

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

1.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Электрическое поле (статическое) — поле неподвижных, электрически заряженных тел, заряды которых не изменяются во времени.

Электрическое поле обнаруживается как силовое взаимодействие заряженных тел. При этом различают положительные и отрицательные заряды. Заряды одного знака отталкиваются друг от друга, разного знака притягиваются.

В основе описания свойств электрического поля лежит закон Кулона, установленный опытным путем.

Закон Кулона. *Между покоящимися точечными зарядами действует сила, пропорциональная произведению зарядов, обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними и направленная по прямой от одного заряда к другому* (рис. 1.1):

$$\mathbf{F}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_{21}^0 = -\mathbf{F}_2, \quad (1.1)$$

где \mathbf{F}_1 — сила, действующая на заряд q_1 ; r — расстояние между зарядами q_1 и q_2 ; \mathbf{F}_2 — сила, действующая на заряд q_2 ; \mathbf{r}_{21}^0 — единичный вектор, направленный от второго заряда к первому; $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

Точечными зарядами можно считать заряженные тела, размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними.

Основная единица измерения силы в международной системе единиц

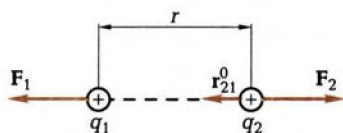


Рис. 1.1

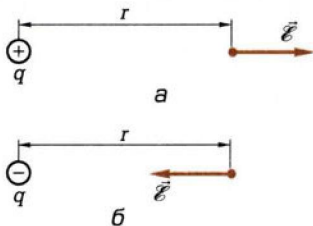


Рис. 1.2

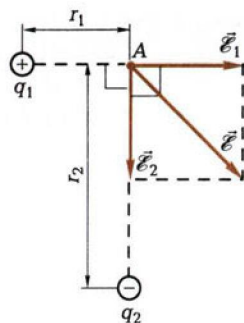


Рис. 1.3

(СИ) — ньютон (Н); заряда — кулон (Кл): 1 Кл = 1 А · с; длины — метр (м).

Основными величинами, характеризующими электрическое поле, являются напряженность, электрический потенциал и разность потенциалов, или напряжение.

Напряженностью электрического поля называется мера интенсивности его сил, равная отношению силы F , действующей на пробный положительный точечный заряд q_0 , вносимый в рассматриваемую точку поля, к значению заряда

$$\vec{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0}. \quad (1.2)$$

Так же как и сила F , напряженность электрического поля \vec{E} — векторная величина, т. е. характеризуется значением и направлением действия.

Основная единица измерения напряженности электрического поля в СИ — *вольт на метр* (В/м).

Из формулы (1.1) следует, что напряженность электрического поля точечного заряда q на расстоянии r от него равна

$$E = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{|q|}{4\pi r^2} \quad (1.3)$$

и направлена от точки расположения заряда к точке, где определяется напряженность, если заряд положительный (рис. 1.2, а), и в противоположную сторону, если заряд отрицательный (рис. 1.2, б).

Если зарядов, создающих электрическое поле, несколько, то напряженность в любой точке поля равна сумме напряженностей от каждого из них в отдельности.

Пример 1.1. Определить значение и направление действия напряженности электрического поля в точке A , расположенной на расстояниях $r_1 = 1$ м и $r_2 = 2$ м от точечных зарядов $q_1 = 1,11 \cdot 10^{-10}$ Кл и $q_2 = -4,44 \cdot 10^{-10}$ Кл (рис. 1.3).

Решение. По формуле (1.3) определяем напряженности электрического поля в точке A от действия точечных зарядов q_1 и q_2

$$\mathcal{E}_1 = \frac{1,11 \cdot 10^{-10}}{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 1^2} \approx 1 \text{ В/м};$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{4,44 \cdot 10^{-10}}{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 2^2} \approx 1 \text{ В/м}.$$

Направления векторов напряженности $\vec{\mathcal{E}}_1$ и $\vec{\mathcal{E}}_2$ совпадают с направлениями действия сил на пробный положительный точечный заряд, если его расположить в точке A .

