

Fundamentals of Electrical Engineerings

**WEEK 14 - TYPES OF CONNECTIONS OF A THREE-PHASE
GENERATOR WITH A LOAD AND CONDITIONAL POSITIVE
VOLTAGE AND CURRENT DIRECTIONS. POWER IN THREE-PHASE
CIRCUITS.**

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

Lecturer

(Saidjon Ismoilov)

**НАМУДҶОИ ПАЙВАСТИ ГЕНЕРАТОРИ СЕФАЗА БО БОР ВА
САМТҶОИ МУСБИИ ШАРТИИ ШИДДАТҶО ВА ҶАРАЁНҶО.
ИҚТИДОР ДАР ЗАНЧИРҶОИ СЕФАЗА.**

Мундариҷаи лексия:

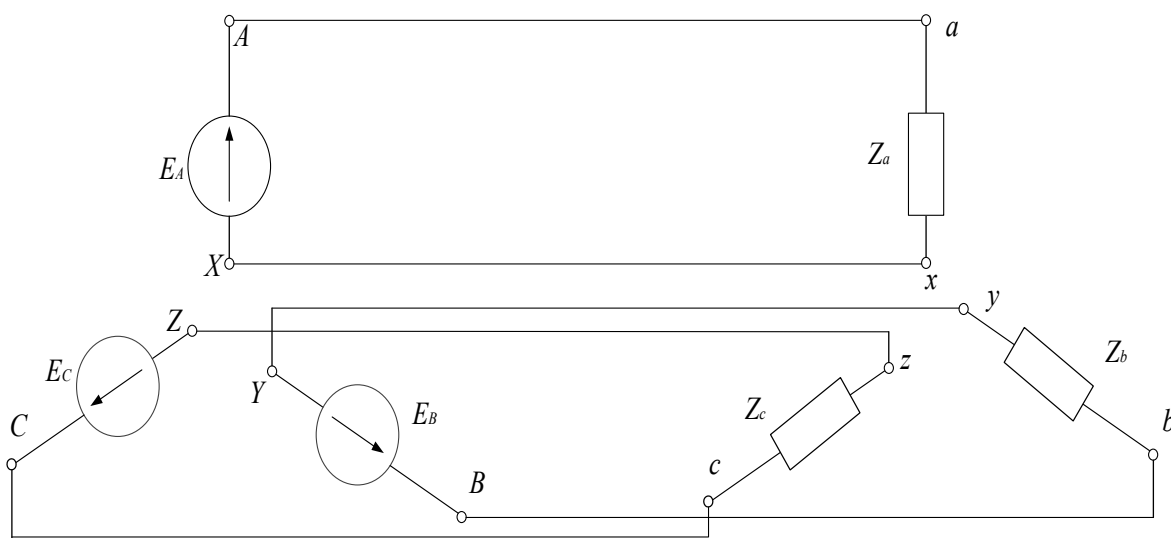
1. Намудҳои пайвасти печҳои генератори сефаза;
2. Намудҳои пайвасти генератори сефаза бо бор ва самтҳои мусбии шартии шиддатҳо ва ҷараёнҳо;
3. Вобастагии байни шиддатҳои (ҷараёнҳои) хаттӣ ва фазавӣ;
4. Гурӯҳбандӣ ва намудҳои пайвасти борҳо дар занҷирҳои сефаза;
5. Иқтидор дар занҷирҳои сефаза;
6. Адабиёт.

Намудҳои пайвасти печҳои генератори сефаза

Намудҳои гуногуни пайвасти печҳои генератор бо бор вучуд дорад. Онҳоро асосан ба гурӯҳҳои зерин ҷудо намудан мумкин аст:

1. Системаи ғайриалоқаманд;
2. Пайвасти ситора;
3. Пайвасти секунҷа.

Системаи ғайри алоқаманд бори аввал пайдо шудааст ва аз ҷиҳати иқтисодӣ муфид нест. Ҳангоми ин намуди пайваст, ҳар як фазаи генератор бо фазаи бор бо истифода аз ду ноқил пайваст карда мешаванд (расми 14.1). Дар ин ҳолат барои пайваст намудани манбаъ бо бор шаш ноқил лозим аст. Айни замон ин намуди пайваст, бинобар сабаби аз ҷиҳати иқтисодӣ муфид набуданаш, истифода намешавад.

