

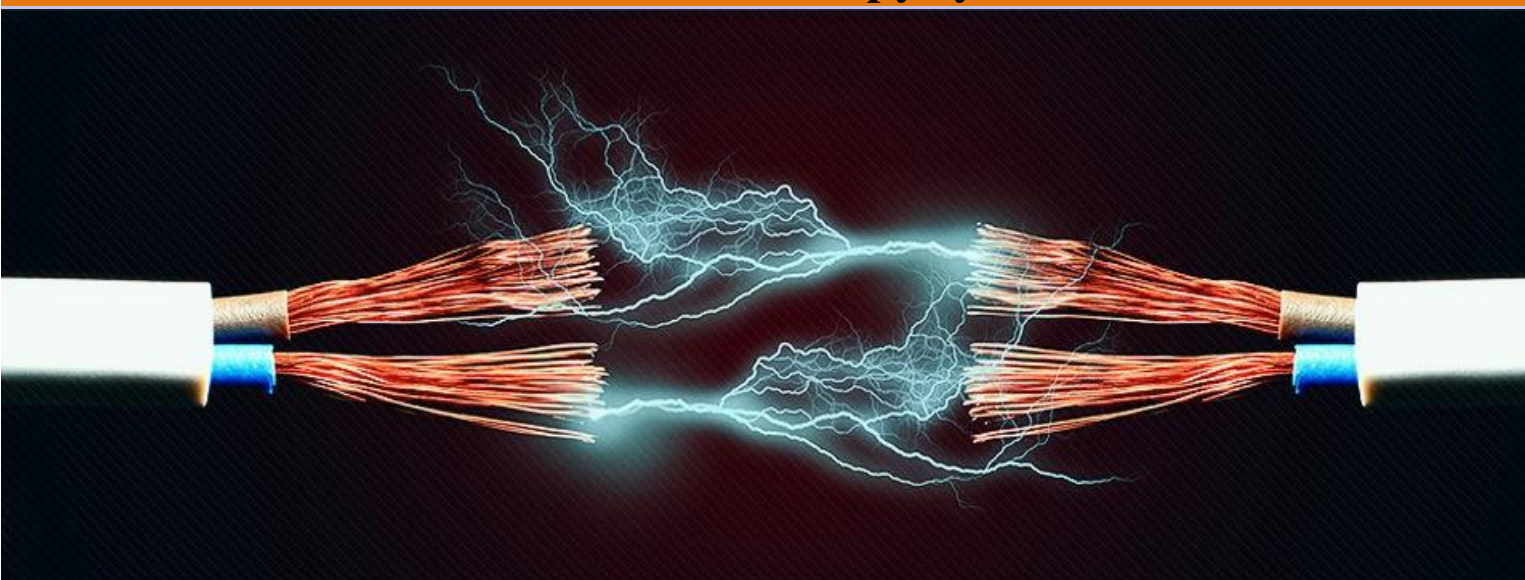


**Київський електромеханічний
фаховий коледж**

Теоретичні основи електротехніки

Методичні вказівки для самостійної роботи з теми:

«Теплова дія струму»



**Розробив викладач
Кобець Наталія Станіславівна**

Київський електромеханічний фаховий коледж

РОЗГЛЯНУТО ТА УХВАЛЕНО
на засіданні циклу електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки
„ ” _____ 2024р.
Голова циклу Ю.В.Войталюк

ЗАТВЕРДЖУЮ
заст. директора коледжу
з навчальної роботи
О.І. Марченко

МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА

з дисципліни:

Теоретичні основи електротехніки

Методичні вказівки для самостійної роботи з теми:

«Теплова дія струму»

Розробив викладач

Кобець Наталія Станіславівна

2024

Тема : Теплова дія струму;

Мета: Переконатися, що при проходженні електричного струму по провіднику електрична енергія перетворюється в теплову, що електрична енергія передається по лінії електропередачі з певною втратою напруги.

План:

1. Закон Джоуля-Ленца.
2. Розрахунок електронагрівальних приладів.
3. Розрахунок перерізу проводів за допустимим нагрівом.
4. Захист проводів від великих струмів.
5. Втрата напруги у з'єднувальних проводах.
6. Розрахунок перерізу проводів за допустимою втратою напруги при зосередженому навантаженні.
7. Розрахунок перерізу проводів по заданій втраті напруги при розподіленому навантаженні.

