

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

ЧЕРКАСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

О. Землянський, С. Тарасов, О. Зобенко, Н. Заїка

Електротехніка та безпека електроустановок

Лабораторний практикум

Черкаси - 2024

УДК 621.3
ББК 31.1
З 53

*Рекомендовано до друку на засіданні методичної ради
Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
(протокол № 10 від 10.05.2024 року)*

Рецензент:

Дядюшенко Олександр Олександрович – доцент кафедри пожежно-профілактичної роботи факультету пожежної безпеки ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, кандидат технічних наук, доцент.

З 53 Землянський О. М., Тарасов С. С., Зобенко О. О., Заїка Н. П. Електротехніка та безпека електроустановок. Лабораторний практикум для виконання лабораторних робіт студентами та курсантами за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти (галузь знань 26 «Цивільна безпека», спеціальність 263 «Цивільна безпека») за освітньо-професійними програмами «Цивільний захист» та «Охорона праці». Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024. 76 с.

Зміст лабораторного практикуму відповідає робочій програмі навчальної дисципліни «Електротехніка та безпека електроустановок» та призначений для підготовки здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти (галузь знань 26 «Цивільна безпека», спеціальність 263 «Цивільна безпека») за освітньо-професійною програмою «Цивільний захист» та «Охорона праці».

УДК 621.3
ББК 31.1

Лабораторна робота № 1

Дослідження кола однофазного синусоїдального струму з послідовним з'єднанням активного та реактивних опорів

1. Мета роботи

а) експериментально дослідити основні співвідношення в однофазних колах за умови послідовного з'єднання активного та реактивних опорів;

б) розрахунковим методом визначити окремі параметри схеми, що була досліджена;

в) визначити фізичний зміст коефіцієнту потужності;

г) вивчити явище резонансу напруг, його пожежну небезпеку.

2. Теоретичні відомості і розрахункові співвідношення

Коло змінного струму з активним опором. Всі реальні електротехнічні пристрої володіють електричним опором R , індуктивністю L і ємністю C , які є параметрами електричного кола змінного струму. Проте, вплив кожного із параметрів на струм в колі – різний. І з огляду на це в деяких випадках із розрахункової схеми виключають ті, вплив яких незначний.

Електричні лампи розжарювання, електричні печі опору, побутові нагрівальні прилади, реостати, короткі проводи та інші струмоприймачі, в яких електрична енергія перетворюється в теплову, на схемах заміщення електричних кіл зазвичай зображають тільки опором R , який називають **активним опором**.

Для схеми, наведеної на рис. 1, а – заданий опір R і напруга, що змінюється за законом:

$$u = U_m \sin \omega t$$

Потрібно визначити струм і потужність кола.

Струм у колі

Вираз для миттєвих значень струму знайдемо за законом Ома:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t,$$

де $I_m = \frac{U_m}{R}$ – найбільше значення струму.

Із рівнянь напруги і струму видно, що початкові фази обох кривих однакові, тобто, напруга і струм в колі з опором R співпадають

по фазі. Це наочно показано за допомогою графіків і векторної діаграми (рис. 1, б і в).

Діюче значення струму знайдемо діленням його амплітуди на $\sqrt{2}$:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}R};$$

звідки:

$$I = \frac{U}{R}; U = IR; R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

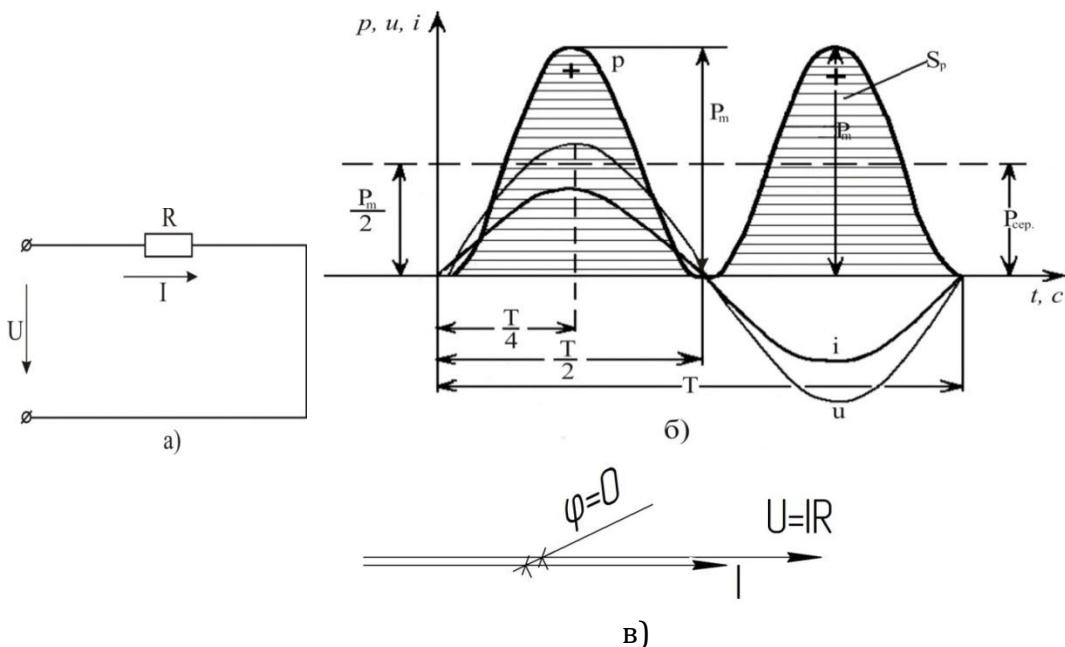


Рисунок 1 – Коло з активним опором: а) схема кола;
 б) графіки струму, напруги і потужності;
 в) векторна діаграма діючих значень напруги і струму

Формули (1) виражають закон Ома для кола змінного струму з опором R . Ззовні вони нічим не відрізняються від аналогічних формул постійного струму, проте, необхідно пам'ятати, що у складі формули для кола змінного струму є діючі значення напруги і струму. Опір провідника змінного струму більше за опір цього провідника постійного струму. Це можна пояснити тим, що густина змінного струму через поверхневий ефект, нерівномірна по перерізу провідника. В результаті поверхневого ефекту відбувається витискання струму до поверхні і опір провідника збільшується, і, відповідно, зростають втрати енергії на нагрівання провідника.

Коло змінного струму з індуктивністю (рис. 2). Обмотки електричних машин, трансформаторів, апаратів захисту і керування, а

також обмотки котушок, що використовують в електротехнічних приладах різноманітного призначення, характеризують параметром, який називають **індуктивністю (L)**.

Індуктивність – кількісна характеристика зв'язку між магнітним потоком самоіндукції Φ_c , у електричному колі, яке утримує певну кількість витків w , і силою струму I в ньому $L = w\Phi_c / I$.

Будь-яка обмотка поряд з індуктивністю L володіє також певним активним опором $R_{об.}$ – опір дроту обмотки постійному струму.

Розглянемо котушку з індуктивністю L , активним опором якої можна нехтувати ($R_{об.} \approx 0$), тобто розглянемо ідеалізовану котушку без осердя (рис.1, а). Нехай крізь неї проходить синусоїдний струм

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2)$$

Цей струм, за законом електромагнітної індукції, викликає в котушці ЕРС самоіндукції

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -L \frac{d(I_m \sin(\omega t + \psi_i))}{dt} = -\omega L I_m \cos(\omega t + \psi_i) = E_{Lm} \sin\left(\omega t + \psi_i - \frac{\pi}{2}\right) \quad (3)$$

З формули (3) видно, що ЕРС самоіндукції E_L відстає за фазою від струму на кут $\pi/2$ (Рис.2, б). Якщо $\sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}\right) = 1$, то $E_{Lm} = \omega L I_m$, а діюче значення ЕРС самоіндукції

$$E_L = \omega L I \quad (4)$$

Оскільки активний опір кола дорівнює нулю, то вся напруга, прикладена до котушки, йде на перемагання ЕРС самоіндукції. Це означає, що миттєве значення напруги, прикладеної до котушки, і ЕРС самоіндукції в будь-який момент часу рівні за абсолютною величиною і протилежні за знаком:

$$\begin{aligned} U_L = -e_L &= -\omega L I_m \sin\left(\omega t + \psi_i - \frac{\pi}{2}\right) = \omega L I_m \sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= U_{Lm} \sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Зіставивши рівняння (2) і (5), можна встановити, що напруга на індуктивності змінюється, як і струм, за синусоїдальним законом, і що напруга випереджає струм на кут $\frac{\pi}{2}$ (рис. 1, б і в).

Якщо $\sin\left(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}\right) = 1$, то $U_{Lm} = I_m \omega L$, звідки

$$I_m = \frac{U_{Lm}}{(\omega L)} \quad (6)$$

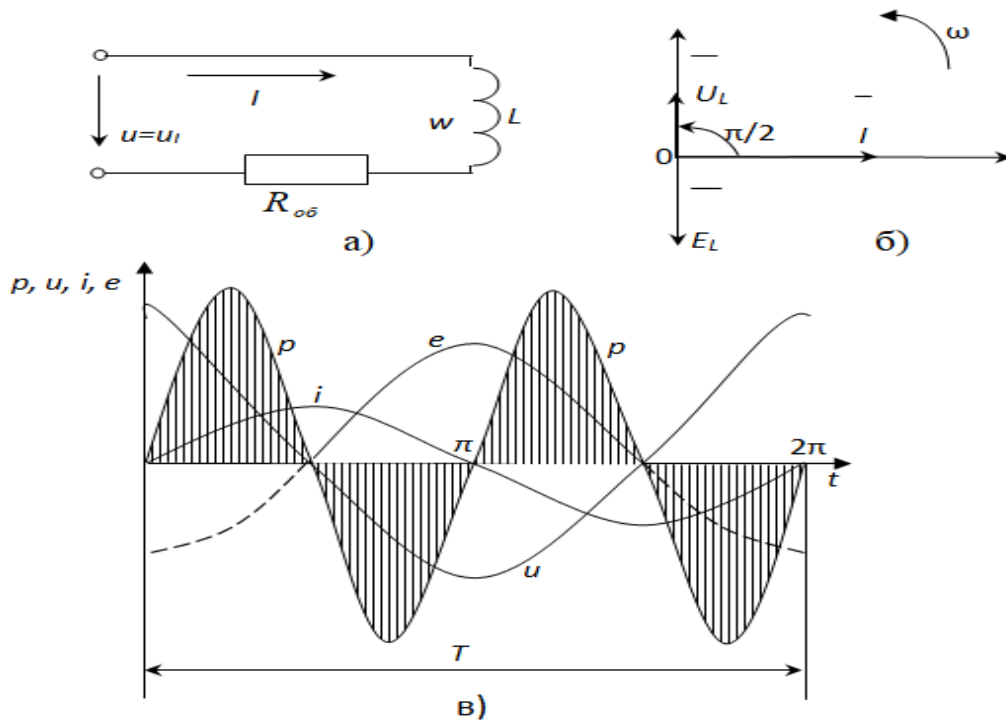


Рисунок 2 – Коло з індуктивністю L :
 а) – схема заміщення кола; б) – векторна діаграма;
 в) – графіки струму, напруги, ЕРС самоіндукції і потужності

Розділивши праву і ліву частини (6) на $\sqrt{2}$, одержимо закон Ома для кола з індуктивністю для діючого значення струму.

$$I = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{X_L}, \quad (7)$$

де $X_L = \omega L = 2\pi fL$ називають реактивним опором індуктивності (катушки), або просто індуктивним опором. Цей опір враховує реакцію електричного кола на зміну магнітного потоку в індуктивності.

$$\text{Розмірність } [X_L] = [\omega L] = \frac{1}{c} \text{ Ом} \cdot \text{с} = \text{Ом}.$$

Видно, що індуктивний опір $X_L = \omega L = 2\pi fL$ пропорційний частоті.

Формула (7) схожа на формулу Ома. Ця зовнішня схожість дозволяє визначати струм у колі з індуктивністю подібно тому, як і в колі з активним опором. Але необхідно пам'ятати, що індуктивний опір з фізичної точки зору нічого спільного із звичайним опором не

має. Поняття про індуктивний опір формально введено для полегшення розрахунків. Воно замінює в розрахунках фактичний вплив ЕРС самоіндукції на струм у колі, тобто відображає інерційні властивості електричного кола.

Коло змінного струму з ємністю (рис. 3).

Ємнісний елемент електричного кола – це ідеальний конденсатор. Із курсу фізики відомо, що найпростішим конденсатором є пристрій, що складається із двох металевих пластин, розділених тонким прошарком будь-якої ізоляційної речовини чи ізоляційного матеріалу. Металеві пластини, що є у складі конденсатора, називають його обкладинками.

Якщо обкладинки конденсатора приєднати до джерела постійної напруги: одну до затискача + «плюс», другу до затискача – «мінус», то конденсатор отримає певну величину заряду q (тобто він зарядиться). На одній обкладинці буде скупчений позитивний заряд, на другій – рівний йому за величиною, але протилежний за знаком. Після закінчення процесу зарядження конденсатор залишається в пасивному (статичному) режимі, струм у колі відсутній. Отже, дві паралельні обкладинки, розділені непровідним середовищем, здатні накопичувати електричні заряди і їх зберігати. Водночас зосереджений на обкладинках заряд прямо пропорційний прикладеній до них напрузі, тобто

$$q = CU$$

У цьому рівнянні коефіцієнт пропорційності C характеризує здатність системи обкладинок (електродів) накопичувати електричні заряди, його називають **ємністю**.

Ємність конденсатора $C = q/U$ – це відношення його заряду до напруги, за якої він може отримати такий заряд. Для кожного конденсатора його ємність – це постійна величина. Вона прямо пропорційна площині обкладинок і обернено пропорційна відстані між обкладинками (тобто товщини прошарку ізоляції між ними) і, крім того, залежить від властивості речовини чи матеріалу, із яких виконаний ізоляційний прошарок (чим вищі їх ізоляційні властивості, тим більша ємність конденсатора).

Конденсатори (або ємності) на кресленнях і схемах зображують у вигляді двох паралельних ліній довжиною 8 мм, з відстанню між паралельними лініями 1,5 мм.

У міжнародній системі одиниць СІ одиницею вимірювання ємності є **фарад**, який позначають буквою Φ (F).

$$|C| = \frac{\text{кулон}}{\text{вольт}} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}} = \Phi \text{ (фарад)}$$

Конденсатор володіє ємністю в 1Φ , якщо за напруги між обкладинками в $1B$ він отримує заряд, рівний одному кулону.

Одиницю електричної ємності назвали «фарад» на знак поваги до англійського фізика Майкла Фарадея на 1-му міжнародному конгресі електриків у 1891 р. в Парижі.

Фарад – це велика одиниця. Встановлено, що ємність в 1Φ може мати куля, радіус якої дорівнює $9 \cdot 10^{11} \text{ см}$, або 9 млн. км. Наша планета Земля має ємність лише близько шести десятитисячних ($6 \cdot 10^{-4}$) Φ .

Тому для вимірювання електричної ємності використовують значно менші одиниці – мікрофаради ($m\Phi$, μF) і пікофаради ($n\Phi$, pF):

$$1_{mk}\Phi = 10^{-6}\Phi; 1n\Phi = 10^{-12}\Phi.$$

Окрім того існують позасистемні одиниці:

$$1\Phi = \frac{1A \cdot c}{1B} = 1 \frac{c}{Om}; 1\Phi = 9,648 \cdot 10^4 Kл$$

Конденсатори мають відмінні властивості: вони пропускають змінний електричний струм (і тим краще, ніж більша його частота) і затримують постійний. Ось чому конденсатори часто встановлюють на «перехрестях» електричних шляхів, там де потрібно відокремити змінний струм від постійного.

Отже, якщо конденсатор вмикають в мережу синусоїдного струму, то в ній починає безперервно протікати певний, усталений струм.

Пояснюють це явище тим, що в колі синусоїдального струму відбувається безперервне перезарядження конденсатора: кожна його обкладинка два рази упродовж періоду змінює знак свого заряду (з плюса на мінус і навпаки). У результаті в колі між кожною із обкладинок конденсатора і джерелом струму відбувається безперервний рух електричних зарядів – протікає електричний струм.

Якщо до затискачів електричного кола, яке утримує ємнісний елемент (рис. 3, а) прикладена синусоїдальна напруга

$$U_c = U_{cm} \sin(\omega t + \psi_U), \quad (8)$$

струм у такому колі є рух зарядів між обкладинками конденсатора

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (9)$$

але оскільки $q = CU_c$, то $dq = CdU_c$, і отже струм,

$$i = \frac{CdU_c}{dt}, \quad (10)$$

якщо напруга $U_c = U_{cm} \sin(\omega t + \psi_U)$, то струм у колі буде

$$i = C \frac{d[U_{cm} \sin(\omega t + \psi_U)]}{dt} = \omega C U_{cm} \cos(\omega t + \psi_U) = I_m \sin(\omega t + \psi_U + \pi/2), \quad (11)$$

де $I_m = \omega C U_m$

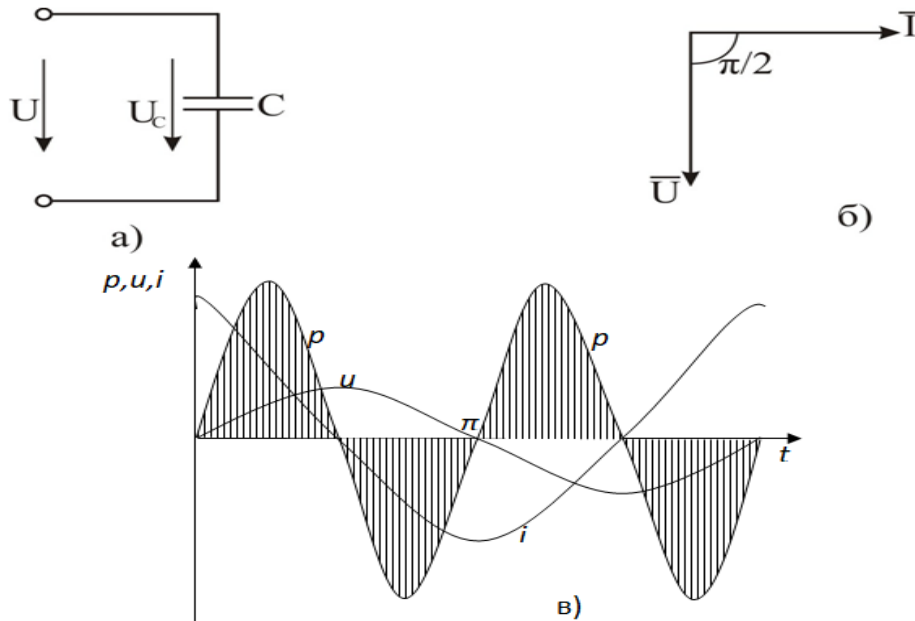


Рисунок 3 – Коло з ємністю:

- а) – схема кола; б) – векторна діаграма;
в) – графіки струму i , напруги u і потужності p

Таким чином, струм у колі з ідеальним конденсатором, як і напруга на ємності, змінюється за синусоїдальним законом, водночас струм випереджає напругу по фазі на кут $\pi/2$. Інакше, напруга відстає від струму по фазі на кут $\pi/2$, що видно із векторної діаграми (рис. 3, б) і графіка миттєвих значень (рис. 3, в).

Слід пам'ятати, що постійний струм в колі з ідеальним конденсатором існувати не може, тому що протікання струму в такому колі пов'язані з існуванням електричного струму зміщення, через це конденсатор в колі постійного струму розриває коло.

Амплітуда струму кола з ємнісним елементом за формулою (12)

$$I_m = \omega C U_{cm}$$

Діюче значення струму (закон Ома кола з ємністю) має вигляд:

$$I = \omega C U_c = \frac{U_c}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_c}{X_c}, \quad (13)$$

де $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ – реактивний опір ємності, Ом, або простіше

ємнісний опір, який враховує реакцію електричного кола на зміну електричного поля в конденсаторі, водночас значення цього опору обернено пропорційне частоті;

ω – кутова частота, рад/с;

C – ємність конденсатора, Ф.

