

4. Падение и потеря напряжения в линиях электроснабжения

В проводах возникает падение напряжения, пропорциональное току и сопротивлению линии. Напряжение на зажимах потребителя U меньше напряжения на зажимах источника U_1 . Разность

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

называют *потерей напряжения*.

Потерю напряжения часто выражают в процентах от номинального значения напряжения потребителя: $\frac{\Delta U}{U} \cdot 100$.

При заданном напряжении источника от потери напряжения зависит напряжение на зажимах потребителя, поэтому значение потери напряжения строго регламентируется. В линиях, по которым осуществляется питание силовой (электродвигатели, гальванические ванны и др.) нагрузки, допускается потеря напряжения, не превышающая 6% от номинального напряжения потребителя. В

осветительных сетях допускается потеря напряжения не более 2,5%. В зависимости от конкретных условий могут быть установлены и другие предельные значения потери напряжения.

Несоблюдение норм потери напряжения приводит к нарушению работы потребителей, уменьшению пусковых и вращающих моментов двигателей, изменению светового потока осветительных установок. Например, при уменьшении напряжения на 10% световой поток ламп накаливания уменьшается на $\frac{1}{3}$. Незначительное превышение напряжения относительно номинального приводит к резкому сокращению срока службы ламп накаливания.

Нетрудно видеть, что в цепях постоянного тока понятия падения и потери напряжения совпадают: $\Delta U = IR_{\text{лп}}$, где I - ток в линии; $R_{\text{лп}}$ - сопротивление провода линии.

Несколько сложнее выглядят эти зависимости в цепях переменного тока.

Рассмотрим векторную диаграмму токов и напряжений, изображенную на рис. 12.4.

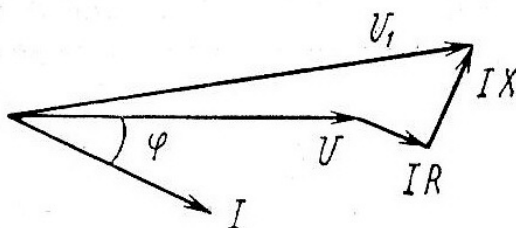


Рис. 12.4. Связь векторов напряжений на входе и выходе линии

Проходящий по линии ток нагрузки I сдвинут по фазе относительно напряжения U на угол φ , определяемый коэффициентом мощности нагрузки. Падение напряжения на активном сопротивлении линии IR совпадает по фазе с током I , а падение напряжения на реактивном сопротивлении линии IX опережает по фазе ток I на 90° (считаем, что емкостное сопротивление линии меньше ее индуктивного сопротивления). В этом случае падением напряжения считают векторную разность напряжений в начале и конце линии: $\overline{\Delta U} = \overline{U_1} - \overline{U} = \overline{I}Z$, где Z - полное сопротивление линии.

При расчете сетей напряжением до 1000 В считают, что реактивное сопротивление линий мало по сравнению с ее активным сопротивлением и им можно пренебречь. В этом случае

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

где ΔU - потеря напряжения в линии; I - ток нагрузки, проходящий в проводах линии; $R = R_{\text{пр}}$ - активное сопротивление проводов линии; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности потребителя электроэнергии.

5. Расчёт проводов по допустимой потере напряжения в линиях постоянного, однофазного и трёхфазного тока

Схема цепи постоянного тока изображена на рис. 12.5.

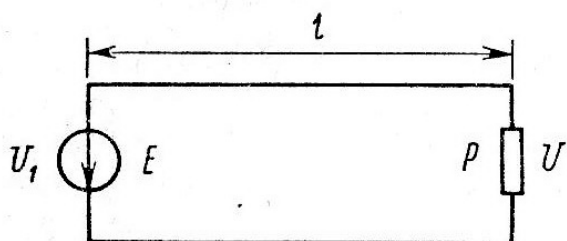


Рис. 12.5. Схема сети постоянного тока

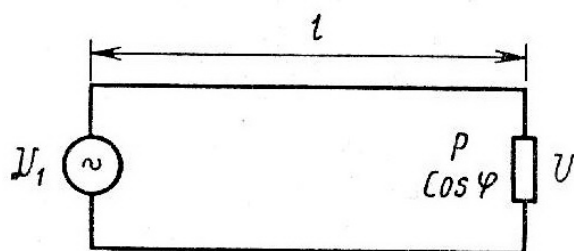


Рис. 12.6. Схема сети однофазного переменного тока

Выразим потерю напряжения через ток в линии и сопротивление проводов:

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

Сопротивление проводов

$$R_{\text{пр}} = \frac{2l\rho}{S},$$

где l - длина линии, м; S - площадь поперечного сечения провода, мм^2 ; ρ - удельное сопротивление материала провода, $\text{Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м})$.

