

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Эл. Цепь – это совокупность устройств, предназначенных для производства, передачи, преобразования и использования эл. Тока.

Эл техн. уст-ва по назначению, принципу действия и конструктивному оформлению разделяются на три группы:

1. Источники энергии, вырабатывающие эл. Ток .
2. Приемники или нагрузка, потребляющие эл. Ток.
3. Проводники, а также различная коммутационная аппаратура.

Эл. Ток определяется

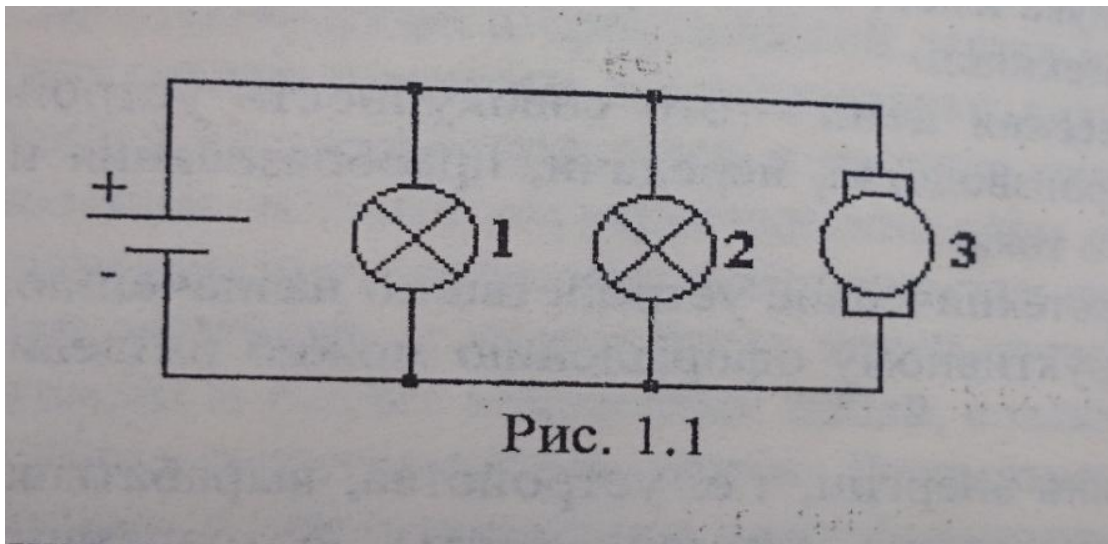
$$I = \frac{dq}{dt}$$

Если $q = \text{const}$ ток называется постоянным.

В замкнутой эл. цепи возникает ток за счет сторонних сил неэлектрического происхождения, называемой ЭДС. На зажимах источника возникает разность потенциалов или напряжение, под воздействием которого во внешней цепи возникает эл. ток.

Активными называются эл. цепи, содержащие источники энергии.

Нелинейная эл. Цепь содержит хотя бы один нелинейный элемент .



Электрическая схема цепи, состоящая из источника энергии, ламп и электродвигателя

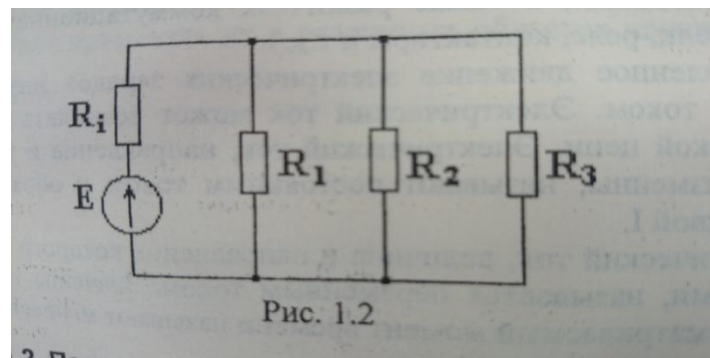


Схема замещения

Пассивные элементы схемы замещения

1. Сопротивление проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Проводимость проводника

$$g = \frac{1}{R}$$

Сопротивление пассивного участка цепи

$$R = \frac{P}{I^2}$$

2. Индуктивность катушки определяется по формуле

$$L = \frac{W\Phi}{i}$$

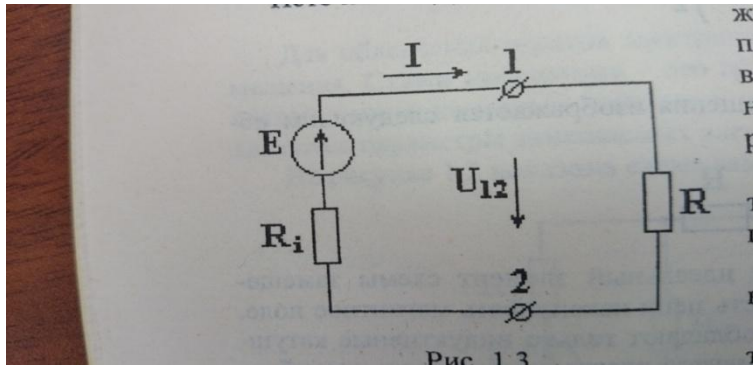
где Φ – магнитный поток катушки, возбуждаемый током i , W – число витков катушки

3. Емкость, характеризуется способностью накапливать электрическое поле

$$C = \frac{q}{U_c}$$

где q заряд на обкладках конденсатора, U_c напряжение на конденсаторе

АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

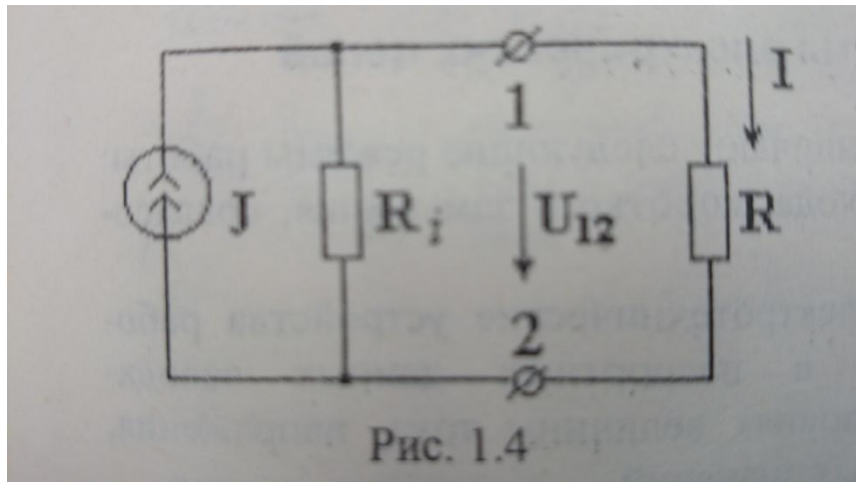


Ток в цепи определяется
$$I = \frac{E}{R_i + R}$$

$$E = R_i \cdot I + I \cdot R = R_i \cdot I + U_{12}$$

$$U_{12} = I \cdot R = E - R_i \cdot I$$

Активные элементы схемы замещения



$$\frac{E}{R_i} = U_{12} \frac{1}{R_i} + I \quad \text{где} \quad \frac{E}{R_i} = J \quad \frac{1}{R_i} = g_i$$

$$J = U_{12} g_i + I$$

J ток источника тока, g_i – внутренняя проводимость
у идеального источника тока $g_i = 0$ и $J = 1$

Источник тока

Основные определения электрических схем

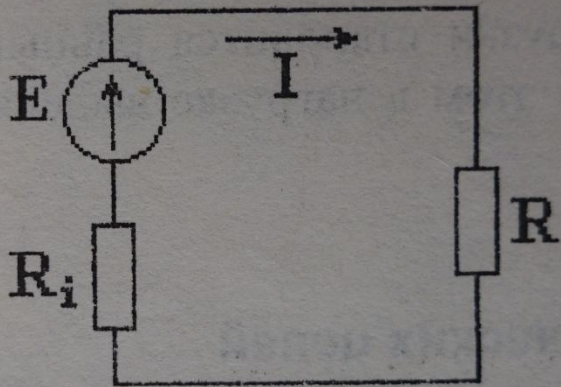


Рис. 1.5

Неразветвленная схема

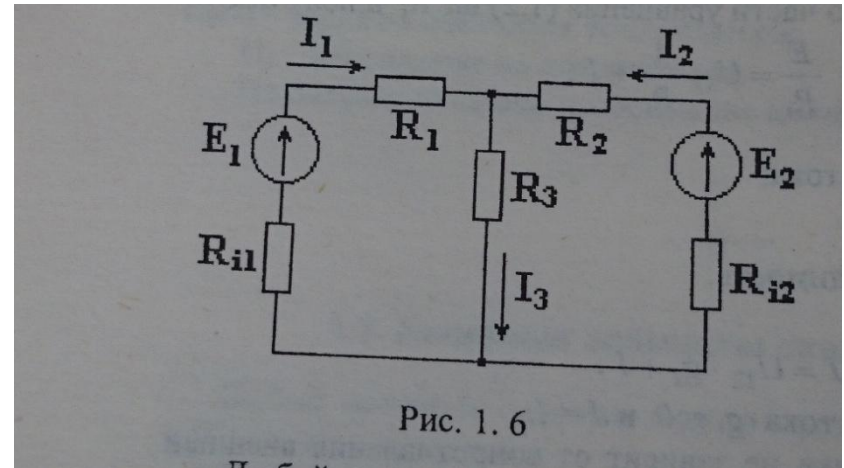


Рис. 1.6

Разветвленная схема

Участок эл. цепи, по которому протекает один и тот же ток, называется ветвью .

Место соединения двух и более ветвей эл. цепи называется узлом.

Узел, в котором сходятся две ветви, называется устранимым. Узел является неустрашимым, если в нем соединены три и больше число ветвей.

Последовательным, называется такое соединение участков цепи, при котором через все участки проходит одинаковый ток.

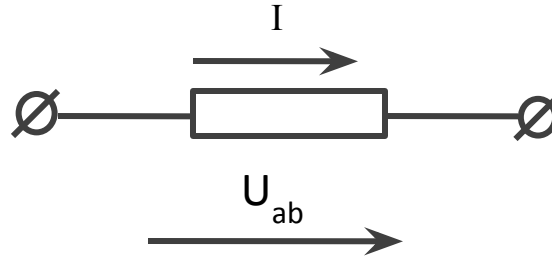
При параллельном соединении все участки цепи присоединяются к одной паре узлов, находятся под одним и тем же напряжением.

Любой замкнутый путь, включающий в себя несколько ветвей, называется контуром.

