

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра физики

## **ГЕНЕРАТОР РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

**Лабораторная работа № 38**

Методические указания  
к лабораторным работам по физике  
для студентов всех направлений подготовки

Казань  
2013

УДК 537.312.62:621.373.43  
ББК 32.85я7  
Ж75

Ж75 Генератор релаксационных колебаний. Лабораторная работа № 38: Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех направлений подготовки / Сост. Н.А. Жихарева. Под редакцией В.В. Алексеева, Л.И. Маклакова – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. – 8 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В работе рассмотрены вопросы теории релаксационных колебаний и работа генератора электрических релаксационных колебаний. Дано описание установки, на которой проводятся измерения.

Рис. – 4.

Рецензент  
Доцент кафедры электротехники и автоматики  
Казанского государственного архитектурно-строительного  
университета  
**Ю.Н. Тахциди**

УДК 537.312.62:621.373.43  
ББК 32.85я7

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2013

© Жихарева Н.А., 2013

Релаксационными колебаниями называются периодически повторяющиеся процессы, состоящие из двух стадий (рис. 1).

1. Медленное накопление энергии системы  $W$  до определённого крити-

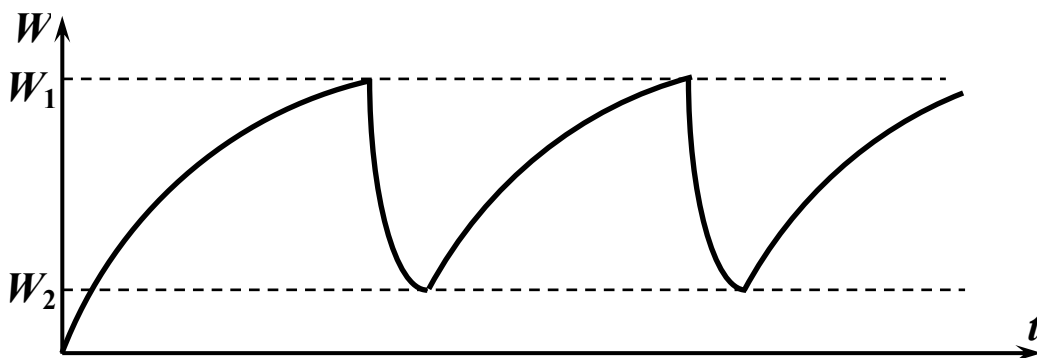


Рис. 1

ческого значения  $W_1$ .

2. Последующая убыль энергии, происходящая за малое время, до минимального значения  $W_2$ .

Релаксационные колебания могут совершаться в различных системах – механических, электрических. В качестве примера рассмотрим механические релаксационные колебания сифона для спуска воды. Цилиндрическое ведро **В** (рис. 2) может поворачиваться с небольшим трением вокруг оси **ОО** и расположено так, что центр тяжести пустого ведёрка лежит ниже оси, а при наполнении ведёрка водой поднимается над осью. Пустое ведёрко стоит вертикально. Если медленно наполнять ведёрко водой, то при достижении определённого уровня воды оно теряет равновесие, опрокидывается, быстро опорожняется и снова становится вертикально, после чего процесс возобновляется. Электрические релаксационные схемы часто используются для получения пилообразного напряжения. Релаксационные колебания пилообразного типа широко применяются в качестве реле времени, для периодического управления различными устройствами в радиолокации и телевидении.

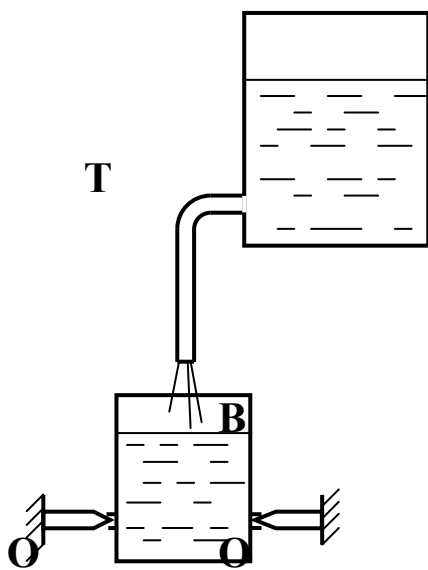


Рис. 2

Примером электрической релаксационной системы является релаксационный генератор на газоразрядной лампе. Сначала ознакомимся с устройством и принципом действия газоразрядной лампы. Газоразрядная лампа состоит из стеклянного баллона, в который впаяно два металлических электрода, расположенных на расстоянии 2–3 мм. Баллон заполнен инертным газом – неонам при низком давлении порядка 10 мм. рт. ст. (около 1330 Па). При обычных условиях газы не проводят электрический ток. Однако, при определённых условиях (наличие ионизатора, сильное электрическое поле порядка нескольких сотен вольт) газы становятся проводниками. Прохождение электрического тока через газ называется *электрическим разрядом в газе*. В неоновой лампе происходит,

так называемый, тлеющий разряд, сопровождающийся свечением газа.

