

Отчет о выполнении лабораторной работы №2.

Генератор Ван де Граафа.

Блуменау М. И., 23.09.2020

Оглавление

Аннотация.....	1
Теоретические сведения.....	1
Оборудование и инструментальные погрешности.....	1
Описание установки.....	2
Результаты измерений и обработка данных.....	2
Рассмотрение генератора Ван де Граафа как генератор электромагнитных импульсов.....	4
Погрешности.....	4
Вывод.....	5

Аннотация

В работе изучается работа генератора. По итогам опыта вычисляется напряжение пробоя воздуха и напряжение генератора Ван де Граафа. Используется следующий метод: при помощи источника постоянного тока на генератор подаётся различное напряжение, что приводит к разной скорости вращения его электродвигателя.

Теоретические сведения

Путём измерения тока в зависимости от напряжения источника, а после и периода возникновения разрядов можно вычислить напряжение пробоя воздуха по формуле

$$E_{пр} = \frac{IT}{DC}, \text{ зная ёмкость большей сферы. [1]}$$

Оборудование и инструментальные погрешности

Линейка: $\Delta_{лин} = 1 \text{ мм}$

Мультиметр: $\Delta_{мульт} = 0.05 \text{ мкА}$

Осциллограф: $\Delta_T = 7.5 \text{ мкс}$

Описание установки



Рисунок 1: Фотография установки

Можно заметить диэлектрическую ленту, металлический шар и источник напряжения. При помощи электродвигателя лента приводится в движение и трется о щётки, благодаря чему и возникает заряд.

Результаты измерений и обработка данных

Подключим к сфере мультиметр (при помощи отверстия в ней), с помощью которого будем измерять силу тока. При изменении напряжения на источнике будет меняться частота вращения электродвигателя и заряд на сфере, равно как и сила тока. Попробуем описать это полиномом и построим график:

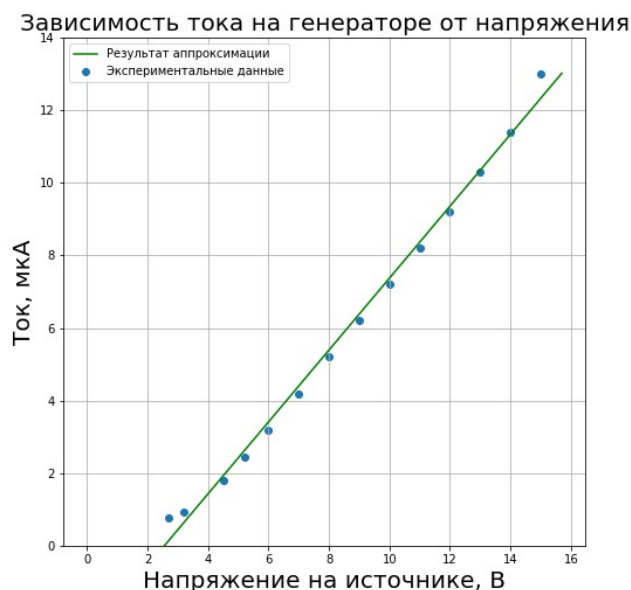


Иллюстрация 1: График зависимости тока от напряжения

Как легко можно заметить, зависимость силы тока от напряжения близка к линейной. Приведу уравнение, описывающее данную прямую (коэффициенты получены методом polyfit):

$$I(V)=(0.99V-2.53)\cdot 10^{-6}$$

Поднесем к генератору проводящую сферу меньшего размера (заземлённую). С помощью осциллографа найдём период искрового заряда (далее - T) в зависимости от расстояния между сферами D и напряжением на электродвигателе генератора U. Расположим щуп осциллографа поблизости, и тогда период наводок будет совпадать с периодом пробоя воздуха с высокой точностью. Данные экспериментов отображены в табличке:

D, см	U, В	T, мс
1.0	8.0	100
1.0	11.0	60
2.0	10.1	150
2.0	13.0	100
3.0	16.0	150
3.0	18.0	100

