



030201. Элементы электрических цепей синусоидального тока

Цель работы: Ознакомиться с основными элементами электрических цепей синусоидального тока. Освоить методы электрических измерений в цепях синусоидального тока.

Требуемое оборудование

Модульный учебный комплекс МУК-ЭТ2

Приборы:

- | | |
|---|-------|
| 1. Генератор звуковых частот ЗГ1 | 1 шт. |
| 2. Измеритель многофункциональный ИМФ1 | 1 шт. |
| 3. Осциллограф лабораторный ОЦЛ2 | 1 шт. |
| 4. Стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01 | 1 шт. |

Краткое теоретическое введение

В лабораторной работе исследуются линейные электрические цепи с гармоническими источниками, в которых ЭДС, напряжения и токи изменяются по синусоидальному закону и имеют одинаковую частоту.

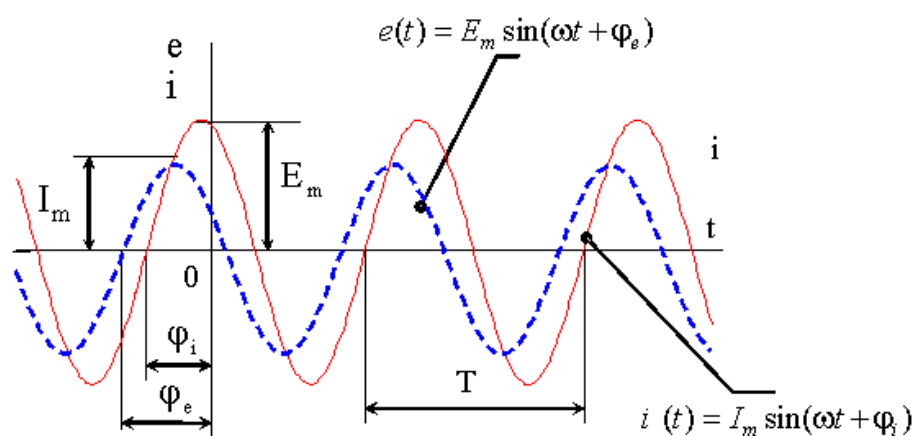


Рис. 1

На рис. 1 показаны графики гармонических сигналов (ЭДС и тока)

$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \varphi_e) \quad \text{и} \quad i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i),$$

где E_m и I_m - амплитудные или максимальные значения; $\omega = 2\pi f$ - угловая частота сигнала; $f = 1/T$ - частота сигнала; T - период колебания; φ_e и φ_i - начальные фазы гармонических колебаний.

Одной из основных характеристик гармонических сигналов является их действующие значения

$$E = E_m / \sqrt{2}, \quad U = U_m / \sqrt{2} \quad \text{и} \quad I = I_m / \sqrt{2}.$$

В электрической цепи кроме источников содержатся такие элементы, как резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, катушки взаимной индуктивности. Такие элементы цепи называются пассивными и для расчета представляются схемами замещения. Каждая схема замещения должна отражать основные электромагнитные процессы, протекающие в конкретном элементе.

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.).

