Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп‘ютерно-
інтегрованих технологій

**04-03-275М**

# МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять
і виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни
**«Електротехніка та електробезпека»**
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона
праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека»
всіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІ будівництва та
архітектури

Протокол № 1 від
30.08.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до проведення практичних занять і виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Електротехніка та електробезпека» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Филипчук Л. В. – Рівне : НУВГП, 2022. – 33 с.

Укладач: Филипчук Л. В., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп‘ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп‘ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник групи забезпечення спеціальності
263 «Цивільна безпека» Шаталов О. С.

© Филипчук Л. В., 2022
© НУВГП, 2022

# Вступ

Предметом вивчення навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок, необхідних для розуміння принципів та співвідношення електричних величин, принципів роботи електричних апаратів, машин, електричного обладнання, а також принципів безпечного поводження з електричним струмом, його впливу на організм людини, використання електрозахисних засобів та інструментів.

Міждисциплінарні зв'язки: дана дисципліна є базовою складовою частиною циклу дисциплін професійної підготовки студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека» освітньої програми «Охорона праці». Вивчення дисципліни передбачає отримання компетентностей з таких дисциплін, як «Промислова екологія», «Безпека життєдіяльності та домедична допомога», «Виробнича санітарія та фізіологія праці», а також забезпечується цілеспрямованою роботою над спеціальною літературою, нормативними документами, та виконанням індивідуальних завдань. Знання та навички з дисципліни «Електротехніка та електробезпека» допоможуть оволодіти компетентностями з дисциплін «Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань», «Організація роботи служби охорони праці», а також знадобляться під час проходження виробничих та переддипломної практик, допоможуть успішно написати та захистити випускову роботу.

**Мета** навчальної дисципліни «Електротехніка та електробезпека» полягає в тому, щоб майбутні фахівці отримали теоретичну і практичну підготовку щодо принципів та співвідношення електричних величин, принципів роботи електричних апаратів, машин, електричного обладнання, а також принципів безпечного поводження з електричним струмом, його впливу на організм людини, використання електрозахисних засобів та інструментів.

**Основними завданнями (цілями)** вивчення дисципліни є засвоєння студентами базових знань, вмінь і навичок з електротехніки та електробезпеки та правильного поводження з електричним струмом та електричними машинами.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає набуття здобувачам вищої освіти наступних **компетентностей**:

- здатність до застосовування тенденцій розвитку техніки і технології захисту людини від небезпек техногенного характеру та обґрунтованого вибору засобів та систем захисту людини і довкілля від небезпек;
- здатність до оцінювання ризиків у сфері безпеки праці;
- здатність до аналізу й оцінювання потенційної небезпеки об'єктів, технологічних процесів та виробничого устаткування для людини;
- готовність до застосовування та експлуатації технічних систем захисту, засобів індивідуального та колективного захисту людини від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- здатність аналізувати відповідність інженерно-технічних рішень в обладнанні, устаткуванні нормативним вимогам з охорони праці, гігієни праці, протипожежного стану та охорони навколишнього середовища;
- уміння обґрунтовувати заходи щодо безпечного технічного обслуговування і ремонту для забезпечення належного технічного стану і безпечної експлуатації машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва.

В результаті вивчення даної дисципліни здобувачі вищої освіти повинні набути такі **програмні результати навчання**:

- пояснювати процеси впливу шкідливих і небезпечних чинників, що виникають у разі небезпечної події; застосовувати теорії захисту населення від уражальних чинників джерел надзвичайних ситуацій, необхідні для здійснення професійної діяльності знання математичних та природничих наук;
- визначати фізичні та психофізіологічні шкідливі виробничі чинники та аналізувати безпечність виробничого устаткування;
- пояснювати концептуальні основи моніторингу об'єктів захисту та знати автоматичні системи, прилади та пристрої, призначені для спостереження та контролювання стану об'єкта моніторингу, вимірювання його параметрів та

збереження інформації щодо його стану;

- застосовувати знання законів електротехніки для аналізу та попередження небезпечних проявів електричної енергії в електричних мережах та обладнанні

# 1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Вивчати дисципліну рекомендується відповідно до даних методичних вказівок для здобувачів вищої освіти спеціальності 263 «Цивільна безпека».

У даній розробці наведені теми та плани виконання практичних занять, перелік тем самостійної роботи, питання гарантованого рівня знань та список рекомендованої літератури.

Підготовка до кожного практичного заняття передбачає попереднє повторення відповідного теоретичного матеріалу з конспекту лекцій та літературних джерел або самостійне вивчення цього матеріалу з рекомендованих інформаційних джерел. Літературні джерела бажано використовувати при вивченні всіх тем курсу і вибірково переглядати при підготовці до кожного практичного заняття.

Лекційний матеріал та індивідуальні завдання до кожного практичного заняття, зразки їх виконання, перелік необхідної літератури наведено у практичних заняттях, викладених у навчальній платформі MOODLE НУВГП (https://exam.nuwm.edu.ua/course/view.php?id=60), у відповідності до порядкового номера кожного студента у його списку в академічній групі.

Відповідно до навчального плану дисципліни передбачена форма підсумкового контролю – екзамен.

Оцінювання знань здійснюється за результатами поточного контролю: від 0 до 100 балів.

***Теми практичних занять***
***Змістовий модуль 1***

*Практичне заняття 1.*

**Ознайомлення з елементами електричних кіл.**

*Результат навчання*. Вивчити графічні зображення елементів електричних кіл та областю їх застосування. Навчитись використовувати дані зображення для складання та читання електричних схем різної складності.

*Основні положення*

Графічне зображення електричного кола за допомогою умовних позначень його елементів називають схемою кола.

Вивчення властивостей електричного кола і його елементів з урахуванням усіх параметрів є досить складним, тому для спрощення аналізу реальне коло представляють його моделлю – набором ідеальних елементів. Графічне зображення кола, в якому замість реальних представлені ідеальні елементи, називають схемою заміщення кола.

Ідеальні елементи в схемі заміщення дозволяють врахувати параметри, які суттєво впливають на фізичні процеси в колі. Параметри реальних елементів, що не мають істотного впливу на фізичні процеси, при цьому не враховують.

Той самий елемент кола може бути зображений різними схемами заміщення залежно від того, для яких цілей ця схема призначена. Наприклад, індуктивну котушку в колі постійного струму для врахування її нагріву подають у схемі заміщення тільки одним резистивним елементом. Але при вивченні фізичних процесів у котушці із змінними струмами її представляють послідовно з'єднаними резистивним і індуктивним ідеальними елементами. А у випадку роботи котушки в колах високої частоти для неї складають схему заміщення з резистивного, індуктивного і ємнісного елементів.

