

# Курсовая Элтех 3 сем

Татарников Максим

Москва 2023

# 1 Выбор схемы и числовых данных

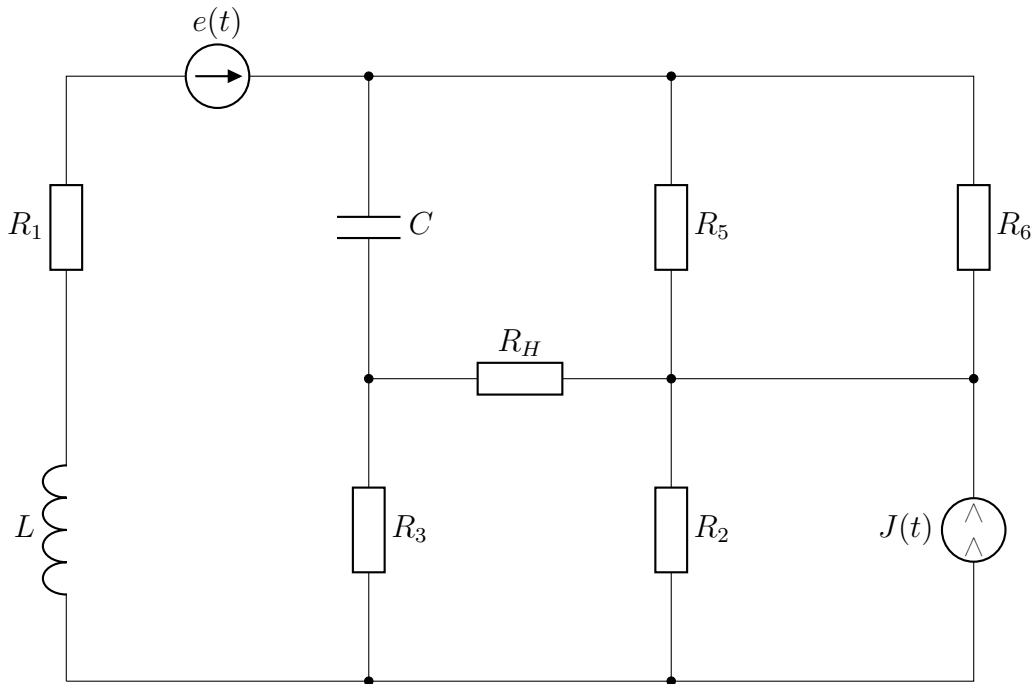


Рис. 1: Электрическая цепь

Параметры:

$$N = 7$$

$$n = 16$$

$$\omega = 1300 \text{ rad/c}$$

$$k = 3$$

$$e(t) = E_0 + E_m \sin 3\omega t$$

$$E_0 = 2 + 0.5 \cdot N + 0.3 \cdot n = 2 + 0.5 \cdot 7 + 0.3 \cdot 16 = 10.3 \text{ B}$$

$$E_m = E_0 \sqrt{2} = 10.3 \cdot \sqrt{2} = 14.57 \text{ B}$$

$$e(t) = 10.3 + 14.57 \cdot \sin(3 \cdot 1300t) = 10.3 + 14.57 \cdot \sin 3900t \text{ B}$$

$$J(t) = J_0 + J_m \sin \omega t$$

$$J_0 = 7 + 3 \cdot N + 7 \cdot n = 7 + 3 \cdot 7 + 7 \cdot 16 = 140 \text{ mA}$$

$$J_m = J_0 \sqrt{2} = 140 \cdot \sqrt{2} = 197.99 \text{ mA}$$

$$J(t) = 140 + 197.99 \cdot \sin 1300t \text{ mA}$$

$$R_1 = 50 + 7 \cdot N + 5 \cdot n = 50 + 7 \cdot 7 + 5 \cdot 16 = 179 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 75 + 9 \cdot N + 7 \cdot n = 75 + 9 \cdot 7 + 7 \cdot 16 = 250 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 100 + 7 \cdot N + 5 \cdot n = 100 + 7 \cdot 7 + 5 \cdot 16 = 229 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 75 + 7 \cdot N + 5 \cdot n = 75 + 7 \cdot 7 + 5 \cdot 16 = 204 \text{ Ом}$$

