

010401. Цепи переменного тока. Реактивные сопротивления

Цель работы: Ознакомиться с основными элементами электрических цепей синусоидального тока. Освоить методы электрических измерений в цепях синусоидального тока. Получить экспериментальное подтверждение закона Ома для цепей переменного тока.

Требуемое оборудование:

Модульный учебный комплекс: МУК-ЭМ1(2).

Приборы:

- | | |
|---|-------|
| 1. Генератор звуковых частот ЗГ1 | 1 шт. |
| 2. Амперметр-вольтметр АВ1 | 1 шт. |
| 3. Стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01 | 1 шт. |
| 4. Комплект проводников | 1 шт. |

Краткое теоретическое введение

Переменным током называют ток, изменяющийся во времени. Значение тока $i(t)$ в любой момент времени называют **мгновенным**. Токи, мгновенные значения которых повторяются через равные промежутки времени в той же самой последовательности, называют **периодическими**, а наименьший промежуток времени T , через который эти повторения наблюдаются, - **периодом**. Величина, обратная периоду, называется **частотой** $\nu=1/T$. Частота измеряется в **герцах** [Гц]. Постоянный ток можно рассматривать как частный случай периодического тока, период изменения которого бесконечно велик, т. е. частота равна нулю.

Пусть на некотором участке цепи мгновенные значения тока и напряжения меняются гармонически, т. е по синусоидальному закону (рис. 1):

$$i(t) = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_I\right) \tag{1}$$

$$U(t) = U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_U\right)$$

где I_m – максимальное или **амплитудное** значение тока;

ψ_I – начальная фаза колебаний тока

ψ_U – начальная фаза колебаний напряжения.

Начальная фаза отсчитывается всегда от момента, соответствующего началу синусоиды (нулевое значение синусоидальной величины при переходе ее от отрицательных к положительным значениям), до момента начала отсчета времени $t=0$ (начало координат). Если начало синусоиды сдвинуто влево, то начальная фаза имеет положительное значение, а если вправо – отрицательное.

Найти численное значение начальной фазы, например тока (рис. 1), можно путем определения величины Δt_I :

$$\psi_I = \frac{2\pi\Delta t_I}{T} = \omega\Delta t_I \quad (2)$$

Поскольку начало синусоиды смещено влево, то начальная фаза ψ_I имеет положительное значение.

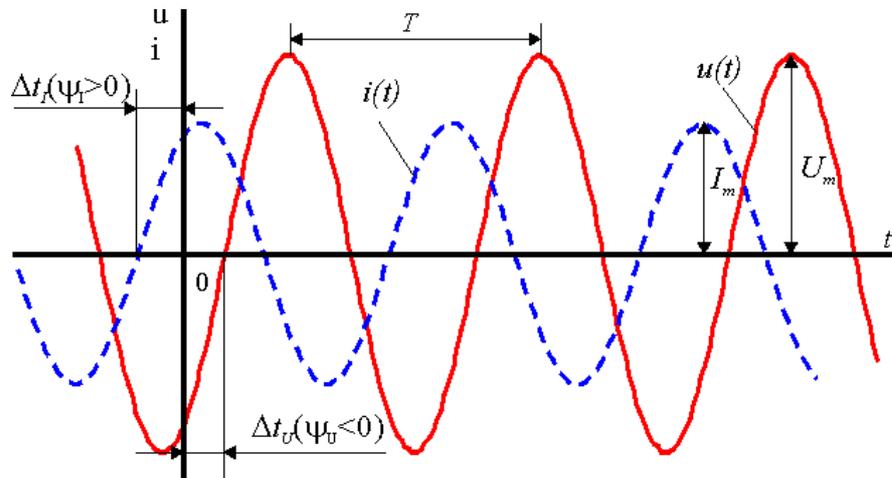


Рис. 1

Если у нескольких синусоидальных функций, изменяющихся с одной частотой, начальные фазы не совпадают, то говорят, что они имеют **сдвиг фаз** (или **разность фаз**). Сдвиг фаз определяется как разность начальных фаз. Так, например, под разностью фаз φ напряжения и тока понимают разность начальных фаз напряжения ψ_U и тока ψ_I

$$\varphi = \psi_U - \psi_I$$

Физические процессы, протекающие в цепях переменного тока, отличаются от процессов, протекающих в цепях постоянного тока. При переменном токе электрические и магнитные поля изменяются во времени. Изменяющееся магнитное поле наводит ЭДС, изменение электрического поля сопровождается изменением зарядов на проводниках.