При розробці проектної і конструкторської документації на електрообладнання застосовують електричні схеми, які, на відміну від схем заміщення, виконують у строгій відповідності до чинних на даний момент часу стандартів, наприклад, стандартів ЄСКД – Єдиної системи конструкторської документації. Розрізняють схеми електричні принципові, структурні, функціональні, монтажні.

Частину кола, що має два полюси, називають двополюсником. Розрізняють двополюсники активні (що містять джерела) і пасивні (що не містять джерела).

З'єднання елементів кола, при якому по всіх ділянках проходить той самий струм, називають послідовним з'єднанням. Будь-який замкнутий шлях, що проходить по декількох

послідовно з’єднаних ділянках, називають контуром електричного кола.

Ділянку кола, уздовж якої в будь-який момент часу струм має одне і теж значення, називають віткою, а місце з'єднання трьох або більшого числа віток – вузлом.

Для однозначності опису процесів, що відбуваються в якому-небудь елементі кола, необхідно знати не тільки величини його струму та напруги, але також їхні напрями в певний момент часу. Один з двох можливих напрямів струму в елементі беруть за основний і вказують його на схемі стрілкою. Стрілки, поставлені на схемах, вказують позитивні напрямки ЕРС, напруг і струмів. Якщо значення цих величин від’ємні, то їхні дійсні напрями протилежні вказаним на схемі стрілками.

*Завдання згідно варіанту*:

- визначити якому елементу електричного кола відповідає графічне зображення елемента і навпаки;
- скласти електричну схему згідно опису;
- описати електричну схему.

*Література [3, 12, 14]*

*Практичне заняття 2.*

**Розрахунок кіл постійного струму**

*Результат навчання.* Вивчити елементи кіл постійного струму, їх призначення, область застосування, особливості. Навчитись складати схеми електричних кіл постійного струму різної складності. Використовуючи основні електротехнічні закони навчитись розрахувати основні параметри кіл постійного струму.

*Основні положення*

Головною задачею розрахунку електричних кіл є визначення струмів і потужностей в різних елементах кола (джерелах, приймачах, проводах), а також напруги на окремих елементах кола.

Вихідними даними для розрахунку звичайно є задані ЕРС кола і характеристики (параметри) елементів кола, тобто або їх опори, або номінальні напруги і потужності.

Якщо діюча в колі ЕРС і параметри елементів незмінні в

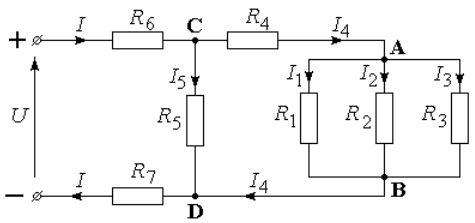
часі, то така задача має однозначне рішення.

Якщо електричне коло являє собою поєднання послідовно і паралельно включених споживачів (змішана схема з'єднань) і при цьому має одне джерело живлення (одну ЕРС), то вона розраховується в такому порядку:

1. Шляхом послідовного спрощення знаходять загальний опір кола.
2. За законом Ома знаходять загальний струм.
3. Знаходять розподіл струмів і напруг в схемі.

Методику розрахунку розглянемо на прикладі.

***Вихідні дані:***




$U$ = 240 В; $R_1$ = 10 Ом; $R_2$ = 20 Ом; $R_3$ = 60 Ом; $R_4$ = 9 Ом; $R_5$ = 30 Ом; $R_6$ = 4 Ом; $R_7$ = 2 Ом.

Знайти розподіл струмів в схемі.

***Розрахунок:***

Визначаємо еквівалентний опір між точками АВ:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{60} = \frac{1}{6} \quad \Rightarrow \quad R_{AB} = 6 \text{ Ом}.$$

Складаємо послідовно з'єднані опори $R_{AB}$ та $R_4$ і отримаємо $R'$:

$$R' = R_{AB} + R_4 = 6 + 9 = 15 \text{ Ом}.$$

Опір $R'$ в свою чергу виявляється з'єднаним паралельно з опором $R_5$. Їх загальний опір:

$$\frac{1}{R_{CD}} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{1}{10} \quad \Rightarrow \quad R_{CD} = 10 \text{ Ом}.$$

Загальний опір кола:

$$R = R_6 + R_{CD} + R_7 = 4 + 10 + 2 = 16 \text{ Ом}.$$

Загальний струм:

$$I = U / R = 240 / 16 = 15 \text{ А}.$$

Напруга між точками С і D:

$$U_{CD} = I \cdot R_{CD} = 15 \cdot 10 = 150 \text{ В}.$$

Струми в опорах $R'$ і $R_5$:

$I_4 = U_{CD} / R' = 150 / 15 = 10$ А; $\quad I_5 = U_{CD} / R_5 = 150 / 30 = 5$ А.

Напруга між точками А і В:

$$U_{AB} = I_4 \cdot R_{AB} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ В}.$$

Струми в опорах $R_1$, $R_2$, $R_3$.

$$I_1 = U_{AB} / R_1 = 60 / 10 = 6 \text{ А};$$

$$I_2 = U_{AB} / R_2 = 60 / 20 = 3 \text{ А};$$

$$I_3 = U_{AB} / R_3 = 60 / 60 = 1 \text{ А}.$$

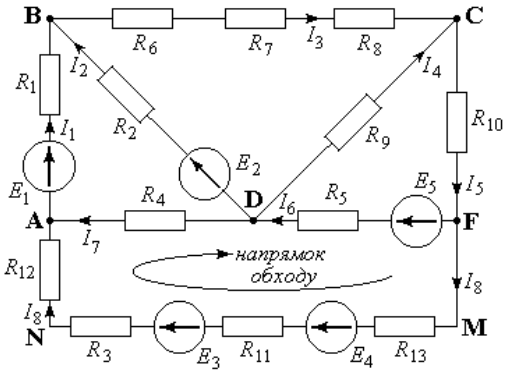
Для перевірки розрахунку можна використати те, що в електричному колі завжди встановлюється струм *I* такої величини, при якій загальна потужність, що віддається джерелом дорівнює сумі потужностей, що споживаються кожним приймачем кола.

Необхідно звернути увагу на те, що в електричному колі завжди встановлюється струм I такої величини, при якій прикладена до кола напруга U повністю врівноважує (компенсує) втрати напруги в усіх послідовно включених елементах кола. Зміна величини опору будь–якої ділянки схеми неминуче спричиняє зміну як загального струму, так і струмів, що протікають в окремих елементах цієї схеми.

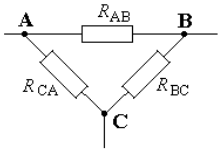
**Розрахунок складних кіл.** До вузлів схеми застосовується перший закон Кірхгофа: сума струмів, що притікають до будь–якої точки розгалуження (вузлу), дорівнює сумі струмів, що відходять від неї. Якщо струми, що притікають до точки, вважати додатними, а такі, що відходять від неї, – від'ємними, то перший закон Кірхгофа можна сформулювати так: алгебраїчна сума струмів у вузловій точці дорівнює нулю – $\Sigma I = 0$.

