

# **COURSE: Electrical Safety for Electrical Engineers.**

**Week 4: Risk Analysis of Electric Current  
Exposure in Power Networks with  
Different Neutral Grounding Modes**

**Abdulloev  
Bakhtiyor  
Tolibjonovich**

**Institute of energy  
of Tajikistan**

# **Курс: Беҳатарии электрикӣ барои муҳандис барқчиён**

**Ҳафтаи 4: Таҳлили хатарҳои таъсири ҷараёни  
барқӣ дар шабакаҳои барқӣ бо речаҳои гуногуни  
заминвасл**

**Абдуллоев  
Баҳтиёр  
Толибҷоновиҷ**

**Донишкадаи энергетикӣ  
Тоҷикистон**

# *Нақшаи лексия*

## **1. Муқаддима**

- Муқаррароти умумӣ
- Схемаҳои шабакаҳои барқӣ
- Шабакаҳои сефаза
- Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда
- Интихоби схемаи шабака ва речаи нейтрал

## **2. Хулосаи лексия**

# Муқаррароти умумӣ

Осеб дидани инсон аз таъсири ҷараёни барқ натиҷаи расидани  $\bar{u}$  ҳадди ақал ба ду нуқтаи занҷири барқӣ мебошад, ки байни онҳо шиддат мавҷуд аст. Хатарнокии чунин тамос аз бузургии ҷараёни барқ  $I_h$ , ки тавассути бадани инсон мегузарад, ва шиддати тамос  $U_{пр}$  вобаста аст.



Расми 1. Аз муаллиф: бо истифода аз зеҳни сунъӣ (AI) сохта шудааст.

## *Муқаррароти умумӣ*

Бузургии ҷараён ва шиддати тамос инчунин ба як қатор омилҳо вобаста мебошанд:

- схемаи худи занҷир;
- схемаи пайвастшавии инсон ба занҷири барқӣ;
- шиддати шабака;
- речаи нейтрал;
- муқовимати изолятсия;
- зарфият нисбат ба замин ва ғайра.

Омилҳои дар боло зикршударо ҳангоми баҳодиҳии ҳар як шабака аз нуқтаи назари техникаи бехатарӣ, инчунин ҳангоми интиҳоб ва ҳисоб намудани чораҳои муҳофизатӣ ҳатман ба назар гирифтани лозим аст.

Аз ҷумла:

- заминвасл,
- зануление,
- хомӯшкунии муҳофизатӣ,
- дастгоҳҳои назорати изолятсияи шабака ва дигар воситаҳо.

Дар зер таҳлили хатари осеб дидани инсон аз чараёни барқ ва ҳисобкунии дастгоҳҳои муҳофизатӣ барои шабакаҳои то 1000 В баррасӣ карда мешавад, зеро онҳо аҳамияти амалӣ бештар доранд.

