

1.5 Метод эквивалентного генератора.

Теоретические сведения.

Метод позволяет вычислить ток только в одной ветви. Поэтому расчет повторяется столько раз, сколько ветвей с неизвестными токами содержит схема. По отношению к рассчитываемой ветви двухполюсник при расчете может быть заменен эквивалентным генератором, ЭДС которого равна напряжению холостого хода на зажимах этой ветви, а внутреннее сопротивление равно входному сопротивлению двухполюсника. Мысленно заключим всю схему, кроме рассчитываемой ветви, в прямоугольник. Эта часть схемы и есть эквивалентный генератор (см. рис. 117, рассчитываемая ветвь $-E_1 R_1$). Тогда ток в рассчитываемой ветви можно найти по закону Ома:

$I = \frac{E_{\Gamma} \pm E}{R_{\Gamma} + R}$. Знак здесь зависит от направления ЭДС в рассчитываемой ветви.

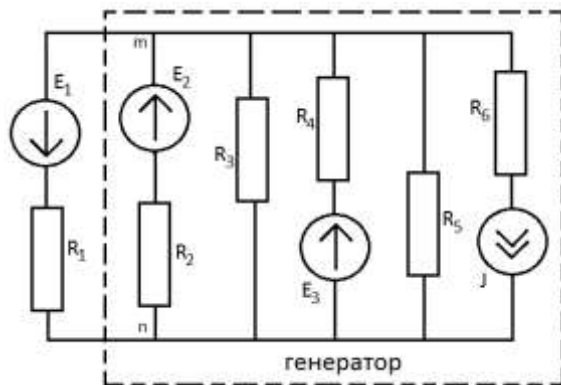


Рис. 117

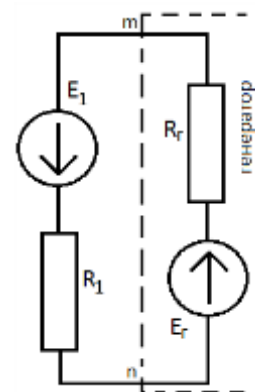


Рис. 118

Алгоритм расчета цепи методом эквивалентного генератора.

- 1.4.2. Ветвь, выбранная для расчета, удаляется из схемы. Узлы, к которым она присоединялась, обозначают буквами m и n . Оставшаяся часть схемы и будет представлять собой эквивалентный генератор с эквивалентной ЭДС и сопротивлением. Чтобы определить ток в искомой ветви, необходимо рассчитать эти два параметра.
- 1.4.3. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме), а ветви с источниками тока обрываются. Затем производится расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n .
- 1.4.4. Чтобы рассчитать эквивалентную ЭДС генератора, необходимо выбрать путь от точки m до точки n , миновав при этом ветви с

источниками тока. На этом пути обозначить все падения напряжения и, рассчитав их, сложить.

1.4.5. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток.

Примеры.

Пример 1. Найти токи в схеме рис.13 с применением метода эквивалентного генератора.

Дано: $R_1 = 5 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 10 \text{ Ом}$; $R_4 = 3 \text{ Ом}$; $R_5 = 40 \text{ Ом}$; $R_6 = 7 \text{ Ом}$; $E_1 = 40 \text{ В}$; $E_2 = 10 \text{ В}$; $J = 1 \text{ А}$

1.5.1. Рассчитаем ток I_3 . Для этого оборвем ветвь с искомым током, обозначив узлы буквами m и n (см. рис. 119). Оставшаяся часть схемы и будет представлять собой эквивалентный генератор с эквивалентной ЭДС и сопротивлением (рис. 120).

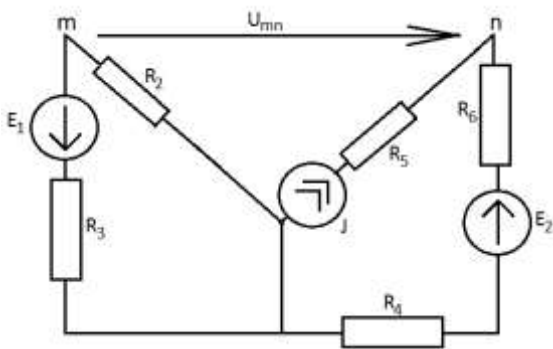


Рис. 119

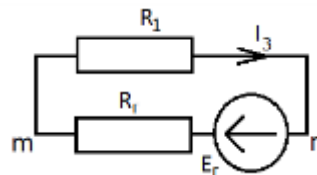


Рис. 120

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваем (заменяем на отрезок провода), а ветви с источниками тока обрываем. Затем производится расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n (см. рис.121)

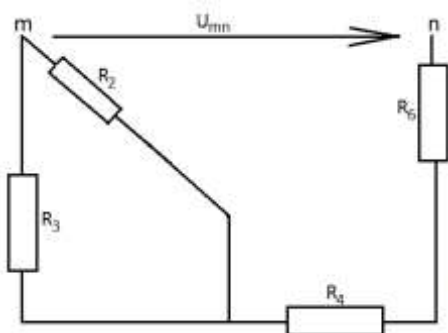


Рис. 121

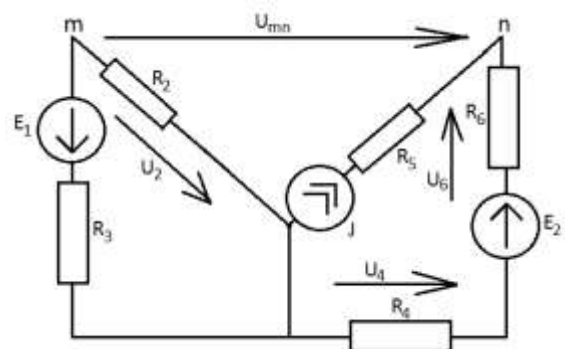


Рис. 122

Сопротивление R_{Γ} будет равно: $R_{\Gamma} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4 + R_6 = 15 \text{ Ом}$

1.5.3. Чтобы рассчитать эквивалентную ЭДС генератора, необходимо выбрать путь от точки m до точки n , миновав при этом ветви с источниками тока. Выбранный путь показан на рис. 122. Таким образом, $E_{\Gamma} = U_{mn} = U_2 + U_4 + U_6 - E_2$. Рассчитаем эти напряжения. Схема состоит из двух независимых контуров, их можно рассматривать отдельно. Из первого контура найдем U_2 . Для этого составим уравнение по второму закону Кирхгофа и определим ток: $I_1 = \frac{E_1}{R_2 + R_3} = \frac{40}{20} = 2 \text{ A}$, $U_2 = -I_1 R_2 = -20 \text{ B}$. Из второго контура, в котором протекает ток источника J , определим напряжения U_4 и U_6 . $U_4 = -J R_4 = -3 \text{ B}$, $U_6 = -J R_6 = -7 \text{ B}$. Минусы в данных выражениях поставлены потому, что направления искомым напряжений выбраны против направлений протекающих токов. Определяем $E_{\Gamma} = U_{mn} = U_2 + U_4 + U_6 - E_2 = -40 \text{ B}$.

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток из схемы рис. $I_3 = \frac{E_{\Gamma}}{R_1 + R_{\Gamma}} = \frac{-40}{5 + 15} = -2 \text{ A}$. Здесь направление тока изначально противоположно тем, что были выбраны при решении этой задачи другими способами, поэтому ток получился отрицательным.

Найдем ток другой ветви, воспользовавшись данным способом расчета.

