

**Узбекистон Республикаси Олий ва Урта
Махсус Таълим Вазирлиги**

Тошкент Давлат Авиация Институту

**«Электротехника, электроника ва электр юритмалари»
фанидан**

ХИСОБ - ГРАФИК ИШИ

Тошкент 2007

Услубий қўлланма Тошкент Давлат авиация институти услубий кенгашида муҳокама қилинган ва чоп этишга тавсия этилган. (Баённома № 5 « 22 »03. 2006)

Услубий қўлланма қуйидаги бакалавр йўналишлар бўйича таълим оладиган бакалаврлар учун мулжалланган:

- 5520800 – Авиасозлик ва ракета космик техника.
- 5520900 – Авиасозлик ва ракета космик техникасидан фойдаланиш.
- 5140900 – Касбий таълим.
- 5860100 – Ҳаёт фаолият хавфсизлиги.

Тузувчилар: Ибадуллаев М.И.
Абдуллаев Ж.А.

Хисоб график иш № 1

Узгармас ток электр занжирларини хисоблаш

Берилган электр ток схемаси учун куйидагилар бажарилсин:

1. Кирхгоф конунлари асосида берилган схема учун тенгламалар системаси тузилсин.
 2. Контур токлари усули билан тармоқ тоklar аниклансин.
 3. Тугун потенциаллари усули билан тармоқ токлари аниклансин.
 4. Вольтеметр курсатиши аниклансин.
 5. Кувватлар баланси тенгламаси тузилсин ва хатолиги хисоблансин.
- Эслатма: Хар бир талаба узига тегишли вариантни бажаради.

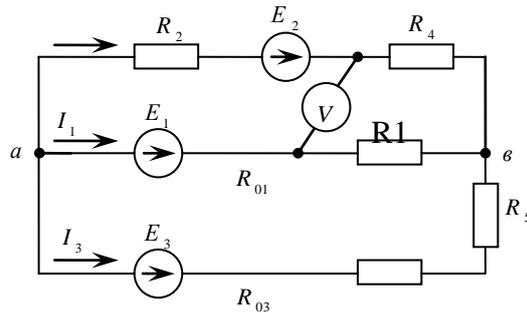
Жадвал 1.

<i>№</i>		<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>R01</i>	<i>R02</i>	<i>R03</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R5</i>
<i>вар</i>	<i>расм</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
1	1,1	22	24	10	0,2	-	1,2	2	1	8	4	10
2	1,2	55	18	4	0,8	-	0,8	8	4	3	2	4
3	1,3	36	10	25	-	0,4	0,5	4	8	3	1	2
4	1,4	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1
5	1,5	14	25	28	0,9	1,2	-	5	2	8	2	2
6	1,6	20	22	9	0,1	-	1,1	1	2	6	3	8
7	1,7	5	16	30	0,4	-	0,7	6	4	3	2	5
8	1,8	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3
9	1,9	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3
10	1,10	21	4	10	-	0,2	0,6	5	7	2	8	1
11	1,11	4	9	18	0,8	-	0,7	2,7	10	4	8	10
12	1,12	4	24	6	0,9	-	0,5	9	8	1	6	10
13	1,13	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10
14	1,14	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6
15	1,15	12	36	12	-	0,4	1,2	3,5	5	1	5	6
16	1,16	12	6	40	1,2	0,6	-	2	3	8	5	7
17	1,17	8	6	36	1,3	-	1,2	3	2	1	6	8
18	1,18	72	12	4	0,7	1,5	-	6	1	4	4	12
19	1,19	12	48	6	-	0,4	0,4	2,6	1	3	15	2
20	1,20	12	30	9	0,5	-	3,5	2	2	8	3	1
21	1,21	9	6	27	-	1	0,8	4,5	2	1	13	4
22	1,22	15	63	6	1	-	1,2	5	3	1	2	12
23	1,23	54	27	3	1,2	0,9	-	8	3	2	4	2
24	1,24	36	9	24	-	0,8	0,8	3	4	2	1	5
25	1,25	3	66	9	-	0,7	1,2	1	4	1	2	7

Хисоблаш намунаси

Электр схеманинг манба кучланишлари ва параметрлари булиб:

$E_1 = 8 \text{ В};$ $R_{01} = 1,3 \text{ Ом};$
 $E_2 = 6 \text{ В};$
 $E_3 = 36 \text{ В};$ $R_{03} = 1,2 \text{ Ом};$
 $R_1 = 3 \text{ Ом};$ $R_2 = 2 \text{ Ом};$
 $R_2 = 1 \text{ Ом};$ $R_4 = 6 \text{ Ом};$
 $R_5 = 8 \text{ Ом};$



1. Кирхгоф қонуни асосида схемани ҳисоблаш тенгламаларини тузиш.

Берилган схемада шахобчалардаги тоқлар йуналишини ихтиёрй қабул қиламиз. Схема иккита тугунга эга, шунинг учун Кирхгофнинг биринчи қонунига асосан битта тенглама тузилади. Схема иккита мустикал контурга эга, шунинг учун Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан иккита тенглама тузилади. Натижада қуйидаги тенгламалар системаси ҳосил булади.

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 &= 0 \\ (R_2 + R_4)I_2 - (R_1 + R_{01})I_1 &= E_2 - E_1 \\ (R_1 + R_{01})I_1 - (R_3 + R_{03} + R_5)I_3 &= E_1 - E_3 \end{aligned} \right\}$$

Бу системани Крамер ёки Гаусс усулидан фойдаланиб, номаълум тоқлар I_1, I_2 ва I_3 қийматлари аниқланади. Умумий ҳолда, номаълумлар сони чизикли алгебраик тенгламалар системасининг тартибига тенг булади. Шунинг учун тенгламалар системасини тартиби ошиб борган сари ҳисоблашлар ҳажми ҳам ошиб боради. Бундай ҳолларда схемани ҳисоблашда бошқа усуллар қулланилиб, контур тоқлари усули ёки тугун потенциаллари усулидан фойдаланилади.

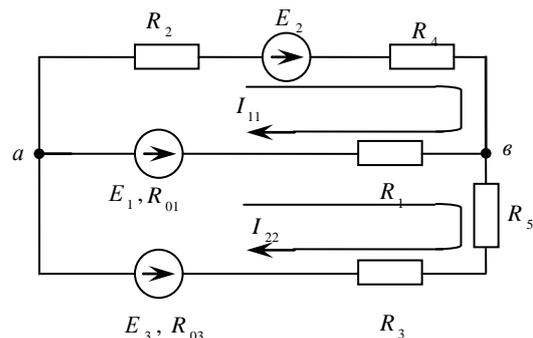
2. Контур тоқлари усулига асосан ҳисоблаш.