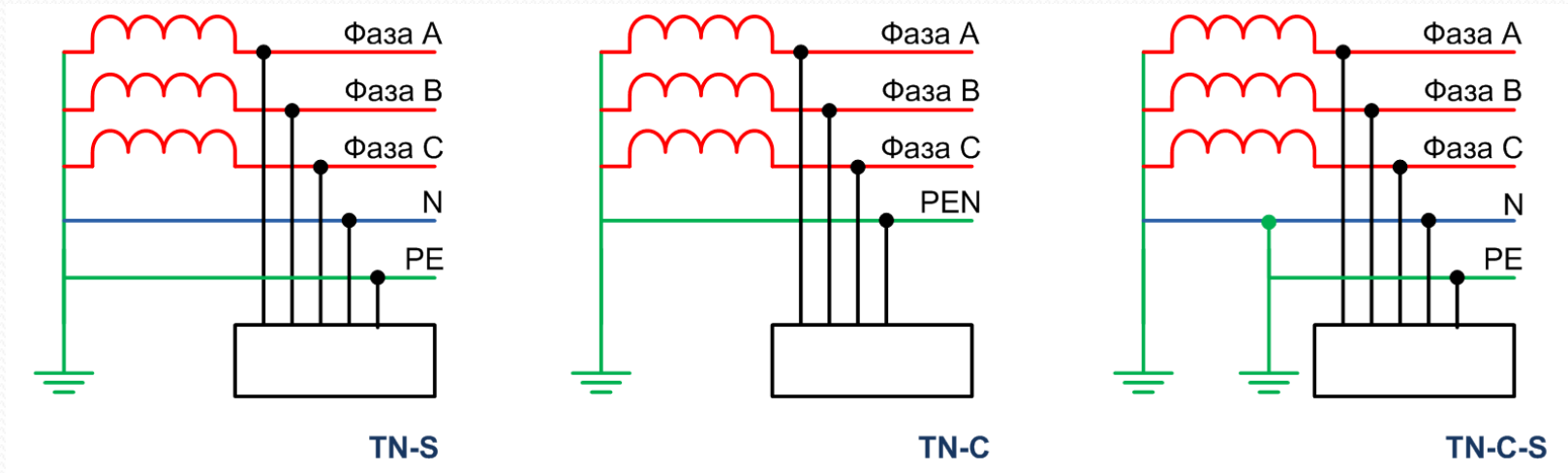
## *Схемаҳои шабакаҳои барқӣ*

Дар саноат шабакаҳои якфаза ва сефазаи чараёни тағйирёбанда истифода мешаванд (асосан сефаза). Шабакаҳои якфаза метавонанд дуноқилӣ бо изолятсия аз замин, бо ноқили заминвасл ва якноқилӣ бошанд, ки дар он нақши ноқили дуумро замин, рельс ва монанди инҳо иҷро мекунанд.

Шабакаҳои сефаза вобаста ба речаи нейтралӣ манбаи чараён ва мавҷудияти ноқили нейтралӣ ё сифрӣ метавонанд аз рӯи чор схема иҷро шаванд: Слайди дигар-

# Схемаҳои шабакаҳои барқӣ

- се ноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда;
- се ноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл;
- чор ноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда;
- чор ноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл.

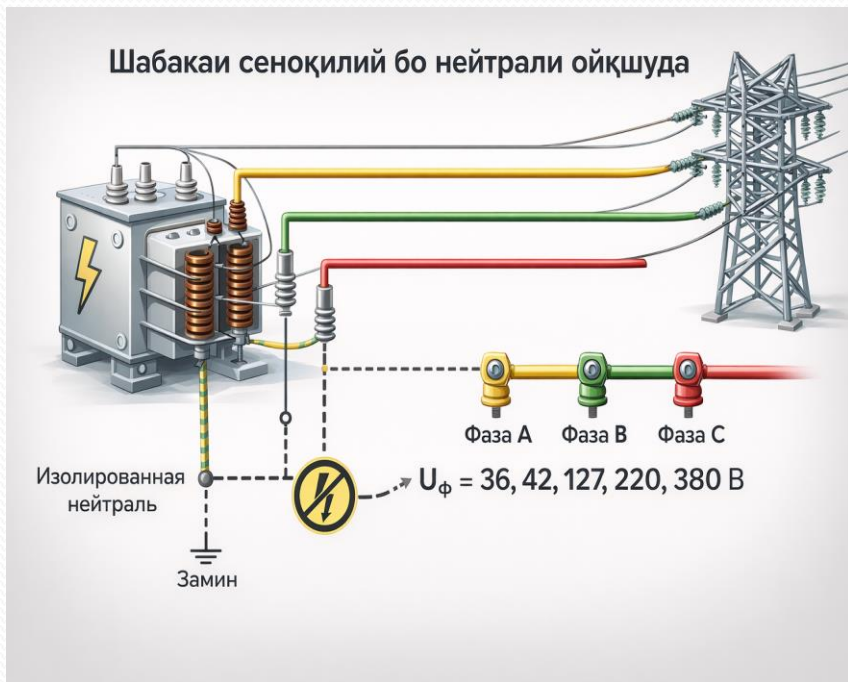


Расми 2. Аз муаллиф: бо истифода аз зеҳни сунъӣ (AI) сохта шудааст.