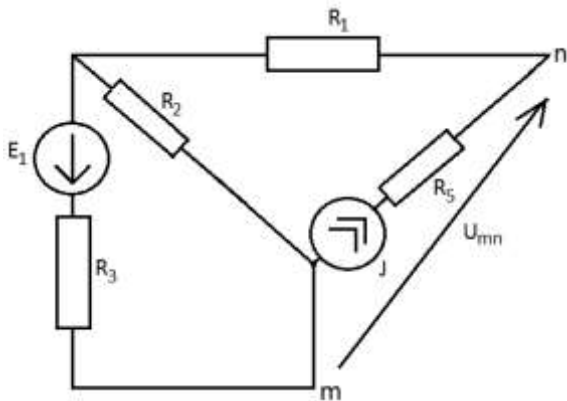


Рис. 123

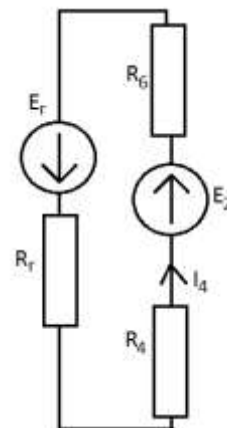


Рис. 124

1.5.1. Найдем ток I_4 . Ветвь с данным током обрываем, обозначая напряжение между узлами m и n U_{mn} (см. рис. 123). Получившаяся схема представляет собой эквивалентный генератор.

1.5.2. Определим его сопротивление R_{Γ} . Для этого оборвем ветвь с источником тока и замкнем источники ЭДС (см. рис.125)

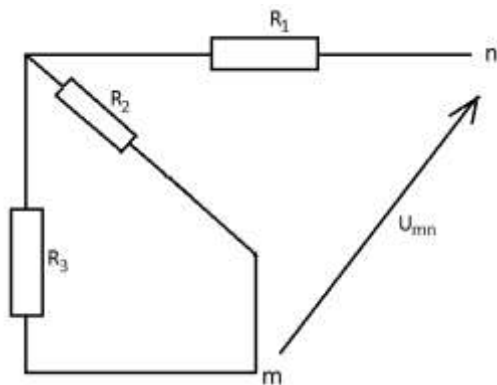


Рис. 125

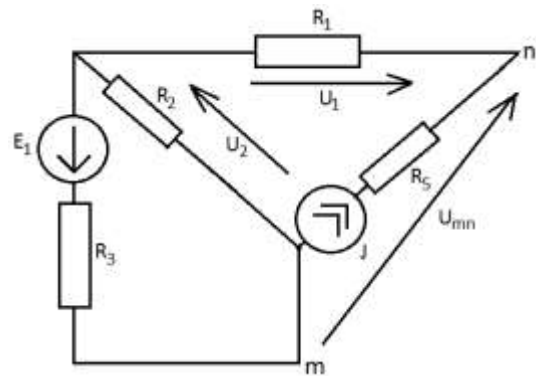


Рис. 126

$$R_{\Gamma} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1 = 10 \text{ Ом}$$

1.5.3. Чтобы рассчитать эквивалентную ЭДС генератора, необходимо выбрать путь от точки m до точки n , миновав при этом ветви с источниками тока. Выбранный путь показан на рис. 126. Таким образом, $E_{\Gamma} = U_{mn} = U_1 + U_2$. Рассчитаем эти напряжения. $U_1 = -JR_1 = -5 \text{ В}$, U_2 можно рассчитать, если источник тока перерасчитать в эквивалентный источник ЭДС (ветвь с источником ЭДС E_1 подключена параллельно). При этом учтем, что сопротивление источника тока бесконечно (рис. 127) $E_3 = JR_3 = 10 \text{ В}$.

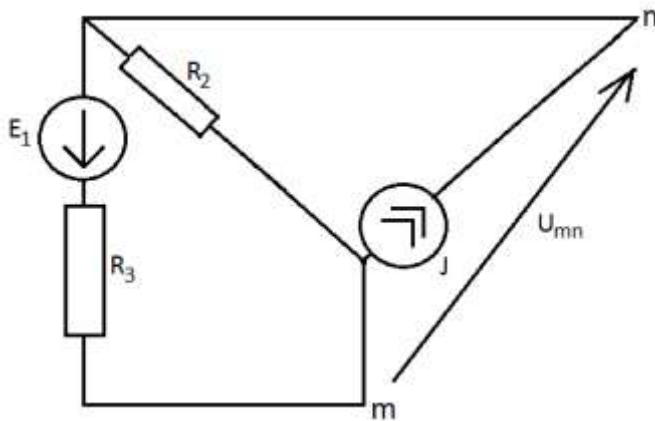


Рис. 127

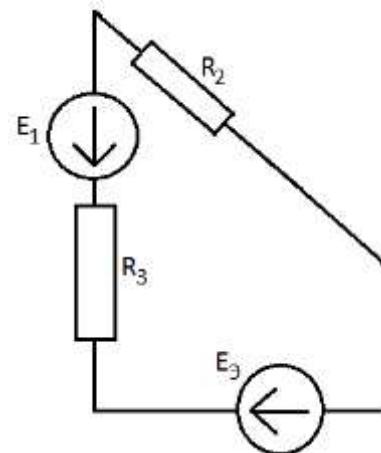


Рис. 128

Схема рис. 128 позволяет нам рассчитать напряжение $U_2 = \frac{E_1 - E_3}{R_2 + R_3} R_2 = 15 \text{ В}$. Найдя оба напряжения, рассчитываем $E_{\Gamma} = U_1 + U_2 = -5 + 15 = 10 \text{ В}$.

1.5.4. Рассчитываем искомый ток: $I_4 = \frac{E_{\Gamma} + E_2}{R_4 + R_6 + R_{\Gamma}} = \frac{20}{3 + 7 + 10} = 1 \text{ А}$.

Рассмотрим еще одну ветвь.

1.5.1. Отыщем ток I_1 с применением данного метода. Обрываем ветвь с искомым током (рис. 129)

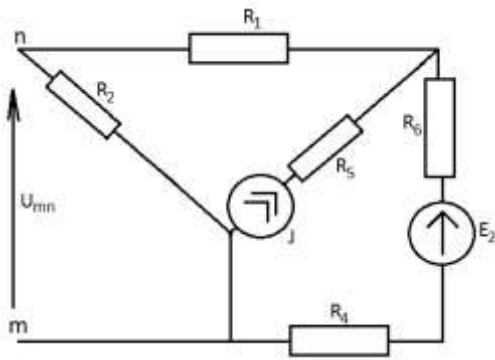


Рис. 129

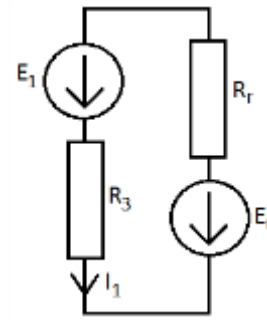


Рис. 130

1.5.2. Определим R_{Γ} . Обрываем ветвь с источником тока, закорачиваем источник E_2 . Получаем схему рис. 131.

