

34 Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора заключается в том, что в исследуемой цепи выделяется ветвь, а остальная часть цепи представляется в виде источника ЭДС U_{XX} с внутренним сопротивлением r_{BH} . U_{XX} это напряжение холостого хода между зажимами оставшейся части цепи при отключённой ветви, его можно рассчитать или измерить. Внутреннее сопротивление тоже можно рассчитать или измерить, а можно определить, вычисляя или измеряя ток I_{K3} короткого замыкания оставшейся части цепи (не все цепи позволяют это сделать, могут сгореть). Внутреннее сопротивление равно $r_{BH} = U_{XX} / I_{K3}$, а искомый ток ветви $I = U_{XX} / (R + r_{BH})$.

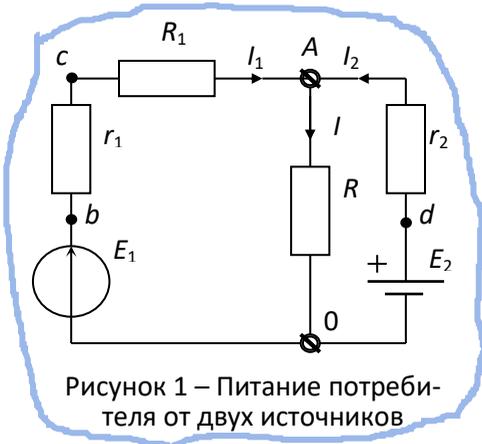


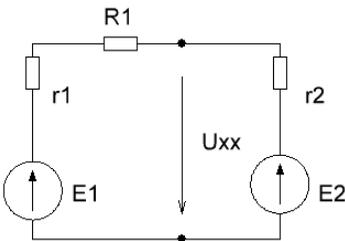
Рисунок 1 – Питание потребителя от двух источников

Рассмотрим применение метода эквивалентного генератора на примере схемы рисунка 1. Здесь изображён потребитель R , получающий централизованно питание от сети (источник E_1 с внутренним сопротивлением r_1) по линии сопротивлением R_1 , а также от аккумулятора E_2 с внутренним сопротивлением r_2 .

Работу схемы рассмотрим на численном примере:

$$E_1 = 14 \text{ В}; E_2 = 12 \text{ В}; R = 5 \text{ Ом}; R_1 = 0,4 \text{ Ом}; r_1 = 0,1 \text{ Ом}; r_2 = 1 \text{ Ом}.$$

Определим ток в потребителе R . Для этого отключим его от схемы.



Ток в замкнутом контуре I_{XX}

$$I_{XX} = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + R_1 + r_2} = \frac{14 - 12}{0,1 + 0,4 + 1} = 1,33 \text{ А}.$$

Напряжение холостого хода U_{XX} между верхним и нижним узлами

$$U_{XX} = E_1 - I_{XX}(r_1 + R_1) = 14 - 1,33 \cdot 0,5 = 13,3 \text{ В}.$$

Определим внутреннее сопротивление эквивалентного генератора

$$r_{BH} = \frac{(r_1 + R_1)r_2}{r_1 + R_1 + r_2} = \frac{(0,1 + 0,4) \cdot 1}{0,1 + 0,4 + 1} = 0,33 \text{ Ом}.$$

$$\text{Определим ток в потребителе } R \quad I = \frac{U_{XX}}{R + r_{BH}} = \frac{13,3}{5 + 0,33} = 2,5 \text{ А}.$$

Расчёт электрической цепи методом эквивалентного генератора осуществляют в такой последовательности. Размыкают ветвь, в которой требуется определить ток. Находят напряжение на зажимах разомкнутой ветви $U_{\text{ХХ}}$ используя второй закон Кирхгофа. Для этого токи в оставшейся части схемы рассчитывают любым методом. Затем определяют сопротивление оставшейся части схемы $r_{\text{ВН}}$ по отношению к разомкнутым зажимам при замкнутых ЭДС (внутренние сопротивления ЭДС нужно учитывать). Полученное значение $r_{\text{ВН}}$ это внутреннее сопротивление эквивалентного генератора. Искомый ток в ветви определяется по формуле

$$I = \frac{U_{\text{ХХ}}}{R + r_{\text{ВН}}}, \text{ если ветвь содержит источник ЭДС, то } I = \frac{U_{\text{ХХ}} \pm E}{R + r_{\text{ВН}}}.$$

Напряжение холостого хода $U_{\text{ХХ}}$ и внутреннее сопротивление $r_{\text{ВН}}$ эквивалентного генератора могут быть определены опытным путём. В эксперименте сначала размыкают ветвь, в которой ищут ток и вольтметром определяют напряжение на разомкнутых зажимах $U_{\text{ХХ}}$. Затем закорачивают эту ветвь и амперметром определяют ток короткого замыкания $I_{\text{КЗ}}$ (не все устройства позволяют это сделать – ток может быть слишком большим). Искомое сопротивление $r_{\text{ВН}} = U_{\text{ХХ}} / I_{\text{КЗ}}$.