# Схемаҳои шабакаҳои барқӣ

Ҳангоми шиддати то 1000 В асосан ду намуди ин схемаҳои шабакаҳои сефаза истифода мешаванд:

шабакаи сеноқилӣ бо нейтралӣ ойқшуда бо шиддатҳои 36, 42, 127, 220 ва 380 В; шабакаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл тавассути муқовимати хурд (нейтралӣ саҳт заминвасл) бо шиддатҳои 220/127, 380/220 ва 660/380 В. Аз ҳама бештар шабакаҳои 380/220 В паҳн шудаанд.



Расми 3. Аз муаллиф: бо истифода аз зеҳни сунъи (AI) сохта шудааст.

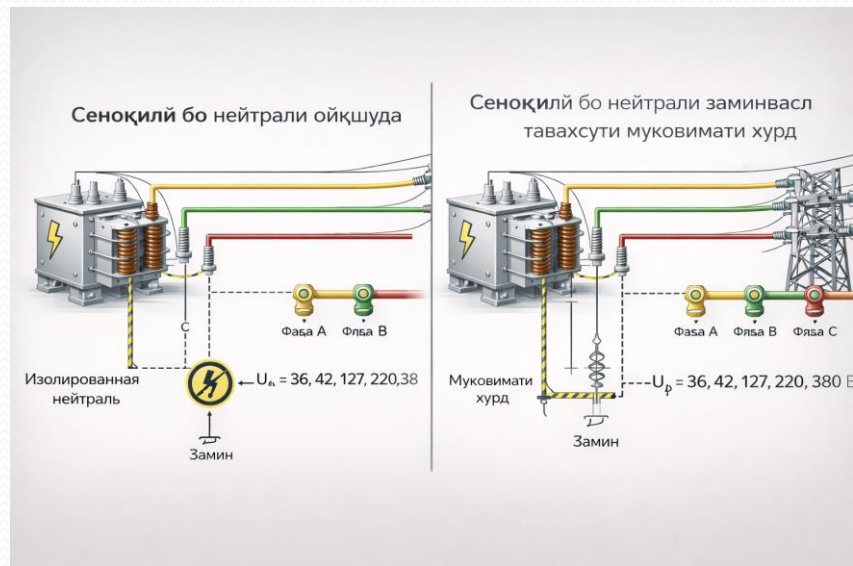
## *Схемаҳои шабакаҳои барқӣ*

Шабакаи сеноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл ва шабакаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда ҳангоми шиддати то 1000 В, одатан истифода намешаванд, зеро дар шабакаи сеноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл ҳангоми кӯтоҳшавии фаза ба корпус ва дар шабакаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда ҳангоми кӯтоҳшавии фаза ба замин, таъмин намудани бехатарии кормандон бо усулҳои маъмулӣ (заминвасл, зануление) ғайриимкон мегардад.

# Схемаҳои шабакаҳои барқӣ

Ҳангоми шиддати аз 1000 В баланд, инчунин ду схемаи шабакаҳои сефаза истифода мешаванд:

- сеноқилӣ бо нейтралӣ оикшуда;
- сеноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл тавассути муқовимати хурд.



Расми 4. Аз муаллиф: бо истифода аз зеҳни сунғи (AI) сохта шудааст.

Ду ҳолати хоси пайвастшавии инсон ба занчири чараён мавҷуд аст:

- байни ду фазаи шабака (тамоси хаттӣ);
- байни як фаза ва замин (тамоси фазавӣ).

