

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

М. Ибадуллаев

Назарий электротехникадан
масалалар тўплами

Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма

Тошкент 2007

Тақризчилар: т.ф.д., профессор Хошимов О.О.
т.ф.д., профессор Абдуқаюмов А.

Ўқув қўлланма “Назарий электротехника” фани ўқув дастури асосида тузилган бўлиб, электр занжирлари қисмидан масалалар ечиш бўйича намуналар кўрсатилиб, мустақил ечиш учун масалалар берилган ва талаба билимини текшириб кўришлари учун синов саволлари келтирилган. У олий ўқув юртларининг энергетика, электромеханика, электротехнология, автоматика, радиотехника, ахборот технологияси йўналишлари бўйича таълим оладиган талабалар учун мўлжалланган.

Ўқув қўлланма бакалаврият ва магистратура талабалари, аспирантлар ва мухандис ходимлар учун мўлжалланган.

Тошкент Давлат Авиация институти услубий Кенгаши қарорига асосан чоп этишга рухсат этилган. (Баённома №4 3.04.2006.)

Муқаддима

Ўқув қўлланма “Назарий электротехника” фани дастури асосида тузилган бўлиб, чизиқли электр занжирлари қисмидан масалалар ечиш учун намуналар кўрсатилган ҳамда мустақил ечиш учун масалалар тўплами ва назарий билимини синаш учун синов саволлари берилган.

Ҳар бир бобга оид масала ечиш учун зарур бўлган асосий: қонун қоидалар, формула, тенгламалар, аналитик, график, вектор, комплекс ифодалари ва ҳисоблаш усуллари бўйича фаннинг назарий қисмидан қисқача тушунчалар берилган.

Ҳар бир бобнинг мазмунига мос равишда масалалар танланиб, ечиш услуби кўрсатилган ва мустақил ечиш учун масалалар тўплами берилиб, талаба назарий билимини текшириб кўриш учун синов саволлари келтирилган.

Ўқув қўлланма энергетика, электротехника, электромеханика, электротехнология, гидроэнергетика, автоматика, радиотехника ва ахборот технология соҳалари бўйича таълим оладиган талабаларга мўлжалланган бўлиб, ундан соҳа мутахасислари, муҳандислар, магистрлар ва аспирантлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Ўқув қўлланма талабаларга амалий машғулот дарсини ўтишда фойдаланишга тавсия этилиб, мустақил масала ечишни ўрганиш, ҳисоб – график ишини бажариш ва назарий билимларини амалда синаб кўришларида ёрдам бўлади деган умиддамиз.

1-Боб.

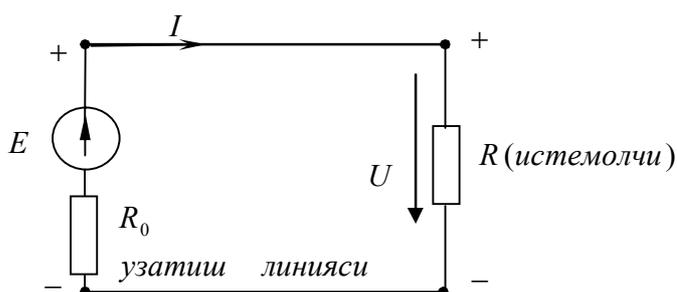
Чизиқли ўзгармас ток занжирлари.

1-1. Асосий назарий тушунчалар.

Электротехника фанининг ривожланишига буюк олимлар: Г. Ом, Э. Ленц, Д. Джоуль, Г. Кирхгофлар асос солган бўлиб, 1827 йилда немис олими Ом ток, кучланиш ва қаршиликларнинг орасида ўзаро боғланиш қонунини яратди. 1842 йилда рус олими Э. Ленц ва инглиз олими Д. Джоуллер электр ток энергиясининг иссиқлик энергия ўзгартириш қонунига асос солди. 1845 йилда Г. Кирхгоф электр ток занжирларини ҳисоблаш учун асосий қонунларни тадбиқ этди.

1. Ўзгармас ток – вақт бўйича ўзгармас бўлиб, $I = \frac{q}{t}$ (А). Ўзгармас ток генератори, аккумулятор, галваник элементлар, фотоэлементлар, термopара, пьезодатчик ва ҳақозолар ўзгармас ток манбаи ҳисобланади.

Амалда; механик, химиявий, ёруғлик ва бошқа хилдаги энергияларни электр ток энергияси ўзгартириш билан **электр ток манбаи** ҳосил қилинади. Электр ток энергиясини истемолчиларга; узатиш линияси, кабель симлари орқали етказилади ва бундай боғланишни электротехникада **берк электр ток занжири** дейилиб қуйидаги схема кўринишида ифодалаш мумкин.



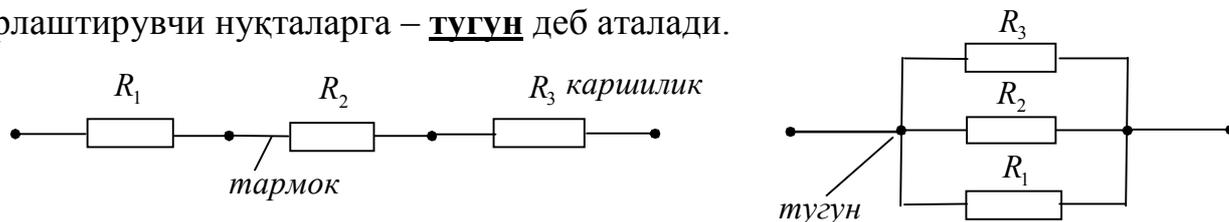
E – манба э.ю.к.

R – истемолчи қаршилиги.

R_0 – манба ички қаршилиги

Истемолчиларда эса электр ток энергияси, бошқа хилдаги энергияларга ўзгартирилади (механик, иссиқлик, ёруғлик, химиявий ва ҳақозолар).

Электр ток занжирлари тармоқланмаган ва тармоқланган бўлиб, истемолчиларни бирлаштирувчи симларга – **тармоқ** ва учтадан кўп тармоқларни бирлаштирувчи нуқталарга – **туғун** деб аталади.



Икки қутбли электр ток занжирлари таркибида электр энергия манбаи бўлганда **актив** ёки аксинча **пассив** бўлиши мумкин.

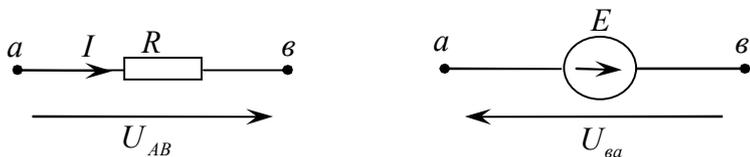


Электр ток занжирларини ҳисоблашдаги асосий мақсад истемолчилардаги тармоқ тоқлари, кучланишлари ва сарф бўладиган электр энергия қувватини ҳисоблаб топишдан иборат бўлиб, Ом ва Кирхгоф қонунларидан фойдаланилади.

2. Электр кучланиш ёки **потенциллар фарқи** деб – электр майдон E (манба) тасирида бирор мусбат q заряднинг l масофага кўчирилишида бажарилган ишга айтилади ва Вольтда ўлчанади.

$$U_{AB} = \frac{A}{q} = \int_A^B E dl = \varphi_a - \varphi_b \quad (B) \quad (1-1)$$

Масалан: R – қаршиликдаги кучланиш патенциаллар айирмасига ёки манба кучланишига тенг:



$$\varphi_a - \varphi_b = U_{AB} = IR; \quad \varphi_b - \varphi_a = U_{ba} = E$$

Бунда:

$$U_{ba} = -U_{ab}$$

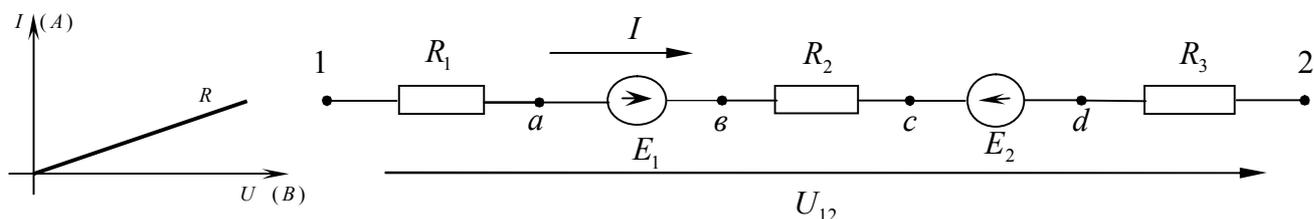
3. Электр занжирлари учун Ом қонуни

Актив қаршилиги бўлган занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни

$$U_{ab} = U = RI \quad (B) \quad \text{ёки} \quad I = \frac{U}{R} \quad (A) \quad (1-2)$$

Бундан: $R = \frac{U}{I}$ (Ом); $g = \frac{1}{R}$ ($\frac{1}{\text{Ом}} = \text{Сименс}$) – ўтказувчанлик (1-3)

У холда қаршилик Вольт–Ампер характеристикаси $I = f(U)$ чизикли ўзгаради.



Электр ток занжирига манба уланган холда бутун занжир учун Ом қонуни қуйдагича тенглама билан ифодаланилади.

Потенциаллар тенграмасига асосан:

$$\varphi_d = \varphi_2 + R_3 I, \quad \varphi_c = \varphi_d + E_2, \quad \varphi_b = \varphi_c + R_2 I, \quad \varphi_a = \varphi_b - E_1, \quad \varphi_1 = \varphi_a + R_1 I$$

Ёки $\varphi_1 = \varphi_2 + R_3 I + E_2 + R_2 I - E_1 + R_1 I, \quad \varphi_1 - \varphi_2 = U_{12}$

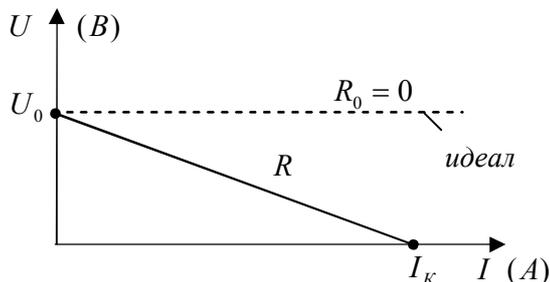
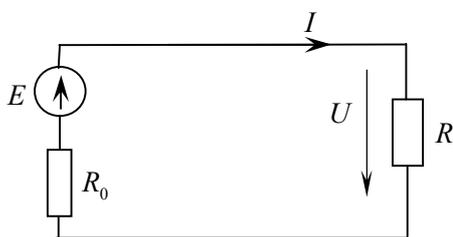
$$U_{12} = (R_1 + R_2 + R_3)I - E_1 + E_2$$

Бундан:

$$I = \frac{E_1 - E_2 + U_{12}}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (1-4)$$

4. Электр манбаи эквивалент схемалари:

Амалда электр ток занжири ва ташқи Вольт – Ампер характеристикалари $U(I)$ қуйдагича ифодаланилади:



$$\text{Ушбу занжирдан оқиб ўтувчи ток: } I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-5)$$

$$\text{Ўқи: } U = RI$$

Кирхгофнинг 2- қонунига асосан: $R_0 I + RI = E$

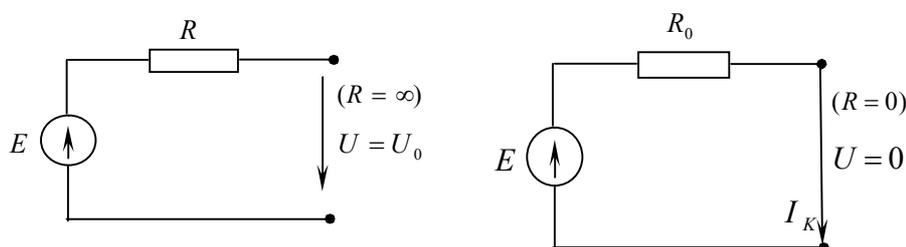
$$\text{Ўқи: } U = E - R_0 I$$

Вольт – Ампер характеристикасидан яни (1-5) тенгламадан: $E = const$ ва $R_0 = const$ характеристикаси тўғри чизиqli бўлиб, кучланиш манбаи ташқи характеристикасини $U(I)$ ифодалайди:

$$\text{А) салт ҳолатда } R = \infty, I = 0 \text{ бўлиб: } U = U_0 = E \quad (1-6)$$

$$\text{Б) қисқа туташтирилганда: } R = 0, U = 0 \text{ бўлиб: } I = I_K = \frac{E}{R_0} \quad (1-7)$$

$R_0 = 0$ бўлганда эса идеал кучланиш манбаи бўлиб: $U = E = const$



Ушбу схемани истемолчи қаршилигига нисбатан бошқа кўринишда келтириш мумкин.

Бунинг учун (1-5) тенгламадан манба ички қаршилиги R_0 га бўлиб юборилса:

$$\frac{U}{R_0} = \frac{E}{R_0} - I \quad (1-8)$$

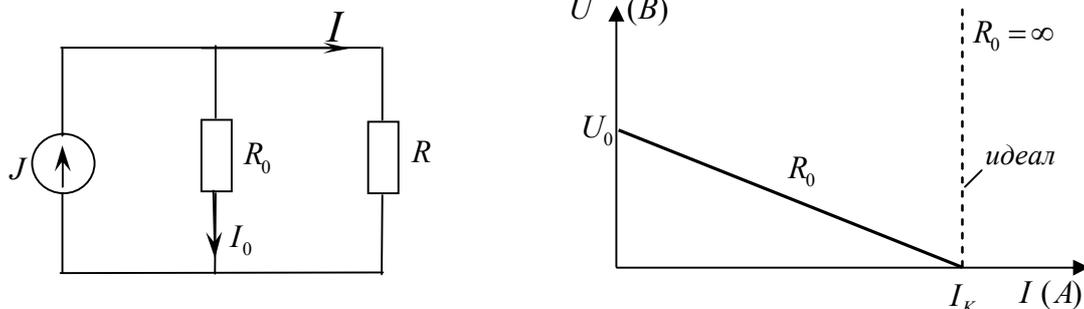
(1-7) тенгламага асосан:

$$I_K = \frac{E}{R_0} = J \text{ ва } \frac{U}{R_0} = I_0 \text{ ёқи } I_0 = J - I \quad (1-8')$$

Бундан: $J = I_0 + I$ ток манбаи бўлади. $(1-9)$

$$\text{Ўқи: } I = J - \frac{U}{R_0} \quad (1-10)$$

(1-10) тенгламага асосан ток манбаи (энергия) эквивалент схемаси ва ташқи характеристикаси қуйдагича ифодаланилади:

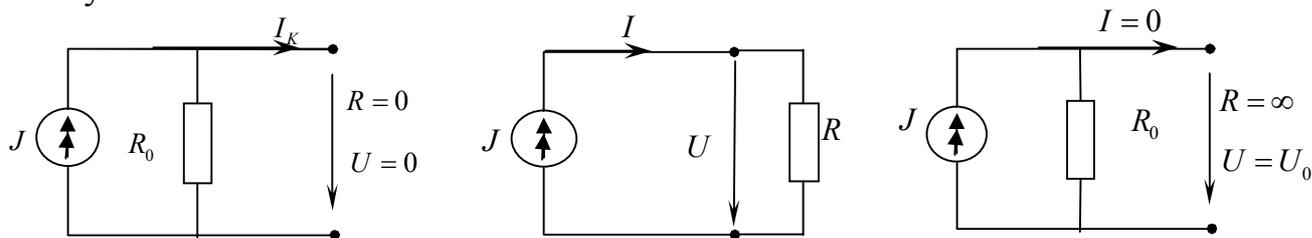


Ток манбаи ташқи характеристикасидан:

$$\text{А) салт ҳолатда: } R = \infty, I = 0 \text{ ёқи } J = I_K = \frac{U}{R_0}; \quad U = U_0 = I_K R_0 = E$$

Б) қисқа туташувда: $R=0; U=0$ ёки $I = I_k = J = \frac{E}{R_0}$

Бунга асосан:



Агар $R_0=\infty, (g_0=0)$ бўлса, идеал ток манбаи бўлади: $J=I=const$.

Натижада электр ток занжирларининг ҳисоблашда идеал э.ю.к манбаини эквивалент ток манбаига алмаштириш ёки аксинча амалга ошириш мумкин бўлади.

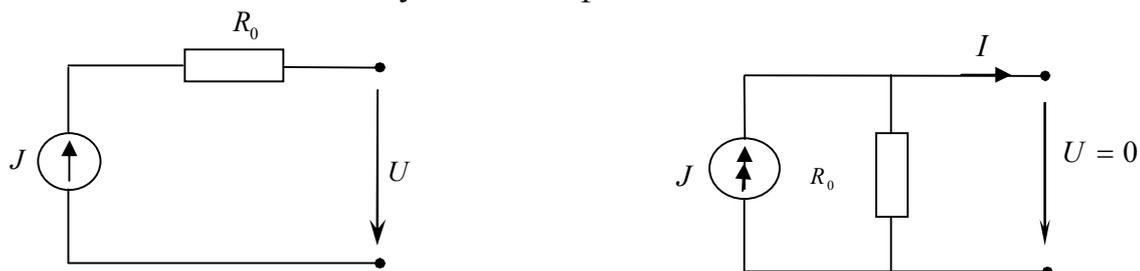
Масалан: Берилган схемада э.ю.к манбаси $E=12 В$ ички қаршилиги $R_0=2 Ом$. Ток манбаи эквивалент схемаси тузилсин:

Ечиш:

Ток манбаи қийматини аниқлаймиз.

$$\text{Ом қонунидан: } J = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{2} = 6 А$$

Эквивалент схемасини қуйдагича ифодаланади:



Бунда э.ю.к манба билан ток манбаи J йўналишлари бир хил бўлади.

5. Электр ток занжирлари учун Кирхгоф қонунлари.

Кирхгоф қонунлари электр ток занжирларини ҳисоблашда асосий қонунлардан бўлиб, барча ҳисоблаш усулларнинг ҳам негизи ҳисобланади.

Кирхгоф қонунларига асосан ρ - тармоқ. q - тугундан ташкил топган электр ток занжирини ҳисоблаб тармоқ тоқлари учун $K = \rho - (q-1)$ тузилган тенгламани ечиш билан бажарилади.

Кирхгофнинг 1 – қонуни: $\sum I = 0$ - тармоқ тоқларининг алгебраик йиғиндиси нолга тенг.

Кирхгофнинг 2 – қонуни: $\sum E = \sum RI$ - контур э.ю.к алгебраик йиғиндиси шу контурга кирувчи қаршилиқлардаги кучланишларнинг алгебраик йиғиндисига тенг.

6. Электр занжирларида қувватлар мувозанати.

Электр занжирларида энергия мувозанатланиши қонунига асосан: манбалар электр ток қуввати, истемолчиларда сарф бўладиган электр ток қувватларига тенг бўлади.

$$\sum P_{ГЕН} = \sum P_{ИСТ}$$

Ўки:
$$\sum_m E_m I + \sum_n J_n U = \sum_K I^2 R_k$$

бунда: m – э.ю.к манбалар сони

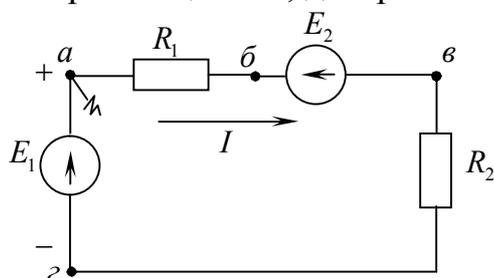
n – ток манбалар сони

k – истемолчи қаршиликлар сони

U, I – бир хил йўналишдаги ток ва кучланишлар.

1-2. Масала ечиш.

Масала 1-1. Кетма – кет уланган электр ток занжирининг э.ю.к-лари $E_1=4$ В, $E_2=2$ В, қаршиликлари $R_1=4$ Ом, $R_2=6$ Ом тенг. Ток қиймати ва потенциаллари аниқланиб, диаграммаси тузилсин



Ечиш: Ом қонунига асосан ток қийматини топамиз:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{ум}} = \frac{4 - 2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ (A)}$$

Бунда: $E_1 > E_2$ бўлганлиги учун ток соат стрелкасига мос йўналган бўлади.

Потенциаллар фарқини аниқлаш учун $\varphi_a = 0$ деб оламиз.

Бунда: $\varphi_б - \varphi_a = R_1 I$, ёки $\varphi_б = \varphi_a + IR_1 = 0 + 0,2 \cdot 4 = 0,8$ (В)

$\varphi_в$ - потенциали:

$$\varphi_б - \varphi_в = E_2 \text{ ёки } \varphi_в = \varphi_б - E_2 = -3,2 \text{ (В)}$$

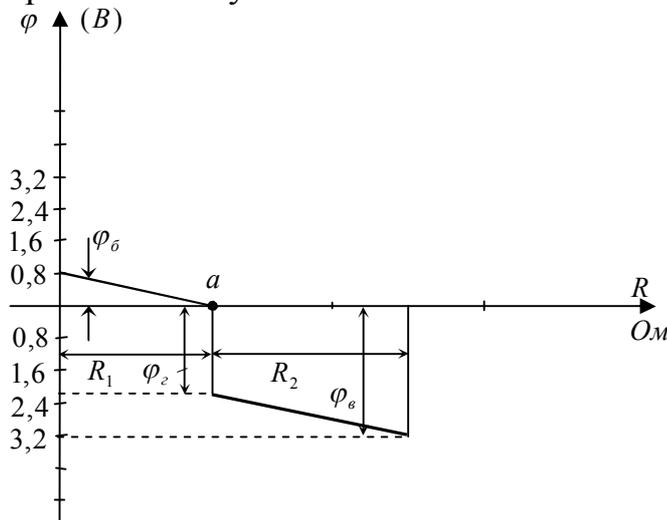
φ_z - потенциали:

$$\varphi_в - \varphi_z = IR_2 \text{ ёки } \varphi_z = IR_2 + \varphi_в = 0,2 \cdot 6 - 3,2 = -2 \text{ (В)}$$

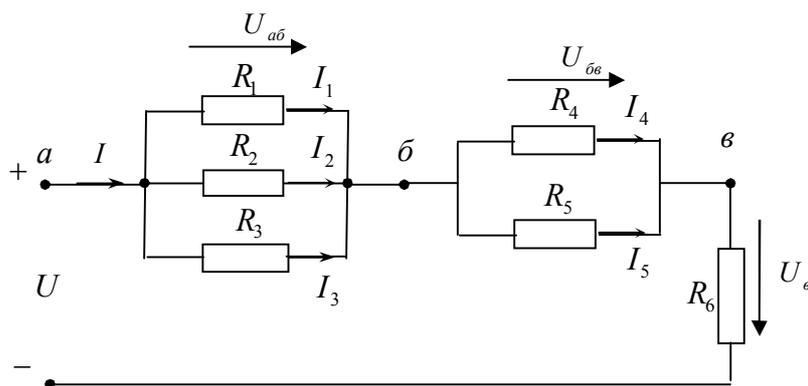
Ушбу тенгламалардан: $\varphi_a - \varphi_z = E_2$ бўлиб:

$$\varphi_a = E_2 + \varphi_z = 2 - 2 = 0 \text{ (В)}$$

Потенциал диаграммасини тузамиз.

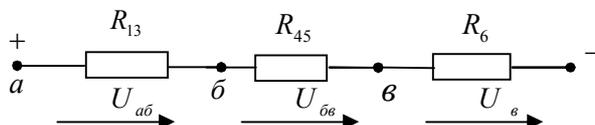


Масала 1-2. Тармоқланган электр ток занжири параметрлари $R_1=40 \text{ Ом}$, $R_2=120 \text{ Ом}$, $R_3=60 \text{ Ом}$, $R_4=90 \text{ Ом}$, $R_5=10 \text{ Ом}$, $R_6=10 \text{ Ом}$ бўлиб, $U=120 \text{ В}$ ўзгармас кучланишга уланган. Эквивалент қаршилиги ва тармоқ токлари аниқлансин.



Ечиш:

Эквивалент қаршилиқлар схемасини тузамиз:



Занжирнинг эквивалент ёки умумий қаршилигини топамиз

Бунинг учун биринчи навбатда R_{13} ва R_{45} қаршилиқларни параллел қўшамиз:

$$\frac{1}{R_{13}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{40} + \frac{1}{120} + \frac{1}{60} = \frac{6}{120}$$

$$\text{Бундан: } R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{120}{6} = 20 \text{ Ом}$$

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{90 \cdot 10}{90 + 10} = \frac{900}{100} = 9 \text{ Ом}$$

Умумий эквивалент қаршилиқ:

$$R = R_{13} + R_{45} + R_6 = 20 + 9 + 11 = 40 \text{ Ом.}$$

Умумий токни аниқлаймиз:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120}{40} = 3 \text{ А}$$

Тугун потенциали ёки кучланишни аниқлаймиз:

$$U_{аб} = I \cdot R_{13} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ В}$$

$$U_{ёе} = I \cdot R_{45} = 3 \cdot 9 = 27 \text{ В}$$

$$U_е = I \cdot R_6 = 3 \cdot 11 = 33 \text{ В}$$

Энди тармоқ тоқларини топамиз:

$$I_1 = \frac{U_{аб}}{R_1} = \frac{60}{40} = 1,5 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{U_{аб}}{R_2} = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{U_{аб}}{R_3} = \frac{60}{60} = 1 \text{ А}$$

$$I_4 = \frac{U_{ёе}}{R_4} = \frac{27}{90} = 0,3 \text{ А}$$

$$I_5 = \frac{U_{\delta\epsilon}}{R_5} = \frac{27}{10} = 2,7 \text{ A}$$

Масалани ечимини текшириб кўрамиз:

$$U = U_{a\delta} + U_{\delta\epsilon} + U_{\epsilon} = 60 + 27 + 33 = 120 \text{ B}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1,5 + 0,5 + 1 = 3 \text{ A}$$

Қувватлар мувозанати тенгламасига асосан:

$$P_{манба} = P_{исм} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 =$$

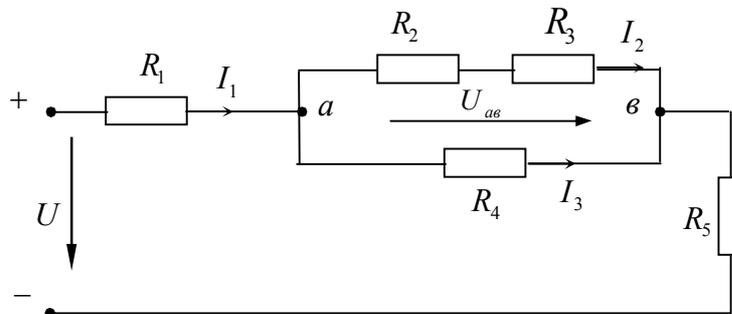
$$= (1,5)^2 \cdot 40 + (0,5)^2 \cdot 120 + (1)^2 \cdot 60 + (0,3)^2 \cdot 90 + (2,7)^2 \cdot 10 + (3)^2 \cdot 10 = 351 \text{ BT} = 360 \text{ BT}$$

Ҳисоблашдаги хатолик:

$$\gamma = \frac{P_{ген} - P_{исм}}{P_{исм}} \cdot 100\% = \frac{360 - 351}{351} 100\% = 2,7\%$$

Масала 1-3. Аралаш схемада уланган ток занжири параметрлари: $R_1=19 \text{ Ом}$, $R_2=2 \text{ Ом}$, $R_3=4 \text{ Ом}$, $R_4=4 \text{ Ом}$, $R_5=0,6 \text{ Ом}$ бўлиб, R_2 қаршиликда $P_2=32 \text{ BT}$ электр қуввати сарфланади.

Занжирнинг тармоқ тоқлари манба кучланиши ва қуввати аниқлансин.



Ечиш:

R_2 қаршиликдан оқиб ўтувчи I_2 токни топамиз:

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4 \text{ A}$$

a ва ϵ потенциал кучланиши аниқлаймиз:

$$U_{a\epsilon} = I_2(R_2 + R_3) = 4(2 + 4) = 24 \text{ B}$$

R_4 қаршиликдан оқиб ўтувчи ток:

$$I_3 = \frac{U_{a\epsilon}}{R_4} = \frac{24}{4} = 6 \text{ A}$$

Умумий ток: $I_1 = I_2 + I_3 = 4 + 6 = 10 \text{ A}$

Занжирнинг умумий қаршилигини аниқлаймиз:

$$R_{ум} = R_1 + \frac{R_4(R_2 + R_3)}{R_4 + R_2 + R_3} + R_5 = 19 + \frac{4(2 + 4)}{4 + 2 + 4} + 0,6 = 19 + 0,6 + \frac{24}{10} = 22 \text{ Ом}$$

Манба кучланиши: $U = I_1 R_{ум} = 10 \cdot 22 = 220 \text{ B}$

Манба қуввати: $P = U \cdot I_1 = 220 \cdot 10 = 2200 \text{ BT}$.

Масала 1-4. Икки контурли электр ток занжири манба кучланишлари: $E_1=8 \text{ B}$, $E_2=6 \text{ B}$, $E_3=36 \text{ B}$ қаршиликлари: $R_1=3 \text{ Ом}$, $R_2=1 \text{ Ом}$, $R_3=2 \text{ Ом}$, $R_{01}=1,3 \text{ Ом}$, $R_{03}=1,2 \text{ Ом}$, $R_4=6 \text{ Ом}$, $R_5=8 \text{ Ом}$ тенг. Контурли ток ва тугунлараро кучланишлар

усулига асосан тармоқ тоқлари, вольтметр кучланиши ва қувватлар баланси аниқлансин.

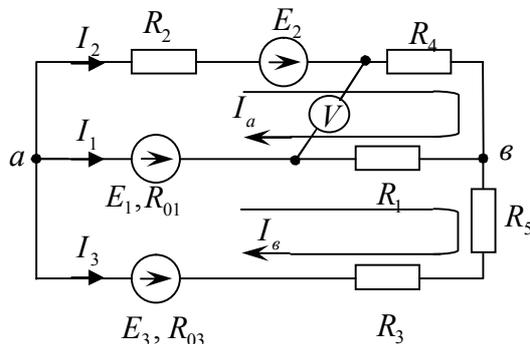
Ечиш:

Мустақил контурлардаги контур тоқлари I_a, I_b йўналишларини белгилаймиз.

Кирхгофнинг 2- қонунига асосан, контур тоқлар тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} R_{11} \cdot I_a - R_{12} \cdot I_b &= E_{11} \\ -R_{21} \cdot I_a + R_{22} \cdot I_b &= E_{22} \end{aligned} \right\}$$

Бу ерда: R_{11}, R_{22} – контурларнинг хусусий қаршилиқлари.



$$R_{11} = R_1 + R_{01} + R_2 + R_4$$

$$R_{22} = R_1 + R_{01} + R_3 + R_{03} + R_5$$

$R_{12} = R_{21}$ - контурлараро қаршилиқ:

$$R_{12} = R_{21} = R_1 + R_{01}$$

E_{11} ва E_{22} – мос контурга алақодор бўлган манбаларнинг ЭЮК ларнинг алгебрик йиғиндиси.

Бу ҳолда, агар манбаи э.ю.к йўналиши билан контур токи йўналиш мос бўлса, унинг ишораси **мусбат** олинади ва аксинча **манфий** ишорали олинади.

Шунга асосан:

$$E_{11} = E_2 - E_1$$

$$E_{22} = E_1 - E_3$$

Тенгламаларга сон қийматларини қўйсак :

$$\left. \begin{aligned} (3 + 1,3 + 6 + 2) \cdot I_a - (3 + 1,3) \cdot I_b &= 6 - 8 \\ -(3 + 1,3) \cdot I_a + (3 + 1,3 + 1 + 1,2) \cdot I_b &= 8 - 36 \end{aligned} \right\}$$

Ёки:

$$\left. \begin{aligned} 12,3 \cdot I_a - 4,3 \cdot I_b &= -2 \\ -4,3 \cdot I_a + 14,5 \cdot I_b &= -28 \end{aligned} \right\}$$

Тенгламалар системасини Крамер усулида ечамиз:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 12,3 & -4,3 \\ -4,3 & 14,5 \end{vmatrix} = 178,35 - 18,49 = 159,86$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -2 & -4,3 \\ -2,8 & 14,5 \end{vmatrix} = -29 - 120,4 = -149,4$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 12,3 & -2 \\ -4,3 & -28 \end{vmatrix} = -344,4 - 8,6 = -353,0$$

$$I_a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-149,4}{159,86} = -0,93 A$$

Бундан:

$$I_e = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-353,0}{159,86} = -2,21 A$$

Энди шахобчалардаги тоқларни аниқлаймиз:

$$I_1 = I_e - I_a = -2,21 - (-0,93) = -1,28 A;$$

$$I_2 = I_a = -0,93 A;$$

$$I_3 = -I_e = 2,21 A;$$

I_1 ва I_2 тоқларнинг минус ишорали бўлиши, уларнинг занжирдаги ҳақиқий йўналиши, биз қабул қилганга нисбатан тескари эканлигини ифодалайди.

2. Тугун потенциаллари усулига асосан ҳисоблаш.

1. Бу усулга асосан, шахобчалардаги тоқларни тугун потенциаллари орқали ифодалаймиз. Номалум потенциалларни аниқлаш учун $q - I$ та тенглама тузиш керак, яъни ихтиёрий тугун потенциаллари “маълум” ёки “нолга” тенг деб қабул қилинади. Берилган схема икки тугундан иборат, демак φ_a тугун потенциалини “нол”, деб қабул қилиб битта тенглама тузамиз.

$$g_{ee} \cdot \varphi_e = J_e$$

Бу ерда: φ_b - аниқлаши керак бўлган тугун потенциаллари.

g_{bb} - «в» тугунга кирувчи шахобчаларнинг ўтказувчанликлари йиғиндиси.

J_b - ЭЮК га эквивалент бўлган ток манбаларининг алгебрик йиғиндиси.

Бунда, агар ток манбаи йўналиши тугунга йўналган бўлса, “мусбат” ва аксинча “манфий” ишора билан олинади.

Демак:

$$g_{ee} = \frac{1}{R_2 + R_4} + \frac{1}{R_1 + R_{01}} + \frac{1}{R_3 + R_{03} + R_5}; \left(\frac{1}{O_M}\right)$$

$$J_b = \frac{E_1}{R_1 + R_{01}} + \frac{E_2}{R_2 + R_4} + \frac{E_3}{R_3 + R_{03} + R_5}; (A)$$

Сон қийматлари қўйилса:

$$\left(\frac{1}{2+6} + \frac{1}{3+1,3} + \frac{1}{1+1,2+8} \right) \varphi_a = \frac{8}{3+1,3} + \frac{6}{2+6} + \frac{36}{1+1,2+8}$$

Ёки:

$$\varphi_e = 13,49 (B)$$

2. Шахобчалардаги тоқлар эса:

$$I_1 = \frac{-\varphi_e + E_1}{R_1 + R_{01}} = \frac{-13,49 + 8}{3 + 1,3} = \frac{-5,49}{4,3} = -1,28 A;$$

$$I_2 = \frac{-\varphi_e + E_2}{R_2 + R_4} = \frac{-13,49 + 6}{2 + 6} = \frac{-7,49}{8} = -0,936 A;$$

$$I_3 = \frac{-\varphi_e + E_3}{R_3 + R_{03} + R_5} = \frac{-13,49 + 36}{1 + 1,2 + 8} = \frac{22,51}{10,2} = 2,206 A;$$

3. Вольтметрнинг кўрсатишини аниқлаймиз:

$$U_V = -I_2 R_4 + I_1 R_1 = -(-0,93) 6 + (-1,28) 3 = 1,74 \text{ В}$$

4. Қувватлар баланси тенгламасига асосан. $P_{ман} = P_{уст}$ тенг бўлиб, манбалар қуввати:

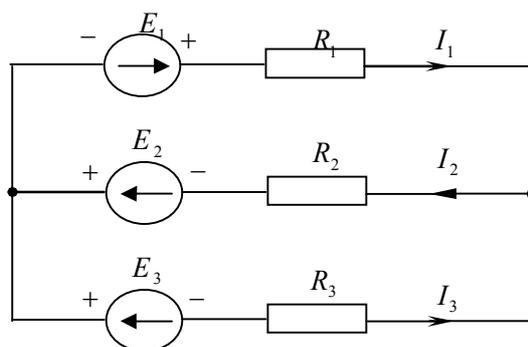
$$P_{ман} = E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 = 8 (-1,28) + 6 (-0,93) + 36 2,21 = -10,24 - 5,58 + 79,56 = 63,74 \text{ Вт}$$

Истеъмолчиларда сарф бўладиган қувват:

$$P_{уст} = I_1^2 \cdot (R_1 + R_{01}) + I_2^2 \cdot (R_2 + R_4) + I_3^2 (R_3 + R_{03} + R_5) = 1,28^2 \cdot (3 + 1,3) + 0,93^2 (2 + 6) + 2,21^2 (1 + 1,2 + 8) = 7,045 + 6,91 + 49,81 = 63,76 \text{ Вт}$$

Ҳисоблашдаги хато:
$$j\% = \frac{|P_{уст} - P_{ман}|}{|P_{уст}|} \cdot 100\% = \frac{63,76 - 63,74}{63,76} \cdot 100\% = 0,03\%$$

Масала 1-6. Электр ток занжирининг манба кучланишлари $E_1 = 10 \text{ В}$, $E_2 = 40 \text{ В}$, $E_3 = 5 \text{ В}$ қаршиликлари $R_1 = 35 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$ тенг. Устма – устлик усулига асосан тармоқ тоқлари аниқлансин.



Ечиш:

Устма – устлик усулига асосан занжир тармоқларидан оқиб ўтадиган ток ҳар бир э.ю.к алоҳида тасирида оқадиган тармоқ тоқларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади:

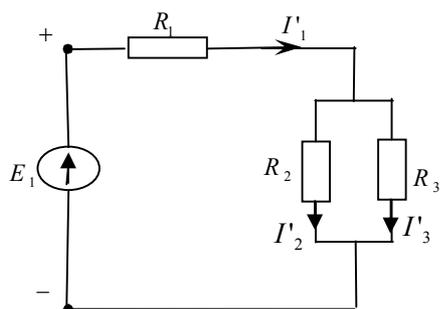
$$I_1 = I_1' + I_1'' + I_1'''$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' + I_2'''$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' + I_3'''$$

Ушбу тоқларни аниқлаш учун берилган схемани битта э.ю.к дан иборат бўлган оддий эквивалент схемаларга ажратамиз.

