

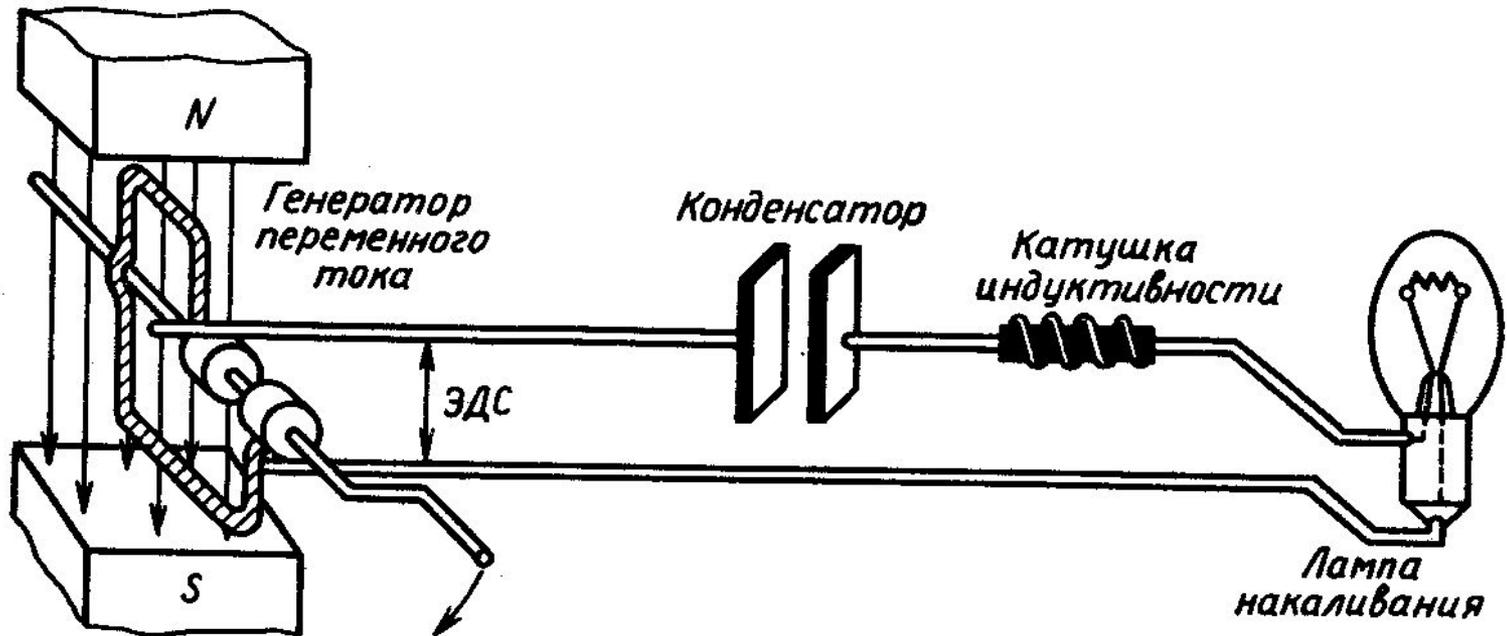
Тема 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ ***Общие сведения***

Электрической цепью
называется совокупность
соединенных между собой
проводящих тел, полупроводниковых
и диэлектрических устройств,
электромагнитные процессы в которой
могут быть описаны с помощью понятий
об электрическом токе и напряжении

Пример электрической цепи

Пример электрической цепи



Схема

Для учета процессов преобразования электромагнитной энергии в цепях вводятся *идеализированные элементы*, процессы в которых связаны лишь с одним видом энергии поля.

Элементы цепи рассматриваются как математические модели, связывающие токи и напряжения.



Активные элементы –
источники электрической энергии,
в которых неэлектрические виды энергии
преобразуются в электрическую.

