

Тогда выражение (Ф.2.4.005) примет вид:

(Ф.2.4.006)

уравнение энергетического баланса.

2.4.010. Если направление тока I , протекающего через источник ЭДС E , совпадает с направлением ЭДС источника, то источник ЭДС доставляет в цепь энергию в единицу времени («генерирует» мощность), равную $E \cdot I$, и произведение $E \cdot I$ входит в уравнение энергетического баланса с положительным знаком.

В противном случае источник ЭДС не поставляет энергию а потребляет ее (например, заряжается аккумулятор), и произведение $E \cdot I$ войдет в уравнение энергетического баланса с отрицательным.

Источник тока доставляет в цепь энергию в единицу времени, равную $U_J \cdot J$, где U_J – напряжение на зажимах источника тока.

2.4.011. Из 2.4.008–2.4.010 следует общий вид уравнения энергетического баланса:

(Ф.2.4.007)

где $\sum I^2 \cdot R$ – сумма всех мощностей, потребляемых всеми сопротивлениями цепи;

$\sum E \cdot I$ – сумма всех мощностей, генерируемых всеми источниками ЭДС цепи;

$\sum U_J \cdot J$ – сумма всех мощностей, генерируемых всеми источниками тока цепи.

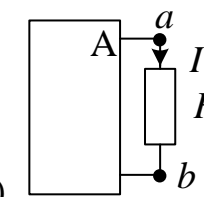
Е.g., для схемы на Р.2.3.022 уравнение энергетического баланса имеет вид:

(Ф.2.4.008)

2.4.012. Рассмотрим цепь:

Согласно 2.4.007 и (Ф.2.3.015) ток I в цепи определяется выражением:

(Ф.2.4.009)



Р.2.4.007

тогда мощность P , выделяющаяся в нагрузке:

(Ф.2.4.010)

полная мощность, выделяемая в цепи:

(Ф.2.4.011)

КПД:

(Ф.2.4.012)

Можно показать, что при

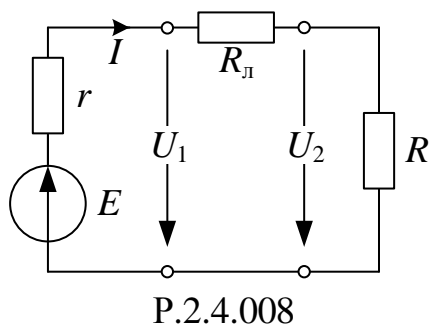
(Ф.2.4.013)

мощность, выделяемая в нагрузке, **максимальна** и равна:

(Ф.2.4.014)

Если мощность P значительна, то работать с таким низким КПД, как 0,5, недопустимо. Но если мощность P мала (несколько милливатт), то с низким КПД можно не считаться, поскольку достигнута главная цель – в этом режиме источник отдает нагрузке **максимально возможную мощность.**

2.4.013. Рассмотрим цепь, состоящую из реального источника ЭДС с ЭДС E и внутренним сопротивлением r , линии передачи сопротивлением $R_{л}$ и нагрузки сопротивлением R (Р.2.4.008). В соответствии с 23К:



(Ф.2.4.015)

т.е. напряжение U_2 в конце линии передачи меньше напряжения U_1 на зажимах источника на величину падения напряжения на сопротивлении линии передачи $I \cdot R_{л}$, т.о.

КПД передачи:

(Ф.2.4.016)

где P_2 – мощность, выделяемая в конце линии передачи (в нагрузке)

3 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1 ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1.001. В электрических цепях могут происходить включения и отключения пассивных или активных ветвей, короткие замыкания отдельных участков, различного рода переключения, внезапные изменения параметров и т. п.

3.1.002. В результате таких изменений, называемых коммутациями, которые будем считать происходящими мгновенно, в цепи возникают переходные процессы, заканчивающиеся спустя некоторое (теоретически бесконечно большое) время после коммутации.

3.1.003. Будем считать, что начало отсчета времени переходного процесса $t=0$ начинается с момента коммутации. Момент времени непосредственно перед мгновенной коммутацией обозначим $0-$, а сразу после мгновенной коммутации $0+$.

3.2 ИНДУКТИВНОСТЬ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН КОММУТАЦИИ

3.2.001. Магнитное поле (МП) – одна из форм электромагнитного поля. МП создается движущимися электрическими зарядами.

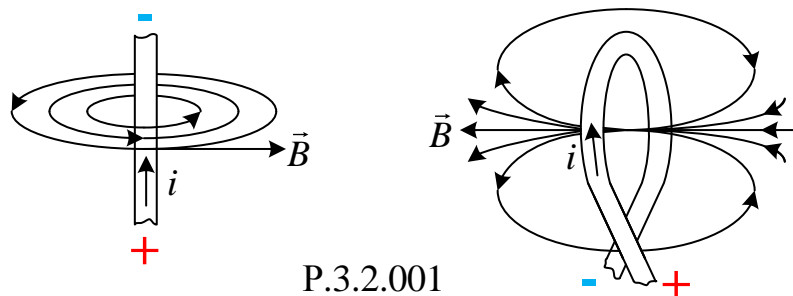
Поэтому вокруг **любого** проводника с током существует магнитное поле.