$$R_5 = R_6 = 100 + 9 \cdot N + 7 \cdot n = 100 + 9 \cdot 7 + 7 \cdot 7 = 212 \text{ Ом}$$

$$R_H = 60 + 9 \cdot N + 7 \cdot n = 60 + 9 \cdot 7 + 7 \cdot 16 = 235 \text{ Ом}$$

$$L = 50 + 0.8 \cdot N + 0.3 \cdot n = 50 + 0.8 \cdot 7 + 0.3 \cdot 16 = 60.4 \text{ мГн}$$

$$C = 3 + 0.3 \cdot N + 0.2 \cdot n = 3 + 0.3 \cdot 7 + 0.2 \cdot 16 = 8.3 \text{ мкФ}$$

## 2 Расчет установившихся режимов линейной электрической цепи при постоянных воздействиях

При постоянном токе конденсатор создает разрыв, катушка индуктивности закорочена, источник тока и источник напряжения имеют только компоненты  $J_0, E_0$  соответственно, поэтому возможно перерисовать цепь следующим образом:

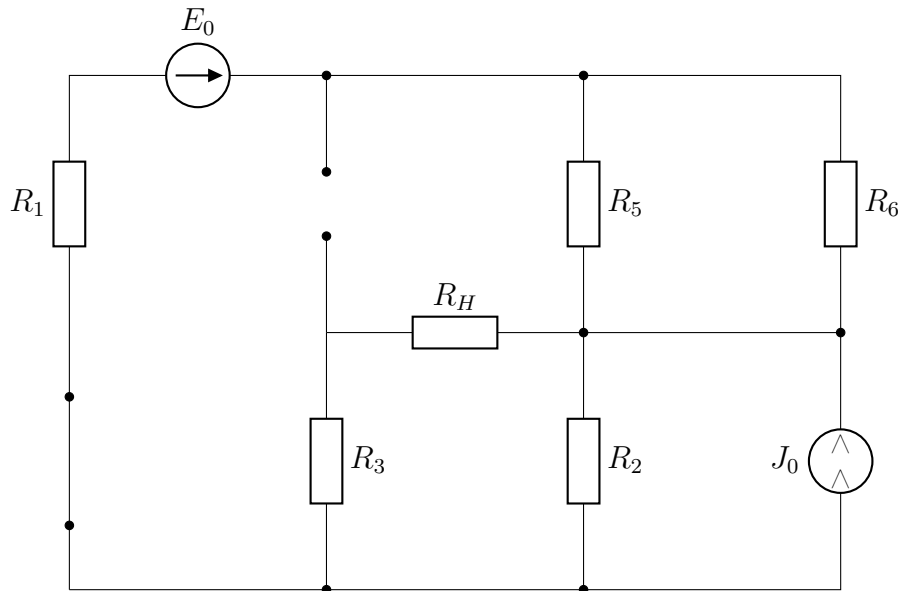


Рис. 2: Электрическая цепь

### 2.1 Нахождение потенциалов и токов методом узловых потенциалов

Расставим потенциалы, случайным образом укажем направления токов в ветвях:

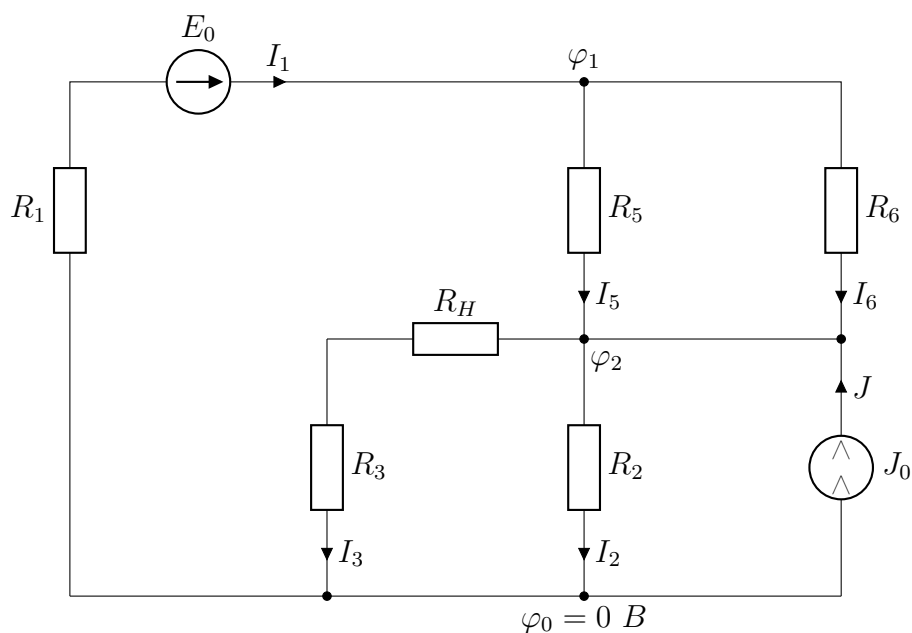


Рис. 3: Электрическая цепь

Определим потенциалы узлов и узловые токи в ветвях с помощью метода узловых потенциалов, при условии, что  $\varphi_0 = 0$  В:

Рассчитаем проводимости каждой ветви:

$$\begin{aligned} G_1 &= \frac{1}{R_1} = \frac{1}{179} = 5.59 \text{ мСм} \\ G_2 &= \frac{1}{R_2} = \frac{1}{250} = 4 \text{ мСм} \\ G_3 &= \frac{1}{R_3+R_H} = \frac{1}{229+235} = 2.16 \text{ мСм} \\ G_5 &= \frac{1}{R_5} = \frac{1}{212} = 4.72 \text{ мСм} \\ G_6 &= \frac{1}{R_6} = \frac{1}{212} = 4.72 \text{ мСм} \\ G_J &= 0 \text{ См} \end{aligned}$$

Рассчитаем собственные и взаимные проводимости:

$$\begin{aligned} G_{11} &= G_1 + G_5 + G_6 = 5.59 + 4.72 + 4.72 = 15.03 \text{ мСм} \\ G_{22} &= G_2 + G_3 + G_5 + G_6 = 4 + 2.16 + 4.72 + 4.72 = 15.6 \text{ мСм} \\ G_{12} &= G_{21} = G_5 + G_6 = 4.72 + 4.72 = 9.44 \text{ мСм} \end{aligned}$$

Узловые токи:

$$\begin{aligned} J_1^y &= \frac{E_0}{R_1} = \frac{10.3}{179} = 57.5 \text{ мА} \\ J_2^y &= J = J_0 = 140 \text{ мА} \end{aligned}$$

Запишем уравнения:

$$\begin{cases} \varphi_1 G_{11} - \varphi_2 G_{12} = J_1^y \\ -\varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} = J_2^y \end{cases}$$

Подставим значения:

$$\begin{cases} 15.03\varphi_1 - 9.44\varphi_2 = 57.5 \\ -9.44\varphi_1 + 15.6\varphi_2 = 140 \end{cases}$$

Составим Матричное уравнение:

$$\begin{pmatrix} 15.03 & -9.44 \\ -9.44 & 15.6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 57.5 \\ 140 \end{pmatrix}$$

Решив матрицу, получаем ответ:

$$\begin{cases} \varphi_1 = 15.26 \text{ В} \\ \varphi_2 = 18.21 \text{ В} \end{cases}$$

