Лекция 1

Вводная
Вспоминаем курс электроники

ИГНАТЕНКО ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ

к.т.н., преподаватель

Основные понятия

Напряжение и ток — это количественные понятия, о которых следует помнить всегда, когда дело касается электронной схемы.

Обычно они изменяются во времени, в противном случае работа схемы не представляет интереса

Напряжение (условное обозначение U, иногда E)

это энергия, которая высвобождается, когда единичный заряд «сползает» от высокого потенциала к низкому

Напряжение называют также **разностью потенциалов** или электродвижущей силой (**э.д. с**)

Единицей измерения напряжения служит вольт (В)

Ток (условное обозначение I)

это скорость перемещения электрического заряда в точке

Единицей измерения тока служит ампер (A)

Запомните

напряжение всегда измеряется ***между*** двумя точками схемы

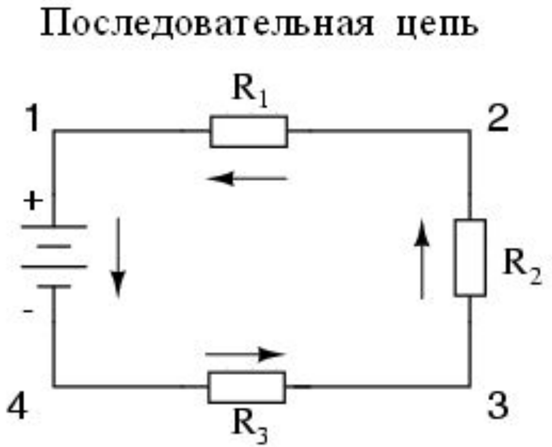
ток всегда протекает ***через*** точку в схеме или через какой-нибудь элемент схемы

Ток мы получаем, прикладывая напряжение между точками схемы


2 Принципиальная схема участка цепи, демонстрирующая закон Ома
Точка 1
U
I
+
-
Ток I протекает на участке цепи через сопротивление R
Сопротивление R на участке цепи
$R = \frac{U}{I}$ (1)
R
U
R I
Источник напряжения U на участке цепи
Точка 2

Несколько простых правил, касающихся тока и напряжения:

1. Сумма токов, втекающих в точку, равна сумме токов, вытекающих из нее (закон Кирхгофа для токов)

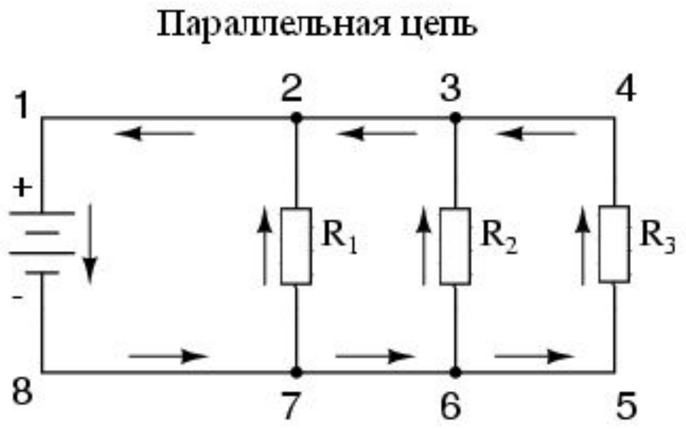


2. В последовательной цепи ток во всех точках одинаков

$I_1 = I_2 = I_3$

Несколько простых правил, касающихся тока и напряжения:

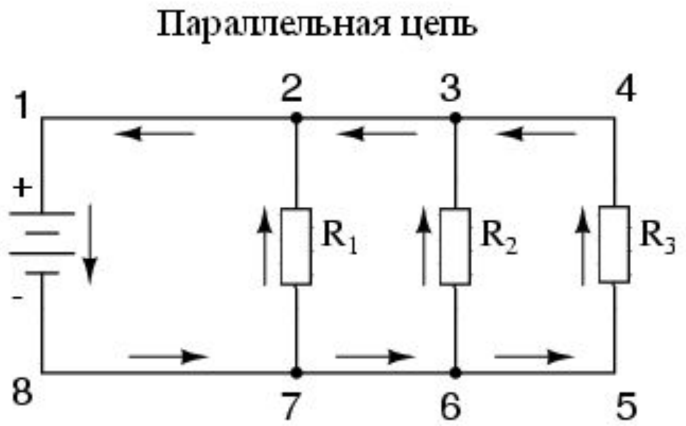
3. При параллельном соединени элементов напряжение на каждом из элементов одинаково (U_1=U_2=U_3)



4. Мощность (работа, совершенная за единицу времени), потребляемая схемой: **P=U·I** (ватт Вт)

Несколько простых правил, касающихся тока и напряжения:

3. При параллельном соединени элементов напряжение на каждом из элементов одинаково ($U_1=U_2=U_3$)



4. Мощность (работа, совершенная за единицу времени), потребляемая схемой: **$P=U \cdot I$** (ватт Вт)

Взаимосвязь напряжения и тока

Тема эта очень обширна и интересна. В ней заключена суть электроники.

Если попытаться изложить ее в двух словах, то она посвящена тому, как можно сделать элемент, имеющий ту или иную характеристику, выраженную определенной зависимостью между током и напряжением, и как его использовать в схеме.

Взаимосвязь напряжения и тока

Примерами таких элементов служат:

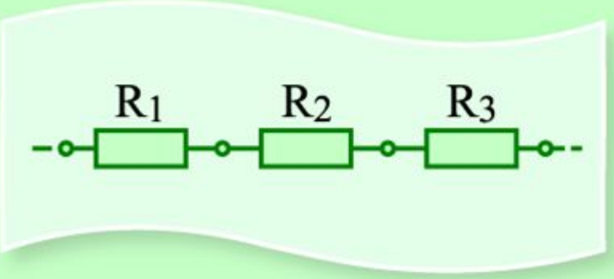
- резисторы (ток прямо пропорционален напряжению)
- конденсаторы (ток пропорционален скорости изменения напряжения)
- диоды (ток протекает только в одном направлении)
- термисторы (сопротивление зависит от температуры)
- тензорезисторы (сопротивление зависит от деформации)
- и т.д.

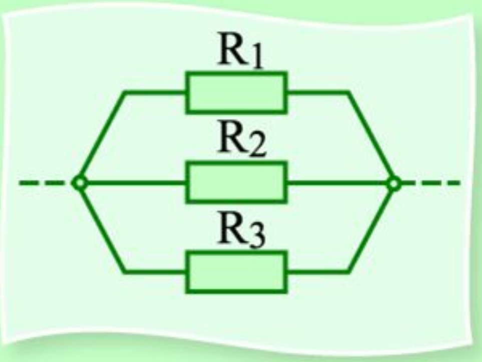
Электрическое сопротивление (R, ед. изм. Ом)

физическая величина, характеризующая свойства проводника *(например, резистора)* препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему

$$R = \frac{U}{I}$$

Грубо говоря, **резисторы** используются для преобразования напряжения в ток и наоборот





$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Главная табличка в электронике

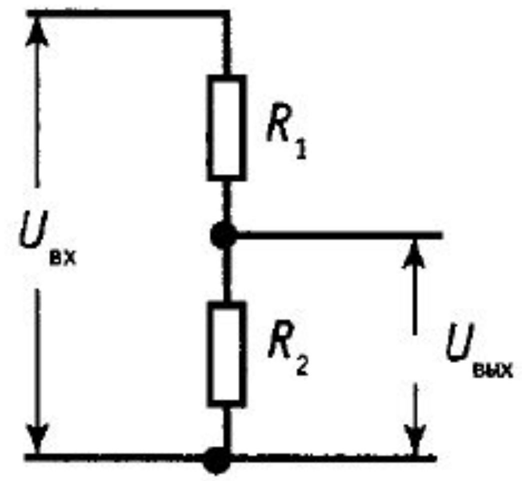
Вспоминаем дальше…

Вход и выход

Практически во всех электронных схемах что-либо подается на вход (обычно это напряжение) и соответственно снимается с выхода (это также чаще всего напряжение).

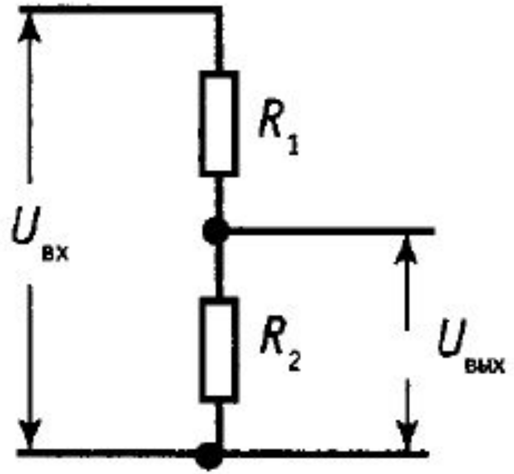
Инженеры пользуются понятием **передаточной функции**, которая представляет собой отношение напряжения, измеренного на выходе, к напряжению, действующему на входе

Делители напряжения



Простейший делитель напряжения — это схема, которая для данного напряжения на входе создает на выходе напряжение, которое является некоторой частью входного

Делители напряжения



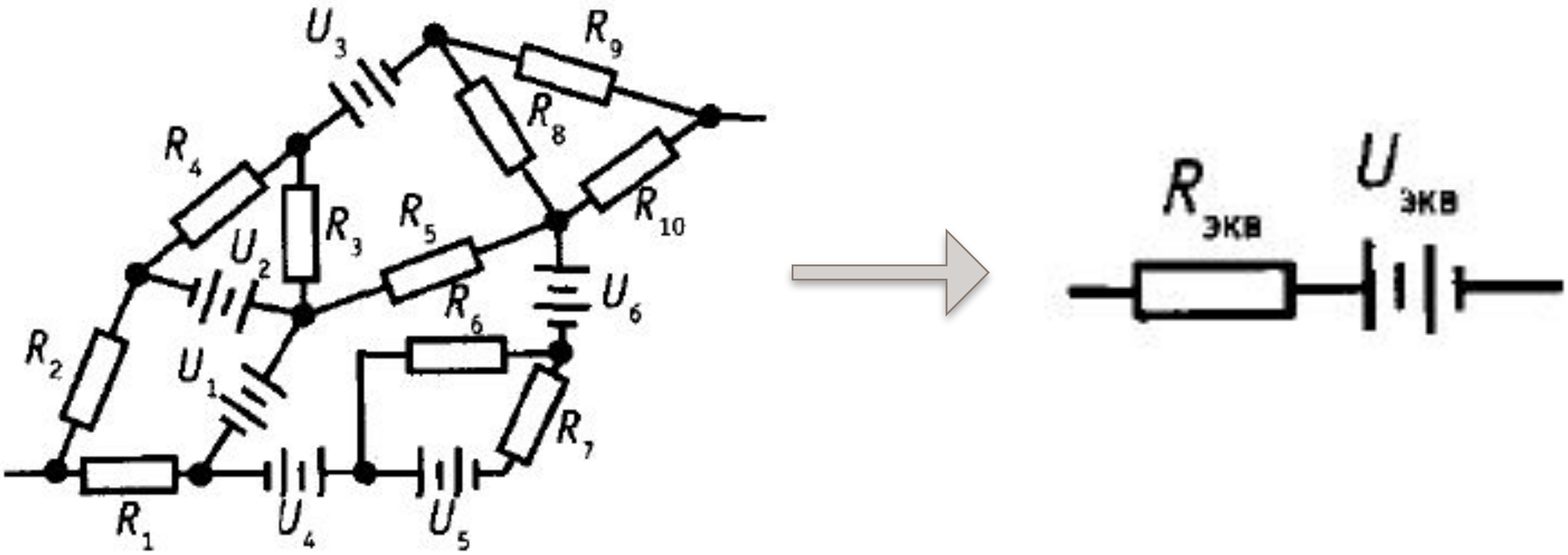
Делители напряжения часто используют в схемах для того, чтобы получить заданное напряжение из большего напряжения

Теорема об эквивалентном преобразовании источников (генераторов)

утверждает,

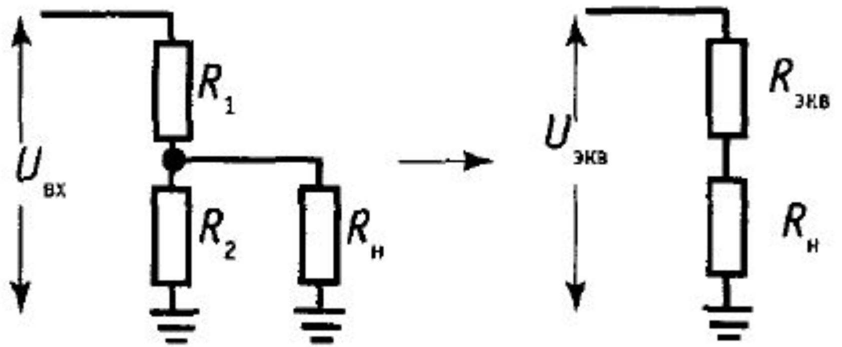
что всякую схему, состоящую из резисторов и источников напряжения и имеющую два вывода, можно представить в виде эквивалентной схемы, состоящей из одного резистора R, последовательно подключенного к одному источнику напряжения U

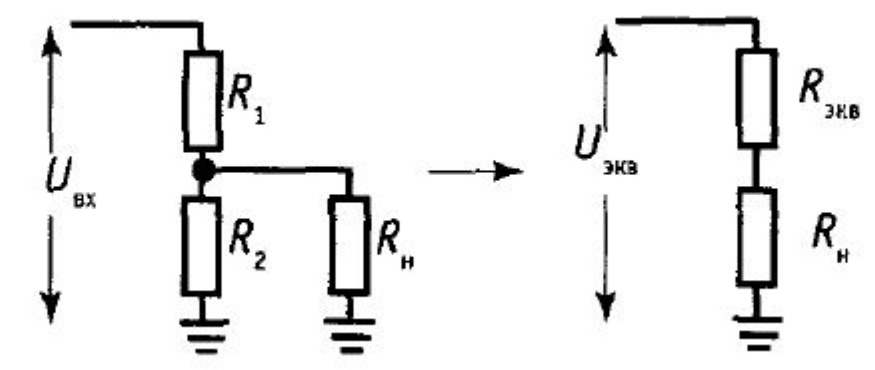
Теорема об эквивалентном преобразовании источников



