

ЛЕКЦИЯ №4

**По
дисциплине:**

«Электроника и электротехника»

Тема №:2

Электрические цепи постоянного тока

Занятие №:2

Основные методы расчета сложных электрических цепей

Учебные вопросы:

1. Метод контурных токов.
2. Метод узловых потенциалов.
3. Метод эквивалентного генератора.

Литература для самостоятельной работы обучающихся:

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники: учебник. – 9-е изд., стер/ И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я Фролов. – СПб: Лань, 2017. – 736 с.

2. Касаткин, А.С. Электротехника: учебник/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 12-е изд. стер. – Москва.: Академия, 2008. – 544 с. – и предыдущие издания.

б) дополнительная литература:

3. Немцов, М. В. Электротехника и электроника: учебник/ М. В. Немцов. – Москва: КноРус, 2016. – 560 с. – и предыдущие издания.

Введение

С помощью законов Ома и Кирхгофа можно рассчитать электрические цепи любой сложности. Однако решение в этом случае может оказаться слишком громоздким и потребует больших затрат времени. По этой причине для расчета сложных электрических цепей разработаны более рациональные методы расчета, два из которых: метод узлового напряжения и метод эквивалентного генератора, будут рассмотрены в данной лекции.

Метод узлового напряжения рекомендуется использовать в том случае, если сложную электрическую схему можно упростить, заменяя последовательно и параллельно соединенные резисторы эквивалентными, используя при необходимости преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду. Если полученная схема содержит несколько параллельно соединенных активных и пассивных ветвей, то ее расчет и анализ весьма просто можно произвести данным методом.

Метод эквивалентного генератора позволяет произвести частичный анализ электрической цепи. Например, определить ток в какой-либо одной ветви сложной электрической цепи и исследовать поведение этой ветви при изменении ее сопротивления.

Основные методы расчета сложных электрических цепей

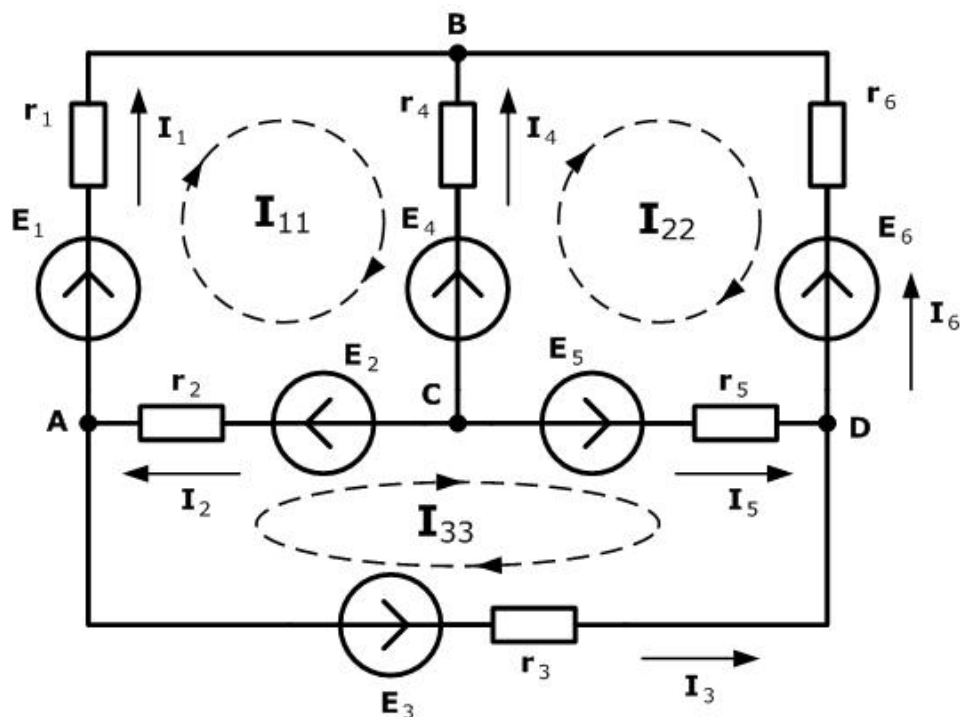
1-й учебный вопрос: Метод контурных токов

Метод контурных токов дает возможность упростить расчет электрических цепей по сравнению с методом законов Кирхгофа за счет уменьшения числа уравнений, которые приходится решать совместно до величины: $(l-k+1-m)$ и основан на применении второго закона Кирхгофа. Напомним, что: k - количество узлов электрической цепи, l - ветвей и m - идеальных источников тока. Метод основывается на том свойстве, что ток в любой ветви может быть представлен как алгебраическая сумма контурных токов, протекающих по этой ветви. Уравнения составляются только по второму закону Кирхгофа, но не для действительных, а для воображаемых токов, циркулирующих по замкнутым контурам электрической цепи.