Рассчитаем узловые токи:

$$\begin{cases} I_1 = (\varphi_0 - \varphi_1 + E_0) \cdot G_1 = (0 - 15.26 + 10.3) \cdot 5.59 = -27.73 \text{ мА} \\ I_2 = (\varphi_2 - \varphi_0) \cdot G_2 = (18.21 - 0) \cdot 4 = 72.84 \text{ мА} \\ I_3 = (\varphi_2 - \varphi_0) \cdot G_3 = (18.21 - 0) \cdot 2.16 = 39.33 \text{ мА} \\ I_5 = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot G_5 = (15.26 - 18.21) \cdot 4.72 = -13.92 \text{ мА} \\ I_6 = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot G_6 = (15.26 - 18.21) \cdot 4.72 = -13.92 \text{ мА} \end{cases}$$

Знак минус перед токами  $I_1$ ,  $I_5$  и  $I_6$  обозначает, что истинное направление токов противоположно.

## 2.2 Расчет параметров двухполюсника ( $U_p, R_{BX}, I_{кз}$ ) относительно сопротивления $R_H$

Перерисуем схему относительно  $R_H$  для нахождения эквивалентного сопротивления и напряжения:

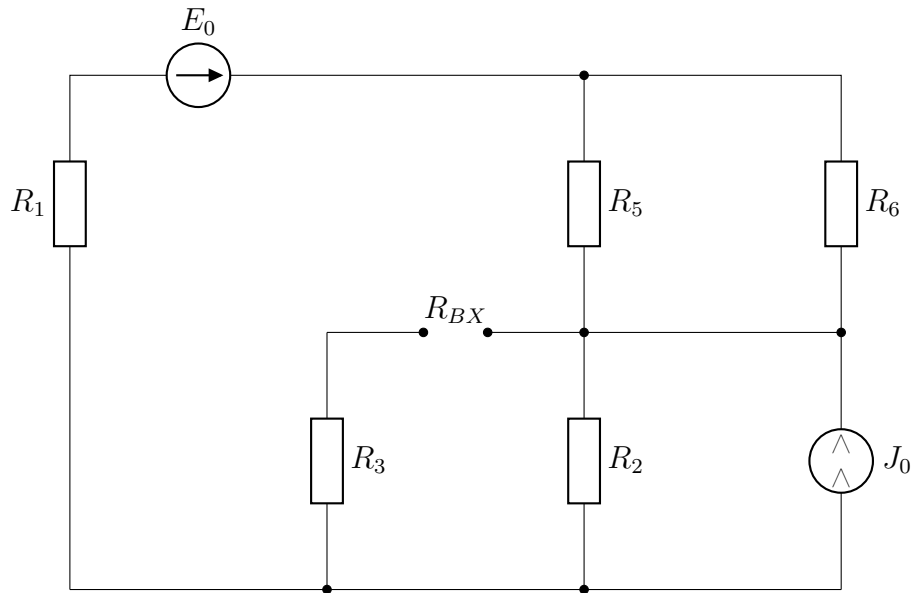


Рис. 4: Электрическая цепь

Закоротим источник напряжения и разорвем цепь на месте источника тока:

