

МОДУЛЬ 1-1. Основные определения

Слайд 1. Здравствуйте, уважаемые слушатели!

Сегодня мы начинаем курс лекций по ТОЭ или "Теоретическим основам электротехники».

Электротехника изучает применение электрических и магнитных явлений для практического использования.

Курс ТОЭ делится на две части – теорию электрических цепей (ТЭЦ) и теорию поля.

Слайд 2.

Рассмотрим основные определения, относящиеся к электрическим цепям.

Прежде всего это – электрический ток, под которым понимается направленное движение заряженных частиц, в качестве которых выступают:

- в металлах – электроны
- в электролитах – ионы

При этом за положительное направление электрического тока было принято направление перемещения положительных зарядов от точки высшего потенциала к точке меньшего потенциала. Направление тока на схеме показывают стрелкой.

Слайд 3

Мгновенное значение тока в рассматриваемый момент времени обозначается строчными буквами $i(t)$ и равно заряду q , проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени t :

$$i(t) = dq/dt$$

В системе единиц СИ

- заряд измеряется в кулонах (Кл)
- время в секундах (с)
- ток в амперах (А)

Если сила и направление тока не изменяется во времени, то такой ток называется постоянным током и обозначается заглавной буквой I .

Слайд 4.

Следующее понятие это – напряжение. Под напряжением понимается физическая величина, характеризующая работу электрического поля по перемещению единичного заряда между двумя точками.

Единица измерения напряжения в системе СИ – (В).

На участке цепи с сопротивлением R падение напряжения можно найти, как разность потенциалов между двумя точками:

$$u_{ав} = \varphi_a - \varphi_b = -u_{ба}$$

При этом под потенциалом (φ) произвольной точки электрического поля понимается работа, которая совершается силами поля по переносу единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность (или в точку, потенциал которой равен нулю).

На схемах падение напряжения на сопротивлении R обозначается стрелкой, совпадающей по направлению с направлением тока, протекающего через него.

Мгновенное значение напряжения в рассматриваемый момент времени обозначается строчными буквами $u(t)$.

Слайд 5.

При протекании тока по проводнику заряженные частицы теряют энергию.

При этом поступающая в приемник элементарная энергия dw будет равна:

$$dw = u dq.$$

Или с учетом выражения для мгновенного значения тока dw может быть найдена как:

$$dw = u \cdot i dt.$$

Единица измерения энергии в системе СИ джоуль – (Дж).

Мгновенная мощность $p(t)$ характеризует мгновенную скорость поступления энергии в рассматриваемый участок цепи $\frac{dw}{dt}$ и равна произведению мгновенных значений напряжения и тока

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = u \cdot i$$

Единица измерения мощности в системе СИ ватт – (Вт).

Слайд 6. Энергия, поступившая в электрическую цепь за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$, может быть найдена как интеграл мгновенной мощности от t_1 до t_2

$$W(t) = W(t_2) - W(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

А полная энергия, накопленная к моменту времени t , равна интегралу от минус бесконечности до t :

$$W(t) = \int_{-\infty}^t u \cdot i dt$$

Если $W(t) \geq 0$, то рассматриваемый участок электрической цепи является потребителем энергии и называется пассивным.

Если $W(t) < 0$, то участок электрической цепи содержит источник энергии и называется активным.

Слайд 7. Что же представляет собой электрическая цепь? Электрическая цепь – это совокупность устройств, предназначенных для прохождения электрического тока.

В электрической цепи различают следующие устройства:

- источники электропитания, в качестве которых могут выступать – генераторы, гальванические элементы, аккумуляторы ...;
- потребителей или приемников электрической энергии – это и электродвигатели, лампы накаливания, электронагревательные приборы ...;
- а также различная вспомогательная аппаратура: провода, коммутационная аппаратура, измерительные приборы, аппаратура защиты-

Слайд 8

В курсе ТЭЦ под элементом электрической цепи понимают идеализированное устройство с двумя выводами, отображающее какое-либо из свойств реальной электрической цепи.

Элементы ЭЦ можно разделить на две группы: активные и пассивные.

