

Түйіндік потенциалдар әдісі, тізбекті $Y - 1$ дейін есептеу үшін бірлесе шығарылатын тәуелсіз тендеулердің санын азайтуға мүмкіндік береді, мұндағы Y — тізбектің алмастыру схемасының түйіндер саны. Бұл әдіс Кирхгофтың бірінші заңын қолдануға негізделген және келесіден тұрады.

1. Тізбек схемасының бір түйінін нөлдік потенциалды базис ретінде қабылдаймыз. Мұндай жол беру түйіндер арасындағы потенциалдар айырымын, демек, тармақтардың кернеуі мен токтарын да өзгертпейді.

2. Қалған $Y - 1$ түйіндер үшін, ток көздері жоқ тармақтарының токтарын, олар жалғайтын түйіндердің потенциалдары арқылы өрнектей отырып, Кирхгофтың бірінші заңы бойынша тендеу құрамыз.

3. Құрылған тендеу жүйесінің шешімін табу арқылы $Y - 1$ түйіндердің потенциалдарын, содан кейін жалпыланған Ом заңы бойынша ток тармақтарын (2.12) анықтаймыз.

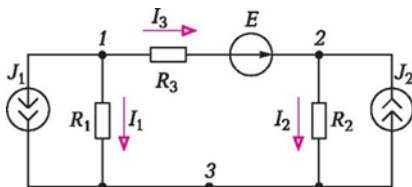
$Y = 3$ түйіннен тұратын тізбек есептелуін қарастырайық (2.22-сурет). 3-түйінді базистік деп, яғни потенциалы $V_3 = 0$ деп қабылдаймыз. Кирхгофтың бірінші заңы бойынша тендеулерден 1 мен 2-түйіндер үшін:

$$I_1 + I_3 + J_1 = 0;$$

$$I_2 - I_3 - J_2 = 0$$

түйіндер потенциалымен берілген токтардың
 $I_1 = (V_1 - V_3) / R_1 = V_1 / R_1$; $I_2 = (V_2 - V_3) / R_2 = V_2 / R_2$; $I_3 = (V_1 - V_2 + E) / R_3$
 өрнегін қойғаннан кейін алатынымыз:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) V_1 - \frac{1}{R_3} V_2 = -J_1 - \frac{E}{R_3}; \\ -\frac{1}{R_3} V_1 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) V_2 = J_2 + \frac{E}{R_3} \end{array} \right. \quad (2.27)$$



2.22-сурет

(2.27) теңдеулер жүйесін шешу арқылы V_1 және V_2 түйіндерінің потенциалын, демек (2.12) бойынша тармақтар тоғын анықтаймыз.

(2.27)-ші жазбасынан, *түйіндік потенциалдар әдісі бойынша теңдеу құру принципі* айқын. Теңдеудің сол жақ бөлігіндегі қарастырылып отырған түйіннің потенциалы кезіндегі коэффициенті оң және оған жинақталатын тармақтардың өткізгіштігінің қосындысына тең. Қарастырылып отырған түйінмен жалғанған түйіндердің потенциалдары кезіндегі коэффициенттер теріс және сәйкес тармақтардың өткізгіштігіне тең.

Теңдеулердің оң жақ бөлігі, ток көздеріне ие тармақтар тоғының және ЭҚК көздеріне ие тармақтардың қысқаша тұйықталу токтарының алгебралық қосындысынан тұрады, және де егер ток және ЭҚК көзінің тоғы қарастырылып отырған түйінге (түйіннен) бағытталған болса, қосылғыштар плюс (минус) таңбасымен алынады.

2.4-мысал. Түйіндік потенциалдар әдісімен, элемент параметрлерінің мәндері $J = 2$ А, $E_1 = 10$ В, $E_2 = 3,5$ В, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 1$ Ом болған кездегі, 2.23 суреттегі схеманың барлық тармақтарындағы токты анықтау.

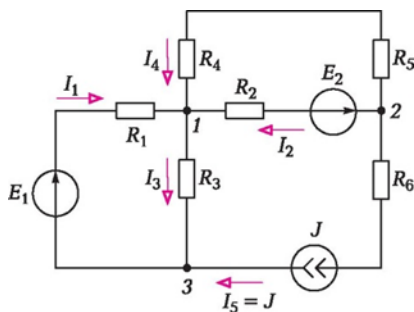
Шешімі. Схема $B = 5$ тармақтар санынан тұрады, олардың ішінде ток көзіне ие $B_J = 1$ тармақ; $Y = 3$ түйіндер бар.