Различают два основных активных элемента:

источник напряжения (ЭДС)

источник тока

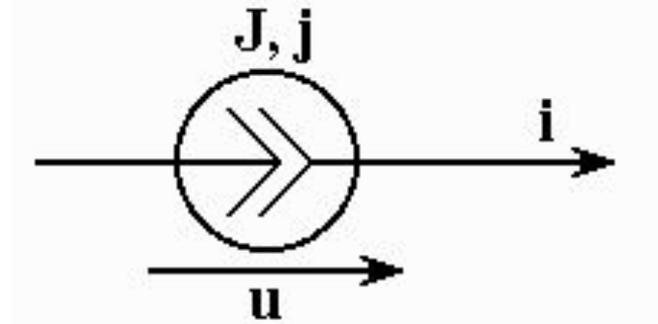
Пассивные элементы –

приемники электромагнитной энергии. Электрическая энергия в них преобразуется в неэлектрические виды энергии – активное сопротивление (*проводимость*), либо накапливается в виде энергии электрического поля (*емкость*) или энергии магнитного поля (*индуктивность*).

**Емкость и индуктивность являются
реактивными приемниками энергии
или
*реактивными элементами.***

Источник тока

Условное графическое
обозначение
идеализированного
источника тока



Идеализированным источником тока

называют элемент цепи, который создает заданный ток $j(t)$ независимо от напряжения на его полюсах.

Единица измерения – **ампер** (А).

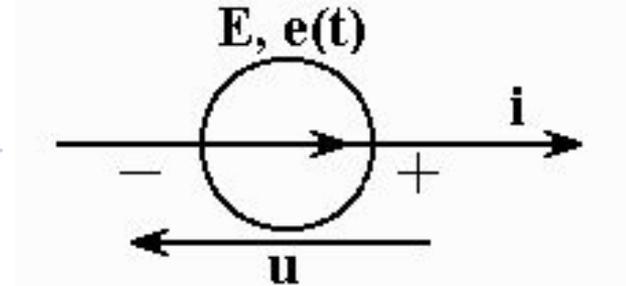
Напряжение на элементе определяется величиной сопротивления

$u = ir$ и принимает любое значение.

Ток в элементе не зависит от величины сопротивления: $i = j$.

Источник напряжения (ЭДС)

Условное графическое обозначение идеализированного источника напряжения



Идеализированным источником напряжения

называют элемент цепи, который создает на своих зажимах напряжение $u(t) = e(t)$ независимо от того, какой ток протекает через источник. Единица измерения – **вольт** (В).

Напряжение на элементе не зависит от величины сопротивления: $e = u$.

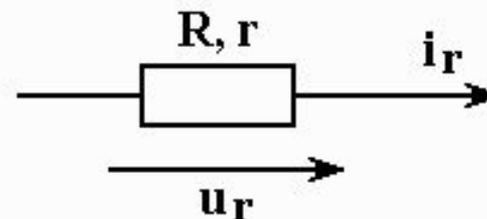
Ток в элементе $i = u/r$ и принимает любое значение.

Источник напряжения характеризует внесенную в цепь энергию извне, поэтому он называется также

источником электродвижущей силы.

Активное сопротивление

Условное графическое обозначение активного сопротивления



Отношение, определяющее сопротивление:

$$u_r = i_r R \text{ или } i_r = u_r / R.$$

Величина R называется сопротивлением.

Единица измерения – ом (Ом).

Кратные единицы измерения активного сопротивления, наиболее часто встречающиеся в практике:

килоом (кОм), $1 \text{ кОм} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}$;

мегаом (МОм), $1 \text{ МОм} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}$.

Ток в сопротивлении пропорционален напряжению.

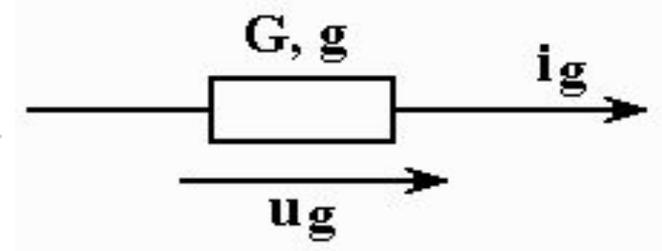
Эта идеализация соответствует закону Ома.