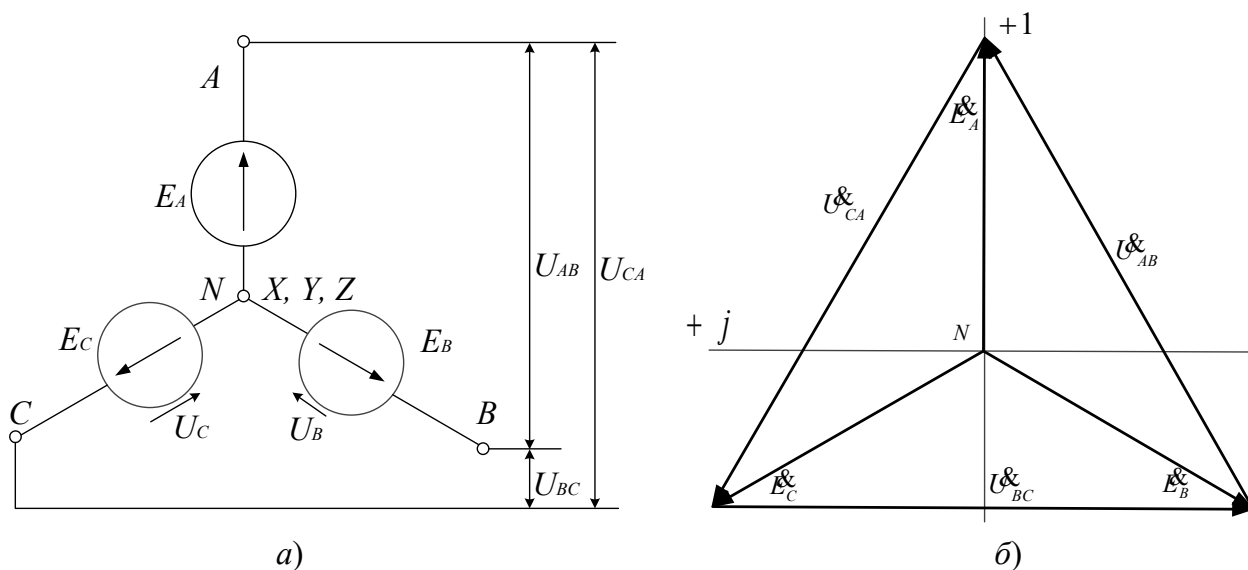


Расми 14.1 – Пайвасти ғайриалоқаманди фазаҳои статори генератори сефаза бо бор

Аз ин рӯ, печаҳои генератори сефазаро бо намуди “секунча” ва ё “ситора” пайваст менамоянд. Дар ин маврид шумораи ноқилҳои пайвасткунанда аз шаш то се ва ё чор ноқилҳо кам карда мешаванд.

Дар нақшаи электрикӣ, генератори сефаза ба намуди се печаҳое, ки нисбат ба якдигар тахти кунчи 120° ҷойгир шудаанд, тасвир карда мешавад. Ҳангоми пайваст намудани печаҳои генератор ба намуди “ситора” бандакҳои ҳамноми се печаҳои генератор (масалан, бандакҳои интиҳои печаҳои генератор X, Y, Z) дар як ғирех якҷоя карда мешавад. Пас, пайваст намудани интиҳои печаҳои генератор ба як нуқтаи умумӣ, пайвасти “ситора” ном гирифтааст (расми 14.2а). Нуқтаи пайвасти умумии печаҳоро, нуқтаи нейтралӣ меноманд ва бо ҳарфи N ишора менамоянд. Ибтидои печаҳои генератор, ибтидои фазаҳо ном гирифтааст, яъне, ибтидои фазаи якум бо ҳарфи A дуҷум бо B ва сеюм бо C ишора карда мешавад (расми 14.2а).

Одатан, ҳангоми ҳисоби занҷирҳои сефаза ҳамвории комплексиро тахти кунчи 90° , ба муқобили акрабаки соат давр занонида, диаграммаи векториро тасвир манемоянд. Аз ин рӯ, баъд аз ин пас, диаграммаҳои векториро бо ин тарз тасвир менамоем. Диаграммаи вектории шиддат ва ҚЭХ – и генератори сефазаро тасвир менамоем (расми 14.2б).



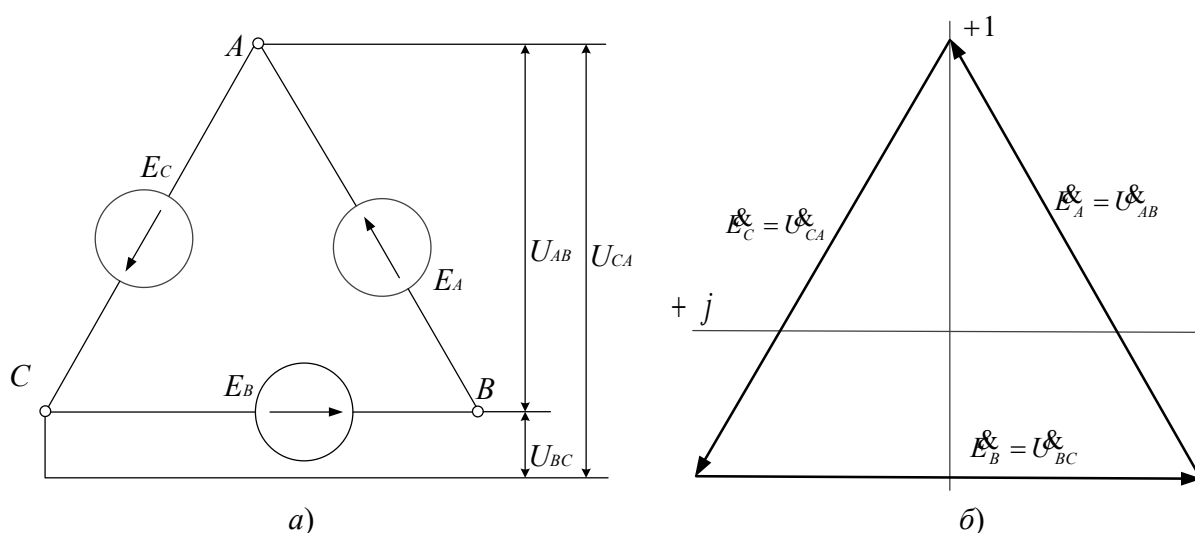
Расми 14.2 – Пайвасти “ситора”-и печаҳои генератори сефаза (а) ва диаграммаи вектории он (б)

Ҳангоми пайвасти печаҳои генератор ба намуди “секунча” (расми 14.3а), интиҳои печай якуми генератор ба ибтидои печай дуум, интиҳои печай дуум ба ибтидои печай сеюм ва интиҳои печай сеюм ба ибтидои печай якум пайваст намуда мешаванд. Суммаи геометрии ҚЭХ – хо дар дилхоҳ лаҳзаи вақт дар секунҷаи сарбаст ба сифр баробар аст:

$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0 \quad (14.1)$$

Аз ин рӯ, агар ба бандакҳои A , B ва C – и генератор бор пайваст набошад, пас дар печаҳои он чараён чорӣ намешавад.