Мустикал контурлардаги контур тоқлари йуналишларини белгилаймиз. Мустикал контурлар сони қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$P - q + 1$$

Бу ерда p – шахобчалар сони
 q – тугунлар сони

I_{11} ва I_{22} – номаълум контур тоқлари
 Кирхгофнинг 2- қонунига асосан, контур тоқлар тенгламаси қуйидаги-ча булади:



$$\begin{aligned} R_{11} I_{11} - R_{12} I_{22} &= E_{11} \\ -R_{21} I_{11} + R_{22} I_{22} &= E_{22} \end{aligned}$$

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

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

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

$R_{12} = R_{21}$ - Конт. узаро каршилиги

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

E_{11} ва E_{22} – мос контурга алакодор булган манбаларнинг ЭЮК ларнинг алгебрик йигиндиси.

Бу холда, агар манбаи Э.Ю.К. йуналиши билан контур токи йуналиш мос булса, унинг ишораси мусбат олинади ва аксинча манфий ишорали олинади.

Бу койдага асосан:

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

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

Тенгламаларга сон кийматларини куйсак :

$$\begin{cases} (3 + 1,3 + 6 + 2) I_{11} - (3 + 1,3) I_{22} = 6 - 8 \\ -(3 + 1,3) I_{11} + (3 + 1,3 + 1 + 1,2) I_{22} = 8 - 36 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 12,3 I_{11} - 4,3 I_{22} = -2 \\ -4,3 I_{11} + 14,5 I_{22} = -28 \end{cases}$$

Хосил булган тенгламалар системасини Крамер усулида ечамиз:

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

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

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

Бундан

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-149,4}{159,86} = -0,93 \text{ A}$$

$$I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-353,0}{159,86} = -2,21 \text{ A}$$

Энди шахобчалардаги тоқларни аниклаймиз:

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_{22} - I_{11} = -2,21 - (-0,93) = -1,28 \text{ A}; \\
I_2 &= I_{11} = -0,93 \text{ A}; \\
I_3 &= -I_{22} = 2,21 \text{ A};
\end{aligned}$$

I_1 ва I_2 тоқларнинг минус ишорали булиши, уларнинг занжирдаги хақиқий йуналиши биз қабул қилганга нисбатан тесқари эканлигини билдиради.

3. Тугун потенциаллари усулига асосан ҳисоблаш.

Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, шаҳобчалардаги тоқлар схема тугунларининг потенциаллари орқали аниқланади. Номалъум потенциалларни аниқлаш учун $q - I$ та тенглама тузиш керак, яъни ихтиёрий бир тугун потенциаллари маълум ёки нолга тенг деб қабул қилинади. Берилган схема икки тугунга эга, демак «а» тугуни потенциал нол деб қабул қилиб битта тенглама тузамиз.

$$g_{\text{вв}} \cdot \varphi_{\text{в}} = J_{\text{в}}$$

Бу ерда: $\varphi_{\text{в}}$ – аниқлаши керак булган тугун потенциал.

$g_{\text{вв}}$ – «в» тугунга умумий булган шаҳобчаларнинг утказувчанликлари йигиндиси.

$J_{\text{в}}$ – ЭЮК га эквивалент булган тоқ манбаларининг алгебрик йигиндиси.

Бу ҳолда, агар тоқ манбаи йуналиши тугунга йуналган булса, у мусбат ишорали ва аксинча манфий ишорали билан олинади

Демак:

$$g_{\text{вв}} = \frac{1}{R_2 + R_4} + \frac{1}{R_1 + R_{01}} + \frac{1}{R_3 + R_{03} + R_5};$$

$$J_{\text{в}} = \frac{E_1}{R_1 + R_{01}} + \frac{E_2}{R_2 + R_4} + \frac{E_3}{R_3 + R_{03} + R_5};$$

Сон қийматлари қуйилса:

$$\left(\frac{1}{2 + 6} + \frac{1}{3 + 1,3} + \frac{1}{1 + 1,2 + 8} \right) \varphi_{\text{в}} = \frac{8}{3 + 1,3} + \frac{6}{2 + 6} + \frac{36}{1 + 1,2 + 86}$$

Ёки

$$\varphi_{\text{в}} = 13,49$$

Шаҳобчалардаги тоқлар эса:

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

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

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

4. Вольтеметрнинг курсатишини аниқлаймиз:

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

5. Кувватлар баланси тенгламасига асосан. $P_{\text{ман}} = P_{\text{ист}}$ булиб.

Манбалар куввати:

$$P_{\text{ман}} = E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 = 8 (-1,28) + 6 (-0,93) + 36 2,21 =$$

$$= -10,24 - 5,58 + 79,56 = 63,74 \text{ Вт}$$

Истеъмолчилар куввати:

$$P_{\text{ист}} = I_1^2 \cdot (R_1 + R_{01}) + I_2^2 \cdot (R_2 + R_4) + I_3^2 (R_3 + R_{03} + R_5) = 1,28^2 \cdot (3 + 1,3) +$$

$$0,93^2 (2 + 6) + 2,21^2 (1 + 1,2 + 8) = 7,045 + 6,91 + 49,81 = 63,76 \text{ Вт}$$

Хисоблаш хатоси:

$$j\% = \frac{|P_{\text{ист}} - P_{\text{ман}}|}{|P_{\text{ист}}|} \cdot 100\% = \frac{63,76 - 63,74}{63,76} \cdot 100\% = 0,03\%$$

Ҳисоб график иши №2

СИНУСОДИАЛ ҶЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

2-1.ҳисоб иши. Частотаси $f=50$ Гц, кучланиши $U=220$ В бўлган синусоидал ток занжирига иккита ғалтак ва конденсатор уланган (1-расм). Индуктивлик ва конденсаторнинг параметрлари жадвал 2-1 да келтирилган.

1. Занжирдаги ток ва кучланишларнинг таъсир этувчи қийматлари аниқлансин.
2. Занжирда актив, реактив ва тўла қувватлар аниқлансин.
3. Бутун занжир ва унинг **ас** ва **ск** қисмлари учун фаза силжиш бурчаги аниқлансин.
4. Вектор диаграммаси қурилмаси.

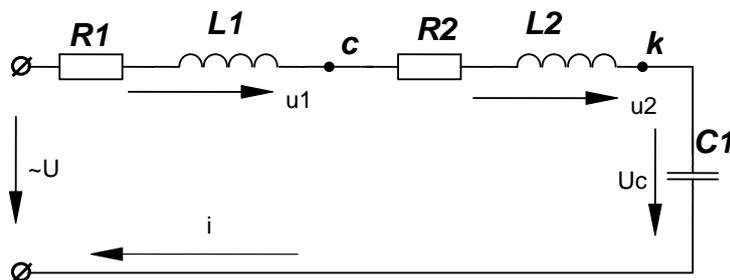
Ҳисоблаш намунаси.

Частотаси $f= 50$ Гц, кучланиши $U=220$ В бўлган синусоидал ток занжирига иккита ғалтак ва конденсатор кетма-кет уланган. индуктивлик ва конденсаторнинг параметрлари қуйидагича:

$R_1=4$ Ом; $L_1=0,032$ Г; $R_2=5$ Ом; $L_2=0,016$ Г; $C=400$ мкФ.