Основные законы электрических цепей

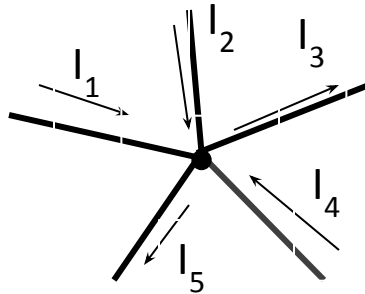
1. Ток, протекающий через сопротивление R , прямо пропорционален падению напряжения на сопротивлении и обратно пропорционален величине этого сопротивления

$$I = \frac{U_{ab}}{R}$$



2. Первый закон Кирхгофа - алгебраическая сумма токов в любом узле цепи равна нулю

$$\sum I = 0$$

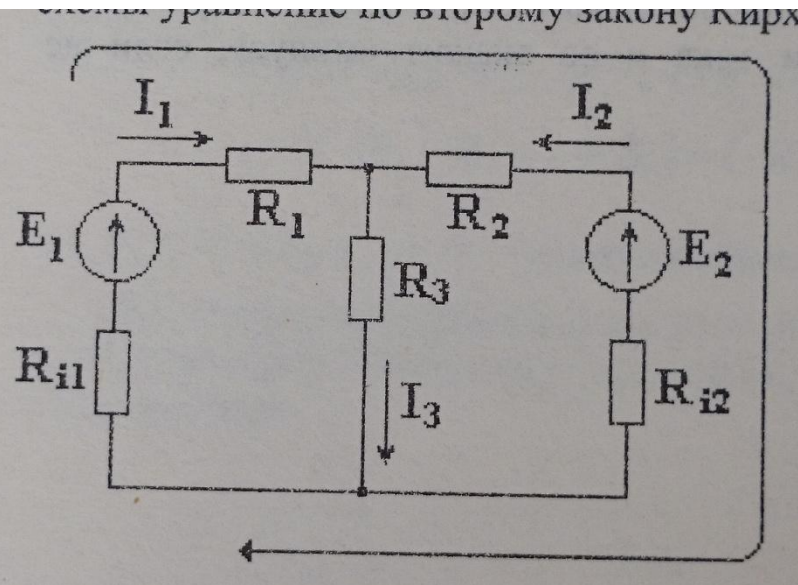


$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

3. Алгебраическая сумма ЭДС вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме падений напряжений в этом контуре

$$\sum E = \sum U = \sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i$$

Стрелкой указано направление обхода контура, совпадение направления токов и напряжений с направлением обхода принимается как плюс, а противоположное минус.



Для замкнутого контура, состоящий из активной ветви и стрелки напряжения U_{ab} согласно второму Закону Кирхгофа получим $IR_1 + IR_2 - U_{ab} = E_1 - E_2$ а ток определится по формуле

$$I = \frac{U_{ab} + E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

В общем виде

$$I = \frac{U_{ab} + \sum E}{\sum R}$$

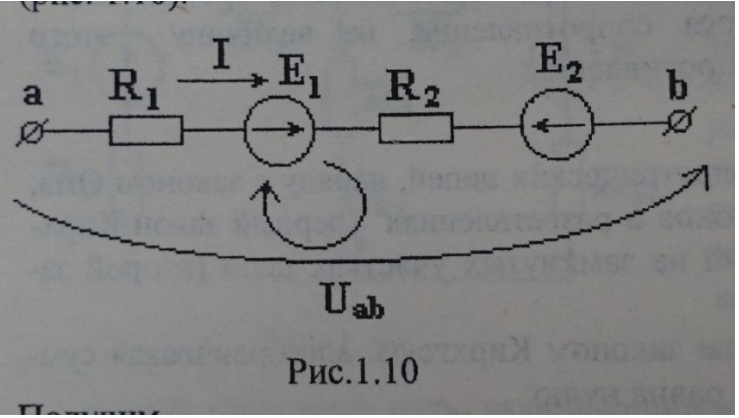


Рис.1.10

Эквивалентные преобразования схем Последовательное соединение элементов эл. цепей

На рис. 2.1 изображена электрическая цепь с последовательно соединенными сопротивлениями.

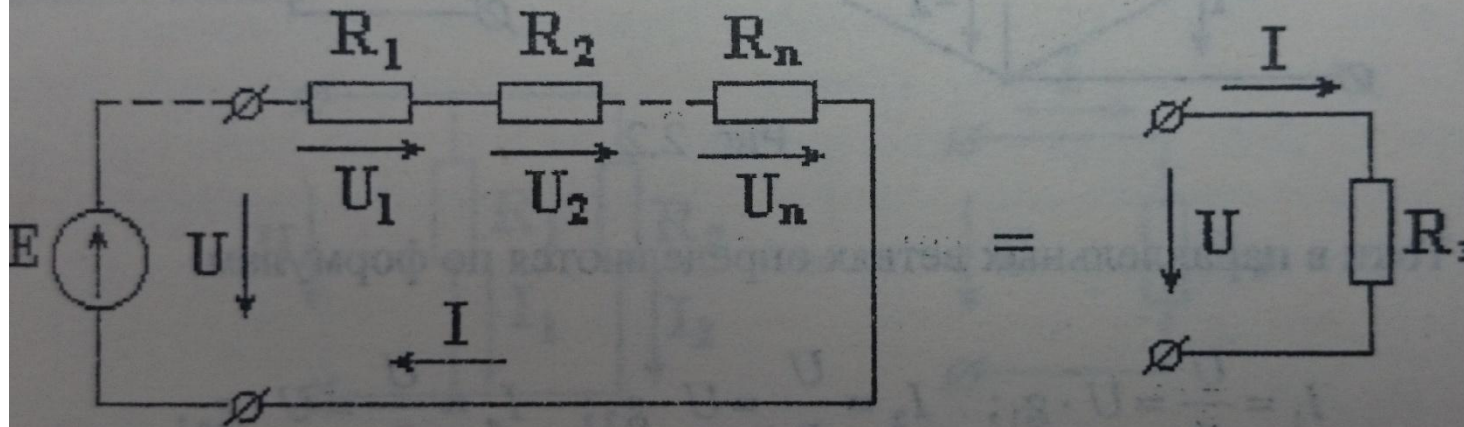


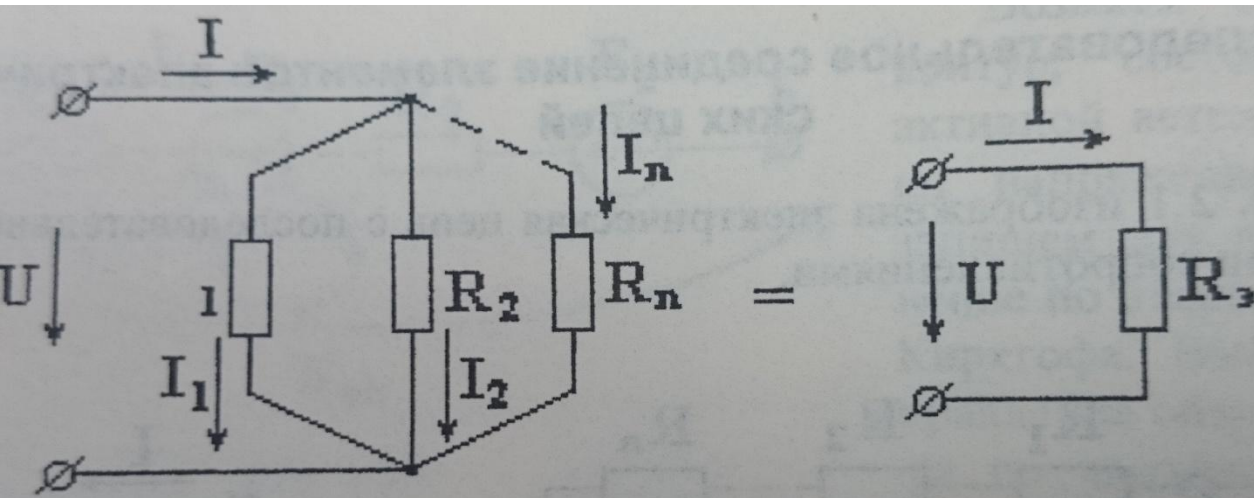
Рис. 2.1

$$U_1 = I \cdot R_1 \quad U_2 = I \cdot R_2 \quad U_3 = I \cdot R_3$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n) = IR_3$$

R_3 - Эквивалентное сопротивление

Параллельное соединение элементов эл. цепей



$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U \cdot g_1 \quad g_1 = \frac{1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = U \cdot g_2 \quad I_n = \frac{U}{R_n} = U \cdot g_n$$

$$g_2 = \frac{1}{R_2} \quad g_n = \frac{1}{R_n}$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = U \cdot g_1 + U \cdot g_2 + \dots + U \cdot g_n =$$

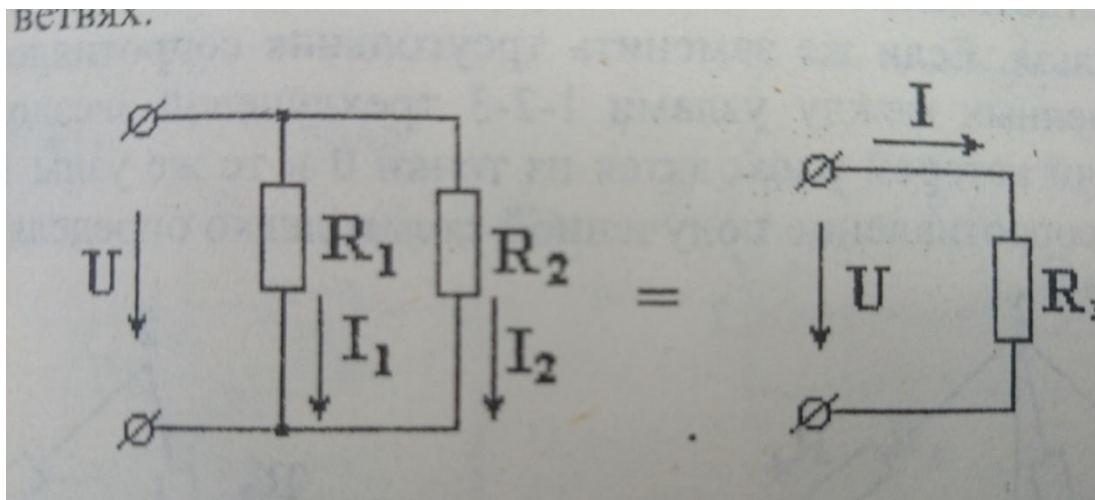
$$= U (g_1 + g_2 + \dots + g_n) = U \cdot g_{\Sigma}$$

$$\text{где } g_{\Sigma} = g_1 + g_2 + \dots + g_n = \frac{1}{R_{\Sigma}}$$

$$\text{отсюда } R_{\Sigma} = \frac{1}{g_{\Sigma}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_1}$$

$$\text{если } R_1 = R_2 = \dots = R_n \quad \text{то } R_{\Sigma} = \frac{R_n}{n}$$

Пример определения токов в параллельно включенных соединениях эл. схемы



$$g_{\text{э}} = g_1 + g_2 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2};$$

$$R_{\text{э}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}; \quad U = I \cdot R_{\text{э}}$$