Мощность, рассеиваемая на активном сопротивлении, определяется по формуле:

$$p = U_r i_r = R i_r^2 = u_r^2 / R$$

Проводимость

Условное графическое
обозначение
проводимости



Проводимостью
называется величина,
обратная сопротивлению:

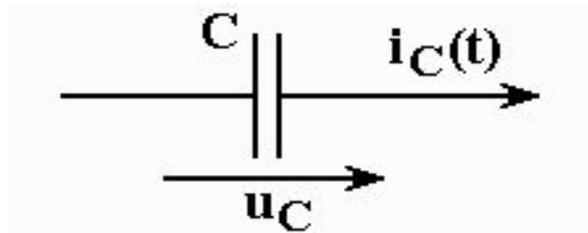
$$G = 1/R.$$

Единица измерения – **сименс** (См).

Пассивные элементы

Емкость

Условное графическое
обозначение
проводимости



Отношение, определяющее емкость:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \quad \text{или} \quad i_C = C \frac{du_C(t)}{dt}$$

Величина C называется **емкостью**.

Единица измерения – **фарада** (Ф).

Кратные единицы измерения емкости, наиболее часто встречающиеся в практике:

пикафарада (пФ), $1 \text{ пФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$;
нанофарада (нФ), $1 \text{ нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$;
микрофарада (мкФ), $1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Пассивные элементы

Величина заряда на конденсаторе определяется по формуле:

$$Q = CU, \text{ Кл.}$$

Таким образом,

электрическая емкость – это коэффициент пропорциональности, связывающий накопленный заряд Q с приложенным напряжением U .

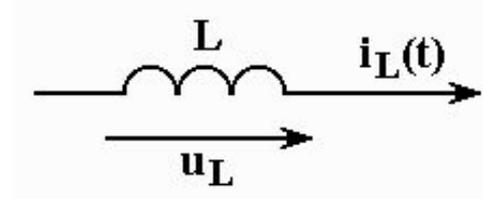
Энергия, накапливающаяся в емкости, определяется по формуле:

$$WC = (CU^2) / 2.$$

Пассивные элементы

Индуктивность

Условное графическое
обозначение
проводимости



Отношение, определяющее индуктивность, обратно тому, которое задает емкость, а именно:

$$u_L = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad \text{или} \quad i_L = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt$$

Величина L называется **индуктивностью**.

Единица измерения – **генри** (Гн).

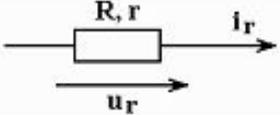
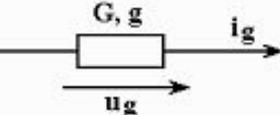
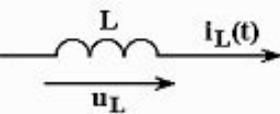
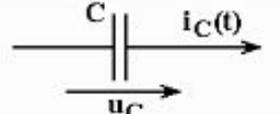
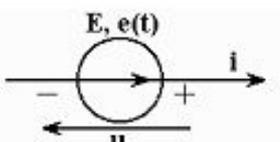
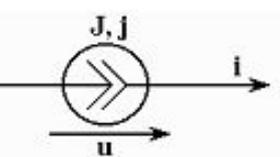
Кратные единицы измерения индуктивности, наиболее часто встречающиеся в практике:

миллигенри (мГн), $1 \text{ мГн} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Энергия, накапливающаяся в емкости, определяется по формуле:

$$W_L = (LI^2) / 2$$

Основные характеристики идеализированных элементов электрических цепей

Элемент	Единица измерения	Условное обозначение	Напряжение на элементе	Ток в элементе	Мощность или энергия в элементе
Сопротивление	Ом [Ом]		$u_r = i_r r$	$i_r = \frac{u_r}{r}$	$p_r = r i_r^2 = \frac{u_r^2}{r}$
Проводимость	Сименс [См]		$u_g = \frac{i_g}{g}$	$i_g = u_g g$	$p_g = g u_g^2 = \frac{i_g^2}{g}$
Индуктивность	Генри [Гн]		$u_L = L \frac{di_L(t)}{dt}$	$i_L = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt$	$W_L = \frac{L I^2}{2}$
Емкость	Фарада [Ф]		$u_C = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$	$i_C = C \frac{du_C(t)}{dt}$	$W_C = \frac{C U^2}{2}$
Источник напряжения	Вольт [В]		$e = -u$	i – любое значение	$p_e = e i$
Источник тока	Ампер [А]		u – любое значение	$i = j$	$p_j = u j$

В реальных электрических цепях:

- 1) заданное сопротивление обычно обеспечивают включением специального изделия, называемого **резистором**;
- 2) заданную емкость – включением специального изделия, называемого **конденсатором**;
- 3) заданную индуктивность – включением катушек и просто проводников.

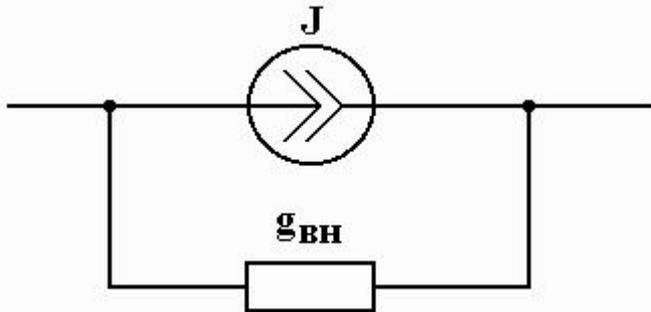
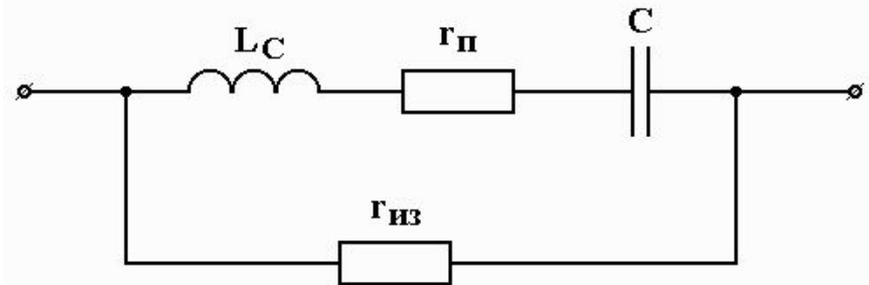


В отличие от идеализированных элементов реальные элементы электрических цепей характеризуются множеством параметров, часть которых опять же можно смоделировать с помощью эквивалентных **электрических схем (схем замещения)**, составленных из идеализированных элементов.

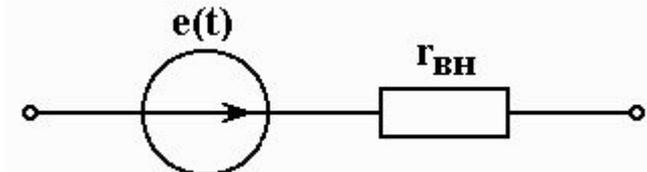
Электрическая схема –

графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и способы их соединения

Эквивалентная схема конденсатора:
 C – емкость; L_C – паразитная индуктивность; $r_{п}$ – сопротивление потерь; $r_{из}$ – сопротивление изоляции