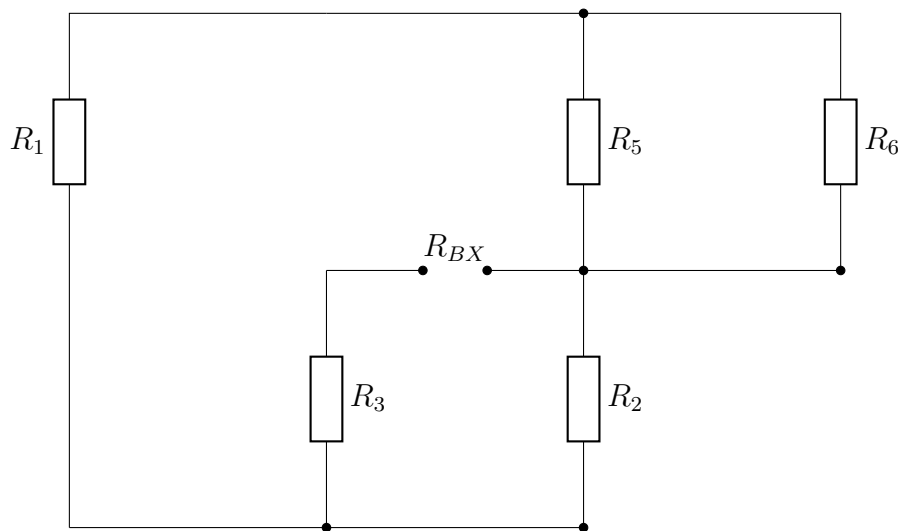


Рис. 5: Электрическая цепь

Перерисуем схему для более удобного вычисления  $R_{BX}$ :

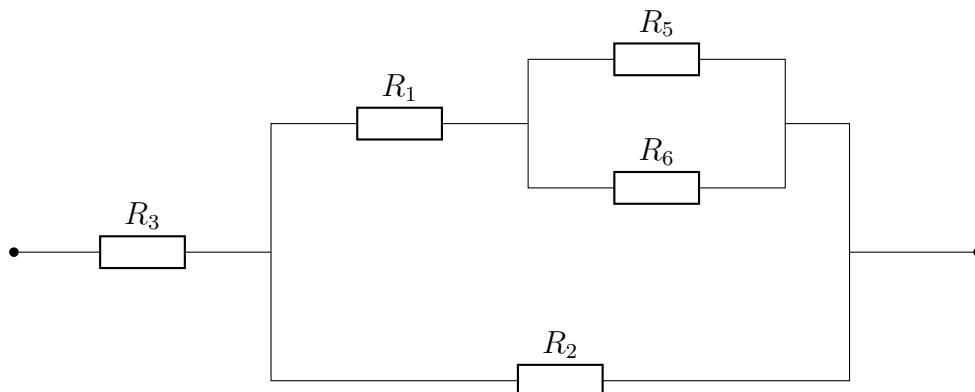


Рис. 6: Общее сопротивление

Рассчитаем общее сопротивление  $R_{BX}$ :

$$R_{BX} = R_3 + R_{1256} = 229 + 133.18 = 362.18 \text{ Ом}$$

$$R_{1256} = \frac{R_{156} \cdot R_2}{R_2 + R_{156}} = \frac{285 \cdot 250}{285 + 250} = 133.18 \text{ Ом}$$

$$R_{156} = R_1 + R_{56} = 179 + 106 = 285 \text{ Ом}$$

$$R_{56} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{212 \cdot 212}{212 + 212} = 106 \text{ Ом}$$

Определим  $U_p$  с помощью метода суперпозиции:

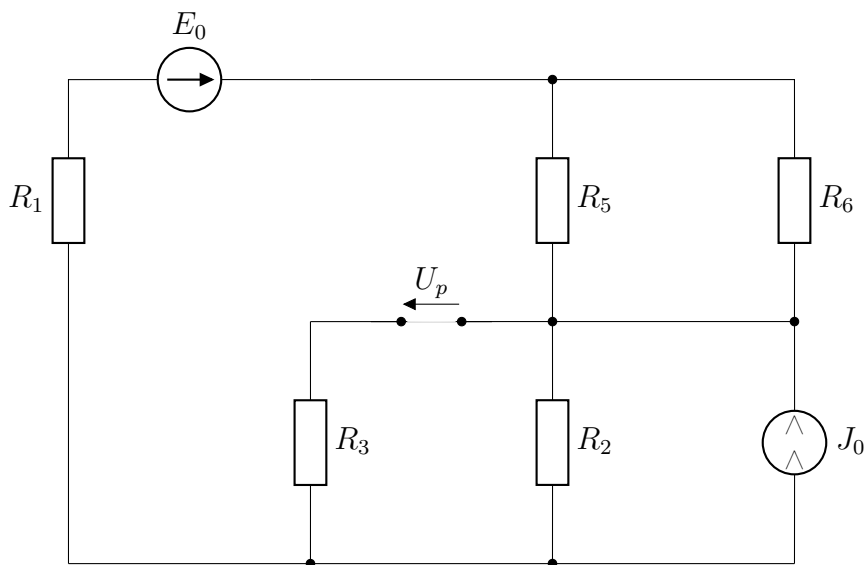


Рис. 7: Электрическая цепь

Для расчета эквивалентного напряжения  $U_p$  методом суперпозиции, отметим в цепи частичные токи и заменим сначала источник тока  $J_0$  на разрыв цепи.

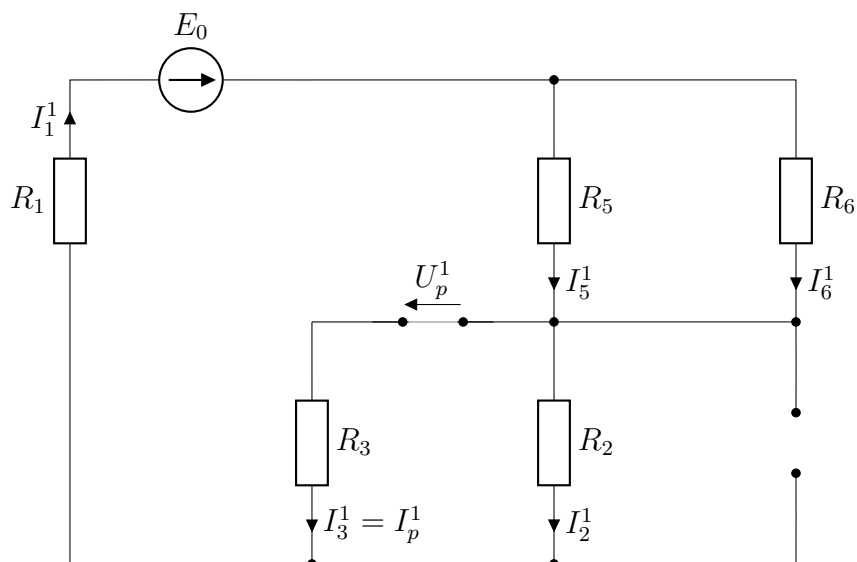


Рис. 8: Электрическая цепь

Вместе с  $U_p$  последовательно подключен  $R_3$ , так как в этом месте разрыв цепи, то в расчетах частичных токов оно учитываться не будет.

Свернем  $R_5$  и  $R_6$  в один резистор  $R_{56}$ , чтобы получить схему из одной ветви и рассчитать силу тока через закон Ома, причем  $I_1^1 = I_2^1 = I_{56}^1 = I^1$ .

$$R_{56} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{212 \cdot 212}{212 + 212} = 106 \text{ Ом}$$

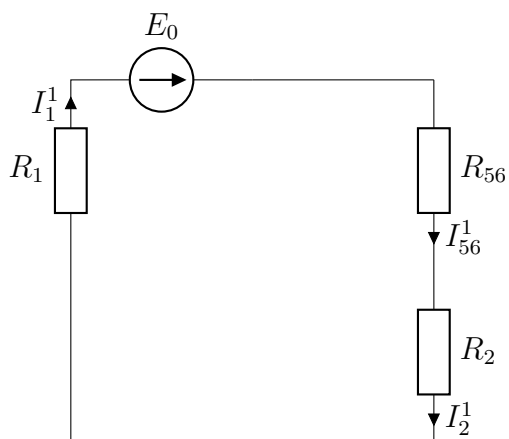


Рис. 9: Электрическая цепь

$$I' = \frac{E_0}{R_1 + R_2 + R_{56}} = \frac{10.3}{179 + 250 + 106} = 19.25 \text{ мА}$$

