

15 Передача энергии постоянным током

Подключим к идеализированному источнику питания потребитель переменной мощности и соответственно переменного сопротивления, как показано на рисунке 27, а. Ток и напряжение потребителя соответствуют точке пересечения нагрузочной вольт-амперной характеристикой (ВАХ) источника и ВАХ потребителя (рисунок 27, б). Мощность $P_{\text{п}}$ потребителя равна произведению напряжения на силу тока

$$P_{\text{п}} = UI.$$

Она соответствует площади заштрихованной части прямоугольника. Из геометрических соображений видно, что при сопротивлении потребителя, равном R_3 , мощность имеет максимальное значение. При изменении сопротивления, а следовательно и тока I потребителя, его мощность $P_{\text{п}}$ изменяется по параболе, изображённой в нижней части рисунка 27, в.

Мощность $P_{\text{и}}$, отдаваемая источником, равна произведению его ЭДС E на силу тока I :

$$P_{\text{и}} = EI$$

и соответствует на рисунке 27, б площади всего прямоугольника, а на рисунке 27, в – наклонной линии.

Потери мощности ΔP внутри источника равны произведению его внутреннего сопротивления r на квадрат силы тока

$$\Delta P = r I^2.$$

На рисунке 27, б эти потери соответствуют площади незаштрихованной части прямоугольника, а на рисунке 27, в – расстоянию между наклонной линией и параболой

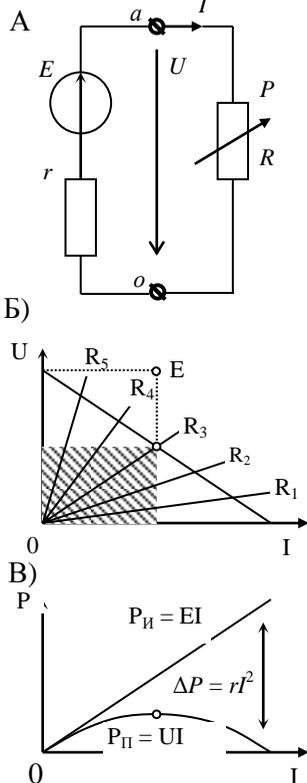


Рисунок 27 – Питание потребителя переменной мощности

$$\Delta P = P_{\text{и}} - P_{\text{п.}}$$

Коэффициент полезного действия источника

$$\eta = R / (r + R).$$

При коротком замыкании ($R = 0$) вся мощность теряется внутри источника и КПД $\eta = 0$.

Режим максимальной мощности, передаваемой от источника потребителю, называется режимом согласования и для идеализированного источника соответствует равенству сопротивления потребителя и внутреннего сопротивления источника ($R = r$). При этом коэффициент полезного действия источника $\eta = 0,5$. Для производства и передачи электроэнергии такой низкий КПД неприемлем, здесь заботятся о том, чтобы значение внутреннего сопротивления источника было гораздо меньше, чем потребителя ($r \ll R$). Режим согласования используется для передачи электрических сигналов в технике связи и в некоторых других случаях (например, в стартерах, в аппаратах электродуговой сварки, при индукционном нагреве и т. п.).

Потери напряжения и мощности в линии электропередачи

Если потребитель удалён от источника на некоторое расстояние l , то сопротивление линии можно определить по площади сечения проводов (жил кабеля) и значению удельного сопротивления материала, из которого они изготовлены:

$$r = \rho l / s,$$

где r – сопротивление одного провода (жила кабеля), Ом;

ρ – удельное электрическое сопротивление материала, Ом·м;

l – расстояние, м;

s – площадь поперечного сечения, м².

Для практических расчётов используют таблицы, в которых указаны значения сопротивления 1 километра провода в зависимости от материала (алюминий или медь) и площади сечения. В этом случае

$$r = r_0 l,$$

где r_0 – сопротивление 1 километра провода, Ом;

l – расстояние, км.

Пример 1. Рассчитаем сопротивление медной жилы кабеля длиной 20 м и сечением $1,5 \text{ мм}^2$.

$$\rho_{\text{меди}} = 17,2 \text{ нОм} \cdot \text{м} = 17,2 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}; s = 1,5 \text{ мм}^2 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$r = 17,2 \cdot 10^{-9} \cdot 20 / 1,5 \cdot 10^{-6} = 0,229 \text{ Ом}.$$

По таблицам ПУЭ $r_0 = 11,5 \text{ Ом/км}$; $l = 0,02 \text{ км}$; $r = 11,5 \cdot 0,02 = 0,23 \text{ Ом}$.

