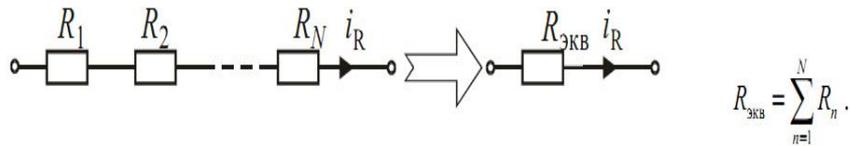


Основные свойства электрических цепей: принцип эквивалентности, преобразование схем. Методы анализа сложных электрических цепей постоянного тока: применение законов Кирхгофа, метод контурных токов. Уравнение баланса электрической мощности.

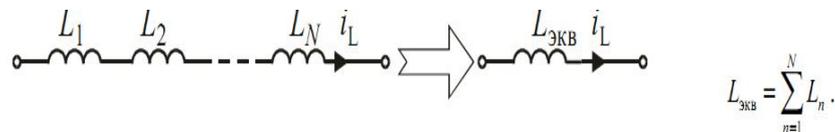
В основе методов преобразования электрических схем лежит **принцип эквивалентности**, согласно которому токи и напряжения в ветвях схемы не затронутых преобразованием остаются неизменными.

Последовательное соединение элементов:

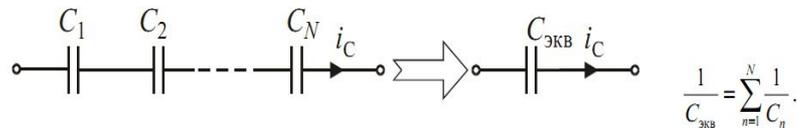
1. Последовательное соединение резистивных элементов:



2. Последовательное соединение индуктивных элементов:

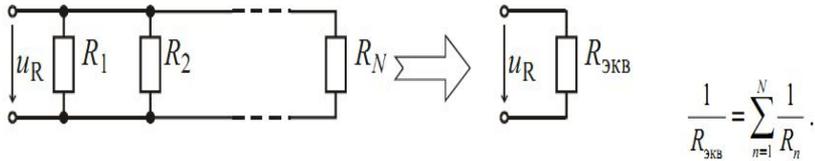


3. Последовательное соединение емкостных элементов:

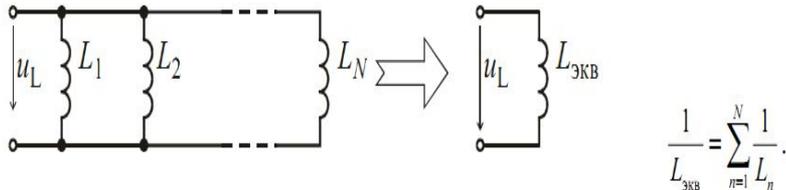


Параллельное соединение элементов:

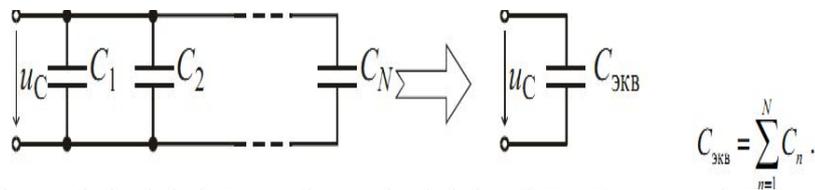
1. Параллельное соединение резистивных элементов:



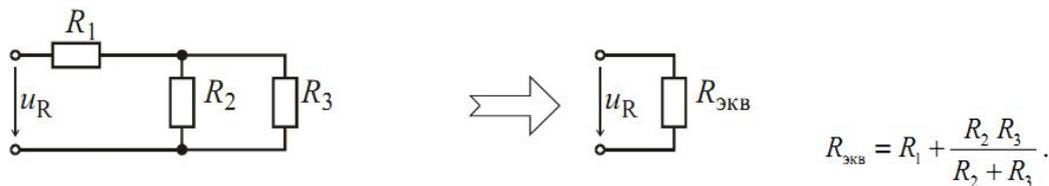
2. Параллельное соединение индуктивных элементов:



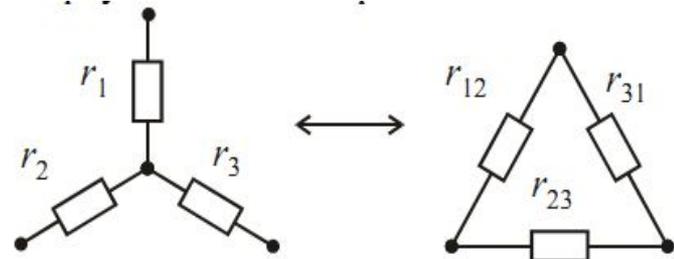
3. Параллельное соединение ёмкостных элементов:



4. Смешанное соединение резистивных элементов:



Преобразование из «звезды» в «треугольник»
и обратно



Для сопротивлений из «звезды» в «треугольник»

$$r_{12} = r_1 + r_2 + \frac{r_1 r_2}{r_3}; \quad r_{23} = r_2 + r_3 + \frac{r_2 r_3}{r_1}; \quad r_{31} = r_3 + r_1 + \frac{r_3 r_1}{r_2}$$

Для проводимостей из «звезды» в «треугольник»

$$g_{12} = \frac{g_1 g_2}{g_1 + g_2 + g_3}; \quad g_{23} = \frac{g_2 g_3}{g_1 + g_2 + g_3}; \quad g_{31} = \frac{g_3 g_1}{g_1 + g_2 + g_3}.$$

Для сопротивлений из «треугольника» в «звезду»

$$r_1 = \frac{r_{12} r_{31}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}; \quad r_2 = \frac{r_{23} r_{12}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}; \quad r_3 = \frac{r_{31} r_{23}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}.$$

Для проводимостей из «треугольника» в «звезду»

$$g_1 = g_{12} + g_{31} + \frac{g_{12} g_{31}}{g_{23}}; \quad g_2 = g_{12} + g_{23} + \frac{g_{12} g_{23}}{g_{31}}; \quad g_3 = g_{23} + g_{31} + \frac{g_{23} g_{31}}{g_{12}}.$$

Методы анализа сложных электрических цепей постоянного тока: применение законов Кирхгофа, метод контурных токов. Уравнение баланса электрической мощности.

Анализ электрических цепей с одним источником энергии проводится двумя методами: **методом эквивалентного преобразования (свертывания схемы)** и методом пропорциональных величин.

При **методе свертывания** схемы определяется входное или эквивалентное сопротивление путем преобразования сопротивлений: параллельного соединения в последовательное и обратно, треугольника в звезду и обратно и т.д., что упрощает отдельные участки схемы и приводит к одному эквивалентному (входному) сопротивлению относительно зажимов источников питания. В результате схема упрощается и расчет такой схемы можно произвести, используя закон Ома.

К методом анализа сложных цепей относятся:

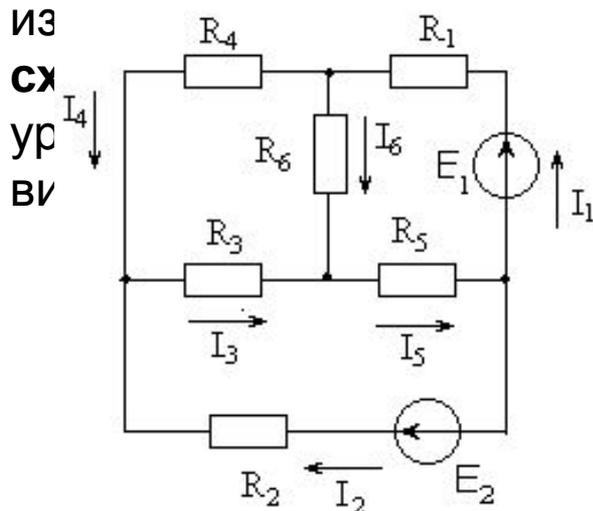
1. Метод, основанный на применении законов Кирхгофа.
2. Метод контурных токов.
3. Метод узловых потенциалов.
4. Метод наложения.
5. Метод эквивалентного генератора.

