромагнит майдонининг исталган нуқтасида уни тавсифловчи $\vec{E}_{\text{стар}}$, $\vec{E}_{\text{инд}}$, $\vec{E}$, $\vec{D}$, $\vec{\delta}$, $\vec{H}$ ва $\vec{B}$ катталикларнинг фазода тақсимланиши ва вақт бўйича ўзгаришлари қараб чиқилмайди.

$\vec{E}_{\text{стар}}$ — четки электр майдони вектори ;

$\vec{E}_{\text{инд}}$ — индукцион электр майдон вектори ;

$\vec{D}$ — электр силжиш вектори ;

$\vec{\delta}$ — силжиш токи зичлиги вектори ;

$\vec{H}$ — магнит майдони кучланганлиги вектори;

$\vec{B}$ — магнит индукцияси вектори.

Таъриф: Ўзидаги электромагнит жараёнларни электр юритувчи куч, ток ва кучланиш тушунчалари ёрдамида ёритиб бериш имконига эга, электр токини ўтказиш йўлини ҳосил қилувчи қурилма ва жисмлар тўплами **электр занжири** деб аталади.

Ҳудди шунингдек, кўпчилик ҳолларда ўзида магнит индукцияси чизиклари туташishi мумкин бўлган; ўзида магнит индукцияси чизиклари туташадиган муайян йўлни ҳосил қилишга интилиш мумкин. Бунда ушбу йўл бўйлаб юқори магнит ўтказувчанликка эга бўлган ва нисбатан анча кичик магнит ўтказувчан муҳит (масалан, ҳаво) билан ўралган ферромагнит жисмларни жойлаштириш мумкин.

Кўриб чиқиладиган ҳолда етарли даражадаги аниқлик билан қуйидаги интеграл тушунчалар ёрдамида жараённи ёритиш имкони мавжуд бўлади :

- магнит юритувчи куч: $i_{\omega} = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$;

- магнит оқими: $\Phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$.

Таъриф: Ўзида электромагнит жараёнларни магнит юритувчи куч ва магнит оқими тушунчалари ёрдамида ёритиб бериш имконига эга, ферромагнит жисмлардан тузилган қурилмалар тўплами магнит занжири деб аталади.

2. Электр занжири элементлари, уларнинг классификацияси.

Электр занжирларининг асосий элементлари бўлиб электромагнит энергия манбалари, электромагнит энергиясини ўзатувчи ва ўзгартирувчи қурилмалар ва ушбу энергияни истеъмол қилувчилар ҳисобланадилар.

Электромагнит энергиянинг манбалари бўлиб ҳар хил турдаги энергиялар – иссиқлик, кимёвий, ядровий ва механик энергияларни ўзгартириб электромагнит энергияси ишлаб чиқарувчи ҳар хил турдаги генерация қурилмаларига айтилади. Замонавий энергетикада иссиқлик, ядровий ва химиявий энергияларни тўғридан-тўғри электромагнит энергиясига ўзгартириб берувчи янги қурилмалар лойихаланмоқда. Улар жумласига, масалан, магнитогидродинамик генераторлар ва ёқилғи элементлари киради.

Электромагнит энергиясини кўчирувчи электр занжири элементлари бўлиб электр ўзатиш йўллари, электр тармоқлари, алоқа тармоқлари ва ҳоказо ҳисобланадилар.

Электромагнит энергия ток ва кучланишни ўзгартрувчи трансформаторлар, частотани ўзгартирувчи қурилмалар лампали генераторлар, ионли ва ярим ўтказгичли инверторлар (улар ёрдамида ўзгармас ток ўзгарувчан токка айлантирилади), ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантирувчи тўғрилагичлар (выпрямители) ёрдамида ўзгартирилади.

Электр занжиридаги истеъмолчилар бўлиб ўзида электромагнит энергияни бошқа турдаги энергияларга айлантирувчи ҳар хил қурилмалар ҳисобланадилар. Улар жумласига ЭМ энергиясидан механик энергия ҳосил қилувчи электродвигателлар, химиявий энергия ҳосил қилувчи электролиз ва аккумулятор қурилмалари, иссиқлик энергияси ҳосил қилувчи печлар ва иситиш қурилмалари, акустик энергияни ҳосил қилувчи радиоприёмниклар, телевизорлар ва ҳоказолар киради.

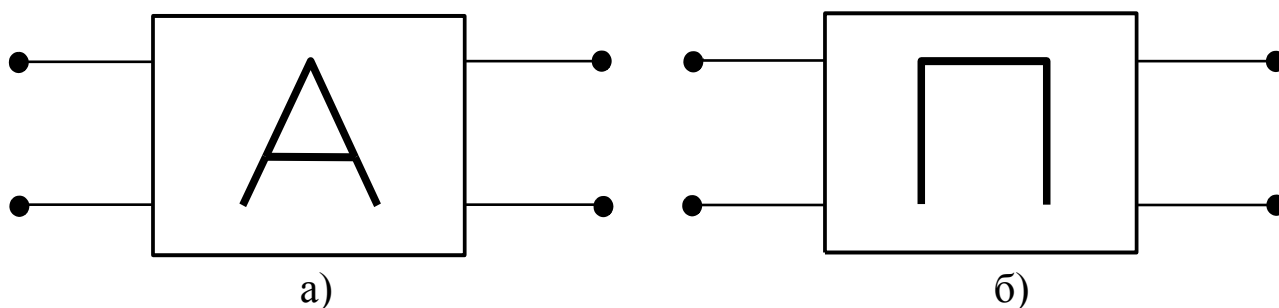
Электр занжири элементи бўлган ва электромагнит энергияни ишлаб чиқарувчи (генерацияловчи), ўзатувчи, ўзгартирувчи ва истеъмол қилувчи қурилмалар учун ҳар бир ҳолатда уларнинг фойдали иш коэффициентлари юқори даражада бўлиши муҳим аҳамиятга эгадир.

Электр занжиридаги у ёки бу қурилмаларнинг асосий вазифаси бўлиб электр сигналларини ўзатиш ва ўзгартириш ҳисобланади. Бундан ташқари вазифалар жумласига ўлчаш операцияларини бажариш ёки қандайдир жараёнларни бошқариш вазифалари ҳам

киради (масалан, телефон ва телеграф алоқа йўллари, уларнинг охиргидаги қурилмалар ва ҳоказо).

Ушбу шартлардан ташқари электр занжири элементлари бошқа кўпгина талабларга ҳам жавоб бериши керакки, улар жумласига ишлаш ишончилиги, узок муддат ишлаши, зарур ҳолларда тез таъсир қилиш қобилиятига эга бўлиши, таъсири аниқ бўлишлиги ва шунга ўхшаш ҳоказо талаблар киради.

Электр занжирининг электромагнит энергиясини ишлаб чиқарувчи қурилмалари бор қисмини шартли равишда актив қисм ёки қисқача - актив занжир деб атайлик. Уни тўғри тўртбурчак шаклида (ичида А ҳарф қўйилган ва у ёки бу сондаги чиқишлар (ўтказгичлар) курсатилган, улар ёрдамида актив занжир электр занжирининг бошқа элементларига уланади) тасвирлаймиз (1- расм).



1 –расм.

Электр занжирининг электромагнит энергияси ишлаб чиқарувчи манба қурилмалар бўлмаган қисмини эса шартли. равишда занжирнинг пассив қисми ёки қисқача - пассив занжир деб атаймиз ва уни ҳам тўғри тўртбурчак шаклида (ичига Π ҳарфи ёзилган ва мос ҳолда чиқишлар (ўтказгичлар) курсатилган) тасвирлаймиз (1-б расм).

Электр занжирининг кўриладиган қисмидаги барча элементлар ва улар орасидаги боғланишлар (уланишлар) шу тўртбурчаклар ичида жойлашган деб фараз қилинади.

3. *Электр занжирларидаги физикавий жараёнлар ва схемаси.*

Маълумки, электр занжирдаги узоқ муддат давомида оқиб ўтувчи ўзгармас ток фақатгина ўтказувчанлик ёки кўчириш электр токи бўлиши мумкин. Диэлектрикдаги силжиш токи исталган узоқ муддат давомида ўзгармасдан тура олмайди, чунки диэлектрикдаги қутбланиш ва электр силжиш диэлектрик мустахкамлигини бўзмасдан туриб чексиз ортиб бориши мумкин эмас.

Ўзгарувчан ток ва кучланишларда электр занжирида содир этиладиган жараёнлар янада мурраккаброқ кўринишда бўлади. Вакт

бўйича ўзгарувчан ток диэлектрикда ҳам силжиш токи кўринишида мавжуд бўлиши мумкин. Бинобарин, ўзгарувчан токли электр занжири элементлари жумласига обкладкалари (қатламлари) диэлектрик билан ажратилган конденсаторлар ҳам кириши мумкин. Ўзгарувчан кучланиш таъсирида конденсаторда унинг металл обкладкалари (қатламлари) орасида ўзгарувчан электр майдони ҳосил бўлади ва қатламларни ажратувчи диэлектрикда силжиш токи ҳосил бўлади. Ғалтакнинг чўлғам ўрамлари орасида ундан электр токи ўтказилганда электр сиғими ҳосил бўлади.

Электр сиғими принципал равишда бутун занжир бўйлаб тақсимланган бўлади.

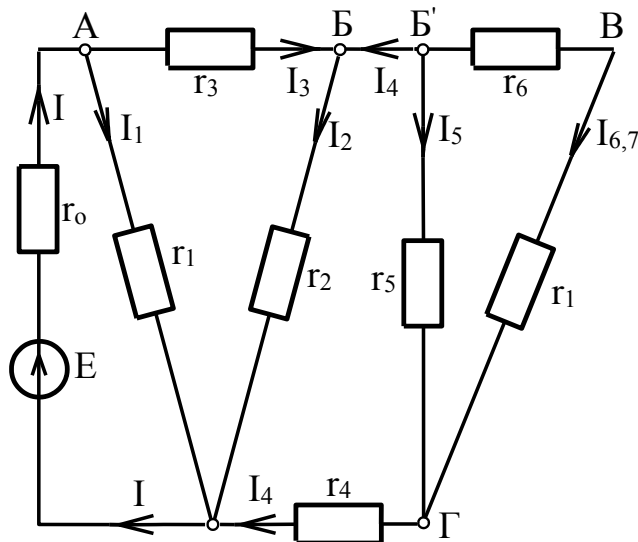
Худди шунингдек, занжирнинг индуктивлиги тўғрисида фикр юритиш мумкин. Занжирдан ток ўтаётган пайтда ундаги ҳамма қисмлар магнит оқими таъсирида бўлади. Шунинг учун ўзгарувчан токда занжирнинг ҳар бир қисмида ўзиндукция ҳамда ўзаро индукция электр юритувчи кучлари индукцияланади. Яққол кўриниб турибдики, занжирнинг ҳар бир қисми, ҳар бир элементи шу сабабли индуктивликка эгадир. Масалан: чўлғамлар, ўзатиш йўллари симлари, реостатлар ва ўзгарувчан токли зажирнинг бошқа ҳар қандай элементлари индуктивликка эгадирлар.хатто, жуда кичик бўлсада, конденсаторлар ҳам индуктивликка эгадирлар. Шунинг учун индуктивлик ҳам бутун занжир бўйлаб тақсимланган бўлади.

Ва ниҳоят, занжирдан ток ўтаётганда унинг қайсидир бирор қисмини ўзининг электр қаршилиги туфайли электромагнит энергиясининг маълум бир қисмини исрофлар шаклида истеъмол қилишини тавсифлай туриб, электр қаршилик ҳам бутун электр занжири бўйлаб тақсимланган деган хулосага келишимиз мумкин.

Таъриф: Ўзидаги электр қаршилиги, ўтказувчанлик, индуктувлик ва электр сиғими бутун занжир бўйлаб тақсимланган электр занжири параметрлари тақсимланган электр занжири деб аталади.

Баён этилган таърифга кўра, параметрлари тақсимланган электр занжиридаги ток ва кучланиш вақт ва битта фазовий координатага нисбатан ўзгариб туради, шунинг учун улар икки ўзгарувчили функциялар ҳисобланадилар. Ушбу ҳол кўпчилик ҳолатларда занжирда содир этилаётган жараёнлар анализини (таҳлилини) мураккаблаштиради. Ўзгарувчан токли занжирда содир бўладиган жараёнлар айниқса энг мураккабдир.

1) масала. 2-1-расмдаги занжирда Э.Ю.К манбаи $E=18,3$ В унинг ички қаршилиги $r_0=0,2$ Ом (бу қаршилик манба шохобчасида алоҳида кўрсатилган). Истеъмолчиларнинг қаршиликлари: $r_1=36$ Ом; $r_2=30$ Ом; $r_3=6$ Ом; $r_4=13$ Ом; $r_5=14$ Ом; $r_6=6,5$ Ом; $r_7=7,5$ Ом. Занжирнинг умумий қаршилиги ва ҳамма тоқлар ҳисоблансин.



2-1-расм. Бир нечта тугунли тармоқланган занжир.

1. Умумий қаршиликни ҳисоблаш. Четки $B'Γ$ шохобчадан бошлаймиз (2-8-расм). Бу ерда, баъзан, В нуктани (симнинг эгилган жойини) тугун деб ҳисоблаб хатога йўл қўйилади. Хато қилмаслик учун электр занжирининг тугуни-бу учта ва ундан ортиқ шохобчаларнинг уланган жойи эканлигини эсдан чиқармаслик керак. Шу таърифга мувофиқ В нукта тугун эмас, шунинг учун r_6 ва r_7 қаршиликлардан бир хил $I_{6,7}$ тоқ ўтади, яъни бу қаршиликлар кетма-кет уланган ва уларнинг умумий қаршилиги қуйидагича:

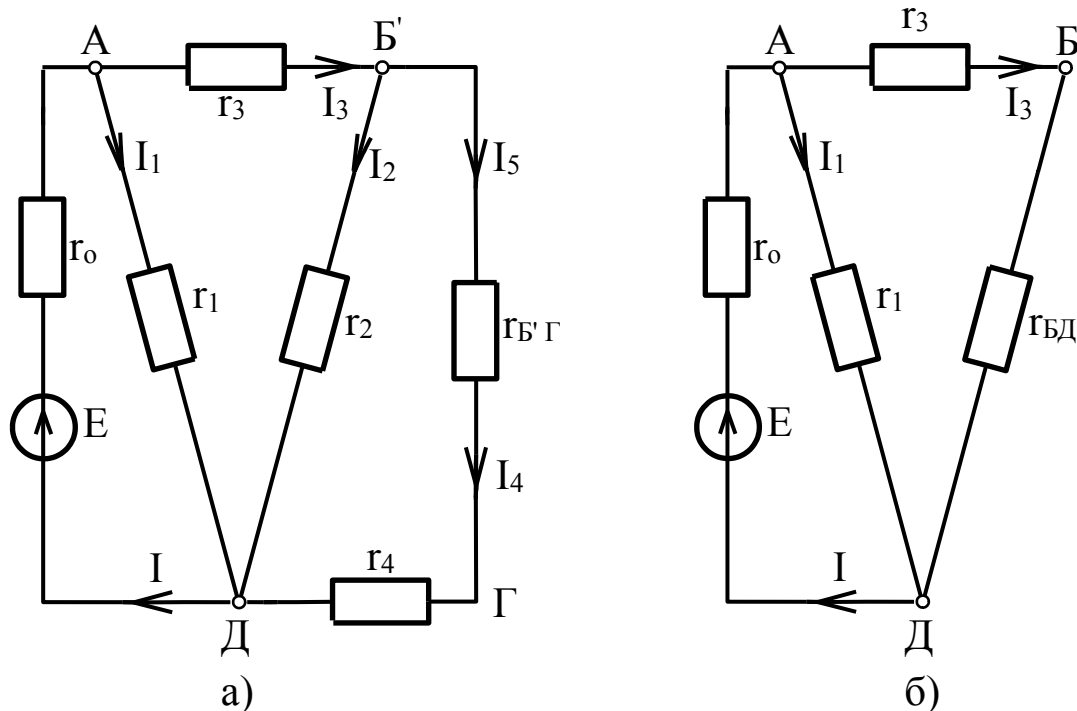
$$r_{6,7} = r_6 + r_7 = 6,5 + 7,5 = 14 \text{ Ом.}$$

Олинган $r_{6,7}$ қаршилик унга тенг бўлган r_5 билан параллел уланган, шунинг учун уларнинг умумийси:

$$r_{B'Γ} = \frac{r_{6,7}}{2} = \frac{r_5}{2} = \frac{14}{2} = 7 \text{ Ом.}$$

2-8-расмдаги занжирнинг $B'Γ$ қисмини унинг умумий қаршилиги билан алмаштириб, 2-9-расм, а даги схемани оламиз, маълумки, $Γ$ нукта тугун эмас (юқорида кўрсатилган 2-8-расмдаги В нукта каби).

Шунинг учун $r_{B'Γ}$ ва r_4 қаршиликлар кетма-кет уланган.



2-2-расм. 2-1-расмдаги схемани Б'Г (а) ва БД (б) қисмини алмаштириб соддалаштириш.

Шунингдек, 2-2-расм, а даги БГД шохобча r_2 қаршилик билан параллел уланганлигини ҳисобга олиб, Б ва Д тугун нуқталари орасида уланганларнинг умумий қаршилигини оламиз:

$$r_{БД} = \frac{(r_{Б'Г} + r_4) \cdot r_2}{r_{Б'Г} + r_4 + r_2} = \frac{(7 + 13)30}{7 + 13 + 30} = 12 \text{ Ом.}$$

$r_{Б'Г}$, r_4 ва r_2 қаршиликларни уларнинг умумий қаршилиги билан алмаштириб (2-2-расм, б), дастлабки схемани соддалаштиришнинг (“йиғиштириш”нинг) навбатдаги босқичини бажарамиз.

Олдингига ўхшаб 2-2-расм, б даги схемада А ва Д тугун нуқталари орасида умумий қаршилик:

$$r_{АД} = \frac{(r_3 + r_{БД}) \cdot r_1}{r_3 + r_{БД} + r_1} = \frac{(6 + 12)36}{6 + 12 + 36} = 12 \text{ Ом.}$$

бу қаршилик r_o билан кетма-кет уланган, шунинг учун бутун занжирнинг умумий қаршилиги:

$$r_{ум} = r_{АД} + r_o = 12 + 0,2 = 12,2 \text{ Ом.}$$

3. Токларни ҳисоблаш. Энг олдин умумий ток I ни ҳисоблаймиз:
 $I = E/r_{\text{ум}} = 18,3/12,2 = 1,5 \text{ A}$.

Бу ток занжирнинг (2-2-расм, б) А тугун нуктасида иккита параллел уланган шохобчалардан ўтувчи I_1 ва I_3 токларга бўлинади. Бундай ҳолат илгари кўрилган. Токни ҳисоблаш учун шу формуладан фойдаланамиз:

$$I_1 = I \frac{r_3 + r_{БД}}{r_1 + r_3 + r_{БД}} = 1,5 \frac{6 + 12}{36 + 12 + 6} = 0,5 \text{ A}.$$

Бошқа шохобчаларнинг токи I_3 ни Кирхгофнинг биринчи қонуни асосида аниқлаймиз:

$$I_3 = I - I_1 = 1,5 - 0,5 = 1,0 \text{ A}.$$

Занжирдаги (2-2-расм, а) I_4 ва I_2 токларни шу йўл билан топамиз:

$$I_4 = I_3 \frac{r_2}{r_2 + r_4 + r_{Б'Г}} = \frac{1,0 \cdot 30}{30 + 13 + 7} = 0,6 \text{ A};$$

$$I_2 = I_3 - I_4 = 1,0 - 0,6 = 0,4 \text{ A}.$$

Шу усул билан 2-1-расмдаги занжирда қуйидагини топамиз:

$$I_{6,7} = I_4 \frac{r_5}{r_5 + r_6 + r_7} = 0,6 \frac{14}{14 + 6,5 + 7,5} = 0,3 \text{ A};$$

$$I_5 = I_4 - I_{6,7} = 0,6 - 0,3 = 0,3 \text{ A}.$$

Назорат саволлари:

1. Ўтказгич атрофидаги электр магнит майдонини тавсифланг.
2. Электротехник қурилмалардаги жараёнлар қандай интеграл тушунчалар ёрдамида ёритилиши мумкин?
3. Электр занжири деб нимага айтилади?
4. Магнит занжири нима?
5. Электр занжирлари асосий элементларини санаб ўтинг.
6. Электр занжири элементлари қандай асосий талабларга жавоб бериш керак?
7. Актив ва пасив занжирлар нима?
8. Конденсатор, ғалтак ва резистив элементлардаги физикавий жараёнларни тушунтириб беринг.
9. Параметрлари тақсимланган электр занжири деб қандай занжирга айтилади?

Мавзу 2.4. Электр занжирлари ва уларнинг элементларининг аҳамияти.

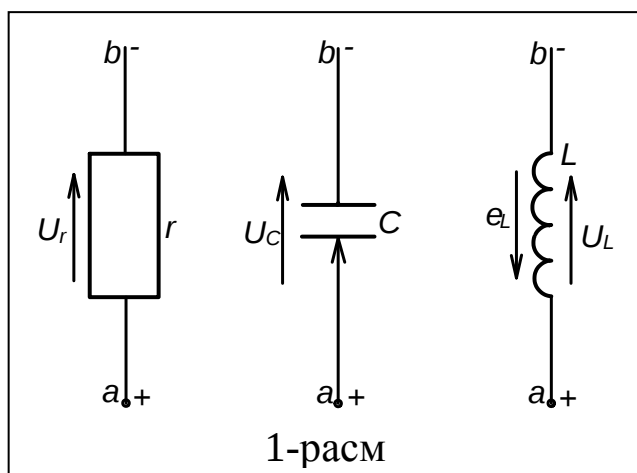
Режа:

1. Электр занжирларида электр юритувчи куч ва токнинг шартли мусбат йўналишлари.
2. Электр занжирлари схемалари, ток ва Э.Ю.К. манбалари.
3. Электр занжирлари схемаларининг элементлари.

Таянч иборалар: электр юритувчи куч, чўлғам занжирлари, конденсаторлар, индуктив чўлғамлар, электромагнит энергия, ўзатувчи ва ўзгартирувчи қурилмалар, электр генератори, гальваник элемент, аккумулятор, термоэлемент.

1. Электр занжирларида электр юритувчи куч ва токнинг шартли мусбат йўналишлари.

Одатда электр занжиридаги жараёнларни анализ (таҳлил) қилишда, олдиндан занжир элементларидаги ток ва электр юритувчи кучнинг, улар заминларидаги кучланишнинг шартли мусбат йўналишини қабул қилиш зарурияти туғилади ва улар қабул қилиниб, схемаларда стрелкалар билан курсатилади. (1–расмга қаранг).



Шартли мусбат йўналиши ихтиерий ҳолда танланади. Бунда оний ток i , кучланиш U ва Э.Ю.К. e катталикларнинг кийматлари агарда берилган вақтда уларнинг ҳақиқий йўналиши танлаб олинган йўналиш билан мос келса мусбат бўлади.

Схемаларда кучланишлар, тоқлар ва ЭЮКларнинг шартли мусбат йўналишларини стрелкалар билан эмас, балки уларнинг ҳарфий ифодаларида иккиланган индекс билан (масалан – i_{ab} , u_{ab} , e_{ab} , i_{12} , U_{12} , e_{12} каби) ёзиш қулайроқдир. Индексларнинг курсатилган кетма-кетлигига кўра мусбат йўналиш сифатида занжирнинг биринчи индексга мос нуқтасидан иккинчи индексга мос нуқтасига қараб йўналган йўналиш қабул қилинади. ($U_{12} > 0$, $U_{ab} > 0$, агарда ҳақиқий

кучланиш 1 нуқтадан (ёки а нуқтадан) 2 нуқтага (ёки в нуқтага) йўналган бўлса).

Занжирнинг ҳар бир элементида i , u ва e нинг шартли мусбат йўналишларини бир томонга йўналган деб қабул қилиш лозимдир (1-расм). У ҳолда қаршиликли элемент учун: $U_{ab} = r \cdot i_{ab}$, бу ерда $U_r = U_{ab}$ ва $i = i_{ab}$ катталиклар $r > 0$ бўлганда бир хил ишорага эга бўлиши лозим (бошқача айтганда бир вақтда ҳар иккаласи ҳам ёки мусбат, ёки манфий бўлишлари лозим). Шу ҳолда қувват ҳам ҳар доим мусбат бўлади:

$$P_r = U_r \cdot i > 0 \quad (2.4.1)$$

Сигим учун қуйидаги боғлиқлик ўринлидир:

$U_{ab} = q_a \cdot \frac{1}{C}$, $C > 0$ бўлиши учун, кучланиш ҳисобланадиган пластинадаги зарядни оламиз, ёки:

$$C = \frac{q_a}{U_a - U_b} = \frac{q_b}{U_b - U_a} \quad (2.4.2)$$

Индуктив чўлғам учун қуйидаги боғлиқлик ўринлидир:

$$U_L = +L \frac{di}{dt} \quad (2.4.3)$$

Бу ерда $L > 0$ ҳамма вақт ўринлидир, чунки $L = \psi_L / i$, ўз индукция оқими ψ_L ва чўлғамдаги i ток доимо бир хил йўналган бўлади - ток йўналиши ва ўзиндукция оқими чизиқлари ўзаро ўнг винт қондаси билан боғлангандир. Агарда, а зажимдан в зажимга ток ҳақиқатда ҳам йўналган бўлса, $i_{ав} > 0$. Бунда ток ўсаётган бўлсин ($di/dt > 0$). У ҳолда $U_L = U_{ab} > 0$. (1-расмда «+» ва «-» ишоралар). Ҳудди шу тарзда индуктив чўлғам учун $U_L = \pm L \frac{di}{dt}$ боғлиқликни танлаш орқали биз i ва U_L кучланишнинг шартли мусбат йўналишини танлаган бўламиз, ёки улар стрелкаларининг бир томонга йўналтирамиз.

Баён этилганлар мусбат токнинг ўсиши ҳолатида ҳам, ёки унинг абсолют қиймати миқдори ортишида ҳам ўринлидир, чунки натижада чўлғамдаги магнит майдон энергияси ортади ва унинг зажимларидаги қувват мусбат бўлади:

$$P_L = U_L \cdot i > 0 \quad (2.4.4)$$

Электр юритувчи куч e_L учун шартли мусбат йўналишни худди U_L кучланишнинг йўналишидек қабул қилиш керак, чунки бу ҳолда $e_L = -U_L = -L \frac{di}{dt}$ боғлиқликка асосан уларнинг ҳақиқий йўналишлари доимо бир-бирига қарама-қарши йўналган бўлади (e_L ва U_L ларнинг йўналишлари). Масалан чўлғам занжирларидаги U_L катталиқнинг

ҳақиқий йўналиши стрелка бўйича (яъни ”+” дан “-“ ишорага қараб, 1-расм) йўналган бўлса, e_L катталигининг ҳақиқий йўналиши эса стрелкага қарама-қарши (яъни 1-расмдаги “-“ дан “+” ишорага қараб) йўналган бўлади.

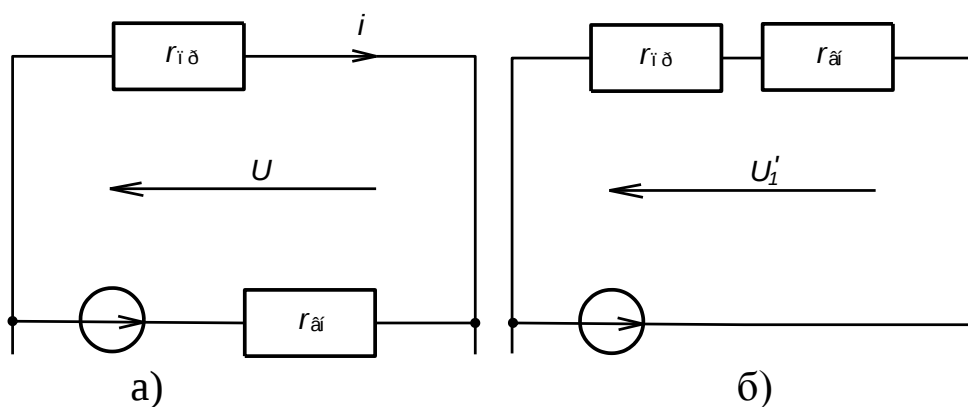
2. Электр занжирлари схемалари, ток ва Э.Ю.К. манбалари.

Электр занжири схемаси таркибига: тугун ва шохобча киради.

Таъриф: Электр занжирининг ва мос ҳолда унинг схемасининг шохобчаси деб электр занжирининг шундай тўлиқ бир қисмига айтиладики, ушбу қисм учун исталган ҳар қандай вақтда ҳам бутун қисм бўйлаб токнинг қиймати ўзгармас ёки бир хил миқдорда бўлишлиги таъминланган.

Электр занжирида шохобча исталган сондаги ўзаро кетма-кет уланган занжир элементларидан қаршиликли участкалар, конденсаторлар, индуктив чўлғамлар, ЭЮК манбаларидан таркиб топган бўлиши мумкин.

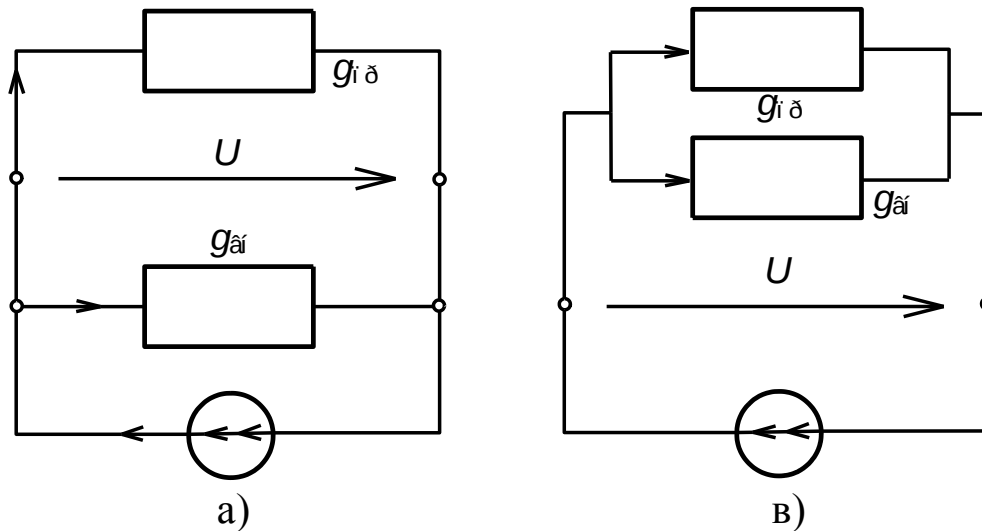
Таъриф: Электр занжир қисмларининг кетма-кет уланиши деб шундай уланишга айтиладики, бу ҳолда занжирнинг барча элементларидан бир хил ва фақат бир хил ток ўтиши таъминланган бўлади. Кетма-кет уланган схемаларга мисоллар 2-расмда келтирилган.



2 –расм

Таъриф: Электр занжирининг ва мос ҳолда унинг схемасининг тугуни деб унинг шохобчаларининг уланиш нуқтасига айтилади. Схемаларда тугун нуқта билан курсатилади. Агарда схемалардаги чизиқлар ўзаро бир-бирини кесиб ўтган ва кесишиш жойида нуқта қўйилмаган бўлса, ушбу нуқталарда занжир уланмагандир.

Таъриф: Электр занжири қисмлари (шоҳобчалари) нинг параллел уланиши деб шундай уланишга айтиладики, бу ҳолда қисмлар (шоҳобчалар) бир жуфт тугунларга уланган бўлади ва бирга ушбу ушбу қисмлар (шоҳобчалар) даги кучланишлар бир хил қийматга эга бўлади. Параллел уланган схемаларга мисоллар қуйида, 3 –расмда келтирилган:

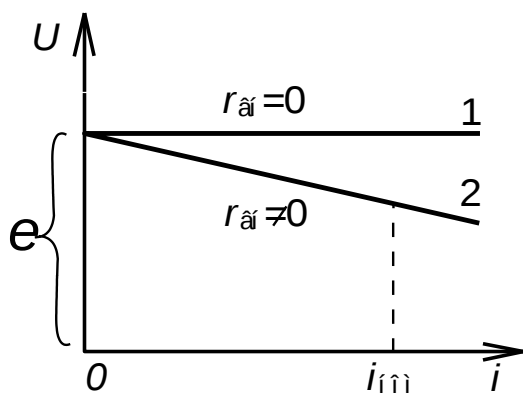


3 –рaсм

Таъриф: Электр занжири қисмларининг аралаш уланиши деб ҳам кетма–кет, ҳам параллел уланишлар мавжуд бўлган ҳолатда уланишга айтилади.

Амалиётда кўпгина анча мураккаб электр занжирларини фақатгина кетма–кет ёки параллел уланишлар ёрдамида ҳосил қилиб бўлмайди.

Электр занжирларининг муҳим элементлари бўлиб Э.Ю.К. манбалари ва ток манбалари ҳисобланади. Э.Ю.К. ҳосил қилувчи манбалар қаторига электромагнит энергиясининг шундай манбалари киритиладики, уларда Э.Ю.К. е токка боғлиқ бўлмайди, ёки деярли боғлиқ бўлмайди. Ушбу ток манбадан истеъмолчига бораётган бўлади ва ички қаршилиқ $r_{вн}$ жуда кичик бўлгани сабабли манба зажимларидаги $U=e-ir_{вн}$ кучланиш $i_{ном}$ токнинг қиймати нолдан номиналгача ўзгарган тақдирда ҳам нисбатан жуда кам ўзгаради. Қуйидаги 4 –расмда $e = const$ ва $r_{вн} = const$ бўлганда ана шу хилдаги манбанинг ташқи ҳарактеристикаси ($U=f(i)$) келтирилган. Бу боғлиқлик тўғри чизик шаклидадир. Одатда, чизиғий занжирлар таркибига фақатгина ана шундай ҳарактеристикага эга Э.Ю.К. манбалари бўлади. Агарда $r_{вн}=0$ ва $e=const$ бўлса, у ҳолда $U=e=const$ ва шу хилдаги манба Э.Ю.К. нинг идеал манбаси дейилади.



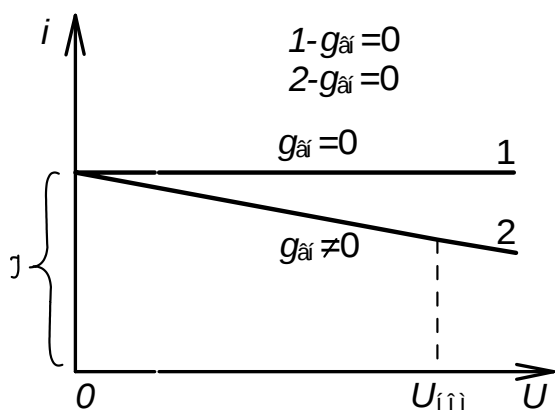
4-расм

$r_{\text{вн}} \neq 0$ бўлган ва ушбу қаршилик шартли равишда манбадан ташқарига чиқарилган ҳақиқий манбани кўриб чиқайлик. Ушбу ҳолат 2-а расмда келтирилган. Ҳудди шунингдек, идеал энергия манбасига эга занжирнинг схемаси эса 2-б расмда келтирилган.

5-расмда $i = f(u)$ чизиқли боғлиқликка эга ток манбасининг ташқи харақтеристикаси келтирилган.

Бунда $I = \text{const}$ ва $q_{\text{вн}} = \text{const}$. Чизмада шунингдек $I = \text{const}$ ва $q_{\text{вн}} = \text{const}$ бўлган ҳолатдаги идеал ток манбасининг ҳам ташқи харақтеристикаси келтирилган.

Ушбу ҳолатда $i = J = \text{const}$. Агарда шартли равишда $q_{\text{вн}}$ ўтказувчанликни ташқарига олиб чиқсак, 3-а расмда келтирилган ток манбасининг шартли кўринишига эга бўламиз. Агарда $q_{\text{вн}}$



5-расм

Таъриф: Занжирнинг қандайдир бирор қисмидаги ток ёки кучланишга боғлиқ бўлган электр юритувчи куч манбаси боғлиқ Э.Ю.К. манбаси деб аталади.

Бундай манбалар шунингдек, бошқариладиган манбалар ҳам дейилади.

ўтказувчанликни истёъмолчига олиб борилса, у ҳолда идеал ток манбали занжирга эга бўламиз. Чизиқли занжирлар назариясини ўрганиш учун ток манбаларини чизиқли харақтеристикага эга деб қараш қабул қилинган. (Боғлиқ Э.Ю.К. манбаси ва боғлиқ ток манбаси тушунчаларини киритайлик).

Таъриф: Занжирнинг қандайдир бирор қисмидаги ток ёки кучланишга боғлиқ бўлган ток манбаси боғлиқ ток манбаси дейилади.

Бунда агар манба токининг қиймати занжир бирор қисмидаги токка (ёки кучланишга) боғлиқ бўлса, у ҳолда манба шунингдек ток билан бошқариладиган манба деб ҳам аталади.

3. Электр занжирлари схемаларининг элементлари.

Электр занжирларининг асосий элементларига: электромагнит энергияси ҳосил қилувчи манбалар; электромагнит энергиясини ўзатувчи ва ўзгартирувчи қурилмалар; электромагнит энергиясини истеъмолчилари киради. Ушбу элементларнинг жумласига: аккумуляторлар, термоэлементлар ва ҳоказолар киради.

1) Электромагнит энергиясини ҳосил қилувчи манбалар бўлиб ҳар хил турдаги энергиялар (масалан: иссиқлик, химёвий, ядровий, механик ва ҳок.) асосида улардан электромагнит энергиясини ишлаб чиқувчи генерациялаш қурилмалари ҳисобланади. Улар жумласига айланувчи электр генератори, гальваник элементлар, аккумуляторлар, термоэлементлар ва ҳок.) киради.

Иссиқлик, ядровий ва химёвий энергиялардан тўғридан - тўғри электромагнит энергияси ҳосил қилувчи янги қурилмалар ҳам ишлаб чиқилмоқдаки, улар жумласига магнитогидродинамик генераторлар ва ёқилғи элементларининг киритилиши мумкин.