Активные элементы – источники ЭДС и источники тока. Они способны отдавать электрическую энергию.

Пассивные элементы – это элементы потребители и накопители электрической энергии (Сопротивление, Индуктивность и Емкость).

Слайд 9. Рассмотрим сначала пассивные элементы электрической цепи.

Идеальный резистивный элемент будем называть Сопротивлением.

В нем электрическая энергия необратимо преобразуется в другие виды энергии (например, тепловую, механическую или световую).

Сопротивление характеризуется *активным электрическим сопротивлением*, под которым понимается «параметр пассивного двухполюсника, равный отношению активной мощности, поглощаемой в этом двухполюснике, к квадрату действующего значения тока через этот двухполюсник».

Наиболее близкий по своим свойствам к сопротивлению реальный элемент – называется резистор.

Условное графическое обозначение (УГО) сопротивления – это прямоугольник с

размерами 10×4 мм с двумя выводами.

Буквенное обозначение R используется как для обозначения самого сопротивления, так и для количественной оценки его активного сопротивления в омах (Ом).

Величина, обратная активному сопротивлению $G = 1 / R$, называется активной проводимостью (G) и измеряется в сименсах (См).

Зависимость между напряжением и током на зажимах сопротивления подчиняется закону Ома – сопротивление на участке цепи равно отношению напряжения u_R , падающего на этом участке, к току, протекающему через него:

$$R = u_R / i$$

Путем алгебраических преобразований можно получить и другие выражения для закона Ома:

$$i = u_R / R \quad \text{или} \quad u_R = i R$$

Мгновенная мощность, выделяемая на сопротивлении, всегда положительна и равна

$$p = u_R i$$

Используя закон Ома, можно получить и другие выражения для нее:

$$p = i^2 R = u_R^2 / R = u_R^2 G$$

Электрическая энергия, поступившая в резистивный элемент за время t , определяется интегралом от 0 до t по dt

$$W_R = \int_0^t p dt$$

По закону *Джоуля-Ленца* количество тепла Q в калориях, выделяемого на сопротивлении, пропорционально рассеянной в нем энергии W_R в ваттах, и равно

$$Q = 0,24 W_R$$

Слайд 10. Следующий пассивный элемент – это индуктивность.

Идеальный индуктивный элемент или индуктивность – это элемент электрической цепи, сходный по своим свойствам с катушкой индуктивности, способный запасать энергию магнитного поля.

УГО индуктивности – это три и более дуги диаметром 3...5 мм с двумя выводами.

Буквенное обозначение L применяется как для обозначения на схеме самой индуктивности, так и для количественной оценки ее собственной индуктивности в генри (Гн).

Индуктивность определяется как отношение потокосцепления самоиндукции элемента ψ к току i в этом элементе

$$L = \psi / i$$

Переменный во времени ток i , протекая по виткам катушки, создает вокруг нее переменный магнитный поток Φ .

Этот поток, пронизывая витки катушки, образует потокосцепление самоиндукции ψ , равное

$$\psi = \Phi w,$$

где w – это число витков индуктивности, которое обозначается строчной буквой в отличие от энергии.

Всякое изменение потокосцепления самоиндукции во времени на основании закона электромагнитной индукции обуславливает наведение на концах катушки ЭДС самоиндукции.

Причем эта ЭДС, направлена противоположно потоку, вызвавшему её

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

Из данного выражения следует, что при протекании через индуктивность

постоянного тока на ней не будет наводиться ЭДС самоиндукции. То есть, индуктивность на постоянном токе представляет собой короткозамкнутый участок цепи.

При протекании через индуктивность переменного тока на ней будет падать напряжение, направленное противоположно ЭДС самоиндукции, равное

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt}$$

Это выражение представляет собой закон Ома для индуктивности, и показывает, как связаны между собой напряжение на индуктивности и ток, протекающий через нее.