Основными элементами схем цепей переменного тока являются резисторы, конденсаторы и индуктивности. Рассмотрим законы изменения тока и напряжения для участков цепи содержащих эти элементы.

Резистор

В резистивном элементе с сопротивлением R электромагнитная энергия преобразуется в тепло. Мгновенная мощность, с которой происходит преобразование энергии, определяется соотношением: $p(t) = i^2 R$. Резистивные (или их ещё называют активные) сопротивления вводятся в схемы замещения также для учета необратимого преобразования электромагнитной энергии в другие виды (например, механическую, энергию излучения и т. п.).

В резистивном элементе (рис. 2,а) напряжение связано с током законом Ома: $u_R(t) = Ri_R(t)$. Если ток в резисторе $i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_I)$, то и напряжение

$$u_R(t) = RI_m \sin(\omega t + \psi_I) = U_m \sin(\omega t + \psi_I) \quad (3)$$

имеет синусоидальную форму и такую же фазу, что и ток в резисторе (т. е. $\psi_I = \psi_U$). Говорят, что ток и напряжение совпадают по фазе или **синфазны**, т. е. $\varphi = 0$ (рис. 2,б).

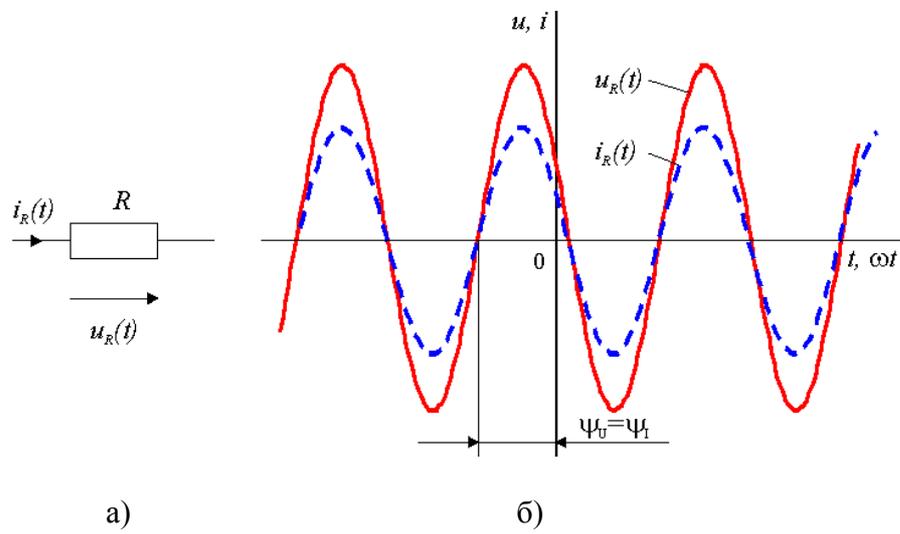


Рис. 2

Катушка индуктивности

Если через катушку индуктивности (рис. 3,а) пропустить переменный синусоидальный ток $i_L(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_I)$, то он создаст переменный магнитный поток, пронизывающий витки катушки. По закону электромагнитной индукции на зажимах катушки этот переменный поток наведёт синусоидальное напряжение:

$$u_L(t) = n \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d\Psi}{di} \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} = I_m \omega L \sin(\omega t + \psi_I + 90^\circ), \quad (4)$$

- где n – число витков катушки;
- $\Psi = w\Phi$ – потокосцепление;
- $L = d\Psi/di$ - индуктивность;
- $x_L = \omega L$ - реактивное индуктивное сопротивление.

