

Переменный ток
получение переменного тока
прохождение переменного тока через
емкость и индуктивность
векторные диаграммы
закон Ома для переменного тока
мощность переменного тока
эффективные значения тока и
напряжения

Бигалиев Альберт

119 гр

Переменный ток

Переменный ток, АС (англ. *alternating current* — переменный ток) - электрический ток, который периодически изменяется по модулю и направлению.

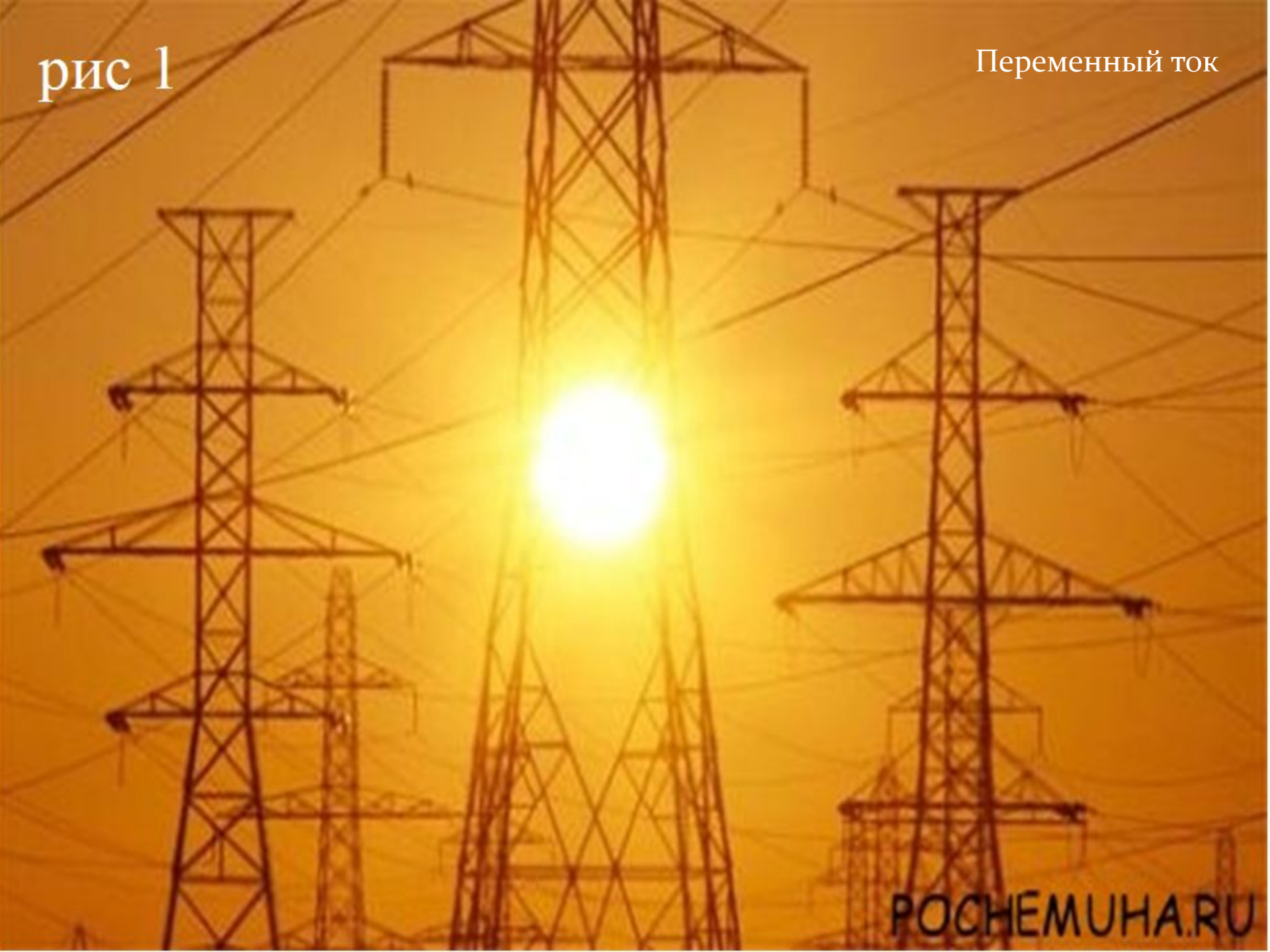
- это вынужденные электромагнитные колебания, вызываемые в электрической цепи источником переменного напряжения

Переменный ток присутствует всюду. Он течет по проводам наших квартир, в промышленных электросетях, в высоковольтных линиях электропередач. И если вам нужен постоянный ток, чтобы зарядить аккумулятор телефона или ноутбука, вы используете специальный адаптер, выпрямляющий переменный ток из розетки.

Он прост в получении и идеально приспособлен для передачи электроэнергии на большие расстояния.

рис 1

Переменный ток



POCHEMUHA.RU

Получение переменного тока

Но широко применяется только переменный ток. Это обусловлено тем, что напряжение и силу переменного тока можно преобразовывать практически без потерь энергии. Переменный ток получают при помощи генераторов переменного тока с использованием явлений электромагнитной индукции.

примитивная установка для выработки переменного тока

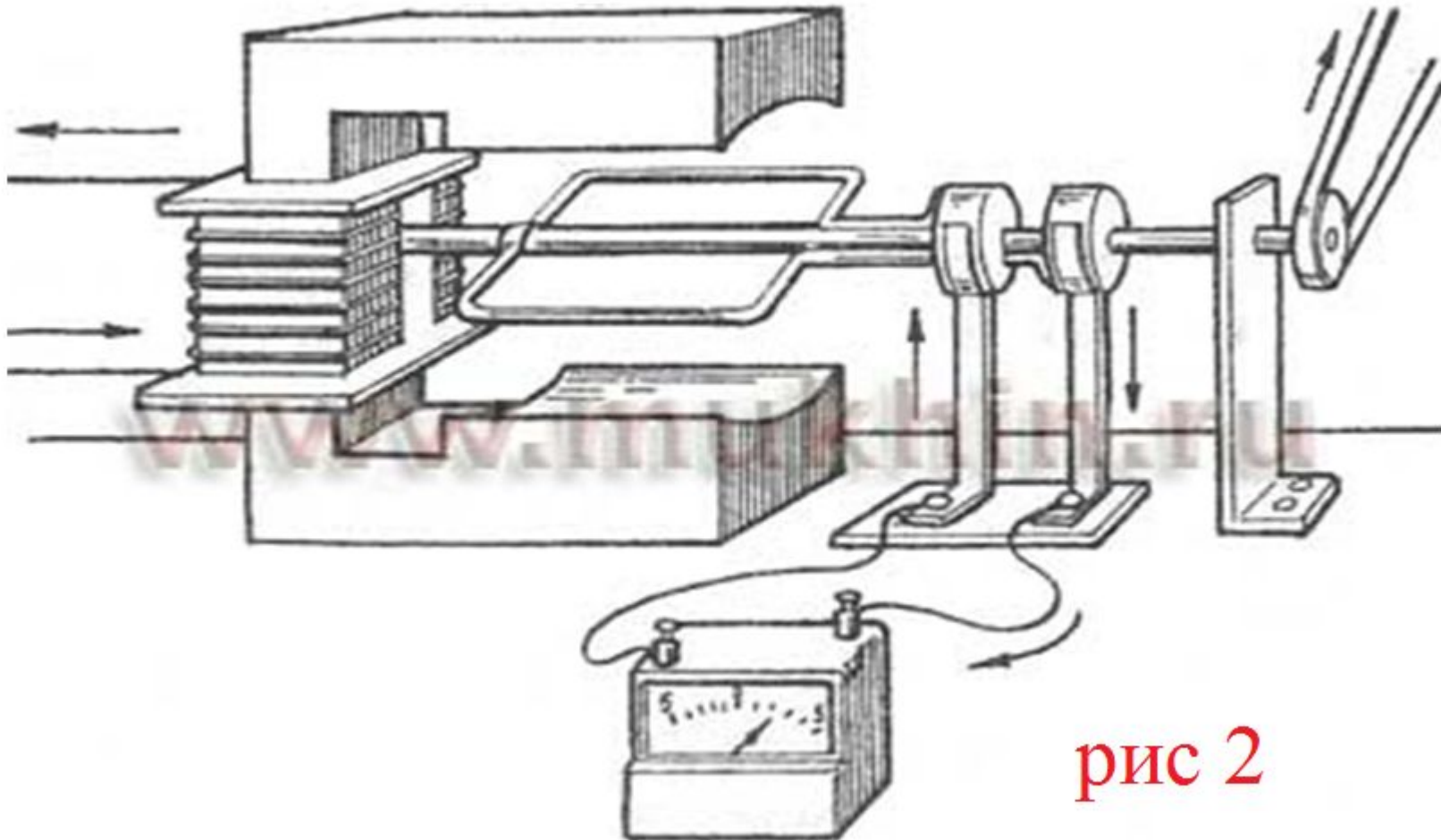


рис 2

Фото ОАО «Красноярская ГЭС»

