

Course name: Electrical Safety for Electrical Engineers.

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

Abdulloev Bakhtiyor Tolibjonovich

Номи курс: Бехатарии электрикӣ барои муҳандис электрикҳо: Ҳафтаи 4.

Таҳлили хатарҳои таъсири ҷараёни барқӣ дар шабакаҳои барқӣ бо речаҳои гуногуни заминвасл.

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_n , ки тавассути бадани инсон мегузарад, ва шиддати тамос $U_{пр}$ вобаста аст. Бузургии ҷараён ва шиддати тамос инчунин ба як қатор омилҳо вобаста мебошанд: схемаи ҳуди занҷир, схемаи пайвастиҳои 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 гирифташ лозим аст. Аз ҷумла: заминвасл, зануление, хомӯшкунии муҳофизатӣ, дастгоҳҳои назорати изолятсияи шабака ва дигар воситаҳо.

Дар зер таҳлили хатари осеб дидани инсон аз ҷараёни 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 ҷараёни тағйирёбанда истифода мешаванд (асосан сефаза). Шабакаҳои якфаза метавонанд дуноқилӣ бо изолятсия аз замин, бо ноқили заминвасл ва якноқилӣ бошанд, ки дар он нақши ноқили дуҷумро замин, рельс ва монанди инҳо иҷро мекунанд.

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

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

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

- шабакаи сеноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда бо шиддатҳои 36, 42, 127, 220 ва 380 В;
- шабакаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ заминвасл тавассути муқовимати хурд (нейтралӣ сахт заминвасл) бо шиддатҳои 220/127, 380/220 ва 660/380 В.

Аз ҳама бештар шабакаҳои 380/220 В паҳн шудаанд.

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.

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

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

Ду ҳолати хоси пайвастшавии инсон ба занҷири ҷараён мавҷуд аст:

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

Шабакаҳои сефаза

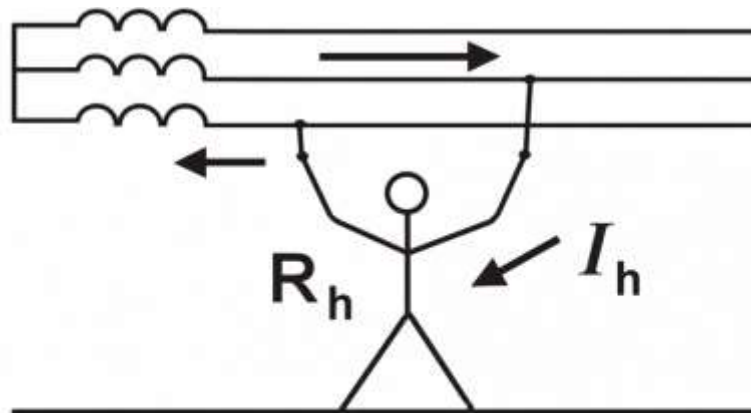
(расиши дуфазагӣ)

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 Ул қарор мегирад.

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

Муқовимати изолятсияи фазаҳо дар ин ҳолат қимати ҷараёнро маҳдуд намекунад.

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



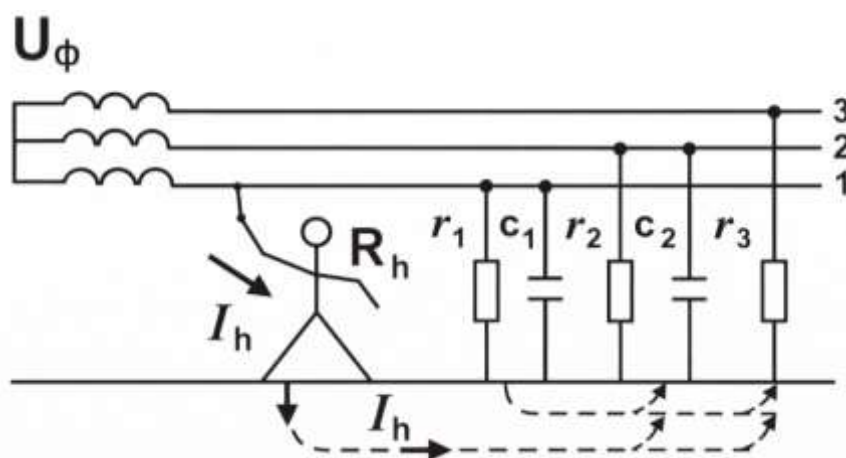
Расми 1.1 – Схеми гузариши ҷараён тавассути бадани инсон ҳангоми тамоси дуфазагӣ

Тамоси якфазагӣ дар шабакаи сефаза бо нейтралӣ оиқшуда

Дар ин ҳолат (расми 1.2), муқовимати изолятсияи ду фазаи дигар ба бузургии ҷараёни зараррасон таъсири ҳалкунанда мерасонад.