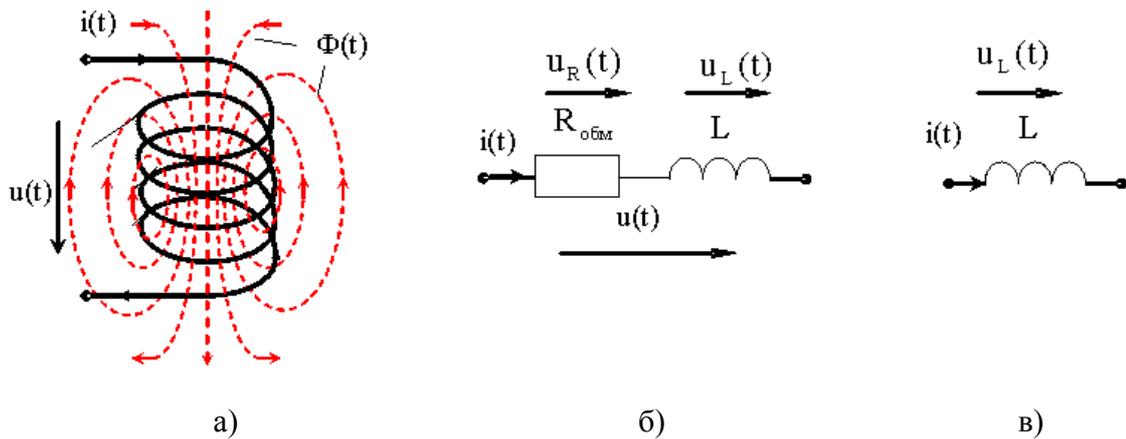


Рис.3

В системе единиц СИ индуктивность L имеет размерность Генри (Гн), а индуктивное сопротивление – (Ом).

Индуктивность L учитывает энергию магнитного поля катушки $w_L = Li^2/2$. Из соотношения (4) видно, что ток через индуктивность $i(t)$ отстаёт от напряжения $u_L(t)$ на угол 90° (рис. 4).

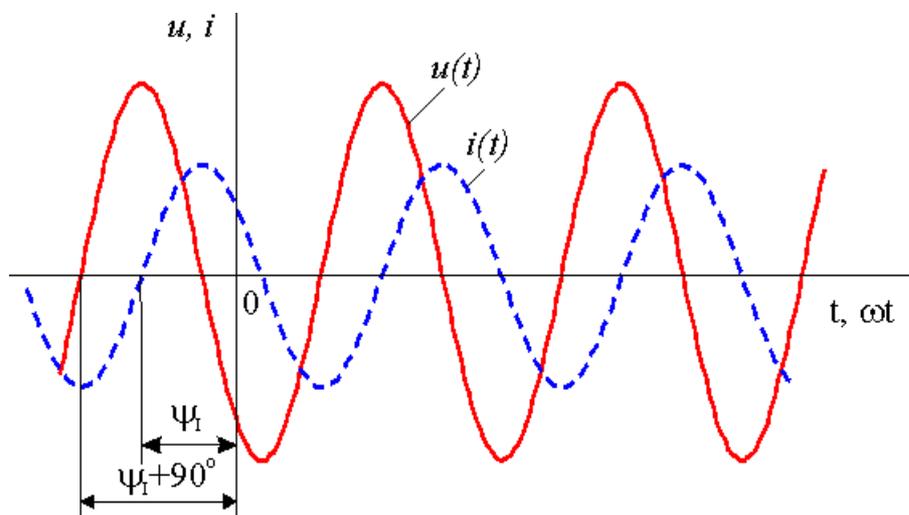


Рис. 4

Переменный ток, протекая по виткам катушки, создаёт в проводниках тепловые потери мощности $p = i^2 R_{обм}$, где $R_{обм}$ - активное сопротивление обмотки. На рис. 3,б показана низкочастотная схема замещения катушки индуктивности, состоящая из индуктивности L и активного сопротивления обмотки $R_{обм}$. Если сопротивлением обмотки можно пренебречь, то такую катушку считают идеальной индуктивностью (рис. 3,в). Для высоких частот в схеме замещения необходимо учитывать межвитковую ёмкость катушки.

Из (4) следует, что при заданном напряжении $u_L(t)$ ток $i_L(t)$ можно найти по соотношению

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt. \quad (5)$$

Если для установившегося синусоидального режима подставить напряжение $u_L(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_U)$ в (5), то ток через индуктивность определится соотношением

$$i_L(t) = \frac{U_m}{x_L} \sin(\omega t + \psi_U - 90^\circ). \quad (6)$$

Конденсатор

Конденсатор является элементом электрической цепи, имеющим две проводящие обкладки, между которыми находится слой диэлектрика (рис. 5,а). Если к зажимам конденсатора (рис. 5,а) подключить источник синусоидального напряжения $u_C(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_U)$, то на его обкладках возникнет изменяющийся во времени электрический заряд $q(t)$, т. е. через конденсатор будет протекать электрический ток

$$u_C(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{du_C} \frac{du_C}{dt} = C \frac{dU_C}{dt} = U_m \omega C \sin(\omega t + \psi_U + 90^\circ). \quad (7)$$

В (2) $C = dq/du_C$ - ёмкость конденсатора, которая определяет зависимость изменения величины заряда на обкладках конденсатора от изменения напряжения, приложенного к его обкладкам; $x_C = 1/\omega C$ - реактивное ёмкостное сопротивление.

В системе единиц СИ ёмкость C имеет размерность Фарада (Ф), а ёмкостное сопротивление – (Ом).