а) $E_1 = 10 \text{ В}$, $E_2 = E_3 = 0$ бўлган ҳолат учун тармоқ тоқлари I_1' аниқлаймиз:

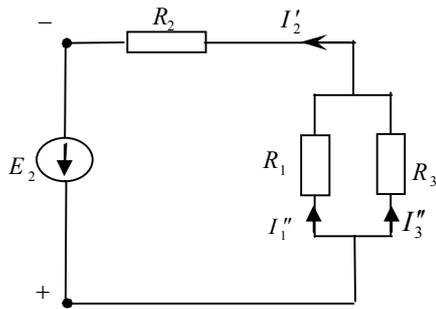


$$I_1' = \frac{E_1}{R_{экв}} = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{10}{\frac{115}{3}} = \frac{6}{23} \text{ А}$$

$$I_2' = I_1' \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{6}{23} \cdot \frac{10}{5 + 10} = \frac{4}{23} \text{ А}$$

$$I_3' = I_1' \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6}{23} \cdot \frac{5}{5 + 10} = \frac{2}{23} \text{ А}$$

б) $E_2=40\text{ В}$, $E_1=E_3=0$ бўлганда I_1'' тармоқ тоқларини топамиз:

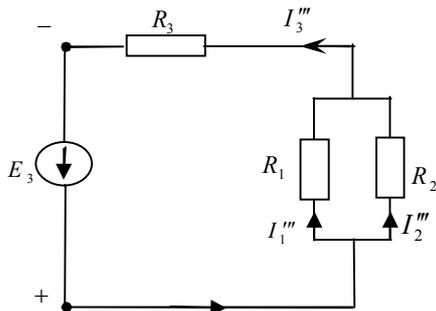


$$I_2' = \frac{E_2}{R_{\text{экв}}} = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{40}{115} = \frac{72}{23} \text{ А}$$

$$I_1'' = I_2' \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{72}{23} \cdot \frac{10}{35+10} = \frac{16}{23} \text{ А}$$

$$I_3'' = I_2' \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} = \frac{72}{23} \cdot \frac{35}{35+10} = \frac{56}{23} \text{ А}$$

в) $E_3=5\text{ В}$, $E_1=E_2=0$ бўлган I_1''' тармоқ тоқлари аниқлаймиз:



$$I_3''' = \frac{E_3}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{5}{115} = \frac{8}{23} \text{ А}$$

$$I_1''' = I_3''' \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8}{23} \cdot \frac{5}{40} = \frac{1}{23} \text{ А}$$

$$I_2''' = I_3''' \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{6}{23} - \frac{1}{23} = \frac{7}{23} \text{ А}$$

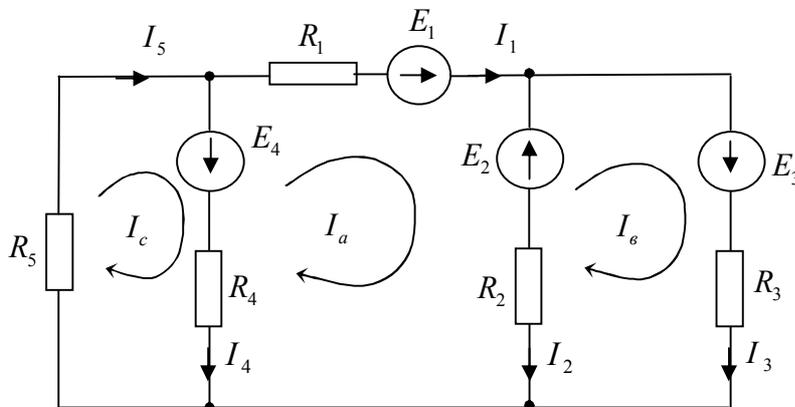
Энди тоқлар йўналиши ва ишорасини ҳисобга олган ҳолда ҳақиқий тармоқ тоқларини аниқлаймиз:

$$I_1 = I_1' + I_1'' + I_1''' = \frac{6}{23} + \frac{16}{23} + \frac{1}{23} = 1 \text{ А}$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' + I_2''' = \frac{4}{23} + \frac{72}{23} - \frac{7}{23} = 3 \text{ А}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' + I_3''' = -\frac{2}{23} + \frac{56}{23} - \frac{8}{23} = 2 \text{ А}$$

Масала 1-7. Берилган схема параметрлари: $R_1=5\text{ Ом}$, $R_2=R_3=10\text{ Ом}$, $R_4=5\text{ Ом}$, $R_5=3\text{ Ом}$, э.ю.к лари $E_1=70\text{ В}$, $E_2=5\text{ В}$, $E_3=15\text{ В}$, $E_4=10\text{ В}$ тенг. Контурли ток усулига асосан тармоқ тоқлари аниқлансин.



Ечиш:

Берилган электр ток схемаси 3 та контурдан ташкил топган бўлганлиги учун Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан контур токлари йўналиш бўйинча учта тенглама тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_a - R_{12}I_e - R_{13}I_c &= E_a \\ -R_{21}I_a + R_{22}I_e + R_{23}I_c &= E_e \\ R_{31}I_a - R_{32}I_e - R_{33}I_c &= E_c \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Контур қаршилиқларини топамиз:

$$R_{11} = R_1 + R_2 + R_4 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_{33} = R_4 + R_5 = 8 \text{ Ом}$$

Контурлараро қаршилиқларни топамиз:

$$R_{12} = R_{21} = R_2 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = R_{32} = 0$$

$$R_{13} = R_{31} = R_4 = 5 \text{ Ом}$$

Контурга кирувчи э.ю.к ларни қийматини аниқлаймиз:

$$E_a = E_1 - E_4 - E_2 = 70 - 10 - 5 = 55 \text{ В}$$

$$E_e = E_2 + E_3 = 5 + 15 = 20 \text{ В}$$

$$E_c = E_4 = 10 \text{ В}$$

Параметр қийматларини (1) тенгламага асосан детерминант усулига асосан тенглама тузамиз:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} & -R_{13} \\ -R_{12} & +R_{22} & -R_{23} \\ -R_{13} & -R_{32} & +R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 20 & -10 & -5 \\ -10 & 20 & -0 \\ -5 & -10 & 8 \end{vmatrix} = 1900 \text{ (Ом)}$$

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} E_a & -R_{12} & -R_{13} \\ E_e & +R_{22} & -R_{23} \\ E_c & -R_{32} & +R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 55 & -10 & -5 \\ 20 & 20 & -0 \\ 10 & -0 & 8 \end{vmatrix} = 11400 \text{ (В)}$$

$$\Delta_e = \begin{vmatrix} R_{11} & E_a & -R_{13} \\ -R_{21} & E_e & -R_{23} \\ -R_{31} & E_c & +R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 20 & 55 & -5 \\ -10 & 20 & -0 \\ -5 & 10 & 8 \end{vmatrix} = 7600 \text{ (В)}$$

$$\Delta_c = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} & E_a \\ -R_{21} & +R_{22} & E_e \\ -R_{31} & -R_{32} & E_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 20 & -10 & 55 \\ -10 & 20 & 20 \\ -5 & -0 & 10 \end{vmatrix} = 9500 \text{ (В)}$$

Контур тоқларини аниқлаймиз: $I_a = \frac{\Delta_a}{\Delta} = \frac{11400}{1900} = 6 \text{ А}$

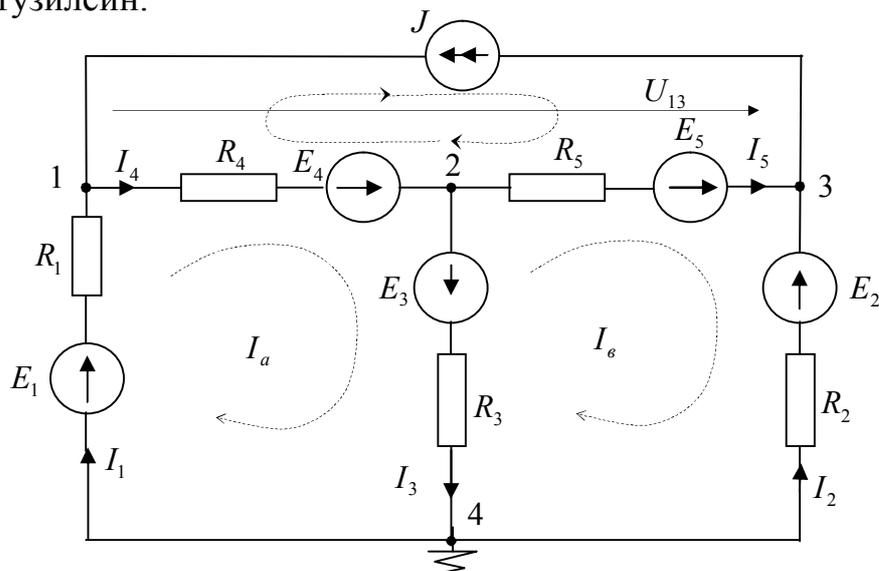
$$I_e = \frac{\Delta_e}{\Delta} = \frac{7600}{1900} = 4 \text{ А}$$

$$I_c = \frac{\Delta_c}{\Delta} = \frac{9500}{1900} = 5 \text{ А}$$

Контур тоқлари орқали тармоқ тоқларини топамиз:

$$I_1 = I_a = 6 \text{ А}; \quad I_2 = I_a - I_e = 6 - 4 = 2 \text{ А}; \quad I_3 = I_2 = 4 \text{ А}; \quad I_4 = I_a - I_c = 1 \text{ А}; \quad I_5 = I_c = 5 \text{ А}$$

Масала 1-8. Электр схема параметрлари: $R_1=R_3=R_5=50 \text{ Ом}$, $R_2=R_4=4 \text{ Ом}$, $E_1=10 \text{ В}$, $E_2=15 \text{ В}$, $E_3=10 \text{ В}$, $E_4=5 \text{ В}$, $E_5=20 \text{ В}$, $J=2 \text{ А}$ тенг. Тугунлараро кучланишлар усулига асосан тармоқ токлари топилиб, қувватлар мувозанат тенгламаси тузилсин.



Ечиш:

1) Тугунлараро кучланишлар усули мураккаб ток занжирини ҳисоблашда фойдаланишда қулай бўлиб, Кирхгоф ва Ом қонунларига асосан тугун потенциал-лари нисбатан тузилган тенгламаларни ечиш билан тармоқ токлари топилади. Бунда ихтиёрий тугун потенциали “нолга” тенглаш билан тенгламалар сонини $(k - 1)$ камайтириш мумкин.

Берилган схемада 4 тугун бўлиб, тўртинчи тугунни “нолга” тенглаймиз. ($\varphi_4=0$) ва Кирхгофнинг биринчи қонунига асосан тугунлар учун тенглама ёзамиз:

$$\left. \begin{array}{l} 1 - \text{тугун } I_4 - J - I_1 = 0 \\ 2 - \text{тугун } I_3 + I_5 - I_4 = 0 \\ 3 - \text{тугун } J - I_2 - I_5 = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

Ом қонунига асосан тоқлар ифодасини тугун потенциаллари айирмаси орқали ифодалаймиз:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_4}{R_4} - J + \frac{\varphi_4 - \varphi_1 + E_1}{R_1} = 0 \\ \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_5}{R_5} + \frac{\varphi_2 - \varphi_4 + E_3}{R_3} + \frac{-\varphi_1 + \varphi_2 - E_4}{R_4} = 0 \\ J - \frac{\varphi_4 - \varphi_3 + E_2}{R_2} - \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_5}{R_5} = 0 \end{array} \right\} \quad (2)$$

Потенциал $\varphi_4=0$ эканлигини инобатга олиб тенгламани куйдагича ёзамиз:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4} \right) - \varphi_2 \frac{1}{R_4} = E_1 \frac{1}{R_1} + J + E_4 \frac{1}{R_4} \\ -\varphi_1 \frac{1}{R_4} + \varphi_2 \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) - \varphi_3 \frac{1}{R_5} = E_4 \frac{1}{R_5} - E_3 \frac{1}{R_3} - E_5 \frac{1}{R_5} \\ -\varphi_2 \frac{1}{R_5} + \varphi_3 \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2} \right) = E_2 \frac{1}{R_2} + E_5 \frac{1}{R_5} - J \end{array} \right\} \quad (3)$$

Қаршиликлар параметри $\frac{1}{R} = g$ – ўтказувчанлик параметрларига алмаштириш билан тармоқ ўтказувчанликларини аниқлаймиз:

$$g_1 = g_3 = g_5 = 0,2 \text{ сим}, \quad g_2 = g_4 = 0,25 \text{ сим}$$

Тугунлараро тармоқ ўтказувчанликларни топамиз:

$$\begin{aligned} g_{11} &= g_1 + g_4 = 0,45 \text{ сим}, \\ g_{22} &= g_4 + g_3 + g_5 = 0,65 \text{ сим} \\ g_{33} &= g_5 + g_2 = 0,45 \text{ сим} \end{aligned}$$

Тугунларни боғловчи тармоқлардаги ўтказувчанликларни топамиз:

$$\begin{aligned} g_{12} &= g_{21} = g_4 = 0,25 \text{ сим}, \\ g_{23} &= g_{32} = g_5 = 0,2 \text{ сим} \end{aligned}$$

(3) тенгламанинг ўнг томони ифодаларидан тугун тоқлари қийматини аниқлаймиз:

$$\left. \begin{aligned} 1 - \text{тугун} : I_a &= E_1 g_1 - E_4 g_4 + J = 2,75 \text{ A} \\ 2 - \text{тугун} : I_b &= E_4 g_4 - E_3 g_3 - E_5 g_5 = -4,75 \text{ A} \\ 3 - \text{тугун} : I_c &= E_5 g_5 + E_2 g_2 - J = 5,75 \text{ A} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(3) тенгламаларга тармоқ ўтказувчанлик қийматларини қўйиб, тугун потенциаллар тенгламасини ёзамиз:

$$\left. \begin{aligned} 0,45\varphi_1 - 0,25\varphi_2 &= 2,75 \\ -0,25\varphi_1 + 0,65\varphi_2 - 0,2\varphi_3 &= -4,75 \\ -0,2\varphi_2 + 0,45\varphi_3 &= 5,75 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5) тенгламалар системасини ечиш билан тугун потенциаллари қийматларини топамиз:

$$\varphi_1 = 5,25 \text{ В}, \quad \varphi_2 = 1,6 \text{ В}, \quad \varphi_3 = 12,08 \text{ В}, \quad (6)$$

Ом қонунига асосан тузилган (2) тенгламадан тармоқ тоқларини топамиз:

$$\begin{aligned} I_1 &= (\varphi_0 - \varphi_1 + E_1)g_1 = 0,95 \text{ A} & I_2 &= (\varphi_0 - \varphi_3 + E_2)g_2 = 0,73 \text{ A} \\ I_3 &= (\varphi_2 - \varphi_0 + E_3)g_3 = 1,68 \text{ A} & I_4 &= (\varphi_1 - \varphi_2 + E_4)g_4 = 2,96 \text{ A} \\ I_5 &= (\varphi_2 - \varphi_3 + E_5)g_5 = 1,27 \text{ A} \end{aligned} \quad (7)$$

2) Қувватлар мувозанати тенгламасига асосан:

$$\sum EI + \sum JU = \sum I^2 R$$

Берилган схема учун:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + E_4 I_4 + E_5 I_5 + J U_{13} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 \quad (8)$$

Ток манба J уланган контурдаги U_{13} кучланишни топиш учун 1 ва 3 тугун потенциаларига нисбатан тенглама тузамиз:

$$\varphi_1 - \varphi_3 = U_{13} = -E_4 - E_5 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = -5 - 20 + 5 \cdot 1,27 + 4 \cdot 2,95 = -6,84 \text{ В}$$

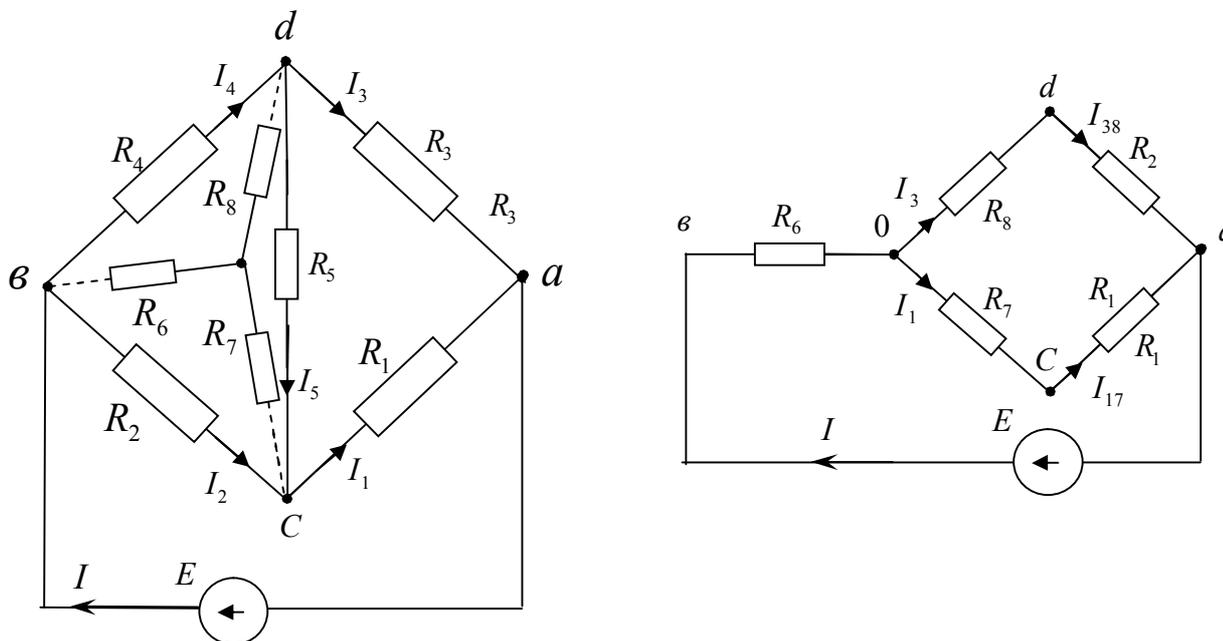
Барча ток ва кучланиш қийматларини (8) тенглама қўйиш билан қувватлар қийматини аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} &10 \cdot 0,95 + 15 \cdot 0,73 + 10 \cdot 1,68 + 5 \cdot 2,95 + 20 \cdot 1,27 + 2 \cdot (-6,84) = \\ &= (0,95)^2 \cdot 5 + (0,73)^2 \cdot 4 + (1,68)^2 \cdot 5 + (2,95)^2 \cdot 4 + (1,27)^2 \cdot 5 \end{aligned}$$

Демак қувватлар мувозанати:

$$63,8 \text{ Вт} = 63,8 \text{ Вт}$$

Масала 1-9. Кўприк схемада уланган электр ток занжири параметрлари: $R_1=60 \text{ Ом}$, $R_3=80 \text{ Ом}$, $R_4=R_5=120 \text{ Ом}$, $R_2= 80 \text{ Ом}$ бўлиб, $E=30 \text{ В}$ ўзгармас манбага уланган. Учбурчак схемадан эквивалент юлдузча схемага ўтиш билан тармоқ тоқлари ва истемолчиларда сарф бўладиган электр ток қуввати аниқлансин.



Ечиш:

Берилган схемадан bcd учбурчак потенциаларини эквивалент юлдузча схемага ўтиш ифодасидан фойдаланамиз:

$$R_6 = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{80 \cdot 120}{320} = 30 \text{ Ом}$$

$$R_7 = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{120 \cdot 120}{320} = 45 \text{ Ом}$$

$$R_8 = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{80 \cdot 120}{320} = 30 \text{ Ом}$$

Тузилган юлдузча схемадан қаршилиқларни кетма – кет ва параллел қўшиш билан занжир умумий қаршилигини аниқлаймиз:

$$R_{\text{ум}} = R_6 + \frac{(R_3 + R_8)(R_1 + R_7)}{R_3 + R_8 + R_1 + R_7} = 30 + \frac{210 \cdot 105}{315} = 100 \text{ Ом}$$

Умумий тармоқ тоқи: $I = \frac{E}{R_{\text{ум}}} = \frac{30}{100} = 0,3 \text{ А}$

Параллел тармоқ тоқларини аниқлаймиз:

$$I_{17} = I \frac{R_8 + R_3}{R_3 + R_8 + R_1 + R_7} = \frac{210 \cdot 0,3}{315} = 0,2 \text{ А}$$

$$I_{38} = I \frac{R_1 + R_7}{R_3 + R_8 + R_1 + R_7} = \frac{105 \cdot 0,3}{315} = 0,1 \text{ А}$$

Бу ерда $R_1=R_3$ га тенг бўлганлиги учун аниқланган $I_{17}=I_1=0,2 \text{ А}$ ва $I_{38}=I_3=0,1 \text{ А}$ тенг.

Берилган схеманинг қолган тармоқларидан оқадиган тоқларни аниқлаш учун тугун потенциалларига асосан тенглама ёзамиз:

$$U_{ec} = IR_6 + I_1 R_7 = 0,3 \cdot 30 + 0,2 \cdot 45 = 18 \text{ В}$$

$$U_{ed} = IR_8 + I_3 R_8 = 0,3 \cdot 30 + 0,1 \cdot 30 = 12 \text{ В}$$

$$U_{dc} = U_{ec} - U_{ed} = 18 - 12 = 6 \text{ В}$$

Тармоқ тоқлари: $I_2 = \frac{U_{ec}}{R_2} = \frac{18}{120} = 0,15 \text{ А}$, $I_4 = \frac{U_{ed}}{R_4} = \frac{12}{80} = 0,15 \text{ А}$

$$I_5 = \frac{U_{cd}}{R_5} = \frac{6}{120} = 0,05 \text{ А}$$

Масаланинг ечимини текшириб кўрамиз:

а – тугундаги тармоқ тоқлар:

$$I = I_1 + I_3 = 0,2 + 0,1 = 0,3 \text{ А}$$

в – тугунда:

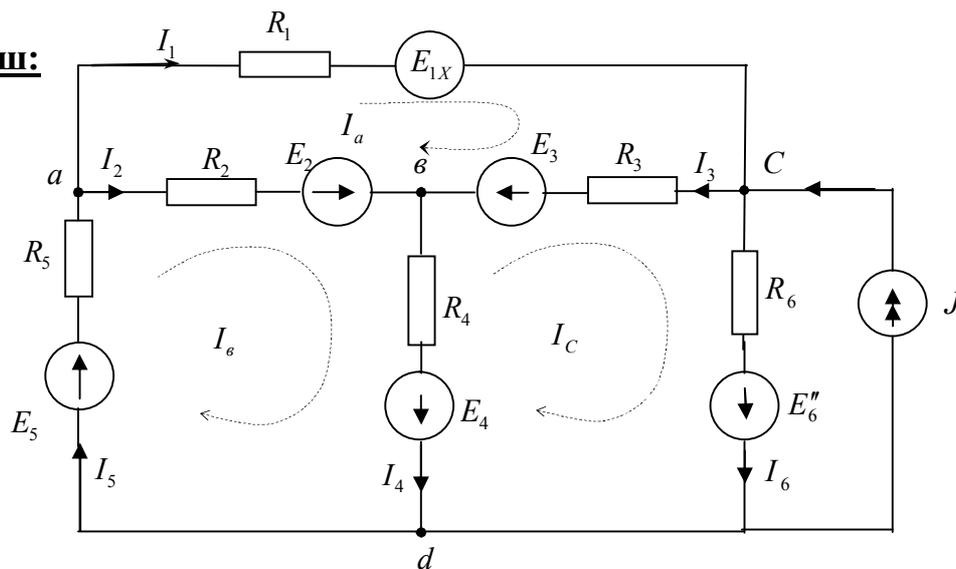
$$I = I_4 + I_2 = 0,15 + 0,15 = 0,3 \text{ А}$$

Занжирда сарф бўладиган қувват:

$$P = UI = I^2 R_{\text{ум}} = 30 \cdot 0,3 = 9 \text{ Вт}$$

Масала 1-10. Берилган электр ток схемасининг параметрлари: $R_1=8 \text{ Ом}$, $R_2=5 \text{ Ом}$, $R_3=4 \text{ Ом}$, $R_4=6 \text{ Ом}$, $R_5=6 \text{ Ом}$, $R_6=7 \text{ Ом}$, э.ю.к лари: $E_6 = 30 \text{ В}$, $E_2 = 30 \text{ В}$, $E_3 = 30 \text{ В}$, $E_4 = 40 \text{ В}$, $E_5 = 50 \text{ В}$. Ток манбаи $J=4 \text{ А}$ ва биринчи тармоқ тоқи $I_1=2 \text{ А}$ бўлиб, контурли ток усулига асосан тармоқ тоқлари, E_{1x} – э.ю.к қиймати ва эквивалент генератор усулига асосан I_2 тармоқ тоқи аниқлансин.

Ечиш:

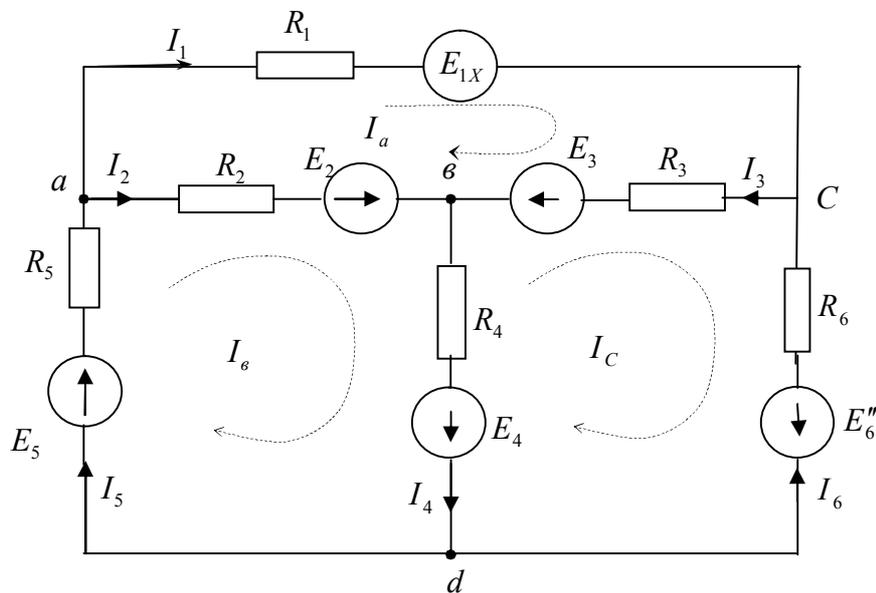


1. Ток манбасини эквивалент кучланиш манбаи билан алмаштирамиз:

Бунда: $J R_6 = E'_6$; ёки $E'_6 = 4 \cdot 7 = 28 \text{ В}$;

Демак: $E''_6 = E_6 - E'_6 = 30 - 28 = 2 \text{ В}$;

2. Берилган схемани қуйдагича эквивалент схемага келтирамиз.



Контурли ток усулига асосан контур токлари I_a, I_b, I_c йўналишлари бўйича Кирхгофнинг 2 – қонунига асосан тенглама тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_a + R_{12}I_b + R_{13}I_c &= E_a \\ R_{21}I_a + R_{22}I_b + R_{23}I_c &= E_b \\ R_{31}I_a + R_{32}I_b + R_{33}I_c &= E_c \end{aligned} \right\} (1)$$

Энди контурга кирувчи қаршиликларни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} R_{11} &= R_1 + R_2 + R_3 = 17 \text{ Ом} \\ R_{22} &= R_2 + R_4 + R_5 = 17 \text{ Ом} \\ R_{33} &= R_3 + R_4 + R_6 = 17 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Контурларни боғловчи контурлараро қаршиликларни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} R_{12} &= R_{21} = R_2 = 5 \text{ Ом} \\ R_{31} &= R_{13} = R_3 = 4 \text{ Ом} \\ R_{23} &= R_{32} = R_4 = 6 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Контурни ташкил этувчи э.ю.к ларни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} E_a &= E_{1X} + E_2 - E_3 = (E_{1X} - 17) \text{ В} \\ E_b &= E_2 + E_4 + E_5 = 140 \text{ В} \\ E_c &= E_6'' - E_4 - E_3 = -68 \text{ В} \end{aligned}$$

1 – контур токи: $I_a = I_1 = 2 \text{ А}$

Топилган қийматларни (1) тенгламага қўямиз:

$$\left. \begin{aligned} 2 \cdot 17 - 5 \cdot I_b - 4 \cdot I_c &= E_{1X} - 20 \\ -2 \cdot 5 + 17 \cdot I_b - 6 \cdot I_c &= 140 \\ -2 \cdot 4 - 6I_b + 17 \cdot I_c &= -68 \end{aligned} \right\} (2)$$

Ушбу тенгламадан номаълум контур токлари I_b, I_c ларни аниқлаймиз:

$$\left. \begin{aligned} 17I_b - 6I_c &= 150 \\ -6I_b - 17I_c &= -60 \end{aligned} \right\}$$

Бу тенгламани Крамер усулига асосан ечамиз:

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} 17 & -6 \\ -6 & 17 \end{vmatrix} = 289 - 36 = 253$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} 150 & -6 \\ -60 & 17 \end{vmatrix} = 2550 - 360 = 2190$$

$$\Delta_c = \begin{vmatrix} 17 & 150 \\ -6 & -60 \end{vmatrix} = -1020 + 900 = -120$$

Бундан:

$$I_b = \frac{2190}{253} = 8,65A, \quad I_c = -\frac{120}{253} = -0,475A$$

Энди (2) тенгламадан E_{1x} – эюк қийматини аниқлаймиз

$$E_{1x} = 54 - 5 \cdot 8,65 + 4 \cdot 0,475 = 12,65V$$

Тармоқ тоқларини аниқлаймиз:

$$I_1 = 2A, \quad I_2 = I_a - I_b = 2 - 8,65 = -6,65A$$

$$I_3 = I_a - I_c = 2 + 0,475 = 2,475A$$

$$I_4 = I_b - I_c = 8,65 + 0,475 = 9,125A$$

$$I_5 = I_b = 8,65A$$

$$I_6 = -I_c = 0,475A$$

Қувватлар мувозанат тенграмасини тузамиз:

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + (I - I_2) R_6 =$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + E_4 I_4 + E_5 I_5 + E_6 (I - I_6)$$

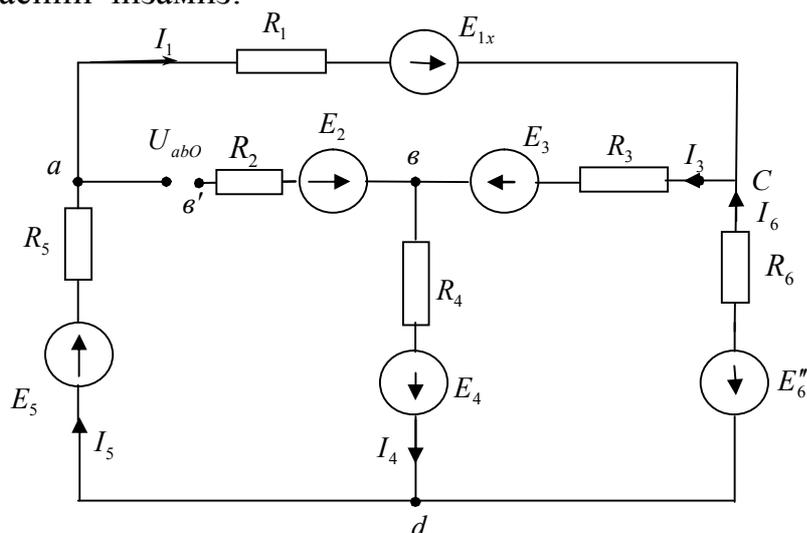
Бундан: $13335,86 \approx 13337 \text{ Вт}$

Ҳисоблашдаги хатолик $\gamma = \frac{13337 - 13335,6}{13337} \cdot 100\% = 0,022\%$,

3. Эквивалент генератор усулига асосан I_2 тармоқ тоқини топамиз.

Бунда:
$$I_2 = \frac{U_{ab0}}{R_o + R_2} \quad (3)$$

Эквивалент схемасини чизамиз:



2 – тармоқда узилиш бўлганда электр схема икки тугунли потенциал айирмаси билан ифодаланиб ($\varphi_c - \varphi_d$) тугунлараро потенциаллар айирмаси тенграмасига асосан:

$$U_{cd} = \frac{\sum_{m=1}^n E_n g_n}{\sum_{m=1}^n g_n} = \frac{(E_5 + E_{1X}) \frac{1}{R_1 + R_5} - (E_4 + E_3) \frac{1}{R_3 + R_4} - E_6'' \frac{1}{R_6}}{\frac{1}{R_1 + R_5} + \frac{1}{R_3 + R_4} + \frac{1}{R_6}} =$$

$$= \frac{\frac{62,65}{14} - \frac{70}{10} - 2 \frac{1}{7}}{\frac{1}{14} + \frac{1}{10} + \frac{1}{7}} = -8,95 B$$

Ом қонунига асосан тармоқ тоқларини аниқлаймиз:

$$I_1 = I_5 = \frac{(E_5 + E_{1X}) - U_{cd}}{R_1 + R_5} = (62,65 + 8,95) \cdot \frac{1}{14} = 5,2 A$$

$$I_3 = I_4 = \frac{(E_3 + E_4) + U_{cd}}{10} = \frac{70 - 8,95}{10} = 6,1 A$$

$$I_6 = \frac{E_6'' + U_{cd}}{7} = \frac{2 - 8,95}{7} \approx -1 A$$

Потенциал қийматларини аниқлаймиз:

$$\varphi_a = \varphi_d + E_5 + I_5 R_5 = 0 + 50 - 5,2 \cdot 6 = 19,3 B$$

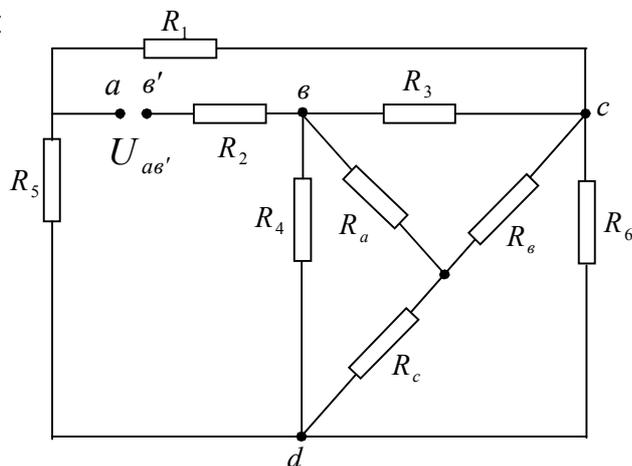
$$\varphi_b = \varphi_d - E_4 + I_4 R_4 = 0 - 40 + 6,1 \cdot 6 = -3,37 B$$

$$\varphi'_b = \varphi_b + E_2 = -3,37 - 50 = -53,37 B$$

Демак:

$$U_{abo} = \varphi_a - \varphi'_b = 19,3 + 53,37 = 72,67 B$$

Энди (3) тенгламадаги R_0 – ички эквивалент қаршилигини аниқлаймиз. Бунинг учун b,c,d потенциалларни бирлаштирувчи қаришликларни “Учбурчакдан” “Юлдузча”схемага келтириш формуласига асосан эквивалент схемасини чизамиз:



Бунда:

$$R_a = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4 + R_6} = \frac{24}{17} (Ом)$$

$$R_b = \frac{R_3 R_6}{R_3 + R_4 + R_6} = \frac{28}{17} (Ом)$$

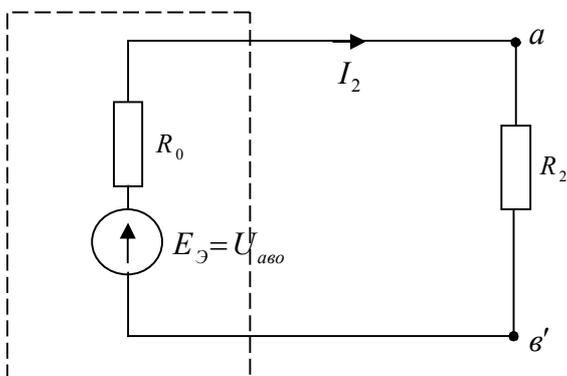
$$R_c = \frac{R_4 R_6}{R_3 + R_4 + R_6} = \frac{42}{17} (Ом)$$

R_c қаршилиқни R_5 билан ва R_1 – қаршилиқни R_b қаршилиқ билан қўшиб иккита параллел уланган схеманинг умумий қаршилигини аниқлаймиз:

$$R_0 = R_{ym} = \frac{(R_c + R_5)(R_b + R_1)}{R_c + R_5 + R_b + R_1} + R_a = 5,95(\text{Ом})$$

Узилган 2 – тармоқга нисбатан, эквивалент схемасини тузамиз ҳамда аниқланган кийматларни (3) тенгламага қўйиш билан I_2 тармоқ токини аниқлаймиз:

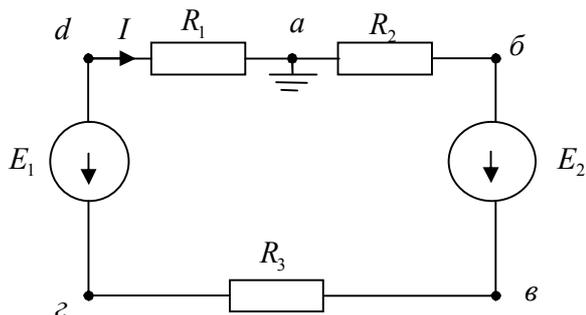
$$I_2 = \frac{U_{abo}}{R_0 + R_2} = \frac{72,6}{5,95 + 5} = 6,65 \text{ (A)}$$



1-3. Мустақил ечиш учун масалалар

Масала 1-1. Кетма – кет схемада уланган электр ток занжир параметрлари:

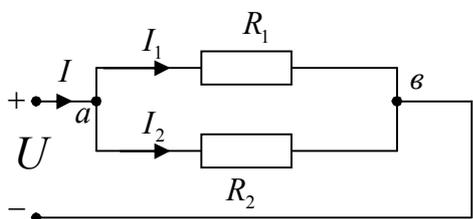
$E_1=20\text{ В}$, $E_2=12\text{ В}$, $R_1=5\text{ Ом}$, $R_2=6\text{ Ом}$, $R_3=9\text{ Ом}$ тенг. Тармоқ токи ва потенциаллари аниқланиб, потенциаллар диаграммаси тузилсин.