Классическим методом расчета электрических цепей с несколькими источниками является непосредственное применение законов Кирхгофа.

При расчете электрических цепей с применением законов Кирхгофа необходимо:

1. Выбрать положительное направление токов во всех ветвях схемы;
2. Выбрать положительное направление обхода контура;
3. Составить уравнения по законам Кирхгофа;
 - по первому закону Кирхгофа составить $n_y - 1$ уравнение, по второму закону Кирхгофа составить $n_B - n_y + 1$. Общее число уравнений равно числу ветвей в схеме;
4. Полученную систему уравнений решают относительно неизвестных токов.

Составим систему уравнений для нахождения токов ветвей для схемы,



и шесть

Данная
ветвей. Система

Кирхгофа имеет следующий

$$\begin{cases} -I_1 + I_4 + I_6 = 0, \\ -I_2 + I_3 - I_4 = 0, \\ -I_3 + I_5 - I_6 = 0, \\ -I_3 \cdot R_3 - I_4 \cdot R_4 + I_6 \cdot R_6 = 0, \\ -I_1 \cdot R_1 - I_5 \cdot R_5 - I_6 \cdot R_6 = -E_1, \\ I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5 = E_2. \end{cases}$$

Имеем систему из шести уравнений с шестью неизвестными. Выразив токи I_1, I_2, I_5 через I_4, I_6, I_3 , получим:

$$I_1 = I_4 + I_6,$$

$$I_2 = I_3 - I_4,$$

$$I_5 = I_6 + I_3,$$

$$-I_3 \cdot R_3 - I_4 \cdot R_4 + I_6 \cdot R_6 = 0,$$

$$-(I_4 + I_6) \cdot R_1 - (I_6 + I_3) \cdot R_5 - I_6 \cdot R_6 = -E_1,$$

$$-(I_3 - I_4) \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + (I_6 + I_3) \cdot R_5 = E_2.$$

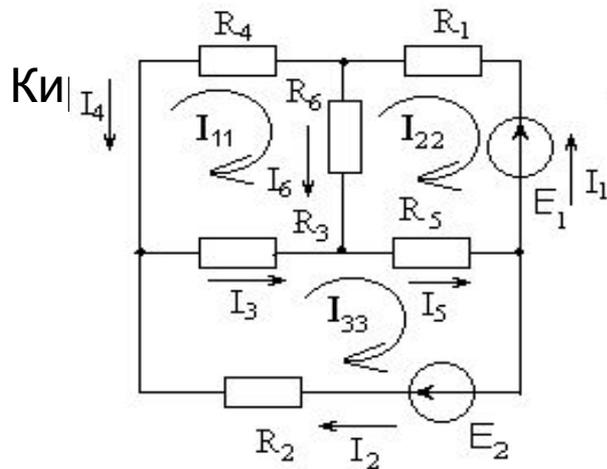
Решая данную систему уравнений, можно найти токи ветвей.

Число совместно решаемых уравнений равно числу ветвей схемы (числу неизвестных токов ветвей), поэтому его применение не всегда целесообразно.

В качестве переменных в **методе контурных токов** принимаются контурные токи.

В схеме выделяют независимые контуры. В каждом контуре произвольно выбирают направление контурных токов. За контурные токи удобно принять токи внешних ветвей схемы, которые входят только в данный контур.

Уравнения составляются на основе второго закона Кирхгофа, выражая токи ветвей через контурные токи.