Расчет сложных электрических цепей методом контурных токов производят в следующей последовательности:

1. Вычерчиваем принципиальную схему и все ее элементы. На схеме выбирают и обозначают контурные токи, таким образом, чтобы по любой ветви проходил хотя бы один выбранный контурный ток (исключая ветви с идеальными источниками тока). Контурные токи можно выбирать произвольно, лишь бы их число было равно $(l-k+1-m)$, и чтобы каждый новый контур содержал хотя бы одну ветвь, не входящую в предыдущие.
2. Произвольно задаемся направлением протекания контурных токов в каждом из независимых контуров (по часовой стрелке или против).

Для более наглядного рассмотрения этапов решения задач данным способом, рассмотрим расчет электрической цепи с такой же схемой как и в предыдущем вопросе.



$$\begin{cases} (r_1 + r_4 + r_2) I_{11} - r_4 I_{22} - r_2 I_{33} = E_1 - E_4 + E_2 \\ -r_4 I_{11} + (r_4 + r_6 + r_5) I_{22} - r_5 I_{33} = E_4 - E_6 - E_5 \\ -r_2 I_{11} - r_5 I_{22} + (r_2 + r_5 + r_3) I_{33} = -E_2 + E_5 - E_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 = I_{11} \\ I_2 = I_{11} - I_{33} \\ I_3 = -I_{33} \\ I_4 = -I_{11} + I_{22} \\ I_5 = -I_{22} + I_{33} \\ I_6 = -I_{22} \end{cases}$$

Предварительно на схеме выбираем $(l-k+1-m)=6-4+1-0=3$ независимых контура. Далее следует выбрать направления для контурных токов и токов ветвей электрической цепи. Теперь можно записать систему из 3-х линейных уравнений по правилам, изложенным выше. В качестве неизвестных в этой системе будут выступать значения контурных токов. Решаем полученную систему любым удобным способом. Зная значения контурных токов несложно определить значения тока в каждой ветви.

G_{Sp} – сумма проводимостей ветвей, напрямую соединяющих узел S с узлом p;

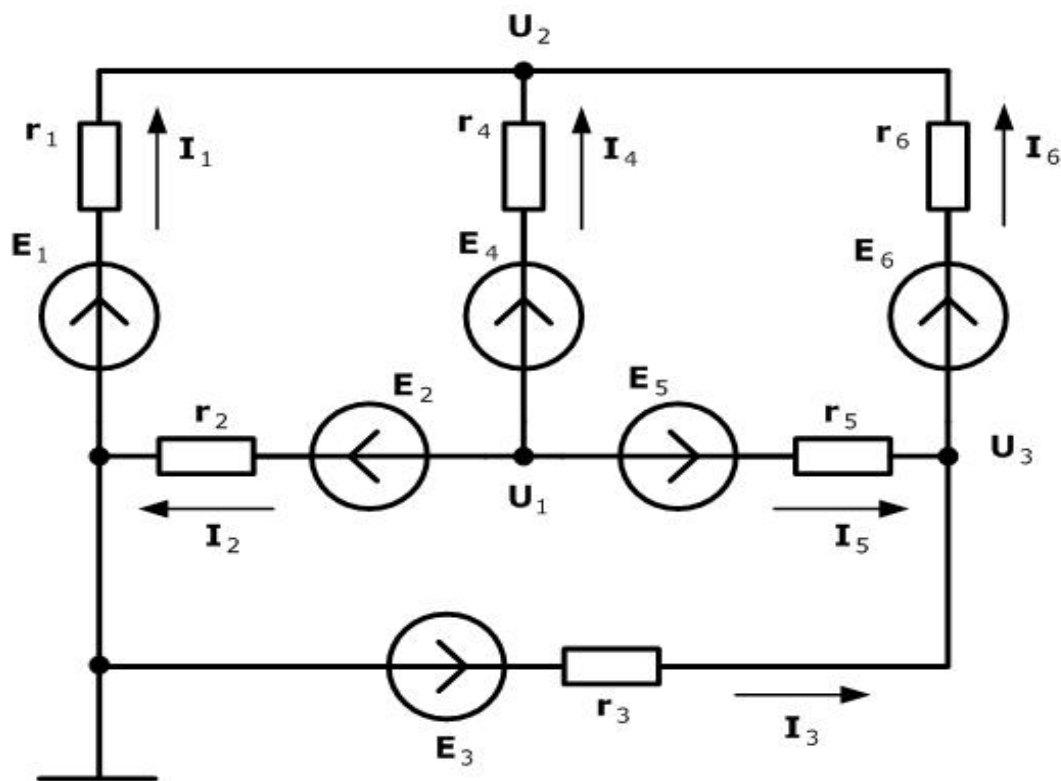
$\sum_S EG$ – алгебраическая сумма произведений э.д.с. ветвей, примыкающих к узлу S на их проводимости, если э.д.с. ветви действует в направлении узла – произведению присваивают знак плюс, в противоположном случае минус;

$\sum_S I$ – алгебраическая сумма величин токов источников тока, подсоединенных к узлу S, если ток направлен к узлу, то ему присваивают знак плюс, в противоположном случае минус;

5. Решаем любым методом полученную систему относительно узловых напряжений и определяем их.