Назорат саволлари:

1. Ток ва Э.Ю.К. нинг шартли мусбат йўналишининг моҳиятини ҳар хил занжир элементлари (қаршилиқни, индуктив ва сифимли) мисолида тушунтириб беринг.
2. Боғламали, параллел ва кетма-кет уланиши деб нимага айтилади ?
3. Э.Ю.К. манбалари ва уларнинг схемалари ҳақида айтиб беринг.
4. Ток манбалари ва уларнинг схемалари ҳақида айтиб беринг.
5. Электр занжирларининг асосий элементларига нималар киради ?
6. Электромагнит энергиясини ҳосил қилувчи манбалар нималар киради?
7. Қайси элементлар ўзгартирувчи ва ўзатувчи қурилмалар қаторига киради?
8. Электр магнит энергияси истеъмолчилари ҳақида нималарни биласиз?
10. Бирламчи энергетика системасида истеъмол қилинадиган қувват трансформацияланадими?
11. Истеъмолчининг уланиш схемаси генераторнинг уланиш схемасига боғлиқми?

Мавзу 2.5. Йиғиқ параметрли электр занжирларининг қонунлари ва асосий тенгламаси.

Режа:

1. Электр занжирлари тенгламаларининг тўлиқ системаси. Жамланган параметрли электр занжирларидаги жараёнларнинг дифференциал тенгламалари.
2. Электр занжирлари назариясининг икки асосий вазифаси.

Таянч иборалар: шохобча, берк контур, ток матрица, кучланиш матрица, занжирдаги электр жараёнлар, анализнинг мақсади, синтезнинг мақсади.

1. Электр занжирлари тенгламаларининг тўлиқ системаси. Жамланган параметрли электр занжирларидаги жараёнларнинг дифференциал тенгламалари.

Электр занжирига ёки схема графига нисбатан қўлланган Кирхгоф қонунлари системани тўлиқлигича, унинг алоҳида элементлари хусусиятларини эътиборга олмаган ҳолда тасвифлаб беради. Қуйидаги матрицали тенгламалар

$$A_i = -AI \text{ (ёки } D_i = -DI) \text{ ва } C_u = C_e \quad (2.5.1)$$

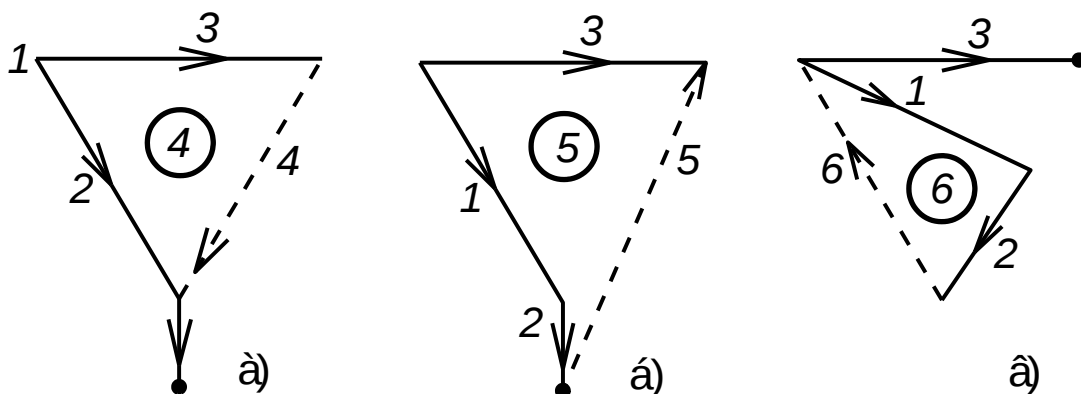
p та алоҳида тенгламалардан тузилган системани аниқлайди. Бунда: A –бирлаштирувчи матрица бўлиб ҳисобланади.

Таъриф: Сатрлари электр схемасининг йўналтирилган графигининг биттадан ташқари тугунларига, устунлари эса мазкур графнинг шохобчаларига мос келувчи, агарда берилган шохобча берилган тугун билан боғланмаган бўлса, ёки берилган тугундан йўналтирилган бўлса, элементлари мос ҳолда нолга, бирга ёки минус бирга тенг бўлган тўғри бурчакли матрицани бирлаштирувчи матрица деб аталади. D –кесимлар матрицасини англатади.

Таъриф: Сатрлари электр схемаси дарахтнинг шохларига, устунларига эса электр схемаси йўналтирилган графнинг шохобчаларига мос келувчи, агарда ёпиқ сирт ҳосил қилишда дарахтнинг фақат битта шохини кесиб ўтса ва график боғлами кесиб ўтиб дарахтнинг берилган шохига йўналган бўлса ёки график боғланишини кесиб ўтиб, графикнинг берилган шохобчасига тескари сиртга йўналган бўлса, элементлари мос ҳолда нолга, бирга ёки минус бирга тенг бўлган тўғри бурчакли матрица кесимлар матрицаси деб аталади. C –контурлар матрицасини англатади.

Таъриф: Сатрлари электр схемаси йўналтирилган графикнинг боғламларига устунлари эса ушбу графикнинг шохобчаларига мос келувчи, агарда берилган боғлам ва электр схемаси дарахт шохлари иштирокида ҳосил қилинган контурни боғлам йўналиши бўйлаб айланиб чиқишда шох контурга кирмаган бўлса, ёки айланиб чиқиши йўналиши бўйича контурга кирган бўлса ёки айланиб чиқиш йўналишига тескари йўналиш бўйича контурга кирган бўлса, элементлари мос ҳолда нолга, бирга ёки минус бирга тенг бўлган тўғри бурчакли матрица контурлар матрицаси деб аталади.

Маълумки, Кирхгофнинг иккинчи қонунини қўллаган ҳолда занжирда нечта контур бўлса, шунча тенглама ҳосил қилиш мумкин. Лекин, бу ҳолда баъзи тенгламалар бошқа тенгламалардан ҳосил қилинган бўлиши ҳам мумкин. Одатда контурлар учун тенгламаларнинг мустақил бўлиши (бошқача айтганда, контурларнинг мустақил бўлиши) га контурларни танлашда ҳар бир кейинги контурга ҳеч бўлмаганда аввалгилардан фарқ қилувчи битта янги шохобча киритилишини таъминлаш орқали эришиш мумкин.



1 –расм

Масалан, 1–а расмда 1, 2 ва 3 шохобчаларга 4 –шохобчани қўшсак 4 –контурга эга бўламиз (расмда стрелкали айлана орқали курсатилган) 5 –шохобчани қўшсак 5 –контурга ва 6 –шохобчани қўшсак 6 –контурга эга бўламиз. Шунинг учун мустақил контурлар сони электр схемасининг ҳар бир боғланган графикдаги боғламлар сони билан аниқланади ёки $n = p - (q - 1)$. Бу ерда q –тенгламалар сони (ёки тугунлар сони), p –тенгламалар сони (ёки матрицанинг устуни) (2.5.1) да келтирилган система электр занжирларидаги жараёнларни ёритиб бериш учун етарли эмас, чунки p та ток ва p та кучланишлар бизга номаълумдир.

Шу сабабли системани тўлдириш учун яна p та тенглама ҳосил қилиб унга қўшиш керак. Ушбу тенгламалар система элементлари –

электр занжири шохобчаларининг хусусиятларини умумлаштириш лозим. Бу тенгламаларни матрица кўринишида қуйидагича ёзамиз.

$$i = f(u) \text{ ёки } u = \varphi(i) \quad (2.5.2)$$

$$i = \begin{pmatrix} i_1 \\ \vdots \\ i_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1(U_1, \dots, U_p) \\ \vdots \\ f_p(U_1, \dots, U_p) \end{pmatrix} \quad \text{ёки} \quad U = \begin{pmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_1(i_1, \dots, i_p) \\ \vdots \\ \varphi_p(i_1, \dots, i_p) \end{pmatrix}$$

Бу ерда f_k ва φ_k ($k=1 \div p$) функцияларнинг ҳарактерига боғлиқ ҳолда электр занжирлари тенгламаларининг системаси чизиқли бўлиши (чизиқли электр занжирлари учун, уларда r , L , c ва M катталиклар занжирдаги ток ва кучланишнинг миқдорлари ва йўналишларига боғлиқ бўлмайди) ёки чизиқсиз бўлиши (чизиқсиз электр занжирлари учун, уларда r , L , c ёки M катталиклардан исталган биттаси занжирнинг қандайдир бир қисмида ток ва кучланишнинг қиймати ва йўналишига боғлиқ бўлган тақдирда). Алоҳида таъкидлаш лозимки, баён этилган тартибда аниқлашда электр схемаси графиги тенгламаларига қандай ток ва кучланишлар киришига боғлиқ ҳолда битта алоҳида танланган занжирнинг ўзи ҳам ёки чизиқли ёки чизиқсиз занжир бўлиши мумкин.

2. Электр занжирлари назариясининг икки асосий вазифаси.

Маълумки, электр занжирлари назариясининг вазифаларини ўзининг бошланғич курсаткичлари ва якуний мақсадига қараб бири-бирига қарама-қарши бўлган икки гуруҳга ажратиш мумкин. Улар: электр занжирларининг анализи (таҳлили) масалалари ва синтези масалаларидир.

Электр занжирлари назариясининг икки масаласини муфассал тавсифлайлик:

1) Анализнинг мақсади: берилган электр занжирларидаги электр жараёнларни ҳисоблаш; (берилган электр занжири дейилганда занжир ҳар бир алоҳида элементларининг таркиби ва ҳарактеристикалари олдиндан маълум занжир тушунилади). Масалан, берилган электр занжирида таъсир қилувчи Э.Ю.К нинг вақт бўйича ўзгариши қонунияти маълум бўлганда занжирдаги тоқларнинг вақт бўйича ўзгаришини ҳисоблаш.

2) Синтезнинг мақсади: олдингига тескари вазифадир – электр занжири таркиби ва унинг элементларини, занжирдаги электр жараёнлари олдиндан берилган қонуниятларга мос ҳолда кетишини

таъминлаган ҳолда аниқлашдир. Масалан, иккита кириш ва иккита чиқишга эга бўлган, кириш зажимларидаги кучланишнинг вақт бўйича ўзгаришларига чиқиш зажимларида ҳам аниқ мос ҳолда, олдиндан белгиланган тартибда кучланишнинг вақт бўйича ўзгаришларига эга бўлиш талаб қилинадиган электр занжирини кўриш эҳтиёжи вужудга келиши мумкин. Бошқача айтганда, кучланишнинг вақт бўйича ўзгариши қонунини бизга зарур йўналиш бўйича фойдаланиш имконига эга электр занжири кўриш эҳтиёжи ҳосил бўлиши мумкин. Курсатиб ўтилган вазифалар муҳим аҳамиятга эгадирлар, масалан: радиотехника ва автоматикада ўта зарур бўлган, ёки муайян арифметик ёки мантиқий операцияларни бажарувчи, чиқиш нуқталарида маълум формага эга импульслар ҳосил қилувчи электр занжирларини кўриш эҳтиёжи ва хоказо.

Назорат саволлари:

1. Бирлаштирувчи матрица деб нимага айтилади?
2. Кесимлар матрицаси деб нимага айтилади?
3. Контурлар матрицасига таъриф беринг.
4. Электр занжирларини анализ қилишнинг мақсадини айтиб беринг.
5. Электр занжирларининг синтези ҳақида нима биласиз?
6. Янги контур қандай ҳосил қилинади?
7. Токни матрица шаклида ёзинг.
8. Кучланишни матрица шаклида ёзинг.
9. Қандай матрицаларни биласи.
10. Берк контурда электр токи мавжуд бўлишининг учта асосий шартини тушунтиринг.

Мавзу 3.1. Синусоидал ток ва кучланишлар. Синусоидал Э.Ю.К манбалари.

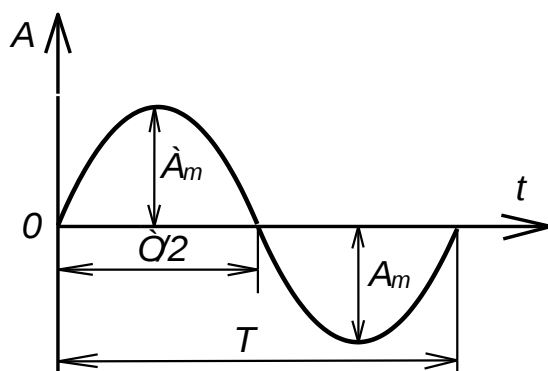
Режа:

1. Синусоидал Э.Ю.К., кучланиш ва токлар.
2. Синусоидал Э.Ю.К. ва токлар манбалари.
3. Синхрон генераторлар турлари ва уларнинг ишлаш тамойили.

Таянч иборалар: синусоида, амплитуда, давр, синусоидал функция, гармоник функция, синхрон генератор, қутубли магнит майдон, электр майдон, электр юритувчи куч, электр кучланиши, электр токи, электр заряди, истеъмолчи.

1. Синусоидал Э.Ю.К., кучланиш ва токлар.

Маълумки, чизиқли электр занжирда бир хил T даврга эга бўлган даврий Э.Ю.К. таъсири остида етарли даражадаги вақт ўтиши билан (ушбу Э.Ю.К. таъсир қила бошлагач) занжирнинг ҳамма қисмларида ана шу T даврга эга даврий токлар ва даврий кучланишлар ҳосил бўлади. 1-расмда T – тебранишларнинг тўлиқ даври; A_m ва $-A_m$ лар эса



1-расм

синусоидал тебранишларнинг амплитуда қийматлари сифатада кўрсатилган. $f = 1/T$ катталиқ Э.Ю.К., ток ва кучланишнинг частотаси деб айтилади. Частота сон жиҳатидан бир вақт бирлиги оралигидаги тебранишлар сонини англатади ва герц (Гц) ларда улчанади.

Вақтнинг синусоидал функциялари бўлган даврий Э.Ю.К. даврий кучланиш ва даврий токлар катта қизиқишга эгадир:

$$e = E_m \cdot \sin(\omega t + \psi_e); \quad (3.11)$$

$$U = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u); \quad (3.12)$$

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i); \quad (3.13)$$

Бунда e , u , i лар – мос ҳолда оний Э.Ю.К., кучланиш ва ток. E_m , U_m , I_m – мос ҳолда Э.Ю.К., кучланиш ва токнинг амплитуда қийматлари. $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ – бурчак частота, ψ_e , ψ_u , ψ_i – мос ҳолда Э.Ю.К., кучланиш ва токнинг бошланғич фазалари.

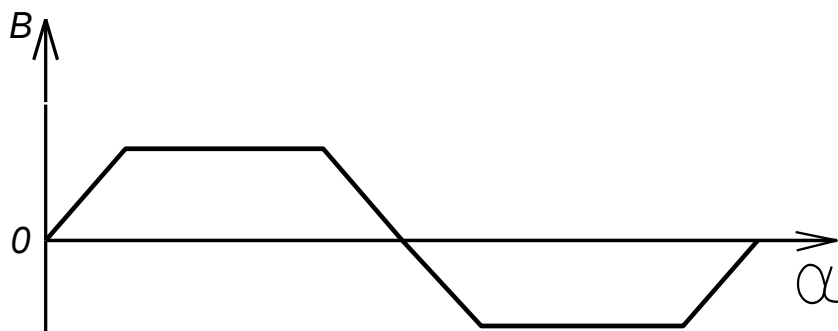
Кучланиш ва ток фазалари ўртасидаги айирма $\psi = \psi_u - \psi_i$ ни, шунингдек, токнинг кучланишга нисбатан бурчак силжиши деб ҳам айтилади. $\varphi = 0$ бўлганда ток ва кучланиш фаза бўйича мос тушади. $\varphi = \pm\pi$ бўлганда улар фаза бўйича ўзоро қарама-қарши ва $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$ бўлганда ўзоро квадратурада бир чоракда бўладилар.

Кўпчилик ҳолларда электр занжирларида ток ва кучланишлар синусоидал қонуният асосида ўзгаришига ҳаракат қилади, чунки, ушбу қонуниятдан четга чиқилган ҳолда, кераксиз ҳолатларга олиб келади. Жумладан занжир элементларида қўшимча исрофлар ҳосил бўлади, юқори қувватли электр ўзатиш линияларининг қўшни алоқа линияларига таъсири ортади ва ҳоказо. Гармоник функцияларнинг яна бир қулай томони шундаки, уларни ҳар хил частотали синусоидал функциялар қаторига (Фурье қатори) тарқатиб чиқиш мумкинлигидир. Шунинг учун синусоидал (гармоник) тоқларни кўриб чиқиш келгусида янада мураккаброқ даврий Э.Ю.К., тоқлар ва кучланишларни урганиш имконини беради. Саноатда одатда 50 Гц частота қўлланилади.

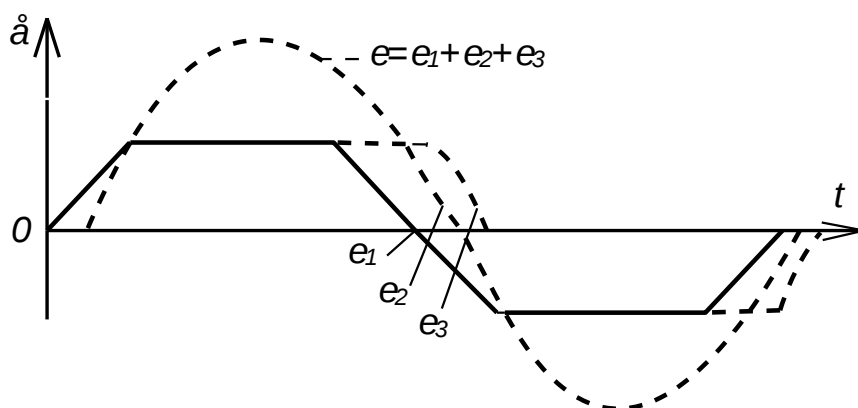
2. Синусоидал Э.Ю.К. ва тоқлар манбалари.

Синусоидал Э.Ю.К.ни ишлаб чиқувчи манбалар бўлиб частотага боғлиқ ҳолда у ёки бу турдаги генераторлар хизмат қилади. Ушбу генераторларни кўриб чиқишдан олдин синусоидал Э.Ю.К. ва тоқларни ишлаб чиқариш принциплари таъйинлари билан танишайлик. Роторларнинг тузилишига кўра генераторлар якқол ифодаланган кутбли ва якқол ифодаланмаган кутбли турларга бўлинади. Якқол ифодаланмаган кутбли генераторларда Э.Ю.К. ишлаб чиқилишини кўриб чиқайлик. Ушбу генераторларда синусоидал Э.Ю.К. ҳосил қилиш учун кутбий наконечниклар шаклини ўзгартириш имконияти йўқдир.

Хаволи тирқишдаги магнит индукцияси B бурчак α га боғлиқ ҳолда тахминан трапецоидал қонуниятга бўйсунди. (2-расм) Вақт бўйича статор чўлғамларидаги Э.Ю.К. ҳам трапецоидал қонуният асосида ўзгаради. Агарда қўшни пазлар (очик жойлар) га бир хил чўлғамлар жой-лаштирилса, ушбу чўлғамларда ҳосил бўладиган e_1 , e_2 ва e_3 Э.Ю.К.лар ҳам бир хил шаклда, фақатгина вақт ўқи бўйича бир –биридан силжиган ҳолда ҳосил бўлади. (3-расм). Ушбу чўлғамларни кетма–кет улаб йиғинди Э.Ю.К. e ни ёки ҳосил қиламиз:



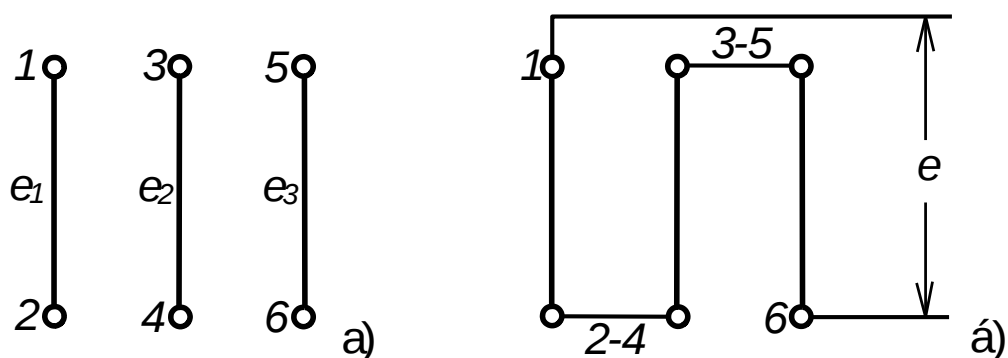
2-расм



3-расм

$$e = e_1 + e_2 + e_3$$

(Бу ҳолат Кирхгофнинг иккинчи қонунига мос келади). Унинг қиймати бутун ўрам бўйича синусоидал қийматга яқин бўлади. Ўрамларнинг ёйилган ҳолатдаги кўриниши мисол тариқасида 3-расмда келтирамиз.



4-расм.

Бир фаза ўрамларнинг жойлашиш схемаси
а) алоҳида, б) биргаликда уланган ҳолда.

Курсатилган ўрамлар худди шу усулда статорнинг бошқа фазаларида ҳам уч фазали системани ҳосил қилиш учун улаб чиқилади.

Яққол ифодаланмаган кутбли синхрон генераторлар стандарт айланишга эга, яъни 1500 ёки 3000 айл./минут. Ушбу генераторлар буғ турбиналари билан биргаликда ишлашлари сабабли улар **турбогенераторлар** деб аталади.

Яққол ифодаланган кутбли синхрон генераторлар гидроэлектростанциялардаги сув босимиға боғлиқ ҳолда 50 дан 750 айл./минутгача бўлган айланишларга эгадирлар.

3. Синхрон генераторлар турлари ва уларнинг ишлаш тамойили.

Генераторлар электр станцияларининг асосий элементи ҳисобланади. Замонавий электростанцияларда деярли тўлиқ ҳажмда фақатгина уч фазали ўзгарувчан ток генераторларигина қўлланилмоқда. Бирламчи, механик ҳаракатни ҳосил қилувчи юритгичларга боғлиқ ҳолда улар икки гуруҳга: турбогенераторлар ва гидрогенераторларга бўлинади.

Турбогенераторлар бевосита буғ ва газ турбиналари билан боғланган ҳолда ишлаши сабабли уларнинг асосий фарқ қилувчи белгиси тез айланишидир, улар юқори айланиш частотасига эгадирлар. Турбина айланиш частотаси қанча катта бўлса, унинг чизикли ўлчамлари (габарити) шунча кичик ва мос ҳолда фойдали иш коэффиценти шунча катта бўлади, шу сабабли турбогенераторлар айланиш тезлигини имкон борича оширишга ҳаракат қилинади. Иккинчи томондан, айланиш тезлигини ошириш имконияти ҳам, тармоқдаги частота $f = 50$ Гц га ва генератор жуфт кутблари минимал сони $p = 1$ га боғлиқ ҳолда чеклангандир.

У ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$n = \frac{60f}{P} \quad (3.1.4)$$

бу ерда $f = 50$ Гц - тармоқдаги частота (Япония ва АҚШ да $f = 60$ Гц) P –жуфт кутблар сони.

Алоҳида, махсус ҳолатларда кичик қувватли турбогенераторларни турбиналарга бевосита эмас, балки пасайтирувчи редуктор орқали уланишига ҳам йўл қўйилади. Бу ҳолатларда турбиналар юқори айланиш частотасига эга бўлишлари мумкин. Аммо ушбу турдаги редукторлар одатда буғ - турбинали ГЭС ларда қўлланилмайди, чунки юқори қувватли турбогенераторлар ишлаш ишончилигини пасайтириб юборади.

Гидрогенераторнинг айланиш частотаси қуйидаги ифода асосида ҳисобий йўл билан аниқланади:

$$n_{турб} = n_s \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}} \quad (3.1.5)$$

бунда n_s – турбина турига боғлиқ бўлган тезлик коэффиценти; айл/минутда; H – босим, метрда; P – турбинанинг қуввати, МВт да.

Таъриф: Уч фазали синхрон генераторнинг номинал кучланиши деб статор ўрамидаги U_n чизикли кучланишга айтилади. U_n қуйидаги қаторни ҳосил қилади: 3.15; 6.3; 10.5; 18.0; 20.0; 21.0; 24.0 кВ.

Синхрон генераторларнинг номинал тўлиқ қуввати қуйидаги формула билан аниқланади:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \quad (3.1.6)$$

Мос ҳолда, актив ва реактив қувватлар қуйидаги ифодалар орқали аниқланади:

$$P_n = \sqrt{3} U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi \quad (3.1.7)$$

$$Q_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi \quad (3.1.8)$$

бунда $\cos \varphi$ – қувват коэффиценти, $\sin \varphi$ эса: $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$

Турбогенераторлар учун номинал қувват коэффицентининг қиймати қувват 100 МВт гача бўлса 0.8 га, 160 – 500 МВт бўлганда 0.85 га ва қувват 800 МВт гача бўлганида 0.85 дан 0.90 гача тенг бўлади.

Гидрогенераторларнинг номинал қувват коэффиценти қувват 125 МВт ва ундан кичик бўлганда 0.8 га, қувват 125 дан 360 МВт гача бўлганда - 0.85 га ва 360 МВт дан юқори қувватда 0.9 га тенг бўлади.

Назорат саволлари

1. Тебраниш жараёнининг (даврий тебраниш) параметрларини курсатинг.
2. Вактнинг синусоидал функциялари қандай ифодалардан аниқланади?
3. Генераторлар роторларининг тузилишига боғлиқ қандай турларга бўлинади?
4. Синусоидал Э.Ю.К. қандай ҳосил қилинади?
5. Синхрон генератор битта фазаси ўрамларининг жойлашиш схемасини тушунтириб беринг.
6. Истеъмолчининг уланиш схемаси генераторнинг уланиш схемасига боғлиқми?
7. Синхрон генераторларининг қандай турларини биласиз?
8. Генераторнинг номинал кучланиши деб нимага айтилади?
9. Гидрогенераторнинг айланиш частотаси қандай аниқланади?

10.Роторнинг бажарилишига кўра генераторлар қандай хилларга бўлинади.

Мавзу 3.2. Даврий электр юритувчи куч, кучланиш ва токнинг ўртача қийматлари. Вектор диаграммаларини кўриш.

Режа:

1. Даврий электр юритувчи куч, кучланиш ва токнинг ўртача ва жорий қийматлари.
2. Айланувчан векторлар ёрдамида синусоидал функцияларни ифодалаш.
3. Вектор диаграммаларини кўриш.

Таянч иборалар: синусоида, амплитуда, давр, синусоидал кучланиш ва синусоидал ток, синусоидал функция, айланувчи вектор, вектор диаграмма, даврий тебраниш, электр юритувчи куч, электр кучланиши, электр токи.

1. Даврий электр юритувчи куч, кучланиш ва токнинг ўртача ва жорий қийматлари.

Маълумки, даврий Э.Ю.К., кучланиш ва токларнинг қийматлари тўғрисида уларнинг давр оралиғидан ўрта квадратик қийматлари: E , U , I деб белгиланадиган қийматларга қараб баҳо берилади. Уларнинг математик ифодаланиши қуйидаги формулаларда келтирилган:

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt}; \quad U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}; \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (3.2.1)$$

Келтирилган қийматлар даврий Э.Ю.К., кучланиш ва токларнинг жорий (амалдаги) қийматлари деб аталади.

Қуйида ушбу танлашни асословчи фикрларни келтирамиз. Масалан, бир давр ичида r қаршилиikka эга занжирда иссиқлик ажралиб чиқишини курсатувчи ўртача қувват миқдори қуйидаги ифода орқали топилади:

$$\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot r dt = r \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot dt = r \cdot I^2 \quad (3.2.2)$$

Бинобарин, даврий эффектив ток тушунчасини кирита туриб (тўлиқ давр ичидаги унинг ўрта квадратик қийматига тенг бўлган), ушбу ток орқали ифодаланган, кўринишдан худди ўзгармас тоқлар учун каби ўртача қувватни ҳисоблаш формуласини ҳосил қиламиз.

Энди эффектив синусоидал Э.Ю.К.нинг E қийматини унинг амплитудаси E_m билан боғлиқлиги: $e = E_m \cdot \sin(\omega t + \psi_e)$ ни аниқлаймиз. У ҳолда қуйидагича эга бўламиз:

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E_m^2 \sin^2(\omega t + \psi_e) dt} =$$

$$E_m \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{1 - \cos(2\omega t + 2\psi_e)}{2} dt} = E_m \sqrt{\frac{1}{T} \cdot T \cdot \frac{1}{2}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (3.2.3)$$

чунки

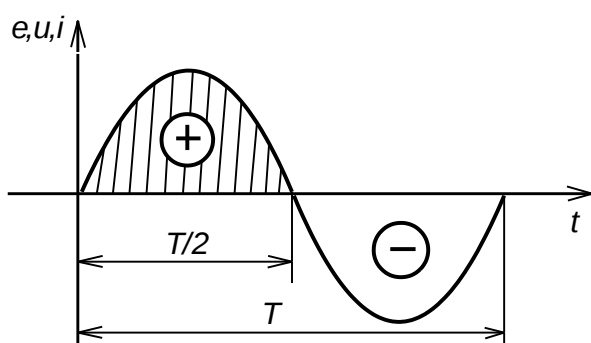
$$\int_0^T \cos(2\omega t + 2\psi_e) dt = 0 \quad (3.2.4)$$

Худди шунингдек, синусоидал кучланиш ва синусоидал ток учун қуйидагиларга эга бўламиз:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (3.2.5)$$

Амалиётда, даврий кучланиш ва тоқларни ўлчаш учун қўлланиладиган приборларнинг кўпчилик қисми ушбу катталиқларнинг таъсир этувчи эффектив қийматларини курсатади.

Тўлиқ давр ичида эффектив синусоидал Э.Ю.К., кучланиш ва тоқларнинг ўртача арифметик қиймати нолга тенг бўлади. Шу сабабли уларнинг мусбат ярим давр ичида ўртача қиймати тушунчаси киритилади (1-расм).



1-расм

Ўртача қийматларни аниқлашнинг ушбу усули даврий носинусоидал Э.Ю.К., кучланиш ва тоқларнинг ўртача қийматларни аниқлашда ҳам фойдаланилади, бу ҳолда уларнинг мусбат ва манфий ярим тўлқинлари ўзаро бир хил бўлиши шарт.

Хусусан, синусоидал Э.Ю.К. нинг ўртача қиймати қуйидагича тенг:

$$E_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} E_m \sin \omega t dt = \frac{2E_m}{\omega T} [-\cos \omega t]_0^{T/2} = \frac{4E_m}{T} = \frac{2}{\pi} E_m \quad (3.2.6)$$

чунки $\omega = 2\pi \cdot 1/T$;

$$4E_m/10T = 4E_m/2\pi \cdot 1/T \cdot T = 2E_m/\pi = 2/\pi \cdot E_m$$

ва мос ҳолда: $U_{cp} = 2/\pi \cdot U_m$ ва $I_{cp} = 2/\pi \cdot I_m$ (3.2.7)

даврий ўзгарувчан илашган оқими ψ томонидан индукцияланадиган Э.Ю.К. нинг ўртача қиймати илашган оқимининг ψ_{max} ва максимал ψ_{min} орқали ҳисоблашни кўриб чиқайлик, ҳақиқатда ҳам:

$$E_{cp} = 2/T \int_0^{T/2} e dt = 2/T \int_0^{T/2} (-d\psi/dt) dt = -2/T \int_{\psi_{max}}^{\psi_{min}} d\psi = 2f(\psi_{max} - \psi_{min}) \quad (3.2.8)$$

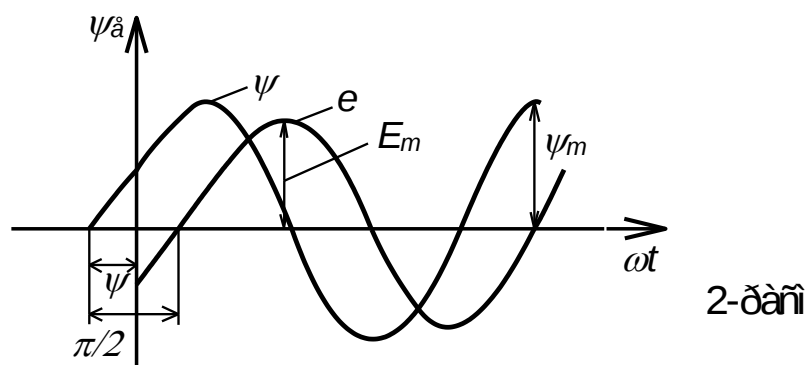
Э.Ю.К. қиймати ψ_{max} дан $\psi = \psi_{min}$ ларда 0 га тенг бўлади ва илашган оқими ψ_{max} дан ψ_{min} гача ораликда ўзгарганда $e > 0$ бўлади. $\psi_{max} = -\psi_{min} = \psi_m$ бўлганда $E_{ep} = 4f\psi_m$. Ушбу оддий формула туташув оқимининг ψ_{max} дан ψ_{min} гача ўзгариш қонуниятига боғлиқ эмас. Агарда жорий Э.Ю.К. ни аниқлаш зарурияти туғилса, E_{ep} миқдори Э.Ю.К. эгри чизиқнинг шакл коэффиценти: $k_{ui} = E/E_{yp}$ га кўпайтириш керак:

$$E = K_{ui} \cdot E_{yp} = 4k_{ui} f \psi_m \quad (3.2.9)$$

Хусусий ҳолда, синусоидал илашган оқими $\psi = \psi_{min} \cdot \sin(\omega t + \psi)$ бўлганида Э.Ю.К. қуйидагича ифодаланади:

$$e = -W\dot{\psi}_m \cdot \cos(\omega t + \psi) = \omega \cdot \psi_m \cdot \sin(\omega t + \psi - \pi/2) \quad (3.2.10)$$

Индукцияланаётган Э.Ю.К. илашган оқими ψ дан $\pi/2$ бурчакка орқада қолади (2–расмга қаранг). Синусоидал Э.Ю.К. да эгри чизиқнинг шакл коэффиценти $k_{ui} = E/E_{yp} = E_m/\sqrt{2}$; $2E_m/\pi = E_m \cdot \pi/\sqrt{2} \cdot 2 \cdot E_m = \pi/2\sqrt{2} \approx 1.11$ ва мос ҳолда $E = 4.44 f\psi_m$ шунингдек, амплитуда коэффиценти k_a ҳам қабул қилинган. $k_a = E_m/E$ хусусан синусоида учун $k_a = \sqrt{2}$ дир.



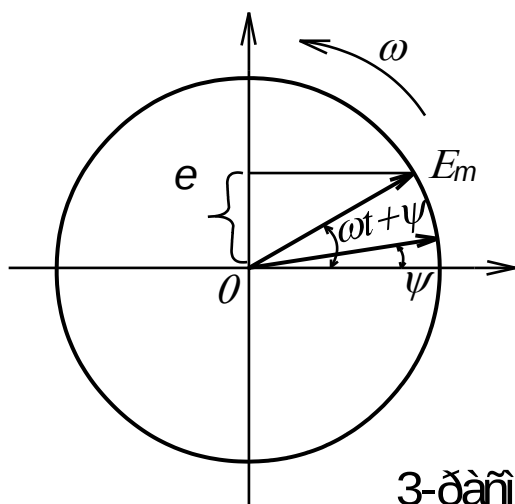
2. Айланувчан векторлар ёрдамида синусоидал функцияларни ифодалаш.

Электротехникада бурчак частотаси ω бўлган синусоидал Э.Ю.К., кучланиш ва тоқларни ω га тенг бурчак тезлиги билан айланаётган векторлар кўринишидек тасвирлаш мумкин, бунда векторнинг

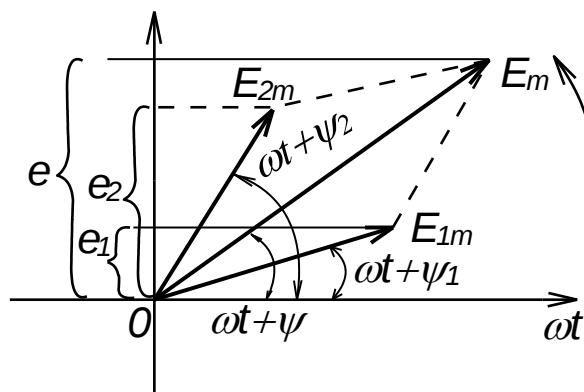
узунлиги тегишли масштабларда Э.Ю.К., кучланиши ва токларнинг амплитудаси билан аниқланади.

3-расмда айланувчи вектор ёрдамида $e = E_m \cdot \sin(\omega t + \psi)$ синусоидал Э.Ю.К. тасвирланган. Агарда $(\omega t + \psi)$ бурчак горизонтал ўқдан бошлаб ҳисобланса, у ҳолда айланувчи векторнинг вертикал ўққа проекцияси танланган масштабда оний Э.Ю.К. қийматига тенг бўлади. Фараз қилайлик, e_1 ва e_2 бир хил частотали Э.Ю.К. ларнинг йиғиндиси e Э.Ю.К. бўлсин.

$$e = e_1 + e_2 = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + E_{2m} \sin(\omega t + \psi_2) = E_m \cdot \sin(\omega t + \psi) \quad (3.2.11)$$



3-дәғи



4-дәғи

4-расм e_1 ва e_2 Э.Ю.К. лар айланувчи векторлар тарзида берилган. ҳар қандай 2 та векторнинг геометрик йиғиндиси бўлган векторнинг исталган ўққа проекцияси мазкур векторларнинг ана шу ўққа проекцияларининг алгебраик йиғиндисига тенг бўлганлиги сабабли, Э.Ю.К. e ни ҳам айланувчи e_1 ва e_2 векторларнинг геометрик йиғиндиси сифатида курсатилган. Турғунлашган синусоидал жараёнларни кўриб чиқишда катталиклардан бирининг бошланғич фазасини ихтиёрий танлаб олиш мумкин. Масалан: Э.Ю.К. нинг ёки уланаётган кучланишнинг бошланғич фазасини шунга мос ҳолда вақтнинг бошланғич моментида ушбу катталиқни белгилаётган векторни ҳам ихтиёрий жойлаштириш мумкин. Қолган барча катталикларнинг векторлари ушбу векторга нисбатан фазалар силжишига тенг бурчакларда бурилган ҳолда жойлаштирилади.