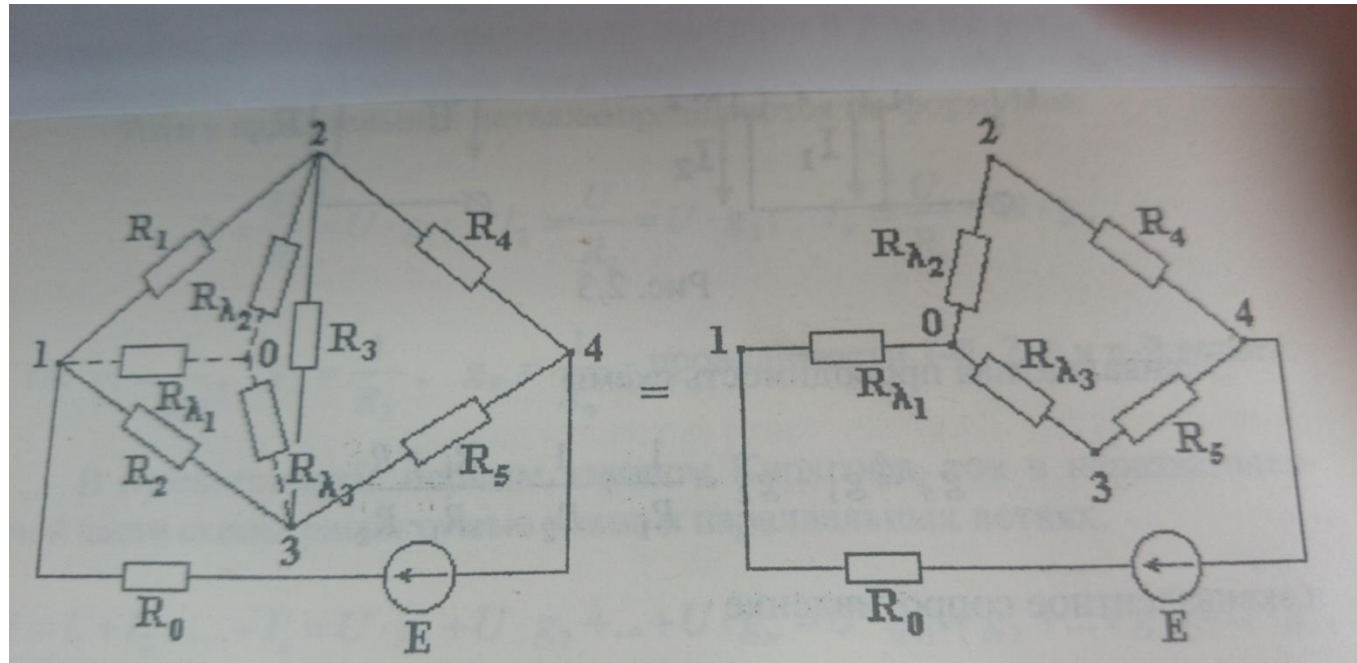
Ток в первой ветви

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = I \cdot \frac{R_{\text{э}}}{R_1} = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Ток во второй ветви

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду



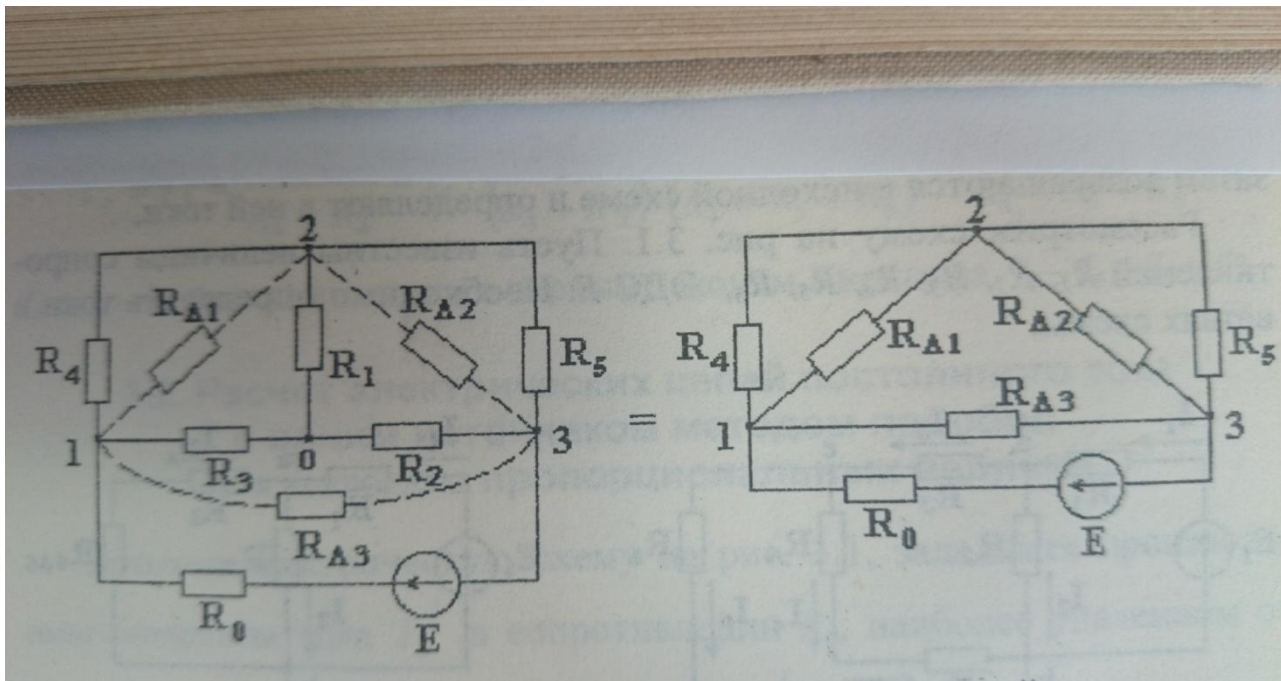
$$R_{\lambda 1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} ; R_{\lambda 2} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} ; R_{\lambda 3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Эквивалентное сопротивление определяется флб:

$$R_{\Sigma} = \frac{(R_{\lambda 2} + R_4) \cdot (R_{\lambda 3} + R_5)}{R_{\lambda 2} + R_4 + R_{\lambda 3} + R_5} + R_0 + R_{\lambda 1}$$

R_0 и $R_{\lambda 1}$ - включены последовательно
 $R_{\lambda 2} + R_4$ и $R_{\lambda 3} + R_5$ включены параллельно

Преобразование звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник

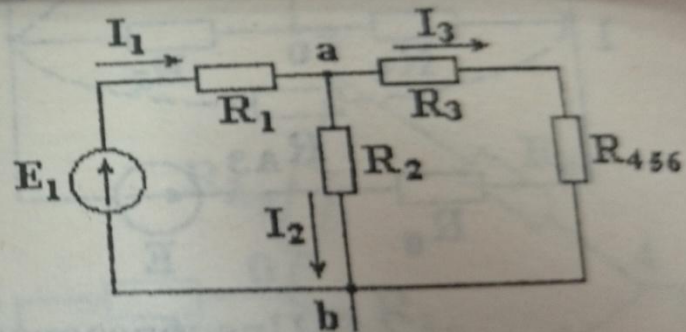
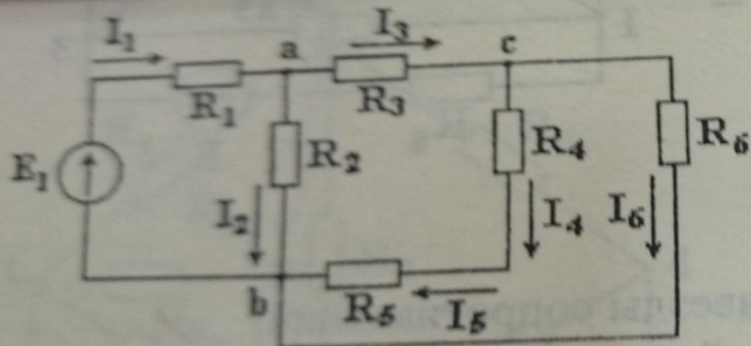


$$R_{\lambda 1} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}; \quad R_{\lambda 2} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}; \quad R_{\lambda 3} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

Эквивалентное сопротивление преобразованной схемы равно

$$R_{\text{Э}} = R_0 + \frac{\left(\frac{R_4 \cdot R_{\lambda 1}}{R_4 + R_{\lambda 1}} + \frac{R_5 \cdot R_{\lambda 2}}{R_5 + R_{\lambda 2}} \right) R_{\lambda 3}}{\frac{R_4 \cdot R_{\lambda 1}}{R_4 + R_{\lambda 1}} + \frac{R_5 \cdot R_{\lambda 2}}{R_5 + R_{\lambda 2}} + R_{\lambda 3}}$$

Расчет эл. цепей пост. тока с одним источником методом свертывания



$$R_{4,5,6} = \frac{(R_4 + R_5) \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_3 = R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_{4,5,6})}{R_2 + R_3 + R_{4,5,6}}$$

Расчет токов в эл. цепи с одним источником (продолжение)

Ток в неразветвленной части схемы определяется

$$I_1 = \frac{E}{R_2}$$

$$\text{Токи: } I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = I_1 \cdot \frac{R_2(R_3 + R_{4,5,6})}{R_2(R_2 + R_3 + R_{4,5,6})} = I_1 \cdot \frac{R_3 + R_{4,5,6}}{R_2 + R_3 + R_{4,5,6}}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 \quad \text{согласно I закону Кирхгофа}$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_4 = I_5 = \frac{U_{cb}}{R_4 + R_5} = \frac{I_3 \cdot (R_4 + R_5) \cdot R_6}{(R_4 + R_5)(R_4 + R_5 + R_6)} = \frac{I_3 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6}$$

$$I_6 = I_3 - I_4 \quad \text{согласно I закону Кирхгофа } I_3 - I_4 - I_6 = 0$$

Расчет эл. цепей методом подобия

Зададим произвольное значение тока \bar{I}'_6

$$\text{Тогда } U'_{cb} = \bar{I}'_6 \cdot R_6 ; \quad \bar{I}'_4 = \bar{I}'_5 = \frac{U'_{cb}}{R_4 + R_5} ;$$