Миттєва потужність p в колі з ємнісним елементом

$$p = U_c i = U_{cm} I_m \sin(\omega t + \psi_U) \sin(\omega t + \psi_U + \pi/2) = \frac{U_{cm} I_m}{2} \sin(2\omega t + \psi_U) = U_c I \sin(2\omega t + \psi_U) \quad (14)$$

Із виразу (14) видно, що миттєва потужність змінюється за синусоїдальним законом з подвійною частотою по відношенню до струму (рис. 3, в).

Коло змінного струму за умови послідовного з'єднання R, L, C (рис. 4).

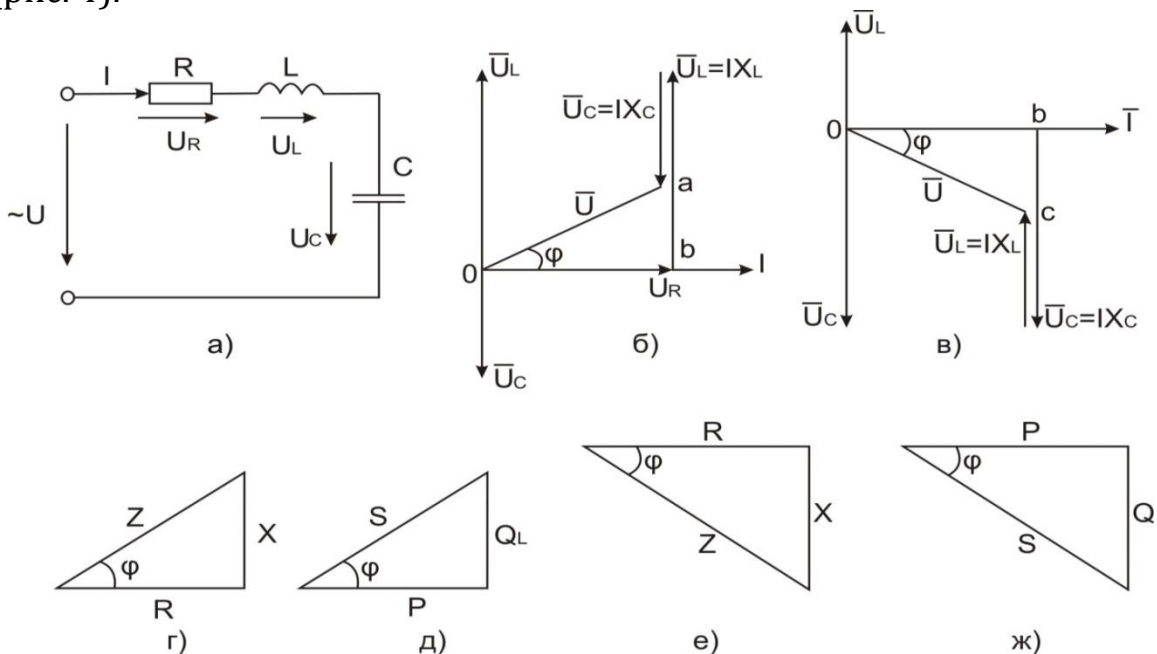


Рисунок 4 – Коло з послідовним з'єднанням елементів R, L, C:

а) – схема заміщення кола;

б) – векторна діаграма напруг, коли $X_L > X_C$;

в) – векторна діаграма напруг, коли $X_C > X_L$;

г), д) – трикутники опорів і потужностей, коли $X_L > X_C$;

е), ж) – трикутники опорів і потужностей, коли $X_C > X_L$

Якщо $X_C > X_L$, то $U_C > U_L$. Інакше кажучи, якщо у колі переважає ємнісний опір, то напруга відстає від струму на кут φ (рис. 4. в) і вираз для миттєвого значення напруги у колі має вигляд $u = U_m \sin(\omega t - \varphi)$. Трикутники 0ab і 0bc на векторних діаграмах напруг (рис. 4. б, в) називають трикутниками напруг.

У загальному вигляді вираз для миттєвого значення напруги в колі можна записати так:

$$u = U_m \sin(\omega t \pm \varphi).$$

З урахуванням цього запису рівняння (4.44) приймає вигляд

$$U_m \sin(\omega t \pm \varphi) = I_m R \sin \omega t + I_m X_L \sin(\omega t + \pi/2) + I_m X_C \sin(\omega t - \pi/2)$$

Якщо покласти у цьому рівнянні $\omega t = \pi/2$ і $\omega t = 0$, одержимо

$$U_m \cos \varphi = I_m R; \pm U_m \sin \varphi = I_m (X_L - X_C)$$

Піднесенням першої і другої рівності до квадрату, а потім, їх складанням, маємо

$$U_m^2 = [R^2 + (X_L - X_C)^2], \text{ звідки находимо} \\ U_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (15)$$

Розділивши ліву і праву частину рівності (4.45) на $\sqrt{2}$, знайдемо зв'язок між струмом і напругою, тобто закон Ома для кола з послідовним з'єднанням R, L, C :

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + [\omega L - 1/(\omega C)]^2}} = \frac{U}{Z}, \quad (16)$$

де $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ - повний опір кола з R, L, C , елементами;

$X = X_L - X_C = \omega L - 1/\omega C$ - реактивний опір кола, що враховує реакцію самоіндукції та ємності.

Якщо кожен із сторін трикутника напруг розділити на струм I , то одержимо трикутник опорів. Сторони трикутника опорів - це відрізки, а не вектори, оскільки опори - величини постійні. Трикутник опорів дозволяє без розрахунку і побудови векторної діаграми визначити $\cos \varphi$. На рис. 4, г зображений трикутник опорів, коли у колі $X_L > X_C$, а на рис. 4, е - коли $X_C > X_L$.

Помноживши сторони трикутників напруги (рис. 4, б, в) на струм, одержимо трикутники потужностей. На рис. 4, д зображений трикутник потужностей. Якщо у колі $X_L > X_C$, а на рис. 4, ж - якщо $X_C > X_L$.

Із трикутників потужностей маємо

$$P = U_R I = UI \cos \varphi = I^2 R, \text{ Вт} - \text{активна потужність кола};$$

$$Q = Q_L - Q_C = U_L I - U_C I = I^2 (X_L - X_C) = I^2 X = UI \sin \varphi, \quad \text{вар} -$$

реактивна потужність кола;

$$S = UI = I^2 R = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ ВА} - \text{повна потужність кола};$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S} \text{ - коефіцієнт потужності кола;}$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg [(X_L - X_C) / R] \text{ - кут зсуву фаз між струмом і}$$

напругою у колі. Кут φ додатній, коли реактивний опір X має індуктивний характер, тобто коли $X_L > X_C$. Кут φ - від'ємний, коли реактивний опір X має ємнісний характер, тобто коли $X_C > X_L$.

Слід відмітити, що реактивна і повна потужності мають ту ж саму розмірність, що і активна. Але з метою зручності для реактивної і повної потужностей вибрані свої одиниці: вольт-ампер реактивний (вар) і вольт-ампер (ВА) відповідно. Часто в енергетиці використовують похідні одиниці: кіловольт-ампер реактивний (квар), кіловольт-ампер (кВА).

В колі, зображеному на рис 4а, можна спостерігати резонанс напруг. За умови резонансу напруг індуктивний і ємнісний опори взаємно компенсуються і в результаті цього реактивні опори і реактивна потужність дорівнюють нулю.

У резонансі напруг струм і напруга у колі співпадають за фазою. В такому разі кут зсуву фаз між струмом і напругою у колі дорівнює нулю ($\varphi = 0$) і повний опір кола дорівнює його активному опоріві. Якщо $\varphi = \arctg (X / R)$, то кут $\varphi = 0$ за $X = 0$.

$$\text{Отже, за резонансу } z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R \quad \text{і} \\ X_L - X_C = 0$$

$$\omega = \omega_0 = 1 / \sqrt{LC} \quad (17)$$

і резонансної частоти

$$f_0 = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})}$$

Таким чином, основною умовою виникнення резонансу напруг у колі є рівність реактивних опорів $X_L = X_C$, оскільки тільки в такому разі частота коливального контуру ω_0 дорівнює частоті мережі ω , що живить це коло.

Струм у колі за умови резонансу напруг буде значно більшим за струм у колі у разі відсутності резонансу, тому що за умови резонансу його значення обмежене тільки опором R . За умови резонансу напруга на індуктивності та ємності, за великих значень порівняно із R реактивних опорів X_L і X_C , чисельно може бути в багато разів більшою напруги мережі живлення.

Напруга на активному опорі за умови резонансу дорівнює напрузі, прикладеній до затискачів кола:

$$U_R = I_0 R = U.$$

Оскільки за умови резонансу $X_L = X_C = 0$, то в такому разі і

$$\bar{U}_L - \bar{U}_C = \bar{I}X_L - \bar{I}X_C = 0.$$

Слід відмітити, що властивість підсилення напруги на реактивних елементах є важливою особливістю резонансу напруг. Це явище широко використовують в радіо- та електротехніці в системах захисту силових мереж і потужних електроустановок. Водночас значне підвищення напруги на реактивних елементах за умови резонансу може призвести до пробиття ізоляції і виникнення короткого замикання, що в свою чергу призведе до значного збільшення струму, перегрівання провідників і до пожежі.

Підвищення напруги також небезпечно для обслуговуючого персоналу. Необережне поводження з таким електрообладнанням може призвести до електротравми (нагадаємо, що небезпечна напруга змінного струму для життя людини 42 В і більше).

Розглянемо енергетичні процеси, що можна спостерігати у такому колі за умови резонансу напруг. У разі резонансу напруг сумарна енергія магнітного і електричного полів залишається постійною, водночас безперервно відбувається перерозподіл енергії магнітного і електричного полів, тобто збільшення енергії магнітного поля супроводжується зменшенням енергії електричного поля і навпаки.

Таким чином, енергія початково накопичена в контурі від джерела (мережі), коливається за умови резонансу між індуктивністю та ємністю, водночас без участі в цьому процесі джерела. З огляду на це такий контур називають коливальним.

Коефіцієнт потужності за умови резонансу

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = 1.$$

3. Програма роботи

1. Набути навичок у складанні електричних схем.
2. Промодельовати електричне коло відповідно до варіанту завдання.
3. Виконати необхідні обчислення.
4. Побудувати векторні діаграми.
5. Скласти звіт.

4. Схема виконання дослідження

На рис. 5 наведена схема для виконання досліджень.

Схема утримує:

- ЛАТР – лабораторний автотрансформатор;
- V – вольтметри електромагнітної системи;
- A – амперметр електромагнітної системи;
- W – ватметр електродинамічної системи;
- φ – фазометр;
- L – котушка індуктивності;
- R – активний опір;
- R_L – активний опір котушки індуктивності;
- X_L – реактивний опір котушки індуктивності;
- X_C – реактивний опір конденсатора.

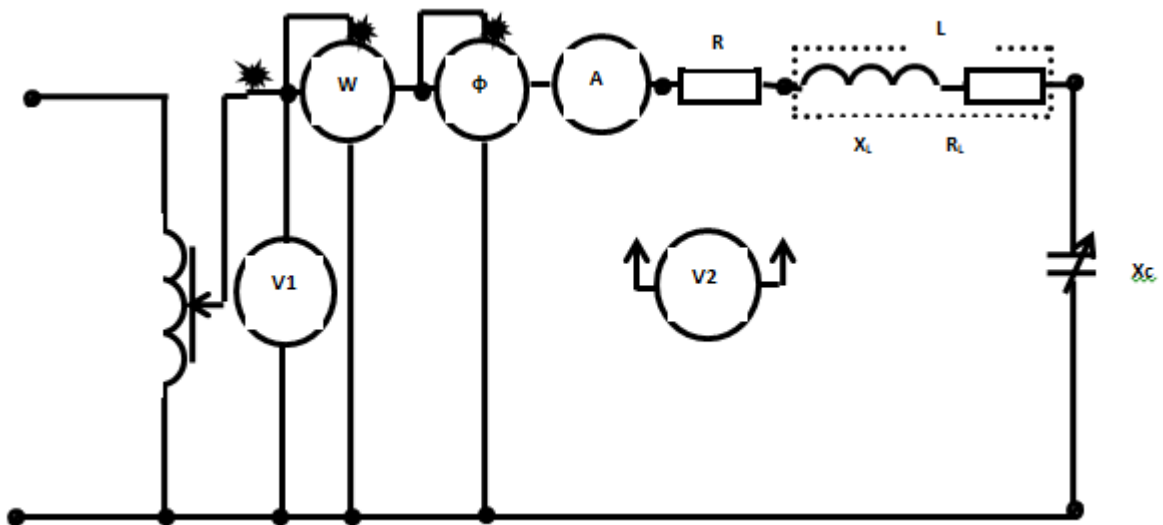


Рисунок 5

Таблиця 1 – Виміряні величини

| Задані значення величин | | | | Виміряні величини | | | | | | | Умови вимірювання |
|-------------------------|-------|-------|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|---------------|-------------------|
| U, В | f, Гц | L, Гн | C, мкФ | I, А | U_R , В | U_L , В | U_C , В | P, Вт | φ | $\cos\varphi$ | |
| | | | | | | | | | | | $X_L > X_C$ |
| | | | | | | | | | | | $X_L < X_C$ |
| | | | | | | | | | | | $X_L = X_C$ |

6. Порядок виконання роботи

1.1. Ознайомитися з теоретичною частиною та визначити вихідні дані відповідно до вказівок викладача.

1.2. Скласти схему для моделювання (рис.4а).

1.3. Заповнити таблицю 1 для значень $X_L > X_C$; $X_L < X_C$; $X_L = X_C$.

1.4. Обчислити всі величини наведені в таблиці 2, користуючись даними табл.1.

1.5. Зробити висновки стосовно роботи.

1.6. Скласти звіт.

Таблиця 2 – Обчислені величини

| Умови визначення | X_L , Ом | X_C , Ом | Z , Ом | S , ВА | P , Вт | Q , вар | W_e , Дж | W_m , Дж | $W_e - W_m$, Дж |
|------------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------------|
| $X_L > X_C$ | | | | | | | | | |
| $X_L < X_C$ | | | | | | | | | |
| $X_L = X_C$ | | | | | | | | | |

У процесі обчислення використовувати рівняння:

Значення опорів:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Діюче значення сили струму можна розрахувати за рівнянням:

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S} \text{ - коефіцієнт потужності кола;}$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \left[\frac{(X_L - X_C)}{R} \right]$$

$$P = U_R I = UI \cos \varphi = I^2 R, \text{ Вт - активна потужність кола;}$$

$$Q = Q_L - Q_C = U_L I - U_C I = I^2 (X_L - X_C) = I^2 X = UI \sin \varphi, \quad \text{вар -}$$

реактивна потужність кола;

$$S = UI = I^2 R = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ ВА - повна потужність кола;}$$

Енергія магнітного поля котушки індуктивності:

$$W_M = \frac{L \cdot I_m^2}{2}, \text{ де } I_m = I \cdot \sqrt{2}.$$

Енергія електричного поля конденсатора:

$$W_e = \frac{C \cdot U_m^2}{2}, \text{ де } U_m = U \cdot \sqrt{2}.$$

7. Контрольні питання

1. Коло змінного струму з активним опором.
2. Коло змінного струму з індуктивністю.
3. Коло змінного струму з ємністю.
4. Визначення індуктивності та побудова векторної діаграми.
5. Вплив частоти струму на величину індуктивного та ємнісного опору.
6. Визначення ємності та побудова векторної діаграми.
7. Коло змінного струму за умови послідовного з'єднання активного опору, індуктивності та ємності.
8. Визначення повного опору кола змінного струму з послідовним з'єднанням активного, індуктивного, ємнісного опорів.
9. Визначення повної потужності кола змінного струму.
10. Основні умови виникнення резонансу напруги в колі змінного струму.
11. Визначення коефіцієнта потужності в колі змінного струму.
12. Пояснити пожежну небезпеку резонансу напруг.

Лабораторна робота № 2

Дослідження трифазного кола у разі з'єднання споживачів «зіркою»

1. Мета роботи

- ознайомитися зі схемою з'єднання трифазної системи;
- вивчити основні режими роботи трифазної системи у разі з'єднання «зіркою»;
- визначити роль нейтрального проводу;
- виміряти напругу, струм, потужність для різних режимів роботи;
- побудувати векторні діаграми напруг і струмів.

2. Теоретичні відомості і розрахункові співвідношення

З'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою»

Нехай електричне коло складається із симетричного трифазного генератора, трипровідної мережі рівномірного навантаження, яке увімкнене «зіркою» з ізольованою нейтральною точкою (рис. 1). Навантаження, векторна діаграма якого зображена на рис.2, є змішаним (тобто активно-реактивним).

Для спрощення аналізу явищ у колі припустимо, що навантаження має тільки активну складову. Тоді векторна діаграма напруг і струмів буде мати вид, зображений на рис. 3.

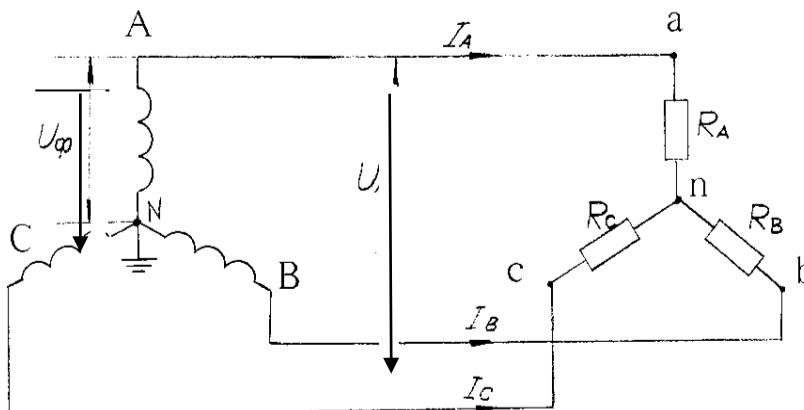


Рисунок 1 – Схема з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» без нейтрального проводу

Симетричною системою називають таку трифазну систему, у якій лінійні і фазні напруги відповідно чисельно однакові між собою і здвинуті одне до одного на 120° ($2\pi/3$), тобто на $1/3$ періоду. Всі генератори електростанцій симетричні.

Рівномірно навантаженою трифазною системою називають таку систему, у якій лінійні і фазні струми відповідно однакові по величині й однаково здвигнуті по фазі відносно лінійних і фазних напруг. У симетричній системі рівномірне навантаження буде за умови:

$$Z_a = Z_b = Z_c, \quad (1)$$

$$\cos \varphi_a = \cos \varphi_b = \cos \varphi_c. \quad (2)$$

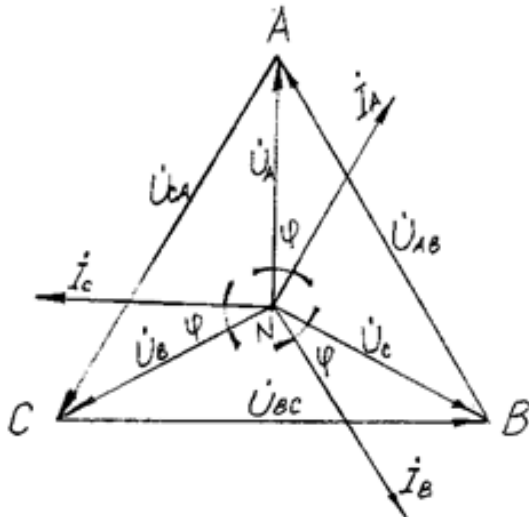


Рисунок 2 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» (симетричне змішане навантаження)

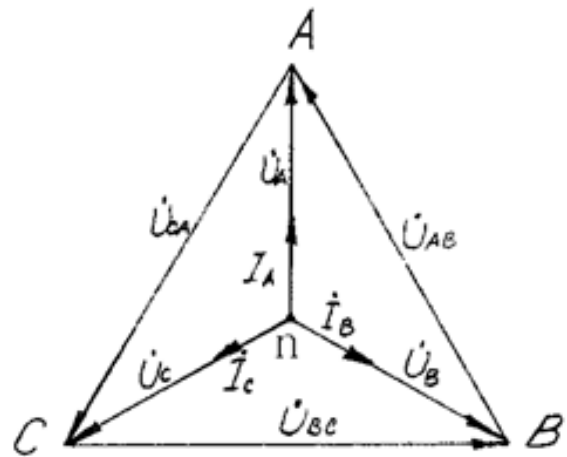


Рисунок 3 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» (симетричне активне навантаження)

У цьому випадку фазні напруги на навантаженні споживача будуть однакові і система симетрична як з боку генератора, так і з боку споживача. Потенціали нульових точок і навантаження будуть однакові, і на векторній діаграмі вони співпадають. Відомо, що в симетричній трифазній системі за умови рівномірного навантаження фазні напруги в $\sqrt{3}$ разів менше лінійних:

$$U_{\phi} = U_{\text{Л}} / \sqrt{3}. \quad (3)$$

Якщо ж створити нерівномірне навантаження фаз, наприклад, $R_c > R_a > R_b$ і для спрощення покласти $R_c = \infty$ (тобто за умови відсутності навантаження фази C), опори R_a , R_b будуть з'єднані послідовно під лінійною напругою. Тоді струми у фазах A і B матимуть однакові і рівні значення:

$$I_a = I_b = U_{AB} / (R_a + R_b). \quad (4)$$

Струм I_a буде збігатися по фазі з лінійною напругою U_{AB} , а струм I_b буде в протифазі.