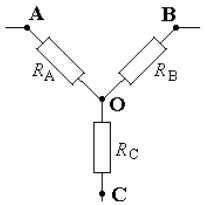
Згідно другого закону Кірхгофа, в усякому замкнутому контурі алгебраїчна сума ЕРС дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг на всіх опорах, що включені в цей контур: $\Sigma E = \Sigma IR$.

Розглянемо схему




Вузли схеми: A, B, C, D, F. Вітки: AB, BC, CD, BD, CF, AD, DF, ANMF. Контури: ABDA, BCDB, CDFC, ADFMNA.




Перший закон Кірхгофа, наприклад, для вузла A визначається рівнянням: $I_7 + I_8 - I_1 = 0$.

Другий закон Кірхгофа, наприклад, для контуру ADFMNA визначається рівнянням:

$$I_8 R_{12} - I_7 R_4 - I_6 R_5 + I_8 R_{13} + I_8 R_{11} + I_8 R_3 = - E_5 + E_4 + E_3.$$

При складанні рівнянь за другим законом Кірхгофа і обході замкнутого контуру ЕРС і струми, напрямки яких співпадають з прийнятим напрямком обходу – за годинниковою стрілкою (або проти), треба вважати додатними, а ЕРС і струми, напрямки яких протилежні напрямку обходу – від'ємними.

**Перетворення трикутника опорів в еквівалентну зірку.** При розрахунку електричних кіл, які не вдається звести до одного результуючого опору шляхом заміни послідовно і паралельно з'єднаних опорів їх еквівалентними величинами доводиться вдаватись до більш складних перетворень. Зокрема, якщо в колі зустрічається замкнутий контур з трьох опорів RAB, RBC, RCA, що утворюють сторони трикутника, то ці опори заміняють

трьома опорами RA, RB, RC, що з'єднані в одній вузловій точці O і утворюють трипроменеву зірку ($\Delta \to$ Y).

При такому перетворенні опір між точками A і B, B і C та C і A повинні бути однаковими в обох видах з'єднання:

$$\begin{cases} \dfrac{\boldsymbol{R}_{AB}\left(\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}\right)}{\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}} = \boldsymbol{R}_A + \boldsymbol{R}_B \\ \dfrac{\boldsymbol{R}_{BC}\left(\boldsymbol{R}_{CA}+\boldsymbol{R}_{AB}\right)}{\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}} = \boldsymbol{R}_B + \boldsymbol{R}_C \\ \dfrac{\boldsymbol{R}_{CA}\left(\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}\right)}{\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}} = \boldsymbol{R}_C + \boldsymbol{R}_A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \boldsymbol{R}_A + \boldsymbol{R}_B = \boldsymbol{X} \\ \boldsymbol{R}_B + \boldsymbol{R}_C = \boldsymbol{Y} \\ \boldsymbol{R}_A + \boldsymbol{R}_C = \boldsymbol{Z} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \boldsymbol{R}_A - \boldsymbol{R}_C = \boldsymbol{X} - \boldsymbol{Y} \\ \boldsymbol{R}_A + \boldsymbol{R}_C = \boldsymbol{Z} \end{cases} \Rightarrow \boldsymbol{R}_A = \frac{\boldsymbol{X} - \boldsymbol{Y} + \boldsymbol{Z}}{2}$$

$$\boldsymbol{R}_A = \frac{\boldsymbol{R}_{AB}\cdot\boldsymbol{R}_{BC} + \boldsymbol{R}_{AB}\cdot\boldsymbol{R}_{CA} - \boldsymbol{R}_{BC}\cdot\boldsymbol{R}_{CA} - \boldsymbol{R}_{BC}\cdot\boldsymbol{R}_{AB} + \boldsymbol{R}_{CA}\cdot\boldsymbol{R}_{AB} + \boldsymbol{R}_{CA}\cdot\boldsymbol{R}_{BC}}{2\left(\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}\right)} =$$

$$= \frac{2\cdot\boldsymbol{R}_{AB}\cdot\boldsymbol{R}_{CA}}{2\left(\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}\right)} = \frac{\boldsymbol{R}_{AB}\cdot\boldsymbol{R}_{CA}}{\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}}.$$

Аналогічно

$$\boldsymbol{R}_B = \frac{\boldsymbol{R}_{BC}\cdot\boldsymbol{R}_{BA}}{\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}}; \qquad \boldsymbol{R}_C = \frac{\boldsymbol{R}_{AC}\cdot\boldsymbol{R}_{BC}}{\boldsymbol{R}_{AB}+\boldsymbol{R}_{BC}+\boldsymbol{R}_{CA}}.$$

При зворотному переході від зірки опорів до еквівалентного трикутника опорів (Y$\to\Delta$) опори $R_{AB}$, $R_{BC}$, $R_{CA}$ визначаються через опори $R_A$, $R_B$, $R_C$ :

$$\boldsymbol{R}_{AB} = \boldsymbol{R}_A + \boldsymbol{R}_B + \frac{\boldsymbol{R}_A\cdot\boldsymbol{R}_B}{\boldsymbol{R}_C};$$

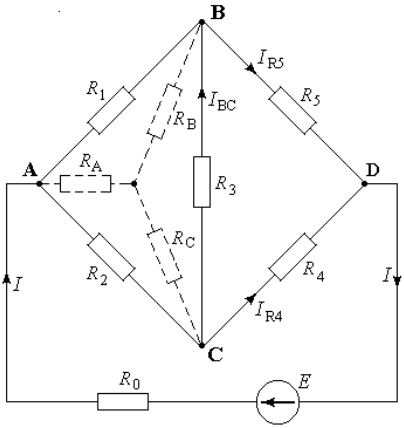
$$\boldsymbol{R}_{BC} = \boldsymbol{R}_B + \boldsymbol{R}_C + \frac{\boldsymbol{R}_B\cdot\boldsymbol{R}_C}{\boldsymbol{R}_A};$$

$$\boldsymbol{R}_{CA} = \boldsymbol{R}_A + \boldsymbol{R}_C + \frac{\boldsymbol{R}_A\cdot\boldsymbol{R}_C}{\boldsymbol{R}_B}.$$

Відзначимо, що ці перетворення можуть бути застосовані тільки в тих випадках, коли в трикутнику опорів або зірці відсутні джерела енергії.

Використання наведених формул перетворення в розрахунках електричних кіл розглянемо на прикладі схеми, відомою під назвою міст Уітстона.