Диаграммаи вектории шиддат ва ҚЭХ – и генератори сефаза ҳангоми пайвасти “секунча” дар расми 14.3б оварда шудааст.



Расми 14.3. Пайвасти “секунча”-и печаҳои генератори сефаза (а) ва диаграммаи вектории он (б)

Намудҳои пайвасти генератори сефаза бо бор ва самтҳои мусбии шартии шиддатҳо ва чараёнҳо

Ҳангоми пайвасти генератори сефаза бо бор намудҳои зерини пайвасти соддаи онҳоро фарқ намудан мумкин аст:

- пайвасти “ситора-ситора” бо ноқили нейтралӣ (расми 14.4);
- пайвасти “ситора-ситора” бе ноқили нейтралӣ (расми 14.5);
- пайвасти “ситора-секунча” (расми 14.6);
- пайвасти “секунча -секунча”;
- пайвасти “секунча-ситора”.

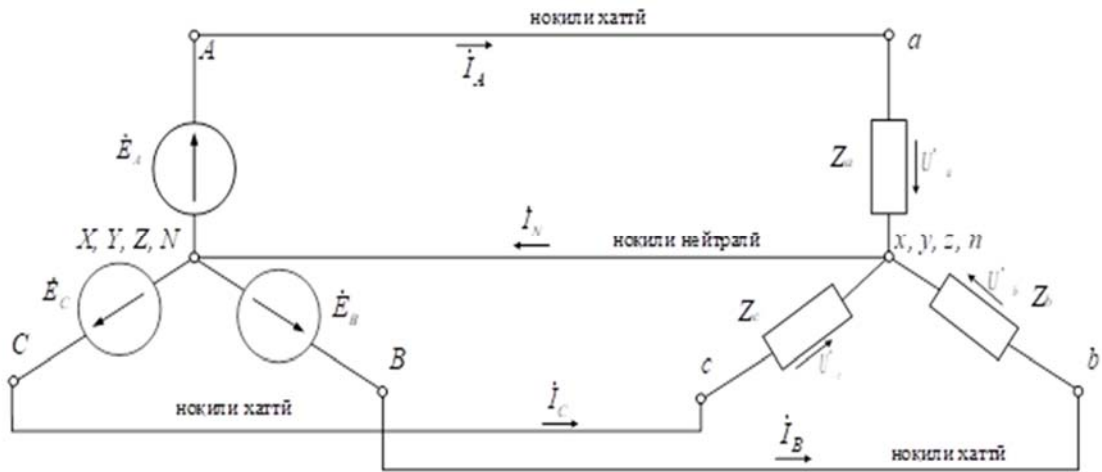
Ҳангоми пайвасти “ситора” – и бор, нуқтаи пайвасти умумии онҳоро, *нуқтаи нейтралӣ бор* меноманд ва бо ҳарфи n ишора менамоянд. Ибтидои фазаҳои бор мутаносибан бо ҳарфҳои a , b ва c ишора карда мешаванд (расми 14.4). Ноқиле, ки интиҳои фазаҳои генераторро (нуқтаи N) бо нуқтаи умумии бор (нуқтаи n) пайваст менамояд, *ноқили нейтралӣ* меноманд. Чараёни ноқили нейтралиро бо ҳарфи I_N ишора намуда, самти мусбии он аз нуқтаи n ба нуқтаи N аст (аз бор ба манбаъ).

Ноқилҳое, ки ибтидои фазаҳои генераторро бо бор пайваст менамоянд, *ноқилҳои хаттӣ* меноманд.