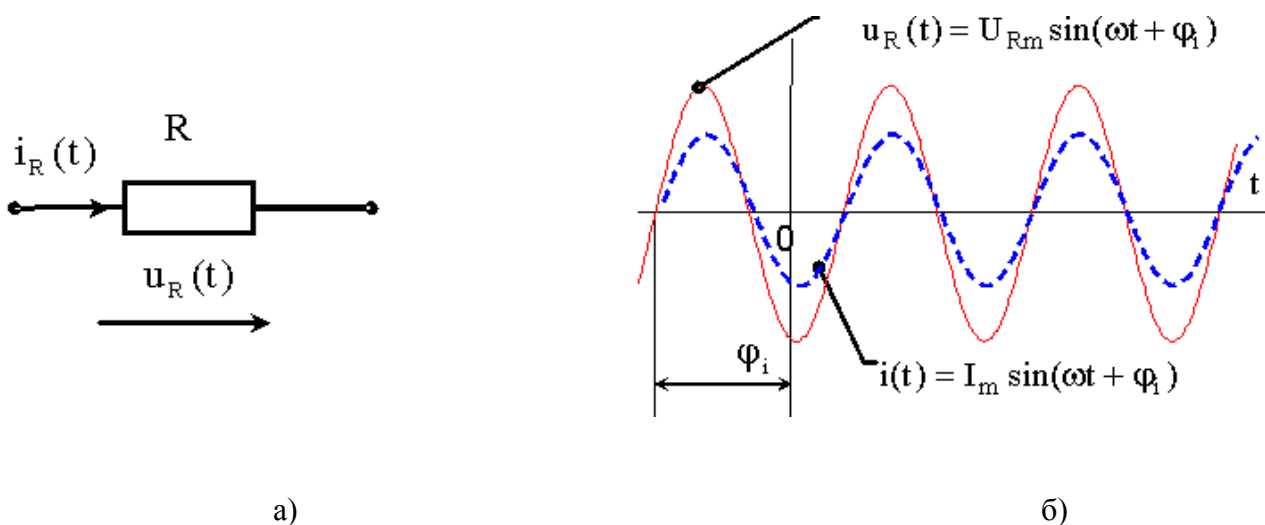


Рис. 2

В резистивном элементе (рис. 2,а) напряжение связано с током законом Ома: $u_R(t) = R i_R(t)$. Если ток в резисторе $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$, то и напряжение $u_R(t) = R \cdot I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ имеет синусоидальную форму и такую же фазу, что и ток в резисторе. Говорят, что ток и напряжение совпадают по фазе (рис. 2,б).

Катушка индуктивности

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

$$u_L(t) = w \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d\Psi}{di} \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} = I_m \omega L \sin(\omega t + \varphi_i + 90^\circ), \quad (1)$$

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

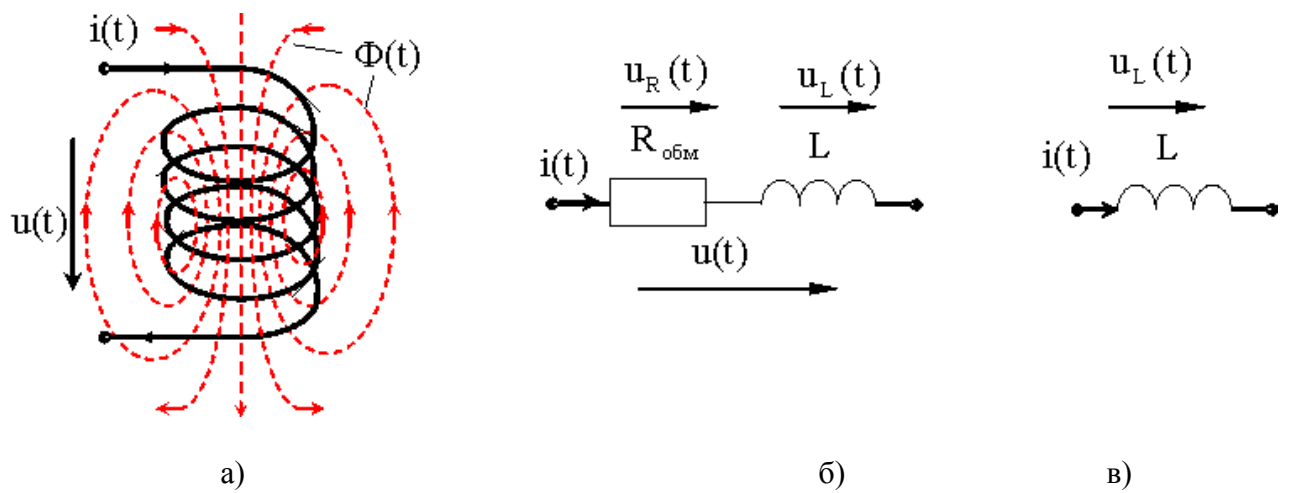


Рис.3

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 (1) видно, что ток через индуктивность $i(t)$ отстаёт от напряжения $u_L(t)$ на угол 90° (рис. 4).