**Задача**: визначити струм в перемичці ВС наведеної схеми.




Вихідні дані:

$E$ = 32 В; $R_0$ = 1 Ом; $R_1$ = 10 Ом; $R_2$ = 15 Ом; $R_3$ = 25 Ом; $R_4$ = 12,5 Ом; $R_5$ = 25 Ом.

**Розрахунок**:

Замінимо трикутник опорів $R_1$, $R_2$, $R_3$ еквівалентною зіркою з променями:

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15 + 25} = 3\ \text{Îì} \quad ;$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 25}{10 + 15 + 25} = 5\ \text{Îì};$$

$$R_C = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{15 \cdot 25}{10 + 15 + 25} = 7{,}6\ \text{Îì}.$$

Загальний опір кола:

$$R = R_0 + R_A + \frac{(R_B + R_5) \cdot (R_C + R_4)}{R_B + R_5 + R_C + R_4} = 1 + 3 + \frac{(5 + 25) \cdot (7{,}5 + 12{,}5)}{5 + 25 + 7{,}5 + 12{,}5} =$$

$$= 1 + 3 + 12 = 16\ \text{Îì}.$$

Струм в нерозгалуженій частині кола:

$$\boldsymbol{I} = \frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{R}} = \frac{32}{16} = 2\ \text{А}.$$

Струми в паралельних вітках $(R_B + R_5) - I_{R5}$ і $(R_C + R_4) - I_{R4}$:

$$I_{R5} = I \cdot \frac{R_C + R_4}{R_B + R_5 + R_C + R_4}.$$

Отже $\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{R}5} = 2 \cdot \frac{20}{50} = 0{,}8\ \text{А}$, а $I_{R4} = I - I_{R5} = 2 - 0{,}8 = 1{,}2$ А.

З рівняння, складеного за другим законом Кірхгофа для

контуру BDCB: $I_{BC}R_3 + I_{R5}R_5 - I_{R4}R_4 = 0$, маємо:

$$\boldsymbol{I}_{\text{BC}} = \frac{\boldsymbol{I}_{\boldsymbol{R}4}\boldsymbol{R}_4 - \boldsymbol{I}_{\boldsymbol{R}5}\boldsymbol{R}_5}{\boldsymbol{R}_3} = \frac{1{,}2 \cdot 12{,}5 - 0{,}8 \cdot 25}{25} = \frac{5}{25} = 0{,}2 \text{ A} \cdot$$

*Завдання згідно варіанту*:

- скласти схеми електричних кіл постійного струму та пояснити його роботу;
- розрахувати струми/напруги/опори кола згідно законів Ома та Кірхгофа.

*Література [3, 12, 14]*

*Практичне заняття 3.*

**Розрахунок кіл змінного струму.**

*Результат навчання.* Вивчити елементи кіл змінного струму, їх призначення, область застосування, особливості. Навчитись складати схему електричних кіл змінного струму різної складності. Використовуючи основні електротехнічні закони навчитись розрахувати основні параметри кіл змінного струму згідно завдання.

*Основні положення*

Формули законів Ома і Кірхгофа для кіл змінного струму в комплексній формі мають таку ж структуру, як і для кіл постійного струму. Тому методи розрахунку лінійних кіл постійного струму, що були вже розглянуті (метод безпосереднього використання законів Кірхгофа, метод суперпозиції, метод контурних струмів, метод вузлових потенціалів, метод еквівалентного генератора), можна застосовувати для розрахунку складних лінійних кіл синусоїдального змінного струму. В цьому випадку всі ЕРС, напруги, струми, опори і провідності ділянок кола визначаються так же , як і в колах постійного струму, але в комплексній формі.

**Значення cos φ.** Електроприймачі змінного струму є або пристроями, що споживають тільки активну потужність (лампи розжарювання, електронагрівальні прилади – печі, праски), або пристрої, що споживають як активну, так і реактивну потужність (зокрема двигуни змінного струму).

Активна потужність, що споживається двигуном,

перетворюється ним в корисну механічну роботу і частково розсіюється у вигляді тепла.

Разом з необоротним перетворенням електроенергії в інші види енергії тут одночасно проходить зворотний процес обміну енергією між змінним магнітним полем і джерелом живлення.

Якщо б двигун отримував від джерела тільки активну потужність P, тобто працював би з cos φ = 1, то споживав би струм I = P / U. В дійсності двигун змінного струму є для джерела як активним, так і реактивним навантаженням, тобто працює з індуктивним cos φ. В зв'язку з цим двигун при тій же активній потужності P і, відповідно, при тій же корисній механічній роботі споживає з мережі струм більшої величини

$$\boldsymbol{I} = \frac{\boldsymbol{P}}{\boldsymbol{U}} \cdot \frac{1}{\cos \boldsymbol{\varphi}} \cdot$$

Зниження cos φ призводить:

1. до підвищення втрат електроенергії ($I^2Rt$) в проводах лінії;
2. до завищення необхідної потужності (S = UI) джерела живлення.

Так, наприклад, якщо двигун працює з cos φ = 0,7, то втрати енергії в лінії збільшується пропорційно $(1/\cos\varphi)^2$, тобто в 2 рази, а потужність джерела повинна бути більшою майже в 1,5 рази в порівняння з роботою при cos φ = 1.

Якщо паралельно двигуну включити конденсатор такої ємності, щоб реактивна складова загального струму стала рівною нулю, то загальний cos φ кола буде дорівнювати 1. У випадку повної компенсації конденсатор цілком покриває потреби двигуна в реактивній потужності і із мережі буде споживатись тільки активна потужність P.

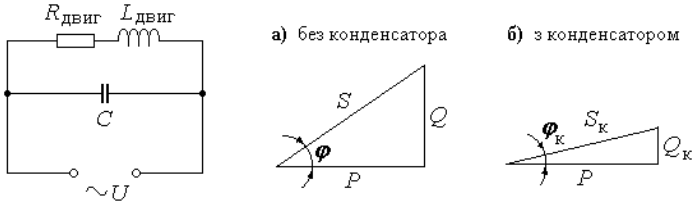
Для усвідомлення значення cos φ звернемось до основних характеристик генератора: номінальні напруга $U_{ном}$, струм $I_{ном}$, потужність $S_{ном} = U_{ном} \cdot I_{ном}$. $U_{ном}$ = 1200 В, $I_{ном}$ = 200 А. Тоді $S_{ном} = U_{ном} \cdot I_{ном}$ = 1200·200 = 240 кВ·А. Будемо приєднувати навантаження з різними cos φ.

Для активного навантаження cos φ = 1, активна потужність генератора $P = U_{ном} \cdot I_{ном}$ = 240 квт, тобто дорівнює

повній потужності.