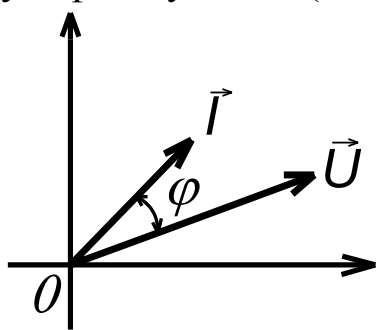
3. Вектор диаграммаларини кўриш.

Физика курсидан маълумки, векторлар ҳам йўналишга ҳам катталиқка эгадирлар. Электротехникада айланувчи векторлар ёрдамида электр ва магнит параметрларнинг бир-бирига боғлиқлигини яққол курсатиб бериш мумкин. Айниқса даврий

тебранишларда мазкур параметрлар орасида орқада қолиш, олдинлаб кетиш ёки устма–уст тушиш бурчаклари жуда муҳимдир.

Таъриф: У ёки бу турдаги ўзгарувчан ток занжиридаги жараёнларни тавсифловчи ва бир–бирига нисбатан тўғри ориентацияни сақлаган ҳолда кўрилган векторлар тўплами вектор диаграмма деб аталади.

Векторларни ясаш учун масштаб танлаб олинади. Синусоидал функцияларнинг жорий (амалдаги) қийматларини уларнинг амплитуда қийматларидан $\sqrt{2}$ марта кичик бўлгани учун вектор диаграммасини кўришда эффектив Э.Ю.К., кучланиш ва ток векторларининг узунлигини танланган масштабда олиш мақсадга мувофиқ бўлади. ($M_n:1; M_I:1; M_U:n$ бу ерда n масштаб карралиги).



5–расм

5–расмда i ток ва U кучланишнинг вектор диаграммаси келтирилган. Бу ерда ток кучланишга нисбатан φ бурчакка силжиган (вектор диаграммаси векторни соат стрелкаси йўналишига тескари айлантириш орқали кўриши сабабли келтирилган расмда ток кучланишдан φ бурчакка олдинда деб ҳисобланади).

Векторларни чизишда (вақтнинг синусоидал функцияси бўлмиш векторларни чизишда) ушбу векторлар ҳам мазкур катталикларни эффектив ёки максимал қийматларини белгиловчи ҳарфлар билан, фақатгина устига вектор чизиқчаси қўйилган ҳолда белгиланади.

Назорат саволлари:

1. Э.Ю.К., кучланиш ва токнинг ўртача квадратик қийматларини ёзинг.
2. E , U , I ларнинг эффектив қийматларининг уларнинг амплитуда E_m , U_m , I_m лар билан боғлиқлигини курсатинг.
3. Э.Ю.К., кучланиш ва токнинг ўртача қиймати қандай аниқланади?
4. Эгри чизиқ шакл коэффициентини аниқлаш формуласини курсатинг.
5. Айланувчи векторларни ясалишини тушунтиринг.
6. Вектор диаграммалари қандай кўрилади?
7. Шакл коэффициентини ҳисобга олган ҳолда Э.Ю.К. нинг ҳақиқий қиймати ифодасини ёзинг.
8. Вектор диаграмма тушунчасига таъриф беринг.

9. Илашиш оқими ва Э.Ю.К. нинг ωt даврий тебранишга боғлиқлигини ифодаланг.
10. Ток ва кучланиш орасидаги фазалар силжиши вектор диаграммасида қандай тасвирланади?

Мавзу 3.3. Кетма–кет уланган электр занжирининг турғунлашган ҳолати. Актив, реактив ва тўлиқ қаршиликлар.

Режа:

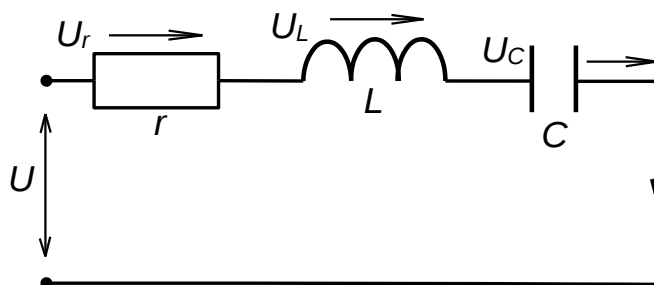
1. Кетма–кет уланган занжирдаги турғунлашган ҳолат.
2. Ток ва кучланиш орасидаги фаза силжишлари.
3. Актив, реактив ва тўла қаршилик.

Таянч иборалар: синусоидал қонуният, актив қаршилик, конденсатор, тўлиқ қаршилик, синусоида, амплитуда, давр, синусоидал кучланиш ва синусоидал ток, синусоидал функция.

1. Кетма–кет уланган занжирдаги турғунлашган ҳолат.

1–расмда кетма–кет уланган r , L ва C қисмлардан таркиб топган занжир схемаси келтирилган. Ушбу схема учун қуйидаги кўринишдаги тенгламага эгамиз:

$$U = U_r + U_L + U_C = r i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + U_C(0) \quad (3.3.1)$$



1-расм

Келтирилган тенгламанинг умумий ечими $i(t)$, бошқа ҳар қандай чизикли дифференциал тенгламаники каби, хусусий ечим $i'(t)$ (функция $u(t)$ нинг кўриниши билан аниқланадиган) ва тўлиқ интеграл $i''(t)$ ($u(t)=0$ деб олинганда, бир турдаги дифференциал тенгламанинг тўлиқ интеграли) ларнинг йиғиндиси каби ҳисобланади.

Занжирга кучланиш $u(t)$ улангандан кейин токнинг $i''(t)$ ташкил этувчиси тез орада сўнади (секунднинг улушлари ёки бир неча секунд давомида, амалда нолгача). Ҳақиқатда $U=0$ ва $r \neq 0$ бўлганида кетма-кет улангандаги жараён фақатгина занжирнинг майдонлари (электр ва магнит) даги энергия захиралари ҳисобигагина сақланиб туриши ва кейинчалик энергиянинг r қаршиликли қисмида тарқалиши ҳисобига сўниши мумкин.

Бинобарин, занжирни, тармоқда улангандан кейин озроқ вақт ўтгач, қиймати занжир тенгламасининг хусусий ечими $i'(t)$ га тенг бўлган $i(t)$ ток турғунлашади. $i(t)$ катталиқ турғунлашган режимдаги занжир токи бўлиб ҳисобланади. Фараз қилайлик, занжирга уланган кучланиш синусоидал қонуният бўйича ўзгарсин:

$$U = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u) \quad (3.3.2)$$

Ушбу ҳолатда турғунлашган режим токи ҳам синусоидал ва шу частота $\omega = 2\pi f$ га эга бўлади, шунинг учун қуйидаги тенглик ўринли бўлади:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) \quad (3.3.3)$$

Электротехниканинг асосий вазифаси бўлиб U_m , ω ва ψ_u ларнинг берилган қийматларида I_m ва φ ни топишдан иборатдир.

2. Ток ва кучланиш орасидаги фаза силжишлари.

Турғунлашган синусоидал жараёни тадқиқ қилишда ψ_u бошланғич фаза (уланган кучланишнинг) қиймати ихтиёрий танлаб олиниши мумкин. Чунки ушбу ҳолатда кетма-кет уланган элементлардан иборат занжирнинг ҳар бир қисмидаги ток умумий ҳисобланади ва $\psi_u = \varphi$ деб танлаш мақсадга мувофиқ бўлади (ток учун бошланғич фаза бу ҳолда нолга тенг: $\psi_i = 0$ бўлади). У ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$U = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.3.4)$$

$$i = I_m \cdot \sin \omega t \quad (3.3.5)$$

бунда: φ - ток ва кучланиш орасидаги фаза силжиши. Ушбу параметр кўриб чиқиладиган элемент (актив, индуктив ёки сиғимли элемент)

нинг қаршилигининг моҳиятини тавсифлайди. Ушбу қаршиликларга боғлиқ ҳолда φ бурчак ҳар хил бўлиши мумкин.

(3.3.4) ва (3.3.5) лардан i ва U ларнинг қийматларини (3.3.1) тенгламага қуйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$rI_m \cdot \sin \omega t + \omega L I_m \cdot \cos \omega t - \frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cos \omega t + \frac{1}{\omega C} \cdot I_m + U_C(o) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.3.6)$$

Келтирилган тенгламада тенгламанинг чап қисмидаги охирги 2 та ҳаддан ташқари барча ҳадлар доимий ташкил этувчига эга, шунинг учун:

$$\frac{1}{\omega C} \cdot I_m \cdot U_C(o) = 0 \quad (3.3.7)$$

(3.3.7) тенглама вақт t нинг исталган моменти учун ҳам ўринли бўлиши лозим. Хусусан, $\omega t = \frac{\pi}{2}$ ва $\omega t = 0$ бўлган ҳолларда:

$$rI_m = U_m \cdot \cos \varphi \quad (3.3.8)$$

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \cdot I_m = U_m \cdot \sin \varphi \quad (3.3.9)$$

(3.3.8) ва (3.3.9) ларни квадратга кўтариб ва қўшиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\left[r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2\right] \cdot I_m^2 = U_m^2 \quad (3.3.10)$$

бу ердан ток ва кучланиш амплитудалари ўртасидаги боғлиқликни ҳосил қиламиз:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (3.3.11)$$

Ушбу ифоданинг ўнг ва чап қисмларини $\sqrt{2}$ га бўлиб, шунга ўхшаш, жорий (амалдаги) ток ва кучланишлар ўртасидаги боғлиқликни ҳосил қиламиз:

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (3.3.12)$$

(3.3.11) ва (3.3.12) тенгламаларда барча ҳолатларда ҳам илдиз остидан фақатгина мусбат илдиз қиймати олинади, чунки кучланиш ва токнинг амплитудалари ва жорий (амалдаги) қийматларини мусбат катталиклар деб ҳисоблаймиз.

(3.3.9) ни (3.3.8) га бўлиш орқали:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{r} \quad (3.3.13)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

3. *Актив, реактив ва тўла қаршилик.*

Кучланиш ва токнинг амплитудалари U_m ва I_m ёки жорий (амалдаги) қийматлари U ва I лар ўртасидаги боғлиқликни ифодаловчи формулаларда маҳражда электр қаршилиги билан бир хил ўлчовдаги катталиклар турибди. Бу катталикларни Z орқали ифодалаймиз ва занжирнинг тўлиқ қаршилиги деб атаймиз.

Юқорида кўрилган занжир учун:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I} = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.3.14)$$

Ўзгарувчан ток занжирининг тўлиқ қаршилиги Z умумий ҳолда r қаршиликдан катта ва унга фақатгина хусусий ҳолатда тенг бўлиши мумкин. Бунга сабаб, кўрилаётган занжирдаги кучланиш нафақат i , r билан индуктив элемент учун $L \frac{di}{dt}$ ва сиғим учун $\frac{q}{C}$ ташкил этувчиларга ҳам эгадир.

U_r ва $(U_L + U_C)$ кучланишлар бир - бирига нисбатан $\frac{\pi}{2}$ бурчакка силжигандир. Шунинг учун занжирнинг тўлиқ қаршилиги Z ни оддийгина арифметик қўшиш усулида (r ва X ни) аниқлаб бўлмайди, аниқ ҳисоблаш, қуйидаги ифода орқали:

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (3.3.15)$$

амалга оширилади.

r қаршилик занжирнинг **актив қаршилиги** деб аталади. Ушбу қаршилик орқали занжирдаги электромагнит энергиясининг иссиқлик энергияси ажралиб чиқиши тарзида йўқолиши жараёнлари аниқланади. $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ катталик (қаршилик ўлчовига эга, ўзиндукция ва сиғим таъсирини ҳисобга олувчи) эса занжирнинг реактив қаршилиги деб аталади ва X орқали белгиланади. Сиғим таъсирини ҳисобга олувчи $\frac{1}{\omega C}$ ҳад занжирнинг сиғимий қаршилиги деб, ўзиндукция таъсирини ҳисобга олувчи ωL ҳад эса занжирнинг индуктив қаршилиги деб аталиб, мос ҳолда X_C ва X_L билан белгиланади. У ҳолда:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}; \quad X_L = \omega L; \quad X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = X_L - X_C \quad (3.3.16)$$

$$Z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (3.3.17)$$

Шуни таъкидлаш лозимки, частота ортиши билан X_L нинг ошиши ўзиндукция Э.Ю.К. ининг токни ўзгариш тезлигига пропорционал

бўлиши билан боғлиқ ва шунинг учун ток амплитудаси ўзгармаган ҳолда частота ортиши билан ўзиндукция Э.Ю.К. нинг амплитудаси ҳам ортади. Частотани ортиши билан X_c катталиқ микдорининг камайиши конденсатордаги силжиш токи конденсатор зажимларидаги кучланишнинг ўзгариш тезлигига пропорционал бўлишига боғлиқ ва шунинг учун кучланиш амплитудаси ўзгармас бўлганида частота ортиши билан унинг амплитудаси ҳам ортади.

Назорат саволлари:

1. Қисмлари кетма–кет уланган занжир схемасини курсатинг ва ушбу схема учун кучланиш формуласини ёзинг.
2. Кетма–кет уланган занжирда турғунлашган ҳолатни тушунтириб беринг.
3. Занжир кучланиши ва токи ўртасидаги фазалар силжиши нимани англатади.
4. Ток ва кучланишнинг амлитуда қийматлари орасидаги боғлиқликни ифодасини ёзинг.
5. Занжирнинг тўлиқ қаршилиги деб нимага айтилади?
6. Актив қаршилиқнинг моҳиятини тушунтиринг.
7. Реактив қаршилиқ қандай ташкил этувчилардан иборат?
8. Тўла қаршилиқ формуласини ёзинг.
9. Частотани ортишида X_L қандай ўзгаради?
10. Частотани ортишида X_c нинг камайиши моҳиятини тушунтиринг.

Мавзу 3.4. Кучланиш ва қаршилиқлар учбурчаклари.

Режа:

1. Ток ва кучланишнинг фаза бўйича устма–уст тушиш ҳолати.
2. Кучланишнинг токдан ортда қолиши.
3. Кучланишнинг токдан олдин кетиши. Кучланишлар ва қаршилиқлар учбурчаги.

Таянч иборалар: ток ва кучланиш, индуктив чўлғам, актив элемент, қаршилиқлар учбурчаклари, актив қаршилиқ, конденсатор, тўлиқ қаршилиқ.

1. Ток ва кучланишнинг фаза бўйича устма–уст тушиш ҳолати.

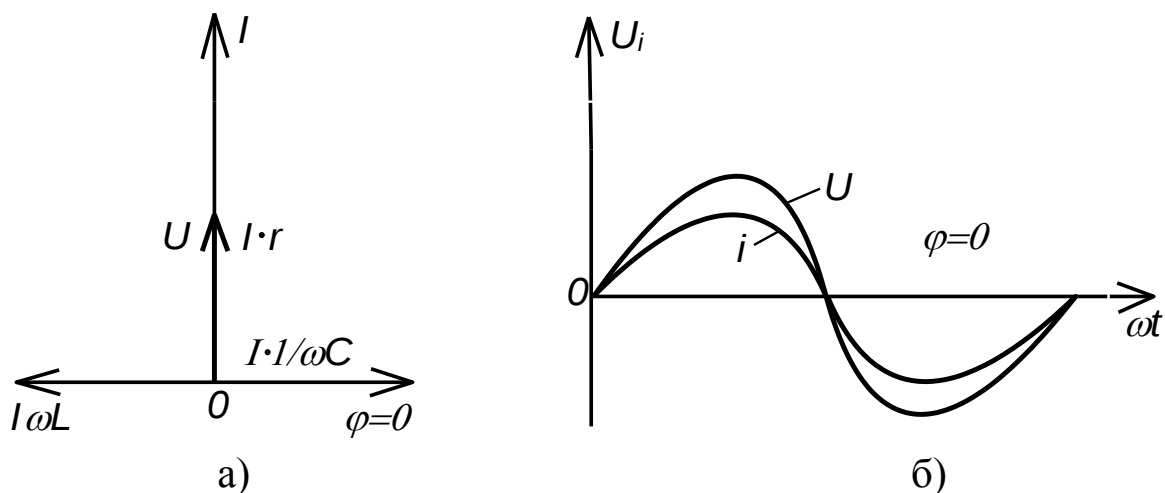
Занжирнинг алоҳида қисмларидаги кучланиш ва ток ўртасидаги фазалар силжишини кўриб чиқишда занжир тўлиқ қаршилигини ифодалаш структураси аниқланади. Кўринарли бўлиши учун кўриб чиқиладиган схеманинг вектор диаграммасини кўрамиз. Диаграмма асосий сифатида жорий катталиклар (масалан, $U=U_m/\sqrt{2}$ ёки $I=I_m/\sqrt{2}$) олинади ва уларни қисқача кучланиш вектори, ток вектори ёки Э.Ю.К вектори деб атаيمиз. Вектор диаграммасини кетма–кет уланган схема учун кўрамиз (бошқача айтганда занжирнинг алоҳида қисмлари учун). Бунда қуйидаги натижаларни ҳисобга оламиз:

- 1) Актив қаршиликда ток ушбу қисмдаги кучланиш билан фаза бўйича устма–уст тушади.
- 2) Индуктив чўлғамда ток ушбу чўлғамдаги кучланишдан фаза бўйича $\pi/2$ бурчакка орқада қолади.
- 3) Конденсаторда ток конденсатор зажимларидаги кучланишдан фаза бўйича $\pi/2$ бурчакка олдинда юради.

Бутун занжир бўйича ток ва кучланишлар ўртасидаги фаза силжишини кўриб чиқайлик. Аввал ток ва кучланишлар фаза бўйича устма–уст тушиш ҳолига тўхталамиз. Маълумки, r қаршиликли кучланиш фаза бўйича ток билан устма –уст тушади ва қуйидаги кўринишида бўлади.

$$U_r = ri = rI_m \sin \omega t \quad (3.4.1)$$

Вектор диаграммасини кўришда I векторни вертикал ўқ бўйлаб йўналтирамиз. 1-расмда $\varphi=0$ бўлганда гармоник тебранишлар.



1 –расм

U ва I ларнинг вектор диаграммаси (1-а расм) ва функцияси (1-б расм) келтирилган. Кўриладиган ҳолда $x=0$, чунки занжирда реактив қаршилик йўқ, ёки индуктив ва сиғимий қаршиликлар бир–бирини

ўзаро компенсациялайди. Бундай ҳолат фақатгина резонансда содир бўлади.

$$X = \omega L - 1/\omega C = 0 \quad (3.4.2)$$

Вектор диаграммасида U_L ва U_C векторлар йиғиндиси нолга тенг ва U уланган кучланиш вектори йўналиш бўйича I ток вектори билан бир хил. Силжиш бурчаги нолга тенг.

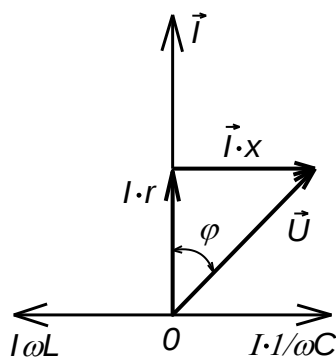
2. Кучланишнинг токдан ортда қолиши.

Кучланиш токдан орқада қолиш ҳолатни кўрайлик. Занжирнинг C сиғимли қисмида кучланиш токдан $\pi/2$ бурчакка ортда қолади ва қуйидаги кўринишга эга.

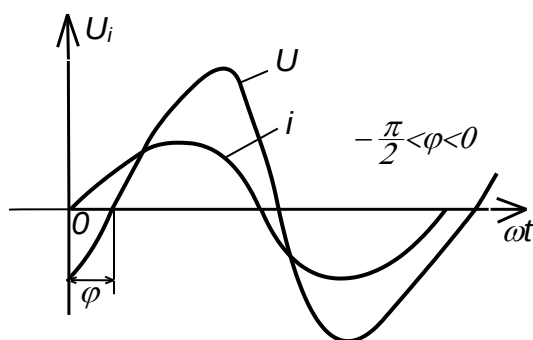
$$U_c = q/C = 1/C \int_0^t i dt + U_c(0) = -1/\omega C \cdot I_m \cdot \cos \omega t = 1/\omega C I_m \sin(\omega t - \pi/2) \quad (3.4.3)$$

2-расмда $1/\omega C > \omega L$ бўлган ҳолда (бунда $x < 0$, $-\pi/2 \leq \varphi \leq 0$ ток занжир зажимларидаги кучланишдан $\pi/2$ бурчакка олдинда) ток ва кучланиш эгри чизиқлари вектор диаграммалари келтирилган.

Занжирнинг сиғимли элементи кучланиш учун филтр бўлиб ҳисобланади. Ва ушбу элементда электр майдонининг энергияси тўпланади.



а)



б)

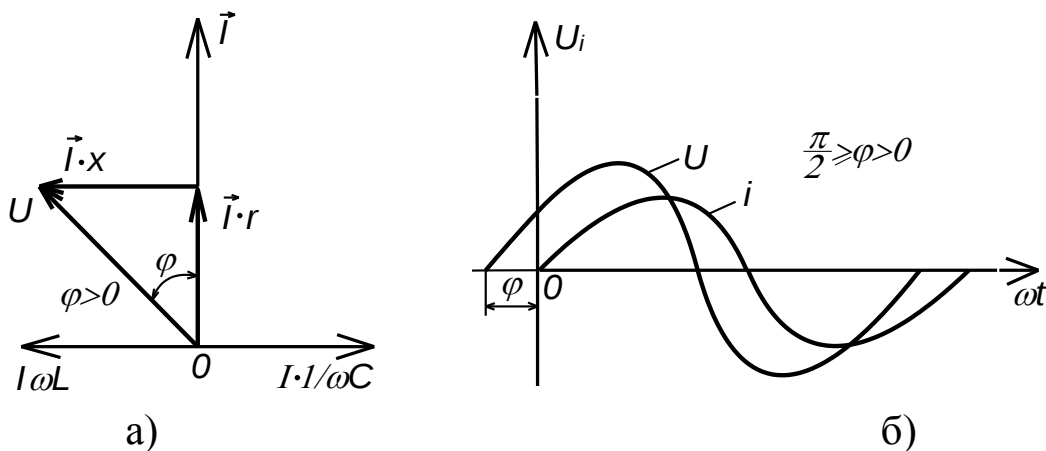
2 –расм

3. Кучланишнинг токдан олдин кетиши. Кучланишлар ва қаршиликлар учбурчаги.

Кучланишнинг токдан олдинда бўлиши ҳолатини кўриб чиқамиз. L индуктив чўлғамили занжир қисмидаги кучланиш токдан $\pi/2$ бурчакка олдинда бўлади ва қуйидагича кўринишга эга:

$$U_L = L di/dt = \omega L \cdot I_m \cdot \cos \omega t = \omega L \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \quad (3.4.4)$$

3-расмда $\omega L > 1/\omega C$ бўлган ҳолда (бунда $x > 0$; $\pi/2 \geq \varphi > 0$, ток занжир зажимларидаги кучланишдан фаза бўйича ортда) ток ва кучланиш эгри чизиқлари (3-б расм), вектор диаграммаси (3-а расм).



3 –расм

Вектор диаграммаларини кўришда айланиш бурчагининг мусбат йўналиши сифатида соат стрелкасига тескари йўналишда қабул қилинади.

2 ва 3-а расмларда кучланиш ва қаршиликлар учбурчаклари тасвирланган. Векторларни курсатилган учбурчакларда қўшиш пайтида асос сифатида Кирхгофнинг 2-қонуни қабул қилинади. Ҳақиқатдан ҳам 2-а ва 3-а расмлар учун

$$U = Ir + Ix \quad (3.4.5)$$

Назорат саволлари:

1. Ток ва кучланишнинг мос келиши (устма–уст тушиш) ҳолатини тушунтиринг.
2. Актив элементда нима содир бўлади?
3. Ток ва кучланишнинг ўзгариш эгри чизиғи ва векторлари диаграммасини $\varphi=0$ бўлганида чизиб курсатинг.
4. Ток ва кучланишнинг ўзгариш эгри чизиғи ва векторлари диаграммасини $-\pi/2 < \varphi < 0$ бўлганида чизиб курсатинг.
5. Ток ва кучланишнинг ўзгариш эгри чизиғи ва векторлари диаграммасини $\pi/2 \geq \varphi > 0$ бўлганида чизиб курсатинг.
6. Кучланиш ва қаршиликлар учбурчакларининг моҳиятини тушунтириб беринг.
7. $\varphi = 0$ ҳолатда ток ва кучланиш ўзгариши эгри чизиқларини чизинг.
8. $-\pi/2 \leq \varphi < 0$ ҳолатда ток ва кучланиш ўзгариши эгри чизиқларини чизинг.

9. $\pi/2 \geq \varphi > 0$ ҳолатда ток ва кучланиш ўзгариши эгри чизикларини чизинг.
10. Векторларни қўшишда асос учун нима олинади?

Мавзу 3.5. Параллел уланган электр занжирларнинг турғунлашган ҳолати. Актив, реактив ва тўла ўтказувчанлик.

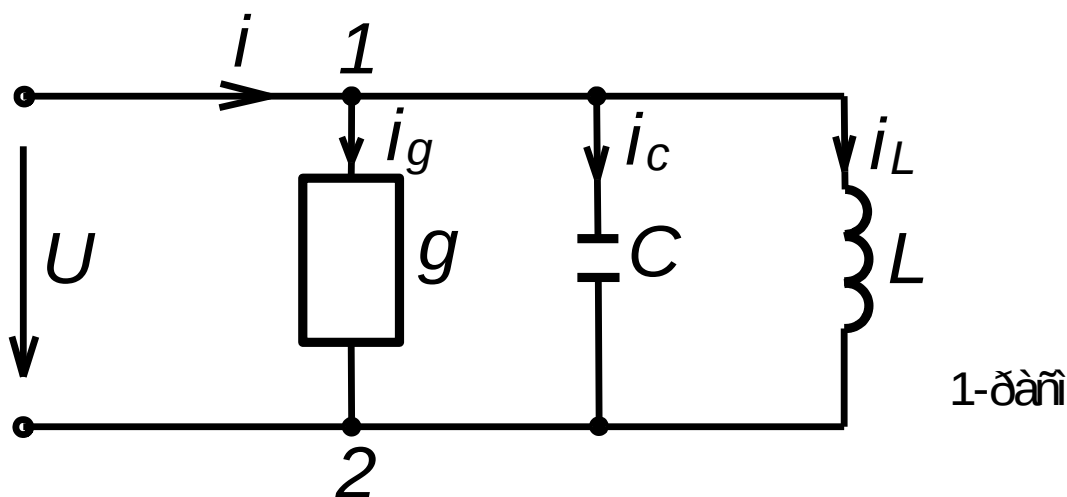
Режа:

1. Параллел уланган электр занжирларининг турғун ҳолати.
2. Актив, реактив ва тўла ўтказувчанлик.

Таянч иборалар: актив, реактив ва тўла қувват, ўтказувчанлик, шохобча, ток ва кучланиш, индуктив чўлғам, сиғим элемент, қаршиликли элемент, актив қаршилик, конденсатор, тўлиқ қаршилик.

1. Параллел уланган электр занжирларининг турғун ҳолати.

Ушбу ҳолатда 3 та параллел уланган участкалар (g , C , L) дан иборат таркиб топган электр занжирини кўриб чиқамиз. Бунда, тармоқнинг g қисми фақат ўтказувчанликка эга, L –қисми фақат индуктивликка эга ва C қисми фақат сиғимга эга деб фараз қиламиз (1–расм).



1-расм

Кирхгофнинг биринчи қонунига асосан:

$$i = i_g + i_c + i_L \quad (3.5.1)$$

Алоҳида шохобчадаги тоқларни уларга таъсир қилувчи кучланишлар орқали ифодалаш мумкин. Шундай қилиб биринчи шохобча учун

$$i_g = g \cdot U \quad (3.5.2)$$

Бу ерда g —биринчи шохобчанинг ўтказувчанлиги иккинчи шохобча учун

$$i_c = \frac{dq}{dt} = \frac{dCU}{dt} = C \cdot \frac{dU}{dt} \quad (3.5.3)$$

Учинчи шохобча учун

$$i_L = \psi_L / L \quad (3.5.4)$$

бунда $u = d\psi_L/dt$; $d\psi_L = u \cdot dt$

Охирги ифодани интеграллаб қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$\psi_L = \int_0^t u dt + \psi_L(0)$$

у ҳолда

$$i_L = \frac{1}{L} \int_0^t u dt + i_L(0) \quad (3.5.5)$$

(3.5.5) формулада:

$$i_L(0) = 1/L \cdot \psi_L(0)$$

Келтирилган ифодалардан сўнг кўриб чиқиладиган занжирнинг дифференциал тенгламаси қуйидагича кўринишга эга бўлади:

$$gu + C \cdot du/dt + 1/L \int_0^t u dt + i_L(0) = i \quad (3.5.6)$$

Синусоидал занжир учун

$$gu_m \cdot \sin \omega t + \omega C I_m \cdot \cos \omega t - \frac{1}{\omega L \cdot u_m \cdot \cos \omega t} + \frac{1}{\omega L \cdot u_m + i_L(0)} = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.5.7)$$

(3.5.7) тенгламанинг чап қисмидаги охирги 2 та қўшилувчидан бошқа доимий қўшилувчилари бўлмаганлиги сабабли қуйидагига эга бўламиз:

$$1/\omega L \cdot U_m + i_L(0) = 0 \quad (3.5.8)$$

(3.5.7) занжир тенгламаси вақтнинг исталган t қийматида ҳам ўринлидир. $\omega t = \pi/2$ ва $\omega t = 0$ деб қабул қилиб қуйидагиларни топамиз:

$$(1/\omega L - \omega C)U_m = I_m \sin \varphi \quad (3.5.10)$$

$$I_m = U_m \cdot \sqrt{g^2 - \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} \quad (3.5.11)$$
$$I = U \cdot \sqrt{g^2 - \left(\frac{1}{\omega L} - \omega c\right)^2} = U \cdot Y \quad (3.5.12)$$
$$tg \varphi = \left(\frac{1}{\omega L} - \frac{\omega c}{q} \right) \quad (3.5.13)$$
$$Y = \frac{I}{U} = \sqrt{g^2 + \left(\frac{1}{\omega L - \omega C}\right)^2} = \sqrt{g^2 + b^2} \quad (3.5.14)$$

Схемада биринчи қисмдаги ток фаза бўйича кучланиш билан мос тушади. Конденсатордаги ток фаза бўйича кучланишдан, $\pi/2$ бурчакка олдинда, чўлғамда эса ток кучланишдан фаза бўйича $\pi/2$ бурчакка орқада қолади.

Назорат саволлари:

1. Занжир параллел боғланган қисмлари (шоҳобчалари) даги тўлиқ ток миқдорини аниқлаш ифодасини курсатинг.
2. $\omega t = \pi/2$ ва $\omega t = 0$ бўлган ҳолларда занжир тенгламасини ёзинг.
3. Тўла ўтказувчанлик деб нимага айтилади?
4. Реактив ўтказувчанликнинг қандай ташкил этувчилари бор?
5. Актив ўтказувчанлик қандай ифодаланади?
6. Параллел уланган занжир учун вектор диаграммасини тасвирланг.
7. Қайси қисмда ток фаза бўйича кучланиш билан устма–уст тушади?
8. Қайси қисмда ток фаза бўйича кучланишдан олдинга кетади?
9. Ғалтакли қисмда нима содир бўлади?
10. Занжирнинг тўла ўтказувчанлик ифодасини ёзинг.

Мавзу: 3.6. Токлар ва ўтказувчанликлар учбурчаклари.

Режа:

1. Ўтказувчанликнинг физик моҳияти.
2. Токлар ва ўтказувчанликлар учбурчаклари.
3. Ўтказувчанлик қатнашган амалий ҳисобларни бажариш.

Таянч иборалар: актив, реактив ва тўла қувват, ўтказувчанлик, шоҳобча, ток ва кучланиш, индуктив чўлғам, сиғимий ўтказувчанлик, қаршиликли элемент, актив қаршилик, конденсатор, тўлиқ қаршилик.

1. Ўтказувчанликнинг физик моҳияти.

Реактив ўтказувчанлик b индуктив b_L ва сиғимий b_C ўтказувчанликларнинг айирмаси кўринишида ҳосил бўлишининг сабаби конденсатор ва чўлғамдаги токларнинг бир бирига нисбатан π бурчакка силжиганлигидир. Вақтнинг исталган моментида (онида) иккинчи ва учинчи шоҳобчалар умумий қисмаларига нисбатан қарама–қарши томонга йўналган. (олдинги мавзудаги 1-расмга қаранг). Ушбу токлар биринчи шоҳобчадаги токка нисбатан $\pi/2$ бурчакка силжиган, шунинг оқибатида тўлиқ ўтказувчанлик g ва b ларнинг оддий арифметик йиғиндиси кабигина ҳисобланмасдан, балки қуйидаги ифода билан ҳисобланади:

$$Y = \sqrt{g^2 + b^2} \quad (3.6.1)$$

$b_l = b_c$ бўлганида занжирда резонанс содир бўлади ва i ток биринчи шохобчадаги ig токка тенг бўлади. $\frac{1}{\omega L} > \omega C$ бўлганида чўлғамдан ўтаётган ток конденсатор токидан катта бўлади ва умумий i ток фаза бўйича кучланишдан φ бурчакка орқада қолади, бу ҳолда $0 < \varphi \leq \pi/2$ $\omega C > 1/\omega L$ бўлганида конденсатор токи чўлғамдан ўтаётган токдан катта бўлади ва умумий i ток фаза бўйича кучланишдан олдинда бўлади, бу ҳолда $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi < 0$.

Электр ўтказувчанлик электр қаршиликка тескари катталиқдир:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad (3.6.2)$$

У қуйидагича ўлчовга эга:

$$d_{im} G = L^{-2} M^1 T^3 I^2 \quad (3.6.3)$$

Ўтказувчанлик бирлигига сименс (см) деб ном қўйилган. Маълумки, олдинроқ, ҳатто $M0$ деб ҳам аталган («Ом» - қаршилик бирлигининг тескарисини), аммо бундай номланиш расмий қабул қилинмади.

(3.6.3) формуладаги d_{im} ёзуви deminsion –ўлчам, ўлчамлилик, ўлчаш маъноларини билдиради. L –узуңлик ўлчами; M –масса ўлчами; T –вақт ўлчами ва I –ток кучи ўлчами.

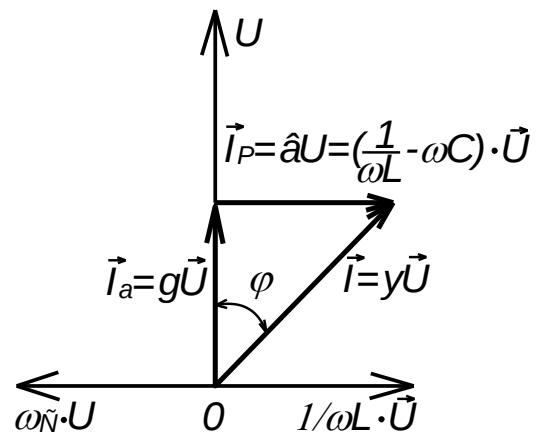
Амалиётда, шунингдек солиштирма электр ўтказувчанлик катталигидан ҳам фойдаланилади. Унинг белгиланиши γ : (захира белгиланиши – σ) Ушбу катталиқ қуйидаги катталиқ ифода орқали аниқланади:

$$\gamma = 1/\rho = \frac{\sigma \cdot l}{S} \quad (3.6.4)$$

ва сименс метрларда ифодаланади.

2. Токлар ва ўтказувчанликлар учбурчаклари.

1-расмда токлар ва ўтказувчанликлар учбурчаклари келтирилган. Бу ердан кўриниб турибдики, φ бурчакнинг камайиши билан тўлиқ токнинг актив ташкил этувчиси ортади ва аксинча, φ ортганда эса токнинг реактив ташкил этувчиси ортади.



1-расм.

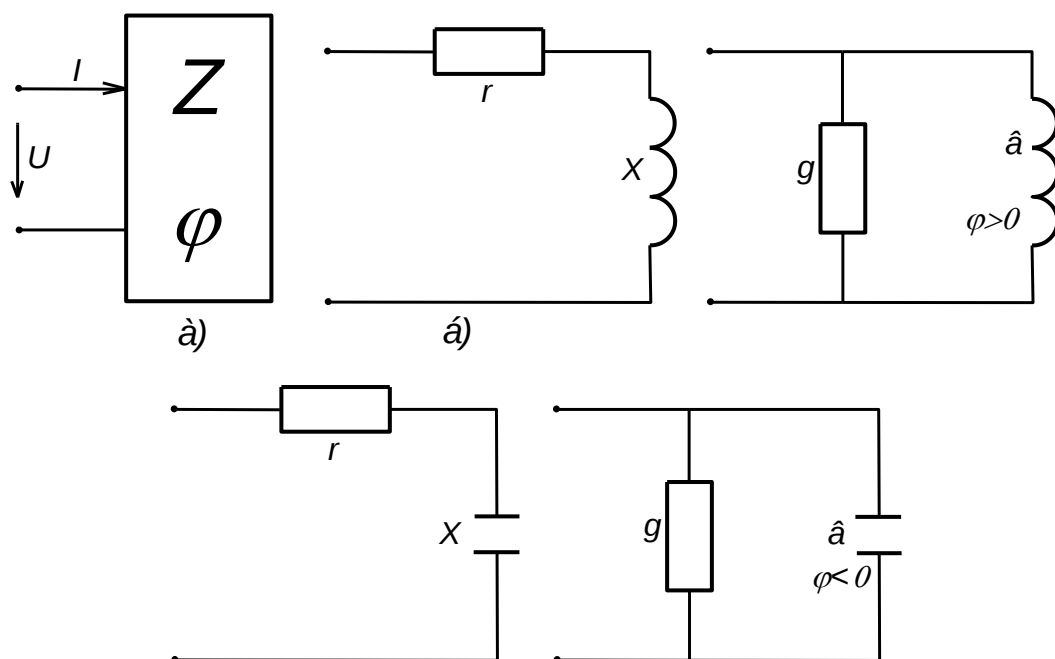
Ўзгарувчан токли мураккаб занжирнинг эквивалент параметрларини ёзишда (умуман олганда, икки қутбли сифатида қараш мумкин бўлган) қуйидагиларга эга бўламиз:

$$y = \frac{I}{U}; \quad g = \frac{P}{U^2}; \quad b_y = \pm \sqrt{y^2 - g^2} \quad (3.6.5)$$

Бутун занжирни умумий ҳолда икки қутблик сифатида кўриб чиқа туриб ва унинг ички тузилиши билан қизиқмаган ҳолда, уни баъзи эквивалент параметрлар ёрдамида тасвифлаш мумкин.