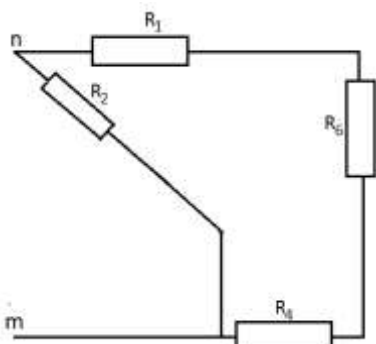


Рис. 131

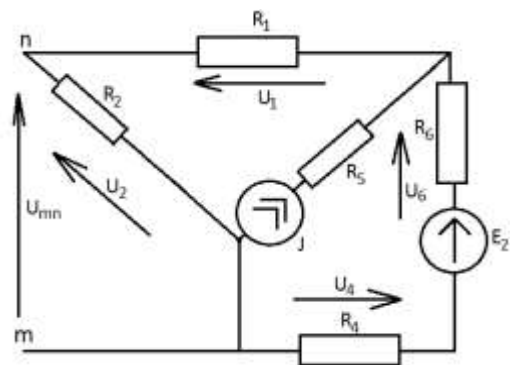


Рис. 132

$$R_{\Gamma} = \frac{R_2(R_1 + R_4 + R_6)}{R_1 + R_2 + R_4 + R_6} = \frac{10(5 + 3 + 7)}{25} = 6 \text{ Ом}$$

1.5.3. Определить эквивалентную ЭДС здесь можно двумя путями:

$E_{\Gamma} = U_{mn} = U_2 = U_1 + U_4 + U_6$ (рис. 132) В любом случае, необходимо пересчитать источник тока в источник ЭДС (см. рис. 133)

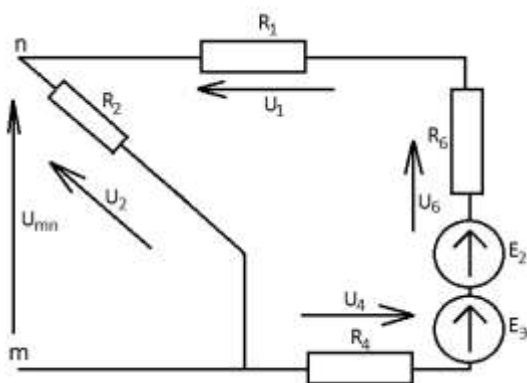


Рис. 133

Рассчитаем эквивалентную ЭДС:

$$E_{\mathcal{E}} = J(R_4 + R_6) = 10 \text{ В.}$$

Ток в этом контуре равен:

$$I = \frac{E_{\mathcal{E}} + E_2}{R_4 + R_6 + R_1 + R_2} = \frac{20}{3 + 7 + 5 + 10} = 0.8 \text{ А,}$$

тогда $U_{mn} = U_2 = -IR_2 = -8 \text{ В}$, или

$$U_{mn} = U_1 + U_4 + U_6 - E_2 - E_{\mathcal{E}} =$$

$$I(R_1 + R_4 + R_6) - E_2 - E_{\mathcal{E}} =$$

$$0.8(5 + 3 + 7) - 10 - 10 = -8 \text{ В.}$$

1.5.4 Наконец, определяем искомый ток из схемы рис. 130

$$I_1 = \frac{E_1 - E_{\Gamma}}{R_3 + R_{\Gamma}} = \frac{40 - (-8)}{10 + 6} = 3 \text{ А}$$

Пример 2. Найти токи в схеме рис.16 с применением метода эквивалентного генератора.

Дано: $R_1 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $R_3 = 10 \text{ Ом}$; $R_4 = 40 \text{ Ом}$; $R_5 = 5 \text{ Ом}$; $R_6 = 20 \text{ Ом}$; $R_7 = 5 \text{ Ом}$; $R_8 = 4 \text{ Ом}$; $E_1 = 42 \text{ В}$; $E_2 = 8 \text{ В}$.

Определим сначала ток в ветви с сопротивлением R_3 :

1.5.1. Ветвь, выбранная для расчета, удаляется из схемы (см. рис.134)

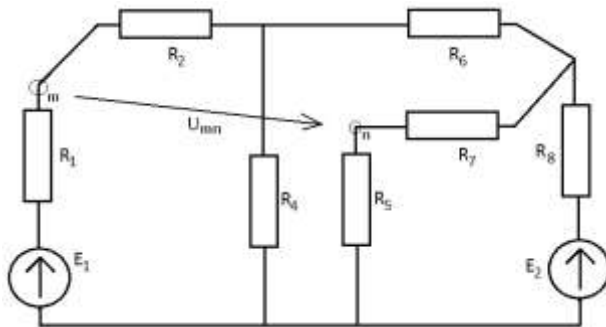


Рис. 134

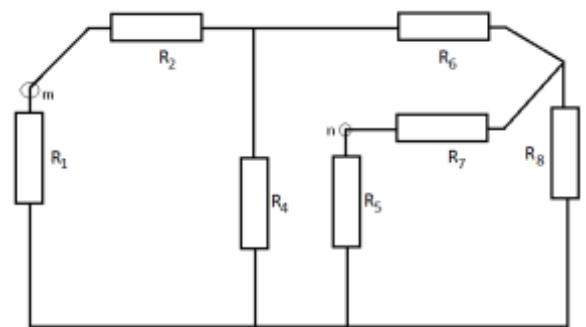


Рис. 135

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме). Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n . Для этого пересчитаем два треугольника в этой схеме ($R_1 R_2 R_4$ и $R_5 R_7 R_8$) в звезды (рис. 136):

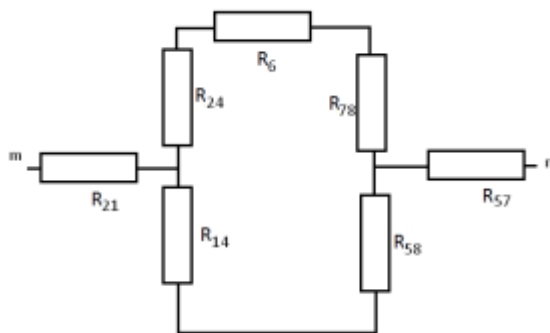


Рис. 136

$$R_{21} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_4} = 0.74 \text{ Ом}$$

$$R_{24} = \frac{R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = 7.4 \text{ Ом}$$

$$R_{14} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = 2.96 \text{ Ом}$$

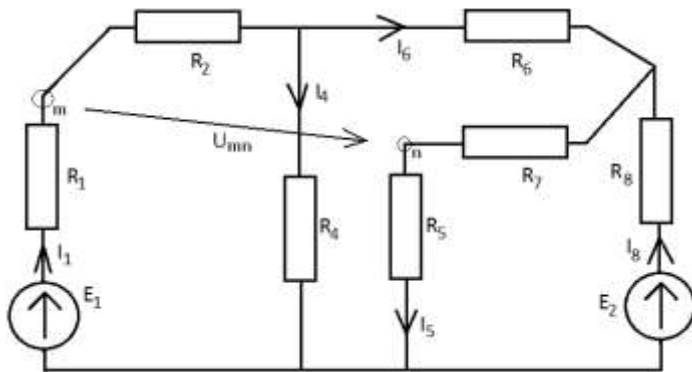
$$R_{58} = \frac{R_5 R_8}{R_5 + R_7 + R_8} = 1.43 \text{ Ом}$$

$$R_{78} = \frac{R_7 R_8}{R_5 + R_7 + R_8} = 1.43 \text{ Ом}$$

$$R_{57} = \frac{R_5 R_7}{R_5 + R_7 + R_8} = 1.79 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = R_{21} + R_{57} + \frac{(R_{24} + R_6 + R_{78})(R_{14} + R_{58})}{R_{24} + R_6 + R_{78} + R_{14} + R_{58}} = 6.34 \text{ Ом}$$

1.5.3. Чтобы рассчитать эквивалентную ЭДС генератора, необходимо выбрать путь от точки m до точки n , миновав при этом ветви с источниками тока. На этом пути обозначить все падения напряжения и, рассчитав их, сложить (рис. 137):



$$I_1 R_1 + U_{mn} + I_5 R_5 = E_1$$

Отсюда

$$U_{mn} = E_1 - I_1 R_1 - I_5 R_5$$

Токи в данной схеме найдем любым способом, например, по Кирхгофу (значения токов не приведены).

$$U_{mn} = 32.67 \text{ В}$$

Рис .137

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток.