Изменим схему, подключив источник тока и закоротив источник напряжения:

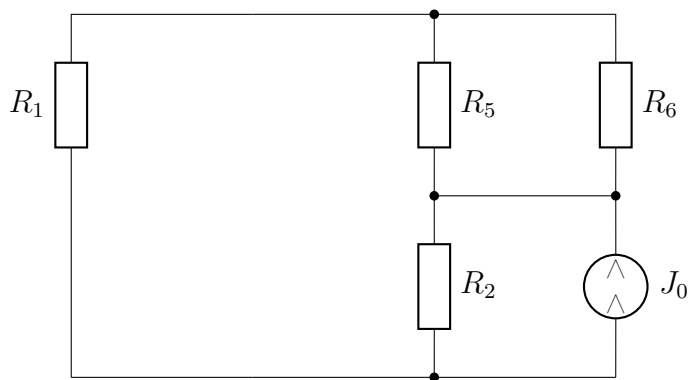


Рис. 10: Электрическая цепь

Сделаем замену источника тока  $J_0$  и резистора  $R_2$  на эквивалентный источник напряжения  $E_2$  и резистор  $R_2$ .

$$E_2 = J_0 \cdot R_2 = 0.140 \cdot 250 = 35B$$

Преобразовав  $R_5$  и  $R_6$  в один резистор  $R_{56}$ , снова получим цепь, состоящую из одной ветви. Направим ток против часовой стрелки, сонаправленно с источником тока, и получим следующую схему:

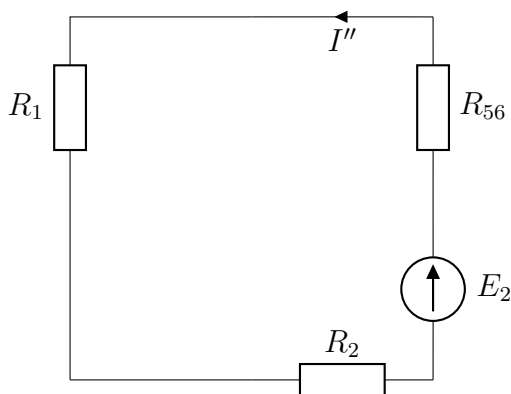


Рис. 11: Электрическая цепь

По закону Ома:

$$I'' = \frac{E_2}{R_1 + R_2 + R_{56}} = \frac{35}{179 + 250 + 106} = 65.42 \text{ мА}$$

Так как токи текут в разные стороны, то вычитая из большего меньший, получаем общий ток, направленный против источника напряжения и сонаправленный с источником тока:

$$I = I'' - I' = 65.42 - 19.25 = 46.17 \text{ мА}$$



Возвращаясь к исходной схеме, расставим потенциалы и посчитаем напряжение между ними:

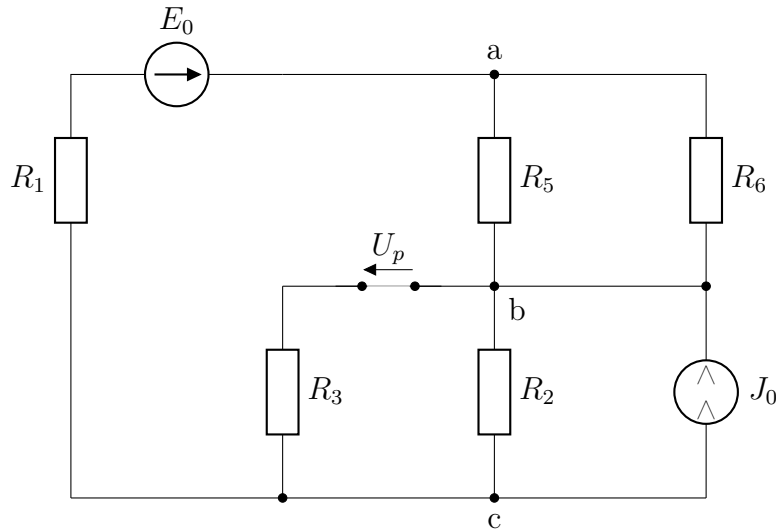


Рис. 12: Электрическая цепь

Рассмотрим часть цепи между потенциалами  $\varphi_b$  и  $\varphi_c$ :  $U_p = U_2 = I_2 \cdot R_2$