Напряжение  $U_з$ , при котором неоновая лампа вспыхивает, называется напряжением зажигания.

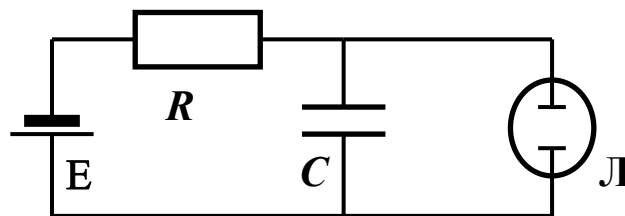


Рис. 3

При напряжении, равном напряжению зажигания, электрическое поле в лампе ускоряет всегда присутствующие в газе электроны и положительные ионы до энергий, достаточных для ионизации нейтральных атомов газа. Ионизация – это процесс превращения атома в положительный ион за счёт выбивания из него электрона. Созданные при ионизации положительные ионы, ускоренные полем, движутся к катоду, бомбардируют его и выбивают из него новые электроны. Этот процесс называется вторичной электронной эмиссией.

Электроны, двигаясь к аноду, ускоряются электрическим полем и, сталкиваясь с нейтральными атомами, ионизируют их. Происходит лавинообразное нарастание числа носителей тока, и лампа проводит ток. Таким образом,

для поддержания тлеющего разряда необходимы два процесса: 1) ударная ионизация электронами атомов газа; 2) вторичная электронная эмиссия из катода.

Необходимо отметить, что при возникшем газовом разряде достаточно поддерживать напряжение меньше чем  $U_3$ , чтобы через лампу некоторое время шёл ток. Это происходит благодаря тому, что имеющиеся в газе электроны за счёт кинетической энергии могут ионизировать нейтральные атомы. При дальнейшем уменьшении напряжения кинетической энергии электронов становится недостаточно для ионизации атомов, лампа перестает пропускать ток и гаснет. Напряжение, при котором лампа гаснет, называется *напряжением гашения*  $U_G$ .

Теперь рассмотрим работу релаксационного генератора. Релаксационные колебания в генераторе представляют чередование двух процессов: медленной зарядки ёмкости через большое сопротивление и быстрого разряда её через гораздо меньшее сопротивление неоновой лампы после её зажигания. Принципиальная схема такого генератора представлена на рис. 3. Она состоит из источника э. д. с  $\mathcal{E}$ , резистора  $R$  и ёмкости  $C$ , к которой параллельно подключается неоновая лампа  $L$ . В момент включения источника через резистор начинает протекать ток, заряжая ёмкость  $C$ : при этом на ёмкости постепенно возрастает напряжение, так как  $U = q/C$  (участок 1–2 на рис. 4а).

При достижении напряжения зажигания  $U_3$  лампа зажигается и горит, разряжая ёмкость  $C$  до тех пор, пока напряжение не упадет до напряжения гашения  $U_G$  (участок 2–3 рис. 4а). Далее начинается снова процесс накопления заряда на ёмкости (участок 3–4); при  $U_3$  лампа зажигается и т.д. Процесс периодически повторяется – система совершает релаксационные колебания. На рис. 4б показан график изменения тока через лампу, показывающий, что вспышки лампы происходят в промежутки, соответствующие падению напряжения от  $U_3$  до  $U_G$ . Из сравнения принципа действия механической и электрической релаксационных систем, легко понять, что ёмкость  $C$  является аналогом ведёрка; потенциалу зажигания можно сопоставить подъём центра тяжести ведёрка до уровня оси вращения  $OO$ , электродвижущую силу давлению воды в баке, резистор  $R$  сечению трубки  $T$ .