рис 3

Получение переменного тока



рис 4

Получение переменного тока



Принцип действия установки

Проволочная рамка вращается в однородном магнитном поле с постоянной скоростью. Своими концами рамка закреплена на кольцах, вращающихся вместе с ней. К кольцам плотно прилегают пружины, выполняющие роль контактов. Через поверхность рамки непрерывно будет протекать изменяющийся магнитный поток, но поток, создаваемый электромагнитом, останется постоянным. В связи с этим в рамке возникнет ЭДС индукции. Для того чтобы определить, изменяется ли магнитный поток, проходящий по поверхности рамки, нужно всего лишь сравнить положение рамки в определенные периоды времени. Для этого нужно внимательно посмотреть на изменения положения рамки в разные периоды времени

Изменения положения рамки в разные периоды времени

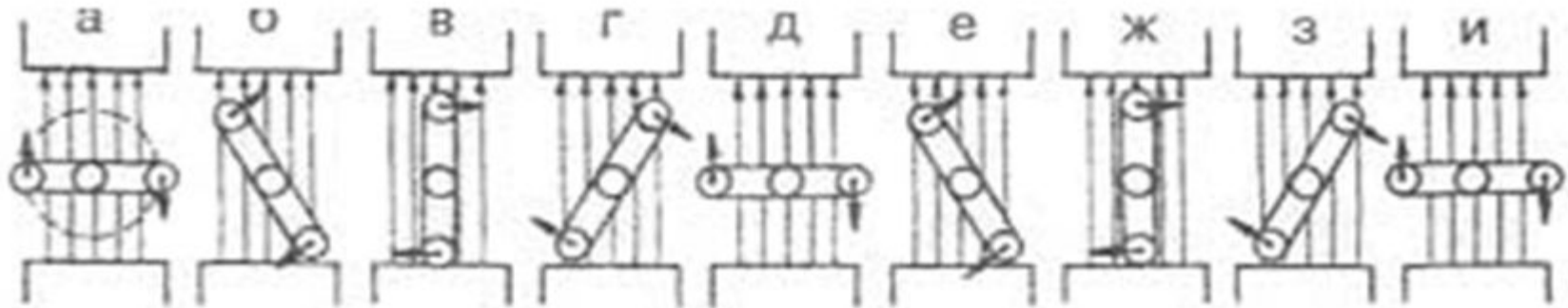


рис 5

Если рамка имеет только активное сопротивление, то ток, который возникает в контуре под действием ЭДС индукции, с течением времени будет меняться, как и сама ЭДС.

Такой ток называется переменным синусоидальным током.

Периодом переменного тока называется отрезок времени, в течение которого ток выполняет одно полное колебание (эту единицу обозначают буквой T).

Число полных колебаний за 1 с называется частотой тока и обозначается буквой f . Частота измеряется в герцах (Гц). В промышленности и быту большинства стран используют переменный ток с частотой 50 Гц.

Прохождение переменного тока через емкость и индуктивность

Быстрое изменение силы тока и его направления, характеризующее переменный ток, приводит к ряду важнейших особенностей, отличающих действие переменного тока от тока постоянного. Некоторые из этих особенностей отчетливо выступают при следующих опытах.

Прохождение переменного тока через конденсатор. Пусть в нашем распоряжении имеется источник постоянного тока с напряжением 12 В (аккумуляторная батарея) и источник переменного тока с напряжением также 12 В. Присоединив к каждому из этих источников маленькую лампочку накаливания, мы увидим, что обе лампочки горят одинаково ярко (рис 6).

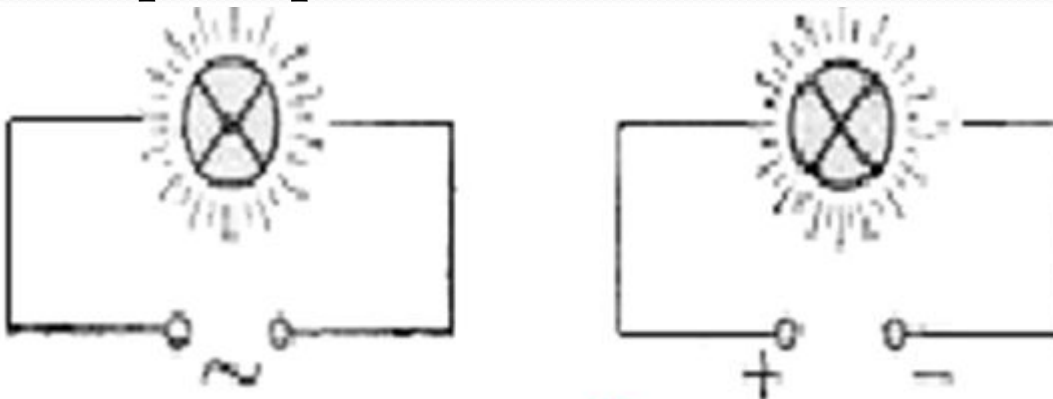


рис 6

Включим теперь в цепь как первой, так и второй лампочки конденсатор большой емкости (рис. 7). В случае постоянного тока лампочка не накаливается вовсе, а в случае переменного тока накал ее остается почти таким же, как раньше. Отсутствие накала в цепи постоянного тока легко понять: между обкладками конденсатора имеется изолирующая прослойка, так что цепь разомкнута.

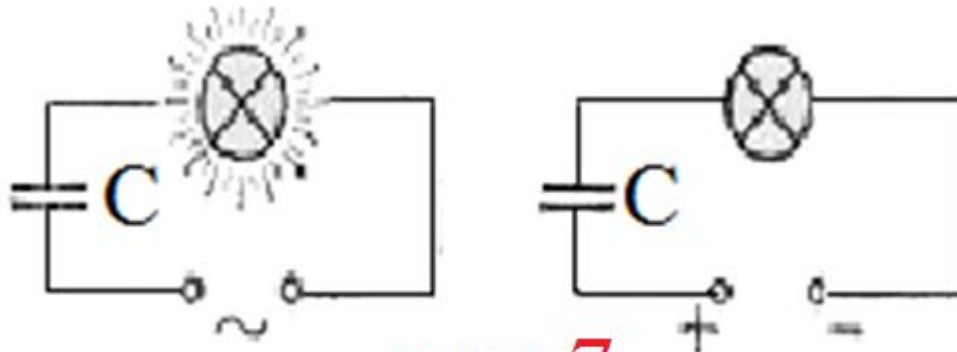


рис 7

Однако если вдуматься, то в этом нет ничего загадочного. Мы имеем здесь только частое повторение хорошо знакомого нам процесса зарядки и разрядки конденсатора. Когда мы присоединяем (рис. 8) конденсатор к источнику тока (повернув рычаг переключателя налево), то по проводам идет ток до тех пор, пока заряды, накопившиеся на обкладках конденсатора, не создадут разность потенциалов, уравновешивающую напряжение источника.