Жавоб: $I_e=0,4\text{ А}$, $\varphi_A=0$, $\varphi_б=2,4\text{ В}$, $\varphi_в=-14,4\text{ В}$, $\varphi_z=-18\text{ В}$, $\varphi_a=2\text{ В}$

Масала 1-2. Параллелл схемада бириктирилган ток занжирларининг a ва $б$

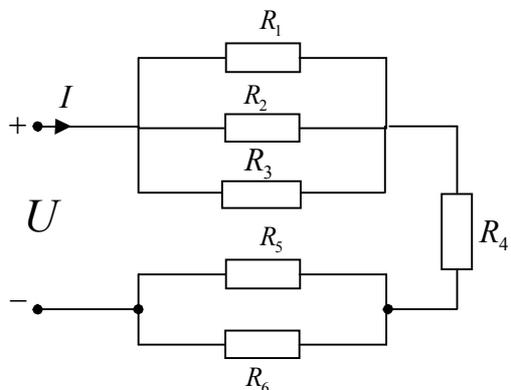
тугун потенциалларидаги кучланиш $U_{ab}=60\text{ В}$ бўлиб, кирувчи тармоқ токи $I=1,5\text{ А}$ ва қаршилик $R_2=120\text{ Ом}$ тенг. Тармоқ токлари, R_1 қаршилиги ва эквивалент қаршилиги ҳисоблаб топилсин.



Жавоб: $R_1=60\text{ Ом}$, $R_{эқв}=40\text{ Ом}$, $I_1=1\text{ А}$, $I_2=0,5\text{ А}$,

Масала 1-3. Аралаш схемада бириктирилган электр ток занжири $U=26\text{ В}$

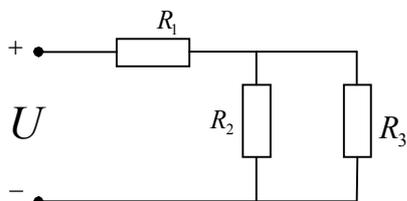
кучланишга уланган бўлиб, қаршилик параметрлари: $R_1=8\text{ Ом}$, $R_2=14\text{ Ом}$, $R_3=4\text{ Ом}$, $R_4=5,16\text{ Ом}$, $R_5=7,5\text{ Ом}$, $R_6=5\text{ Ом}$. Занжирнинг эквивалент қаршилиги ҳамда тармоқ токлари аниқлансин.



Жавоб: $R_{эқв}=10,4\text{ Ом}$, $I=2,5\text{ А}$, $I_1=0,7\text{ А}$, $I_2=0,4\text{ А}$, $I_3=1,4\text{ А}$, $I_5=1\text{ А}$, $I_6=1,5\text{ А}$,

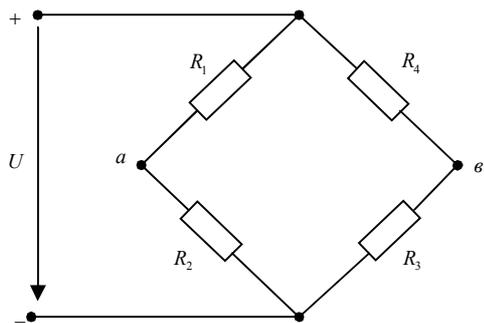
Масала 1-4. Электр ток занжири $U=60\text{ В}$ кучланишга уланганда, $P=300\text{ Вт}$

куват сарфланади. Қаршилик параметрлари $R_2=15\text{ Ом}$, $R_3=5\text{ Ом}$ тенг бўлганда, R_1 қаршилик қиймати ва тармоқ токлари аниқлансин.



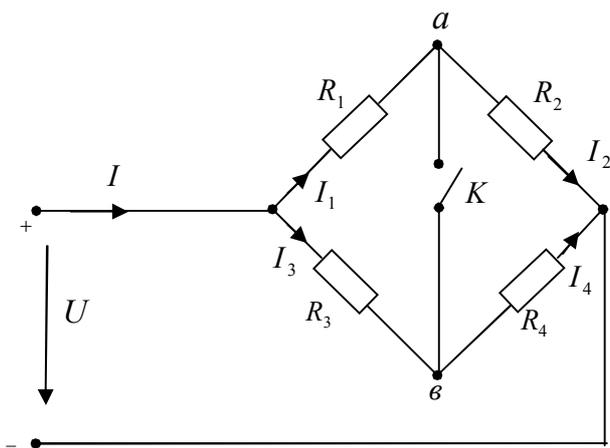
Жавоб: $R_1=8,25\text{ Ом}$, $I_1=3,75\text{ А}$, $I_2=1,25\text{ А}$, $I_3=1,25\text{ А}$,

Масала 1-5. Кўприк схемада уланган ток занжирининг қаршилик параметрлари $R_1=10 \text{ Ом}$, $R_2=20 \text{ Ом}$, $R_3=40 \text{ Ом}$, $R_4=30 \text{ Ом}$ бўлиб, $U=210 \text{ В}$ кучланишга уланган. U_{ab} – потенциал кучланиши аниқлансин.



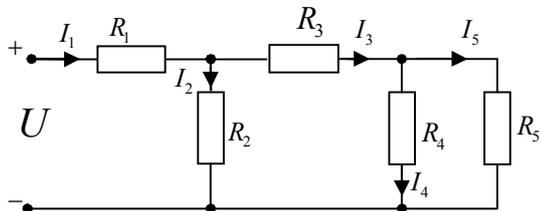
Жавоб: $U_{ab}=20 \text{ В}$

Масала 1-6. Қаршиликлари кўприк схемада уланган ток занжирининг параметрлари: $R_1=10 \text{ Ом}$, $R_2=20 \text{ Ом}$, $R_3=40 \text{ Ом}$, $R_4=30 \text{ Ом}$ кучланиши $U=15,6 \text{ В}$. Қалит уланган ва узилган ҳоллар учун эквивалент қаршилик ва қаршиликлардан оқиб ўтувчи тоқлар қиймати аниқлансин.



Жавоб: а) $R_{\text{экв}}=8 \text{ Ом}$, $I=1,95 \text{ А}$, $I_1=I_2=0,65 \text{ А}$,
 $I_3=I_4=1,3 \text{ А}$,
 в) $R_{\text{экв}}=7,8 \text{ Ом}$, $I=2 \text{ А}$,
 $I_1=0,5 \text{ А}$, $I_2=0,8 \text{ А}$,
 $I_3=1,5 \text{ А}$, $I_4=1,2 \text{ А}$

Масала 1-7. Аралаш схемада уланган электр ток занжири параметрлари: $R_1=50 \text{ Ом}$, $R_2=80 \text{ Ом}$, $R_3=20 \text{ Ом}$, $R_4=30 \text{ Ом}$, $R_5=60 \text{ Ом}$ бўлиб, тўртинчи тармоқдан оқиб ўтувчи тоқ $I_4=0,2 \text{ А}$ га тенг. Тармоқ тоқлари, занжир умумий кучланиши ва сарф бўладиган электр тоқ қуввати аниқлансин.

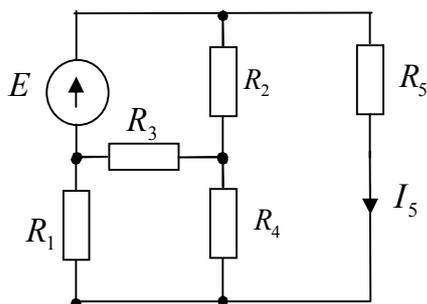


Жавоб: $U=34,5 \text{ В}$, $P=15,5 \text{ Вт}$

Масала 1-8. 1-7 масалада берилган схема параметрлари қийматлари бўйича $U=50 \text{ В}$ кучланишга уланган. I_4 тармоқ тоқи аниқланиб, сарф бўладиган қувват аниқлансин.

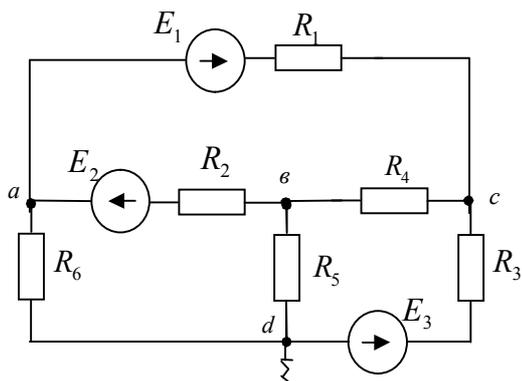
Жавоб: $P=32,5 \text{ Вт}$, $I_4=290 \text{ мА}$

Масала 1-9. Берилган электр тоқ схеманинг қаршилик параметрлари: $R_1=4 \text{ Ом}$, $R_2=6 \text{ Ом}$, $R_3=3 \text{ Ом}$, $R_4=20 \text{ Ом}$, $R_5=8,5 \text{ Ом}$ э.ю.к $E=24 \text{ В}$. Контурли тоқ усули ва эквивалент генератор усулига асосан бешинчи тармоқдан оқиб ўтувчи I_5 тоқ аниқлансин.



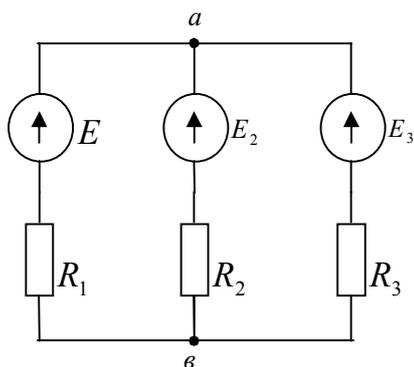
Жавоб: $I_5=2 \text{ А}$

Масала 1-10. Берилган электр ток занжирининг қаршилик параметрлари $R_1=R_3=R_6=3 \text{ Ом}$, $R_2=R_4=R_5=1 \text{ Ом}$, э.ю.к лари $E_1=E_2=E_3=48 \text{ В}$. Контурли ток усули ва тугунлараро кучланишлар усулига асосан тармоқ тоқлари аниқлансин.



Жавоб: $I_4=8 \text{ A}$, $I_1=5,33 \text{ A}$, $I_2=8 \text{ A}$, $I_3=13,33 \text{ A}$, $I_5=0$, $I_6=13,33 \text{ A}$,

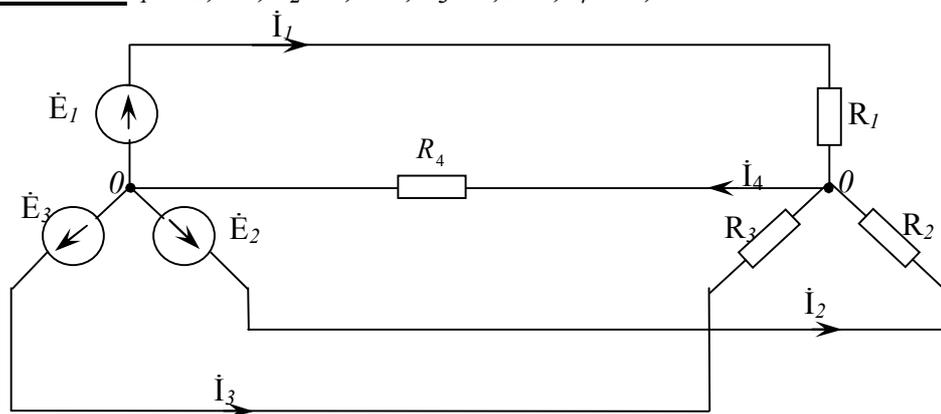
Масала 1-11. Берилган электр ток схеманинг параметрлари: $E_1=40 \text{ В}$, $E_2=5 \text{ В}$, $E_3=30 \text{ В}$, $R_1=5 \text{ Ом}$, $R_2=1 \text{ Ом}$, $R_3=3 \text{ Ом}$. Иккита тугун орасида потенциаллар кучланиш усули ва устма – устлик усулига асосан тармоқ тоқлари аниқлансин.



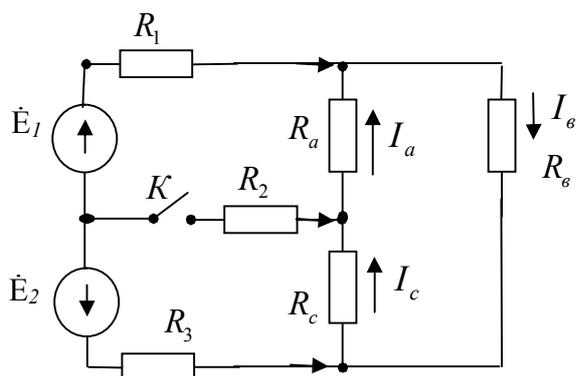
Жавоб: $I_1=5 \text{ A}$, $I_2=10 \text{ A}$, $I_3=5 \text{ A}$

Масала 1-12. Берилган схема параметрлари: $R_1=10 \text{ Ом}$, $R_2=20 \text{ Ом}$, $R_3=4 \text{ Ом}$. э.ю.к $E_1=20 \text{ В}$, $E_2=100 \text{ В}$, $E_3=80 \text{ В}$, бўлганда тугунлараро кучланишлар усулига асосан тармоқ тоқлари аниқлансин.

Жавоб: $I_1=-3,4 \text{ A}$, $I_2=2,3 \text{ A}$, $I_3=6,5 \text{ A}$, $I_4=-5,4 \text{ A}$



Масала 1-13. Берилган электр ток занжири параметрлари: $R_1=R_2=R_3=10 \text{ Ом}$, $R_a=25 \text{ Ом}$, $R_b=50 \text{ Ом}$, $R_c=50 \text{ Ом}$, бўлиб, $E_1=E_2=120 \text{ В}$ ўзгармас ток манбага уланган. Калит “К” уланган ҳолат учун тармоқ тоқлари аниқлансин.

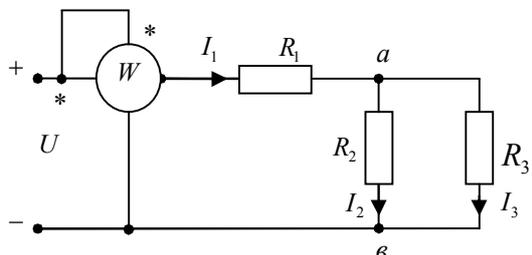


Жавоб: $I_a=2,4 \text{ A}$, $I_b=-2,85 \text{ A}$, $I_c=1,65 \text{ A}$

Масала 1-14. 1-13 масалада берилган схема шарти бўйича $I_a=2\text{ A}$, $I_e=-3\text{ A}$, $I_C=2\text{ A}$ (тоқлар йўналиши стрелкада кўрсатишига мос) бўлганда E_1 ва E_2 манба кучланишлари аниқлансин.

Жавоб: $E_1=100\text{ B}$, $E_2=-150\text{ B}$

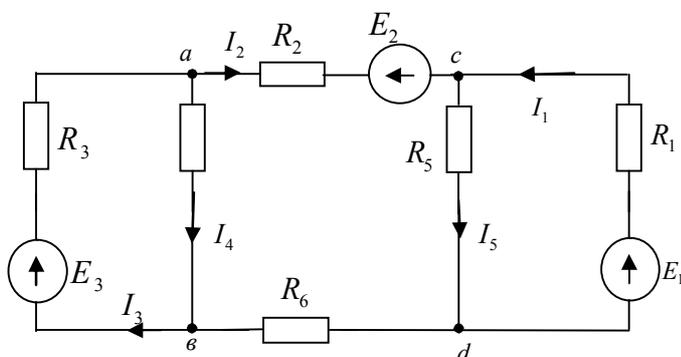
Масала 1-15. Аралаш схемада уланган ток занжири қаршилик параметрлари:



$R_2=20\text{ Ом}$, $R_3=30\text{ Ом}$ бўлиб, $U=625\text{ B}$ кучланишга уланган. Ваттметр кўрсатиши $P=32,25\text{ кВт}$ бўлган ҳолатда R_1 – қаршилик, тармоқ тоқлари I_2 , I_3 ва R_2 , R_3 – қаршиликларда сарф бўладиган қувват аниқлансин.

Жавоб: $I_2=3\text{ A}$, $I_3=2\text{ A}$, $R_1=113\text{ Ом}$, $P_2=180\text{ Вт}$, $P_3=2\text{ Вт}$

Масала 1-16. Берилган электр ток занжирининг параметрлари:



$R_1=6\text{ Ом}$, $R_2=2\text{ Ом}$, $R_3=2\text{ Ом}$, $R_4=6\text{ Ом}$, $R_5=2\text{ Ом}$, $R_6=6\text{ Ом}$ э.ю.к $E_1=80\text{ B}$, $E_2=6\text{ B}$, $E_3=120\text{ B}$ бўлиб, биринчи тармоқ тоқи $I_1=8\text{ A}$ тенг. Ом ва Кирхгоф қонунларига асосан тармоқ тоқлари аниқлансин.

Жавоб: $I_2=8\text{ A}$, $I_3=21\text{ A}$, $I_4=13\text{ A}$, $I_5=16\text{ A}$

Масала 1-17. Электр иситгич $U=220\text{ B}$ кучланишга мўлжалланган бўлиб, $P=600\text{ Вт}$ электр ток қувватини сарфлайди. Агар шу электр иситгич $U=110\text{ B}$ кучланишга уланганда қанча қувват сарфлайди.

Жавоб: $P=150\text{ Вт}$

Масала 1-18. Электр ток қуввати $P=40\text{ Вт}$ бўлган 10 лампочка ҳар куни 6 соат ёнади. 30 кун давомида сарф бўладиган электр ток энергияси аниқланиб, 1 кВт/соат энергия, қанча сарф харажат бўлиши ҳисоблаб топилсин.

Жавоб: $W=72\text{ кВт/соат}$, сарф харажат нули: 2520 сўм .

1-4. Синов саволлари:

1. Электротехника фани нимани ўргатади?
2. Ўзбекистон энергетикасининг ривожланиши тарихида нималарни биласиз?
3. Электротехника фанининг ривожланишига хисса қўшган буюк олимларни биласизми?
4. Электр ток занжири қайси қисмлардан иборат?
5. Ўзгармас ток манбаларини биласизми?
6. Э.юк ва ток манбалари нима?
7. Электр занжири асосий элементлари ҳақида маълумот беринг.
8. Тармоқланган электр ток занжирларини чизиб; тармоқ тугун, контур нима эканлигини изохлаб беринг.
9. Электр майдон кучланганлиги нима?
10. Электр сиғимини изохлаб беринг ва ўлчов бирлиги нима?
11. Электр майдонининг куч чизиқлари эквипотенциал сиртларга нисбатан қандай йўналган?
12. Сиғими $C=0,1$ мкФ бўлган ҳаволи конденсатор қопламалари орасидаги масофа $0,5$ мм га тенг бўлса, қопламаларнинг юзаси S қанча бўлиши керак?
13. Кучланиш $U=1$ кВ, сиғими $C=0,1$ мкФ бўлган конденсаторда қанча миқдорда энергия тўпланади?
14. Нуқтавий зарядланган заррачаларнинг ўзаро таъсир кучи қайси қонунга асосан аниқланади?
15. Потенциаллар фарқи, кучланиш нима ва ўлчов бирлиги нима?
16. Занжирнинг бир қисми ва бутун занжир учун Ом қонунини ёзинг.
17. Электр занжирлари учун Кирхгоф қонунларини ифодалаб беринг.
18. Электр ток қуввати, (актив қувват) қандай ифодаланади ва нимада ўлчанади?
19. Электр ўлчов асбоблари: амперметр. вольтметр ва ваттметрлар электр схемасига қандай уланади?
20. Электр манбаи ташқи характеристикасини чизинг ва изоҳ беринг. Қисқа туташув ва салт ҳолат деганда нима тушунасиз?
21. Мураккаб занжирларни ҳисоблаш усулларига изоҳ беринг.
22. Потенциал диаграмма нима ва қандай қурилади?
23. Қувватлар баланси тенгламасини ёзинг.
24. Қайси ҳолатда эквивалент генератор усулидан фойдаланиш қулай ҳисобланади ва қандай амалга оширилади?
25. Актив ва пассив 2-күтблик занжир нима?
26. Электр ва магнит майдон энергияси ифодасини ёзинг.
27. Э.Ю.К. манбадан эквивалент ток манбага ўзгартириш қондаси қандай?
28. Иккита потенциалдан иборат бўлган схема учун тугунлараро усулига асосан тенглама тузинг.
29. Устма – устлик усулини изохлаб беринг.
30. Юлдузчадан учбурчакга ўтиш ва аксинча ҳолат алмаштириш формуласини ёзинг.

31. 2-кутбли линиядан истемолчига максимал қувват узатиш шартини тушунтиринг ва тенгламасини ёзинг.
32. Актив қаршилиқ ёки ўтказувчанлик қандай ифодаланади?
33. Манбанинг ички қаршилиги деганда нима тушунамиз.
34. Электр ток энергияси бажарган иш тенгламаси қандай ифодаланади?

2 – Боб.

Синусоидал ўзгарувчан ток занжирлари.

2-1. Асосий назарий тушунчалар.

Синусоидал даврий ўзгарувчан ток оний қиймати куйидаги функция кўринишда ифодаланади.

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i); \quad (2 - 1)$$

i – синусоид ўзгарувчан токнинг оний қиймати

I_m – амплитуда ёки максимал қиймат

φ_i – бошлангич фаза – (град)

ω – бурчак частота – (рад/сек)

f – частота – (Гц)

T – давр – (сек)

Синусоидал ўзгарувчан токнинг эффектив ёки таъсир этувчи қиймати:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2 - 2)$$

Синусоидал ўзгарувчан токнинг ярим даврдаги ўртача қиймати:

$$I_{yp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt = \frac{2}{\pi} I_m \quad (2 - 3)$$

Синусоидал ўзгарувчан токнинг форма ва амплитуда коэффициентлари:

$$K_\phi = \frac{I}{I_{cp}}; \quad K_a = \frac{I_m}{I}; \quad (2 - 4)$$

Синусоидал ўзгарувчан ток занжири учун Ом қонуни:

$$I = \frac{U}{z} = Uy(A); \quad (2 - 5)$$

ёки: бурчак коэффициентлари:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{R}{z} = \frac{g}{y}; & \sin \varphi &= \frac{x}{y} = \frac{b}{y}; \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{x}{R} = \frac{b}{g}; & \varphi &= \operatorname{arctg} \frac{x}{R} = \frac{b}{g}; \end{aligned} \quad (2 - 6)$$

Тўла қаршилик:

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2} \text{ (Ом)}; \quad (2 - 7)$$

Кетма – кет уланган R – актив; L – индуктив; C – сиғим қаршиликлар бўлганда, реактив қаршилик:

$$\underline{X} = \underline{X}_L - \underline{X}_C \quad (2 - 8)$$

Электр занжири индуктив характерга эга бўлганда: $\omega L > \frac{1}{\omega c}$; $X_L > 0$; $\varphi > 0$

Сигим характерга эга бўлса: $\omega L < \frac{1}{\omega c}$; $\varphi < 0$; $x_c < 0$.

Тўла ўтказувчанлик: $y = \sqrt{g^2 + b^2} \left(\frac{1}{\text{Ом}} = \text{сименс} \right)$; (2 - 9)

Эквивалент параметрлар ўхшашлик тенгламалари:

$$g = \frac{R}{z^2}; \quad b = \frac{X}{z^2}; \quad y = \frac{1}{z}; \quad (2 - 10)$$

$$R = \frac{g}{y^2}; \quad X = \frac{b}{y^2}; \quad z = \frac{1}{y}; \quad (2 - 11)$$

Истемолчилари кетма – кет уланган ток занжирларида эквивалент қаршилиқ:

$$R_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n R_n; \quad X_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n X_n \quad (2 - 12)$$

Параллел уланган холда:

$$g_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n g_n; \quad b_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n b_n \quad (2 - 13)$$

Ток ва кучланишларнинг актив ва реактив ташкил этувчилари:

$$\begin{aligned} U_a &= IR = U \cos \varphi; & I_a &= Ug = U \cos \varphi; \\ U_p &= IX = U \sin \varphi; & I_p &= Ub = U \sin \varphi; \\ U &= \sqrt{U_a^2 + U_p^2}; & I &= \sqrt{I_a^2 + I_p^2}; \end{aligned} \quad (2 - 14)$$

1. Синусоидал ўзгарувчан токнинг қувват ифодалари:

Синусоидал ўзгарувчан токнинг оний қиймати $\varphi = 0$ бўлганда:

$$P = ui [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] \quad (2 - 15)$$

Актив қувват:

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = U^2 g = U I_a = U_a I [Bm, \kappa Bm] \quad (2 - 16)$$

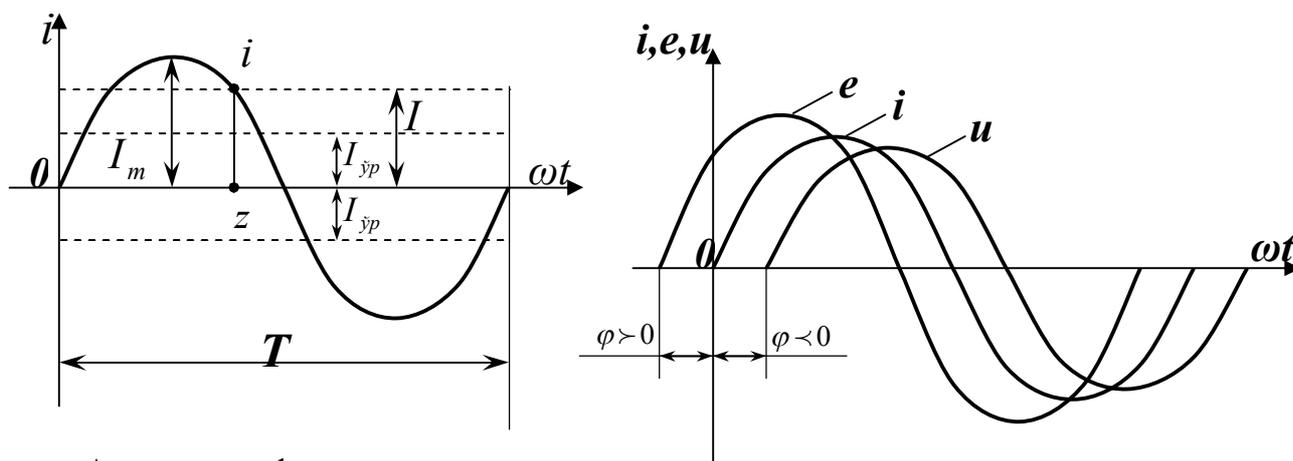
Реактив қувват:

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 x = U^2 b = U I_p = U_p I [Bap, \kappa Bap] \quad (2 - 17)$$

Тўла қувват:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI = I^2 z = U^2 y [Ba, \kappa Ba] \quad (2 - 18)$$

2. Синусоидал ўзгарувчан ток, кучланиш ва э.ю.к. график ифодаси:



Аналитик ифодаси:

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e); u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u); i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i - \varphi) \quad (2-19)$$

$$\text{Фаза фарқи:} \quad \varphi = \varphi_u - \varphi_i \quad (2 - 20)$$

3. Синусоидал ўзгарувчан токнинг вектор ифодаси ёки вектор диаграммасини тузишда қуйидагиларга эътибор бериш зарур:

- Актив – қаршиликда ток ва кучланиш векторлари устма – уст тушади ($\varphi = 0$).
- Индуктивликда кучланиш вектори U , ток вектори I га нисбатан 90° фарқ қилиб, олдинга кетади ($\varphi > 0$).
- Сиғим қаршиликда кучланиш U , I токга нисбатан 90° орқада қолади ($\varphi < 0$).
- ЭлектрОмагнит индукция (ўз индукция, ўзароиндукция) қонунига асосан индуктивликда, ўзгарувчан ток ҳосил қилувчи электр юритувчи куч вектори E , магнит оқим вектори Φ ёки Ψ нисбатан 90° фарқ қилиб, орқада қолади ($\varphi_c = -90^\circ$).
- Индуктивлик кучланиш U_L векторига нисбатан э.ю.к. вектори E , -180° фарқ қилиб, тенг ва қарама - қарши йўналишда ифодаланади.
- Қаршиликлар учбурчак вектор ифодасидан R ва Z ҳамда g ва y орасидаги бурчак φ -га тенг.

2-2. Масала ечиш.

Масала 2 – 1. Ўзгарувчан магнит оқими $\Phi = 0,01 \sin 314t$ (вб) бўлиб, чўлғамлар сони $W = 50$ бўлганда ғалтак айланма ҳаракатланиши натижасида ҳосил бўладиган э.ю.к.ни аниқланг.

Ечиш:

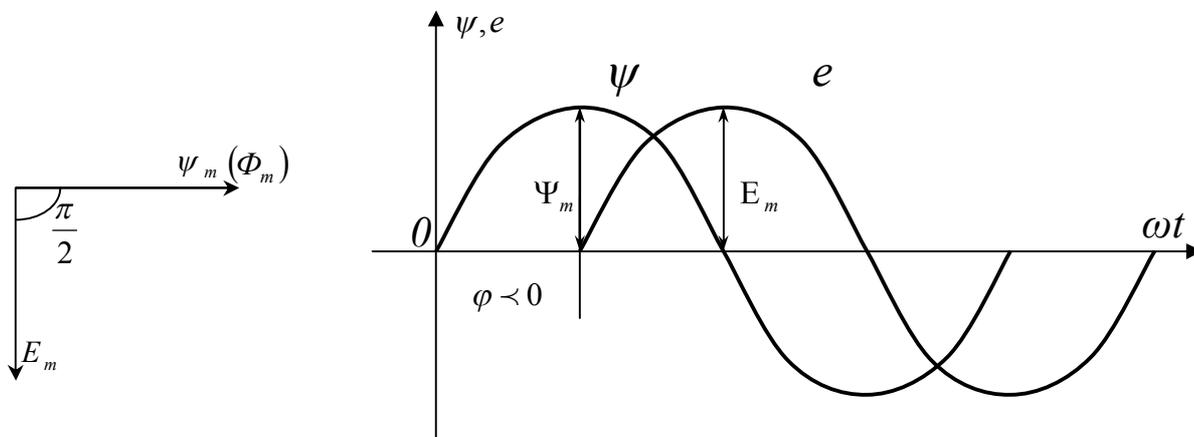
Ғалтакнинг илашган магнит оқими: $\psi = w\phi = 0,5 \sin 314t = \psi_m \sin t$

Ўзиндукция қонунига асосан: $e = -\frac{d\psi}{dt} = \omega\psi_m \cos\omega t = E_m \sin(\omega t - 90^\circ)$

ёки: $E_m = \omega\psi_m = 157(B)$

э.ю.к. эффектив қиймати: $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 90(B)$

Вектор ифодаси ва графигини чизамиз.



Масала 2 – 2. Ўрамлар сони $W = 20$, юзаси $S = 100$ (см²) бўлган халқа, магнит индукцияси $B = 2$ (вб/м) тенг бўлган магнит майдон ичида $n = 6000$ (айл/мин) тезлик билан айланганда, халқада ҳосил бўладиган магнит оқими, оний қиймати, э.ю.к. амплитудаси, даври ва частотаси аниқланиб вектор ифодаси ва вақтга нисбатан ўзгарувчан диаграммаси тузилсин.

Ечиш:

Халқанинг бошлангич ҳолатини $\alpha = 0$ олсак, $\alpha = \omega t$ бўлиб халқа айланиши натижасида кесиб ўтувчи магнит оқимнинг оний қиймати:

$$\Phi = BS \cos\alpha = \Phi_m \cos\omega t$$

Халқада ҳосил бўладиган илашган магнит оқим оний қиймати:

$$\psi = \Phi W = W\Phi_m \cos\omega t = \psi_m \cos\omega t = 20 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10^{-4} \cos 628t = 0,4 \sin(628t + 90^\circ)$$

Бунда:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,146000}{60} = 628 \left(\frac{1}{\text{сек}} \right) - \text{бурчак частота}$$

Халқада ҳосил бўладиган э.ю.к. оний қиймати:

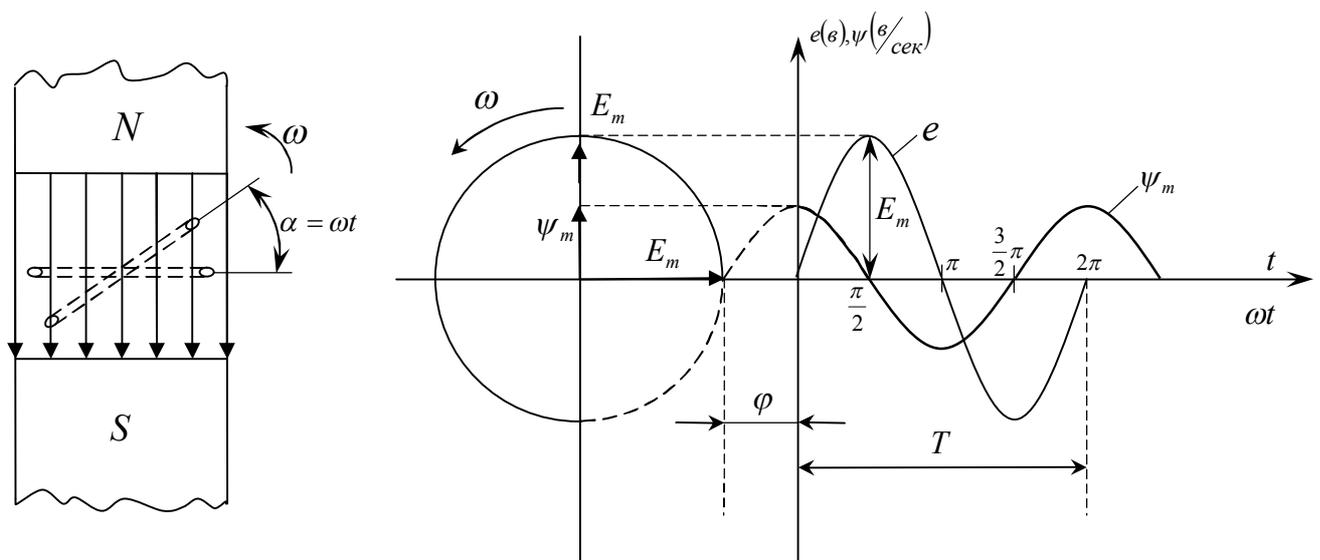
$$e = -\frac{d\psi_m}{dt} = -\frac{d}{dt}(\psi_m \cos\omega t) = \omega\psi_m \sin\omega t = E_m \sin\omega t = 251,2 \sin 628t$$

Халқа T даврда бир маротаба айланади: $\omega T = 2\pi$

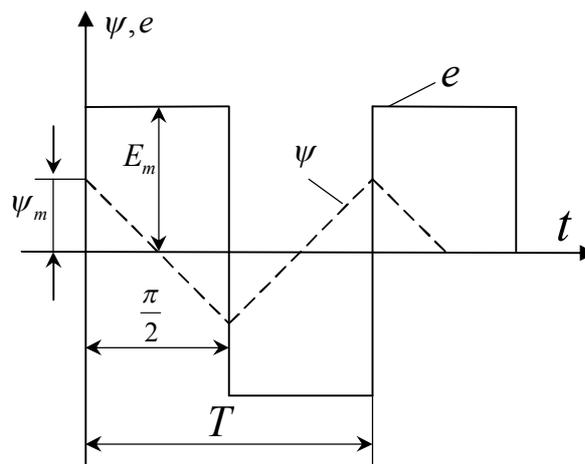
Бундан: $T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,01(\text{сек})$

Ўзгарувчан ток частотаси: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,01} = 100(\Gamma\text{ц})$

Вектор ифодаси чизамиз;



Масала 2 - 3. Ўрамлар сони ψ бўлган айланма ҳаракатланувчи ғалтакда индукцияланган э.ю.к. тўғри бурчакли импульсли формага эга бўлиб, э.ю.к. амплитудаси: $E_m = 10$ (В) ва $f = 50$ (Гц) тенг. э. ю. к. E ўртача ва эффектив қийматлари, амплитуда ва форма коэффициенти ҳамда магнит оқими қийматлари аниқлансин.



Ечиш:

Э.ю.к. ўртача қиймати:
$$E_y = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} e dt = \frac{2}{T} E_m \frac{T}{2} = E_m = 10(\text{В})$$

Эффектив қиймат,
$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} E_m^2 T} = E_m = 10(\text{В})$$

Амплитуда ва форма коэффициентлари:
$$K_a = \frac{E_m}{E} = 1, K_\phi = \frac{E}{E_{yp}} = 1$$

Ўз индукция қонунига асосан:
$$\psi = -\int e dt$$

Келтирилган функцияда ψ тўғри бурчакли учбурчак шаклида ўзгарувчан бўлиб, $T = 0,02$ сек = 20 м сек тенг, ёки:

$$E_{yp} = \frac{\Delta\psi}{\Delta t}$$

Бундан $\Delta\psi = E_{yp}\Delta t$ ҳамда $\Delta\psi = 2\psi_m, \Delta t = \frac{T}{2}$ бўлганлиги учун ғалтакдаги магнит оқим ψ қиймати: $\psi_m = \frac{1}{2}\Delta\psi = \frac{1}{2}E_{cp}\frac{T}{2} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \frac{0,02}{2} = 0,05 \text{ вб} = 50 \text{ (мВб)}$

Масала 2-4. Синусоидал ўзгарувчан ток кучланиши $U=120\sin 1000t$ бўлган генераторга индуктив қаршилик уланган бўлиб, синусоидал ток оқиб ўтади:
 $i = 8\sin(1000t - 53^\circ)$.