## Шабакатои сефаза

*(расиши дуфазагӣ)*

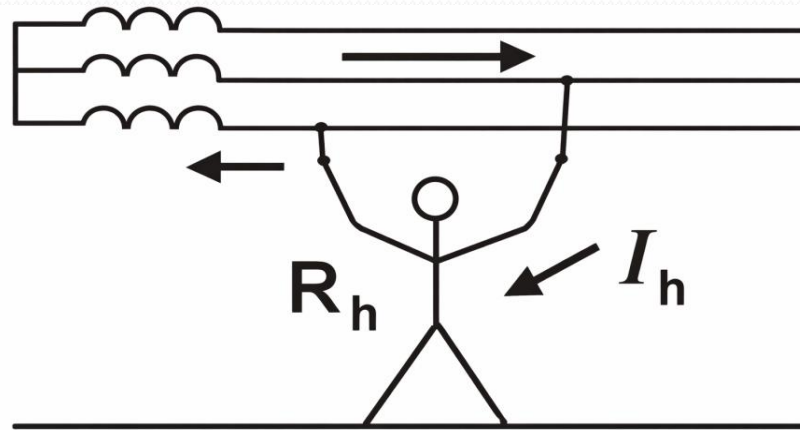
Ҳангоми тамоси дуфазагӣ бевосита ба қисмҳои зери шиддат (расми 1.1), новобаста аз он ки нейтралӣ манбаи таъминот заминвасл аст ё не, инсон зери таъсири шиддати хаттӣ  $U$  қарор мегирад.

Дар ин ҳолат, чараёни зараррасон (зарбаи барқ) ба қимати калон мерасад:

Муқовимати изолятсияи фазаҳо дар ин ҳолат қимати чараёнро маҳдуд намекунад.

$$I_h = \frac{U_{\text{л}}}{R_h} \quad (1.1)$$

## Шабаканои сефаза



Расми 4 – Схеми гузариши ҷараён тавассути бадани инсон ҳангоми тамоси дуфазагӣ.

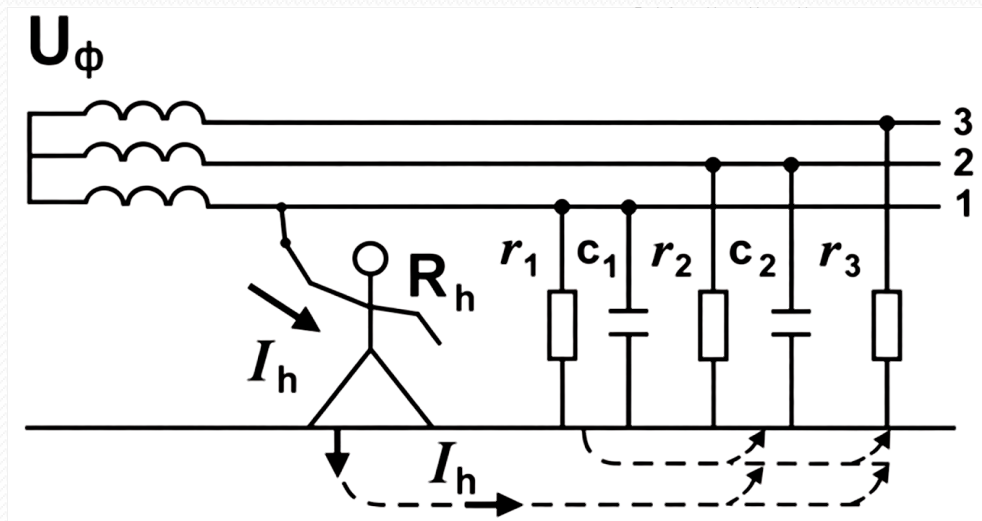
Ҷараён аз як фаза ворид шуда, тавассути бадан гузашта ба фазаи дигар мебарояд, ки ин ҳолат барои инсон хеле хатарнок мебошад. Слайди дигар-

## *Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда*

Дар ин ҳолат (расми 5), муқовимати изолятсияи ду фазаи дигар ба бузургии чараёни зараррасон таъсири ҳалқунанда мерасонад. Ин муқовимат хусусияти комплексӣ дошта, аз ду ҷузъ иборат мебошад: ҷузъи фаъл (омӣ), ки талафоти энергияи барқро муайян мекунад; ҷузъи реактивӣ (зарфиятӣ), ки ба воситаи зарфияти байни ноқил ва замин ба вучуд меояд; ҳамкориҳои ин ду ҷузъ ба арзиш ва хатарнокии чараёни ихроҷ таъсири бевосита мерасонад.

- ҷузъи фаъл (активӣ);
- ҷузъи зарфиятӣ (ғунҷоишӣ).

# Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда



Расми 5 – Тамоси инсон ба ноқили шабакаи сефазаи сеноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда дар ҳолати кори муқаррарӣ.

# Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда

Муқовиматҳои фаъол (активӣ) ва зарфияти (ёмкостии) изолятсия дар тӯли ноқил тақсим шудаанд. Ба таври шартӣ дар схемаҳо онҳо ҳамчун элементҳои мутамарказ нишон дода мешаванд.

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{r} + j\omega c} \quad (1.2)$$

гузаронандагии он  $Y$ , См:

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{r} + j\omega c} \quad (1.3)$$

ки дар инҷо  $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}$  басомади кунҷии чараёни доими мебошад.

## *Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда*

$C$  – зарфияти ноқилҳо нисбат ба замин,  $F$ ;

$j = \sqrt{-1}$  – коэффисиенти қисми ҳаёлии адади комплексӣ;

$j\omega C$  – гузаронандагии зарфиятӣ.

$r$  – муқовимати оиқи ноқилҳо Ом.

Бо қабул кардани он ки муқовиматҳои изолятсия нисбат ба замин барои ҳамаи се фаза баробар мебошанд ва дар ҳолати кори муқаррарӣ нейтралӣ оиқшудаи манбаи таъминоти шабака шиддат надорад, шабакаи сефаза дар речаи симметрӣ кор мекунад, Слайди дигар-

## *Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда*

яъне ҳамаи шиддатҳои фазаӣ баробар мебошанд.

Ҳангоми тамоси инсон бо фазаи 1 симметрия вайрон мешавад ва нейтралӣ манбаи таъминот нисбат ба замин зер шиддат қарор мегирад. Қараён аз рӯи занҷири зерин мегузарад: фазаи 1 – бадани инсон – замин – гузаронандагии фазаҳои 2 ва 3. Шиддати фазаи 1 то қимате паст мешавад, ки ба шиддате баробар аст, ки зери таъсири он шахси осебдида қарор мегирад.

# Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оқшуда

Қимати ин ҷараён аз  $r_{\bar{u}}$  формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\dot{I}_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + \frac{Z}{3}} \quad (1.4)$$

Дар шакли ҳақиқӣ (реалӣ) ин ҷараён баробар аст:

$$\dot{i}_h = \frac{U_{\phi}}{R_h} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r+6R_h)}{9R_h^2(1+r^2\omega^2C^2)}}} \quad (1.5)$$

Дар шабакаҳои кӯтоҳи ҳавоӣ зарфият амалан мавҷуд нест ва ҳангоми баробар будани муқовиматҳои изолятсия, ҷараёне, ки аз бадани инсон мегузарад, аз рӯи формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{r/3}{3}} \quad (1.6)$$

Ҳангоми баробар будани зарфиятҳо ва хеле калон будани муқовиматҳои изолятсия, ки метавонад дар шабакаҳои кабелӣ ба амал ояд, ҷараёне, ки аз бадани инсон мегузарад, дар шакли комплексӣ чунин муайян карда мешавад:

## Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда

$$\dot{I}_h = \frac{U_\Phi}{R_h + \frac{1}{3}j\omega C} \quad (1.7)$$

Дар шакли ҳақиқӣ (реалӣ) чараён баробар аст:

$$\dot{I}_h = \frac{U_\Phi \cdot 3 \cdot \omega \cdot C}{\sqrt{9R_h^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2 + 1}} \quad (1.8)$$

Ҳангоми таҳлили вобастагиҳои охирин мушоҳида мекунем, ки дар шабакаҳои бо нейтралӣ оиқшуда, хатари барои инсон ҳангоми тамос бо яке аз ноқилҳои фазавӣ дар шароити кори муқаррарии шабака, аз муқовимати ноқилҳо нисбат ба замин вобаста аст: бо зиёд шудани муқовимат, дараҷаи хатар кам мешавад.

## Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оқишуда

Дар речаи изтирории кори шабака, вақте ки кӯтоҳшавии фаза ба замин тавассути муқовимати фаъоли хурд ё таҷҳизоти заминвасл ба вучуд меояд ( $r_{3M}$ ), гузаронандагии ду фазаи дигарро метавон ба сифр баробар қабул кард ва  $r_{3M}$  (чунон ки одатан дар амал чунин мешавад), дар натиҷа ҳосил мекунем:

$$U_{np} \approx U_{\phi} \cdot \sqrt{3}, \quad (1.9)$$

Яъне инсон зери таъсири шиддати хаттии шабака қарор мегирад.

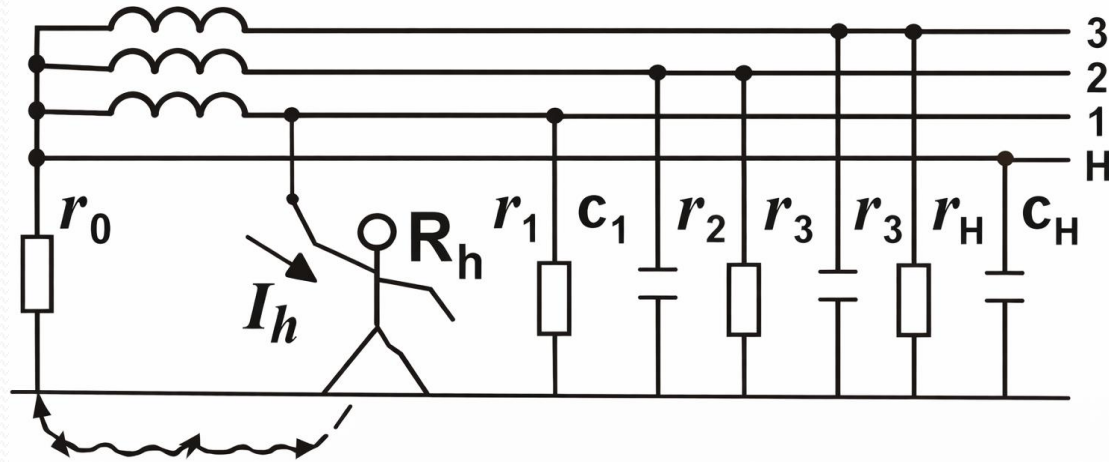
## *Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда*

Дар шароити воқеӣ  $r_{3M}$  ҳамеша аз сифр калон аст, бинобар ин шиддате, ки зери таъсири он инсон ҳангоми тамос дар ҳолати изтирорӣ бо фазаи солими шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда қарор мегирад, аз шиддати фазавӣ ба маротиб зиёд ва каме аз шиддати хаттии шабака камтар хоҳад буд.

Тамоси якфазагии инсон дар шабакаи сефазаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ саҳт заминвасл (расми 1.3) Слайди дигар-

*Овчаренко А.Г., Раско С.Л. Бехатарии барқ ҳангоми истифодаи иншооти электрикӣ. Дастури таълимӣ. Донишгоҳи техникии давлатии Олтой ВТИ, Бийск, 2008. - III саҳифа.*

# Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда



Расми 6. Аз муаллиф: бо истифода аз зеҳни сунъӣ (AI) сохта шудааст.

Дар расм тамоси инсон ба ноқил дар шабакаи сефазаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ сахт заминвасл

## Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оқишуда

Ҳангоми кори муқаррарии шабака, шахси осебдида зери таъсири шиддати фазавӣ қарор мегирад ва дар ин ҳолат занҷири чараёне, ки аз бадани инсон мегузарад, муқовимати фарш, пойафзол ва заминкунии нейтралӣ манбаи чараёнро дар бар мегирад, зеро муқовимати заминкунии нейтрал  $r_{пн}$  нисбат ба муқовиматҳои фаъол ва зарфиятии ноқилҳо нисбат ба замин хеле хурд мебошад.

Чараёне, ки аз бадани инсон мегузарад, баробар аст:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_n + r_j + r_{ог}}, \quad (1.10)$$

ки дар он:

$r_{пн}$ – муқовимати фарш;

$r_{об}$ – муқовимати пойафзол.

