

**Специализированный учебно-научный центр -  
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,  
Школа имени А.Н. Колмогорова  
Кафедра физики**

---

Общий физический практикум

Лабораторная работа №3.14

**Генератор релаксационных колебаний**

Составитель Т.П. Корнеева

2011 г.

# Генератор релаксационных колебаний

## *Цель работы:*

1. Ознакомление с работой релаксационного генератора на основе неоновой лампы.
2. Теоретический расчет и экспериментальное определение периода релаксационных колебаний.

## *Приборы и оборудование:*

- 1) Панель, на которой расположены:  
резисторы, конденсаторы, вольтметр, неоновая лампа.
- 2) Источник регулируемого постоянного напряжения.
- 3) Осциллограф.

## Устройство и принцип работы генератора релаксационных колебаний.

### *Электрические релаксационные колебания.*

Во многих колебательных системах в процессе колебаний происходит периодическое превращение энергии одного вида в другой вид. При механических колебаниях потенциальная энергия системы постепенно переходит в кинетическую энергию, а затем происходит обратный процесс. В колебательном контуре происходит взаимное превращение энергии электрического поля и энергии магнитного поля. Говорят, что такие колебательные системы содержат два накопителя энергии. В отсутствие потерь такие колебательные системы могут работать неограниченно долго.

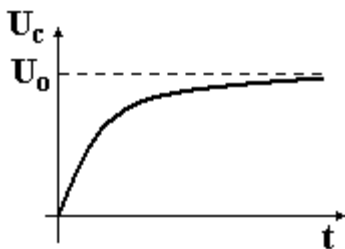
Возможны, однако, колебательные системы, имеющие только один накопитель энергии. В этом случае колебания могут осуществляться только при наличии источника

энергии. Рассмотрим, например, ситуацию, когда заряженный конденсатор разряжается через резистор. Процесс разрядки конденсатора представляет собой аperiodический процесс. Можно сделать этот процесс повторяющимся, если заряжать конденсатор через определенные промежутки времени. Тогда в системе, содержащей конденсатор и резистор, возникнут колебания, являющиеся совокупностью двух аperiodических процессов – процесса зарядки конденсатора и процесса его разрядки. Такие колебания называются релаксационными.

Математически процесс зарядки конденсатора емкостью  $C$  от источника с напряжением  $U_0$  через резистор с сопротивлением  $R_1$  описывается следующей зависимостью напряжения на конденсаторе от времени:

$$U_C(t) = U_0[1 - \exp(-t/R_1C)]. \quad (1)$$

На рисунке 1 эта зависимость представлена графически.

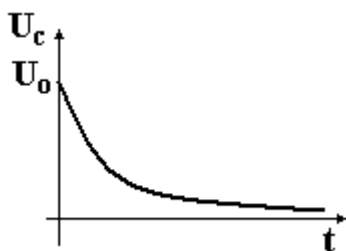


**Рис. 1**

Соответственно, при разрядке заряженного до напряжения  $U_0$  конденсатора через резистор с сопротивлением  $R_2$  напряжение на конденсаторе меняется следующим образом:

$$U_C(t) = U_0 \exp(-t/R_2C) \quad (2)$$

Графическое представление этой зависимости дано на рисунке 2.



**Рис. 2**

Заметим, что величина произведения  $RC$ , которая входит в обе эти зависимости, имеет размерность времени и определяет быстроту протекания процесса - чем меньше величина  $RC$ , тем быстрее протекает процесс.

В настоящей работе роль устройства, обеспечивающего попеременную зарядку и разрядку конденсатора, играет неоновая лампочка.

### ***Устройство и свойства неоновой лампочки***

Используемая в данной работе неоновая лампочка очень широко применялась ранее в качестве индикатора в различных устройствах. Такая лампочка представляет собой стеклянный баллон, заполненный неоном при низком давлении (10 – 15 мм рт.ст.). Внутри баллона впаяны два электрода – один в виде диска, другой в виде проволочного кольца – на расстоянии 2-3 мм друг от друга. Когда между электродами создается достаточное напряжение, в газе возникает тлеющий разряд, который сопровождается свечением красно-оранжевого цвета.