Тармақтардағы токтың оң бағытын таңдаймыз және түйін 1, 2, 3 және I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 ток нөмірлерін белгілейміз. Ток $I_5 = J = 2$ А.

3-түйінді базисті деп аламыз, яғни потенциал $V_3 = 0$.

1 және 2-түйіндер үшін түйіндік потенциалдар әдісімен екі тәуелсіз теңдеуді ($Y - 1 = 3 - 1 = 2$) құрамыз:

$$V_1 \left(\frac{1}{R_4 + R_5} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_2 \left(\frac{1}{R_4 + R_5} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}$$



2.23-сурет

$$-V_1 \left(\frac{1}{R_4 + R_5} + \frac{1}{R_2} \right) + V_2 \left(\frac{1}{R_4 + R_5} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{E_2}{R_2} - J$$

яғни

$$3,5V_1 - 1,5V_2 = 6,5; -1,5V_1 + 1,5V_2 = 1,5$$

Тендеуді мүшелеп қосып, $V_1 = 4$ В потенциалын анықтаймыз, содан соң $V_2 = 5$ В потенциалын екінші тендеуден анықтаймыз.

(2.12) жалпыланған Ом заңы бойынша тармақтардағы тоқты анықтаймыз:

$$I_1 = \frac{V_3 - V_1 + E_1}{R_1} = \frac{0 - 4 + 10}{1} = 6A;$$

$$I_2 = \frac{V_2 - V_1 - E_2}{R_2} = \frac{5 - 4 - 3,5}{1} = -2,5A;$$

$$I_3 = \frac{V_1 - V_3}{R_3} = \frac{4 - 0}{1} = 4A;$$

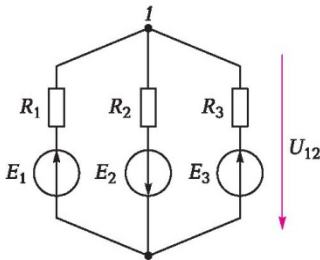
$$I_4 = \frac{V_2 - V_1}{R_4 + R_5} = \frac{5 - 4}{1 + 1} = 0,5A.$$

Бұл шешімнің дұрыстығына 3-түйін үшін Кирхгофтың бірінші заңының әділеттілігін тексеру арқылы көз жеткізуге болады.

$$I_3 + I_5 - I_1 = 4 + 2 - 6 = 0.$$

Дара жағдайда, *екі түйінді* ток көздерінсіз тізбектер схемасындағы базистік түйін 2 кезіндегі түйін 1 потенциалы, яғни $V_2 = 0$ кезінде, түйіндер арасындағы кернеуге тең:

$$U_{12} = V_1 - V_2 = \frac{\sum E/R}{\sum 1/R} = \frac{\sum GE}{\sum G} \quad (2.28)$$



2.24-сурет

(2.28) өрнегі *түйін аралық кернеу формуласы* деп аталады, ол мысалға, үш фазалық электр тізбектерін талдау кезінде қолданылады.

2.5-мысал. Элементтер параметрі $E_1 = 10$ В, $E_2 = 30$ В, $E_3 = 0,75$ В, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 2,5$ Ом мәндері кезіндегі, 2.24 суреттегі схемадағы U_{12} түйін аралық кернеуді анықтау.

Шешімі (2.28) бойынша түйін аралық кернеу мынаған тең:

$$U_{12} = \frac{E_1 / R_1 - E_2 / R_2 + E_3 / R_3}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3} = \frac{2 - 3 + 0,3}{0,2 + 0,1 + 0,4} = -1B$$

2.12. КОНТУРЛЫҚ ТОКТАР ӘДІСІ

Контурлық токтар әдісі, тізбек схемасын есептеу үшін бірлесе шығарылатын тәуелсіз теңдеулер санын $K = B - B_J - Y + 1$ дейін азайтуға мүмкіндік береді және Кирхгофтың екінші заңын қолдануға негізделген.

Алдымен ток көздері жоқ тізбек схемасын, яғни $B_J = 0$ кезіндегі есептеулерді, содан соң жалпы жағдайды қарастырайық.

Ток көздері жоқ тізбек схемасы. ток көздері жоқ тізбек схемасын есептеу үшін контурлық токтар әдісі, келесіден тұрады.