Прохождение переменного тока через емкость и индуктивность

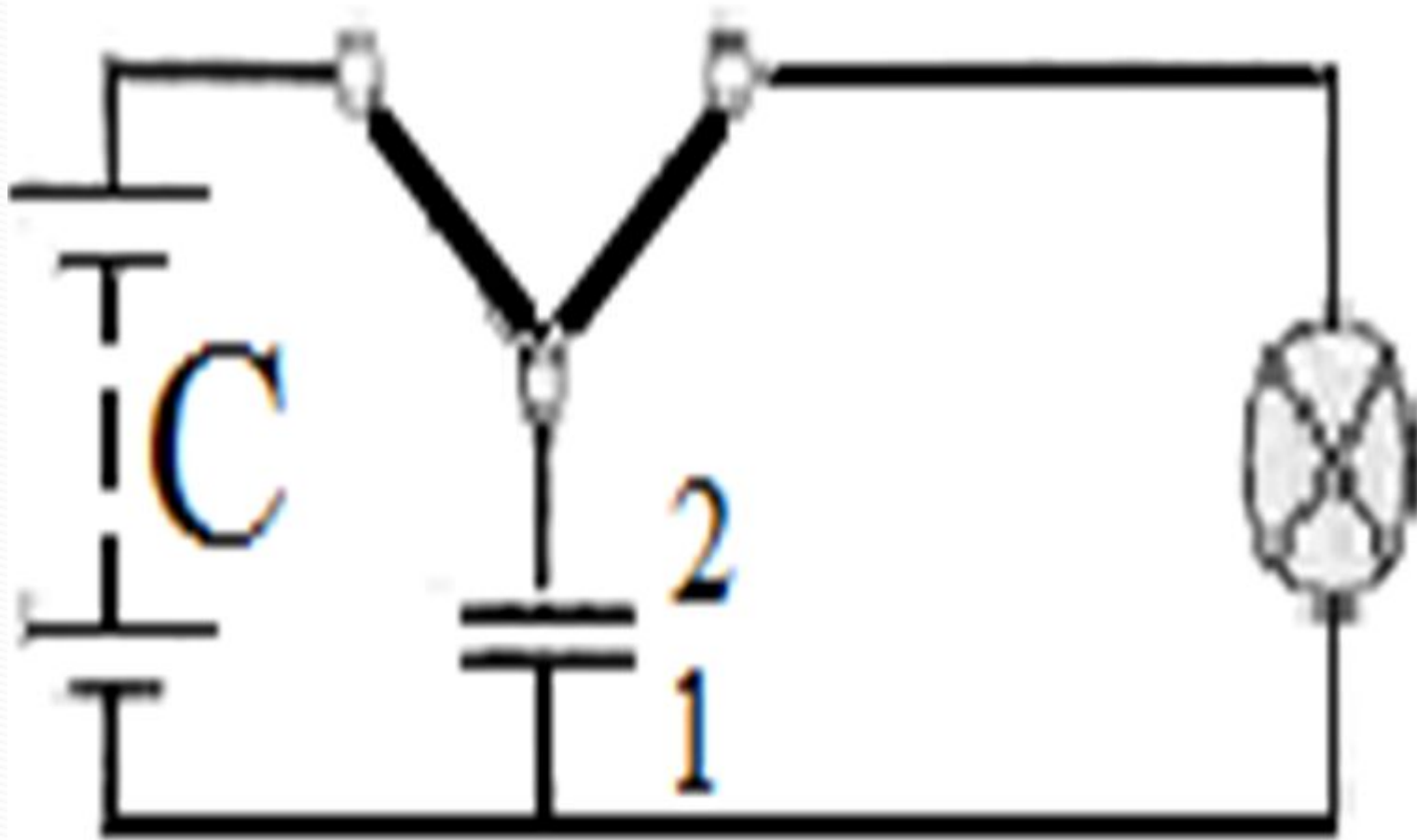


рис 8

В конденсаторе при этом создается электрическое поле, в котором сосредоточен определенный запас энергии. Когда же мы соединим обкладки заряженного конденсатора проводником, отсоединив источник тока (повернув рычаг переключателя направо), заряд будет по проводнику стекать с одной обкладки на другую, и в проводнике, включающем лампочку, пройдет кратковременный ток. Поле в конденсаторе исчезает, и запасенная в нем энергия тратится на накал лампочки.

То, что происходит при прохождении переменного тока через конденсатор, очень наглядно поясняет опыт, изображенный на рис. 9. Поворачивая рычаг переключателя направо, мы соединяем конденсатор с источником тока, причем обкладка 1 заряжается положительно, а обкладка 2 — отрицательно. При среднем положении переключателя, когда цепь разомкнута, конденсатор разряжается через лампочку. При повороте ручки переключателя налево конденсатор снова заряжается, но на этот раз обкладка 1 заряжается отрицательно, а обкладка 2 положительно. Двигая быстро рычаг переключателя то в одну сторону, то в другую, мы увидим, что при каждой смене контакта лампочка на мгновение вспыхивает, т. е. через нее проходит кратковременный ток.