Ин муқовимат хусусияти комплексӣ дошта, аз ду ҷузъ иборат аст:

- ҷузъи фаъол (активӣ);
- ҷузъи зарфиятӣ (ёмкостӣ).



Расми 1.2 – Тамоси инсон ба ноқили шабакаи сефазаи сеноқилӣ бо нейтралӣ оиқшуда дар ҳолати кори муқаррарӣ.

Муқовиматҳои фаъол (активӣ) ва зарфиятии (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.

C – зарфияти ноқилҳо нисбат ба замин, Ф;

$j = \sqrt{-1}$ – коэффисенти 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 қор мекунад, яъне ҳамаи шиддатҳои фазавӣ баробар мебошанд. Ҳангоми тамоси инсон бо фазаи 1 симметрия вайрон мешавад ва нейтралӣ манбаи таъминот нисбат ба замин зери шиддат қарор мегирад. Чараён 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. Қимати ин чараён аз рӯи формулаи зерин муайян карда мешавад:

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

Дар шакли ҳақиқӣ (реалӣ) ин чараён 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, чараёне, 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, чараёне, ки аз бадани инсон мегузарад, дар шакли комплексӣ чунин муайян карда мешавад:

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

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 вобастагӣҳои охирин мушоҳида мекунем, ки дар шабакаҳои бо нейтралӣ оқишуда, 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.

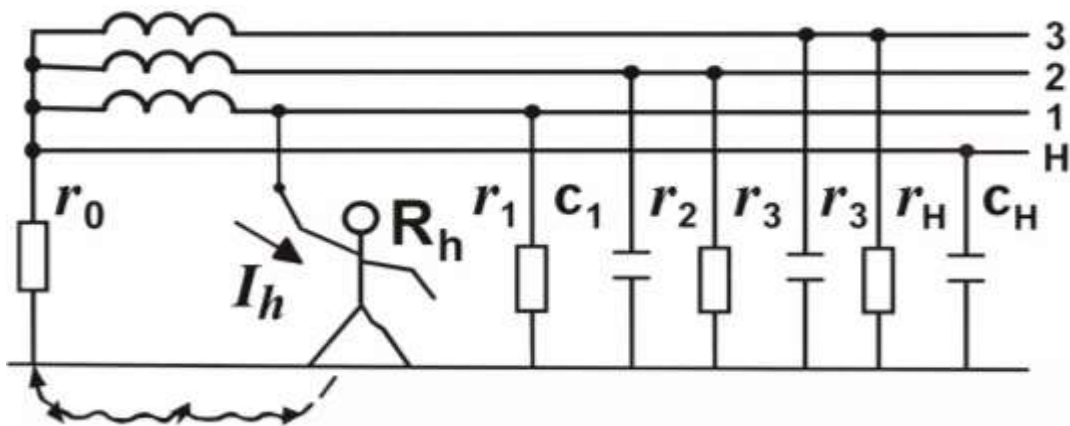
Дар речаи изтирории кори шабака, вақте ки кӯтоҳшавии фаза ба замин тавассути муқовимати фаъоли хурд ё таҷҳизоти заминвасл ба вуҷуд меояд (r_{3M}), гузаронандагии ду фазаи дигарро метавон ба сифр баробар қабул кард ва r_{3M} (чунон ки одатан дар амал чунин мешавад), дар натиҷа ҳосил мекунем:

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

Яъне инсон зери таъсири шиддати хаттии шабака қарор мегирад.

Дар шароити воқеӣ $r_{зм}$ 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)



Расми 1.3 – Тамоси инсон ба ноқил дар шабакаи сефазаи чор ноқилӣ бо нейтралӣ саҳт заминвасл

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 нейтралӣ $r_{п-пн}$ нисбат ба муқовиматҳои фаъл ва зарфиятии ноқилҳо нисбат ба замин хеле хурд мебошад.