## *Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда*

Дар чунин схемаи пайвастиши инсон ба занҷири барқӣ, муқовимати фарш ва пойафзол барои таъмини беҳатарии одамон аҳамияти ниҳоят калон дорад. Дар ҳолати изтирорӣ, вақте ки яке аз фазаҳои шабака ба замин тавассути муқовимати фаъоли хурд  $r_{зм}$  кӯтоҳ мешавад, шиддате, ки зери таъсири он инсон ҳангоми тамос дар давраи изтирорӣ бо ноқили солим қарор мегирад, ҳамеша аз шиддати хаттӣ камтар, вале аз шиддати фазавӣ бештар мебошад:

$$U_{л} > U_{пр} > U_{ф}, \quad (1.11)$$

## *Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда*

Дар чунин ҳолат, паст шудани муқовимати изолятсия ва пайдо шудани нуқсҳои заминӣ боиси зиёд шудани ҷараёни аз бадани инсон гузаранда мегардад. Инчунин, шиддати ламс метавонад ба арзишҳои хавфнок расида, эҳтимоли осеби ҷиддиро зиёд намояд. Аз ин рӯ, риояи қоидаҳои бехатарии барқӣ ва истифодаи воситаҳои муҳофизатӣ аҳамияти калон дорад.

Схемаи шабака ва речаи нейтрал вобаста ба талаботи технологӣ ва шартҳои бехатарӣ интихоб карда мешаванд. Аз нуқтаи назари талаботи технологӣ, одатан ба шабакаи чор ноқилӣ афзалият дода мешавад, зеро он имкон медиҳад ду намуди шиддат — хаттӣ ва фазавӣ истифода бурда шавад. Аз нуқтаи назари бехатарӣ, интихоби яке аз ду схема бо дарназардошти хулосаҳои ҳангоми таҳлили ин шабакаҳо бадастомада анҷом дода мешавад,

Слайди дигар-

яъне аз рӯи шароити тамос бо ноқили фазавӣ дар ҳолати кори муқаррарии шабака. Одатан, дар ҳолати кори муқаррарӣ шабака бо нейтралӣ оиқшуда бехатартар аст, аммо дар ҳолати изтирорӣ — шабака бо нейтралӣ саҳт заминвасл бехатартар мебошад.

Шабакаҳои бо нейтралӣ оиқшуда истифода бурдан мувофиқи мақсад аст дар объектҳои, ки хатари баланди осебдидани инсон аз ҷараёни барқ мавҷуд аст ва дар ҳолатҳои,

## *Интихоби схемаи шабака ва реҷаи нейтрал*

ки имконияти нигоҳ доштани сатҳи баланди изолятсияи ноқилҳо нисбат ба замин вучуд дорад, яъне дар шабакаҳои кӯтоҳ, ки ба таъсири муҳити агрессивӣ дучор намешаванд ва таҳти назорати доимии кормандони электрикӣ қарор доранд (масалан, шабакаҳои дастгоҳҳои сайёр, истихроҷи торф, конҳо ва ғайра). Шабакаҳои бо нейтралӣ саҳт заминвасл (чор ноқилӣ) бояд дар ҳолатҳои истифода шаванд, ки таъмин намудани изолятсияи хуби ноқилҳо ғайриимкон аст (бо сабаби намнокии баланд, муҳити агрессивӣ, дарозии зиёди шабака ва ғайра),

Слайди дигар-

**Нейтралӣ оидшуда** — ин нейтрал (нуқтаи сифрии) трансформатор ё генератор мебошад, ки аз замин ҷудо карда шудааст ё тавассути таҷҳизоти ҷуброни ҷараёнҳои зарфиятии шабака, ки муқовимати фаъоли калон дорад, ба дастгоҳи заминвасла пайваст шудааст. Ламс кардани яке аз фазҳои чунин шабака ба гузариши ҷараён тавассути бадани инсон намеорад ва аз ин рӯ,

Слайди дигар-

## *Ҳолати организм ва хусусиятҳои физиологии инсон*

вақте, ки, истифодаи системаҳои ҷимоявӣ ва автоматика барои зуд хомӯш кардани қитъаи осебдида зарур мегардад. Инчунин, назорати доимии ҳолати изолятсия ва истифодаи дастгоҳҳои сигналдиҳӣ аҳамияти муҳим дорад. Бо ин роҳ, хавфи таъсири ҷараёни барқ ба инсон коҳиш дода шуда, сатҳи бехатарии система баланд бардошта мешавад.