2-а расмда икки қутбли занжир тўғри тўртбурчак шаклида курсатилган

2-б расмда эса $\varphi > 0$ ва $\varphi < 0$ бўлганидаги хусусий ҳолатлар курсатилган.



2-расм.

Эквивалент қаршиликлар ва ўтказувчанликлар орасидаги боғлиқликни келтирамиз.

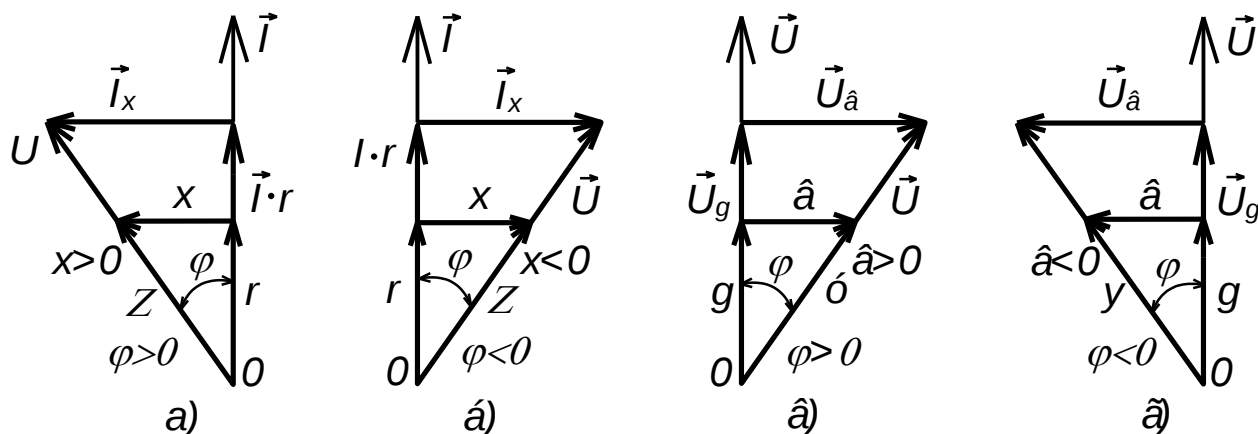
$$y = \frac{1}{Z} \quad g = \frac{r}{Z^2} = \frac{r}{r^2 + x^2}; \quad b = \frac{x}{Z^2} = \frac{x}{r^2 + x^2} \quad (3.6.6)$$

$$Z = \frac{1}{y} \quad r = \frac{g}{y^2} = \frac{g}{g^2 + b^2}; \quad x = \frac{b}{y^2} = \frac{b}{g^2 + b^2} \quad (3.6.7)$$

Қуйидаги 3-расмда $\varphi > 0$ ва $\varphi < 0$ бўлган ҳолларда ток ва кучланиш векторларининг ўзаро жойлашиш вектор диаграммалари келтирилган:

3-а ва 3-б расмларда кучланишнинг ташкил этувчилари келтирилган:

$$U \cdot \cos \varphi = U \cdot r/z = I \cdot r \text{ ва } U \cdot \sin \varphi = U \cdot x/z = I \cdot x \quad (3.6.8)$$



3-расм

Ушбу ташкил этувчиларни баъзан уланган кучланишнинг актив ва реактив ташкил этувчилари деб ҳам аталади, улар ва U вектори ҳосил қилган тўғри бурчакли учбурчакни эса кучланиш учбурчаги деб аталади. Мазкур учбурчакнинг ҳамма томонларини I га бўлиб, қаршиликлар учбурчагини ҳосил қиламиз.

Ҳудди шунингдек 3-в ва 3-г расмлардан:

$$I \cdot \cos \varphi = I g/y = Ug \text{ ва } I \cdot \sin \varphi = I \cdot b/y = Ub \quad (3.6.9)$$

Ушбу катталикларни баъзида токнинг актив ва реактив ташкил этувчилари ҳам деб аталади, улар ва ток I вектори ҳосил қилган тўғри бурчакли учбурчакни эса ток учбурчаки деб аталади.

3-расм

Келтирилган учбурчакнинг ҳамма томонларини U кучланишга бўлиб, ўтказувчанликлар учбурчагини ҳосил қиламиз. Ушбу учбурчакнинг катетлари бўлиб эквивалент актив ва реактив ўтказувчанликлар, гипотенузаси эса эквивалент тўлиқ ўтказувчанлик ҳисобланади.

3. Ўтказувчанлик қатнашган амалий ҳисобларни бажариш.

Элементлари параллел уланган берилган занжир учун токларнинг эффе́ктив (самарали) қийматларини ўтказувчанликлар орқали ҳисоблашни қараб чиқайлик (4-расм). Фараз қилайлик занжирга $U=173 \sin \omega t$ кучланиш уланган бўлсин, бу ерда $\omega=314$ Ват параллел участкаларда мос ҳолда: $g=0.06$ см; $L = 0.02$ Гн ҳамда $C = 145$ мкФ бўлсин. Жорий (амалдаги) I_g , I_L , I_C ларни ҳамда бутун занжирдаги токнинг оний қийматини аниқлаш талаб қилинаётган бўлсин.

Ечим: b_L ва b_C ларни ҳисоблаб аниқлаймиз:

$$b_C = \omega C = 314 \cdot 145 \cdot 10^{-6} = 0.045 \text{ см}$$

$$b_L = 1/\omega L = 1/314 \cdot 0.02 = 0.16 \text{ см}$$

Занжир қисмаларидаги жорий (амалдаги) кучланиш:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{173}{\sqrt{2}} = 122,7 \text{ В}$$

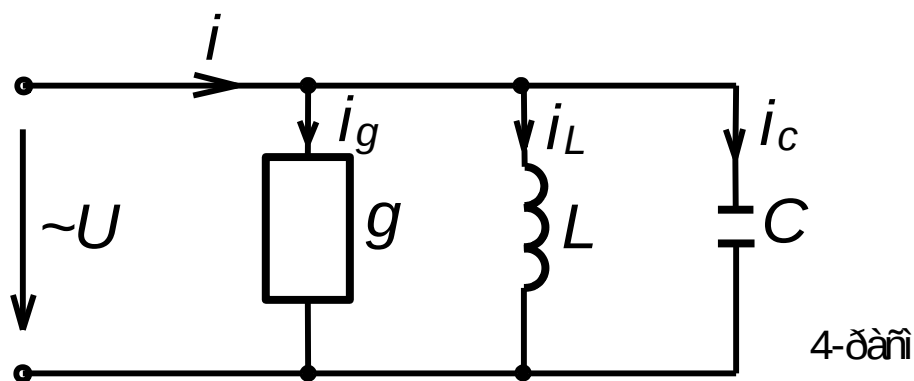
Шохобчалардаги жорий (амалдаги) тоқлар:

$$I_g = g \cdot U = 0.06 \cdot 122.7 = 7.36 \text{ А} ;$$

$$I_L = b_L \cdot U = 0.16 \cdot 122.7 = 19.63 \text{ А};$$

$$I_C = b_C \cdot U = 0.045 \cdot 122.7 = 5.52 \text{ А}.$$

Занжирнинг шохобчаланмаган қисмидаги умумий ток қуйидагига тенг бўлади:



$$I = \sqrt{I_g^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{7.36^2 + (19.63 - 5.552)^2} = \sqrt{54.2 + 199.10} = \sqrt{253.3} = 15.91 \text{ А}$$

Токнинг оний қийматини аниқлаш учун φ бурчакни (ток ва кучланишлар орасидаги фаза силжишини) аниқлаш лозим:

$$\varphi = \arctg b/g = \arctg(0.16 - 0.045)/0.06 = \arctg 0.115/0.06 = \arctg 1.92 \approx 62^\circ 30'$$

Бутун занжирга таъминловчи манбадан оқиб келаётган токнинг оний қиймати қуйидагига тенг бўлади:

$$i = I_m \cdot \sin(314t - \varphi) = \sqrt{2} \cdot 15.91 \cdot \sin(314t - 62^\circ 30') =$$

$$1.41 \cdot 15.91 \cdot \sin(314t - 62^\circ 30') = 22.43 \cdot \sin(314t - 62^\circ 30')$$

Назорат саволлари:

1. Ўтказувчанликнинг физикавий моҳиятини тушунтиринг.
2. Тўла ўтказувчанлик қайси ифода орқали аниқланади?
3. Солиштирма ўтказувчанлик формуласини курсатинг.
4. Ток ва ўтказувчанликлар учбурчакларини чизиб курсатинг ва улар моҳиятини тушунтириб беринг.
5. Ўтказувчанликлар иштирокида амалий ҳисоблашни бажаринг.
6. $x > 0$ ва $\varphi > 0$ ҳолатда кучланишлар учбурчагини тасвирланг.
7. $x < 0$ ва $\varphi < 0$ ҳолатда кучланишлар учбурчагини тасвирланг.
8. $b > 0$ ва $\varphi > 0$ ҳолатда тоқлар учбурчагини тасвирланг.

9. $b < 0$ ва $\varphi < 0$ ҳолатда тоқлар учбурчагини тасвирланг.

10. $b_L = b_C$ ҳолатда занжирда нима содир бўлади?

Мавзу 3.7. Синусоидал тоқли электр занжирларида энергиянинг тебраниши ва оний қувват.

Режа:

1. Синусоидал тоқли электр занжирларида энергиянинг тебраниши.
2. Занжирдаги электр ва магнит майдонлари энергиясини йиғгичлар (тўплагичлар).
3. Оний қувват.

Таянч иборалар: актив, реактив ва тўла қувват, оний қувват, электр майдони энергияси, индуктив чўлғам, электр майдони, ток ва кучланиш, индуктив чўлғам, конденсатор.

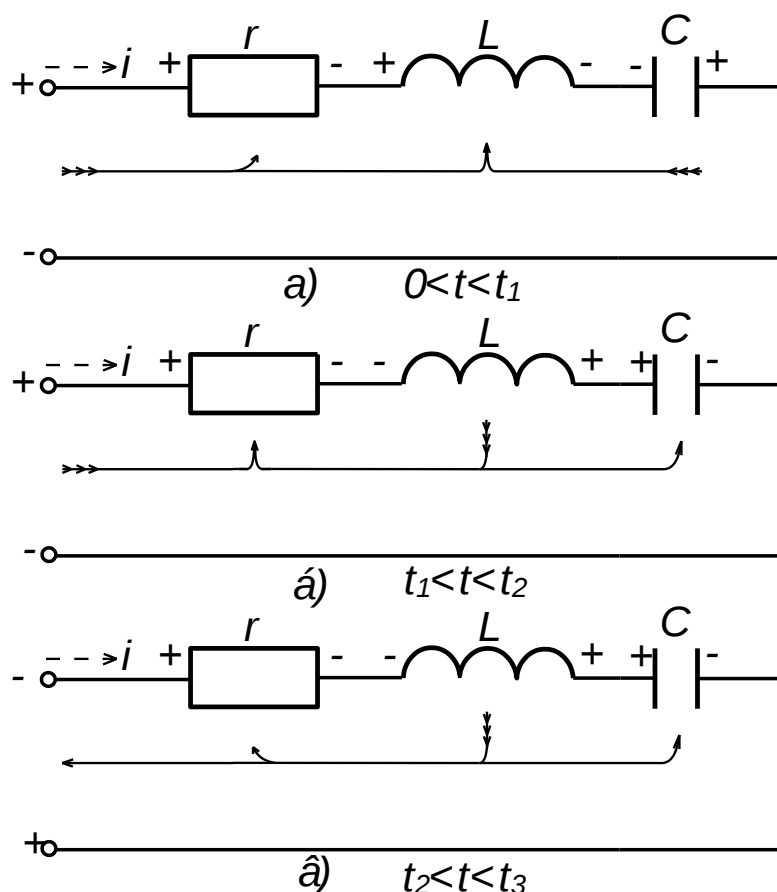
1. Синусоидал тоқли электр занжирларида энергиянинг тебраниши.

Электр занжирининг элементларига боғлиқ ҳолда уларда энергия тебранишлари содир бўлади. 1–расмда вақтнинг ҳар хил оралиқларида штрихли стрелка ёрдамида токнинг ҳақиқатдаги йўналишлари «+» ва «-» ишоралар билан занжир қисмаларидаги ва унинг барча қисмларидаги кучланишларнинг ҳақиқатдаги йўналишлари курсатилган:

1–расмда пат думли стрелкалар билан энергия оқимининг йўналишлари тегишли вақт оралиқларида келтирилган. 1–а расм вақтнинг 0 дан t_1 гача бўлган оралиғига мос бўлиб, ушбу вақт оралиғида ток қиймати нолдан бошлаб ўзининг максимал қийматигача эришади. Ушбу вақт оралиғида энергия чўлғамда йиғилади.

Конденсатордаги кучланиш қиймати ўзининг абсолют қийматига кўра пасайганлиги сабабли, конденсаторда йиғилган энергия қайтиб, чўлғамдаги магнит майдонининг энергиясига айланади. Бу ҳолатда:

$$\omega L > 1/\omega C \quad \text{ва} \quad P_L > P_C \quad (3.7.1)$$



1-расм.

Шунинг учун, чўлғамда қўшимча энергия занжирни таъминловчи манбадан ҳам келиб қўшилади. Занжирни таъминлаётган манба, шунингдек r қаршилик томонидан ютилаётган актив энергияни ҳам қоплайди.

1–б расмдаги схемада эса вақтнинг t_1 қийматидан t_2 қийматига оралиғи курсатилган. Ушбу вақт ток камайиб боради ва чўлғам магнит майдонида тўпланган энергия қисман конденсаторга оқиб ўтади, уни зарядлайди ва қисман эса, актив r қаршиликли қисмда (бўлакда) иссиқлик энергиясига айланиб сарф бўлади. Вақтнинг ушбу оралиғида ток хали ҳам етарли даражада катта қийматга эга бўлгани сабабли $i^2 \cdot r$ қувват ҳам анча катта қийматга эгадир. Демак, манба занжирга энергияни ўзатади ва r қаршиликли қисмдаги энергия сарфларини қисман қоплайди.

t_2 вақт моменти (лаҳзаси) шуниси билан диққатга сазоворки, бу вақтда $i^2 \cdot r$ катталиқ шу даражада кичрайган бўладикки, чўлғамдаги энергия камайишининг тезлиги конденсаторга ўтаётган ва r актив қаршиликли қисмга ўтаётган энергиянинг ортиш тезлигини белгилайди. Курсатилган вақт оралиғида бутун занжирнинг уланиш қисмаларидаги қувват миқдори нолга тенг ($P = 0$).

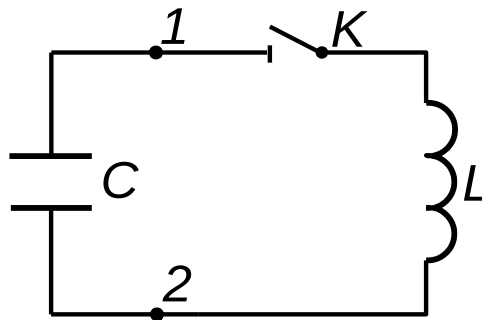
Ниҳоят 3–в расмдаги ҳолат вақтнинг t_2 да t_3 қийматигача оралиғига мос бўлиб, ушбу вақт давомида ток t_2 momenti (лаҳзаси) даги қийматидан t_3 момент (лаҳза) га келиб нолгача пасаяди. Ушбу вақт оралиғида энергия чўлғамдан конденсаторга, r актив қаршиликли қисмга ва занжир қисмаларига уланган манбага қайтиб ўтиши давом этади. Курсатилган вақт оралиғи учун $P < 0$.

$0 \leq t \leq t_3$ вақт оралиғи ток тебраниш даврининг ярмига тенг ($=T/2$) ва ушбу даврда энергиянинг бир марта тўлиқ тебраниши тугалланади, шунинг учун оний қувватнинг тебраниш даври токникига нисбатан икки марта кичикдир. Токнинг ўзгариш даврининг иккинчи ярмида кўриб ўтилган энергетик жараён яна бир бор такрорланади, фақатгина бунда ток ва барча кучланишларнинг ҳақиқий йўналишлари қарама – қарши йўналишга ўзгаради. (1–в расм).

2. Занжирдаги электр ва магнит майдонлари энергиясини йиғгичлар (тўплагичлар).

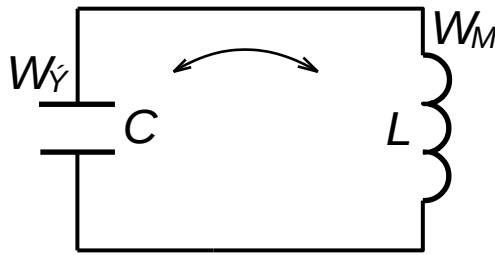
Конденсаторда электр майдони энергияси, индуктив чўлғамда эса магнит майдонининг энергиялари йиғилади. 2–расмда идеал тебранувчан контур тасвирланган. Агар бошланғич моментда (лаҳзада) 1 ва 2 -нуқталарга ташқи таъминлаш манбаи уланса, К калит очик бўлган ҳолатда С конденсатор зарядланади. Энди ташқи таъминловчи манбани ўзамиз ва К калитни ёпамиз, у ҳолда тебранувчан контурни ҳосил қилдик. Конденсаторда тўпланган электр майдон энергияси чўлғамга, магнит энергияси кўринишига оқиб ўтади. Ва, аксинча, индуктив чўлғамда тўпланган энергия индуктив ток таъсирида конденсаторни қайта зарядлайди ва электр майдони энергиясига айланади.

Идеал тебранувчан контурда бу сўнмас бўлиб кўринувчи тебранишларни ҳосил қилдик. Аммо контурда ўтказгичнинг актив қисмларининг қаршилиги бор. Умумий ҳолатда контурнинг тўлиқ энергияси қуйидагилардан ташкил топган:



2-расм.

$$W = W_{\mathcal{C}} + W_M = \frac{C \cdot U^2}{2} + \frac{i^2 \cdot L}{2} \quad (3.7.2)$$



3-расм.

3-расмда электр энергиясининг тебранишлари шартли курсатилган. Ушбу тебраниш жараёни энергия бутунлай сўнишига қадар давом этади. Энергия занжирнинг актив қаршилиги туфайли сарфланади. Амалиётда магнит энергияни тўпловчилар бўлиб, индуктив чўлғамлар, ғалтаклар ва бошқалар, электр энергияси тўпловчилар бўлиб эса кабеллар, линияларнинг ерга нисбатан зарядланиши ва ҳоказолар ҳисобланади.

3. Оний қувват.

Электротехникада ўзгарувчан токли занжирнинг оний қуввати $P = U \cdot i$ вақтнинг функциясидир. Кетма-кет уланган r , L ва C қисмлар учун қуйидаги тенгламалар билан ифодаланувчи жараёнлар алоҳида диққатга сазовордир:

$$U = U_r + U_L + U_C = r \cdot i + L \cdot di/dt + q/C \quad (3.7.3)$$

(3.7.3) асосида занжир қисмаларидаги ва унинг алоҳида қисмаларидаги оний қувватлар учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot i = P_r + P_L + P_C = U_r \cdot i + U_L \cdot i + U_C \cdot i = \\ &= i^2 r + L i \, di/dt + q/c \, dq/dt = i^2 r + d/dt (Li^2/2) + d/dt (q^2/2C) = \\ &= i^2 r + d/dt (W_m) + d/dt (W_{\mathcal{C}}) \end{aligned} \quad (3.7.4)$$

(3.7.4) тенгламанинг охирги ифодасидан кўрамизки, r қаршиликли қисмдаги $P_r = i^2 \cdot r$ қувват доимо мусбат қийматга эга ва энергиянинг ютилиши билан боғлиқ қайтмас жараёндир. $P_L = d/dt (W_m)$ қувват $P_L > 0$ бўлганида чўлғам магнит майдонига энергиянинг ўтиши тезлигини ва $P_L < 0$ бўлганида ушбу майдондан қайтиб кетиш тезлигини аниқлайди.

$P_C = d/dt(W_{\mathcal{C}})$ қувват эса $P_C > 0$ бўлганида конденсатор электр майдонига энергия келиши тезлигини ва аксинча $P_C < 0$ бўлганида ушбу майдондан энергиянинг қайтиб кетиш тезлигини аниқлайди.

Назорат саволлари.

1. Кетма– кет уланган занжирда энергия тебранишлари қандай содир бўлади?
2. Вақтнинг ҳар хил оралиқларида энергиянинг йўналишини курсатинг ва жараёнини чизиб беринг.
3. Занжирдаги электр майдони ва магнит майдони энергияларини тўпловчи (сақлагич) лар ҳақида нима биласиз?
4. Кетма–кет уланган конденсатор ва индуктив чўлғамдан иборат идеал тебранувчан контурда нима содир бўлади?
5. Идеал тебранувчан контурнинг қайси жойида энергияни ютилиши (исрофи) содир бўлади?
6. Тебранувчан контур тўлиқ энергиясининг тенгламасини ёзинг.
7. Ўзгарувчан токли занжир оний қувватининг тенгламасини ёзинг.
8. Занжирдаги магнит майдони энергиясини йиғувчилари ҳақида нималарни биласиз?
9. $P_L > 0$ ва $P_L < 0$ ҳолатларда занжирда нима содир бўлади?
10. $P_C > 0$ ва $P_C < 0$ ҳолатларда занжирда нима содир бўлади?

Мавзу: 3.8. Актив, реактив ва тўла қувват.

Режа:

1. Актив қувват ва унинг аҳамияти.
2. Реактив қувват ва уни тўлдириш.
3. Тўла қувват.

Таянч иборалар: актив, реактив ва тўла қувват, оний қувват, электр майдони энергияси, куч трансформатори, тўлиқ ўтказувчанлик электр майдони, ток ва кучланиш.

1. Актив қувват ва унинг аҳамияти.

Электр энергетикасида актив қувват «махсулот» бўлиб ҳисобланади. Биз актив қувватдан фойдаланамиз, уни сотамиз, уни ишлаб чиқамиз, уни масофого ўзатамиз.

Таъриф: Электр занжиридаги тебранувчан жараёнларда P актив қувват деб, тўлиқ тебраниш давридаги қувватнинг ўртача қийматига айтилади :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = 1/T \cdot \int_0^T U \cdot i dt \quad (3.8.1)$$

бу ерда: $P = U \cdot i$ оний қувват.

Агарда занжирнинг U ва i катталиклари вақтнинг синусоидал функциялари эканини ҳисобга олинса:

$$U = U_m \cdot \sin \omega t; \quad i = I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.8.2)$$

у ҳолда, қуйидагига эга бўламиз:

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} \cdot T \int_0^T 2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) dt = \frac{UI}{T} \cdot \int_0^T [\cos \varphi \cdot \cos(2\omega t - \varphi)] dt \quad (3.8.3)$$

қуйидагини ҳисобга олиб:

$$\int_0^T \cos(2\omega t - \varphi) dt = 0 \quad (3.8.4)$$

Синусоидал жараёнлардаги актив қувватни топиш ифодасига эга бўламиз:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.8.5)$$

(3.8.5) тенглик бир фазали занжир учундир. Уч фазали занжир учун:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.8.6)$$

Актив қувватнинг қиймати ва унинг истеъмол қилиш шакли $\cos \varphi$ кўпайтувчининг қийматига боғлиқ. Бу ҳақда батафсилроқ кейинги маърузаларда тўхталади. $\cos \varphi$ қанча катта бўлса, истеъмолчига келтириладиган электр энергиясининг бажараётган фойдали иш ҳажми ҳам шунча катта бўлади. Тармоқдаги исрофларни бартараф этиб бўлмайди. Электр энергиясини ишлаб чиқариш ва истеъмол қилишнинг яна бир хусусияти шундан иборатки, уни сақлаб бўлмайди. Шунинг учун қуйидаги тезис ўринлидир; электр энергиясини ишлаб чиқармасдан истеъмол қилиб бўлмайди ва аксинча: истеъмол қилмасдан ишлаб чиқариб бўлмайди. Курсатилган жараёнлар вақт бўйича бир вақтнинг ўзида содир этилади. (Электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги ёруғлик тезлигига тенг ва $C=3 \cdot 10^8$ м/сек. ни ташкил этади). Истеъмолчиларда доимо актив қувватнинг ваттларда, киловаттларда улчанадиган қиймати курсатилади.

2. Реактив қувват ва уни тўлдириш.

Амалиётда кўриб чиқиш учун реактив қувват деб аталувчи $Q=UI \cdot \sin \varphi$ (уч фазали занжир учун: $Q = \sqrt{3} \cdot UI \cdot \sin \varphi$) катталик ҳам киритилади. Реактив қувват тушунчасини киритишнинг ишлаб чиқаришдаги зарурати нимада? Амалиётда қўлланиладиган

энергияни ҳисоблагичлар (счётчик) курсатадиган энергия миқдори муайян τ вақт оралиғида истеъмолчига етказиб берилган энергия миқдорини англатади. Ушбу энергияни қуйидаги шаклда ёзиш мумкин:

$$\int_0^{\tau} P dt = \int_0^{\tau} U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot dt \quad (3.8.7)$$

Бу ҳолатда P нинг сезиларли ўзгариши фақатгина кўп сондаги T даврлар ичида ва табиийки, τ нинг катталиги T га нисбатан кўплаб марта катта бўлганидагина содир этилиши мумкинлиги кўринади. Аммо бу турдаги ҳисоблагич (счётчикнинг) курсатишига қараб, энергия истеъмолчиси $\cos \varphi$ нинг қайси қийматида ишлаётганлигини аниқлаб бўлмайди. Бу мақсад учун истеъмолчининг уланиш нуқталарига қўшимча, реактив қувват интегралининг ўша τ вақт оралиғидаги қийматини курсатувчи ҳисоблагич (счётчик) ни ҳам ўрнатишга тўғри келади:

$$\int_0^{\tau} Q dt = \int_0^{\tau} U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot dt \quad (3.8.8)$$

Юқорида баён этилгандан кўриниб турибдики, реактив энергияни ҳисоблагичнинг курсатишлари қанча катта бўлса (оддий ҳисоблагич курсатишларига нисбатан таққосланганида), истеъмолчи ўртача $\cos \varphi$ қиймати ҳам кўриб чиқиляётган вақт оралиғи учун шунча кичик бўлади.

Актив қувват катталигини оддий ваттметр ёрдамида ўлчаш мумкин, реактив қувват катталигини эса – фақатгина шу мақсад учун махсус ишланган электр ўлчов асбоби ёрдамида аниқлаш мумкин. P ва Q ни билад туриб, $\sin \varphi$ ва $\cos \varphi$ ларни ҳар бир энергия истеъмолчиси учун (ўлчаш пайтидаги катталикларини) аниқлаш мумкин.

3. Тўла қувват.

$S = U \cdot I$ катталик тўла қувват деб аталади. Бу фақатгина $\cos \varphi = 1$ бўлган шароитдагина ўринли бўлади, ёки бошқача айтганда энг катта актив қувват максимал қийматга эришилган пайтда қуйида тўлиқ қувватни аниқлаш формулалари келтирилган:

$$S = U \cdot I = I^2 \cdot Z = U^2 \cdot Y \quad (3.8.9)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.8.10)$$

$$S = P / \cos \varphi = Q / \sin \varphi \quad (3.8.11)$$

бу ерда Z - тўлиқ қаршилик, Y – тўлиқ ўтказувчанлик.

Уч фазали занжирни ҳисоблашда формулаларнинг ўнг қисми олдида $\sqrt{3}$ қўйилади. Ушбу коэффициент тўғрисида ЭТНА нинг “Кўп фазали занжирлар” қисмида батафсил тўхталади.

Одатда амалиётда фақатгина трансформаторлар учунгина тўлиқ қувват курсатилади. Бошқа истеъмолчилар учун эса актив қувват курсатилади. Куч трансформатори ўзгартирувчи бўлиб унинг мис ва пўлат қисмларида исрофлар бўлиши табиий ҳол. Куч трансформатори учун 70% ва ундан юқори юкланишлар энг мақбул (оптимал) ҳисобланади. Замонавий электр энергетикасида 1кВт истеъмол қилинадиган қувват деярли $7\text{--}8\text{кВт}$ қувватдан трансформацияланади (ёки кўп марта кучайтирувчи ва пасайтирувчи трансформаторлар орқали ўтади). Бунда трансформатор орқали шунингдек, электр тармоғида ҳосил бўлувчи реактив қувватлар трансформаторларнинг индуктив чўлғамларининг ўзларида, электр ўзатиш линияларида ва ҳоказо) ҳам трансформацияланади. Шунинг учун трансформаторларнинг тўлиқ S қуввати (3.8.10) формула билан аниқланади.

Назорат саволлари.

1. Актив қувватга таъриф беринг.
2. Актив қувват тенгламасини ёзинг.
3. Энергетикада актив қувват нима бўлиб хизмат қилади?
4. Реактив қувват моҳиятини тушунтириб беринг.
5. Реактив қувват тенгламасини ёзинг.
6. Тўла қувват деб нимага айтилади?
7. Тўла қувватни ҳисоблаш тенгламасини ёзинг.
8. Электр энергиясини ишлаб чиқариш ва истеъмол қилишнинг ўзаро хосликларига нималар киради?
9. Актив қувват қандай асбоб билан аниқланади?
10. Замонавий энергетикада 1 кВт истеъмол қилинган қувват неча кВт трансформацияланади?

Мавзу 3.9. Қувват коэффиценти ва уни ошириш йўллари.

Режа:

1. Қувват коэффицентининг физикавий моҳияти.
2. ҳар хил энергетик қурилмалардаги қувват коэффицентлари тўғрисида.
3. Қувват коэффицентини ошириш йўллари.

Таянч иборалар: қувват коэффиценти, насослар, вентиляторлар ва компрессорларда, компенсатор қурилмаларини, энергетик машиналар, трансформаторлар.

1. Қувват коэффицентининг физикавий моҳияти.

Актив қувватни ҳисоблаш формуласидаги $\cos\varphi$ кўпайтувчи қувват коэффиценти деб аталади. Бу ерда $\cos\varphi \leq 1$ ва $P \leq UI$. Фақатгина, хусусий ҳолатда, яъни $\varphi=0$ бўлганида, $\cos\varphi=1$, ва биз тўлиқ $P=UI$ қувватга эга бўламиз. Шунингдек, бошқа чекланган ҳолатда, яъни $\varphi = \pm\pi/2$ бўлганида $\cos\varphi=0$ ва $P=0$ га эга бўламиз.

Электр энергетикасида энергетик машиналар, трансформаторлар ва бошқа энергетик қурилмалар маълум номинал U кучланишга ҳисоблаб чиқилади (уларнинг изоляцияси ва бошқа хусусиятлари билан боғлиқ бўлган) шунингдек номинал I токга (ушбу қурилмалар ўтказгичларининг қизиши билан боғлиқ бўлган) ҳисоблаб чиқилади.

Қувват коэффиценти истеъмолчига келтирилган қувват қай даражада мақбул (оптимал), фойдали сарфланаётганлигини курсатади; $\cos\varphi$ қанчалик катта бўлса бажарилаётган иш ва қурилманинг фойдали иш коэффиценти шунчалик катта бўлади ва электромагнит энергиясини ишлаб чиқарувчи ва ўзгартирувчи қурилмаларнинг энг юқори унум билан ишлатилишига, истеъмолчиларнинг қувват коэффицентлари (улар энергия етказиб бераётган истеъмолчиларнинг) бирга тенг бўлганида ($\cos\varphi=1$) гина эришилади.

2. Ҳар хил энергетик қурилмалардаги қувват коэффицентлари тўғрисида.

Ҳар хил энергия қурилмаларидаги қувват коэффицентларига қисқача тўхтаб ўтайлик. ИЭС, ДИЭС, ГЭС ва бошқа электр энергиясини ҳосил қилиш иншоотларида қўлланиладиган синхрон генераторларда $\cos\varphi$ нинг қиймати ушбу машиналарнинг қуввати ва

конструкциясига боғлиқ бўлади. 100 MВт гача қувватга эга турбогенераторларда номинал қувват коэффиценти 0.8 га тенг. Қувват 160 дан 500 MВт гача бўлганида $\cos\varphi = 0.85$ ва 800 MВт дан юқори қувватли турбогенераторларда $\cos\varphi$ нинг қиймати 0.85 дан 0.9 гача бўлади.

125 MВт гача қувватли гидрогенераторлар учун $\cos\varphi$ $0,8$ га тенг; қувват 125 дан 360 MВт гача бўлганида $\cos\varphi = 0,85$ ва қувват 360 MВт дан юқори бўлганида эса $0,9$ га тенг бўлади.

- Металл қирқувчи дастгоҳларда $\cos\varphi$ нинг қиймати 0.4 дан 0.65 гача бўлади.
- Насослар, вентиляторлар ва компрессорларда $\cos\varphi$ нинг қиймати юритгич қувватига боғлиқ бўлади ва $0.8 \div 0.9$ атрофида бўлади.

Узлуксиз юкланишли электр қиздиришли печларда $\cos\varphi = 0.95$ ва даврий юкланишли печларда эса $\cos\varphi = 0.85$ Индукцион электр печларида $\cos\varphi = 0.35$. Ёйли пўлат эритувчи печлар учун $\cos\varphi = 0.87 - 0.90$ га тенг. Пайвандлаш (сварка) қурилмаларининг $\cos\varphi$ қиймати 0.35 дан 0.80 гача бўлади.

Энг оптимал электр таъминоти мезони бўлиб $\cos\varphi$ ни $\tan\varphi$ орқали ба ҳолаш ҳисобланади. $\cos\varphi$ нинг оптимал қиймати $\cos\varphi = 0.95$ бўлганида $\tan\varphi \approx 0.33$ га тенг. $\tan\varphi$ нинг қиймати курсатилган миқдордан ошиб кетадиган бўлса, реактив қувватни компенсация қилиш зарурати ҳосил бўлади.

3. Қувват коэффиценти ошириш йўллари.

Амалиётда, энергияни истеъмол қилувчи корхоналарнинг қувват коэффиценти максимал даражада бирга яқинлаштириш учун улар дастгоҳлари ва ускуналарини рационал лойиҳалаштиришни амалга оширилади. Бунда масалан, уларнинг энг рационал иш режимлари танланади, юритгичларнинг салт ишлаши максимал даражада қисқартирилади.

Саноат корхоналари учун, одатда $\varphi > 0$, шунинг учун ток индуктив характерга эга. Шу сабабдан $\cos\varphi$ ни оширишнинг энг мақбул варианты ушбу корхоналарда бошқа қурилмаларга параллел ҳолда уланган конденсаторларни ўрнатиш ҳисобланади.

Компенсацияловчи қурилмаларни улашнинг уч хил усули бор: бўлар–индивидуал (катта қувватли якка истеъмолчи учун), гурухли (бир жойда тўпланган бир нечта истеъмолчилар учун) ва

марказлашган (подстанциялар, тақсимлаш қурилмалари ёки юкламалар марказида ва ҳоказоларда жойлашган). Биринчи икки усулда конденсатор батареяларидан фойдаланилади. Учинчи усулда эса синхрон компенсаторлар (айланувчан машиналар) қўлланилади. Улар тўғрисида батафсилроқ «Электромеханика» ва «Саноат корхоналари электр таъминоти» курсларида тўхталади.

Назорат саволлари:

1. Қувват коэффицентининг физикавий моҳиятини тушунтириб беринг.
2. $\cos\varphi$ нинг чегаравий ва тавсифий миқдорларини курсатинг.
3. Ҳар хил энергетик қурилмаларидаги қувват коэффицентлари тўғрисида қисқача айтиб беринг.
4. Реактив қувват қайси усуллардан компенсацияланади?
5. $\cos\varphi$ нинг оптимал қийматини аниқлаш мезонини келтиринг.
6. Компенсатор қурилмаларини ўрнатишнинг мақсади.
7. Турли хилдаги электр энергияси истеъмолчилари учун $\cos\varphi$ нинг қийматларига мисоллар келтиринг.
8. Компенсацияловчи қурилмаларни гуруҳли қўшишни айтинг.
9. Компенсацияловчи қурилмаларни индивидуал ўрнатиш усули қандай бажарилади?
10. $t_{\text{гф}}$ орқали реактив қувватни компенсациялаш лозимлиги қандай ба ҳоланади?

IV. КОМПЛЕКС КЎРИНИШДАГИ ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИ

Мавзу 4.1. Синусоидал катталикларни комплекс тасвирлаш. Комплекс қаршилиқ ва ўтказувчанликлар.

Режа:

1. Комплекс сонлар ва уларни ифодалаш усуллари.
2. Синусоидал катталикларни комплекс тасвирлаш.
3. Комплекс қаршилиқ ва ўтказувчанликлар.

1. Комплекс сонлар ва уларни ифодалаш усуллари.

Маълумки, комплекс сонлар - ҳақиқий сонлар тушунчасининг кенгайтирилиши натижасидир. Тарихан, комплекс сонларнинг пайдо бўлиши алгебраик тенгламалар ечимини излаб топиш йўлидаги ҳаракатлар билан боғлиқдир.