Эквивалентное сопротивление источника и нагрузка схемы

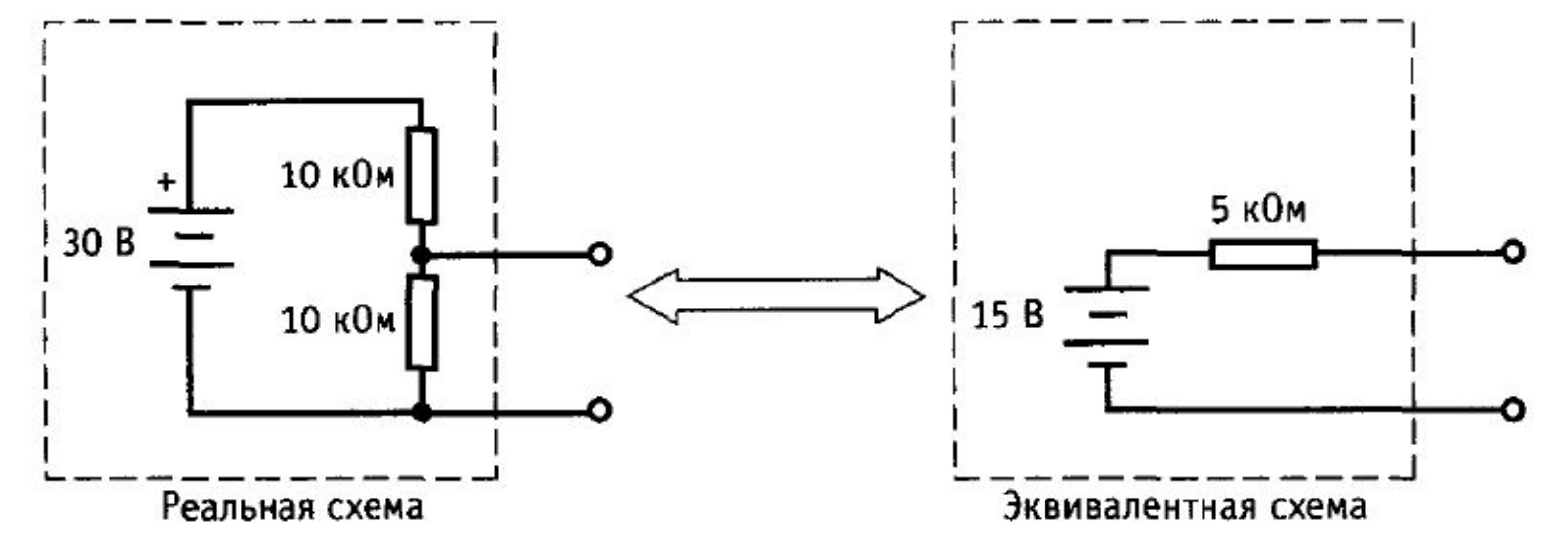
делитель напряжения, на который подается некоторое постоянное напряжение, эквивалентен некоторому источнику напряжения с последовательно подключенным к нему резистором





$$U_{экв} = U_{вх}[R_2/(R_1 + R_2)],$$

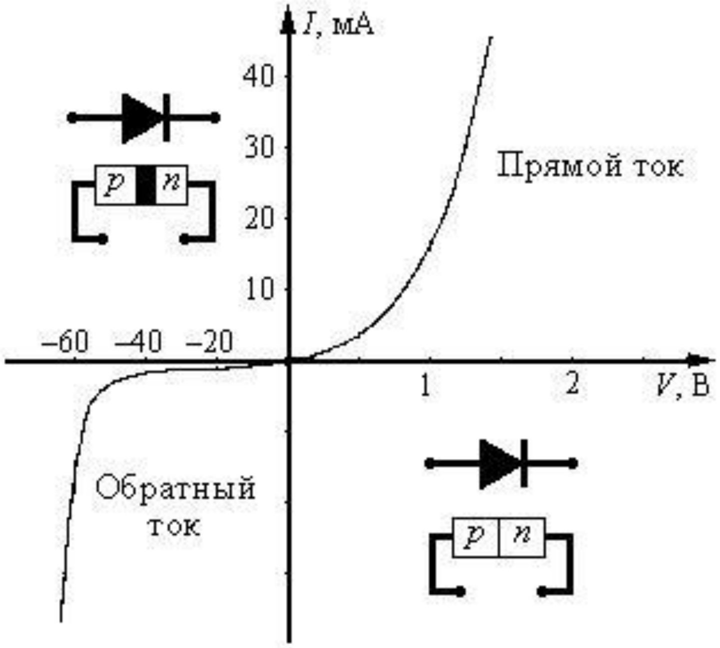
$$R_{экв} = R_1 R_2/(R_1 + R_2)$$



Динамическое сопротивление

Часто приходится иметь дело с электронными устройствами, в которых ток I не пропорционален напряжению U

В подобных случаях нет смысла говорить о сопротивлении, так как отношение U/I не является постоянной величиной и зависит от U



Для подобных устройств полезно знать наклон зависимости ***UI*** (вольт-амперной характеристики)

Иными словами, представляет интерес отношение небольшого изменения приложенного напряжения к соответствующему изменению тока через схему:

$$\Delta U / \Delta I$$

ΔU/ Δ I

Это отношение измеряется в омах и во многих расчетах играет роль сопротивления

Оно называется сопротивлением для малых сигналов, дифференциальным сопротивлением, динамическим или инкрементным сопротивлением

Вспоминаем дальше…

Сигналы

Для лучшего понимания работы цепей переменного тока полезно изучить некоторые распространенные типы сигналов

т.е. напряжений, которые определенным образом изменяются во времени

Синусоидальные сигналы

Синусоидальные сигналы распространены наиболее широко; именно их мы извлекаем из стенной розетки

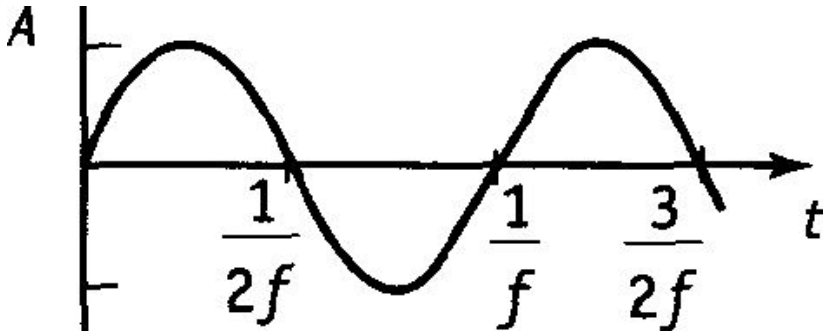
$$U = A \sin 2\pi f t,$$

$$U = A \sin \omega t,$$

где ω — угловая частота в радианах в 1 с

Синусоидальные сигналы

Основное достоинство синусоидальной функции и основная причина столь широкого распространения синусоидальных сигналов состоит в том, что



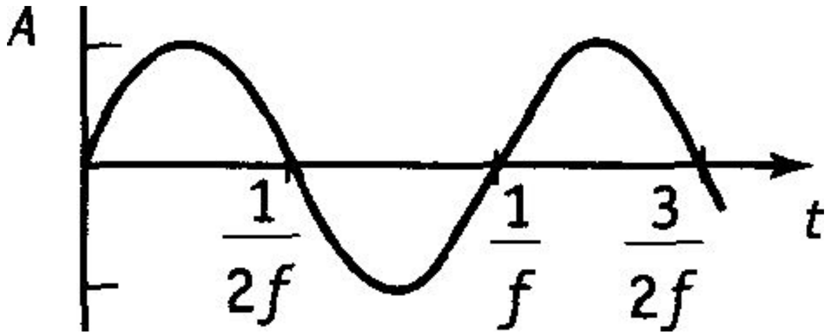
эта функция является решением целого ряда линейных дифференциальных уравнений, описывающих как физические явления, так и свойства линейных цепей

Синусоидальные сигналы

Линейная электрическая цепь - это цепь, содержащая только линейные элементы.

В таких электрических цепях, согласно закону Ома, ток прямо пропорционален приложенному напряжению.

Сопротивления постоянно и не зависит от приложенного к нему напряжения



$$I = \frac{U}{R}$$

Линейная цепь обладает следующим свойством: выходной сигнал, порожденный суммой двух входных сигналов, равен сумме двух выходных сигналов, каждый из которых порожден входными сигналами, действующими не в совокупности,

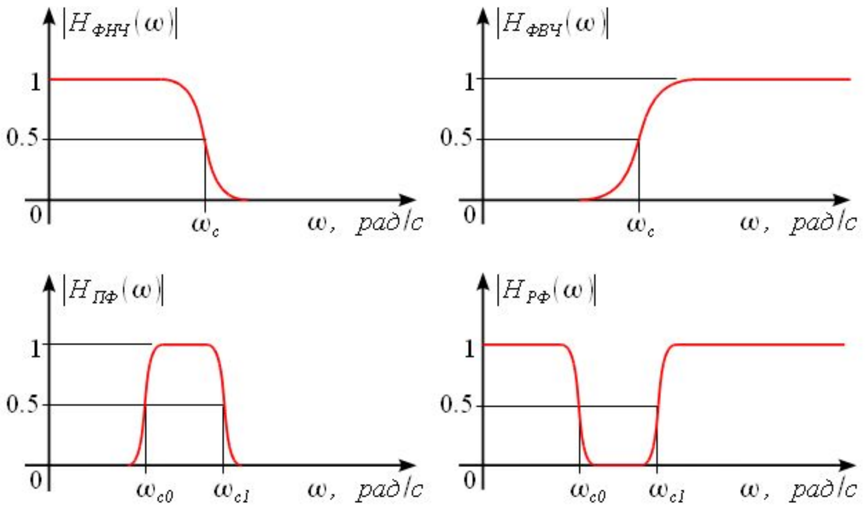
Если Вых. *(A)* — выходной сигнал, порожденный сигналом *A,* то для линейной цепи справедливо следующее равенство:

Вых. $(A + B)$ = Вых. (A) + Вых. (B)

Если на входе линейной цепи действует синусоидальный сигнал, то на выходе также получим синусоидальный сигнал, но в общем случае его амплитуда и фаза будут другими.

Это утверждение справедливо только для синусоидального сигнала

На практике принято оценивать поведение схемы по ее **амплитудно- частотной характеристике**, показывающей, как изменяется амплитуда синусоидального сигнала в зависимости от частоты



Измерение амплитуды сигналов

Иногда употребляют понятие ***эффективное значение***,

Данное отношение справедливо только для синусоидальных сигналов

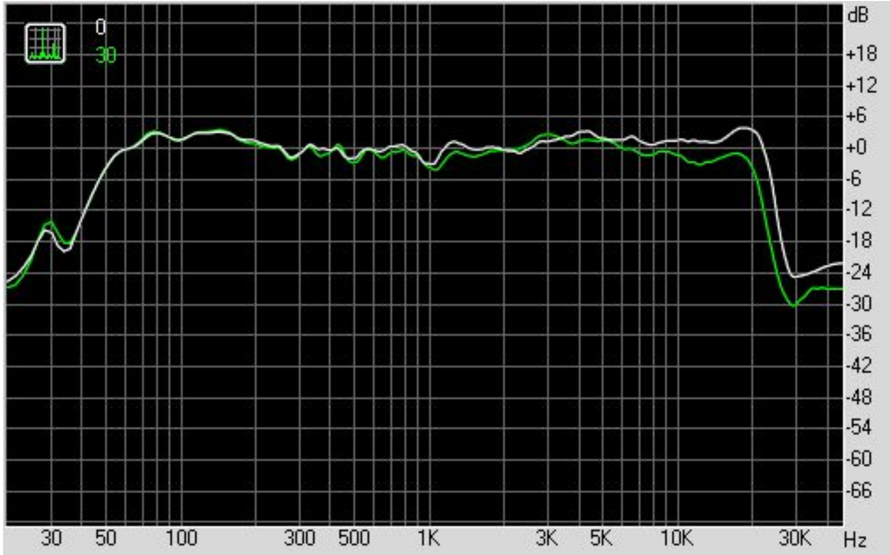
Действующее (эффективное) значение тока или напряжения синусоидальной формы в 1,41 раз меньше амплитудного значения тока или напряжения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Измерение амплитуды сигналов

Как сравнить амплитуды двух сигналов?
Можно, например, сказать, что сигнал X в два раза больше, чем сигнал Y.

Но очень часто подобные отношения достигают миллионов, и тогда удобнее пользоваться логарифмической зависимостью и измерять отношение в **децибелах**



Существует формула для пересчета отношения двух напряжений в число децибелов (аналогичная формула справедлива и для токов):

дБ=20$\log_{10}$(U2/U1)=20lg(U2/U1),

где U1 — входное напряжение; U2 — выходное напряжение.

$$\boxed{\partial Б = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}}$$

$$\boxed{\partial Б = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}}$$

Например

- Если $U2 = 2 \cdot U1$, то это отношение составит +6 дБ ($\lg 2 = 0{,}3$)
- Если $U2 = 10 \cdot U1$, то отношение сигналов составляет +20 дБ ($\lg 10 = 1$)
- Если $U1 = 10 \cdot U2$, то отношение сигналов составляет -20 дБ

Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Линейно-меняющийся сигнал

Это напряжение, возрастающее (или убывающее) с постоянной скоростью

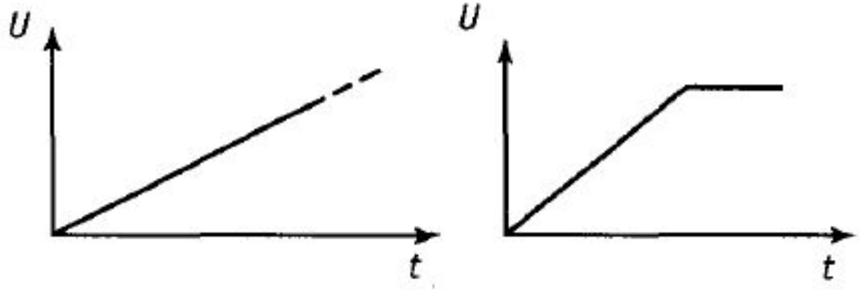


Рис. 1.18. Напряжение в виде линейно-меняющегося сигнала.