Фазні ж напруги на навантаженні визначають наступним чином:

$$U_a = I_A R_a = U_{AB} R_a / (R_a + R_b), \quad (5)$$

$$U_b = I_B R_b = U_{AB} R_b / (R_a + R_b). \quad (6)$$

Звідси :

$$U_a / U_b = R_a / R_b. \quad (7)$$

Векторна діаграма струмів і напруг для випадку нерівномірного навантаження за умови з'єднання приймача «зіркою» зображена на рис. 4. З діаграми видно, що нульові точки генератора і споживача мають різні потенціали. Це значить, що нейтральна точка опиняється під напругою U_{Nn} щодо нейтральної точки генератора або землі.

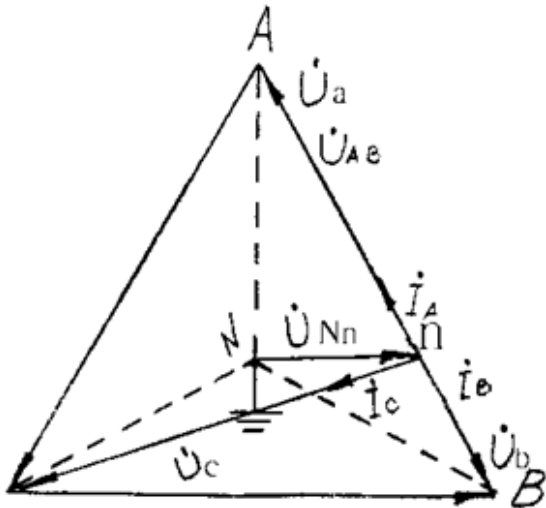


Рисунок 4 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» (відсутність навантаження фази С)

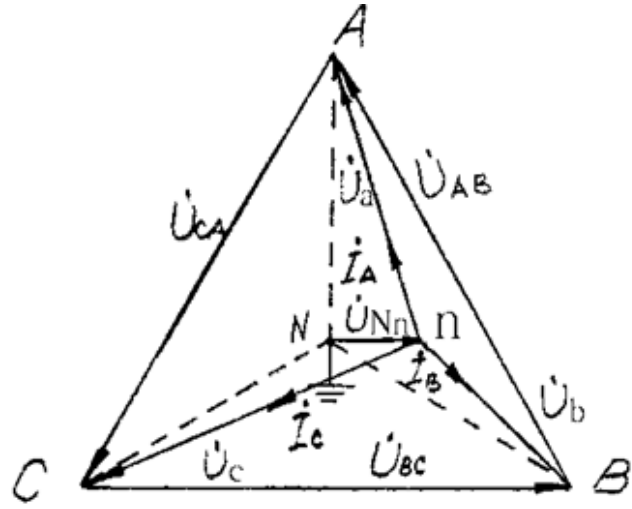


Рисунок 5 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» (нерівномірне навантаження)

Отже, у загальному випадку у разі нерівномірного навантаження фаз трипровідної мережі у споживача будемо спостерігати асиметрію, тобто фазні напруги, пропорційні опорам навантаження, будуть неоднакові за величиною. Для такого загального випадку, коли, наприклад, $R_c > R_a > R_b$, векторна діаграма зображена на рис. 5.

З векторних діаграм маємо, що електричні лампи увімкнені у фазу b , будуть мати менше розжарення у порівнянні з лампами фази a , а лампи фази c будуть перегріті у порівнянні з лампами фази a . Крім того, людина, яка випадково доторкнулася до нейтральної точки споживача, коли вона стоїть на землі, виявиться під напругою U_{Nn} , що може призвести до електротравми.

Для усунення цих недоліків М. О. Доливо-Добровольский ще у 1891 р. запропонував прийняти **чотирипровідну трифазну електричну схему**, тобто систему трифазного струму з нейтральним проводом.

Якщо нейтральний провід із боку генератора заземлений, то таку систему називають *системою трифазного струму із заземленою нейтраллю*. Природно, що чотирипровідна схема дозволяє з'єднувати обмотки генератора і споживача тільки «зіркою». Чотирипровідне трифазне коло зображене на рис. 6.

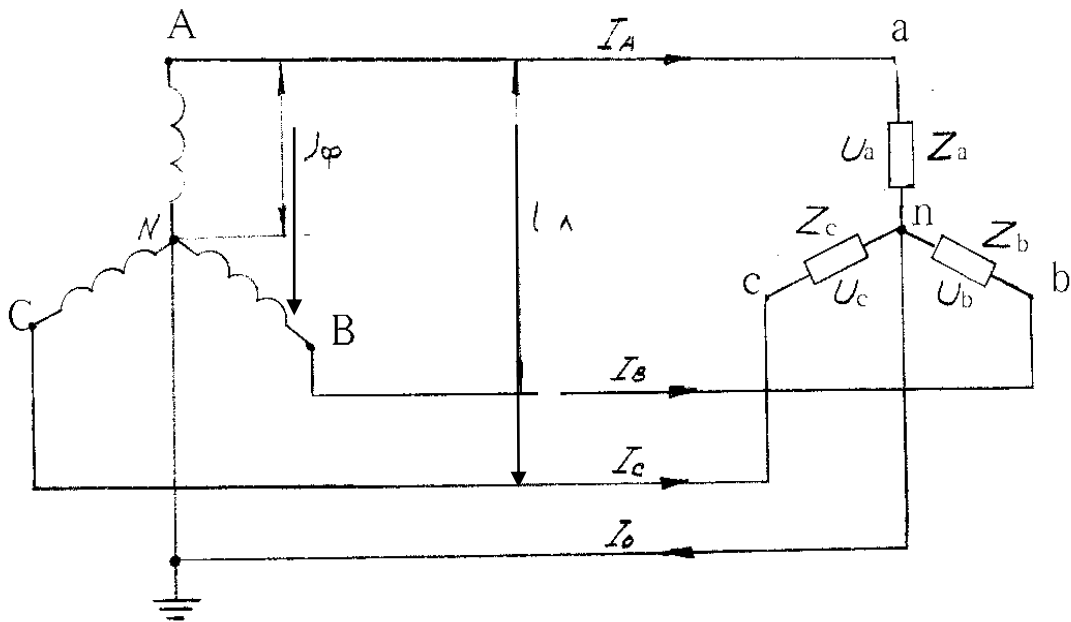


Рисунок 6 – Схема чотирипровідного трифазного кола за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача електричного струму «зіркою»

Наявність нейтрального проводу, що з'єднує нульові точки обмотки генератора і навантаження, насамперед **призводить до того, що різні напруги на навантаженні стабілізуються, тобто вони не змінюються з появою нерівномірності в навантаженнях фаз**. Незалежно від рівномірності або нерівномірності навантаження:

$$U_a = U_b = U_c = U_\phi,$$

і співвідношення

$$U_\phi = U_L / \sqrt{3}$$

тут дотримується завжди.

Лінійні струми за умови з'єднання «зіркою» завжди рівні фазним струмам:

$$I_L = I_\phi. \quad (8)$$

Якщо навантаження рівномірне, тобто $Z_a = Z_b = Z_c$, то $I_A = I_B = I_C = I_L$.

Якщо ж навантаження нерівномірне, тобто $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$, то $I_A \neq I_B \neq I_C$ і їхні величини визначають за законом Ома

$$I_A = U_a / Z_a; I_B = U_b / Z_b; I_C = U_c / Z_c. \quad (9)$$

Величину струму в нейтральному проводі I_0 визначають в такий спосіб. Припустимо, що навантаження чисто активне ($\cos \phi = 1$). Це

цілком допустимо, тому що за чотирипровідною схемою вмикають головним чином освітлювальне навантаження. Струм у нейтральному проводі, відповідно до 1-го закону Кірхгофа, дорівнює геометричній сумі фазних струмів, що сходяться в нейтральній точці навантаження:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \quad (10)$$

Коли навантаження рівномірне, тобто $I_A = I_B = I_C$, геометрична сума фазних струмів дає замкнутий векторний трикутник і рівнодіючий вектор, тобто струм у нейтральному проводі дорівнює нулю. Отже, **за умови рівномірного навантаження нейтральний провід непотрібний**. Векторна діаграма струму і напруг для рівномірного навантаження зображена на рис. 7.

Якщо ж навантаження фаз нерівномірне, наприклад, $R_c > R_a > R_b$, то $I_c < I_a < I_b$, і рівнодіючий вектор, що замикає багатокутник струму, є струмом у нейтральному проводі (див. векторну діаграму на рис. 8).

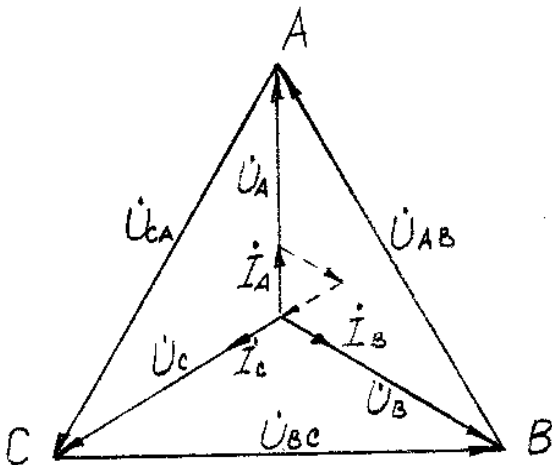


Рисунок 7 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» (рівномірне навантаження фаз)

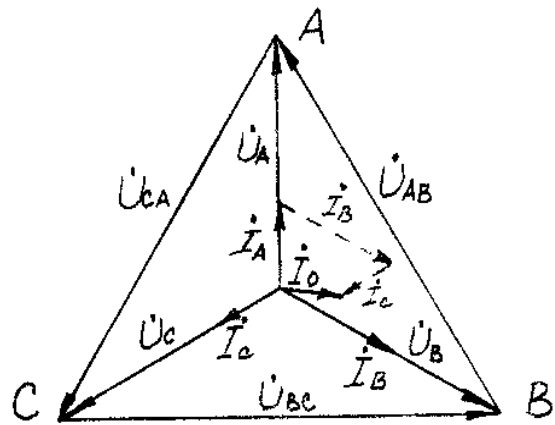


Рисунок 8 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» з нейтральним проводом (нерівномірне навантаження фаз)

Величина струму в нульовому проводі I_0 залежить від ступеня нерівномірності навантаження. Найбільший струм у нейтральному проводі буде тоді, коли в одній із фаз навантаження відсутнє, а інші фази навантажені, тобто коли: $I_A = I_B, I_C = 0$, тоді:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B \quad \text{і} \quad \dot{I}_0 = \dot{I}_\Phi = \dot{I}_L \quad (11)$$

(див. векторну діаграму на рис. 9).

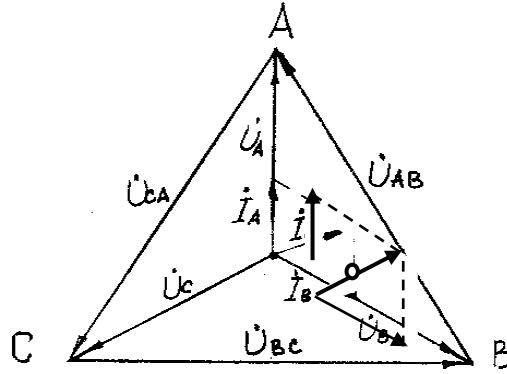


Рисунок 9 – Векторна діаграма струмів і напруг за умови з'єднання джерела ЕРС і приймача «зіркою» з нейтральним проводом (відсутнє навантаження фази С)

Отже, струм у нейтральному проводі в залежності від ступеня нерівномірності навантаження фаз може мати величину від нуля до I_L .

У випадку **обриву нейтрального проводу за умови нерівномірного навантаження фаз споживача з'являється асиметрія, тобто напруги і струми на фазах споживача будуть неоднакові і нейтральна точка споживача щодо землі одержить деякий потенціал. Тому в нейтральному проводі не встановлюють запобіжники і вимикачі.**

За умови симетричного навантаження активну потужність, що споживається однією фазою приймача, визначають за формулою:

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi, \quad (12)$$

а потужність трифазного навантаження:

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi. \quad (13)$$

Реактивну і повну потужності симетричного навантаження розраховують за формулами:

$$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi, \quad (14)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_L I_L. \quad (15)$$

За умови несиметричного навантаження потужності визначають за співвідношеннями:

активна потужність

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C, \quad (16)$$

реактивна потужність

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C \quad (17)$$

повна потужність

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_L I_L. \quad (18)$$

3. Програма роботи

1. Визначити дослідним шляхом співвідношення між лінійними та фазними струмами та напругами трифазного кола, з'єднаного «зіркою» з нейтральним проводом.

2. Визначити дослідним шляхом співвідношення між лінійними та фазними струмами та напругами трифазного кола, з'єднаного «зіркою» без нейтрального проводу.

3. Побудувати векторні діаграми за результатами дослідів.

4. Схема виконання досліджень

На рис. 10 наведена схема для виконання досліджень.

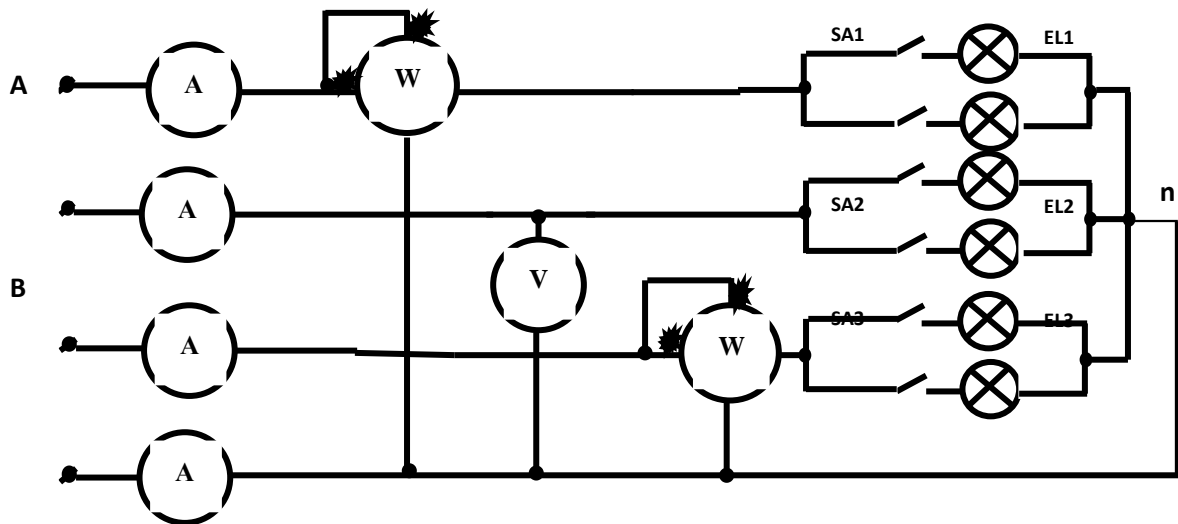


Рисунок 10 – Схема лабораторної установки

Схема утримує:

- V – вольтметри електромагнітної системи;
- A – амперметр електромагнітної системи;
- W – ватметр електродинамічної системи;
- SA1-SA6 – перемикачі;
- EL1-EL6 – лампи розжарювання.

5. Порядок виконання роботи

а. Зібрати схему рис. 10.

б. Виміряти напруги, струми, потужності фаз для випадків, перелічених в табл. 1. Отримані результати занести в табл. 1.

с. За даними табл. 1 побудувати векторні діаграми.

Таблиця 1 – Величини, виміряні за фізичною моделлю

| Вид навантаження | | Виміряні величини | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|
| | | Лінійні напруги | | | Фазні напруги | | | Фазні струми | | | | Потужності | | | |
| | | U_{AB} , В | U_{BC} , В | U_{CA} , В | U_a , В | U_b , В | U_c , В | I_A , А | I_B , А | I_C , А | I_0 , А | P_A , Вт | P_B , Вт | P_C , Вт | P_Σ , Вт |
| З нейтраллю | $R_a=R_b=R_c$ | | | | | | | | | | | | | | |
| | $R_b>R_a=R_c$ | | | | | | | | | | | | | | |
| | обрив b | | | | | | | | | | | | | | |
| Без нейтралі | $R_a=R_b=R_c$ | | | | | | | | | | | | | | |
| | $R_b>R_a=R_c$ | | | | | | | | | | | | | | |
| | обрив b | | | | | | | | | | | | | | |

6. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема лабораторної установки (рис. 10).
3. Табл. 1.
4. Обчислити величини P_B , P_Σ (табл. 1), використовуючи формули (12-18).
5. Побудувати векторні діаграми напруг і струмів для випадків:
 $R_a = R_b = R_c$; $R_b > R_a = R_c$.

7. Контрольні питання

1. Дати пояснення фазних та лінійних напруг, їх вимірювання.
2. Дати пояснення фазних та лінійних струмів, їх вимірювання.
3. Дати пояснення трифазної симетричної системи.
4. Співвідношення між фазною і лінійною напругою за умови симетричного навантаження.
5. Дати пояснення схеми з'єднання споживачів «зіркою» в трифазному колі змінного струму.
6. Призначення нейтрального проводу, визначення струму в нейтральному проводі.
7. Визначення активної потужності за умови симетричного навантаження.
8. Визначення реактивної потужності за умови симетричного навантаження.
9. Визначення повної потужності за умови симетричного навантаження.
10. Пояснити побудову векторної діаграми при несиметричному за умови симетричного навантаження.
11. Аварійні режими системи $Y-Y$ та їх пожежна небезпека.

Лабораторна робота № 3

Вимірювання опору ізоляції електроустановок

1. Мета роботи

Ознайомитись з вимогами до ізоляції електроустановок; ознайомитись з методами та приладами для вимірювання опору ізоляції електричних мереж, машин та апаратів; здійснити вимірювання опору ізоляції електроустановок; зробити висновок про можливість їх безпечної експлуатації.

2. Заходи безпеки

1. Не використовуйте прилад у місцях скупчення вибухонебезпечних газів, пари або пилу.

2. Не використовуйте прилад у середовищі з підвищеною вологістю.

3. Під час використання вимірювальних щупів не торкайтеся їх контактів. Тримайте пальці за захисними пристроями.

4. Не використовуйте прилад, якщо знято кришку або будь-яку частину.

5. Під час вимірювання параметрів ізоляції не торкайтеся вимірюваного кола.

6. Не використовуйте мультиметр, якщо він має пошкодження, або оголені металеві частини. Переконайтеся у відсутності тріщин та цілісності пластику корпусу.

7. Вставляйте вимірювальні дроти у відповідні входні гнізда. Перед здійсненням вимірювань перевірте, чи всі дроти вставлені надійно.

8. Перед тим, як відкривати відсік для батарей, переконайтеся, що прилад вимкнено.

9. Перед виміром опору вимкніть напругу у вимірюваному колі та розрядіть усі конденсатори.

10. Працювати з мегомметром слід обережно, оскільки під час виміру він генерує небезпечну напругу.

11. Не замикайте вимірювальні дроти коротко, коли прилад подає на них високу напругу. Це може призвести до іскріння та займання, що може спричинити пошкодження приладу та отримання травм.