Чараёне, ки аз бадани инсон мегузарад, баробар аст:

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

ки дар он:

$r_{п}$ – муқовимати фарш;

$r_{об}$ – муқовимати пойафзол.

Дар чунин схемаи пайвастшавии инсон ба занҷири барқӣ, муқовимати фарш ва пойафзол барои таъмини бехатарии 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:

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

Ҳамин тавр, тамоси инсон бо ноқили фазавии солими шабака бо нейтралӣ саҳт заминвасл дар ҳолати изтирорӣ нисбат ба ҳолати кори муқаррарӣ хатарноктар мебошад.

Интиҳоби схемаи шабака ва речаи нейтрал

Схемаи шабака ва речаи нейтрал вобаста ба талаботи технологӣ ва шартҳои бехатарӣ интиҳоб 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, интиҳоби яке аз ду схема бо дарназардошти ҳулосаҳои ҳангоми таҳлили ин шабакаҳо бадастомада анҷом дода мешавад, 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 осеб дидани инсон аз ҷараёни барқ мавҷуд аст ва дар ҳолатҳои, ки имконияти нигоҳ доштани сатҳи баланди изолятсияи ноқилҳо нисбат ба замин вуҷуд 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), вақте ки имконияти зуд пайдо кардан ё бартараф намудани нуқсонҳои изолятсия вуҷуд надорад ё вақте ки ҷараёнҳои зарфиятии кӯтоҳшавӣ ба замин ба қиматҳои калон мерасанд, ки

барои инсон хатарнок мебошанд (шабакаҳои корхонаҳои бузурги саноатӣ, шабакаҳои шаҳрӣ ва деҳот ва ғайра).

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:

- хангоми тамоси дуфазагӣ инсон зери шиддати хаттӣ қарор гирифта, чараёни хатарнок ба қимати калон мерасад;
- хангоми тамоси якфазагӣ дар шабакаҳои бо нейтралӣ оикшуда, 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 сахт 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 чараёни таъсиркунанда 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 оикшуда бехатартар аст;
- барои шабакаҳои дароз, муҳити намнок ва саноатӣ — шабакаи бо нейтралӣ сахт заминвасл мувофиқ мебошад.

Ҳамин тавр, таъмини бехатарии электрикӣ танҳо бо роҳи таҳлили дурусти режимҳои кории шабака, интихоби схемаи мувофиқ ва истифодаи воситаҳои муҳофизатӣ (заминвасл, зануление, муҳофизати автоматӣ) имконпазир мебошад.

Адабиёт

1. Шкрабак В.С., Луковников А.В. Бехатарии ҳаёт дар истеҳсолоти кишоварзӣ. Москва: КолосС, 2004.
2. Р.Т. Абдуллозода, Б.Т. Абдуллоев
Асосҳои бехатарии электрикӣ: дастури методӣ барои машғулиятҳои озмоишӣ, Қисми 1. – ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2021. – 89 с.
3. АСОСҲОИ БЕХАТАРИИ ЭЛЕКТРИКӢ, Р.Т. Абдуллозода, н.и.т., дотсент Д.Д. Давлатшоев, н.и.т. Ш.С. Саъдуллозода, н.и.т. Ҷ.Б. Раҳимов, И.Т. Абдуллоев Сидоров, А.И., Украинская, И.С., Глотова, Н.В. Асосҳои бехатарии электрикӣ: Тарҷума аз забони русӣ. – Душанбе: ҚДММ “Истиқлол-2019”, 2019. – 48 с.
4. Овчаренко А.Г., Раско С.Л. Бехатарии барқ ҳангоми истифодаи иншооти электрикӣ. Дастури таълимӣ. Донишгоҳи техникии давлатии Олтой ВТИ, Бийск, 2008. - 111 саҳифа.
5. Монахов А.Ф. Тадбирҳои бехатарии электрикӣ дар иншооти электрикӣ: Китоби дарсӣ барои курсҳои тақмили ихтисос ва барои истифода аз ҷониби донишҷӯёни ихтисоси муҳандисии электрикӣ дар донишгоҳҳо пешбинӣ шудааст. Нашр шудааст соли 2008. – 152 саҳифа.