Ўзгарувчан кучланиш частотаси 2 мартага камайганда: индуктив ғалтакнинг актив қаршилиги, индуктивлиги, ток қиймати ва фаза бурчаги аниқлансин.

Ечиш:

Масаланинг шарти бўйича умумий қаршилик:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = 15(\text{Ом}) \text{ бўлиб, фаза бурчаги } \varphi = \varphi_u - \varphi_i = 53^\circ$$

Қаршиликлар учбурчак ифодасига асосан:

$$R = Z \cos\varphi = 15 \cos 53^\circ = 9(\text{Ом})$$

$$X = Z \sin\varphi = 15 \sin 53^\circ = 12(\text{Ом})$$

Индуктивлик: $L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{12}{1000} = 0,012 \text{ гн} = 12(\text{мГн})$

Кучланиш частотаси икки мартага камайтирилган ҳолда, индуктив қаршилик ҳам икки мартага камайди: $x'_L = 6 \text{ ом}$

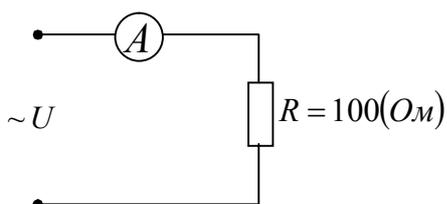
Фаза фарқи эса: $\varphi' = \arctg \frac{x'_L}{R} = \frac{6}{9} = 33^\circ 40'$

Тўла қаршилик: $Z' = \frac{x'_L}{\sin\varphi'} = 10,8(\text{Ом})$

Ток амплитудаси: $I'_m = \frac{U_m}{z'} = \frac{120}{10,8} = 11,09(\text{А})$

Токнинг оний қиймати: $i = 11,09 \sin(500t - 33^\circ 40')$

Масала 2-5. Ўзгарувчан ток кучланиши $U = 283 \sin t$ бўлган генераторга, актив қаршилиги $R = 10(\text{Ом})$ реостат уланган, Реостатдан оқиб ўтувчи токнинг эффе́ктив, оний қиймати ва ўртача қувват қиймати аниқланиб, вақт бўйича ўзгарувчан диаграммаси чизилсин.



Ечиш:

Токнинг амплитуда қиймати $I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{283}{10} = 28,3(A)$;

Эффектив қиймати: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 20(A)$

Оний қиймати эса: $i = I_m \sin \omega t = 28,3 \sin 314t$

Актив қувватнинг ўртача қиймати: $P_{yp} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt = UI = I^2 R = 4000 BT = 4(kBm)$

Қувватнинг оний қиймати: $P = ui = UI + UI \sin(2\omega t - 90) = [4 + 4 \sin(2\omega t - 90)]kBm$

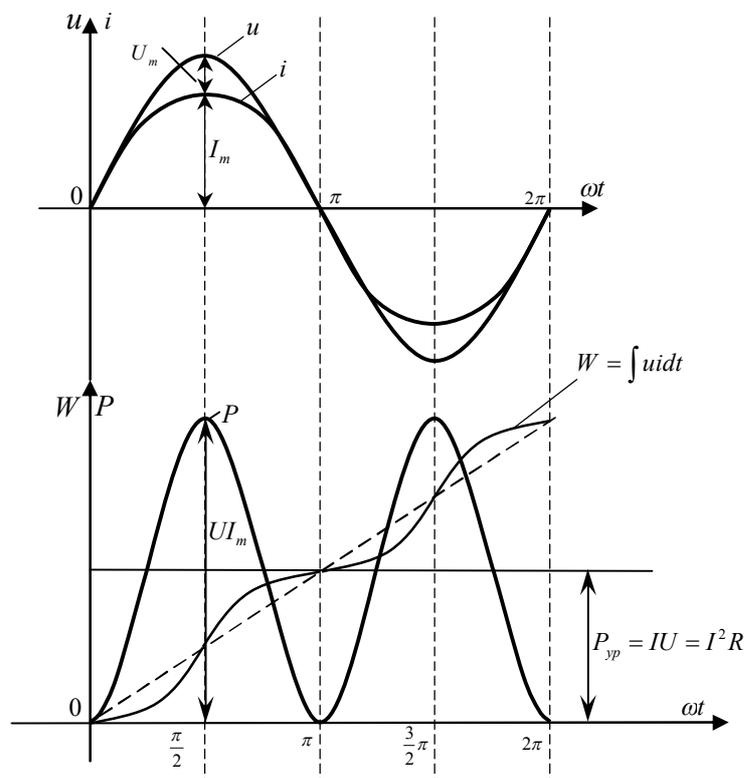
Электр энергиясининг оний қиймати:

$$W = \int P dt = UI t - \frac{UI}{2\omega} \sin 2\omega t = 4000t - \frac{4000}{2 \cdot 314} \sin 2\omega t = (4000 - 6,37 \sin 2\omega t)(Дж)$$

Джоул-Ленц қонунига асосан актив қаршиликда (реостатда) ўзгарувчан электр ток энергияси иссиқлик энергияси ажиралиб сарф бўлади.

Актив қувват вақт бўйича ўзгарувчан диаграммаси чизмада келтирилган.

Бунда ток ва кучланиш орасидаги бурчак $\varphi = 0$ бўлиб, I_m ва U_m вектор ифодалари устма - уст тушади.



Масала 2-6. Индуктивлиги $L = 0,27 (Гн)$, актив қаршилиги $R = 49 (Ом)$ бўлган реактив ғалтак, синусоидал ўзгарувчан ток частотаси $f = 50 (Гц)$, $U = 220(B)$ кучланишга уланган.

Токнинг эффектив қиймати I , ток ва кучланиш орасидаги бурчак φ аниқланиб вектор ифодаси тузилсин.

Ечиш:

Ом қонунига асосан: $I = \frac{U}{z} = \frac{220}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{220}{\sqrt{49^2 + (314 \cdot 0,27)^2}} = 2,24(A)$

Бунда:

$$\omega = 2\pi f = 314 \cdot 2 \cdot 50 = 314 (\text{рад/сек})$$

Бурчак фазаси:

$$\varphi = \arctg \frac{x}{R} = \frac{100}{49} = 2 = 60^\circ$$

ёки фаза фарқи

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0 - 60^\circ = -60^\circ$$

Токнинг оний қиймати:

$$i = \sqrt{2}I = 3,16 \sin(\omega t - 60^\circ) (A)$$

Кучланиш оний қиймати:

$$u = 220 \sin \omega t (B)$$

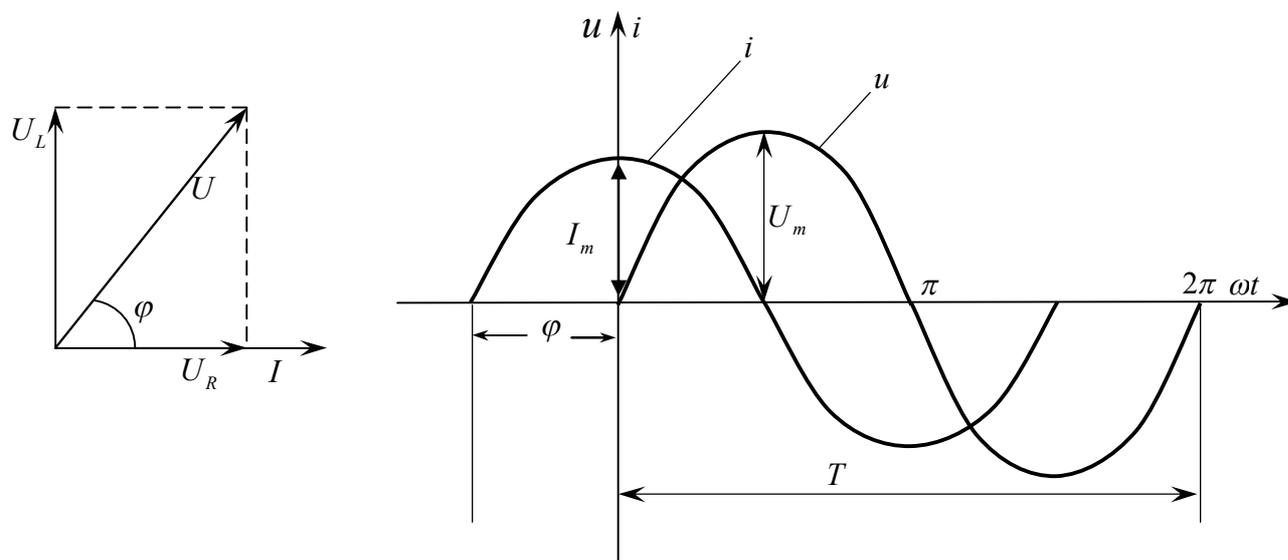
Бундан:

$$U_m = \sqrt{2}U = 1,41 \cdot 220 = 310 (B)$$

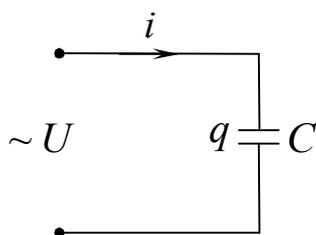
Масштаб танлаб, ток ва кучланишлар вектор ифодасини ва вақт бўйича ўзгарувчан диаграммасини тузамиз.

Бунда R ва X_L қаршиликлардаги кучланиш: $U_R = IR = 2,24 \cdot 49 = 115 (B)$;

$$U_L = I X_L = 2,24 \cdot 100 = 224 (B);$$



Масала 2–7. Сиғими $C=41,6(\text{мкф})$ бўлган конденсатор $u = 120 \sin(314t + \frac{\pi}{4})$



кучланишга уланган. Сиғим, токи i , заряди Q , қуввати P_c ва электр майдон энергияси $Wэ$ аниқлансин.

Ечиш:

Сиғим қаршилигини аниқлаймиз:

$$X_c = \frac{1}{\omega c} = 76,6 (Ом)$$

Токнинг амплитуда қиймати:

$$I_m = \frac{U_m}{x_c} = 1,57 (A)$$

Ток ва кучланиш орасидаги фаза фарқи:

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_i = \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2} = \frac{3}{4}\pi$$

Токнинг оний қиймати:

$$i = 1,57 \sin(314t + \frac{3}{4}\pi) (A)$$

Сиғимдаги заряднинг оний қиймати:

$$Q = CU = 416 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \sin(314t + \frac{\pi}{4}) = 5 \sin(314t + \frac{\pi}{4}) (\text{мкф})$$

Қувватнинг оний қиймати:

$$P = U_m I_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t + 2\varphi_U - \varphi)] = -UI \cos 2\omega t$$

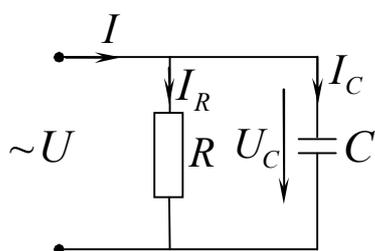
Бунда $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ ва $\varphi_U = \frac{\pi}{4}$ бўлганлиги учун:

$$P = \frac{120 \cdot 1,57}{2} \cos 2\omega t = 93,2 \cos 2\omega t (\text{Вт})$$

Сигимда ҳосил бўладиган электр майдон энергияси:

$$W_s = \frac{CU^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot 416 \cdot 10^{-6} \cdot 120^2 \sin^2(314t + \frac{\pi}{4}) = 0,15(1 + \sin 628t) (\text{Дж})$$

Масала 2-8. Параллел схемада уланган ток занжирининг кучланиши $U=150(\text{В})$, $I=5(\text{А})$, $I_R=3(\text{А})$ ва частотаси $f=50(\text{Гц})$ тенг. Сигим параметри C , ҳамда занжирда сарф бўладиган тўла қувват аниқлансин.



Ечиш:

Пифагор теоремасига асосан тоқлар учбурчак вектор ифодасидан:

$$I_C^2 = I^2 - I_R^2 = \sqrt{25 - 9} = 4(\text{А})$$

Сигимдаги кучланиш: $U_C = \frac{I_C}{x_C} = \frac{I_C}{\omega C} (\text{В})$

Бундан сигим параметри: $C = \frac{I_C}{U_C \omega} = \frac{4}{150 \cdot 314} = 85(\text{мкф})$

Электр занжирнинг тўла қуввати: $S = UI = 150 \cdot 5 = 750 (\text{ВА})$

Актив қаршилик қуввати: $P = UI_R = 150 \cdot 3 = 450 (\text{Вт})$

Сигим қаршилик реактив қуввати: $Q_C = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{750^2 - 450^2} = 600 (\text{Вар})$

Масала 2-9. Ўзгарувчан ток частотаси $f = 500 (\text{Гц})$ бўлган ток занжирида индуктивлиги $L=5(\text{мГн})$, тоқи $I = 10(\text{А})$ бўлиб, $P = 1(\text{кВт})$ қувват сарфланади.

Умумий кучланиш U ва қувват коэффиценти $\cos \varphi$ аниқлансин.

Ечиш:

Актив қувват тенграмасидан: $P = I^2 R$; $R = \frac{P}{I^2} = \frac{1000}{10} = 100(\text{Ом})$

Ғалтак тўла қаршилиги: $Z_k = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{100^2 + (6,28 \cdot 500 \cdot 5 \cdot 10^{-3})^2} = 18,6(\text{Ом})$

Кучланиш: $U = IZ_k = 10 \cdot 18,6 = 186 (\text{В})$

Қувват коэффициенти: $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{1000}{IU} = \frac{1000}{186 \cdot 10} = 0,54$

Масала 2–10. Кучланиш $U = 283 \sin 500t$ бўлган генераторга, параметрлари $L = 0,016 \text{ Гн}$, $R = 6 \text{ Ом}$ бўлган индуктив ғалтак уланган бўлиб, шу ғалтакдан оқиб ўтувчи токнинг оний қиймати (i_i) актив, реактив кучланишлари (U_a, U_p), тўла қувват (S) аниқланиб, кучланишлар учбурчак вектор ифодаси чизилсин.

Ечиш:

Индуктив қаршилик: $X_i = \omega L = 500 \cdot 0,016 = 8(\text{Ом})$

Фаза фарқи: $\varphi = \arctg \frac{x}{R} = \arctg \frac{8}{6} = 53^\circ$

$\varphi_i = \varphi_U - \varphi = -53^\circ$

Тўла қаршилик: $Z = \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10(\text{Ом})$

Ток амплитудаси: $I_m = \frac{U_m}{z} = \frac{283}{10} = 28,3(\text{А})$

Оний қиймати: $i_m = 28,3 \sin(500t - 53^\circ)(\text{А})$

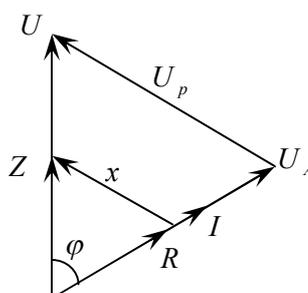
Актив ва реактив кучланишлар: $U_{ma} = U_m \cos \varphi = 170(\text{В})$, $U_{mp} = U_m \sin \varphi = 226(\text{В})$

Тўла қувват: $S = UI = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 400 \text{ в} \cdot \text{а} = 4(\text{кВ} \cdot \text{м})$

Актив қувват: $P = S \cos \varphi = 4 \cdot 0,6 = 2,4(\text{кВ} \cdot \text{м})$

Реактив қувват: $Q = S \sin \varphi = 4 \cdot 0,8 = 3,2(\text{кВ} \cdot \text{ар})$

Вектор ифодасини тузамиз.

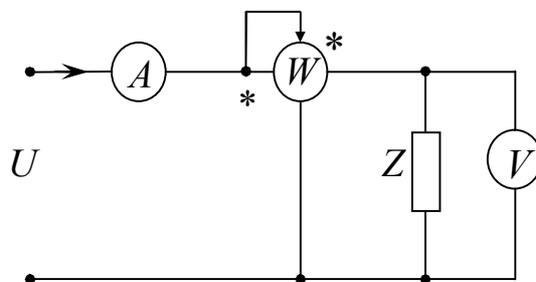


Актив қаршиликдаги кучланиш вектори (U_a), ток вектори билан устма- уст тушади шу сабабли $\varphi_{ua} = -53^\circ$.

U_p - кучланиш эса ток векторига нисбатан 90° фарк килиб $\varphi_{Up} = 37^\circ$ тенг.

Яни: $U_a = 170 \sin(500t - 53^\circ) \text{ в}$, $U_p = 226 \sin(500t + 37^\circ) \text{ в}$

Масала 2-11. Берилган электр ток занжирига уланган электр асбоблари: амперметр токи $I=20 \text{ А}$, вольтметрдаги кучланиш $U=100 \text{ В}$ ва ваттметр қуввати $P=1200 \text{ Вт}$ тенг. Электр занжир индуктив ($\varphi > 0$) ҳарактерга эга бўлган ҳолат учун ўхшашлик эквивалент схемаси тузилиб, қаршиликлари параметрлари аниқлансин ҳамда учбурчак вектор ифодалари тузилсин.



Ечиш:

Тўла қаршилик:

$$Z = \frac{U}{I} = 5(\text{Ом})$$

Актив қаршилик:

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{1200}{20^2} = 3(\text{Ом})$$

Индуктив қаршилик:

$$x_L = \sqrt{z^2 - R^2} = 4(\text{Ом})$$

Актив қаршилик кучланиш:

$$U_R = U_a = IR = 60(\text{В})$$

Индуктивлик реактив кучланиши:

$$U_L = U_p = Ix_L = 80(\text{В})$$

Актив ўтказувчанлик:

$$g = \frac{R}{z^2} = 0,12 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right)$$

Индуктив ўтказувчанлик:

$$b_L = \frac{x_L^2}{z} = 0,16 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right)$$

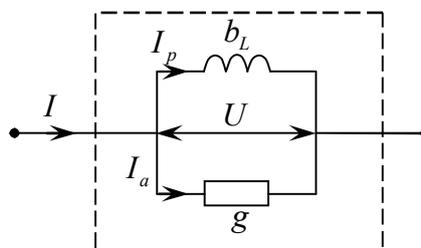
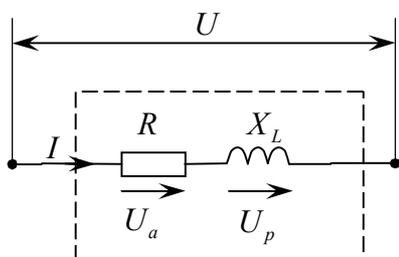
Тўла ўтказувчанлик:

$$y = \frac{1}{z} = \sqrt{g^2 + b_L^2} = 0,2 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right)$$

Электр ўлчов асбоблари курсатган қийматлари бўйича:

$$g = \frac{P}{U^2} = 0,12 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right); \quad y = \frac{I}{U} = 0,2 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right); \quad b_L = \sqrt{y^2 - g^2} = 0,16 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right)$$

Аниқланган қийматлар асосида эквивалент ўхшашлик схемасини тузамиз.



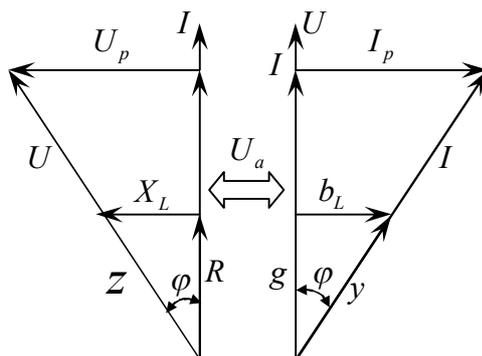
Бундан актив қаршиликдаги ток:

$$I_R = I_a = Ug = 12 (A)$$

Индуктивликда реактив ток:

$$I_L = I_p = Ub_L = 16 (A)$$

Қаршиликлар ўтказувчанликлар, ток ва кучланишлар эквивалент (ўхшашлик) вектор ифодаси куйидаги кўринишда бўлади.



Масала 2 - 12. Индуктивлиги $L = 0,18(\Gamma\text{H})$ актив қаршилиги $R = 30(\text{Ом})$ тенг бўлган индуктив ғалтак, сиғими $C = 40(\text{мкФ})$ бўлган конденсатор билан кетма-кет схемада бириктирилиб, $U = 250 \sin 500t(\text{В})$ манба кучланишига уланган. Ток (I_m), фаза бурчаги (φ), индуктивлик ва сиғим кучланишлари аниқланиб вектор ифодаси тузилсин.

Ечиш:

Реактив қаршиликлар ифодасига асосан:

$$x_L = \omega L = 500 \cdot 0,18 = 90(\text{Ом})$$

$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{10^3}{500 \cdot 40} = 50(\text{Ом})$$

$$x = x_L - x_C = 40(\text{Ом})$$

Тўла қаршилик $z = \sqrt{R^2 + x^2} = 50(\text{Ом})$

Ток амплитудаси : $I_m = \frac{U_m}{z} = \frac{250}{50} = 5(\text{А})$

Ток ва кучланиш орасидаги фаза фарқи:

$$\varphi = \arctg \frac{x}{R} = \arctg 1,33 = 53^\circ 8'$$

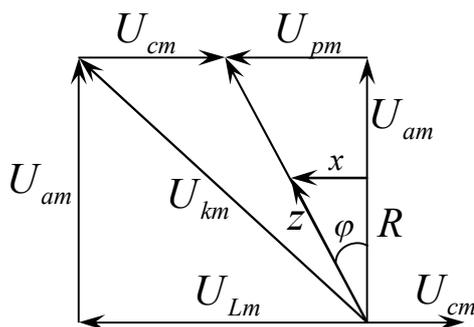
Сиғимдаги кучланиш: $U_{cm} = x_C I_m = 5 \cdot 50 = 250 \text{ В}$

Индуктивликдаги кучланиш: $U_{Lm} = x_L I_m = 90 \cdot 5 = 450 \text{ В}$

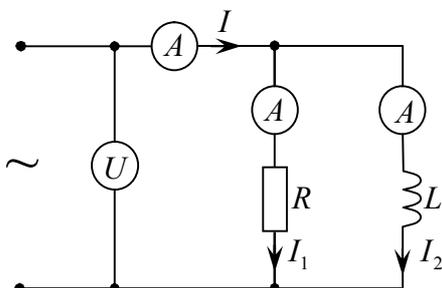
Актив қаршилик кучланиш: $U_{Rm} = R I_m = 30 \cdot 5 = 150 \text{ В}$

Ғалтак умумий кучланиш эса: $U_{km} = \sqrt{U_{cm}^2 + U_{Lm}^2} = 470 \text{ В}$

Хисоблаб топилган қийматлар буйича масштаб $[m_i, m_u]$ танланиб вектор диаграммасини тузамиз.



Масала 2–13. Чизмада келтирилган схемага уланган электродинамик асбобларнинг кўрсатиши: $U = 120\text{В}, I = 10\text{А}, I_2 = 6\text{А}$ бўлиб, частотаси $f = 1\text{кГц}$ бўлганда; ток I , актив қаршилик R , ва индуктивлик L аниқлансин.



Ечиш:

Ўзгарувчан ток бурчак частотаси: $\omega = 2\pi f = 628 \left(\frac{1}{\text{сек}} \right)$

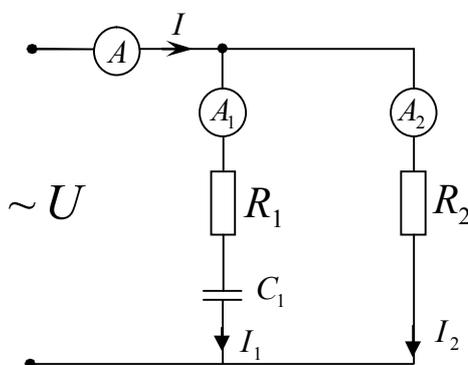
Индуктив қаршилик: $x_L = \frac{U}{I_2} = \frac{120}{6} = 20(\text{Ом})$

Индуктивлик: $L = \frac{x_L}{\omega} = 3,18(\text{мГн})$

Актив қаршиликдан оқиб ўтувчи ток: $I_1 = \sqrt{I^2 - I_2^2} = 8(\text{А})$

Қаршилиги эса: $R = \frac{U}{I_1} = 15(\text{Ом})$

Масала 2-14. Схемага уланган амперметрларнинг кўрсатиш: $I = 25\text{А}$, $I_1 = 13,5\text{А}$, $I_2 = 15(\text{А})$ ва $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $f = 50 (\text{Гц})$ тенг бўлган холат учун занжир параметрлари ва сарф бўладиган актив қувват (P) ҳамда қувват коэффиценти ($\cos \varphi$) ҳисоблаб топилсин.

**Ечиш:**

Параллел уланган холатда умумий кучланиш: $U = I_2 R_2 = 20 \cdot 15 = 300(\text{В})$

Умумий ток эса: $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$

Бундан: $I_a = I_2 + I_1 \cos \varphi_1$, $I_p = I_1 \sin \varphi$

Ёки: $I^2 = (I_1^2 + I_1 \cos \varphi_1)^2 = I_1^2 \sin^2 \varphi_1 = I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \cos \varphi_1$

Биринчи тармоқ бурчаги: $\cos \varphi_1 = \frac{I^2 - I_1^2 - I_2^2}{2I_1 I_2} = 0,538$

Тўла қаршилик: $z_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{300}{13,5} = 22,2(\text{Ом})$

Актив қаршилик: $R_1 = z_1 \cos \varphi_1 = 11,9(\text{Ом})$

Сиғим қаршилиги: $x_1 = \sqrt{z_1^2 - R_1^2} = 18,8(\text{Ом})$

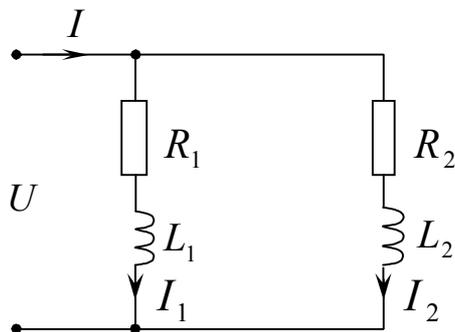
Сиғим параметри: $C_1 = \frac{1}{x_1 \omega} = 169 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 169(\text{мкФ})$

Электр занжирнинг қувват коэффиценти: $\cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{I_2 + I_1 \cos \varphi_1}{I} = 0,89$

Занжирда сарф бўладиган актив қувват:

$$P = UI \cos \varphi = 300 \cdot 25 \cdot 0,89 = 6680 \text{ Вт} = 6,68(\text{кВт})$$

Масала 2 – 15. Кучланиш $U = 120 \text{ В}$ частотаси $f = 50 \text{ Гц}$ бўлган ток занжирига параметрлари: $R_1 = 4 \text{ Ом}$, $L_1 = 0,6 \text{ МГн}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $L_2 = 25,5 \text{ МГн}$, бўлган иккита индуктив ғалтак истемолчилар параллел уланган. Тармақ токлари, занжирнинг қувват коэффициентини ва истемолчиларда сарф бўладиган актив қувват аниқлансин.



Ечиш:

Биринчи ғалтак индуктивлигини аниқлаймиз:

$$x_{L_1} = 2\pi fL_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ Ом}$$

Биринчи ғалтак тўла қаршилигини аниқлаймиз:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + x_{L_1}^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом}$$

Биринчи тармоқ токи:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{120}{5} = 24 \text{ А}$$

Биринчи ғалтак қувват коэффициенти:

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{4}{5} = 0,8$$

(бурчак $\varphi_1 = 36^\circ 50'$ бўлганда $\sin \varphi_1 = 0,6$)

Бунда биринчи тармоқ токи актив ташкил этувчиси:

$$I_{a_1} = I_1 \cos \varphi_1 = 24 \cdot 0,8 = 19,2 \text{ А}$$

Реактив ташкил этувчиси:

$$I_{P_1} = I_1 \sin \varphi_1 = 24 \cdot 0,6 = 14,4 \text{ А}$$

Иккинчи ғалтак индуктив қаршилиги:

$$x_{L_2} = 2\pi fL_2 = 6,28 \cdot 50 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ Ом}$$

Иккинчи тармоқ токи:

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{120}{10} = 12 \text{ А}$$

Иккинчи ғалтак қувват коэффициенти:

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{6}{10} = 0,6$$

(бурчак $\varphi_2 = 52^\circ 10'$ бўлганда $\sin \varphi_2 = 0,8$)

Иккинчи тармоқ токи актив ташкил этувчиси:

$$I_{a_2} = I_2 \cos \varphi_2 = 12 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ А}$$

Реактив ташкил этувчиси:

$$I_{P_2} = I_2 \sin \varphi_2 = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ А}$$

Умумий токнинг актив ташкил этувчиси қисми:

$$I_a = I_{a_1} + I_{a_2} = 19,2 + 7,2 = 26,4 \text{ А}$$

Реактив ташкил этувчиси:

$$I_P = I_{P_1} + I_{P_2} = 14,4 + 9,6 = 24 \text{ A}$$

Умумий ток қиймати:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_P^2} = 36 \text{ A}$$

Занжир қувват коэффиценти:

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{26,4}{36} = 0,733$$

Биринчи ғалтакда сарф бўладиган актив қуввати:

$$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1 = 120 \cdot 24 \cdot 0,8 = 2304 \text{ Вт}$$

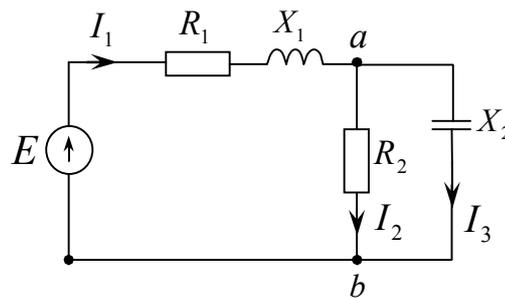
Иккинчи ғалтакда сарф бўладиган актив қуввати:

$$P_2 = UI_2 \cos \varphi_2 = 120 \cdot 12 \cdot 0,6 = 864 \text{ Вт}$$

Истемолчиларда сарф бўладиган актив қувват:

$$P = P_1 + P_2 = 2304 + 864 = 3168 \text{ Вт}$$

Масала 2–16. Чизмада келтирилган схемада ўзгарувчан кучланиш частотаси $f=50\text{Гц}$ бўлган генераторнинг актив қуввати $P=31,25 \text{ (кВт)}$ занжир қаршиликлари $R_1=2 \text{ Ом}$, $x_1 = 36 \text{ (Ом)}$, $R_2 = 75 \text{ Ом}$, $x_3=100 \text{ (Ом)}$ тенг. Шу занжир учун тармоқ токлари ва кучланишлари ҳисоблансин.



Ечиш:

Параллел уланган тармоқ ўтказувчанлиги:

$$g_{ab} = \frac{1}{R_2} = 1,33 \cdot 10^{-2} \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right); \quad b_{ab} = \frac{1}{x_2} = -0,01 \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right)$$

Умумий ўтказувчанлик: $y_{ab} = \sqrt{g_{ab}^2 + b_{ab}^2} = 1,67 \cdot 10^{-2} \left(\frac{1}{\text{Ом}} \right)$

Икки қутбли ток занжирлари эквивалент ўхшашлик тенгласидан:

$$R_{ab} = \frac{g_{ab}}{y_{ab}^2} = 48 \text{ (Ом)}; \quad x_{ab} = \frac{b_{ab}}{y_{ab}^2} = -\frac{0,01}{2,78 \cdot 10^{-4}} = 36 \text{ (Ом)}$$

Занжирнинг умумий актив ва реактив қаршиликлари:

$$R = R_1 + R_{ab} = 50 \text{ (Ом)}; \quad x = x_1 + x_{ab} = 36 - 36 = 0$$

Тўла қаршилиқ:

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2} = 50 \text{ (Ом)}$$

Биринчи тармоқ токи:

$$I_1 = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{31250}{50}} = 25 \text{ (А)}$$

Умумий кучланиш эса $U = I_1 Z = 1250 \text{ (В)}$ бўлиб фаза бурчаги $\varphi = 0$.

Биринчи тармоқ кучланишлари: $U_{1a} = R_1 I_1 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ (В)}$,
 $U_{1p} = x_1 I_1 = 25 \cdot 36 = 900 \text{ (В)}$

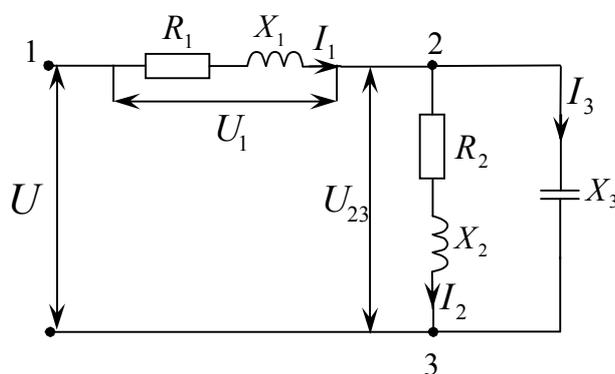
$$U_1 = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{p1}^2} = 900(B)$$

Параллел уланган тармоқдаги кучланиш: $U_{ab} = \frac{I_1}{y_{ab}} = \frac{25}{1,67 \cdot 10^{-2}} = 1500(B)$

Тармоқ тоқлари: $I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = 20(A),$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{x_3} = 15(A)$$

Масала 2–17. Қаршиликлари аралаш схемада уланган электр занжирида сарф бўладиган актив қувват $P=1,2$ (κBm) бўлиб параметр қийматлари: $R=2$ (OM), $x=26$ (OM), $R_2=10$ (OM), $x_2=10$ (OM), $x_3=-10$ (OM) тенг. Занжирдаги умумий кучланиш U тармоқ тоқлари I_1, I_2, I_3 , реактив қуввати Q аниқланиб вектор диаграммаси тузилсин.



Занжирнинг актив ва реактив қаршиликларини, қаршиликлар эквивалент параметр ўхшашлик тенгласига асосан аниқлаймиз:

$$g_2 = \frac{R_2}{R_2^2 + x_2^2} = \frac{10}{200} = 0,05 \left(\frac{1}{OM} \right); \quad b_2 = \frac{x_2}{R_2^2 + x_2^2} = \frac{10}{200} = 0,05 \left(\frac{1}{OM} \right)$$

Учинчи тармоқ ўтказувчанлиги: $g_3 = 0, b_3 = \frac{1}{x_3} = -0,1 \left(\frac{1}{OM} \right)$

Тармоқлар параллел уланган қисми учун: $g_{23} = g_2 + g_3 = 0,05 \left(\frac{1}{OM} \right)$

Умумий ўтказувчанлик: $y_{23} = \sqrt{g_{23}^2 + b_{23}^2} = 0,005 \left(\frac{1}{OM} \right)$

Ўхшашлик эквивалент параметрлар тенгласига асосан актив қаршилик:

$$R_{23} = \frac{g_{23}}{y_{23}^2} = \frac{0,05}{0,005} = 10(OM)$$

Реактив қаршилик: $x_{23} = \frac{b_{23}}{y_{23}^2} = -\frac{0,05}{0,005} = -10(OM)$

Тўла қаршилик: $z_{23} = \sqrt{R_{23}^2 + x_{23}^2} = 14,1(OM)$

Занжирнинг умумий актив қаршилиги: $R = R_1 + R_{23} = 12(OM)$

Умумий реактив қаршилиги: $x = x_1 + x_{23} = 16(OM)$

Актив қувват тенгласига асосан: $P = I^2 R$

Бунда $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1200}{12}} = 10(A)$

Бурчак фазаси: $\varphi = \arctg \frac{x}{R} = \frac{16}{12} = 1,33 = 53^\circ 10'$

Умумий кучланиш: $U = \frac{P}{I \cos \varphi} = \frac{1200}{10 \cdot 0,6} = 200B$

Тўла қувват: $S = UI = 200 \cdot 10 = 2000BA = 2KBA$

Тўла қаршилик: $z = \frac{S}{I^2} = \frac{2000}{100} = 20 \text{ Ом};$

Бурчак: $\sin \varphi = \frac{x}{z} = \frac{16}{20} = 0,8$

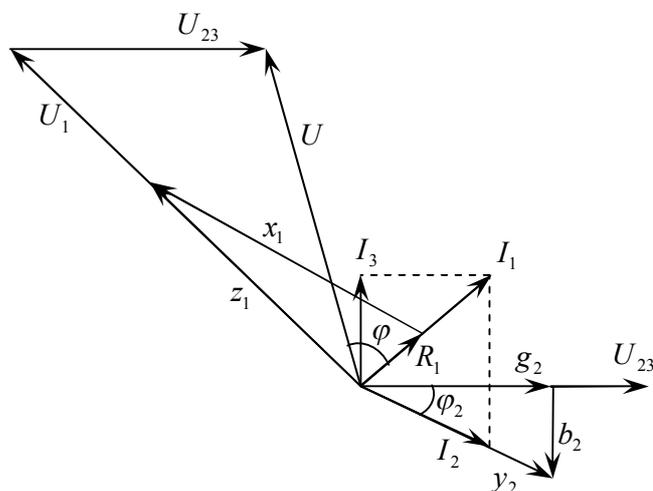
Реактив қувват: $Q = S \sin \varphi = 2 \cdot 0,8 = 1600BAP = 1,6KBAP$

Тармоқ кучланишлари: $U_1 = z_1 I_1 = 26,2 \cdot 10 = 262B, \quad U_{23} = z_{23} I_1 = 14,1 \cdot 10 = 141B$

Тармоқ тоқлари: $I_2 = \frac{U_{23}}{z_{23}} = \frac{141}{14,1} = 10A, \quad I_3 = \frac{U_{23}}{z_3} = \frac{141}{10} = 14,1A$

Вектор диаграмма тузиш учун ток ва кучланиш масштаблари танланади:

$$\left(m_I = 5A/cm, m_U = 25B/cm, m_y = 0,02 \frac{1}{\text{ом} \cdot \text{см}}, m_z = 5 \frac{\text{ом}}{\text{см}} \right)$$



2-3. Мустақил ечиш учун масалалар:

Масала 5-1. Қутблар сони $P=3$ берк ҳалқа магнит майдонида $n=1000$ айл/мин тезлик билан айланганда, ҳосил бўладиган э.ю.к частотаси аниқлансин.