Рассмотрим механизм возникновения газового разряда при низком давлении (тлеющего разряда). Как в окружающем нас воздухе, так и в газе внутри лампочки всегда существует некоторое количество заряженных частиц. При определенной величине электрического поля между электродами заряженная частица на длине свободного пробега может набрать энергию, достаточную для ионизации молекулы газа при столкновении (для атомов неона энергия ионизации  $e_i \approx 20$  эВ). Возникающие

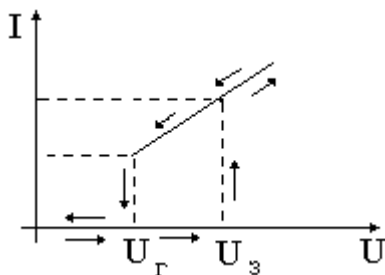
при этом электроны и ионы, в свою очередь, ускоряются электрическим полем, и процесс приобретает лавинообразный характер, обеспечивая достаточное число носителей тока. Кроме того, ускоренные электрическим полем положительные ионы бомбардируют катод (отрицательный электрод) и выбивают из него новые свободные электроны.

При этом в газовом разряде существуют и другие процессы – рекомбинация электронов и положительных ионов, а также возбуждение нейтральных молекул электронным ударом. Именно эти процессы и приводят к свечению газа.

Для того, чтобы понизить необходимую для возникновения тлеющего разряда разность потенциалов, именуемую *напряжением зажигания*, электроды лампочки покрывают специальным составом, содержащим соли лития и бария. Под действием ионных ударов такой электрод (катод) легко отдает электроны, и напряжение зажигания снижается. У небольших неоновых лампочек типа той, что применяется в данной работе, напряжение зажигания составляет 80 – 90 В.

Чтобы исследовать зависимость тока через неоновую лампочку от напряжения, подключим ее к источнику постоянного тока, и с помощью потенциометра будем менять на ней напряжение.

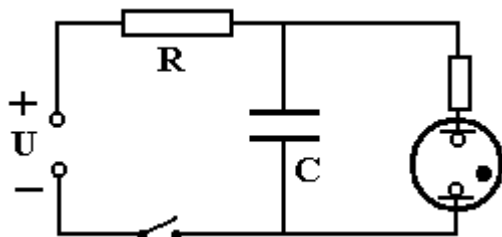
При малых значениях напряжения ток через лампочку не идет (лампа не горит). При достижении напряжения зажигания  $U_3$  в лампочке вспыхивает тлеющий разряд. При этом ток через нее увеличивается скачком до некоторого значения. При небольшом увеличении напряжения ток возрастает, а при уменьшении напряжения убывает примерно по линейному закону. При дальнейшем понижении напряжения ток скачком падает до нуля, а разряд гаснет при значении напряжения  $U_Г$ , именуемом *напряжением гашения*. На рисунке 3 дается примерный вид вольтамперной характеристики неоновой лампы.



**Рис. 3**

*Генератор релаксационных колебаний на основе неоновой лампочки.*

Рассмотрим электрическую схему, изображенную на рисунке 4.



**Рис. 4**

При замыкании ключа конденсатор начинает заряжаться через сопротивление  $R$ , и напряжение  $U_C$  на конденсаторе (и на лампе) возрастает. Как только оно достигает значения напряжения зажигания  $U_3$ , лампа загорается, т.е. через нее начинает идти ток. Во время горения лампы конденсатор разряжается через лампу и напряжение на нем падает. Когда оно достигнет значения напряжения гашения  $U_Г$ , лампа перестает проводить ток, и конденсатор вновь начинает заряжаться.

Таким образом, в установившемся режиме лампа периодически загорается и гаснет, и в генераторе устанавливаются релаксационные колебания. Зависимость от времени напряжения на конденсаторе (и на лампе) имеет в этом случае вид, показанный на рисунке 5.

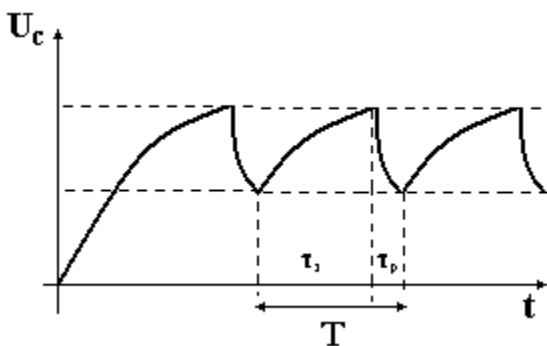


Рис. 5

Для осуществления такого режима необходимо, чтобы сопротивление резистора  $R$  было много больше сопротивления лампы при протекании через нее тока.

Рассчитаем период релаксационных колебаний.

Полное время  $T$  есть сумма времени зарядки конденсатора  $\tau_z$  и времени его разрядки  $\tau_p$ . Поскольку сопротивление  $R$  должно быть много больше сопротивления зажженной лампы, время зарядки  $\tau_z$  много больше времени разрядки  $\tau_p$  ( $\tau_z \gg \tau_p$ ). Тогда  $T \approx \tau_z$  и период релаксационных колебаний можно считать равным времени зарядки конденсатора, в течение которого напряжение на конденсаторе меняется от значения  $U_\Gamma$  до значения  $U_3$ .