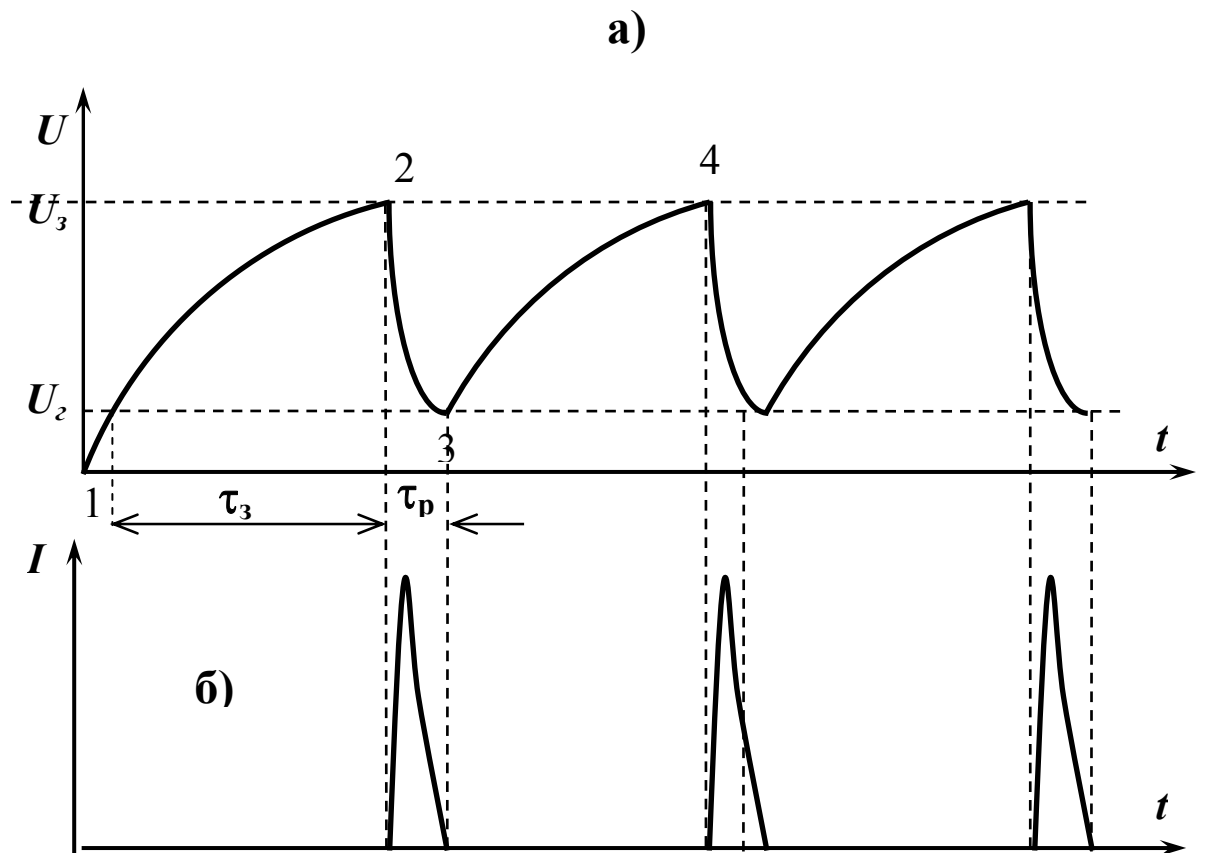


Рис. 4

Период колебаний  $T$  генератора складывается из времени заряда  $\tau_3$  и времени разряда  $\tau_p$  конденсатора:  $T = \tau_3 + \tau_p$ . Учитывая, что релаксационный процесс состоит из медленной зарядки ёмкости через большое сопротивление и быстрого разряда через лампу, т.е.  $\tau_p \ll \tau_3$ , можно считать, что  $T \approx \tau_3$ . Так как в установившемся режиме работы заряд ёмкости начинается от напряжения гашения  $U_G$ , то можно показать, что период колебаний генератора находится по формуле:

$$T = RC \ln \frac{U_0}{U_0 - (U_3 - U_G)}, \quad (1)$$

где  $\ln \frac{U_0}{U_0 - (U_3 - U_G)}$  — постоянная величина для данной газоразрядной лампы. Период колебаний генератора определяется по осциллографу. Используя формулу (1), можно рассчитать неизвестное сопротивление и ёмкость. Если вместо резистора с известным сопротивлением  $R_0$  включить резистор с неиз-