Напряженность $\vec{\mathcal{E}}$ результирующего электрического поля в точке A направлена вдоль гипотенузы прямоугольного треугольника, катетами которого являются векторы напряженностей $\vec{\mathcal{E}}_1$ и $\vec{\mathcal{E}}_2$, и имеет значение

$$\mathcal{E} = \sqrt{\mathcal{E}_1^2 + \mathcal{E}_2^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} \text{ В/м}.$$

Можно говорить о поле вектора $\vec{\mathcal{E}}$ и изображать это поле линиями вектора — силовыми линиями. Если напряженность электрического поля во всех точках одинакова, то поле *однородное*, например поле равномерно заряженной плоской пластины бесконечных размеров (рис. 1.4), а если различна, то поле неоднородно, например поле двух точечных зарядов (рис. 1.5).

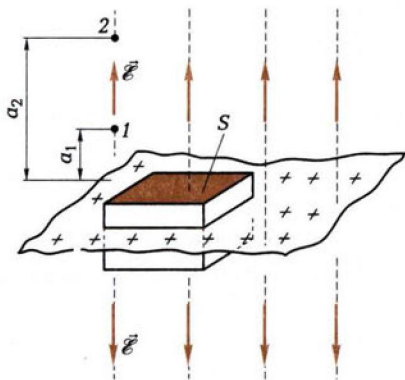


Рис. 1.4

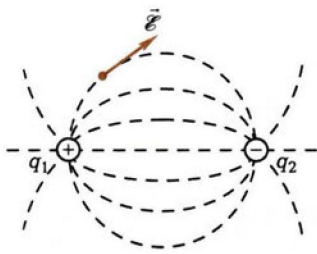


Рис. 1.5

При перемещении вдоль произвольного участка длиной l заряда q в электрическом поле под действием сил поля \mathbf{F} совершается работа

$$A = \int_l \mathbf{F} d\mathbf{l} = q \int_l \vec{\mathcal{E}} d\mathbf{l}. \quad (1.4)$$

При этом работа по переносу заряда вдоль произвольного замкнутого контура равна нулю. Действительно, так как все свойства поля определяются относительным расположением зарядов, то перенос заряда по замкнутому контуру и возвращению в исходную точку означает первоначальное распределение зарядов и запас энергии. Это означает также, что с учетом (1.4) циркуляция вектора напряженности равна нулю

$$\oint \vec{\mathcal{E}} d\mathbf{l} = 0. \quad (1.5)$$

Условие (1.5) позволяет характеризовать электрическое поле в каждой точке функцией ее координат — электрическим потенциалом.

Электрический потенциал в данной точке электрического поля

$$V = \int_l \vec{\mathcal{E}} d\mathbf{l} \quad (1.6)$$

с учетом (1.4) численно равен работе, которую могут совершить силы электрического поля при переносе единичного положительного заряда из данной точки в точку, потенциал которой принят равным нулю.

Разность потенциалов двух точек 1 и 2, или *напряжение* между точками 1 и 2, электрического поля

$$V_1 - V_2 = U_{12} \quad (1.7)$$

численно равна работе, которую могут совершить силы электрического поля при переносе единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2.

Единица измерения электрического потенциала в СИ — *вольт* (В).

1.2. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ

Проводниками называются вещества, содержащие заряды, которые могут в них свободно перемещаться (*свободные заряды*). К таким веществам относятся, например, металлы (см. табл. 2.1),

содержащие свободные электроны, и электролиты, содержащие свободные положительно и отрицательно заряженные ионы.