Таъриф 1: Комплекс a сони деб қўйидаги хусусиятларга эга бўлган, тартибга солинган $a = (\alpha, \beta)$ ҳақиқий сонлар жуфтлигига айтилади:

1) Иккита комплекс $a_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ ва $a_2 = (\alpha_2, \beta_2)$ сонлари ўзаро тенг деб фақат ва фақат шундагина айтиладики, қачон $\alpha_1 = \alpha_2$ ва $\beta_1 = \beta_2$ бўлса;

2) Иккита комплекс сонлар $a_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ ва $a_2 = (\alpha_2, \beta_2)$ ларнинг йиғиндиси қўйидагича аниқланади:

$$a_1 + a_2 = (\alpha_1, \beta_1) + (\alpha_2, \beta_2) = (\alpha_1 + \alpha_2, \beta_1 + \beta_2)$$

3) Иккита комплекс сонлар $a_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ ва $a_2 = (\alpha_2, \beta_2)$ ларнинг кўпайтмаси қўйидагича аниқланади:

$$a_1 \cdot a_2 = (\alpha_1, \beta_1) \cdot (\alpha_2, \beta_2) = (\alpha_1 \cdot \alpha_2 - \beta_1 \cdot \beta_2, \alpha_1 \cdot \beta_2 + \alpha_2 \cdot \beta_1) \quad (4.1.1)$$

4) Иккита комплекс сонлар $a_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ ва $a_2 = (\alpha_2, \beta_2)$ ларнинг бўлинмаси, уларнинг кўпайтмасига тескари амал каби аниқланади:

$$\begin{aligned} a_1/a_2 = (\alpha_1, \beta_1)/(\alpha_2, \beta_2) &= (\alpha_1 \cdot \alpha_2 + \beta_1 \cdot \beta_2, \alpha_2 \cdot \beta_1 - \alpha_1 \cdot \beta_2)/\alpha_2^2 + \beta_2^2 = \\ &= [(\alpha_1 \cdot \alpha_2 + \beta_1 \cdot \beta_2)/\alpha_2^2 + \beta_2^2, (\alpha_2 \cdot \beta_1 - \alpha_1 \cdot \beta_2)/\alpha_2^2 + \beta_2^2] \end{aligned} \quad (4.1.2)$$

бунда $\alpha_2^2 + \beta_2^2 \neq 0$ бўлиши шарт.

Таъриф 2: Ҳақиқий сонлар комплекс сонлар тўпламининг бир қисмидир, бошқача айтганда, улар $(\alpha, 0)$ кўринишдаги жуфтликлардир ва уларни $(\alpha, 0) = \alpha$ кўринишда ёзиш қабул қилинган. $(0, \beta)$ кўринишдаги жуфтликларни эса мавҳум сонлар деб аталади.

$j = (0, 1)$ жуфтлиги махсус – «мавҳум бир» деган номга эга. 1 – таърифнинг 3 –қоидасига асосан:

$$j^2 = -1$$

Соф мавҳум сон учун уни $(0, \beta)$ кўринишда ёзиш $j \cdot \beta$ ёзувига эквивалентдир. Шунинг учун :

$$(0, 1) (\beta, 0) = [(0 \cdot \beta) - 1 \cdot 0, 0 \cdot 0 + 1 \cdot \beta] = (0, \beta) \quad (4.1.3)$$

Исталган комплекс $\alpha = (\alpha, \beta)$ сонни ҳақиқий сон $\alpha = (\alpha, 0)$ ва соф мавҳум сон $j \cdot \beta = (0, \beta)$ лар йиғиндиси шаклида ифодалаш (тасвирлаш) мумкин.

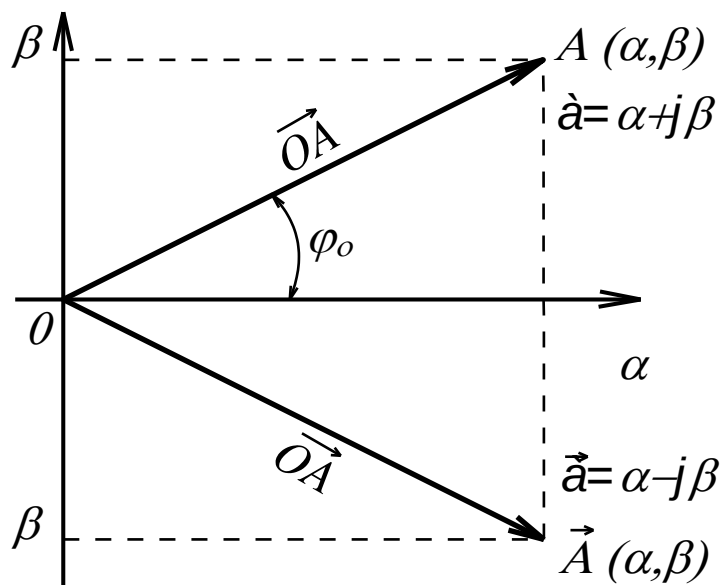
$$a = (\alpha, \beta) = (\alpha, 0) + (0, \beta) = \alpha + j\beta \quad (4.1.4)$$

2. Синусоидал катталикларни комплекс тасвирлаш.

Электротехникадаги қонуниятларни комплекс кўринишда кўриб чиқишда комплекс сонларнинг тригонометрик ва кўрсаткичли шаклларда ёзиш шакли тўғрисидаги маълумотлар катта қизиқиш ўйғотади. 1–расмда β –мавҳум ўқ ҳисобланади, α – эса ҳақиқий ўқ ҳисобланади. Келтирилган расм учун кўйидаги тенгликлар ўринлидир:

$$\alpha = |a| \cos \varphi_0; \quad \beta = |a| \sin \varphi_0 \quad (4.1.5)$$

Комплекс, a сонининг тригонометрик шаклдаги ёзувни келтирамыз:



1-расм.

$$a = |a| [\cos (\varphi_0 + 2k \pi) + j \sin (\varphi_0 + 2k \pi)] \quad (4.1.6)$$

бу ерда $(k = 0; \pm 1; \pm 2, \dots)$

Математикада тригонометрик ва кўрсаткичли функциялар Эйлер формуласи орқали боғлангандир:

$$\cos \varphi + j \sin \varphi = e^{j \varphi} \quad (4.1.7)$$

Шунинг учун:

$$a = |a| (\cos \varphi + j \sin \varphi) = |a| e^{j\varphi} \quad (4.1.8)$$

3. Комплекс қаршилик ва ўтказувчанликлар.

Чизиқли электр занжирларининг тугунлашган режимларини ҳисоблаш услубларини кўриб чиқишда Э.Ю.К., ток ва кучланишлар вақтнинг синусоидал функциялари бўлиб ҳисобланадилар. Классик қонуниятлар формулаларини синусоидал функциялар ёрдамида ҳисоблаб чиқиш кўпдан-кўп ҳисоблашлар билан боғлиқ сермашаққат, қийин ишдир. Бу шунингдек, синусоидал катталиқ берилган частотада ($\omega=2\pi f$) иккита миқдор; 1) амплитуда; 2) бошланғич фаза билан аниқланишининг натижаси ҳамдир.

Шунга ўхшаш функцияларни соддалаштирилишига вақтнинг синусоидал функцияларини $\dot{A}$ комплекс сонлари билан алмаштириш орқали эришилади, чунки ҳар бир комплекс сон ўзида иккита миқдорни – $\dot{A}$ модулни ва ψ аргументни мужассамлаган, унинг кўрсаткичли кўринишда бўлиши:

$$\dot{A} = A e^{j\psi} \quad (4.1.9)$$

Агарда (4.1.9) ифодани Эйлер формуласи (4.1.7) ёрдамида ифодаласак, у ҳолда кўйидагини ҳосил қиламиз:

$$A = a_1 + ja_2 = A \cos \psi_A + jA \sin \psi_A \quad (4.1.10)$$

бу ерда: $j = \sqrt{-1}$ ва e – натурал логарифмларнинг асосидир.

Амалиётда жорий (амалдаги) тоқлар ва кучланишлар катта аҳамият касб этади. У ҳолда комплекс жорий (амалдаги) катталиқлар учун кўйидагиларни ёзиш мумкин:

$$I = I_m / \sqrt{2} = I e^{j\psi_i}; \quad U = U_m / \sqrt{2} = U e^{j\psi_U} \quad (4.1.11)$$

Келтирилган маълумотларга таянган ҳолда электр занжирларининг параметрларини комплекс кўринишда тасвирлашга ўтамыз.

Ом қонуни асосида, комплекс кучланиш $\dot{U}$ нинг комплекс токка нисбати сифатида занжирнинг комплекс қаршилигини ҳосил қиламиз ва Z шаклида ёзамиз. У ҳолда:

$$Z = \dot{U} / \dot{I} = Z \cdot e^{j\varphi} = Z \cdot \cos \varphi + j \cdot Z \cdot \sin \varphi = r + jx \quad (4.1.12)$$

бу ерда: r , x ва Z лар – мос ҳолда занжирнинг актив, реактив ва тўлиқ қаршиликлари.

$\dot{I}$ ни $\dot{U}$ га бўлсак, занжирнинг комплекс ўтказувчанлигини ҳосил қиламиз; ушбу нисбатни Y сифатида ёзамиз:

$$Y = \dot{I} / \dot{U} = 1/Z \cdot e^{j\varphi} = y \cdot e^{-j\varphi} = y \cdot \cos \varphi - j \cdot y \cdot \sin \varphi = g - jb \quad (4.1.13)$$

бу ҳолда, b ва u лар мос ҳолдазанжирнинг актив, реактив ва тўлиқ ўтказувчанликларидир.

Шунинг учун, қўйидаги боғлиқликни ҳосил қиламиз:

$$Z \cdot Y = 1 \quad \text{ёки} \quad (r + j \cdot x) \cdot (y - jb) = 1 \quad (4.1.14)$$

Назорат саволлари

1. Комплекс сонлар нимадан иборат?
2. Комплекс, a сонининг таърифни ва унинг асосий хусусиятларини баён этиб беринг.
3. Эйлер формуласини ёзинг.
4. Синусоидал катталикларни комплекс кўринишда тасвирлашнинг моҳиятини тушунтиринг.
5. Комплекс қаршилик формулаларини ёзинг.
6. Комплекс ўтказувчанлик формуласини ёзинг.
7. Синусоидал катталик қандай параметрлар билан аниқланади ?
8. Тёкисликда ҳақиқий ва мавҳум ўқларни тасвирланг.
9. a комплекс сонининг тригонометрик шаклини келтиринг.
10. Ҳақиқий амалдаги (жорий) ток ва кучланишни комплекс кўринишда ёзинг.

Мавзу 4.2. *Ом ва Кирхгоф қонунларининг комплекс кўриниши. Комплекс кучланиш ва тоқлардан фойдаланиб қувватни ҳисоблаш.*

Режа:

1. Ом ва Кирхгоф қонунларининг комплекс кўриниши.
2. Комплекс кучланиш ва тоқлардан фойдаланиб қувватни ҳисоблаш.

1. Ом ва Кирхгоф қонунларининг комплекс кўриниши.

Комплекс кўринишда Ом қонунини қўйидаги ифодалар ёрдамида келтириш мумкин:

$$\dot{I} = \dot{U} / Z; \quad \dot{U} = \dot{I} \cdot Z; \quad \dot{U} = \dot{I} / Y; \quad \dot{I} = \dot{U} \cdot Y \quad (4.2.1)$$

Ушбу юқорида ёзилган тенгламаларнинг афзаллик томони шундаки, уларда жорий (амалдаги) кучланиш $\dot{U}$ ва жорий (амалдаги) ток $\dot{I}$ ўртасидаги боғлиқлик ҳам, улар орасидаги фазалар силжиши φ ҳам ҳисобга олинганидир.

Токнинг оний қийматларини ифодаловчи Кирхгофнинг классик қонуни (ушбу тенглама Кирхгофнинг биринчи қонуни бўлиб ҳисобланади) нинг одатдаги ёзилиши қўйидагича:

$$\sum_{k=0}^n i_K = 0 \quad (4.2.2)$$

(4.2.2) ни комплекс кўринишдаги ёзуви қўйидагича бўлади:

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_K = 0 \quad (4.2.3)$$

Занжир контурига нисбатан қўлланилган Кирхгофнинг иккинчи қонуни (оний электр юритувчи кучлар ва кучланишлар пасайишлари учун) нинг одатдаги кўриниши қўйидагича:

$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^n U_K \quad (4.2.4)$$

бўлса, шу боғлиқликнинг комплекс кўринишдаги ёзуви эса:

$$\sum_{k=1}^n \dot{E}_K = \sum_{k=1}^n \dot{U}_K = \sum_{k=1}^n \dot{I}_K \cdot Z_K \quad (4.2.5)$$

(4.2.5) формуладаги $\dot{E}_K$, $\dot{U}_K$, $\dot{I}_K$ ва Z_K –лар кўриб чиқиладиган контурга тааллуқли K –шоҳобчадаги комплекс Э.Ю.К., кучланиш пасайиши, ток ва қаршиликлардир.

Агарда шоҳобча кетма–кет уланган r_k –қаршиликли, L_k – индуктив чўлғамли ва C_k –сиғимли конденсаторларли участкалардан ташкил топган бўлса, у ҳолда:

$$\dot{I}_m \cdot (r + j \cdot \omega L + 1/j \cdot \omega C) = \dot{U}_m \quad (4.2.6)$$

ва

$$\dot{I} \cdot (r + j \cdot \omega L + 1/j \cdot \omega C) = \dot{U} \quad (4.2.7)$$

эканлигини ҳисобга олиб, кўрсатилган шоҳобча учун ҳосил киламиз:

$$Z_k = r_k + j \cdot \omega L_k + 1/j \cdot \omega C_k = r_k + j (\omega L_k - 1/\omega C_k) = r_k + j x_k \quad (4.2.8)$$

Кирхгоф қонунларидан тенгламаларни тузишда занжирнинг барча шоҳобчаларидаги Э.Ю.К., ток ва кучланишларнинг мусбат йўналишларини белгилаб олиш зарур. Одатда ушбу мусбат йўналишлар схемаларда стрелкалар билан кўрсатилади. Стрелкалар иккиланган индекслар билан алмаштирилиши ҳам мумкин. Улар Э.Ю.К., тоқлар ёки кучланишларнинг қийматлари пастига ёзилади. Иккиланган индекслар белгиларининг ўринлари алмашиши билан мос ҳолдаги параметрларнинг йўналиши ҳам ўзгаради. Масалан:

$$\dot{E}_{ab} = -\dot{E}_{ba}; \quad \dot{I}_{ab} = -\dot{I}_{ba}; \quad \dot{U}_{ab} = -\dot{U}_{ba} \quad (4.2.9)$$

Бу ҳолда схемаларда стрелканинг кўрсатишнинг ҳожати қолмайди, аналитик ифодаларда (4.2.9) ни ҳисобга олинади. Занжир

шоҳобчаларининг қаршиликлари ва ўтказувчанликлари йўналишга эга бўлмаган параметрлар ҳисобланади. Шунинг учун:

$$Z_{ab} = Z_{ba} ; \quad Y_{ab} = Y_{ba} \quad (4.2.10)$$

2. Комплекс кучланиш ва токлардан фойдаланиб қувватни ҳисоблаш.

Актив ва реактив қувватларни амалиётда ҳисоблаш учун жорий (амалдаги) кучланиш ва токларнинг қийматларини, шунингдек улар орасидаги фазалар силжиши φ нинг катталикларини билиш зарурдир.

φ бурчак кучланиш ва ток бошланғич фазаларининг айирмасига тенг:

$$\varphi = \psi_U - \psi_I \quad (4.2.11)$$

Шунинг учун, тўлиқ қувватни ҳисоблашда комплекс $\dot{U}$, $\dot{I}$ катталикларнинг ўзларини пасайтириб ўтирмасдан, улардан бирининг қийматини иккинчисининг турланган комплекс қийматига кўпайтириш kifоядир. Натижада комплекс қувват ҳосил қилинади:

$$\dot{S} = \dot{U}\dot{I} = Ue^{j\varphi_U} Ie^{-j\varphi_I} = UIe^{j\varphi} = UI \cdot \cos \varphi + jUI \cdot \sin \varphi = P + jQ \quad (4.2.12)$$

ва

$$\dot{S} = \dot{I}\dot{U} = Ue^{j\varphi_U} Ie^{-j\varphi_I} = UIe^{-j\varphi} = UI \cdot \cos \varphi - jUI \cdot \sin \varphi = P - jQ \quad (4.2.13)$$

(4.2.12) ва (4.2.13) ифодадан ҳам кўриниб турибдики, ҳар хил ҳолатда ҳам ҳақиқий қисми актив қувватга, P га тенг бўлиб, мавҳум қисмининг эса ишораси ўзгаради.

Комплекс қувватнинг модули

$$S = U \cdot I \quad (4.2.14)$$

га тенгдир.

Назорат саволлари

1. Ом қонунининг комплекс кўринишини ёзинг.
2. Кирхгофнинг биринчи қонуни комплекс формада қандай ёзилади?
3. Кирхгофнинг иккинчи қонунини оддий ва комплекс кўринишларда ёзинг.
4. Кетма–кет уланган занжир учун Z_k ни ҳисоблаш формуласини ёзинг.
5. Комплекс ва тўлиқ қувватлар қандай топилади?
6. Кетма–кет уланган занжир учун тўла қаршилиқнинг комплексини ёзинг.
7. Кучланиш ва токнинг бошланғич фазалари фарқи нимага тенг?

8. Актив ва реактив қувватларни амалда ҳисоблаш учун нимани билиш зарур.
9. Комплекс қувват формуласини кўрсатинг.
10. Комплекс қувватнинг модули нимага тенг?

Мавзу 4.3. Кирхгоф қонунлари. Уларнинг матрица кўринишида ёзилиши.

Режа:

1. Матрица ва уни ҳисоблаш усуллари.
2. Юқори тартибли матрица.

1. Матрица ва уни ҳисоблаш усуллари.

Таъриф: $m \cdot n$ ўлчамли матрица деб, $m \cdot n$ та ифодани m қатордан ва n устундан иборат тўғри бурчакли тўртбурчак шаклидаги жойлаштириб ёзилишига айтилади.

$$\begin{pmatrix} a_{11}, a_{12} \dots a_{1n} \\ a_{21}, a_{22} \dots a_{2n} \\ a_{n1}, a_{n2} \dots a_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.3.1)$$

(4.3.1) даги a_{ik} ифодалар матрицанинг элементлари деб аталади. Элементнинг жадвалдаги ўрни иккиланган индекс билан берилган: биринчи индекс қатор номерини, иккинчи индекс эса устун номерини билдириб, мазкур элемент ана шу қатор ва устуннинг кесишиш нуқтасида жойлашган. Матрицанинг элементлари бўлиб, одатда, сонлар хизмат қилади. Аммо, баъзан, бошқа математик объектлар, масалан дифференциаллар ҳам матрица элементлари бўлишлари мумкин.

Умумий ҳолатда мураккаб занжирларни кўриб чиқишда Кирхгоф қонунларини занжир алоҳида элементларидаги кучланишларни, улардаги тоқларга берилган боғлиқликлар билан биргаликдаги қўлланилиши дифференциал тенгламалар системасини ҳосил бўлишига олиб келади. Ва мазкур тенгламаларни юқори тартибли матрицалар ёрдамида ечиш мумкин. Агар $n \cdot n$ ўлчамли матрицада (бундай матрицаларни квадрат матрица деб аталади) $n \geq 3$ бўлганида биз юқори тартибли матрицага эга бўламиз. Матрицанинг асосий

термин ва тушунчалари олий математика курсида ўтилган, шунинг учун уларни бу ерда қайтадан келтириб ўтиш шарт.

2. Юқори тартибли матрица.

P –шаҳобчали ва g –туғунли электр занжирларининг тенгламаларини тўлиқ системасини ҳосил қилиш учун (ушбу тенгламалар системасига $g - 1$ та тоқлар учун тузилган тенгламалар ва $n = P - q + 1$ та кучланишлар учун тузилган тенгламалар киради). Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонунларидан фойдаланамиз.

Кирхгоф тенгламаларини оний ток ва кучланишлардан комплекс ток ва кучланишларга айлантириб матрица ҳолида қўйидагича ёзиш мумкин.

$$AI = -A \cdot \mathfrak{Z}; DI = -D \cdot \mathfrak{Z}; CU = CE \quad (4.3.2)$$

бу ерда:

$$I = \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \vdots \\ \dot{I}_P \end{bmatrix} \quad \mathfrak{Z} = \begin{bmatrix} \dot{\mathfrak{Z}}_1 \\ \vdots \\ \dot{\mathfrak{Z}}_P \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \vdots \\ \dot{U}_P \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} \dot{E}_1 \\ \vdots \\ \dot{E}_P \end{bmatrix}$$

лар $p \cdot 1$ тартибли вектор – матрицалар (ёки устун–матрицалар) деб аталади;

$A - (q - 1) \cdot p$ - тартибли бирлаштиришлар матрицаси ;

$D - (q - 1) \cdot p$ - тартибли кесимлар матрицаси;

$C - n \cdot p$ - тартибли контурлар матрицаси.

Ушбу матрицаларда биринчи сон матрица қаторлари сонини, иккинчиси эса унинг устунлари сонини аниқлайди.

Ҳамма матрицалар тартиблаштирилган ёки бошқача айтганда, дастлаб дарахт шохлари (1 дан $q - 1$ гача) номерлаб чиқилган, кейин эса тугунлар (q дан p гача) номерлаб чиқилган.

Электротехникада комплекс услубни қўллаш учун барча берилган Э.Ю.К.лар, ток манбалари ва кучланишлар ва тоқлар ўртасидаги боғлиқликларни комплекс кўринишда ёзиб чиқишини тақозо этилади.

Назорат саволлари

1. $m \cdot n$ ўлчамли матрица деб нимага айтилади?
2. Матрицада элементнинг ўрни қандай белгиланади?
3. Юқори тартибли матрица деб қандай матрицага айтилади?
4. Кирхгоф тенгламасини матрица кўринишда ёзинг.

5. $p \cdot 1$ тартибли вектор –матрицаларни ёзинг.
6. Қўшилиш (бирлашиш) матрицасини ёзинг.
7. Кесим (қирқим) матрицасини ёзинг.
8. Контурлар матрицаси қандай кўринишга эга?
9. Электротехникада комплекс усулнинг қўлланиши қандай талабларни қўяди?

Мавзу: 4.4. Электр занжирлари граффи.

Режа:

1. Схемаларни уланишнинг «учбурчак» усулидан «юлдузча» усулига ўтказиш ва аксинча тартибда ҳисоблаш.
2. Электр занжирларининг графлари. Граф элементларининг белгиланиши.

1. Схемаларни уланишнинг «учбурчак» усулидан «юлдузча» усулига ўтказиш ва аксинча тартибда ҳисоблаш.

1–расмда кўрсатилган тартибда уланиш схемалари берилган бўлсин. Уланишнинг «учбурчак» усулидан шунга эквивалент бўлган «юлдуз» усулига ўтишда қўйидаги системадан фойдаланилади:

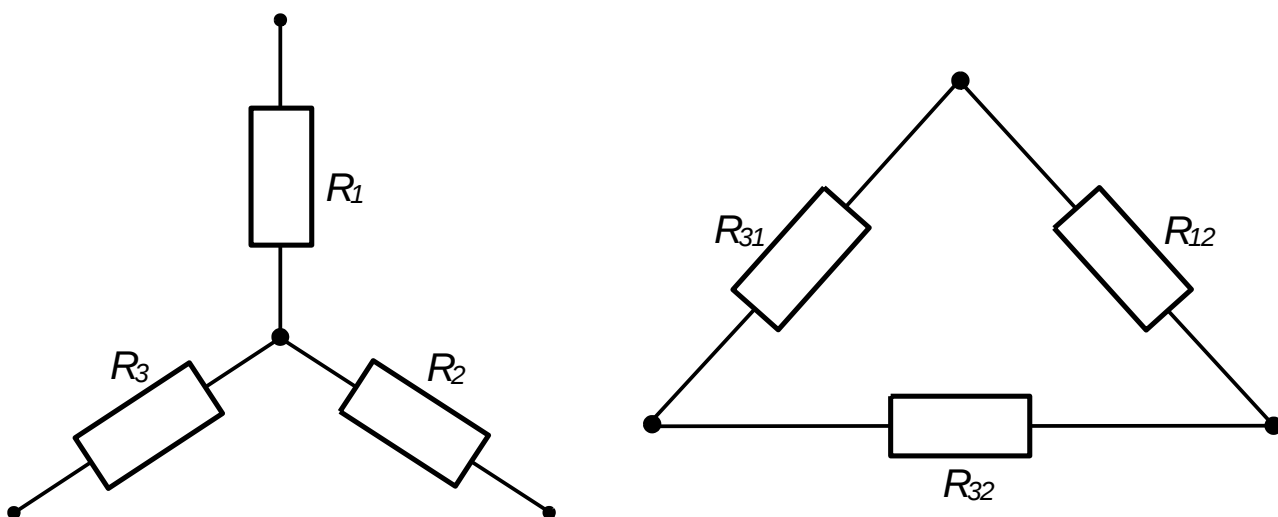
$$\begin{aligned} R_1 &= R_{12} \cdot R_{31} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}) \\ R_2 &= R_{12} \cdot R_{23} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}) \\ R_3 &= R_{23} \cdot R_{31} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}) \end{aligned} \quad (4.4.1)$$

бу ерда R_1 қаршилик R_{12} ва R_{31} қаршиликлари орасида; мос ҳолда R_2 қаршилик R_{12} ва R_{23} қаршиликлар орасида; R_3 қаршилик ҳам R_{23} ва R_{31} қаршиликлар орасида жойлашган бўлади.

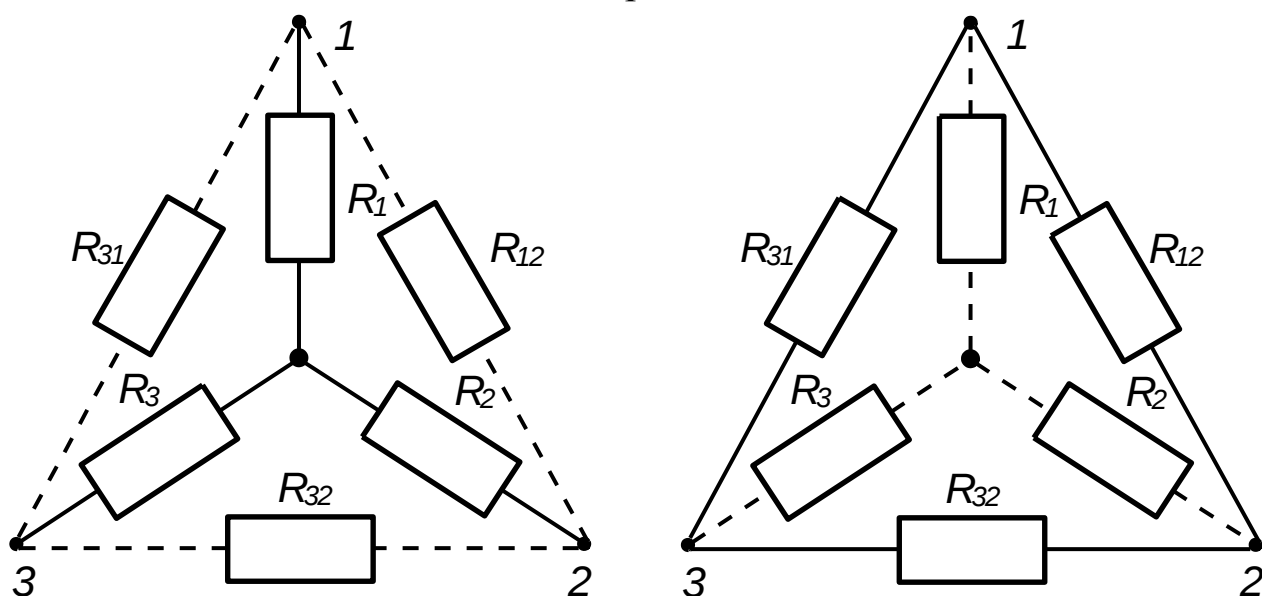
Уланишнинг «юлдуз» усулидан шунга эквивалент бўлган «учбурчак» усулига ўтишда қўйидаги системадан фойдаланилади:

$$\begin{aligned} R_{12} &= R_1 + R_2 + R_1 \cdot R_2 / R_3 \\ R_{23} &= R_2 + R_3 + R_2 \cdot R_3 / R_1 \\ R_{31} &= R_1 + R_3 + R_1 \cdot R_3 / R_2 \end{aligned} \quad (4.4.2)$$

У ҳолда 1–расмни шартли равишда 2 –расмдаги кўринишда тасвирлаш мумкин:



1 – расм



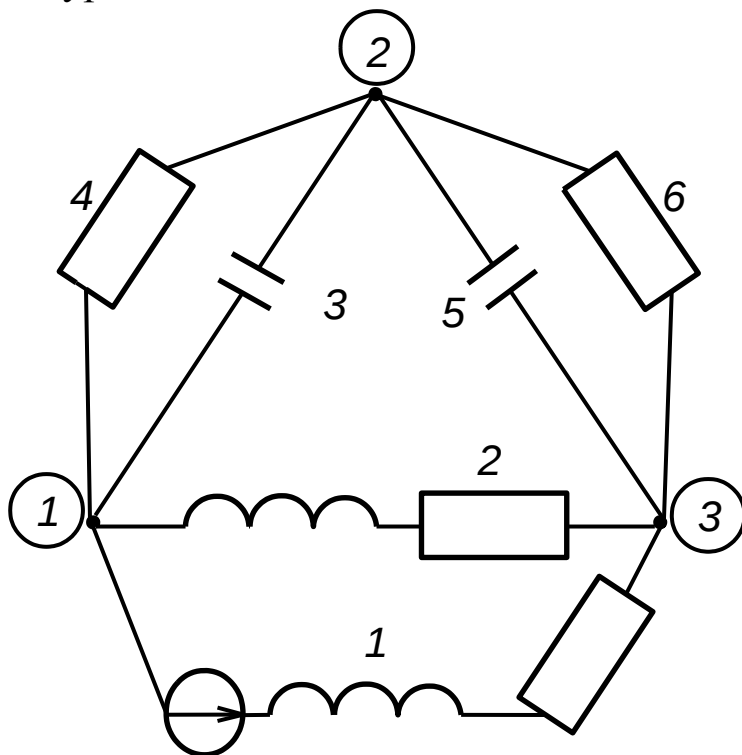
2 –расм

Схемаларни ана шу тартибда ўзгартирилганда 1, 2 ва 3 нукталарга уланган бошқа қисмларидаги иш режими ўзгармасдан қолиши шарт.

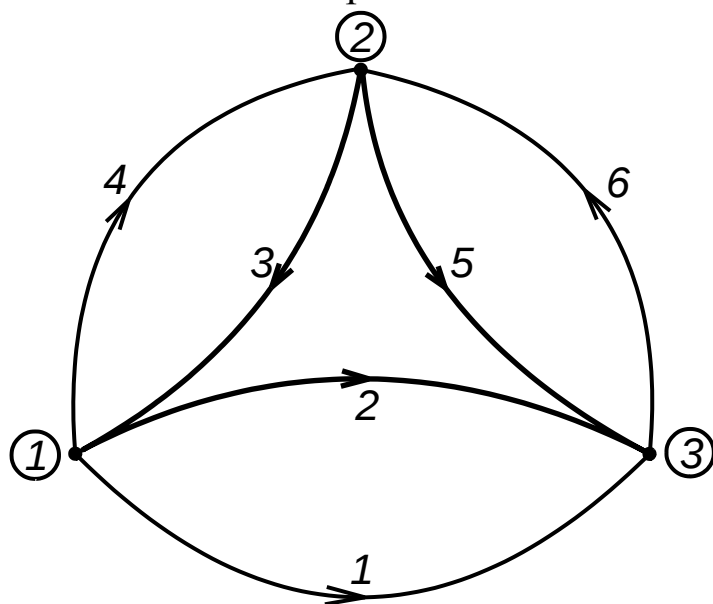
2. Электр занжирларининг графлари. Граф элементларининг белгиланиши.

Электротехникада схема шохобчаларининг ўзаро уланишининг жойлашишини янада яққолроқ кўринарли қилиш учун электр схемаларини шундай кўринишда бериш қабул қилинганки, ушбу кўринишда схема шохобчалари - граф кесма - шохобчалари шаклида, схема тугунлари эса граф тугунларига мос келади. Электр занжири схемасини ана шундай топологик ҳолда берилиши электр схемасининг графи дейилади.

3-расмда муайян бир занжирнинг принципиал электр схемаси, 4-расмда эса ушбу схеманинг графи кўрсатилган. Шунини таъкидлаш керакки, топологик схемада Э.Ю.К. ва токнинг манбалари кўрсатилмайди. Бу ҳолатда Э.Ю.К. ли шохобча графда алоҳида сақланган ҳолда кўрсатилади.



3-расм



4-расм

Таъриф: Исталган икки тугундан иборат жувфтликлари ўртасида шохобчаси ёки шохобчалари тўплами мавжуд бўлган граф боғловчили граф дейилади.

Боғлиқ бўлмаган контурларни танлашда занжирнинг берилган схемаси график кўринишида тасвирлаш қулайдир.

Схема графларида идеал Э.Ю.К. манбаси қисқа туташган шахобча кўринишида, идеал ток манбаси ўз ўқ шахобча кўринишида бўлади. Граф шахобчалар уланиши геометрик структурасига тегишли ҳамма маълумотларни ўз ичига олади.

Графнинг ҳамма тугунларни ўз ичига олувчи, лекин биронта ҳам ёпиқ контурга эга бўлмаган қисми графнинг дарахти деб аталади, дарахтнинг шахобчалар сони схемадаги тугунлар сонидан биттага камдир яъни $q-1$.

Дарахт таркибига кирмайдиган граф шахобчалари дарахтнинг бош шахобчалари дейилади. Дарахтга ҳар бир бош шахобчани уланиши ҳарбитта боғлиқ бўлмаган контурни ҳосил қилади. Дарахт бош шахобчаларнинг тўплами дарахтнинг тўлдирувчилари ҳисобланади.

Граф P шахобчаларга, дарахт эса $q-1$ бўлгани учун дарахт бош шахобчаларининг сони $P-(q-1)=P-q+1$ яъни боғлиқ бўлмаган контурлар сони тенг.

Назорат саволлари

1. «Юлдуз» ва «учбурчак» усулида улаш схемаларини ва уларни эквивалент ҳолда бир –бирига алмаштириш схемаларини чизиб кўрсатинг.
2. «Учбурчак» усулидан «юлдуз» усулига эквивалент ўтиш учун тенгламалар системасини ёзинг.
3. «Юлдуз» усулидан «учбурчак» усулига эквивалент ўтиш учун тенгламалар системасини ёзинг.
4. Электр занжирларининг графлари тўғрисида нима биласиз?
5. Қандай граф боғловчили граф деб аталади?
6. Схема графларида идеал Э.Ю.К. манбаси қандай уланган бўлади?
7. Графнинг дарахти деб нимага айтилади?
8. Дарахт таркибига кирмайдиган граф шахобчалар қандай шахобча дейилади?

Мавзу 4.5. Кетма–кет, параллел ва аралаш уланган занжирларни ҳисоблаш.

Режа:

1. Кетма–кет уланган занжирларни ҳисоблаш.
2. Параллел уланган занжирларни ҳисоблаш.
3. Аралаш уланган занжирларни ҳисоблаш.

1. Кетма –кет уланган занжирларни ҳисоблаш.

Амалиётда электр занжирлари асосан r қаршиликли, L индуктив чўлғамли ва C сиғимли участкаларни бир–бирига уланиши орқали ҳосил қилинади. Охирги икки катталиқ X реактив қаршиликни беради. Занжир учаскаларини кетма–кет улашда (1–расм) бутун занжир зажимларидаги кучланиш ҳарбир алоҳида участкаларидаги кучланишлар пасайишларининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$U = \sum_{k=1}^n U_k \quad (4.5.1)$$

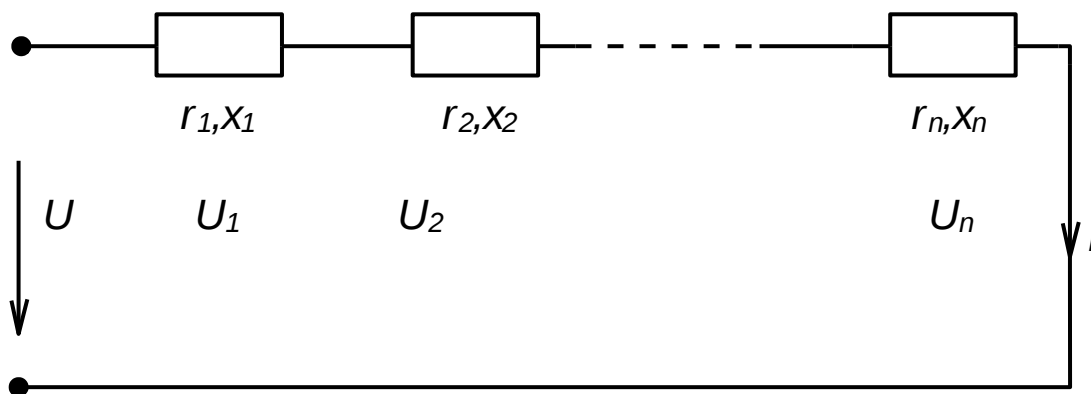
Синусоидал жараёнларда, комплекс услубдан фойдаланиб ва ток занжирининг барча участкаларида бир хил эканлиги учун ёзиш мумкин:

$$\dot{U} = \sum_{k=1}^n \dot{U}_k = \sum_{k=1}^n \dot{I}_k \cdot Z_k = \dot{I} \sum_{k=1}^n Z_k = \dot{I} Z \quad (4.5.2)$$

бу ерда:

$$Z_k = r_k + j x_k \quad (4.5.3)$$

(4.5.3) формула k - участканинг комплекс қаршилигини аниқлаш формуласи деб аталади. Кетма–кет уланишда бутун занжирнинг комплекс қаршилиги ҳарбир участка комплекс қаршиликларининг алгебраик йиғиндисига тенг:



4.5.1–расм

$$Z = \sum_{k=1}^n Z_K = \sum_{k=1}^n r_K + j \sum_{k=1}^n X_K = r + jX \quad (4.5.4)$$

Z ни била туриб берилган комплекс $\dot{U}$ кучланишдаги комплекс $\dot{i}$ токни аниқлаш мумкин.

1 –расмда қаршилиқ ўзининг иккита ташкил этувчисига эга: актив ва реактив қўйидаги тенгликлардан:

$$r = \sum_{k=1}^n r_K \quad \text{ва} \quad X = \sum_{k=1}^n X_K \quad (4.5.5)$$

келиб чиқадики, кетма–кет уланган алоҳида участкаларнинг ҳам актив, ҳам реактив қаршилиқларининг алгебраик йиғиндилари ҳисобланиб чиқиши лозим.