Пусть напряжение на клеммах источника равно  $U$ .

В соответствии с законом Ома

$$U = IR + U_C, \quad (3)$$

а поскольку во время зарядки конденсатора

$$I = dQ/dt = C \cdot dU_C/dt,$$

для напряжения на конденсаторе получается неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка:

$$RC \cdot dU_C/dt + U_C = U \quad (4)$$

Будем отсчитывать время с момента гашения разряда:

$$U_C(0) = U_\Gamma \quad (5)$$

Решением уравнения (4) с начальным условием (5) является функция

$$U_C(t) = U - (U - U_{\Gamma}) \cdot \exp\left\{-\frac{t}{RC}\right\}. \quad (6)$$

В момент времени  $t = \tau_3 \approx T$  напряжение на конденсаторе равно напряжению зажигания  $U_C(T) = U_3$ . При этом для периода колебаний  $T$  получаем следующее значение:

$$T = RC \cdot \ln\left[\frac{U - U_{\Gamma}}{U - U_3}\right] \quad (7)$$

Полученная формула (7) может быть проверена Вами экспериментально в ходе настоящей работы.

### Экспериментальная часть

Элементы экспериментальной установки для выполнения данной лабораторной работы собраны на панели. На ней находятся:

- 1) регулируемый источник постоянного напряжения, снабженный вольтметром;
- 2) неоновая лампочка с ограничительным резистором;
- 3) набор резисторов и конденсаторов, собранных в схему, показанную на рисунке 6.

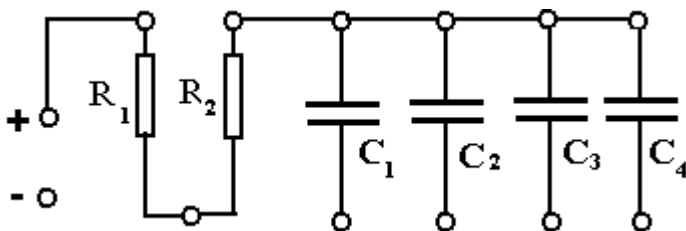


Рис. 6

#### Задание 1.

**Определение напряжения зажигания и напряжения гашения разряда для неоновой лампочки.**

1. Подключите неоновую лампу (клеммы «А» и «К») к соответствующим клеммам источника напряжения

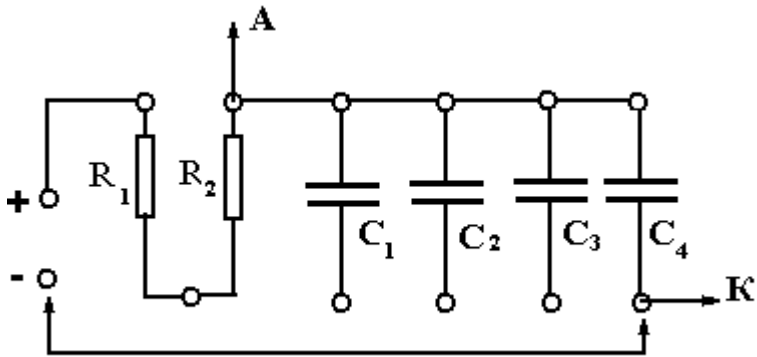


- (клеммы «+» и «-» на рис.6).
2. Убедитесь, что ручка потенциометра на источнике выведена на ноль и включите источник.
  3. Медленно увеличивая напряжение на источнике, зафиксируйте величину напряжения зажигания  $U_3$ , а затем определите напряжение, при котором разряд гаснет – напряжение гашения  $U_Г$ .
  4. Прodelайте измерения три раза и определите средние значения напряжения зажигания и гашения.

### ***Задание 2.***

#### ***Наблюдение работы релаксационного генератора и экспериментальное определение периода колебаний.***

1. Соберите схему генератора, приведенную на рис.8, используя те резисторы и конденсаторы, для которых значение  $RC$  будет максимальным. Сопротивления резисторов и емкости конденсаторов указаны на панели установки.
2. Установите на выходе источника напряжение, примерно на 20 - 25 % превышающее напряжение зажигания  $U_3$ , и убедитесь, что лампочка периодически зажигается и гаснет.
3. Определите время  $N = 50$  колебаний и найдите период колебаний.
4. Проведя измерения три раза, найдите среднее значение периода колебаний и сравните его с величиной, вычисленной по формуле (7).
5. Оцените погрешности измеренной и вычисленной величин и проанализируйте получившийся результат.