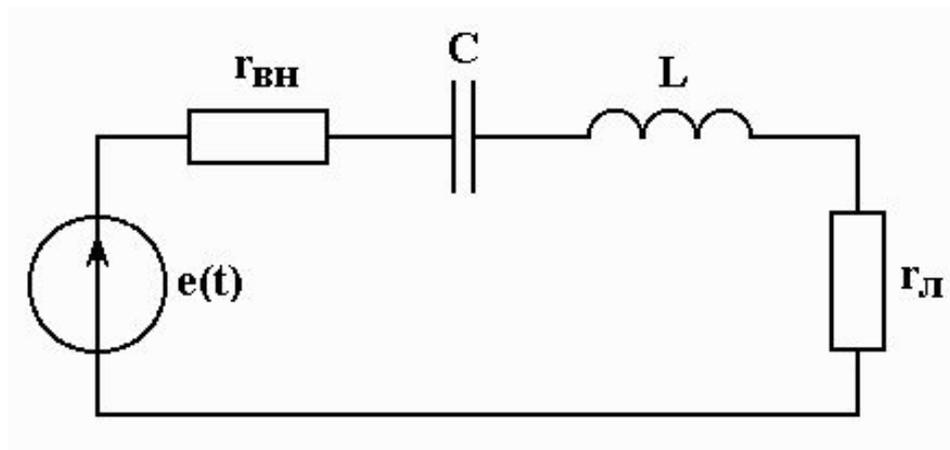


Эквивалентная схема источника напряжения: $e(t)$ – электродвижущая сила (ЭДС); $r_{вн}$ – внутреннее сопротивление источника



Эквивалентная схема источника тока:
 $g_{вн}$ – внутренняя проводимость источника тока

В зависимости от требуемой точности модели и характеристик источника и приемника энергии эквивалентные схемы реальных элементов и устройств могут быть упрощены. Например, электрическая цепь, приведенная выше, может быть представлена следующей схемой:



$r_{л}$ – активное сопротивление лампы накаливания

Элемент электрической цепи, параметры которого не зависят от тока в нем, называют **линейным**, в противном случае – **нелинейным**.

**Линейная
электрическая
цепь –**

*цепь, все элементы
которой являются
линейными*

**Нелинейная
электрическая
цепь –**

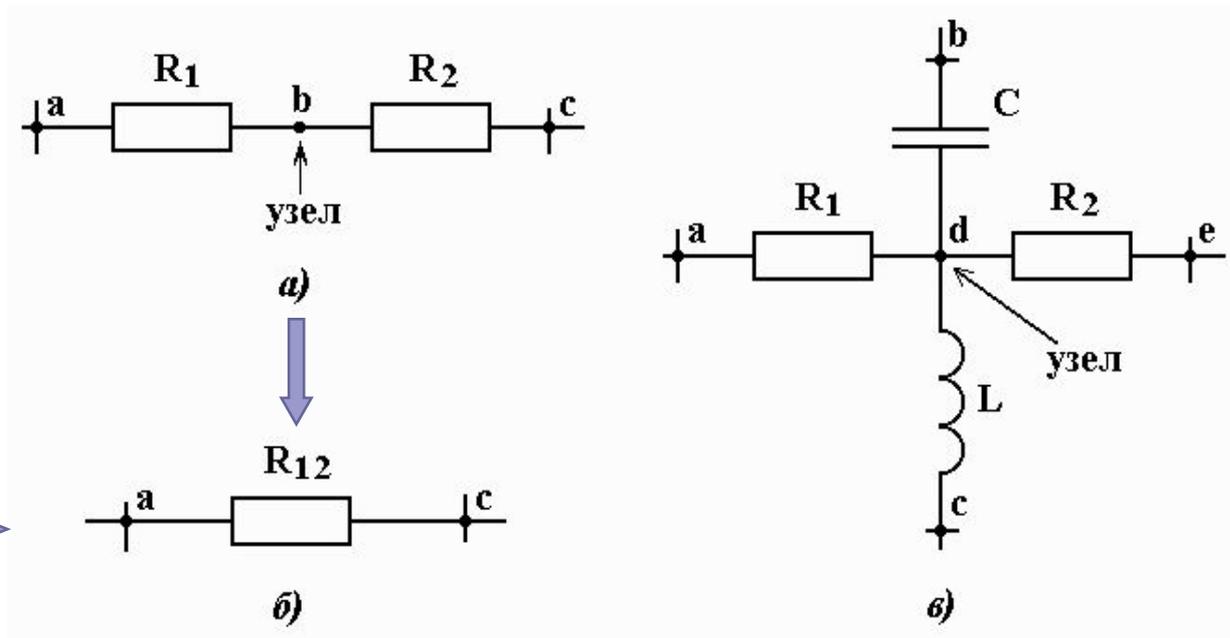
*цепь, содержащая
хотя бы один
нелинейный
элемент*