6. Далее для каждой ветви в отдельности применяем закон Ома и находим все токи в электрической цепи

Рассмотрим применение метода узловых напряжений для расчета электрических цепей более подробно на примере схемы, взятой из предыдущей лекции.



$$\begin{cases} U_1 (G_2 + G_4 + G_5) - U_2 G_4 - U_3 G_5 = -E_2 G_2 - E_4 G_4 - E_5 G_5 \\ -U_1 G_4 + U_2 (G_1 + G_4 + G_6) - U_3 G_6 = E_1 G_1 + E_4 G_4 + E_6 G_6 \\ -U_1 G_5 - U_2 G_6 + U_3 (G_3 + G_5 + G_6) = E_3 G_3 + E_5 G_5 - E_6 G_6 \end{cases}$$

Решив систему уравнений, и найдя значения U_1, U_2 и U_3 , находим значения токов в ветвях:

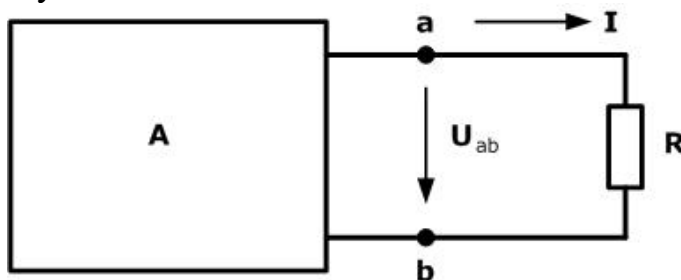
$$\begin{aligned} I_1 &= (-U_2 + E_1)/r_1 & I_2 &= (U_1 + E_2)/r_2 \\ I_3 &= (-U_3 + E_3)/r_3 & I_4 &= (U_1 - U_2 + E_4)/r_4 \\ I_5 &= (U_1 - U_3 + E_5)/r_5 & I_6 &= (U_3 - U_2 + E_6)/r_6 \end{aligned}$$

3-й учебный вопрос: Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора позволяет произвести частичный анализ электрической цепи. Например, определить ток в какой-либо одной ветви электрической цепи или исследовать поведение этой ветви при изменении ее сопротивления. Применение данного метода может оказаться полезным как при частичном расчете сложных электрических цепей, так и простых.

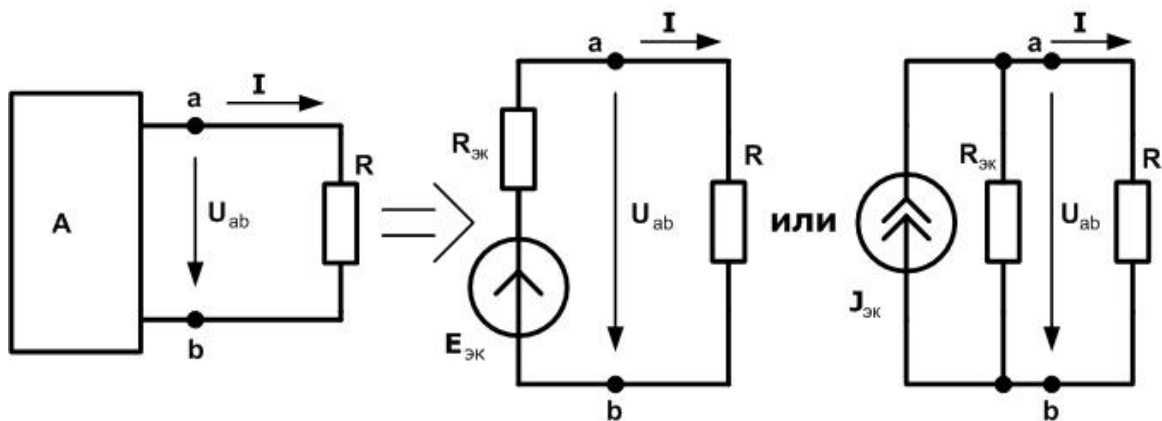
Метод эквивалентного генератора применяют в следующей последовательности:

1. Вычерчиваем принципиальную схему и все ее элементы.
2. Заданную условием задачи схему разбивают на две части: ветвь (или участок электрической цепи) в которой требуется найти значение тока и остальную часть схемы.

