

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

**ИЗУЧЕНИЕ
РЕЛАКСАЦИОННЫХ
КОЛЕБАНИЙ**

САМАРА 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ИЗУЧЕНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к лабораторной работе № 2-26*

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК 53(075)
ББК 22.313

Составители: *Н.М.Рогачев, Г.А.Потапова*

Рецензент Н.Д. Семкин, д-р техн. наук, профессор

Изучение релаксационных колебаний: Метод. указания к лаб. работе 2-26/ Сост. *Н.М. Рогачев, Г.А. Потапова.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 16 с.

Методические указания к лабораторной работе содержат вводную часть, в которой дается описание газовых разрядов, вольтамперной характеристики газонаполненной лампы – тиратрона и релаксационных колебаний, генерируемых лампой. Приводится описание экспериментальной установки, порядок выполнения лабораторной работы и обработки полученных результатов, перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов, и список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов всех факультетов.

УДК 53(075)
ББК 22.313

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

Лабораторная работа №2-26

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Цель работы: снятие вольтамперной характеристики тиратрона и изучение релаксационных колебаний.

Приборы и принадлежности: модуль ФПЭ-12, в котором размещена газонаполненная лампа – тиратрон (генератор «лампа-конденсатор»); электронный осциллограф; источник питания; магазин сопротивлений; магазин емкостей и измерительные приборы (миллиамперметр и вольтметр).

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Тиратрон – это трехэлектродная лампа, имеющая анод, катод и сетку, наполненная газом при низком давлении. Если анодное напряжение недостаточно для ионизации газа, то ток, текущий в тиратроне подчиняется законам, справедливым для вакуумного триода. При повышении анодного напряжения, достигающего напряжения зажигания, в тиратроне возникает дуговой разряд, развитие которого происходит с нарастающей скоростью – лавиной. Для возникновения лавины необходимо наличие определенной начальной ионизации газа. Когда анодное напряжение близко к напряжению зажигания, в тиратроне существует предразрядный ток. Этот ток создается за счет электронной эмиссии катода, а также за счет начальной ионизации газа – тихий или тлеющий разряд.

В процессе зажигания тиратрона анодное напряжение падает от *напряжения зажигания* до некоторого значения. Анодное напряже-

ние, при котором в тиратроне прекращается дуговой разряд, называется *напряжением гашения*. При погасании тиратрон еще некоторое время сохраняет способность проводить электрический ток за счет оставшихся после разряда ионов. Процесс исчезновения такой проводимости называется *деионизацией тиратрона*.

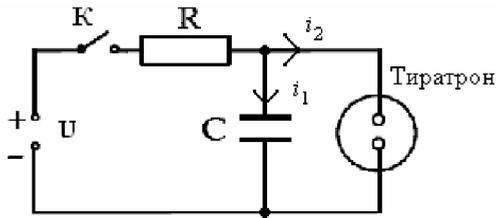


Рис. 1

Принцип действия тиратрона. При подключении к схеме (рис. 1) источника постоянного электрического напряжения U конденсатор C заряжается через сопротивление R . Когда напряжение на конденсаторе станет равным напряжению зажигания, тиратрон зажигается, и конденсатор практически мгновенно разряжается через него до напряжения гашения. При этом тиратрон гаснет и конденсатор снова начинает заряжаться. Такой процесс будет повторяться периодически. График зависимости напряжения на конденсаторе от времени представлен на рис. 2.

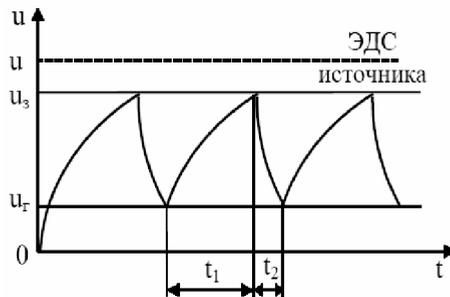


Рис. 2

Колебания подобного вида, сильно отличающиеся по своей форме от гармонических колебаний, называются *срывными* или *релаксационными*. Итак, *релаксационные колебания* – это незатухающие негармонические колебания нелинейных систем, для которых характерно накопление и сбрасывание энергии (слово *relaxation* означает ослабление). Генератором таких колебаний может служить лампа *тиратрон*, включенная в электрическую цепь параллельно с конденсатором (см. рис.1).