Ечиш:

1. Занжирнинг схемасини чизамиз.



2. Ғалтакларнинг индуктив ва тўла қаршиликларини аниқлаймиз.

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 0,032 = 10 \text{ Ом}$$
$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{4^2 + 10^2} = \sqrt{116} = 10,6 \text{ Ом}$$
$$X_{L2} = \omega L_2 = 314 \cdot 0,016 = 5 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,1 \text{ Ом}$$
$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}$$

3. Конденсаторнинг қаршилигини аниқлаймиз.

$$X_c = \frac{1 \cdot 10^6}{\omega C} = \frac{10^6}{314 \cdot 400} \approx 8 \text{ Ом}$$

4. Бутун занжирнинг тўла қаршилигини аниқлаймиз.

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} - X_c)^2} = \sqrt{(4 + 5)^2 + (10 + 5 - 8)^2} = \sqrt{130} = 11,4 \text{ Ом}$$

5. Занжирдан ўтаётган токни аниқлаймиз.

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{11,4} = 19,3 \text{ A}$$

6. Занжир элементларидаги кучланишларни аниқлаймиз.

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 19,3 \cdot 4 = 77,2 \text{ B}$$

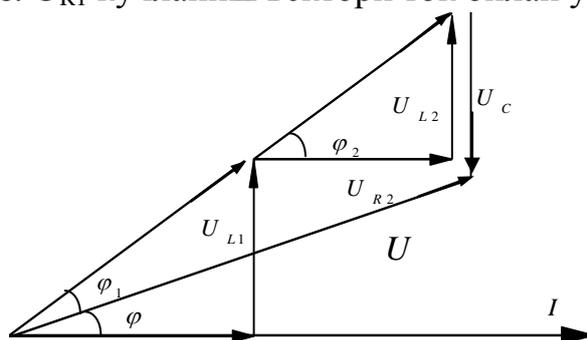
$$U_{L1} = I \cdot X_{L1} = 19,3 \cdot 10 = 193 \text{ B}$$

$$U_{R2} = I \cdot R_2 = 19,3 \cdot 5 = 96,5 \text{ B}$$

$$U_{L2} = I \cdot X_{L2} = 19,3 \cdot 5 = 96,5 \text{ B}$$

$$U_c = I \cdot X_c = 19,3 \cdot 8 = 154,4 \text{ B}$$

7. Аниқланган кучланишлар учун масштаб танлаймиз ва вектор диаграмма курамиз. Вектор диаграмма бутун занжир учун умумий бўлган I ток векторидан бошлаб курамиз. U_{R1} кучланиш вектори ток билан устма-уст тушади.



Масштаб:
 $m_U = 40 \text{ B/cm}$
 $m_I = 2 \text{ A/cm}$

Бу векторнинг учидан ток векторидан 90° га илгариланган U_{L1} кучланиш векторини қўямиз. U_{L1} векторнинг учидан ток билан бир фазага эга бўлган U_{R2} кучланиш векторини ўтказамиз. U_{R2} векторини учини ундан 90° га илгариланган U_{L2} кучланиш векторини чизамиз. U_{L2} нинг учидан токдан 90° га орқада қолувчи U_c кучланиш векторини ўтказамиз. U_c кучланиш векторининг охириги учини. U_{R1} векторининг бош учи билан бирлаштирсак, U манба кучланиши вектори келиб чиқади.

8. Ток ва кучланишлар фаза силжиш бурчагини аниқлаймиз.

Бутун занжир учун:
$$\varphi = \text{arctg} \frac{X_L - X_c}{R} = \text{arctg} \frac{15 - 8}{9} = \text{arctg} \frac{7}{9} = 38^\circ,$$

ёки:

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} = 10 + 5 = 15 \text{ Ом};$$

$$R = R_1 + R_2 = 4 + 5 = 9 \text{ Ом}.$$

ас участкасининг кучланиши U_1 билан ток орасидаги силжиш бурчаги:

$$\varphi_1 = \text{arctg} \frac{X_{L1}}{R_1} = \text{arctg} \frac{10}{4} = 68^\circ$$

ск участкасининг кучланиши U_2 билан ток орасидаги силжиш бурчаги:

$$\varphi_2 = \text{arctg} \frac{X_{L2}}{R_2} = \text{arctg} \frac{5}{5} = 45^\circ$$

кб участкасининг кучланиши $U_3 = U_c$ билан ток орасидаги силжиш бурчаги :

$$\varphi_3 = -90^\circ$$

Энди занжирнинг истеъмол қилаётган актив, реактив ва тўла қувватларини аниқлаймиз.

$$P = I^2 \cdot R_1 + I^2 \cdot R_2 = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 19,3 \cdot \cos 38^\circ = 220 \cdot 19,3 \cdot 0,78 = 3345,89 \text{ Вт}.$$

$$Q=I^2 \cdot X_{L1} + I^2 \cdot X_{L2} - I^2 \cdot X_C = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 220 \cdot 19,3 \cdot \sin 38^\circ = 220 \cdot 19,3 \cdot 0,616 = 2614,1 \text{ ВАР}$$

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 19,3 = 4246 \text{ ВА.}$$

Жадвал 2-1

№ Вариант	R ₁	R ₂	R ₃	L ₁	L ₂	C
	Ом	Ом	Ом	мГн	мГн	мкФ
1.	10	4	5	31,8	16	318
2.	10	5	3	95,5	25,5	265
3.	10	6	6	25,5	31,8	530
4.	10	5	4	51	48	79,6
5.	10	6	5	79,6	31,8	79,6
6.	15	3	5	79,6	16	127
7.	15	4	3	79,6	16	199
8.	15	5	4	79,6	25,5	199
9.	15	6	3	25,5	31,8	121,6
10.	15	4	6	48	25,5	79,6
11.	20	4	4	48	51	159
12.	20	5	5	63,7	51	212
13.	20	5	6	63,7	48	127
14.	20	4	6	111	31,8	90,9
15.	20	4	5	111	16	79,6
16.	25	7	3	111	31,8	530
17.	25	2	8	31,8	16	79,6
18.	25	3	4	31,8	95,5	127
19.	25	5	4	31,8	76	199
20.	25	4	3	16	95,5	199
21.	16	7	6	25,5	111	212
22.	16	5	8	25,5	16	79,6
23.	16	6	4	25,5	127	79,6
24.	16	3	5	48	127	90,9
25.	16	4	8	48	16	90,9
26.	28	2	8	48	31,8	212
27.	28	4	6	31,8	111	159
28.	28	6	6	31,8	127	79,6
29.	28	10	2	31,8	16	31,8
30.	28	8	4	51	127	106
31.	30	10	5	51	111	106
32.	30	8	5	51	31,8	159
33.	30	8	3	63,7	48	159
34.	30	6	3	63,7	31,8	318
35.	30	6	4	63,7	16	212
36.	12	4	4	79,6	25,5	212
37.	12	4	5	79,6	16	530
38.	12	4	6	79,6	48	159

39.	12	5	4	95,5	25,5	159
40.	12	5	6	95,5	16	199
41.	24	5	5	95,5	51	199
42.	24	3	8	127	48	212
43.	24	2	10	127	51	212
44.	24	4	7	127	16	127
45.	24	5	3	16	63,7	127
46.	35	6	8	16	79,6	265
47.	35	8	8	16	95,5	265
48.	35	7	7	111	127	906
49.	35	10	7	111	16	127
50.	35	8	8	111	51	90,9

2-2. ҳисоб иши. Частота $f=50$ Гц, кучланиши $U=220$ В бўлган синусоидал манбага актив ва реактив қаршиликлар параллел бириктирилган. Занжирнинг параметрлари жадвал 2-2 да берилган.