Для навантаження з $\cos\varphi = 0{,}5$ активна потужність генератора $P = U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \cos\varphi = 1200 \cdot 200 \cdot 0{,}5 = 120$ квт, тобто знижується в 2 рази. Не зважаючи на це по генератору і проводах проходить той же струм 200 А. Тобто генератор працює з повною потужністю. Активна потужність генератора зменшилась за рахунок збільшення реактивної потужності, що без користі завантажує генератор і лінію електропередачі.

До підключення конденсатора $Q = P \cdot tg\varphi$.




З конденсатором $Q_к = P \cdot tg\varphi_к$.

Реактивна потужність, яку повинен сприйняти конденсатор

$Q_C = Q - Q_к = P \cdot (tg\varphi - tg\varphi_к)$. З іншого боку $Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$. Звідки:

$$C = \frac{P(tg\,\varphi - tg\,\varphi_к)}{U^2 \cdot 2\pi\, f}.$$

Для повної компенсації реактивної потужності ($\varphi_к = 0$) необхідний конденсатор ємкістю $C = \frac{P \cdot tg\,\varphi}{U^2 \cdot 2\pi\, f}$.

*Завдання згідно варіанту*:

- скласти схеми електричних кіл змінного струму та пояснити його роботу;
- розрахувати струми/напруги/опори кола згідно законів Ома та Кірхгофа.

*Література [3, 12, 14]*

*Практичне заняття 4.*

**Розрахунок підключення споживачів.**

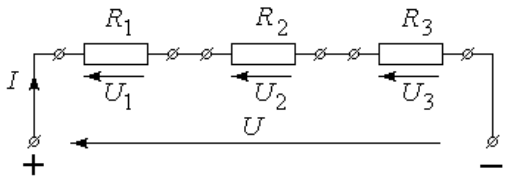
*Результат навчання.* Вивчити способи підключення споживачів електричного струму в електричне коло. Навчитись розраховувати еквівалентні опори, струми, напруги та потужності при паралельному, послідовному та змішаному підключенні споживачів. Розрахувати вищевказані величини згідно завдання.

*Основні положення*

Приймачі енергії можна з'єднувати послідовно, паралельно і змішано.

**При послідовному з'єднані** умовний кінець першого приймача з'єднується з умовним початком другого, кінець другого – з початком третього і т.д.

На рисунку приймачі з опорами $R_1$, $R_2$, $R_3$ з'єднані послідовно і підключені до джерела енергії з напругою $U$. По всім ділянкам послідовного кола протікає один і той же струм $I$. За законом Ома напруга на окремих опорах:




$$U_1 = IR_1;\ U_2 = IR_2;\ U_3 = IR_3.$$

Отже, спад напруги на послідовно з'єднаних опорах пропорційні величинам опорів. При послідовному з'єднані приймачів сума напруг на окремих приймачах дорівнює напрузі на клемах кола, тобто $U_1 + U_2 + U_3 = U$.

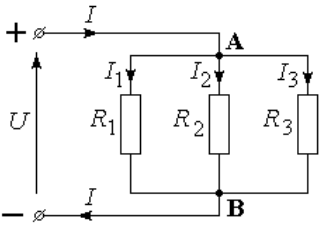
Ряд послідовно з'єднаних приймачів можна замінити еквівалентним (загальним) опором $R$. Величина цього опору повинна бути такою, щоб ця заміна при незмінній напрузі на клемах кола $U$ не викликала зміну струму $I$ в колі. Оскільки $U_1 + U_2 + U_3 = U$; $U_1 = IR_1$; $U_2 = IR_2$; $U_3 = IR_3$, то $IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$. Після скорочення на $I$ отримаємо $R = R_1 + R_2 + R_3$.

Отже при послідовному з'єднані еквівалентний опір дорівнює сумі опорів окремих елементів, що входять до з'єднання.

Якщо всі елементи рівняння $U_1 + U_2 + U_3 = U$ помножити на струм $I$, то отримаємо $IU_1 + IU_2 + IU_3 = IU$ або

$P_1 + P_2 + P_3 = P$.

Тобто потужність всього кола $P$ дорівнює сумі потужностей окремих його ділянок.




При **паралельному з'єднані** приймачів всі вони знаходяться під однаковою напругою $U$.

Позначимо опори окремих приймачів $R_1$, $R_2$, $R_3$; їх провідності – $g_1$, $g_2$, $g_3$; струми – $I_1$, $I_2$, $I_3$. Загальний струм $I$ в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі струмів, що споживаються окремими приймачами:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = U / R_1 + U / R_2 + U / R_3 = U$$
$$(1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3) = U / R_e$$

або

$$I = U g_1 + U g_2 + U g_3 = U (g_1 + g_2 + g_3) = U g_e.$$

Отже еквівалентна провідність розгалуженого кола дорівнює сумі провідностей окремих його віток:

$$1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 = 1 / R_e \quad \text{або } g_1 + g_2 + g_3 = g_e.$$

В окремому випадку, коли коло містить два паралельно включених опора $R1$ і $R2$, еквівалентний опір $R$е зручно визначати за формулою $R_e = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

Якщо вираз $U / R_1 + U / R_2 + U / R_3 = U / R_e$ помножити на $U$ отримаємо $U^2 / R_1 + U^2 / R_2 + U^2 / R_3 = U^2 / R_e$ або $P_1 + P_2 + P_3 = P$.

З викладеного випливає, що потужність, споживана розгалуженим колом, дорівнює сумі потужностей, споживаних окремими приймачами або одним еквівалентним приймачем. Провідність еквівалентного приймача дорівнює сумі провідностей всіх паралельно ввімкнених приймачів. Струми в цих приймачах так, як і потужності, розподіляються завжди пропорційно провідностям.

Якщо електричне коло являє собою поєднання послідовно і паралельно включених споживачів, то схема з'єднань називається **змішаною**.

*Завдання згідно варіанту*:

- визначити типи підключення споживачів в електричне

коло;
- визначити еквівалентний опір кола при послідовному/паралельному/змішаному підключення споживачів;
- визначити результуючі струм/напругу у вузлах/плечах/загальні електричного кола.

*Література [4, 6, 8]*

## *Змістовий модуль 2*

*Практичне заняття 5.*

**Розрахунок захисного заземлення.**

*Результат навчання.* Навчитись розраховувати захисне заземлення для різних типів підключення електричних споживачів до мережі. Навчитись аналізувати існуючі заземлення на предмет їх ефективної роботи..

*Основні положення*

Стікання струму в землю відбувається тільки через провідник, який перебуває з нею у безпосередньому контакті: випадковому або навмисному. При цьому одиночний провідник або група з'єднаних між собою провідників, що знаходяться в призначеному контакті із землею, називається відповідно одиночним заземлювачем або заземлювачем.