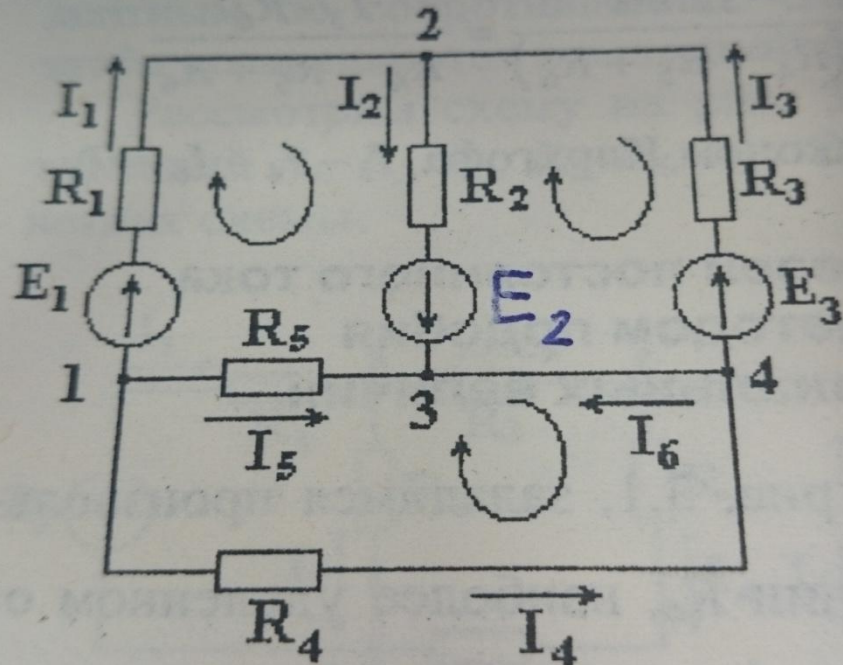
$$\bar{I}'_3 = \bar{I}'_4 + \bar{I}'_6 ; \quad U'_{ae} = \bar{I}'_3 \cdot R_3 ; \quad U'_{cb} = \bar{I}'_6 \cdot R_6 ;$$

$$\bar{I}'_2 = \frac{U'_{ab}}{R_2} \quad \bar{I}'_2 = \bar{I}'_1 - \bar{I}'_3 ;$$

ЭДС источника $E' = R_1 \cdot \bar{I}'_1 + R_2 \cdot \bar{I}'_2$ отличается от истинного

ЭДС в $K = \frac{E}{E'}$ раз, умножив расчетные значения токов на коэффициент K находим истинное значение

Анализ эл. цепей с несколькими источниками энергии



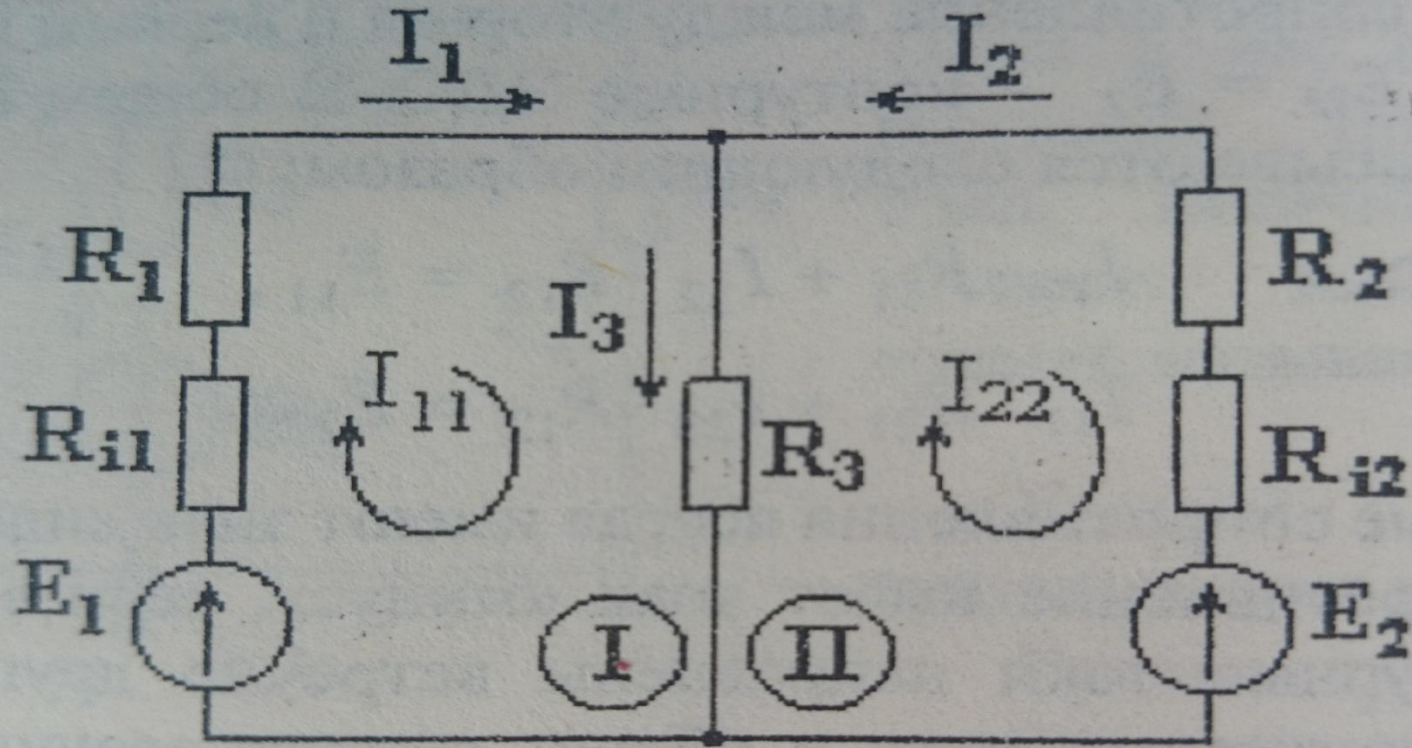
Согласно I закону Кирхгофа

$$\begin{cases} -I_1 - I_5 - I_4 = 0 \\ I_1 - I_2 + I_3 = 0 \\ I_2 + I_5 + I_6 = 0 \end{cases}$$

II закон Кирхгофа

$$\begin{cases} E_1 + E_2 = -I_5 \cdot R_5 + I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 \\ -E_2 - E_3 = -I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 \\ 0 = I_5 \cdot R_5 - I_4 \cdot R_4 \end{cases}$$

МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ



уравнения контурных токов

$$\begin{cases} I_{11} \cdot (R_1 + R_{i1}) + I_{11} \cdot R_3 - I_{22} \cdot R_3 = E_1 \\ I_{22} \cdot (R_{i2} + R_2) + I_{22} \cdot R_3 - I_{11} \cdot R_3 = E_2 \end{cases} \quad (1)$$

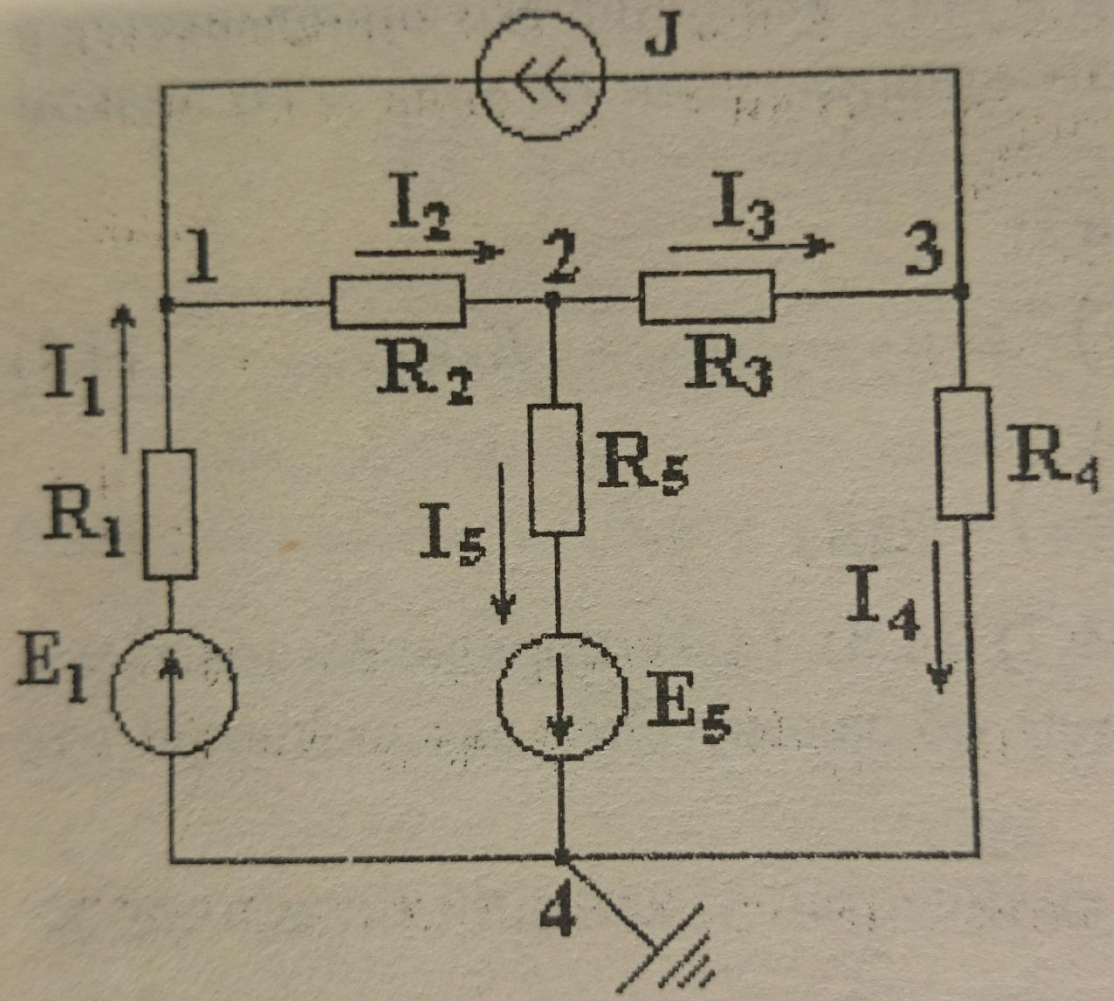
Собственные сопротивления контуров

$$R_{11} = R_1 + R_{i1} + R_3; \quad R_{22} = R_{i2} + R_2 + R_3$$

тогда система ур-ий (1) преобразуется в виде

$$\begin{cases} I_{11} \cdot R_{11} + I_{22} \cdot R_{12} = E_{11} \\ I_{11} \cdot R_{21} + I_{22} \cdot R_{22} = E_{22} \end{cases} \quad (2) \quad \begin{aligned} &\text{где } R_{12} = R_{21} = R_3 \\ &E_{11} = E_1; \quad E_{22} = E_2 \end{aligned}$$

Метод узловых потенциалов



примем потенциал узла 4 равным 0
 $\varphi_4 = 0$, тогда для узла 1 согласно
I закону Кирхгофа получим:

$$I_1 + J - I_2 = 0 \quad (1) \text{ где}$$

$$I_1 = \frac{\varphi_4 - \varphi_1 + E_1}{R_1} = (E_1 - \varphi_1) \cdot g_1 \quad (2)$$

$g_1 = \frac{1}{R_1}$ - проводимость первой ветви

$$I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_2} = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot g_2 \quad (3)$$

$g_2 = \frac{1}{R_2}$ проводимость второй ветви

уравнения (2) и (3) подставив в (1) и учитывая

$g_{11} = g_1 + g_2$ и $g_{12} = g_2$ получим

$$\boxed{\varphi_1 \cdot g_{11} - \varphi_2 \cdot g_{12} = E_1 \cdot g_1 + J} \quad (4)$$