Рис. 1.19. Ограниченный линейно-меняющийся сигнал.

Это напряжение, конечно, не может расти бесконечно. Поэтому обычно такое напряжение имеет вид, показанный на графике рис. 1.19

Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Треугольный сигнал

приходится «ближайшим родственником» линейно-меняющемуся сигналу;

отличие состоит в том, что график треугольного сигнала является симметричным

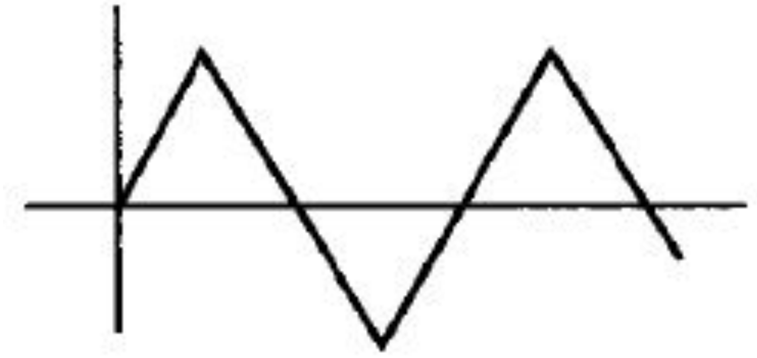


Рис. 1.21. Треугольный сигнал.

Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Шумовой сигнал

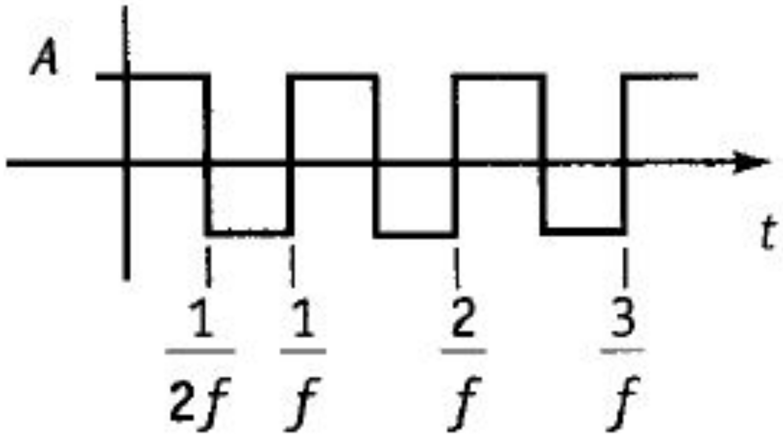
Шумовые напряжения характеризуются распределением амплитуд и частотным спектром (произведение мощности на частоту в герцах)

Рис. 1.22. Шумовой сигнал.

Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Прямоугольный сигнал

Для прямоугольного сигнала эффективное значение равно просто амплитуде



Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Прямоугольный сигнал

Форма реального прямоугольного сигнала отличается от идеального прямоугольника

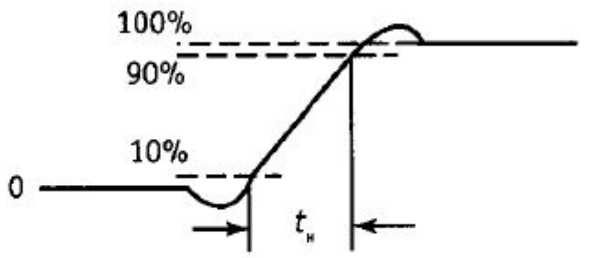


Рис. 1.24. Время нарастания скачка прямоугольного сигнала.

Время нарастания определяется как время, в течение которого сигнал нарастает от 10 до 90% своей максимальной амплитуды

Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Импульсы

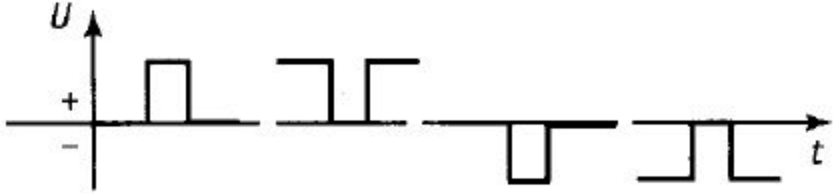


Рис. 1.25. Нарастающие и убывающие импульсы обоих полярностей.

Сигналы характеризуются амплитудой и длительностью импульса

Импульсы могут иметь положительную или отрицательную полярность (пьедестал), кроме того, они могут быть нарастающими или спадающими

Другие типы сигналов (несинусоидальные)

Сигналы в виде скачков и пиков

Скачок представляет собой часть прямоугольного сигнала

Пик — это два скачка, следующие с очень коротким интервалом

Вспоминаем дальше…

Конденсаторы

Конденсаторы и индуктивности вместе с резисторами являются основными элементами пассивных линейных цепей, составляющих основу почти всей схемотехники.

Особенно следует подчеркнуть роль конденсаторов —
без них не обходится
почти ни одна схема

* вспоминаем

В теории электрических цепей различают активные и пассивные элементы

Первые вносят энергию в электрическую цепь, а вторые ее потребляют

Пассивные элементы:

1. **Резистивное сопротивление** - идеализированный элемент электрической цепи, обладающий свойством необратимого рассеивания энергии
2. **Индуктивный элемент** - идеализированный элемент электрической цепи, обладающий свойством накопления им энергии магнитного поля
3. **Емкостный элемент (емкость)** - идеализированный элемент электрической цепи, обладающий свойством накапливания энергии электрического поля

Активные элементы (зависимые и независимые)

Независимые активные элементы:

1. **Источник напряжения** - идеализированный элемент электрической цепи, напряжение на зажимах которого не зависит от протекающего через него тока

2. **Источник тока** – это идеализированный элемент электрической цепи, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах

Конденсаторы

Энергия заряженного конденсатора W [Дж]

$$W = q \cdot \frac{F}{2} \cdot d = \frac{q \cdot U}{2}$$

$$\boxed{W = \frac{q \cdot U}{2}} \quad \boxed{W = \frac{C \cdot U^2}{2}} \quad \boxed{W = \frac{q^2}{2C}}$$

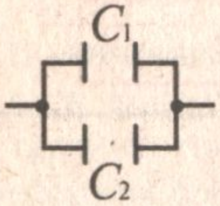
$$C = \frac{Q}{U}$$

Соединение конденсаторов

параллельное

$U_1 = U_2 = U$

$q = q_1 + q_2$

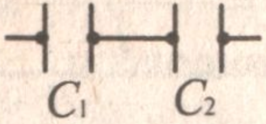


$$\boxed{C = C_1 + C_2}$$

последовательное

$U = U_1 + U_2$

$q_1 = q_2 = q$



$$\boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

RC- цепи

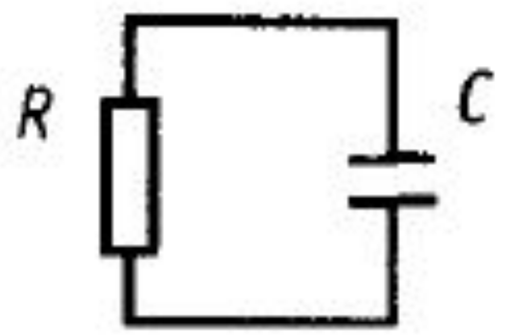
Для анализа цепей переменного тока можно использовать характеристики двух типов

Во-первых, можно рассматривать изменения напряжения **U** и тока **I** во времени

Во-вторых, изменение амплитуды при изменении частоты сигнала

RC- цепи – изменение во времени

Рассмотрим простейшую RC-цепь



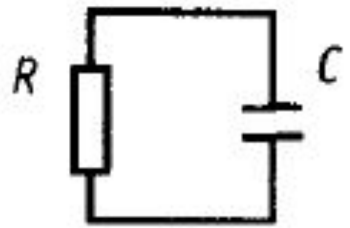
Воспользуемся выражением для емкости

$$\boxed{I = C \cdot \frac{dU}{dt}}$$

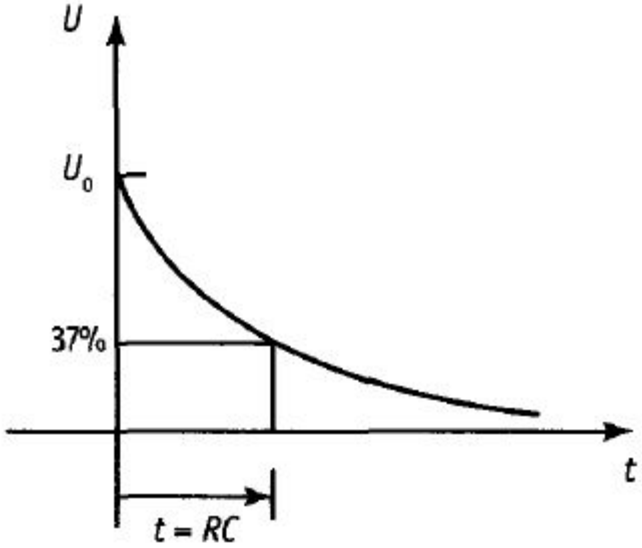
конденсатор — это более сложный элемент, чем резистор;
ток пропорционален не просто напряжению, а скорости изменения напряжения

RC- цепи – изменение во времени

$$C = I \cdot \frac{dt}{dU} \longrightarrow U = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$



Это выражение С представляет собой дифференциальное уравнение, решение которого имеет такой вид U



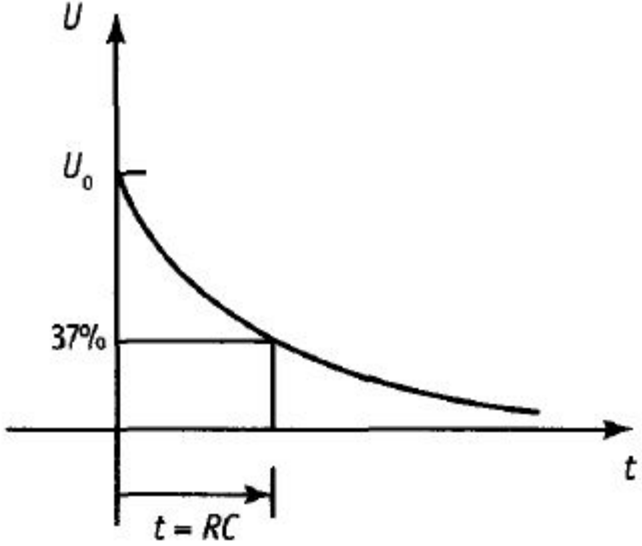
Отсюда следует, что если заряженный конденсатор подключить к резистору, то он будет разряжаться так, как показано на рис

RC- цепи – изменение во времени

$$U = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

Произведение RC называют ***постоянной времени*** цепи.

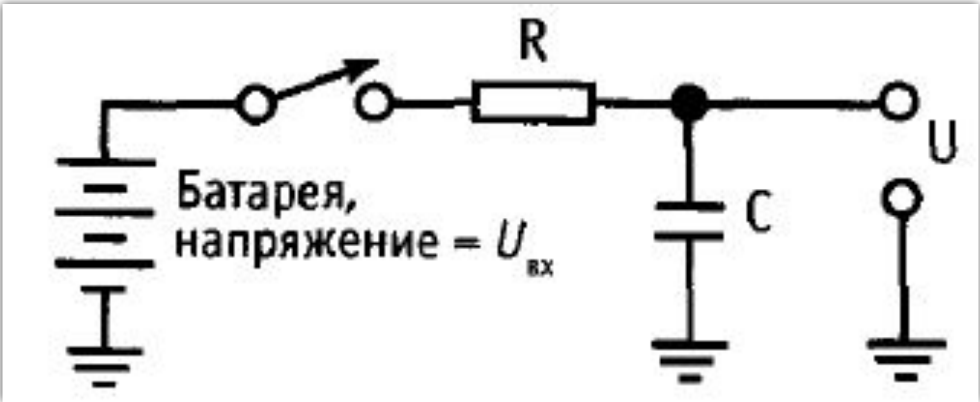
Если *R* измерять в омах, а C — в фарадах, то произведение *RC* будет измеряться в секундах.