Теоретичні відомості :

1.Закон Джоуля - Ленца.

Електричний струм - це упорядкований рух електрично заряджених частинок, які при русі зіштовхуються з атомами і молекулами речовини, віддаючи їм частину своєї кінетичної енергії. В результаті провідник нагрівається і електрична енергія в провідниках перетворюється в теплову. Швидкість перетворення електричної енергії в теплову характеризується потужністю $P=UI=I^2R$. Таким чином, кількість електричної енергії W перетворюваної в теплову енергію за час t

$$W=Pt=I^2Rt, \quad (1.1)$$

За цією формулою визначається і кількість виділеної в провіднику теплоти, виражену в джоулях: $Q=I^2Rt$. Формула є математичним виразом закону Джоуля - Ленца: **кількість електричної енергії, яка перетворюється в провіднику в теплову енергію, пропорційна квадрату струму, електричному опору провідника і часу проходження струму.**

2. Розрахунок електронагрівальних приладів.

Теплова дія електричного струму використовується в електронагрівальних пристроях: електричних печах, сушильних шафах, електроплитах, тощо. У лампах розжарювання електричний струм розігріває нитку до такої температури, що вона починає випромінювати світло. Кількість виділеної теплоти прямо пропорційно опору провідника. Тому обмотки електронагрівальних приладів виготовляються із сплавів високого опору (ніхрому, фехралю та ін.). Чим більша густина струму j , тим вище при інших рівних умовах температура провідника. Густина струму у ніхромовому проводі для електричної печі приймають в межах $j = 25 \div 30 \text{ А/мм}^2$. Густина струму у ніхромовому проводі реостата приймається в межах

$$j = 5 \div 10 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Спрощений розрахунок електричного нагрівального прилада виконується наступним чином :

- а) по заданій потужності P і напрузі визначають струм $I = P/U$, а потім опір обмотки нагрівального пристрою $R = U/I$;
- б) по струму та допустимій густині знаходять поперечний переріз проводу обмотки $S = I/j$ та округляють до стандартного;
- в) за формулою $l = RS/\rho$ визначають довжину обмотки нагрівального прилада. Температура включених електричних нагрівальних елементів залежить від умов охолодження (наприклад, електрокип'ятильник неможна вмикати в мережу без попереднього занурення у воду).

3. Розрахунок перерізу проводів по допустимому нагріву.

Виділення теплоти в з'єднувальних проводах, обмотках електричних машин, апаратів і різних приладів - явище небажане. Воно призводить до марної втрати електричної енергії, псування ізоляції і може викликати пожежу. Тому для проводів встановлена гранична температура нагріву. Наприклад, для проводів з гумовою ізоляцією вона становить 55° С . Нові конструкції проводів і кабелів, розроблені на основі пластмас, синтетичних лаків, волокнистих та інших нових ізоляційних матеріалів, розраховані на тривалу роботу при підвищених температурах. Максимальний струм, при тривалому проходженні якого провідник не перегрівається вище установленної температури, називається гранично допустимим або номінальним струмом проводу. Значення номінальних струмів проводів з гумовою ізоляцією в залежності від їх матеріалу, способу прокладки і поперечного перерізу наведено в табл. 1.1. Допустимі струмові навантаження для проводів і кабелів інших марок вказуються в спеціальних довідниках. Для того щоб визначити переріз проводів, що живлять групу приймачів енергії, потрібно знати їх загальну потужність і напругу, за якими визначають струм проводів $I = \frac{P}{U}$. Потім за таблицями вибирають переріз проводів.

Таблиця 1.1

Переріз жили, мм ²	Мідні проводи				Алюмінієві проводи		
	Допустиме навантаження при способі прокладки, А						
	Проводи прокладені відкрито	Проводи прокладені в трубі			Проводи прокладе ні відкрито	Проводи прокладені в трубі	
		Два одно- жильні	Три одно- жильні	Один дво- жильний		Два дво- жильні	Три одно- жильні
1	15	14	13	13	-	-	-
1.5	20	17	15	16	-	-	-
2.5	27	24	22	22	21	18	17
4	36	34	31	28	28	25	25
6	46	41	37	35	35	32	28
10	70	60	55	50	50	45	42
16	90	75	70	70	70	55	55
25	125	100	90	90	95	75	70
35	150	120	110	110	115	90	85
50	190	165	150	140	145	125	115
70	240	200	185	175	185	155	145

4. Захист проводів від великих струмів.