Прохождение переменного тока через ЕМКОСТЬ И ИНДУКТИВНОСТЬ

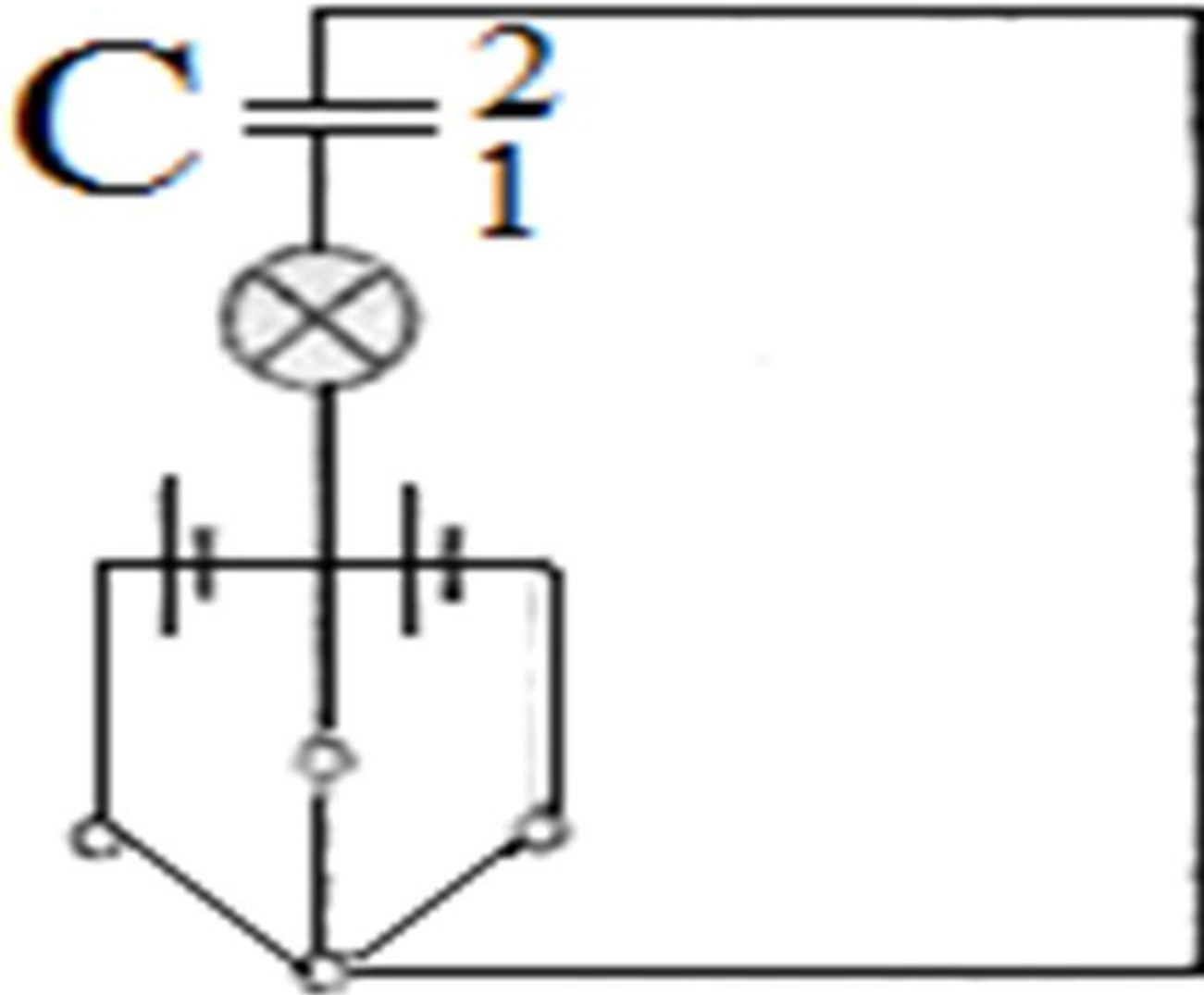


рис 9

Если производить переключения достаточно быстро, то вспышки лампочки следуют настолько быстро друг за другом, что она будет гореть непрерывно; при этом через нее течет ток, часто меняющий свое направление. В конденсаторе при этом все время будет меняться электрическое поле: оно будет то создаваться, то исчезать, то вновь создаваться с обратным направлением.

То же происходит и тогда, когда мы включаем конденсатор в цепь переменного тока (рис. 10)

Прохождение переменного тока через катушку с большой индуктивностью. Включим в цепь, изображенную на рис. 2 б, вместо конденсатора катушку из медной проволоки с большим числом витков, внутрь которых помещен железный сердечник (рис. 3). Такие катушки обладают, как известно, большой индуктивностью .

Сопротивление же такой катушки при постоянном токе будет невелико, так как она сделана из довольно толстой проволоки

Прохождение переменного тока через емкость и индуктивность

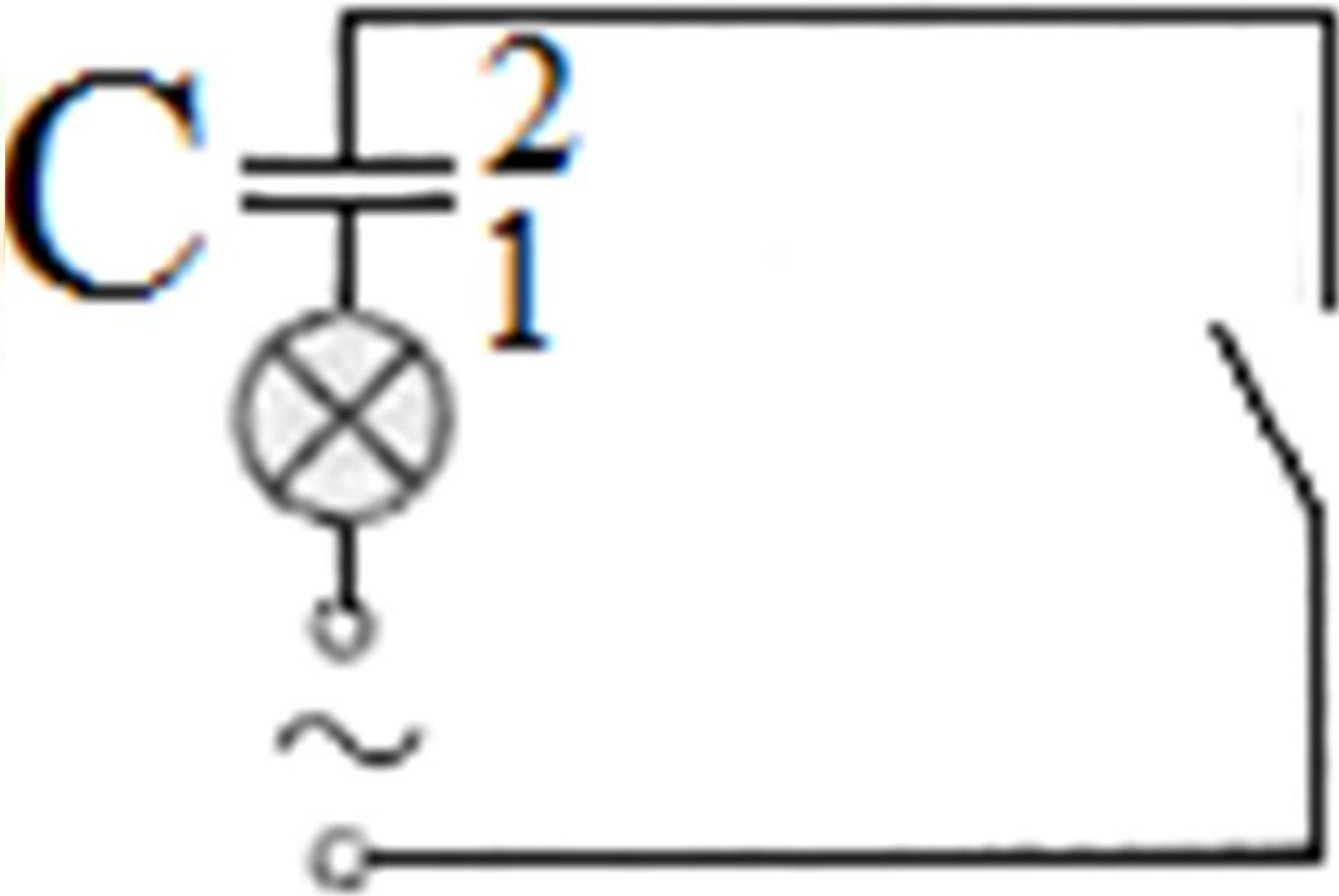


рис 10

В случае постоянного тока (рис. 11, а) лампочка горит ярко, в случае же переменного тока (рис. 11, б) накала почти незаметно.