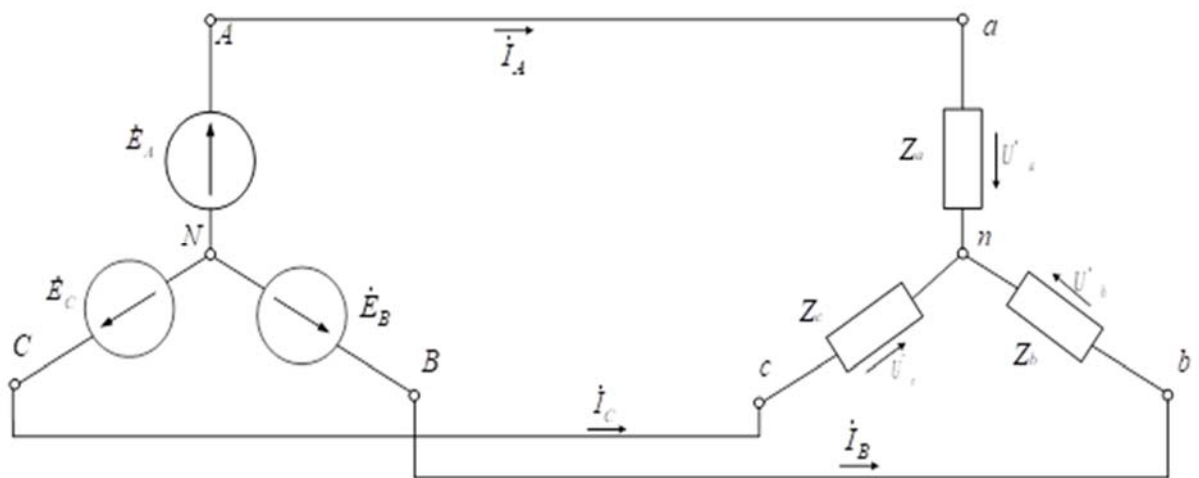
Чараёнҳои дар ноқилҳои хаттӣ чоришавандаро, *чараёнҳои хаттӣ* меноманд ва бо ҳарфҳои I_A , I_B ва I_C ишора менамоянд. Самти мусбии чоришавии чараёнҳо дар ноқилҳои хаттӣ аз манбаъ ба бор аст (мутаносибан аз нуқтаҳои A , B ва C ба нуқтаҳои a , b ва c (расми 14.4)). Ҳангоми речаи симметрӣ, яъне дар вақти баробар будани модули чараёнҳои хаттӣ, онҳоро бо ҳарфи I_X ишора менамоянд.

Шиддати байни ноқилҳои хаттиро, *шиддатҳои хаттӣ* меноманд ва одатан дар индекси онҳо ду ҳарф навишта мешавад. Масалан, шиддати хаттии байни нуқтаҳои A ва B – ро бо ҳарфи U_{AB} ишора менамоянд. Модули шиддатҳои хаттиро бо ҳарфи U_X ишора менамоянд.

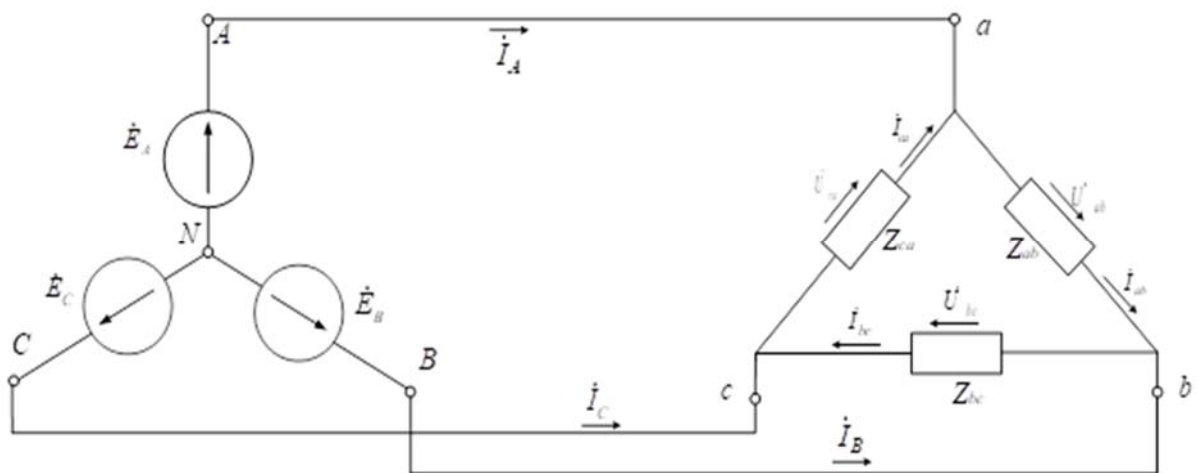
Ҳамаи се печаҳои генераторро фазаҳои генератор ва се борҳо бошанд, фазаҳои бор ном гирифтаанд. Чараёнҳои дар фазаҳои генератор ва бор чоришавандаро чараёнҳои фазавӣ меноманд ва мутаносибан бо ҳарфҳои I_A , I_B ва I_C ишора менамоянд (дар ҳолати умумӣ бо ҳарфи I_ϕ ишора менамоянд). Шиддатҳои байни ибтидо ва интиҳои фазаҳои генератор (U_A , U_B ва U_C) ва бор (U_a , U_b ва U_c) – ро, *шиддатҳои фазавӣ* номида, дар ҳолати умумӣ бо ҳарфи U_ϕ ишора менамоянд.



Расми 14.4 – Пайвасти “ситора-ситора” бо ноқили нейтралӣ



Расми 14.5 – Пайвасти “ситора-ситора” бе ноқили нейтралӣ



Расми 14.6 – Пайвасти “ситора-секунча” бе ноқили нейтралӣ

Вобастагии байни шиддати хаттӣ ва фазавӣ

Ҳангоми пайвасти печаҳои генератор бо намуди “ситора” (расми 14.2a), шиддати хаттӣ (U_X) аз шиддати фазавӣ (U_Φ) $\sqrt{3}$ маротиба калон мешавад. Ин аз он вобаста аст, ки шиддати хаттӣ ин асоси секунҷаи баробарпахлӯест (ABN),