вестным сопротивлением  $R_X$  (при той же ёмкости  $C_0$ ), то период колебаний будет равен:

$$T_R = R_X C_0 \ln \frac{U_0}{U_0 - (U_3 - U_r)}. \quad (2)$$

Сравнивая уравнения (1) и (2), получаем:

$$R_X = R_0 \frac{T_R}{T_0}, \quad (3)$$

где  $T_0$  – период колебаний генератора при известных значениях  $R_0$  и  $C_0$ . Аналогично, если вместо известной емкости  $C_0$  включить неизвестную  $C_R$  (при том же  $R_0$ ), то период колебаний запишется так:

$$T_C = R_0 C_X \ln \frac{U_0}{U_0 - (U_3 - U_r)}. \quad (4)$$

Сравнивая уравнения (1) и (4), получаем:

$$C_X = C_0 \frac{T_C}{T_0} \quad (5)$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для изучения релаксационных колебаний используется установка, на наклонной плоскости которой с левой стороны расположен генератор релаксационных колебаний. Имеются два переключателя  $\Pi_R$  и  $\Pi_C$ , позволяющие менять величины сопротивлений резисторов и емкости конденсатора, входящих в цепь генератора.

1. Переключатель  $\Pi_R$  и  $\Pi_C$  на наклонной панели генератора поставить в положение  $R_0$  и  $C_0$ . Соединить гнезда "ОСЦ" на панели с входом "Y" осциллографа.

2. Включить генератор в сеть.

3. Включить осциллограф в сеть. Перевести тумблер "питание" на передней панели вверх. Установить переключатель  $\rightarrow \odot$  в положение "~", а переключатель "V/ДЕЛ" так, чтобы исследуемый сигнал на экране зажимал около 5 делений по вертикали. Установить устойчивое изображение с помощью ручек «УРОВЕНЬ», «СТАБ». Тумблер «СИНХР» должен быть в положении  $\square$ . Переключатели «ms/ДЕЛ», "µs/ДЕЛ" установить так, чтобы на экране наблюдалось 1–3 периода сигнала. Ручку "ПЛАВНО" поставить в крайнее положение по часовой стрелке. Ручкой "↕" переместить на центральную, горизонтальную линию максимума или минимума сигнала, а ручкой "↔" установить изображение так, чтобы одна из точек, между которыми измеряется расстояние, совместилась с вертикальной линией.

4. Измерить период колебаний генератора  $T_0$ , соответствующий известным  $R_0$  и  $C_0$ . Для этого измерить горизонтальное расстояние между соседними минимумами или максимумами. Умножить это расстояние на коэффициент "ДЛИТ/ДЕЛ".

5. Измерить период  $T_{R1}$ , соответствующий известной емкости  $C_0$  и одному из неизвестных сопротивлений  $R_{X1}$ , включение которого осуществляется поворотом  $\Pi_R$  вправо. Используя формулу (3), вычислить  $R_{X1}$ .

6. Измерить период  $T_C$ , соответствующий известному сопротивлению  $R_0$  и одной из неизвестных емкостей  $C_{X1}$ , включение которой осуществляется поворотом  $\Pi_C$  вправо. Используя формулу (5), вычислить  $C_{X1}$ . Аналогичным способом можно определить другие неизвестные сопротивления и емкости. Все полученные данные внести в таблицу.

7. Для проверки точности измерений вычислить отношение периода  $T$  к соответствующему произведению  $RC$ , которое должно быть постоянным для данного генератора.

Номер положения	Период колебания $T$ , с	Ёмкость $C$ , Ф	Сопротивление $R$ , Ом	Произведение сопротивления на ёмкость, с	Отношение $T/(RC)$
1	$T_0$	$C_0$	$R_0$	$R_0C_0$	$T_0/(R_0C_0)$
2	$T_{R1}$	$C_0$	$R_{X1}$	$R_{X1}C_0$	$T_{R1}/(R_{X1}C_0)$
...	...	...	...	...	...
5	$T_{C1}$	$C_{X1}$	$R_0$	$R_0C_{X1}$	$T_{C1}/(R_0C_{X1})$
...	...	...	...	...	...

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс называется релаксационным? Привести примеры механического и электрического релаксационных процессов.
2. Описать устройство и принцип работы неоновой лампы. Как возникает газовый разряд в лампе?
3. Дать определение напряжения зажигания и гашения.
4. Рассказать о принципе действия релаксационного генератора.
5. От чего зависит период колебаний электрического релаксационного генератора?
6. Как можно измерять сопротивление и ёмкость с помощью релаксационного генератора?

## ГЕНЕРАТОР РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

### Лабораторная работа № 38

Методические указания  
к лабораторным работам по физике  
для студентов всех направлений подготовки  
Составитель Жихарева Н.А.