12. Не здійснюйте вимірювання тривалістю більше 10 секунд:
- за умови вимірювання на 500 опір менше 2 МОм;

- за умови вимірювання на 1000 опір менше 5 МОм;
- за умови вимірювання на 1500 опір менше 8 МОм;
- за умови вимірювання на 2000 опір менше 10 МОм.

3. Теоретична частина

Якісна, непошкоджена ізоляція є однією із умов надійної роботи електричних установок. Ізоляція повинна відокремлювати провідники один від одного та від землі. Отже діелектрик, із якого виготовлена ізоляція, повинен мати достатній запас електричної міцності для того, щоб витримати тривалу дію робочої напруги установки, навіть за умови її короткочасного підвищення.

Електрична міцність або **пробивна напруженість** діелектричного матеріалу – це та найменша напруженість електричного поля, за якої починається пробій діелектрика.

Відрізняють два типи пробою твердого діелектрика: *тепловий і електричний*.

Тепловий пробій відбувається у вигляді термічного руйнування ізоляції (обвуглювання, розтріскування) під дією тепла, яке виділяють струми витоку.

Електричний пробій обумовлений прямою дією сильного електричного поля на іони які містяться в діелектрику. Ці іони набувають такої великої швидкості, що ударами іонізують молекули діелектрика, тобто перетворюють їх на іони. В результаті виникає лавинний потік іонів, які руйнують ізоляцію. Електричний пробій відбувається за більш високих напруг, ніж тепловий, але час дії напруги на діелектрик для електричного пробою може бути дуже короткочасним.

В електроустановках застосовують такі **види ізоляції**: *робоча, додаткова, подвійна, посилена*.

Робоча – ізоляція струмопровідних частин, яка забезпечує нормальну роботу електроустановки і захист від ураження електричним струмом.

Додаткова – ізоляція передбачена додатково до робочої для захисту від ураження електричним струмом у разі її пошкодження.

Подвійна ізоляція складається із робочої і додаткової.

Посилена – це поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий самий ступінь захисту, як і подвійна.

Електрична ізоляція не є однорідним матеріалом з низькою провідністю, у ній присутні домішки речовин із порівняно високою провідністю – частинки вологи, повітря тощо. У разі вмикання

провідника під напругу через недосконалу ізоляцію будуть протікати струми витоку, величину яких визначають повним опором ізоляції.

Для **оцінки стану ізоляції** з точки зору електробезпеки **граничне значення струму витоку** рекомендують приймати до **0,1 А**.

Якість ізоляції, яку характеризують перш за все її опором проходженню струму витоку, з часом може погіршуватися в результаті:

а) перегрівання понад допустимої норми для такого класу ізоляції під дією струмових навантажень;

б) руйнування внаслідок експлуатації в сирих і агресивних середовищах;

в) механічних пошкоджень.

Але навіть і в нормальних умовах експлуатації ізоляція поступово втрачає свої початкові властивості за рахунок природного старіння, в ній з'являються місцеві дефекти. З часом ці дефекти розвиваються, опір ізоляції починає різко зменшуватися, а сила струму витоку зростає. У місці дефекту з'являються часткові розряди струму, відбувається так званий **пробій ізоляції**, виникає значне витікання струму, електроустановка стає небезпечною з точки зору ураження людей струмом. **Пробій ізоляції в електричних мережах і установках часто спричиняє короткі замикання, аварії, пожежі, вибухи.**

Утримання ізоляції в справному стані є однією із важливих вимог діючих правил, які передбачають мінімально допустиму величину опору ізоляції для різних видів електрообладнання (наприклад, **найменший допустимий опір ізоляції в силових і освітлювальних електропроводках до 1000 В дорівнює 0,5 МОм**).

Під час перевірки освітлювальних та силових мереж значення опору ізоляції виміряють зі знятими плавкими вставками на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проводом та землею, а також між двома будь-якими проводами. Під час вимірювання опору ізоляції в силових колах повинні бути вимкнуті електроприймачі, прилади тощо. Під час вимірювання опору ізоляції в освітлювальних колах лампи повинні бути викручені, а штепсельні розетки та вимикачі приєднані.

Замір опору ізоляції електричних мереж та електроустановок відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні (ППБУ) мають бути здійснені 1 раз на 2 роки, якщо інші терміни не обумовлені Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ).

Згідно з ПТЕ значення опору ізоляції електропроводки в особливо небезпечних приміщеннях слід вимірювати не рідше, ніж один раз на рік, у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зонах, а

також в приміщеннях з масовим перебуванням людей – один раз на 3 роки, в інших випадках (крім житлових будинків) – один раз на 6 років. Для населення вимірювання опору ізоляції здійснюють під час введення мережі електричного освітлення в експлуатацію або у разі її реконструкції. Надалі – на вимогу споживача.

Мінімально допустимий опір ізоляції деяких електроустановок, апаратів, вторинних кіл та електропроводки згідно з ПТЕ

| Найменування випробного елемента | Напруга, В | Значення опору ізоляції, МОм | Вказівки |
|---|----------------------|---|---|
| 1. Ручний електроінструмент і переносні світильники з допоміжним обладнанням (трансформатори, перетворювачі частоти, пристрої, кабелі-подовжувачі тощо), зварювальні трансформатори | 500 | Після капітального ремонту: між деталями, що перебувають під напругою: для робочої ізоляції - 2; для додаткової - 5; для підсиленої - 7. В експлуатації: 0,5; для виробів класу II - 2 | Для інструмента вимірюють значення опору ізоляції обмоток та кабелю живлення відносно корпусу та зовнішніх металевих деталей; у трансформаторів між первинною та вторинною обмотками і між кожною з обмоток та корпусом не рідше, ніж один раз на 6 місяців |
| 2. Стаціонарні електроплити | 1000 | 1,0 | Вимірювання здійснювати не рідше, ніж один раз на рік у нагрітому стані плити |
| 3. Крани та ліфти | 1000 | 0,5 | Вимірювання здійснювати не рідше, ніж один раз на рік |
| 4. Силові й освітлювальні електропроводки | 1000 | 0,5 | |
| 5. Кабелі напругою понад 1 кВ | 2500 тривалістю 1 хв | Значення опору ізоляції не нормують | Вимірювання здійснюють до і після випробувань |

| | | | |
|--|--------|---|--|
| | | (порівнюють з попереднім значенням). Значення опору ізоляції для кабелів напругою до 1 кВ повинно бути не нижче, ніж 0,5 МОм | підвищеною напругою |
| 6. Повітряні лінії напругою до 1 кВ із самоутримними ізолюваними проводами | 1000 В | Значення опору ізоляції повинно бути не менше, ніж 0,5 МОм на 1 км | Контроль стану ізоляції проводів, підтримувальних затискачів і захисних кожухів на з'єднувальних та відгалужувальних затискачах. Вимірювання опору ізоляції здійснюють між фазними жилами та між фазними і додатковими жилами |

Здійснення випробувань і вимірювань на зварювальних установках відбувається згідно з інструкціями підприємств-виробників. Крім того, вимірювання опору ізоляції здійснюють після тривалої перерви в роботі, перестановки обладнання, але не рідше одного разу на 6 місяців відповідно до ПТЕ та раз на 3 місяці (у разі автоматичного зварювання під шаром флюсу – 1 раз на місяць) відповідно до ППБУ.

Таким чином діючі правила передбачають випробування, що обмежені вимірюванням опору ізоляції електроустановок:

- а) під час приймання електрообладнання після монтажу і ремонту;
- б) періодично в процесі експлуатації (в залежності від виду раз на 6 місяців – 6 років);
- в) постійно в процесі експлуатації для електричних печей;
- г) для електродвигунів у разі їх вимкнення основними апаратами захисту;
- д) у разі монтажу тимчасового електрообладнання в культурно-видовищних закладах.

Контроль за станом ізоляції, покладається на особу, призначену за наказом адміністрації, відповідальною за енергогосподарство підприємства (головний енергетик).

Результати перевірок повинні бути задокументовані протоколом вимірювання опору ізоляції.

Для вимірювання опору ізоляції електроустановок використовують електровимірювальні прилади, які називають мегомметрами. Мегомметр типу UNIT UT512 має межі вимірювань (0...1000) МОм, номінальну напругу виходу 1000 В (рис.1).

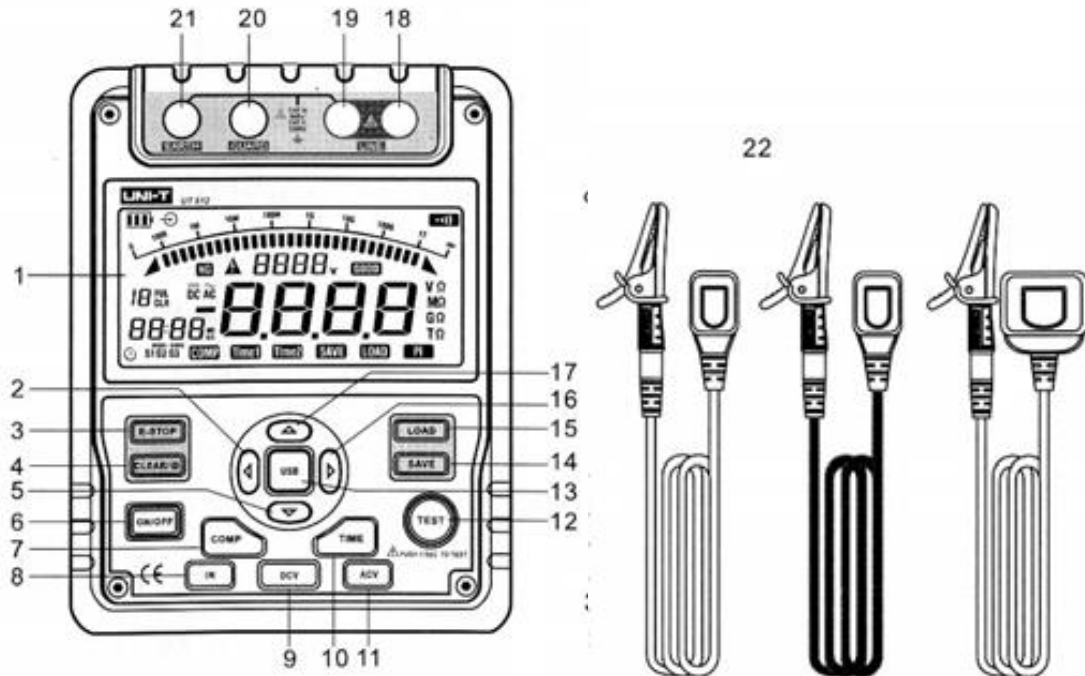


Рисунок 1 – Мегомметр UNIT UT512:

1 – Рідкокристалічний дисплей; 2 – кнопка прокручування вліво; 3 – екстрене вимкнення; 4 – очищення дисплея/кнопка підсвічування дисплея; 5 – кнопка зміщення вниз; 6 – кнопка увімкнення/вимкнення; 7 – кнопка порівняння; 8 – кнопка опору ізоляції; 9 – кнопка вимірювання постійної напруги; 10 – кнопка таймера; 11 – кнопка вимірювання змінної напруги; 12 – тестова кнопка; 13 – кнопка usb; 14 – кнопка збереження даних у пам'ять; 15 – кнопка відновлення даних із пам'яті; 16 – кнопка прокрутки праворуч; 17 – кнопка переміщення вгору; 18 – LINE: гніздо для введення та виведення високовольтного сигналу (червоний вимірювальний провід із двома штекерами та одним затиском «крокодил»); 19 – гніздо екранування високовольтного сигналу (червоний вимірювальний провід з двома штекерами та одним затискачем «крокодил»); 20 – GUARD: Гніздо захисного заземлення (чорний вимірювальний провід з одним штекером та одним затиском «крокодил»); 21 – EARTH: гніздо вимірювання високого опору (зелений вимірювальний провід з одним штекером та одним затискачем «крокодил»); 22 – вимірювальні дроти: червоний вимірювальний провід із двома штекерами та одним затискачем «крокодил»; чорний вимірювальний провід з одним штекером та одним затискачем «крокодил»; зелений вимірювальний провід з одним штекером та одним затиском «крокодил».

4. Порядок виконання роботи

4.1. Вимірювання опору ізоляції електричної мережі

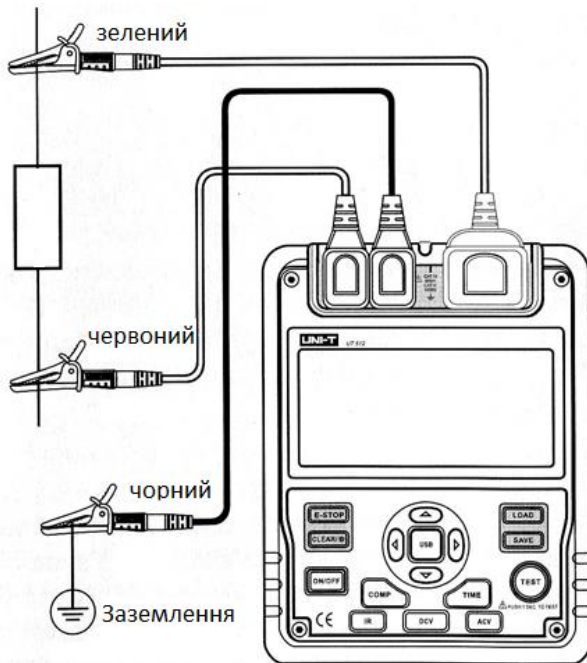




Рисунок 2 – Схема приєднання мегомметра для вимірювання опору ізоляції

утримуйте протягом однієї секунди кнопку ON/OFF. За замовчуванням під час увімкнення буде встановлений режим безперервних вимірювань опору ізоляції 500 В.

5. Натисніть кнопку TEST і утримуйте її протягом однієї секунди для запуску безперервних вимірювань. Тепер вихідна напруга, що тестує, прикладена до ланцюга, що підлягає обстежуванню, водночас кнопка TEST світиться, на дисплеї з періодом 0,5 секунди блимає попереджувальний значок .

6. Після завершення натисніть кнопку TEST для відключення тестуючого напруження від ланцюга, що підлягає обстежуванню. Кнопка TEST гасне, значок  зникає з дисплея. На дисплеї з'являється поточне значення опору ізоляції, що вимірюють.

7. Для увімкнення вимірювача натисніть і утримуйте протягом однієї секунди кнопку ON/OFF. Щоб вимкнути, натисніть цю кнопку ще раз.

8. Результати заміру занести в таблицю протоколу і зробити висновок про якість ізоляції та придатність електропроводки для подальшої експлуатації.

1. Щоб уникнути можливого пошкодження приладу або обладнання, що підлягає обстежуванню, перед вимірюванням опору ізоляції вимкніть струм в колі, що підлягає обстежуванню, і розрядіть усі високовольтні конденсатори.

2. Встановити мегомметр на стійкій основі горизонтально.

3. Перевірити готовність приладу до роботи, переконавшись, що затискачі вимірювальних проводів надійно закріплені на колі, що підлягає обстежуванню, і не торкаються ваших рук.

4. Для увімкнення вимірювача натисніть і

4.2. Вимірювання опору ізоляції електричних машин та апаратів

1. Відключити електроустановку від мережі.
2. Знайти початок і кінець фазних обмоток.
3. Перевірити стан ізоляції кожної фази по відношенню до корпусу та між собою:
 - під час вимірювання опору ізоляції обмотками клема "EARTH" і "LINE" приєднувати послідовно до кожної пари виводів;
 - під час вимірювання опору ізоляції кожної із обмоток по відношенню до корпусу всі обмотки приєднують до клеми "LINE", а клему "EARTH" приєднують до корпусу машини.
4. Результати вимірювань занести в таблиці протоколу і зробити висновок про можливість подальшої експлуатації машини або апарату.
5. Про закінчення роботи доповісти викладачу і з його дозволу розібрати установку та прибрати робоче місце.

| Замовник _____ | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------|--------------------------------|-----|-----|----|----|----|----------|
| Об'єкт _____ | | | | | | | | | |
| Протокол | | | | | | | | | |
| перевірки ізоляції _____ | | | | | | | | | |
| Робоча напруга _____ Ізоляція, виміряна мегомметром | | | | | | | | | |
| заводський № _____ | | | | | | | | | |
| № п/п | Назва устаткування або кабелів, проводів | Переріз і марка | Опір ізоляції вимірянй, МОм | | | | | | Висновок |
| | | | A-O | B-O | C-O | AB | BC | CA | |
| 1. | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | | |
| 4. | | | | | | | | | |
| Висновок _____ | | | | | | | | | |
| Випробування здійснювали: _____ | | | | | | | | | |
| (підпис) (прізвище, ініціали) (посада) | | | | | | | | | |
| М.П. | | | | | | | | | |
| Керівник робіт _____ | | | | | | | | | |
| «__» _____ 20__р | | | | | | | | | |
| Висновок: | | | | | | | | | |

5. Контрольні питання

1. Види ізоляції, які застосовують в електроустановках.
2. Причини зниження опору ізоляції та її пробою в електропроводках та електроустановках.
3. Класифікація електроізоляційних матеріалів за нагрівостійкістю.
4. Мінімально допустимі величини опору ізоляції для силових і освітлювальних електропроводок напругою до 1000 В.
5. Вимоги до виконання випробувань силових та освітлювальних електромереж.
6. Вимоги до здійснення профілактичних випробувань величини опору ізоляції електроустановок.
7. Відповідальні особи за стан ізоляції електроустановок на об'єкті.
8. Вимоги щодо оформлення документів за результатами вимірювання опору ізоляції електроустановок.
9. Завдання працівників державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки під час планових перевірок об'єктів щодо контролю стану електроізоляції електроустановок.
10. Призначення, будова та принцип роботи мегомметра типу М 4100/4.
11. Основні заходи безпеки під час роботи з мегомметром типу М 4100/4.

Лабораторна робота № 4

Вимірювання опору захисного заземлення

1. Мета роботи

Вивчити вимоги до захисного заземлення електроустановок, ознайомитись з методами та приладами вимірювання опору захисного заземлення.

2. Методичні вказівки та пояснення до роботи

Для забезпечення умов безпеки в електроустановках напругою до 1000 В і вище повинні бути збудовані заземлюючі пристрої і заземлені металеві частини електрообладнання і електропристроїв, які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції. В цьому випадку напруга корпусу електричного пристрою знижується до безпечної величини.

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання металевих частин електрообладнання, які нормально не знаходяться під напругою із заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій – сукупність заземлювача і заземлюючих провідників.

Заземлюючий провідник – металевий провідник, який з'єднує заземлюючі частини електрообладнання із заземлювачем.

Можливий струм замикання на землю, а відповідно і безпечність ураження, залежать від напруги і потужності джерела електричної енергії. Деякі допустимі опори заземлюючих пристроїв наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

| Найбільше допустиме значення спільного опору всіх повторних заземлювачів, приєднаних до PEN- провідника кожної лінії (<i>опір кожного повторного заземлювача</i>) | Характеристика електроустановки (ЕУ) |
|---|--------------------------------------|
| Повітряні лінії напругою до 1 кВ | |
| $R_z \leq 5$ (15) | 660/380 В |
| $R_z \leq 10$ (30) | 380/220 В |
| $R_z \leq 20$ (60) | 220/127 В |

| | |
|---|-----------|
| <p>Електроустановки на напругу до 1 кВ В мережі з глухозаземленою нейтраллю (системи TN і TT): Приєднання нейтралі джерела живлення трифазного струму або виводу джерела однофазного струму до заземлювального пристрою з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN (PE)-провідника (повторних і грозозахисних), якщо кількість відхідних ліній не менше двох для лінійних напруг (трифазного/однофазного струму)</p> | |
| R _з ≤ 2 (15) | 660/380 В |
| R _з ≤ 4 (30) | 380/220 В |
| R _з ≤ 8 (60) | 220/127 В |

Сутність захисного заземлення полягає в тому, що людина доторкаючись до корпусу електроустановки, який виявився під напругою, приєднується до кола замикання паралельно заземлюючому пристрою. Внаслідок того, що опір людини значно більший, ніж опір заземлюючого

пристрою, людина залишається в безпеці, так як більша частина струму проходить крізь заземлюючий пристрій.