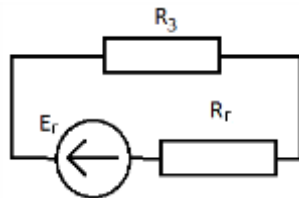


Рис .138

$$E_{\Gamma} = U_{mn}$$

$$I_3 = \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_3} = 2 \text{ А}$$

Определим ток в ветви с сопротивлением R_6 :

1.5.1. Ветвь, выбранная для расчета, удаляется из схемы (см. рис.139)

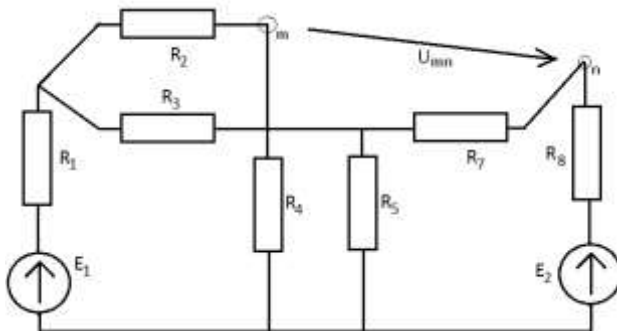


Рис. 139

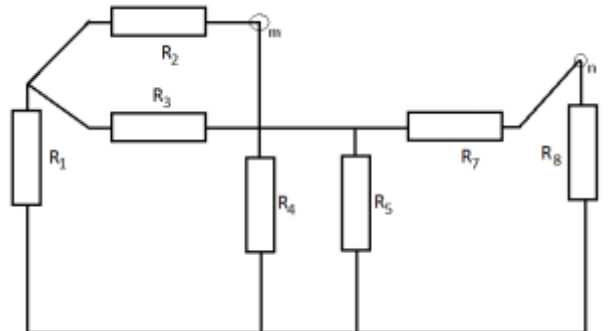


Рис .140

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме – рис. 140). Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n . Для этого пересчитаем два треугольника в этой схеме ($R_1 R_2 R_4$ и $R_5 R_7 R_8$) в звезды (рис. 141):

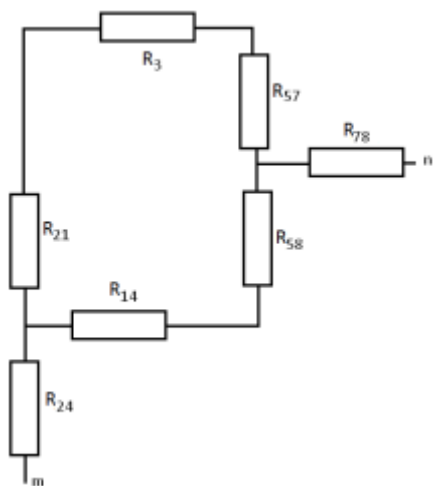


Рис. 141

$$R_{21} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_4} = 0.74 \text{ Ом}$$

$$R_{24} = \frac{R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = 7.4 \text{ Ом}$$

$$R_{14} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = 2.96 \text{ Ом}$$

$$R_{58} = \frac{R_5 R_8}{R_5 + R_7 + R_8} = 1.43 \text{ Ом}$$

$$R_{78} = \frac{R_7 R_8}{R_5 + R_7 + R_8} = 1.43 \text{ Ом}$$

$$R_{57} = \frac{R_5 R_7}{R_5 + R_7 + R_8} = 1.79 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = R_{24} + R_{78} + \frac{(R_{21} + R_3 + R_{57})(R_{14} + R_{58})}{R_{21} + R_3 + R_{57} + R_{14} + R_{58}} = 12.08 \text{ Ом}$$

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора.

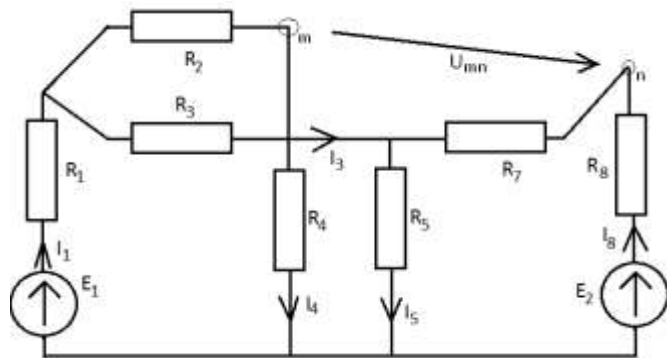


Рис. 142

$$-I_4 R_4 + U_{mn} - I_8 R_8 = -E_2$$

Отсюда

$$U_{mn} = -E_2 + I_4 R_4 + I_8 R_8$$

Токи в данной схеме найдем любым способом, например, по Кирхгофу (значения токов не приведены).

$$U_{mn} = 16.04 \text{ В}$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток.

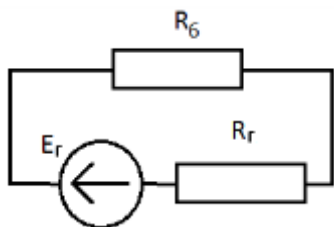


Рис. 143

$$E_{\Gamma} = U_{mn}$$

$$I_6 = \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_6} = 0.5 \text{ А}$$

Еще один пример, ветвь $E_8 R_8$.

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.144)

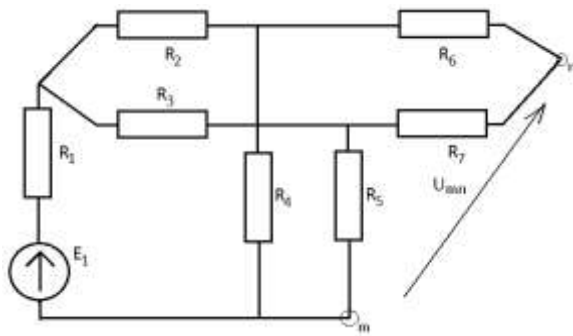


Рис. 144

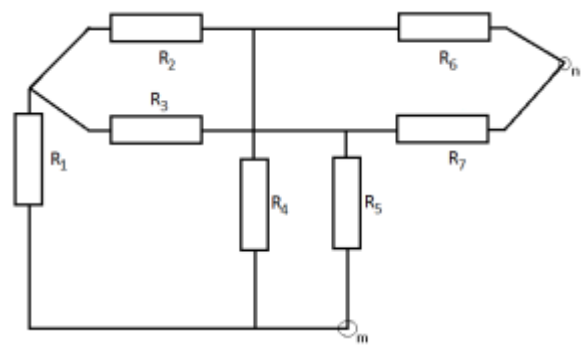


Рис. 145

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме – рис. 145). Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n . Для этого пересчитаем две звезды в этой схеме ($R_2 R_4 R_6$ и $R_3 R_5 R_7$) в треугольники (рис.146):