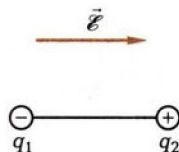


Рис. 1.6

Диэлектриками называются вещества, в которых свободные заряды отсутствуют. Однако внутри своих электрически нейтральных молекул они содержат *связанные* между собой положительные и отрицательные заряды. К таким веществам относятся, например, эбонит, гетинакс, асбоцемент и т.д. (см. табл. 1.1).

При наличии проводников и диэлектриков электрическое поле существует в том же вакууме, как если бы проводники и диэлектрики отсутствовали, а их влияние на электрическое поле сводится к появлению дополнительных зарядов, переместившихся в этих веществах под действием электрического поля и в свою очередь создающих электрическое поле.

В проводниках свободные заряды под действием статического электрического поля свободно перемещаются, располагаясь на поверхности проводников. Статическое электрическое поле в проводниках существовать не может, так как в противном случае было бы перемещение свободных зарядов.

В диэлектриках под действием электрического поля происходит упругое смещение — *поляризация* — внутри молекул связанных зарядов (рис. 1.6, положительных зарядов — по направлению поля, отрицательных — в обратном направлении).

Закон Гаусса. Сумма всех свободных и связанных зарядов, заключенных в объеме, ограниченном замкнутой поверхностью S , пропорциональна потоку вектора напряженности электрического поля через эту поверхность:

$$\oint \vec{E} \, d\mathbf{s} = \frac{\sum q_{\text{св}} + \sum q_{\text{связ}}}{\epsilon_0} = \frac{\sum q_{\text{св}}}{\epsilon_r \epsilon_0}, \quad (1.8)$$

где ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика (безразмерная величина). Для вакуума $\epsilon_r = 1$.

Произведение относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r на электрическую постоянную ϵ_0 называется *абсолютной диэлектрической проницаемостью*:

$$\epsilon_a = \epsilon_r \epsilon_0.$$

Пример 1.2. Определить напряженность однородного электрического поля равномерно заряженной пластины с плотностью заряда $\delta = 10^{-10}$ Кл/м² и разность потенциалов между точками 1 и

2, расположенными на расстояниях $a_1 = 1$ м и $a_2 = 3,5$ м от заряженной пластины вдоль силовой линии поля (см. рис. 1.4).

Решение. По теореме Гаусса (1.8) поток вектора напряженности электрического поля через поверхность куба с площадью грани S равен

$$\mathcal{E} \cdot 2S = \delta S / \epsilon_0, \text{ откуда}$$

$$\mathcal{E} = \frac{\delta}{2\epsilon_0} = \frac{10^{-10}}{2 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} \approx 5,5 \text{ В/м.}$$

Разность потенциалов между точками 1 и 2 по формулам (1.6) и (1.7) равна

$$V_1 - V_2 = \mathcal{E}(a_2 - a_1) = 5,5(3,5 - 1) = 13,75 \text{ В.}$$

1.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ, КОНДЕНСАТОРЫ И ЕМКОСТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Конденсатором называется устройство, служащее для накопления зарядов.

На рис. 1.7, а изображен простейший плоский конденсатор с двумя параллельными обкладками каждая площадью S , которые находятся в вакууме на расстоянии d друг от друга. Если между верхней и нижней обкладками конденсатора приложить напряжение $u_{ab} > 0$, то на верхней и нижней обкладках конденсатора накопятся одинаковые положительный и отрицательный *свободные* заряды $\pm q_{св} = \pm q$.

Накопленный в конденсаторе заряд q пропорционален приложенному напряжению $u_{ab} = u_C$:

$$q = C u_{ab} = C u_C, \quad (1.9)$$

где коэффициент пропорциональности C называется *электрической емкостью* (емкостью) конденсатора.

Единица измерения емкости в СИ — *фарад* (Ф): $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В} = 1 \text{ А} \cdot \text{с/В}$.