1. $K = B - Y + 1$ тәуелсіз контурларды және әрқайсысы сәйкес контурдың барлық элементтері бойымен өтетін, контурлық токтардың оң бағыттарын таңдап аламыз.

Планарлы, яғни тармақтар қиылысуынсыз жазықтықтағы бейнесіне рұқсат ететін схемалар үшін, K тәуелсіз контурларды айрықшалаудың жеткілікті шарты – олардың әрқайсысында тек осы контурға тиесілі бір тармақтың бар болуы.

2. K тәуелсіз контурлар үшін Кирхгофтың екінші заңына сүйеніп, бірлескен шешімдері барлық контурлық токтарды анықтайтын, теңдеулерді құрамыз.

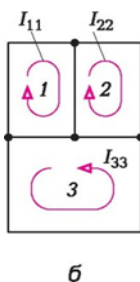
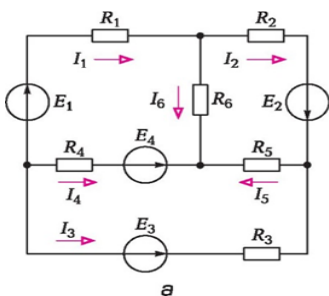
3. Әрбір тармақтың тогын, сәйкес тармақтағы контурлық токтардың алгебралық қосындысы ретінде Кирхгофтың бірінші заңы бойынша анықтаймыз.

$B = 6$ тармағы, $Y = 4$ түйін, $K = B - Y + 1 = 6 - 4 + 1 = 3$ тәуелсіз контурлар санына ие тізбек (2.25-сурет, а) есептелінуін қарастырайық. 1 – 3 тәуелсіз контурларды және олардағы I_{11} , I_{22} және I_{33} контурлық токтардың (2.25-сурет, б) оң бағытын таңдайық.

Кирхгофтың екінші заңына сүйеніп 1, 2 және 3-контурлар үшін теңдеулер жүйесін құрайық:

$$\left. \begin{aligned} (R_1 + R_4 + R_6)I_{11} - R_6I_{22} + R_4I_{33} &= E_1 - E_4; \\ -R_6I_{11} + (R_2 + R_5 + R_6)I_{22} + R_5I_{33} &= E_2; \\ R_4I_{11} + R_5I_{22} + (R_3 + R_4 + R_5)I_{33} &= E_3 - E_4 \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$

оның шешімін табу арқылы I_{11} , I_{22} және I_{33} контурлық токтарды анықтаймыз.



2.25-сурет

Оң бағытын таңдап алған кездегі тармақтар тоғын (2.25, а суретін қараңыз) Кирхгофтың бірінші заңы бойынша табамыз:

$$I_1 = I_{11}; I_2 = I_{22}; I_3 = I_{33}; I_4 = -I_{11} - I_{33}; I_5 = I_{22} + I_{33}; I_6 = I_{11} - I_{22}.$$

(2.29)-дан контурлық токтар әдісі бойынша теңдеулер құру қағидасы айқын. Теңдеудің сол жақ бөлігіндегі қарастырылып отырған контурдың контурлық тогы кезіндегі оң коэффициенті оның тармақтарының кедергілерінің қосындысына тең. Қарастырылып отырған контурмен ортақ тармақтарға ие контурлардағы контурлық токтар кезіндегі коэффициенттер, егер ортақ тармақтардағы контурлық токтардың бағыттары сәйкес келетін (қарама-қарсы) болса, плюс (минус) таңбасымен алынған ортақ тармақтардың кедергілерінің қосындысына тең.

Теңдеудің оң жақ бөлігі, қарастырылып отырған контурдың тармақтарының ЭҚК алгебралық қосындысынан тұрады, бұған қоса, егер ЭҚК бағыты мен контурлық токтың оң бағыты сәйкес келетін (қарама-қарсы) болса, қосынды плюс (минус) таңбасымен жазылады.

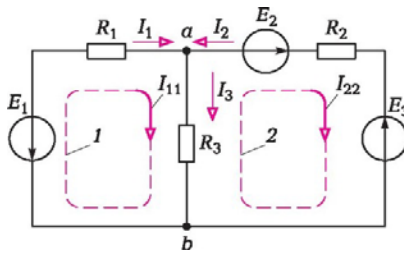
2.6-мысал. Контурлық токтар әдісімен, элементтер параметрлері: $E_1 = 50\text{В}$, $E_2 = 3\text{В}$, $E_3 = 13\text{В}$, $R_1 = R_2 = 20\text{ Ом}$, $R_3 = 10\text{ Ом}$ мәндеріне ие болғандағы, 2.26 суреттегі схемадағы барлық тармақтардағы токтарды анықтау.