Если проинтегрировать последнее выражение, то получим закон Ома для индуктивности в другой форме

$$i = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt$$

Мгновенная мощность для индуктивности p_L зависит от знаков тока и производной тока, входящих в выражение

$$p_L = u_L i = Li \frac{di}{dt}$$

Она может быть, как положительной при их одинаковых знаках, так и отрицательной при разных знаках.

Если $p_L > 0$, то энергия поступает из внешней цепи и запасается в индуктивном элементе, при $p_L < 0$ энергия, запасенная в индуктивном элементе, возвращается во внешнюю цепь.

При этом сама энергия всегда положительна и определяется интегралом

$$W_L = \int_0^t p_L dt = \int_0^t L i di = \frac{Li^2}{2}$$

Т. е., индуктивность является пассивным элементом и не может сама генерировать электрическую энергию.

Слайд 11. Рассмотрим последний пассивный элемент – емкость.

Идеальный емкостной элемент или емкость – это элемент электрической цепи, сходный по своим свойствам с конденсатором, способный запасать энергию электрического поля.

УГО емкостного элемента – это две параллельные линии длиной 8 мм, сдвинутые на 2 мм, из середин которых выходят два вывода.

Буквенное обозначение C применяется как для обозначения на схеме самой емкости, так и для количественной оценки ее собственной емкости в фарадах (Ф).

Емкость определяется как отношение заряда q в кулонах, накапливаемого на ней, к напряжению u_C в вольтах, падающему между ее обкладками:

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

Закон Ома для емкости показывает, как связаны между собой напряжение между ее обкладками и ток, протекающий через нее:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$$

Из данного выражения следует, что если к емкостному элементу приложено постоянное напряжение, то ток через него будет равен нулю. То есть, на постоянном токе емкость представляет собой разрыв цепи.

Если проинтегрировать последнее выражение, то получит закон Ома для емкости в другой форме

$$u_c = u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

Мгновенная мощность для емкости зависит от знаков напряжения и его производной, входящих в выражение

$$p_C = u_c i = u_c C \frac{du_c}{dt}$$

Она может быть, как положительной при их одинаковых знаках, так и отрицательной при разных знаках.

Если $p_C > 0$, то энергия поступает из внешней цепи и запасается в емкостном элементе, при $p_C < 0$ энергия, запасенная в емкостном элементе, возвращается во внешнюю цепь.

Сама энергия всегда положительна и определяется выражением

$$W_C = \int_0^t p_C dt = \int_0^t C u_c du_c = \frac{C u_c^2}{2}$$

Т.е., емкость является пассивным элементом и не может сама генерировать электрическую энергию.

Слайд 12. Рассмотрим активные элементы ЭЦ, которые делятся на зависимые и независимые источники энергии. В данном курсе рассмотрим независимые источники энергии: источники электродвижущей силы ЭДС (источник напряжения) и источник тока.

Идеальный источник ЭДС представляет собой элемент с двумя выводами, напряжение на которых не зависит от сопротивления нагрузки R_H (или от тока нагрузки) и равно ЭДС $U_H = E$.

УГО источника ЭДС – это круг (диаметром 10...12 мм) с двумя диаметрально расположенными выводами, которые накоротко соединяются внутри круга, что символизирует тот факт, что внутреннее сопротивление идеального источника ЭДС равно нулю.

Внутри круга стрелкой задается или направление полярности ЭДС на постоянном токе, или условно положительное направление ЭДС от конца фазы к ее началу на переменном токе.

Электродвижущая сила связана с движением электрического заряда под действием сил неэлектрического происхождения.

Количественно ЭДС равна работе, которая совершается силами неэлектрического характера по перемещению электрического заряда от зажима с меньшим потенциалом к зажиму с большим потенциалом. Поэтому направление ЭДС, показанное стрелкой, противоположно направлению напряжения, падающего между его зажимами.

Буквенное обозначение E применяется как для обозначения на схеме самого идеального источника ЭДС, так и для количественной оценки напряжения на его выводах.

На слайде представлены эквивалентные схемы идеального (слева) и реального (справа) источников постоянной ЭДС.