Потери напряжения и мощности в питающей линии (рисунок 28) определяются по приближённым формулам. При их выводе используют тот факт, что напряжение $U_{\text{и}}$ источника и $U_{\text{п}}$ потребителя отличаются всего на несколько процентов, поэтому их заменяют номинальным $U_{\text{н}}$ значением напряжения.

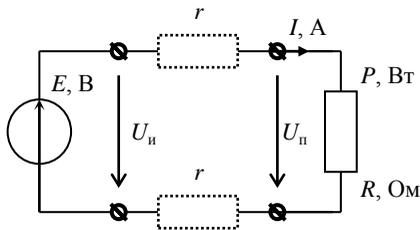


Рисунок 28 – Линия

Потеря напряжения

$$\Delta U = U_{\text{и}} - U_{\text{п}} = 2lr_0I,$$

где $I = P / U_{\text{н}}$.

В процентном выражении потеря напряжения

$$\Delta u_{\%} \approx 2l \frac{r_0 I}{U_{\text{н}}} \cdot 100 \% = 2l \frac{r_0 P}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100 \% .$$

Потеря мощности в линии

$$\Delta P = P_{\text{и}} - P_{\text{п}} = 2 l r_0 I^2 .$$

В процентном выражении потеря мощности

$$\Delta p_{\%} \approx 2l \frac{r_0 I^2}{P} \cdot 100 \% = 2l \frac{r_0 P}{U_{\text{н}}^2} \cdot 100 \% .$$

Для линии постоянного тока формулы потерь напряжения и потерь мощности (в процентном выражении) совпадают. Анализ формул показывает, что увеличение длины линии, километрического сопротивления и мощности приводят к увеличению потерь. Однако увеличение напряжения приводит к уменьшению потерь, причём в квадрате. Если увеличить напряжение передающей линии в два раза, потери уменьшатся в четыре раза. Таким образом, увеличение напряжения является универсальным способом снижения потерь при

передаче электроэнергии на дальние расстояния. Ещё на заре электроснабжения, в конце 19 века, сложилась поговорка «киловольт на километр». Для передачи электроэнергии на несколько метров достаточно нескольких вольт или десятков вольт. На сотни метров электроэнергия передаётся при напряжении 220/380 В. В пределах города напряжение линий электропередачи 6, 10, 20, 35 кВ. Между городами на сотни и тысячи километров электроэнергия передаётся линиями напряжением 110, 220, 330, 500, 750 кВ.

Пример 2. Рассчитаем потери при передаче мощности 100 Вт от источника напряжением 24 В по жилам кабеля из примера 1.

$$\Delta u_{\%} = 2 \cdot 0,02 \cdot 11,5 \cdot 100 / 24^2 \cdot 100 \% = 8 \%$$

Это слишком большие потери, допускаются потери 4–5 %. Следует либо увеличить сечение жил кабеля, что повышает расход меди, либо использовать большее напряжение.

Увеличим напряжение вдвое, до 48 В:

$$\Delta u_{\%} = 2 \cdot 0,02 \cdot 11,5 \cdot 100 / 48^2 \cdot 100 \% = 2 \%$$

При увеличении напряжения вдвое потери снижаются в 4 раза.

Для исследования используется макет линии электропередачи постоянного тока с возможностью увеличения напряжения вдвое с одновременным подключением последовательно двух лампочек.

Измерить на макете ток линии и напряжение в начале и в конце линии. Определить потерю напряжения в вольтах и в процентах. Рассчитать мощность в начале и в конце линии как произведение тока на напряжение. Определить потерю мощности в ваттах и в процентах.

Подключить в конце линии две лампочки последовательно, а напряжение линии увеличить вдвое. Убедиться, что ток в линии практически не изменился. Измерить напряжение в начале и в конце линии, определить потерю напряжения в вольтах и в процентах. Убедиться, что потеря напряжения в вольтах не изменилась, а в процентах уменьшилась вдвое.

Рассчитать мощность в начале и в конце линии, определить потерю мощности в ваттах и в процентах. Убедиться, что потеря мощности в ваттах не изменилась, а в процентах уменьшилась вдвое.

Сделать вывод об эффективности повышения напряжения с целью уменьшения потерь напряжения и мощности в линии электропередачи.