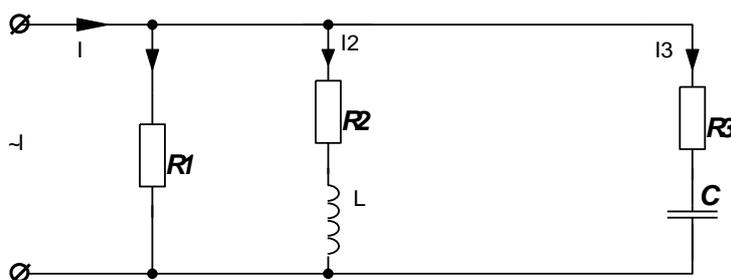
1. Шахобчалардаги тоқлар аниқлансин.
2. Занжирнинг актив, реактив ва тўла қувватлари аниқлансин.
3. Вектор диаграмма қурилсин.

Ҳисоблаш намунаси

Частотаси $f=50$ Гц, кучланиши $U=220$ В бўлган синусоидал манбага актив ва реактив қаршиликлар параллел бириктирилган.(2-расм).

Уларнинг параметрлари қуйидагича:

$$R_1=110 \text{ Ом}, R_2=40\text{Ом}, L=0,0637 \text{ Г}, R_3=30 \text{ Ом}, C=79,6 \text{ мкФ}.$$



Ечиш:

1. Шахобчалардаги тўла қаршиликларни аниқлаймиз:

$$Z_1=R_1=110 \text{ Ом},$$

$$Z_2=\sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{40^2 + (314 \cdot 0,0637)^2} = \sqrt{40^2 + 20^2} = 44,7 \text{ Ом}$$

$$\text{Ёки комплекс шаклда: } \underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L = 40 + j20 = 44,7 e^{j27^\circ} \text{ Ом}$$

$$\text{Бу ерда: } \varphi_2 = \arctg \frac{20}{40} = 27^\circ$$

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + \left(\frac{10^6}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{30^2 + \left(\frac{10^6}{314 \cdot 79,6}\right)^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом}$$

ёки:
$$\underline{Z}_3 = R_3 - j \frac{10^6}{\omega C} = 30 - j40 = 50 e^{-j53^\circ} \text{ Ом}$$

бу ерда:
$$\varphi_3 = \arctg \frac{-40}{30} = -53^\circ.$$

2. Шахобчалардаги тоқларни аниқлаймиз. Манба кучланиши бошланғич фазасини 0° га тенг деб оламиз.

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{110} = 2 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{220}{44,7} = 4,92 \text{ А} \quad \text{ёки} \quad I_2 = \frac{220}{44,7 e^{j27^\circ}} = 4,9 e^{-j27^\circ} \text{ А.}$$

$$I_3 = \frac{U}{Z_3} = \frac{220}{50} = 4,4 \text{ А} \quad \text{ёки} \quad I_3 = \frac{220}{50 e^{j53^\circ}} = 4,4 e^{-j53^\circ} \text{ А.}$$

3. Занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток Киргхофнинг 1-қонунига биноан

$I = I_1 + I_2 + I_3$ га тенг бўлади. Комплекс сонлар ёрдамида аниқлайдиган бўлсак, шахобчалардаги тоқларни актив ва реактив тошқил этувчиларга ажратиб қўшиб чиқамиз.

$$\bullet \quad I_1 = 2 \text{ А.}$$

$$\bullet \quad I_2 = 4,92 e^{-j27^\circ} = 4,92 \cdot \cos 27^\circ - j4,92 \cdot \sin 27^\circ = 4,38 - j2,23 \text{ А.}$$

$$\bullet \quad I_3 = 4,4 e^{-j53^\circ} = 4,4 \cdot \cos 53^\circ + j4,4 \cdot \sin 53^\circ = 2,64 + j3,52 \text{ А.}$$

$$\bullet \quad I = I_1 + I_2 + I_3 = 4,4 = 2 + 4,38 - j2,23 + 2,64 + j3,52 = 9,02 + j1,29 \text{ А}$$

ёки
$$I = \sqrt{(9,02)^2 + (1,29)^2} = \sqrt{81,36 + 1,66} = \sqrt{83,02} = 9,1 \text{ А}$$

Бу ерда
$$\varphi = \arctg \frac{1,29}{9,02} = 8^\circ.$$

4. Агар комплекс сонлар ишлатилмаса ток I вектор диаграмма қуриш йўли билан аниқланади. Масштаб танлаб, занжирнинг ҳамма шахобчалари учун умумий бўлган кучланиш векторига нисбатан тоқлар векторини чизамиз.

$\varphi = 0^\circ$ бўлганлиги учун I_1 тоқи кучланиш билан устма-уст тушади.

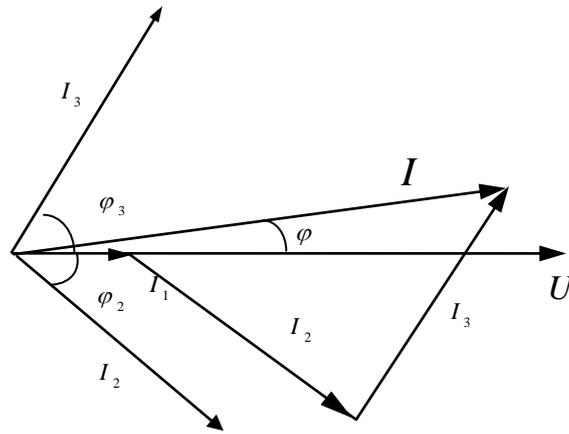
I_2 ток вектори кучланишдан
$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R_2} = \arctg \frac{20}{40} = 27^\circ$$
 бурчакка орқада

қолади.

I_3 ток вектори кучланишдан
$$\varphi = \arctg \frac{X_C}{R_3} = \arctg \frac{-40}{30} = -53^\circ$$

Шу учала векторни қўшиш натижасида I ток векторини ҳосил қиламиз.

Диаграммадан $I=9,1 \text{ А}$ га ва $\varphi = \arctg \dots = 8^\circ$ га тенглигини аниқлаймиз.