Актив P ва реактив Q қувватларни ҳисоблаш учун қўйидаги формулалардан фойдаланамиз:

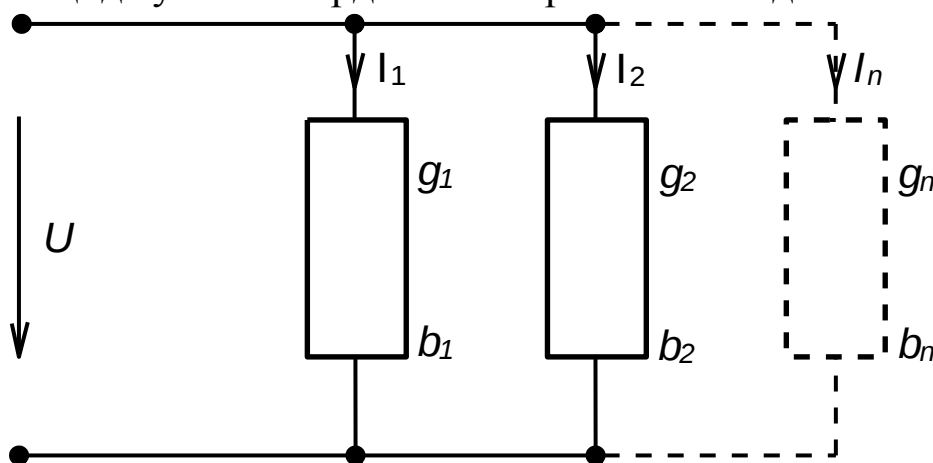
$$P = I^2 \cdot r = I^2 \sum_{k=1}^n r_K = \sum_{k=1}^n I^2 \cdot r_K = \sum_{k=1}^n P_K \quad (4.5.6)$$

$$Q = I^2 \cdot X = I^2 \sum_{k=1}^n X_K = \sum_{k=1}^n I^2 X_K = \sum_{k=1}^n Q_K \quad (4.5.7)$$

Таъриф: Бутун занжирларнинг актив ва реактив қувватлари занжирнинг барча алоҳида участкаларининг актив ва реактив қувватларининг алгебраик йиғиндисига тенгдир.

2. Параллел уланган занжирларни ҳисоблаш.

2–расмда участкалари параллел уланган занжир схемаси келтирилган. Ушбу ҳолатда занжирга кириш нуқтасидаги умумий ток қиймати алоҳида участкалардаги тоқларнинг йиғиндисига тенгдир:



2 –расм

Комплекс услубдан фойдаланиб ва барча участкалардаги кучланишларнинг бир хил эканлигини назарда тутиб ёзамиз:

$$\dot{i} = \sum_{k=1}^n \dot{i}_K = \sum_{k=1}^n \dot{U} \cdot Y_K = \dot{U} \sum_{k=1}^n Y_K = \dot{U} \cdot Y \quad (4.5.9)$$

бу ерда:

$$Y_k = g_k - j b_k \quad (4.5.10)$$

(4.5.10) формула участкалари параллел уланган занжир k – участкасининг комплекс ўтказувчанлиги формуласи ҳисобланади.

Параллел уланишда бутун занжирнинг комплекс ўтказувчанлиги занжир алоҳида участкалари комплекс ўтказувчанликларининг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$Y = \sum_{k=1}^n Y_k = \sum_{k=1}^n g_k - j \sum_{k=1}^n b_k = g - jb \quad (4.5.11)$$

U ни била туриб, берилган кучланиш U учун i токнинг комплекс қийматини аниқлаш мумкин. Қўйидаги

$$g = \sum_{k=1}^n g_k \quad \text{ва} \quad b = \sum_{k=1}^n b_k \quad (4.5.12)$$

тенгликлардан участкалари параллел уланган занжирлар учун алоҳида участкалар актив ва реактив ўтказувчанликларининг алгебраик йиғиндилари алоҳида ҳисобланиши лозимлиги келиб чиқади.

Актив ва реактив Q қувватларни ҳисоблаш учун қўйидаги формулалардан фойдаланамиз:

$$P = U^2 g = U^2 \sum_{k=1}^n g_k = \sum_{k=1}^n U^2 g_k = \sum_{k=1}^n P_k \quad (4.5.13)$$

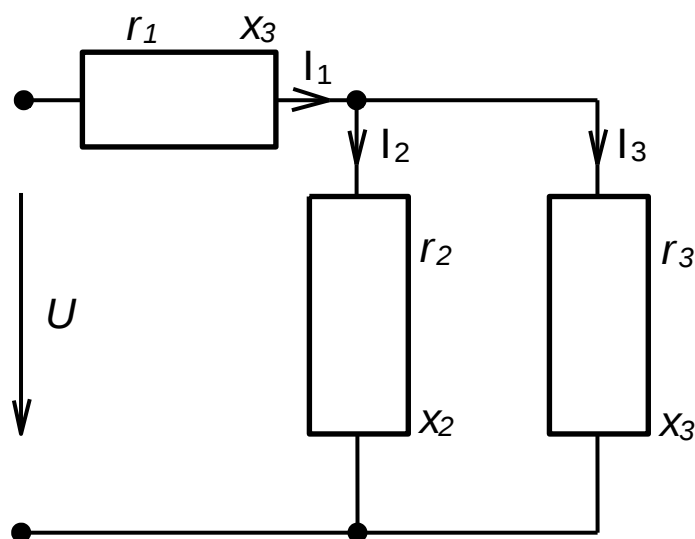
$$Q = U^2 b = U^2 \sum_{k=1}^n b_k = \sum_{k=1}^n U^2 b_k = \sum_{k=1}^n Q_k \quad (4.5.14)$$

Таъриф: Бутун занжирнинг актив ва реактив қуввати ушбу занжир параллел уланган алоҳида участкаларининг актив ва реактив қувватларининг алгебраик йиғиндисига тенгдир.

3. Аралаш уланган занжирларни ҳисоблаш.

3–расмда участкалар аралаш уланган занжир келтирилган, унда кетма–кет уланган ҳам, параллел уланган ҳам участкалар ҳам мавжуд. Шунинг учун ана шу каби занжирларни ҳисоблашда мазкур маъруза режасининг аввалги саволларида келтирилган ҳисоблаш формулаларини келтириш мумкин.

Занжир зажимларидаги U кучланиш берилган бўлсин. Кўрсатилган схеманинг барча тоқларини аниқлаш лозим бўлсин. Бу ерда 2 ва 3–участкалар параллел уланган, шу сабабли Y_{23} комплекс ўтказувчанликни аниқлаш учун Y_2 ва Y_3 комплекс ўтказувчанликларни қўшиш зарур:



3-расм.

$$Y_{23} = Y_2 + Y_3 = (g_2 - jb_2) + (g_3 - jb_3) = (g_2 + g_3) - j(b_2 + b_3) \quad (4.5.15)$$

$$Y_2 = 1/Z_2 = 1/(r_2 + jx_2); \quad Y_3 = 1/z_3 = 1/(r_3 + jx_3) \quad (4.5.16)$$

(4.5.16) формуладаги маҳраждаги мавҳумликдан қутулиш учун унинг суратини ҳам маҳражини ҳам маҳражга турланган комплекс миқдорга кўпайтириш зарур:

$$Y_2 = (r_2 - jx_2)/(r_2 + jx_2)(r_2 - jx_2) = r_2/(r_2^2 + x_2^2) - jx_2/(r_2^2 + x_2^2) = g_2 - jb_2 \quad (4.5.17)$$

$$Y_3 = (r_3 - jx_3)/(r_3 + jx_3)(r_3 - jx_3) = r_3/(r_3^2 + x_3^2) - jx_3/(r_3^2 + x_3^2) = g_3 - jb_3 \quad (4.5.18)$$

Комплекс услубдан фойдалана туриб, занжирдаги ёки унинг участкасидаги эквивалент ўтказувчанликлар g ва b ўртасидаги ҳамда эквивалент қаршиликлар r ва x ўртасидаги боғлиқликларни осонгина топа оламиз.

3-расмдаги биринчи участка биргаликда олинган иккинчи ва учинчи участкалар билан кетма-кет уланган.

У ҳолда бутун занжирнинг комплекс қаршилиги:

$$Z = Z_1 + Z_{23} \quad (4.5.19)$$

$$Z_1 = r_1 + jx_1;$$

$$Z_{23} = 1/Y_{23} = 1/(g_{23} - jb_{23}) = g_{23}/(g_{23}^2 + b_{23}^2) + jb_{23}/(g_{23}^2 + b_{23}^2) \quad (4.5.20)$$

Занжирнинг биринчи қисмидаги комплекс ток:

$$\dot{I}_1 = \dot{U} / Z \quad (4.5.21)$$

Иккинчи ва учинчи участкалардаги комплекс кучланишни қўйидаги тенгликлардан топамиз:

$$\dot{U}_{23} = \dot{U} - \dot{I}_1 \cdot Z_1 \quad \text{ёки} \quad \dot{U}_{23} = \dot{I}_1 \cdot Z_{23} \quad (4.5.22)$$

(4.5.22) дан кўриб чиқиладиган участкалардаги комплекс тоklar осонлик билан топилади:

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_{23} \cdot Y_2; \quad \dot{I}_3 = \dot{U}_{23} \cdot Y_3 \quad (4.5.23)$$

Бутун занжир учун $Z=r+j$ х ни била туриб, кучланиш ва ток оралиғидаги фаза силжиши φ ни қўйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$\varphi = \arctg x/r \quad (4.5.24)$$

Таъриф: Аралаш уланишда бутун занжирнинг актив қаршилиги унинг алоҳида участкаларида сарфланаётган актив қаршиликлар йиғиндисига тенг, реактив қаршилиги эса мос ҳолдаги реактив қаршиликларнинг алгебраик йиғиндисига тенгдир.

Назорат саволлари:

1. Кетма–кет уланган занжирни чизинг ва ҳисоблаш формулаларини келтиринг.
2. Кетма–кет уланган занжирда актив қувватлар нимага тенг?
3. Кетма–кет уланган занжирда реактив қувватлар нимага тенг?
4. Параллел уланган занжирни чизиб беринг ва ҳисоблаш формулаларини келтиринг.
5. Параллел уланган занжирда актив қувват нимага тенг?
6. Параллел уланган занжирда реактив қувват нимага тенг?
7. Аралаш уланган занжирнинг схемасини чизинг ва мазкур схеманинг ҳисоблаш формулаларини келтиринг.
8. Схеманинг параллел уланган қисмлари учун ўтказувчанликнинг формуласини ёзинг.
9. Аралаш уланганда барча занжирнинг актив қуввати нимага тенг бўлади?
10. Фазаларнинг φ бурчакка силжиши қандай аниқланади?

Мавзу 4.6. Мураккаб занжирларни ҳисоблаш.

Режа:

1. Мураккаб занжирда қувват баланси.
2. Ҳар хил режимда ишлайдиган мураккаб занжирларни ҳисоблаш.
3. Занжирларни ҳисоблашнинг топологик услуби.

1. Мураккаб занжирда қувват баланси.

Электро энергетикада актив қувват сотиладиган товар бўлиб ҳисобланади. Ушбу қувватни узоқ масофаларга ўзатиш уни қабул

қилиш, истеъмол қилиш ва ҳоказолар мумкин. Аммо реактив қувват истеъмол қилинадиган жойнинг ўзида балансланиши зарур. Электр занжирларидаги реактив қувватлар баланси Лантевен теоремаси билан исботланади. Мазкур теорема занжирдаги барча энергия манбалари реактив қувватларнинг йиғиндиси занжир қай даражада мураккаб тузилишга эга эканлигидан қатъий назар, ушбу занжирдаги электр энергияси истеъмолчиларининг реактив қувватлари йиғиндисига тенг эканлиги тўғрисидаги масалани ечади. Бир вақтнинг ўзида мос ҳолдаги актив қувватлар тенглиги тўғрисидаги масала ҳам ечилади, ушбу ечим тўғридан–тўғри энергиянинг соҳаланиш қонунидан келиб чиқади.

Исталган занжир учун унинг тенгламаларини тугуний кучланишлар усулида ёзишда уларнинг матрица кўриниши қўйидагича бўлади:

$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1,q-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{q-1,1} & Y_{q-1,2} & \dots & Y_{q-1,q-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{U}_{10} \\ \dots \\ \dot{U}_{q-1,0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{1,j} \\ \dots \\ \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{q-1,j} \end{pmatrix} \quad (4.6.1)$$

Ушбу ҳолатда ўтказувчанликлар матрицасини тугуний кучланишлар устун–матрицасига кўпайтириш орқали шундай ифодага эга бўламизки, тенглик белгисининг чап томонидан устун–матрицанинг ҳар бир элементи, номери ток белгисининг пастдаги биринчи индексга мос бўлган номерли тугунида учрашувчи шахобчалар (истеъмолчилар) даги тоқлар йиғиндисини англатади.

(4.6.1) тенгламанинг унг томонидаги матрицанинг ҳарбир элементи мос ҳолдаги ток манбалари тоқларнинг йиғиндисига тенгдир.

$$\begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{1,j} \\ \dots \\ \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{q-1,j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{1,j} \\ \dots \\ \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{q-1,j} \end{pmatrix} \quad (4.6.2)$$

(4.6.2) ни турланган комплекс тугуний кучланишларнинг транспонирланган матрицасига кўпайтирамиз. У ҳолда қўйидаги ҳосилбўлади:

$$\left\| \begin{matrix} U_{10}^* & U_{20}^* & \dots & U_{q-1,0}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{matrix} \right\| * \left\| \begin{matrix} \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{1,j} \\ \vdots \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^{q-1} \dot{I}_{q-1,j} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} U_{10}^* & U_{20}^* & \dots & U_{q-1,0}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{matrix} \right\| * \left\| \begin{matrix} \sum_{j=1}^{q-1} I_{1,j} \\ \vdots \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^{q-1} I_{q-1,j} \end{matrix} \right\| \quad (4.6.3)$$

(4.6.3) ни кўпайтиришдан сунг кўйидаги кўринишдаги ҳадларга эга бўламиз:

$$U_{i0}^* \cdot \dot{I}_{ij} + U_{j0}^* \cdot \dot{I}_{ji} \quad \text{ва} \quad U_{i0}^* \cdot \dot{I}_{ij} + U_{j0}^* \cdot \dot{I}_{ji} \quad (4.6.4)$$

Кўйидаги тенгликлар ўринли эканлигини ҳисобга олган ҳолда:

$$\dot{I}_{ji} = -I_{ij} \quad \text{ва} \quad U_{i0}^* - U_{j0}^* - U_{ij}^* \quad (4.6.5)$$

Кўйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$(U_{12}^* \cdot \dot{I}_{12} + \dots + U_{q-1,0}^* \cdot \dot{I}_{q-1,0}) = (U_{12}^* \cdot \dot{I}_{12} + \dots + U_{q-1,0}^* \cdot \dot{I}_{q-1,0}) \quad (4.6.6)$$

кўпайтма

$$U_{ij}^* \cdot \dot{I}_{ij} = S_j' = S_K' \quad (4.6.7)$$

i ва j тугунлар орасида жойлашган истеъмолчининг комплекс қувватидир. Бу ҳолда кўпайтма:

$$U_{ij}^* \cdot \dot{I}_{ij} = S_{iK}' = S_K' \quad (4.6.8)$$

Шунингдек, i ва j тугунларга уланган манбанинг комплекс қуввати ҳамдир. Шунинг учун, эга бўламиз:

$$\sum S_K' = \sum S_K' \quad \text{ёки} \quad \sum P_K = \sum P_K' \quad \text{ва} \quad \sum Q_K = \sum Q_K' \quad (4.6.9)$$

бу ерда $\sum P_K$ ва $\sum Q_K$ лар –занжирдаги барча манбаларнинг актив ва реактив қувватлари йиғиндиси, $\sum P_K'$ ва $\sum Q_K'$ лар эса барча истеъмолчилар актив ва реактив қувватларнинг йиғиндиларидир. (4.6.9) даги охирги 2 та тенгликни ўзлари Ланжевен теоремасини англатади.

Исталган истеъмолчи учун кўйидаги кўринишдаги боғлиқликлар ўринлидир:

$$P_K' = I_K^2 \cdot r_K \quad \text{ва} \quad Q_K' = I_K^2 \cdot \omega L_K - \frac{I_K^2}{\omega C_K} \quad (4.6.10)$$

Шунинг учун бутун занжирнинг комплекс қуввати учун кўйидаги тенглик ўринли бўлади:

$$\sum S_K' = \sum I_K^2 \cdot r_K + j\omega \sum I_K^2 \cdot L_K + \frac{1}{j\omega} \sum \frac{I_K^2}{C_K} \quad (4.6.11)$$

2. Ҳар хил режимда ишлайдиган мураккаб занжирларни ҳисоблаш.

Мазкур курсда ўзгарувчан токли мураккаб электр занжирларини ҳисоблашнинг хилма-хил усуллари кўриб чиқилади. Шунинг учун ушбу саволда биз вақт бўйича ўзгармас Э.Ю.К. ва токка эга бўлган манбалар таъсиридаги мураккаб электр занжирларини ҳисоблашни қисқа кўриб чиқамиз. Мазкур ҳисоблашнинг фарқловчи хусусияти бўлиб, реал индуктив чўлғамларда фақатгина улар ўрамларининг актив қаршилиги, реал конденсаторларда эса фақатгина уларнинг исроф ўтказувчанлигигина ҳисобга олинади. Агарда L ва C участкаларида исрофлари бўлмаган, эквивалент электр схемаси кўринишидаги электр занжирлари кўриб чиқиладиган бўлса, (чўлғам ўрамлари қаршилиги ва конденсатор исроф ўтказувчанликлари алоҳида участка кўринишида ажратиб чиқилган). L индуктивли участкани қисқа туташган деб, C конденсаторли участка эса ўзилган (ажратилган) деб ҳисоблаш керак. Бу шунингдек, расман $\omega \rightarrow 0$ бўлганида ҳам келиб чиқади. Бошқача айтганда $\omega = 0$ бўлганида

$$X_L = \omega L = 0; \quad X_C = 1/\omega C = \infty \quad (4.6.12)$$

(4.6.12) ифода шундан келиб чиқадики, ўзгармас тоқларда, чўлғамда ўзиндукция Э.Ю.К. и индукцияланмайди ва идеал конденсаторларнинг зажимларида ўзгармас кучланишда улар орқали ток утмайди.

Демак, ўзгармас токли занжирларда ҳисоблашлар нисбатан анча содда бўлади, чунки бу ҳолда синусоидал тоқлар тенгламаларидан комплекс миқдорлар ўрнига фақатгина ҳақиқий миқдорлар ушбу тенгламаларда қатнашади. Фақатгина тенгламаларни тузишда барча «ишоралар» қоидаларига қатъиян риоя қилиш зарур.

Идеал занжирларда (бу ҳолда занжир схемасининг барча шахобчаларида идеал конденсаторлар киритилган ва ўзгармас Э.Ю.К. таъсирида ушбу занжирдаги ток нолга тенг бўлади). Фақатгина занжирдаги кучланишнинг конденсатор бўйича тақсимланишини аниқлаш масаласигина қўйилиши мумкин. Бу ҳолда, фараз қилайлик Э.Ю.К. таъсир қила бошлагунга қадар конденсаторлар зарядсизланган бўлсин, у ҳолда ўзгармас Э.Ю.К. лар таъсирида кучланишнинг тақсимланиши худди шундай схемада синусоидал кучланиш таъсир этаётган ҳолдагидек бўлади (ҳарбир шахобчасида идеал конденсаторлар киритилган, миқдор жиҳатдан ўзгармас Э.Ю.К. га тенг миқдорли синусоидал Э.Ю.К. таъсир қилиши натижасида бир-бири билан фазада бўлади).

Амалда барча конденсаторлар якуний ўтказувчанлик исрофига эга бўлади. Шунинг учун ўзгармас Э.Ю.К. лар таъсирида конденсатордаги турғунлашган кучланишлар, улар исрофларининг қаршиликлари ва схема бошқа участкаларнинг қаршиликлари билан аниқланади. Кучланишнинг ушбу тақсимланишида конденсаторлар сиғимларининг ҳеч қандай таъсири бўлмайди. Бу ҳолат шуни англатадики, эквивалент схемада идеал конденсаторли участкалар ҳисоблашларда ажратилган бўлиши лозим.

3. Занжирларни ҳисоблашнинг топологик услуби.

Электротехникада тенгламалар системасини тузиб ўтирмасдан занжир схемасининг графиги асосида тескари матрица ва унинг аниқловчисини элементларини аниқлаш имконияти мавжудлиги катта қизиқиш тўғдиради. Топологик усулда ҳисоблашларнинг мисоли тариқасида тугуний кучланишлар усулини кўриб чиқамиз.

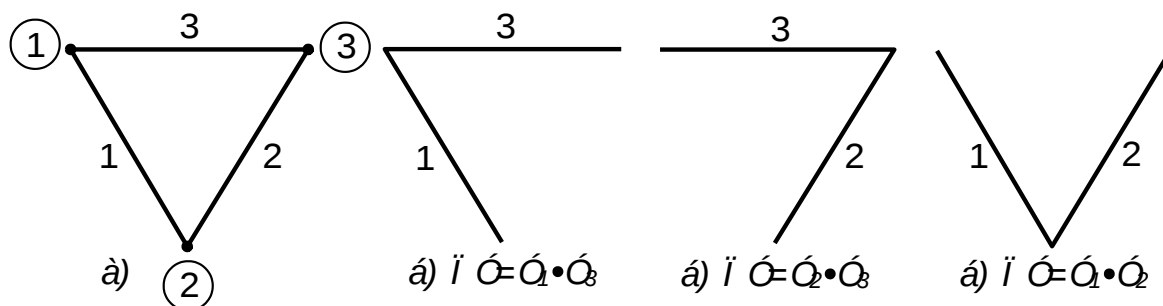
Тугуний ўтказувчанликлар матрица учун AYA^t ифодага эгамиз, бу ерда: $A-(q-1) \cdot n$ – тартибли бирлашишлар топологик матрицаси; $A^t-n \times (q-1)$ тартибли бирлашишларнинг транспонирланган матрицаси; $Y-n \cdot n$ тартибли шахобчалар ўтказувчанликларининг (занжирда боғлиқ манбалар ва ўзаро индукция бўлмаган ҳолатда) диагональ матрицаси.

Коши–Бинс теоремасига асосан, ана шундай матрицанинг аниқловчисини қўйидагича аниқлаш мумкин:

$\det(AYA^t) = \det(A)Y\det(A^t) = \sum -AY$ ва A^t матрицаларнинг мос ҳолдаги максимал тартибдаги минорлари йиғиндиси. Ушбу ҳолда минорларнинг мос ҳолда бўлиши AY матрицадаги устунлар номерларини A^t матрицадаги қаторлар номерлари билан устма–уст тушишидир. AY ва A^t матрицаларда Y матрица диагональлиги туфайли нолдан фарқли элементлари бир хил жойлашгандир (агар $a_{jk} \neq 0$ бўлса $a_{jk} \cdot Y_k \neq 0$)

Дарахтлари 1–б расмда келтирилган 1–а схема графиги қўйидаги ифодага эга бўламиз:

$$\det(AYA^t) = Y_1Y_3 + Y_2Y_3 + Y_1Y_2 \quad (4.6.13)$$



1 –расм

Коши–Бинс теоремасига асосан $\Delta j j$ тартибли алгебраик тўлдирувчини ҳосил қилиш учун AU матрицадан j –сатрили, A^t матрицадан эса j –устунни чизиш керак. Бундай ўчириш j –тугунни бази тугунга улаш билан тенг кучлидир. У ҳолда схеманинг янги графиги ҳосил бўлади (янги график эски графикнинг j –тугунни ва бази тугунини туташтириш орқали ҳосил қилинади).

Кўп сонли ҳар хил дарахтларни излаб топиш зарурияти занжирларни топологик усулда ҳисоблашнинг асосий камчилигидир. Замоनावий ЭХМ лар пайдо бўлиши билан ушбу ҳисоблашлар анча енгиллашди. Аммо $g=10$ бўлганида 10^8 га тенг бўлган сондаги ҳар хил дарахтларни излаб топиш ва сақлаш зарурияти ҳатто замонамий ЭХМ лар ҳам жуда муаммоли масаладир. Шу сабабдан ҳисоблашнинг топологик усули фақатгина нисбатан кам сонли тугунларга эга схемалар учунгина самаралидир.

Назорат саволлари:

1. Қувват балансининг моҳиятини тушунтиринг.
2. Ланжевин теоремасини қайси тенглик ифодалайди?
3. Доимий Э.Ю.К. ва ток манбасига эга мураккаб электр занжирларини ҳисоблашда нимани ҳисобга олиш керак бўлади?
4. Қандай шартда L ни қисқа туташтирилган деб ҳисоблаш мумкин?
5. Қандай шартда C ни ажратиб қўйилган деб ҳисоблаш мумкин?
6. Синусоидал токли занжирни ҳисоблаш ўзгармас токли занжирни ҳисоблашдан нимаси билан фарқланади?
7. Идеал занжирларда кечадиган жараёнларни баён этинг.
8. Реал занжирда нимани ҳисобга олиш керак?
9. Занжирларни ҳисоблашнинг топологик усули моҳиятини тушунтиринг.
10. Занжирни ҳисоблашнинг топологик усулида қандай асосий камчилик бор?

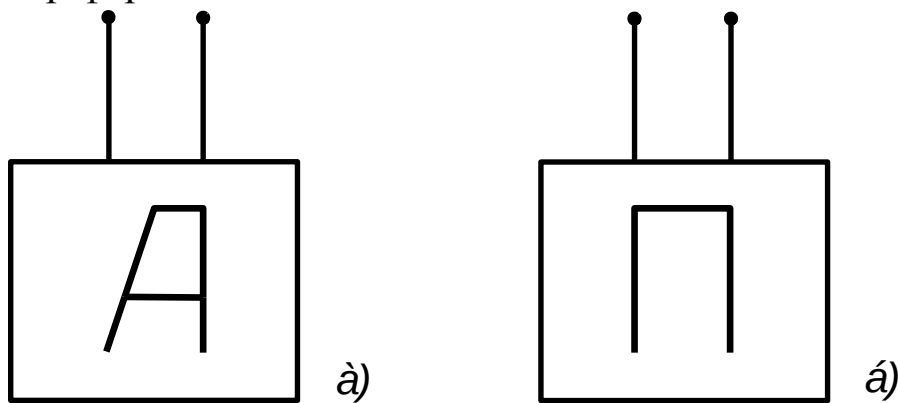
Мавзу 4.7. Актив икки қутблик, контур токлари, тугуний потенциаллар ва устма–уст қўйиш усуллари.

Режа:

1. Актив икки қутблик, контур токлари усули.
2. Тугуний потенциаллар усули.
3. Устма –уст қўйиш усули.

1. Актив икки қутблик, контур токлари усули.

Электр занжирларининг иккита зажим (қутб) га эга исталган қисмини икки қутблилик деб аталади. Схемаларда икки қутблиликлар, икки чиқишли тўғри тўртбурчак шаклида тасвирланади. Актив (1–а расм) ва-passив (1–б расм) икки қутблиликлар фарқланади.



1–расм

Таъриф: Электр энергияси манбасига эга икки қутблилик актив икки қутблилик деб аталади.

Чизиқли икки қутблилик учун зарурий қўшимча шарт бўлиб унинг ажратилган зажимларида кучланишнинг бўлиши шартлигидир, мазкур кучланиш икки қутблилик ичида электр манбасининг мавжудлиги билан боғлиқ бошқача айтганда, ушбу энергия манбаларининг таъсири икки қутблилик ичида қандайдир бошқа таъсир билан ўзаро компенсацияланмаслиги шартдир.

Энди актив икки қутбликлардан иборат бўлган электр занжирларини ҳисоблашнинг баъзи усуллари кўриб чиқамиз.

Контур токлари усули амалиётда контур токлари тенгламаларини тўғридан–тўғри, занжир схемасини кўра туриб тузиш ҳам мумкин. Кирхгофнинг 2–қонунига асосан n та ўзаро боғлиқ бўлмаган контурлар учун қўйидаги n та тенгламадан иборат тенгламалар системасини тузиш мумкин.

$$\begin{aligned} Z_{11} \cdot \dot{I} + Z_{12} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{1n} \cdot \dot{I}_n &= \dot{E}_{11} \\ Z_{21} \cdot \dot{I} + Z_{22} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{2n} \cdot \dot{I}_n &= \dot{E}_{22} \\ Z_{31} \cdot \dot{I} + Z_{32} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{3n} \cdot \dot{I}_n &= \dot{E}_{32} \end{aligned} \quad (4.7.1)$$

n та контур тоқларини ўз ичига олган (4.7.1) кўринишдаги тенгламаларни тузиш ва уларни ушбу тоқларга нисбатан ечиш ҳисоблашнинг контур тоқлари усулининг ўзидир. Бу ерда $\dot{E}_{nn}$ — n контурга кирувчи Э.Ю.К. лар йиғиндисидир. Йўналишлари контурни айланиб чиқиш йўналиши билан мос тушган Э.Ю.К. лар мусбат ишора билан мос келмаганларини эса манфий ишора билан олинади. Z_{kk} орқали k –контурга кирувчи қаршилиқлар йиғиндисини ифодалаймиз. Ва ушбу Z_{kk} катталиқни контурнинг хусусий қаршилиғи деб атаймиз. k ва m контурлар учун умумий бўлган шахобчалардаги қаршилиқлар йиғиндисини Z_{km} ёки Z_{mk} орқали ифодалаймиз ва k ва m контурларнинг умумий қаршилиғи деб атаймиз.

Бу ерда $Z_{km} = Z_{mk} = r_{km} + jX_{km}$ деб ҳисоблаш керак, қачонки агарда k ва m контурлар учун умумий бўлган шахобчадаги контур тоқларининг шартли мусбат йўналишлари мос келса ва аксинча $Z_{km} = Z_{mk} = -r_{km} - jX_{km}$ деб ҳисоблаш керак, қачонки улар тескари йўналган бўлса (4.7.1) ни k контурдаги I_k контур токи учун ишлаб (ҳисоблаб) қўйидагини топамиз:

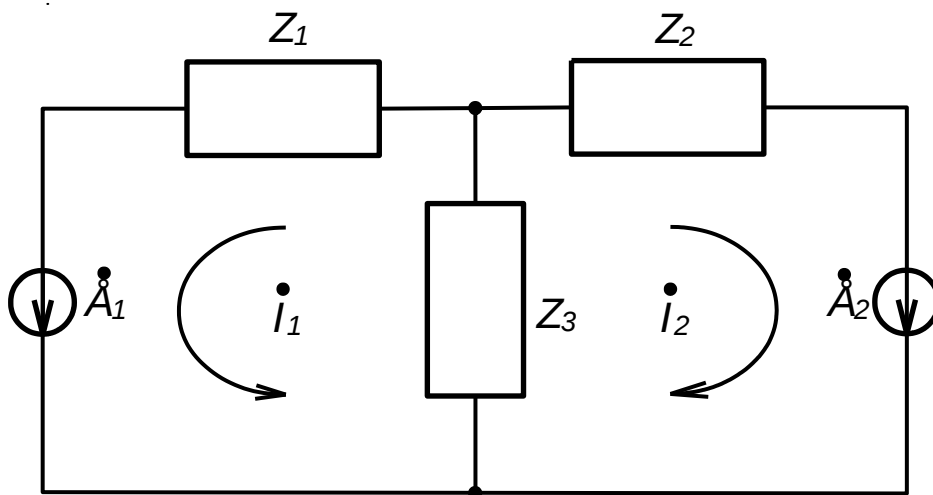
$$I_k = \frac{\dot{E}_{11} \cdot \Delta k_1}{\Delta} + \frac{\dot{E}_{22} \cdot \Delta k_2}{\Delta} + \dots + \frac{\dot{E}_{mm} \cdot \Delta k_m}{\Delta} + \dots + \frac{\dot{E}_{nn} \cdot \Delta k_n}{\Delta} \quad (4.7.2)$$

бу ерда: Δ -системанинг бош аниқловчиси бўлиб, қўйидагича аниқланади:

$$\Delta = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & \dots & Z_{2n} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & \dots & Z_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & Z_{n3} & \dots & Z_{nn} \end{vmatrix} \quad (4.7.3)$$

$\Delta k_1, \Delta k_2, \dots, \Delta k_m, \Delta k_n$ лар Δ аниқловчидан унинг k қаторини ва m устунни ўчириш орқали ҳосил қилинган алгебраик тўлдирувчилардир (янги олинган аниқловчини $-1^{(k+m)}$ га қўпайтириш билан).

Боғлиқ бўлмаган энергия манбалари чизикли занжирлари учун $\Delta km = \Delta mk$ эканлиги таъкидлаб ўтамыз. Ҳақиқатда ҳам Δkm Δ дан k сатрни ва m устунни ўчириш орқали, Δmk эса Δ дан m –сатрни ва k устунни ўчириш орқали ҳосил қилинади.



2-рasm.

Мисол тариқасида 2–рasmда елтирилган занжирни кўриб чиқайлик. I_1 ва I_2 токларнинг мусбат йўналишларини стрелка буйлаб йўналтирамиз. У ҳолда I_1 ва I_2 контур токлари биринчи ва иккинчи шахобчалардаги жорий (амалдаги) токларга тенг бўлади. Учинчи шахобчадаги жорий (амалдаги) ток

I_1 ва I_2 контур токлари йиғиндисига тенгдир. Контур токлари усулига асосан қўйидаги тенгламаларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} Z_{11} \cdot \dot{I}_1 + Z_{12} \cdot \dot{I}_2 &= E_{11} \\ Z_{11} \cdot \dot{I}_1 + Z_{22} \cdot \dot{I}_2 &= E_{22} \end{aligned} \quad (4.7.4)$$

Контурнинг хусусий қаршиликлари:

$$Z_{11} = Z_1 + Z_3 \text{ ва } Z_{22} = Z_2 + Z_3 \quad (4.7.5)$$

ва занжирнинг умумий қаршилиги эса $Z_{12} = Z_{21} = Z_3$ ва шунингдек

$\dot{E}_{11} = \dot{E}_1$; $\dot{E}_{22} = \dot{E}_2$ унда система аниқловчиси

$$\Delta \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix} = Z_{11} \cdot Z_{22} - Z_{12}^2 = (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_3) - Z_3^2 = Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1 = D$$

у ҳолда алгебраик тўлдирувчилар

$$\Delta_{11} = Z_{22} = Z_2 + Z_3; \quad \Delta_{22} = Z_{11} = Z_1 + Z_3; \quad \Delta_{12} = \Delta_{21} = -Z_{12} = -Z_3$$

Энди қўйидагига эга бўламиз:

$$\dot{I}_1 = \dot{E}_1(Z_1 + Z_3)/D - \dot{E}_2 \cdot Z_3/D, \quad \dot{I}_2 = \dot{E}_1 Z_3/D + \dot{E}_2 \cdot (Z_1 + Z_3)/D$$

Ток I_3 нинг қиймати I_1 ва I_2 токларни алгебраик қўшиш орқали ҳосил қилинади.

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{E}_1 \cdot Z_2/D + \dot{E}_2 \cdot Z_1/D$$

2. Тугуний потенциаллар усули.

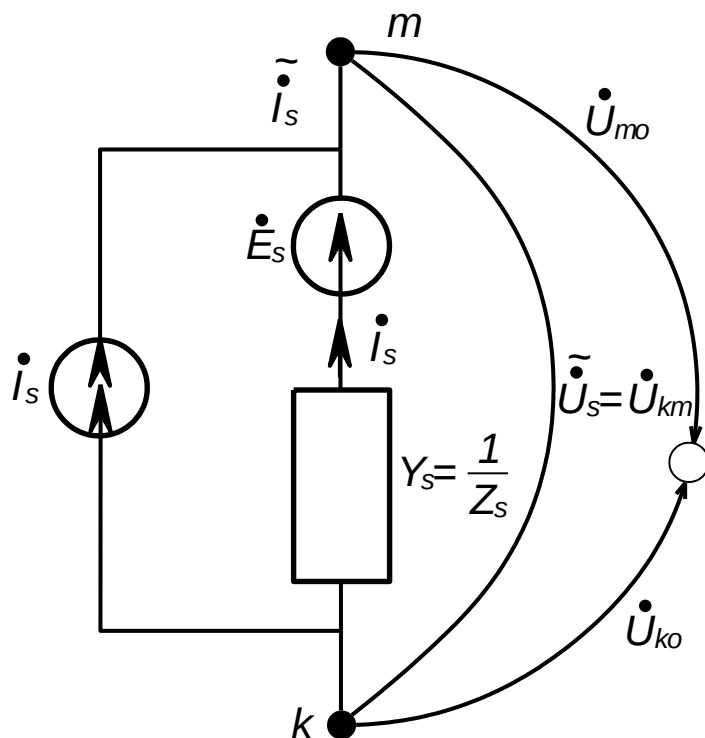
Тугунлар сони боғлиқ бўлмаган контурлар сонидан кичик бўлган ҳолларда тугуний кучланишлар усулидан фойдаланамиз.

Таъриф: Тугуний кучланишлар деб, $q-1$ дона тугуннинг ҳар бири ва битта белгиланган (0 индексли) таянч, аммо ихтиёрий равишда танлаб олинган тугун ўртасидаги кучланишларга айтилади.

Бунда $\dot{U}_{k0}$ тугуний кучланиш k -тугундаги ($k=1,2,3,\dots,q-1$) таянч тугунга қараб мусбат йўналишга эга. $q-1$ дона изланаётган тугуний кучланишларни аниқлаб тугунларнинг исталган жуфтлиги ўртасидаги кучланишларни ва занжир шахобчаларидаги тоқларни топиш мумкин. Кирхгофнинг биринчи қонунига асосан $q-1$ дона боғлиқ бўлмаган тенгламаларни ёзиш мумкин бўлгани сабабли, шахобчалардаги барча тоқларни $q-1$ дона изланаётган миқдорга нисбатан ёзилган тенгламалар системасини олишимиз учун изланаётган тугуний кучланишлар орқали ёзамиз.

Кўриб чиқиладиган усулда тугуний кучланишни k -тугундан таянч ёки бази тугунига қараб йўналтиришни шартлашиб оламиз. Бунда k тугун ва таянч бази тугуни орасидаги кучланишни U_{k0} деб белгилаймиз. Ушбу боғланишни тасвирланиши 3-расмда келтирилган. Бинобарин, қайсидир бир умумлаштирилган S шахобчанинг k ва m тугунларга бирлаштирилган шахобчанинг кучланиши қўйидаги ифодага тенг бўлади.