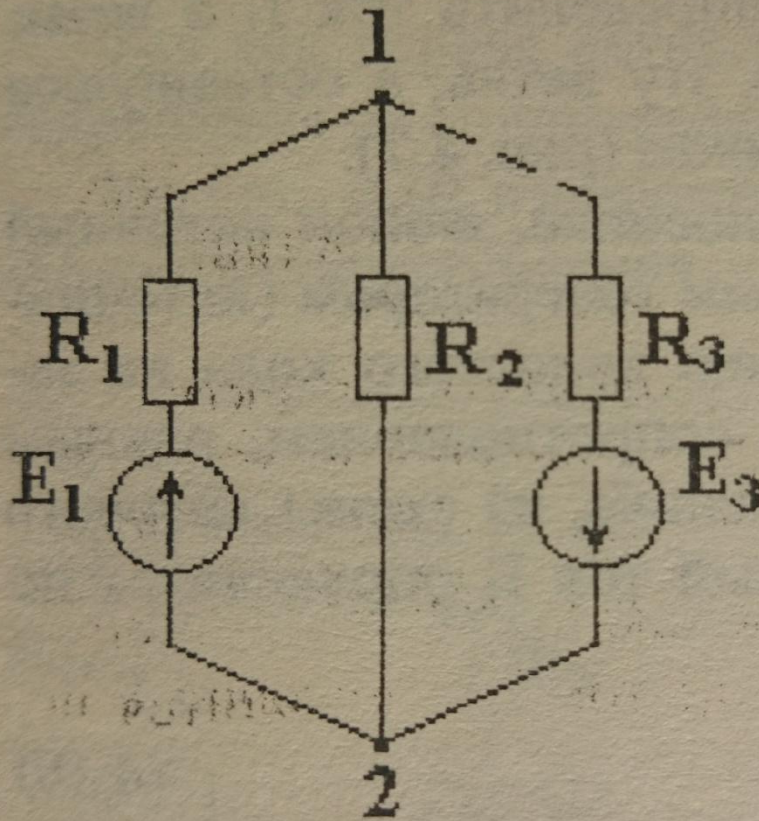
$(E_1 \cdot g_1 + J)$ - сумма токов источников сходящихся
в узел 1

по аналогии находим токи для второго и
третьего узлов. Уравнения (5) и (6) соответственно

$$\boxed{\varphi_2 \cdot (g_2 + g_3 + g_5) - \varphi_1 \cdot g_2 - \varphi_3 \cdot g_3 = -E_5 \cdot g_5} \quad (5)$$

$$\boxed{\varphi_3 \cdot (g_3 + g_4) - \varphi_2 \cdot g_3 = -J} \quad (6)$$

Метод двух узлов



Узловое уравнение потенциалов

$$\varphi_1(g_1 + g_2 + g_3) - \varphi_2(g_1 + g_2 + g_3) = E_1 \cdot g_1 - E_2 \cdot g_2$$

примем потенциал узла 2 равным нулю, тогда

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_1 = \frac{E_1 \cdot g_1 - E_2 \cdot g_2}{g_1 + g_2 + g_3}$$

В общем виде

$$U_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i g_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

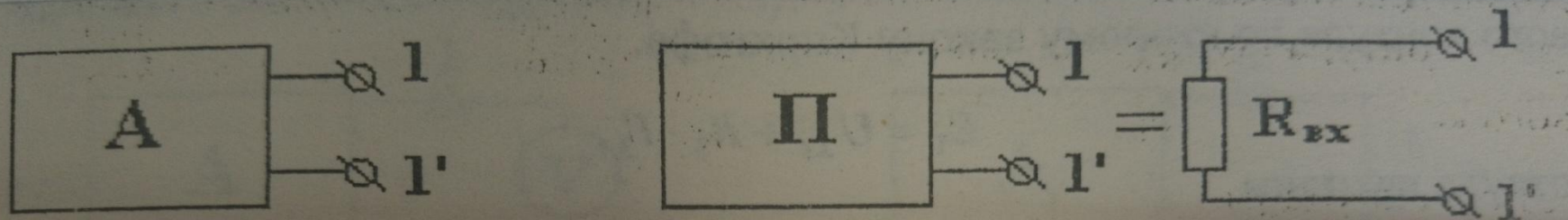
МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА

Часть эл. цепи с двумя выделенными зажимами называется двухполюсник.

Двухполюсник активный, если содержит источник энергии, пассивный - если его нет.

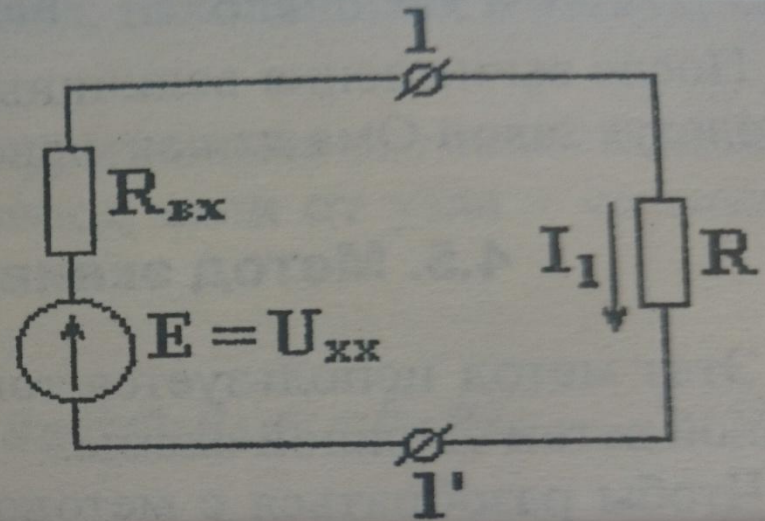
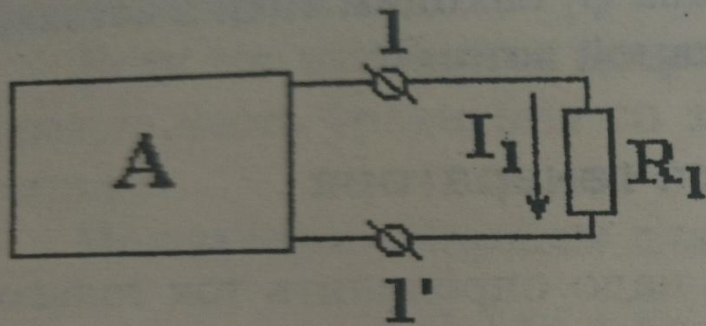
ТЕОРЕМА – Любой активный двухполюсник можно заменить эквивалентным генератором (источником напряжения) с ЭДС, равным напряжения холостого хода на зажимах этого двухполюсника и внутренним сопротивлением, равным входному сопротивлению того же двухполюсника, из схемы которого исключены все источники.

Пассивный двухполюсник можно заменить эквивалентным входным сопротивлением $R_{вх}$.



ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОКА АКТИВНОГО ДВУХПОЛЮСНИКА

$$I_1 = \frac{U_{xx}}{R_{\text{вх}} + R_1}$$



Вычисление параметров (напряжения холостого хода и входное сопротивление) активного двухполюсника (эквивалентного генератора)

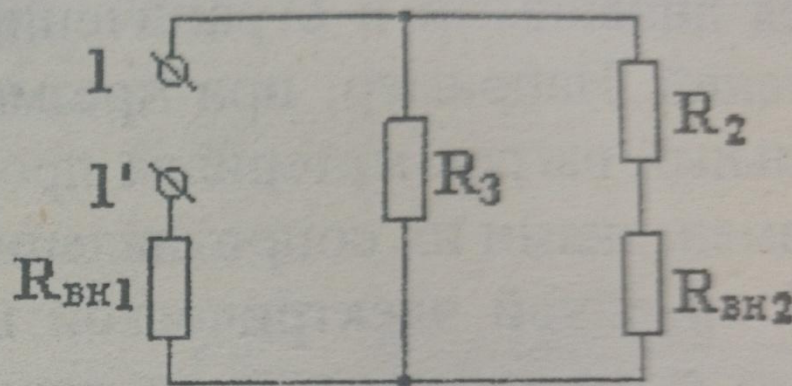
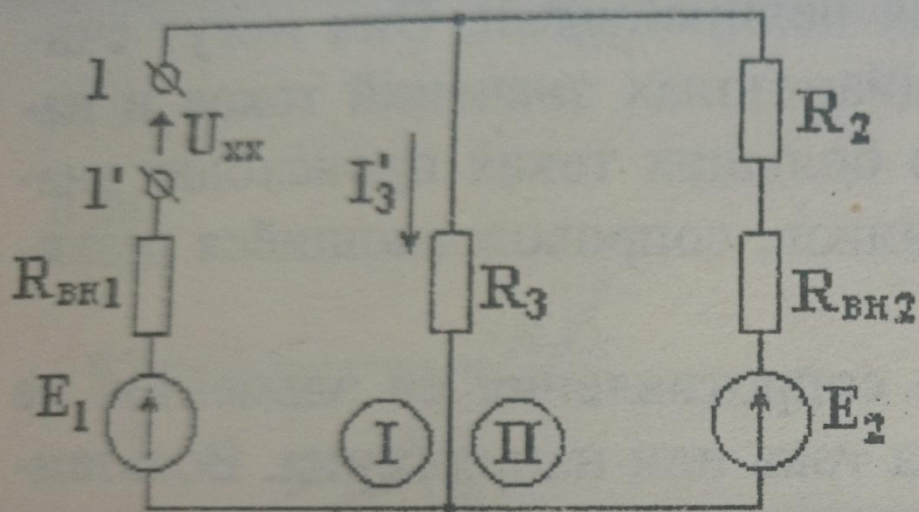
Составим уравнение для первого контура согласно второго закона Кирхгофа

$$E_1 = U_{xx} + R_3 \cdot I'_3; \quad \text{откуда} \quad U_{xx} = E_1 - R_3 \cdot I'_3$$

Учитывая, что $I'_2 = I'_3$ Получим
$$I'_2 = I'_3 = \frac{E_2}{R_{вх} + R_2 + R_3}$$