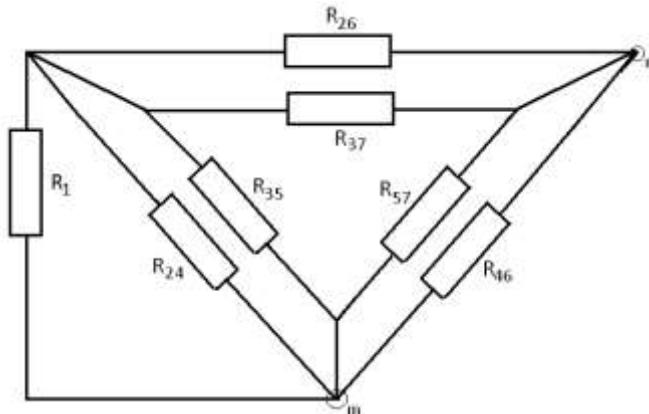


Рис. 146

$$g_{24} = \frac{g_2 g_4}{g_2 + g_4 + g_6} = 0.014 \text{ См,}$$

$$g_{26} = \frac{g_2 g_6}{g_2 + g_4 + g_6} = 0.0286 \text{ См,}$$

$$g_{46} = \frac{g_4 g_6}{g_2 + g_4 + g_6} = 0.0071 \text{ См}$$

$$R_{24} = 71.5 \text{ Ом, } R_{26} = 35 \text{ Ом, } R_{46} = 140.1 \text{ Ом}$$

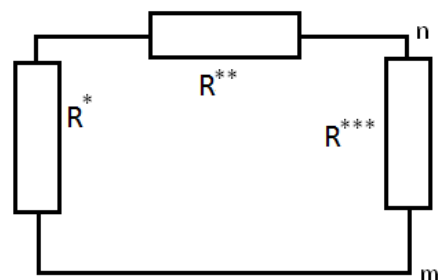
$$g_{35} = \frac{g_3 g_5}{g_3 + g_5 + g_7} = 0.04 \text{ См,}$$

$$g_{57} = \frac{g_5 g_7}{g_3 + g_5 + g_7} = 0.08 \text{ См,}$$

$$g_{37} = \frac{g_3 g_7}{g_3 + g_5 + g_7} = 0.04 \text{ См}$$

$$R_{35} = 25 \text{ Ом, } R_{57} = 12.5 \text{ Ом, } R_{37} = 25 \text{ Ом}$$

Рис. 147



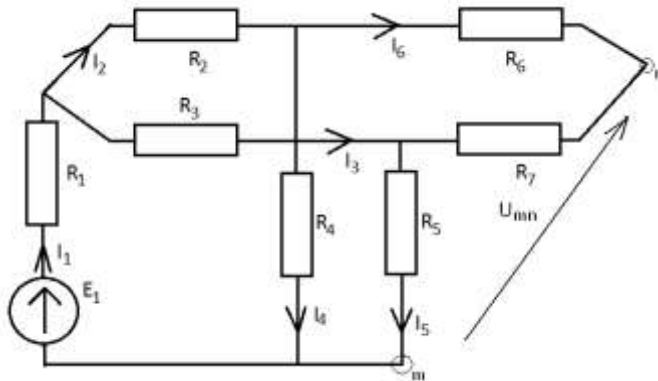
$$R^* = \frac{R_1 R_{24} R_{35}}{R_1 R_{24} + R_{24} R_{35} + R_1 R_{35}} = 3.29 \text{ Ом}$$

$$R^{**} = \frac{R_{26} R_{37}}{R_{26} + R_{37}} = 14.58 \text{ Ом}$$

$$R^{***} = \frac{R_{46} R_{57}}{R_{46} + R_{57}} = 11.48 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{(R^* + R^{**})R^{***}}{R^* + R^{**} + R^{***}} = 7 \text{ Ом}$$

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора.



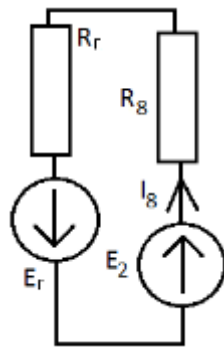
$$U_{mn} = -I_5 R_5 - I_6 R_7$$

Токи в данной схеме найдем любым способом, например, по Кирхгофу (значения токов не приведены).

$$U_{mn} = -13.5 \text{ В}$$

Рис. 148

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток (рис. 149).



$$I_8 = \frac{E_2 + E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_8} = -0.5 \text{ А}$$

Рис. 149

Пример 3. Найти токи в схеме рис.20 с применением метода эквивалентного генератора.

Дано: $R_1 = 10 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$; $R_4 = 40 \text{ Ом}$; $R_5 = 15 \text{ Ом}$; $R_6 = 20 \text{ Ом}$; $E_1 = 20 \text{ В}$; $E_2 = 40 \text{ В}$; $E_3 = 80 \text{ В}$; $J = 1 \text{ А}$

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.150)

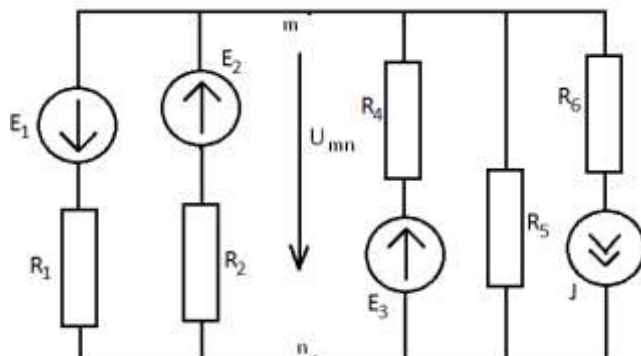


Рис.150

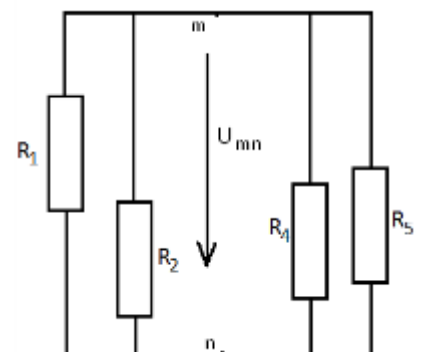


Рис. 151

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме), а ветвь с источником тока обрывается – рис. 151. Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n .

$$\frac{1}{R_{\Gamma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = 0.442 \text{ См}$$

$$R_{\Gamma} = 2.26 \text{ Ом}$$

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора (рис. 152).

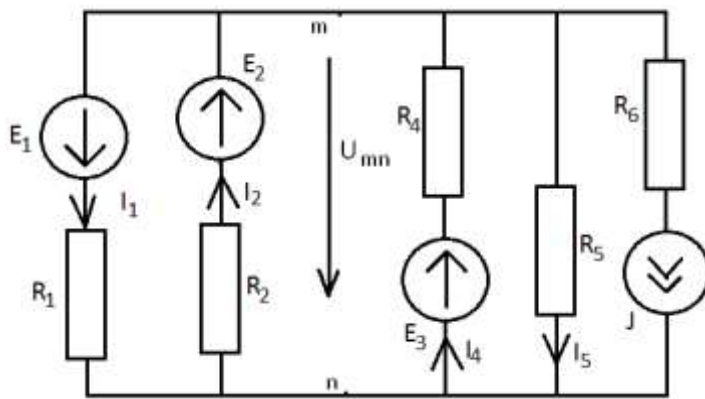


Рис. 152

$$U_{mn} = I_5 R_5 = E_3 - I_4 R_4$$

$$= -E_2 - I_2 R_2$$

$$= -E_1 + I_1 R_1$$

Токи в данной схеме найдем любым способом, например, по Кирхгофу (уравнения и значения токов не приведены).

Тогда

$$U_{mn} = 20.38 \text{ В}$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток – рис. 153.