Жавоб: $f=50$ Гц.

Масала 5-2. Ўзгарувчан ток генераторининг якорь айланиш тезлиги $n=500$ айл/мин бўлиб, $f=50$ Гц частотали, э.ю.к ҳосил қилганда қутблар сони неча бўлади?

Жавоб: $P=6$

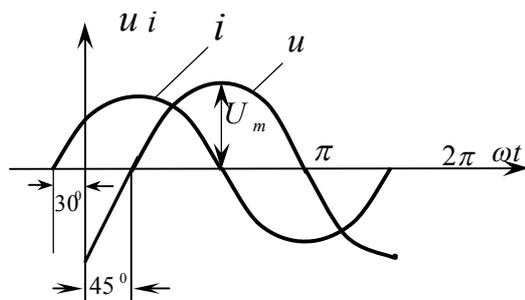
Масала 5-3. Ўзгарувчан э.ю.к амплитуда қиймати $E_m=120$ В частотаси, $f=100$ Гц бўлганда, $t=0,0075$ сек вақтда э.ю.к оний қиймати аниқлансин.

Жавоб: $e=120\sin 270^\circ$; $e=E_m=-120$ В

Масала 5-4. Магнит майдонида ўрамлар сони $W=40$ тенг бўлган ғалтак айланганда ҳосил бўладиган магнит оқими $\Phi=0,02\sin 314t$ бўлиб, ғатакда индукцияланадиган э.ю.к оний қиймати аниқлансин.

Жавоб: $e=250\sin(314t-90^\circ)$

Масала 5-5. Расмда келтирилган синусаидал функциялар учун аналитик ифодаси ёзилиб, ток ва кучланиш орасида бурчак φ аниқлансин.



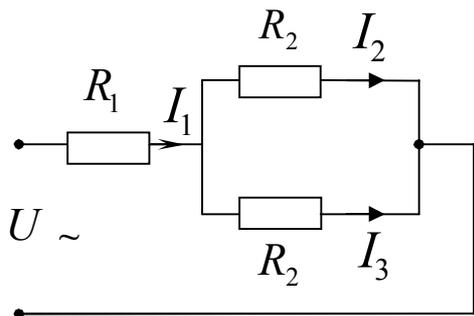
Масала 5-6. Кучланиш ва ток оний қийматлари $U=170\sin(\omega t+45^\circ)$ $i=10\sin(\omega t-45^\circ)$ бўлганда булар орасидаги бурчак φ топилиб, $t=0$ бўлганда оний қийматлари аниқлансин.

Жавоб: $U_m=170$ В, $I_m=10$ А, $\varphi=90^\circ$

Масала 5-7. Актив қаршиликка эга бўлган синусаидал ўзгарувчан ток занжирига $U=141\sin \omega t$ кучланиш уланганда, $i=7,05\sin \omega t$ ток оқиб ўтади. Электр ток қувват $P_{\text{ўр}}$ – ўртача қиймати ва R - қаршилиги аниқлансин.

Жавоб: $P_{\text{ўр}}=750$ Вт $R=70$ (ОМ)

Масала 5-8. Синусаидал ўзгарувчан ток занжири актив қаршилиқ параметрлари: $R_1=24 \text{ Ом}$, $R_2=10 \text{ Ом}$, $R_3=15 \text{ Ом}$ бўлиб, R_2 қаршилиқда сарф бўладиган қувват $P_2 = 58 \text{ Вт}$. Тармоқ тоқлари I_1 , I_2 , I_3 лар ва умумий кучланиш U аниқлансин.

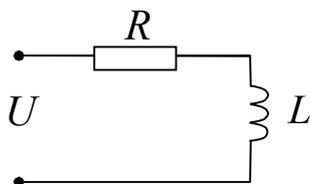


Жавоб: $I_1=4 \text{ А}$, $I_2=2,4 \text{ А}$, $I_3=1,6 \text{ А}$, $U=120 \text{ В}$

Масала 5-9. Ўзгарувчан ток частотаси $f=160 \text{ Гц}$, $U=220 \text{ В}$ кучланишга уланган бўлиб ғалтакдан $I=4 \text{ А}$ оқиб ўтади. Ғалтак индуктивлиги аниқласин.

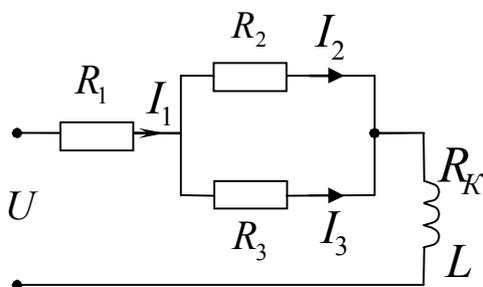
Жавоб: $L=30 \text{ мГн}$

Масала 5-10. Параметрлари $R=6 \text{ Ом}$, $L=25 \text{ мГн}$ бўлган ғалтак, частотаси $f=50 \text{ Гц}$ бўлган $U=120 \text{ В}$ синусаидал ўзгарувчан кучланишга уланган. Қувват коэффициенти ва актив, реактив қувват аниқлансин.



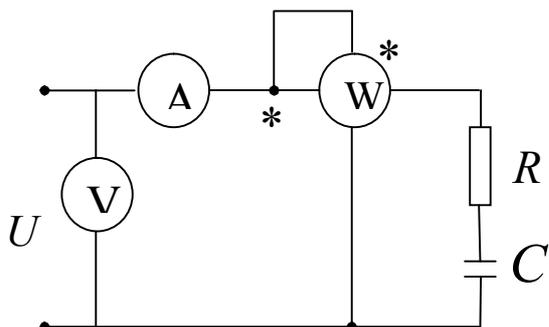
Жавоб: $\cos\varphi=0,6$, $P=864 \text{ Вт}$, $Q_L=1152 \text{ ВАР}$

Масала 5-11. Синусаидал ўзгарувчан ток занжири параметрлари: $R_1=4 \text{ Ом}$, $R_2=10 \text{ Ом}$, $R_3=15 \text{ Ом}$ ва индуктивлиги $L=95 \text{ мГн}$ бўлиб, R_2 қаршилиқдан частотаси $f=50 \text{ Гц}$ бўлган $I=2 \text{ А}$ ток оқиб ўтади. Умумий кучланиш U қиймати, бурчак коэффициенти $\cos\varphi$ ва актив қувват P аниқлансин.



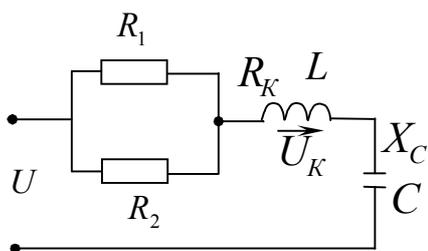
Жавоб: $U=100 \text{ В}$, $\varphi=36^{\circ}50'$, $P=160 \text{ Вт}$

Масала 5-12. Электр ўлчов асбоблари кўрсатиши: $U=200 \text{ В}$, $I=2 \text{ А}$, $P=240 \text{ Вт}$ бўлиб, частотаси $f=50 \text{ Гц}$ тенг. Актив ва сифим қаршилиқ параметрлари аниқлансин.



Жавоб: $R=60 \text{ Ом}$, $C=40 \text{ мкФ}$

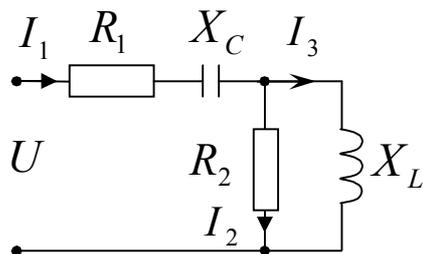
Масала 5-13. Синусаидал ўзгарувчан ток занжири қаршиликлари: $R_1=R_2=100$



$Ом$, $R_K=30$ $Ом$, $X_C=100$ $Ом$, $X_L=40$ $Ом$ бўлиб, ғалтакдаги кучланиш $U_K=100В$ частотаси $f = 50$ $Гц$ тенг. Занжирдан оқиб ўтувчи токнинг ҳақиқий қиймати I , умумий кучланиш U , сиғим ва индуктивлик параметрлари L , C , актив қуввати P ҳамда электр $W_э$ ва магнит W_M майдон энергиялари аниқлансин.

Жавоб: $U=200$ $В$, $I= 2$ $А$, $L=0,127$ $МГн$ $C=32$ $мкФ$,
 $P=320$ $Вт$, $W_э=1,24$ $Дж$, $W_M=0,5$ $Дж$

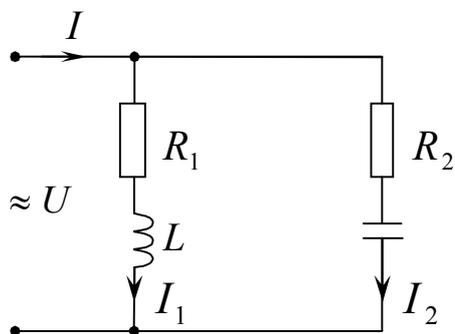
Масала 5-14. Қаршилик параметрлари: $R_1=12$ $Ом$, $R_2=10$ $Ом$, $X_C=24$ $Ом$,



$X_L=20$ $Ом$ бўлган электр ток занжири $f=50Гц$ бўлган $U=220$ $В$ синусаидал кучланишга уланган. Тармоқ токлари I_1 , I_2 , I_3 ҳақиқий қийматлари аниқлансин.

Жавоб: $I_1=6$ $А$, $I_2=4,4$ $А$, $I_3=5,25$ $А$

Масала 5-15. Параметрлари $R_1=160$ $Ом$, $L=0,04$ $МГн$ бўлган индуктив ғалтак,



актив қаршилиги $R_2=30$ $Ом$ сиғими $C=50$ $мкФ$ бўлиб параллел схемада уланган. Ўзгарувчан ток кучланиши $U=110$ $В$ частотаси $f=318$ $Гц$ бўлганда умумий ўтказувчанлик, тармоқ токлари аниқлансин.

Жавоб: $y_1 = 0,036 \frac{1}{Ом}$, $y_2 = 0,0316 \frac{1}{Ом}$, $y = 0,036 \frac{1}{Ом}$
 $I=3,96$ $А$, $I_2=1,1$ $А$, $I_3=3,5$ $А$

2-4. Синов саволлари:

1. Синусоидал ўзгарувчан ток хусусияти нимадан иборат?
2. Синусоидал ўзгарувчан ток қандай хосил қилинади, манбаи нима?
3. Синусоидал ўзгарувчан ток билан, ўзгармас ток фарқи нимада?
4. Синхрон генераторнинг тузилиши ва ишлаш принципини биласизми?
5. Ўтказгич магнит майдонда ҳаракатланганда унда хосил бўладиган Э Ю К нимага тенг ?
6. Электр машина ва аппаратларида магнит ўзак (ферромагнетик) қандай мақсад учун хизмат қилади?
7. Магнит доимийси деганда нимани тушунаси?
8. Индуктивлик нима ва у қандай бирликда ўлчанади?
9. Синусоидал ўзгарувчан ток қандай қийматларда ифодаланади?
10. Синусоидал ўзгарувчан ток частотаси, даври ва оний қиймат ифодаларини ёзинг.
11. Синусоидал ўзгарувчан ток вектор ифодасини таърифлаб беринг. Электр занжирлар учун вектор диаграмма қандай тузилади?
12. Синусоидал ўзгарувчан ток ва кучланиш бошланғич фазаси ва фаза фарқи қандай аниқланади?
13. Актив индуктив ва сиғим қаршилик параметрлари учун Ом қонуни ифодасини ёзинг.
14. Кетма-кет ва параллел схемаларда уланган R, L, C занжири учун Ом қонуни тенгламасини ёзинг.
15. 2-күтбли занжир учун эквивалент ўхшашлик тенгламаларини ёзинг.
16. Кетма-кет уланган актив ва индуктив қаршилиги бўлган ток занжири учун вектор ифодасини тузиб, тўла қаршилик ифодасини ёзинг.
17. Актив ва сиғим қаршилиги бўлган ток занжири учун вектор ифода тузиб тўла қаршилик тенгламаси ёзилсин.
18. Кетма-кет бириктирилган R, L, C занжирида $X_L > X_C$, $X_L < X_C$, $X_L = X_C$ бўлган ҳолат учун вектор ифодасини тузиб, қайси характерга эга эканлигини тушунтиринг.
19. Актив, реактив ва тўла қувват тенгламаларини ёзинг.
20. Актив ва реактив элементларда электр ток энергияси қаерда ва қандай сарфланади?
21. Қувват коэффициентини $\cos\varphi$ нима ва қандай амалий аҳамиятга эга?
22. Ўзгармас токга нисбатан индуктив ва сиғим қаршиликлар нимага тенг?
23. Нима учун сиғимдан ўзгарувчан ток оқиб ўтади, ўзгармас ток эса оқиб ўтмайди?
24. Кетма-кет схемада уланган R, L занжир қаршиликларидаги кучланиш: $U_R = 60\text{В}$, $U_L = 80\text{В}$ га тенг бўлганда умумий U кучланиш нимага тенг?
25. Параллел схемада уланган R, C занжирларда оқиб утувчи тоқлар $I_R = 3\text{А}$, $I_C = 4\text{А}$ бўлганда умумий ток I қанчага тенг?
26. Агар R, L, C занжирлари кетма-кет уланган занжирнинг тўла қаршилиги $Z = 100\text{Ом}$, $R = 80\text{Ом}$, $X_C = 40\text{Ом}$ бўлса галтакнинг индуктив қаршилиги X_L қанча Ом га тенг?

27. Агар $C = 20 \text{ мкф}$ бўлган сиғим параметри $U=220(\sin 314t - 60) \text{ В}$ кучланишга уланганда токнинг оний қиймати i ни аниқланг.
28. Кучланиш $U=100 \text{ В}$ ток кучи $I=5 \text{ А}$ ва фаза бурчаги $\varphi = 60^\circ$ бўлган занжирнинг актив қуввати неча ватт бўлади?
29. Кучланиш қаршиликлар ва қувватлар учбурчак вектор ифодасига асосан $\cos\varphi, \sin\varphi, \operatorname{tg}\varphi$ лар тенгламасини ёзинг
30. Қаршиликлар ва қувватлар учбурчак вектор ифодасидан, актив ва реактив ташкил этувчи векторлар қандай маънони билдиради?

3-Боб. Синусоидал ўзгарувчан ток занжирларини комплекс (символик) усулда ҳисоблаш.

3-1. Асосий назарий тушунчалар.

1) Комплекс сон.

Комплекс сон Эйлер формуласига асосан $e^{\pm i\varphi} = \cos\varphi + j\sin\varphi$ ифодаланadi, комплекс тексилекда эса нуқта ёки вектор кўринишда тасвир қилиш мумкин бўлиб, комплекс сон уч хил кўринишда ифода қилинади.

$$\dot{A} = a_1 + ja_2 - \text{алгебрик}$$

$$\dot{A} = a(\cos\alpha + j\sin\alpha) - \text{тригонометрик}$$

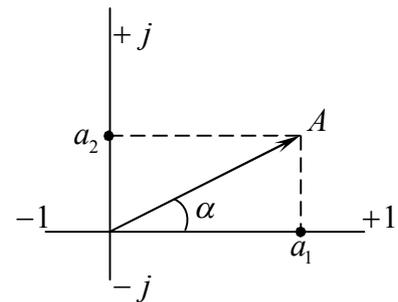
$$\dot{A} = ae^{j\alpha} - \text{кўрсаткичли}$$

Бунда $a_1 = a\cos\alpha = \text{Re } \dot{A}$ - ҳақиқий қисми.

$$a_2 = a\sin\alpha = \text{Im } \dot{A} - \text{мавхум қисм.}$$

$$a - \text{комплекс сон модули: } |a| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$$

$$\alpha - \text{комплекс сон аргументи: } \alpha = \arctg \frac{a_2}{a_1}$$



Шунингдек $e^{\pm\pi/2} = \pm j$; $\frac{1}{j} = -j$; $j^2 = -1$ $j^3 = -j$ ва $j^4 = 1$

Комплекс сонларни кўшиш ёки айириш амалини бажаришда алгебрик кўринишда, кўпайтириш ва бўлиш амалини бажаришда эса кўрсаткичли ифодасидан фойдаланилади.

Синусоидал ўзгарувчан ток, кучланишлар ва э.ю.к функциясини комплекс кўринишдаги ифодаси:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \doteq I_m e^{j\omega t} \cdot I_m e^{j\varphi_i} = \dot{I}_m e^{j\omega t}$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \doteq U_m e^{j\omega t} \cdot U_m e^{j\varphi_u} = \dot{U}_m e^{j\omega t}$$

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e) \doteq E_m e^{j\omega t} \cdot E_m e^{j\varphi_e} = \dot{E}_m e^{j\omega t}$$

Бунда:

$\dot{I}_m, \dot{U}_m, \dot{E}_m$ - синусоидал ўзгарувчан ток, кучланиш, ва Э.Ю.К комплекс амплитудаси.

Электр занжирларини комплекс усулда ҳисоблаш жараёнида $\dot{I}, \dot{U}, \dot{E}$ лар фақатгина вақт функцияси тарзида эмас, балки унинг хосиласи ёки интеграл тарзида ҳам учирашиши мумкин.

$$\frac{di}{dt} = \omega I_m \sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}\right) \doteq \omega \dot{I}_m e^{j(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2})} = j\omega \dot{I}_m e^{j\psi_i} \cdot e^{j\omega t} = j\omega \dot{I}_m e^{j\omega t}$$

$$\int idt = \frac{I_m}{\omega} \sin \left(\omega t + \varphi_i - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{I_m}{\omega} e^{j(\omega t + \varphi_i - \frac{\pi}{2})} = \frac{I_m}{j\omega} e^{j\varphi_i} \cdot e^{j\omega t} = \frac{I_m}{j\omega} e^{j\omega t}$$

Демак, комплекс шаклда берилган хар қандай синусоидал функция тасвири $\dot{I} m e^{j\omega t}$ бўлса, у функциядан хосила олиш " $j\omega$ " кўпайтириш ёки интеграллаш эса " $j\omega$ " га бўлиш билан баробар экан.

2). Синусоидал ўзгарувчан ток занжирларини комплекс усулда ҳисоблаш.

Ом қонунинг комплекс ифодаси:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \underline{y} \dot{U} \quad A$$

Тўла қаршилик: $\underline{Z} = R + jx = \underline{Z} e^{j\varphi} \quad Ом$

Тўла ўтказувчанлик: $\underline{y} = \frac{1}{\underline{Z}} = g - j\beta = \underline{y} e^{-j\varphi} \quad \frac{1}{Ом}$

Тўла қувватлар комплекс ифодаси:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = \dot{U} e^{j\varphi u} \cdot I e^{-j\varphi i} = \dot{U} \dot{I} e^{j\varphi} = \dot{U} \dot{I} \cos\varphi + j \dot{U} \dot{I} \sin\varphi = P + jQ \quad BA$$

*

I – комплекс токнинг тескари ишораси билан олинган киймати.

Мураккаб синусоидал ўзгарувчан ток занжирларини ҳисоблашда; (Ом ва Кирхгоф қонунлари билан бир қаторда) Кирхгоф қонунларини тадбиқ этиш, контурли тоқлар усули, тугун кучланишлар, устма – устлик (суперпозиция) усули, мутаносиблик принципи, эквивалент генератор усуллари билан фойдаланилади.

• Истемолчилари кетма-кет уланган оддий электр ток занжирларида ток умумий бўлиб Ом қонунига асосан.

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}}; \quad \text{бунда } \underline{z} = \underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \dots + \underline{z}_n = \sum_{b=1}^{n=v} \underline{z}_n$$

• Истемолчилари паралелл уланган ток занжирида кучланиш умумий бўлиб:

$$\dot{I} = \dot{U} \underline{y}; \quad \text{бунда } \underline{y} = \underline{y}_1 + \underline{y}_2 + \dots + \underline{y}_n = \sum_{b=1}^{n=v} \underline{y}_n$$

• Аралаш схемада уланган ток занжири учун комплекс қаршилиги

$$\underline{Z}_{12} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \quad \text{бўлиб, тармоқ тоқлари:}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \dot{I}; \quad \dot{I}_2 = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \dot{I}$$

*

I - умумий токнинг комплекс киймати.

- Кирхгоф қонунларининг комплекс ифодаси.

1 қонун:
$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0$$

2 қонун:
$$\sum_{k=1}^n \dot{E}_k = \sum_{k=1}^n Z_k \dot{I}_k$$

3. Мураккаб синусоидал ўзгарувчан ток занжирларини комплекс усулда ҳисоблаш.

а) Кирхгоф қонунларини тадбиқ қилиш.

Мураккаб ток занжирларини Кирхгоф қонунларига асосан ҳисоблашда берилган занжир учун электр мувозанат тенгламаси тузилади. Тузилган тенгламалар сони тармоқ тоқлари сонига тенг бўлиши керак. Агар занжирнинг тармоқлар сони p , тугунлар сони q га тенг бўлса, у ҳолда Кирхгофнинг биринчи қонуни асосан $(p-q+1)$ та тенглама тузилади. Тенгламалар системасини ечиш билан $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_p$ тармоқ тоқлари аниқланади.

б) Контурли ток усули

Контурли ток усули Кирхгофнинг 2 – қонунига асосланган бўлиб, берилган занжирнинг контурлари учун тузилган тенгламалар системасини ечиш билан контур-тоқлари ва булар орқали тармоқ тоқлари топилади.

Умумий ҳолда контур тоқлари тенгламаларининг сони $(p-q+1)$ га тенг бўлади.

q – занжирдаги тугунлар сони

p – тармоқлар сони

Агар занжир n та контур тоқларига эга бўлса, унинг тенгламаси қуйидагича тузилади:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{k1} Z_{11} + \dot{I}_{k2} Z_{12} + \dots + \dot{I}_{kn} Z_{1n} &= \dot{E}_{11} \\ \dot{I}_{k1} Z_{12} + \dot{I}_{k2} Z_{22} + \dots + \dot{I}_{kn} Z_{2n} &= \dot{E}_{12} \\ \dot{I}_{k1} Z_{n1} + \dot{I}_{k2} Z_{n2} + \dots + \dot{I}_{kn} Z_{nn} &= \dot{E}_{nn} \end{aligned} \right\}$$

Бунда: Z_{mn} - n – контурнинг хусусий қаршилиги

Z_{qs} – q ва s – ёндаги контурларнинг ўзаро қаршилиги.

Агар ёндаш контур тоқларининг \dot{I}_{kq} ва \dot{I}_{ks} йўналишлар мос бўлса, тармоқнинг қаршилиги тенгламалар системасига (+) ишора, қарама – қарши бўлса (-) ишора киритилади. \dot{E}_{mn} - n -контурнинг хусусий э.ю.к.

в) Тугунлараро кучланишлар усули.

Тугунлараро кучланишлар усуслидан фойдаланиш асосан кўп элементлардан таркиб топган тармоқланган мураккаб ток занжирларини ҳисоблашда анча қулай бўлиб, ихтиёрий электр занжиридаги $q=(n+1)$ тугундан биттасини нисбий кучланиш (потенциали) нолга тенг деб олинади ($\varphi_n = 0$). Қолган барча тугун потенциал тенгламалари шунга нисбатан тузилади.

$$\left. \begin{aligned} \underline{y}_{11} \dot{U}_{10} + \underline{y}_{12} \dot{U}_{20} + \dots + \underline{y}_{1k} \dot{U}_{k0} &= \dot{I}_{11} \\ \underline{y}_{21} \dot{U}_{10} + \underline{y}_{22} \dot{U}_{20} + \dots + \underline{y}_{2k} \dot{U}_{k0} &= \dot{I}_{22} \\ \dots & \\ \underline{y}_{n1} \dot{U}_{10} + \underline{y}_{k2} \dot{U}_{20} + \dots + \underline{y}_{nm} \dot{U}_{k0} &= \dot{I}_{nn} \end{aligned} \right\}$$

Бунда:

$$\left. \begin{aligned} \underline{y}_{nn} &= \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq n}}^n \underline{y}_{pn} \\ \dot{I}_{nn} &= \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq n}}^n \underline{y}_{pn} \dot{E}_{pn} \end{aligned} \right\}$$

Тенгламалар системасини ечиш билан тугунларнинг комплекс кучланиши:

$$\dot{U}_{10}, \dot{U}_{20}, \dot{U}_{n0} \quad (\varphi_1 - \varphi_0; \varphi_2 - \varphi_0; \varphi_3 - \varphi_0 \dots)$$

ва тугунлар орасида комплекс кучланишлар аниқланилади:

$$\dot{U}_{nm} = \dot{U}_{no} - \dot{U}_{mo}$$

Тармоқ токлари эса бутун занжир учун Ом қонунига асосан

$$\dot{I}_{nm} = \underline{Y}_{nm} (\dot{E}_{nm} + \dot{U}_{nm})$$

Агар электр занжири фақат иккита тугундан иборат бўлса ($q = 2$) тенглама

$$\underline{Y}_{11} \cdot \dot{U}_{10} = \dot{I}_{11}; \quad \dot{U}_{10} = \frac{\dot{I}_{11}}{\underline{Y}_{11}};$$

Яни тугунлараро кучланиш тенгламасига асосан иккита тугун ўртасида кучланиш аниқланиб Ом қонунига асосан тармоқ токлари топилади.

$$\dot{U}_{ab} = \frac{\underline{Y}_1 \dot{E}_1 + \underline{Y}_2 \dot{E}_2 + \underline{Y}_3 \dot{E}_3 + \dots + \underline{Y}_n \dot{E}_n}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \dots + \underline{Y}_n} = \frac{\sum_{p=1}^n \underline{y}_{pn} \dot{E}_n}{\sum_{p=1}^n \underline{y}_{pn}}$$

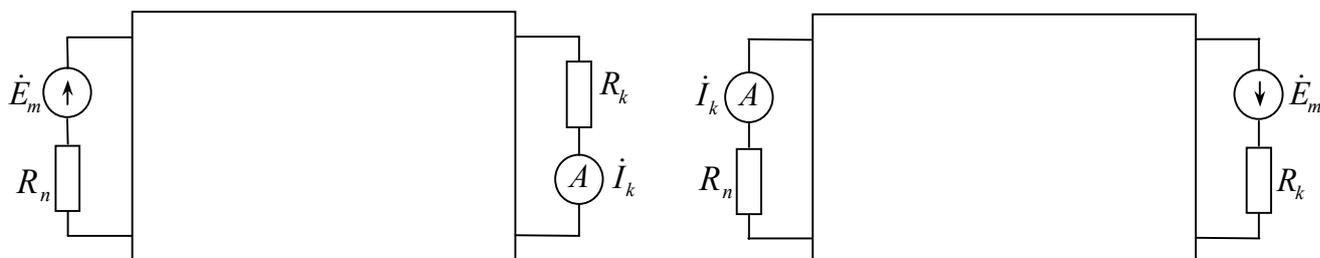
г) Устма-устлик усул (суперпозиция усули).

Параметрлари чизиқли бўлган электр ток занжирларининг бирор К – тармоғидан оқиб ўтувчи ток шу занжирни ташкил этувчи э.ю.к. ҳосил қиладиган токларнинг йиғиндисидан иборат бўлади. Шу сабабли чизиқли мураккаб электр

ток занжирларини ҳисоблашда, ҳар бир э.ю.к. таъсирида занжир тармоқларидан оқиб ўтадиган тоқлар алоҳида аниқланади (қолган э.ю.к. нолга тенг деб олинаиб, занжирнинг ички қаршиликлари сақланади). Натижада ҳар бир э.ю.к. таъсирида тармоқлардан оқиб ўтувчи тоқларнинг алгебрик йиғиндиси умумий ток қийматиға тенг бўлади.

$$\dot{I} = \dot{I}' + \dot{I}'' + \dots + \dot{I}^n$$

Устма – устлик усули ёрдамида фақатгина занжирнинг ток ва кучланишлари аниқланиб, қувватларни ҳисоблашда эса тавсия этилмайди.



д) Мутаносиблик принципи (Принцип взаимности).

Бу принцип чизиқли ток занжирлари учун Максвелл томонидан таклиф этилган бўлиб, ҳар қандай мураккаб электр ток занжирининг «К» тартибида жойлашган $\dot{E}_k = \dot{E}$ э.ю.к. манба (бошқа манбалар бўлмаган холда), шу занжирларнинг ихтиёрий п тармоғида $\dot{I}_n = \dot{I}$ ток ҳосил қилган бўлса, шу э.ю.к. манбанинг ўзи п тармоқга кўчирланган холда ($\dot{E}_k = \dot{E}$) «К» тармоқдаги токни ҳосил қилади.

Масалан: Контурли ток усулиға асосан k – тармоқ занжирининг q – контуриға, n – тармоғи S – контуриға кирган деб фараз қиламиз. Бу холда контурда контур тоқлари $\dot{I}_k = \dot{I}_q$ ва $\dot{I} = \dot{I}_s$ бўлади ва э.ю.к. қайси тармоқға уланганидан қатъий назар уларнинг қийматлари

$$\dot{I}_k = \dot{I}_q = \dot{E} \frac{\Delta_{qs}}{\Delta} \quad \text{ва} \quad \dot{I}_n = \dot{I}_s = \dot{E} \frac{\Delta_{sq}}{\Delta} \quad \text{га тенг бўлади.}$$

Демак

$$\dot{I}_k = \dot{I}_n = \dot{I}, \text{ чунки } \Delta_{qs} = \Delta_{sq} \text{ бўлиб,}$$

$$\frac{\dot{E}_k}{\dot{I}_n} = \frac{\dot{E}_n}{\dot{I}_k} = \frac{\dot{E}}{\dot{I}} = Z_{-qs}$$

Демак контурлараро қаршилиқ Z_{-qs} тенг бўлиб ушбу усулининг

мутаносиблигини тасдиқлайди.

е) Эквивалент генератор усули.

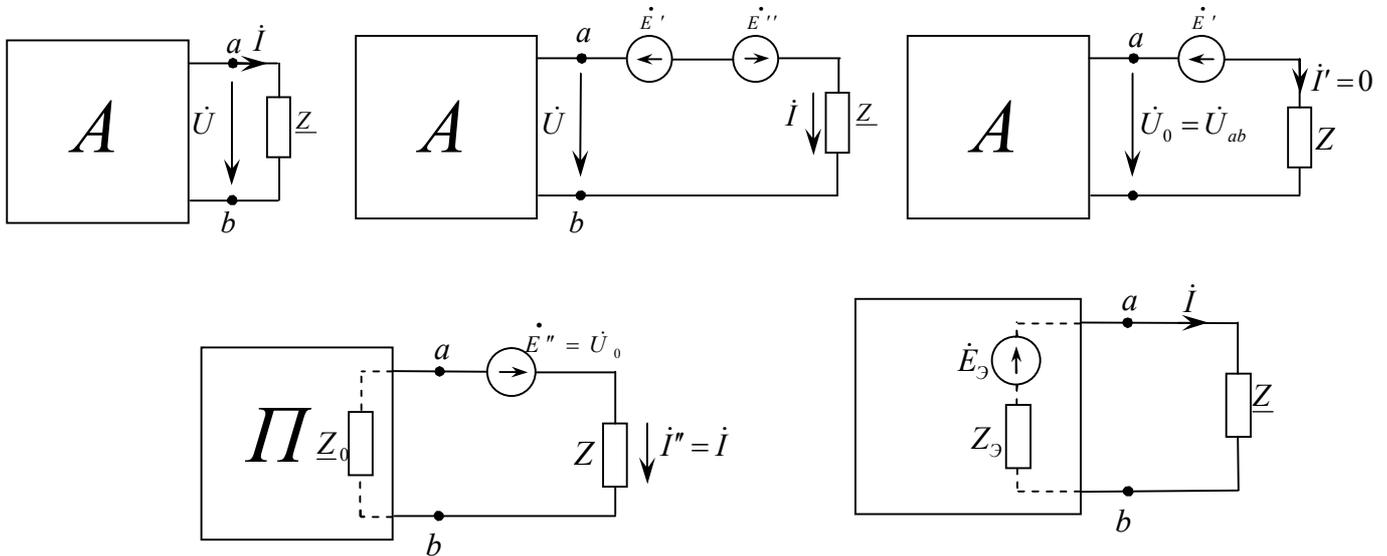
Бу усул мураккаб электр ток занжирларининг бирор қимсидаги тармоқ тоқини аниқлашда ишлатишда қулай бўлиб, амалда қисқа туташтирув ёки узилиш (салт холат) тажрибалари ўтказилади. Электр энергияси бўлган икки қутубли электр занжири эквивалент манба ва параметр билан алмаштирилади.

Бунда занжир манба кучланиш салт холат кучланишига тенг бўлади.

$\dot{E} = \dot{U}_0 = \dot{U}_{ab}$ ички қаршилик эса эквивалент қаршиликга тенг дейилади

(расм 3-3) $\underline{Z}_o = \underline{Z}$

Ички кутбли актив занжирнинг бирор «К» тармоқдаги R қаршилик токини аниқлаш зарур бўлса, Ом қонунига асосан.

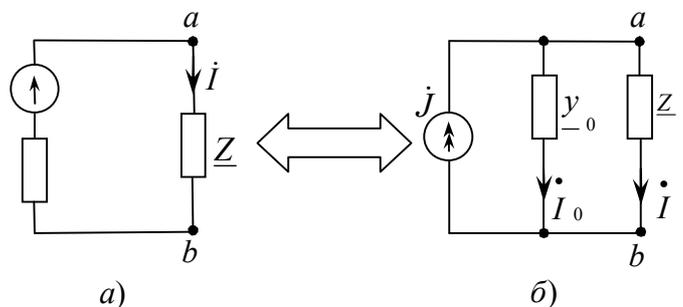


4. Э.Ю.К. манбаларини ток манбаларига алмаштириш.

Амалда э.ю.к. ва ток манбаларини алмаштиришга имкон берувчи, нолдан фарқ қиладиган ички параметрлар $R \neq 0$ ва $g \neq 0$ мавжуд; шу туфайли уларни ўзаро алмаштириш мумкин. Расм. а)

манба кучланиш тенгламаси:

$$\dot{U}_{ab} = E - Z_o \dot{I}$$



Баъзи холарда манба кучланиши параллел схема билан алмаштирилиб ток манбаи кўринишда ҳам ифодаланади. Расм б)

Бунда кучланишлар мувозанат тенгламасини манбанинг қаршилиги Z_0 га бўлинса

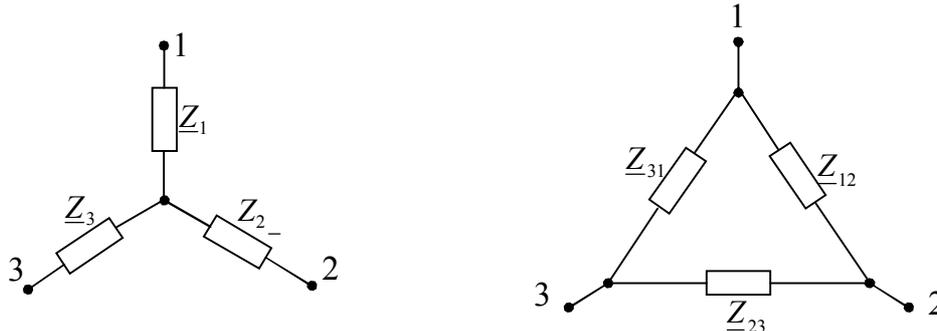
$$\frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_0} = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}_0} - \dot{I}; \text{ ёки } \dot{I}_0 = \dot{J} - \dot{I}$$

Бунда

$$\dot{J} = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}} \text{ ва } \underline{Y}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0}$$

Юлдуз ва учбурча тарзида уланган тармоқларни ўзаро алмаштириш (эквивалент параметрлар)

а) Учбурча шаклида уланган қаршиликларни юлдузча шаклида алмаштириш тенгламалари:



$$\underline{Z}_1 = \frac{\underline{Z}_{31} \cdot \underline{Z}_{12}}{\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}}; \quad \underline{Z}_2 = \frac{\underline{Z}_{12} \cdot \underline{Z}_{23}}{\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}}; \quad \underline{Z}_{31} = \frac{\underline{Z}_{23} \cdot \underline{Z}_{31}}{\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}}$$

б) Юлдузча шаклидан учбурчак шаклига алмаштириш тенгламалари:

$$\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_3}; \quad \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_3 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{Z}_{31} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}$$

3-2. Масала ечиш

Масала 3-1. Берилган кучланиш ва ток $u = 100 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) (B)$

$i = 5 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) (A)$ функцияларининг комплекс ифодаси, комплекс тўла қаршилик \underline{Z} тўла ўтказувчанлик \underline{Y} ва тўла қуввати \tilde{S} аниқлансин.

Ечиш:

$$u = 100 \sin(\omega t + 30^\circ) = 100e^{j30^\circ}$$

$$i = 5 \sin(\omega t - 30^\circ) = 5e^{-j30^\circ}$$

Комплекс тўла қаршилик:

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{100e^{j30^\circ}}{5e^{-j30^\circ}} = 20e^{j60^\circ} = 10 + j17,3 \text{ (Ом)}$$

Комплекс тўла ўтказувчанлик: $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = 0,1 + j0,06 \quad \left(\frac{1}{\text{ОМ}} = \text{сим}\right)$

Комплекс тўла қувват:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I} = \dot{U} \cdot \dot{I} e^{j(\varphi_U - \varphi_I)} = 500e^{j60^\circ} = 500 \cos 30^\circ + j500 \sin 30^\circ = 250 + j430 \text{ (ВАР)}$$

Бундай актив қувват: $P = 250 \text{ Вт}$;

Реактив қувват: $Q = 430 \text{ (ВАР)}$.

Масала 3-2. Қаршиликлари $R = 3 \text{ Ом}$, $X = \pm 4 \text{ Ом}$. тенг бўлган электр занжири кучланиш $U = 100 \text{ В}$. Ток ва тўла қувватларнинг комплекс қийматлари ҳисоблаб топилсин.