Проводи, прокладені від джерела з ЕРС E (рис. 1.1) до споживача електричної енергії опором R можуть з'єднуватись один з другим безпосередньо (на малюнку показано пунктиром). Таке з'єднання двох проводів називають *коротким замиканням*. Причиною замикання можуть бути пошкодження ізоляції проводів, неправильні дії обслуговуючого персоналу та ін.

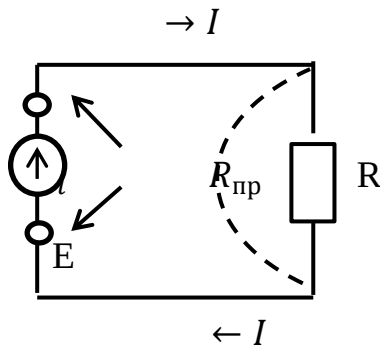


Рис 1.1

При короткому замиканні струм у колі $I = E / (R_i + R_{\text{пров}})$. Якщо внутрішній опір джерела енергії та опір проводів незначні, то струм короткого замикання у багато разів більше номінального струму провoda. При цьому в провodaх виділиться величезна кількість теплоти. В результаті може виникнути пожежа. Крім того, при короткому замиканні різко збільшується втрата напруги в мережі, що призводить до зниження напруги на всіх приймачах, включених в цю мережу паралельно. Для захисту проводів і джерела електричної енергії від наслідків короткого замикання служать плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі, теплові реле. Запобіжник являє собою легкоплавкий дріт або пластину з міді, свинцю або срібла, включену в коло послідовно з джерелом. Переріз плавкої вставки зазвичай менше перерізу, яку вона захищає. Тому при перевантаженні вона розплавиться раніше, ніж нагріються провodi, і розірве електричне коло. Опір плавкої вставки настільки малий, що її включення не впливає на струми, напруги та потужності приймачів енергії. На рис. 1.2 показаний пробковий запобіжник, що складається з пробки 1 і патрона 2. Електричний струм по дроту 3 проходить гвинтову поверхню патрона 4, пробки 5, плавку вставку 6, контакти пробки 7, патрона 8 і виходить до провodu 9. У пристроях зв'язку широко застосовується трубчатий плавкий запобіжник (рис. 1.3). Його плавка вставка 1 приєднана до металевих ковпачків 2 і поміщена в скляний балон 3. На запобіжнику вказується номінальний струм, тобто гранично допустимий струм, який тривалий час може протікати через запобіжник. При перегоранні плавкої вставки в ній не повинна з'явитись електрична дуга. Для цього довжина вставки повинна відповідати напрузі, яку вимикають, і яка також вказується на запобіжнику. Вибір типу запобіжників для захисту ділянки мережі проводиться по розрахунковому струму цієї ділянки і номінальній напрузі.

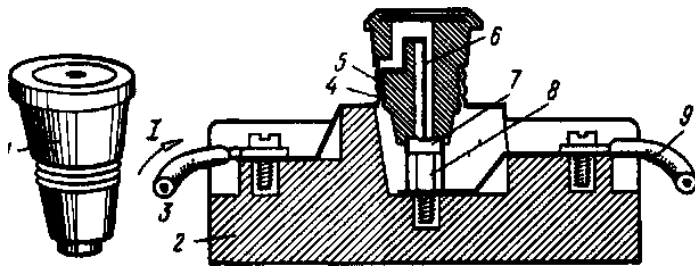


Рис. 1.2

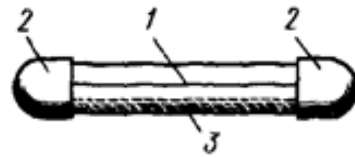


Рис. 1.3

5. Втрата напруги в з'єднувальних проводах

При розрахунку проводів за допустимою втратою напруги зазвичай задані: напруга джерела енергії і відстань від цього джерела до місця споживання енергії, сила струму (або потужність P) приймачів і напруга, необхідна для нормальної роботи приймачів (наприклад, ламп розжарювання, електродвигунів і т. д.). Завданням розрахунку проводів є вибір їх перерізу, при якому забезпечується нормальна робоча напруга (номінальна напруга) на затискачах приймачів електроенергії. На рис. 1.4 показана електрична двопровідна лінія до приймачів з опором.