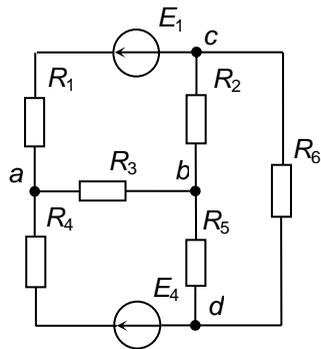
Пример задачи 2 КП. Расчёт сложной цепи постоянного тока.

Дано: $E_1=12$ В; $E_4=9$ В; $R_1=2$ Ом; $R_2=4$ Ом; $R_3=5$ Ом; $R_4=1$ Ом; $R_5=3$ Ом; $R_6=6$ Ом.

9* Отключить ветвь между узлами **a** и **d** (нарисовать схему) и рассчитать напряжение между этими узлами (напряжение холостого хода эквивалентного генератора).

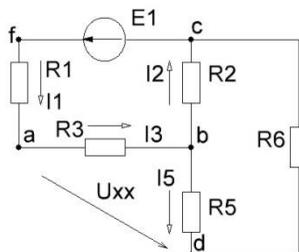
10* Соединить перемычкой узлы **a** и **d** (нарисовать схему) и рассчитать ток в этой перемычке (ток короткого замыкания эквивалентного генератора).

11* Рассчитать сопротивление эквивалентного генератора (нарисовать схему) и ток в ветви, соединяющей узлы **a** и **d**.



РЕШЕНИЕ

9* Расчёт методом эквивалентного генератора. Делаем опыт холостого хода. Отключим 4 ветвь. Для оставшейся части схемы обозначим напряжение между узлами **a** и **d** как U_{xx} и рассчитаем цепь.



Эквивалентное сопротивление R_2 и (R_5+R_6)

$$R_{256} = R_2 \cdot (R_5 + R_6) / (R_2 + R_5 + R_6) = 4 \cdot (3 + 6) / (4 + 3 + 6) = 2,77 \text{ Ом.}$$

$$I_1 = E_1 / (R_1 + R_3 + R_{256}) = 12 / (2 + 5 + 2,77) = 1,228 \text{ А.}$$

$$\text{По формуле разброса } I_5 = I_1 \cdot R_2 / (R_2 + R_5 + R_6) = 1,228 \cdot 4 / (4 + 3 + 6) = 0,378 \text{ А.}$$

По второму закону Кирхгофа (идём против токов)

$$U_{xx} = R_5 I_5 + R_3 I_3 = 3 \cdot 0,378 + 5 \cdot 1,228 = 1,134 + 6,14 = 7,27 \text{ В}$$

Это напряжение холостого хода эквивалентного генератора.

10* Делаем опыт короткого замыкания. Соединяем **a** и **d** перемычкой.

Определяем эквивалентное сопротивление параллельных R_3 и R_5

$$R_{35} = R_3 \cdot R_5 / (R_3 + R_5) = 5 \cdot 3 / (5 + 3) = 1,875 \text{ Ом.}$$

Определяем эквивалентное сопротивление параллельных $R_2 + R_{35}$ и R_6

$$R_{26} = (R_2 + R_{35}) \cdot R_6 / (R_2 + R_{35} + R_6) = (4 + 1,875) \cdot 6 / (4 + 1,875 + 6) = 2,97 \text{ Ом.}$$

Определяем ток I_1 по закону Ома

$$I_1 = E_1 / (R_1 + R_{26}) = 12 / (2 + 2,97) = 2,41 \text{ А.}$$

Разбрасываем ток I_1 между ветвями 2 и 6

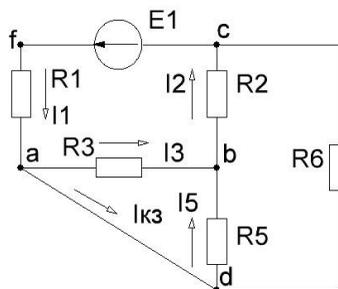
$$I_2 = I_1 \cdot R_6 / (R_2 + R_{35} + R_6) = 2,41 \cdot 6 / (4 + 1,875 + 6) = 1,218 \text{ А.}$$

Разбрасываем ток I_2 между ветвями 3 и 5

$$I_3 = I_2 \cdot R_5 / (R_3 + R_5) = 1,218 \cdot 3 / (5 + 3) = 0,456 \text{ А.}$$

Определяем ток короткого замыкания

$$I_{кз} = I_1 - I_3 = 2,41 - 0,456 = 1,954 \text{ А.}$$



11* Определяем внутреннее

сопротивление эквивалентного генератора

$$r = U_{xx} / I_{кз} = 7,27 / 1,954 = 3,72 \text{ Ом.}$$

Определяем ток четвертой ветви

$$I_4 = (E_4 - U_{xx}) / (R_4 + r) = (9 - 7,27) / (1 + 3,72) = 0,367 \text{ А.}$$

