

Змістовий модуль 12. Передача та розподіл електроенергії
Тема 12.3. Вибір проводів і кабелів у лініях живлення споживачів

Питання теми

1. Втрати напруги в проводах і спадання напруги.
2. Втрати напруги в ланцюгах постійного та однофазного струму
3. Втрати напруги в ланцюгах трифазного струму
4. Тепловий режим проводу

1. Втрати напруги в проводах і спадання напруги

У проводах виникає спадання напруги, пропорційне струму й опору лінії. Напруга на затискачах споживача U менше напруги на затискачах джерела U_1 . Різницю

$$\Delta U = U_1 - U \quad (1)$$

називають *втратою напруги*.

Втрату напруги часто виражають у відсотках від номінального значення напруги споживача: $\frac{\Delta U}{U} \cdot 100$.

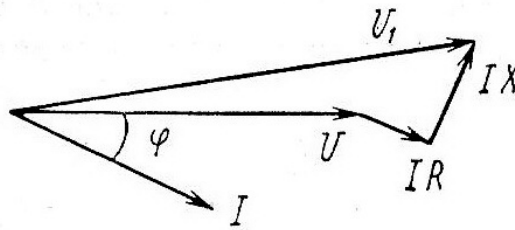
При заданій нарузі джерела від втрати напруги залежить напруга на затискачах споживача, тому значення втрати напруги строго регламентується. У лініях, по яким здійснюється живлення силового (електродвигуни, гальванічні ванни й ін.) навантаження, допускається втрата напруги, що не перевищує 6% від номінальної напруги споживача. В освітлювальних мережах допускається втрата напруги не більше 2,5%. Залежно від конкретних умов можуть бути встановлені й інші граничні значення втрати напруги.

Недотримання норм втрати напруги приводить до порушення роботи споживачів, зменшенню пускових і обертаючих моментів двигунів, зміні світлового потоку освітлювальних установок. Наприклад, при зменшенні напруги на 10% світловий потік ламп розжарювання зменшується на $\frac{1}{3}$. Незначне перевищення напруги щодо номінального приводить до різкого скорочення терміну служби ламп розжарювання.

Неважко бачити, що в ланцюгах постійного струму поняття падіння й втрати напруги збігаються: $\Delta U = IR_{\text{пр}}$, де I - струм у лінії; $R_{\text{пр}}$ - опір проводу лінії.

Трохи складніше виглядають ці залежності в ланцюгах змінного струму.

Розглянемо векторну діаграму струмів і напруг, зображену на мал. 1.



Мал. 1. Зв'язок векторів напруг на вході й виході лінії

Струм у лінії навантаження I зрушений по фазі щодо напруги U на кут φ , обумовлений коефіцієнтом потужності навантаження. Спадання напруги на активному опорі лінії IR збігається по фазі із струмом I , а спадання напруги на реактивному опорі лінії IX випереджає по фазі струм I на 90° (уважаємо, що ємнісний опір лінії менше її індуктивного опору). У цьому випадку **спаданням напруги** вважають векторну різницю напруг на початку й кінці лінії: $\overline{\Delta U} = \overline{U}_1 - \overline{U} = \overline{I}Z$, де Z - повний опір лінії. При розрахунках мереж напругою до 1000 В вважають, що реактивний опір ліній малий в порівнянні з її активним опором і їм можна зневажити. У цьому випадку

$$\Delta U \approx IR \cos \varphi, \quad (2)$$

де ΔU - втрата напруги в лінії; I - струм навантаження, що проходить у проводах лінії; $R = R_{\text{ЛП}}$ - активний опір проводів лінії; $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності споживача електроенергії.

2. Втрати напруги в ланцюгах постійного та однофазного струму

Схема ланцюга **постійного струму** зображена на мал. 2.