Правилами безпеки **передбачена** обов'язкова **перевірка опору заземлюючого пристрою** за допомогою електровимірювальних приладів **не менше двох разів на рік**: один раз літом за найбільшого просихання ґрунту і один раз взимку за найбільшого промерзання ґрунту. **Результати заміру опору заземлюючого пристрою повинні бути задокументовані протоколом, висновок після заміру заносять в паспорт заземлюючого пристрою.**

Діючі правила передбачають періодичні вимірювання опору заземлюючих пристроїв електроустановок (крім повітряних ліній)

- під час капітальних, поточних (не рідше 1 раз на 3 роки), профілактичних випробувань;

- не рідше 1 разу на 6 років (для ЕУ U>1000 В);

- для ліфтів, пралень, лазнь – не рідше 1 раз на рік.

Під час здійснення перевірки об'єкту і частини перевірки захисного заземлення **працівник наглядового органу повинен перевіряти:**

- наявність захисного заземлення, відповідність виконання його вимогам ПУЕ;

- паспорт на заземлюючий пристрій, періодичність вимірювання і величину опору заземлюючого пристрою згідно з вимогами ПУЕ, ПТЕ, ПБЕ.

3. Програма роботи

- Ознайомитися з приладами для вимірювання опору заземлюючого пристрою.
- Ознайомитися з методикою вимірювання.
- Виміряти опір ізоляції заземлюючого пристрою.
- Зробити висновок про можливість експлуатації пристроїв, що були досліджені.
- Оформити звіт.

4. Схема виконання досліджень

Для контролю опору заземлюючого пристрою використовують **вимірювачі опору заземлення**.

Вимірювач опору заземлення призначений для вимірювання опору заземлюючих пристроїв і для визначення питомого опору ґрунту.

Вимірювання опору заземлення цим приладом засновано на компенсаційному методі із застосуванням допоміжних електродів.

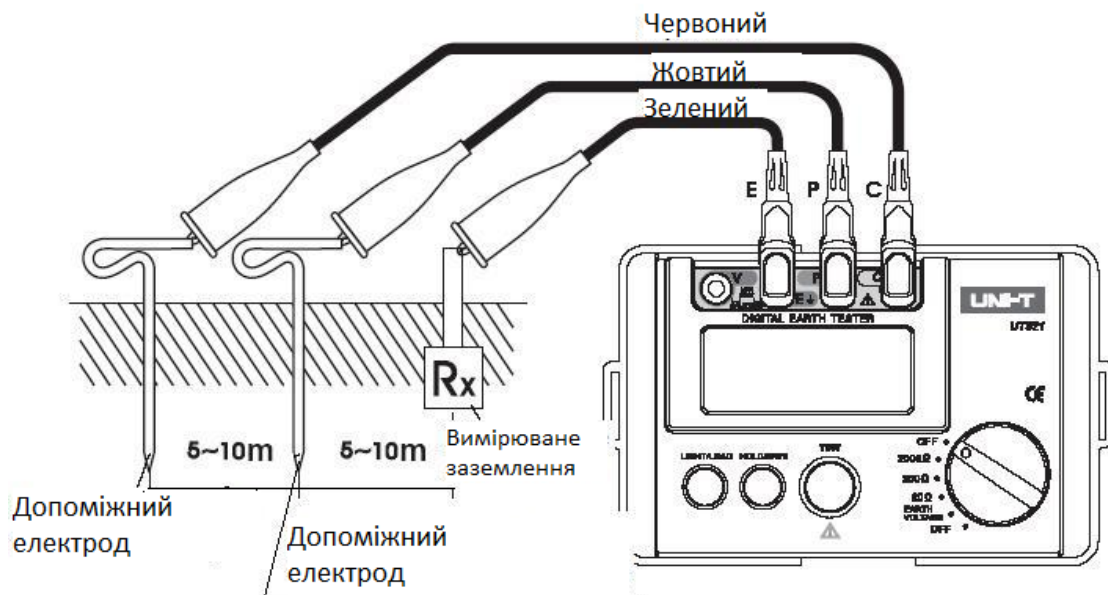


Рисунок 1 – Підключення приладу

5. Порядок виконання роботи

1. Встановити допоміжні заземлювачі на відстані від заземлювача, що підлягає випробуванню, як вказано на схемі (рис.1).

2. Приєднати вимірювач до заземлення, що підлягає випробуванню, та допоміжних заземлювачів згідно зі схемою. Всі з'єднання виконувати гнучким проводом з неушкодженою ізоляцією. Проводи можуть бути прокладені безпосередньо по землі.

3. Здійснити вимірювання в такій послідовності:

Встановіть поворотний перемикач у положення 2000 Ом (максимальний діапазон) і натисніть кнопку "TEST" буде увімкнено підсвічування кнопки і РК-дисплей буде відображати значення опору заземлення. Якщо значення опору <200 Ом, встановіть поворотний перемикач на 200 Ом, РК-дисплей відобразить значення опору заземлення на такому діапазоні з великою точністю. Якщо значення опору <20 Ом, встановіть поворотний перемикач у положення 20 Ом, РК-дисплей відобразить значення опору заземлення ще з більшою точністю.

4. Результати вимірювання занести до табл. 2.

5. Зробити висновок про стан заземлюючого пристрою та його придатність для подальшої експлуатації.

Таблиця 2 – Вимірювання опору захисного заземлення в ЧПБ

Вимірювання здійснено вимірювачем опору типу_____
Номер_____.

| № п/п | Тип мережі | Величина опору, Ом | | Висновок про можливість подальшої експлуатації |
|----------|------------|--------------------|-----------|---|
| | | Виміряне | допустиме | |
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |

6. Зміст звіту

6.1. Мета роботи.

6.2. Схема для виконання досліджень.

6.3. Заповнений протокол випробувань.

6.4. Висновки щодо роботи.

7. Контрольні запитання

1. Сутність захисного заземлення, його призначення та будова, галузь застосування.
2. Сутність захисного занулення, призначення, будова, галузь застосування.
3. Вимоги до захисного заземлення електроустановок.
4. Класифікація приміщень за ступенем небезпеки враження людей електричним струмом.
5. Періодичність перевірки технічного стану захисного заземлення електроустановок.
6. Вимоги до оформлення результатів замірів опору захисного заземлення електроустановок.
7. Перелік документів, які повинні бути під час приймання в експлуатацію та експлуатації захисного обладнання електроустановок.
8. Нормативні величини опорів заземлюючих пристроїв електроустановок.
9. Призначення та принципова схема вимірювача опору М 416.
10. Принцип роботи вимірювача опору М 416.
11. Завдання працівників державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки під час перевірки на об'єктах захисного заземлення електроустановок.

Лабораторна робота № 5

Дослідження плавких запобіжників

1. Мета роботи

Ознайомитися з будовою, призначенням і принципом дії запобіжників. Експериментальним шляхом визначити захисну характеристику запобіжника.

2. Методичні вказівки та пояснення до роботи

Плавкі запобіжники – це апарати одноразової дії для захисту електрообладнання і мереж від короткого замикання і значних довготривалих перевантажень з використанням теплової дії струму.

Плавкі запобіжники вмикають послідовно з об'єктом чи мережею, що підлягають захисту. У разі виникнення аварійної ситуації об'єкти чи елементи, що підлягають захисту, автоматично вимикають від джерела живлення через згорання (розплавлення) каліброваного дротика або пластинки, що знаходиться всередині запобіжника, його називають *плавкою вставкою*, яка розрахована на певний номінальний струм $I_{\text{ном.вст.}}$. Заміна згорілої плавкої вставки новою дозволяє використовувати запобіжник повторно.

Плавкі запобіжники застосовують в установках на номінальну напругу до 1000 В з використанням в них каліброваних плавких вставок, що виготовляють у залежності від конструкції запобіжників на номінальні струми від 1 до 1000 А. Плавкі вставки не забезпечують своєчасного вимикання захисних об'єктів у разі перевантаження їх струмом за величиною до $1,5 I_{\text{ном.}}$, тому що за таких обставин вони можуть перегоріти через 1 годину і більше, коли об'єкт чи мережа встигнуть перегрітися і навіть вийти із ладу. З цієї причини плавкі запобіжники використовують в маловідповідальних установках для захисту від струмів короткого замикання, тому що за таких обставин вони надійно упродовж декількох секунд забезпечують відімкнення захисного кола за струму $I > 2,5 I_{\text{ном.}}$ внаслідок розплавлення, згорання плавкої вставки. Чим більший струм протікає крізь плавку вставку, тим швидше вона розплавляється і швидше відключить від мережі обладнання, яке вона захищає.

За номінальним струмом плавкої вставки запобіжник обирають з дотриманням наступної умови:

$$I_{\text{ном.вст.}} > I_{\text{max}} ; \quad (1.1)$$

де: $I_{ном.вст.}$ – номінальний струм плавкої вставки, А, величину якого вказують на каліброваній пластинці вставки або на фарфоровому стаканчику, всередині якого встановлена плавка вставка;

I_{max} – максимально допустимий робочий струм у колі, яке підлягає захисту.

Залежність часу спрацювання (розплавлення) плавкої вставки від відношення струму у колі I_{max} до номінального струму плавкої вставки запобіжника $I_{ном.вст.}$, $I_{max}/I_{ном.вст.}$ зображена на рис.1.1.

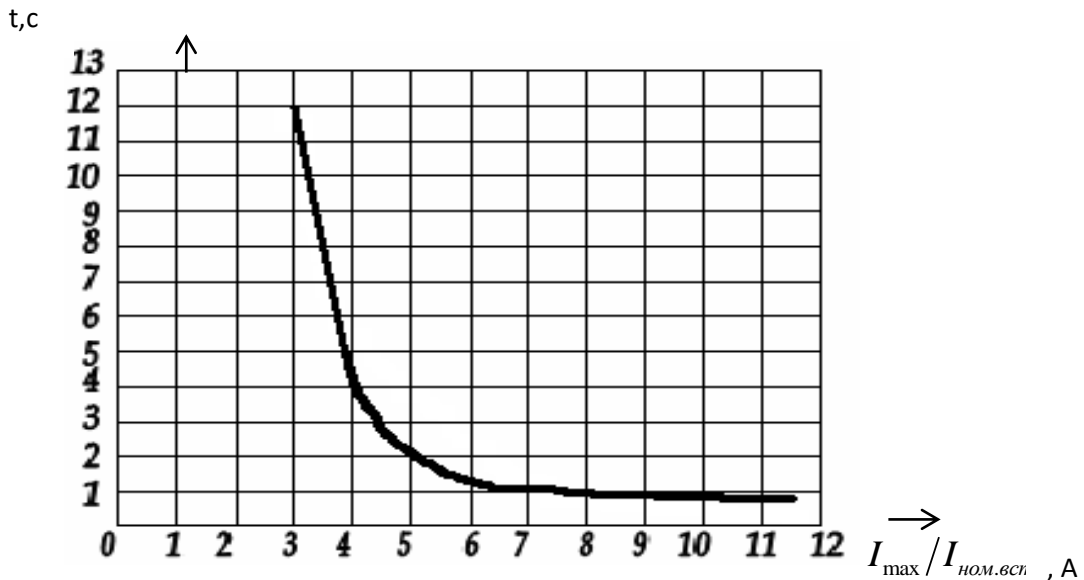


Рисунок 1 – Графік часу спрацювання плавкої вставки запобіжника від струму у колі

Крива показує, що із збільшенням струму час спрацювання вставки зменшується; проте, починаючи приблизно із співвідношення $I_{max}/I_{ном.вст.} \approx 6 \div 7$ подальше збільшення струму на час спрацювання плавкої вставки практично не впливає, але це дуже короткий проміжок часу (в залежності від матеріалу плавкої вставки) і подальше збільшення струму призведе до миттєвого перегорання плавкої вставки і автоматичного відключення від мережі об'єкта, який підлягає захисту.

Плавкі вставки виконують або з того ж металу, що і провідники кола, тобто із матеріалу з хорошою електричною провідністю, але відповідно меншого перерізу, або із металу з великим питомим опором, наприклад, свинцю і його сплавів. Такі запобіжники мають високу теплоємність та, відповідно, високу теплову інерцію.

Плавкі запобіжники мають різну конструкцію. На рис. 2 показані схематичні зображення деяких запобіжників.

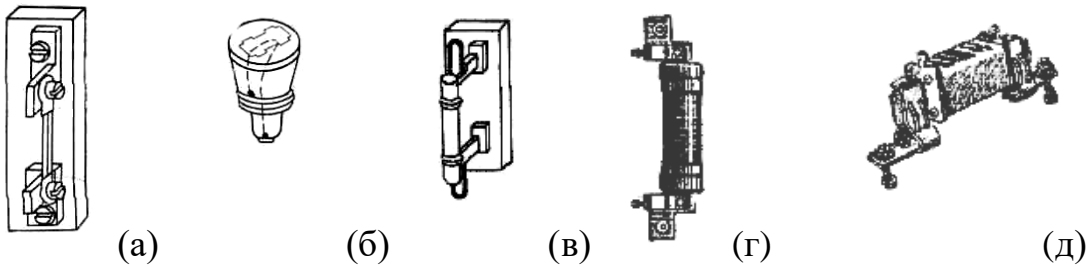


Рисунок 2 – Плавкі запобіжники

На рис. 2,а – відкритий запобіжник типу П, в якому у якості плавкої вставки використовують мідні дротики або пластинки, припаяні до латунних наконечників.

Закриті пробкові запобіжники (рис. 2,б) для захисту освітлювальних і малопотужних відгалужень силових кіл ПК – 27. Різьба гільзи Е 27. Плавка вставка у вигляді металевго дротику розміщена всередині «пробки» одним кінцем припаяна до наконечника, а іншим до різьби.

Також існують запобіжники різьбової серії типу ПРС (таблиця 1). Вони складаються із ізоляційної основи, що має різьбову гільзу для встановлення головки з плавкою вставкою. Плавка вставка заповнена кварцовим піском і має показчик спрацювання. Плавкі вставки ПВД нерозбірні.

Таблиця 1 – Технічні характеристики запобіжників серії ПРС

| Типи | Номінальні сили струму основи, А | Номінальні сили струму плавкої вставки, А | Габарити | Різьба гільзи |
|-----------|----------------------------------|---|----------|---------------|
| ПРС – 6 | 6 | 1,2,4,6 | I | Е 21 |
| ПРС – 25 | 25 | 4,6,10,16,20,25 | II | Е 27 |
| ПРС – 63 | 63 | 20,25,40,63 | III | Е 33 |
| ПРС – 100 | 100 | 40,63,80,100 | IV | М 52x1.5 |

Рис. 2, в – відкриті трубчасті запобіжники типу СПО, в яких металева плавка вставка розміщена всередині фарфорової фасонної трубки і закріплюється гвинтами до контактних ножів, що в свою чергу закріплені на кінцях трубки. На практиці їх використовують рідко, вони мають місце у застарілому електрообладнанні.

Рис. 2, г – закриті розбірні газогенеруючі запобіжники типу ПР2 (таблиця 1.2). Запобіжник складається із фібрової циліндричної трубки, на кінцях якої прикріплені латунні кільцеві наконечники із різьбою. За допомогою латунних ковпачків, що нагвинчуються на ці наконечники, притискуються контактні ножі. До контактних ножів гвинтом закріплюється плавка вставка.

Плавкі вставки для запобіжників типу ПР2 виробляють із цинку. Для полегшення гасіння електричної дуги вони мають звужені місця. Швидкому гасінню дуги сприяють гази, що виділяються зі стінок патрона (трубки), в момент перегорання вставки. Тиск у трубці за такої умови підвищується, дуга швидко гасне, запобіжник спрацьовує і вимикає споживач, який він захищає.

Наразі запобіжники типу ПР2 мають обмежене використання, але вони мають суттєву перевагу перед деякими іншими типами запобіжників, що використовують в електричних мережах – дозволяють швидко замінити перегорілу плавку вставку.

Таблиця 2 – Технічні характеристики запобіжників ПР2

| Номинальний струм патрона, А | Номинальний струм плавких вставок, А |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 15 | 6,10,15 |
| 60 | 15,20,25,35,45,60 |
| 100 | 60,80,100 |
| 200 | 100,125,160,200 |
| 250 | 200,225,260,300,350 |
| 600 | 350,430,500,600 |
| 1000 | 600,700,850,1000 |

Рис. 2, д – закриті нерозбірні запобіжники з наповнювачем типу ПН2 і НПН (таблиця 3) – найрозповсюдженіші запобіжники в силових мережах напругою до 660 В змінного струму частотою 50 Гц і до 220 В постійного струму. В них плавкі вставки розміщені в герметично закритих фарфорових прямокутних чотиригранниках, заповнених кварцовим м'якозернистим піском. Пісок забезпечує швидке і безшумне зникнення дуги, що виникає у разі перегорання металевої вставки.

Таблиця 3 – Номинальні дані запобіжників типу НПН і ПН2

| Тип запобіжника | Номинальний струм, А | |
|-----------------|----------------------|------------------------|
| | запобіжника | плавких вставок |
| НПН 15 | 15 | 6,10,15 |
| НПН 60М | 60 | 20,25,35,45,60 |
| ПН2 – 100 | 100 | 30,40,50,60,80,100 |
| ПН2 – 250 | 250 | 80,100,120,150,200,250 |
| ПН2 – 400 | 400 | 200,250,300,350,400 |
| ПН2 – 600 | 600 | 300,400,500,600 |
| ПН2 - 1000 | 1000 | 500,600,750,800,1000 |

Відомо, що ізоляція провідників може витримувати надмірне нагрівання без загоряння протягом близько 10 секунд. Звичайно, це залежить від степені перевантаження провідника: невелике навантаження – час допустимого нагріву буде більшим і, навпаки, чим більше перевантаження, тим менше часу необхідно для досягнення критичної температури ізоляції. Якщо ж надмірний нагрів буде тривати більше 10 с, то ізоляція провідника самозаймається, внаслідок чого, можливе виникнення пожежі в електроустановці.

Відповідальна роль плавких запобіжників в захисті електрообладнання вимагає пильної уваги. Установка запобіжників зі збільшеними струмами номінальних вставок, або так званих «жучків» – некаліброваних вставок неминуче призводить до перегрівання провідників, і як наслідок, до їх псування або займання з серйозними наслідками. З огляду на довільне підсилення перерізу плавких вставок категорично НЕПРИПУСТИМО!

Розрахунок захисту електроприводів плавкими запобіжниками

На ділянці мережі, де передбачено встановлення запобіжників, за відомими величинами навантажень (потужностей) розраховують робочі (номінальні) $I_{роб.}(I_{ном})$ і максимальні струми $I_{макс}$. Під час розрахунків треба мати на увазі, що для вибухонебезпечних зон (ВНЗ):

$$I_{роб.} = 1,25I_{ном};$$

За відомими даними робочих та максимальних струмів визначають номінальний струм плавкої вставки $I_{ном.вст.}$ запобіжника за умови:

$$I_{ном.вст.} \geq I_{роб.макс}.$$

Номінальний струм плавкої вставки, що захищає відгалуження до асинхронного двигуна від короткого замикання, обирають за формулою:

$$I_{ном.вст.} \geq \frac{I_{макс}}{\alpha} = \frac{I_{пуск}}{\alpha}; \quad (1.2)$$

де $I_{макс}$ – максимальний або пусковий струм асинхронного двигуна

$$I_{макс} = I_{пуск} = I_{ном} \cdot \kappa_i,$$

де κ_i – кратність пускового струму асинхронного двигуна, визначають за його паспортними даними (зазвичай $\kappa_i = (5 - 6)I_{ном}$).

α – коефіцієнт, що гарантує, що запобіжник не спрацює за умови протікання пускового струму $(1,5 \div 5)с$.

Величина коефіцієнта α залежить від типу запобіжника, що використовують та умов пуску асинхронного двигуна.

Для безінерційних запобіжників типу ПН-2, НПН (див. табл.1.3) і нормальних умовах пуску коефіцієнт α приймають рівним 2,5, а за важких умов пуску (наприклад, з навантаженням на валу) – 1,6.

Для малоінерційних запобіжників типу ПР2 (див. табл.1.2) і нормальних режимах пуску коефіцієнт α дорівнює 3, а за важких умов пуску – 2.