Энди занжирдаги актив, реактив ва тўла қувватларни аниқлаймиз:

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = UI \cos \varphi = 220 \cdot 9,1 \cdot \cos 8^\circ = 1985,9 \text{ Вт}.$$

$$Q = I_2^2 X_L - I_3^2 X_C = UI \sin \varphi = 220 \cdot 9,1 \cdot \sin 8^\circ = 280,3 \text{ ВАР}.$$

$$\tilde{S} = UI = 220 \cdot 9,1 = 2002 \text{ ВАР}.$$

$$\ddot{S}: \tilde{S} = UI^* = 220 \cdot 9,1 e^{-j8^\circ} = 2002 e^{-j8^\circ} = 1985,9 - j280,3.$$

Жадвал 2-2

№ Вариант	R_1	R_2	R_3	L	C
	Ом	Ом	Ом	Гн	МкФ
1.	20	10	6	0,032	398
2.	30	20	40	0,127	106
3.	50	5	8	0,016	398
4.	20	10	6	0,0255	212
5.	40	15	20	0,0318	127
6.	20	25	30	0,0796	90,9
7.	25	30	8	0,111	530
8.	25	15	12	0,048	199
9.	30	12	20	0,051	265
10.	20	6	20	0,0255	106
11.	40	10	10	0,0637	318
12.	20	15	15	0,0796	159
13.	40	40	25	0,0965	106
14.	40	30	30	0,127	159
15.	30	40	20	0,127	218
16.	25	15	10	0,0318	212
17.	20	6	8	0,016	530
18.	10	8	25	0,0318	127
19.	20	12	15	0,051	159
20.	20	15	10	0,0796	212
21.	30	20	30	0,048	106
22.	25	30	40	0,0955	106
23.	20	20	10	0,0637	218
24.	30	40	30	0,127	90,9
25.	15	6	30	0,0255	79,6

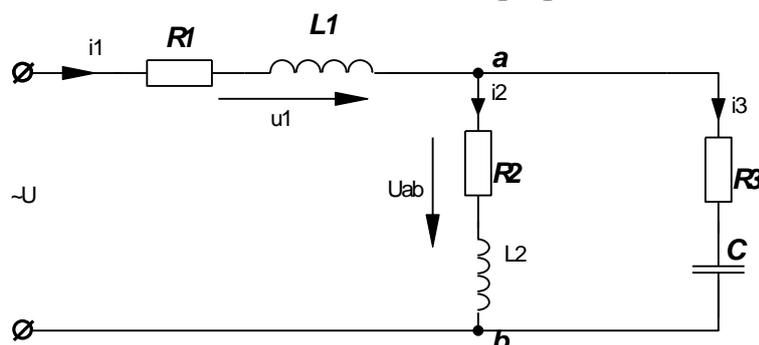
26.	16	9	20	0,016	159
27.	20	30	10	0,127	212
28.	25	20	20	0,111	127
29.	30	15	12	0,048	199
30.	40	16	8	0,038	530
31.	30	25	10	0,048	159
32.	20	10	15	0,0318	159
33.	20	6	15	0,051	318
34.	20	10	10	0,0637	318
35.	35	25	10	0,0796	212
36.	40	30	15	0,111	212
37.	20	10	8	0,016	530
38.	50	30	40	0,0965	106
39.	40	30	30	0,127	106
40.	15	6	12	0,0255	318
41.	20	12	10	0,051	212
42.	20	15	10	0,048	212
43.	25	15	12	0,0637	212
44.	25	15	16	0,0318	265
45.	25	20	10	0,0796	265
46.	40	30	16	0,111	265
47.	40	30	40	0,127	106
48.	20	10	30	0,016	106
49.	50	40	30	0,0965	79,6
50.	50	6	30	0,0255	90,9

2-3 хисоб иши. Частота $f=50$ Гц, кучланиши $U=220$ В бўлган синусоидал ток манбасига иккита ғалтак ва конденсатор аралаш схемада бириктирилган (3-расм). Ғалтак ва конденсаторнинг параметрлари жадвал 2-3 да келтирилган.

1. Занжирнинг шахобчалардаги тоқларни ва кучланишларни аниқланг.
2. Занжирнинг актив, реактив ва тўла қувватларини аниқланг.
3. Вектор диаграмма қурилсин.

Хисоблаш намунаси

Частотаси $f=50$ Гц, кучланиши $U=220$ В бўлган синусоидал манбагасига $R_1=5$ Ом, $L_1=16$ мГн, $R_2=4$ Ом, $L_2=25,5$ мГн параметрларига эга бўлган ғалтаклар ва, $R_3=6$ Ом, $C=398$ мкФ конденсатор аралаш схемада уланган.



Ечиш:

1. Занжирни комплекс сонлар ёрдамида ҳисоблаймиз. Истеъмолчилар аралаш улангани учун занжирнинг тўла қаршилиги қуйидагича аниқлансин:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}$$

бу ерда \underline{Z}_1 – 1-шахобчанинг тўла қаршилиги

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = 5 + j314 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 5 + j5 = 7,07 e^{j45^\circ},$$

ёки: $7,07 = \sqrt{5^2 + 5^2}, \quad 45^\circ = \arctg \frac{5}{5} = \arctg 1.$

\underline{Z}_2 – 2-шахобчанинг тўла қаршилиги

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = 4 + j314 \cdot 25,5 \cdot 10^{-3} = 4 + j8 = 8,9 e^{j63^\circ}$$

ёки: $8,9 = \sqrt{4^2 + 8^2}, \quad 63^\circ = \arctg \frac{8}{4} = \arctg 2.$

\underline{Z}_3 – 3-шахобчанинг тўла қаршилиги

$$\underline{Z}_3 = R_3 - j \frac{10^6}{\omega C_1} = 6 - j \frac{10^6}{314 \cdot 318} = 6 - j10 = 11,7 e^{-j59^\circ}$$

ёки: $11,7 = \sqrt{6^2 + 10^2}$

$$-59^\circ = \arctg -\frac{10}{6} = -\arctg 1,67$$

Бутун занжирнинг тўла қаршилиги:

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= 5 + j5 + \frac{8,9 e^{j63^\circ} \cdot 11,7 e^{-j59^\circ}}{4 + j8 + 6 - j10} = 5 + j5 + \frac{8,9 e^{j63^\circ} \cdot 11,7 e^{-j59^\circ}}{10 - j2} = 5 + j5 + \frac{8,9 e^{j63^\circ} \cdot 11,7 e^{-j59^\circ}}{10,2 e^{-j11^\circ}} \\ &= 5 + j5 + 10,2 e^{j13^\circ} = 5 + j5 + 9,94 + j2,29 = 14,94 + j7,29 = 16,6 e^{j26^\circ} \end{aligned}$$

Занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток: $i = \frac{U}{\underline{Z}} = \frac{220}{16,6 e^{j26^\circ}} = 13,25 e^{-j26^\circ}$

Бу ток \underline{Z}_1 қаршилигида $\underline{U}_1 = I_1 \cdot \underline{Z}_1$ кучланиш пасайишини ҳосил қилади.

$$\underline{U}_1 = i \cdot \underline{Z}_1 = 13,25 e^{-j26^\circ} \cdot 7,07 e^{j45^\circ} = 93,68 e^{j19^\circ}$$

\underline{Z}_2 ва \underline{Z}_3 қаршиликлар параллел улангани учун улардаги кучланиш пасайиши

бир хил бўлиб $U_{ab} = I \cdot \underline{Z}_{2-3}$ га тенг.