Виразимо втрату напруги через струм в лінії й опір проводів:

$$\Delta U = U_1 - U = IR_{\text{ЛП}}.$$

Опір проводів

$$R_{\text{ЛП}} = \frac{2l\rho}{S},$$

де l - довжина лінії, м; S - площа поперечного перерізу проводу, мм^2 ; ρ - питомий опір матеріалу проводу, $\text{Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м})$.

Для міді $\rho=0,017 \text{ Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м})$, для алюмінію $\rho=0,027 \text{ Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м})$.
Оскільки лінія двопровідна, те у формулу введений коефіцієнт 2.

Таким чином,

$$\Delta U = I \cdot \frac{2l\rho}{S},$$

Звідки $S = \frac{2Il\rho}{\Delta U}$.

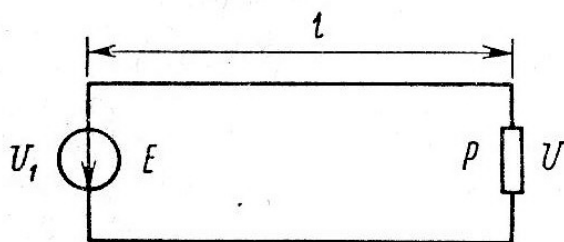
Для зручності розрахунків останню формулу перетворюють, для чого чисельник і знаменник множать на напругу U :

$$S = \frac{2IU\rho}{\Delta UU} = \frac{2IP\rho}{\Delta UU}.$$

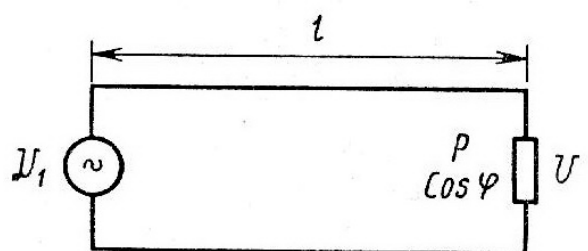
Тут втрата напруги ΔU виражена у вольтах. Крім того, у формулу вводять процентну втрату напруги $\delta U = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100$. У результаті одержують

$$S = \frac{2IP\rho}{\Delta UU} = \frac{2 \cdot 100 \cdot IP\rho}{\Delta U/U \cdot 100 \cdot U^2} = \frac{200IP\rho}{\delta UU^2}, \quad (3)$$

де S - у мм^2 ; l - у м; P - у Вт, U - в В; δU - в %.



Мал. 2. Схема мережі постійного струму



Мал. 3. Схема мережі однофазного змінного струму

На мал. 3 зображене електричне коло однофазного струму. Для неї слушне вираження

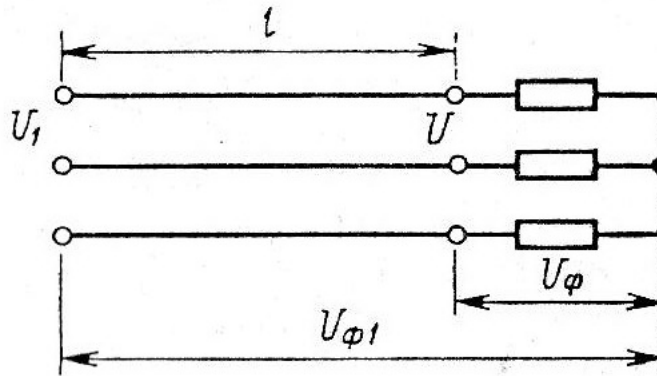
$$S = \frac{200IP\rho}{\delta UU^2}, \quad (4)$$

де $P = UI \cos \varphi$ - активна потужність споживача.

3. Втрати напруги в ланцюгах трифазного струму

На мал. 4 зображений трифазний ланцюг змінного струму із симетричним навантаженням, для якого $\Delta U_\phi = U_{\phi 1} - U_\phi = IR_1 \cos \varphi$, де I - лінійний струм;

$R_1 = \frac{\rho l}{S}$ - опір одного проводу трипровідної лінії.