Шешімі. Схема $B = 3$ тармақ, $Y = 2$ түйін (a мен b), $K = B - Y + 1 = 2$ тәуелсіз контурлар санынан тұрады.

Тармақтардағы токтардың оң бағыттарын таңдап аламыз және оларды I_1 , I_2 және I_3 деп белгілейміз.

2.26-суретте штрих сызықпен белгіленген, 1 және 2 екі ($K = 2$) тәуелсіз контурларын және ондағы I_{11} , I_{22} контурлық токтарының оң бағыттарын таңдаймыз.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша екі ($K = 2$) тәуелсіз теңдеуді құрамыз.



2.26-сурет

$$(R_1 + R_3)I_{11} + R_3I_{22} = -E_1; -R_3I_{11} + (R_2 + R_3)I_{22} = E_2 - E_3$$

немесе

$$\begin{cases} 30I_{11} - 10I_{22} = -50; \\ -10I_{11} + 30I_{22} = -10 \end{cases}$$

оларды біріктіріп шешу, контурлық токтардың $I_{11} = -2 \text{ A}$; $I_{22} = -1 \text{ A}$ мәндерін анықтайды.

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша, тармақтардағы ток таңдап алынған оң бағыттарында мынаған тең болады:

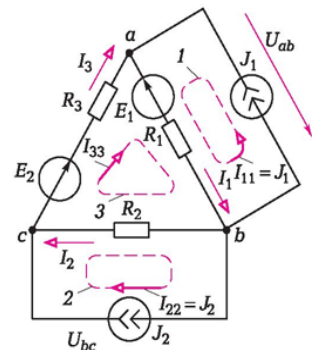
$$I_1 = I_{11} = -2 \text{ A}, I_2 = I_{22} = -1 \text{ A}, I_3 = I_{11} - I_{22} = -1 \text{ A}$$

Кирхгофтың бірінші заңының, мысалы a түйіні үшін орындалатындығын тексеру арқылы шешімнің дұрыстығына көз жеткізуге болады:

$$I_1 + I_2 - I_3 = -2 + 1 + 1 = 0$$

Жалпы жағдай. ЭҚК мен ток көзіне ие схемаларды есептеу кезінде қысқартуларға жол беріледі. ток көзіне ие тармақтарда басқа контурлық токтары жоқ болатындай етіп таңдап алынған контурлық ток бізге мәлім және ток көзінің тогына тең. Сондықтан да, B тармақтары, соның ішінде ток көздеріне ие B_J тармақ бар болатын схемаларда, ток көздері жоқ тәуелсіз контурлардың және оларға сәйкес келетін белгісіз контурлық токтардың саны және теңдеулері $K = B - B_J - Y + 1$ тең.

2.7-мысал. Элементтер параметрлері: $J_1 = 1 \text{ A}, J_2 = 1.5 \text{ A}, E_1 = 5 \text{ B}, E_2 = 15 \text{ B}, R_1 = 1 \text{ Ом}, R_2 = 2 \text{ Ом}, R_3 = 3 \text{ Ом}$ мәндеріне ие, 2.27 суреттегі схемадағы барлық тармақтардағы токтарды контурлық токтар әдісімен анықтау.



2.27-сурет

Шешімі. Схема $B = 5$ тармақтан, соның ішінде ток көздеріне ие $B_J = 2$ тармақтан, $Y = 3$ түйіннен, ток көздері жоқ $K = B - B_J - Y + 1 = 5 - 2 - 3 + 1 = 1$ (контур 3) тәуелсіз контурлардан тұрады.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша, барлық контурлық токтардың таңдап алынған оң бағыттарындағы 3-контур үшін теңдеу құрайық:

$$R_1 I_{11} - R_2 I_{22} + (R_1 + R_2 + R_3) I_{33} = E_2 - E_1$$

оның шешімін табу арқылы контур 3-гі контурлық токтарды анықтаймыз

$$I_{33} = \frac{E_2 - E_1 + R_1 I_{11} + R_2 I_{22}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{15 - 5 + 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1,5}{1 + 2 + 3} = 2A$$

мұндағы $I_{11} = J_1$ және $I_{22} = J_2$ — 1 және 2 контурларының белгілі контурлық токтары.