Вычислим ёмкость большей сферы (пренебрегая ёмкостью меньшей), радиус которой равен 12.5 см:

$$C=4\pi\epsilon_0r=13.9\text{ нФ}$$

Теперь можно вычислить значение напряженности пробоя воздуха (для каждого опыта по

формуле $E_{np}=\frac{IT}{DC}$)

№ опыта	Значение напряженности пробоя, В/м
1	$38.8 \cdot 10^5$
2	$36.1 \cdot 10^5$
3	$40.4 \cdot 10^5$
4	$37.2 \cdot 10^5$
5	$47.9 \cdot 10^5$
6	$36.7 \cdot 10^5$

Рассмотрение генератора Ван де Граафа как генератор электромагнитных импульсов

Рассмотрим генератор Ван де Граафа в качестве генератора электромагнитных импульсов.

Для этого можно предположить, что принцип его работы схож с газоразрядной лампой (в самом деле, оба устройства создают разряд в газе, разница лишь в его составе).

Для этого понадобится расстояние между сферами D , ёмкость сферы C и напряжение разряда U . Со временем заряд q постепенно поступает на генератор и постепенно возникает потенциал между сферами и поток вектора напряженности эл. поля (По теореме Гаусса:

$\Phi = \oint E dS$). Через время потока напряженности хватает для ионизации воздуха, что

позволяет возникнуть току I_1 (или $\frac{dq}{dt}$) между сферами. Тем не менее, электроны

движутся в некотором смысле беспорядочно, что вызывает изменение потока и радиальное

ЭМ поле. Пока генератор заряжается, это поле изменяется только из-за $I_2 = \frac{\epsilon_0 \cdot d\Phi}{dt}$. Как

можно заметить, оба тока линейно зависят от q . Первый очевидно, второй:

$$I_2 = \epsilon_0 \frac{d}{dt} \oint E(t) \cdot dS$$

$$E(t) = U(t)/D$$

$$U(t) = q(t)/C$$

По закону Ампера:

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \left(\epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi + \frac{d}{dt} q \right)$$

$$B(r, t) = \frac{\mu_0 (I_2(t) + I_1(t))}{2\pi r}$$

Вспомнив $c = E/B$, получим

$$E(r, I(t)) = c \frac{\mu_0 (I_2(t) + I_1(t))}{2\pi r}$$

Таким образом, зная два тока можно вычислить ЭМ поле. В отличие от газоразрядных ламп, дуга генератора Ван де Граафа подвержена воздействию пыли, влажности и прочего, из-за чего эл. поле будет различным.

Погрешности

Для расчёта относительной погрешности бралось среднее значение того или иного параметра.

$$\Delta_{\text{Сотн}} = \frac{\Delta_{\text{лин}}}{r}$$

$$\Delta_{\text{Еотн}} = \sqrt{\Delta_{\text{Сотн}}^2 + \Delta_{\text{мультотн}}^2 + \Delta_{\text{Тотн}}^2} = 7.1 \%$$

Вывод

Благодаря полученным данным можно найти значение напряженности пробоя воздуха в среднем: $E_{\text{пр}} = (39.5 \pm 2.8) \cdot 10^5 \text{ В/м}$. Его можно сравнить с табличным значением, которое с учетом поправочного коэффициента равно $30.9 \cdot 10^5 \text{ В/м}$ (при температуре 23.3 градуса Цельсия и давлении 752.35 мм рт. ст.), что несколько меньше полученного значения. Причин этому достаточно много: загрязнённость шара (из-за чего заряд утекает с неё), неустойчивое положение меньшей сферы (из-за взаимодействия с генератором) и так далее. Необходимо также заметить, что значение погрешности не является точным, так как радиус сферы и расстояние между сферами, в частности, измерялись отрезком ленты.

Библиография

1: Неизвестен, Ван де Грааф 2020, 2020