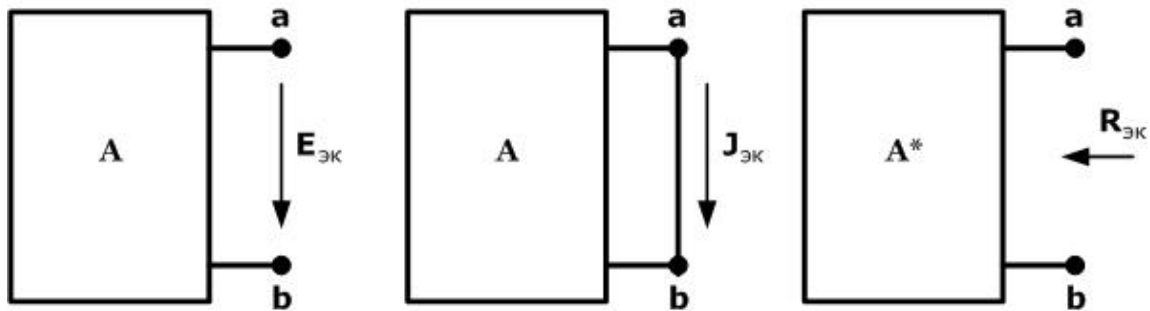


На рисунке границей между двумя частями служат точки **a** и **b**. Выделенная ветвь, ток в которой нужно рассчитать, содержит одно сопротивление **R**. Остальная часть схемы условно обозначена **активным двухполюсником** (прямоугольником **A**) и может быть сколь угодно сложной. Под **двухполюсником** следует понимать любую электрическую цепь с двумя точками подключения (в нашем случае эти точки: **a** и **b**). Когда говорят, что двухполюсник **активный**, этим подчеркивают что в состав этой цепи входят активные элементы (источники тока и/или напряжения).

3. Производят замену активного двухполюсника на эквивалентный источник напряжения или тока.



Для замены активного двухполюсника на источник напряжения необходимо рассчитать значения $E_{эк}$ и $R_{эк}$, а для замены на источник тока рассчитывают $J_{эк}$ и $R_{эк}$.



Для нахождения значения $E_{\text{эк}}$ необходимо разомкнуть ветвь, в которой требуется найти значение тока, и определить значение напряжения на зажимах **a** и **b** (см. рис.) путем расчета схемы активного двухполюсника.

Полученное напряжение численно будет равно $E_{\text{эк}}$ (в некоторых учебниках это напряжение называют **напряжением холостого хода**). Для нахождения значения $J_{\text{эк}}$ необходимо замкнуть накоротко зажимы **a** и **b** и путем расчета схемы активного двухполюсника найти значение тока через перемычку. Полученное значение тока численно будет равно $J_{\text{эк}}$ (в некоторых учебниках этот ток называют **током короткого замыкания**). Внутреннее сопротивление $R_{\text{эк}}$ эквивалентного источника равно сопротивлению элементов активного двухполюсника, из которого исключены все источники (источники ЭДС заменены короткозамкнутыми участками, а источники тока отключены), со стороны зажимов **a** и **b**. Расчет схемы активного двухполюсника для нахождения значений $E_{\text{эк}}$, $J_{\text{эк}}$ и $R_{\text{эк}}$ ведут любым удобным способом из числа доступных.

4. Находят значение тока в заданной ветви, применив одно из следующих соотношений:

$$I = \frac{E_{\text{эк}}}{R + R_{\text{эк}}} \quad \text{или} \quad I = \frac{J_{\text{эк}} R_{\text{эк}}}{R + R_{\text{эк}}}$$

$$I = E_{\text{эк}} / (R + R_{\text{эк}}) \quad \text{или} \quad I = J_{\text{эк}} R_{\text{эк}} / (R + R_{\text{эк}})$$

Закключение

Подавляющее большинство задач по электротехнике сводится к расчету режимов электрических цепей. В условии задается схема электрической цепи и параметры её элементов (напряжения источников питания, сопротивления резисторов и т. п.). Как правило, требуется определить токи и напряжения на различных элементах цепи.

Следует заметить, что методы решения задач для цепей постоянного тока применимы и для цепей синусоидального тока. Различие только в применяемом математическом аппарате.

Непосредственно перед решением задачи необходимо проанализировать схему электрической цепи и выяснить к какому виду (простая или сложная) относится данная электрическая цепь. Для каждого вида существуют свои варианты и способы решения. Далее выбирают наиболее оптимальный вариант расчета и переходят непосредственно к решению задачи.