RC- цепи – изменение во времени

Пример:

В момент времени t = 0 схема подключается к батарее



Уравнение, описывающее работу такой схемы, выглядит следующим образом

$$I = C\frac{dU}{dt} = \frac{U_{вх} - U}{R}$$

$$U = U_{вх} + Ae^{\frac{-t}{RC}}$$

RC- цепи – изменение во времени

При условии t >> RC напряжение достигает значения Um

Если затем изменить входное напряжение U_m, то напряжение на конденсаторе U будет убывать

Например, если на вход подать прямоугольный сигнал U_m, то сигнал на выходе U будет иметь форму, показанную на рис. 1.33

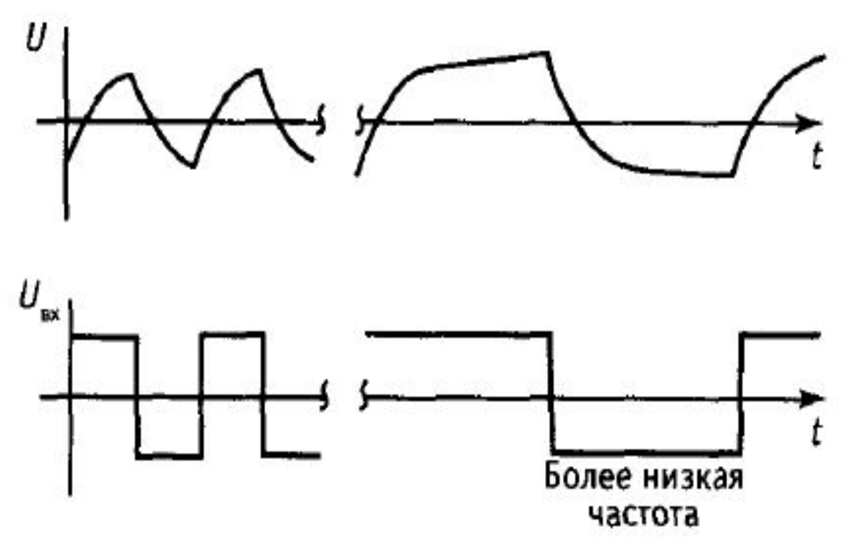
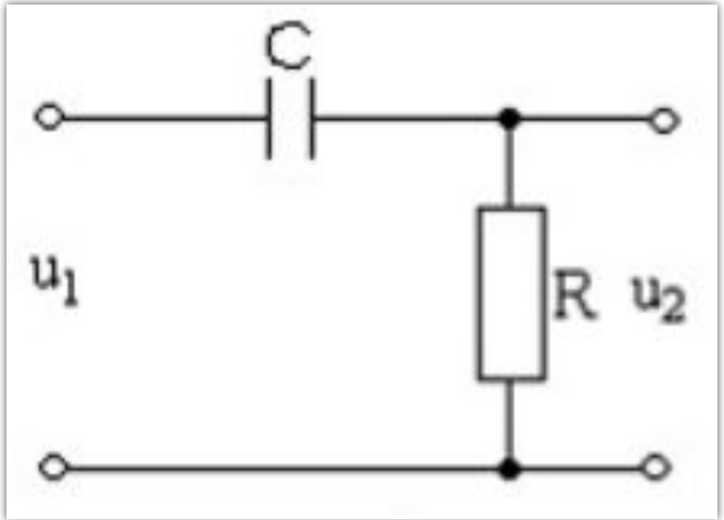


Рис. 1.33. Напряжение, снимаемое с конденсатора (верхние сигналы), при условии, что на него через резистор подается прямоугольный сигнал.

$$U(t) = \frac{1}{RC} \int_{-\infty}^{t} U_{вх} \tau \, e^{-(t-\tau)/RC} dt.$$

Дифференцирующие RC-цепи

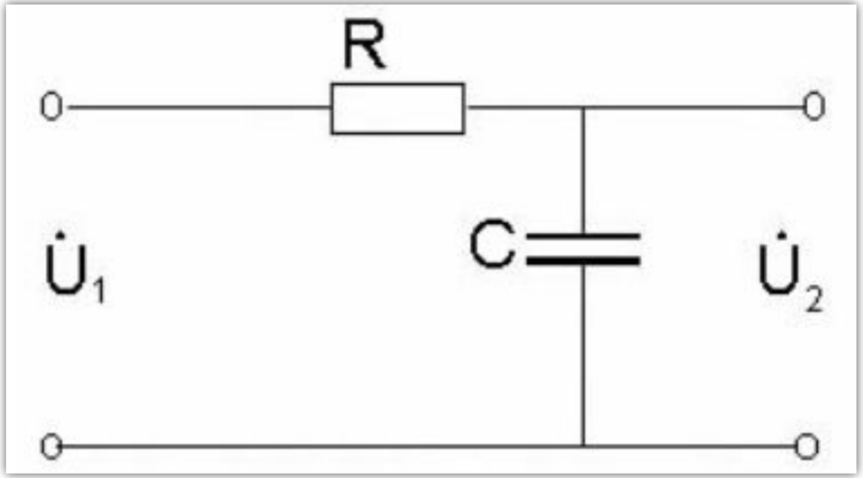
Дифференцирующими называются четырехполюсники, напряжение на выходе которых пропорционально производной по времени от напряжения на входе



$$U_2(t) \sim \frac{d}{dt} U_1(t)$$

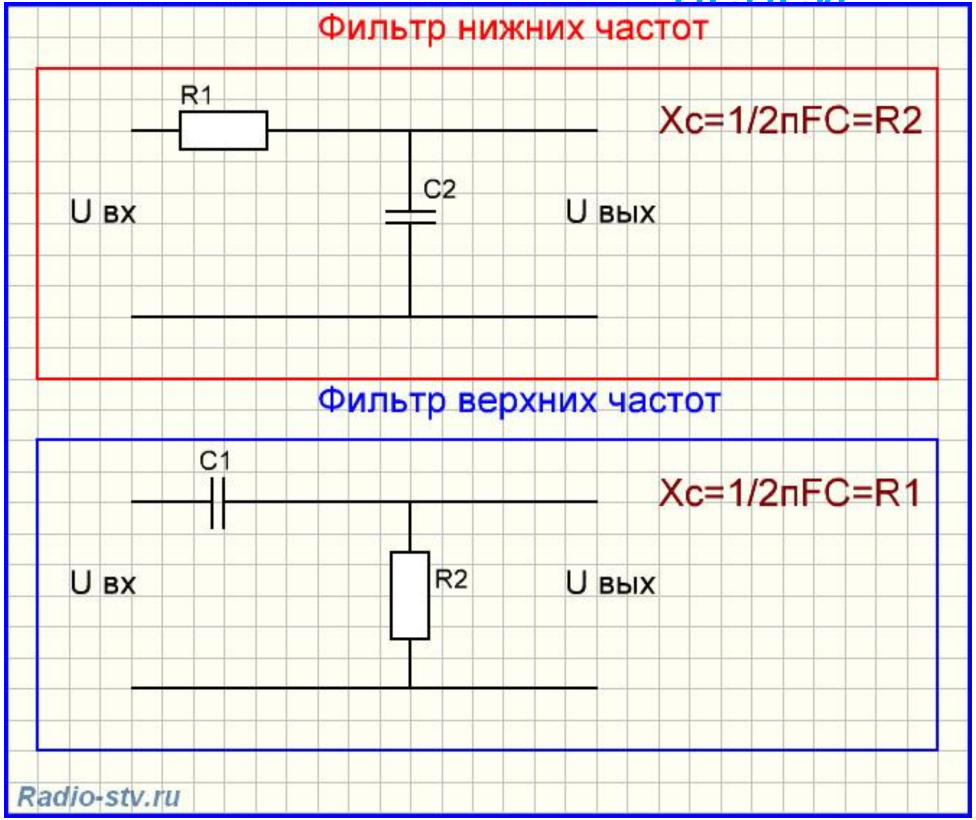
Интегрирующие RC-цепи

Интегрирующими называются четырехполюсники, напряжение на выходе которых пропорционально интегралу от напряжения на входе



$$U_2(t) \sim \int U_1(t)dt .$$

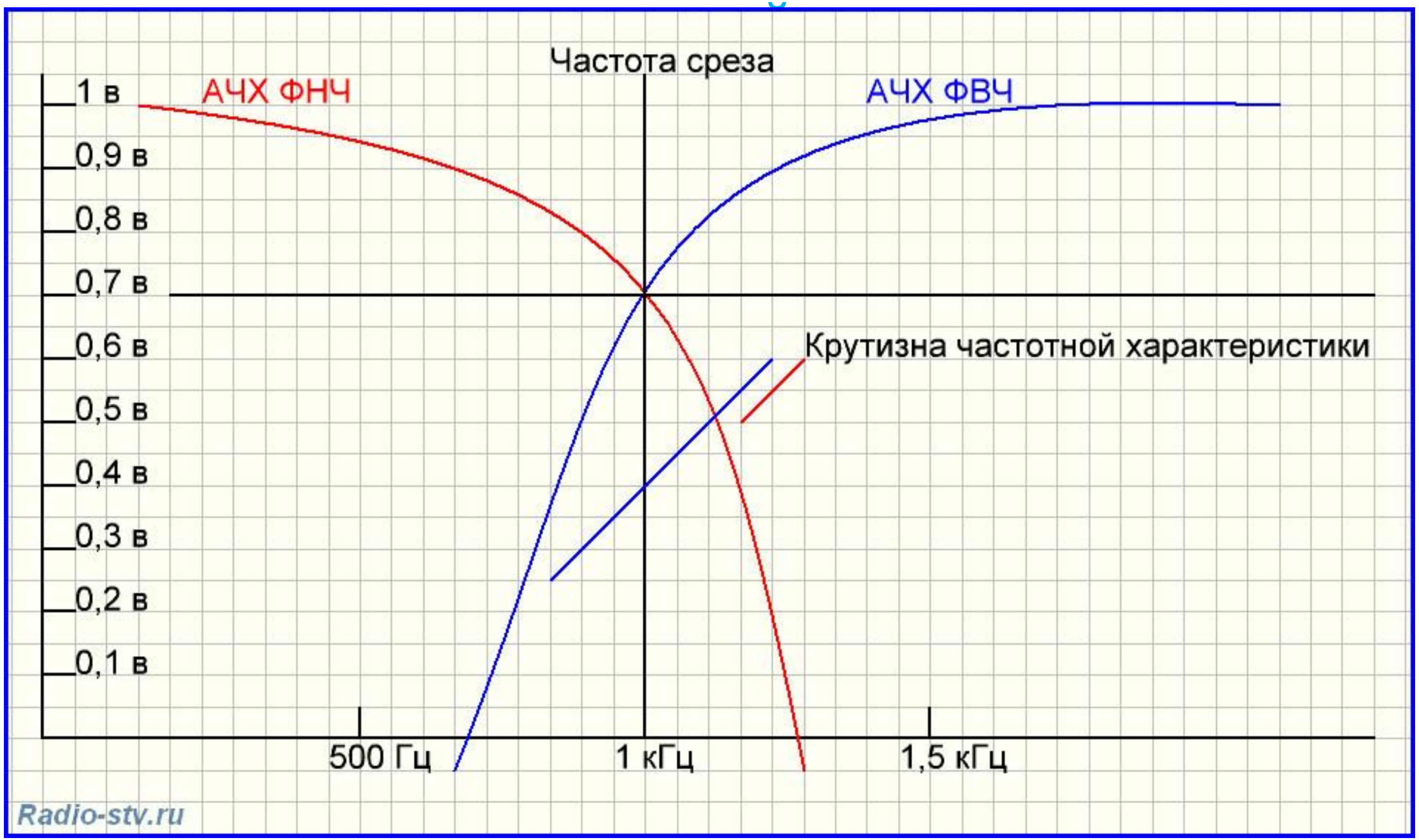
Применение интегрирующих и дифференцирующих RC-цепей



Интегрирующие RC-цепи

Дифференцирующие RC-цепи

Применение интегрирующих и дифференцирующих RC-



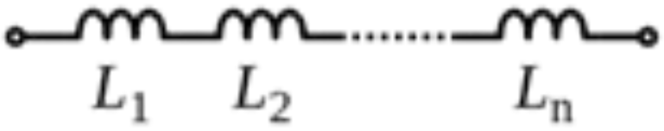
Индуктивности

В индуктивности скорость изменения тока зависит от приложенного напряжения

$$\boxed{U = L \cdot \frac{dI}{dt}}$$

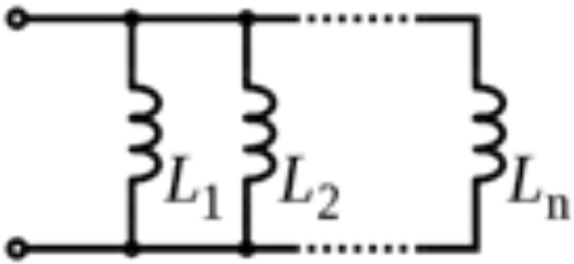
а в конденсаторе скорость изменения напряжения зависит от протекающего тока $I = C \cdot \frac{dU}{dt}$

Индуктивности



Последовательное соединение катушек индуктивности

$$L_{общ.} = L_1 + L_2 + \ldots L_n$$



Параллельное соединение катушек индуктивности

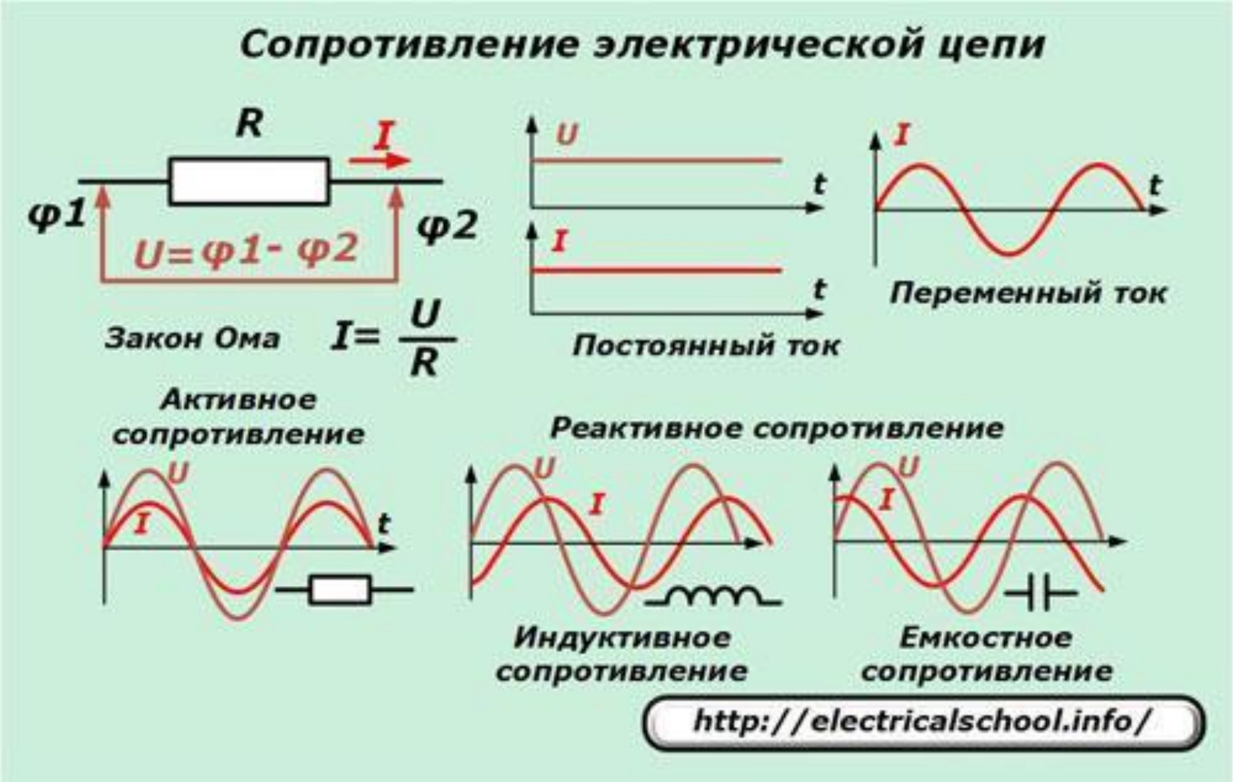
$$L_{общ.} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots \frac{1}{L_n}}$$