ки дарозии паҳлӯҳои он ададан ба шиддати фазавӣ баробар аст. Кунҷҳои тези ин секунҷаи баробарпаҳлӯ ба 30° баробар аст. Агар аз нуқтаи N ба асоси секунҷаи баробарпаҳлӯ (вектори шиддати хаттӣ (U_X)) хати амудӣ гузаронем, пас, вектори U_X ба ду қисмҳои баробар ҷудо мешавад. Ҳамин тавр, секунҷаи баробарпаҳлӯ низ ба ду секунҷаҳои росткунҷа (ANN' ва BNN') ҷудо мешавад (расми 2.3.4). Аз ин лиҳоз, барои секунҷаи росткунҷаи ANN' муодила тартиб медиҳем. Мувофиқи қоидаҳои тригонометрия нисбати катети ба кунҷи часпидаи секунҷаи росткунҷа ($\frac{U_X}{2}$) ба гипотенузааш (U_ϕ) косинуси кунҷи α аст, пас:

$$\cos \alpha = \frac{U_X/2}{U_\phi}; \text{ аз ин ҷо } U_\phi \cdot \cos \alpha = \frac{U_X}{2}.$$

Пас,

$$U_\phi \cdot \cos 30^\circ = U_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{U_X}{2}.$$

ва ё

$$U_X = U_{AB} = \sqrt{3} \cdot U_\phi = \sqrt{3} \cdot E_A \quad (14.2)$$

Чараёни хаттӣ (I_X) ҳангоми пайвасти “ситора” бо чараёни фазавӣ (I_ϕ) баробаранд (расмҳои 14.4 ва 14.6), яъне $I_\phi = I_X$.

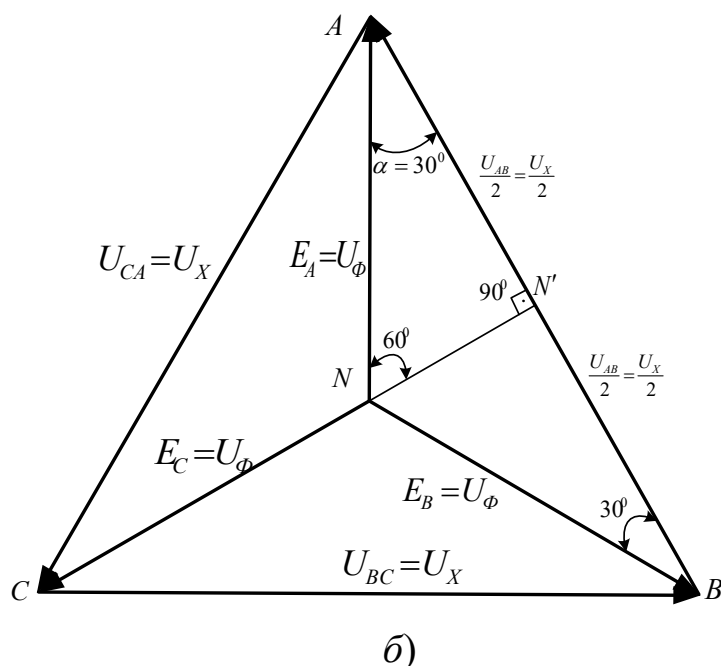
Ҳангоми пайвасти печаҳои генератор бо намуди “секунҷа” (расми 14.3а), шиддати хаттӣ (U_X) ба шиддати фазавӣ (U_ϕ) баробар мебошад:

$$U_X = U_\phi \quad (14.3)$$

Дар пайвасти “секунҷа” – и борҳои сефаза, самти мусбии чараёнҳо мувофиқи акрабаки соат (расмҳои 14.6 ва 14.8) интиҳоб карда мешаванд. Индексҳои чараёнҳои фазавӣ низ вобаста аз самти онҳо вобастаанд. Ҳарфи якуми индекс нишондиҳандаи нуқтаест, ки аз он чараён мебарояд ва ҳарфи дуюм бошад, нишондиҳандаи нуқтаи воридотии чараён аст. Масалан, чараёни фазавии I_{AB} аз нуқтаи A баромада, ба нуқтаи B ворид мешавад.

Ҳангоми пайвасти борҳо бо намуди “ситора”, ҷарайнҳои хаттӣ бо ҷараёнҳои фазавӣ баробар нестанд. Онҳоро мувофиқи қонуни якуми Кирхгоф муайян намудан мумкин аст:

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_{ab} - I_{ca} \\ I_B &= I_{bc} - I_{ab} \\ I_C &= I_{ca} - I_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (14.4)$$



Расми 14.7 – Диаграммаи топографии вобастагии шиддати хаттӣ аз шиддати фазавӣ

Гуруҳбандӣ ва намудҳои пайвасти борҳо дар занҷирҳои сефаза

Вобаста ба шумораи ноқилҳои пайвастандаи манбаъ ва бор занҷирҳои электрикӣ ба занҷирҳои се ноқила ва чор ноқила ҷудо намудан мумкин аст. Фазаҳои манбаъ ва борро бо тарзҳои гуногун метавон пайваस्त намуд.

Аз тарафи дигар борҳои ба занҷирҳои электрикӣ пайвастшаванда, метавонанд якфаза ва ё сефаза бошанд. Ибтидо ва интиҳои фазаҳои борро мутаносибан бо ҳарфҳои a, b, c ва x, y, z ишора менамоянд.