Бу ерда $\underline{Z}_{2-3} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 10,2 e^{j13^\circ}$

$$U_{ab} = 13,25 e^{-j26^\circ} \cdot 10,2 e^{j13^\circ} = 135,15 e^{-j13^\circ}$$

Кучланиш U_{ab} ва \underline{Z}_2 ва \underline{Z}_3 қаршиликлар маълум бўлгани учун i_2 ва i_3 тоқларни аниқлаймиз:

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{Z_2} = \frac{135,15 e^{j13^\circ}}{8,9 e^{j63^\circ}} = 15,18 e^{-j76^\circ}$$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{Z_3} = \frac{135,15 e^{j13^\circ}}{11,7 e^{j59^\circ}} = 11,55 e^{-j46^\circ}$$

Занжирдаги актив, реактив ва тўла қувватларни аниқлаймиз:

Актив қувватлар :

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = 13,25^2 \cdot 5 = 175,56 \cdot 5 = 877,8 \text{ Вт}$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = 15,18^2 \cdot 4 = 881,72 \text{ Вт}$$

$$P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 11,55^2 \cdot 6 = 800,4 \text{ Вт}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 877,8 + 81,72 + 800,4 = 2559,92 \text{ Вт}$$

Реактив қувватлар:

$$Q_1 = I_1^2 X_1 = 13,25^2 \cdot 5 = 877,8 \text{ ВАр}$$

$$Q_2 = I_2^2 X_2 = 15,18^2 \cdot 8 = 1763,44 \text{ ВАр}$$

$$Q_3 = -I_3^2 X_3 = -11,55^2 \cdot 10 = -1334 \text{ ВАр}$$

3-шахобчадаги занжир актив ва сиғим характерли бўлгани учун бу шахобчанинг реактив қуввати минус ишора билан олинади, сабаби у сиғимга тегишлидир:

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 = 877,8 + 1763,44 - 1334 = 1307,24 \text{ ВАр}$$

Тўла қувват:

$$\tilde{S} = P + jQ = 2559,92 + j1307,24$$

Ўки унинг модули қуйидагига тенг:

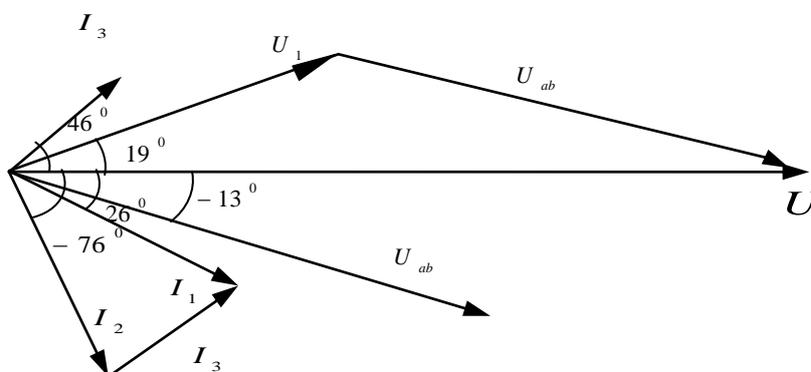
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(2559,92)^2 + (1307,24)^2} \approx \sqrt{5107600 + 1708249} \approx 2611 \text{ ВА}$$

Вектор диаграмма курамиз.

Манба кучланишининг бошланғич фазасини 0 га тенг деб оламиз. Масштаб танлаб шу масштабларда ток ва кучланишлар векторини курамиз.

Масштаб: $m_u = 20 \text{ В/см}$.

$m_i = 5 \text{ А/см}$



Жадвал 2-3.

Вариант	R ₁	R ₂	R ₃	L ₁	L ₂	C
№	Ом	Ом	Ом	мГ	мГ	мкФ
1.	10	6	20	25,5	16	106
2.	15	12	20	48	51	265
3.	10	10	6	25,5	25,5	212
4.	5	15	20	127	31,8	127
5.	13	12	20	127	51	265
6.	10	20	40	63,7	127	106
7.	14	10	6	63,7	31,8	398
8.	12	5	8	63,7	16	398
9.	16	15	20	79,6	31,8	127
10.	10	25	30	48	79,6	90,9
11.	12	10	20	48	96	106
12.	20	30	8	-	111	530
13.	15	15	15	-	79,6	159
14.	25	20	10	-	48	159
15.	10	30	15	-	48	127
16.	16	30	8	38,2	63,7	318
17.	12	20	-	38,2	63,7	106
18.	20	40	-	38,2	960	79,6
19.	5	40	-	16	79,6	199
20.	8	15	-	16	31,8	199
21.	10	30	20	16	127	199
22.	15	15	10	16	79,6	159
23.	20	8	15	16	31,8	159
24.	30	10	25	127	48	159
25.	35	25	30	127	96	159
26.	10	15	15	48	16	212
27.	12	-	25	48	111	212
28.	15	-	20	48	63,7	212
29.	20	-	5	48	25,5	212
30.	20	-	20	79,6	63,7	127
31.	25	45	-	79,6	96	127
32.	15	10	30	79,6	48	127
33.	30	6	-	79,6	25,5	530
34.	12	-	8	51	51	530
35.	16	20	10	51	63,7	530
36.	20	30	12	51	79,6	530
37.	-	30	10	51	127	265
38.	-	25	12	51	111	265
39.	-	20	8	38,2	79,6	265
40.	-	35	30	38,2	127	79,6
41.	20	25	35	96	79,6	79,6
42.	25	12	40	96	51	79,6
43.	30	20	20	96	96	90,9
44.	35	20	25	96	63,7	90,9
45.	40	7	30	-	16	90,9
46.	35	30	40	-	127	90,9
47.	8	40	12	25,5	127	199
48.	6	30	20	25,5	79,6	199
49.	30	15	10	111	48	318
50.	40	26	15	111	48	318

Хисоб график иши №3 «Уч фазали ток занжирлари»

Катта кувватдаги уч фазали ток занжирларига жадвалда келтирилган истеъмолчилар уланган.

Вазифа:

1. Истеъмолчиларнинг алмашиш схемаси тузилсин ва каршиликлари аниклансин.
2. Истеъмолчиларнинг уланиш схемаси тузилсин.
3. Тармоқларидан тоқлар аниклансин.
4. Занжир электр холатининг вектор диаграмаси тузилсин.
5. Истеъмол килинаётган актив кувватни аниклаш учун вольтметрлар улансин уларнинг курсаткичи

аниклансин.