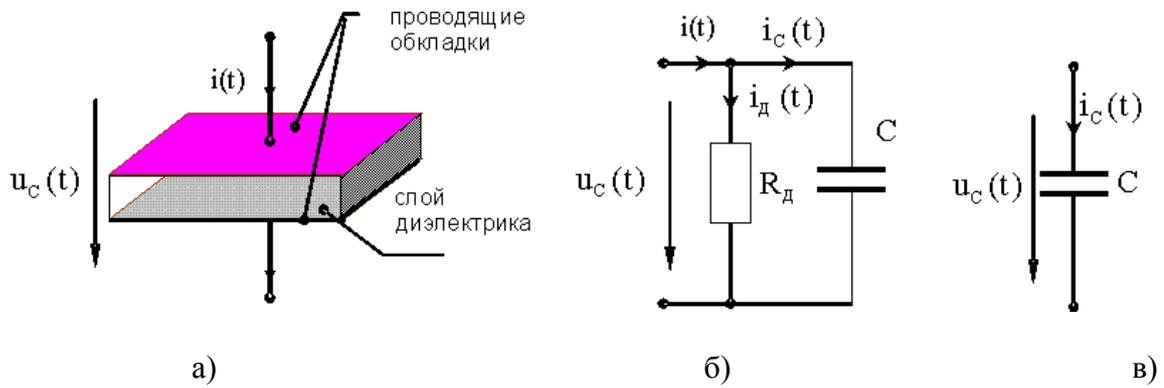


Рис. 5

Из соотношения (4) видно, что ток через конденсатор $i(t)$ опережает напряжение $u_C(t)$ на угол 90° (рис. 6).

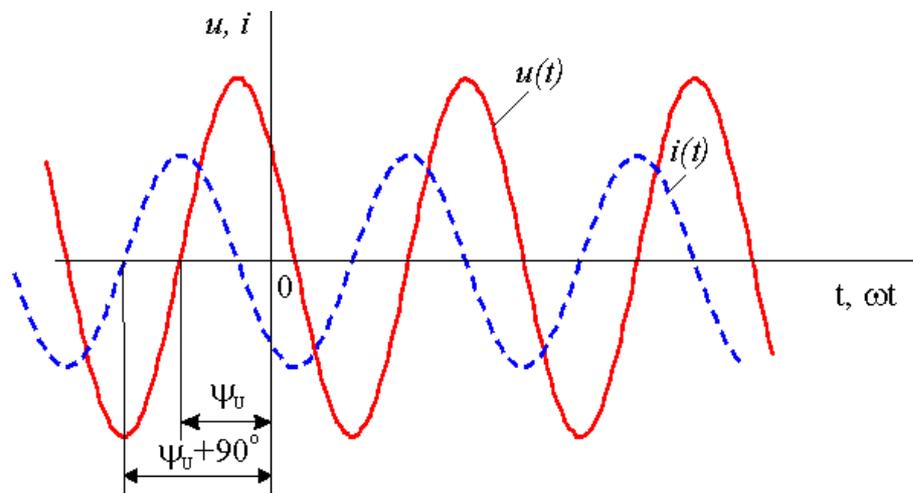


Рис. 6

Основной особенностью конденсатора является его способность запасать энергию электрического поля $w_C = C u_C^2 / 2$. Кроме того, в конденсаторе имеют место тепловые потери энергии в диэлектрике и обкладках, а также происходит запас энергии в магнитном поле. На рис. 5,б показана низкочастотная схема замещения конденсатора, состоящая из параллельного соединения ёмкости C и активного сопротивления с проводимостью $-R_d$, учитывающей потери в диэлектрике и обкладках. Если потерями можно пренебречь, то конденсатор будет представлять собой идеальную ёмкость (рис. 5,в).

Из (7) следует, что при заданном токе $i_C(t)$ напряжение $u_C(t)$ можно найти по соотношению

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt. \quad (8)$$

Если для установившегося синусоидального режима подставить ток $i_C(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_I)$ в (8), то напряжение на ёмкости примет вид

$$u_C(t) = I_m x_C \sin(\omega t + \psi_I - 90^\circ) \quad (9)$$

Методика проведения экспериментов

Для исследования закона Ома в цепях переменного тока используется модульный учебный комплекс МУК-ЭМ1(2)

В качестве источника переменного напряжения используется генератор звуковых частот ЗГ1. В качестве измерительного прибора используется амперметр-вольтметр АВ1.

При измерении

Если в качестве исследуемого образца используется резистор, то измерительная схема соответствует рис. 7.