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша таңдап алынған оң бағыттарындағы тармақтардағы токтар:

$$I_1 = I_{11} + I_{33} = 3A, I_2 = I_{33} - I_{22} = 0,5A, I_3 = I_{33} = 2A$$

тең болады.

Кирхгофтың бірінші заңының, мысалы а түйіні үшін орындалатындығын тексеру арқылы шешімнің дұрыстығына көз жеткізуге болады:

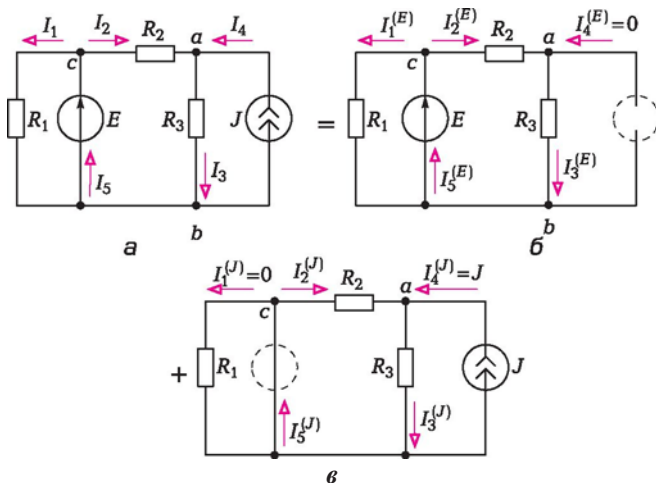
$$I_3 - I_1 + J_1 = 2 - 3 + 1 = 0$$

2.13. ҚАБАТТАСТЫРУ (СУПЕРПОЗИЦИЯ) ПРИНЦИПІ МЕН ӘДІСІ

Қабаттастыру әдісі, сызықтық электр тізбектеріндегі кез-келген тармақтарындағы токтар, егер басқа көздер, көздердің ішкі кедергілеріне тең кедергілері бар резисторлармен алмастырылатын болса, әрбір көздің жеке қызмет етуі кезіндегі, осы тармақтағы (жартылай токтардың) токтардың алгебралық қосындысына теңдігінен тұрады.

Қабаттастыру принципінің негізінде тізбектерді есептеу үшін *қабаттастыру әдісі** (суперпозиция) қолданылады. Тізбек схемасының әрбір тармақтарындағы ток, әрбір $I^{(E)}$ ЭҚК көзі және әрбір $I^{(J)}$ ток көзінің жеке әсерінен алынатын жартылай токтардың алгебралық қосындысына тең.

* Механикада қабаттастыру принципі күш әсерінің тәуелсіздігі: бірнеше күштер әсерінен дене қозғалысы оның әрбір күштің әсерінен туындайтын қозғалысы қосындысына тең принципі деп аталады.



2.28-сурет

Көздердің әсерінің болмауы, оның көздердің ішкі кедергісіне тең кедергіге ие резистивті элементпен алмасытырлғандығын білдіреді. ЭҚК көзі үшін ішкі кедергісі $R_{iuv} = 0$, ток көзі үшін - $R_{iuv} \rightarrow \infty$, яғни схеманың сәйкес бөлігі қысқартылады немесе ажыратылады.

2.8-мысал. Элементтер параметрлерінің мәні: $E = 10$ В, $J = 5$ А, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом болған кезде, 2.28, а суреттегі тізбек схемасындағы барлық тармақтардағы токтарды қабаттастыру әдісімен анықтау.

Шешімі. Схема $B = 3$ тармақ санын, соның ішінде ток көздеріне ие $B_j = 1$ тармақтан, $Y = 3$ (а, б, с) түйіннен тұрады.

Тармақтардағы токтардың оң бағытын таңдаймыз және оларды I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 деп белгілейміз. Тармақтардағы токтар 2.28, б және в суреттеріндегі схемалардың біраттас тармақтарындағы жартылай токтардың қосындысына тең:

$$I_1 = I_1^{(E)} + I_1^{(J)} = \frac{E}{R_1} + 0 = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I_2 = I_2^{(E)} + I_2^{(J)} = \frac{E}{R_2 + R_3} - \frac{R_3 J}{R_2 + R_3} = \frac{10}{2+3} - \frac{3 \cdot 5}{2+3} = -1A$$

$$I_3 = I_3^{(E)} + I_3^{(J)} = \frac{E}{R_2 + R_3} + \frac{R_2 J}{R_2 + R_3} = \frac{10}{2+3} + \frac{2 \cdot 5}{2+3} = 4A$$