Инчунин борҳои сефаза метавонанд симметрӣ ва ё ғайрисимметрӣ бошанд. Бори занҷири электрикӣ сефаза *симметрӣ* номида мешавад, агар муқовимати комплекси ҳамаи фазаҳо ба ҳам баробар бошанд ($Z_a = Z_b = Z_c$). Дар сурати баробар набудани муқовимати комплекси фазаҳо, занҷирҳои электрикӣ

сефаза *ғайрисимметрӣ* номида мешавад. Дар баъзе мавридҳо борҳо дар занҷирҳои сефаза дорои модули муқовимати якхелаанд, аммо табиати гуногундоранд, яъне $\phi_a \neq \phi_b \neq \phi_c$. Дар чунин мавридҳо занҷири сефаза ғайрисимметрӣ аст. Пас, занҷири электрикии сефаза симметрӣ номида мешавад, агар муқовимати ҳамаи фазаҳои он ҳам аз рӯи фаза ва ҳам модули муқовиматашон буробар буда, ба он манбаъи сефазаи симметрӣ пайваस्त бошад.

Иқтидор дар занҷирҳои сефаза

Дар занҷирҳои сефаза низ монанди занҷирҳои якфаза иқтидори ғаёол (P), ғайриғаёол (Q), ва пурраро (S) фарқ менамоянд.

Иқтидори ғаёоли системаи сефаза, ин суммаи иқтидорҳои ғаёоли борҳои фазаҳо ва иқтидори ғаёоли муқовимати ноқили нейтралӣ мебошад:

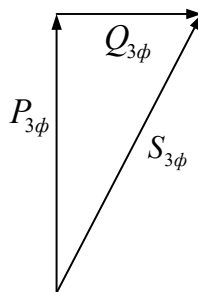
$$P_{3\phi} = \sum_{i=1}^3 P_{\phi i} + P_N = P_A + P_B + P_C + P_N \quad (14.5)$$

Иқтидори ғайриғаёоли системаи сефаза, ин суммаи иқтидорҳои ғайриғаёоли борҳои фазаҳо ва иқтидори ғайриғаёоли муқовимати ноқили нейтралӣ мебошад:

$$Q_{3\phi} = \sum_{i=1}^3 Q_{\phi i} + Q_N = Q_A + Q_B + Q_C + Q_N \quad (14.6)$$

Иқтидори пурраи системаи сефазаро ҳамчун гипотенузаи секунҷаи росткунҷа ҳисобидан мумкин аст, ки катетҳояш иқтидори ғаёол ва ғайриғаёоли сефаза (расми 14.8) аст:

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} \quad (14.7)$$



Расми 14.8 – Диаграммаи векторҳои иқтидорҳои ғаёол, ғайриғаёол ва пурра дар занҷирҳои сефаза

Агар бор симметрӣ бошад, пас:

$$\begin{cases} P_N = Q_N = 0; \\ P_A = P_B = P_C = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \phi_\phi; \\ Q_A = Q_B = Q_C = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \phi_\phi \end{cases} \quad (14.8)$$

дар ин ҷо, ϕ_ϕ – кунчи байни шиддати фазавии бор (U_ϕ) ва ҷараёни фазавии бор (I_ϕ) аст.

Ҳангоми бори симметрӣ, иқтидорҳои умумии ҳамаи фазаҳои муайян менамоем:

$$\begin{cases} P_{3\phi} = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \phi_\phi; \\ Q_{3\phi} = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \phi_\phi; \\ S_{3\phi} = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \end{cases} \quad (14.9)$$

Ҳангоми баробар будани бори фазаҳо ва новобаста аз намуди пайвасти он (секунҷа ва ё ситора):

$$3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_X \cdot I_X \quad (14.10)$$

дар ин ҷо, U_X – шиддати хаттии бор ва I_X – ҷараёни хаттии бор аст.

Аз ин рӯ, ба ҷои системаи муодилаҳои (14.9) дар бисёр мавридҳо системаи муодилаҳои зеринро истифода менамоем:

$$\begin{cases} P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_X \cdot I_X \cdot \cos \phi_\phi; \\ Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_X \cdot I_X \cdot \sin \phi_\phi; \\ S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_X \cdot I_X \end{cases} \quad (14.11)$$

Чен намудани иқтидори фаъол дар занҷирҳои сефаза

Маълум аст, ки барои чен намудани иқтидори фаъоли занҷирҳои электрикӣ ваттметрҳо истифода мебаранд. Шумораи ваттметрҳо ва тарзи пайваст намудани онҳо аз намуди пайваст ва параметрҳои фазаҳо вобаста аст.

Нишондоди ваттметрро бо истифода аз формулаи зерин ҳисоб намудан мумкин аст:

$$P_W = \text{Re}[U_W \cdot I_W] = U_W \cdot I_W \cdot \cos \phi_\phi \quad (14.12)$$

дар ин ҷо, U_W ва I_W – мутаносибан қиматҳои амалкунандаи шиддат ва ҷараёни ваттметр мебошанд.

Кунчи байни шиддат ва ҷараёни ваттметр (ϕ_ϕ) бо самти мусбати шиддат (U_W) ва ҷараёни (I_W) ваттметрро нисбат ба бандакҳои бо ситораҷа ишора шуда, мувафӣқ меояд.