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_{km} = \dot{U}_{k0} - \dot{U}_{m0} = a_{Sk} \cdot \dot{U}_{k0} + a_{Sm} \cdot \dot{U}_{m0} \quad (4.7.6)$$



3-расм.

Таъкидлаш зарурки, тугуний кучланишларнинг номерлари схема графиги тугунлари номерлари билан ос тушади ва ушбу кучланишлар

S шахобчанинг кучланишини аниқлаш ифодасига албатта қарама–қарши бўлган ишоралар билан ёзилади. Фараз қилайлик $A_s k=1$ бўлсин, (S –шаҳобчанинг кучланиши k –тугундан четга йўналаётган бўлса ва $A_s m=-1$ бўлсин, агарда (S –шаҳобчанинг кучланиши m тугунга қараб йўналган бўлса).

3. Устма –уст қўйиш усули.

Контур токлари усулига асосан i_k токни аниқлашда ҳар қайсиси ҳамма манбалар Э.Ю.К. лари йиғиндисидан иборат бўлган $E_{11}, E_{22}, \dots, E_{nn}$ катталиклар қатнашади. Шунга ўхшаш ҳолда, тугуний кучланишлар усулини кўриб чиқишда тугуний кучланиш U_{k0} ифодасидаги i_1, i_2, i_{q-1} катталикларнинг ҳар қайсиси ҳам тегишли тугунларга уланган барча ток манбалари токларнинг йиғиндисини англатади. i_k ва U_k катталиклар ифодаларидаги алоҳида манбаларнинг Э.Ю.К. лари ёки токларни ўз ичига олган барча ҳадларни i_k ва U_k учун қўшилаётган ҳадлардан иборат ифодаларни ҳосил қиламиз. Улар ҳадларининг ҳарбирида кўпайтувчи сифатида у ёки бу манбанинг Э.Ю.К. и ёки токи иштирок этади.

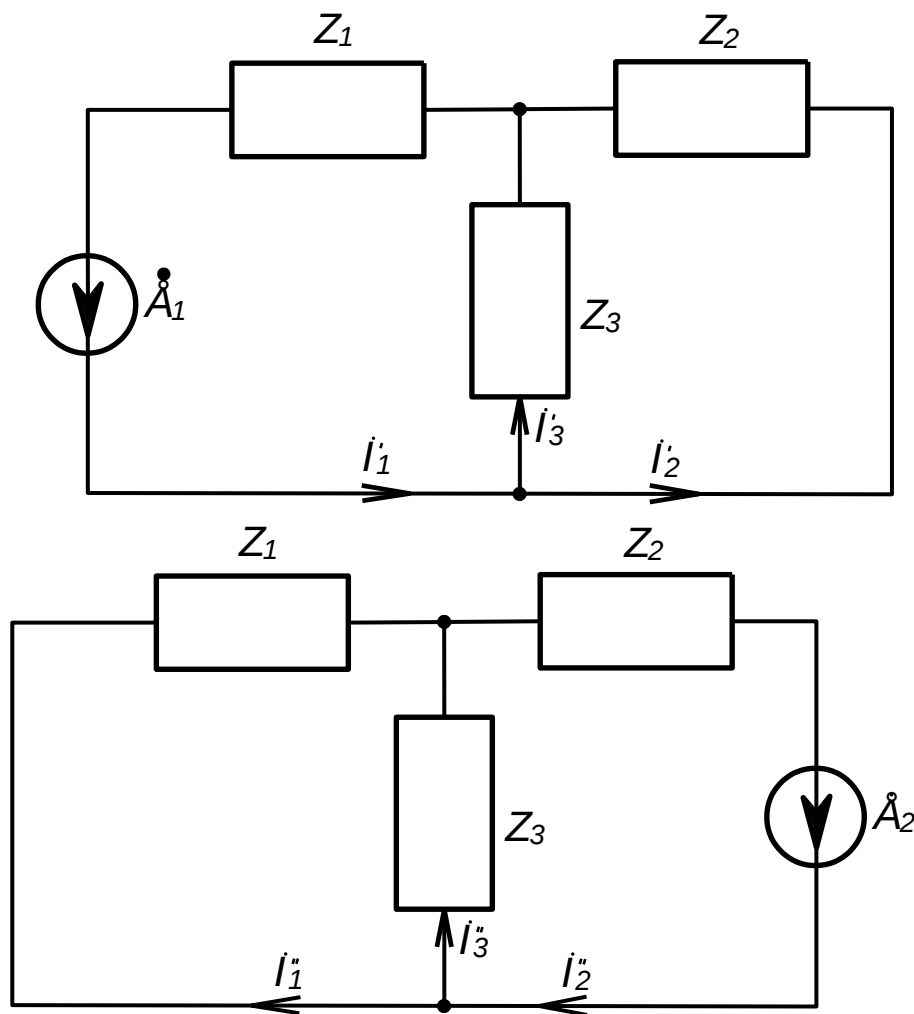
Шу сабабли исталган контурдаги контур токи ушбу контурда алоҳида манбаларнинг ҳарбири ҳосил қилинган тоklar йиғиндисини исталган тугун ва таянч бази тугуни ўртасидаги тугуний кучланишлар ҳам ушбу тугун ва таянч бази тугуни ўртасидаги алоҳида ток ёки Э.Ю.К. манбалари ҳосил қилинган тугуний кучланишлар йиғиндисига мос ҳолда тенгдир.

Айтиб ўтилган ҳолат, шунингдек устма–уст қўйиш принципига ҳам тегишлидир.

Кўрсатилган принцип нафақат исталган контур токлари учун, балки исталган шахобча токлари учун ҳам ўринлидир. Ушбунинг тасдиғи шахобчалардаги ҳақиқий тоklarга нисбатан Кирхгоф қонунларига асосан ёзилган тенгламалар системасининг чизиқли система эканлигидан ҳам келиб чиқади. Устма–уст қўйиш принципи квадратик формулалар масалан, қувватларни ифодалаш формулалари учун ўринли бўлмайди.

Ушбу усул ўта мураккаб масалани унга нисбатан анча оддий бўлган масалаларга ажратиш имкониятини беради. Берилган ҳолдабарча бошқа Э.Ю.К. манбалари шахобчаларида уларнинг ички қаршиликлари сақланган ҳолда қисқа туташиб ёпиқ уланади, аммо баъзи шахобчаларда уларнинг ички ўтказувчанликлари сақланиб қолади.

Мазкур усулни ушбу маърузадаги 2–расмда келтирилган схема мисолида кўриб чиқамиз. Усулнинг қоидалари асосида 2 та нисбатан соддарок схемаларни ҳосил қиламиз 4-расм.



4 –расм

4–расмдаги схемалардан токларни топамиз.

$$\dot{I}_1' = \dot{E}_1 / (Z_1 + Z_2 \cdot Z_3 / Z_2 + Z_3) = \dot{E}_1 (Z_2 + Z_3) / (Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1) = \dot{E}_1 (Z_2 + Z_3) / D,$$

$$\dot{I}_2' = \dot{I}_1' \cdot Z_3 / (Z_2 + Z_3) = \dot{E}_1 \cdot Z_3 / D; \quad \dot{I}_3' = \dot{I}_1' \cdot Z_2 / (Z_2 + Z_3) = \dot{E}_1 \cdot Z_2 / D,$$

$$\dot{I}_2'' = \dot{E}_2 (Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 / (Z_1 + Z_3)) / D = \dot{E}_2 (Z_1 + Z_3) / D; \quad \dot{I}_1'' = \dot{I}_2'' \cdot Z_3 / (Z_1 + Z_3) = \dot{E}_2 \cdot Z_3 / D;$$

$$\dot{I}_3'' = \dot{I}_2'' \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_3) = \dot{E}_2 \cdot Z_2 / D$$

Энди шахобчалардаги ҳар иккала Э.Ю.К. таъсирида 4–расмдаги стрелкалар йўналишини ҳисобга олган ҳолда жорий (амалдаги) токларни топамиз:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_1' \cdot \dot{I}_1'' = \frac{(\dot{E}_1 (Z_2 + Z_3) \dot{E}_2 \cdot Z_3)}{D},$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_2'' \cdot \dot{I}_2' = \frac{(\dot{E}_2 (Z_1 + Z_3) \dot{E}_1 \cdot Z_3)}{D},$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_3' \cdot \dot{I}_3'' = \frac{(\dot{E}_1 \cdot Z_2 + \dot{E}_2 \cdot Z_1)}{D},$$

Назорат саволлари.

1. Актив икки қутблилик деб нимага айтилади?
2. Контур токлари усули моҳиятини тушунтиринг.
3. Системанинг бош аниқловчиси қандай топилади?
4. Контурнинг хусусий қаршилиги нимадан иборат бўлади?
5. Қўшни контурларга тегишли умумий қаршилик қандай аниқланади?
6. Тугун кучланишлари усулидан қачон фойдаланилади?
7. Тугун кучланишлари усулининг моҳиятини тушунтиринг.
8. Устма–уст қўйиш усулига мисол келтиринг.
9. Қайси ҳолатлар учун устма–уст қўйиш усулини қўллаб бўлмайди?
10. Устма–уст қўйиш усулида мавжуд Э.Ю.К. манбасини қисқа туташтирилганда шахобчаларда нима сақланади?

Мавзу 4.8. Ўзаро индуктив бўлган занжирларни ҳисоблаш.

Режа:

1. Умумий тушунча (индуктив боғлиқлик даражаси тушунчаси).
2. Ўзаро индуктив бўлган занжирларни ҳисоблаш.

1. Умумий тушунча (индуктив боғлиқлик даражаси тушунчаси).

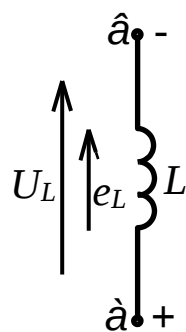
Олдинги маърузаларда кўриб чиқилган баъзи тушунчаларни такрорлайлик. Мисол тариқасида 1–расмда келтирилган схемани (аниқроғи, схеманинг фрагментини–шаҳобча в-сини) кўрамиз. Бу чўлғам схемасидир. Чўлғам учун эса қўйидаги ифодага эга бўламиз:

$$U_L = + \frac{L \cdot di}{dt} \quad (4.8.1)$$

Бунда $L > 0$, чунки

$$L = \frac{\Psi_L}{i} \quad (4.8.2)$$

ўзиндукция оқими Ψ_L ва чўлғамдаги ток i доимо бир хил ишорали ток йўналиши ва ўзиндукция оқими чизиқлари ўзаро унғ винт коидаси орқали боғлиқдир. Бунда агарда ток ҳақиқатда а зажимдан в зажимга қараб йўналган бўлса $i_{ab} > 0$.



1–расм

Ушбу ҳолатда ток ортаётган бўлсин, ёки $di/dt > 0$, у ҳолда кучланиш ҳам $U_L = U_{ab} > 0$ (1–расмдаги «+» ва «-» ишоралар).

Демак, чўлғам учун ҳам $U_L = L \cdot di/dt$ боғлиқликни танлаш орқали, шартли равишда i токнинг ва U_L кучланишнинг мусбат йўналишлари, ёки улар стрелкаларининг бир хил томонга йўналганлигини танлаб оламиз.

Электромагнит майдон назарияси асосида, исталган ток ўтказгичи ундан оқиб ўтаётган ток ҳосил қилган магнит майдони билан ўралган бўлади ва мос ҳолда токнинг вақт бўйича ўзгариши ва ушбу ток ҳосил қилган магнит оқимининг ўзгариши ўзиндукция Э.Ю.К. нинг ҳосил бўлишига олиб келади.

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (4.8.3)$$

Ўтказгич атрофида ҳосил бўлган магнит майдонида бошқа ўтказгични жойлаштириш орқали ушбу бошқа ўтказгичнинг қисмларида ўзаро индукция Э.Ю.К. ни ҳосил қилади, бошқача айтганда Э.Ю.К. ни индукциялайди.

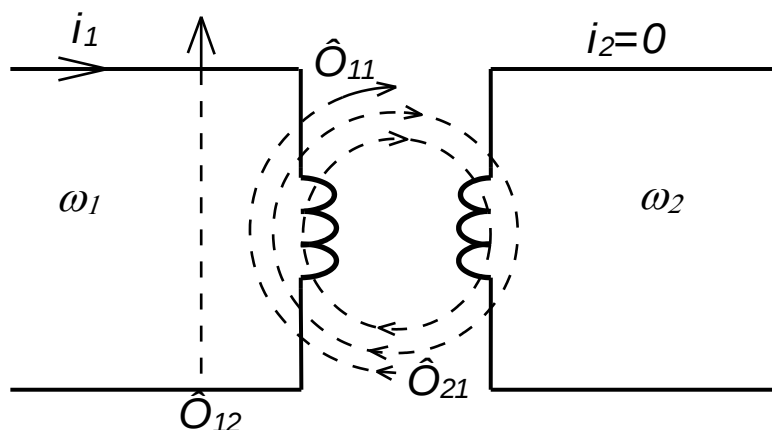
$$e_m = -M \cdot di/dt \quad (4.8.4)$$

Биринчи ўтказгичдаги ток ўзгаришлари di/dt ва иккинчи ўтказгичда индукцияланган Э.Ю.К. (4.8.3) орасидаги пропорционаллик коэффицентини ўзаро индуктив коэффицентини деб аталади. Ушбу ўтказгичлар ҳосил қилинган занжирларни эса индуктив боғлиқ занжирлар деб аталади.

2. Ўзаро индуктив бўлган занжирларни ҳисоблаш.

Ўзаро индуктивликка эга бўлган занжирларни ҳисоблашни кўриб чиқиш учун мисол тариқасида ω_1 ва ω_2 ўзаро индуктив боғлиқ бўлган контурларни оламиз. Уларда i_1 ва i_2 тоқлар мос ҳолатдаги магнит оқимлари Φ_{11} ва Φ_{22} ларни ҳосил қилади. Схема 1–расмда тасвирланган. Кўриб чиқиладиган ҳар иккала контур ҳам i_1 ток ҳосил қилган магнит оқими линиялари билан туташган бўлсин ва фараз

қилайликки, $i_2=0$ бўлсин. У ҳолда магнит оқими туташувига эга бўламиз ва ўзаро индукция коэффиценти қўйидаги ифодага тенг бўлади.



$$\Psi_{11} = W_1 \cdot \Phi_{11} \quad \text{ва} \quad L_1 = \frac{\Psi_{11}}{i_1} \quad (4.8.5)$$

Занжирлараро индуктив боғлиқлик шартига кўра умумий Φ_{11} оқимининг Φ_{21} қисми иккинчи контурда оқим туташувининг ўзаро индукциясини қўйидаги ифодага асосан $\Psi_{21} = \omega_2 \cdot \Phi_{21}$ бунда $\Phi_{21} < \Phi_{11}$ ҳосил қилади. Микдор жихатидан бу ўзаро индукция коэффиценти билан қўйидаги формулага кўра аниқланади:

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}}{i_1} \quad (4.8.7)$$

Φ_{12} ва Φ_{21} магнит оқимлари бир хил магнит қаршиликли R_m ва бир хил масофали мўҳит орқали ўзаро туташади ва демак:

$$\Phi_{12} = \frac{i_2 \omega_2}{R_\mu} \quad \text{ва} \quad \Phi_{21} = \frac{i_1 \omega_1}{R_\mu} \quad (4.8.8)$$

бу ерда $M_{12} = \omega_1 \cdot \Phi_{12} / i_2 = \frac{\omega_1 \omega_2}{R_\mu}$ ва

$$M_{21} = \frac{\omega_2 \cdot \Phi_{21}}{i_1} = \frac{\omega_1 \cdot \omega_2}{R_\mu} \quad (4.8.9)$$

бошқача айтганда, ўзаро индуктивликлар $M = M_{12} = M_{21}$ исталган индуктив боғлиқ бўлган контурлар учун бир хил бўлади.

Назорат саволлари:

1. Ғалтакда қандай магнит ҳодисаларни содир этилади?
2. Ғалтакдаги токнинг йўналиши ва ўзиндукция оқими чизиқларнинг йўналиши қандай қонун орқали боғланган?
3. Ўзиндукция Э.Ю.К. ни нима ҳосил қилади?
4. Ўзаро индукция Э.Ю.К. формуласини ёзинг.
5. Ўзаро индукция коэффиценти деб нимага айтилади?

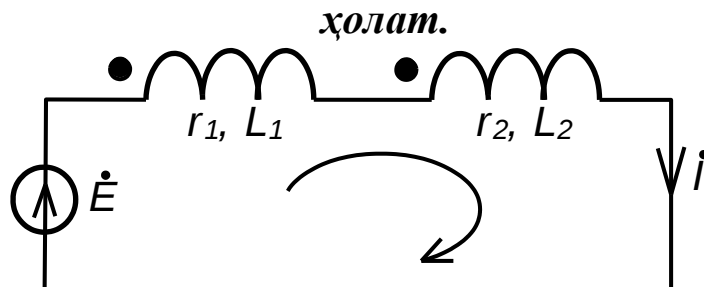
6. Ўзаро индуктивли контурларда содир бўладиган жараёнларни тасвирланг ва моҳиятини тушунтиринг.
7. Ўзаро магнит оқимлари қайси мўҳит орқали беркилади?
8. Ҳарқандай индуктивли боғлиқ контурларда ўзаро индуктивлик нимага тенг бўлади?
9. $i_2 = 0$ ҳолатда умумий оқим чизиқларини тасвирланг.
10. $i_1 = 0$ ҳолатда умумий оқим чизиқларини тасвирланг.
11. Ўзаро индуктивликка эга бўлган контурларни чизиб кўрсатинг ва улардаги жараёнларни тушунтириб беринг.

Мавзу 4.9. Иккита чўлғамни кетма–кет уланиши.

Режа:

1. Иккита чўлғамни ўзаро уланиш ҳолатлари. Биринчи чўлғамнинг охирги учи иккинчи чўлғамнинг бошланғич учи билан уланган ҳолат.
2. Биринчи чўлғамнинг бошланғич учи иккинчи чўлғамнинг бошланғич учи билан уланган ҳолат.

1. Иккита чўлғамни ўзаро уланиш ҳолатлари. Биринчи чўлғамнинг охирги учи иккинчи чўлғамнинг бошланғич учи билан уланган ҳолат.



1–расм.

1–расмда келтирилган занжирни ҳисоблаш мисолини кўриб чиқайлик. Бу ерда L_1 ва L_2 лар индуктив боғлиқ. Ўзаро индукция коэффиценти қўйидагича $M_{12}=M_{21}=M$ берилган. Кирхгофнинг 2–қонунига асосан, 1–расмда айланиб чиқиш йўналиши кўрсатилган контур учун тенглама тузиш мумкин. Фараз қилайлик, айланиб чиқиш йўналиши ва токнинг мусбат йўналиши бир хил бўлсин. Кўриб чиқиладиган контурда бешта Э.Ю.К. таъсир қилади. Улар:

1)ташқи манбанинг $\dot{E}$ Э.Ю.К. и; 2) ва 3) лар; ўзиндукция Э.Ю.К. лари, мос ҳолларда; $\dot{E}_{1L} = -j\omega L_1 \dot{I}$ ва $\dot{E}_{2L} = -j\omega L_2 \dot{I}$ 4 ва 5 лар ўзаро индукция Э.Ю.К. лари мос ҳолларда

$$\dot{E}_{1M} = -j\omega M_1 \dot{I} \text{ ва } \dot{E}_{2M} = -j\omega M_2 \dot{I}$$

Бунда ўзиндукция Э.Ю.К.лари E_{1L} ва E_{2L} ларнинг мусбат йўналишлари занжирда токнинг мусбат йўналиши билан мос тушади. Ҳар иккала чўлғамлардаги токларнинг мусбат йўналишлари нуқталардан чўлғамга қараб олинган ва ҳар иккала чўлғам учун ўзаро индукция Э.Ю.К. лари E_{1M} ва E_{2M} ларнинг мусбат йўналишлари ҳам нуқталардан чўлғамга қараб йўналган бўлади. Демак, барча Э.Ю.К. лар тенгламага бир хил ишорага эга бўлган ҳолларда кирадилар.

$$\dot{E} + \dot{E}_{1L} + \dot{E}_{1M} + \dot{E}_{2L} + \dot{E}_{2M} = \dot{I}(r_1 + r_2) \quad (4.9.1)$$

$\dot{U}_L = -\dot{E}_L$ ва $\dot{U}_M = -\dot{E}_M$ эканлигини ҳисобга олиб

$$\dot{E} = \dot{U}_{1L} + \dot{U}_{1M} + \dot{U}_{2L} + \dot{U}_{2M} + \dot{I} \cdot (r_1 + r_2) \quad (4.9.2)$$

га эга бўламиз, кучланишлар пасайишини ҳисоблашда қўйидагига эга бўламиз:

$$\dot{E} = j\omega L_1 \dot{I} + j\omega M \dot{I} + j\omega L_2 \dot{I} + j\omega M \dot{I} + \dot{I} \cdot (r_1 + r_2) \quad (4.9.3)$$

(4.9.3) нинг баъзи ҳадларини гуруҳлаб ҳосил қиламиз.

$$\dot{E} = \dot{I} \cdot (r_1 + r_2) + j\omega(L_1 + L_2 + 2M) = \dot{I}(r_3 + j\omega L_3) = \dot{I}Z_3 \quad (4.9.4)$$

(4.9.4) даги $L_3 = L_1 + L_2 + 2M$ катталиқ бутун занжирнинг эквивалент индуктивлиги деб аталади. Ушбу индуктивлик доимо мусбатдир ($\omega_M > 0$), чунки магнит майдонининг энергияси доимо мусбатдир.

L_3 ўзаро индуктивликнинг ишорасига боғлиқдир. $M > 0$ (ёки $M = |M|$) бўлган ҳолда мослашган қўшилишга эга бўламиз, $M < 0$ (ёки $M = -|M|$) бўлганида эса қарама-қарши қўшилишга (уланишга) эга бўламиз. Биринчи ҳолда ўзиндукция магнит оқимлари ва ўзаро индукция оқимлари йўналиши бўйича мос тушадилар. Бу эса бутун занжир эквивалент индуктивлигининг кўпайтмасига олиб келади.

$$L_3^I = L_1 + L_2 + 2|M|$$

Иккинчи ҳолатда ўзиндукция ва ўзаро индукция магнит оқимлари бир-бирига қараб ёки ўзаро қарама-қарши йўналганлиги сабабли бутун занжирнинг эквивалент индуктивлиги камайишига олиб келади.

$$L_3^{II} = L_1 + L_2 - 2|M|$$

Муҳандислик ҳисобларида ўлчаш орқали эквивалент индуктивлар L^I , ва L^{II} ни аниқлаб чўлғамларини мослашган ва қарама-қарши улашлар орқали уларнинг ўзаро индуктивлигининг абсолют қийматларини қўйидаги ифодада ҳисоблаш мумкин:

$$L_{\Sigma}^I - L_{\Sigma}^{II} = 4|M| \quad \text{ёки} \quad |M| = \frac{(L_{\Sigma}^I - L_{\Sigma}^{II})}{4} \quad (4.9.5)$$

Амалиётда мослашган уланишдан қарама–қарши уланишга ўтишни чўлғамлардан бирининг учи, иккинчи чўлғамнинг бошқа учига қайта улаш орқали бажарилади. Бу ҳолда ўзаро индукция коэффицентининг ишораси мусбат бўлади. Агарда эквивалент индуктивликнинг қиймати ортса.

Назорат саволлари:

1. Индуктивли боғлиқ элементли контурни чизинг ва ташкил этувчи Э.Ю.К. ларни ёзинг.
2. Э.Ю.К. нинг ташкил этувчиларни ёзинг.
3. Ўзиндукция Э.Ю.К. қандай аниқланади?
4. Ўзаро индукция Э.Ю.К. қандай аниқланади?
5. Бутун занжир эквивалент индуктивликнинг миқдорини ёзинг.
6. Нима учун бутун занжир эквивалент индуктивлиги доим мусбат бўлади?
7. $M > 0$ да индуктивли боғланган контурда нима содир бўлади?
8. $M < 0$ да индуктивли боғланган контурда нима содир бўлади?
9. Мос уланишдан қарама–қарши уланишга қандай ўтилади?
10. Ўзаро индукция коэффиценти қачон мусбат бўлади?

Мавзу 4.10. Чизиқли режимли трансформаторлар.

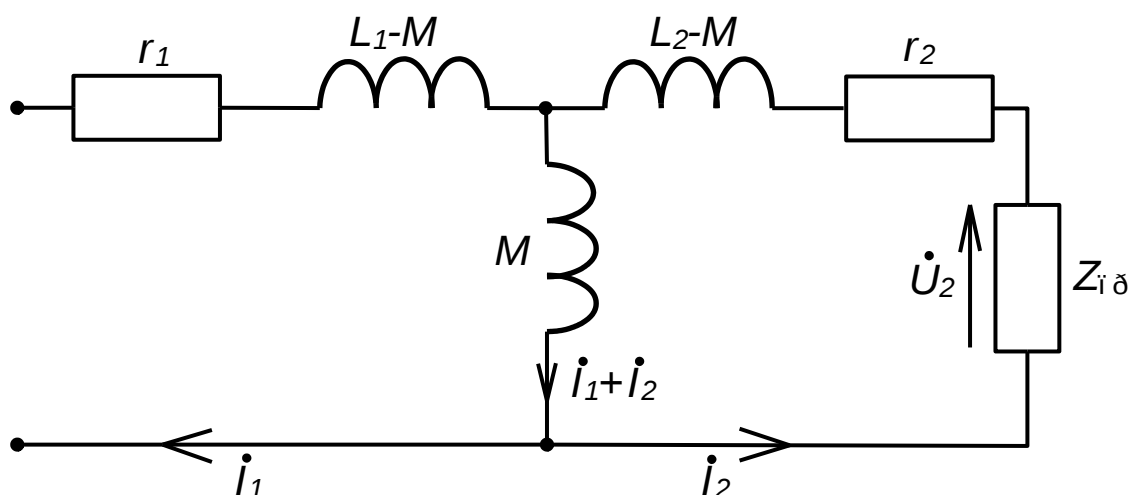
Режа:

1. Магнит боғланган контурлар ҳақида.
2. Чизиқли характеристикага эга трансформаторлар.
3. Идеал трансформаторлар.

1. Магнит боғланган контурлар ҳақида.

1-расмда қўйидаги тенгламалар системасини қаноатлантирувчи схема тасвирланган:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= r_1 \dot{I}_1 + j\omega(L_1 - M) \cdot \dot{I}_1 + j\omega M \cdot (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) \\ 0 &= r_1 \dot{I}_1 + j\omega(L_2 - M) \cdot \dot{I}_2 + j\omega \cdot (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) + Z_{np} \dot{I}_2 \end{aligned} \quad (4.10.1)$$



1 –расм

Берилган занжирдаги I_1 , I_2 тоқлар ва U_1 , U_2 кучланишлар трансформатордаги мос катталиқларга тенг бўлганлиги учун 1–расмда келтирилган схема трансформаторлар нинг эквивалент схемаси деб аталади.

Бунда агар M чўлғам L_2 ва L_1 чўлғамлар орасида ётса, у ҳолда ёки L_1-M , ёки L_2-M манфий қийматга эга бўлади. Ушбу ҳолат катта қизиқиш ҳосил қилади, чунки 1–расмдагидек уланган электр занжирларини синтёз қилиш билан боғлиқ баъзи масалаларни ечишда манфий индуктивликни унга боғланган ҳолда мусбат индуктивлик билан ўзаро қоплаш зарурияти пайдо бўлади.

Амалиётда контурнинг магнит боғлиқлик даражасини қўйидаги катталиқ:

$$k = \frac{|M|}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (4.10.2)$$

билан тасвирлаш қабул қилинган (4.10.2) ифода боғлиқлик коэффиценти номини олган. Ҳарбир реал ҳолатда ушбу коэффицентнинг қиймати бирдан кичик бўлади. Буни қўйидагича кўрсатиш мумкин. Иккиламчи чўлғамнинг актив қаршилиги нолга тенг ва ушбу контур қисқа туташган ҳолда ёпиқ бўлсин. У ҳолда $r_2=0$ ва $Z_{np}=0$ қўйидаги тенгликлар ўринлидир:

$$\begin{aligned} r_{11} &= 0 \quad x_{11} = \omega L_2; & \Delta x &= -\omega \cdot M^2 / L_2 \text{ ва} \\ x &= \omega L_1 - \omega \cdot M^2 / L_2 = \omega L_1 \cdot (1 - M^2 / L_1 \cdot L_2) = \omega L_1 (1 - k^2) = \omega L_\varnothing \end{aligned}$$

бу ерда $L_\varnothing$ қатталиқ мусбат бўлиши шарт, чунки магнит майдони энергияси

$$W_M = \frac{1}{2} \cdot i_1^2 \cdot L_\varnothing \quad (4.10.3)$$

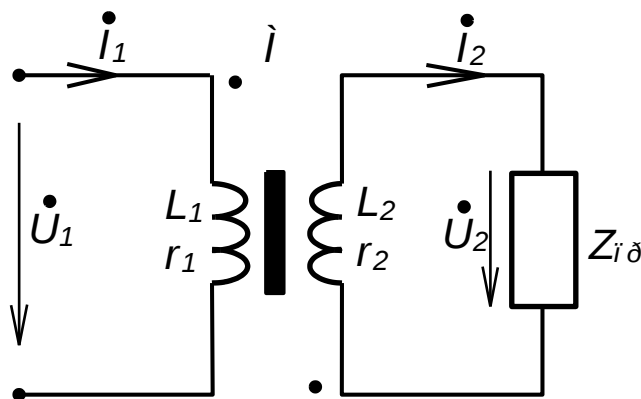
мусбат бўлади, демак фақатгина чекланган ҳолатда қачонки, бирламчи ва иккиламчи контурлар бир–бирига шунчалар яқин

жойлашгандагина бирламчи занжирдаги ўзаро индукция оқими ва ўзиндукция оқимлари бир–бирларини компенсациялаган ҳолдагина, K катталиқнинг қиймати 1 га тенг бўлади.

2. Чизиқли характеристикага эга трансформаторлар.

Маълумки, трансформаторларнинг чўлғамлари ферромагнит ўзакка ўралган бўлса, бу хилдаги трансформаторларнинг хусусиятлари чизиқсиз бўлади. Ферромагнит ўзаксиз трансформатор шартли равишда чизиқли трансформатор деб аталади. Чунки ундаги жараёнлар чизиқли тенгламалар ёрдамида ёритилиши мумкин. Бундай трансформаторлар чизиқли характеристикага эга.

Фараз қилайлик, трансформаторнинг бирорта чўлғами (масалан: 1–чўлғами) зажимларга e Э.Ю.К. уланган, унинг бошқа чўлғами зажимларига эса истеъмолчи уланган бўлсин (2–расмга қаранг). Бу ерда ўзаро индукция M коэффиценти катталиги ва ишораси жиҳатидан 2–расмда нуқталар кўринишида берилган деб ҳисоблаймиз.



2–расм.

Бирламчи чўлғамнинг актив қаршилигини r_1 деб, иккинчи чўлғамникини r_2 деб, мос ҳолда индуктивликларини L_1 ва L_2 деб белгилаймиз.

Кирхгофнинг 2 –қонунига асосан қўйидагига эгамиз:

$$U_1 = r_1 i_1 + \frac{L_1 \cdot di_1}{dt} + \frac{M \cdot di_2}{dt} \quad (4.10.4)$$

$$-M = \frac{di_1}{dt} = r_2 i_2 + \frac{L_2 \cdot di_2}{dt} + U_2 \quad (4.10.5)$$

Агарда U_1 синусоидал кучланиш бўлса, турғунлашган режим ҳолатида i_1 , i_2 ва U_2 катталиқлар ҳам вақтинча синусоидал функциялари бўладилар ва трансформатор тенгламаларини комплекс кўринишда қўйидагича ёзиш мумкин:

$$U_1 = r_1 I_1 + j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 \quad (4.10.6)$$

$$-j\omega M I_1 = r_2 I_2 + j\omega L_2 I_2 + U_2 \quad (4.10.7)$$

Агарда U_1 , трансформаторнинг параметрлари ва истеъмолчининг $Z_{np}=U_2/I_2$ қаршилиги (4.10.8) маълум бўлса, берилган системани еча туриб I_1 ва I_2 тоқларни, шунингдек U_2 кучланишни аниқлаш мумкин. Ва аксинча U_2 , I_2 ва трансформаторнинг берилган параметрига асосланиб U_1 ва I_1 катталиқларни аниқлаш мумкин.

Агарда $Z_{np} = r_{np} + jr_{np}$ маълум ва U_1 берилган бўлса, ток I_1 ни топамиз.

$$\omega L_1 = X_1; \quad r_2 + r_{np} = r_{11}; \quad \omega L_2 + X_{np} = X_{11}$$

деб алмаштириб қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$U_1 = (r_1 + jX_1) \cdot I_1 + j\omega M I_2 \quad (4.10.9)$$

$$-j\omega M I_2 = (r_{11} + jX_{11}) I_2 \quad (4.10.10)$$

$$\text{бу ерда} \quad U_1 = (r + jX_1) I_1 + \omega^2 M^2 / (r_{11} + jX_{11}) I_1 \quad (4.10.11)$$

ва якуний натижада қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$I_1 = U_1 / [(r + \omega^2 M^2 / (r^2 + x^2) * r_{11}) + j(x_1 - \omega^2 x^2 / (r^2 + x^2) * x_{11})] = U_1 / z_{bk} \quad (4.10.12)$$

демак $Z_k = r + jx$ бутун занжирнинг комплекс кириш (эквивалент) қаршилигини англатади (занжир трансформатор ва истеъмолчидан иборат).

(4.10.12) ифодадан $Z_{np} \neq \infty$ бўлганда эквивалент актив қаршилиқ r нинг r қаршилиқдан катта эканлиги келиб чиқади. Эквивалент актив қаршилиқнинг бундай ортиши шунга боғлиқки иккиламчи контурдаги энергиянинг қайтмас ўзгаришлари биринчи энергия манбасига эга бўлмаган контурга ўзатилаётган энергия ҳисобига амалга ошириш билан боғлиқдир. Токнинг берилган қиймати учун энергия ўзгаришини талаб қилувчи актив қувват, актив қаршилиққа тўғри пропорционал боғлиқ бўлгани учун иккиламчи контурдаги энергиянинг исрофлари (ютилиши) бутун занжир эквивалент қаршилигининг ортишига олиб келади.

3. Идеал трансформаторлар.

Ушбу саволда трансформаторларнинг чекланган идеал ҳолатлардаги баъзи хусусиятларини кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик:

$$r_1 = r_2 = 0; \quad k = \frac{|M|}{\sqrt{L_1 L_2}} = 1 \quad (4.10.13)$$

бу ерда k боғлиқлик коэффиценти.

Трансформатор тенгламалари қўйидаги кўринишда ёзилади:

$$\dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2 \quad (4.10.14)$$

$$-j\omega M \dot{I}_1 = Z_{np} \dot{I}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 = \dot{U}_2 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \quad (4.10.15)$$

U_1 ва I_1 ларни U_2 ва I_2 орқали ёзамиз. У ҳолда қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$\dot{U}_1 = j\omega L \cdot \left(\frac{-\dot{U}_2}{j\omega M} - \frac{L_2}{M \cdot j_2} \right) + j\omega M \dot{I}_2 = -\frac{L_1}{M \cdot \dot{U}_2} + j\omega \left(\frac{M - L_1 L_2}{M} \right) \cdot \dot{I}_2 \quad (4.10.16)$$

$$\dot{I}_1 = -\frac{U_2}{j\omega M} - \frac{L_2}{M \cdot \dot{I}_2} \quad (4.10.17)$$

Хусусий ҳолда k -бўлганда $M - L_1 L_2 / M = 0$; ($M = L_1 L_2 / M$) га эга бўламиз ва у ҳолда $C = L_1 / M$ деб алмаштириб қўйидагини ёзамиз:

$$\dot{U}_1 = -C \dot{U}_2; \quad \dot{I}_1 = -\frac{C \dot{U}_2}{j\omega L_1} - \frac{1}{C \cdot \dot{I}_2} = \frac{\dot{U}_1}{j\omega L_1} - \frac{1}{C \cdot \dot{I}_2} \quad (4.10.18)$$

Таъриф: Исталган юкланишда $\frac{U_1}{U_2} = C$ шартни

қаноатлантирадиган трансформаторга мукамал трансформатор дейилади.

Агарда, юқорида баён этилган шартларга $L_1 = \infty$ (амалда L_1 нинг қиймати етарли даражада катта бўлиши керакки, $U_1 / (\omega L_1)$ токни $\frac{1}{c \cdot I_2}$

токка нисбатан жуда кичик бўлгани сабабли ташлаб юбориш имконига эга бўлиш учун) деб қабул қилинса, тоқлар ва кучланишлар орасида қўйидаги боғлиқликлар ўринли бўлар эди:

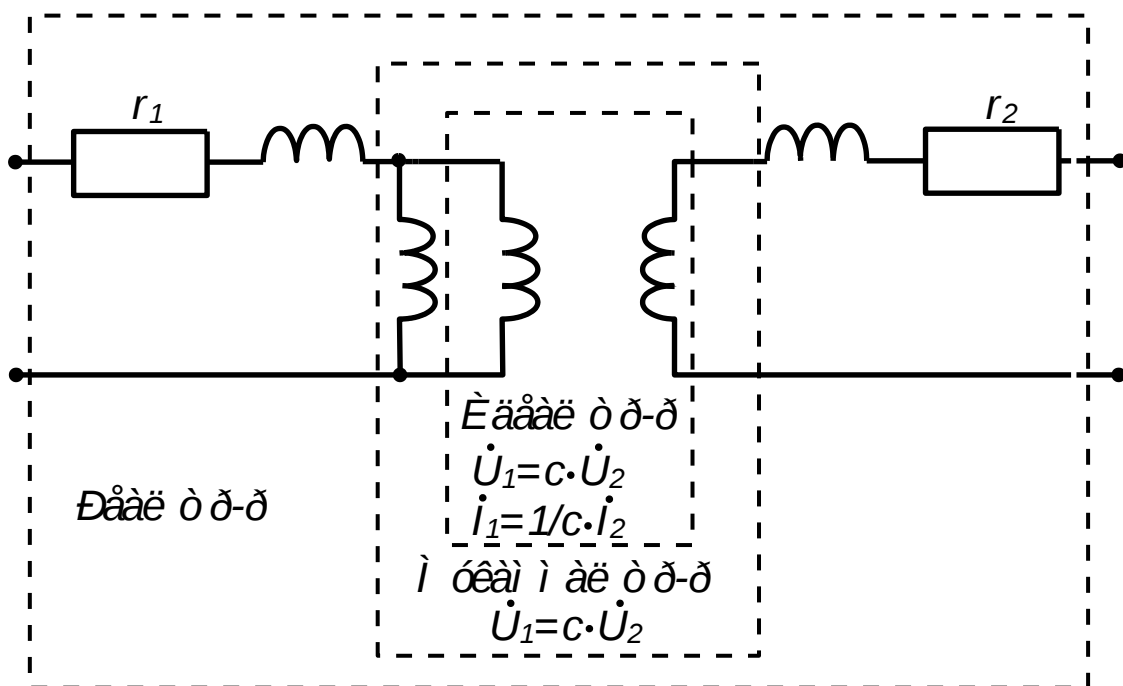
$$U_1 = -C U_2 \quad I_1 = -\frac{-1}{c \cdot I_2} \quad (4.10.19)$$

шартни қаноатлантирувчи трансформатор идеал трансформатор дейилади.