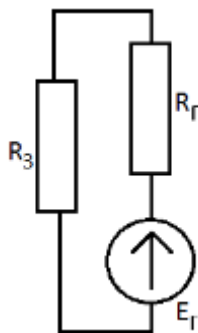


Рис. 153

$$E_{\Gamma} = U_{mn}$$

$$I_3 = \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_3} = 2.8 \text{ А}$$

Расчет токов других ветвей для данной схемы не производился, поскольку он аналогичен приведенному выше.

Пример 4. Найти токи в схеме рис.25 с применением метода эквивалентного генератора.

Дано: $R_1 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 6 \text{ Ом}$; $R_3 = 2 \text{ Ом}$; $R_4 = 8 \text{ Ом}$; $R_5 = 10 \text{ Ом}$; $E_1 = 3 \text{ В}$; $E_2 = 2 \text{ В}$, $E_3 = 2 \text{ В}$, $E_5 = 1 \text{ В}$, $J_3 = 1 \text{ А}$, $J_4 = 0.5 \text{ А}$.

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.154)

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме), а ветви с

источником тока обрываются – рис. 155. Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n .

$$R_{\Gamma} = \frac{R_1(R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5})}{R_1 + R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}} = 2.47 \text{ Ом}$$

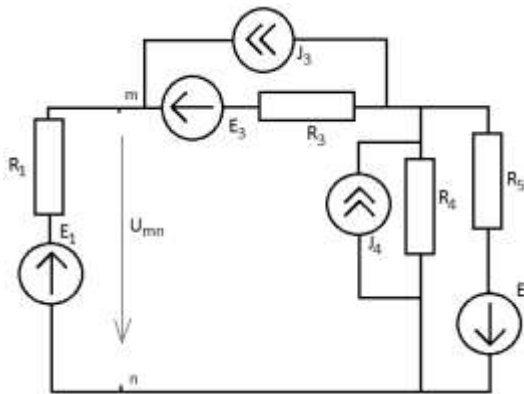


Рис. 154

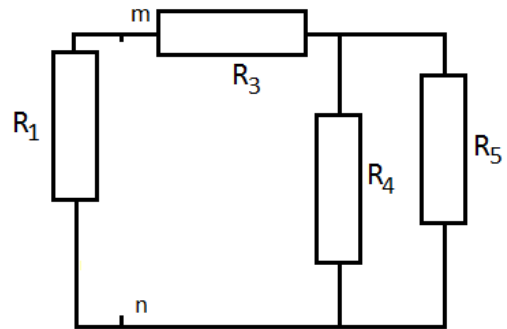


Рис. 155

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора – рис. 156.

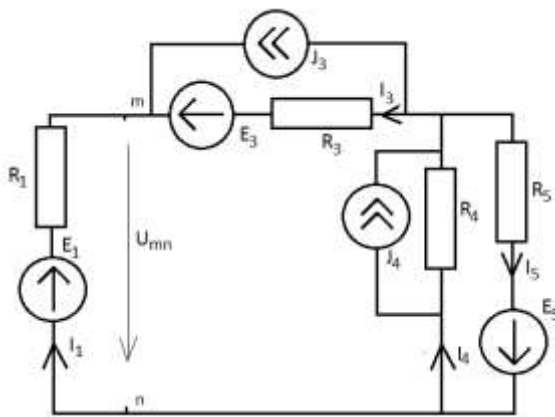


Рис. 156

$$U_{mn} = E_1 - I_1 R_1$$

Токи в данной схеме найдем по Кирхгофу (уравнения и значения токов не приведены).

Тогда

$$U_{mn} = 4.06 \text{ В}$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток – рис. 157.

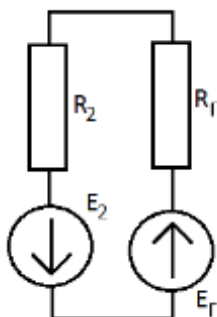


Рис. 157

$$I_2 = \frac{E_2 + E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_2} = 0.715 \text{ А}$$

Вычислим ток I_4 .

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.158)

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме), а ветви с источником тока обрываются – рис. 159. Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n .

$$R_{\Gamma} = \frac{R_5 \left(R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)}{R_5 + R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 3 \text{ Ом}$$

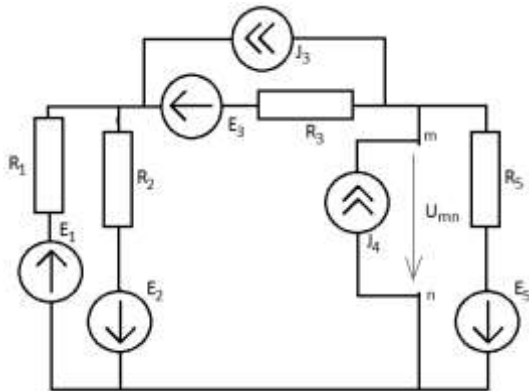


Рис. 158

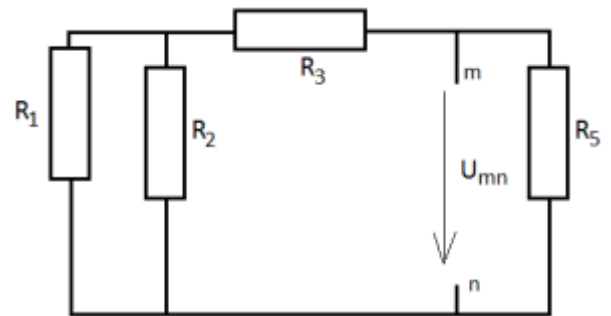


Рис. 159

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора.

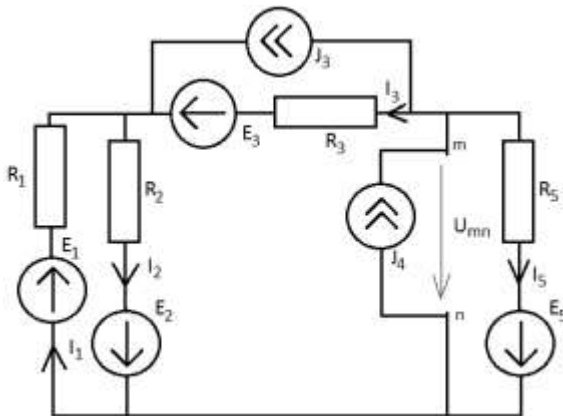


Рис. 160

$$U_{mn} = -E_5 + I_5 R_5$$

Токи в данной схеме найдем по Кирхгофу (уравнения и значения токов не приведены).

Тогда

$$U_{mn} = -0.869 \text{ В}$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток – рис. 161.

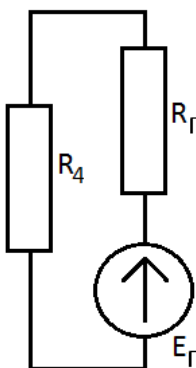


Рис. 161

$$E_{\Gamma} = U_{mn}$$

$$I_4 = \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_4} = -0.079 \text{ А}$$

Здесь предполагается направление тока I_4 вниз, поэтому ток получился отрицательным (в других методах расчета ток направлен вверх, и имеет положительное значение).

Пример 5. Найти токи в схеме рис.31 с применением метода эквивалентного генератора.

Дано: $R_1 = 10 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 20 \text{ Ом}$; $R_4 = 20 \text{ Ом}$; $R_5 = 5 \text{ Ом}$; $R_6 = 80 \text{ Ом}$; $R_7 = 80 \text{ Ом}$; $E_1 = 40 \text{ В}$; $E_2 = 80 \text{ В}$.

Сначала найдем ток I_2 .

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.162)

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме). Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n – рис. 163.