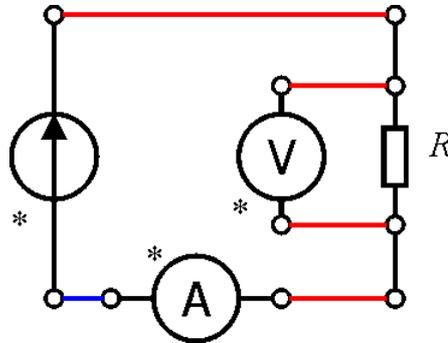


Рис. 7

При исследовании конденсатора необходимо в цепь включить ограничительное сопротивление (680 Ом). Это связано с тем, что на высоких частотах ёмкостное сопротивление мало и может вызвать перегрузку звукового генератора.

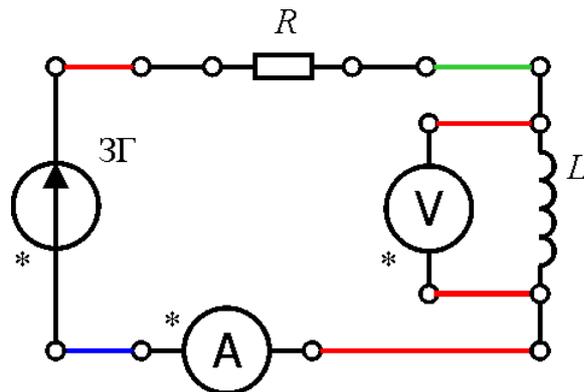


Рис. 8

При исследовании конденсатора необходимо в цепь включить ограничительное сопротивление (680 Ом). Это связано с тем, что на высоких частотах ёмкостное сопротивление мало и может вызвать перегрузку звукового генератора.

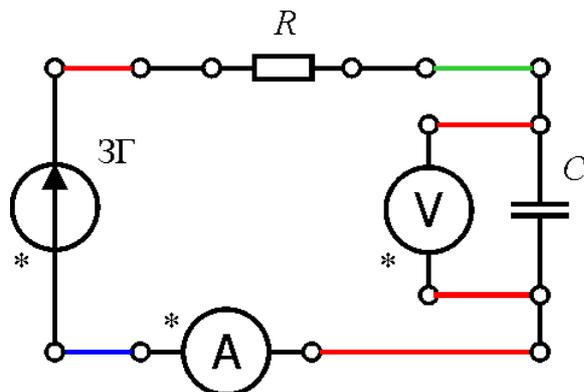


Рис. 9

Рекомендуемое задание к работе

1. Закон Ома для участка цепи, содержащей сопротивление.

Соберите электрическую схему рис. 7. В качестве сопротивления используйте резистор 680 Ом. Установите частоту генератора звуковых частот 5 кГц. Изменяя напряжение генератора от 0 до 10В, измерьте значения тока. Постройте график зависимости $I=f(U)$.

2. Частотная характеристика сопротивления.

Используя схему рис. 7, установите выходное напряжение генератора 5 В. Изменяя частоту в диапазоне от 1 до 10 кГц, измерьте значения тока. Постройте график зависимости $I=f(\nu)$. Установленное значение напряжения необходимо поддерживать в течении всего эксперимента.

3. Закон Ома для участка цепи, содержащей индуктивность.

Соберите электрическую схему рис. 8. В качестве ограничительного сопротивления R используйте резистор 680 Ом. Установите частоту генератора звуковых частот 5 кГц. Изменяя напряжение генератора от 0 до 10В, измерьте значения тока. Постройте график зависимости $I=f(U)$.

4. Частотная характеристика индуктивности.

Используя схему рис. 8, установите выходной ток генератора 10 мА. Изменяя частоту в диапазоне от 1 до 10 кГц, измерьте значения напряжения на индуктивности. Постройте график зависимости $U=f(\nu)$. Установленное значение тока необходимо поддерживать в течении всего эксперимента.

5. Закон Ома для участка цепи, содержащей ёмкость.

Соберите электрическую схему рис. 9. В качестве ограничительного сопротивления R используйте резистор 680 Ом. Установите частоту генератора звуковых частот 5 кГц. Изменяя напряжение генератора от 0 до 10В, измерьте значения тока. Постройте график зависимости $I=f(U)$.

6. Частотная характеристика ёмкости.

Используя схему рис. 9, установите напряжение на ёмкости 1 В. Изменяя частоту в диапазоне от 1 до 10 кГц, измерьте значения тока. Постройте график зависимости $I=f(\nu)$. Установленное значение напряжения необходимо поддерживать в течении всего эксперимента.