Прохождение переменного тока через емкость и индуктивность

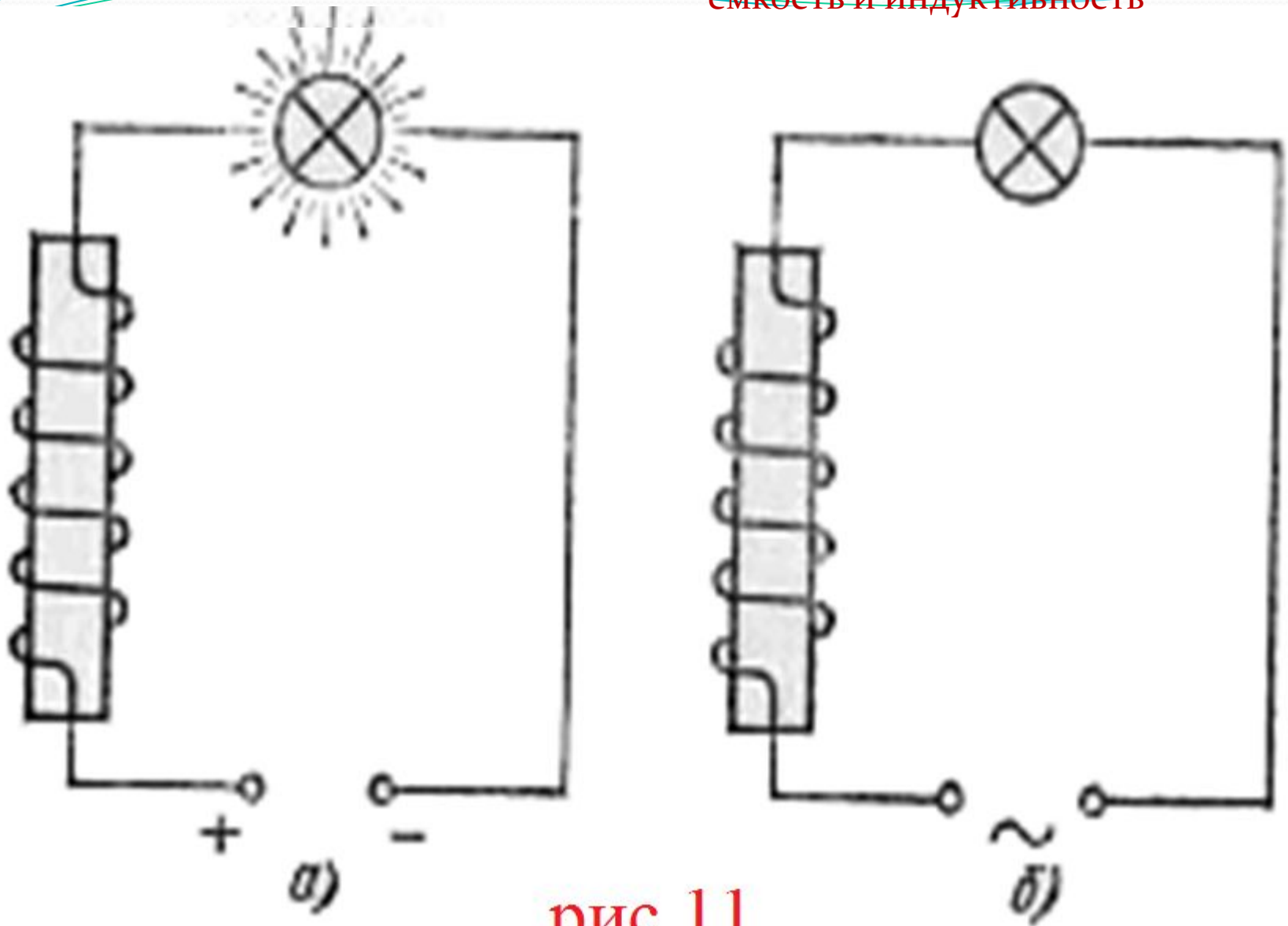


рис 11

Опыт с постоянным током понятен: так как сопротивление катушки мало, то присутствие ее почти не изменяет тока, и лампочка горит ярко.

Почему же катушка ослабляет переменный ток?

Будем постепенно вытягивать из катушки железный сердечник. Мы обнаружим, что лампочка накаливается все сильнее и сильнее, т. е. что по мере выдвижения сердечника ток в цепи возрастает. При полном удалении сердечника накал лампочки может дойти почти до нормального, если число витков катушки не очень большое. Но выдвижение сердечника уменьшает индуктивность катушки.

Таким образом, мы видим, что катушка с малым сопротивлением, но с большой индуктивностью, включенная в цепь переменного тока, может значительно ослабить этот ток.

Векторная диаграмма

В цепях переменного тока все токи и напряжения являются синусоидальными функциями времени. Поэтому аналитические зависимости в виде уравнений не дают представления о реальных соотношениях величин.

Влияние катушки с большой индуктивностью на переменный ток также легко объяснить.

Переменный ток представляет собой ток, сила которого быстро изменяется, то увеличиваясь, то уменьшаясь. При этих изменениях в цепи возникает ЭДС самоиндукции, которая зависит от индуктивности цепи. Направление ее таково, что ее действие препятствует изменению тока, т. е.

уменьшает амплитуду тока, а следовательно, и его действующее значение. Пока индуктивность проводов мала, эта добавочная ЭДС тоже мала и действие ее практически незаметно. Но при наличии большой индуктивности эта добавочная ЭДС может значительно влиять на силу переменного тока.

При переходе от оригиналов функций и параметров к их изображениям в виде комплексных чисел задача анализа несущественно упрощается, т.к., в отличие от цепей постоянного тока, где все величины однозначно характеризуются одним числом, в области изображений каждая величина определяется двумя числами, каждое из которых в общем случае недостаточно для полной оценки состояния цепи.

Помочь в анализе соотношений между величинами и параметрами электрической цепи может их геометрическое представление в виде **векторной диаграммы**.

Векторной диаграммой называется совокупность векторов на комплексной плоскости, соответствующая комплексным величинам и/или параметрам электрической цепи и их связям.

Виды диаграмм

1. Точечные
2. Качественные векторные

Точные диаграммы строятся с соблюдением масштабов всех величин по результатам численного анализа. Они предназначены в основном для проверки расчетов.

Качественные векторные диаграммы строятся с учетом взаимных связей между величинами и обычно предшествуют расчету или заменяют его. В качественных диаграммах масштаб изображения и конкретные значения величин несущественны, важно только, чтобы в них были правильно отражены все связи между величинами, соответствующие связям и параметрам элементов электрической цепи.

Качественные диаграммы являются важнейшим инструментом анализа цепей переменного тока.

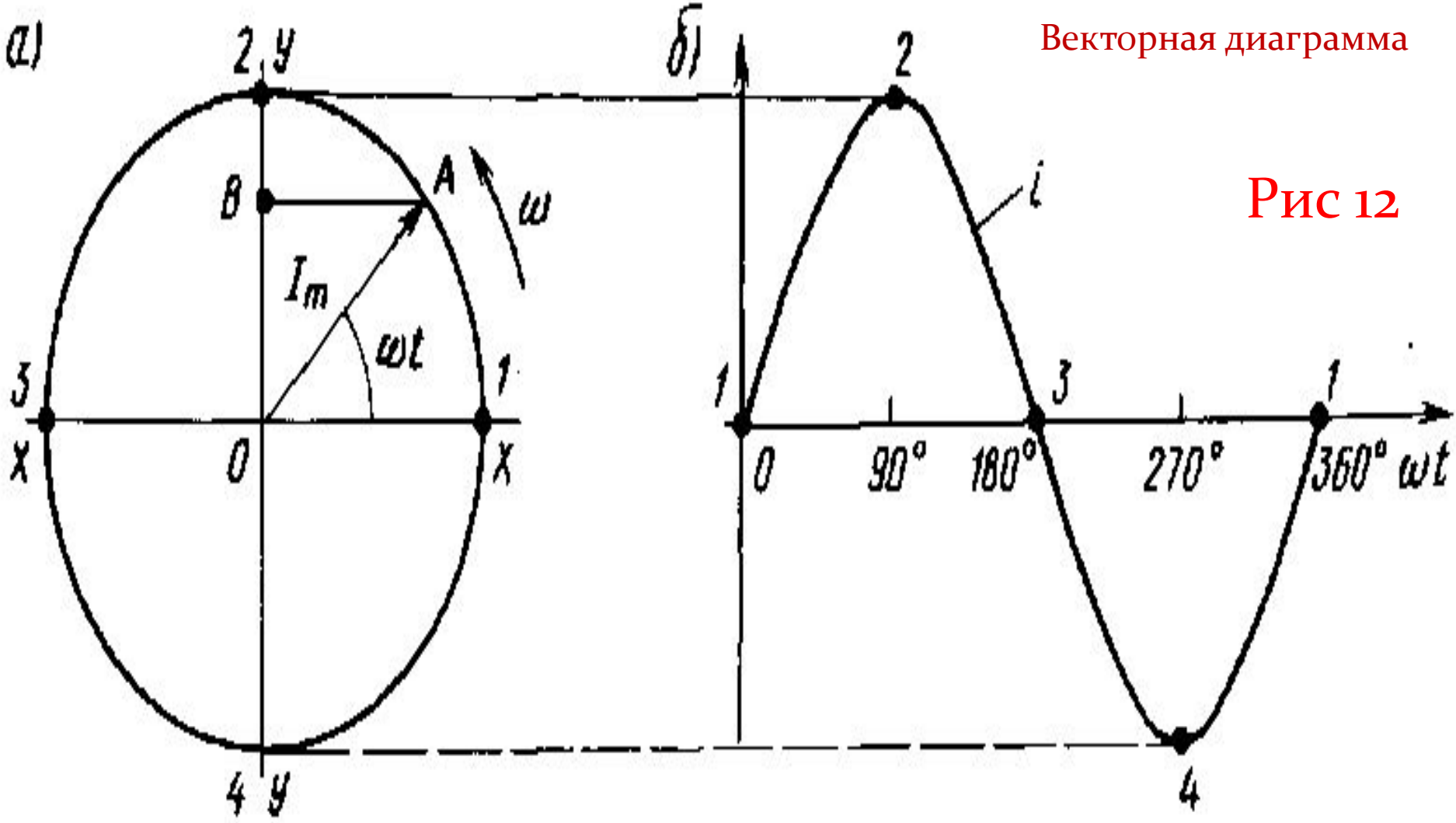
Построение векторных диаграмм

Векторные диаграммы представляют собой совокупность векторов, изображающих синусоидально изменяющиеся величины, действующие в данной электрической цепи. Они позволяют упростить расчет цепей синусоидального тока и сделать его наглядным, применив вместо алгебраического сложения или вычитания мгновенных значений синусоидально изменяющихся токов, напряжений или э. д. с сложение или вычитание их векторов.