Мал. 4. Схема трифазної мережі змінного струму

У довідкових таблицях звичайно вказується втрата лінійної напруги, яка в $\sqrt{3}$ разів більше втрати фазної напруги. Таким чином, $\Delta U = \sqrt{3} \Delta U_\phi = \sqrt{3} IR_1 \cos \varphi = \sqrt{3} I \frac{\rho l}{S} \cos \varphi = \frac{\delta U U}{100}$. Отже,

$$S = \frac{100 \rho l \sqrt{3} I \cos \varphi}{\delta U U}$$

Помноживши чисельник і знаменник останнього виразу на лінійну напругу U , остаточно знайдемо

$$S = \frac{100 \rho l \sqrt{3} U I \cos \varphi}{\delta U U^2} = \frac{100 \rho l P}{\delta U U^2}$$

Таким чином, для трифазної лінії живлення переріз жили

$$S = \frac{100 \rho l P}{\delta U U^2}, \quad (5)$$

де $P = UI \cos \varphi$ - активна потужність, споживана симетричному трифазним навантаженням.

4. Тепловий режим проводу

Тепловий режим проводу визначається рівнянням теплової рівноваги

$$I^2 R t = c F (\Theta - \Theta_0) t,$$

де F - площа поверхні проводу; c - коефіцієнт тепловіддачі (кількість теплоти, що виділяється в 1 с із 1 м² поверхні при різниці температур 1° С поверхні проводу й навколишнього середовища); Θ - температура проводу; Θ_0 - температура навколишнього середовища.

Ліва частина цього рівняння виражає кількість теплоти, виділюваної струмом I за час t у проводі, опір якого дорівнює R (закон Джоуля - Ленца). Права частина рівняння визначає кількість теплоти, що віддається проводом у навколишнє середовище за час t . Очевидно, що в режимі, що встановився, кількість теплоти, що виділяється, дорівнює кількості теплоти, що переходить у навколишнє середовище.

Зробивши у вихіднім рівнянні підстановки $R = \frac{\rho l}{S}$, $F = \pi d l$, $d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$, одержимо:

$$I^2 \frac{\rho l}{S} t = c \pi \sqrt{\frac{4S}{\pi}} l (\Theta - \Theta_0) t,$$

де l - довжина проводу; S - площа поперечного перерізу проводу; ρ - питомий опір проводу.

Останню рівність перетворять до виду

$$I = \sqrt{2c\sqrt{\pi} S^{\frac{3}{4}} \frac{\Theta - \Theta_0}{\rho}}.$$

Температура поверхні голого проводу не повинна перевищувати 70° С, а проводу з гумовою або полівінілхлоридною ізоляцією - 65° С. За розрахункове значення температури навколишнього середовища ухвалюють максимальну середньомісячну температуру.

Підставивши в останню формулу площу поперечного перерізу проводу, знаходять максимально припустимий струм, відповідний до заданих умов.

Формула досить громіздка, тому звичайно користуються заздалегідь складеними таблицями. Якщо обрана площа перетину проводу, то таблиця дозволяє визначити максимально припустимий струм; якщо відомий струм, що проходить по проводу, то таблиця дозволяє знайти площу перетину проводу.

Площа поперечного перерізу проводу S розраховується спочатку по припустимій втраті напруги, а потім по припустимім нагріванню. З отриманих значень S беруть більше й округляють його до найближчого стандартного значення, обумовленого ДСТУ.

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняються поняття «втрата напруги» і «спадання напруги» у ланцюгах постійного й змінного струму?
2. Як відрізняються перерізи жил проводів (кабелів) у однофазних та трифазних колах змінного струму?
3. Які два основні фактори визначають вибір проводу (кабелю) при проектуванні лінії електропередачі? Яка послідовність розрахунків?

Література

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – Глава 12, §§ 12.4 – 12.7 (с. 371 – 380).
2. Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. Глава 10, §§ 10.1 – 10.5, с. 261 – 290. §§ 11.5, 11.8 (с. 298 – 302, 308 - 310).