

Условие

Задача 3. Электростатический генератор.

Электростатический генератор – это устройство, в котором высокое постоянное напряжение создаётся при помощи механического переноса заряда.

В этой задаче мы предлагаем рассмотреть устройство достаточно простого генератора. Основной элемент генератора изображён на рисунке 1 (вид сбоку и сверху). Четыре горизонтальные металлические пластины (четверть круга) прикреплены к диэлектрическому стержню и образуют два отдельных конденсатора. Радиус круга равен R , расстояние между пластинами d ($d \ll R$). Для работы генератора также необходима пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε , которую можно увидеть на рисунке 2. Пластина жёсткокреплена. Толщина пластины также равна d . Кроме того есть источник постоянного напряжения U_1 и конденсатор большой ёмкости C_B (на рисунке не изображены), на котором нужно получить большую разность потенциалов.

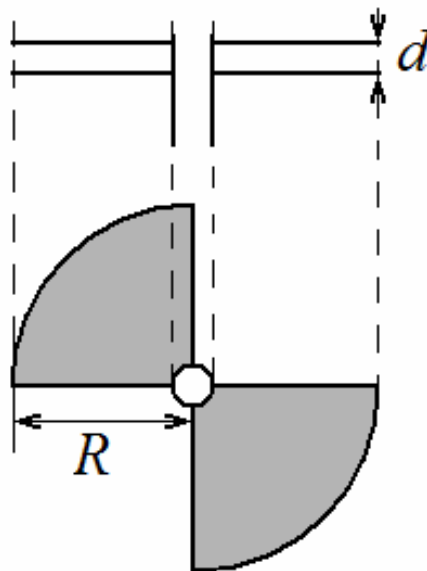
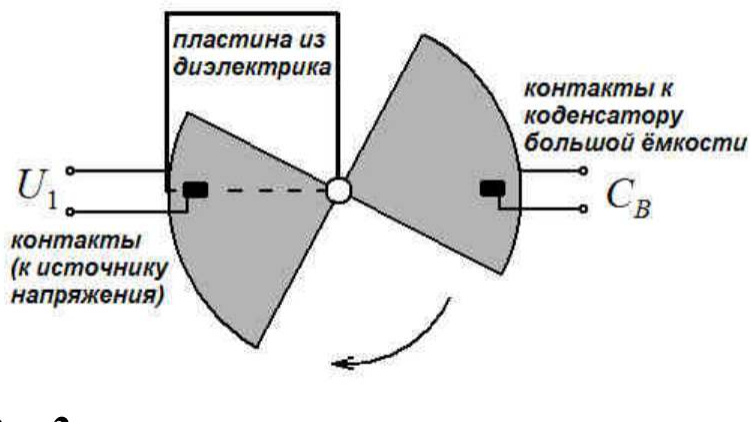


Рис.1



Работает генератор следующим образом. Двигатель вращает стержень с пластинами. В некоторый момент времени, пластины одного из конденсаторов начинают захватывать диэлектрик, и, в тот же самый момент, пластины соединяются с источником напряжения, начинается зарядка этого

Рис.2

конденсатора (контакты скользят по внешней стороне пластин). Пластины вращаются достаточно медленно, поэтому конденсатор успевает зарядиться до напряжения источника U_1 .

В момент времени, когда диэлектрическая пластина заполняет весь конденсатор, контакт с источником обрывается. Конденсатор движется дальше, и ещё через четверть оборота (как раз тогда, когда диэлектрик полностью выходит) соединяется с конденсатором C_B и передаёт ему часть своего заряда. Т.к. на стержне два конденсатора, то за один оборот стержня цикл повторяется дважды. Для определённости, мы будем следить только за одним конденсатором.

1. Пренебрегая толщиной стержня, определите ёмкость C_2 конденсатора без диэлектрика и ёмкость C_1 , в случае полного заполнения диэлектриком. Далее считайте эти величины известными.
2. Определите величину заряда на пластине конденсатора, в тот момент, когда он полностью заполнен диэлектриком.
3. Изначально конденсатор большой ёмкости не заряжен. Каким станет разность потенциалов U_B , после первого соприкосновения с заряженными пластинами.
4. Покажите, что в случае $C_B \gg C_2$, пластины передадут конденсатору практически весь заряд.
5. Стержень вращается равномерно с периодом T . Считая, что равновесное распределение зарядов устанавливается очень быстро, нарисуйте приблизительные графики зависимости величины заряда на одной из пластин и разности потенциалов между пластинами от времени в течение первого полного оборота стержня ($q(t)$ и $U(t)$). Определите значения заряда и разности потенциалов в характерных точках. Отсчёт времени начните с момента касания пластинами источника напряжения. Высоковольтный конденсатор изначально не заряжен.

Примечание. «Приблизительный» график – график отражающий суть процесса, без точного построения кривых и без соблюдения масштаба, с отмеченными характерными точками. «Характерные точки» - точки, в которых существенно изменяется ход процесса.

6. Изобразите приблизительный график зависимости от времени энергии, накопленной в рассматриваемом конденсаторе, в течение первого полупериода движения. Определите значения энергии в характерных точках.
7. Нарисуйте приблизительный график зависимости от времени мощности, развиваемой двигателем, который вращает ось в течение первого полупериода движения. Определите мощность двигателя в первой четверти периода $P_{1/4}$.
8. Определите максимальную мощность $P_{\max}$, развиваемую двигателем. Найдите также отношение $P_{\max}/P_{1/4}$, выразите его через диэлектрическую проницаемость ε .
9. До какой максимальной разности потенциалов $U_{\max 1}$ можно зарядить конденсатор C_B ?

Для достижения больших разностей потенциалов, генератор можно составить из нескольких основных элементов, вращающихся синхронно (рис. 3).

10. Пусть в системе N элементов. Последний соединён с конденсатором C_B . Опишите кратко принцип увеличения напряжения в этой системе. Определите, каким будет максимальное напряжение $U_{\max N}$ на конденсаторе C_B в этом случае?