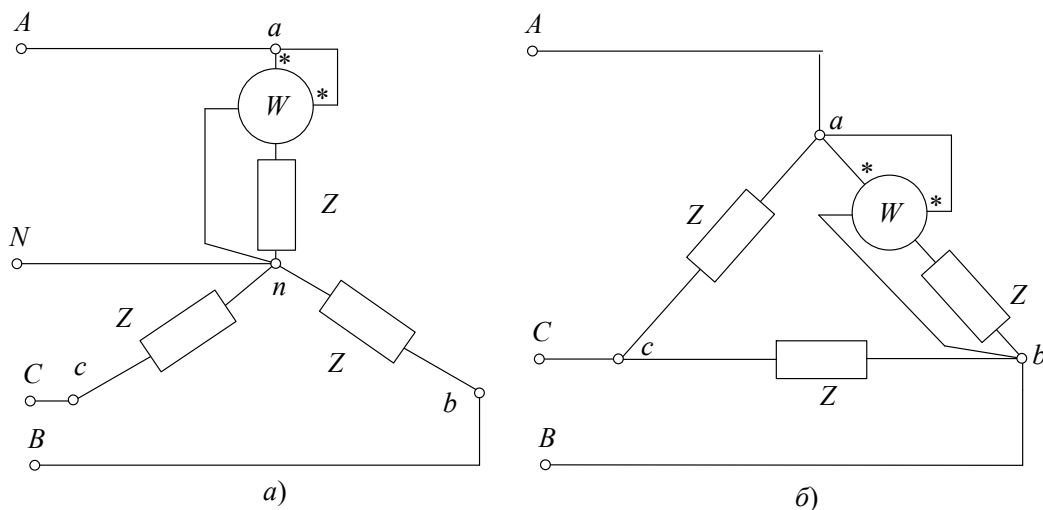
Усулҳои гуногуни пайваст ва шумораи истифодаи ваттметрхоро дида мебароем.

1. Усули як ваттметр.

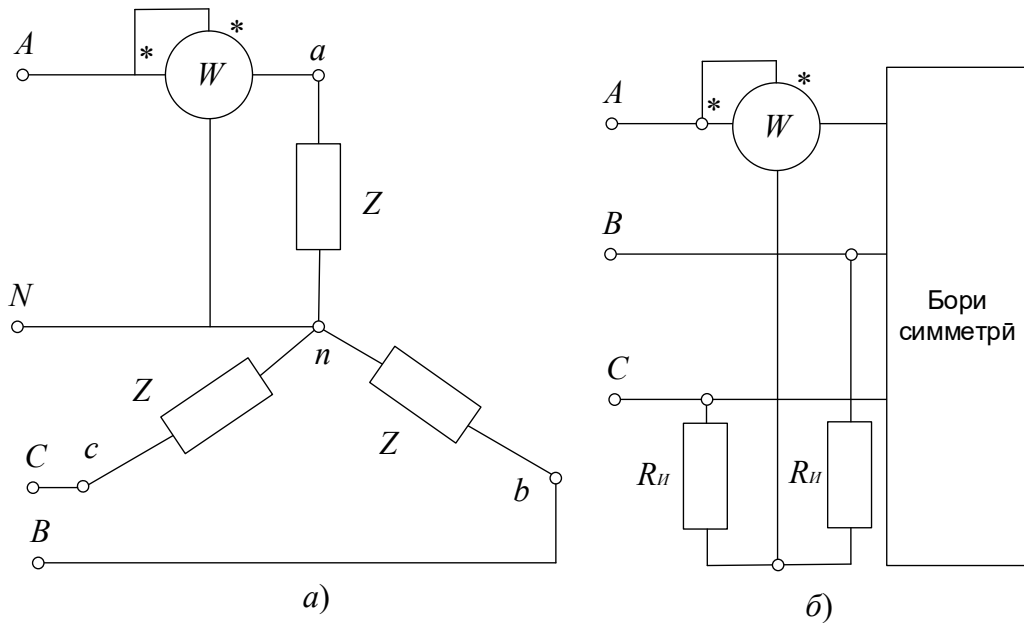
Ин усул асосан ҳангоми бори симметрӣ истифода бурда мешавад. Ваттметрро тарзе пайваст менамоянд, ки он шиддат ва ҷараёни фазавиро (U_ϕ ва I_ϕ) чен намояд (расми 14.9). Барои муайян намудани иқтидори истеъмолшавандаи сефазаи бор, нишондоди ваттметрро ба се зарб намудан зарур аст.

Одатан занҷирҳои сефазаи чорноқила ваттметрро ба монанди расми 14.9 *a* пайваст менамоянд, зеро ҳангоми пайвасти ситора ҷараёнҳои фазавӣ ва ҳатгӣ бо ҳам баробаранд.

Дар занҷирҳои сефазаи сеноқила нуқтаи нейтралиро бо таври сунъӣ ҳосил намудан мумкин аст (расми 2.8.3*б*). Барои ин дар фазаҳои боқимондае, ки ваттметр пайваст нест, муқовимати иловагӣ ($R_{И}$) пайваст намудан лозим аст. Қимати муқовимати иловагии $R_{И}$ бояд ададан ба қимати муқовимати печай шиддати ваттметр баробар бошад (тақрибан якчанд $k\Omega$).



Расми 14.9 – Тарзҳои пайваст намудани ваттметр ҳангоми пайвасти ситора (*a*) ва секунҷа (*б*) ҳангоми симметрӣ будани бор



Расми 14.10 – Тарзҳои пайваст намудани ваттметр ҳангоми номуайян будани фаза дар занҷирҳои сефазаи симметрии чорноқила (а) ва сеноқила (б).

2. Усули ду ваттметрҳо.