Причинами стікання струму в землю є: замикання струмоведучих частини на заземлений корпус електричного обладнання; падіння проводу на землю; використання землі в якості провідника т. п. У всіх цих випадках відбувається різке зниження потенціалу φз (тобто напруги щодо землі) заземленої струмоведучої частини до значення:

$$\varphi_з = I_з \cdot R_з \,, \qquad (1.1)$$

де Із – струм, який входить в землю, А; Rз – опір заземлювача розтіканню струму.

Кульовий заземлювач на великій глибині. Маємо кульовий заземлювач радіусом r, м, заглиблений у землю на нескінченно велику глибину (тобто можна знехтувати впливом поверхні землі). Через цю кулю в землю витікає струм Із, А, який

подається до заземлювача за допомогою ізольованого провідника (рис. 1.1).

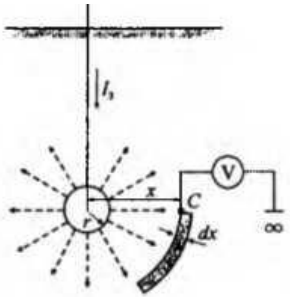



Рис. 1.1. Кульовий заземлювач радіусом, заглиблений у землю на велику глибину

Потенціал φ = 0 матиме точка, віддалена від заземлювача на відстань x = = ∞. Практично область нульового потенціалу починається на відстані приблизно 20 м від заземлювача. Потенціал точок на поверхні землі в даному випадку дорівнює нулю (так як x = ∞). Максимальний потенціал буде при найменшому значенні x, рівному радіусу заземлювача, тобто безпосередньо на заземлювачі (потенціал кульового заземлювача):

$$\varphi_з = {I_з \cdot \rho}/{4\pi r}, \qquad (1.2)$$

де ρ – питомий опір грунту, Ом.

Кульовий заземлювач на поверхні землі, тобто заглиблений так, що його центр знаходиться на рівні землі (рис. 1.2), і який називається напівкульовим заземлювачем. Для такого типу заземлювача:

$$\varphi = \varphi_з r \cdot \frac{1}{x}, \qquad (1.3)$$

Отже, потенціал на поверхні, землі навколо напівкульового заземлювача змінюється за законом гіперболи, зменшуючись від максимального значення φ, до нуля в міру

віддалення
від заземлювача.

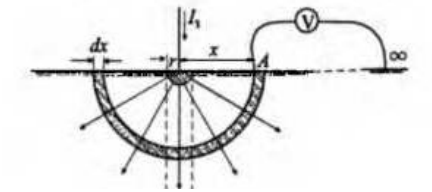



Рис. 1.2. Розподіл потенціалу на поверхні землі навколо напівкульового заземлювача

Стрижневий заземлювач. Розглянемо стрижневий вертикальний
заземлювач круглого перетину довжиною l, м, і діаметром d, м, заглиблений в землю так, що його верхній кінець знаходиться на рівні землі (рис. 1.3). По заземлювачу стікає струм Із, А. Отримаємо вираз для розрахунку потенціалу точок на поверхні землі і потенціалу заземлювача.

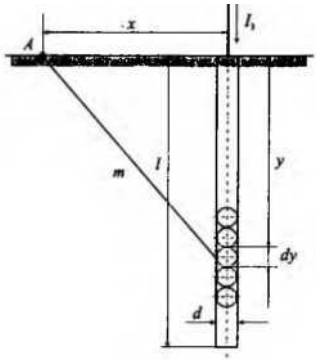



Рис. 1.3. Стрижневий заземлювач

Потенціал заземлювача визначається при x = 0,5d і становить:

$$\varphi_з = \frac{I_з \rho}{2\pi l} \cdot ln\frac{4l}{d}, \qquad (1.4)$$

Груповий заземлювач. За умовами безпеки обслуговуючого персоналу у заземлення має бути порівняно малий опір, забезпечити який можна шляхом збільшення геометричних

розмірів одиночного заземлювача (електрода) або застосування декількох паралельно з'єднаних електродів - групового заземлювача. Використовуючи так заземлювач, можна вирівняти потенціал на території, де розміщуються заземлюючі електроди, що в ряді випадків відіграє вирішальну роль у забезпеченні безпеки обслуговуючого персоналу.

При нескінченно великих відстанях між електродами групового заземлювача (зазвичай більше 40 м) поля розтікання струмів навколо них практично не взаємодіють. У цьому випадку потенційні криві від ккожного електрода взаємно не перетинаються (рис. 1.4), причому потенціали електродів рівні незалежно від їх розмірів. Однак при різних розмірах електродів струми, що протікають через них, різні за значенням, а їх потенційні криві мають різну форму.

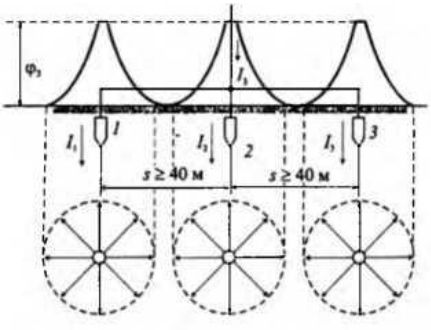



Рис. 1.4. Потенційні криві і поля розтікання струму групового заземлювача при відстанях між електродами S> 40 м

При відстанях між електродами групового заземлювача менше 40 м поля розтікання струмів накладаються одне на інше, в результаті потенційні криві взаємно перетинаються і, складаючись, утворюють сумарну потенційну криву групового заземлювача. При цьому форма сумарної потенційної кривої залежить від відстані між електродами, їх взаємного розташування, числа, форми і розмірів.

Потенціал групового заземлювача φгр дорівнює:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_{01} + \sum_{2}^{n} \varphi_{\text{н}}, \quad (1.5)$$

де φ01 – потенціал першого електроду, В; n – кількість

електродів; φn – потенціал, наведений на першому електроді одним із сусідніх.

*Завдання згідно варіанту*:

- розрахувати параметри захисного заземлення згідно вхідних даних;
- проаналізувати за допомогою розрахунків ефективність існуючого захисного заземлення та отримати висновки про його роботу.

*Література [4, 5, 6, 8]*

*Практичне заняття 6.*

**Аналіз впливу електричного струму на організм людини.**

*Результат навчання.* Навчитись проводити аналіз впливу електричного струму на організм людини при різних варіантах взаємодії людини із струмоведучими частинами обладнання, враховуючи та не враховуючи захисну ізоляцію при різних типах підключення споживачів. Навчитись вирішувати ситуаційні задачі з електробезпеки. Виконати розрахунки впливу електричного струму на організм людини та провести вирішення ситуаційних задач згідно завдання.