Между обкладками плоского конденсатора электрическое поле будет однородным (если не учитывать краевого эффекта) с напряженностью (см. пример 1.2)

* Здесь и далее электрические величины, зависящие от времени, будем называть *мгновенными значениями* и обозначать строчными буквами: напряжение u , ток i , ЭДС e и т.д.

$$\mathcal{E} = u_{ab}/d = q/\epsilon_0 S. \quad (1.10)$$

Сравнив соотношения (1.9) и (1.10), получим выражение для емкости плоского вакуумного конденсатора:

$$C = \epsilon_0 S/d.$$

Для увеличения емкости плоского конденсатора пространство между его обкладками заполняют диэлектриком (рис. 1.7, б).

Под действием электрического поля хаотически ориентированные в пространстве дипольные молекулы диэлектрика приобретают преимущественное направление ориентации. При этом внутри однородного диэлектрика положительные и отрицательные заряды дипольных молекул компенсируют друг друга (на рис. 1.7, б отмечено штриховой линией), а на границах с обкладками плоского конденсатора остаются некомпенсированные слои *связанных зарядов* $q_{\text{связ}}$. На границе с обкладкой, заряженной положительно (отрицательно), располагается слой отрицательных (положительных) связанных зарядов. При наличии связанных зарядов напряженность электрического поля внутри конденсатора:

$$\mathcal{E} = u_{ab}/d = (q - q_{\text{связ}})/(\epsilon_0 S).$$

Отсюда следует, что при той же напряженности электрического поля, а следовательно, и напряжении $u_{ab} = u_C$ заряд q должен быть больше. Поэтому увеличится, как следует из (1.8) и (1.9), емкость плоского конденсатора по сравнению с емкостью такого же вакуумного конденсатора:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 S/d. \quad (1.11)$$

В табл. 1.1 приведены значения параметров некоторых диэлектриков; в табл. 1.2 — условные графические обозначения конден-

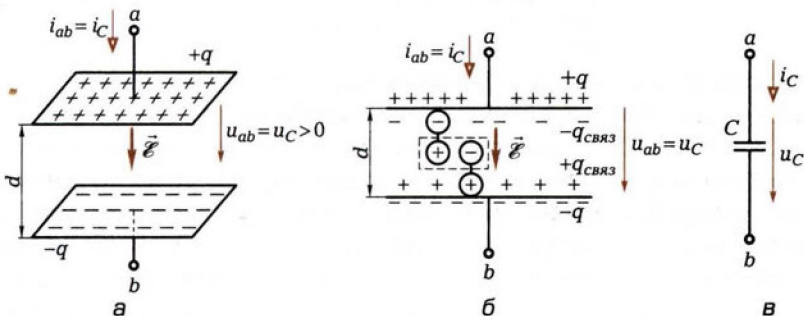


Рис. 1.7

Таблица 1.1. Диэлектрическая проницаемость (относительная), электрическая прочность и удельное объемное сопротивление некоторых материалов

Вещество	ϵ_r	$E_{пр}$, МВ/м*	ρ_v , Ом · м
Трансформаторное масло	2,1—2,4	15—20	10^{12} — 10^{13}
Совол	4,8—5,0	14—18	10^{11} — 10^{13}
Вазелин	2,2—2,6	20—25	$5 \cdot 10^{12}$ — 10^{13}
Полиэтилен	2,2—2,4	35—60	10^{13} — 10^{15}
Лавсан	3,0—3,5	80—120	10^{14} — 10^{16}
Поливинилхлорид (пластикаты)	6,0—8,0	6—15	10^{10} — 10^{12}
Парафин	2,0—2,2	22—32	10^{14} — 10^{16}
Эбонит	3,0—3,5	15—20	10^{12} — 10^{14}
Гетинакс	6—8	20—40	10^9 — 10^{11}
Слюда (мусковит)	6,5—7,2	98—175	10^{12} — 10^{13}
Мрамор	8—9	1—4	10^7 — 10^8
Шифер	6—8	0,5—1,5	10^6 — 10^7
Асбестоцемент	6—8	2—3	10^6 — 10^7

* Электрическая прочность всех материалов указана для действующего значения синусоидального напряжения (см. подразд. 4.4).