3.2.002. Основная силовая характеристика МП – вектор магнитной индукции B .

3.2.003. Линии магнитной индукции (силовые линии МП) – линии, проведенные в МП так, что вектор магнитной индукции B в каждой точке силовой линии направлен по касательной к ней.

Линии индукции МП ни в одной точке поля не обрываются, т. е. не начинаются и не кончаются.

3.2.004. Направление вектора B и линий индукции МП определяется по правилу Максвелла (правило правой руки, правило буравчика, правило правого винта):



P.3.2.001

3.2.005. Сила Ампера – сила, действующая со стороны МП на проводники с током, помещенные в это МП.

3.2.006. Сила Ампера F_A , действующая в МП на проводник конечной длины l , по которому протекает ток i :

$$\vec{F}_A = \int i [d\vec{l} \vec{B}], \quad (\Phi.3.2.001)$$

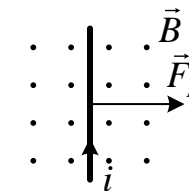
где интегрирование производится по всей длине проводника.

В случае однородного МП:

$$(\Phi.3.2.002)$$

где α – угол между вектором B и направлением тока в проводнике.

Направление действия силы Ампера определяется по правилу левой руки.

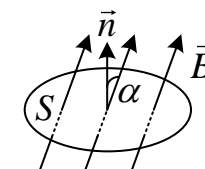


P.3.2.002

3.2.007. Из (Ф.3.2.002) следует, что модуль вектора магнитной индукции:

$$B = \frac{F_{Amax}}{i \cdot l}, \quad [B] = \frac{H}{A \cdot m} = Tл \quad (\Phi.3.2.003)$$

3.2.008. Поток вектора магнитной индукции Φ (магнитный поток) сквозь плоскую поверхность площадью S – это скалярная величина, равная



P.3.2.003

$$(\Phi.3.2.004)$$

где α – угол между вектором B и нормалью к поверхности

3.2.009. Явление электромагнитной индукции заключается в том, что в проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле, возникает индуцированное электрическое поле.

Энергетической мерой этого поля служит электродвижущая сила e_i электромагнитной индукции.

Если контур замкнут, то в нем под действием индуцированного электрического поля возникает электрический ток, который называется индукционным.

3.2.010. Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея):

(Ф.3.2.005)

3.2.011. Если контур содержит N последовательно соединенных витков (катушка с N витками) и/или витки имеют произвольные форму и размер, то каждый k -й виток пронизывается своим k -м магнитным потоком (см. Р.3.2.004). В этом случае **полный магнитный поток** Ψ сквозь все N витков контура определяется как



Р.3.2.004

(Ф.3.2.006)

и называется

(Ф.3.2.007)

Тогда (Ф.3.2.005) примет вид:

(Ф.3.2.008)

3.2.012. Знак минус в законе электромагнитной индукции соответствует **правилу Ленца:**

37

3.2.013. Явление электромагнитной индукции наблюдается во всех случаях, когда изменяется магнитный поток, пронизывающий контур. В частности, этот поток может создаваться током, текущим в **самом рассматриваемом контуре**. Поэтому

Энергетической характеристикой возникшего поля является ЭДС самоиндукции e_{is} .

3.2.014. Собственное магнитное поле тока в цепи создает потокосцепление Ψ_L , пропорциональное (по закону Био-Савара-Лапласа) току i в контуре:

(Ф.3.2.009)

38

где Ψ_L – магнитное потокосцепление самоиндукции, Вб;

L – конструктивный коэффициент пропорциональности – **индуктивность** контура, Гн.

Индуктивность контура зависит только от

Например, индуктивность достаточно длинной катушки (соленоида):

(Ф.3.2.010)

где $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}=12,566 \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость среды;

N – количество витков в катушке;

S – площадь поперечного сечения катушки, м²;

l – длина катушки, м.