Для меди $\rho =$, для алюминия $\rho =$. Поскольку линия двухпроводная, то в формулу введен коэффициент 2.

Таким образом,

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

Откуда $S = \frac{2l\rho}{\Delta U}$.

Для удобства расчетов последнюю формулу преобразуют, для чего числитель и знаменатель умножают на напряжение U :

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

Здесь потеря напряжения ΔU выражена в вольтах. Кроме того, в формулу вводят процентную потерю напряжения $\delta U = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100$. В результате получают

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

где S - в мм²; l - в м; P - в Вт, U - в В; δU - в %.

На рис. 8 изображена электрическая цепь однофазного тока. Для неё справедливо выражение

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

где $P = UI \cos \varphi$ - активная мощность потребителя.

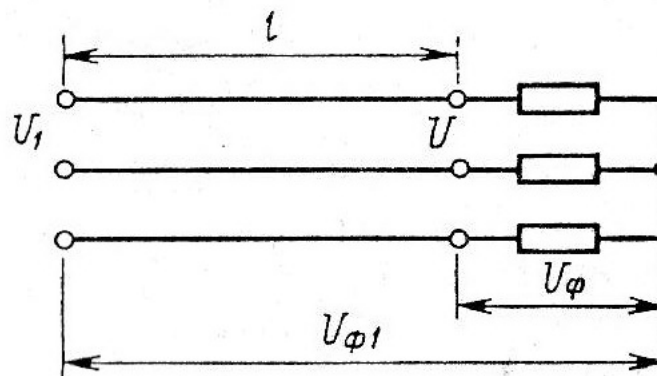


Рис. 12.7. Схема трёхфазной сети переменного тока

На рис. 12.7 изображена трехфазная цепь переменного тока с симметричной нагрузкой, для которой $\Delta U_\phi = U_{\phi 1} - U_\phi = IR_1 \cos \varphi$, где l - линейный ток; $R_1 = \frac{\rho l}{S}$ - сопротивление одного провода трехпроводной линии.

В справочных таблицах обычно указывается потеря линейного напряжения, которая в $\sqrt{3}$ раз больше потери фазного напряжения. Таким образом, $\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_\phi = \sqrt{3}IR_1 \cos \varphi = \sqrt{3}l \frac{\rho l}{S} \cos \varphi = \frac{\delta UU}{100}$. Следовательно,

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

Умножив числитель и знаменатель последнего выражения на линейное напряжение U , окончательно найдём

$$S = \frac{100\rho l\sqrt{3}UI \cos \varphi}{\delta UU^2} = \frac{100\rho lP}{\delta UU^2}, \quad (5)$$

где $P = UI \cos \varphi$ - активная мощность, потребляемая симметричной трёхфазной нагрузкой.

6. Расчёт проводов по допустимому нагреву

Тепловой режим провода определяется уравнением теплового равновесия

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

где F - площадь поверхности провода; c — коэффициент теплоотдачи (количество теплоты, отводимой в 1с с 1 м² поверхности при разности температур 1° С поверхности провода и окружающей среды); Θ - температура провода; Θ_0 - температура окружающей среды.

Левая часть этого уравнения выражает количество теплоты, выделяемой током I за время t в проводе, сопротивление которого равно R (закон Джоуля - Ленца). Правая часть уравнения определяет количество теплоты, отдаваемой проводом в окружающую среду за время t . Очевидно, что в установившемся режиме количество выделяющейся теплоты равно количеству теплоты, переходящей в окружающую среду.

Произведя в исходном уравнении подстановки $R = \frac{\rho l}{S}$, $F = \pi d l$, $d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$, получим –

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

где l - длина провода; S - площадь поперечного сечения провода; ρ - удельное сопротивление провода.

Последнее равенство преобразуют к виду

$$I = k S^{\frac{3}{4}} \sqrt{\frac{\Theta - \Theta_0}{\rho}},$$