Так как первая ветвь разорвана, ЭДС E_1 не создает ток. Падение напряжения на сопротивление $R_{вн1}$ отсутствует, входное сопротивление определяется согласно формуле:

$$R_{вх} = R_{вн1} + \frac{(R_{вн2} + R_2)R_3}{R_{вн2} + R_2 + R_3}$$

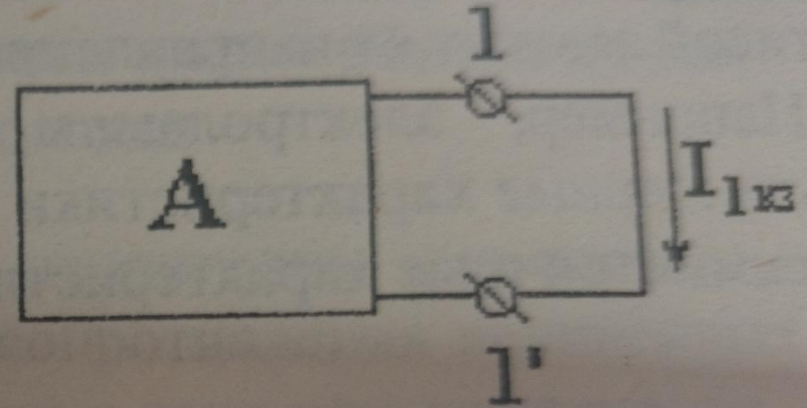
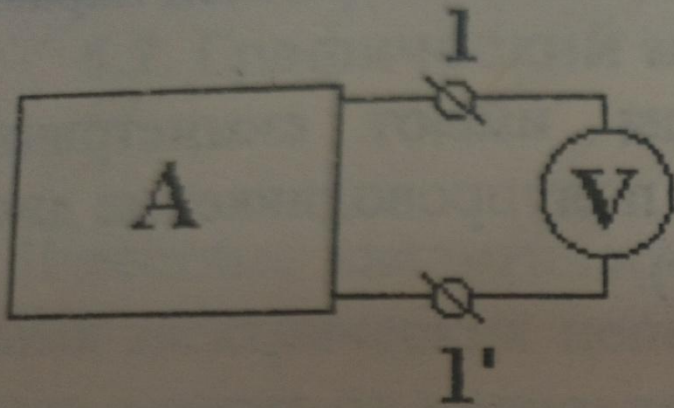


Экспериментальное определение параметров эквивалентного генератора

Для определения напряжения к зажимам двухполюсника подключают вольтметр V измеряют напряжение холостого хода U_{xx} , а для измерения тока короткого замыкания амперметром A измеряют ток и по формулам вычисляют входное сопротивление

$$I_{1кз} = \frac{U_{xx}}{R_{вх}}$$

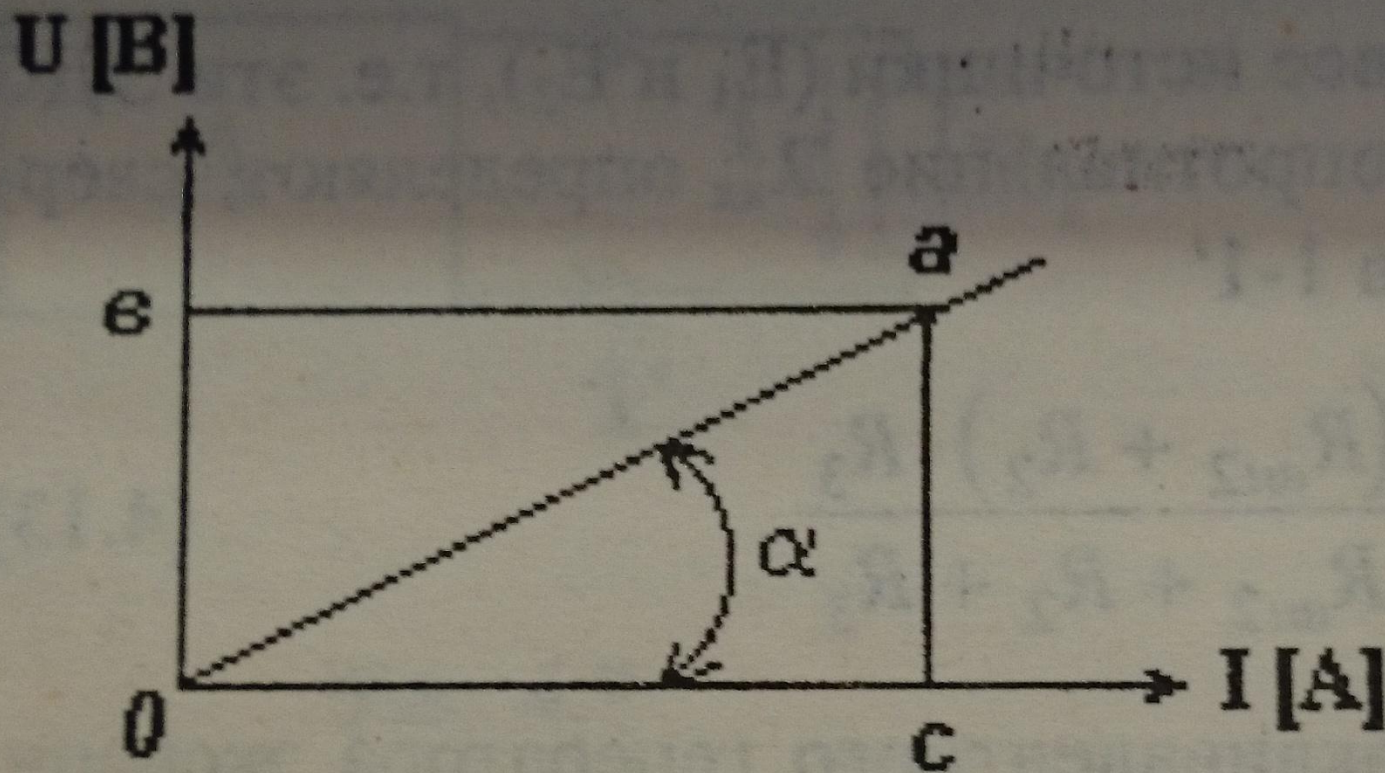
$$R_{вх} = \frac{U_{xx}}{I_{1кз}}$$



НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Эл. сопротивление цепи прямо пропорционально тангенсу угла наклона его вольтамперной характеристики к оси тока

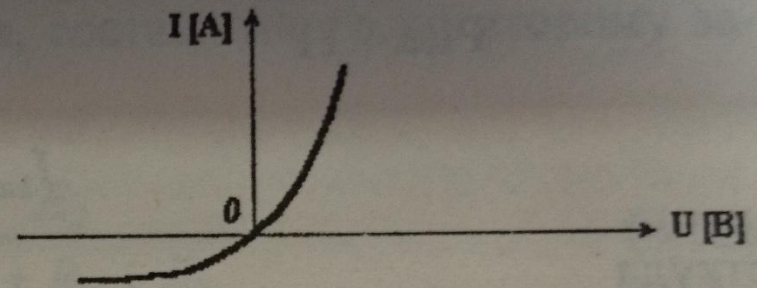
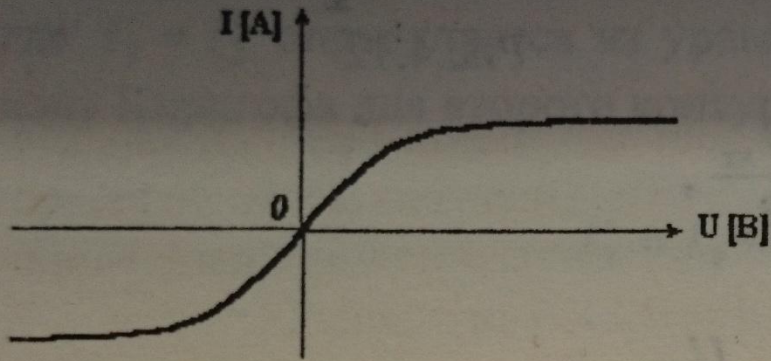
$$R = \frac{U}{I} = \frac{m_U}{m_I} \cdot \frac{ac}{oc} = \frac{m_U}{m_I} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$



В нелинейной эл. цепи сопротивления его элементов зависит от величины и направления тока или напряжения.

Вольтамперные характеристики нелинейных элементов симметричные или несимметричные относительно осей координат.

Сопротивление нелинейных элементов с симметричной хар-кой не зависят от направления тока, а с несимметричной хар-кой зависят от направления тока.

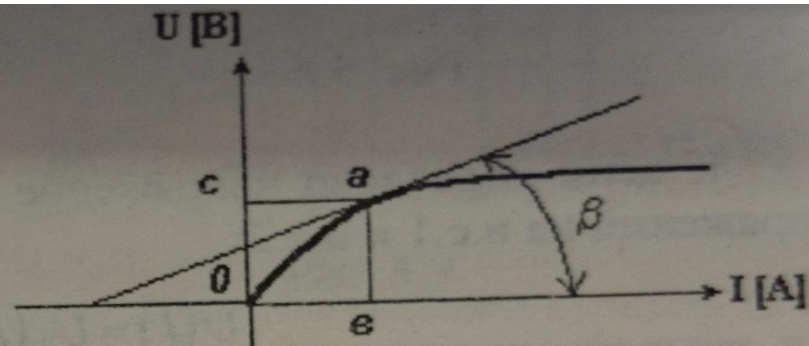
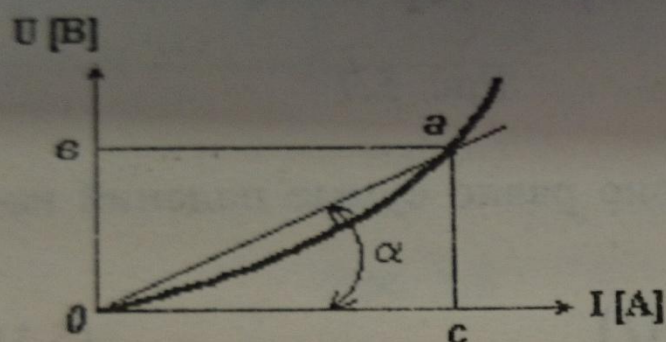


Статическим или интегральным сопр. нелин. эл. называется отношение напряжения на элементе к величине тока

$$R_{ст} = \frac{U}{I} = \frac{m_U}{m_I} \cdot \frac{об}{ав} = \frac{m_U}{m_I} \cdot tg\alpha$$

Дифференциальное или динамическое сопротивление нелин. эл. – величина равная отношению бесконечно малого приращения напряжения на нелинейном сопротивлении к соответствующему приращению тока