Ин усул дар занҷирҳои сефазаи сеноқила ҳангоми бори ғайрисимметрий истифода бурда мешавад. Нақшаи пайвасти ваттметрҳо дар расми 14.11 а тасвир карда шудааст. Суммаи нишондодҳои ҳар ду ваттметрҳо ба иқтидори истемолшавандаи занҷир баробар мебошад. Инро барои иқтидори комплекси занҷир исбот менамоем. Маълум аст, ки иқтидори фаъол ташкилдихандаи ҳақиқии иқтидори комплекси аст.

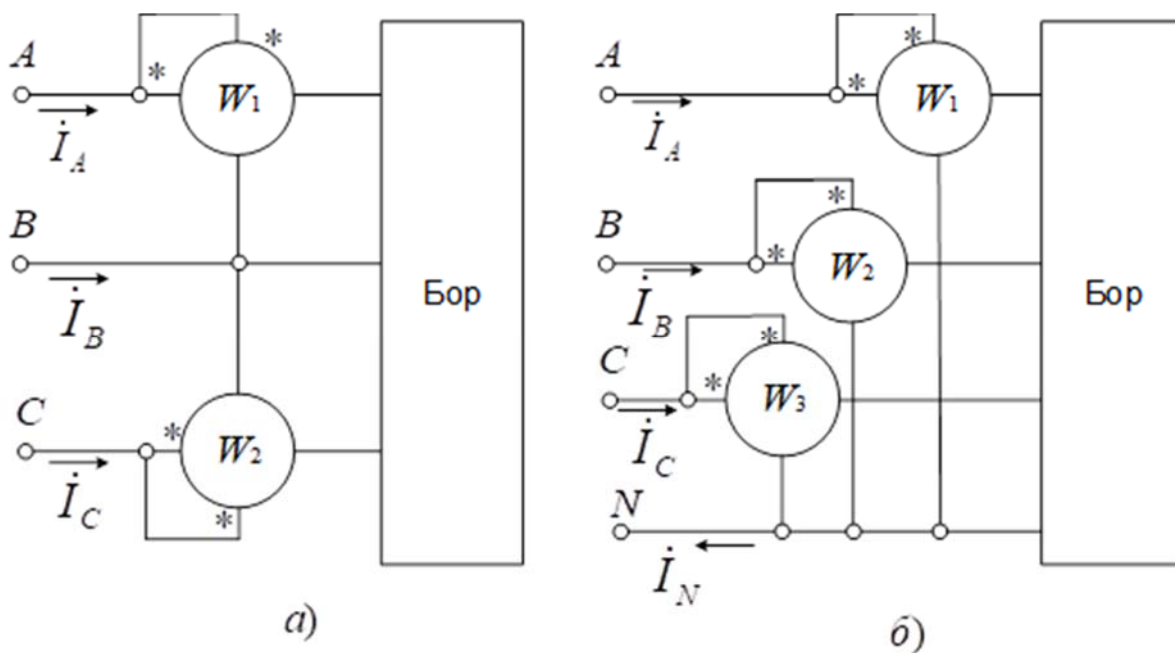
Иқтидори комплекси занҷирро меёбем:

$$S_{3\phi} = S_{W_1} + S_{W_2} = \dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^* = S_A + S_B + S_C \quad (14.13)$$

Усули ду ваттметрҳо дар амалия васеъ истифода бурда мешавад.

3. Усули се ваттметрҳо.

Ин усул дар занҷирҳои сефазаи чорноқила ҳангоми бори ғайрисимметрий истифода бурда мешавад. Ҳар як ваттметр иқтидори як фазаро чен менамояд (расми 14.11б). Иқтидори занҷир ба суммаи нишондодҳои ваттметрҳо баробар аст. Ин усул вазнин ва ноқулай аст.



Расми 14.11 – Тарзҳои пайваст намудани ваттметрҳо бо усули ду ваттметрҳо (а) ва се ваттметрҳо (б).

4. *Ченкунӣ бо истифодаи ваттметри сефаза.*

Ваттметри сефаза сохти якҷояи се ваттметрҳои якфазаро дорад ва нишондодҳои онҳо бо тарзи автоматӣ чамъ карда мешаванд.

5. *Истифодаи комплекси асбобҳои ченкунанда.*

Ин усул нисбатан қулай мебошад. Комплекси асбобҳои ченкунанда аз амперметр, вольтметр ва ваттметр иборат буда, ҳангоми тағйир додани ҳолати тумблери он, асбобҳои ченкунанда ба фазаҳои гуногун пайваст мешаванд.

Адабиёт:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Воспитаи таълимӣ – Москва: Высшая школа, 1996, 529 с.

2. Чӯраев Ш.Қ., Исмоилов С.Т. Электротехника (қисми 2). Занҷирҳои электрикии якфаза ва сефазаи ҷараёни синусоидалӣ. Воситаи таълимӣ – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2021, 196 саҳ.

3. Луғати истехсолоти соҳаи энергетика (русӣ-тоҷикӣ). Муаллифон П. Раҷабов, Д. Давлатшоев, У.Т. Хоҷаева, М. Каримов. Нашри комбинати полиграфии Вазорати фарҳанги ҚТ. – Душанбе, 2004.

4. Р.А Чалилов, Р.З. Икромов, М.И. Здержикова. «Практикуми лабораторӣ аз фанни асосҳои назариявии электротехника». Қисми 1. Душанбе, Матбааи ДТТ, 2010с.