**Рис. 8**

*Соединения в схеме для выполнения задания 2.*

### **Задание 3.**

***Наблюдение релаксационных колебаний на экране осциллографа.***

1. Используемый в данной работе осциллограф позволяет легко наблюдать форму периодических процессов, если их период достаточно мал. Поэтому соберите схему релаксационного генератора, используя те резисторы и конденсаторы, которые дадут наименьшее значение  $RC$ .
2. Для согласования параметров схемы с входными параметрами осциллографа подключите генератор к осциллографу в соответствии со схемой на рис.7. В качестве конденсатора  $C_0$  можно выбрать любой из конденсаторов, оставшихся неиспользованными.

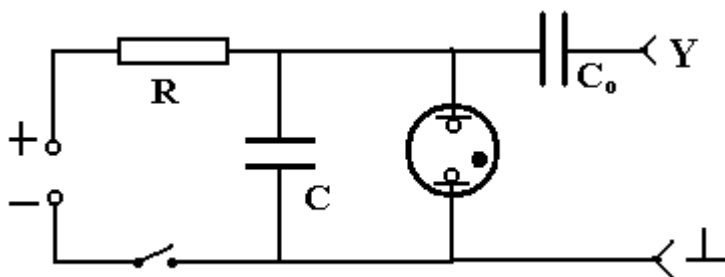


Рис. 7

Пример такого подключения показан на рис. 9

3. Получите на экране осциллографа устойчивую картинку релаксационных колебаний. Зарисуйте наблюдаемую картинку с указанием масштаба. Оцените период колебаний. Пронаблюдайте изменение периода колебаний при небольшом повышении напряжения источника.
4. Сделайте численный расчет периода колебаний по формуле (7) и сравните с результатом, полученным из наблюдений.

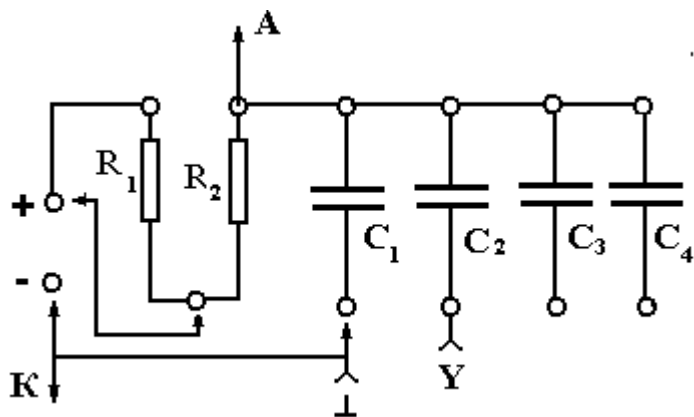


Рис. 9

Соединения в схеме для выполнения задания 3.

## Сделайте выводы о проделанной работе.

### **Вопросы для получения допуска к выполнению лабораторной работы.**

1. Сформулируйте цель работы.
2. Какие задания Вы будете выполнять в данной работе, в какой последовательности, и какие приборы будут Вами использованы для выполнения каждого из этих заданий?
3. В какой форме Вы будете представлять результаты Вашей работы?
4. Для чего Вы будете использовать осциллограф и как подготовить осциллограф к работе?

### **Вопросы к защите результатов лабораторной работы.**

1. Какие процессы называют релаксационными?
2. Что представляют собой релаксационные колебания?
3. Какие виды газовых разрядов Вы знаете?
4. Чем отличается тлеющий разряд от других видов газового разряда?
5. Назовите основные механизмы образования носителей тока в тлеющем разряде.
6. Почему возникает свечение в газовом разряде?
7. Какую роль играет неоновая лампа в генераторе релаксационных колебаний?

8. Подтвердите с помощью математических выкладок, что функция (6) действительно является решением уравнения (4) с начальным условием (5).
9. Прodelайте самостоятельно вывод формулы (7), используя выражение (6) для функции  $U_C(t)$ .
10. Как зависит период релаксационных колебаний от напряжения на входе генератора? Подтвердите эту зависимость анализом формулы (7).
11. Каким образом следует подобрать параметры изученного Вами генератора, чтобы с его помощью получить «пилообразное» напряжение?
12. Какие выводы Вы сделали из проделанной работы?

### *Рекомендуемая литература*

1. Г.Я. Мякишев, А.З. Сияков  
**«ФИЗИКА 10-11. Электродинамика»**  
«Дрофа», 2002г.
2. **Физический практикум "Электричество и оптика"** (Под ред. проф. В.И.Ивероновой) М., 1968.