*Основні положення*

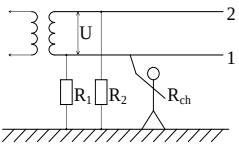
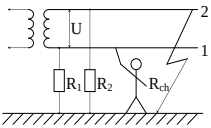
Всі випадки ураження людини струмом внаслідок електричного удару, тобто проходження струму через тіло людини, є наслідком її дотику не менше ніж до двох точок електричного кола, між якими існує деяка напруга. Небезпека такого дотику оцінюється струмом, що проходить через тіло людини $I_h$ чи напругою дотику $U_{пр}$, і залежить від ряду факторів: схеми включення людини в електричне коло; напруги мережі; схеми самої мережі; режиму її нейтралі; ступеня ізоляції струмопровідних частин від землі; ємності струмоведучих частин відносно землі і т.п. Таким чином, небезпека ураження не однозначна: в одних випадках включення людини в електричне коло супроводжується проходженням через нього малих струмів і виявляється безпечним, в інших - струми можуть досягати великих значень, здатних викликати смертельне ураження людини.

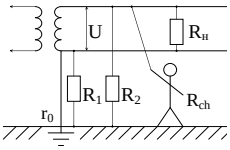
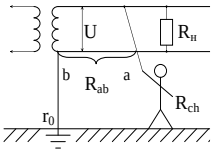
Схеми включення людини в коло струму можуть бути різними. Однак найбільш характерні дві схеми включення: між двома фазами електричної мережі та між однією фазою та землею (рис. 2.1.). Зрозуміло, у другому випадку передбачається електричний зв'язок між мережею і землею, що може бути обумовлено недосконалістю ізоляції проводів відносно землі, наявністю ємності між проводами і землею і, нарешті, заземленням нейтралі джерела струму, що живить дану мережу.

Фактичні значення $I_h$ і $U_{пр}$ можуть бути визначені розрахунковим шляхом або експериментально. Розрахункові залежності для визначення $I_h$ наведено в табл. 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1

Формули для розрахунку струму, що проходить через людину при дотику до провідника в двопровідних мережах

| Характеристика мережі | Схема включення людини в електричну мережу | Формула розрахунку струму |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Ізольована від землі в нормальному режимі роботи |  | $I_h = \frac{UR_1}{(R_1R_2+R_1R_{ch}+R_2R_{ch})}$. При $R_1 = R_2 = R$: $I_h = \frac{UR}{2R_{ch}+R}$ |
| Ізольована від землі в аварійному режимі роботи |  | $I_h = \frac{UR_1}{(R_1R_э+R_1R_{ch}+R_эR_{ch})}$, де $R_э = \frac{R_2r_{зм}}{R_2+r_{зм}}$ |

| | | |
|---|---|---|
| Із заземленим проводом (дотик до незаземле-ного проводу) |  | $I_h = \frac{U_ф}{R_{ch} + r_0}$ |
| Із заземленим проводом (з дотиком до заземленого проводу) |  | $I_h = \frac{U_{ab}}{R_{ch} + r_0} = \frac{I_{раб} R_{ab}}{R_{ch} + r_0}$ |

У табл. 2.1 наведені такі позначення: $U$ - напруга мережі;$R_1$, $R_2$ - опори проводів відносно землі; $r_0$ - опір заземлення проводу; $r_{зм}$ - опір замикання проводу на землю: $R_{ch}$ - опір в колі тіла людини; $R_н$ - опір навантаження; $R_{ab}$ - опір провідника на ділянці ab; $I_{раб}$ - робочий струм навантаження.

При розрахунку $I_h$ необхідно знати опір в колі людини $R_{ch}$, яке включає в себе суму опорів тіла людини $R_h$, взуття $R_{об}$ і підошви (підлоги чи грунту), на якому стоїть людина $R_{ос}$, тобто

$$Rch = Rh + Rоб + Rос, \text{ Ом}, \qquad (2.1)$$

Опір тіла людини $R_h$ при напругах дотику $U_{пр} \geq 50$ В приймається рівним 1 кОм., Опір підошви грунту дорівнює: якщо ступні ніг розташовані поруч $R_{ос} \approx 2{,}2$ ρ, Ом; якщо ступні ніг відстоять одна від одної на відстані кроку $R_{ос} \approx 1{,}5$ ρ, Ом, де $\rho$-питомий опір грунту, Ом·м.

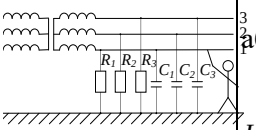
Опір взуття $R_{об}$ залежить від матеріалу підошви, вологості приміщення і прикладеної напруги. При високій вологості взуття та грунту $R_{об}$ і $R_{ос}$ приймають рівними нулю, а опір в колі людини $R_{ch}$ рівним опору тіла людини $R_h$.

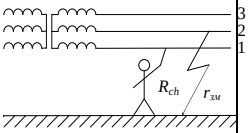
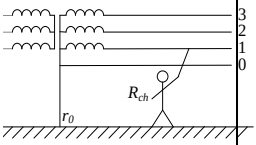
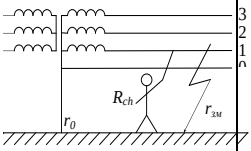
Для розрахунку струму, що проходить через людину у випадку дотику його до однієї з фаз трифазних мереж, без

урахування впливу систем захисту, контролю та автоматики можна скористатися формулами, зазначеними в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Формули для розрахунку $I_h$, що проходить через людину, яка доторкується до фазного проводу трифазних мережах

| Характеристика мережі | Схема включення людини в електричну мережу | Формула розрахунку струму |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Трьохпровідна мережа з ізольованою нейтраллю при нормальному режимі роботи |  | При $R_1 = R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$ $$I_h = \frac{3U_ф}{3R_{ch} + Z}$$ або $$I_h = \frac{U_ф}{R_{ch}\sqrt{1 + \frac{R(R+6R_{ch})}{9R_{ch}^2(1+R^2\omega^2C^2)}}}.$$ При $C_1 = C_2 = C_3 = C \to 0$ $Z \approx R$, тоді $$I_h = \frac{3U_ф}{3R_{ch} + R}$$ |

| | | |
|---|---|---|
| Трьохпровідна мережа з ізольованою нейтраллю при аварій-ному режимі роботи |  | $I_h = \frac{U_л}{R_{ch}+r_{зм}}$; <br> $U_{пр} = U_л$ |
| Чотирипрові-дна мережа з глухозазем-леною нейтраллю при нормальному режимі роботи |  | $I_h = \frac{U_ф}{R_{ch}+r_0} = \frac{U_ф}{R_{ch}}$ <br> $r_0 << R_{ch}$ |
| Чотирипрові-дна мережа з глухозаземлен ою нейтраллю при аварійному режимі роботи |  | $U_л > U_{пр} > U_ф$ |

*Завдання згідно варіанту*:

- розрахувати струм, що проходить через тіло людини при контакті її із струмоведучими частинами та зробити висновки про ураження/неураження людини електричним струмом;
- розрахувати струм, що проходить через тіло людини при контакті її із неструмоведучими частинами та зробити висновки про ефективність ізоляції та заземлення.