Якщо в мережі, що розраховують, ввімкнута група двигунів, яка складається з n двигунів, то максимальний струм визначають за формулою:

$$I_{\text{макс.п.}} = I_{\text{п.макс}} + \kappa_0 \sum_1^{n-1} I_{\text{ном}}, \quad (1.3)$$

де $I_{\text{п.макс.}}$ – пусковий струм найбільшого за потужністю двигуна цієї групи;

κ_0 – коефіцієнт одночасності, що враховує неодноразовість роботи споживачів і різний ступень їх завантаження.

$\sum_1^{n-1} I_{\text{ном}}$ – сума номінальних струмів споживачів цієї групи, що приєднані до мережі, без урахування струму двигуна, який має найбільший пусковий струм.

За даними розрахунків за таблицями 1.1, 1.2, 1.3 обирають тип запобіжника і номінальні струми плавких вставок з найближчими до розрахункових стандартними значеннями.

Розрахована та підібрана таким чином плавка вставка не захищає переріз проводу відгалуження від перевантаження, але необхідно дотримуватися співвідношення

$$I_{\text{ном.вст.}} \leq 3I_{\text{доп.}}, \quad (1.4)$$

де $I_{\text{доп.}}$ – довготривалий допустимий струм для такого перерізу провідника, що живить навантаження, визначають за розділом 1.3 Правил улаштування електроустановок

Якщо нерівність (1.4) недотримана, то необхідно збільшити переріз провідника до необхідного значення, водночас струм плавкої вставки залишається незмінним.

3. Програма роботи

1. Зняти захисну характеристику запобіжника.
2. Визначити струм плавлення плавкої вставки запобіжника.
3. Побудувати графік залежності часу спрацювання плавкої вставки запобіжника від струму у колі.

4. Схема виконання досліджень

Схема утримує:

| | | | |
|----|-----------------------|--------|------------------------------------|
| TV | трансформатор напруги | КТ | реле часу |
| TA | трансформатор струму | КК | реле електротеплове |
| A | амперметр | FU | запобіжник |
| SF | автоматичний вимикач | Л1, Л2 | затискувачі лінії |
| КА | реле струму | В1, В2 | затискувачі вимірювального приладу |

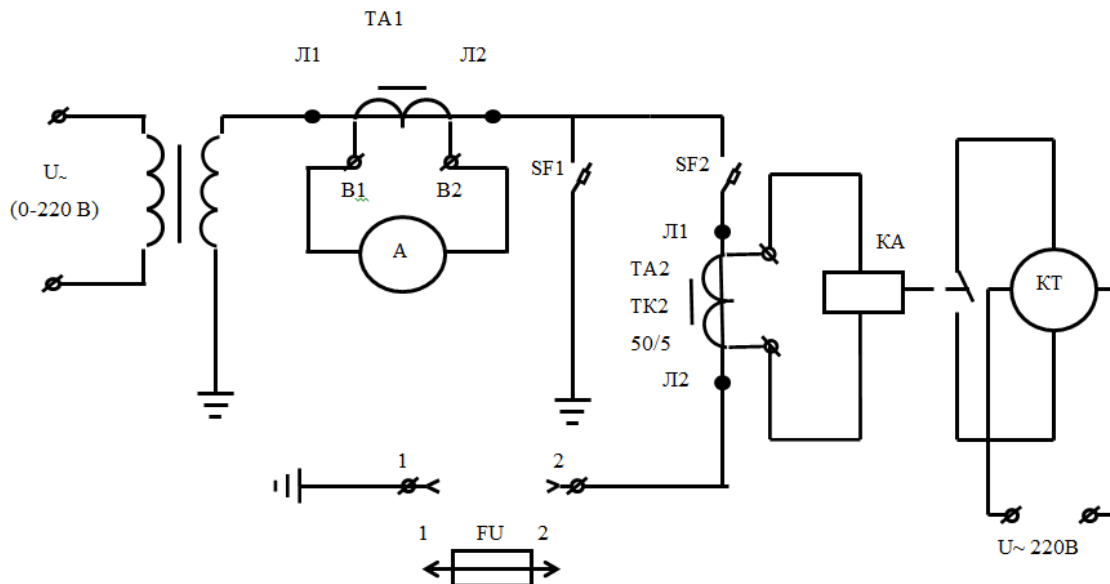


Рисунок 3 – Схема виконання дослідження

5. Порядок виконання роботи

5.1. Методика випробувань

В якості дослідного використовуємо запобіжник типу ПР-2.

Методика лабораторного випробування плавких вставок запобіжників полягає в наступному. Беруть декілька (6...10) штук мідних дротів однакового діаметру. Заміряють діаметр однієї з них. Вмикають один дріт в електроустановку для випробування плавких вставок і пропускають по колу струм різної величини. Очевидно, що чим більший струм проходить по плавкій вставці, тим швидше вона перегорить. Ця залежність має непрямолінійний характер.

Найменшу силу струму, за якої плавка вставка розплавляється за 10 с, називають **струмом плавлення плавкої вставки (I_{пл})**.

Випробовуючи плавкі вставки за умови різної сили струму в колі отримують дані, які заносять в табл.5. 1.

За даними табл.5.1 будують характеристику $t_{відкл} = f(I_{пл})$.

Використовуючи криву, визначають струм плавлення на 10 секунд (умовний час).

Визначають номінальний струм плавкої вставки

$$I_{н\text{ вст}} = I_{пл} / 2,5,$$

де 2,5-коефіцієнт надійності роботи запобіжника.

5.2. Порядок випробувань

1. Замірити мікрометром діаметр мідної проволочки.
2. Закріпити запобіжник з плавкою вставкою /мідною проволочкою/ в клеммах 1-2.
3. Замкнути шунтуючий рубильник SF1.
4. Встановити повзунк ЛАТР на 0.
5. Увімкнути установку в мережу.
6. Повзунком ЛАТРа підібрати силу струму для цієї вставки.
7. Розімкнути шунтуючий рубильник SF1, замкнути рубильник SF2, проконтролювати увімкнення секундоміра. Повзунком ЛАТРа підтримувати встановлену силу струму. В момент перегорання плавкої вставки проконтролювати відімкнення секундоміра .
8. Діапазон зміни сили струму [5...10] А . Здійснити 5...6 вимірювань.
9. Результати дослідів занести до таблиці 1.4.
10. За даними дослідів побудувати залежність $t(I)$ та визначити $I_{н\text{ вст}}$.
11. Оформити звіт.

Таблиця 4 – Залежність часу спрацювання запобіжника від струму в мережі

| | | | | | | |
|-----------------------|------|--|--|--|--|--|
| S1, мм ² = | I, А | | | | | |
| | t, с | | | | | |
| S2, мм ² = | I, А | | | | | |
| | t, с | | | | | |

6. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема для виконання досліджень.
3. Заповнення табл. 1.4.
4. Графік залежності часу спрацювання плавкої вставки запобіжника від струму у колі.
5. Висновки щодо роботи.

7. Контрольні питання

1. Призначення та типи запобіжників.
2. Будова запобіжників.
3. Принцип дії запобіжників.
4. Вимоги до вибору та використання запобіжників.
5. Порядок визначення номінального струму плавкої вставки запобіжника.
6. Призначення плавких вставок запобіжників та їх конструкція.
7. Наслідки невірного вибору номінального струму плавкої вставки запобіжника.
8. Завдання працівників державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки щодо перевірки на об'єктах наявності та відповідності апаратів захисту електроустановок.

Лабораторна робота № 6

Дослідження автоматичних вимикачів

1. Мета роботи

Познайомитися з призначенням і принципом дії апаратів захисту електроустановок.

Експериментально визначити захисну характеристику автоматичного вимикача.

2. Методичні вказівки та пояснення до роботи

Автоматичними вимикачами, або автоматами, називають комутаційні двопозиційні апарати, призначені для вмикання і вимикання електроустановок низької напруги постійного і змінного струму.

Контакти автоматичних вимикачів замикають за допомогою ручного або механічного привода. Автоматичне розмикання контактів відбувається у випадку відповідної зміни стану кола, пов'язаної з порушенням нормальної роботи останнього (коротке замикання, значне перевищення струму навантаження, зникнення або недопустиме зниження напруги мережі живлення, зміна напрямку постійного струму тощо). Водночас спрацьовує розчіплювач, обладнаний електромагнітним або тепловим реле. У нормальних умовах роботи кола автомати застосовують у випадках нечастих вмикань (не більше декількох разів на добу), оскільки їх контакти нерозраховані на постійні вмикання і вимикання.

Автомати займають проміжне положення між апаратами ручного і автоматичного управління. Сучасні автомати поєднують функції комутаційного і захисного характеру, їх застосовують для установки на розподільчих щитах для управління електродвигунами, замінюючи рубильники і плавкі запобіжники. Залежно від призначення автомати виготовляють одно-, дво- або триполюсними.

На рис. 1 наведена конструктивна схема автоматичного вимикача з електромагнітним розчіплювачем

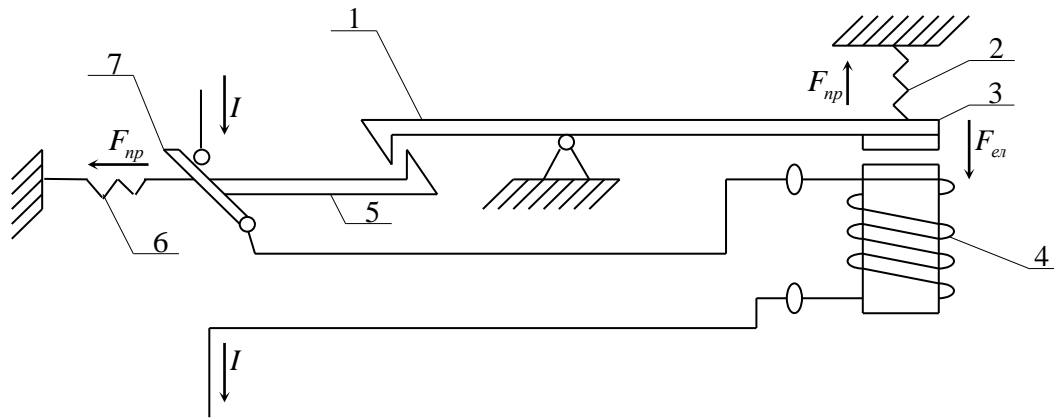


Рисунок 1 – Конструктивна схема автоматичного вимикача з електромагнітним розчіплювачем

Коли рукоятку автомата повертають у положення «увімкнено» зводяться його пружини 2 і 6 та механізм вільного розчеплення. Цей механізм складається із важелів і тяг, має досить складну конструкцію і на рис. 1 показаний умовно. Завдяки зусиллю F_{np} , що створені пружиною 2, автомат утримують у ввімкненому стані засувкою 1. Струм захисної електричної мережі, протікаючи по обмотці електромагніта 4, утворює зусилля F_{el} , яке намагається притягнути якір 3 до електромагніта. Якщо струм в обмотці електромагніта досягне значення, за якого зусилля F_{el} стане більше сили F_{np} , то якір 3 притягнеться до електромагніту і перевірить засувку і таким чином звільнить важіль 5. Під дією пружини 6 відбудеться розімкнення силових контактів 7.

Пристрій, що діє на засувку автомата (на рис. 1 – це електромагніт 4), називають розчіплювачем. За принципом дії або способом виявлення аварійної ситуації, за якої автомат повинен бути вимкнутим, розрізняють розчіплювачі електромагнітні, теплові, нульові, незалежні, мінімальної напруги, напівпровідникові та інші. Залежно від виконання автомат може бути укомплектованим одним або декількома типами розчіплювачів.

Електромагнітні розчіплювачі використовують для швидкого, практично миттєвого відключення автомата за появою значних струмів (струмів КЗ) в колі, яке захищає автомат. На заводі під час виготовлення автомата його налагоджують на відповідний струм спрацювання, який в умовах експлуатації регулюванню не підлягає.

Для виконання захисту від перевантажень найчастіше використовують теплові розчіплювачі. Основним елементом теплового розчіплювача є біметалева пластина, виготовлена із пластинок двох металів, які мають різні температурні коефіцієнти розширення. Зварюванням або гарячою прокаткою пластинки жорстко скріплені між собою. Під час нагрівання біметалева пластина

згинається. Якщо за такої умови один кінець пластини буде закріпленим, то другий – вільний, – буде переміщуватися у процесі згинання пластини й тому він здатний розвивати деяку силу. Це явище використовують в автоматах для впливу на механізм вільного розчеплення.

Згинання біметалевої пластини від нагрівання її струмом використовують і в теплових реле, вбудованих в магнітні пускачі для захисту електродвигунів від перевантаження, тільки в теплових реле вільний кінець пластини впливає на контактну систему. Нагрівання пластини відбувається або за рахунок теплоти, що виділяється пропусканням по ній струму навантаження або від спеціального нагрівача, по якому протікає струм або за рахунок комбінації обох способів нагрівання.

Залежність часу спрацювання теплового розчіплювача від величини струму має такий же вигляд, як і для запобіжників. Номінальний струм теплового розчіплювача $I_{н.т}$ може протікати в електричному колі, що захищене, як завгодно довго без його спрацювання. Розчіплювач спрацює за струму $I_{спр.т} = (1,5...1,35)I_{н.т}$ також за струмів більших, ніж $I_{спр.т}$.

На час спрацювання теплових розчіплювачів більшою мірою, ніж під час спрацювання запобіжників, впливають зовнішні фактори, переважно температура навколишнього середовища. Тому для коректного захисту від перевантажень теплові розчіплювачі або теплові реле (тобто автомати або магнітні пускачі) доцільно розміщувати в тому ж приміщенні, де знаходиться об'єкт, що підлягає захисту. З тієї ж причини автомати і магнітні пускачі з тепловим захистом не можна розміщувати поблизу джерел тепла.

Слід відмітити, що відповідно до принципу роботи розчіплювачі з біметалевою пластиною мають досить велику теплову інерційність, що не дозволяє їм забезпечити своєчасне, тобто досить швидке, відключення струмів КЗ. У зв'язку з цим теплові розчіплювачі в автоматах, як правило, використовують сумісно з електромагнітними. Перші здійснюють захист від перевантажень, другі – від струмів КЗ.

Деякі версії автоматів, окрім електромагнітних і теплових, містять незалежний розчіплювач мінімальної напруги. Незалежний електромагнітний розчіплювач призначений для дистанційного відключення автомата. Розчіплювач мінімальної напруги є також електромагнітним і повинен вимикати автомат у разі зникнення напруги живлення або зниження напруги нижче напруги спрацювання. Окрім того, мінімальні розчіплювачі запобігають роботі асинхронних двигунів у разі занадто низької напруги. Справа в тому,

що обертовий момент, який розвиває асинхронний двигун, знаходиться в квадратній залежності від прикладеної напруги.

Так наприклад, якщо напруга живлення асинхронного двигуна знизилася на 30 %, тобто до затискачів асинхронного двигуна прикладено 70 % від номінальної напруги або $0,70U_n$, то двигун буде розвивати обертальний момент на валу:

$M=(0.7)^2U_n = 0.49 U_n$ – тобто обертальний момент знизиться наполовину, і якщо в такому разі до двигуна приєднане номінальне навантаження, а він розвиває лише половину необхідного моменту, в такій ситуації він загальмується, перейде в режим «перевертання» (режим пуску), який буде для двигуна аварійним, і якщо апарати захисту не відключать двигун від мережі живлення, то обмотки двигуна вийдуть із ладу (перегорять).

Промисловість виробляє велику кількість різноманітних автоматів (їх назви можна знайти в електротехнічних довідниках).

Теплові струмові реле

Теплові струмові реле призначені для захисту асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором від перевантажень недопустимої тривалості. Це комплектні вироби, які вбудовують в електромагнітні пускачі і комплектні пристрої керування електроприводами. Теплові реле не захищають від струмів короткого замикання і самі потребують захисту від наскрізних струмів короткого замикання.

На рис. 2 приведена схема теплового реле. На схемі:

1 – нагрівач; 2 – біметалева пластина; 3 – регулювальний гвинт; 4 – засувка; 5 – важіль; 6 – пружина; 7 – кнопка повернення; 8 – рухомий контакт; 9 – нерухомий контакт; 10 – вивід нагрівача.

Як видно із рис. 2 теплове реле складається із чотирьох основних елементів: нагрівача 1, що вмикають послідовно в коло, що захищене від перевантаження; біметалевої пластини 2 із двох спресованих металевих пластинок з різними коефіцієнтами теплового розширення; системи важелів і пружин 3–7, а також контактів 8 і 9.

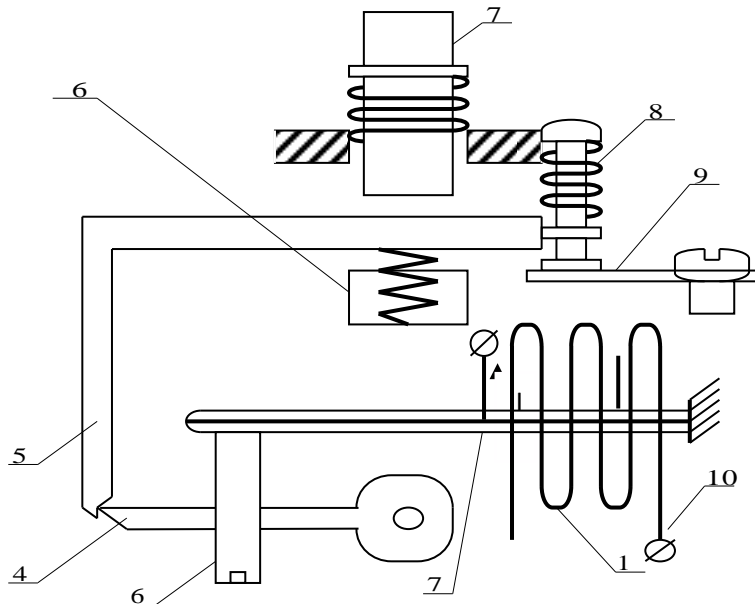


Рисунок 2 – Схема теплового реле

Коли крізь нагрівальний елемент 1 проходить струм, що перевищує номінальне значення струму електродвигуна, виділяється така кількість теплоти, що незакріплений (на рисунку лівий) кінець біметалевої пластини 2 згинається в бік металу з меншим коефіцієнтом лінійного розширення (тобто опускається), натискає на регульовальний гвинт 3 і виводить засувку 4 із зачеплення. В цей момент під дією пружини 6 верхній кінець важеля 5 підніметься, розімкне контакти 8 і 9 і розірве коло управління магнітного пускача. Кнопку 7 використовують для ручного повернення важеля 5 в початковий стан після спрацювання реле. Ця кнопка знаходиться назовні кришки (оболонки) магнітного пускача.

Зважаючи на вищесказане, робота теплового реле заснована на згинанні біметалевої пластини від тепла, яке виділяється в нагрівальному елементі.

Але ця пластинка буде також згинатися під дією тепла навколишнього середовища. Таким чином, у спекотні дні реле буде спрацьовувати швидше, ніж у холодні. Для усунення цього явища в реле застосовують температурну компенсацію, суть якої полягає в тому, що згинанню біметалевої пластинки від зміни температури навколишнього повітря відповідає протилежне за напрямком згинання пластинки компенсатора. Пластинка компенсатора також є біметалевою пластинкою, але із зворотним по відношенню до основної пластинки згинанням.

Електротеплові реле серії ТРН призначені для захисту трифазних електродвигунів з короткозамкненим ротором від

тривалих перевантажень, а також від перевантажень, що виникають за умови обриву однієї з фаз.

Вони доступні для монтажу на металевих та ізоляційних панелях, рейках комплектних пристроїв серії ПМА.

Триполюсна версія реле, застосування незмінюваних нагрівальних елементів і прискорене спрацювання у разі обриву фази підвищують надійність захисту електродвигунів порівняно з однополюсними або двополюсними версіями реле.

Електротеплові реле обирають таким чином, щоб максимальний струм довготривалого режиму реле з таким тепловим елементом був не меншим номінального струму двигуна, що підлягає захисту, струм уставки реле дорівнював номінальному струму двигуна, що підлягає захисту, а запас регулювання струму уставки на шкалі реле повинен бути невеликим, особливо в бік збільшення, оскільки за великого запасу регулювання в бік збільшення можливе загроблення захисту, коли реле не буде працювати.