$$I_4 = I_4^{(E)} + I_4^{(J)} = 0 + J = 5A$$

$$I_5 = I_5^{(E)} + I_5^{(J)} = I_1^{(E)} + I_2^{(E)} + I_2^{(J)} = 2 + 2 - 3 = 1A$$

Электр энергиясы көздері жоқ, электр тізбегінің a — b тармақталмаған бөлігінің бойымен q оң заряды орын ауыстырған кезде электр өрісі атқаратын жұмыс, осы зарядтың бөліктер ұшындағы $U_{ab} = U$ кернеуге көбейтіндісіне $A = qU$ тең. t уақыт бойы зарядтың бірқалыпты қозғалысы кезінде, яғни бөлік бойымен жылжитын $I_{ab} = I$ тұрақты ток кезінде, заряд:

$$q = It,$$

тең, ал бұл кезде атқарылатын жұмыс мынаған тең болады:

$$A = UI t.$$

Қуат жұмыстың атқарылу жылдамдығына тең

$$P = UI \quad (2.30)$$

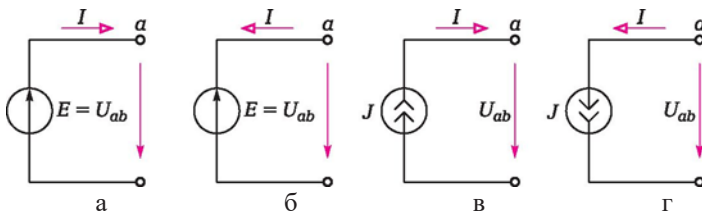
Жұмыстың СИ-дегі негізгі өлшем бірлігі — джоуль (Дж), ал қуаттың өлшем бірлігі — ватт (Вт).

Электр энергиясының негізгі өлшем бірлігі ретінде киловатт-сағ (кВт · сағ), яғни 1 сағ бойы өзгермейтін 1кВт қуат кезінде атқарылатын жұмыс. $1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$ болғандықтан, $1 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}$ болады.

Резистивті элементтер үшін (2.30)-ды Ом заңын қолдана отырып түрлендіруге болады:

$$P_R = UI = RI^2 = GU^2 \quad (2.31)$$

Оң бағыты токтың таңдап алынған оң бағытымен сәйкес келетін, ЭҚК көзі үшін (2.29-сурет, а), сыртқы күштердің қуаты $P_E = U_{ab}I = EI$. Егер ЭҚК мен токтың бағыты қарама-қарсы болса, онда қуат $P_E = -U_{ab}I = -EI$ (2.29-сурет, б) тең болады. Осыған ұқсас, егер көздегі ток $J = I$ пен оның U_{ab} шықпалары арасындағы кернеу бағыты қарама-қарсы болса (2.29-сурет, в), ток көзінің қуаты $P_J = U_{ab}I = EJ$ тең болады. Кері жағдайда, $P_J = -U_{ab}I = -U_{ab}J$ (2.29-сурет, г).



2.29-сурет

ЭҚК мен токтың идеалды көздері шексіз үлкен қуатты өрістете алады. Әрбір көзге $R_{кс}$ кедергісіне ие қабылдағыш қосайық. Бірінші жағдайда, егер $R_{кс} \rightarrow 0$ болса, онда ток $I \rightarrow \infty$ және қуат $P_E = EI \rightarrow \infty$, екінші жағдайда, егер $R_{кс} \rightarrow \infty$ болса, онда кернеу $U \rightarrow \infty$ және қуат $P_J = UJ \rightarrow \infty$.

ЭҚК мен ток көзінің қуаты оң және теріс мәндерге ие болуы мүмкін, бұл көздің оған қатысты сыртқы тізбекке энергия жіберуіне және осы тізбектен энергия алуына сәйкес келеді.

Кез-келген электр тізбегінде, энергияның барлық көздерінің (соның ішінде ток көздері мен ЭҚК көздерінің) алгебралық қосындысы, барлық энергия қабылдағыштардың (соның ішінде резистивті элементтердің) қуаттарының арифметикалық қосындысына

$$\sum P_K = \sum P_R \quad (2.32)$$

тең болатын, энергетикалық теңгерімі – қуаттар теңгерімі ұсталынуы қажет.

2.9-мысал. 2.1-мысалда шығарылған 2.17-суреттегі тізбек схемасы үшін қуат теңгерімін құру.