контура пишем второй закон

$$-I_4 R_4 + I_6 R_6 - I_3 R_3 = 0,$$

$$-I_6 R_6 - I_1 R_1 - I_5 R_5 = -E_1,$$

$$I_3 R_3 + I_5 R_5 + I_2 R_2 = E_2.$$

Выразим токи ветвей через контурные:

$$I_{11} = -I_4, I_{22} = -I_1, I_{33} = I_2, I_6 = I_{11} - I_{22}, I_3 = I_{33} - I_{11}, I_5 = I_{33} - I_{22}.$$

После преобразования получим следующую систему уравнений:

$$I_{11} \cdot (R_3 + R_4 + R_6) - I_{22} \cdot R_6 - I_{33} \cdot R_3 = 0,$$

$$-I_{11} \cdot R_6 + I_{22} \cdot (R_1 + R_5 + R_6) - I_{33} R_5 = E_1,$$

$$-I_{11} \cdot R_3 - I_{22} \cdot R_5 + I_{33} \cdot (R_3 + R_2 + R_5) = E_2.$$

Решив систему уравнений относительно контурных токов, находятся токи ветвей. Правильность решения по методу контурных токов осуществляется на основании второго закона Кирхгофа.

Уравнение баланса электрической мощности.

Баланс мощностей – алгебраическая сумма мощностей, отдаваемых независимыми источниками равняется алгебраической сумме мощностей, потребляемых потребителями.

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k + \sum_{k=1}^n U_k J_k = \sum_{k=1}^n I_k^2 R_k$$

Где $\sum_{k=1}^n E_k I_k$ алгебраическая сумма мощностей, генерируемая источниками э.д.с.;

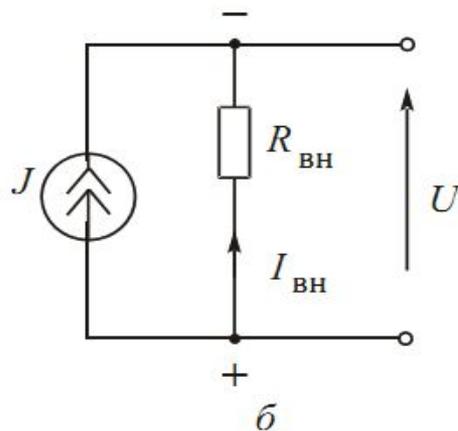
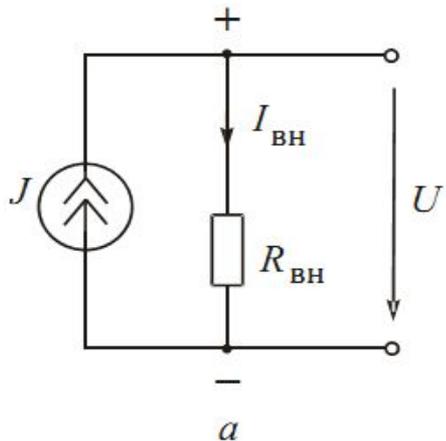
$\sum_{k=1}^n U_k J_k$ алгебраическая сумма мощностей, генерируемая источниками тока;

$\sum_{k=1}^n I_k^2 R_k$ суммарная мощность, потребляемая потребителями в цепи.

Эти суммы алгебраические. Источник может как вырабатывать, так и потреблять электрическую энергию (заряд аккумулятора).

Если направления ЭДС и тока через источник ЭДС совпадают, мощность источника записывают в уравнении баланса мощностей с положительным знаком. Он работает в режиме генератора. При противоположных направлениях ЭДС и тока мощность в уравнении баланса учитывают с отрицательным знаком (режим потребителя).

Определение знака мощности источника тока поясняет, на котором показана разметка зажимов источника тока, вырабатывающего (а) или потребляющего (б) электрическую энергию. Ток $I_{\text{вн}}$ и напряжение U направлены в сторону уменьшения потенциала, что и позволяет разметить зажимы источника.



Мощность потребителей (нагрузок)

Эта сумма арифметическая.

Погрешность расчета не должна превышать (1–3) %.

$$P_{\text{п}} = \sum_{k=1}^l U_k I_k = \sum_{k=1}^l R_k I_k^2.$$