

§62. КОНДЕНСАТОРЫ

Электрическая емкость (электроемкость) уединенного проводника — физическая величина, равная отношению заряда Q проводника к потенциалу φ проводника:

$$C = Q / \varphi.$$

Единица электроемкости — *фарад* (Ф). Чем больше электроемкость проводника, тем больший максимальный заряд может находиться на проводнике. Электроемкость проводника определяется его геометрическими размерами. Однако существуют способы, позволяющие увеличить максимальный заряд, который может находиться на проводнике определенного размера, и тем самым увеличить его электроемкость. При присоединении к электроскопу положительно заряженной пластины заряд распределится между ними приблизительно поровну ①. Если затем придвинуть к заряженной пластине нейтральную заземленную пластину, на ее стороне, ближайшей к положительной пластине, начинают скапливаться отрицательные заряды в результате действия сил электростатического притяжения. В то же время с отдаленной стороны пластины положительные заряды стекают на Землю, имеющую значительную электрическую емкость. Отрицательные заряды на заземленной пластине притягивают дополнительные положительные заряды к положительной пластине от электроскопа. Таким образом, введение дополнительного проводника увеличивает электроемкость системы. Увеличить электроемкость системы двух пластин можно также, вводя диэлектрик между пластинами ②: связанные заряды диэлектрика притягивают дополнительные заряды на пластины. Система заряженных проводников с равными по величине и противоположными по знаку зарядами образует *конденсатор*.

Электрическая емкость конденсатора — физическая величина, равная отношению заряда Q одного из проводников к разности потенциалов U между этим проводником и соседним:

$$C = Q / U.$$

Электроемкость плоского конденсатора (система двух плоскопараллельных пластин площадью S , находящихся на расстоянии d друг от друга, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε) рассчитывается по формуле:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S / d, \quad (1)$$

где электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 1 / (4 \pi k) = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Нм².

Для получения заданной электроемкости используют различные типы соединения конденсаторов. Для уменьшения электроемкости C используется *последовательное соединение конденсаторов* C_1, C_2 ③, эффективно увеличивающее расстояние между пластинами ④:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2};$$

$$C < \{C_1, C_2\}.$$

Параллельное соединение конденсаторов C_1, C_2 , эквивалентное увеличению площади пластин, увеличивает электроемкость системы:

$$C = C_1 + C_2.$$

Зависимость электроемкости конденсатора от расстояния между его пластинами используется в схемах кодирования клавиатуры персонального компьютера ⑤. При нажатии на клавишу электроемкость находящегося под ней конденсатора изменяется. Микросхема, подключенная к каждой клавише, при изменении электроемкости выдает кодированный сигнал, соответствующий данной букве.

§63. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Энергия электростатического поля, накопленная в конденсаторе, определяется работой, совершаемой при разделении положительных и отрицательных зарядов, сообщаемых пластинам конденсатора. Аналогично работа по растяжению упругой пружины переходит в накопленную ею потенциальную энергию. Рассчитаем потенциальную энергию W электростатического поля, накопленную плоским конденсатором, если заряды на пластинах $+Q$ и $-Q$, а разность потенциалов между ними U . Положительная и отрицательная пластины площадью S , расстояние между которыми d , притягиваются одна к другой, обладая определенной потенциальной энергией ①. Под действием сил кулоновского притяжения пластины, предоставленные сами себе, схлопнутся подобно тому, как сжимается растянутая пружина. Считая их конечную энергию равной нулю, получаем, что работа сил электростатического поля, совершаемая при схлопывании пластин, равна начальной потенциальной энергии пластин ②: $A = W$. Найдем работу по перемещению каждой пластины на расстояние в центр конденсатора:

$$A_+ = F_+ \frac{d}{2}, \quad A_- = F_- \frac{d}{2}.$$

Силы кулоновского притяжения F_+ и F_- , действующие на каждую из них, определяются напряженностью поля, созданного противоположной пластиной:

$$E_+ = E_- = \frac{1}{2} E = \frac{U}{2d}.$$

Следовательно, $F_+ = F_- = Q \frac{U}{2d}$. Тогда полная работа и потенциальная энергия сил электростатического поля

$$A = A_+ + A_- = W = \frac{QU}{2}.$$

Вводя емкость $C = Q/U$, получаем энергию электростатического поля ③, запасенную в конденсаторе:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}. \quad (1)$$

Для плоского конденсатора, емкость которого $C = \epsilon \epsilon_0 S / d$,

$$W = \frac{\epsilon \epsilon_0 S U^2}{2d}. \quad (2)$$

Концентрацию энергии электростатического поля в пространстве характеризует

объемная плотность энергии — физическая величина, равная отношению энергии электростатического поля, сосредоточенного в объеме, к этому объему:

$$w = W / V. \quad (3)$$

Единица объемной плотности — джоуль на кубический метр ($\text{Дж}/\text{м}^3$).

Для плоского конденсатора, для которого $V = Sd$, а $U = Ed$, находим объемную плотность энергии с помощью формул (2) и (3) ④:

$$w = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2. \quad (4)$$

Энергия электростатического поля, запасенная заряженным конденсатором, вызывает электрический разряд в лампе-вспышке ⑤, сопровождающийся мощным излучением. Атмосферные разряды возникают при объемной плотности энергии электростатического поля $40\text{--}50 \text{ Дж}/\text{м}^3$.