Ечиш:

Тўла қаршилик комплекс ифодаси: $\underline{Z} = R \pm jx = 3 \pm j4 = 5e^{\pm j53^\circ}$

Ток эса: $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \frac{100e^{j0}}{5e^{\pm j53^\circ}} = 20e^{\pm j53^\circ} = 12 \pm j16$

Тўла қувват комплекс ифодаси:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = 100 \cdot 20e^{\pm j53^\circ} = 2000 \cos 53^\circ \pm j2000 \sin 53^\circ = 1200 \pm j1600$$

Масала 3-3. Кучланиш $\dot{U} = (80 + j60)$ ток $\dot{I} = (24 - j7)$ комплекс ифодалари учун актив ва реактив қаршиликлар қиймалари аниқланиб ток ва кучланиш вектор ифодаси чизилсин.

Ечиш:

Ток ва кучланишнинг кўрсаткичли ифодасини аниқлаймиз

$$\dot{U} = (80 + j60) = 100e^{j36^\circ 50'} \quad (B)$$

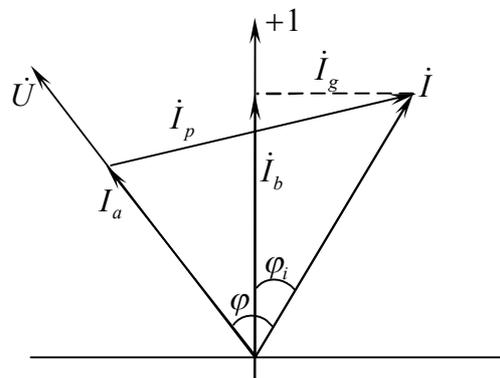
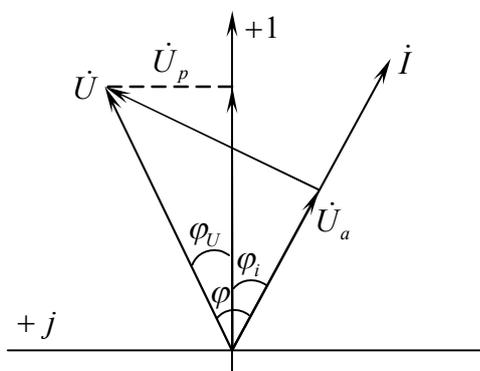
$$\dot{I} = (24 - j7) = 25e^{-j16^\circ 15'} \quad (A)$$

Комплекс тўла қаршилик: $\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = 4e^{j53^\circ} = (2,4 + j3,2) \text{ Ом}$

Бундан актив қаршилик $R = 2,4 \text{ Ом}$; реактив қаршилик $X = 3,2 \text{ Ом}$.

Кучланиш ва ток орасидаги фаза фарқи: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 53^\circ$

Комплекс тексилекда ток ва кучланишлар вектор диаграммасини тузамиз.



Вектор диаграммадан

$$\dot{U}_a = U \cos \varphi$$

$$\dot{U}_p = U \sin \varphi$$

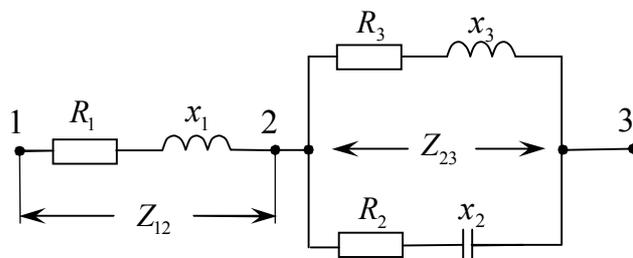
$$U = \sqrt{U_a^2 + U_p^2}$$

$$\dot{I}_a = I \cos \varphi$$

$$\dot{I}_p = I \sin \varphi$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$$

Масала 3-4. Берилган электр схеманинг параметрлари $R_1=30 \text{ Ом}$, $X_1=20 \text{ Ом}$, $R_2=50 \text{ Ом}$, $X_2 = -100 \text{ Ом}$, $R_3 = 100 \text{ Ом}$, $X_3 = 50 \text{ Ом}$ тенг. Занжирнинг эквивалент қаршилиги аниқланисин.



Ечиш:

Занжирнинг параллел уланган қисми учун комплекс тўла қаршилик:

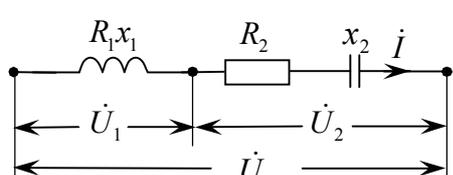
$$Z_{-23} = \frac{(R_3 + jx_3)(R_2 - jx_2)}{R_3 + jx_3 + R_2 - jx_2} = \frac{112e^{j26^{\circ}30'} \cdot 112e^{-j63^{\circ}}}{150 - j50} = \frac{12550e^{-j37^{\circ}}}{158e^{j18^{\circ}26'}} = 79,5e^{j18^{\circ}34'} = 75,2 - j25,3$$

Энди умумий комплекс эквивалент қаршиликни топиш учун тўла комплекс қаршиликларни қўшамиз: $Z = R_1 + jx_1 + Z_{-23} = 30 + j20 + 75,2 - j25,3 = 105,5 - j5,3$

Бундан актив қаршилик $R = 105,5$ Ом, реактив қаршилик эса $X_a = -5,3$ Ом тенг бўлиб сиғим параметрига мос келади.

Масала 3-5. Қаршиликлари $R_1 = 10$ Ом, $X_1 = 50$ Ом бўлган индуктив ғалтак, актив қаршилиги $R_2 = 10$ Ом ва сиғим қаршилиги $X_2 = -30$ Ом билан кетма-кет схемага бириктирилиб ва $U = 127$ В кучланишга уланган. Занжирдан оқиб ўтадиган ток, ғалтакдаги кучланиш ва сиғим кучланишлари аниқлансин.

Ечиш: Қаршиликларнинг комплекс ифодасини ёзамиз:



$$Z_1 = 10 + j50 = 51e^{j78^{\circ}40'}$$

$$Z_2 = 10 - j30 = 30e^{-j88^{\circ}}$$

Умумий комплекс қаршилик: $Z = Z_1 + Z_2 = 11 + j20 = 22,8e^{j61^{\circ}}$ Ом

$$\text{Комплекс ток: } \dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{127}{22,8e^{j61^{\circ}}} = 5,56e^{-j61^{\circ}}$$

Ғалтакдаги кучланиш: $\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I} = 284e^{j17^{\circ}30'}$ ёки $\varphi_1 = 17^{\circ}30'$

Схемадаги кучланиш: $\dot{U}_2 = Z_2 \dot{I} = 30e^{-j88^{\circ}} \cdot 5,56e^{-j61^{\circ}} = 167e^{-j149^{\circ}}$; $\varphi_2 = -149^{\circ}$

Кучланишлар орасида фаза фарқи: $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 166^{\circ}30'$

Масала 3-6. 2 – Бобда берилган. 2-16 масалани шартига асосан комплекс усулдан фойдаланиб тармоқ тоқлари аниқлансин.

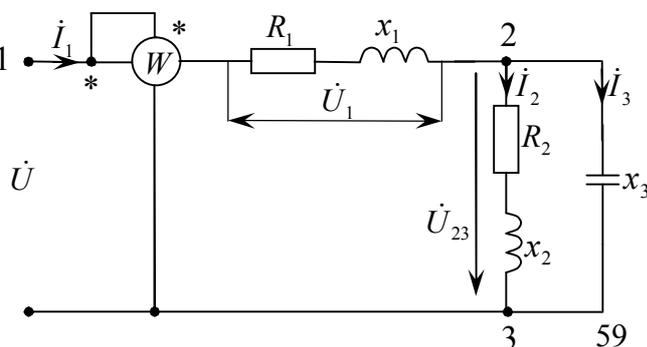
Ечиш: Комплекс тўла қаршиликлари:

$$Z_1 = (2 + j26) \text{ Ом}$$

$$Z_2 = (10 + j10) \text{ Ом}$$

$$Z_3 = -j10 \text{ Ом}$$

Занжирнинг қаршиликлари параллел уланган қисми учун:



$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = (10 - j10) \text{ Ом}$$

Занжирнинг умумий комплекс қаршилиги

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = (2 + j26) + (10 + j10) = (12 + j16) \text{ Ом}$$

Актив қувват формуласидан $P = I_2 R$, занжирга оқиб кирувчи ток:

$$I_1 = \sqrt{\frac{P}{R_1}} = \sqrt{\frac{1200}{12}} = 10 \text{ А}, \quad \text{яни} \quad I_1 = 10 \text{ А} \text{ тенг ва хакикий қийматга эга.}$$

Занжирнинг умумий кучланиш эса: $\dot{U} = I_1 \underline{Z} = (12 + j16) \cdot 10 = (120 + j160) \text{ В}$

Бундан: $U = \sqrt{120^2 + 160^2} = 200 \text{ В}$

Параметрлари кетма – кет уланган қисмидаги кучланиш:

$$\dot{U}_1 = \underline{Z}_1 \dot{I}_1 = (2 + j26) \cdot 10 = (20 + j260)$$

ёки: $U_1 = \sqrt{20^2 + 260^2} = 261 \text{ В}$

Параллел схемада уланган қисмидаги кучланиш:

$$\dot{U}_{23} = \dot{I} \underline{Z}_{23} = (10 + j10) \cdot 10 = (100 + j100) \text{ В}$$

ёки: $U_{23} = \sqrt{100^2 + 100^2} = 200 \text{ В}$

Тармоқ токлари:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_1} = \frac{100e^{-j45^\circ}}{10e^{j45^\circ}} = 10e^{-j90^\circ} = (-j10) \text{ А}$$

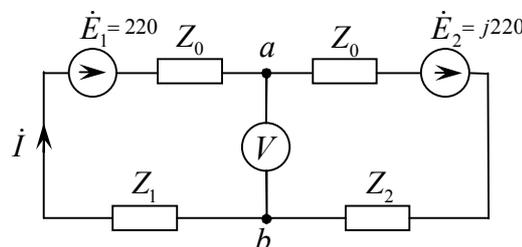
ёки: $I_2 = 10 \text{ А}$.

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_3} = \frac{100e^{-j45^\circ}}{10e^{-j90^\circ}} = 10e^{-j45^\circ} = (10 + j10) \text{ А}$$

ёки: $I_3 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14,1 \text{ А}$.

Масалани ечимини текшираимиз: $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = -j10 + 10 + j10 = 10 \text{ А}$

Масала 3-7. Комплекс қаршиликлари $\underline{Z}_0 = (3 + j4)$; $\underline{Z}_1 = (44 + j74)$ $\underline{Z}_2 = -j80$ бўлган электр ток занжири кетма – кет схемада иккита генераторга уланган бўлиб, ток қиймати ва вольтметрнинг кучланиш аниқлансин.



Ечиш:

Занжир токи:

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_1 + \dot{E}_2}{2\underline{Z}_0 + \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \frac{220 + j220}{(6 + j8) + (44 + j74) + (-j80)} = \frac{220e^{j45^\circ}}{50 + j2} \approx 4,4e^{j45^\circ} = (4,4 + j4,4)$$

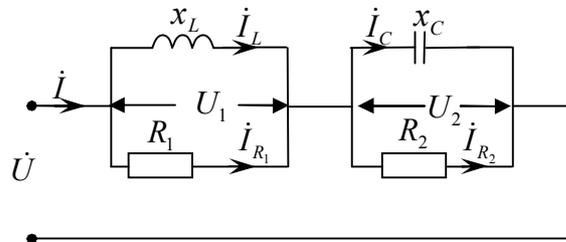
ёки: $I = \sqrt{4,4^2 + 4,4^2} \approx 6 \text{ А}$

Вольтметр кучланиши:

$$\dot{U}_{ab} = \frac{\dot{E}_1 + \dot{E}_2(\underline{Z}_0 + \underline{Z}_1)}{2\underline{Z}_0 + \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \frac{220 + j220[(3 + j4) + (44 + j74)]}{50 + j2} = 335 - j547$$

Бундан: $U_{ab} = \sqrt{335^2 - 547^2} = 642 \text{ В}$

Масала 3-8. Электр занжири параметрлари: $R_1=R_2=25 \text{ Ом}$, $X_L=33,3 \text{ Ом}$, $X_C = -33,3 \text{ Ом}$ бўлиб $U = 320 \text{ В}$ кучланиш уланган. Тўла қаршилик \underline{Z} . бурчак $\cos\varphi$ ва тоқлари аниқлансин.



Ечиш: Паралелл уланган биринчи контур комплекс тўла қаршилиги: :

$$\underline{Z}_1 = \frac{33,3e^{j90^\circ} \cdot 25}{25 + j33,3} = \frac{830e^{j90^\circ}}{41,5e^{j53^\circ}} = 20e^{j37^\circ} = 16 + j12 \text{ Ом}$$

Иккинчи контур тўла қаршилиги:

$$\underline{Z}_2 = \frac{33,3e^{-j90^\circ} \cdot 25}{25 - j33,3} = \frac{830e^{-j90^\circ}}{41,5e^{-j53^\circ}} = 20e^{-j37^\circ} = 16 - j12 \text{ Ом}$$

Тўла комплекс қаршилик: $\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = 16 + j12 + 16 - j12 = 32 \text{ Ом}$

Умумий ток: $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \frac{320}{32} = 10 \text{ А}$

Тўла қувват: $\tilde{S} = \dot{U} \dot{I} = 320 \cdot 10 = 3200 \text{ ВА}$

Актив қувват: $P = RI^2 = 32 \cdot 10^2 = 3200 \text{ Вт}$

Демак занжирнинг қувват коэффициентини: $\cos\varphi = \frac{P}{S} = 1$ - бўлиб актив

қаршилик характерга эга.

Биринчи ва иккинчи контур кучланишлари:

$$\dot{U}_1 = \dot{I} \underline{Z}_1 = 10 \cdot 20e^{j37^\circ} = 200e^{j37^\circ} \text{ (В)}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I} \underline{Z}_2 = 10 \cdot 20e^{-j37^\circ} = 200e^{-j37^\circ} \text{ (В)}$$

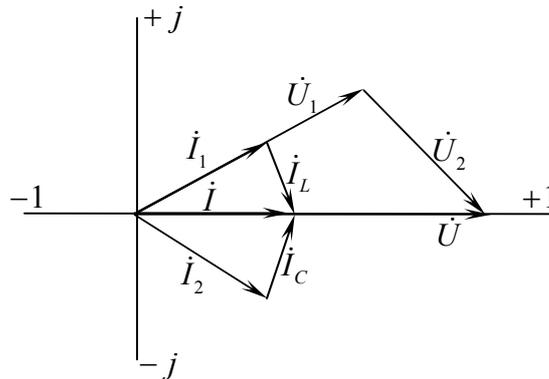
Тоқларни аниқлаймиз: $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{R_1} = \frac{200e^{j37^\circ}}{25} = 8e^{j37^\circ} \text{ А}$

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_L}{X_L} = \frac{200e^{j37^\circ}}{33,3e^{j90^\circ}} = 6e^{-j53^\circ} \text{ А}$$

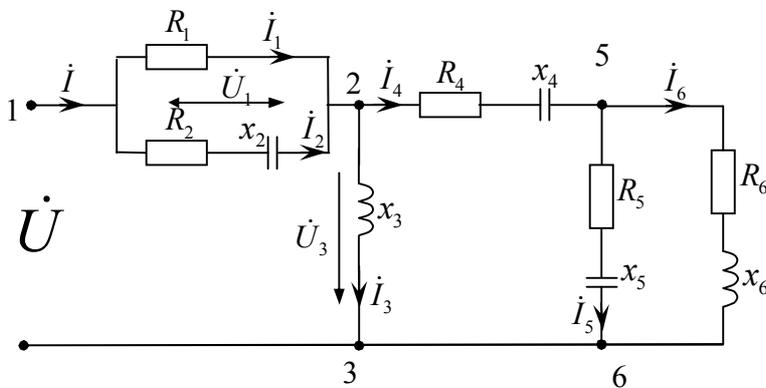
Иккинчи контур тоқларини аниқлаймиз: $\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{R_2} = \frac{200e^{-j37^\circ}}{25} = 8e^{-j37^\circ} \text{ А}$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{X_C} = \frac{200e^{-j37^\circ}}{33,3e^{-j90^\circ}} = 6e^{j53^\circ} \text{ A}$$

Комплекс текисликда ток ва кучланиш вектор ифодасини тузамиз:



Масала 3-9. Берилган электр занжири параметрлари: $R_1=50 \text{ Ом}$, $X_2=-25 \text{ Ом}$, $R_2=25 \text{ Ом}$, $X_3=10 \text{ Ом}$, $R_4=2,5 \text{ Ом}$, $X_4=-5 \text{ Ом}$, $R_5=1 \text{ Ом}$, $X_5=-2 \text{ Ом}$, $R_6=1 \text{ Ом}$, $X_6=2 \text{ Ом}$ бўлиб, $U=100 \text{ В}$ кучланишга уланган.



Занжир тармоқларидан оқадиган \dot{I}_1, \dot{I}_3 ва \dot{I}_4 комплекс ток қийматлари аниқлансин.

Ечиш:

Тармоқ комплекс қаршиликларини аниқлаймиз:

$$\underline{Z}_6 = R_6 + jX_6 = 1 + j2 = e^{j63^\circ}$$

$$\underline{Z}_5 = R_5 - jX_5 = 1 - j2 = e^{-j63^\circ}$$

Параллел уланган тармоқлар комплекс қаршилиги:

$$\underline{Z}_{56} = \frac{\underline{Z}_6 \cdot \underline{Z}_5}{\underline{Z}_6 + \underline{Z}_5} = 2,5 \text{ Ом}$$

Тўртинчи тармоқ комплекс қаршилиги:

$$\underline{Z}_4 = R_4 - jX_4 + \underline{Z}_{56} = 2,5 - j5 + 2,5 = 5 - j5 = 7,1e^{-j45^\circ}$$

Учинчи тармоқ комплекс қаршилиги:

$$\underline{Z}_3 = \frac{\underline{Z}_4 \cdot X_3}{\underline{Z}_4 + jX_3} = \frac{7,1e^{-j45^\circ} \cdot 10e^{j90^\circ}}{5 - j5 + j10} = 10 \text{ Ом}$$

Параллел уланган биринчи контур комплекс қаршилиги:

$$\underline{Z}_{12} = \frac{R_1(R_2 - jX_2)}{R_1 + R_2 - jX_2} = 20,6 - j10,3 = 23e^{-j26^\circ 30'}$$

Занжирнинг комплекс тўла қаршилиги:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_3 = 20,6 + j10,3 + 10 = 30,6 - j10,3 = 32,4e^{-j12^\circ}$$

Занжирга оқиб кирувчи ток қиймати:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \frac{100}{32,4e^{-j12^{\circ}}} = 3,1e^{j12^{\circ}} = 3 + j \text{ A}$$

Тармоқдаги кучланишларини топамиз:

$$\dot{U}_1 = \dot{I} R_{12} = 3,1e^{j12^{\circ}} \cdot 23e^{-j26^{\circ}30'} = 71,5e^{-j14^{\circ}30'} = 70,5 - j10,5$$

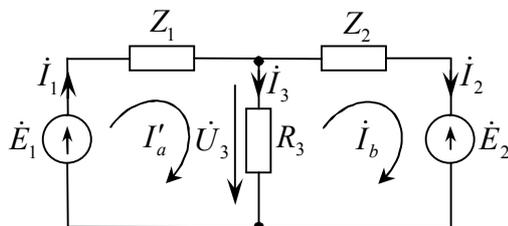
$$\dot{U}_3 = \dot{U} - \dot{U}_{R1} = 100 - 70,5 + j10,5 = 29,5 + j10,5 = 31,5e^{j19^{\circ}30'}$$

Бундан тармоқ токлари:

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_3}{jX_3} = \frac{31,5e^{j19^{\circ}30'}}{10e^{j90^{\circ}}} = 3,15e^{-j70^{\circ}30'} = -j3 + 1 \text{ A}$$

$$\dot{I}_4 = \dot{I} - \dot{I}_3 = 3 + j - 1 + j3 = 2 + j4 \text{ A}$$

Масала 3-10. Икки контурли электр ток занжирига ички қаршиликлари $Z_1=Z_2=1+j2$ Ом; э.ю.к. $E_1 = 120$ В, $E_2 = 115$ В тенг. Иккита генератор ўртасига қаршилиги. $R_3 = 10$ Ом бўлган истеъмолчи уланган. Тармоқ токи, кучланишлари ҳар хил усуллар ёрдамида ҳисоблансин.



Ечиш:

1. Контурли ток усули.

Берилган занжир иккита контурдан ташкил топган бўлиб, тармоқ ва контур токлар йўналиши шартли равишда белгилаб оламиз. э.ю.к. ларнинг йўналишини ҳисобга олган ҳолда \dot{I}_a, \dot{I}_b контурлар учун иккита тенглама тузамиз.

$$\dot{I}_a (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3) - \dot{I}_b \underline{Z}_3 = \dot{E}_1$$

$$\dot{I}_b (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) - \dot{I}_a \underline{Z}_3 = \dot{E}_2$$

Тенгламалар системасини ечиш билан контур токлари топилади:

$$\dot{I}_a (11 + j2) - \dot{I}_b 10 = 120 \quad | \quad 10$$

$$\dot{I}_b (11 + j2) - \dot{I}_a 10 = -115 \quad | \quad (11 + j2)$$

$$\dot{I}_b (11 + j2)(11 + j2) - 100 \dot{I}_a = 1200 - 115(11 + j2)$$

Бундан: $\dot{I}_b = (-5,04 - j0,47) \text{ A}$

Биринчи тенгламадан: $\dot{I}_a = \frac{120 + \dot{I}_b 10}{11 + j2} = (6,05 - j1,53) \text{ A}$

Биринчи генератор токи контур токига тенг:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = (6,05 - j1,53) \text{ A} \quad \text{ёки} \quad I_1 = \sqrt{(6,05)^2 + (-1,53)^2} = 6,24 \text{ A}$$

Иккинчи генератор токи:

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_e = (-5,04 - j0,47) \text{ A} \quad \text{ёки} \quad \dot{I}_2 = \sqrt{(-5,04)^2 + (-0,47)^2} = 5,28 \text{ A}$$

Истеъмолчи токи: $\dot{I}_3 = \dot{I}_a - \dot{I}_e = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = (6,05 - j1,53) - (-5,04 - j0,47) = (11,09 - j1,06) \text{ A}$

$$\text{ёки:} \quad I_3 = \sqrt{(11,09)^2 + (1,06)^2} = 11,14 \text{ A}$$

Истеъмолчи ва генераторлардаги кучланиш:

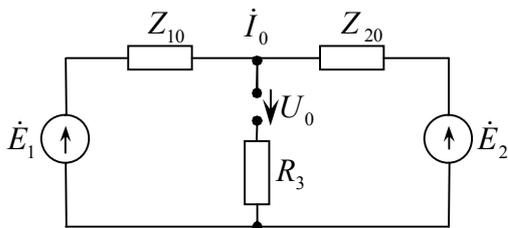
$$\text{ёки:} \quad \dot{U}_3 = \dot{I}_3 R_3 = (11,09 - j1,06) \cdot 10 = (110,9 - j10,6) \text{ B}$$

$$U_3 = \sqrt{(110,9)^2 + (-10,6)^2} = 111,4 \text{ B}$$

2. ЭКВИВАЛЕНТ ГЕНЕРАТОР УСУЛИ.

Занжирнинг истеъмолчи уланган тармоғи узилган бўлсин.

$$\text{Бунда:} \quad \dot{U}_0 = \dot{E}_1 - \dot{I}_0 \underline{Z}_1 = \dot{E}_1 - \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = 120 - \frac{120 - 115}{2(1 + j2)} (1 + j2) = 117,5 \text{ B}$$



Узилган ҳолатда занжирнинг ички

қаршилиги $(\dot{E}_1 = 0, \dot{E}_2 = 0)$ яъни

эквивалент генератор қаршилиги:

$$\underline{Z}_3 = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = (0,5 + j1) \text{ Ом}.$$

$$\text{Истеъмолчидан оқадиган ток:} \quad \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_0}{R_3 + \underline{Z}_3} = \frac{117,5}{10 + (0,5 + j1)} = (11,09 - j1,06) \text{ A}$$

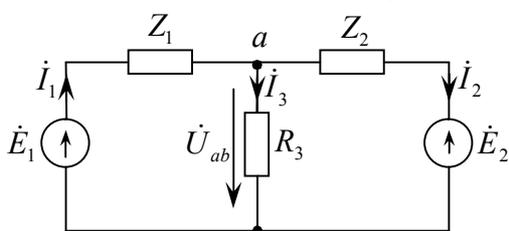
$$I_3 = 11,14 \text{ A}$$

$$\text{Истеъмолчи кучланиш:} \quad \dot{U}_3 = \dot{I}_3 R_3 = (110,9 - j10,6) \text{ B};$$

$$\text{ёки:} \quad U = \sqrt{(110,9)^2 + (10,6)^2} = 111,4 \text{ B}$$

3. ТУГУН КУЧЛАНИШЛАР УСУЛИ

Занжирнинг *a* ва *b* тугун потенциалларида кучланиш:



$$\dot{U}_{ab} = \frac{\dot{E}_1 \underline{Y}_1 + \dot{E}_2 \underline{Y}_2}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3} = \frac{5}{2,1 + j0,2} = (2,36 - j0,225) \text{ B}$$

$$U_{ab} = \sqrt{(2,36)^2 + (-0,225)^2} = 2,37 \text{ B}$$

$$\text{Биринчи } \dot{E}_1 \text{ генератор токи:} \quad \dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_1} = \frac{120 - (2,36 + j0,225)}{1 + j2} = (23,6 - j47) \text{ A}$$

$$\text{ёки:} \quad I_1 = \sqrt{(23,6)^2 + (-47)^2} = 52,6 \text{ A}$$

Иккинчи E_2 генератордан оқиб ўтувчи ток:

$$\dot{I}_2 = \frac{-\dot{E}_2 - \dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_2} = (23,41 - j47) \quad \text{ёки} \quad I_2 = \sqrt{(23,41)^2 + (-47)^2} = 52,5 \text{ A}$$

Истеъмолчи токи: $\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_3} = \frac{2,36 - j2,25}{10} = (0,24 - j0,023) \text{ A}$

Бундан: $I_3 \approx 0,24 \text{ A}$

3-3. Мустақил ечиш учун масалалар:

Масала 3-1. Ток ва кучланишларнинг комплекс ифодалари:

1. $\dot{U} = 100 \text{ (В)}$ $\dot{I} = (16 + j12) \text{ A}$

2. $\dot{U} = 60 + j80 \text{ (В)}$ $\dot{I} = 20 \text{ A}$

3. $\dot{U} = 60 + j80 \text{ (В)}$ $\dot{I} = j20 \text{ A}$

4. $\dot{U} = 100e^{j\frac{\pi}{3}} \text{ (В)}$ $\dot{I} = 20e^{j\frac{\pi}{6}} \text{ A}$

бўлган қийматлари учун комплекс тўла қаршилик, актив ва реактив ташкил этувчи параметрлар аниқлансин.

Масала 3-2. Ток ва кучланишларнинг ҳақиқий (эффektiv) комплекс ифодалари $\dot{I} = (5 + j5)$ ва $\dot{U} = (20 + j20)$ бўлганда ток ва кучланишлар оний қиймат ифодаси ва тўла қаршилиги аниқлансин.

Жавоб: $\underline{Z} = -j4 \text{ (Ом)}$

Масала 3-3. Ток ва кучланишлар комплекс ифодалари:

1. $\dot{U} = 100e^{j\frac{\pi}{6}} \text{ (В)}$ $\dot{I} = 10e^{j\frac{\pi}{6}} \text{ A}$

2. $\dot{U} = 10^5 e^{-j\frac{\pi}{3}} \text{ (В)}$ $\dot{I} = 50e^{j\frac{\pi}{6}} \text{ A}$

бўлганда, актив қувват, тўла қаршилик ва тўла ўтқазувчанлик комплекс ифодаси аниқлансин.

Жавоб: 1) $P = 1 \text{ кВт}$, 2) $P = 0$

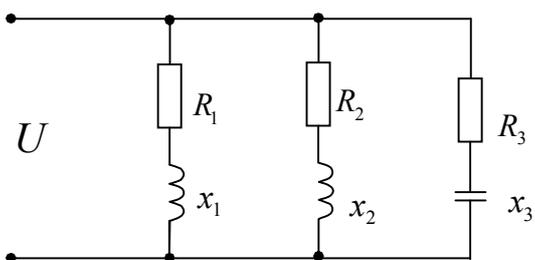
Масала 3-4. Индуктив ғалтак $\dot{U} = 100 \text{ (В)}$ кучланишга уланган бўлиб, қаршиликлари $R=3 \text{ Ом}$, $X=\pm 4 \text{ Ом}$. Ток ва тўла қувват комплекс ифодалари аниқлансин.

Жавоб: $\tilde{S} = \dot{U} \dot{I} = (1200 \pm j1600) \text{ ВА}$

Масала 3-5. Қаршилик параметрлари $R=20 \text{ Ом}$, $X_L=10 \text{ Ом}$ бўлган индуктив ғалтак частотаси $f=50 \text{ Гц}$ бўлган $U=100\sin(\omega t + 45^\circ) \text{ (В)}$ кучланиш уланган. Частота икки мартагача кўпайган ҳолат учун комплекс тўла қаршилиги, ток ва тўла қуввати аниқлансин.

Жавоб: $\dot{I} = 2,5 \text{ A}$, $\tilde{S} = 177 \text{ ВА}$

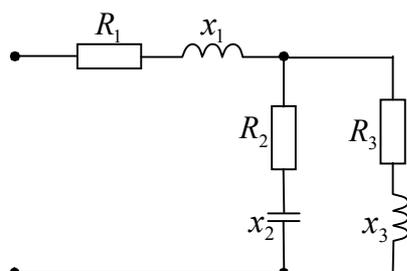
Масала 3-6. Паралелл схемада уланган учта истеъмолчи параметрлари:



$R_1=5 \text{ Ом}, X_1=2 \text{ Ом}, R_2=2,5 \text{ Ом}, X_2=5 \text{ Ом}, R_3=1,25 \text{ Ом}, X_3=-2,5 \text{ Ом}$ тенг. Эквивалент комплекс ўтказувчанлик параметрлари ва умумий занжир учун бурчак $\cos\varphi$ аниқлансин.

Жавоб: $y = 0,425 \left(\frac{1}{\text{Ом}}\right); \cos\varphi=0,995$

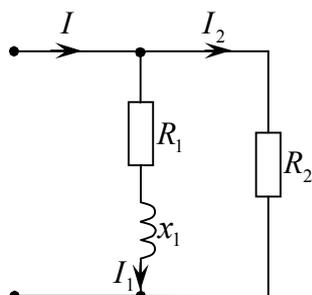
Масала 3-7. Электр занжир параметрлари: $R_1=3 \text{ Ом}, X_1=20 \text{ Ом}, R_2=50 \text{ Ом}, X_2 =-100 \text{ Ом}, R_3 = 100 \text{ Ом}, X_3 =50 \text{ Ом}$



тенг. Занжирнинг эквивалент актив ва реактив қаршилик қийматлари аниқлансин.

Жавоб: $R=105,5 \text{ (Ом)}, X=-5,3 \text{ (Ом)}$.

Масала 3-8. Берилган электр ток занжирнинг тормоқ тоқлари $I=1,6 \text{ А}, I_1=8,93 \text{ А}, I_2=10 \text{ А}$ ва қаршилик $R_2=2 \text{ Ом}$



бўлганда, P_1 актив қувват, $\cos\varphi$ - қувват коэффициентлари ва R_1, X_1 - қаршилик параметрлари аниқлансин.

Жавоб: $P_1=800 \text{ Вт}, \cos\varphi= 0,446, R_1=10 \text{ Ом}, X_1=\pm 20 \text{ Ом}$.

Масала 3-9 .Электр занжирнинг тоқи $I=10 \text{ А}$, кучланиш $U=130 \text{ В}$ истемол қиладиган актив қуввати $P=500 \text{ Вт}$ бўлиб, $\varphi>0$ ва $\varphi<0$ бўлган ҳолатларда тўла қаршилик ва ўтказувчанлик комплекс ифодаси ёзилсин.

Жавоб: $Z=(5\pm j12) \text{ Ом}; Y=(2,96\pm j7,1)10^{-2} \frac{1}{\text{Ом}}$

3-4. Синов саволлари:

1. Комплекс сон математик ифодасини ёзинг. Эйлер формуласига изох беринг?
2. Комплекс сонлар билан кушиш, айриш, кўпайтириш ва булиш математик амаллари бажарилганда қандай қурилишларда ёзилади?
3. Синусоидал ўзгарувчан ток занжирларини комплекс (символик) усулларда ҳисоблашда қандай афзалликлари бор?
4. Нима учун комплекс ифода $\pm j$ ёки $e^{\pm j\phi}$ га бурилиш бурчаги дейилади?
5. Синусоидал ўзгарувчан (ток, кучланиш, ЭЮК) функцияларини комплекс сон кўринишида ифодаланишини исботланг.
6. Синусоидал ўзгарувчан ток, кучланиш ва Э. Ю. К. лар комплекс ифодасини ёзинг.
7. Комплекс сонларни дифференциаллаш ва интеграллаш қандай бажарилади?
8. Ом ва Кирхгоф қонунлари комплекс усулда қандай ифодаланади?
9. Актив, реактив ва тўла қаршилиқ комплекс ифодасини ёзинг.
10. Актив, реактив ва тўла ўтказувчанлик комплекс ифодасини ёзинг.
11. Актив, реактив ва тўла қувват тенгламаларининг комплекс ифодасини ёзинг.
12. $U=220\sin(\omega t + 45)$, ва $i=10\sqrt{2}\sin(\omega t+90)$ ток ва кучланиш функциялари комплекс усулда қандай ифодаланади?
13. Кучланиш $\dot{U}=100e^{j120}$ В, ток $\dot{I}=j10A$ бўлганда, комплекс тўла қаршилиқ ва тўла ўтказувчанлик қийматларини аниқланг
14. Тўла қаршилиқлари: $Z_1=5+j11$ Ом, $Z_2 = 4-j2$ Ом га тенг кетма – кет уланган ток занжири схемаси тузилиб умумий тўла қаршилиги аниқлансин.
15. Комплекс ифодалари: $\dot{U} = 60e^{j90}$, $\dot{I} = 5e^{j30}$ бўлганда комплекс тўла қувват ифодаси ва актив, реактив қувватлар қийматлари қандай аниқланади?
16. Паралел схемада бириктирилган истемолчилар комплекс қаршилиқлари $Z_1=10e^{j60}$ Ом, $Z_2= 5^{-j30}$ Ом бўлганда комплекс эквивалент қаршилиқ канчага тенг?
17. $\dot{U}= -220+j220$ В, $\dot{I} =15 -j5$ А комплекс ифодаларининг оний синусоидал ўзгарувчан қийматларини ёзинг.
18. $\dot{I} = -5e^{j90}$ А, $\dot{U}=j 141 e^{j90}$ В бўлган комплекс ифодаларнинг оний синусоидал ўзгарувчан тенгламасини ёзинг.

4-Боб. Ўзаро индуктив боғланган ўзгарувчан электр ток занжирлари.

4-1. Асосий назарий тушунчалар.

Электромагнит индукция қонунига асосан индуктив ғалтакда, ток i , магнит оқими Φ , ёки индуктив параметр L ўзгарувчан бўлса ўзиндукция э.ю.к хосил бўлади.

$$\ell_L = \frac{d\psi}{dt} = -W \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

Агарда иккита индуктив элементларнинг биридан оқиб ўтувчи ток иккинчи индуктивликда э.ю.к хосил қилса, бундай электр ток занжири индуктив боғланган дейилади (трансформатор).



Бунда индуктивликда хосил бўладиган магнит оқими:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi_{11} + \Phi_{12} \\ \Phi_2 &= \Phi_{22} + \Phi_{21} \end{aligned} \right\} \text{ёки} \quad \left. \begin{aligned} \Phi_{1\text{умумий}} &= \Phi_1 \pm \Phi_{21} \\ \Phi_{2\text{умумий}} &= \Phi_2 \pm \Phi_{12} \end{aligned} \right\}$$

Чўлғамга илашган магнит оқим:

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= W_1(\Phi_1 \pm \Phi_{21}) = \Psi_1 \pm \Psi_{21} \\ \Psi_2 &= W_2(\Phi_2 \pm \Phi_{12}) = \Psi_2 \pm \Psi_{12} \end{aligned}$$

Индуктивликларда хосил бўладиган ўзаро индукцияланувчи э.ю.к:

$$\begin{aligned} \ell_1 &= -\frac{d\Psi_1}{dt} = -\frac{d(\Psi_1 \pm \Psi_{21})}{dt} = -\frac{d\Psi_1}{dt} \pm \frac{d\Psi_{21}}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M_{21} \frac{di_2}{dt} = \ell_{1L} + \ell_{1M} \\ \ell_2 &= -\frac{d\Psi_2}{dt} = -\frac{d(\Psi_2 \pm \Psi_{12})}{dt} = -\frac{d\Psi_2}{dt} \pm \frac{d\Psi_{12}}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M_{12} \frac{di_1}{dt} = \ell_{2L} + \ell_{2M} \end{aligned}$$

$M_{12} = M_{21} = M$ -ўзаро индуктивлик коэффициенти дейилади ва Гн ўлчанади.
 M – коэффициенти индуктив ғалтакнинг ўрамлар сонига, ўзаро жойлашишига ва магнит тавсифига ҳам боғлиқ бўлади.

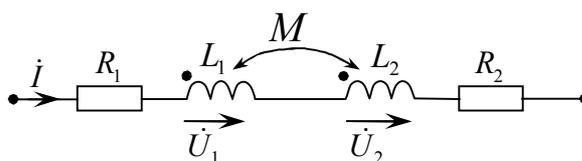
1. Кетма-кет схемада уланган индуктив ғалтак

Бу холда комплекс тўла қаршилик:

$$\underline{z} = \underline{z}_1 + \underline{z}_2 + 2\underline{z}_M = (R_1 + j\omega L_1) + (R_2 + j\omega L_2) \mp 2j\omega M$$

ёки $\underline{z}_M = \pm 2j\omega M$ -ўзаро индукция комплекс қаршилиги.