В общем случае все цепи являются нелинейными, но в ряде случаев нелинейностью можно пренебречь с удовлетворительной точностью моделирования.

На настоящем этапе мы будем изучать линейные электрические цепи.

Точка, в которой соединяются два или более элемента электрической цепи, называется **узлом**

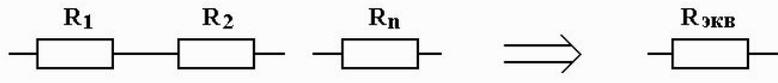
Если в узле соединены только два элемента (а), то их можно объединить по правилам последовательного соединения и представить в виде одного более сложного элемента (б).



Узел b поэтому называется **устранимым узлом**.

ПРАВИЛА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

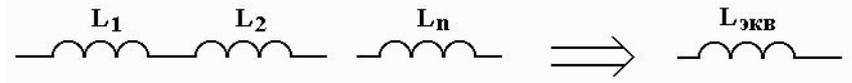
- Последовательное соединение активных сопротивлений



определяется по формуле:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \sum_{i=1}^n R_i$$

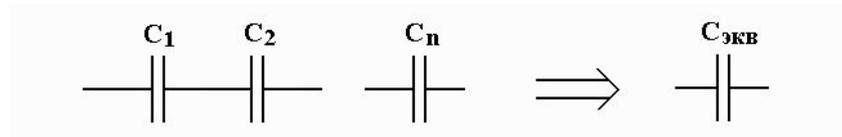
- Последовательное соединение индуктивностей без учета взаимной индукции



определяется по формуле:

$$L_{\text{ЭКВ}} = \sum_{i=1}^n L_i$$

- Последовательное соединение емкостей



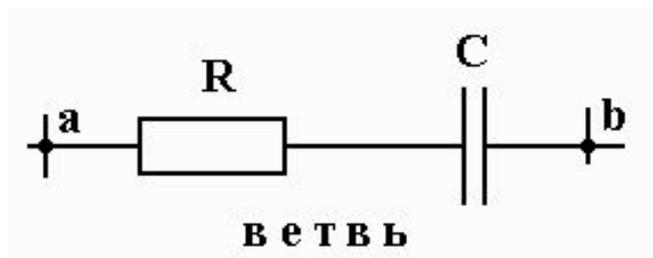
определяется по формуле:

$$C_{\text{ЭКВ}} = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

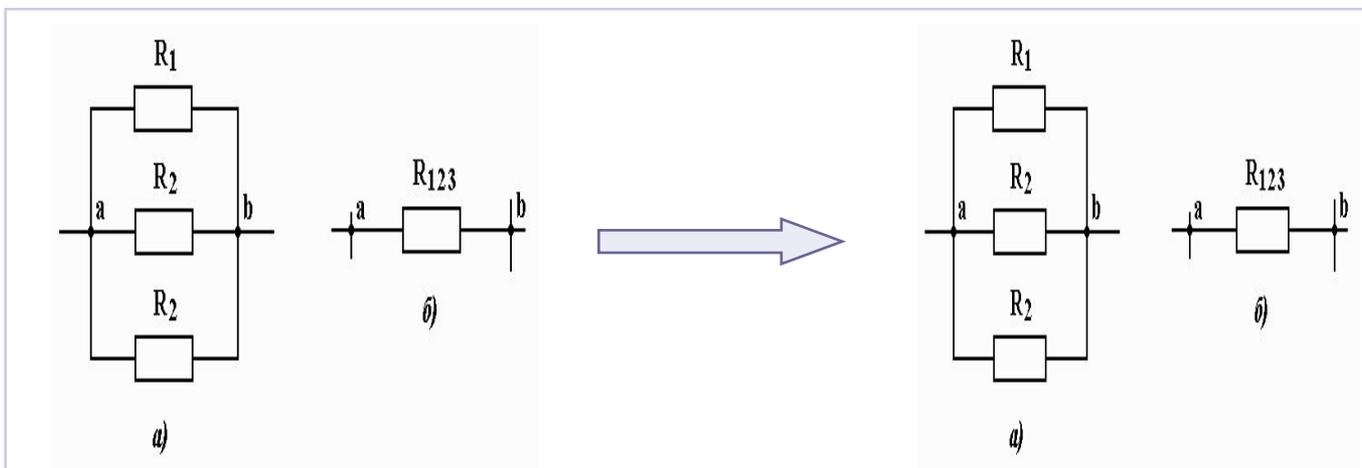
Для $n = 2$:

