

4 Режимы работы электрической цепи

Источники и приемники электрической энергии, провода, а также вспомогательные аппараты и приборы характеризуются номинальными величинами тока, напряжения, мощности и так далее, на которые эти устройства рассчитаны заводами-изготовителями для нормальной работы. Номинальные величины обычно указываются в паспорте устройства.

Режим работы, при котором действительные токи, напряжения, мощности элементов электрической цепи соответствуют их номинальным величинам, называется *номинальным (нормальным)*.

Если в электрической цепи действительные характеристики режима отличаются от номинальных величин ее элементов, но отклонения находятся в допустимых пределах, режим называется *рабочим*. На рисунке 3.6 представлена схема простейшей электрической цепи с переменным сопротивлением R приемника.

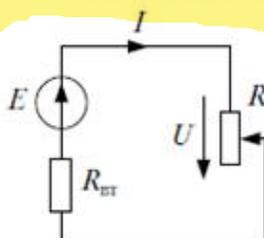


Рис. 3.6. Схема простейшей электрической цепи с переменным сопротивлением R приемника

Применяя к этой цепи закон сохранения энергии, составим уравнение энергетического баланса за некоторое время:

$$W_{\text{и}} = W_{\text{п}} + W_{\text{вт}},$$

где $W_{\text{и}} = EIt$ – энергия источника;

$W_{\text{п}} = I^2 R t$ – энергия приемника;

$W_{\text{вт}} = I^2 R_{\text{вт}} t$ – энергия потерь на внутреннем сопротивлении источника.

Энергетический баланс принимает следующий вид:

$$EIt = I^2 R t + I^2 R_{\text{вт}} t.$$

После сокращения на t получим уравнение баланса мощностей:

$$EI = I^2 R + I^2 R_{\text{вт}}.$$

Далее, сокращая на I , получаем уравнение баланса напряжений:

$$E = IR + IR_{\text{вт}}, \text{ или } E = U + U_{\text{вт}},$$

где $U_{\text{вт}}$ – падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника.

Ток в цепи

$$I = \frac{E}{R + R_{\text{вт}}}. \quad (3.8)$$

Формула (3.8) является выражением закона Ома для простейшей цепи.

Напряжение U на приемнике, равное в этом случае напряжению на внешних зажимах источника, меньше ЭДС источника на величину внутреннего падения напряжения $IR_{\text{вт}}$:

$$U = E - IR_{\text{вт}}. \quad (3.9)$$

Для обеспечения нормальных условий работы приемников электрической энергии необходимо соблюдать соответствие напряжений: действительное напряжение на зажимах приемника должно быть равно его номинальному напряжению.

Коэффициент полезного действия источника определяется отношением мощности приемника $P_{\text{п}}$ к мощности источника $P_{\text{и}}$:

$$\eta = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{и}}}.$$

При сопротивлении $R = \infty$ тока в цепи не будет, это соответствует размыканию цепи. Режим электрической цепи или отдельных

источников, при котором ток в них равен нулю, называется *режимом холостого хода*. При холостом ходе напряжение на внешних зажимах источника равно его ЭДС (уравнение (3.9)):

$$U_{\text{х.х}} = E.$$

Согласно выражению (3.8), при $R = 0$

$$I = \frac{E}{R_{\text{вт}}} = I_{\text{к}}, \quad (3.10)$$

а напряжение на зажимах приемника $U = 0$.

Режим электрической цепи, при котором накоротко замкнут участок с одним или несколькими элементами, в связи с чем напряжение на этом участке равно нулю, называется *режимом короткого замыкания*.

Короткие замыкания в электрических установках нежелательны, поскольку токи короткого замыкания, как правило, в несколько раз превышают номинальные значения, что ведет к резкому увеличению выделения теплоты в токоведущих частях и, следовательно, к порче электрических установок.