Вспоминаем дальше…

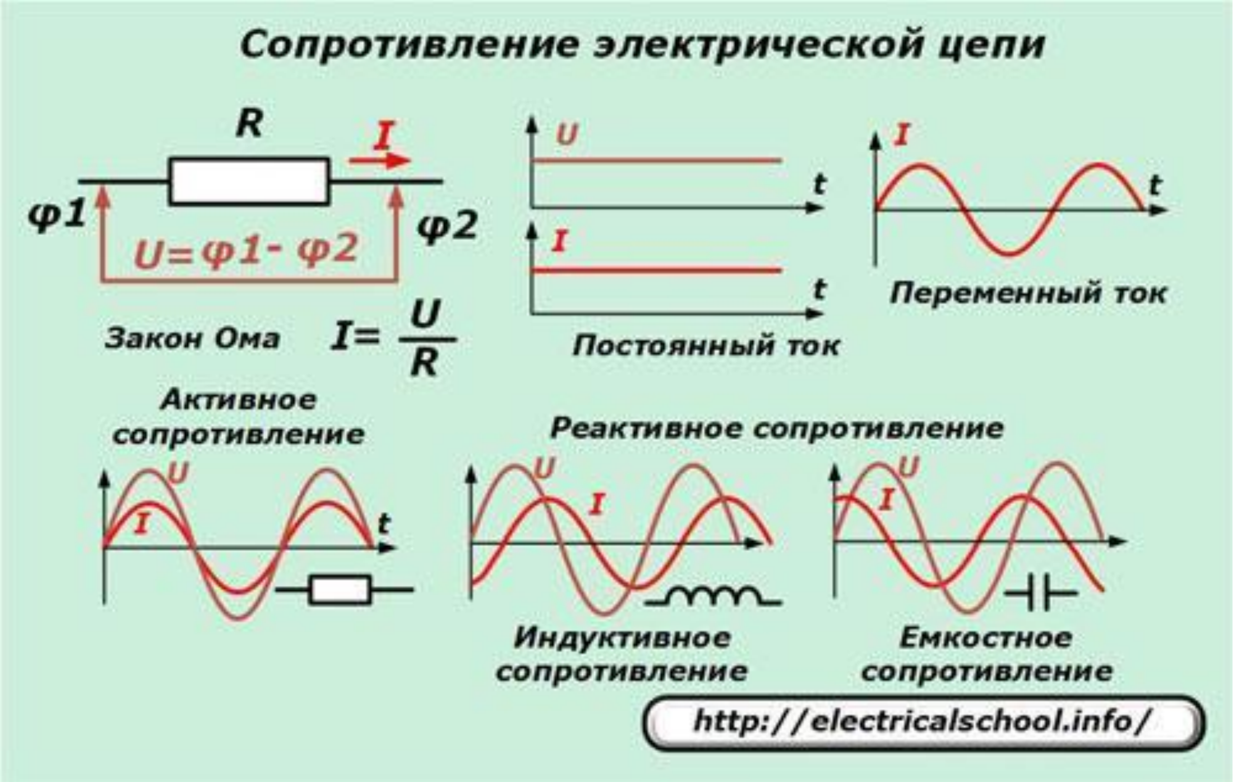
Реактивное сопротивление

Известный в электротехнике закон Ома объясняет, что если по концам какого-то участка цепи приложить разность потенциалов, то под ее действием потечет электрический ток, сила которого зависит от сопротивления среды

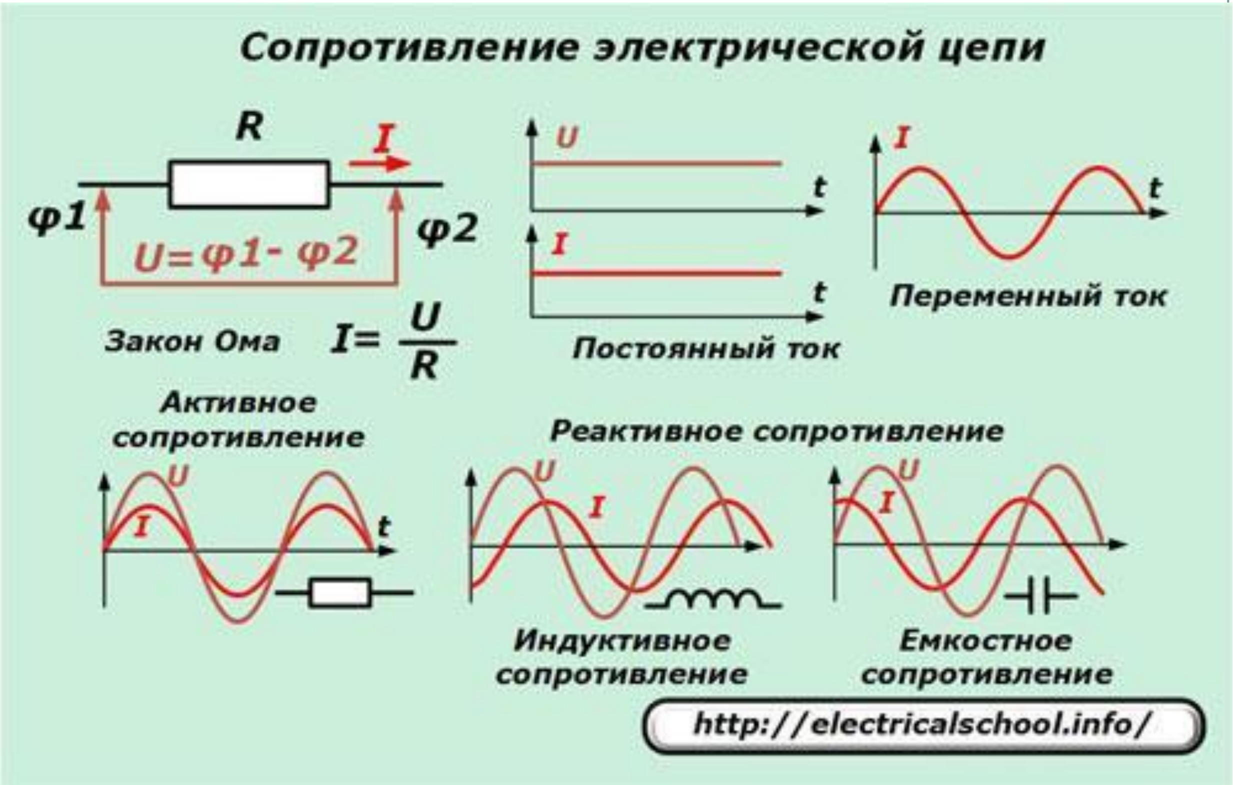
Источники переменного напряжения создают ток в подключенной к ним схеме, который может повторять форму синусоиды источника или быть сдвинутым по углу от него вперед либо назад



Если электрическая цепь не изменяет направления прохождения тока и его вектор по фазе полностью совпадает с приложенным напряжением, то такой участок обладает чистым **активным сопротивлением**



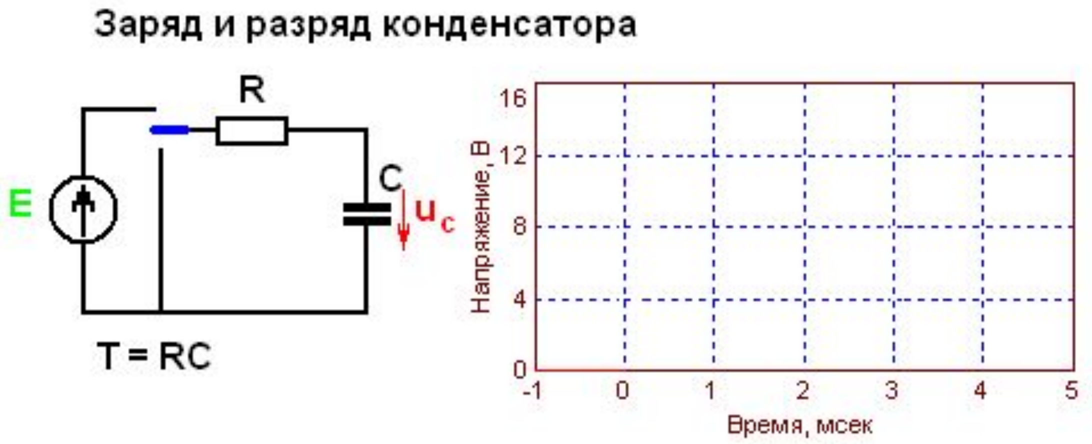
Когда же наблюдается отличие во вращении векторов, то говорят о **реактивном характере сопротивления**



Реактивное сопротивление конденсатора

Конденсатор обладает реактивным сопротивлением благодаря своей ёмкости. Его сопротивление с увеличением частоты тока уменьшается

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

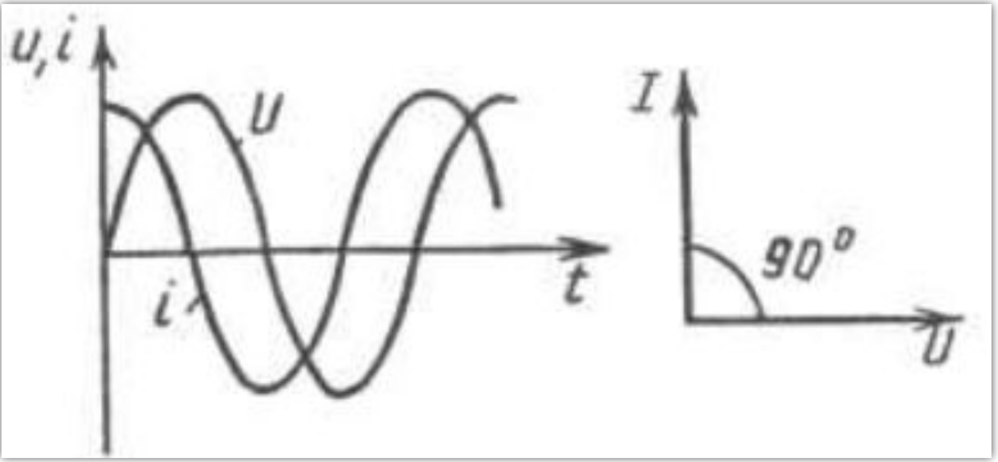


Реактивное сопротивление конденсатора

Изменение напряжения на обкладках конденсатора происходит за счет изменения тока.

Ток — причина возникновения напряжения конденсатора, напряжение — следствие.