*Література [4, 6, 8, 10]*

**Результатом** виконання практичної роботи є правильно оформлений, вчасно зданий та захищений звіт. Звіт вважається вчасно зданим і захищеним, якщо його здача/захист

проводились не пізніше наступного практичного заняття. Звіт складається з титульного листа, мети роботи, основної частини та висновку. Звіт оформлюється на стандартному аркуші паперу формату А4 (210х297) з одного боку. Поля: праве – 10 мм, верхнє, нижнє, ліве - 20 мм. Звіт може бути рукописним або друкованим. Звіт може подаватись в електронному вигляді обумовленим викладачем способом (електронна пошта, електронний носій, представлення звіту на наступному занятті в рукописному вигляди).

Невчасна здача/захист звіту відбувається у терміни, обумовлені викладачем.

## 2. ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота здобувача вищої освіти є невід'ємною складовою освітнього процесу. Це основа навчання, спрямована на формування самостійності майбутнього фахівця, уміння здійснювати самостійний пошук, аналіз та узагальнення навчально- методичної та наукової інформації, професійно важливих дій до самопідготовки у процесах виробничої практики, здатності приймати конструктивні рішення. Теми для самостійної роботи подані в таблиці.

Таблиця

**Теми для самостійної роботи**

| № з/п | Назва теми | Години денна/ заочна | Рекомендована література |
|---|---|---|---|
| 1 | Складні кола електричного струму та кола з декількома джерелами живлення | 15/20 | 3, 11, 12, 14 |
| 2 | Випрямлення електричного струму. Випрямлячі електричної енергії. | 15/20 | 3, 11, 12, 14 |
| 3 | Перетворення постійних напруги і струму в змінні напругу і струм. Інвертори. | 15/20 | 4, 7, 11, 12, 14 |
| 4 | Автотрансформатори як перетворювачі електричної енергії | 15/20 | 4, 7, 11, 12, 14 |
| 5 | Методика та особливості розрахунку захисного занулення | 15/20 | 4, 8, 10, 11, 12, 14 |
| 6 | Методика вибору захисних електротехнічних засобів при роботі з напругами понад 10кВ | 15/20 | 4, 6, 9, 10, 11, 12, 14 |
| 7 | Вплив електричного струму на організм людини у вологому середовищі | 15/20 | 4, 5, 18, 11, 12, 14 |
| 8 | Передача електричної енергії понад 10кВ на відстань | 15/20 | 5, 10, 11, 12, 14 |
| Всього | | 120/160 | |

Підсумком самостійної роботи здобувача вищої освіти над вивченням дисципліни є складання письмового звіту за вказаними темами, який може виконуватись у конспекті лекцій або у вигляді окремого звіту.

Звіт складається з плану, основної частини, списку використаної літератури та додатків (при необхідності).

Загальний обсяг звіту визначається з розрахунку 0,75 – 1 сторінки на 1 годину самостійної роботи для здобувачів вищої освіти денної форми навчання і 0,2-0,3 сторінки для здобувачів вищої освіти, що навчаються заочно чи дистанційно.

Окремий звіт оформлюється на стандартному аркуші паперу формату А4 (210х297) з одного боку. Поля: праве – 10 мм, верхнє, нижнє, ліве - 20 мм. Звіт може бути рукописним або друкованим. Звіт може подаватись в електронному вигляді.

## 3. ПИТАННЯ ГАРАНТОВАНОГО РІВНЯ ЗНАНЬ

*ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1*
*Електротехніка*

1. Поняття струм, опір, потужність.
2. Поняття різниця потенціалів, напруга, е.р.с.
3. Закони Ома для ділянки та для повного кола
4. Закони Кірхгофа.
5. Поняття повний опір та повна потужність.
6. Режими роботи електричних кіл.
7. Способи з‘єднання джерел та споживачів.
8. Трифазне коло.
9. Визначення лінійних та фазних величин.
10. Електричні двигуни
11. Електричні генератори.
12. Трансформатори електричних величин.

*ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2.*
*Електробезпека*

1. Електробезпека – поняття, визначення, терміни.
2. Види уражень електричним струмом.
3. Запобігання електричним травмам.
4. Домедична допомога.
5. Вплив електричного струму на організм людини.
6. Захисне заземлення.
7. Захисне занулення.
8. Електрозахисні засоби.
9. Електрозахисні інструменти.
10. Опір ізоляції.
11. Пристрої захисного відключення.
12. Нормативні документи з електробезпеки.

# 4. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

## Базова

1. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII.
2. Основи охорони праці : навчальний посібник / За ред. проф. В. В. Березуцького. Х. : Факт, 2007. 480 с.
3. Технічний регламент низьковольтного електричного обладнання. Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2015 р. № 1067.
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 №4.
5. Порядок проведення технічного огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004 р. № 687.
6. НПАОП 40.1-1.07-01 (ДНАОП 1.1.10-1.07-01) Правила експлуатації електрозахисних засобів. Затв. наказом Мінпраці від 05.06.01 № 253.
7. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. ДНАОП 0.00-1.32-01. Затв. наказом Мінпраці від 21.06.2001 р. N 272.
8. Правила улаштування електроустановок. Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом. Затв. наказом Міненерговугілля від 21 липня 2017 року № 476.

## Додаткова

9. ДСТУ ГОСТ 11516:2014 Інструменти ручні для робіт під напругою до 1000 В змінного та 1500 В постійного струму. Загальні вимоги та методи випробування. Наказ від 23.10.2014 № 1257.
10. ДСТУ ГОСТ МЭК 61032:2004 Захист людей і устаткування, забезпечуваний оболонками. Наказ від 08.10.2004 № 222.

## Інформаційні ресурси

11. Цифровий репозиторій Національного університету водного господарства та природокористування [Електронний ресурс]. http://ep3.nuwm.edu.ua/
12. Каталог нормативних документів України [Електронний ресурс]. http://uas.org.ua/ua/
13. Сервіс для роботи з нормативними документами будівельної галузі [Електронний ресурс]. http://online.budstandart.com/ua
14. Наукова бібліотека НУВГП (м. Рівне, вул. Олекси Новака, 75) [Електронний ресурс]. http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka
15. Національна бібліотека ім. В.І. Вернадського [Електронний ресурс]. http://www.nbuv.gov.ua/
16. Журнал «Охорона праці». https://ohoronapraci.kiev.ua/
17. Журнал «Промислова безпека». http://www.prombezpeka.com.
18. Журнал «Довідник спеціаліста з охорони праці». https://shop.mcfr.ua/catalog/okhorona-pratsi/dsop/