№	Манба тасвири	Биринчи бир фазали истеъмолчи кувват			$\cos \varphi_n$	Иккинчи бир фазали истеъмолчи кувват			$\cos \varphi_n$	Учинчи бир фазали истеъмолчи кувват			$\cos \varphi_n$	Уч фазали семметрик истеъмолчи кувват			$\cos \varphi_n$
		U _n [В]	P _n квт	Q _n квар		U _n [В]	P _n квт	Q _n квар		U _n [В]	P _n квт	Q _n квар		U _n [В]	P _n квт	Q _n квар	
1	Уч симли 380 В	380	10		0,9сиг	380	13		1	380	25		0,7сиг	380	12		0,85сиг
2	Турт симли 220В	127	6		0,8инд	127	14		1	127		8	0сиг	220	62		0,78инд
3	Уч симли 220 В	220	15		0,92сиг	220		11	0инд	220	16		1	220	45		0,95инд
4	Уч симли 220 В	220	12		1	220	20		1	220	15		0,75инд	127	7		0,87инд
5	Уч симли 380 В	380	15		0,8сиг	380	15		1	220	20		0,7инд	380	57		0,8сиг
6	Уч симли 220 В	220	10		1	220	11		0,7инд	220	11		0,7инд	220	20		0,8сиг
7	Уч симли 220 В	220	20		0,9инд	220	15		1	127	10		0,7инд	220	10		0,8сиг
8	Турт симли 220 В	127	5		0,7инд	127	3		0,8инд	280	7		1	220	21		0,8сиг
9	Турт симли 220 В	220	5		0,6сиг	220	7		0,8инд	220	4		0,7инд	127	9		1
10	Турт симли 380 В	220	6		1	220	7		0,8инд	380	9		0,7сиг	380	14		0,85инд
11	Уч симли 380 В	380	10		0,8сиг	380		7	0инд		16		1	220	45		0,75инд
12	Уч симли 220 В	220	3		1	220	5		0,6сиг		8		0,8сиг	127	15		1
13	Турт симли 380 В	220	15		1	220	10		0,6сиг	220		12	0инд	220		36	0инд
14	Турт симли 220 В	127	3		0,8сиг	127	4		1	127	9		0,7инд	220	14		0,85сиг
15	Турт симли 380 В	220	10		0,8инд	220	12		1	220	4		0,2сиг	220	8		1
16	Уч симли 380 В	380	12		1	380		4	0инд	380	5		0,85сиг	380	32		0,7инд
17	Уч симли 220 В	220	4		1	220		4	0сиг	220	7		0,85сиг	127	15		0,75инд
18	Уч симли 220 В	220	10		0,85инд	220		12	0сиг	220	14		1	220	92	20	1
19	Турт симли 380 В	220	16		0,75сиг	220	16		0,75инд	220	16		1	220			0инд

Вазифани бажариш намунаси.

Истеъмолчиларнинг параметрлари куйидагича берилган булсин.

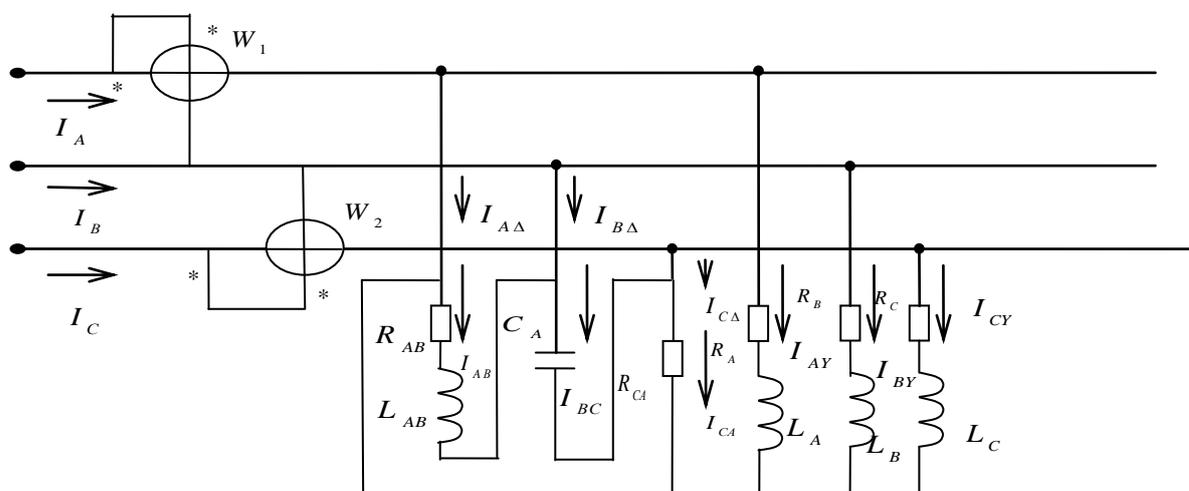
Манба уч симли	Биринчи фаза истеъмолчи.			Иккинчи фаза истеъмолчи			Учинчи фаза истеъмолчи		
	U [В]	P _н [кВт]	Cos φ _н	U [В]	Q [кВАР]	Cos φ _н	U [В]	P кВт	Cos φ _н
U=380 В	380	8	0,8инд	380	12	0	380	10	1

Юлдузча схемада уланган уч фазали симметрик истеъмолчилар учун:
 $U_n = 220 \text{ В}; P_n = 18 \text{ кВт}; \text{Cos } \varphi_n = 0,9 \text{ индуктив}; f = 50 \text{ гц}$

1. Истеъмолчиларнинг алмашиш схемасини тузамиз. Истеъмолчиларнинг кувват коэффиценти уларнинг характерини аниклаш имкониятини беради. Агар кувват коэффиценти $\text{Cos } \varphi = 1$ булса, истеъмолчи актив характерга эга, агар $0 < \text{Cos } \varphi_n < 1$ булса, элементлар актив - индуктив ёки актив - сигим була- олади. Масалан: $\text{Cos } \varphi = 0,8$ индуктив булса, актив - индуктив $\text{Cos } \varphi = -0,8$ сигим булса, актив – сигим булади. $\text{Cos } \varphi = 0$ булганда истеъмолчи реактив характерга эга (соф индуктив ёки сигим).

Демак биринчи истеъмолчимиз актив – индуктив характерга, иккинчиси сигим характерига ва учинчиси актив характерга эга. Уч фазали симметрик истеъмолчи актив – индуктив характерга эга.

2. Истеъмолчиларни уланиш схемасини аниклаймиз. Агар истеъмолчининг номинал кучланиши манба кучланишига тенг булса, истеъмолчи манбага «учбурчак усуслида уланади». Агар манба кучланиши $U_m = \sqrt{3}U_n$ булса, у холда истеъмолчи «Юлдуз» усуслида уланади. Демак уч фазали ток схемаси куйидаги курунишга эга булади.



Расм.1

3. Истеъмолчилардан оқадиган ток ва каршилиқларни аниқлаймиз.