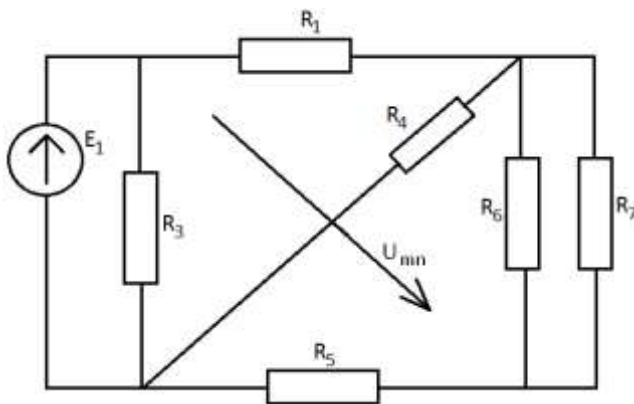


Рис. 162

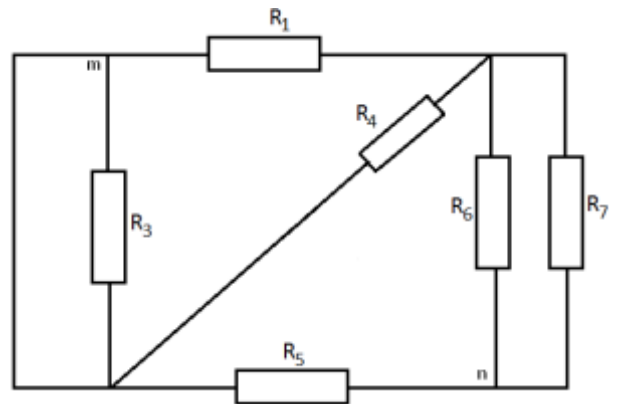


Рис. 163

Произведем перерасчет треугольника $R_1 R_3 R_4$ (рис. 163) в звезду.

$$R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3 + R_4} = 4 \text{ Ом}$$

$$R_{14} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = 4 \text{ Ом}$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = 8 \text{ Ом}$$

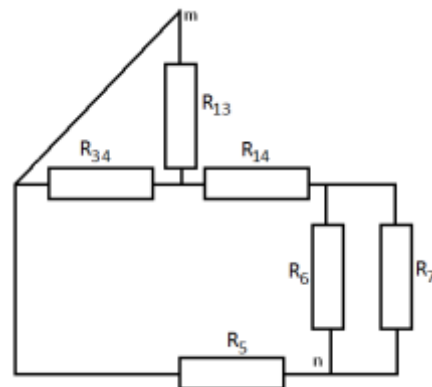


Рис. 164

Поскольку ветвь E_1 - вырожденная (содержит идеальный источник), то при его закорачивании образуется узел, то есть сопротивления R_{13} и R_{34} соединены параллельно.

Тогда

$$R_{67} = \frac{R_6 R_7}{R_6 + R_7} = 40 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\left[\frac{(R_{13} R_{34})}{R_{13} + R_{34}} + R_{14} + R_{67} \right] R_5}{\frac{(R_{13} R_{34})}{R_{13} + R_{34}} + R_{14} + R_{67} + R_5} = 4.51 \text{ Ом}$$

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора – рис. 165.

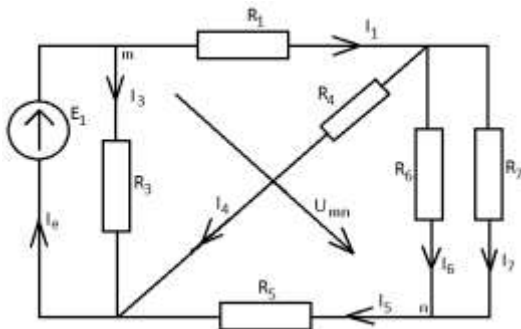


Рис. 165

$$U_{mn} = I_1 R_1 + I_6 R_6$$
 Токи в данной схеме найдем по Кирхгофу (уравнения и значения токов не приведены).

Тогда

$$U_{mn} = 37.42 \text{ В}$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток – рис. 166.

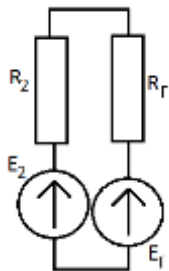


Рис. 166

$$I_2 = \frac{E_2 - E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_2} = 5 \text{ А}$$

Теперь определим ток I_1 :

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.167)

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме – рис. 168). Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов m и n .

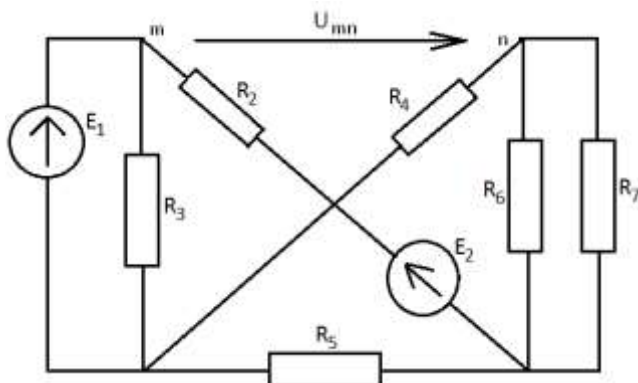


Рис. 167

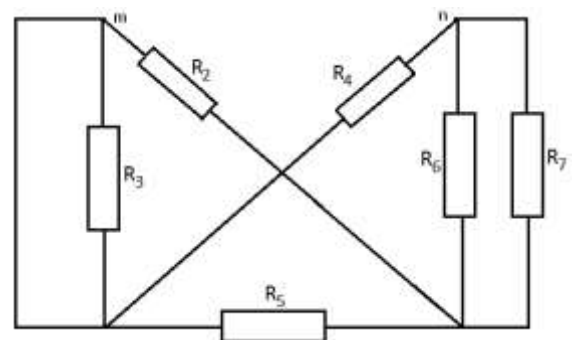


Рис. 168

Произведем перерасчет треугольника $R_2R_3R_5$ в звезду.

$$R_{23} = \frac{R_2R_3}{R_2+R_3+R_5} = 2.76 \text{ Ом}$$

$$R_{25} = \frac{R_2R_5}{R_2+R_3+R_5} = 0.689 \text{ Ом}$$

$$R_{35} = \frac{R_3R_5}{R_2+R_3+R_5} = 3.45 \text{ Ом}$$

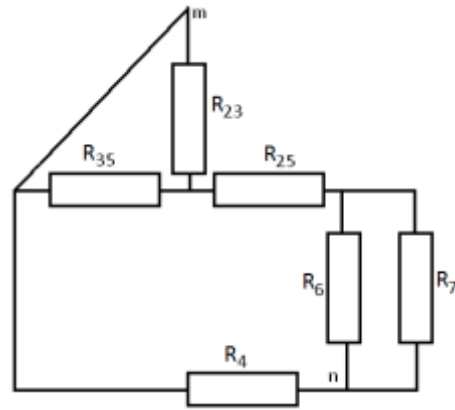


Рис. 169

Поскольку ветвь E_1 - вырожденная (содержит идеальный источник), то при его закорачивании образуется перемычка, наличие которой необходимо учитывать при расчете эквивалентного сопротивления генератора.

Тогда

$$R_{67} = \frac{R_6R_7}{R_6 + R_7} = 40 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = \frac{\left[\frac{(R_{23}R_{35})}{R_{23}+R_{35}} + R_{25} + R_{67} \right] R_4}{\frac{(R_{23}R_{35})}{R_{23}+R_{35}} + R_{25} + R_{67} + R_4} = 13.57 \text{ Ом}$$

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора – рис. 170.