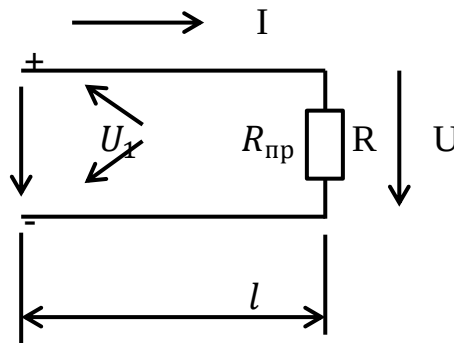


Рис. 1.4

Визначимо опір обох проводів лінії:

$$R_{\text{пр}} = \rho \frac{2l}{S} \quad \text{або} \quad R_{\text{пр}} = \frac{2l}{\gamma S} \quad (1.2)$$

Напруга джерела дорівнює напрузі приймача енергії і плюс втрата напруги в проводах ΔU , т. е. $U_1 = U + \Delta U$. Звідси напруга на приймачах енергії

$$U = U_1 - \Delta U$$

Втрату напруги в проводах визначимо за законом Ома:

$$\Delta U = IR_{\text{пр}} = \frac{I \cdot 2l}{\gamma S} \quad (1.3)$$

6. Розрахунок перерізу проводів за допустимою втратою напруги при зосередженому навантаженні.

Значне відхилення напруги на приймачі енергії від номінального значення небажано, особливо в освітлювальних установках. При пониженні напруги на 6% світловий потік лампи розжарювання зменшується на 18%, а при підвищенні на 6% тривалість горіння лампи зменшується на 50%. У електродвигунів при зменшенні напруги зменшуються частота обертання і потужність. Зниження напруги для ламп внутрішнього робочого освітлення промислових підприємств та загальногосподарських будівель, згідно з Правилами устрою електроустановок (ПУЕ), повинно бути не більше 2,5% від номінального навантаження ламп, а у ламп житлових будівель і зовнішнього освітлення - не більше 5%. Підвищення напруги в ламп також не повинно перевищувати 5%. Таким чином, з'єднувальні провідники слід розраховувати не лише на нагрів, але і на допустиму втрату напруги. Переріз проводів по заданій втраті напруги можна визначити за формулою $S = \frac{2UI}{\gamma \Delta U}$

Відносна втрата напруги (%)

$$e = \frac{\Delta U}{U} 100\% \quad (1.4) \quad \text{Звідси} \quad \Delta U = \frac{eU}{100\%}$$

Якщо помножити чисельник і знаменник останньої формули на напругу, отримаємо

$$S = \frac{200UIl}{\gamma e U^2} = \frac{200Pl}{\gamma e U^2} \quad (1.5)$$

Таким чином, переріз проводів прямо пропорційний потужності P , яку передаємо, довжині лінії і оберненопропорційний квадрату напруги приймача, втраті напруги e і питомій провідності γ . Тому передачу значних потужностей на великі відстані здійснюють при високій напрузі. Отримане значення (1.4) перевіряють на нагрівання. Втрату потужності в проводах можна виразити формулою $\Delta P = \Delta UI$. Відношення корисної потужності приймача $P = UI$ до витраченої потужності $P_1 = U_1 I_1$ називається коефіцієнтом корисної дії (ККД,) лінії

$$\eta = \frac{P}{P_1} 100\% = \frac{IU}{U_1 I_1} 100\% = \frac{U}{U_1}$$

Зазвичай $\eta = 95 \div 98 \%$.

7. Розрахунок перерізу проводів по заданій втраті напруги при розподіленому навантаженні.

Дуже часто приймачі енергії приєднуються до лінії передачі в різних точках, як показано на рис. 1.5.