Шешімі. Барлық энергия көздерінің қуаттарының алгебралық қосындысы

$$\sum P_K = E_1 I_1 - E_2 I_4 + E_3 I_6 + E_4 I_5 = 1 \cdot 1,5 - 2 \cdot 3,5 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 7 = 37,5 \text{ Вт}$$

тең болады.

Барлық резистивті элементтердің қуаттарының арифметикалық қосындысы

$$\sum P_R = R_1 I^2_1 + R_2 I^2_2 + R_3 I^2_3 = 4 \cdot 1,5^2 + 2 \cdot 3,5^2 + 1 \cdot 2^2 = 37,5 \text{ Вт}$$

тең.

(2.32) бойынша қуаттар теңгерімі қанағаттандырылды.

2.10-мысал. 2.7-мысалда есептелген, 2.27 суреттегі тізбек схемасы үшін қуат теңгерімін құру.

Шешімі. Барлық энергия көздерінің қуаттарының алгебралық қосындысы

$$\sum P_K = E_2 I_3 - E_1 I_1 + U_{ab} J_1 - U_{bc} J_2 = 5 \cdot 2 - 5 \cdot 3 + 8 \cdot 1 - 1 \cdot 1,5 = 21,5 \text{ Вт}$$

тең, (2.12) бойынша мұндағы ток көздеріндегі кернеу $U_{ab} = R_1 I_1 + E_1 = 1 \cdot 3 + 5 = 8 \text{ В}$, $U_{bc} = R_2 I_2 = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ В}$ тең болады.

Барлық резистивті элементтердің қуаттарының арифметикалық қосындысы

$$\sum P_R = R_1 I^2_1 + R_2 I^2_2 + R_3 I^2_3 = 1 \cdot 3,5^2 + 2 \cdot 0,5^2 + 3 \cdot 2^2 = 21,5 \text{ Вт}$$

(2.32) бойынша қуаттар теңгерімі қанағаттандырылады.

2.15. ТҰРАҚТЫ ТОҚТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

Жалпы жағдайда, электротехникалық құрылғылардың алмастыру схемалары, сызықтық резистивті элементтерден басқа сызықтық емес резистивті элементтерден тұрады (2.6-суретті қараңыз).

Сызықтық емес резистивті элемент (түзеткіш диодтар, стабилитрондар, варисторлар және т.б.) тізбекке екі шықпа арқылы қосылады. Оның қасиеттерін $I(U)$ вольт-амперлік сипаттамасы анықтайды (2.30-сурет). ВАС әрбір нүктесі сызықтық емес резистивті элементтің *статистикалық*

$$R_{cm} = U / I$$

және *дифференциалдық*

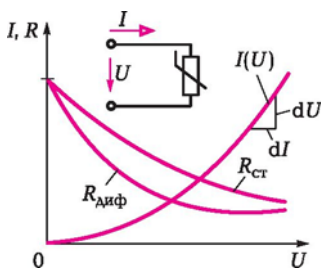
$$R_{diff} = dU / dI$$

кедергісін анықтайды.

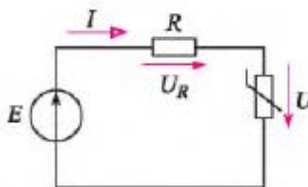
Резистивті элементтердің сызықтық емес қасиеттері түзеткіштер, кернеу стабилизаторлары, күшейткіштер және тағы сол сияқты құралдардың жұмыс істеу негізінде жатыр.

Сызықтық емес тізбектер үшін қабаттастыру қағидасын қолдануға келмейді. Бұл аналитикалық әдістердің, олар негізделген: контурлық токтар, қабаттастыру және тағы басқаларын, тізбекті есептеуде қолданылуын шектейді.

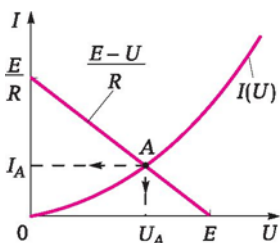
Сызықтық емес резистивті элементтерге ие тізбектерді есептеу графикалық әдістермен жүзеге асырылады.