Напряжение на зажимах источника энергии уменьшается от $U_{\text{х.х}} = E$ до $U = 0$, если ток нагрузки увеличивается от нуля до тока короткого замыкания $I_{\text{к}}$. График изменения напряжения на источнике U в зависимости от I на участке от $I = 0$ до I , равного номинальному, показан линией 1 на рисунке 3.5.

Пример 3.3. Ток короткого замыкания источника энергии $I_{\text{к}} = 40$ А. При подключении к источнику резистора с сопротивлением $R = 30$ Ом ток в цепи уменьшился до 10 А. Определить внутреннее сопротивление источника.

Решение. При коротком замыкании по уравнению (3.10)

$$E = I_{\text{к}} R_{\text{вт}} = 40 \cdot R_{\text{вт}}.$$

В рабочем режиме по уравнению (3.8)

$$E = I(R + R_{\text{вт}}) = 10(30 + R_{\text{вт}}).$$

Следовательно,

$$40 \cdot R_{\text{вт}} = 10(30 + R_{\text{вт}});$$

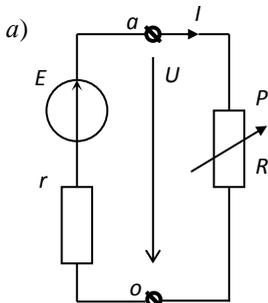
$$40 \cdot R_{\text{вт}} - 10R_{\text{вт}} = 300;$$

$$R_{\text{вт}} = 10 \text{ Ом}.$$

Питание потребителя переменной мощности

Подключим к источнику питания потребитель переменной мощности и соответственно переменного сопротивления, как показано на рисунке 12, а. Ток и напряжение потребителя соответствуют точке пересечения нагрузочной ВАХ источника и ВАХ потребителя ($R_1 < R_2 < R_3 < R_4 < R_5$ рисунок 12, б). **Мощность потребителя P_n равна произведению напряжения на силу тока:**

$$P_n = UI. \quad (14)$$



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_n изменяется по параболе $P_n = UI$, изображённой в нижней части рисунка 12, в.

Мощность $P_{и}$, отдаваемая источником, равна произведению его ЭДС на силу тока

$$P_{и} = EI \quad (15)$$

и соответствует на рисунке 12, б площади всего прямоугольника, а на рисунке 12, в – наклонной линии $P_{и} = EI$.

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

$$\Delta P = rI^2. \quad (16)$$

На рисунке 12, б эти потери соответствуют площади незаштрихованной части прямоугольника, а на рисунке 12, в – расстоянию между наклонной линией $P_{и} = EI$ и параболой $P_n = UI$:

$$\Delta P = P_{и} - P_n. \quad (17)$$

Коэффициент полезного действия источника

$$\eta = R/(r + R). \quad (18)$$

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

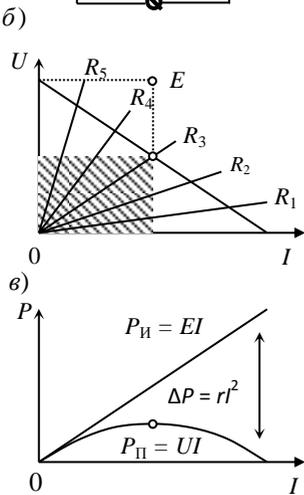


Рисунок 12 – Питание потребителя переменной мощности

Режим максимальной мощности, передаваемой от источника потребителю, называется режимом согласования и для идеализированного источника соответствует равенству сопротивления потребителя и внутреннего сопротивления источника ($R = r$).

Коэффициент полезного действия источника при этом $\eta = 0,5$. 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.).

Для реального источника при определении условий передачи максимальной мощности потребителю на его характеристике следует построить прямоугольник максимальной площади. Диагональ этого прямоугольника и будет вольтамперной характеристикой искомого сопротивления нагрузки R в режиме согласования $R = U / I$, а отношение напряжения к ЭДС будет коэффициентом полезного действия $\eta = U / E$.