Обычно при расчете электрических цепей переменного тока нас не интересуют мгновенные значения токов, напряжений и ЭДС, требуется определить только их действующие значения и сдвиг по фазе относительно друг друга.

Поэтому при построении векторных диаграмм рассматривают неподвижные векторы для некоторого момента времени, который выбирают так, чтобы диаграмма была наглядной. В качестве модулей векторов принимают действующие значения соответствующих величин. Это обуславливает лишь уменьшение длины всех векторов по сравнению с длиной, принятой на рис 11 и рис 13, в 2 раз; все же углы между векторами остаются при этом неизменными.

Рис 12



Изображение синусоидально изменяющегося тока:

а — вращающимся вектором;

б — в виде кривой

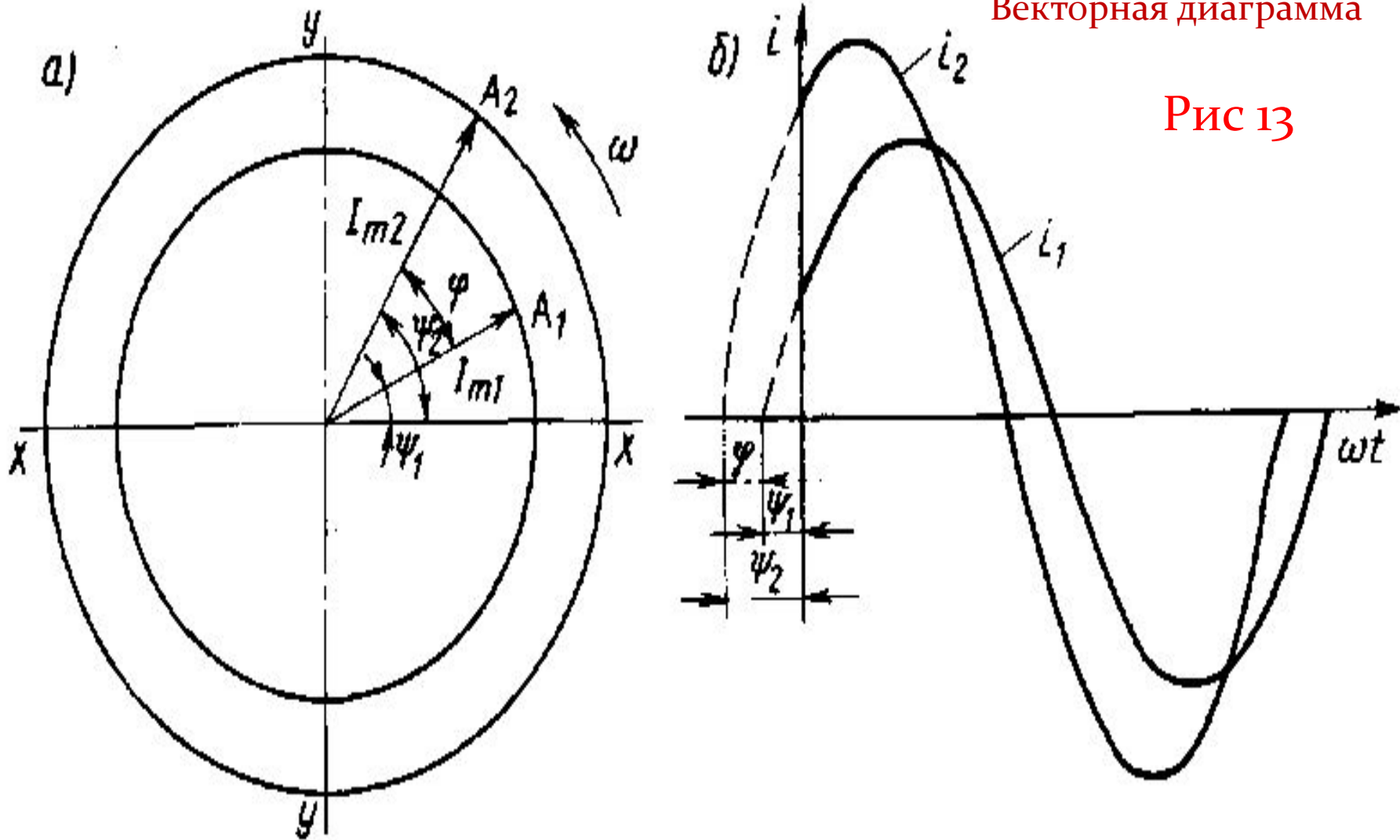


Рис 13

Изображение двух синусоидально изменяющихся токов:

а — вращающимися векторами;

б — в виде кривых

Рассмотрим в качестве примера построение векторной диаграммы для действующих значений токов i_1 , i_2 и i рис 14,

причем согласно первому закону Кирхгофа ток i равен сумме токов i_1 и i_2 . Токи i_1 и i_2 имеют различные амплитудные, а следовательно, и действующие значения и сдвинуты относительно друг друга на некоторый угол. Путем суммирования ординат синусоид i_1 и i_2 можно получить кривую тока i , определить по ней амплитудное значение I_T , а затем и действующее значение $I = I_T / \sqrt{2}$.

Однако более удобно определять действующее значение тока i путем сложения векторов токов i_1 и i_2 согласно формуле