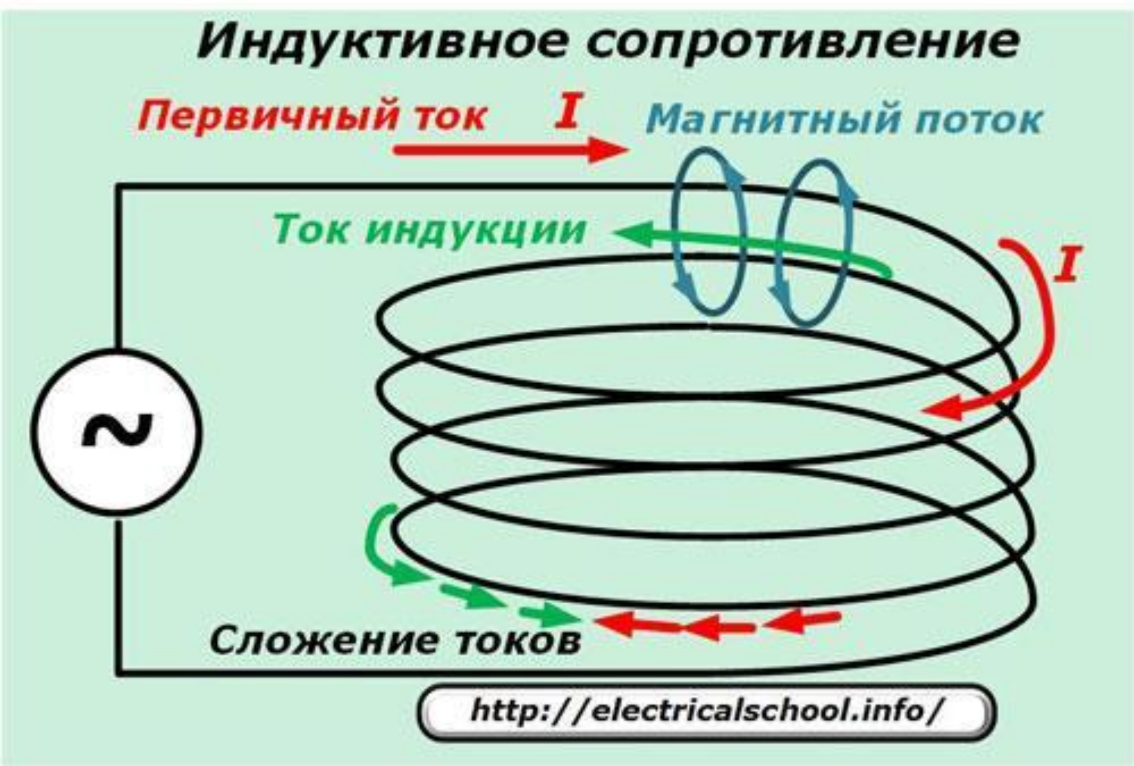
Поэтому на *емкости ток опережает напряжение по фазе на угол 90°*



Реактивное сопротивление катушки

Реактивное сопротивление катушки зависит от частоты тока и индуктивности катушки

$$X_L = \omega L$$

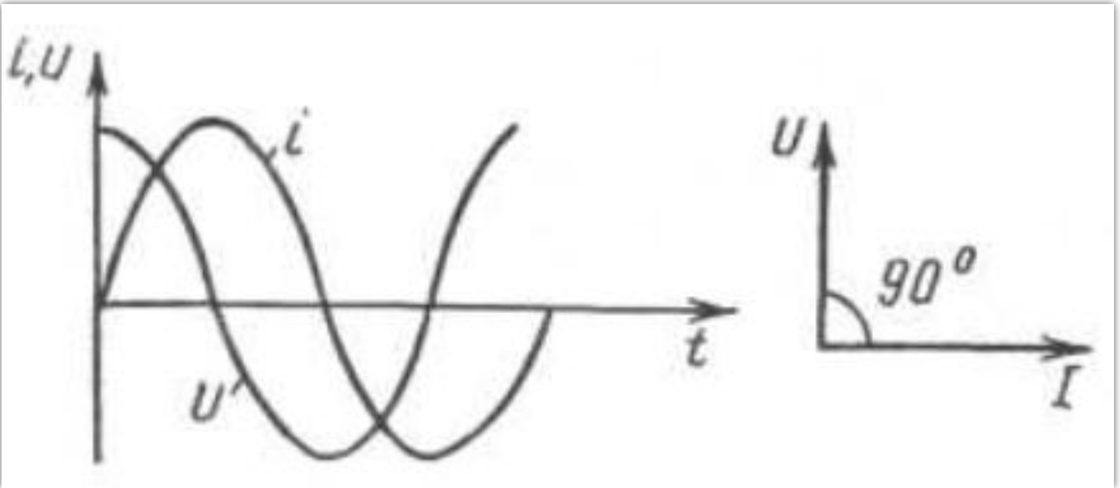


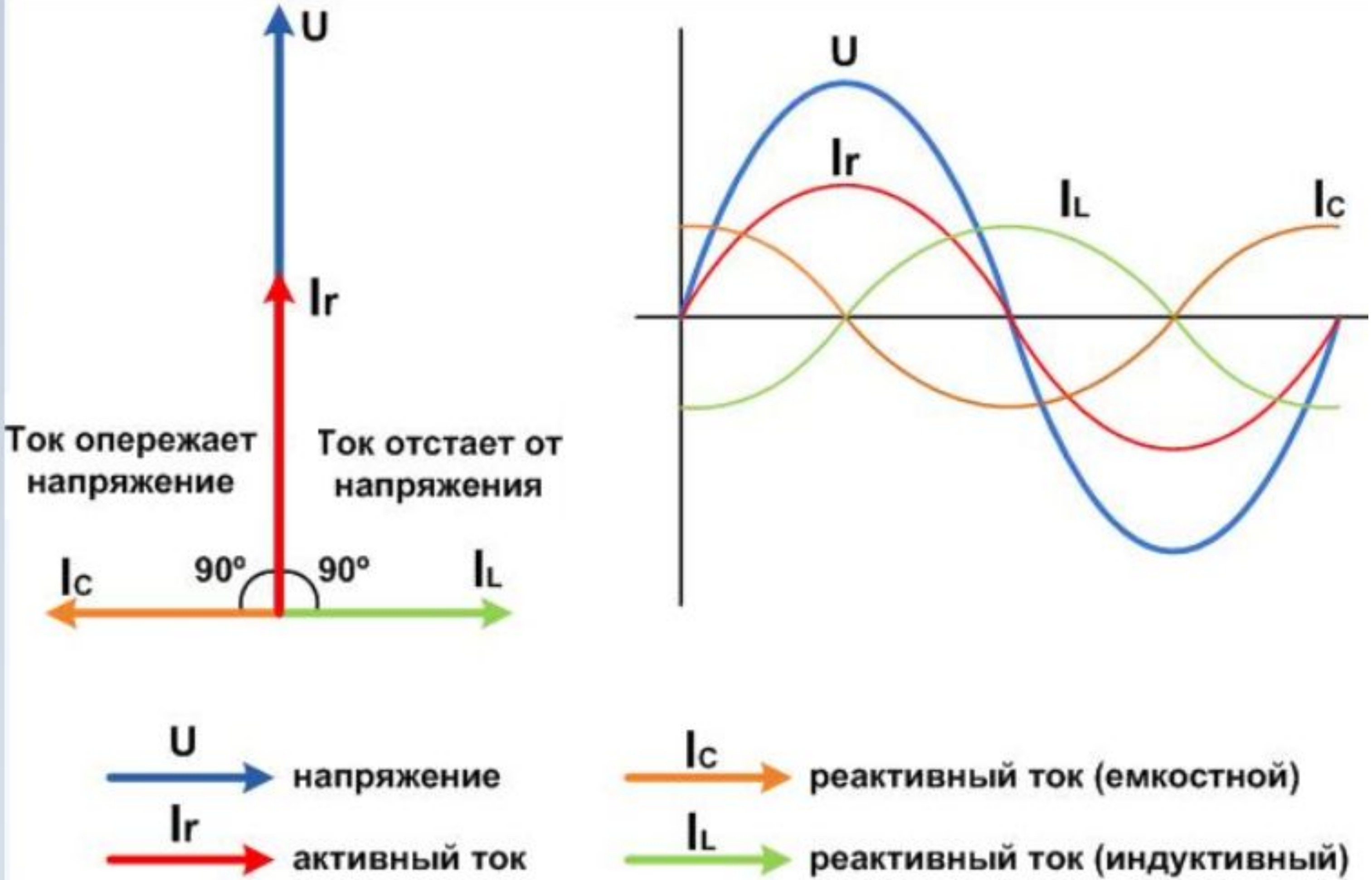
Реактивное сопротивление катушки

Изменение тока катушки происходит за счет изменения напряжения.

Появление напряжения — причина возникновения тока катушки.

Поэтому *на индуктивности ток отстает от напряжения на угол 90°*

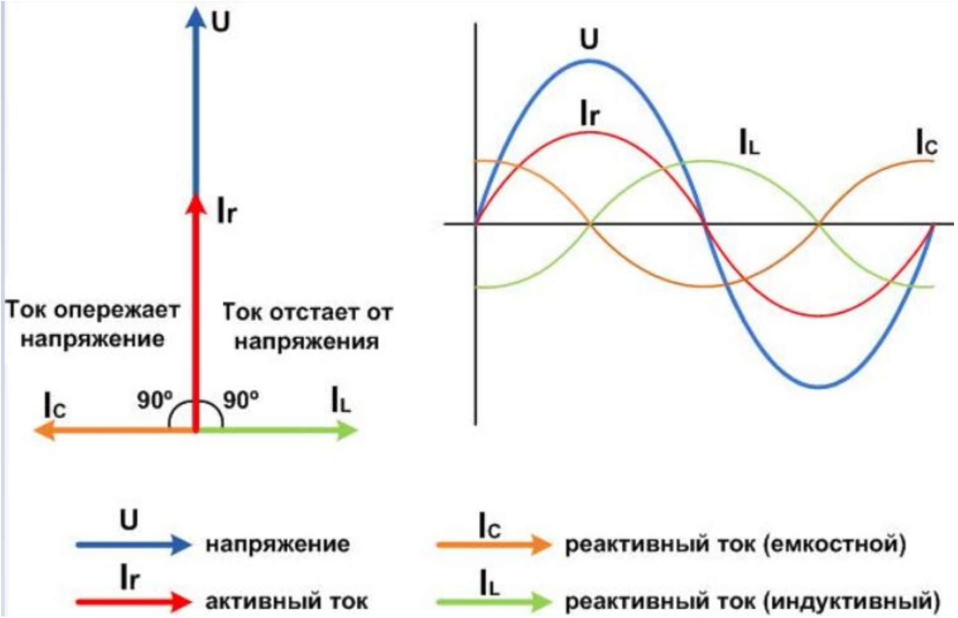



U
Ir
Ток опережает напряжение
Ток отстает от напряжения
Ic
90°
90°
IL
U
Ir
IL
Ic
U
напряжение
Ir
активный ток
Ic
реактивный ток (емкостной)
IL
реактивный ток (индуктивный)

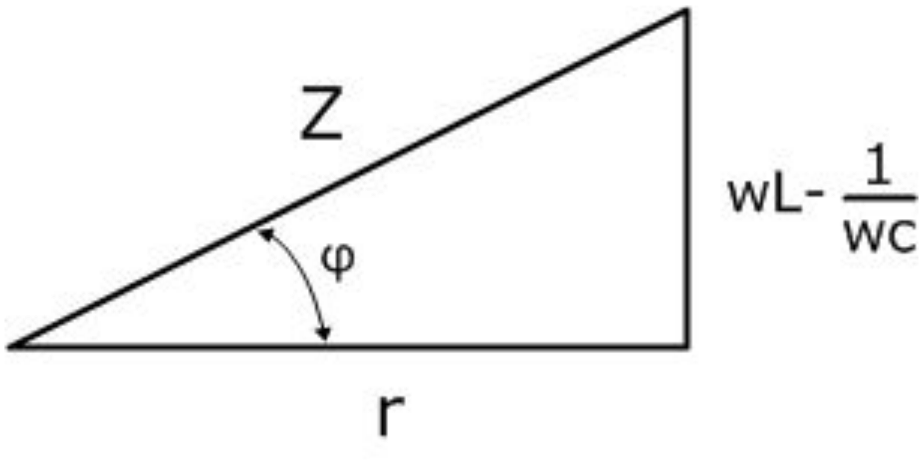
При индуктивной нагрузке ток отстает от напряжения

При емкостной - опережает

Полный ток при этом равняется векторной сумме, активного и реактивного токов.



Полное сопротивление цепи определяется как сумма квадратов активного и реактивного сопротивлений



$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Вспоминаем дальше…

Определение напряжения и тока с помощью комплексных чисел

Только что убедились в том, что в цепи переменного тока, работающей с синусоидальным сигналом некоторой частоты, возможен сдвиг по фазе между напряжением и током

Ток и напряжение характеризуется как амплитудой, так и сдвигом фазы

Определение напряжения и тока с помощью комплексных чисел

Вместо того чтобы тратить время и силы на сложение и вычитание синусоидальных функций, можно легко и просто складывать и вычитать комплексные числа.

Определение напряжения и тока с помощью комплексных чисел

1. Напряжение и ток представляются комплексными величинами U и I.

Напряжение **$U=U_0\cos(\omega t + \phi)$** представляется

комплексным числом **$U = U_0e^{j\phi}$**

Напомним, что $e^{j\phi} = \cos\omega t + j\sin\omega t$, где $j=\sqrt{(-1)}$ (j аналог i)

Рассмотрим участок цепи, напряжение и ток которого изменяются по гармоническому закону

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_I)$$

Соответствующие амплитуды:

$$\dot{U}_m = U_m e^{j\Psi U}$$

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\Psi I}$$

Комплексное сопротивление участка цепи

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}$$

Модуль комплексного сопротивления равен отношению амплитуд (действующих значений) напряжения и тока (или полное сопротивление)

$$Z = \frac{U_m}{I_m}$$

Представим комплексное сопротивление в показательной форме

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = Z\,e^{j\Phi}$$

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = Z e^{j\Phi}$$

Аргумент комплексного сопротивления ψ равен углу сдвига фаз между напряжением и током.

Он положителен при отстающем токе (индуктивная нагрузка) и отрицателен при опережающем токе (емкостная нагрузка)

Запишем комплексное сопротивление в алгебраической форме

$$\underline{Z} = R + jX$$

Вещественную часть комплексного сопротивления R называют активным сопротивлением

Мнимую часть комплексного сопротивления X называют реактивным сопротивлением

Полное сопротивление

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Величину, обратную комплексному сопротивлению называют

комплексной проводимостью

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{\dot{I}_m}{\dot{U}_m} = Ye^{-j\Phi}$$

Соотношения между комплексами напряжения и тока

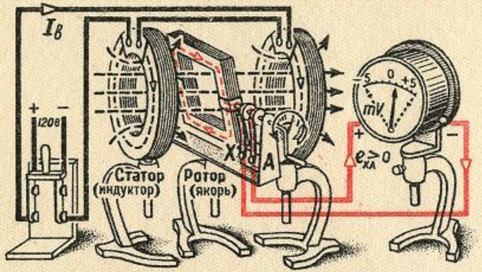
$$\dot{U}_R = R\dot{I} \longrightarrow \underline{Z}_R = \frac{\dot{U}_R}{\dot{I}_R} = R$$

$$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C}\dot{I} \longrightarrow \underline{Z}_C = \frac{\dot{U}_C}{I_C} = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j1}{\omega C} = -jX_C$$

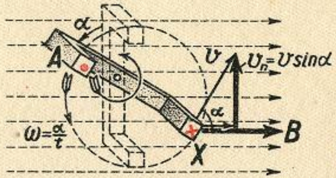
$$\dot{U}_L = j\omega L\dot{I} \longrightarrow \underline{Z}_L = \frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_L} = j\omega L = jX_L$$

Плакаты по электротехнике

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

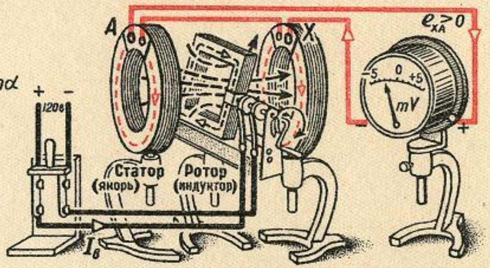


Наведение э.д.с. в якоре, вращающемся в магнитном поле неподвижного индуктора.

