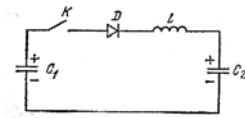


Урок №31 (02.05.2007)

Дополнительные темы: диод в цепях переменного тока; прибор Томпсона; масс-спектрометр; циклотрон.

1. Диод в цепях переменного тока

Задача 1. Конденсатор ёмкости C_1 заряжен до разности потенциалов V_0 . К нему через идеальный диод D и катушку индуктивности L подключают незаряженный конденсатор ёмкости C_2 (см. рис.) До какой разности потенциалов он зарядится после замыкания ключа K ? Индуктивность L достаточно велика, так что процесс перезарядки происходит медленно.

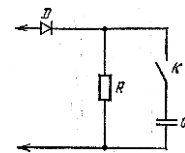


Решение. Т.к. процесс перезарядки медленный, можно пренебречь потерями на излучение (про излучение, впрочем, мы будем говорить только в следующем году). При этом, т.к. заряд у нас проходит, благодаря диоду, только в одну сторону – от C_1 к C_2 , то колебаний не возникнет: просто конденсатор C_1 несколько разрядится, а конденсатор C_2 зарядится на ту же величину. Т.е. мы можем записать закон сохранения заряда: $Q_{01} = Q_1 + Q_2$, или $C_1V_0 = C_1V_1 + C_2V_2$.

С другой стороны, тепло в системе не выделяется. Следовательно мы можем записать закон сохранения энергии в виде: $\frac{C_1V_0^2}{2} = \frac{C_1V_1^2}{2} + \frac{C_2V_2^2}{2}$. Заметим, что энергией магнитного поля на катушке индуктивности мы пренебрегаем, т.к. в момент полной зарядки конденсатора C_2 ток в схеме уже не идет и магнитное поле отсутствует.

Решая систему из получившихся двух уравнений, находим: $C_2 = 2C_1V_0 / (C_1 + C_2)$.

Задача 2. Выпрямитель с идеальным выпрямляющим элементом подключен к сети переменного тока с напряжением V и частотой f (см. рис.). Во сколько раз изменится мощность, рассеиваемая на резисторе с сопротивлением R при замыкании ключа K , если известно, что за период переменного тока конденсатор ёмкости C практически не успевает разряжаться через резистор?



Решение. При разомкнутом ключе мощность в схеме без диода равнялась бы V^2/R , поэтому с учётом того, что диод пропускает лишь половину колебания, получаем: $P_1 = V^2/2R$. При замыкании ключа конденсатор, по условию, практически не разряжается за время колебания, следовательно поддерживает на сопротивлении амплитудное значение напряжения $V\sqrt{2}$, следовательно на сопротивлении всё время выделяется мощность $P_2 = (V\sqrt{2})^2/R = 2V^2/R$. Следовательно мощность возрастает в 4 раза.

2. Прибор Томпсона

В 1897 году Томпсон пропустил катодные лучи через систему скрещенных магнитных и электрических полей. В случае, когда электрическое и магнитное поля ком-

пенсироваться, получаем: $F_B = evB$, $F_E = eE$. Следовательно, скомпенсировав эти две силы, получаем для скорости частиц $v = \frac{E}{B}$.

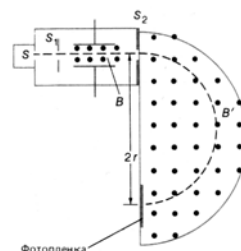
С другой стороны, если включить только магнитное поле, то $evB = \frac{mv^2}{r}$. Измерив r , B и подставив выражение для v , Томпсон сумел измерить отношение заряда электрона к его массе: $\frac{e^-}{m_e} = \frac{E}{B^2 r}$.

В 1911 году Роберт Милликен точно измерил заряд электрона, заряжая мельчайшие капли масла и уравнивая силу тяжести электрическим отталкиванием.

3. Масс-спектрометр

Исследуемые частицы образуются в источнике S , проходят селектор скоростей $S_1 - S_2$ и попадают в камеру с отклоняющим магнитным полем B' . Так как $qvB' = mv^2/r$ и $v = E/B$, то

$$m = \frac{qB'r}{v} = \frac{qBB'r}{E}$$



4. Циклотрон

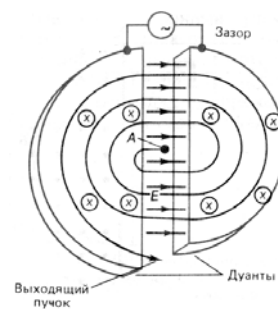
Циклотрон разработан в 1932 году Э.О.Лоуренсом в Калифорнийском университете в Беркли для ускорения заряженных элементарных частиц типа протонов и альфа-частиц (ядра гелия).

Магнитное поле циклотрона заставляет частицы двигаться по траекториям, близким к круговым. Заряженные частицы движутся внутри двух D-образных полых металлических электродов (дуантов) (см. рис.). Всякий раз, когда частицы попадают в промежуток между дуантами, к электродам прикладывается ускоряющее напряжение. Происходит увеличение скорости частиц, а следовательно, и радиуса их траектории:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

После большого числа оборотов протоны приобретают значительную кинетическую энергию и достигают периферии циклотрона. В конце концов они либо попадают на мишень, установленную внутри циклотрона, либо выводятся тщательно отъюстированным магнитом из циклотрона и направляются на внешнюю мишень.

Приложенное к дуантам ускоряющее напряжение должно быть переменным. Когда протоны движутся через промежуток вправо на рисунке, правый дуант должен быть отрицательным, а левый – положительным. Спустя полпериода протоны будут пролетать промежуток влево, и левый дуант должен быть отрицательным, чтобы ускорить их. Частота приложенного напряжения должна быть равна частоте кругового движения протонов; эта частота называется *циклотронной*.



$$T = \frac{2\pi r}{v}, \quad r = \frac{mv}{qB}, \quad \text{следовательно период обращения } T = \frac{2\pi m}{qB}, \quad \text{а циклотронная частота: } f_{\text{цикл}} = \frac{qB}{2\pi m}.$$

Важно, что циклотронная частота не зависит от радиуса орбиты, т.е. не надо менять частоту ускоряющего напряжения в процессе разгона частиц (мы же не знаем, где в данный момент пролетают частицы, следовательно это была бы большая проблема...)

Интересно, что энергия получающихся частиц не зависит от величины ускоряющего напряжения.

5. Эффект Холла

В 1879 году Холл открыл способ определить знак носителей заряда в проводнике.

Так если в проводнике движутся положительно заряженные частицы, то если поместить проводник в магнитное поле нижний край проводника приобретает положительный заряд (так как показано на рис.), а если отрицательные – нижний край приобретает отрицательный заряд.

Величина ЭДС Холла пропорциональна силе тока и магнитной индукции. Поэтому эффект Холла может быть использован для измерения магнитных полей.