саторов; в табл. 1.3 — характеристики некоторых типов конденсаторов на основе различных диэлектриков.

Очень большой емкостью обладают *электролитические* конденсаторы (до 15 000 мкФ), в которых используется, например, тонкая оксидная пленка алюминия. Оксидная пленка является диэлектриком только при одном направлении напряженности электрического поля. По этой причине электролитические конденсаторы пригодны только при одной полярности приложенного к ним относительно невысокого напряжения (5—450 В).

Таблица 1.2. Условные графические обозначения конденсаторов





Наименование конденсатора	Условное обозначение
Постоянной емкости	
Электролитический	
Переменной емкости	
Саморегулирующийся нелинейно, например в зависимости от параметра P	

Таблица 1.3. Характеристики некоторых типов конденсаторов

Тип конденсатора	Емкость, мкФ	Максимальное рабочее напряжение, В	Максимальная температура, °С	Сопротивление изоляции, МОм
Слюдяной	$10^{-6}—10^{-1}$	50	150	10^5
Бумажный	$5 \cdot 10^{-4}—50$	10^6	125	10^2
Полистирольный	$5 \cdot 10^{-5}—10$	10^3	85	10^4
Керамический	$10^{-6}—2,2$	$6 \cdot 10^3$	125	10^3
Стекланный	$10^{-5}—0,15$	$6 \cdot 10^3$	125	10^5

Так как электрическое поле всегда существует между различными деталями электротехнических устройств, находящихся под напряжением, между ними есть электрическая емкость.

Линейный емкостный элемент является составляющей схемы замещения любой части электротехнического устройства, в которой значение заряда пропорционально напряжению. Его параметром служит емкость $C = \text{const}$.

Если зависимость заряда от напряжения нелинейная, то схема замещения содержит *нелинейный емкостный элемент*, который задается нелинейной *кулон-вольтной характеристикой* $q(u_C)$. Его емкость зависит от значения приложенного к нему напряжения $C(u_C) = q(u_C)/u_C$.

На рис. 1.8 приведены кулон-вольтовые характеристики линейного (линия *a*) и нелинейного (линия *b*) емкостных элементов, а также их условные обозначения на схемах замещения.

Если напряжение, приложенное к емкостному элементу, изменяется (увеличивается или уменьшается), то изменяется и заряд, т.е. в емкостном элементе есть ток. Положительное направление тока в емкостном элементе выберем совпадающим с положительным направлением приложенного к нему напряжения (см. рис. 1.7,в). По определению ток равен скорости изменения заряда:

$$i_{ab} = i_C = dq/dt. \quad (1.12)$$

В линейном емкостном элементе с учетом (1.9) ток равен

$$i_C = Cdu_C/dt. \quad (1.13)$$

Если за время t_1 напряжение на емкостном элементе изменится от нуля до u_{C1} , то в электрическом поле элемента будет накоплена энергия

$$W_{э\lambda} = \int_0^{t_1} i_C u_C dt,$$

или с учетом (1.12)

$$W_{э\lambda} = \int_0^{q_1} u_C dq = \int_0^{u_{C1}} u_C C(u_C) du_C, \quad (1.14)$$

где q_1 — значение свободного заряда при напряжении $u_C = u_{C1}$.

Энергия электрического поля емкостного элемента при напряжении u_C (см. формулу (1.14)) пропорциональна соответствующей площади, заключенной между кулон-вольтовой характеристикой и осью ординат (см. рис. 1.8, где заштрихована площадь, пропорциональная энергии электрического поля нелинейного емкостного элемента при напряжении u_{C1}).