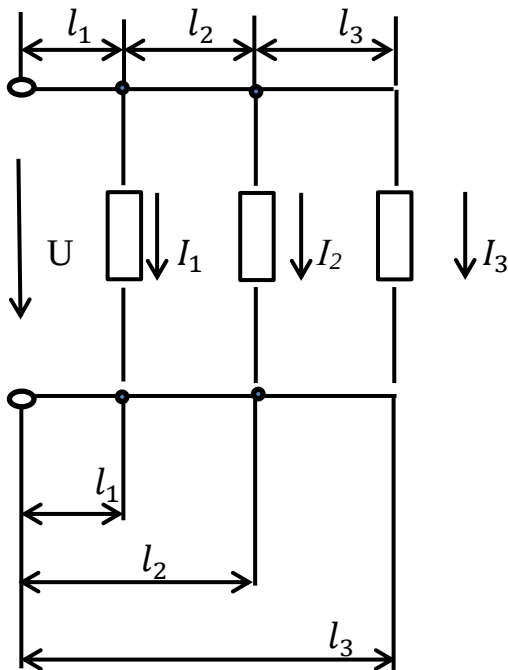


Рис. 1.5

Для віддаленого споживача втрата напруги дорівнює сумі втрат напруги на кожній ділянці мережі $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$. Втрата напруги на першій ділянці лінії $\Delta U_1 = (I_1 + I_2 + I_3)R_{\text{пр}} = (I_1 + I_2 + I_3) \frac{2l_1}{\gamma S_1}$. По другій ділянці лінії довжиною l_2 проходять струми I_2 та I_3 .

$$\text{Отже } \Delta U_2 = (I_2 + I_3)R_{\text{пр}} = (I_2 + I_3) \frac{2l_2}{\gamma S_2}$$

$$\text{Втрата напруги на третій ділянці лінії } \Delta U_3 = I_3 R_{\text{пр}} = I_3 \frac{2l_3}{\gamma S_3}$$

Якщо все коло виконаний проводом однакового перерізу $S_1 = S_2 = S_3 = S$, то втрата напруги по всій лінії:

$$\Delta U = (I_1 + I_2 + I_3) \frac{2l_1}{\gamma S} + (I_2 + I_3) \frac{2l_2}{\gamma S} + I_3 \frac{2l_3}{\gamma S} = \frac{2}{\gamma S} (I_1 l_1 + I_2 l_1 + I_3 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_2 + I_3 l_3) = \frac{2}{\gamma S} \{I_1 l_1 + I_2 (l_1 + l_2) + I_3 (l_1 + l_2 + l_3)\}.$$

Записи в звичайних дужках виражають відстань до джерела енергії до відповідного приймача: $l_1 = L_1$; $l_1 + l_2 = L_2$; $l_1 + l_2 + l_3 = L_3$.

Звідси втрата напруги

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma S} (I_1 L_1 + I_2 L_2 + I_3 L_3)$$

Переріз проводів магістралі

$$S = \frac{200}{\gamma e U^2} (P_1 L_1 + P_2 L_2 + P_3 L_3)$$

В загальному вигляді

$$S = \frac{200 \sum PL}{\gamma e U^2} \quad (1.6)$$

Приклади задач :

Задача 1. (Розрахунок електронагрівальних приладів.) Визначити довжину дроту для виготовлення спіралі електричної плитки потужністю

$P = 600$ Вт при напрузі $U = 127$ В. Густина струму прийняти рівною

$j = 25$ А/мм², а питомий електричний опір ніхрому при робочій температурі $\rho = 1.3$ Ом · мм²/м.

Розв'язок. Струм плитки $I = \frac{P}{U} = \frac{600}{127} = 4,72$ А. Опір ніхромової спіралі

$R = \frac{U}{I} = \frac{127}{4.72} = 26.8$ Ом. Переріз ніхромового дроту $S = \frac{I}{j} = \frac{4.72}{25} = 0.19$ мм².

Найближчим великим стандартним перерізом є $S = 0.196$ мм² (круглий провід діаметром $d \approx 0.5$ мм).

Довжина ніхромового дроту $l = \frac{RS}{\rho} = 26.8 \cdot 0.196 / 1.3 = 4$ м.

Задача 2. (Розрахунок перерізу проводів по допустимому нагріву.) Для живлення 40 ламп потрібно прокласти в трубі два мідних одножильних проводи.(прямий та зворотній) Визначити їх переріз, якщо напруга мережі $U = 120$ В ,а потужність кожної лампи 150 Вт.

Розв'язок. Повна потужність $P = 150 \cdot 40 = 6000$ Вт. Струм в проводах

$I = \frac{P}{U} = \frac{6000}{120} = 50$ А. По табл. 5.1 вибираємо мідний провід перерізом

$S = 10$ мм² з номінальним струмом $I_{\text{ном}} = 60$ А.