## *Хулосаи лексия*

Дар лексия масъалаҳои марбут ба таҳлили хатари таъсири чараёни барқ ба инсон дар шабакаҳои барқӣ бо речаҳои гуногуни нейтрал баррасӣ гардиданд. Муайян карда шуд, ки дараҷаи хатар пеш аз ҳама аз қимати чараёни аз бадани инсон гузаранда ва шиддати тамос вобаста мебошад. Ин параметрҳо бошад, ба як қатор омилҳо, аз ҷумла схемаи шабака, речаи нейтрал, муқовимати изолятсия ва зарфияти ноқилҳо нисбат ба замин вобаста мебошанд.

### Таҳлил нишон дод, ки:

- ҳангоми тамоси дуфазагӣ инсон зери шиддати хаттӣ қарор гирифта, чараёни хатарнок ба қимати калон мерасад;
- ҳангоми тамоси якфазагӣ дар шабакаҳои бо нейтралӣ оиқшуда, чараён аз муқовимати изолятсия вобаста буда, бо зиёд шудани он хатар кам мешавад;
- дар ҳолати изтирорӣ (кӯтоҳшавӣ ба замин) хатар назаррас зиёд мегардад ва инсон метавонад ба шиддати наздик ба хаттӣ дучор шавад;
- дар шабакаҳои бо нейтралӣ саҳт заминвасл, дар ҳолати муқаррарӣ инсон зери шиддати фазавӣ қарор мегирад, аммо дар ҳолати изтирорӣ хатар бештар мешавад

Ҳамчунин муайян гардид, ки муқовимати фарш ва пойафзол дар кам намудани ҷараёни таъсирукунанда нақши муҳим мебозанд.

Дар натиҷа, интихоби дурусти схемаи шабака ва речаи нейтрал аҳамияти калон дорад:

- барои шароити бо хатари баланд ва назорати доимӣ — шабакаи бо нейтралӣ оиқшуда беҳатартар аст;
- барои шабакаҳои дароз, муҳити намнок ва саноатӣ — шабакаи бо нейтралӣ саҳт заминвасл мувофиқ мебошад.
- Ҳамин тавр, таъмини беҳатарии электрикӣ танҳо бо роҳи таҳлили дурусти режимҳои кори шабака, интихоби схемаи мувофиқ ва истифодаи воситаҳои муҳофизатӣ (заминвасл, зануление, муҳофизати автоматӣ) имконпазир мебошад.

1. Шкрабак, В. С., и А. В. Луковников. *Бехатарии ҳаёт дар истеҳсолоти кишоварзӣ*. Москва: КолосС, 2004.
2. Абдуллозода, Р. Т., и Б. Т. Абдуллоев. *Асосҳои бехатарии электрикӣ: дастури методӣ барои машғулиятҳои озмоишӣ. Қисми 1*. Душанбе: ДТТ ба номи академик М. С. Осимӣ, 2021.
3. Абдуллозода, Р. Т., Д. Д. Давлатшоев, Ш. С. Саъдуллозода, Ч. Б. Раҳимов, И. Т. Абдуллоев, А. И. Сидоров, И. С. Окраинская, и Н. В. Глотова. *Асосҳои бехатарии электрикӣ: тарҷума аз забони русӣ*. Душанбе: ЧДММ «Истиқлол-2019», 2019.
4. Овчаренко, А. Г., и С. Л. Раско. *Бехатарии барқ ҳангоми истифодаи иншооти электрикӣ: дастури таълимӣ*. Бийск: Алтайский государственный технический университет (БТИ), 2008.
5. Монахов, А. Ф. *Тадбирҳои бехатарии электрикӣ дар иншооти электрикӣ: китоби дарсӣ барои курсҳои тақмили ихтисос ва донишҷӯёни ихтисоси муҳандисии электрикӣ*. 2008.



**ТАШАККУР!**