Период релаксационных колебаний T можно вычислить по формуле:

$$T = RC \ln \frac{U - U_r}{U - U_s}, \quad (1)$$

где R – сопротивление резистора,

C – емкость конденсатора,

U_r – напряжение гашения,

U_s – напряжение зажигания,

U – питающее напряжение.

Если сигнал с конденсатора подать на вход осциллографа, то период колебаний можно измерить непосредственно с экрана осциллографа, работающего в режиме измерения длительности сигнала.

Процессы, протекающие в тиратроне. Газы в естественном состоянии состоят из электрически нейтральных атомов и молекул, т.е. не содержат свободных зарядов и поэтому не проводят электрический ток. Газ становится проводником тока, если часть молекул *ионизируется*, т.е. расщепляется на положительные и отрицательные ионы (или положительный ион и электрон). Ионизация происходит под влиянием различных воздействий на газ: космических лучей, нагрева газа и др. Наряду с ионизацией в газе происходит и обратный процесс – *рекомбинация*, т.е. восстановление положительных и отрицательных ионов в нейтральный атом.

Если ионизация газа осуществляется под действием внешнего ионизатора, то разряд, возникающий в газе, называется *несамо-*

стоятельным разрядом. В этом случае электропроводность газа создается за счет внешнего ионизатора и с прекращением его действия такой разряд также прекращается.

Если электрический ток в газе сохраняется после прекращения действия внешнего ионизатора, то такой разряд называется *самостоятельным газовым разрядом*. Для его осуществления необходимо, чтобы в результате самого разряда в газе непрерывно образовывались свободные электрические заряды.

Плотность тока в газе

$$J = (q^+ \mu^+ + q^- \mu^-) n E, \quad (2)$$

где μ^+ и μ^- – подвижности положительного (q^+) и отрицательного (q^-) зарядов (*подвижность* – это скорость упорядоченного движения заряда при напряженности E электрического поля, равной единице);

n – концентрация зарядов.

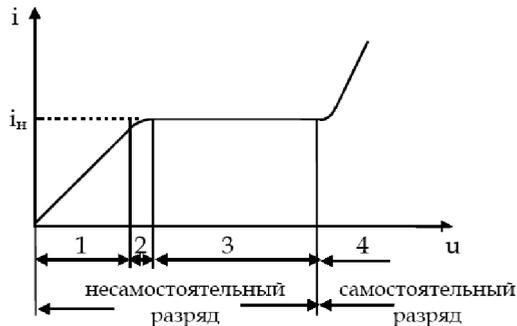


Рис. 3

На рис. 3 представлена вольтамперная характеристика газового разряда в тиратроне. При малых напряжениях на электродах лампы (участок 1) ионы и электроны под действием сил электрического поля будут двигаться к противоположным электродам лампы, а сила тока будет пропорциональна напряженности E электрического поля в соответствии с законом Ома. С увеличением разности потенциалов

(участок 2) линейная зависимость нарушается. Это связано с тем, что под действием электрического поля значительная часть ионов и электронов достигает электродов. Начиная с некоторого значения напряжения (участок 3), ток остается неизменным с увеличением напряжения (i_n – ток насыщения). Это объясняется тем, что все заряды, возникшие в газе под действием внешнего ионизатора, достигают электродов лампы, не успевая рекомбинировать. Поэтому при неизменной интенсивности ионизации не происходит дальнейшего роста тока при увеличении напряжения.

Газовый разряд, происходящий на участках 1, 2 и 3, является *несамостоятельным* газовым разрядом. При дальнейшем увеличении напряжения (участок 4) происходит резкое увеличение тока. Это объясняется *ударной ионизацией*: электроны, возникшие в газе за счет внешнего ионизатора, во время своего движения к аноду лампы под действием электрического поля приобретают энергию, достаточную для ионизации нейтральных молекул газа при столкновении с ними. Но переход от самостоятельного разряда к самостоятельному становится возможным лишь при таком напряжении между электродами, когда положительные ионы также приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа. В этом случае внешний ионизатор не играет существенной роли в осуществлении газового разряда, так как число создаваемых им первоначальных ионов мало по сравнению с числом вторичных ионов и прекращение действия ионизатора не влияет на протекание разряда.

Повышая напряжение на электродах, можно возбудить все эти процессы и осуществить переход от самостоятельного разряда к самостоятельному. Этот переход называется *электрическим пробоем газа*, а соответствующее напряжение – *напряжением зажигания* u_3 . Оно зависит от химической природы газа, материала катода, формы электродов и расстояния между ними, давления газа и наличия в нем примесей.