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Элемент или группа последовательно соединенных элементов, заключенных между соседними узлами, называется **ветвью**



Если между двумя узлами заключено несколько ветвей (а), то по правилам параллельного соединения их можно объединить в одну эквивалентную ветвь (б)



Параллельные ветви называются **объединяемыми ветвями**

ПРАВИЛА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

· Эквивалентное сопротивление параллельного соединения (рис. 1) определяется по формуле:

$$R_{\text{ЭКВ}} = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

При параллельном соединении удобнее пользоваться проводимостями:

$$G_{\text{ЭКВ}} = \sum_{i=1}^n G_i$$

Для двух сопротивлений:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

· Эквивалентная емкость параллельного соединения (рис. 2) определяется по формуле:

$$C_{\text{ЭКВ}} = \sum_{i=1}^n C_i$$

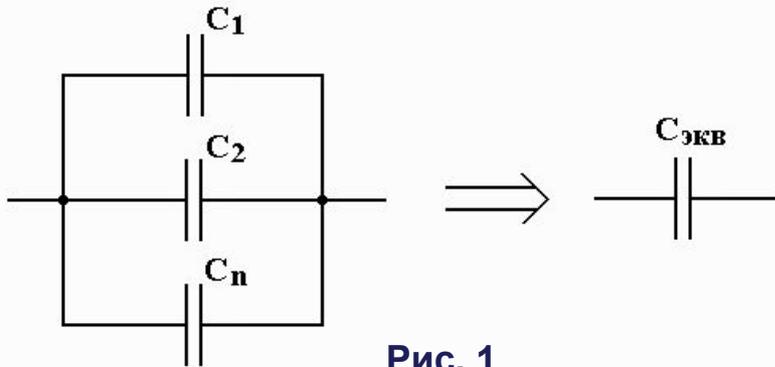


Рис. 1

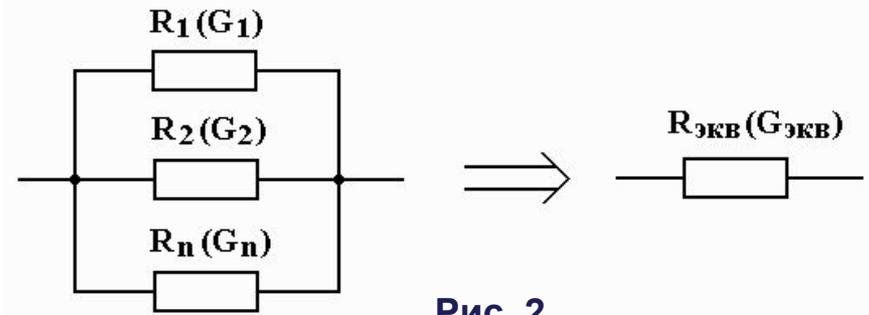


Рис. 2

Перед расчетом электрической цепи устраняются устранимые узлы и объединяются объединяемые ветви.