Энергия электрического поля линейного емкостного элемента при напряжении u_C из (1.14) с учетом (1.9) равна

$$W_{э\lambda} = Cu_C^2/2 = qu_C/2. \quad (1.15)$$

Емкостные элементы можно рассматривать в качестве аккумуляторов энергии.

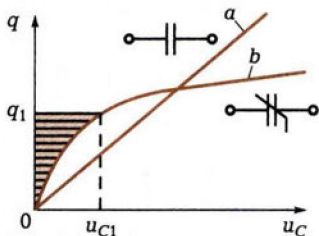


Рис. 1.8

1.4. СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Возможны параллельное и последовательное соединения конденсаторов.

При *параллельном* соединении (рис. 1.9) все конденсаторы находятся под одним напряжением U , а заряд, который они получают от источника энергии, равен сумме зарядов отдельных конденсаторов

$$q = \sum_{k=1}^n q_k,$$

где n — число конденсаторов; k — порядковый номер конденсатора.

Следовательно, общая емкость параллельно соединенных конденсаторов по (1.9)

$$C = \frac{\sum_{k=1}^n q_k}{U} = \sum_{k=1}^n C_k$$

равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.

При *последовательном* соединении конденсаторов (рис. 1.10) общее напряжение равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах

$$U = \sum_{k=1}^n U_k,$$

где n — число конденсаторов; k — порядковый номер конденсатора.

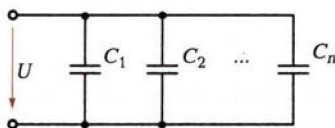


Рис. 1.9

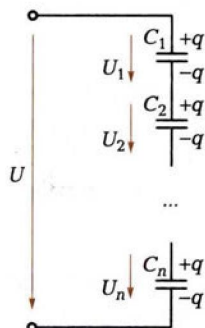


Рис. 1.10

Но заряд от источника энергии получают лишь внешние электроды двух крайних конденсаторов. На остальных попарно электрически соединенных электродах заряды создаются переносом положительного заряда на один электрод и отрицательного — на второй, которые равны между собой. Таким образом, при последовательном соединении конденсаторов их заряды одинаковы. Так как заряд конденсатора равен произведению его емкости на приложенное к нему напряжение

$$q = U_1 C_1 = U_2 C_2 = \dots = U_n C_n,$$

то напряжения на конденсаторах равны

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; U_2 = \frac{q}{C_2}; \dots U_n = \frac{q}{C_n},$$

а общая емкость последовательно соединенных конденсаторов —

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{U_1 + U_2 + \dots + U_n} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}.$$

Если последовательно соединены n одинаковых конденсаторов каждой емкостью C_0 , то их общая емкость будет равна

$$C = \frac{C_0}{n}.$$

1.5. ЗАРЯДКА И РАЗРЯДКА КОНДЕНСАТОРА

Чтобы изменить скачком энергию конденсатора, необходим источник бесконечной мощности

$$P = \frac{\Delta W_{эл}}{\Delta t} \Big|_{\Delta t \rightarrow 0} = \infty,$$

что невозможно. Поэтому при зарядке и разрядке конденсатора его энергия, а следовательно, и напряжение на нем u_C не могут изменяться скачком. Это условие называется *законом коммутации* и записывается в виде

$$u_C(t_-) = u_C(t_+), \quad (1.16)$$

где t_- и t_+ — моменты времени, непосредственно предшествующий моменту времени t и непосредственно следующий за моментом времени t , в который начинается зарядка или разрядка конденсатора.

Зарядка конденсатора. Рассмотрим процесс зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения $E = U$ (см. подразд. 2.7) через резистор сопротивлением R (см. подразд. 2.4) при замыкании в момент времени $t = 0$ ключа K (рис. 1.11, а).