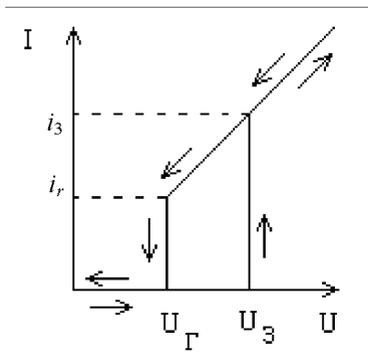


Рис. 4

Типичная вольтамперная характеристика газонаполненной лампы-тиратрона показана на рис. 4. Как следует из характеристики, если увеличивать разность потенциалов на электродах лампы, то при значениях $u = u_3$ скачком устанавливается значение тока, равное i_3 — лампа «загорается». При дальнейшем возрастании напряжения ток растет по закону, близкому к линейному.

Если затем уменьшать напряжение на «горящей» лампе, то при напряжении, равном u_3 , лампа еще не гаснет. Продолжая уменьшать напряжение, можно увидеть, что при некотором напряжении — u_r , названном *напряжением гашения*, которое меньше u_3 , лампа «гаснет» и ток i_r скачком резко падает. На этом самостоятельный разряд в лампе прекращается. Следует заметить, что для реальной лампы-тиратрона зависимость $i = f(u)$ не является линейной.

Критическое значение энергии конденсатора, равное работе при горении лампы:

$$W = \frac{Cu_3^2}{2}. \quad (3)$$

Зависимость от времени напряжения на конденсаторе, показанная на рис. 2, представляет собой негармонические релаксационные колебания. Наблюдая эти колебания на экране осциллографа, можно определить их период: $T = t_1 + t_2$, где t_1 — время накопления энергии, t_2 — время сброса.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Электрическая схема экспериментальной установки для наблюдений релаксационных колебаний показана на рис. 5. В состав установки входят: электронный осциллограф (ЭО); лампа – тиратрон, смонтированный в модуле ФПЭ-12; источник питания (ИП); магазин сопротивлений (МС); магазин емкостей (МЕ); измерительные приборы (РА).

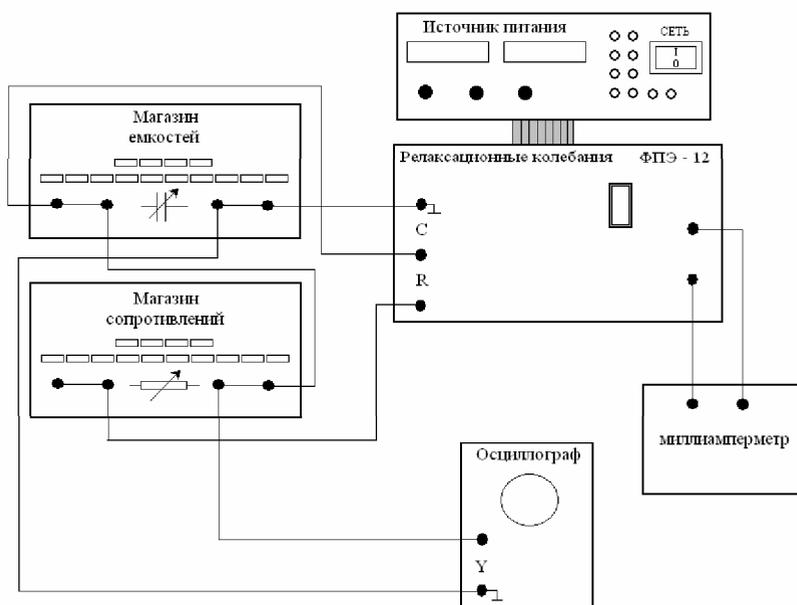


Рис. 5. Схема соединения блоков экспериментальной установки

При подготовке установки к работе напряжение от источника питания (ИП) подается на вход модуля ФПЭ-12; к тиратрону, расположенному в ФПЭ-12, подсоединяется магазин сопротивлений (МС) и магазин емкостей (МЕ), что позволяет изменять величину сопротивления контура и емкость конденсатора. Измерительные приборы

(РА) служат для измерений токов и напряжений при снятии вольт-амперной характеристики тиратрона.