Розрахунок захисту автоматичними вимикачами

У процесі вибору автоматичних вимикачів для захисту електроустановок мережі живлення від коротких замикань і перевантажень необхідно дотримати ряд вимог:

1. Номінальна напруга автоматичного вимикача не повинна бути нижче номінальної напруги мережі живлення $U_{ном}$, тобто:

$$U_{авт.вим.} \geq U_{ном.} \quad (2.1)$$

2. За своєю вимикаючою здатністю контактна система вимикача повинна бути спроможною витримати максимальні струми короткого замикання, які можуть виникнути на ділянці, що підлягає захисту. Цю вимогу для освітлювальних і цехових силових мереж напругою до 1000 В зазвичай виконують, якщо $I_{ном}$ автоматичного вимикача більша номінального струму навантаження.

$$I_{авт.вим.} > I_{ном.нав.} \quad (2.2)$$

3. Робочий максимальний струм навантаження $I_{роб.макс}$ не повинен перевищувати номінальний струм теплового розчіплювача $I_{н.т.розч.}$, а максимальний допустимий струм для провідників, що підлягають захисту $I_{макс}$ повинен бути меншим ніж струм спрацювання електромагнітного розчіплювача $I_{ем}$:

$$I_{н.тепл.} \geq K_з \cdot I_{роб.макс} \quad (2.3)$$

$$I_{ем} \geq K_н \cdot I_{макс} \quad (2.4)$$

де $K_з$ – коефіцієнт запасу, рівний 1,25;

$K_н$ – коефіцієнт надійності, приймають рівним 1,25.

В більшості випадків електроустановки підлягають захисту як від струмів короткого замикання, так і від струмів перевантаження. Для цього співвідношення між довготривалим допустимим струмом навантаження $I_{дон}$ проводів мережі живлення і струмом вставки апарата захисту має відповідати наступним умовам:

для автоматичних вимикачів, що мають тільки елеманітні розчіплювачі

$$I_{дон} / I_{ем} \geq 1,25 \quad (2.5)$$

для автоматичних вимикачів, що мають теплові розчіплювачі

$$I_{дон} / I_{н.т} \geq 1 \quad (2.6)$$

Якщо проводка захищена тільки від КЗ, то повинні бути дотримані наступні співвідношення:

для автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітні розчіплювачі

$$I_{ем} / I_{дон} \leq 4,5, \quad (2.7)$$

для вимикачів із регульованими тепловими розчіплювачами

$$I_{н.т} / I_{дон} \leq 1,25, \quad (2.8)$$

для автоматичних вимикачів з тепловими розчіплювачами, що не мають пристроїв регулювання струмів спрацювання

$$I_{н.т} / I_{дон} \leq 1,0. \quad (2.9)$$

Після вибору перерізу жил провідників необхідно перевірити чутливість захисту і її спроможність захищати цю мережу від недопустимого перегрівання у разі перевантажень і КЗ. Для автоматичних вимикачів з тепловими розчіплювачами чутливість захисту перевіряють за співвідношенням

$$I_{к.з.} / I_{н.т} \geq 3 \quad (2.10)$$

Для автоматичних вимикачів із електромагнітними розчіплювачами і номінальним струмом до 100 А цю перевірку виконують за формулою.

$$I_{к.з.} / I_{ем} \geq 1,4 \quad (2.11)$$

де $I_{к.з.}$ – струм короткого замикання в кінці ділянки, яку захищає цей вимикач.

Приймають такий вид КЗ для визначення струму $I_{к.з.}$, за якого цей струм має найменше значення, тобто найчастіше це струм однофазного короткого замикання.

Розрахунки показують, що з достатньою для практики точністю $I_{к.з.}$ приймають (10-11) кратним значенням по відношенню до номінального струму навантаження ділянки мережі, що підлягає захисту, тобто

$$I_{к.з.} \geq (10-11)I_{ном.} \quad (2.12)$$

3. Програма роботи

1. Отримати захисну характеристику автоматичного вимикача.
2. Побудувати графік зовнішньої характеристики автоматичного вимикача.

4. Схема виконання досліджень

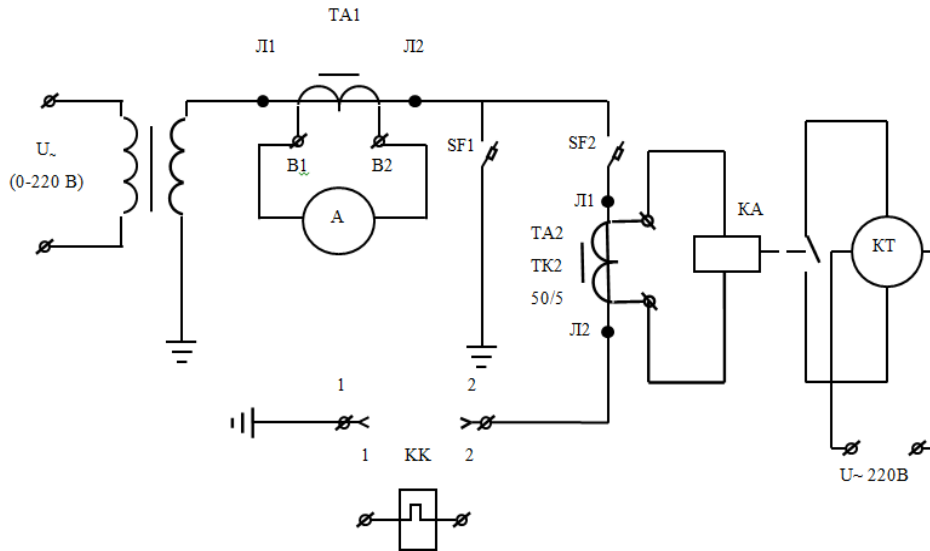


Рисунок 3 – Схема виконання дослідження

Схема утримує:

| | | | |
|----|-----------------------|--------|------------------------------------|
| TV | трансформатор напруги | КТ | реле часу |
| ТА | трансформатор струму | КК | реле електротеплове |
| А | амперметр | FU | запобіжник |
| SF | автоматичний вимикач | Л1, Л2 | затискувачі лінії |
| КА | реле струму | В1, В2 | затискувачі вимірювального приладу |

5. Порядок виконання роботи

1. Приєднати автоматичний вимикач до клем 1-2.
2. Замкнути шунтуючий рубильник SF1.
3. Встановити повзунк ЛАТР на 0.
4. Увімкнути установку в мережу
5. Повзунком ЛАТРа підібрати силу струму.
6. Розімкнути шунтуючий рубильник SF1, замкнути рубильник SF2, проконтролювати увімкнення секундоміра. Повзунком ЛАТРа підтримувати встановлену силу струму. В момент спрацювання автоматичного вимикача проконтролювати вимкнення секундоміра.

7. Діапазон зміни сили струму [1...10] А. Виконати 5...6 вимірювань.

8. Результати дослідів занести до таблиці 1.

9. Згідно з даними дослідів побудувати залежність $t(I)$.

10. Оформити звіт.

Таблиця 1 – Залежність часу спрацювання автоматичного вимикача від струму мережі

| Дослід | №1 | №2 | №3 | №4 | №5 | №6 |
|--------|----|----|----|----|----|----|
| I, А | | | | | | |
| t, с | | | | | | |

6. Зміст звіту

1. Мета роботи.

2. Схема для виконання досліджень.

3. Заповнена табл. 2.1.

4. Захисна характеристика автоматичного вимикача.

5. Висновки з роботи.

7. Контрольні питання

1. Призначення, основні елементи та принцип роботи автоматичних вимикачів.

2. Призначення та будова електромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача.

3. Принцип дії автоматичного вимикача з електромагнітним розчеплювачем.

4. Призначення та будова теплового розчеплювача автоматичного вимикача.

5. Принципи дії автоматичного вимикача з тепловим розчеплювачем.

6. Вимоги до вибору автоматичних вимикачів.

7. Порядок визначення номінального струму автоматичних вимикачів з електромагнітним і тепловим розчеплювачами.

8. Протипожежні заходи під час улаштування та експлуатації автоматичних вимикачів.

Лабораторна робота № 7

Дослідження температурних режимів проводів

1. Мета роботи

Навчитися отримувати температурні характеристики проводів в залежності від навантаження (струму) $\theta(I)$. Одержати наочне уявлення про температуру і нагрівання та плавлення провідників без ізоляції та з ізоляцією.

2. Методичні вказівки та пояснення до роботи

2.1. Коротко про провідники

Провідником називають один або декілька голих або ізольованих дротів, що використовують для передачі електроенергії.

Провідники в залежності від конструктивного виконання поділяються на кабелі, проводи й шнури.

Кабель (від голландського kabel – канат, трос) – одна або більше ізольованих жил (провідників), укладених, зазвичай, у металеву або неметалеву оболонку, що може бути покрита в залежності від умов прокладання і експлуатації відповідним захисним покриттям, що може містити броню.

Провід – одна неізольована або одна і більше ізольованих жил, поверх яких, в залежності від умов прокладання і експлуатації може бути неметалева оболонка, обмотка або обплетення волокнистими матеріалами або дротом.

Шнур – дві або більше ізольованих гнучких або особливо гнучких жил перерізом до 1,5 мм², скручених або укладених паралельно, поверх яких в залежності від умов експлуатації можуть бути накладені неметалева оболонка і захисні покриття.

Найчастіше струмопровідні жили в провідниках бувають мідні і алюмінієві. Мідні жили мають значно кращі якісні характеристики, тому витримують в декілька разів більшу кількість перегинань під час здійснення монтажних робіт. Електричний опір міді у 1,5 рази менше, ніж алюмінію. Тому замість алюмінієвого провідника, наприклад, перерізом 2,5 мм² можна використати мідний, перерізом 1,5 мм².

За конструкцією струмопровідні жили бувають однодротяні і багатодротяні, а в залежності від кількості жил – одножильні, дво-, три- і багатожильні.

Жили провідників мають строго стандартні перерізи. Найпоширенішими стандартними перерізами основних жил провідників є: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 185; 240; 300; 400 мм².

2.2. Теплова дія електричного струму

Одним із видів перетворення електричної енергії або енергії електричного струму в інші види енергії є її перехід в теплову енергію. Це перетворення електричної енергії в теплову або «теплова дія струму» відкрито англійським фізиком Джоулем. Сутність теплової дії струму і кількісна сторона явища сформовані у відомому законі Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t, \text{ Дж} \quad (2.1)$$

$$Q = 0.24 I^2 R t = 0.24 P t, \text{ кал.} \quad (2.2)$$

Визначення закону:

Кількість теплоти, яка виділяється у провіднику за умови проходження по ньому струму, пропорційна квадрату сили струму, опору та часу дії струму.

У формулах 4.1 і 4.2:

Q – кількість теплоти в Джоулях (Дж) або в калоріях (кал).

Джоуль – універсальна одиниця вимірювання роботи, енергії і кількості теплоти. Кратні одиниці кількості теплоти: кДж, МДж, ГДж, ТДж.

Джоуль визначають як роботу, що утворена силою в 1 Ньютон (N) під час переміщення точки прикладання цієї сили на 1 м за її направленням.

В розрахунках необхідно дотримуватись системи одиниць:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$1 \text{ кал} = 4.1868 \text{ Дж}; \quad ;$$

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м/с};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 864 \text{ ккал.}$$

Закон Джоуля-Ленца має величезне значення для практичного використання тієї категорії працівників, що відповідають за пожежний стан як у виробництві, так і в побуті.

2.3. Основні причини виникнення пожеж та аварій в електроустановках

За даними статистики, електропроводки – це найбільш пожежонебезпечний вид електроустановок, так як 40 % пожеж від

електроустановок припадають на силові та освітлювальні електричні мережі.

Термін «пожежна небезпека» електропроводок характеризують трьома основними проявами:

– здатність самої електропроводки за певних аварійних ситуацій (коротке замикання, перевантаження тощо) стати джерелом пожежі (займання особистої ізоляції з подальшим загоранням підтримуючих конструктивних елементів та оточуючих: проводку, горючих матеріалів і речовин);

– здатність ізоляції проводів розповсюджувати горіння у разі запалювання від сторонніх джерел;

– здатність утворювати в момент короткого замикання розплавлені частинки провідникових елементів, що нагріті струмом КЗ до температури більше, ніж 1000 °С, які розлітаються у різні сторони та створюють потенційні джерела запалювання.

Найбільш розповсюдженими причинами пожежної небезпеки і створення аварій електропроводок є короткі замикання і струмові перевантаження.

Короткі замикання (КЗ)

Коротким замиканням називають аварійний режим, що утворений внаслідок порушення ізоляції струмоведучих провідників.

В місці перекриття або руйнування ізоляції відбувається з'єднання провідників окремих фаз мережі між собою, з нейтральним (нульовим) проводом або із землею.

Мережу напругою 380/220 В, у якій нейтральний провід живлячого трансформатора з'єднаний із землею, називають мережею з глухим заземленням нейтралі. В ній можливі міжфазні та однофазні КЗ. До міжфазних КЗ належать замикання між всіма трьома фазами (трифазне КЗ) або будь-якими двома фазами (двофазне КЗ).

У разі порушення ізоляції між будь-якою фазою і нейтральним проводом, виникає режим однофазного КЗ.

Найчастіше відбуваються однофазні КЗ, вони складають приблизно 65 % загальної кількості замикань.

Старіння ізоляції – природний процес, що характеризується зменшенням її еластичності, електричної та механічної міцності. Наслідками цього можуть бути електричний пробій ізоляції і ушкодження електроустановки, а за наявності горючої ізоляції і пожежонебезпечного середовища – пожежа або вибух.

Вид КЗ між двома проводами показаний на рис. 1.

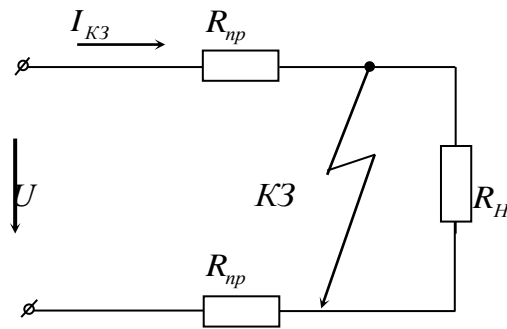


Рисунок 1 – Вид КЗ між двома проводами:

$R_{нр}$ – опір проводів від джерела живлення до навантаження;

R_H – опір навантаження (струмоприймачів);

КЗ – точка короткого замикання (з'єднання між собою двох струмонесучих проводів)

Зазвичай в електричних установках опір проводів від джерела живлення до навантаження $2R_{нр}$ не перевищує 5–10 % опору струмоприймачів. Ці співвідношення забезпечують корисне використання електричної енергії в навантаженні і зменшують марні втрати на нагрівання проводів.

Тому під час КЗ та за умови співвідношення $R_{нр} = (0,05: 0,1) R_H$ струм в колі різко зростає і може досягати сотень і тисяч ампер залежно від напруги і потужності електромережі.

Дійсно, для наведеної вище схеми струм у колі перед коротким замиканням:

$$I = \frac{U}{R_H + 2R_{нр}}; \quad (2.3)$$

а в момент виникнення короткого замикання

$$I_{К.з.} = \frac{U}{2R_{нр}} = \frac{U}{0,1R_H}. \quad (2.4)$$

Тобто за сталою напругою U він збільшується в 10 разів. Внаслідок цього різко зростає температура проводів, яка може досягати такого значення, за якого може не тільки плавиться і займатися ізоляція проводів, але і розплавитися сам провід внаслідок утворення в точці КЗ електричної дуги, а великий струм миттєво нагріває провідники по всій довжині кола від точки КЗ до джерела живлення.

За такої умови розплавлені частинки металу провідника розлітаються навколо місця КЗ. Час дії КЗ залежить від сили струму та стану мережі і може сягати від одиниць до десятків секунд.

Джерелами запалювання у разі КЗ є не тільки висока температура електричної дуги, але й бризки розплавленого металу.

Отже, від цих джерел запалювання можуть займатися горюча ізоляція та інші деталі і конструкції електроустановок, а також горюче навколишнє середовище.

Найбільш розповсюдженими видами КЗ є однофазні (між фазою та нульовим провідником, між фазою та корпусом електроустановки), двофазні (між двома фазними провідниками) та трифазні (одночасно між трьома фазними провідниками).

Повне трифазне КЗ на шинах підстанції або розподільного пристрою є найбільш катастрофічним. В такому разі виділяється така кількість теплової енергії, що струмопровідні мідні шини горять синім полум'ям, алюмінієві та залізні конструкції розплавляються з виділенням великої кількості бризків розплавленого металу. Трифазне КЗ – це жахлива і дивовижна аварія.

КЗ є найхарактернішою причиною виникнення пожеж в електроустановках і складає більше 50 відсотків.

Стан КЗ може продовжуватись до тих пір, поки електричне коло залишається замкненим. Коло може бути розірване або апаратом захисту, або самовільно, коли розплавиться якась частина проводів мережі і розірве коло. Якщо правильно вибрані апарати захисту, то коло буде розірваним за доли секунди і виникнення дуги не відбудеться.

Струмові перевантаження.

Струмовим перевантаженням або просто перевантаженням називають такий режим роботи електричних мереж чи електроустановок, за якого струм, що протікає по провідникам перевищує допустимі значення.

Розрізняють перевантаження номінальне і аварійне. Перші вимикають в процесі нормальної експлуатації електричних мереж і установок та не призводять до небезпечних наслідків. Такого виду перевантаження, наприклад, є пускові струми асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Аварійні перевантаження виникають за різних причин:

Через неправильний розрахунок і вибір допустимого перерізу струмоведучих жил проводів, тобто без урахування вимог ПБЕ глава 1.3.

Через додаткове увімкнення в мережу непередбачених проектом споживачів без збільшення перерізу жил провідників в мережі.

Неправильне виконання і вибір апаратів захисту від КЗ і перевантажень. Установка в запобіжниках некаліброваних плавких вставок, а іноді простих дротяних перемичок, що призводять до відказу захисту через появу в мережі КЗ, особливо однофазних, за яких

величина струмів ледь перевищує робочі. Довготривалі створюють небезпечні перевантаження для мережі.

Через порушення технологічних режимів роботи робочої машини, що приводиться в дію електродвигуном (заклинювання, гальмування через пошкодження підшипників, робота з перевищенням тощо).

Через неповнофазні режими роботи електродвигунів і зниження напруги мережі.

Інші непередбачені причини.

В табл. 1 наведені значення допустимих температур для деяких типів провідників.

Таблиця 1 – Допустимі температури провідників

| Вид і матеріал провідника | Довготривала допустима температура жил за нормами °C | Короткочасна допустима температура жил за умови перевантажень °C |
|---|--|--|
| Шини і голі провідники: | | |
| мідні | 70 | 125 |
| алюмінієві | 70 | 125 |
| Сталеві нез'єднані та з'єднані з апаратами | 70 | 125 |
| Кабелі з просоченою паперовою ізоляцією до 1000 В | 80 | 125 |
| Кабелі і проводи з гумовою ізоляцією: | | |
| звичайною | 55 | 100 |
| теплостійкою | 65 | 110 |
| Кабелі і проводи з полівінілхлоридною ізоляцією | 70 | 90 |
| Кабелі і проводи з поліетиленовою ізоляцією | 70 | 80 |

Теплову дію струму під час експлуатації електричного обладнання і силових мереж слід розглядати за двох умов: перша – це корисне практичне використання у сфері людської діяльності: в промисловому та сільськогосподарському виробництвах, в побуті та інших галузях господарювання; друга – некорисна, непередбачена, шкідлива, що призводить до виникнення пожежо- або вибухонебезпечної ситуації.

3. Програма роботи

1. Дослідити та побудувати в масштабі залежності температури τ від величини струму I , $[\tau(I)]$ для провідників з міді, алюмінію та ніхром (за завданням викладача).

2. Визначити температуру руйнування (плавлення) поліхлорвінілової та поліетиленової ізоляції. Отримати наочні уявлення про запах та вид оплавленої ізоляції. Навчитися відрізняти вид оплавленої ізоляції в залежності від струму та вогню.

4. Схема виконання досліджень

На рис. 4.2 наведена схема для виконання досліджень.