Напряжение источника равно сумме напряжений на резисторе и конденсаторе

$$U = u_R + u_C,$$

или с учетом (2.1) и (1.13)

$$U = RC \frac{du_C}{dt} + u_C. \quad (1.17)$$

Разделим переменные в (1.17)

$$\frac{dt}{RC} = \frac{du_C}{U - u_C} \quad (1.18)$$

и проинтегрируем (1.18)

$$\frac{1}{RC}t = -\ln(U - u_C) + \ln A, \quad (1.19)$$

где неизвестная постоянная интегрирования записана в виде $\ln A$.

Умножив обе части равенства (1.19) на (-1) и заменив разность логарифмов логарифмом частного, после потенцирования получим

$$e^{-\frac{1}{RC}t} = \frac{U - u_C}{A},$$

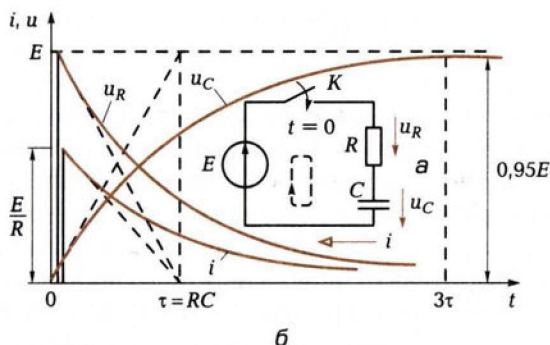


Рис. 1.11

или

$$u_C = U - Ae^{-\frac{1}{RC}t}. \quad (1.20)$$

Для определения постоянной A в (1.20) обратимся к закону коммутации для емкостного элемента (1.16). Примем, что емкостный элемент до замыкания ключа, т.е. и в момент времени $t = 0_-$, не был заряжен. Поэтому

$$u_C(0_-) = 0 = u_C(0_+) = E - A,$$

откуда

$$A = E.$$

Подставив значение постоянной A в (1.20), найдем напряжение на емкостном элементе во время его зарядки (рис. 1.11, б):

$$u_C = E(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1.21)$$

где $\tau = RC$ имеет размерность времени ($\text{Ом} \cdot \text{Ф} = \text{Ом} \cdot \text{А} \cdot \text{с}/\text{В} = \text{с}$) и называется *постоянной времени* цепи. Она определяет скорость переходного процесса.

Напряжение на емкостном элементе (1.21) определяет зависимости от времени тока зарядки и напряжения на резисторе (см. рис. 1.11, б):

$$i = C \frac{du_C}{dt} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}; \quad u_R = Ri = Ee^{-t/\tau}.$$

В первый момент после замыкания ключа $t = 0_+$ ток в цепи скачком возрастает от нуля $i(0_-) = 0$ до $i(0_+) = E/R$. При малом сопротивлении R в цепи может наблюдаться значительный скачок тока.

Процесс зарядки можно считать практически закончившимся через интервал времени 3τ , который может быть достаточно большим, что используется, например, в реле времени — устройствах, срабатывающих по истечении определенного времени.

Разрядка конденсатора. В электрическом поле заряженного емкостного элемента сосредоточена энергия (1.15), за счет которой емкостный элемент в течение некоторого времени сам может служить источником энергии. После подключения емкостного элемента, предварительно заряженного до напряжения $u_C = E$, к резистивному элементу сопротивлением R (рис. 1.12, а) ток в цепи будет обусловлен изменением заряда q емкостного элемента (1.13):

$$i = -\frac{dq}{dt} = -C \frac{du_C}{dt} = \frac{u_R}{R} = \frac{u_C}{R}, \quad (1.22)$$

где знак «минус» указывает на то, что ток i — это ток разрядки в контуре цепи, обозначенном на рисунке штриховой линией, направленный навстречу напряжению на емкостном элементе.

Разделим переменные в (1.22)

$$-\frac{dt}{RC} = \frac{du_C}{u_C} \quad (1.23)$$

и проинтегрируем (1.23)

$$-\frac{1}{RC}t = \ln u_C - \ln A, \quad (1.24)$$

где неизвестная постоянная интегрирования записана в виде $(-\ln A)$.