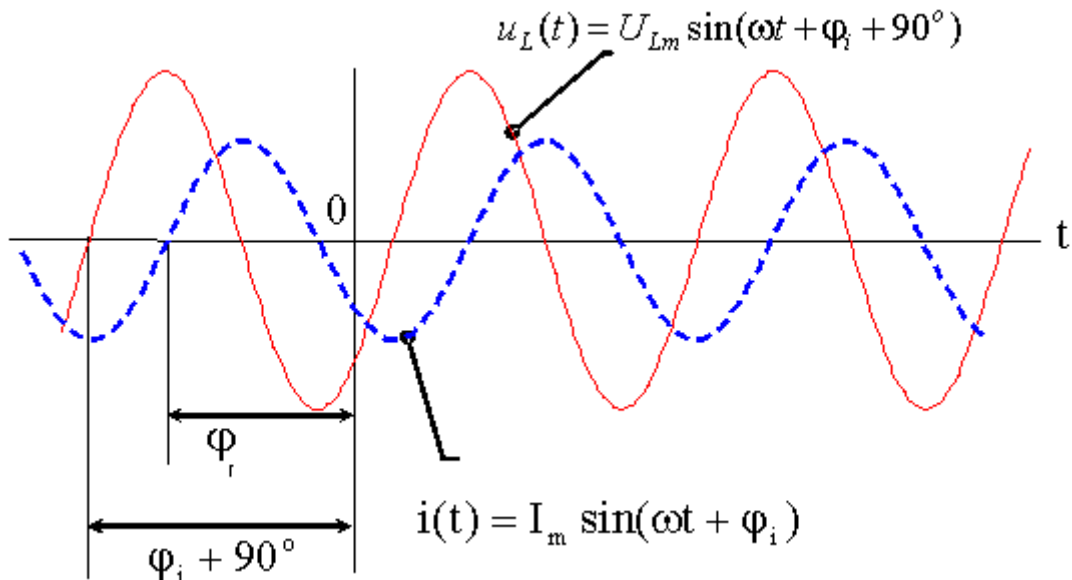


Рис. 4

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

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt. \quad (2)$$

Если для установившегося синусоидального режима подставить напряжение $u_L(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ в (2), то ток через индуктивность определится соотношением

$$i_L(t) = \frac{U_m}{x_L} \sin(\omega t + \varphi_u - 90^\circ). \quad (3)$$

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 $u_C(t) = U_{cm} \sin(\omega t + \varphi_u)$, то на его обкладках возникнет изменяющийся во времени электрический заряд $q(t)$, т. е. через конденсатор будет протекать электрический ток

$$i_C(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{du_C} \cdot \frac{du_C}{dt} = C \frac{du_C}{dt} = U_{cm} \omega C \sin(\omega t + \varphi_u + 90^\circ). \quad (4)$$

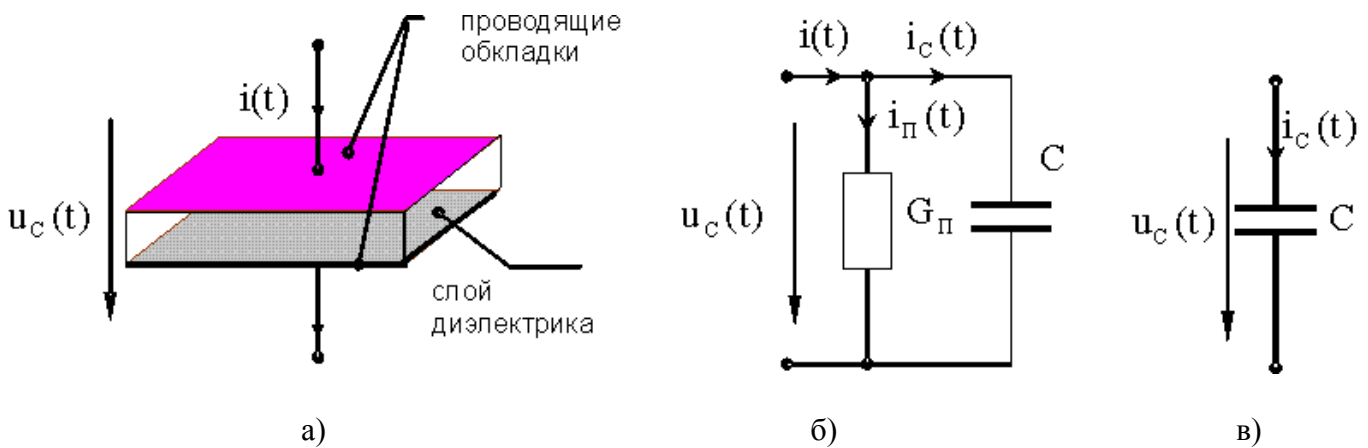


Рис. 5

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).

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

Основной особенностью конденсатора является его способность запасать энергию электрического поля $w_C = Cu_C^2/2$. 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 - $G_П$, учитывающей потери в диэлектрике и обкладках. Если потерями можно пренебречь, то конденсатор будет представлять собой идеальную ёмкость (рис. 5,в).