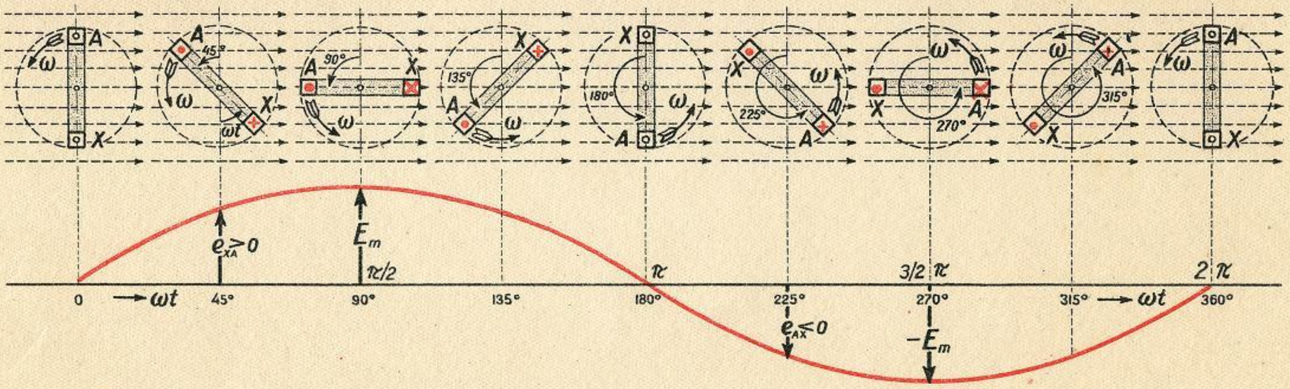


$$e = Blv_n = Blv\sin\alpha = E_m\sin\omega t \text{ в}$$

э.д.с., наводимая в витке, равномерно вращающемся в однородном магнитном поле.

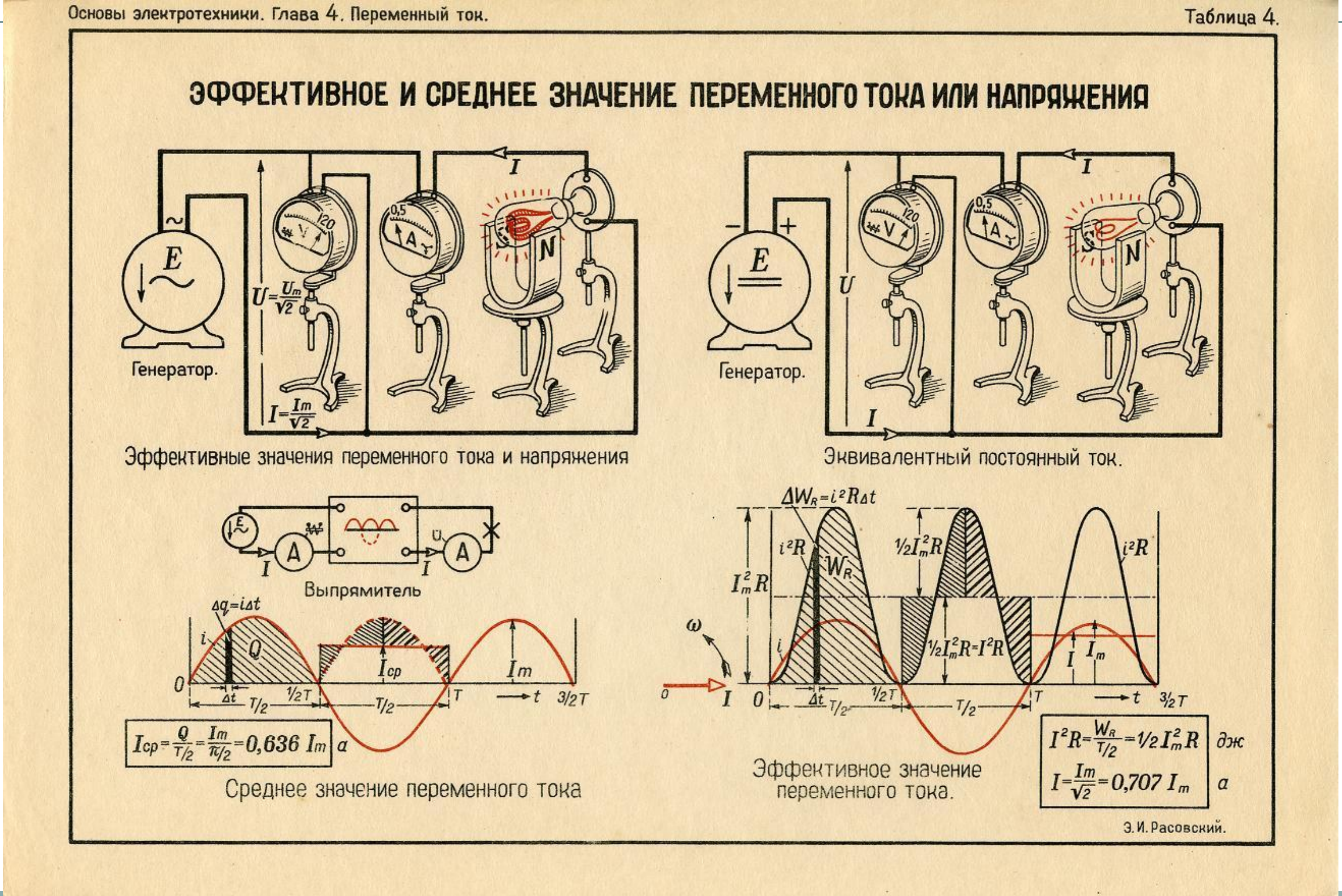


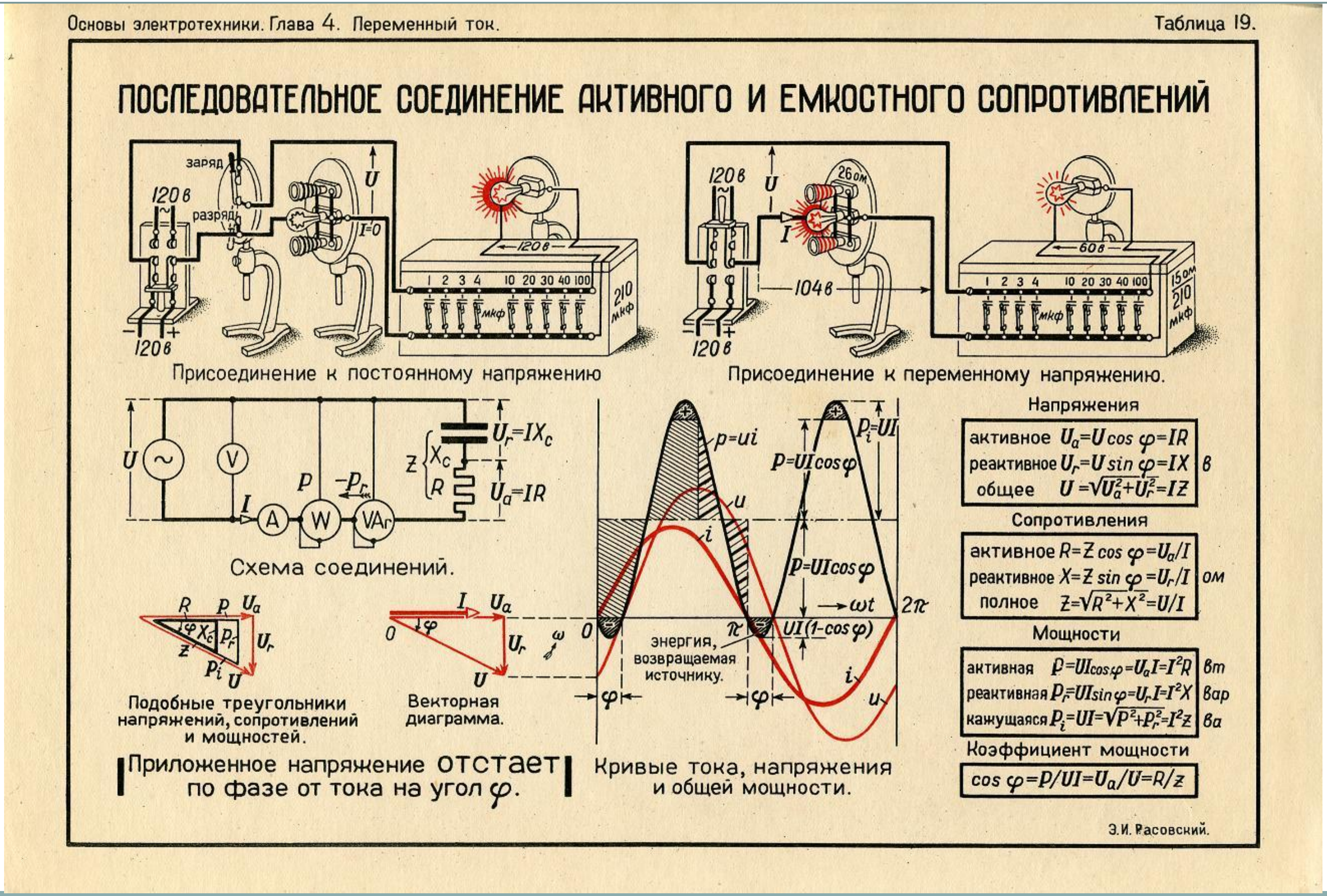
Наведение э.д.с. в неподвижном якоре при вращающемся индукторе.



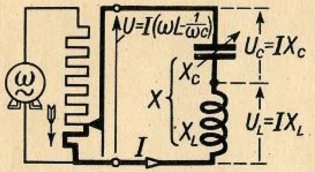
Синусоидальная кривая изменения э.д.с., индуктируемой в обмотке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле.

Э.И. Расовский.

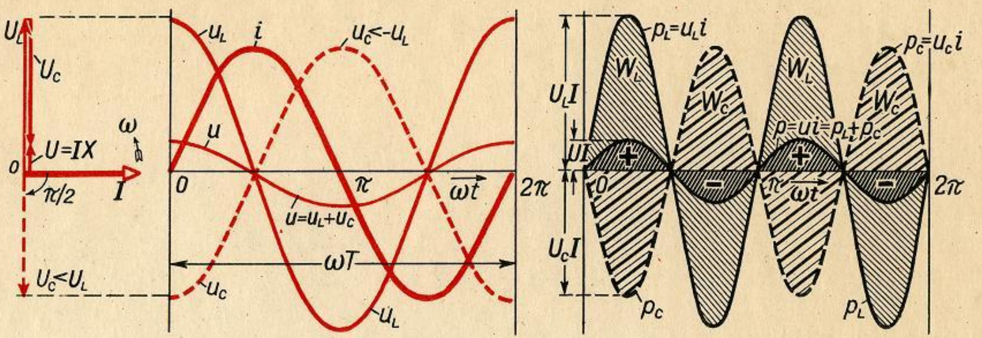

Основы электротехники. Глава 4. Переменный ток.
Таблица 4.
ЭФФЕКТИВНОЕ И СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ИЛИ НАПРЯЖЕНИЯ
Генератор.
$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$
$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$
Эффективные значения переменного тока и напряжения
Генератор.
Эквивалентный постоянный ток.
Выпрямитель
$\Delta q=i\Delta t$
I_{cp}
I_m
$I_{cp}=\frac{Q}{T/2}=\frac{I_m}{\pi/2}=0{,}636\ I_m$ а
Среднее значение переменного тока
$\Delta W_R=i^2R\Delta t$
I_m^2R
$\frac{1}{2}I_m^2R$
$\frac{1}{2}I_m^2R=I^2R$
Эффективное значение переменного тока.
$I^2R=\frac{W_R}{T/2}=\frac{1}{2}I_m^2R$ дж
$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0{,}707\ I_m$ а
Э. И. Расовский.


Основы электротехники. Глава 4. Переменный ток.
Таблица 19.
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ АКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ
заряд
разряд
120 в
U
I=0
120 в
1 2 3 4 10 20 30 40 100
мкф
210 мкф
Присоединение к постоянному напряжению
120 в
U
26 ом
I
60 в
104 в
15 ом
210 мкф
Присоединение к переменному напряжению.
U
V
P
$-P_r$
I
A
W
VAr
Z
X_c
R
$U_r=IX_c$
$U_a=IR$
Схема соединений.
R
P
U_a
X_c
P_r
Z
P_i
U_r
U
Подобные треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.
I
U_a
0
φ
U_r
U
Векторная диаграмма.
ω
Приложенное напряжение отстает по фазе от тока на угол φ.
p=ui
$P_i=UI$
P=UIcos φ
u
i
P=UIcos φ
→ωt
2π
0
π
UI(1-cos φ)
энергия, возвращаемая источнику.
φ
φ
i
u
Кривые тока, напряжения и общей мощности.
Напряжения
активное $U_a=U\cos\varphi=IR$
реактивное $U_r=U\sin\varphi=IX$ в
общее $U=\sqrt{U_a^2+U_r^2}=IZ$
Сопротивления
активное $R=Z\cos\varphi=U_a/I$
реактивное $X=Z\sin\varphi=U_r/I$ ом
полное $Z=\sqrt{R^2+X^2}=U/I$
Мощности
активная $P=UI\cos\varphi=U_aI=I^2R$ вт
реактивная $P_r=UI\sin\varphi=U_rI=I^2X$ вар
кажущаяся $P_i=UI=\sqrt{P^2+P_r^2}=I^2Z$ ва
Коэффициент мощности
$\cos\varphi=P/UI=U_a/U=R/Z$
Э.И. Расовский.