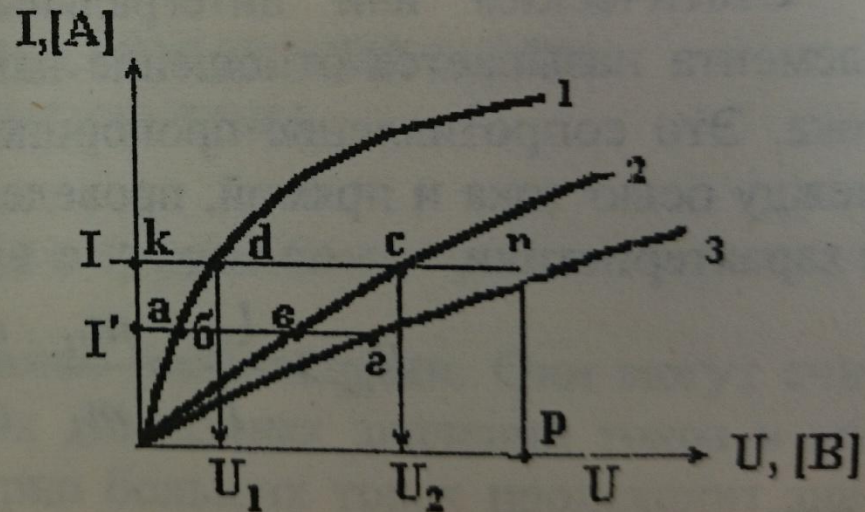
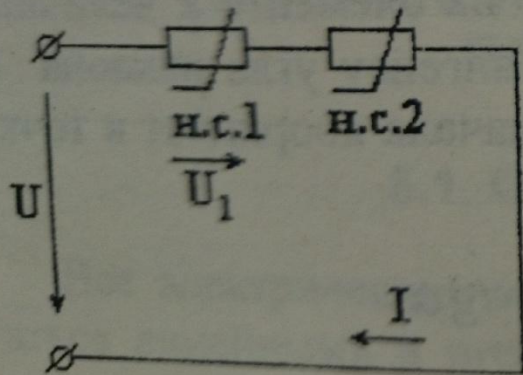
$$R_A = \frac{dU}{dI} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{m_U}{m_I} \cdot \frac{ав}{об} = \frac{m_U}{m_I} \cdot tg\beta$$



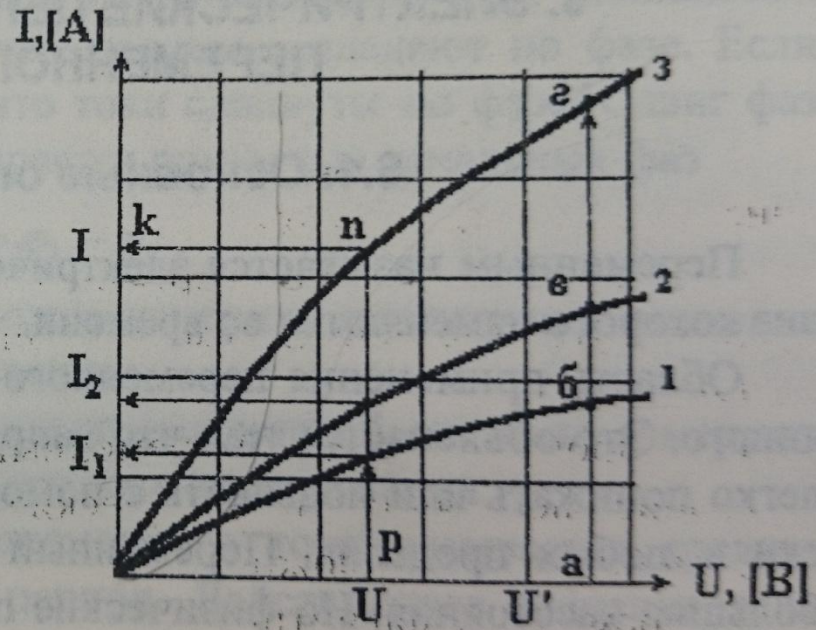
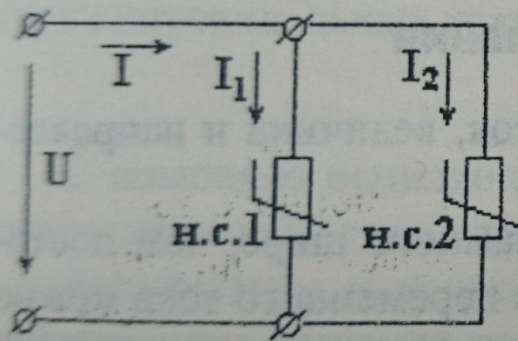
ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для последовательного соединения $U(I) = U_1(I) + U_2(I)$

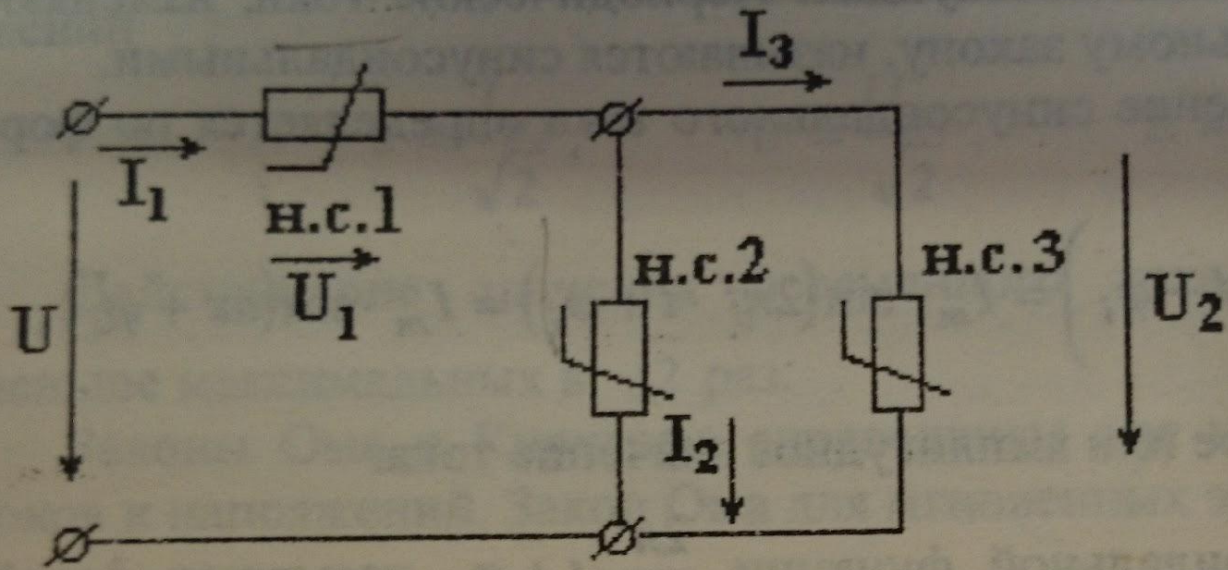
Из графика находим $U_1 = kd \cdot m_U$; $U_2 = kc \cdot m_U$



Параллельное соединение двух н.с.

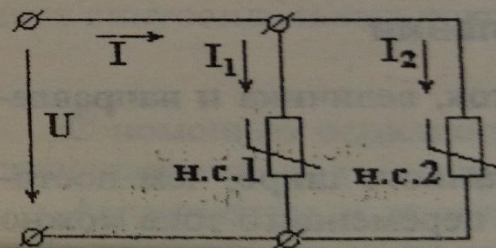
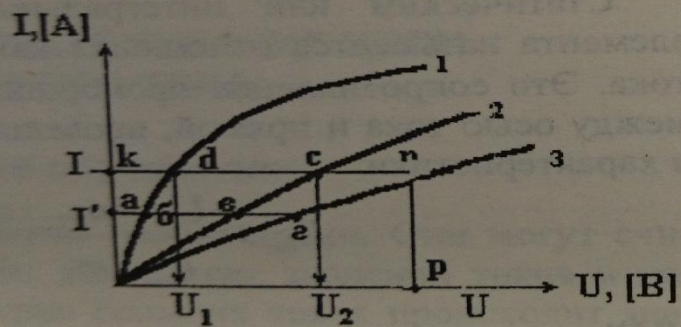


Расчет смешанного соединения



При параллельном соединении двух нелинейных элементов ток в неразветвленной части равен сумме токов в параллельных определенных ветвях.