Идеал трансформаторлар ҳақиқатда ҳам тоқлар ва кучланишларни иккиламчи контурга уланган қаршиликнинг катта кичиклигидан қатъий назар ўзгартириб бериш хусусиятига эга бўлади (маълум марта катта ёки кичик). Бундай трансформатор учун қўйидагига эга бўламиз:

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = Z_K = -\frac{C \dot{U}_2}{\left(-\frac{1}{c \cdot \dot{I}_2} \right)} = C^2 Z_{np} \quad (4.10.20)$$

(4.10.20) дан кўриниб турибдики, идеал трансформаторлар ёрдамида қаршиликни ҳам муайян марта ўзгартириш имконияти мавжуддир. Охирги ҳолат, айниқса электр занжирлари алоҳида элементларини энг мақбул (рационал) конутрукциялаштиришда жуда муҳим аҳамиятга эгадир.



3 –расм

3–расмда идеал, мўкаммал ва реал трансформаторлар бирта келтирилган. 3–расмда реал трансформатор идеал трансформаторлар ва қўшимча индуктивликлар ва актив қаршиликлар ёрдамида (уларнинг чўлғамларидаги r_1 ва r_2 қаршиликларни ҳисобга олувчи) тасвирланган (бу ҳолда $k < 1$ шарт ҳисобга олинади).

Кўриб чиқиладиган ҳолатларда идеал ва мукаммал трансформаторларники каби хусусиятга ферромагнит ўзакли трансформаторлар эга бўладилар, уларнинг чўлғамлари ўрамлари сони етарли даражада катта ва ферромагнит материалнинг магнит ўтказувчанлиги катта бўлиши керак. Ўта ўтказувчан ўтказгичлардан фойдаланиш натижасида хусусиятлари идеал трансформаторникига яқин бўлган. Трансформаторларни ҳосил қилиш мумкин.

Назорат саволлари:

1. Контурларнинг магнит боғлиқларини нима тасвирлайди?
2. Трансформаторларнинг умумлаштирилган схемасини чизиб беринг.
3. Контурнинг магнитли боғлиқлик даражаси нима билан тавсифланади?
4. Қанақанги трансформаторларнинг хоссалари ночизиғий бўлади?
5. Қандай трансформаторлар ночизиғий тасвифли трансформаторлар деб аталади?
6. Мукаммал трансформатор деб нимага айтилади?
7. Идеал трансформаторларда қанақанги шартларга амал қилинади?

8. Трансформаторнинг умумлашган схемасини чизинг.
9. Қайси трансформаторларнинг хоссалари мукаммал ва идеал трансформаторларнинг хоссаларига яқин?
10. Ўта ўтказгичларни ишлатиш қандай имкон яратади?

V. РЕЗОНАНС ҲОДИСАЛАРИНИ ЎРГАНИШ

Мавзу 5.1. Резонанс ҳақида. Кучланишлар резонанси.

Режа:

1. Тебраниш тизими ва электр занжирларидаги резонанс ҳодисалари.
2. Унсурлар кетма–кет уланган занжирда резонанс.
3. Кучланишлар резонанси.

1. Тебраниш тизими ва электр занжирларидаги резонанс ҳодисалари.

Электротехникада занжирнинг алохида қисмдаги қаршилик ва ўтказувчанликлар ҳам мусбат ҳам манфий катталикларга эга бўлиши мумкин ва бу катталиклар бир–бирини ўзаро компенсациялаши мумкин. Оқибатда амалда шундай ҳолатлар мавжуд бўладики, қачонки, занжирда реактив унсурлар (индуктивлик ва сиғим) мавжуд бўлишига қарамасдан киришдаги тўлиқ занжирнинг реактив қаршилиги ёки реактив ўтказувчанлиги нолга тенг бўлади. Бу каби хусусий ҳолатда киришдаги ток ва кучланиш фаза бўйича устма–уст тушади. Ҳамда тўлиқ занжирнинг эквивалент қаршилиги актив бўлади. Мазкур ҳодисани резонансли деб аталади.

Занжирда индуктивлик ва сиғимли унсурлар мавжуд бўлган ҳолда (мас равишда магнит ва электр майдон энергияларини йиғувчилар) тебранувчи тизим ҳақида гапириш мумкин бўлади. Реактив унсурлардаги электромагнит майдон энергияси аста–секин иссиқлик энергиясига айланади.

Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ ушбу ҳодисани содир бўлиши муқаррардир.

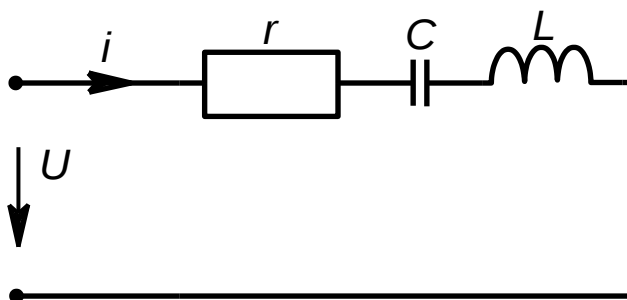
Занжирларда қисмлар кетма–кет ёки параллел уланган ҳолатда ҳам резонансли ҳодисалар келиб чиқиши мумкин. Кейинги баёнларда ҳар бир ҳолат учун алоҳида, батафсил тўхтаймиз.

Унсурлар кетма–кет уланган занжирда резонанс.

1–расмда r , L ва C қисмлари кетма–кет уланган схема тасвирланган.

Мазкур занжирнинг комплекс қаршилиги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$Z = r + j\omega L + 1/j\omega C = r + j(\omega L - 1/\omega C) = r + jk = z \cdot e^{j\varphi} \quad (5.1.1)$$



1 –расм

бунда: $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$; $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$; $\varphi = \arctg \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{r}$

қаралаётган контурда, агарда $\varphi = 0$ бўлса резонанс бўлади.

$$X = \omega L - 1/\omega C = 0 \quad (5.1.2)$$

$$\omega L = 1/\omega C \text{ ва } \omega^2 LC = 1 \quad (5.1.3)$$

Оқибатда, резонансга эришиш учун занжирга уланган кучланишнинг ёки частотаниёки ғалтакнинг индуктивлигини, ёки конденсаторларнинг сиғимини ўзгартириб эришилади.

Резонанс кузатилганида (пайдо бўлганида) бурчакли частотанинг индуктивлик ва сиғимнинг қийматлари қуйидаги ифодалардан топилади:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad L_0 = \frac{1}{\omega^2 C}; \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}; \quad (5.1.4)$$

Бунда бурчакли частота ω_0 резонансли частота деб аталади. Занжирнинг уланиш нуқтасидаги U кучланиш ўзгармас бўлганида ва резонанс ҳолатида занжирдаги ток ўзининг максимал қийматига эришади. Чунки Ом қонунига мувофиқ $I = U/r$, ва реактив қаршиликларнинг қийматларига боғлиқ эмас. 2–расмда резонанс ҳолатидаги векторли диаграмма тасвирланган. $X_L = X_C$ шартда ва реактив қаршиликлар қиймати бўйича r актив қаршиликдан катта бўлган ҳолатда шундай оний вақт пайдо бўладики, бу вақтда реактив

ғалтак ва конденсаторларнинг уланиш нуктасидаги кучланиш занжирнингнинг уланиш нуктасидаги кучланишдан ортиб кетади.

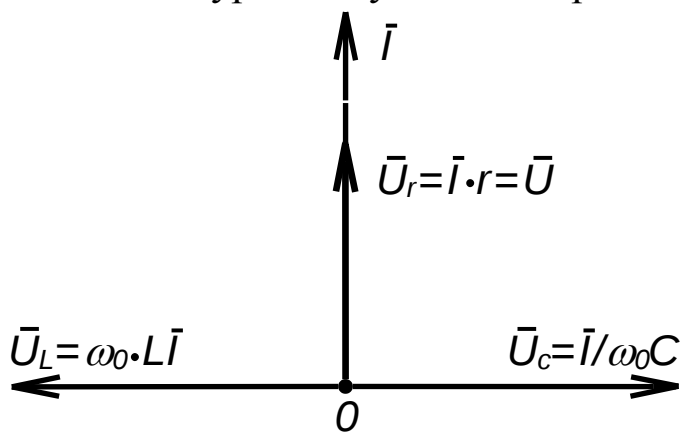
3. Кучланишлар резонанси.

R , L ва C лар кетма–кет уланган ҳолатдаги резонансни кучланишлар резонанси деб аталади.

Электр занжирида реактив унсурлардаги кучланишни таъминот уланиш нуктасидаги кучланишдан ортиб кетиши қуйидаги шарт қаноатлантирганида ўринли бўлади:

$$r > \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{L/C} = \rho \quad (5.1.5)$$

ρ орқали ифодаланган (5.1.5) даги катталиқ қаршилик ўлчов бирлиги билан улчанади, ҳамда контурнинг тулқинли қаршилиги деб аталади.



2-расм.

Қуйидаги муносабатни ёзамиз:

$$Q = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{I_0 \omega_0 L}{I_0 r} = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{\rho}{r} \quad (5.1.6)$$

Мазкур ифода (5.1.6) индуктивли ва сиғимли қаршиликларга уланиш нуктасидаги кучланишни тўлиқ занжирнинг таъминоти уланиш нуктасидаги кучланишдан ортиш қарралигини ифодалайди. Q га тескари бўлган ҳамда резонансли хоссаларни тавсифловчи қуйидаги катталиқ:

$$d = \frac{1}{Q} \quad (5.1.7)$$

контурнинг сўниши деб аталади.

Назорат саволлари:

1. Тебраниш тизимида қандай ҳодисалар содир бўлади?
2. r , L ва C элементли кетма–кет уланган занжирни тасвирланг.
3. Кетма–кет уланган занжирнинг комплекс қаршилиги нимага тенг?

4. Кетма–кет уланган занжирда резонансинг пайдо бўлиш шартини ёзинг.
5. Кучланишлар резонансидаги вектор диаграммасини тасвирланг.
6. Қачон реактив ғалтак ва конденсаторнинг уланиш нуқтасидаги кучланишнинг қийматини занжирнинг уланиш нуқтасидаги қийматидан ортиши вақти келади?
7. Контурнинг тўлқин қаршилиги деб нимага айтилади?
8. Кучланишлар резонансига таъриф беринг.
9. Контурнинг соғлиги ва сўниши деб нимага айтилади?

Мавзу 5.2. Частота тавсифлари.

Режа:

1. Умумий тушунчалар.
2. Резонанс эгри чизиқлар
3. Частота тавсирлигида резонанис содир бўлиш мезони.

1. Умумий тушунчалар.

Таъминот тармоғининг частотаси асосий кўрсаткичлардан ҳисобланди ҳамда кўпинча резонанис ҳодисалари билан боғлиқ бўлган асосий тавсифларни белгилайди маълумки ва бундай бизни саноат учун 50 Гц АҚШ ва Японияда ушбу кўрсаткич 60 Гц технологик жараёларда юқори ва ўта юқори частоталар ишлатилиши мумкин.

Резонанис ҳодисасининг тавсифий жихатларига ва уни частоталарли тавсифларга боғлиқ бўлган баъзи бир хусусий ҳолатларига тўхталамиз:

Таъриф: Частотали тавсифлар деганда частотанинг занжир параметрлари (u , x , t , g , v , y) га ҳамда параметрлари билан аниқланадиган $\varphi = \arctg x/r$, $\cos \varphi = r/z$ катталикларга боғлиқлиги тушунилади.

Резонанс ҳодисалар механикада ҳам содир бўлади. Шунга ўхшаш электротехникада тебраниш контури сифатида конденсатор ва

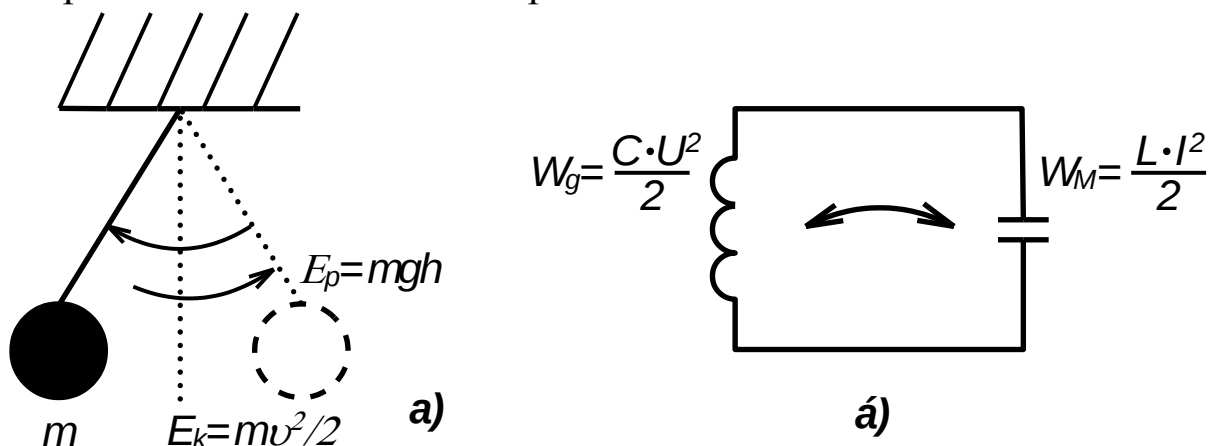
ғалтакдан иборат занжирдаги тебраниш жараёнлари ўрганилади. Масалан, математик маятникда тебранишлар частотаси маятникнинг узунлиги e га боғлиқ бўлади ва қуйидагича аниқланади:

$$\omega_0 = \sqrt{g/e} \quad (5.2.1)$$

Электротехникада эса частота, сиғим ва индуктивликка боғлиқ бўлади.

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (5.2.2)$$

Механикада ҳам, электротехникада ҳам тебранишлар даврийлиги ўхшашдир. Вақт ўтиши билан математик маятникда ҳавога ишқаланиш ва электромагнитли тебраниш контурида электр қаршилигида қизиш натижасида тебранишнинг сўниши содир бўлади. Расм-1 да кўрсатилган тебраниш тизимларининг тасвири берилган. Бунда а) тасвирда механикли ва б) тасвирда электромагнитли тизим тасвирланган.



1-расм.

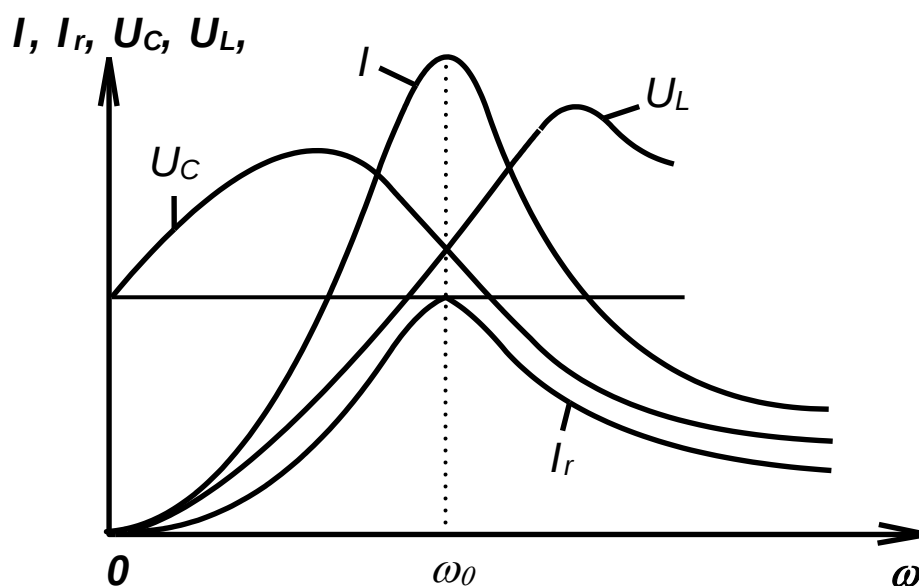
2. Резонанс эгри чизиклар

U_C , U_L ва I катталикларни частота ω га боғлиқлигини ифодаловчи эгри чизиклар резонансли эгри чизиклар деб аталади.. Бу эгри чизиклар частотали тавсифларнинг график ифодасини беради. Резонансли эгри чизикларга U_C , U_L ва I ларнинг ўзгарадиган индуктивлик ва ўзгаридиган сиғимига боғлиқлиги ҳам киради.

Хусусий, масалан, $U=const$, $\gamma=const$, $L=const$ ва $C=const$ ҳолатда $I(\omega)$ частотали тавсиф қуйидаги ифода билан аниқланади.

$$I(\omega) = u: \sqrt{r^2(\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (5.2.3)$$

ва расм –2 даги кўринишга эга бўлади.



2-расм.

Бунда яна $U_C(\omega) = I(\omega) \cdot 1/\omega C$ ва $U_L(\omega) = I(\omega) \cdot \omega L$ частотали тавсифлар ҳам тасвирланади.

Хусусан, $\omega = 0$ да $I = 0$ бўлади, чунки конденсатор ўзгармас токни ўтказмайди ва мос равишда уланган тўлиқ кучланиш конденсаторнинг уланиш нуқталарига тўғри келади ($U_C = U$).

Яна $\omega = \infty$ ҳолатда эса $I = 0$ ни оламиз, чунки ғалтакнинг қаршилиги чексиз ва мос равишда барча кучланиши ғалтакнинг уланиши нуқталарга тўғри келади ($U_L = U$).

3. Частота тавсирлигида резонанис содир бўлиш мезони.

Частотали тавсифларда резонанс пайдо бўлиш мезонларига U_L ва U_C ларнинг тенг бўлиши шартини келтириш мумкин, $U_L = U_C$ да $\omega = \omega_0$ ни белгилаймиз (2-расмга қаранг). Мазкур ҳолатда ғалтакдаги ва конденсатордаги кучланишлар бир-бирини компенсациялашгани учун барча кучланиш r қаршиликли қисмга тўғри келади.

Бу ифода қуйидагича аниқланади:

$$U_r = I \cdot r = U \quad (5.2.4)$$

Расм –2 да диаграмма сўниш бирдан кичик ($d < 1$) ҳол учун келтирилган. Шунинг учун $\omega = \omega_0$ да

$$U_C = U_L \quad (5.2.5)$$

U_C нинг максимум частотанинг ω_0 дан кичик қийматида келади (яъни I максимум қийматига эришгунча). Чунки U_C нинг қийматини топиш учун I токни кичраядаган $1/\omega C$ қийматга кўпайтириш зарур бўлади.

U_L нинг максимуми эса частотанинг ω_0 дан катта қийматида келади, яъни I максимал қийматидан сўнг. Чунки U_L нинг қийматини топиш учун I токни ўсадиган ω_L қийматига кўпайтириш зарур бўлади.

Назорат саволлари:

1. Жахонда таъминот тармогининг қандай частоталари ишлатилади?
2. Частотали тавсифлар деганда нималар тушунилади ?
3. Электр майдон энергияси ифодасини ёзинг.
4. Магнит майдон энергияси ифодасини ёзинг.
5. Қандай тўраниш тизимларини биласиз?
6. Резонансли эгри чизиклар қандай ҳосил қилинади ?
7. Частотали тавсифларда кучланиш резонансига қандай мезонлар тегишли бўлади ?
8. $\omega = \omega_0$ да нима содир бўлади?
9. Резонансли эгри чизикларда U_C нинг максимум қийматига қачон эришилади?
10. Резонансли эгри чизикларда U_L нинг максимум қийматига қачон эришилади?

Мавзу: 5.3. Токлар резонанси. Частотали тавсифлари.

Режа:

1. Токлар резонанси. Паралел уланган занжирлар.
2. Токлар резонансида частота тавсифлари.

1. Токлар резонанси. Паралел уланган занжирлар.

1. Қисмлари паралел уланган занжирни қараймиз. Бундай схема расм-1 да келтирилган. Актив, индуктив ва сиғим қаршиликларини паралел уланган ҳолатда ҳам резонанс содир бўлиши шарти сифатида ток I ва кучланиш U лар орасида фазалар силжиши бўлмаслиги қаралади.

Маълумки:

$$V = g - ib = y \cdot e^{-j\varphi} \quad (5.3.1)$$

Бундан:

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = \sqrt{1/r^2 + (1/\omega L - \omega C)^2} \quad (5.3.2)$$

ва
$$\varphi = \arctg (b_L - b_C)/g \quad (5.3.3)$$

Натижада $\varphi = 0$ шarti $b = b_L - b_C = 0$ эканини билдиради

Бундан:
$$1/\omega L - \omega C = 0 \quad \omega^2 * LC = 1 \quad (5.3.4)$$

Келтирилшган (5.3.4) ифодадан кўринадики, паралел уланишда резонансга частота, ёки индуктивликёки сиғимни ўзгартириб эришилади. Резонанс ҳолатида занжирнинг тўлиқ ўтказувчанлиги нолга тенг бўлади, ҳамда занжирнинг реактив ўтказувчанлиги ўзининг минимал қийматига эга бўлади.

Расм–2 да расм–1 даги занжир учун резонансдаги вектор диаграммаси тасвирланган.

ω_0 –резонансли частота бўлиб қуйидаги ифода билан аниқланади.

$$\omega_0 = 1/LC \quad (5.3.5)$$

Таъриф: паралел улангандаги резонанс тоқлар резонанси деб аталади. Қаралаётган занжирда (расм-1) реактив элементлардаги тоқларни занжирнинг йигиндиси тоқидан ортиши қуйидаги шарт бажарилганида ўринли бўлади:

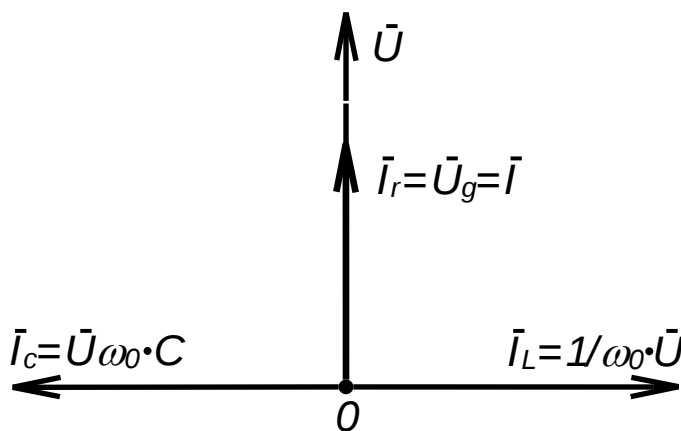
$$g < \omega_0 C = 1/\omega_0 L = \sqrt{C/L} = j \quad (5.3.6)$$

Бунда j –контурнинг тўлқинли ўтказувчанли деб аталади, ҳамда ўтказувчанликни катталиги эга бўлади.

Контурнинг аслиги қуйидаги тарзда аниқланади:

$$Q = \omega_0 C/g = j/g \quad (5.3.7)$$

Тескари катталиқ $d = 1/Q$ контурнинг сўниши деб аталади.



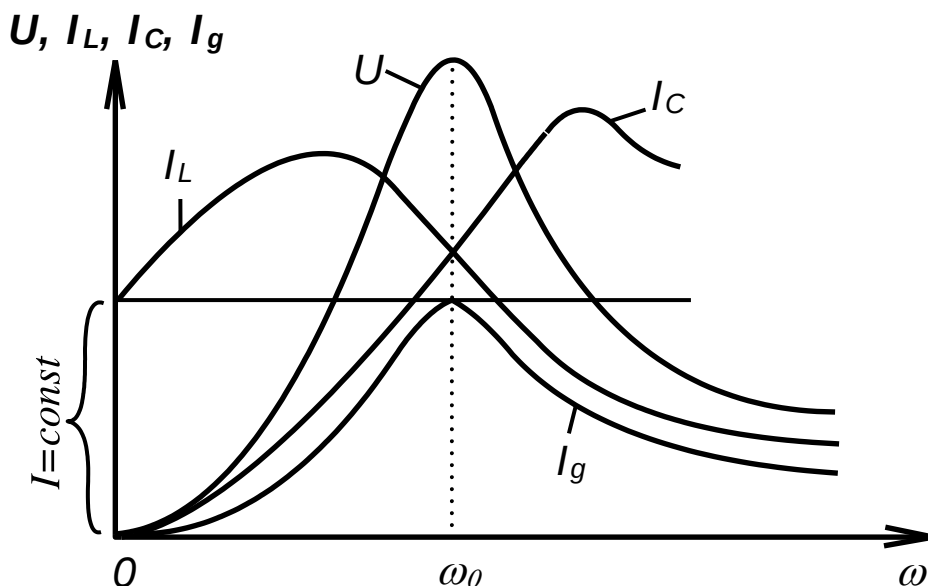
2-расм.

2. Тоқлар резонансида частота тавсифлари.

Кетма–кет r , L ва C лар уланган занжир каби параллел уланишда ҳам резонанс momentiда реактив ўтказувчанликнинг тавсифини ўзгариши содир бўлади. Мазкур ҳолатда $I=const$, $g=const$, $L=const$ ва $C=const$ даги $U(\omega)$ каби частотали тавсифда қуйидаги ифода билан аниқланади.

$$U(\omega) = I / \sqrt{g^2 + (1/\omega L - \omega C)^2} \quad (5.3.8)$$

$U(\omega)$ расм –3 даги эгри чизиқлар билан тасвирланган.



3-расм.

3-расмда яна частотали қуйидаги тавсифлар келтирилган.

$$I_L(\omega) = U(\omega)/\omega L \text{ ва } I_C(\omega) = U(\omega)$$

Хусусий ҳолда, қачонки $\omega=0$ га эга бўлса $U=0$ га эга бўламиз.

Чунки ўзгармас токда индуктив ғалтакдаги ток нольга тенг ва мос равишда барча ток ғалтак орқали ўтиши содир бўлади ва $\omega = \infty$ да $U=0$ бўлади, чунки мазкур ҳолатда конденсаторнинг қаршилиги нолгача пасаяди. Ҳамда мос равишда барча ток конденсатор орқали ўтиши содир бўлади.

Яна $\omega=\omega_0$ ҳолда шундай бир оний ҳолатга эришиладики, бунда $I_C=I_L$ бўлади ва ғалтак ҳамда сиғимдаги тоқлар ўзаро компенсацияланади. Шунда барча I ток g ўтказувчанликка эга бўлган қисмдан ўтади.

$$I_g = U * G = I \quad (5.3.9)$$

Расм-3 да $d>1$ даги диаграмма тасвирланган, бунинг оқибатида $I_L=I_C>I$ бўлади.

Қачонки r , L , C лар кетма-кет ёки параллел уланганида қуйидаги ўткази олиш оралиғи, контурнинг бузилиши, нисбий бузилиши ва умумлашган бузилиш каби тушунчалар киритилади.

Назорат саволлари:

1. g , L ва C элементли параллел уланган занжирни тасвирланг.
2. Резонанс ҳолатдаги вектор диаграммани чизинг.
3. Тоқлар резонансига таъриф беринг.
4. Параллел уланган занжирда резонанс ҳосил бўлиши ширтини ёзинг.
5. Тоқлар резонансидаги вектор диаграммасини тасвирланг.
6. Частотали тавсифларда қандай мезонлар тоқлар резонансига тегишли бўлади?
7. $\omega=0$ да нима содир бўлади?
8. $\omega=\infty$ да нима содир бўлади?
9. $\omega=\omega_0$ ҳолатда занжирдаги жараёнларни тушунтиринг.
10. r , L ва C лар параллел ва кетма-кет уланган занжирларни кўраётганда қандай тушунчалар киритилади?

Мавзу: 5.4. Мураккаб занжирларда резонанс.

Режа.

1. Элементлари кетма-кет ва параллел уланган резонансли занжирда энергиянинг ўзгариши.
2. Элементлари аралаш уланган занжирда резонанс ҳодисалари.
3. Электрон занжирларидаги резонансларнинг амалий аҳамияти.

1. Элементлари кетма-кет ва параллел уланган резонансли занжирда энергиянинг ўзгариши.

1. Кетма-кет уланган R, L, C элементларда ғалтак ва конденсаторнинг уланиш нуқталари даги оний қувватни аниқлашда қуйидаги кўринишдаги ифодадан фойдаланилади:

$$PL = UL \cdot \sin 2\omega t \quad (5.4.1)$$

$$PC = -UC \cdot I \cdot \sin 2\omega t \quad (5.4.2)$$

Резонанс ҳолатида ($UL=UC$) (5,4,1) ва (5,4,2) ифодадаги қувватлар исталган оний вақтда тенг ва ишораси қарама-қарши бўлади. Бунинг мазмуни шундан иборатки, ғалтакнинг магнит майдони конденсаторнинг электр майдон энергиялари ўзаро бир-бири билан алмашиб туради. Мазкур ҳолатда занжир майдони ва қаралаётган занжирнинг таъминоти ўртасида энергия алмашинуви содир бўлмайди, чунки:

$$P_L + P_c dW_m/dt + dW_{\text{э}}/dt \quad (5.4.3)$$

ва

$$W_m + W_{\text{э}} = \text{const} \quad (5.4.4)$$

Охирги (5.4.4) ифодадан кўриниб турибдики, занжирдаги майдонлар энергияларининг йигиндиси ўзгармасдир. Занжирда содир бўлаётган физик жараёнларни қискача баён қиламиз.

Энергия аста-секинлик билан сиғим (конденсатордан индуктивлик (ғалтакка) $\pi/2$ (ёки $T/4$) давр ичида ўтади. (Мазкур ҳолатда конденсаторда кучланиш абсолют қиймати бўйича камаяди ва ток абсолют қиймати бўйича ортади.

Конденсатордаги кучланишнинг абсолют қиймати ортадиган навбатдаги $\pi/2$ (ёки $T/4$) даврда токнинг абсолют қиймати камаяди ҳамда энергия ғалтакдан конденсаторга қайтади.

Мазкур ҳолатда уланган занжирни таъминловчи таъминот манбаи энергия фақатгина r актив қаршиликли қисмдаги сарфланаётган энергия қоплашга кетади.

Худди шундай энергетик жараёнлар g , L ва C қисмларни параллел уланганда ҳам содир бўлади. Ушбу ҳолда:

$$P_L = -P_c \quad \text{ёки} \quad P_L + P_c = 0$$

Чунки параллел уланишда резонансда исталган вақтда $i_L = -i_c$ бўлади, кучланиш эса ҳар бир (g , L , C) элемент учун бир хил бўлади. Натижада:

$$P_L = U \cdot i_L; \quad P_C = U \cdot i_C \quad (5.4.5)$$

Унда: $P_L = -P_c$

Хулоса қилиш мумкинки, занжир элементлари параллел уланган ҳолатда энергиянинг тебранишлари содир бўлади. Майдонларнинг ЭМ. Энергияси конденсатордан ғалтакга ва аксинча ғалтакдан конденсаторга ўтади (конденсаторда электр майдон ва ғалтакда магнит майдон энергияси мавжуд бўлади). Мазкур ҳолда таъминот манбаси билан энергия алмашинуви содир бўлмайди.

Таъминот манбасидаги энергия эса g ўтказувчанликка эга бўлган шаҳобчадаги энергиялар исрофини қоплаш учун сарфланади.

2. Элементлари аралаш уланган занжирда резонанс ҳодисалари.

Мураккаб занжирнинг бўлакчаси (фрагменти) сифатида 1-расмда келтирилган схеманинг келтирилган схеманинг комплекс ўтказувчанлиги қуйидаги ифода билан топамиз:

$$Y = Y_1 + Y_2 = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{\frac{1}{G} + \frac{1}{\frac{1}{W^2 C^2} + \frac{1}{\frac{1}{WL/R_1^2 + W^2 L^2 + \frac{1}{(WC)/R_2^2 + \frac{1}{(W^2 C^2)}}}}}} = \frac{R_1}{R_1^2 + W^2 L^2 + \frac{R_2^2}{R_2^2 + \frac{1}{(W^2 C^2)}}} - G \left(\frac{1}{WC} \right) = \frac{R_1}{R_1^2 + W^2 L^2 + \frac{R_2^2}{R_2^2 + \frac{1}{(W^2 C^2)}}} - G \quad (5.4.6)$$

Резонансга $\omega = 0$ эришилади, у ҳолда:

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{LG}} \cdot \sqrt{(L/C - R_1^2) : (L/G - R_2^2)} \quad (5.4.7)$$

Келтирилган (5.4.6) ифодадан в қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{R_1^2}{R_1^2 + W^2 L^2} - \frac{1}{(WC)R_2^2 + 1/(W^2 C^2)}} \quad (5.4.8)$$

Охирги (5.4.8) ифодани биринчи ҳадининг сура ва маҳражини бўлиб ҳамда

$R_1^2 = R_2^2 = L/C$ эканлигини инобатка олган ҳолдаёзамиз.

$$\frac{WL}{R_1^2} + W^2 L^2 = \frac{1}{(WC)} \frac{1}{(W^2 C^2 + L/C)} = \frac{1}{(WC)} \frac{1}{(W^2 C^2)} + R_2^2 \quad (5.4.9)$$

Шуни такидлаш керак бўладики частота W нинг ҳар қандай қийматида реактив ўтказувчанликнольга тенг бўлади, яъни занжирда резонанс частотанинг ҳар қандай қийматида ўринли бўлади. Тўла занжирнинг қаршилиги R га тенг ва ўзгармас бўлади. Қаралаётган занжирда (расм-1) резонансли ҳодисада L ва C лар орасида ҳеч қандай энергия алмашинуви содир бўлмайди, фақатгина ташқаридаги манбадан энергия келиши натижасидагина ҳамда R_1 ва R_2 актив элементларда иссиқлик энергияси ажралиб чиқгандагина содир бўлади. Даврнинг қолган қисмида эса конденсатор ва ғалтақдан қайтаётган энергия R_1 ва R_2 актив элементларда иссиқлик энергиясига айланади.

Бир вақтнинг ўзида ташқи таъминот манбасидан ҳам энергия келади. Бунда келаётган энергия ҳам R_1 ва R_2 актив қаршиликли элементларда иссиқлик энергияси сифатида ютилади.

Келтирилаётган мисолдан кўринадики, мураккаб занжирлардаги резонанс вақтида энергетик жараёнлар занжир фақатгина кетма-кетёки параллел улангандагига қараганда анча қийинчилик билан кечади.

3. Электрон занжирларидаги резонансларнинг амалий аҳамияти.

Резонансли ҳодисалар кўпинча частотали техникаларда ишлатилади. (радио ва телеэшиттиришлар ва бошқалар). Масалан, юқори частотали генераторлари ўзида тебраниш контурига эга бўлиб,

ушбу контурда ток ва кучланишнинг тебраниши резонансли ёки резонансга яқин бўлган частоталарда содир бўлади. Радио тўлқин қабул қилувчилар ҳам ўзида резонансга мослашувчи тебраниш контурига эга бўлади. Телефон алоқасида тебраниш контурларидан фойдаланиш бир вақтнинг ўзида бир жуфт ўтказгичдан бир нечта суҳбатлашишларни турли хил элтувчи частоталарда юбориш имконини беради.

Радиотехникада тўлқин ушлагич-ўлчов асбобларида ёрдамида амалда тебранишлар частотасини ўлчаш учун резонансли ҳодисалардан фойдаланилади.

Электр таъминоти системасида токнинг ортида қолувчи реактив ташкил этувчисини, катта қувватли энергия қабул қилувчи жихозлардан, компенсациялаш мақсадида ушбу истеъмолчиларнинг уланиш нуқталарига паралел тарзда конденсаторлар ёки ўта қўзгатилган синхром юритгичларни улаш асосида электр энергиясининг талаб этилган сифатини таъминлаш мақсадида резонансли ҳодисалари қўллинади.

Юқорида келтирилган резонансли ҳодисалардан фойдаланиш электротехника учун амалий кадрга эга бўлиб улар орқали биз жараёнларни бошқариш имконига эга бўламиз. Аммо, электраэнергетикада салбий резонансли ҳодисалар ҳам пайдо бўлиши мумкин. Буларга коммутацион ўта кучланишдаги резонанс киради. Бу резонанслар оқибати электр машиналарининг изоляцияси учун катта ҳавфга эга.

Электрэнергетикада резонансни келиб чиқишига нима таъсир этади? Бу асосан индуктивликка эга бўлган генератор ва трансформаторлар, ҳамда сиғим ва индуктивликка эга бўлган линия ва кабеллардир.

Назорат саволлари:

1. Кетма–кет уланган занжирдаги ғалтакнинг уланиш нуқталаридаги оний қувватни аниқлаш формуласини ёзинг.
2. Конденсаторнинг уланиш нуқталаридаги оний қувватни аниқлаш формуласини ёзинг.
3. Элементлари кетма - кет уланган резонансли занжирларда энергия қандай ўзгаради?
4. Элементлари паралел уланган резонансли занжирларда энергия қандай ўзгаради?

Элементлари аралаш уланган занжирлардаги резонансли ҳодисаларни тушунтиринг.

6. Занжирнинг актив элементида энергия қандай турдаги энергияга айланади?
7. Радиотехникада резонансли ҳодисалар қандай фойдали ишлатилади?
8. Электр таъминоти системасида резонансли ҳодисалар қандай фойдали ишлатилади?
9. Қандай салбий резонансли ҳодисаларни биласиз?
10. Электротехникада қандай қурилмалар резонансни пайдо бўлиши учун кўмаклашади?