Схема утримує:

- вимикач SA1, за допомогою якого одночасно подається змінна напруга 220 В на ЛАТР і двигун М реле часу КТ;

- ЛАТР – лабораторний автотрансформатор для живлення первинної обмотки силового навантажувального трансформатора TV змінною напругою від 0 до 70 В;

- TV – силовий навантажувальний трансформатор, на вторинній обмотці якого утворюється струм від 5 до 20 А в залежності від величини напруги на первинній обмотці;

- ТС1 – лабораторний трансформатор струму, який дозволяє з достатньою точністю вимірювати величину струмів від 5 до 50 А;

- ТС2 – котушковий трансформатор струму ТК-50/5, на виході якого через випрямляч VD вмикають проміжкові реле напруги KL1, яке в свою чергу, комує друге проміжне реле KL2: через замикаючий контакт KL1;

- KL2 – проміжкові реле напруги (вмонтоване в реле часу КТ), яке через замикаючий контакт KL2 з'єднує виконавчий орган секундоміра С – з вже працюючим двигуном М (за замкнутого контакту KL2 відбувається відлік часу);

- SA2 – тумблер для вмикання реле часу КТ;

- SF1 – попередній автоматичний вимикач, який використовують для задавання величини початкового струму на навантаженні;

- SF2 – робочий автоматичний вимикач кола навантаження. Кожний вимикач працює самостійно. SF1 – вмикається; SF2 – вмикається;

- Ø 3,4 – затискачі, до яких приєднують провід (елемент), що досліджують;

- PA, PV – відповідно амперметр і вольтметр.

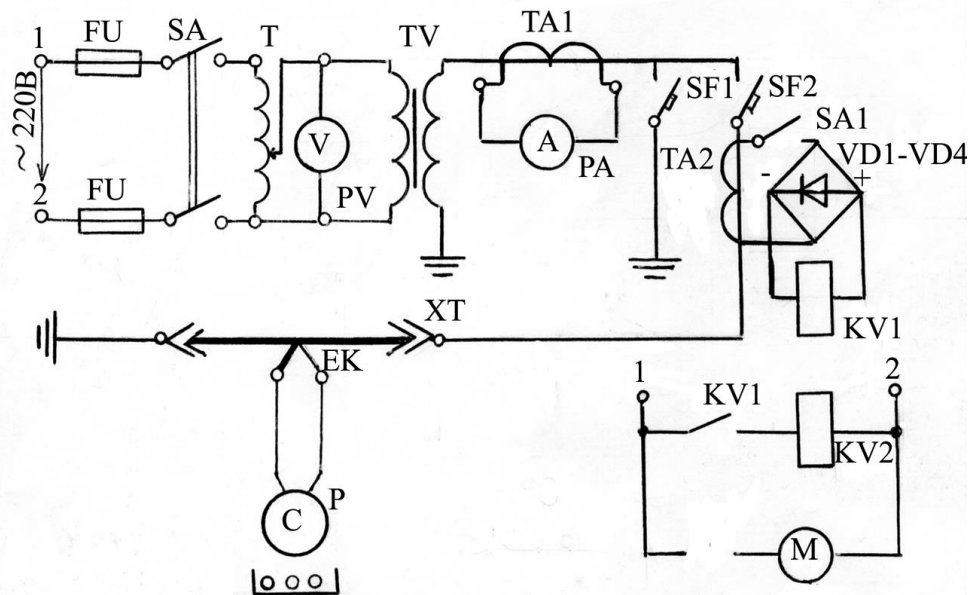


Рисунок 2 – Принципова електрична схема для виконання досліджень

5. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами і обладнанням експериментальної установки. Занести до протоколу схему для досліджень.

2. Закріпити між затискачами «3», «4» відповідний провід. До проводу приєднати термопару. За допомогою ЛАТРа послідовно задавати струми 5; 7,5; 10; 12,5; 15А і заповнити відповідними даними табл. 2. Збільшити навантаження до величини зруйнування дроту чи ізоляції. Характер зруйнування також занести до табл. 4.2.

3. За даними табл. 4.2. побудувати в масштабі на одному графіку залежності $\tau(I)$, відповідно для проводів, які були використані під час дослідю.

4. Зробити висновки щодо роботи, скласти звіт.

Таблиця 2

| Тип дроту | Значення сили струму та температури | | | | | | | Характер зруйнування (параметри) |
|-----------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|----------------------------------|
| | Струм, А | | | | | | | |
| | Температура, °С | | | | | | | |
| | Струм, А | | | | | | | |
| | Температура, °С | | | | | | | |
| | Струм, А | | | | | | | |
| | Температура, °С | | | | | | | |

6. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема для виконання досліджень.
3. Заповнення табл. 4.2.
4. Побудова в масштабі графіків $\tau(I)$.
5. Висновки за результатами роботи.

7. Контрольні запитання

1. Визначення електричного провідника, електричного провода та кабеля.
2. Основні причини пожеж в електроустановках.
3. Основні складові частини електричного провода.
4. Основні складові частини електричного кабеля.
5. Закон Джоуля-Ленца.
6. Пояснити теплову дію електричного струму.
7. Пояснити пожежну небезпеку електричних провідників.
8. Визначення короткого замикання в електроустановках.
9. Причини виникнення короткого замикання в електроустановках та їх наслідки.
10. Визначення струмового перевантаження в електроустановках.
11. Причини виникнення струмового перевантаження в електроустановках та їх наслідки.
12. Залежність температури нагрівання електричного провідника від густини струму.
13. Основні причини пошкодження ізоляції електричних проводів
14. Вплив підвищення температури електричного провідника на строк служби ізоляції.

Лабораторна робота № 8

Дослідження температурних режимів контактних з'єднань елементів електричних мереж

1. Мета роботи

Дослідити та отримати: наочне уявлення про перехідний опір в контактних з'єднаннях та температури нагрівання нещільних контактних з'єднань та холодних скруток проводів з одного та різних металів.

2. Методичні вказівки та пояснення щодо роботи

2.1. Пожежна безпека контактних з'єднань

Шкідлива та пожежонебезпечна теплова дія – це негативні, некорисні явища та ситуації, що утворюються в діючих мережах і електроустановках внаслідок порушення ізоляції їх цілісності або втрати нормального робочого стану, визначеного технологічним процесом і умовами експлуатації. В таких випадках струми в струмопровідниках можуть досягати великих критичних величин, а кількість теплоти, що виділяється, здатна утворити аварійну ситуацію і призвести до вибуху, пожежі та інших небезпечних явищ.

Під час розглядання питань пожежної безпеки електроустановок необхідно враховувати дві складові пожежі: джерела запалювання і горючої речовини. Джерелом запалювання в електроустановках є високий потенціал енергії здатний як в нормальному, так і в аварійному режимах (перевантаження, короткі замикання та інші) утворювати високотемпературні ділянки, здатні запалювати займисті ізоляції і захисну оболонку електропроводів, займисті конструктивні елементи будівель і споруд, по яких вони прокладаються (біля яких вони розташовуються). Одночасна присутність цих двох складових пожежі дозволяє з впевненістю констатувати, що будь-який електричний пристрій – це пожежонебезпечний об'єкт.

Послаблення контакту провідників зі струмом призводить до виникнення значного перехідного опору в точці контакту, за величиною більшою, ніж опір самих провідників.

За законом Джоуля-Ленца ($Q=I^2RT$) кількість теплоти, що виділяється, пропорційна опору ділянки кола. Отже, в точці великого перехідного опору, теплоти утворюється набагато більше, ніж в інших

ділянках кола. Велика кількість теплоти нагріває ізоляцію та інші конструктивні елементи мережі до температури займання і виникнення джерела запалювання. Крім того, у алюмінію більш низька межа гнучкості, і якщо алюмінієве з'єднання надмірно стягнуте болтом, то з часом вона слабшає. Такі явища не виникають з мідними провідниками.

2.2. Перехідні опори

Причиною аварійних ситуацій в електроустановках і як наслідок пожежі є *перехідні опори* в місцях з'єднання проводів, кабелів, шин, приладів керування і захисту, в ковзних контактах електричних машин тощо. Пошкодження струмоведучих частин та пожежі від великих перехідних опорів виникають не рідше, ніж від перевантажень. На виробництві вони бувають частіше, ніж в побуті через велику кількість контактних з'єднань.

Перехідним опором називають опір в місцях переходу струму із одного контакту на другий через площину (точки) їх стикання. У разі поганого контакту перехідний опір може досягати значних величин. Із формули $R = \rho \frac{l}{S}$ за $S \rightarrow 0$, $R \rightarrow \infty$, за законом Джоуля-Ленца (за незмінною величиною струму),

$$Q = I^2 R t \text{ також } \rightarrow \infty.$$

Як правило, на практиці великі перехідні опори виникають в місцях:

- з'єднання провідників із різнорідних матеріалів мідь-алюміній, алюміній-залізо – з часом алюміній здатний втрачати пружність і виникає послаблення контакту, його нагрівання, окислювання й утворення великого перехідного опору;

- холодних недбайливо виконаних скруток жил проводів в мережах, розгалужувальних коробках та інших з'єднаннях, виконаних тимчасово, а потім залишених надовго;

- ковзних з'єднань в апаратах і приладах: робочих контактах магнітних контакторів, пускачів, контролерів, теплових реле, плавких запобіжників, штепсельних розеток, патронів тощо;

Умовами, які сприяють виникненню та підтриманню великих перехідних опорів, можуть бути:

- вплив хімічно активного середовища (волога, пари кислот, дуг, підвищена температура);

- природне окислювання металів у контактах (корозія), іржа;

- втома металів у з'єднаннях, що призводить до послаблення сили взаємного притискання контактів;

- відсутність періодичних оглядів та своєчасне підтягування і зачищення контактів у з'єднаннях.

Крім цього, відбувається природне псування контактуючих поверхонь за рахунок окислювання металів (корозії), з часом з'являється втома металів у з'єднаннях, що призводить до послаблення сили взаємного притискання контактів.

Ось чому повинні чітко виконуватися попереджувально-планові ремонти і огляди електрообладнання, під час яких виконують дрібний і поточний ремонти апаратів захисту і керування та підтягування контактів у з'єднаннях.

Таким чином, для запобігання нагрівання від великих перехідних опорів та запобігання пожежі особливу увагу слід приділяти з'єднанню струмоведучих частин між собою, а також підключенню їх до клем машин і апаратів. Існує декілька способів з'єднання проводів: зварювання, паяння і механічне з'єднання. Для зручності і покращення контакту використовують затискачі і наконечники.

Зварювання – самий надійний спосіб з'єднання, який забезпечує хороший (цілісний) контакт, особливе значення цей спосіб має для сирих і особливо сирих приміщень. Незручність цього способу полягає в тому, що його неможливо використовувати у пожежо- та вибухонебезпечних зонах, за умови працюючих агрегатів.

Паяння також забезпечує досить надійний контакт, але водночас потрібне додаткове джерело теплоти (наприклад, газова пальничка) для плавлення припою.

Треба мати на увазі, що під час зварювання та паяння ізольованих проводів необхідно вжити заходи застереження, що виключають займання і пошкодження ізоляції.

Наразі найбільш розповсюджений *механічний спосіб з'єднання* проводів опресуванням за допомогою кліщів або гідропресу. Цей спосіб дозволяє виконувати роботи за наявності вибухонебезпечного середовища і не потребує джерела теплової енергії, але забезпечує досить хороший електричний контакт.

У розподільчих та інших пристроях, де використовують струмопроводи значних перерізів – шини, щільність їх з'єднання забезпечують гвинтовим способом (гвинт – шайба – гайка). Гвинтові з'єднання гарантують надійний контакт за умови з'єднання конструктивних струмоведучих елементів мідь – мідь, або алюміній – алюміній.

З'єднання мідь – алюміній небажані через різницю в їх міцності, алюміній менш тривкий і з часом контактне з'єднання погіршується, що призводить до утворення значних перехідних опорів і нагрівання

контактуючих поверхонь. Тому такі з'єднання потребують додаткового використання шайб типу «гравер» і більш досконалого і постійного нагляду і контролю.

Насамперед хочемо зазначити, що запобігання КЗ, перевантаженням та великим перехідним опорам забезпечують правильним проектуванням, якісним монтажем і особливо технічно грамотною експлуатацією електроустановок.

Основними технічними засобами запобігання аварійних режимів є захист електричних мереж і електроустановок плавкими запобіжниками, автоматичними вимикачами та іншими апаратами.

Одночасно відзначимо, що апарати захисту не можуть створити умови запобігання проявів КЗ чи перевантажень, ці пристрої призначені тільки для своєчасного вимикання аварійної ділянки електричного кола.

3. Програма роботи

1. Визначити та отримати наочне уявлення про температуру та перехідний опір холодних скруток жил дротів алюміній – алюміній, мідь – мідь, алюміній – мідь.

2. Визначити та отримати наочні уявлення про температуру та перехідний опір гвинтових з'єднань проводів.

4. Схема виконання досліджень

На рис. 1 наведена схема для виконання досліджень.

Схема утримує:

- вимикач SA1, за допомогою якого одночасно подається змінна напруга 220 В на ЛАТР і двигун М реле часу КТ;

- ЛАТР – лабораторний автотрансформатор для живлення первинної обмотки силового навантажувального трансформатора TV змінною напругою від 0 до 70 В;

- TV – силовий навантажувальний трансформатор, на вторинній обмотці якого утворюється струм від 5 до 20 А в залежності від величини напруги на первинній обмотці;

- ТС1 – лабораторний трансформатор струму типу И54, який дозволяє з достатньою точністю вимірювати величину струмів від 5 до 50 А;

- ТС2 – котушковий трансформатор струму ТК-50/5, на виході якого через випрямляч VD вмикають проміжкові реле напруги KL1, які в свою чергу комутують друге проміжкове реле KL2: через замикаючий контакт KL1;

- KL2 – проміжкові реле напруги (вмонтоване в реле часу КТ), яке через замикаючий контакт KL2 з'єднує виконавчий орган секундоміра С – з вже працюючим двигуном М (за умови замкнутого контакту KL2 відбувається відлік часу);

- SA2 – тумблер для вмикання реле часу КТ;

- SF1 – попередній автоматичний вимикач, який використовують для задання величини початкового струму на навантаженні;

- SF2 – робочий автоматичний вимикач кола навантаження. Кожний вимикач працює самостійно. SF1 – вмикається; SF2 – вмикається;

- Ø 3,4 – затискачі, до яких приєднують провід (елемент), що підлягає дослідженню;

- PA, PV – відповідно амперметр і вольтметр;

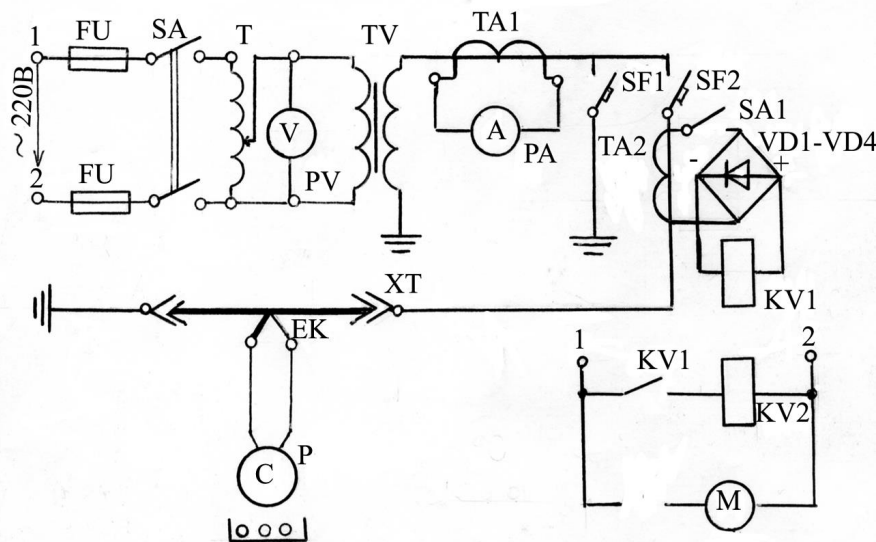


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для виконання досліджень

5. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами і обладнанням експериментальної установки. Занести до протоколу схему для досліджень.

2. За вказівкою викладача закріпити між затискачами «3» і «4» холодні скрутки жил провідників з алюмінію та міді. Задати максимальне навантаження та визначити температуру скруток та дротів. Дані занести до табл. 1. Теж саме повторити для гвинтових з'єднань.

3. За даними табл. 1 побудувати в масштабі на одному графіку залежності $Q(I)$, відповідно для проводів, які були використані під час досліду.

4. Зробити висновки щодо роботи, скласти звіт.

Таблиця 1

| Характеристика з'єднання | Струм А | | час, мин. | | Примітка |
|--------------------------|----------------|--|-----------|--|----------|
| | Q °C з'єднання | | провода | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

6. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема для виконання досліджень.
3. Заповнити табл. 5.1
4. Побудувати в масштабі графіки $\tau(I)$.
5. Висновки щодо роботи.

7. Контрольні запитання

1. Пояснити теплову дію електричного струму та сформулювати закон Джоуля–Ленца.
2. Поняття теплової рівноваги та граничної температури.
3. Визначення великих перехідних опорів в місцях.
4. Причини виникнення великих перехідних опорів в електроустановках.
5. Пожежонебезпечні наслідки виникнення великих перехідних опорів в електроустановках.
6. Основні пожежонебезпечні прояви електричного струму.

7. Пояснити місця нещільних з'єднань в електроустановках та їх пожежну небезпеку.

8. Вимоги до виконання щільних з'єднань в електроустановках.

9. Пояснити найбільш небезпечні умови виникнення великих перехідних опорів в електроустановках.

10. Протипожежні заходи щодо попередження виникнення великих перехідних опорів в електроустановках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кодекс ЦЗ України від 02.10.2012 №5403-VI.
2. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 05.04.2007 р. №877-V.
3. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
4. НАПБ А.01.001 Правила пожежної безпеки в Україні.
5. Правила улаштування електроустановок. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476.
6. Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.10.2013 р. № 756.
7. ДБН В.2.5-23 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення.
8. Спеціальна електротехніка: навчальний посібник/ О. М. Землянський, К. І. Мигаленко, П. І. Заїка, В. І. Томенко, С. С. Тарасов, О. О. Зобенко, М. Г. Томенко – Черкаси: ЧІПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2022 – 540 с.
9. ДСТУ EN 60529:2018 Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP) (EN 60529:1991; A1:2000; A2:2013; AC:1993; AC:2016, IDT; IEC 60529:1989; A1:1999; A2:2013; Cor 2:2015, IDT).
10. ДСТУ EN 60598-1:2015 Світильники. Частина 1. Загальні вимоги та випробування (EN 60598-1:2015, IDT).
11. ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT)
12. ДСТУ IEC 62305-2:2012 Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (IEC 62305-2:2010, IDT)
13. ДСТУ EN 62305-3:2021 Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя (EN 62305-3:2011, IDT; IEC 62305-3:2010, MOD).
14. ДСТУ EN 62305-4:2012 Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2011, IDT)
15. ДСТУ EN 60598-1:2017. Світильники. Частина 1. Загальні вимоги та випробування.
16. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP).
17. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Лабораторна робота № 1 Дослідження кола однофазного синусоїдального струму з послідовним з'єднанням активного та реактивних опорів | 3 |
| Лабораторна робота № 2 Дослідження трифазного кола в разі з'єднання споживачів «зіркою» | 17 |
| Лабораторна робота № 3 Вимірювання опору ізоляції електроустановок | 25 |
| Лабораторна робота № 4 Вимірювання опору захисного заземлення..... | 34 |
| Лабораторна робота № 5 Дослідження плавких запобіжників | 39 |
| Лабораторна робота № 6 Дослідження автоматичних вимикачів | 48 |
| Лабораторна робота № 7 Дослідження температурних режимів проводів..... | 57 |
| Лабораторна робота № 8 Дослідження температурних режимів контактних з'єднань елементів електричних мереж | 66 |

Навчальне видання

О. Землянський, С. Тарасов, О. Зобенко, Н. Заїка

Електротехніка та безпека електроустановок

Лабораторний практикум

Обл.-вид. арк. 2,65. Ум. друк. арк. 4,75.
Замовлення № 13.
Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.