После потенцирования (1.24) получим

$$u_C = Ae^{-t/(RC)}. \quad (1.25)$$

Для определения постоянной A в (1.25) обратимся к закону коммутации для емкостного элемента (1.16). Так как до коммутации, т. е. в момент времени $t = 0_-$, емкостный элемент был заряжен до напряжения источника, то

$$u_C(0_-) = E = u_C(0_+) = A.$$

Подставив значение постоянной A в (1.25), получим зависимость изменения напряжения на емкостном элементе при его разрядке (рис. 1.12, б):

$$u_C = Ee^{-t/\tau}, \quad (1.26)$$

где $\tau = RC$ — постоянная времени цепи.

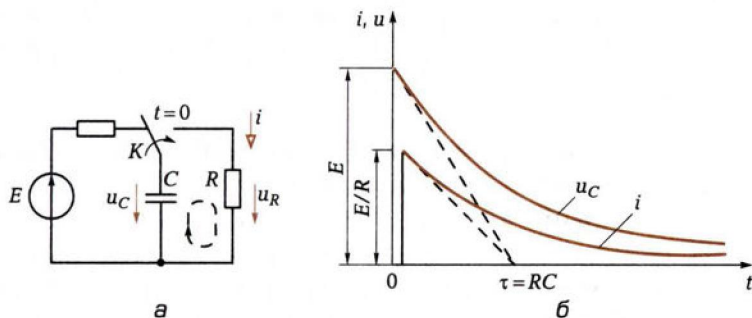


Рис. 1.12

Ток разрядки найдем по (1.22):

$$i = -C \frac{du_C}{dt} = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}.$$

Ток разрядки сначала скачком возрастает от нуля $i(0_-) = 0$ до $i(0_+) = E/R$, а затем убывает экспоненциально (см. рис. 1.12, б).

Зарядка конденсатора при малых значениях тока и больших значениях ЭДС E в цепи на рис. 1.12, а позволяет накопить в нем большую энергию, которая может использоваться при разрядке большим током в импульсных источниках.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определения электрического потенциала и разности электрических потенциалов.
2. Дайте определения линейных и нелинейных емкостных элементов.
3. Какие вещества называются проводниками и чем объясняется их хорошая электропроводность? Приведите примеры проводников.
4. Какие вещества называются диэлектриками и чем объясняется их плохая электропроводность? Приведите примеры диэлектриков.
5. Почему электролитические конденсаторы применяются только при одной полярности приложенного между его обкладками напряжения?

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Конденсатор емкостью $C = 1$ Ф, имеющий заряд $q = 1$ Кл, в момент времени $t = 0$ начинает разряжаться через резистор сопротивлением $R = 1$ Ом (см. рис. 1.12). Определите ток в резисторе в момент времени $t = 0,5$ с.
Ответ: 0,6065 А.
2. Сохранив условия задачи 1.1, определите энергию конденсатора в момент времени $t = 0,5$ с.
Ответ: 0,183 Дж.
3. Сохранив условия задачи 1.1, определите, какое количество энергии выделится в виде тепла в резисторе к моменту времени $t = 0,5$ с.
Ответ: 0,317 Дж.

4. Плоский конденсатор (см. рис. 1.7, а) состоит из двух листов фольги каждый площадью 20 см^2 , разделенных слоем парафина (см. табл. 1.1) толщиной $0,05 \text{ мм}$ с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 2,1$. Определите емкость конденсатора.

Ответ: $0,745 \text{ нФ}$.

5. Определите общую емкость двух конденсаторов, включенных параллельно, емкостью 1 мкФ каждый (см. рис. 1.9).

Ответ: 2 мкФ .

6. Определите общую емкость двух конденсаторов, включенных последовательно, емкостью 2 мкФ каждый (см. рис. 1.10).

Ответ: 1 мкФ .