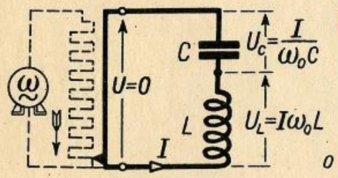
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ И ЕМКОСТИ



Уменьшение приложенного напряжения с увеличением емкостного сопротивления при неизмененном токе.



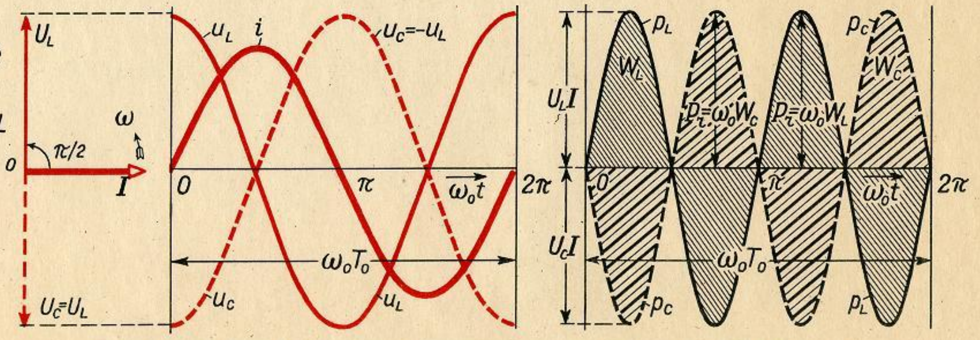
Диаграммы при емкостном сопротивлении, меньшем индуктивного.



Идеальный колебательный контур.

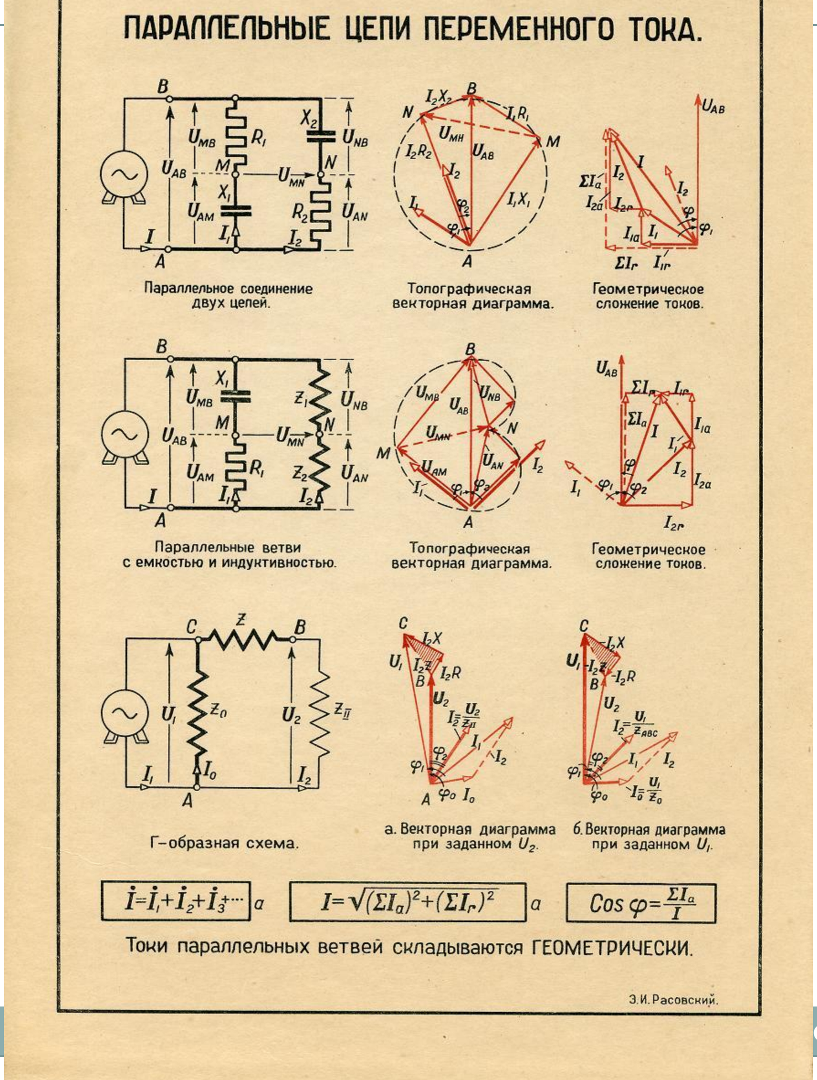
$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega \text{ сек}^{-1}}$$

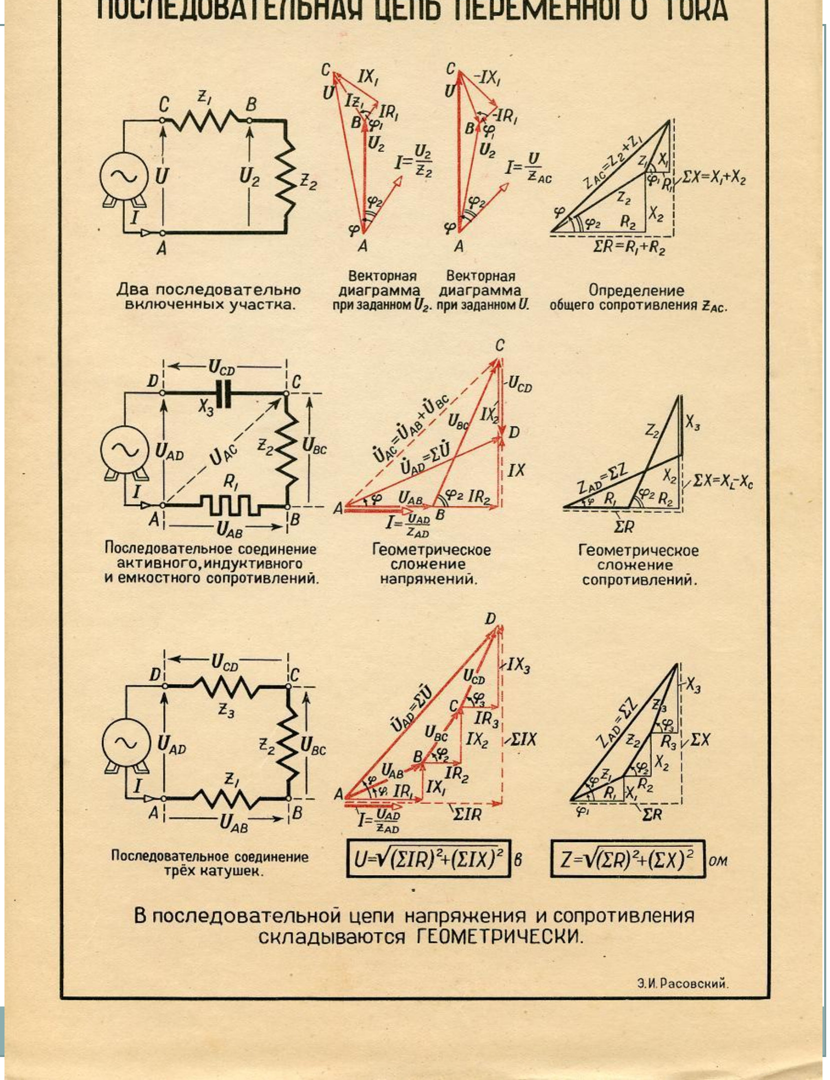
Угловая частота идеального контура.

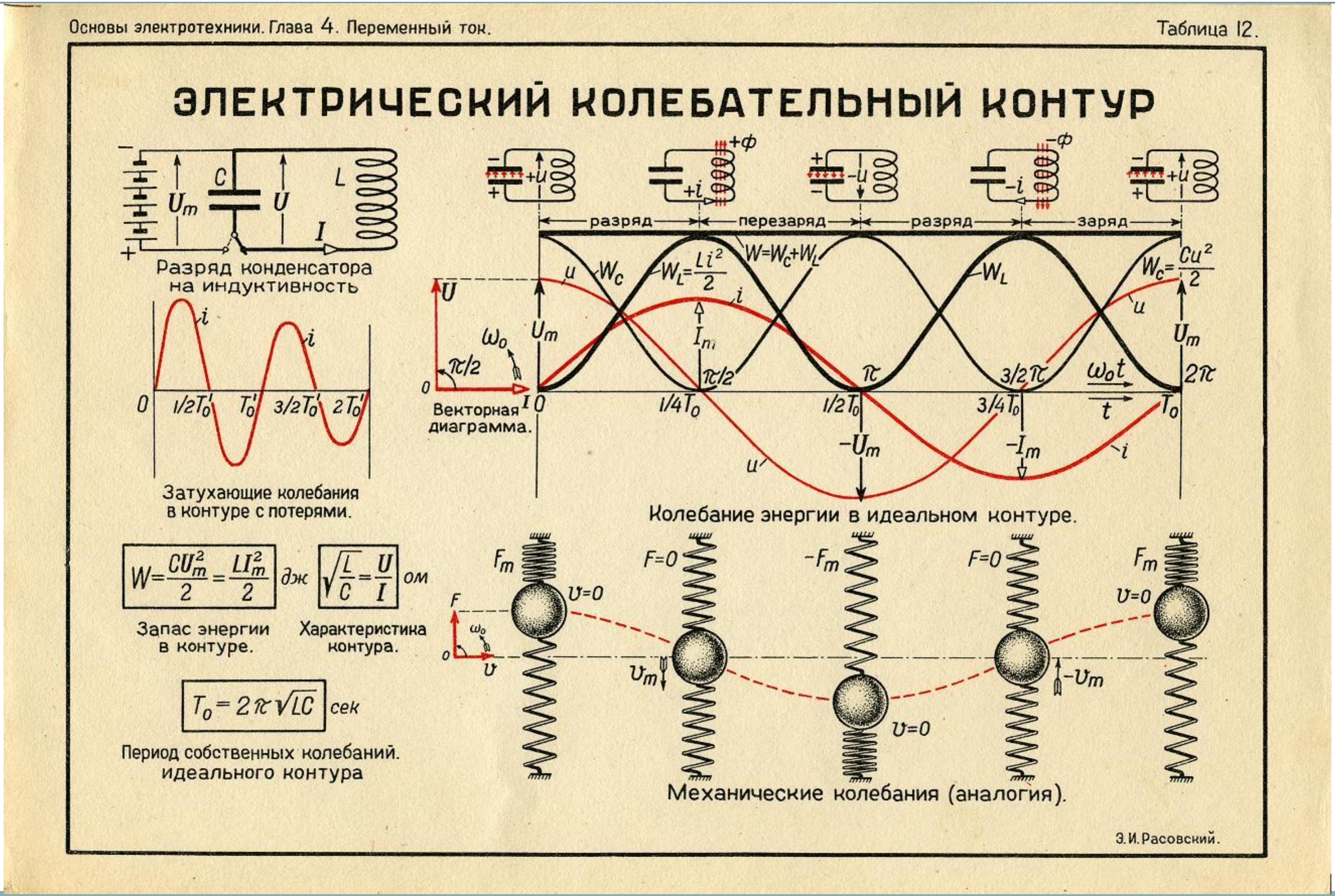


Диаграммы при емкостном сопротивлении, равном индуктивному.

Э. И. Расовский.


ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.
Параллельное соединение двух цепей.
Топографическая векторная диаграмма.
Геометрическое сложение токов.
Параллельные ветви с емкостью и индуктивностью.
Топографическая векторная диаграмма.
Геометрическое сложение токов.
Г–образная схема.
а. Векторная диаграмма при заданном U_2.
б. Векторная диаграмма при заданном U_1.
$\dot{I}=\dot{I}_1+\dot{I}_2+\dot{I}_3+\cdots$ а
$I=\sqrt{(\Sigma I_a)^2+(\Sigma I_r)^2}$ а
$\cos\varphi=\frac{\Sigma I_a}{I}$
Токи параллельных ветвей складываются ГЕОМЕТРИЧЕСКИ.
Э.И. Расовский.


ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
Два последовательно включенных участка.
Векторная диаграмма при заданном U_2.
Векторная диаграмма при заданном U.
Определение общего сопротивления Z_{AC}.
Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.
Геометрическое сложение напряжений.
Геометрическое сложение сопротивлений.
Последовательное соединение трёх катушек.
$U=\sqrt{(\Sigma IR)^2+(\Sigma IX)^2}$ в
$Z=\sqrt{(\Sigma R)^2+(\Sigma X)^2}$ ом
В последовательной цепи напряжения и сопротивления складываются ГЕОМЕТРИЧЕСКИ.
Э.И. Расовский.


Основы электротехники. Глава 4. Переменный ток.
Таблица 12.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР
Разряд конденсатора на индуктивность
Затухающие колебания в контуре с потерями.
$W=\frac{CU_m^2}{2}=\frac{LI_m^2}{2}$ дж
$\sqrt{\frac{L}{C}}=\frac{U}{I}$ ом
Запас энергии в контуре.
Характеристика контура.
$T_0=2\pi\sqrt{LC}$ сек
Период собственных колебаний идеального контура
разряд
перезаряд
разряд
заряд
$W=W_C+W_L$
$W_L=\frac{Li^2}{2}$
$W_C=\frac{Cu^2}{2}$
Векторная диаграмма.
Колебание энергии в идеальном контуре.
Механические колебания (аналогия).
Э.И. Расовский.

Удачи при изучении курса !