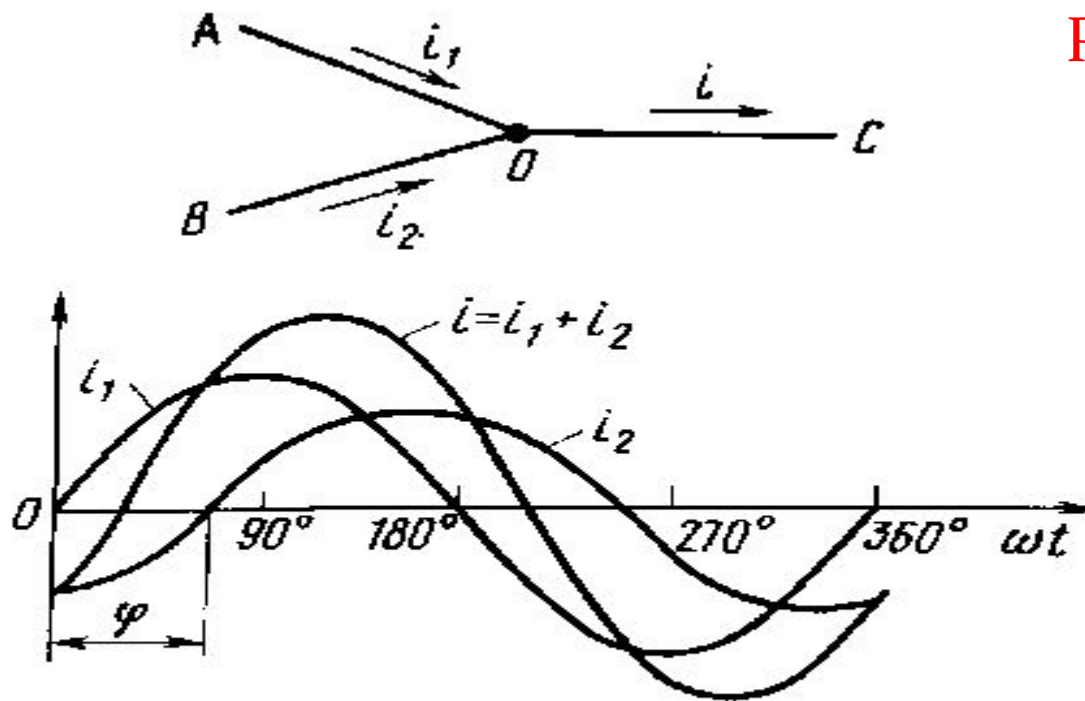


Рис 14

Графическое сложение двух переменных токов

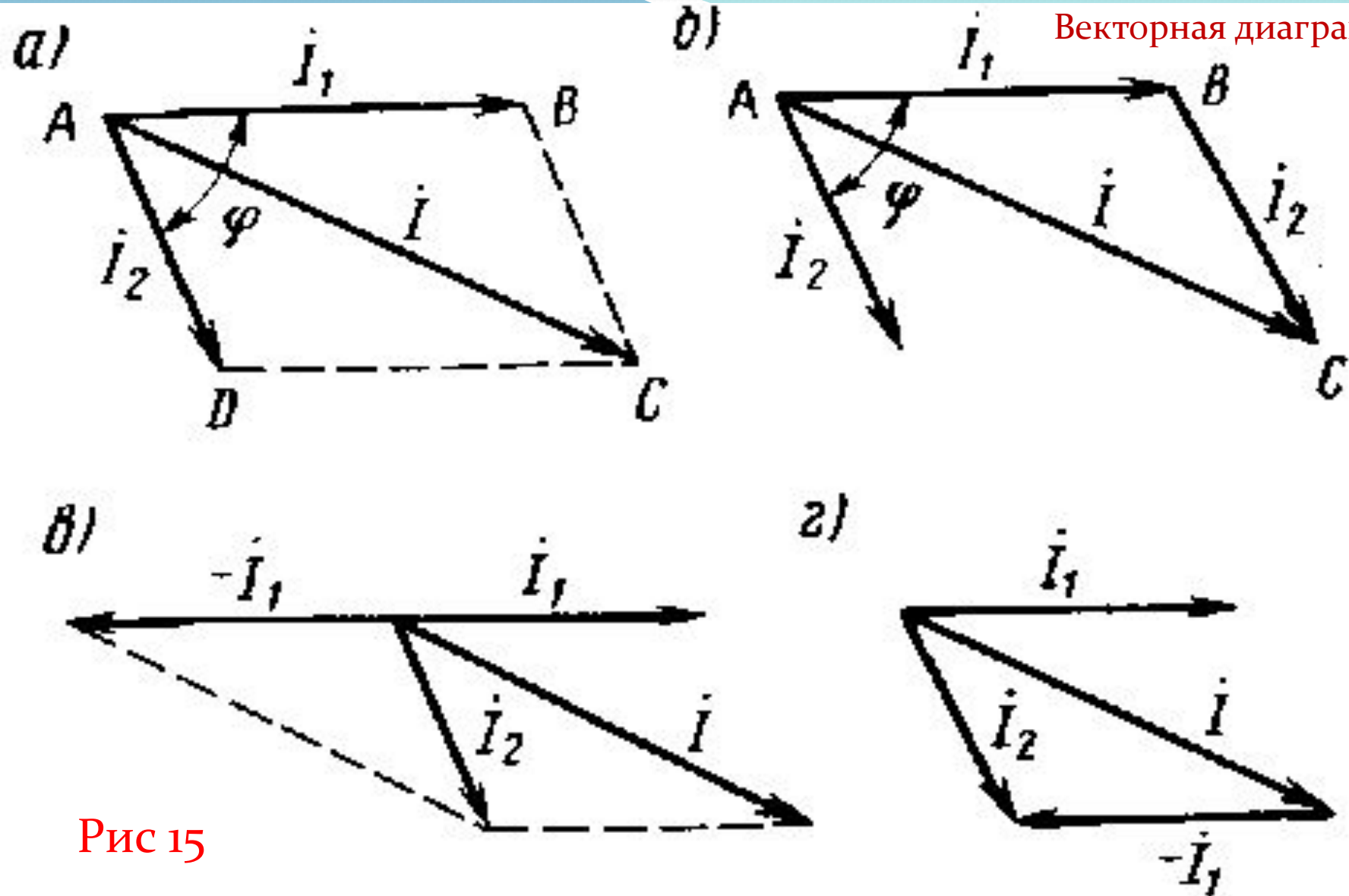


Рис 15

Векторное сложение и вычитание двух переменных токов

Сложение векторов осуществляется по правилу параллелограмма или треугольника. В первом случае (рис. 15 а) строят параллелограмм ABCD со сторонами, образованными векторами j_1 и j_2 . Вектор j_1 направляют, например, горизонтально (можно начертить этот вектор и в любом другом положении), вектор j_2 — под углом φ к вектору j_1 . Угол φ на векторной диаграмме отсчитывают от вектора j_1 по часовой стрелке, так как для рассматриваемого случая ток i_2 отстает от тока i_1 на угол φ . Диагональ AC векторной диаграммы дает нам суммарный вектор результирующего тока I

Во втором случае (рис 15 б) строят треугольник ABC со сторонами AB и BC, равными соответствующим векторам j_1 и j_2 получают суммарный вектор j в виде гипотенузы AC этого треугольника.

Вычитание векторов двух синусоидально изменяющихся величин можно представить в виде сложения одного вектора с другим вектором, взятым с обратным знаком.

Например, если известны токи i и i_1 (см. Рис 3), то действующее значение тока i_2 можно получить вычитанием из вектора j вектора j_1 , т. е. $j_2 = j - j_1 = j + (-j_1)$. Вектор $-j_1$ имеет такой же модуль, что и вектор $+j_1$, но направлен противоположно.

Следовательно, операцию вычитания векторов j и j_1 можно осуществить с помощью векторных диаграмм (рис 15 в,г).

Закон Ома для переменного тока

Протекающий по обмотке переменный ток создает магнитный поток. Этот магнитный поток точно так же, как и ток, изменяет свою силу и направление. При изменении магнитного потока по закону индукции в обмотке создается ЭДС (электродвижущая сила). Направление ЭДС противоположно полярности подаваемого напряжения. Это явление называется самоиндукцией.

Самоиндукция в цепи переменного тока частично проявляется в сдвиге по фазе между током и напряжением и частично — в падении индуктивного напряжения. Сопротивление цепи переменного тока становится значительно выше рассчитанного или измеренного сопротивления этой же цепи постоянному току.

Сдвиг по фазе между током и напряжением обозначается углом ϕ .

Индуктивное сопротивление (реактивное) - X ,
активное сопротивление - R ,

кажущееся сопротивление цепи или проводника - Z .