“Плюс” ишора иккита индуктивлик кетма-кет, минус “ишора” эса қарама-қарши уланишга мос бўлади.



Эквивалент индуктивликлар ўзаро уланиш схемасига асосан:

$$L_{\text{мос}} = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L_{\text{қарама-қарши}} = L_1 + L_2 - 2M$$

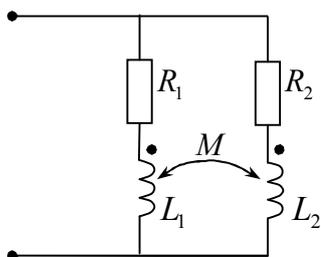
Индуктивликлардаги кучланишлар:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (\underline{z}_1 \pm j\omega M)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 (\underline{z}_2 \pm j\omega M)$$

2. Паралелл схемада уланиш

Паралелл схемада бириктирилган индуктив боғланган ток занжирини ҳисоблашда Кирхгофнинг 2-қонунига асосан ҳар-бир тармоқ учун тузилган комплекс тенгламалар системасини ечиш билан тармоқ тоқлари топилади.



Тармоқларнинг эквивалент қаршиликлари:

$$\underline{z}_{1\varnothing} = \frac{\underline{z}_1 \underline{z}_2 - \underline{z}_M^2}{\underline{z}_2 - \underline{z}_M}$$

$$\underline{z}_{2\varnothing} = \frac{\underline{z}_1 \underline{z}_2 - \underline{z}_M^2}{\underline{z}_1 - \underline{z}_M}$$

Тенгламага асосан эквивалент схемасини тузамиз.



Демак паралелл схемада уланган индуктив ғалтак ток занжирини эквивалент схема, ёки қаршилик параметрлари орқали индуктив боғланмаган актив қаршилик R_3 ва X_3 индуктив қаршилик кўринишда ифодалаш мумкин .

$$\underline{z}_3 = R_3 + jx_3$$

Хусусий ҳолда, агар ($R_1 = R_2 = 0$) бўлса,

$$L_{1\varnothing} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_2 \mp M}, \quad L_{2\varnothing} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 \mp M}$$

Занжирнинг умумий қаршилиги:

$$\underline{Z}_\varnothing = \frac{\underline{z}_1 \underline{z}_2 - \underline{z}_M^2}{R + \underline{z}_2 \mp 2\underline{z}_M}$$

3. Индуктив боғланган занжирни ҳисоблашда **боғланиш коэффициенти -К** орқали ҳам ифодаланади.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \leq 1$$

Индуктив боғланган ғалтаклар мос равишда ёки қарама – қарши бириктирилган бўлса:

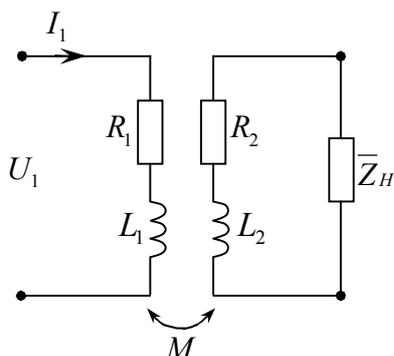
$$L_{\text{мос}} = L - M > 0 ; \quad L_{\text{қк}} = L + M < 0 \quad \text{ёки} \quad M = \frac{L_M - L_{\text{қк}}}{4}$$

Индуктивлик L ва ўзаро индуктивликлар M мувозанат тенгламаси.

$$M^2 \leq L_1 L_2 \quad \text{ёки} \quad 2M^2 \leq L_1 + L_2$$

4. Ўзаксиз трансформатор (ҳаво трансформатори)

Схемада берилган ўзаксиз трансформатор занжирини ҳисоблашда контурли ток усули ёки эквивалент схемаси билан бажарилади. Агарда трансформаторнинг бирламчи чўлғамидан оқадиган токни аниқлаш зарур бўлса, мураккаб индуктив боғланган ток занжири эквивалент схемасидан фойдаланган ҳолда иккиламчи чўлғам комплекс қаршилиги ўрнига бирламчи чўлғамча кирувчи актив R_0 ва реактив x_0 қаршилиқлар билан алмаштирилади:



$$R_0 = \frac{Z_M^2}{R_2^2 + x_2^2} R_2$$

$$x_0 = \frac{Z_M^2}{R_2^2 + x_2^2} x_2$$

Бунда R_2 ва x_2 - трансформаторнинг иккиламчи чўлғам актив ва реактив қаршилиқлар.

Истемолчи қаршилиги инобатга олинган:

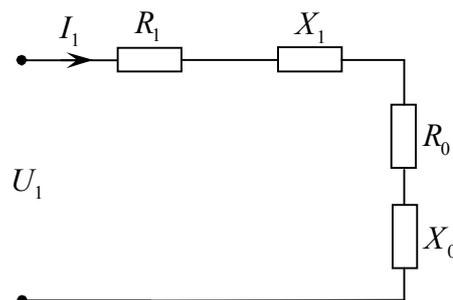
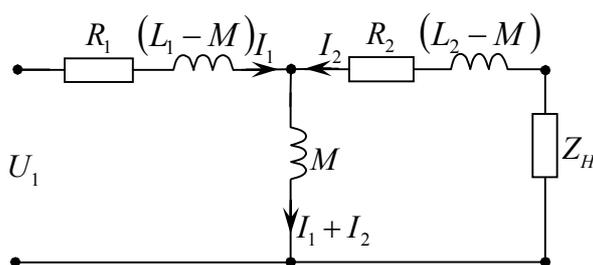
$$R' = R_2 + R_H, \quad x'_2 = x_2 + x_H$$

Доимо $R \geq 0$ бўлиб, сарф бўладиган қувватни ифодалайди.

Агар трансформатор иккиламчи чўлғамига индуктив қаршилиқ уланган бўлса, унда $x_{2L} > 0, x_0 < 0$ бўлиб трансформатор магнит оқими сусаяди

Агарда сиғим қаршилиги уланган бўлса, $x_{2C} < 0, x_0 > 0$ бўлиб трансформаторнинг магнит оқими кучаяди.

Трансформаторнинг эквивалент схемалари.



5. **Бир нечта индуктив боғланган мураккаб ток занжирини ҳисоблашда,** Кирхгоф қонунлари, контурли ток усули, устма-устлик усул ва эквивалент генератор усулларидан фойдаланилади.

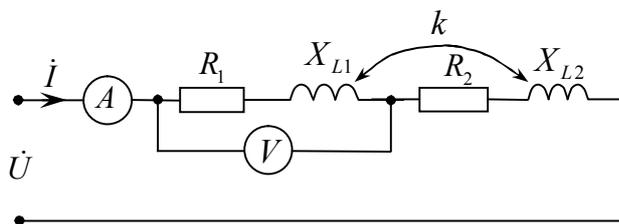
Ўзаро индуктив боғланган ток занжирлари Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан тенглама тузилганда қушимча $\dot{U}_M = \pm j\omega M_{nk} \cdot \dot{I}_k$ ифода пайдо бўлиб n - ғалтак \dot{I}_k ток оқиб утганда ҳосил бўладиган кучланишни ифода қилади. Бунда плюс (+) ёки минус (-) ишоралар индуктив ғалтакларнинг уланиш схемаси билан боғлиқ бўлади.

Индуктив боғланган ток занжирларнинг контурли ток усулидан фойдаланиб ҳисоблашда, n -контурдаги $\pm j\omega M_{nk} \cdot \dot{I}_k$ ифода ишорасини аниқлашда, n ва k контурлар боғловчи ғалтакдаги контур тоқлари I_n ва I_k бир хил йўналишда бўлса, “плюс” ишора, агарда қарама-қарши йўналишда бўлса, “минус” ишора билан олинади. (Схемада нукта билан белгиланган ишоралар тоқларнинг киришига мос келади ҳамда “плюс” ишораси билан ҳисобга олинади.)

4-2. **Масала ечиш.**

Масала 4-1 Кетма-кет уланган иккита реактив ғалтак параметрлари $R_1 = 60\text{ом}$, $R_2 = 40\text{ом}$, $x_{i_1} = 8\text{ом}$, $x_{i_2} = 10\text{ом}$ бўлиб, $U = 300\text{В}$ кучланишга уланган.

Боғланиш коэффициентини $K=0,565$ бўлган иккита ғалтакнинг ўзаро мос ва қарама-қарши уланган схемалари учун ўлчов асбобларнинг кўрсатиш қийматлари аниқлансин.



Ечиш :

А) Кетма-кет (мос) уланиш

Ўзаро индуктив қаршилик: $x_M = \omega M = k\sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2} = 0,565\sqrt{8 \cdot 1} = 1,6 \text{ Ом}$

Комплекс ток:
$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R + j\omega L_{\text{мос}}}$$

Бунда
$$L_{\text{мос}} = L_1 + L_2 + 2M$$

$$R = R_1 + R_2$$

Комплекс кучланиш ҳақиқий сон бўлиб $\dot{U} = U = 300\text{В}$

Ёки:
$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_2}{R + j\omega L_{\text{мос}}} = \frac{300}{10 + j12,2} = 12,05 - j14,7\text{А}$$

Амперметрдан оқиб утувчи токнинг ҳақиқий қиймати:

$$I = \sqrt{12,05^2 + 14,7^2} = 19\text{А}$$

Биринчи ғалтакдаги комплекс кучланиш:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + j\omega L + j\omega M) = (12,05 - j14,7) \cdot (6 + j4 + j1,6) = (213,3 + j27,5)(B)$$

Вольтметрдаги кучланиш: $U_1 = \sqrt{213^2 + 27,5^2} = 216B$

Иккинчи ғалтакдаги комплекс кучланиш:

$$\dot{U}_2 = \dot{I} (R_2 + j\omega L_2 + j\omega M_2) = (86,4 - j27,4)(B)$$

Масаланинг ечимини текширамыз:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 213,3 + j27,48 + 86,4 - j27,4 = 299,7 + j0,06 \approx 300B$$

Б) Қарама-қарши үланиш.

Комплекс ток:
$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R + j\omega L_{kk}}$$

Бунда:
$$L_{\text{қарама-қарши}} = L_1 + L_2 - 2M$$

Ёки:
$$x_{L_{kk}} = \omega L_{kk} = \omega L_1 + \omega L_2 - 2\omega M = 8 + 1 - 2 \cdot 1,6 = 5,8 \text{ Ом}$$

Ток
$$\dot{I} = \frac{300}{10 + j5,8} = (22,5 - j13) \text{ A}$$

Амперметр курсатадиган киймати: $I = \sqrt{(22,5)^2 + (-13)^2} = 26A$

Биринчи ғалтакдаги кучланиш комплекс ифодаси

$$\dot{U}_1 = \dot{I} (R_1 + j\omega L_1 + j\omega M) = (22,5 - j14) \cdot (6 + j8 + j1,6) = (218 - j65,6)B$$

Вольтметрдаги кучланиш:

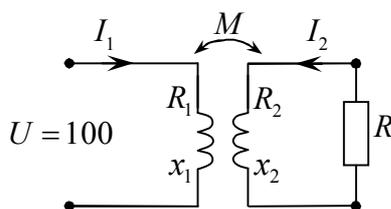
$$U_1 = \sqrt{(218)^2 + (65,6)^2} = 226B$$

Иккинчи вольтметрдаги комплекс кучланиш:

$$\dot{U}_2 = \dot{I} (R_2 + j\omega L_2 - j\omega M) = (82,2 - j65,5)B$$

Демак ўзаро индуктив қаршилик абсолют киймати $x_M = \omega M > x_{L_2} = \omega L_2$ дан бўлиб реактив қаршилиги “минус” ишорага тенг ҳамда комплекс “сиғим” қаршилигига мос эканлиги ифодаляйди.

Масала 4-2. Ўзаксиз трансформаторнинг (ҳаво трансформатори) иккиламчи



чўлғами истеъмолчи қаршилиги $R=10 \text{ Ом}$ уланган бўлиб, бирламчи чўлғами $U=100 \text{ В}$ кучланишга уланган. Трансформаторнинг салт ишлаш ҳолатида бирламчи ва иккиламчи чўлғамларидаги ток, кучланиш ва қувват кийматлари: $I_{10} = 10A, P_{10} = 100BT, U_{10} = 100B,$

$U_{20} = 100B, I_{20} = 2,5A, P_{20} = 100B$ га тенг. Трансформаторнинг бирламчи W_1 ва иккиламчи W_2 чўлғамларидан оқадиган ток ва фойдали иш коэф-фициенти аниқлансин.

Ечиш:

Ўзаро индуктив қаршилиги :
$$x_M = \omega M = \frac{E_{20}}{I_{10}} = \frac{180}{10} = 18 \text{ Ом}$$

Бирламчи чўлғам актив қаршилиги :

$$R_1 = \frac{P_{10}}{I_{10}^2} = \frac{100}{10^2} = 1 \text{ Ом}$$

$$\text{Бирламчи чўлғам тўла қаршилиги : } z_1 = \frac{U_{10}}{I_{10}} = 10 \text{ Ом}$$

$$\text{Бирламчи чўлғам реактив қаршилиги : } x_1 = \sqrt{z_1^2 - R_1^2} = 9,45 \text{ Ом}$$

$$\text{Иккиламчи чўлғам актив қаршилиги : } R_2 = \frac{P_{20}}{I_{20}^2} = 16 \text{ Ом}$$

$$\text{Иккиламчи чўлғам тўла қаршилиги : } z_2 = \frac{U_{20}}{I_{20}} = 40 \text{ Ом}$$

$$\text{Иккиламчи чўлғам реактив қаршилиги : } x_2 = \sqrt{z_2^2 - R_2^2} = 36,6 \text{ Ом}$$

Кирхгофнинг 2-қонунига асосан тенгламасини езамиз :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + jx_1) + \dot{I}_2 jx_M$$

$$0 = \dot{I}_2 (R_2 + R) + jx_2 \dot{I}_1 + \dot{I}_1 x_M$$

Иккинчи тенгламадан:

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 \frac{jx_M}{(R_2 + R) + jx_2}$$

Ток \dot{I}_2 кийматини биринчи тенгламага куямиз:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 (R_1 + jx_1) - \dot{I}_1 \frac{jx_M}{(R_2 + R) + jx_2} jx_M = \\ &= \dot{I}_1 \left\{ \left[R_1 + \frac{x_M^2 (R_2 + R)}{(R_2 + R) + x_2^2} \right] + j \left[x_1 - \frac{x_M^2 x_2}{(R_2 + R) + x_2^2} \right] \right\} = \dot{I}_1 \underline{Z}_3 \end{aligned}$$

Бундан занжирнинг эквивалент тўла қаршилиги: $\underline{Z}_3 = (4,46 + j8,29) \text{ Ом}$

$$\text{Бирламчи чўлғамдан оқадиган ток : } \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_3} = \frac{100}{(4,46 + j8,9)} \text{ А}$$

$$\text{Токнинг хакикий киймати: } I_1 = \sqrt{(5,1)^2 + (2,5)^2} = 10,72 \text{ А}$$

Иккиламчи чўлғамдан оқиб утувчи токни ифодаловчи тенгламадан:

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 \frac{jx_M}{(R_2 + R) + jx_2} = -(5,1 - j9,5) \frac{j18}{(76 + j36,6)} = (-2,3 - j0,1) \text{ А}$$

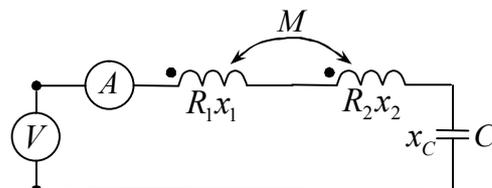
Иккиламчи чўлғамдан оқадиган токнинг хакикий киймати:

$$I_2 = \sqrt{(2,3)^2 + (0,1)^2} = 2,3 \text{ А}$$

Трансформаторнинг фойдали иш коэффициентини:

$$\eta = \frac{P_2}{P} = \frac{I_2^2 R}{(I_1^2 R) + I_2^2 (R_2 + R)} = \frac{(2,3)^2 \cdot 10}{10,7} = 0,62$$

Масала 4-3. Индуктив боғланган иккита ғалтак сиғим қаршилиги билан кетма-кет уланган бўлиб, қаршилиқлар: $R_1 = 10,5 \text{ Ом}$, $\omega L_1 = 14,6 \text{ Ом}$, $R_2 = 10,6 \text{ Ом}$, $\omega L_2 = 17 \text{ Ом}$, $\omega M = 32 \text{ Ом}$. частотаси $f = 50 \text{ КГц}$ га тенг. Занжирдан оқиб утувчи ток $I = 2,2 \text{ А}$ кучланиш $U = 88 \text{ мВ}$. Сиғим қаршилиги ва сиғим C аниқлансин.



Ечиш:

Актив қаршилиги: $R = R_1 + R_2 = 21,1 \text{ Ом}$

Тўла қаршилиги : $z = \frac{U}{I} = \frac{8,8 \cdot 10^{-3}}{2,2 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ Ом}$

Реактив қаршилк: $x = x_L - x_C = \pm \sqrt{z^2 - R^2} = \pm 34 \text{ Ом}$

Ғалтаклар индуктив қаршилиги $x_L = \omega L_1 + \omega L_2 + 2\omega M = 38 \text{ Ом}$

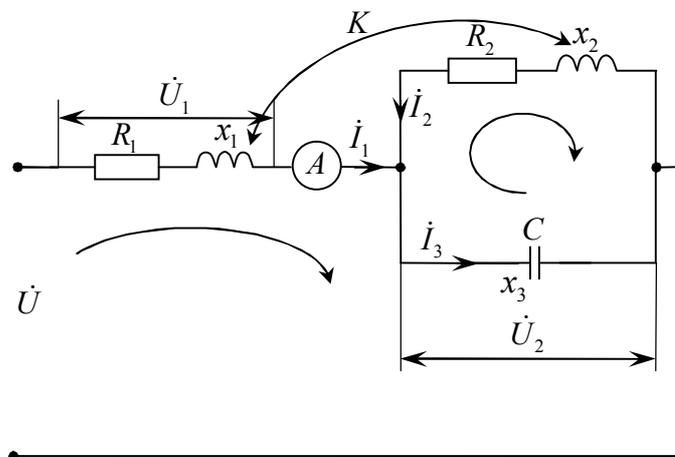
Сиғим қаршилиги $x_C = x_L - x = 38 \pm 34 \text{ Ом}$

Демак индуктив ғалтакларнинг ўзаро уланиш схемасига караб сиғим икки хил қаршиликга эга бўлади.

$$x'_{C_{\text{мос}}} = 38 - 34 = 4 \text{ Ом}, \quad x'_{C_{\text{кк}}} = 38 + 34 = 72 \text{ Ом}$$

ёки: $C' = \frac{1}{\omega x'_{C'}} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ ф} = 0,8 \text{ мкФ}, \quad C'' = \frac{1}{\omega x'_{C''}} = 0,044 \cdot 10^{-6} \text{ ф} = 0,044 \text{ мкФ}$

Масала 4-4. Схемада келтирилган ўзаро индуктив боғланган ток занжирининг биринчи тармогидан оқатган ток $I=10\text{А}$, боғланиш коэффициенти $K=0,75$. Параметр қийматлари: $R_1=2 \text{ Ом}, x_1=10 \text{ Ом}, R_2=1 \text{ Ом}, x_2=4 \text{ Ом}, x_3=2 \text{ Ом}$. Ғалтак кучланишлари, умумий кучланиш ва қувват аниқлансин.

**Ечиш:**

Кирхгоф қонунларига асосан контур токлари йўналиши бўйича тенглама Тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 &= \dot{I}_3 \\ \dot{U} &= \dot{I}R_1 + \dot{I}_1 j\omega L_1 - \dot{I}_2 R_2 - \dot{I}_2 j\omega L_2 + \dot{I}_1 j\omega M - \dot{I}_2 j\omega M \\ 0 &= -\dot{I}_2 R_2 - \dot{I}_2 j\omega L_2 - \dot{I}_3 \left(-j\frac{1}{\omega C}\right) + \dot{I}_1 j\omega M \end{aligned} \right\}$$

Ўзаро индуктив қаршилик $x_M = \omega M = k\sqrt{x_1 x_2} = 0,75\sqrt{1,4} = 1,5 \text{ Ом}$

Тузилган тенгламалар системасини ечамиз, бунда $\dot{I}_1 = I_1 = 10\text{А}$ бўлиб, хақиқий сон ва комплекс тенгликда хақиқий ўқ бўйича йўналтирилади.

$$10 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3 \quad (1)$$

$$\dot{U} = 10(2 + j2,5) - \dot{I}_2(1 + j5,5) \quad (2)$$

$$0 = -\dot{I}_2(1 + j4) + j15 + \dot{I}_3 \cdot j2 \quad (3)$$

Биринчи тенгламадан $10 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3$ ни (3)- тенгламага қўямиз.

$$-\dot{I}_2(1 + j4) + j15 + \dot{I}_3 \cdot j2 = -\dot{I}_2(1 + j2) + j35 = 0$$

Бундан:
$$\dot{I}_2 = \frac{j35}{1 + j2} = (14 + j7)A$$

Токнинг эффектив қиймати: $I_2 = \sqrt{14^2 + 7^2} = \sqrt{245} = 15,6A$

Биринчи тенгламадан:

$$\dot{I}_3 = 10 + \dot{I}_2 = 10 + 14 + j7 = (24 + j7)A$$

$$I_3 = \sqrt{24^2 + 7^2} = \sqrt{625} = 25A$$

Иккинчи тенгламадан, занжир умумий кучланиши:

$$\dot{U} = 10(2 + j2,5) - (14 + j7)(1 + j5,5)B$$

Кучланиш эффектив қиймати:

$$\dot{U} = \sqrt{(44,5)^2 + (59)^2} = \sqrt{5461} = 73,9B$$

Биринчи ғалтакдаги кучланиш:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + j\omega L_1) - \dot{I}_2 j\omega M = (10(2 + j) - 14 + j7)j1,5 = (30,5 - j11)B$$

Кучланиш эффектив қиймати:

$$\dot{U}_1 = \sqrt{(30,2)^2 + (11)^2} = \sqrt{1051,2} = 32,4B$$

Иккинчи ғалтак ёки конденсатор кучланиш:

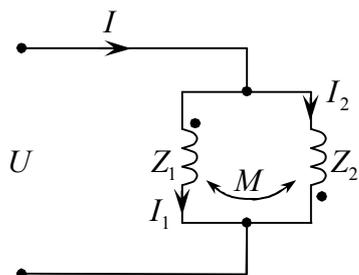
$$\dot{U}_2 = -\dot{I}_2(R_2 + j\omega L_2) + \dot{I}_1 j\omega M = -(14 + j7)(1 + j4) + j15 = (14 - j48)B$$

Эффектив қиймати: $\dot{U}_2 = \sqrt{(14)^2 + (48)^2} = 50B$

Занжир актив қуввати: $P = P_1 + P_2 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 445BT$

Масала 4-5. Индуктив боғланган параллелл схемада уланган ток занжирини тўла қаршиликлари $z_1 = (5 + j10) \text{ Ом}$, $z_2 = (100 + j20) \text{ Ом}$, $z_M = 10 \text{ Ом}$

бўлиб, $\dot{U} = 120B$ кучланишга уланган. Занжирга кирувчи ток ва қувват қийматлари аниқлансин.



Ечиш:

Параллелл уланган холда комплекс эквивалент тўла қаршиликлари

$$z_{1\varnothing} = \frac{z_1 z_2 - z_M^2}{z_2 - z_M} = (6,7 + j8,9) \text{ ом}$$

$$z_{2\varnothing} = \frac{z_1 z_2 - z_M^2}{z_1 - z_M} = (56,4 - j6) \text{ ом}$$

Тармоқ токлари:

$$\dot{I}_1 = \frac{U}{Z_{1,}} = (6,4 - j8,6) \quad (I_1 = 10,8A)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{U}{Z_{2,}} = (2,1 - j0,27) \quad (I_2 = 2,2A)$$

Умумий ток: $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (8,5 - j8,38)$

Биринчи ғалтакдаги реал актив қувват:

$$P_1 = R_3 (\dot{U} \dot{I}_1) = R_3 [120(6,4 + j8,6)] = 768BT$$

Ғалтакдаги актив қувват эса: $P_1' = I_1^2 R_1 = 115 \cdot 5 = 574BT$

Қувватлар фарки: $\Delta P_1 = P_1 - P_1' = 768 - 574 = 194BT$

Иккинчи ғалтакдаги реал актив қувват:

$$P_2 = R_3 (\dot{U} \dot{I}_2) = R_e [120(2,1 + j0,22)] = 252BT$$

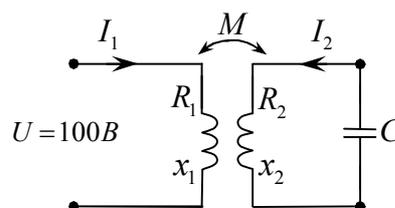
Ғалтакдаги актив қувват эса: $P_2' = I_2^2 R_2 = 4,46 \cdot 100 = 446BT$

Қувватлар фарки: $\Delta P_2 = P_2 - P_2' = 252 - 446 = -194BT$

Бунда иккинчи ғалтакдаги етишмайдиган $\Delta P_2 = -194BT$ актив қувват ўзароиндукция ходисасига асосан энергия билан таъминланади:

$$P_M = P_{12} = R_e \left[j\omega M \dot{I}_1 \dot{I}_2 \right] = R_e [j10(11,56 - j19,4)] = 194BT$$

Масала 4-6. Ўзаксиз трансформаторнинг иккиламчи чўлғамдан оқиб ўтадиган ток $I_2 = 0,5A$ бўлиб, сиғим қаршилиги уланган, ғалтак параметрлари $R_1 = 60\text{ом}$, $\omega L_1 = 80\text{ом}$, $R_2 = 90\text{ом}$, $\omega L_2 = 45\text{ом}$, $\frac{1}{\omega C} = 210\text{ом}$ ва боғланиш коэффициентини $k=0,5$. Бирламчи чўлғам токи ва кучланиш қийматлари топилиб, вектор ифодаси тузилсин.



Ечиш:

Ўзаро индуктив қаршилик: $x_M = \omega M = k \sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2} = 30\text{ом}$

Кирхгоф қонунларига асосан контур токлари йўналиши бўйича тенглама

тузамиз: $\left[R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C} \right) \right] \dot{I}_2 + j\omega M \dot{I}_1 = 0$

Бундан $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \frac{R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C} \right)}{-j\omega M} = \frac{90 + j(45 - 210)}{-j30} = 3,14 \ell^{j28^\circ} \text{ A}$

Бирламчи чўлғам кучланиши:

$$\dot{U}_1 = (R_1 + j\omega L_1) \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2 = (60 + j80)3,14 \ell^{j28^\circ} + 30 \cdot 0,5 = 328 \ell^{j82^\circ}$$

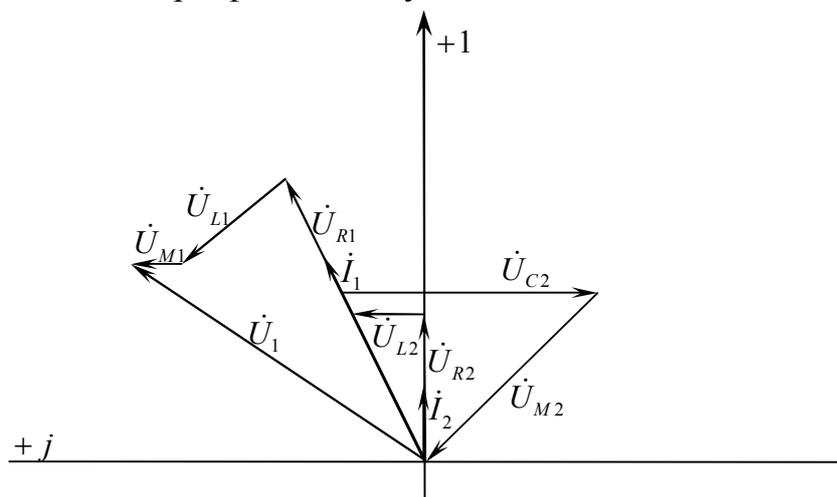
Вектор ифода тузиш учун, қаршилик параметр кучланишларини аниқлаш зарур: $\dot{U}_{R_1} = R_1 \dot{I}_1 = (165 + j90)(B)$ $U_{R_2} = R_2 I_2 = 45(B)$

$$\dot{U}_{L_1} = j\omega L_1 \dot{I}_1 = (-120 + j220)(B) \quad \dot{U}_{L_2} = j\omega L_2 \dot{I}_2 = j22,5(B)$$

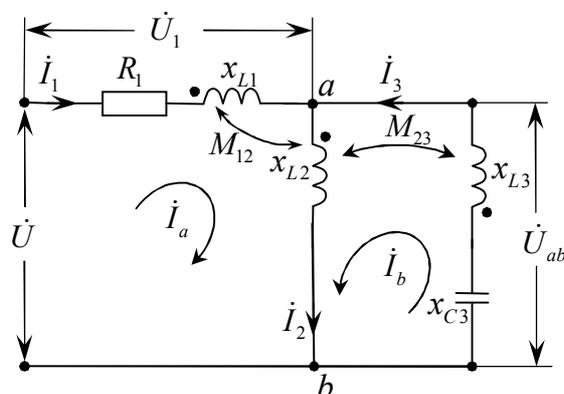
$$\dot{U}_{M_1} = j\omega M \dot{I}_1 = (-45 + j82,5)(B) \quad \dot{U}_{M_{21}} = j\omega M \dot{I}_2 = j15(B)$$

$$\dot{U}_{C_2} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \dot{I}_2 = -j105(B)$$

Комплекс текисликда вектор ифодасини тузамиз.



Масала 4-7. Схемада берилган электр ток занжирининг қаршилик параметрлари: $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $x_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$, $x_{M_{23}} = 10 \text{ Ом}$, бўлиб $U = 150 \text{ MB}$ кучланишга уланган. Тармоқ тоқлари топилиб U_{ab} кучланиш аниқлансин.



1. Кирхгофнинг қонунларига асосан ечиш

Кирхгофнинг қонунларига асосан тенглама тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 - \dot{I}_2 + \dot{I}_3 &= 0 \\ \underline{z}_1 \dot{I}_1 + \underline{z}_{M_{12}} \dot{I}_2 + \underline{z}_{M_{23}} \dot{I}_3 + \underline{z}_2 \dot{I}_2 + \underline{z}_{M_{12}} \dot{I}_1 &= \dot{U} \\ \underline{z}_2 \dot{I}_2 + \underline{z}_3 \dot{I}_3 + \underline{z}_{M_{12}} \dot{I}_1 + \underline{z}_{M_{32}} \dot{I}_2 + \underline{z}_{M_{32}} \dot{I}_3 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Бунда:

$$\underline{z}_1 = (50 + j20)$$

$$\underline{z}_2 = j20$$

$$\underline{z}_3 = (j20 - j50) = -j30$$

$$\underline{z}_{M_{12}} = j\omega M_{12} = j10$$

$$\underline{z}_{M_{23}} = j\omega M_{32} = j10 \text{ ом}$$

Тенглама қаршиликлар ва кучланиш қийматларини қўйсақ:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 - \dot{I}_2 + \dot{I}_3 &= 0 \\ (5 + j3)\dot{I}_1 + j3\dot{I}_2 + j\dot{I}_3 &= 25 \\ \dot{I}_1 + 3\dot{I}_2 - 2\dot{I}_3 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Детерминант усули билан ечиш натижасида:

$$\Delta = 5(1 + j2), \Delta_1 = 25, \Delta_2 = -75, \Delta_3 = -100$$

Демак: $\dot{I}_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = (1 + j2) \quad (\text{МА})$

$$\dot{I}_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = -3(1 + j2) \quad (\text{МА})$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = -4(1 + j2) \quad (\text{МА})$$

U_{ab} - потенциал кучланиш учун тенглама тузамиз:

$$\dot{U}_{ab} = j\omega M_{12}\dot{I}_1 + j\omega L_2\dot{I}_2 + j\omega M_{23}\dot{I}_3 = (180 - j90) \text{ (МВ)}$$

2. Контурли ток усулига асосан ечиш

Контур токлари йуналиши буйича тенглама тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} (\underline{z}_1 + 2\underline{z}_{M_{12}})\dot{I}_a + (\underline{z}_2 + \underline{z}_{M_{23}} + \underline{z}_{M_{12}})\dot{I}_b &= \dot{U} \\ (\underline{z}_2 + \underline{z}_{M_{12}} + \underline{z}_{M_{23}})\dot{I}_a + (\underline{z}_{22} + 2\underline{z}_{M_{23}})\dot{I}_b &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Бунда: $\underline{z}_{11} = \underline{z}_1 + \underline{z}_2 = (50 + j40) \text{ ом}$

$$\underline{z}_{22} = \underline{z}_2 + \underline{z}_3 = -j10 \text{ ом}$$

Тенгламалар системасини ечиш натижасида: $\dot{I}_a = \frac{\dot{U}(\underline{z}_{22} + 2\underline{z}_{M_{23}})}{\Delta}$

$$\dot{I}_b = \frac{-\dot{U}(\underline{z}_2 + \underline{z}_{M_{12}} + \underline{z}_{M_{23}})}{\Delta}$$

Бунда: $\Delta = (\underline{z}_{11} + 2\underline{z}_{M_{12}})(\underline{z}_{22} + 2\underline{z}_{M_{23}}) - (\underline{z}_2 + \underline{z}_{M_{12}} + \underline{z}_{M_{23}})^2$

Ушбу қаршилик параметрлари қийматларини куйиш билан:

$$\dot{I}_a = (1 + j2) \text{ (МА)}$$

$$\dot{I}_b = (-4 - j8) \text{ (МА)}$$

Тармоқ токларининг комплекс ифодаси: $\dot{I}_1 = \dot{I}_a = (1 + j2) \quad (\text{МА})$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_a + \dot{I}_b = -3(1 + j2) \text{ (МА)}$$

$$\dot{I}_3 = -\dot{I}_b = (4 + j8) \text{ (МА)}$$

Кучланиш: $\dot{U}_{ab} = j\omega M_{12}\dot{I}_1 + j\omega L_2\dot{I}_2 + j\omega M_{23}\dot{I}_3 = (180 - j90) \text{ (МВ)}$

4-3. Мустакил ечиш учун масалалар:

Масала 4-1 Паралелл схемада уланган ғалтакнинг параметрлари $R_1 = 20\text{ом}$, $R_2 = 20\text{ом}$, $x_{L_1} = 10\text{ом}$, $x_{L_2} = 20\text{ом}$ ва $x_M = 10\text{ом}$ тенг. Занжирга кириш ёки эквивалент қаршилиги $\underline{z}_0 = \underline{z}_e$ аниқлансин.

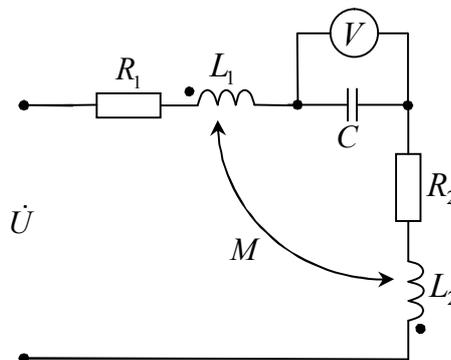
Жавоб: $\underline{z}_0 = \underline{z}_e = 16,27\ell^{j49^{\circ}20'}$

Масала 4-2. Индуктив боғланган ғалтакнинг параметрлари $x_{L_1} = 15\text{ом}$, $x_{L_2} = 20\text{ом}$, $x_M = 3\text{ом}$ бўлганда, боғланиш коэффициенти k аниқлансин.

Жавоб: $k=0,17$

Масала 4-3. Берилган электромагнит занжир параметрлари: $C = 43\text{мкф}$, $L_1 = 22\text{Гн}$, $L_2 = 18\text{Гн}$, $M = 6,5\text{мГн}$ $R = 10,5\text{ом}$, $R_2 = 9,2\text{ом}$, $U = 100\text{В}$, $f = 200\text{Гц}$ Сигимга уланган вольтметрнинг кўрсатиш қиймати аниқлансин.

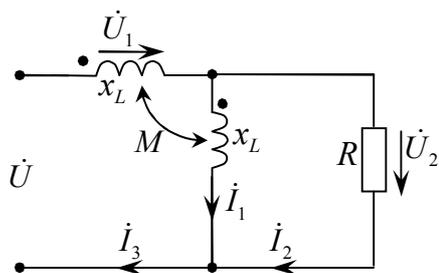
Жавоб: $U=48\text{В}$



Масала 4-4. Трансформаторнинг қаршилиқ параметрлари $R_2 = 2,3\text{ом}$, $x_{L_1} = 8\text{ом}$, $x_{L_2} = 10\text{ом}$, $x_M = 8\text{ом}$, $\underline{z}_H = 3,35\ell^{-j50^{\circ}}$ ом, бўлиб, бирламчи чўлғами $\dot{U}_1 = 100\text{В}$ кучланишга уланган. Бирламчи ва иккиламчи чўлғамларидан оқиб утувчи ток аниқлансин.

Жавоб: $\dot{I}_1 = 21,9\text{А}$; $\dot{I}_2 = 22,8\ell^{j15,8^{\circ}}$

Масала 4-5. Схемада келтирилган ток занжирининг параметрлари $x_L = 140\text{ом}$,



$x_M = 60\text{ом}$, $R = 30\text{ом}$ бўлиб $\dot{U} = 200\text{В}$ кучланишга уланган. Тармоқ тоқлари, \dot{U}_1, \dot{U}_2 кучланиш ва қувватлар баланси аниқлансин.