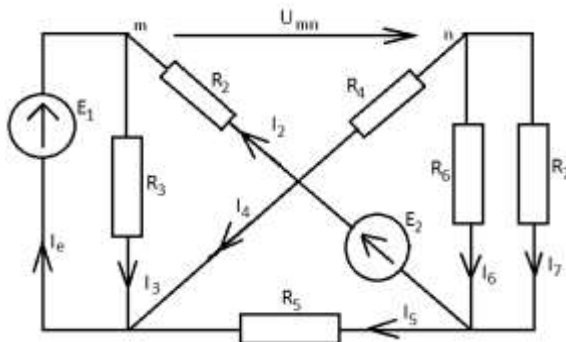


Рис. 170

$$U_{mn} = I_3R_3 - I_4R_4$$

Токи в данной схеме найдем по Кирхгофу (уравнения и значения токов не приведены).

Тогда

$$U_{mn} = 47.14 \text{ В}$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток – рис. 171

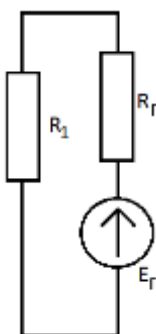


Рис. 171

$$E_{\Gamma} = U_{mn}$$

$$I_1 = \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_1} = 2 \text{ А}$$

Определим теперь ток I_e :

1.5.1. Удаляем из схемы ветвь с искомым током (см. рис.172)

1.5.2. Определяем эквивалентное сопротивление генератора. Для этого источники ЭДС закорачиваются (заменяются на отрезок провода, причем их внутреннее сопротивление остается в схеме – рис. 173).

Произведем расчет входного сопротивления оставшейся схемы относительно зажимов *m* и *n*.

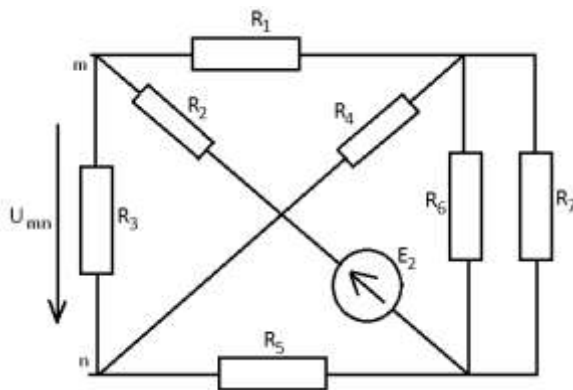


Рис.172

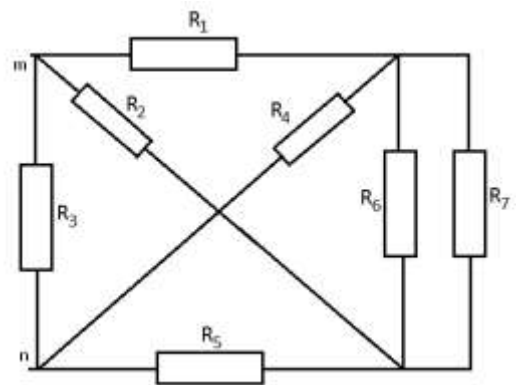


Рис. 173

Произведем перерасчет треугольника $R_4 R_5 R_{67}$ в звезду – рис. 174.

$$R_{67} = \frac{R_6 R_7}{R_6 + R_7} = 40 \text{ Ом}$$

$$R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5 + R_{67}} = 1.54 \text{ Ом}$$

$$R_{467} = \frac{R_4 R_{67}}{R_4 + R_5 + R_{67}} = 12.3 \text{ Ом}$$

$$R_{567} = \frac{R_5 R_{67}}{R_4 + R_5 + R_{67}} = 3.08 \text{ Ом}$$

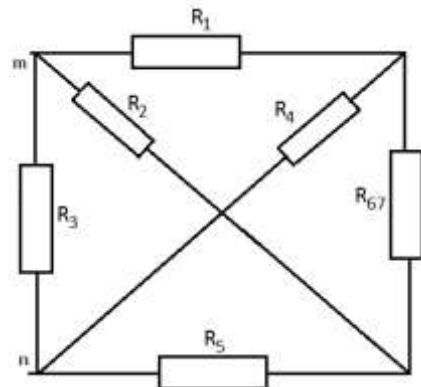


Рис. 174

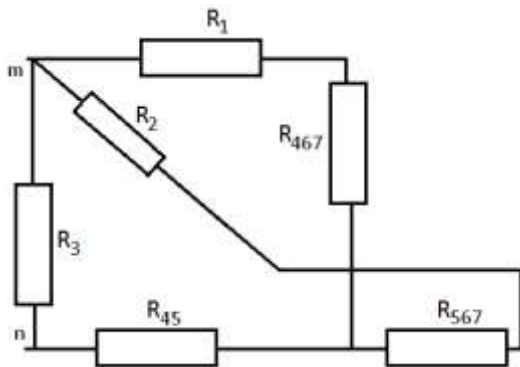


Рис. 175

Тогда $R^* = R_1 + R_{467} = 22.3 \text{ Ом}$;

$R^{**} = R_2 + R_{567} = 7.08 \text{ Ом}$;

$R^{***} = R_3 + R_{45} = 21.54 \text{ Ом}$

$$R_{\Sigma} = \frac{R^* R^{**} R^{***}}{R^* R^{**} + R^{**} R^{***} + R^* R^{***}} = 4.3 \text{ Ом}$$

1.5.3. Рассчитаем эквивалентную ЭДС генератора.

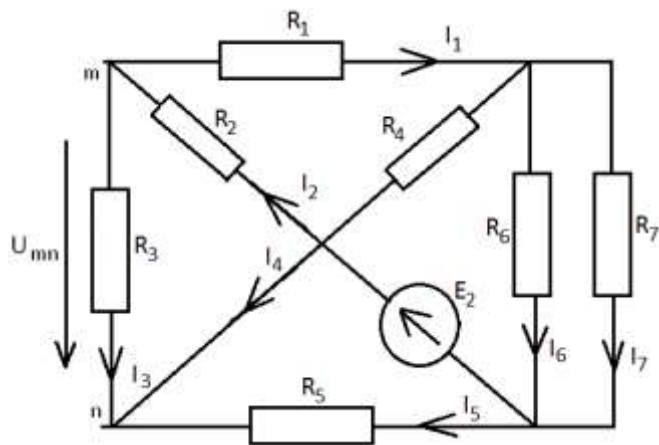


Рис. 176

$$U_{mn} = I_3 R_3$$

Токи в данной схеме найдем по Кирхгофу (уравнения и значения токов не приведены).

Тогда

$$U_{mn} = 45.1B$$

1.5.4. Зная сопротивление генератора и его эквивалентную ЭДС, определяем неизвестный ток – рис. 177.

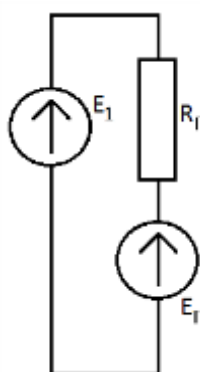


Рис. 177

$$E_{\Gamma} = U_{mn}$$

$$I_e = \frac{E_1 - E_{\Gamma}}{R_{\Gamma}} = -1.19 A$$

Полученное значение тока несколько отличается от полученных другими методами расчета вследствие потери точности вычислений в ходе преобразований.

Рассчитать этим методом ток в ветви R_3 невозможно, поскольку при расчете эквивалентного сопротивления генератора между зажимами m и n образуется перемычка при удалении источника E_1 . Ток в этой ветви нужно определять другими методами.