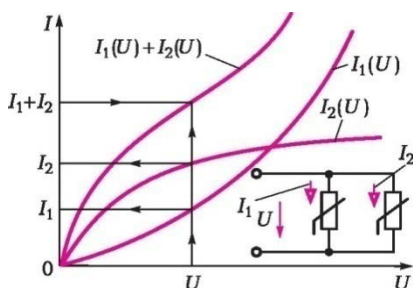
2.30-сурет



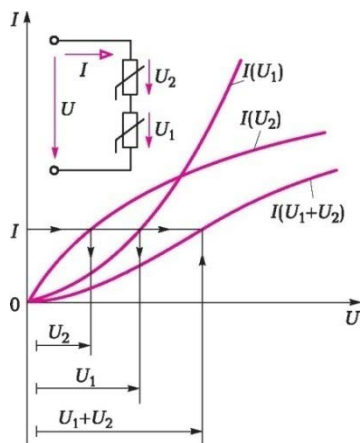
2.31-сурет



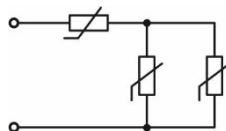
2.32-сурет



2.34-сурет



2.33-сурет



2.35-сурет

ЭҚК көзі, сызықтық R мен сызықтық емес резистивті элементтердің тізбектей жалғанғандағы схемасын қарастырайық (2.31-сурет).

Кирхгофтың екінші заңы бойынша сызықтық резистивті элементтегі кернеу:

$$U_R = E - U \quad (2.33)$$

тең болады, ал Ом заңы бойынша, ток (2.33) ескерсек:

$$I = U_R / R = \frac{E - U}{R} \quad (2.34)$$

(2.34) теңдеуіне *жүктемелік сипаттамасы* деп аталатын, ордината остерінде $U = 0, I = E/R$ және абсцисс остерінде $I = 0, U = E$ токтары арқылы өтетін түзу сызық сәйкес келеді. Сызықтық емес резистивті элементтің *жүктемелік сипаттамасы* мен $I(U)$ ВАС қиылысатын нүктесі, тізбектің жұмыс режимін анықтайды (2.32-сурет): I_A тогы және U_A кернеуі. Жүктемелік сипаттама көмегімен сызықтық емес тізбекті графикалық есептеу әдісін *жүктемелік сипаттама әдісі* деп атайды.

Жүктемелік әдіс сипаттамасы, тізбек ВАС белгілі тізбектей немесе параллелді жалғанған сызықтық емес резистивті элементтерден тұратын жағдайда да жарамды. Ол үшін, бірінші жағдайда сызықтық емес резистивті элементтердің ВАС кернеулері бойынша (2.33-сурет), ал екінші жағдайда – тогы бойынша (2.34-сурет) қосу қажет. Жүктемелік сипаттама әдісімен қорытқы ВАС-да жұмыс нүктесін анықтап алып, ары қарай әрбір сызықтық емес резистивті элементтің тогы мен кернеуін табамыз.

Сызықтық емес резистивті элементері аралас жалғанған тізбек те осыған ұқсас есептелінеді (2.35-сурет).

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Электр тізбегінде ток пен кернеудің шартты оң бағыты деп нені түсінеміз?
2. Кернеу көзі мен ток көзінің қасиеттерін тізіңіз.
3. Электр тізбегінің принципіалды схемасы мен алмастыру схемасының міндегі қандай?
4. Электр тізбегінің: тармақ, түйін, контур алмастыру схемаларына геометриялық түсініктеме беріңіз.
5. Неліктен сызықтық емес электр тізбегін есептеу үшін кабаттасу принципін қолдануға келмейді?

ӨЗІНДІК ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕР

1. Егер 60°C температурада техникалық мыстың (мәліметтерді 2.1-кестеден қараңыз) кедергісі 5 Ом -ға тең болса, температурасы 10°C болғандағы оның кедергісін анықтаңыз.
Жауабы: 4 Ом .
2. 2.6-шы мысалда есептелген, 2.26-суреттегі схеманың қуат теңгерімін анықтаңыз.
Жауабы: $\sum P_{\kappa} = \sum P_R = 110\text{Вт}$.
3. Түйіндік потенциалдар әдісімен, 2.16-суреттегі элементтер параметрінің мәндері $E_1 = 10\text{ В}$, $E_2 = 0,75\text{ В}$, $E_3 = 30\text{ В}$, $R_1 = 5\text{ Ом}$, $R_2 = 2,5\text{ Ом}$, $R_3 = 10\text{ Ом}$ болған кездегі, схемадағы U_{ab} кернеуді анықтаңыз.
Жауабы: -1 В .
4. 2.3-да мысалда есептелген, 2.21, а суреттегі схемадағы $U = 70\text{ В}$ кернеу кезіндегі I_1 токты анықтаңыз
Жауабы: 4 А .