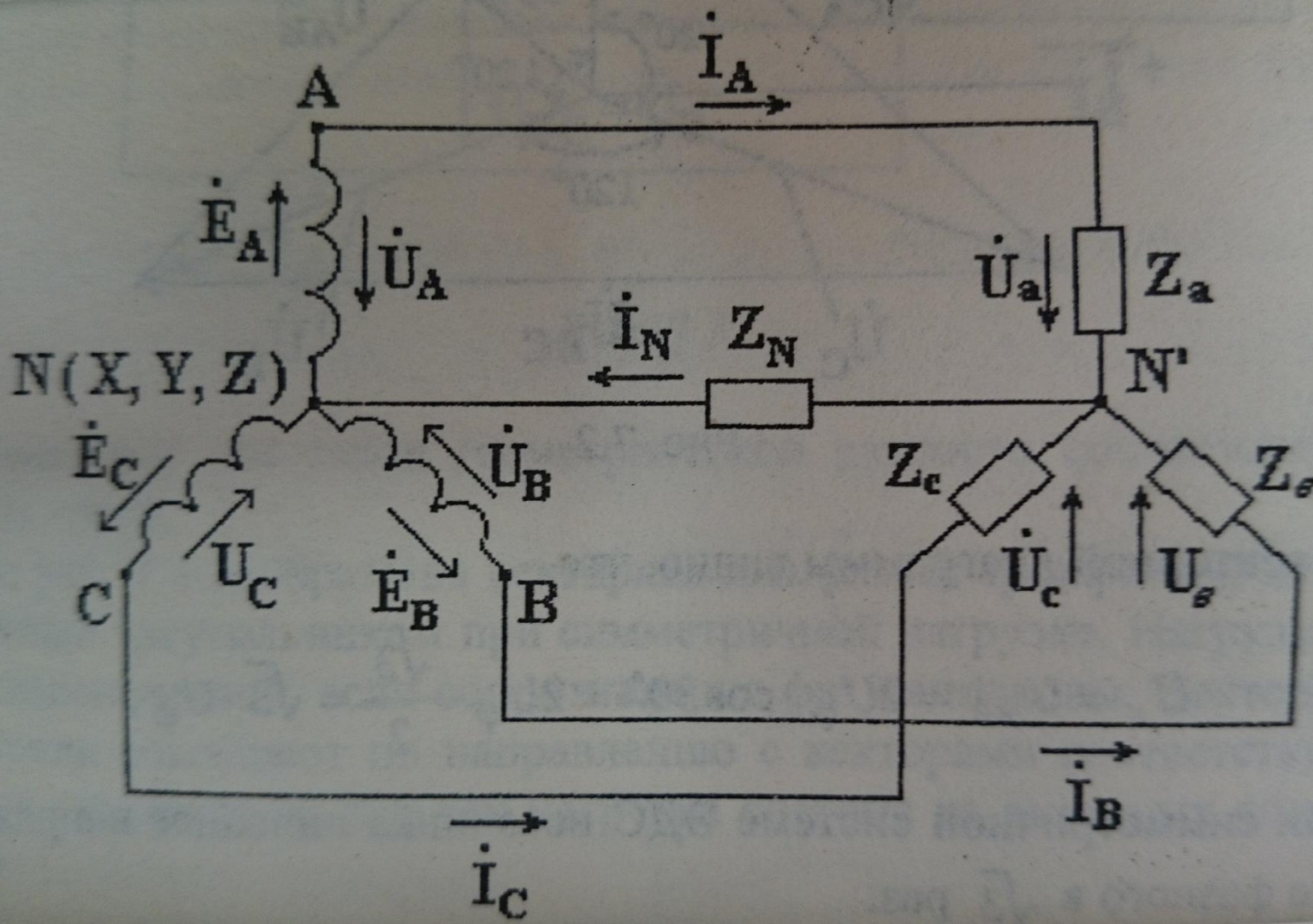
$$I = I_1 + I_2$$



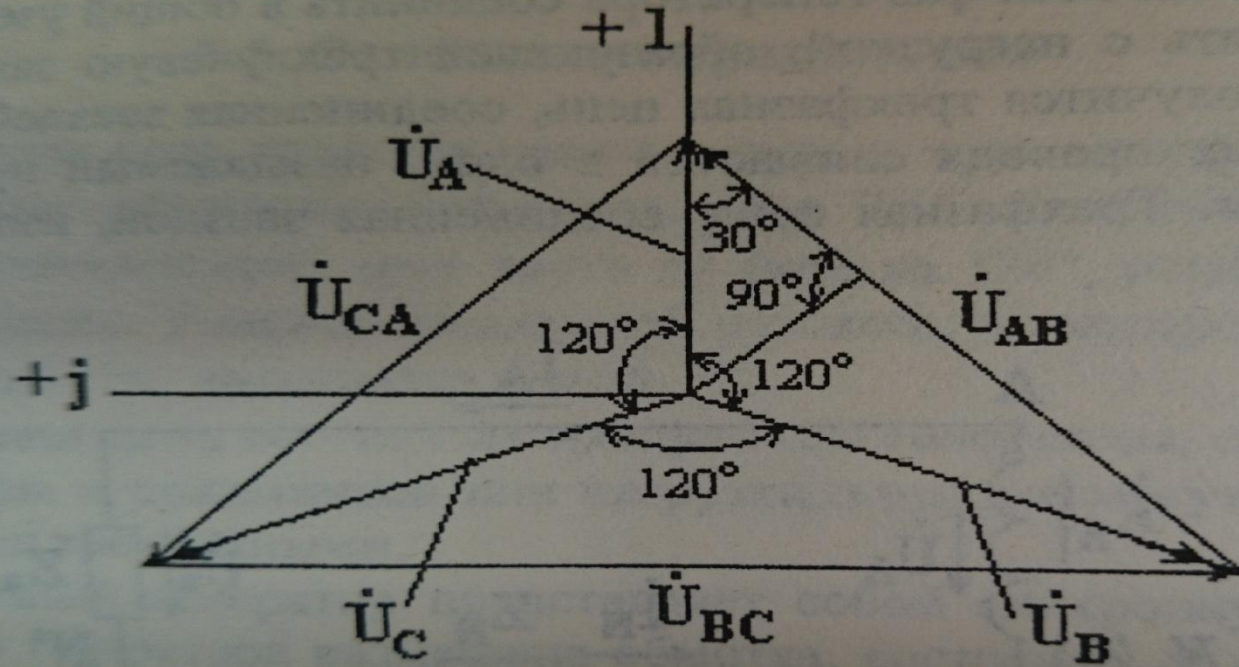
ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

Участок трехфазной системы, по которому протекает одинаковый ток, называется фазой. Обмотка на статоре генератора разделена на три части, т. е. три фазы, пространственно смещены друг относительно друга на 120° .

Соединение в звезду. Схема, определения



Провода, идущие от источника к нагрузке называют линейными проводами, провод, соединяющий нейтральные точки источника и приемника - нейтральным или нулевым проводом



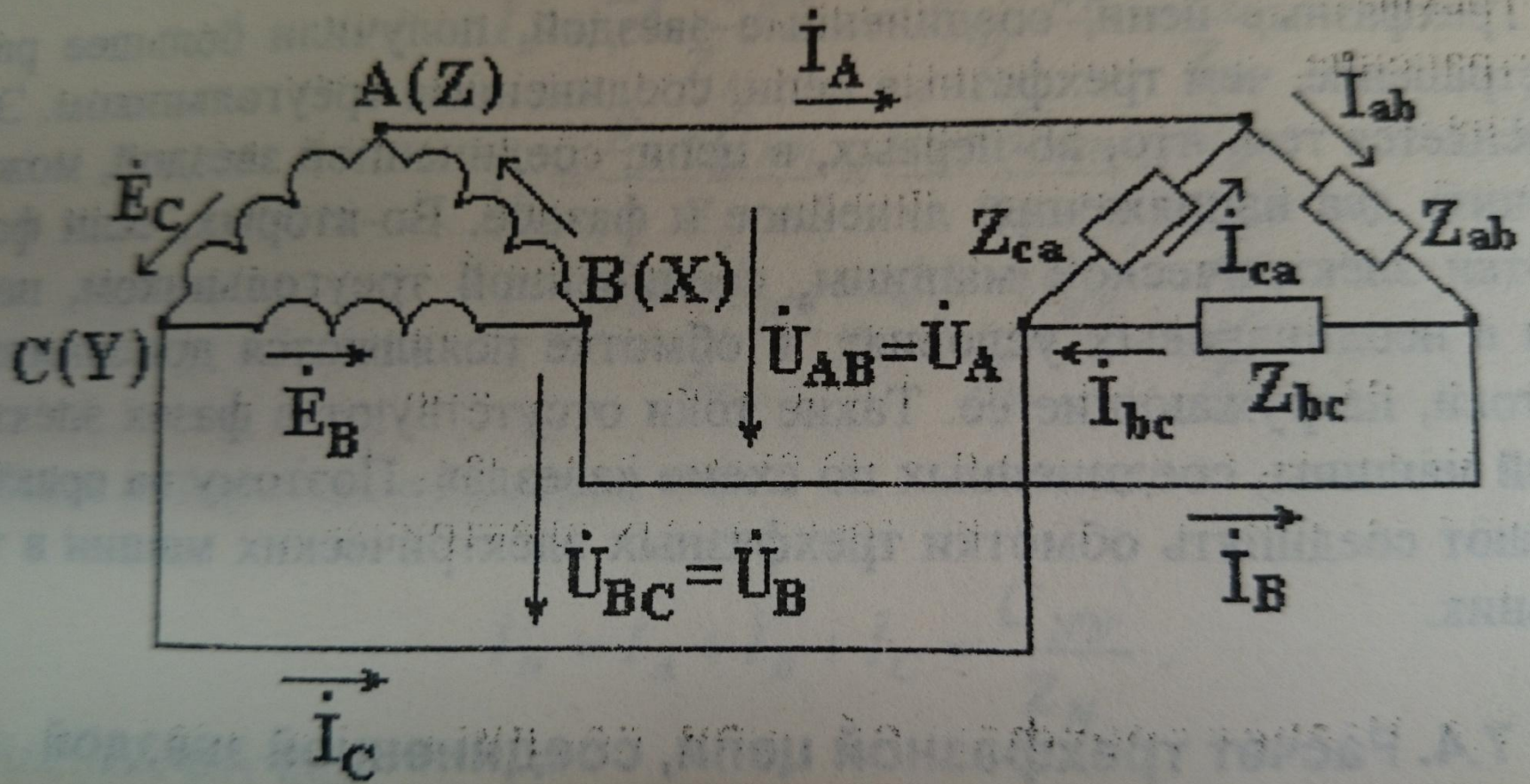
При соединении звездой токи в линиях и в фазах одинаковы, из-за последовательного соединения фазовых и линейных проводов $I_L = I_\Phi$

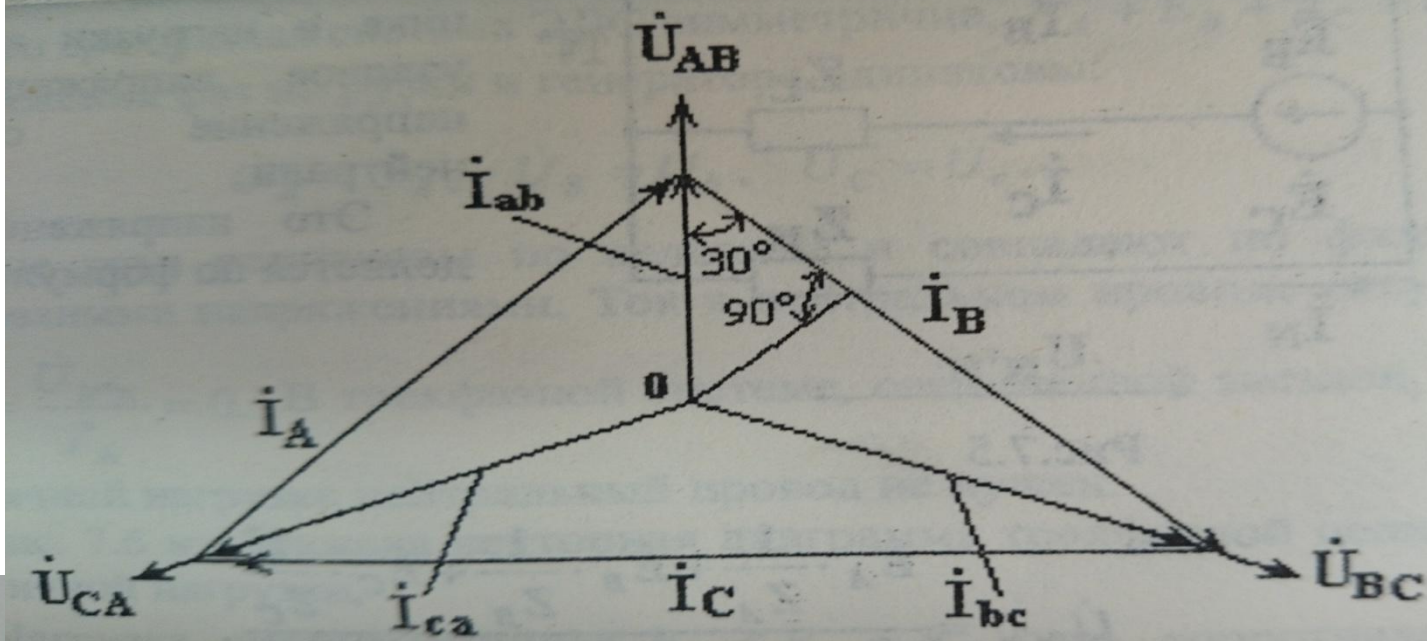
Линейные напряжения определяются как разность соответствующих фазовых напряжений

$$U_{AB} = U_A - U_B; \quad U_{BC} = U_B - U_C; \quad U_{CA} = U_C - U_A$$

следовательно $U_L = U_{AB} = 2 U_\Phi \cos 30^\circ = \sqrt{3} U_\Phi$

Соединение в треугольник. Схема, определение





При соединении в треугольник линейные и фазовые напряжения равны $U_\phi = U_\lambda$, а токи согласно I закону Кирхгофа определяются:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$$

Из векторной диаграммы получим

$$I_\lambda = 2 I_\phi \cos 30^\circ = \sqrt{3} I_\phi \text{ при симметричной нагрузке.}$$