Задача 3. (Втрата напруги в з'єднувальних проводах). Потужність приймача енергії $P = 2,2$ кВт при напрузі $U = 220$ В. Електрична енергія до приймача подається двома мідними проводами, кожний з яких має довжину $l = 114$ м і переріз $S = 4$ мм². Визначити :

а) падіння напруги на проводах ΔU ; б) напругу на початку лінії передачі U_1 .

Розв'язок. а) струм приймача енергії $I = P/U = 2200/220 = 10$ А. Опір обох проводів $R_{\text{пр}} = \frac{2l}{\gamma S} = 2 \cdot \frac{114}{57 \cdot 4} = 1$ Ом. Провідність міді $\gamma = 57 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}}$. Втрата напруги на проводах $\Delta U = IR_{\text{пр}} = 10 \cdot 1 = 10$ В;

б) напруга на початку лінії $U_1 = U + \Delta U = 220 + 10 = 230$ В.

Задача 4. (Розрахунок перерізу проводів за допустимою втрати напруги при зосередженому навантаженні.) Група ламп розжарювання має загальну потужність $P = 2,85$ кВт при напрузі $U = 120$ В. Відстань від джерела живлення до приміщення, де встановлені лампи, $l = 100$ м. Визначити необхідний стандартний переріз мідних проводів, якщо допустима втрата напруги в проводах $e = 2\%$.

Розв'язок. Згідно (1.5), переріз провода

$$S = \frac{200Pl}{\gamma e U^2} = \frac{200 \cdot 2850 \cdot 100}{57 \cdot 2 \cdot 120^2} = 34,9 \text{ мм}^2$$

По табл. 1.1 знаходимо найближчий переріз $S = 35 \text{ мм}^2$. При відкритій проводці проводу цього перерізу допускають навантаження до 150 А. В цьому випадку $I = \frac{P}{U} = \frac{2850}{120} = 23,8$ А. Отже, провідники перерізом $S = 35 \text{ мм}^2$ не перегріваються вище допустимої температури, а втрата напруги на них не перевищить 2%.

Задача 5. (Розрахунок перерізу проводів по заданій втраті напруги при розподіленому навантаженні.) У колі на рис.1.5 відомі опори ділянок проводів $R_{\text{пр}1} = R_{\text{пр}2} = R_{\text{пр}3} = 0,5$ Ом та струми $I_1 = I_2 = I_3 = 2$ А. Напруга джерела $U = 130$ В. Визначте напругу на приймачах енергії U_1, U_2 та U_3 .

Розв'язок. Втрати напруги на окремих ділянках:

$$\Delta U = (I_1 + I_2 + I_3)R_{\text{пр}} = (2 + 2 + 2)0,5 = 3 \text{ В}$$

$$\Delta U_2 = (I_2 + I_3)R_{\text{пр}} = (2 + 2)0,5 = 2 \text{ В}$$

$$\Delta U_3 = I_3 R_{\text{пр}} = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ В}.$$

Напруги на приймачах енергії :

$$U_1 = U - \Delta U_1 = 130 - 3 = 127 \text{ В}$$

$$U_2 = U - (\Delta U_1 + \Delta U_2) = 130 - (3 + 2) = 125 \text{ В}$$

$$U_3 = U - (\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3) = 130 - (3 + 2 + 1) = 124 \text{ В}$$

Питання для самоперевірки :

1. Написати формули потужності;
2. Сформулюйте закон Джоуля-Ленца;
3. З яких матеріалів виготовляють обмотки електричних нагрівальних приладів?
4. Який струм називається *допустимим* або *номінальним* струмом провода?
5. Яке з'єднання проводів називається *коротке замикання*?
6. Яким елементом захищають проводи від короткого замикання ?
7. Написати формулу для визначення опору проводів ЛЕП;
8. Чому дорівнює втрата напруги в ЛЕП?
9. Що називається ККД ЛЕП?
10. Принцип передачі електричної енергії на великі відстані;
11. Формула для визначення площі перерізу проводів магістралі;

В результаті виконання самостійної роботи студент повинен набути компетенцій:

1. Закон Джоуля-Ленца;
2. Розрахувати електричний нагрівальний пристрій;
3. Застосувати міри захисту від короткого замикання;
4. Розрахувати площу перерізу проводів при зосередженому і розподіленому навантаженні;

Література :

Л.А. Частоедов , “Електротехніка”, видавництво 1989 р., §5.1, §5.2.