По первому закону Кирхгофа  $I_2 = J_0 - I_1$ , где  $I_1 = I = 46.17$  мА из метода суперпозиции, тогда:

$$I_2 = J_0 - I_1 = 140 - 46.17 = 93.83 \text{ мА}$$

$$U_p = U_2 = I_2 \cdot R_2 = 93.83 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 23.46 \text{ В}$$

В итоге, можно перерисовать схему с использованием эквивалентного источника напряжения и эквивалентного сопротивления:

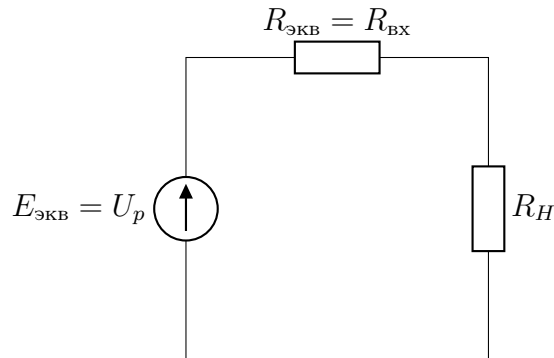


Рис. 13: Схема эквивалентного генератора

Рассчитаем  $I_{кз}$  и  $I_p$  по определению:

$$I_{кз} = \frac{U_p}{R_{вх}} = \frac{23.45}{362.2} = 64.74 \text{ мА}$$

$$I_H = \frac{U_p}{R_{вх} + R_H} = \frac{23.45}{362.2 + 235} = 39.27 \text{ мА}$$

Ответ:

$$U_p = 23.45 \text{ В}, R_{вх} = 362.2 \text{ Ом}, I_{кз} = 64.74 \text{ мА}$$

Сравнивая значения  $I_H$ , полученные методом узловых потенциалов и методом эквивалентного генератора, разница их значений совпадает на  $\frac{I_H}{I_{H\varphi}} = \frac{39.27}{39.33} = 0.998$  или 99.8%, то есть погрешность в вычислениях составила менее 0.2%.

## 2.3 Составление уравнения баланса мощности

Составим уравнение баланса активных мощностей.

Общая формула:

$$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{пр}}$$

$$P_{\text{пр}} = I^2 R;$$

$$P_{\text{ист}} = UI$$

$$\sum I \cdot E = \sum I^2 \cdot R$$

$$\begin{aligned} -E_0 \cdot I_1 + (\varphi_2 - \varphi_0) \cdot J &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 (R_3 + R_H) + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 \\ -10.3 \cdot 27.73 \cdot 10^{-3} + 18.21 \cdot 140 \cdot 10^{-3} &= (27.73 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 179 + (72.84 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 250 + (39.33 \cdot \\ 10^{-3})^2 \cdot (229 + 235) + (13.92 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 212 &+ (13.92 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 212 \end{aligned}$$

$$2.263 \text{ Вт} = 2.264 \text{ Вт}$$

Рассчитаем погрешность вычислений:

$$\delta = \frac{|P_{\text{ист}} - P_{\text{пр}}|}{P_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{|2.263 - 2.264|}{2.263} \cdot 100\% = 0.038\% < 1\% \implies \text{вычисления сошлись, значения верны.}$$

Так как все вычисления были проделаны два раза, двумя разными методами, а также проверены уравнением баланса мощности, и в итоге различие значений составило менее 1%, то можно с уверенностью сказать, что ответы верны.