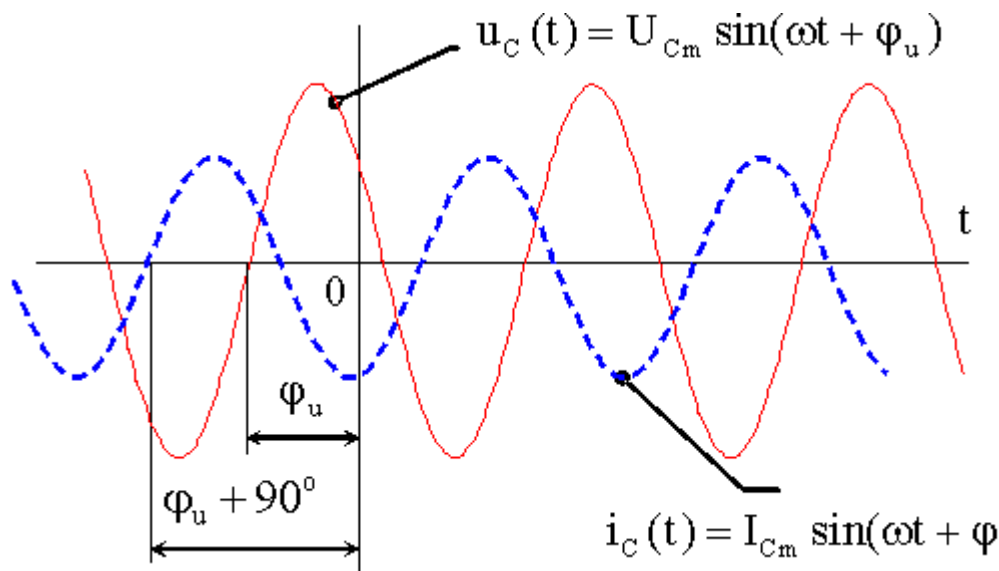


Рис. 6

Из (4) следует, что при заданном токе $i_C(t)$ напряжение $u_C(t)$ можно найти по соотношению

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt. \quad (5)$$

Если для установившегося синусоидального режима подставить ток $i_C(t) = I_{Cm} \sin(\omega t + \varphi_i)$ в (5), то напряжение на ёмкости примет вид

$$u_C(t) = I_{Cm} x_C \sin(\omega t + \varphi_i - 90^\circ). \quad (6)$$

Методика эксперимента



Рис. 7

Экспериментальные исследования производятся на модульном учебном комплексе МУК-ЭТ1(2) рис. 6.

Для исследования резонансных явлений в последовательном колебательном контуре используется генератор звуковых частот ЗГ1. Выходная частота – от 20 Гц до 30 кГц, а амплитуда синусоидального напряжения от 0 В до 15 В.

Для измерения входного комплексного сопротивления - Z необходимо воспользоваться измерителем многофункциональным ИМФ1. Он позволяет измерять амплитудные значения тока и напряжения, разность фаз φ напряжения и тока, полную S , активную P и реактивную Q мощности. На рис 7 представлена электрическая схема включения прибора ИМФ1 в цепь.

Все объекты исследования расположены на стенде СЗ-ЭТ01. Между собой элементы соединяются с помощью коротких проводников (Ш1.6-Ш1.6), а с генератором звуковых частот и измерителем ИМФ1 с помощью длинных проводников (Ш4-Ш1.6).

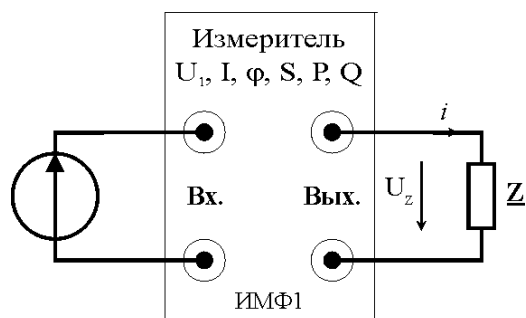


Рис. 8

Рекомендуемое задание к работе

1. *Определение параметров источника синусоидального напряжения.*

Включите генератор синусоидального напряжения. Установите произвольное значение частоты и амплитуды сигнала. Подключите осциллограф к гнездам генератора и измерьте амплитуду и период T синусоидального напряжения. Рассчитайте значение частоты $f = 1/T$ и угловой частоты сигнала.

2. *Опытное определение параметров резистора катушки индуктивности и ёмкости.*

Для опытного определения параметров сопротивления, катушки индуктивности (L_K, R_K) и конденсатора - C соберите схему по рис. 8. Регуляторы генератора установить в положения, обеспечивающие на выходе гармонический сигнал напряжением $U_1=10$ В (измеритель многофункциональный (ИМФ1) установить в положение U_1) при частоте $f=200$ Гц для измерения параметров резистора и катушки индуктивности и $f=2000$ Гц для - конденсатора. Прибором ИМФ1 измерьте значение тока I его фазу φ для резистора, катушки индуктивности и ёмкости. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица. 1

| Элемент цепи | f | U_1 | I | φ_1 | Z | Определяемый Параметр | |
|-----------------------|------|-------|---|-------------|----|-----------------------|---------|
| | Гц | В | А | Град | Ом | | |
| Резистор | 200 | | | | | R= | |
| Катушка индуктивности | 200 | | | | | $L_K =$ | $R_K =$ |
| Конденсатор | 2000 | | | | | C= | |