При стремлении сопротивления нагрузки R_H к нулю значение тока I через идеальный источник будет стремиться к бесконечности и, как следствие, отдаваемая им электрическая мощность будет бесконечно большой

$$P = \lim_{I \rightarrow \infty} E \cdot I = \infty.$$

Реальный источник ЭДС изображается в виде идеального источника ЭДС с последовательно подключенным к нему внутренним сопротивлением $R_{вн}$. Это сопротивление

ограничивает мощность, отдаваемую источником во внешнюю цепь, так как падение напряжения на нагрузке будет равно разности E и падения напряжения на его внутреннем сопротивлении

$$U_H = E - I \cdot R_{BH}.$$

На слайде приведены внешние вольт-амперные характеристики (ВАХ) реального и идеального источников ЭДС.

Напряжение на выходе идеального источника ЭДС равно E и не зависит от тока I . Ему соответствует на графике прямая, параллельная оси токов.

ВАХ для реального источника ЭДС представляет собой нагрузочную прямую, проходящую через 2 точки:

– первая из них соответствует режиму холостого хода источника ЭДС (при $R_H = \infty$) и равна E ;

– вторая точка равна току короткого замыкания $I_{KЗ} = E/R_{BH}$ (при $R_H = 0$).

Слайд 13. Идеальный источник тока представляет собой элемент с двумя выводами, ток во внешней цепи которого не зависит от сопротивления нагрузки и равен току источника тока J .

На слайде представлены эквивалентные схемы идеального и реального источников постоянного тока.

Стрелками внутри источника тока указано направление перемещения положительных зарядов в источнике. Между стрелками разрыв, что символизирует тот факт, что внутреннее сопротивление идеального источника тока равно бесконечности.

Идеальный источник тока представляет собой источник бесконечно большой мощности при $R_H = \infty$.

Реальный источник тока конечной мощности изображается в виде идеального источника с параллельно подключенным к нему внутренним сопротивлением R_{BH} .

Это сопротивление ограничивает мощность, отдаваемую источником во внешнюю цепь, так как на нагрузку поступает ток, равный разности тока идеального источника тока J и тока, протекающего через его внутреннее сопротивление

$$I_H = J - I_{BH}.$$

На слайде приведены внешние вольт-амперные характеристики реального и идеального источников тока.

Ток на выходе идеального источника тока равен J и не зависит от сопротивления нагрузки. Ему соответствует на графике прямая, параллельная оси напряжений.

ВАХ для реального источника тока представляет собой нагрузочную прямую, проходящую через 2 точки:

– первая из них на оси токов и равна току источника тока J (при $R_H = 0$);

– вторая точка на оси напряжений соответствует режиму холостого хода источника тока

$$U_{XX} = J R_{BH} \quad (\text{при } R_H = \infty)$$

Слайд 14. В реальных элементах ЭЦ (резисторе, конденсаторе и катушке индуктивности) помимо основного процесса протекают еще дополнительные «паразитные» процессы.

В резисторе при прохождении тока через его выводы возникает магнитное поле, и для учета накопления в нем магнитной энергии, введем в его модель индуктивность $L_{ПАРАЗИТНАЯ}$.

На зажимах резистора создается разность потенциалов, что приводит к появлению электрического поля, для учета которого введем в модель резистора емкость $C_{\text{ПАРАЗИТНАЯ}}$.

Между пластинами конденсатора в диэлектрике создается «паразитная» проводимость, которую можно учесть в модели конденсатора проводимостью $G_{\text{ПАРАЗИТНАЯ}}$.

Накопление энергии магнитного поля при прохождении переменного тока можно учесть в модели конденсатора индуктивностью $L_{\text{ПАРАЗИТНАЯ}}$.

Провод, из которого намотана катушка индуктивности, обладает омическим сопротивлением $R_{\text{ПАРАЗИТНОЕ}}$. Это сопротивление учитывают, если оно соизмеримо с реактивным индуктивным сопротивлением, что больше всего проявляется на низких частотах переменного тока.

Реальные пассивные элементы электрической цепи имеют разное конструктивное исполнение, могут иметь постоянное значение параметров или быть переменными (регулируемым).

Спасибо за внимание!