Полное сопротивление (импеданс) вычисляется по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1)$$

Где:

Z - полное сопротивление, Ом

R - активное сопротивление, Ом

Закон Ома для переменного тока

Рассмотрим участок цепи, состоящий из последовательно соединенных

1. резистора с активным сопротивлением R ,
2. конденсатора емкостью C
3. катушки индуктивностью L с пренебрежимо малым сопротивлением проводов,

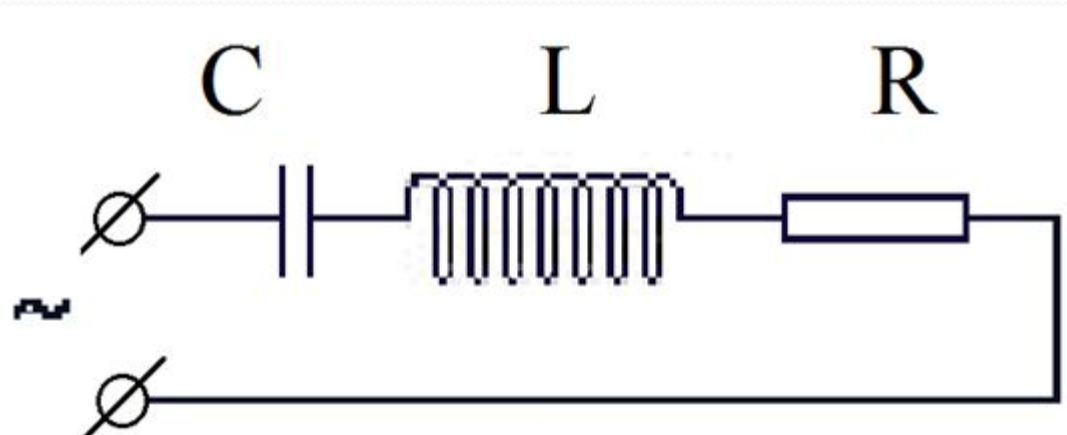


рис 16

На участке цепи

течет ток силы $I = I_0 \sin \omega t$ (2)

Напряжение $U = U_R + U_C + U_L$ (3)

т.к. все складываемые напряжения по закону Ома представляют собой гармонические колебания одинаковой частоты (находится с помощью векторных диаграмм)

$U = U_0 \sin(\omega t + \phi)$ (5), сдвинут по фазе относительно силы тока на угол ϕ

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \quad (6)$$

И имеет амплитуду

$$U = I_0 \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (7)$$

Формулы (6) и (7) выражают закон Ома для участка цепи переменного тока с емкостью, индуктивностью и сопротивлением.

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (8)$$

полное сопротивление. Она является арифметической суммой сопротивлений R , R_C R_L

закон Ома (1), (2) (с заменой U_0 на ε_0) - закон Ома для замкнутой цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления, емкости, индуктивности и источника переменного напряжения с ЭДС $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t + \phi)$

$U = U_0 e^{i\omega t}$ — напряжение или разность потенциалов,

I — сила тока,

$Z = R e^{-i\delta}$ — комплексное сопротивление (импеданс),

$R = (R_a^2 + R_r^2)^{1/2}$ — полное сопротивление,

$R_r = \omega L - 1/(\omega C)$ — реактивное сопротивление (разность индуктивного и емкостного),

R_a — активное (омическое) сопротивление, не зависящее от частоты,

$\delta = -\arctg(R_r/R_a)$ — сдвиг фаз между напряжением и силой тока

Мощность переменного тока

мощности постоянного электрического тока, если напряжение между концами некоторого участка цепи равно U , а сила тока в этом участке цепи равна I , то мощность, выделяемая током в этом участке цепи, R — активное сопротивление участка цепи.

$$P = I \cdot U = I^2 \cdot R \quad (9)$$

В случае переменного тока дело обстоит сложнее, так как сила переменного тока определяется не только активным сопротивлением цепи R , но и ее индуктивным или емкостным сопротивлением.

Представим себе, например, что какой-нибудь участок цепи имеет только емкостное сопротивление, т. е. содержит только конденсатор.

Процесс прохождения тока через конденсатор, представляет собой процесс многократно повторяющейся зарядки и разрядки этого конденсатора. В течение той четверти периода, когда конденсатор заряжается, источник расходует некоторую энергию, которая запасается в конденсаторе в виде энергии его электрического поля. Но в следующую четверть периода конденсатор разряжается и отдает обратно в сеть практически всю запасенную в нем энергию.

Таким образом, если пренебречь обычно очень малыми потерями энергии на нагревание диэлектрика в конденсаторе, то прохождение тока через конденсатор не связано с выделением в нем мощности.

То же будет иметь место и при прохождении тока через катушку, сопротивление которой можно считать чисто индуктивным. В течение той четверти периода, пока ток нарастает, в катушке создается магнитное поле, обладающее определенным запасом энергии. На создание этого поля расходуется энергия источника. Но в следующую четверть периода, когда ток уменьшается, магнитное поле исчезает, и запасенная в нем энергия в процессе самоиндукции вновь возвращается к источнику.

Мы видим, что наличие емкостного или индуктивного сопротивления цепи хотя и отражается на силе тока в этой цепи, но не связано с расходом мощности в ней. В конденсаторах и катушках с индуктивным сопротивлением энергия то берется «взаймы» у источника, то снова возвращается к нему, но она не уходит из цепи, не тратится на нагревание проводников (джоулево тепло) или на совершение механической работы и т. п.

Таким образом, при наличии в цепи индуктивного и емкостного сопротивлений мощность, фактически расходуемая в цепи, всегда меньше, чем произведение IU , т. е. равна

$$P = I \cdot U \lambda \quad (10)$$

где λ — это некоторый коэффициент, меньший единицы, называемый коэффициентом мощности данной цепи. Для синусоидальных токов этот коэффициент равен $\lambda = \cos j$, где j — это сдвиг фаз между током в цепи и напряжением между концами рассматриваемого ее участка. Таким образом,

$$P = I \cdot U \cos j \quad (11)$$

- Из формул видно, что сдвиг фаз φ между напряжением и током растет по мере увеличения отношения емкостного или индуктивного сопротивления к активному. Но с ростом φ уменьшается значение $\cos \varphi$.

Поэтому коэффициент мощности прибора, потребляющего переменный ток, тем меньше, чем больше его емкостное или индуктивное сопротивление по сравнению с активным.

Он обращается в нуль для чисто индуктивного или чисто емкостного сопротивления ($\varphi = \pi/2$, $\cos\varphi = 0$) и равен единице для чисто активного ($\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$).

важное народнохозяйственное значение

Каждая электрическая машина (генератор), установленная на станциях, характеризуется своим предельным «нормальным» током I , при котором нагревание машины вследствие потерь в проводах не превышает допустимых размеров, и своим нормальным напряжением U .

Произведение IU называется полной мощностью этой машины. Такую мощность машина могла бы действительно отдавать потребителям, если бы ее нагрузка была чисто активной, т. е. если бы не было сдвига фаз между током и напряжением на зажимах машины.

В этом случае $j=0$ и $\cos j=1$. Но если в сети имеются заметные емкостные или индуктивные сопротивления, обуславливающие некоторый сдвиг фаз j между током и напряжением, то $\cos j < 1$. и машина не может отдать в сеть всю свою полную мощность. При $\cos j=0,8$, например, машина с полной мощностью 100 000 кВт может фактически дать потребителю только 80 000 кВт. Ясно, насколько это убыточно для народного хозяйства в целом.

Действующие значения тока и напряжения

Для описания характеристик переменного тока необходимо избрать определенные физические величины. Мгновенные и амплитудные значения для этих целей неудобны, а средние значения за период равны нулю. Поэтому вводят понятие *действующих значений тока и напряжения*. Они основаны на тепловом действии тока, не зависящем от его направления.

Действующими значениями тока и напряжения называют соответствующие параметры такого постоянного тока, при котором в данном проводнике за данный промежуток времени выделяется столько же теплоты, что и при переменном токе.

При изменении тока по синусоиде его действующее значение меньше его амплитудного значения $\sqrt{2}$

раз, т. е,

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_0 \quad (12)$$

Такое соотношение справедливо для ЭДС и напряж-я:

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (13)$$

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

Действующие значения обозначаются прописными латинскими буквами без индексов.

Электроизмерительные приборы переменного тока проградуированы в действующих значениях измеряемых величин. В некоторых книгах действующие значения называют эффективными значениями. Это - синонимы.

Литература

1. <http://dic.academic.ru>
2. <http://ru.wikipedia.org>
3. <http://revolution.allbest.ru>
4. <http://www.physbook.ru>
5. И.В. Савельев, Курс общей физики, том 2.
Электричество, волны, оптика. М. Наука, 1982 г.
6. Белов Д. В. Электромагнетизм и волновая оптика
Изд. МГУ 1994 г. 210 стр