***Изучите материал, напишите конспект.***

|  |
| --- |
| Элементы электрических цепей. |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Электромагнитные процессы, протекающие в электротехнических устройствах, как правило, достаточно сложны. Однако во многих случаях, их основные характеристики можно описать с помощью таких интегральных понятий, как: напряжение, ток, электродвижущая сила (ЭДС). При таком подходе совокупность электротехнических устройств, состоящую изсоответствующим образом соединенных источников и приемников электрической энергии, предназначенных для генерации, передачи, распределения и преобразования электрической энергии и (или) информации, рассматривают как **электрическую цепь**. Электрическая цепь состоит из отдельных частей (объектов), выполняющих определенные функции и называемых **элементами цепи**. Основными элементами цепи являются источники и приемники электрической энергии (сигналов). Электротехнические устройства, производящие электрическую энергию, называются **генераторами** или **источниками электрической энергии**, а устройства, потребляющие ее – **приемниками** (потребителями) электрической энергии.  У каждого элемента цепи можно выделить определенное число зажимов (**полюсов**), с помощью которых он соединяется с другими элементами. Различают **двух** –и **многополюсные** элементы. Двухполюсники имеют два зажима. К ним относятся источники энергии (за исключением управляемых и многофазных), резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы. Многополюсные элементы – это, например, триоды, трансформаторы, усилители и т.д.  Все элементы электрической цепи условно можно разделить на **активные** и **пассивные**. Активным называется элемент, содержащий в своей структуре источник электрической энергии. К пассивным относятся элементы, в которых рассеивается (резисторы) или накапливается (катушка индуктивности и конденсаторы) энергия. К основным характеристикам элементов цепи относятся их вольт-амперные, вебер-амперные и кулон-вольтные характеристики, описываемые дифференциальными или (и) алгебраическими уравнениями. Если элементы описываются линейными дифференциальными или алгебраическими уравнениями, то они называются **линейными**, в противном случае они относятся к классу **нелинейных**. Строго говоря, все элементы являются нелинейными. Возможность рассмотрения их как линейных, что существенно упрощает математическое описание и анализ процессов, определяется границами изменения характеризующих их переменных и их частот. Коэффициенты, связывающие переменные, их производные и интегралы в этих уравнениях, называются **параметрами** элемента.  Если параметры элемента не являются функциями пространственных координат, определяющих его геометрические размеры, то он называется**элементом с сосредоточенными параметрами**. Если элемент описывается уравнениями, в которые входят пространственные переменные, то он относится к классу **элементов с распределенными параметрами**. Классическим примером последних является линия передачи электроэнергии (длинная линия).  Цепи, содержащие только линейные элементы, называются линейными. Наличие в схеме хотя бы одного нелинейного элемента относит ее к классу нелинейных.  Рассмотрим пассивные элементы цепи, их основные характеристики и параметры.  **1. Резистивный элемент (резистор)**  Условное графическое изображение резистора приведено на рис. 1,а. Резистор – это пассивный элемент, характеризующийся резистивным сопротивлением. Последнее определяется геометрическими размерами тела и свойствами материала: удельным сопротивлением ρ (Ом× м) или обратной величиной – удельной проводимостью https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_af29e32b078c20b6.png (См/м).  В простейшем случае проводника длиной https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_d142bd066e437791.png и сечением S его сопротивление определяется выражением  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_ae4a129e77115cf2.png .  Вhttps://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_e152274f8df65d30.png общем случае определение сопротивления связано с расчетом поля в проводящей среде, разделяющей два электрода.  Основной характеристикой резистивного элемента является зависимость https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_4f1b8c110796bc1.png (или https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_5eda6bc985311ed9.png ), называемая вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Если зависимость представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (см.рис. 1,б), то резистор называется линейным и описывается соотношением  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_3ece2cf8d6616b96.png  или  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_d740b6ce5b34a562.png ,  где https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_104874d3188409da.png - проводимость. При этом R=const.  Нелинейный резистивный элемент, ВАХ которого нелинейна (рис. 1,б), как будет показано в блоке лекций, посвященных нелинейным цепям, характеризуется несколькими параметрами. В частности безынерционному резистору ставятся в соответствие статическое https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_2795ca96bf6915a3.png и дифференциальное https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_316e488ece3e983a.png сопротивления.  **2. Индуктивный элемент (катушка индуктивности)**  Условное графическое изображение катушки индуктивности приведено на рис. 2,а. Катушка – это пассивный элемент, характеризующийся индуктивностью. Для расчета индуктивности катушки необходимо рассчитать созданное ею магнитное поле.  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_c15b91a4230d49e9.png  Индуктивность определяется отношением потокосцепления к току, протекающему по виткам катушки,  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_3d769a94f48c715b.png .  В свою очередь потокосцепление равно сумме произведений потока, пронизывающего витки, на число этих витков https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_3f0e3958f66de80.png , где https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_6bc35334d09fd131.png .  Основной характеристикой катушки индуктивности является зависимость https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_590ae7b737e08b3b.png , называемая вебер-амперной характеристикой. Для линейных катушек индуктивности зависимость представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (см. рис. 2,б); при этом  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_b4cb9d26ae32a096.png .  Нелинейные свойства катушки индуктивности (см. кривую на рис. 2,б) определяет наличие у нее сердечника из ферромагнитного материала, для которого зависимость https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_896ee954ebc10d4d.png магнитной индукции от напряженности поля нелинейна. Без учета явления магнитного гистерезиса нелинейная катушка характеризуется статической https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_5dd0dd77d15ff14.png и дифференциальной https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_623b0825caf33bc8.png индуктивностями.  **3. Емкостный элемент (конденсатор)**  Условное графическое изображение конденсатора приведено на рис. 3,а.  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_2982cbf86d1763db.png  Конденсатор – это пассивный элемент, характеризующийся емкостью. Для расчета последней необходимо рассчитать электрическое поле в конденсаторе. Емкость определяется отношением заряда q на обкладках конденсатора к напряжению u между ними  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_3adb44a4ab60348f.png  и зависит от геометрии обкладок и свойств диэлектрика, находящегося между ними. Большинство диэлектриков, используемых на практике, линейны, т.е. у них относительная диэлектрическая проницаемостьhttps://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_5312e19c07d3ffb3.png =const. В этом случае зависимость https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_8b6afadbedc95a1a.png представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат, (см. рис. 3,б) и  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_de174b1e5e51398c.png .  У нелинейных диэлектриков (сегнетоэлектриков) диэлектрическая проницаемость является функцией напряженности поля, что обусловливает нелинейность зависимости (рис. 3,б). В этом случае без учета явления электрического гистерезиса нелинейный конденсатор характеризуется статической https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_377fd83b8d56f485.png и дифференциальной https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_897f15e04b8cd72e.png емкостями.    **Схемы замещения источников электрической энергии**  Свойства источника электрической энергии описываются ВАХ https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_3ec72527abdcdc6e.png , называемой **внешней характеристикой источника.** Далее в этом разделе для упрощения анализа и математического описания будут рассматриваться источники постоянного напряжения (тока). Однако все полученные при этом закономерности, понятия и эквивалентные схемы в полной мере распространяются на источники переменного тока. ВАХ источника может быть определена экспериментально на основе схемы, представленной на рис. 4,а. Здесь вольтметр V измеряет напряжение на зажимах 1-2 источника И, а амперметр А – потребляемый от него ток I, величина которого может изменяться с помощью переменного нагрузочного резистора (реостата) RН.  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_d55cf8ea1a71488c.png  В общем случае ВАХ источника является нелинейной (кривая 1 на рис. 4,б). Она имеет две характерные точки, которые соответствуют:  а – **режиму холостого хода** https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_35fd52cbdf62f69a.png ;  б –**режиму короткого замыкания** https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_7502a0141a263440.png .  Для большинства источников режим короткого замыкания (иногда холостого хода) является недопустимым. Токи и напряжения источника обычно могут изменяться в определенных пределах, ограниченных сверху значениями, соответствующими **номинальному режиму** (режиму, при котором изготовитель гарантирует наилучшие условия его эксплуатации в отношении экономичности и долговечности срока службы). Это позволяет в ряде случаев для упрощения расчетов аппроксимировать нелинейную ВАХ на рабочем участке m-n (см. рис. 4,б) прямой, положение которой определяется рабочими интервалами изменения напряжения и тока. Следует отметить, что многие источники (гальванические элементы, аккумуляторы) имеют линейные ВАХ.  Прямая 2 на рис. 4,б описывается линейным уравнением   |  |  | | --- | --- | | https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_756adbf72c8a0a44.png , | (1) |   где https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_7dfcb6cc58bb37bb.png - напряжение на зажимах источника при отключенной нагрузке (разомкнутом ключе К в схеме на рис. 4,а); https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_2660fbd49be5bbf.png - **внутреннее сопротивление источника**.  Уравнение (1) позволяет составить **последовательную схему замещения** источника (см. рис. 5,а). На этой схеме символом Е обозначен элемент, называемый **идеальным источником ЭДС**. Напряжение на зажимах этого элемента https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_a73dd1b81275617.png не зависит от тока источника, следовательно, ему соответствует ВАХ на рис. 5,б. На основании (1) у такого источника https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_eca4983f4e1f67ec.png . Отметим, что направления ЭДС и напряжения на зажимах источника противоположны.  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_697f73624166d189.png  Если ВАХ источника линейна, то для определения **параметров его схемы замещения** необходимо провести замеры напряжения и тока для двух любых режимов его работы.  Существует также параллельная схема замещения источника. Для ее описания разделим левую и правую части соотношения (1) на https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_59bf13afe2f54c59.png . В результате получим  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_b8f71c40c0eae853.png  или   |  |  | | --- | --- | | https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_788a228ca5bf6a8c.png , | (2) |   где https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_48c8bdaf56c0db75.png ; https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_27d58b57bc90695f.png - **внутренняя проводимость источника**.  Уравнению (2) соответствует схема замещения источника на рис. 6,а.  https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_8e1c6f5e9973ca29.png  На этой схеме символом J обозначен элемент, называемый **идеальным источником тока**. Ток в ветви с этим элементом равен и не зависит от напряжения на зажимах источника, следовательно, ему соответствует ВАХ на рис. 6,б. На этом основании с учетом (2) у такого источника https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_fde69bc5082d6dd1.png , т.е. его внутреннее сопротивление https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_a7c7dcbcd42ac614.png .  Отметим, что в расчетном плане при выполнении условия https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_d20c8be16727e024.png последовательная и параллельная схемы замещения источника являются эквивалентными. Однако в энергетическом отношении они различны, поскольку в режиме холостого хода для последовательной схемы замещения мощность равна нулю, а для параллельной – нет.  Кроме отмеченных режимов функционирования источника, на практике важное значение имеет **согласованный режим** работы, при котором нагрузкой RН от источника потребляется максимальная мощность   |  |  | | --- | --- | | https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_a9c70a2ce46167de.png , | (3) |   Условие такого режима   |  |  | | --- | --- | | https://studfile.net/html/50321/410/html_v8dzn9dFsn.H9Kz/htmlconvd-1A7FHf_html_c0b7ff649098941a.png , | (4) |   В заключение отметим, что в соответствии с ВАХ на рис. 5,б и 6,б идеальные источники ЭДС и тока являются источниками бесконечно большой мощности. |