Фаза – А

$$P_H = U_H \cos \varphi \Rightarrow I_{AB} = \frac{P_H}{U_H \cos \varphi_H} = \frac{8 \cdot 10^3}{380 \cdot 0,8} = 25,7 \text{ A}$$

$$Z_{AB} = \frac{U_H}{I_{AB}} = \frac{380}{25,7} = 14,80 \text{ M}$$

$$R_{AB} = \frac{P}{I_{AB}^2} = \frac{8 \cdot 10^3}{25,7^2} = 11,80 \text{ M}$$

$$X_{AB} = \sqrt{Z_{AB}^2 - R_{AB}^2} = 8,880 \text{ M}$$

$$L_{AB} = \frac{X_{AB}}{\omega} = \frac{8,88}{314} = 0,028 \text{ Гн}$$

$$\varphi_{AB} = \arccos 0,8 = 37^\circ$$

Фаза – В

$$Q_H = U_H I \sin \varphi_H \Rightarrow I_{BC} = \frac{Q_H}{U_H \sin \varphi_H} = \frac{12 \cdot 10^3}{380} = 31,6$$

$$Z_{BC} = X_{BC} = \frac{U_H}{I_{BC}} = \frac{380}{31,6} = 120 \text{ M}$$

$$C_{BC} = \frac{10^6}{\omega X_{BC}} = \frac{10^6}{314 \cdot 12} = 265,4 \text{ мкФ}$$

$$\varphi_{BC} = \arccos 0 = 90^\circ$$

Фаза – С

$$I_{CA} = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{10 \cdot 10^3}{380} = 26,3 \text{ A}$$

$$Z_{CA} = R_{CA} = \frac{U_H}{I_{CA}} = \frac{380}{26,3} = 14,40 \text{ M}$$

$$\varphi_{CA} = \arccos 1 = 0^\circ$$

Симметрик уч фазали истеъмолчи электр ток куввати.

$$P_H = 3P_\phi \text{ булиб, фаза куввати } P_\phi = \frac{P_H}{3} = \frac{18}{3} = 6 \text{ кВт тенг.}$$

Истеъмолчилар симметрик бўлгани учун

$$I_{AY} = I_{BY} = I_{CY} = \frac{P_\phi}{U \cos \varphi} = \frac{6 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,9} = 30,3 \text{ A}$$

$$Z_A = Z_B = Z_C = \frac{U}{I_{AY}} = \frac{220}{30,3} = 7,20 \text{ M}$$

$$R_A = R_B = R_C = \frac{P_\phi}{I_{AY}^2} = \frac{6 \cdot 10^3}{30,3^2} = 6,50 \text{ M}$$

$$X_A = X_B = X_C = \sqrt{Z_A^2 - R_A^2} = \sqrt{7,2^2 - 6,5^2} = 3,90 \text{ M}$$

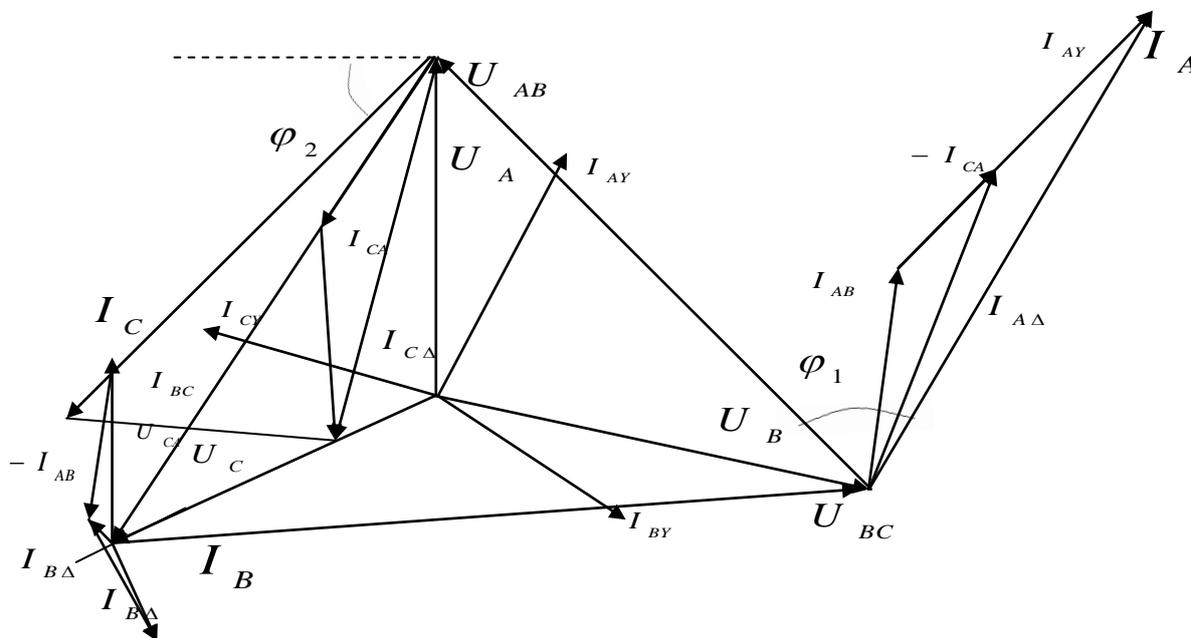
$$L_A = L_B = L_C = \frac{X_A}{\omega} = \frac{3,9}{314} = 0,012 \text{ Гн}$$

$$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \arccos 0,9 = 28^\circ$$

5.Линия симлардаги тоқларни аниқлаш учун ток ва кучланишлар вектор диаграммасини кўрамиз.

Бунинг учун ток ва кучланишлар учун масштаб танланади.

$$M_v = 1 \div 50 \text{ В}, \quad M_i = 1 \div 10 \text{ А}$$



Вектор диаграммаси бир бирга нисбатан 120° фарқли U_A, U_B, U_C фаза кучланишлардан бошлаймиз. Уларни учларини бирлаштирсак U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} линия кучланишлари ҳисил бўлади. “Учбурчак усулида уланган истеъмолчилар учун фаза кучланишлар ва линия кучланишларга нисбатан кўрамиз. “Юлдуз” схемада уланган истеъмолчилар учун фаза кучланишлари U_A, U_B, U_C бўлганлиги учун I_A, I_B, I_C тоқларни ϕ – бурчак фарқи билан қурилади. “Учбурчак” усулида уланган истеъмолчиларнинг линия тоқлари вектор диаграммадан Киргхофнинг 1-қонунига асосан аниқланади.

$$\begin{aligned} \vec{I}_{AA} &= \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} = 52 \text{ А} \\ \vec{I}_{BA} &= \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB} = 5 \text{ А} \\ \vec{I}_{CA} &= \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC} = 56 \text{ А} \end{aligned}$$

Вектор диаграммадан линия симларидаги тоқлар қуйидагича аниқланади.

$$\begin{aligned} \vec{I}_A &= \vec{I}_{AA} + \vec{I}_{AY} = 82 \text{ А} \\ \vec{I}_B &= \vec{I}_{BA} + \vec{I}_{BY} = 24 \text{ А} \\ \vec{I}_C &= \vec{I}_{CA} + \vec{I}_{CY} = 68 \text{ А} \end{aligned}$$