Жавоб:

$$U_1 = 171\text{В}; U_2 = 60\text{В}; I_1 = 0,67\text{А}; I_2 = 2\text{А}; I_3 = 1,43\text{А};$$

$$\tilde{S} = \dot{U}\dot{I} = 120 + j260(\text{ВА})$$

$$\dot{I}_1 = -0,6 + j0,3\text{А}; \dot{I}_2 = 1,2 - j1,6\text{А}; \dot{I}_3 = 0,6 - j1,3\text{А}$$

Масала 4-6. Берилган схеманинг параметрлари: $z_1 = (3 + j) \text{ Ом}$, $z_2 = -j10 \text{ Ом}$,

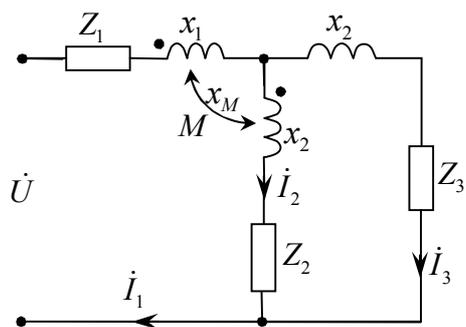
$z_3 = (12 + j5) \text{ Ом}$ $x_1 = 3 \text{ Ом}$, $x_2 = 2 \text{ Ом}$, $x_3 = 3 \text{ Ом}$,

$x_M = 8 \text{ Ом}$ бўлиб, учинчи тармоқ токи

$\dot{I}_3 = 1 \text{ А}$ тенг. Тармоқ токлари \dot{I}_1, \dot{I}_2 ва \dot{U}_1

кучланиш аниқланиб, топографик диаграммаси тузилсин.

Жавоб: $\dot{I}_1 = j2 \text{ А}$, $\dot{I}_2 = -1 + j2 \text{ А}$, $\dot{U}_1 = j12 \text{ В}$



4-4. Синов саволлари:

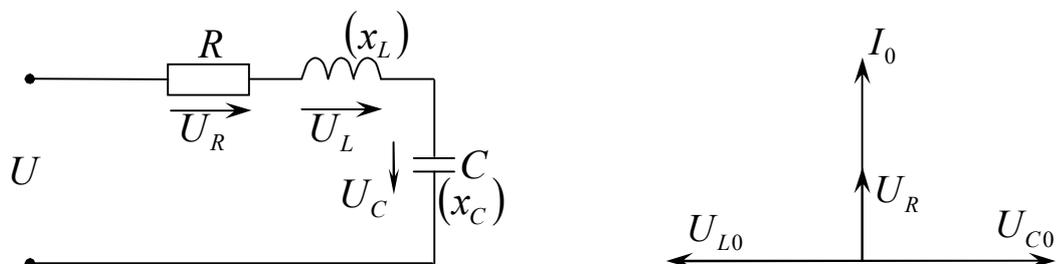
1. Ўзиндукция ва ўзаро индукция ходисаларининг физик маъносини тушунтириб беринг.
2. Магнит индукция, магнит оқим ва индуктивлик тенгламалари қандай ифодаланади, ўлчов бирлиги нима?
3. Электромагнит индукция қонунини ифодаловчи тенгламадаги $e = -w d\phi/dt$ «минус» ишора маъносига изох беринг.
4. Ўзаро индуктив боғланиш коэффициент ифодасини ёзинг.
5. Ўзаро индуктивлик коэффициенти ифодасини ёзинг.
6. Ўзаро индукция ЭЮК қандай ифодаланади ва йўналиши қандай аниқланади?
7. Ўзаро индуктив боғланган ток занжирларининг уланиш схемаларини чизинг.
8. Ўзаро индуктив боғланган кетма-кет ва параллел схемаларда уланган занжирнинг эквивалент индуктивлик тенгламасини ёзинг.
9. Ўзаро индуктив боғланиш коэффициенти тажриба асосида қандай аниқланади?
10. Чизикли хаво трансформаторини таърифлаб беринг.
11. Трансформаторнинг эквивалент алмашлаш схемасини чизинг.
12. Трансформатор вазифаси, тузилиши ва ишлаш принципини биласизми?
13. Трансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти нима?
14. Трансформаторнинг ишчи ҳолат вектор ифодасини тузинг ва тушунтириб беринг.
15. Индуктивлиги $L=0,05\text{Гн}$ ва ўзаро индуктивлик коэффициенти $M=0,08\text{ Гн}$ бўлган ток занжирини ўзаро индуктив боғланиш коэффициентини K аниқланг.
16. Индуктивлиги $L_1 = 0,1\text{ Гн}$, $L_2 = 0,1\text{ Гн}$, индуктив боғланиш коэффициенти $K = 0,8$ бўлган электр занжири ўзаро индуктивлик коэффициенти M аниқлансин.
17. Эквивалент индуктивлиги $L_3 = L_1 + L_2 - 2M$ тенглама билан ифодаланувчи ўзаро индуктив боғланган электр занжир схемасини чизинг.
18. Ўзаро индуктив боғланган учта ғалтакдан иборат икки контурли электр ток занжири учун контурли ток усулига асосан тенгламасини тузинг.
19. Кетма-кет схемада уланган иккита индуктив боғланган (ғалтак) занжир учун тенгламасини ёзиб, тапографик вектор диаграммасини тузинг.

5 –Боб. Электр занжирларида резонанс ходисалари.

5-1. Асосий назарий тушунчалар.

Реактив элементлар, индуктивлик ва сизим каршиликларидан таркиб топган электр ток занжирларида ток ва кучланиш векторлари устма – уст тушиб, булар орасидга бурчак $\varphi = 0$ бўлган холда, **резонанс ходисаси** юзага келади.

1. Кетма – кет уланган R,L,C занжирида кучланишлар резонанси.



Ушбу занжирда резонанс холат вақтида $X_L = X_C$, ёки: $\omega_o L - \frac{1}{\omega_o C} = 0$

Бундан резонанс частота: $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (рад / сек)

Демак резонанс ходисасига узгарувчан ток частотаси f , индуктивлик ва сизим параметрларини узгартирши билан эришилади.

Резонанс пайтида реактив элементлар каршиликлари: $\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} = \rho$

Ёки $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ тулкин каршилиги дейилиб (ОМ) да улчанади.

Резонанс холатда ток максимал кийматига эришиб: $I_o = \frac{U}{R} = I_{\max}$

Реактив элементлардаги кучланиш: $U_{L0} = U_{C0} = I_o \rho$

Агар $\rho > R$ булса реактив каршиликлардаги кучланишлар манба кучланишидан катта булади. Неча мартага катта булишилиги куйидаги нисбат билан аникланади:

$$Q = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{U_{C0}}{U} = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{\rho}{R}$$

Бунда Q – контур **сахийлиги** ёки **асиллиги** дейилади, базан сифат коэффициентини хам дейилади.

Унга тескари булган киймат $d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho}$ **контурни сунити** дейилади.

Реактив каршиликлардаги кучланишлар $U_{L\max}$ ва $U_{C\max}$ максимал кийматга резонансдан олдин ёки кейин эришади, ва куйидаги ифода билан изохлади.

$$\omega_L = \omega_o \sqrt{\frac{2}{2-d^2}} \quad \text{ва} \quad \omega_C = \omega_o \sqrt{\frac{2+d^2}{2}}$$

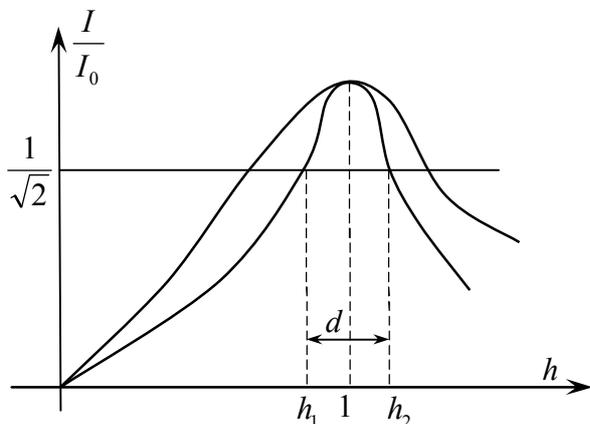
Резонанс контур частотаси (ω), занжир параметрлари, ток ва кучланишларга нисбатан боглик функциясига **частотали характеристикаси** дейилади.

$$(I(U), U(\omega), U_L(\omega), U_C(\omega), X_L(\omega), X_C(\omega), Z(\omega))$$

Бу характеристикаларни анализ килишда ток ёки частотани нисбий киймат оркали ифодалаш анча қулай бўлиб, коэффициент $\eta = \frac{\omega}{\omega_0}$ тенг деб олинади.

Бунда: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ (рад / сек)}; I_0 = \frac{U}{R}$

У холда: $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\left(\eta - \frac{1}{\eta} \right) : d \right]^2}}$



Сундириш коэффициенти: $d = \eta_1 - \eta_2$ Резонанс контурининг маълум бир частотани утказиш чегараси:

$$\omega_0(\eta_2 - \eta_1) = \omega_0 d.$$

Резонанс ҳолатда тебранувчан электромагнит майдон энергияси узгармас бўлади.

$$W_0 = W_M + W_C = \frac{1}{2} LI^2 + \frac{1}{2} CU^2 = const$$

2. Параллел уланган g, L, C занжирида тоқлар резонанси.

Параллел уланган ток занжирларида

резонанс ҳолатда $\mathcal{E}_L = \mathcal{E}_C$ бўлиб резонанс

частота: $\frac{1}{\omega_0 L} - \omega_0 C = 0$

ёки: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ (рад / сек)}$

Реактив элементларнинг утказувчанлиги:

$$\frac{1}{\omega_0 L} = \omega_0 C = \gamma \text{ - тенг бўлиб,}$$

тулқин утказувчанлиги дейилади.

Резонанс ҳолатда умумий ток: $I_0 = Ug$.

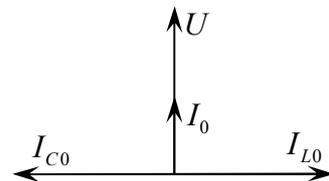
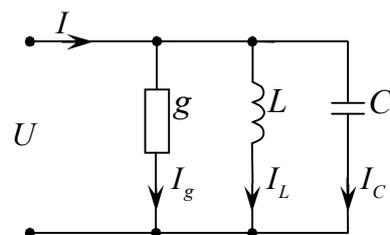
Реактив элементлардаги тоқлар: $I_{L0} = I_{C0} = U\gamma$

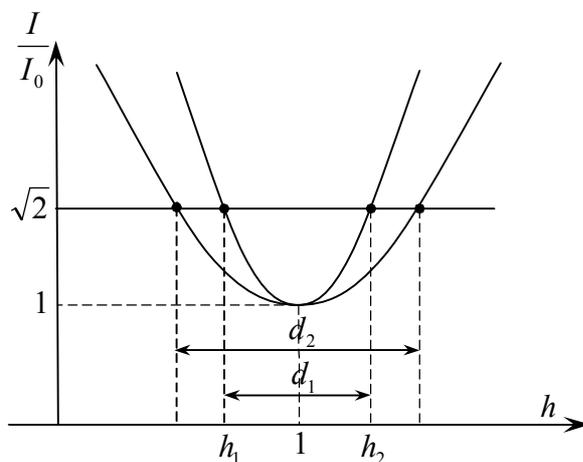
Агарда $g < \gamma$ бўлганда, реактив қаршиликларда ток, умумий тоқдан катта бўлиб: $d = \frac{I}{I_{L0}} = \frac{I}{I_{C0}} = \frac{Ug}{U\gamma} = \frac{g}{\gamma}$ - **контур суниши** дейилади.

Тесқари киймат: $Q = \frac{1}{d} = \frac{\gamma}{g}$ - **контур сархиллиги** ёки **асиллиги** дейилади.

Резонанс ҳолат учун частотали характеристикаларини тузишда ток ва частота кийматларига нисбан олинган тенгламадан фойдаланилади:

$$\frac{I}{I_0} = \sqrt{1 + \left[\left(\frac{1}{h} - h \right) : d \right]^2}$$





Келтирилган характеристикадан резонанс частота суниш чегаралари $d = h_1 - h_2$ билан ифодаланилади.

Токлар резонанси пайтида ҳам электромагнит майдон энергиясининг тебраниши кучланишлар резонанс ҳолатига ухшаш ва узгармас булади.

$$W = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}CU^2 = const$$

3. Тармоқланган электр ток занжирларида резонанс.

Тармоқланган электр ток занжирларида ҳам резонанс шarti $\varphi = 0$ булиб, ток ва кучланиш векторлари орасидаги бурчак нулга тенг.

Ёки: $x_3 = 0; \varphi_3 = 0$

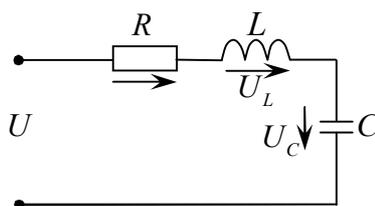
Бир нечта индуктивлик ва сизим элементларидан тузилган мураккаб электр занжирларида резонанс ҳодисаси, баъзи контур ва тармоқларда ҳам ҳосил булиши мумкин.

5-2. Масала ечиш.

Масала 5-1. Кетма – кет бириктирилган ток занжирининг параметрлари $L = 150 \text{ мкГн} = 15 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$, $C = 470 \text{ мкФ} = 47 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$, $R = 5 \text{ Ом}$ булиб, $U = 10 \text{ В}$ кучланишга уланган. Резонанс частотаси f_0 , реактив элементлардаги кучланиш

U_L, U_C , тулқин каршилиги ρ , контур асиллиги Q ва суниш коэффициенти d аниқлансин.

Ечиш:



$$\text{Резонанс частота: } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{705 \cdot 10^{-16}}} = \frac{1}{26,6 \cdot 10^{-8}} = 376 \cdot 10^4 \text{ (рад/сек)}$$

$$\text{Бундан: } f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{376 \cdot 10^4}{6,28} = 6 \cdot 10^5 \text{ (Гц)}$$

$$\text{Резонанс ҳолат токи: } I_0 = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ (А)}$$

$$\text{Реактив каршиликлари: } x_L = \omega_0 L = 565 \text{ ом}$$

$$x_C = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{1 \cdot 10^{11}}{376 \cdot 10^4 \cdot 47} = 565 \text{ ом}$$

Реактив каршилиқлардаги кучланишлар:

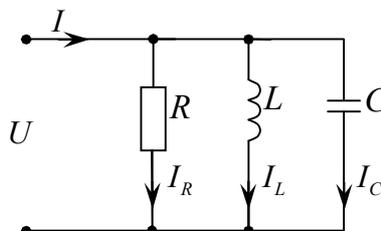
$$U_L = IX_L = 565 \cdot 2 = 1130 \text{ В}, \quad U_C = IX_C = -1130 \text{ В}$$

Тулкин каршилиги: $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = 565$

Асиллик коэффициенти: $Q = \frac{U_C}{U} = \frac{\rho}{R} = 113$

Суниш коэффициенти: $d = \frac{1}{Q} = \frac{1}{113} = 0,885 \cdot 10^{-2}$

Масала 5-2.



Параллел схемада уланган ток занжирининг параметрлари $R = 50 \text{ Ом} (g = 0,02 \frac{1}{\text{Ом}})$, $L = 16 \text{ мГн} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$, $C = 40 \text{ мкФ} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, бўлиб, $U = 200 \text{ В}$, кучланишга уланган. Резонанс частота f_0 , тоқлар I, I_L, I_C сўниш коэффициенти d ва тулкин утказувчанлиги γ аниқлансин.

Ечиш:

Резонанс частота: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 10^{-8}}} = \frac{1}{8 \cdot 10^{-4}} = 1250 \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right)$

Еки: $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 199 (\text{Гц})$

Тоқ: $I = Ug = 200 \cdot 0,02 = 4 \text{ (А)}$

Индуктив ва сигим реактив утказувчанликлари:

$$b_L = \frac{1}{\omega_0 L} = \frac{1}{1250 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 0,05 \left(\frac{1}{\text{ом}} \right)$$

$$b_C = \omega_0 C = 1250 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 0,05 \left(\frac{1}{\text{ом}} \right)$$

Индуктивлик ва сигимдан оқиб утувчи тоқ:

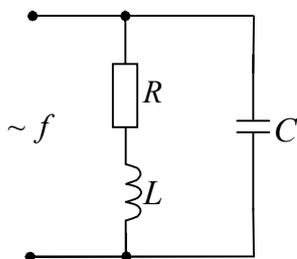
$$I_L = Ub_L = 10 \text{ (А)}, \quad I_C = Ub_C = 10 \text{ (А)}$$

Тулкин утказувчанлиги: $\gamma = \sqrt{\frac{C}{L}} = 0,05$

Контур асиллиги: $Q = \frac{\gamma}{g} = 2,5$

Контур суниш коэффициенти: $d = \frac{1}{Q} = 0,4$

Масала 5-3. Схемада келтирилган электр занжири частотаси $f=400 \text{ Гц}$ узгарувчан тоқ манбаига уланган. Агар актив каршилиқ $R=5 \text{ Ом}$, сигим параметр $C=10,5 \text{ мкФ}$ булса, индуктивликнинг кандай кийматида резонанс холат юзага келади.



Ечиш:

Ушбу занжир учун резонанс шарти, реактив утказувчанликнинг йигиндиси нолга тенглиги булади.

Яни:
$$y = y_1 + y_2$$

Бунда:
$$y_1 = \frac{1}{z_1} = j\omega c; \quad y_2 = \frac{1}{z_2} = \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{R - j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Еки:
$$y = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\left(\omega c - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}\right)$$

“Қавс” ичидаги реактив утказувчанлик тенгламасини нолга тенглаймиз:

$$b = \omega c - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} = 0$$

Умумий махражга келтириб ω га булиб юборилса:

$$\omega^2 L^2 c^2 - L + cR^2 = 0$$

Индуктивликга нисбатан тенгламани ечими илдизлари:

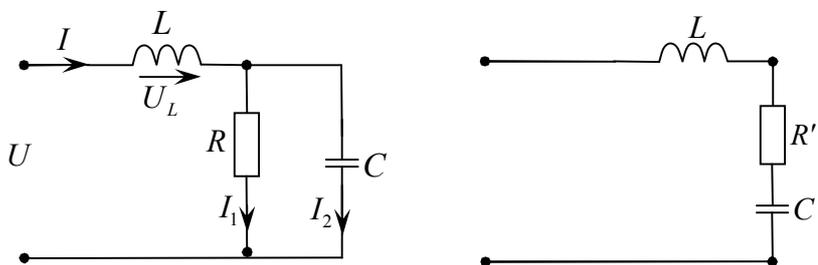
$$L_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4\omega^2 c^2 R^2}}{2\omega^2 c} = \frac{1 \pm 0,85}{132}$$

Демак занжирда резонанс холат юзага келиши мумкин булган индуктивлик кийматлари:

$$L_1 = 0,0142н = 14мГн$$

$$L_2 = 0,00114 = 1,14мГн$$

Масала 5-4. Келтирилган ток занжири учун резонанс частота ω_0 тенгламаси ва актив каршиликнинг (Z_0) кандай кийматида резонанс холат юзага келишини аниқлансин.



Ечиш:

Занжирнинг паралелл уланган кисмини эквивалент схемаси билан алмаштирамиз.

$$R' = \frac{g}{y^2} = \frac{\frac{1}{R}}{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega c)^2} = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$$

$$x' = \frac{b}{y^2} = \frac{\omega C}{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega c)^2} = \frac{\omega CR^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2}$$

Кетма-кет уланган эквивалент схема учун резонанс шarti:

$$x = \omega L - \frac{\omega CR^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2} = 0$$

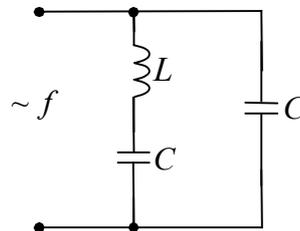
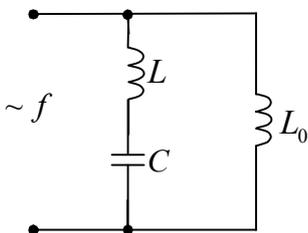
Тенглама умумий махражи берилиб, ω булинса: $L + \omega_0^2 C^2 R^2 L - CR^2 = 0$

Бундан:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{CR^2 - L}{C^2 R^2 L}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{L}{R^2}}$$

Демак ушбу занжирда $R > \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$ булгандагина резонанс хосил булади.

Масала 5-5. Берилган электр занжири узгарувчан ток частотаси $f=10^5$ Гц бўлган генераторга уланган. Индуктивлиги $L=100$ мкГн, сизими $C=500$ Пф. Занжирда кучланишлар резонанси хосил килувчи индуктивлик киймати L_0 аникланиб, шу занжирда тоқлар резонанси юзага келиши учун $f=2$ МГц бўлганда кандай истемолчиға уланиши керак.



Ечиш:

Ушбу занжир учун резонанс шartiға асосан реактив қаршилиқлари нолға тенг:

$$b = b_1 + b_0 = 0$$

Бунда: $b_1 = \frac{\omega C}{\omega^2 LC - 1}$ - LC занжир реактив ўтказувчанлиги

$b_0 = \frac{\omega C}{\omega L_0}$ - L_0 индуктивлиги реактив ўтказувчанлиги

Демак: $-\frac{\omega C}{\omega^2 LC - 1} + \frac{1}{\omega L_0} = 0$

Бундан: $\omega^2 L_0 C + \omega^2 LC - 1 = 0$

Тенгламани L_0 га нисбатан ечиш билан:

$$L_0 = \frac{1 - \omega^2 LC}{\omega^2 C} = \frac{1}{\omega^2 C} - L = 0,0049 \text{ Гн} = 4,9 \text{ МГн}$$

Демак занжирда кучланишлар резонанси юзага келиши учун $L_0=4,9 \text{ МГн}$ тенг бўлиши зарур.

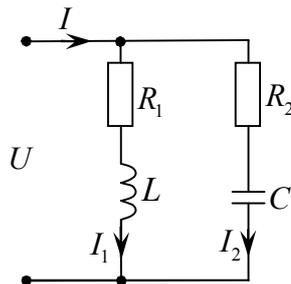
Масаланинг иккинчи шарти бўйича яна реактив ўтказувчанликлар тенгламасини нолга тенглаймиз:

$$v = \frac{\omega C}{\omega^2 LC - 1} + v'_0 = 0$$

$\omega = 2\pi f = 4\pi \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$ - тенг булганда, бунда v'_0 - занжир тармоғида уланган реактив ўтказувчанлик: $v'_0 = \frac{\omega C}{\omega^2 LC - 1} = -9,2 \cdot 10^{-4} < 0 \quad \frac{1}{\text{Ом}}$

Демак ушбу электр занжирида тоқлар резонанси ҳосил бўлиши учун индуктивлик L_0 сиғим элементи билан алмаштирилиши зарур. Сиғим параметрлари эса $C_0 = \frac{v'_0}{\omega} = \frac{9,2 \cdot 10^{-4}}{4\pi \cdot 10^6} = 73,3 \text{ нф}$ тенг.

Масала 5-6. Паралелл уланган ток занжирининг параметрлари: $R_1=100 \text{ Ом}$, $R_2=200 \text{ Ом}$, $L=0,2 \text{ Гн}$, $C=1 \text{ мкф}$, манба кучланиши $\dot{E}=100 \text{ В}$. Резонанс частота, реактив каршилиқлар ва резонанс ҳолат тоқлари аниқлансин.



Ечиш:

Паралелл уланган электр занжирида тоқлар резонанс шарти $v_L = v_C$ бўлиб, бундан резонанс частота тенгламаси:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}} = 2414 \quad \frac{1}{\text{сек}}$$

Реактив каршилиқлари: $x_L = \omega_0 L = 483 \text{ (Ом)}$, $x_C = \frac{1}{\omega_0 C} = 414 \text{ (Ом)}$,

Тармоқ тўла каршилиқлари: $\underline{z}_1 = R_1 + j\omega L = 493 \cdot e^{j78^\circ} \text{ (Ом)}$

$$\underline{z}_2 = R_2 - j\frac{1}{\omega_0 C} = 460 \cdot e^{-j64^\circ} \text{ (Ом)}$$

Биринчи тармоқ тоқи: $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{z}_1} = \frac{100 e^{j0}}{493 e^{j78^\circ}} = (0,04 - j0,19) \text{ А}$

Иккинчи тармоқ токи:
$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{z_2} = \frac{100e^{j^0}}{493e^{-j64^0}} = (0,09 - j0,19) \text{ A}$$

Умумий ток:
$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (0,04 - j0,19) + (0,09 - j0,19) = 0,13 - j0,38 \text{ A}$$

 Демак резонанс ҳолатда реактив қаршиликлар нолга тенг.

Масала 5-7. (5-6) масалада берилган схеманинг қаршиликлари $x_L = 40 \text{ Ом}$, $R_1 = 30 \text{ Ом}$, $R_2 = 28 \text{ Ом}$. частотаси $f = 1000 \text{ Гц}$ бўлган ҳолатда занжирда тоқлар резонансини юзага келтирувчи сигим киймати аниқлансин.

Ечиш:

Резонанс пайтида реактив қаршилик тоқлари нолга тенг.

Яни:
$$Q_L - Q_C = 0 \text{ еки: } Q_L = Q_C$$

Бунда индуктивликдаги реактив қувват:
$$Q_L = I_1^2 x_L = \frac{U^2}{R_1^2 + x_C^2} x_L$$

Сигимдаги реактив қувват:
$$Q_C = I_1^2 x_C = \frac{U^2}{R_2^2 + x_C^2} x_C$$

Демак:
$$\frac{U^2}{30^2 + 4} \cdot 40 = \frac{U^2}{28^2 + x_C^2} x_C$$

Бундан сигим қаршилик:
$$x_C = 17,75 \text{ ом}$$

Сигим параметри:
$$C = \frac{x_C}{2\pi f} = \frac{17,75}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000} = 2,28 \text{ мкф}$$

5-3. Мустақил ечиш учун масалалар.

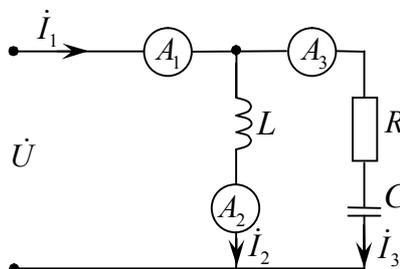
Масала 5-1. Кетма – кет уланган ток занжирининг параметрлари $R=100$ Ом, $L_1 = 0,2$ Гн, $C = 1$ мкФ, кучланиши $U = 100$ мВ тенг булганда; резонанс частота ω_0 , ток I_0 , кучланишлар U_{Cmax} , U_{Lmax} кийматга эришган ҳолатдаги ω_C ва ω_L частота, U_{Cmax} , U_{Lmax} кийматлари, контур асиллиги Q , резонанс частота чегарали $d = (\omega_2 - \omega_1)$ лар аниқлансин.

Жавоб:

$$\omega_0 = 2236 \frac{1}{\text{сек}}, \quad I_0 = 1 \text{ мА}, \quad \omega_L = 2264 \frac{1}{\text{сек}}, \quad \omega_C = 2207 \frac{1}{\text{сек}}, \quad U_{Cmax} = 0,45 \text{ В}, \quad U_{Lmax} = 0,45 \text{ В},$$

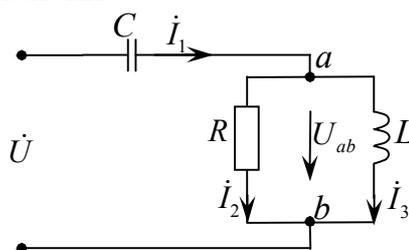
$$Q = 4,47, \quad \omega_2 - \omega_1 = 500, \quad \omega_2 = 2500 \frac{1}{\text{сек}}, \quad \omega_1 = 2000 \frac{1}{\text{сек}}, \quad \Delta f = 79,6 \text{ Гц}$$

Масала 5-2. Келтирилган схемада резонанс ҳолатда тармоқ токлари $I_1=4$ А, $I_2=3$ А тенг бўлиб, I_3 ток аниқлансин.



Жавоб: $I_3=5$ А

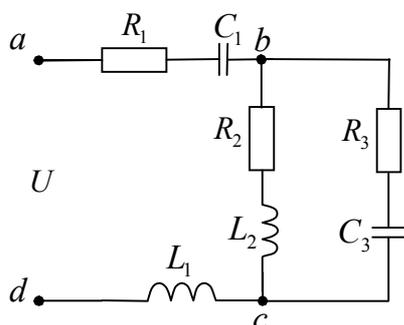
Масала 5-3. Резонанс ҳолатдаги занжир қаршиликлари $R=20$ Ом, $X_L= 20$ Ом ва $U=300$ В бўлганда, сиғим қаршилиги, умумий эквивалент қаршилиги кучланиш ва токлари аниқлансин.



Жавоб:

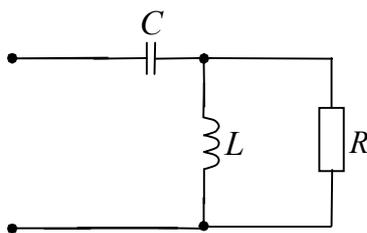
$$x_C = 10 \text{ Ом}, \quad z_C = 10 \text{ Ом}, \quad U_{ab} = 300\sqrt{2}e^{j45^\circ}, \quad I_1 = 30e^{j0} \text{ А}, \quad I_2 = 15 + j15 \text{ (А)}, \quad I_3 = 15 + j15 \text{ А}$$

Масала 5-4. Берилган занжир параметрлари $C_3=10 \cdot 10^{-6}$ Ф, $L_2=18 \cdot 10^{-3}$ Гн, $R_2=40$ Ом, $R_3=30$ Ом бўлганда, тоқлар резонансини юзага келтирувчи резонанс частота ω_0 аниқлансин.



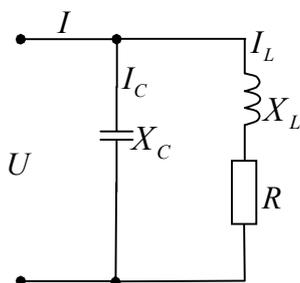
Жавоб: $\omega_0=1560$ рад/сек

Масала 5-5. Индуктив ғалтакга, актив қаршилик R параллелл ва сиғим қаршилигига $X_C=20$ Ом кетма – кет уланган. Частота $f=50$ Гц қаршиликлар эса $R=40$ Ом ва $R=80$ Ом булганда резонанс хосил қилувчи индуктивлик L қиймати аниқлансин ва қайси холларда умумий қаршилик z_{min} минимал бўлади.



Жавоб: 1) $R=40$ Ом бўлганда, резонанс индуктивлик $L=0,0128$ Гн, умумий қаршилиги $Z=Z_{min}$, $L=0,052$ Гн.
2) $R=80$ Ом бўлганда резонанс индуктивлик $L=0,069$ Гн ва $L=0,95$ Гн, $Z=Z_{min}$; $L=0,061$ Гн.

Масала 5-6. Берилган электр ток занжир резонанс холатда бўлиб, умумий ток $I=10$ А, қаршилик $R=6$ Ом, $x_L=8$ Ом. Сиғимдан оқиб ўтувчи ток I_C , реактив қаршилик x_C ва кучланиш аниқлансин.

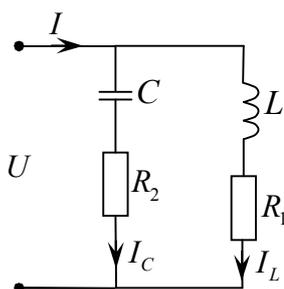


Жавоб: $I_C=13,3$ А, $x_C=12,5$ Ом, $U=166,7$ В.

Масала 5-7. 5-6 масалада берилган схеманинг индуктив қаршилиги $X_L=R$ ва ток $I=10$ А. Резонанс холатдаги I_C , I_L , X_C , U қийматлари аниқлансин.

Жавоб: $I_C=10$ А, $I_L=10\sqrt{2}$ А, $X_C=2X_L$, $U=20$ В

Масала 5-8. Ғалтак параметрлари $L=6,4$ Гн, $R=10$ Ом булган параллелл ток занжирига частотаси $f=50$ Гц, $U=100$ В, $I=75$ А кучланишга уланган. Резонанс холатда; R_2, C қийматлари аниқлансин

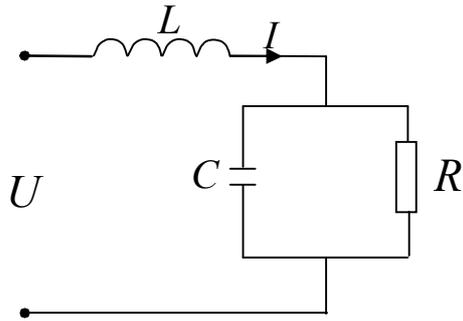


Жавоб: $R_2=1,16$ Ом, $C=3540$ мкФ

Масала 5-9. Кетма – кет уланган ток занжирининг параметрлари $R=40$ Ом, $L=0,2$ Гн, $C=10$ мкФ га тенг булган холат учун резонанс, частота f_0 индуктивликдаги U_{Lmax} кучланиши ва манба кучланишига нисбатан канча марта катта булиши аниқлансин.

Жавоб: $f_0=112$ Гц, $X_L=140$ Ом, $U_{Lmax}=3,5 U$

Масала 5-10. Электр занжири резонанс ҳолатда бўлиб частотаси $\omega_0 = 0$

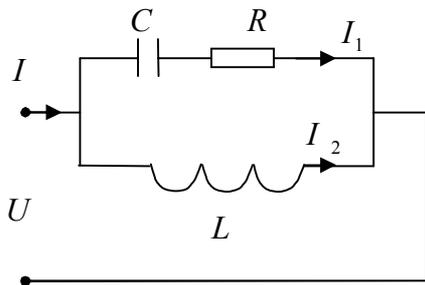


булганда $Z_{ym(0)} = 50 \text{ Ом}$ ва резонанс частота $\omega = \omega_0$ да $Z_{ym(\omega_0)} = 2,50 \text{ Ом}$. Каршилик

параметрлари: R_1 , X_L ва X_C аниклансин, ҳамда вектор ифодаси тузилсин.

Жавоб: $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $X_L = 2,5 \text{ Ом}$ $X_C = 5 \text{ Ом}$.

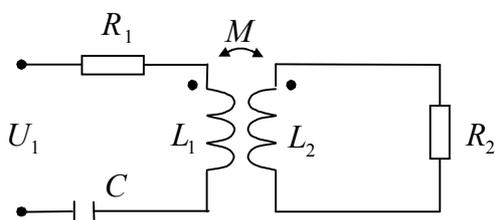
Масала 5-11. Электр занжирларнинг резонанс ҳолат тоқлари $I_1 = 7 \text{ А}$,



$I = 3,6 \text{ А}$ тенг. Индуктивликдан оқиб утивчи I_2 ток аникланиб вектор ифодаси тузилсин.

Жавоб: $I_2 = 6 \text{ А}$

Масала 5-12. Индуктив боғланган ток занжири параметрлари:

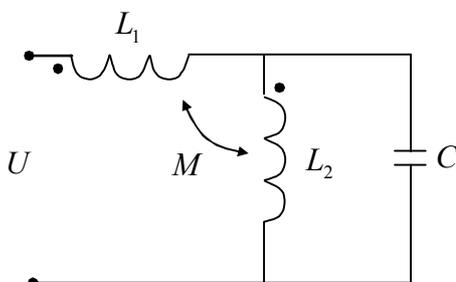


$R_1 = 2 \text{ Ом}$, $X_{L_1} = 10 \text{ Ом}$, $X_C = 8 \text{ Ом}$, $X_{L_2} = 9 \text{ Ом}$,

$X_M = 6 \text{ Ом}$ бўлиб $U = 100 \text{ В}$ кучланиш уланган. R_2 нинг қайси қийматида зажирда резонанс ҳолат юзага келади.

Жавоб: $R_2 = 9 \text{ Ом}$.

Масала 5-13. Электр занжири параметрлари: $L_1 = 4 \text{ Гн}$, $L_2 = 2 \text{ Гн}$, $C = 1 \text{ Ф}$ ва



боғланиш коэффициенти $k = \frac{1}{\sqrt{2}}$ булганда

кучланишлар (кетма – кет) ва тоқлар (паралелл) резонанс частотаси аниклансин.

Жавоб: $\omega_0 = 0,71 \frac{1}{\text{сек}}$ - тоқлар резонанси

$\omega_0 = 1,58 \frac{1}{\text{сек}}$ - кучланишлар резонанси.

5-4. Синов саволлари:

1. Электр занжирларида резонанс ходисаси қандай юзага келади?
2. Резонанс ҳосил қилиш учун электр занжири қайси элементлардан тузилган бўлиши зарур ва шарти нимада?
3. Резонанс ходисасидан амалда қайси сохаларда фойдаланилади?
4. Резонанс частота тенгламасини ёзиб, резонанс ҳолатга қандай эришилишини тушунтиринг?
5. Тебранувчан контур индуктивлиги $L=25$ МГн, сифими $C=4$ мкФ бўлганда резонанс частота f_0 қанча бўлади?
6. Кучланишлар резонанси қандай ҳосил бўлади? Вектор ифодасини чизинг. Ток ва қувват тенгламаларини ёзинг.
7. Токлар резонанси қандай ҳосил бўлади? Ток ва қувват тенгламаларини ёзинг.
8. Нима сабабдан кучланишлар резонанс пайтида сифим ва индуктивликдаги кучланишлар, умумий кучланишга нисбатан катта бўлади?
9. Частотага нисбатан реактив қаршилиқлар ёки ўтказувчанликлар қандай узгаради? Частотали характеристикасини чизинг.
10. Резонанс пайтида қувват коэффиценти нимага тенг?
11. Контур сахийлиги ёки контур сўниши нима ва қандай ифодаланади?
12. Тулқин қаршилиги ёки ўтказувчанлиги нима қандай ифодаланади?
13. Резонанс пайтида электр занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток қандай қийматга эришади?
14. Резонанс контур реактив қаршилиқлари $X_L > X_C$, $X_L = X_C$ $X_L < X_C$ ҳолатлар учун вектор ифодасини тузинг ва қандай характерга эга бўлишини тушунтиринг.
15. Резонанс ҳолатда электромагнит майдон энергияси тебраниш физик маъносини тушунтиринг.
16. Токлар резонанс ходисаси билан кучланишлар резонансини қандай ўхшашликлари бор?