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_L$
Р.3.2.005

3.2.015. На Р.3.2.005 приведено УГО индуктивного элемента, т.е. элемента, в котором возможны лишь явления самоиндукции и накопления магнитной энергии (см. 3.2.018). В цепях с сосредоточенными параметрами (см. 2.3.010) всё сопротивление ветви считается «**сосредоточенным в резистивном элементе**», поэтому

3.2.016. Из (Ф.3.2.008), (Ф.3.2.009) следует, что ЭДС самоиндукции:

(Ф.3.2.011)

ЭДС самоиндукции является причиной возникновения к контуре **тока самоиндукции**, который по правилу Ленца (3.2.012) противодействует изменению силы тока в цепи, **замедляя его возрастание или убывание**. Поэтому

(Ф.3.2.012)

– **первый закон коммутации**

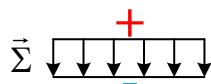
3.2.018. При создании в замкнутом контуре электрического тока и изменении его силы необходимо **совершить работу по преодолению ЭДС самоиндукции**, препятствующей нарастанию тока. По закону сохранения эта работа определяет собственную энергию W_M тока силы i в контуре, которая рассматривается как **энергия магнитного поля**:

(Ф.3.2.013)

3.3 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ. ВТОРОЙ ЗАКОН КОММУТАЦИИ

3.3.001. Рассмотрим систему тел:

две проводящие параллельные пластины, разделенные диэлектриком, расстояние между которыми мало по сравнению с их размерами.



Р.3.3.001

Предположим, что все линии электрической напряженности, исходящие из одной пластины, заканчиваются на другой (т.е. заряды пластин равны по модулю и противоположны по знаку).

Напряженность поля Σ в любой точке между пластинами всегда пропорциональна заряду q пластин. Кроме того, для однородного электрического поля справедливо

(Ф.3.3.001)

где U – напряжение между пластинами, В;

d – расстояние между пластинами, м.

3.3.002. Поэтому

(Ф.3.3.002)

где C – конструктивный коэффициент пропорциональности – электрическая емкость, $[C]=\text{Кл}/\text{В}=\text{Ф}$.

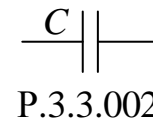
3.3.003. Для случая на Р.3.3.001 справедливо

(Ф.3.3.003)

где S – площадь пластин, м^2 .

3.3.004. На Р.3.3.002 приведено УГО емкостного элемента, т.е. элемента в котором возможны лишь явления накопления электрического заряда и электрической энергии (см. 3.3.006). 41

Так как емкостный элемент – это два проводника (называемые обкладками), разделенные слоем диэлектрика, то

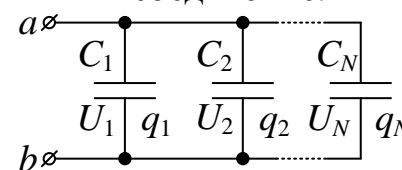


Р.3.3.002

3.3.005. При различном соединении емкостных

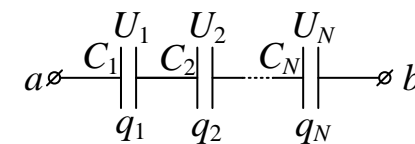
элементов справедливы следующие соотношения:

параллельное
соединение:



Р.3.3.003

последовательное
соединение:

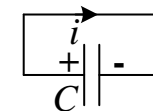


Р.3.3.004

(Ф.3.3.004)

(Ф.3.3.005)

3.3.006. Если обкладки заряженного емкостного элемента соединить проводником (Р.3.3.005), то под действием силы Кулона заряды начнут перетекать на противоположную обкладку, в проводнике возникнет ток, а емкостный элемент начнет разряжаться.

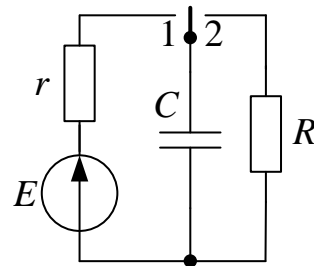


Р.3.3.005

Ток разряда емкостного элемента выделит в проводнике определенное количество теплоты, а это значит, что

3.4 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЦЕПЯХ

Так, если в схеме на Р.3.3.006 перевести переключатель в положение 1, то емкостный элемент C окажется соединенным с источником ЭДС и начнется процесс заряда C , а в контуре ErC потечет **зарядный ток**.



Р.3.3.006

При переключении переключателя в положение 2 емкостный элемент начнет разряжаться через сопротивление R и в контуре CR потечет **разрядный ток**.

3.3.007. Энергия W_0 , запасаемая емкостным элементом емкостью C , заряженного до напряжения u зарядом q , определяется выражением:

$$(Ф.3.3.006)$$

3.3.008. Второй закон коммутации:

$$(Ф.3.3.007)$$

3.4.001. Переходный процесс – процесс перехода от одного режима работы электрической цепи к другому, чем-либо отличающемуся от предыдущего, например значением ЭДС источников ЭДС или токов источников токов, действующих в цепи, значениями параметров цепи, а также вследствие изменения конфигурации цепи.

3.4.002. Физически переходные процессы – это процессы перехода от **энергетического состояния**, соответствующего докоммутационному режиму, к **энергетическому состоянию**, соответствующему послекоммутационному режиму.

3.4.003. С **энергетической точки зрения** возникновение переходных процессов и законы коммутации объясняются **невозможностью скачкообразного изменения запасенной энергии**.

Действительно, скачкообразное изменение энергии требует