Для выполнения упражнения 1, при снятии вольтамперной характеристики и определении потенциалов зажигания и гашения тиратрона, собирается схема, изображенная на рис. 6.

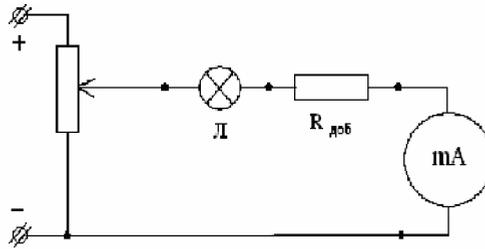


Рис. 6. Схема соединения блоков при отжатой кнопке режима работы для снятия вольт-амперной характеристики

Для выполнения упражнения 2 необходимо собрать схему, показанную на рис. 7.

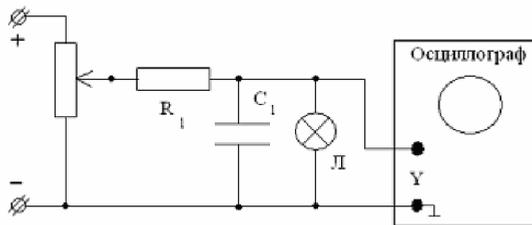


Рис. 7. Схема соединения блоков при нажатой кнопке режима работы для исследования релаксационных колебаний

3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Упражнение 1. Снятие вольтамперной характеристики и определение потенциала зажигания и гашения тиратрона

1. Кнопку «Режим работы» модуля ФПЭ-12 отожмите, переведя в положение «V/A характеристика».

2. Переключатель «Контроль напряжения и тока» источника питания поставьте в крайнее левое положение, соответствующее регулировке напряжения 12-120 вольт.

3. Ручку регулировки напряжения 12-120 вольт источника питания установите в крайнее левое положение.

4. Измерительный прибор (миллиамперметр) подготовьте к работе в пределе измерений 1,5 мА.

5. Включите источник питания (ИП) тумблером «Сеть».

6. Ручкой регулировки напряжения 12-120 вольт измерьте:

а) напряжение *через каждые 10 вольт*, контролируя его по цифровому индикатору на ИП;

б) силу тока (в делениях измерительного прибора) в прямом направлении $i_{пр}$. Результаты измерений занесите в табл. 1.

7. Уменьшая напряжение от 90 до 50 В, измерьте силу тока в обратном направлении $i_{обр}$ и данные занесите в табл. 1.

Таблица 1

$U, В$	50	60	70	80	90
$i_{пр}, дел$					
$i_{обр}, дел$					

8. По данным таблицы 1 определите интервал $\Delta u \approx 10B$, в котором происходит зажигание и гашение тиратрона.

9. Подробно изучите интервал Δu зажигания и гашения тиратрона, проводя измерения тока через каждый 1 вольт. Данные занесите в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
u, B	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
i_{np} , дел.																

№ п/п	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
u, B	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	95	100	105	110
i_{np} , дел.														

№ п/п	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
u, B	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65
$i_{обр}$, дел.															

№ п/п	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
u, B	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50
$i_{обр}$, дел.															

10. Уменьшите напряжение ИП до минимального значения.

11. По данным табл. 2 постройте график зависимости i_{np} и $i_{обр}$ от u (вольтамперную характеристику тиратрона, примерный вид которой показан на рис. 4.).

Упражнение 2. Изучение работы релаксационного генератора

1. Нажмите кнопку «Режим» модуля ФПЭ-12, установите на магазине сопротивлений сопротивление $R=1 \cdot 10^6 \text{ Ом}$, на магазине емкостей установите емкость $C=3 \cdot 10^{-3} \text{ мкФ}$. Осциллограф подготовьте к работе в режиме измерения длительности сигнала. Усиление по оси Y осциллографа установите таким, чтобы сигнал занимал $2/3$ экрана осциллографа по высоте. Установите такую частоту развертки, чтобы на экране были видны одно-два релаксационных колебаний.

2. Включите осциллограф и источник напряжения лабораторного стенда. Установите ручкой регулировки напряжения источника 115-120 вольт (фиксируется по цифровому вольтметру на панели источника), при этом на экране осциллографа появятся релаксационные колебания.

3. Измерьте амплитуду сигнала на экране осциллографа при постоянных значениях U , R , C . Результаты измерений занесите в табл. 3.

Таблица 3

A , амплитуда сигнала, B	U , напряжение питания, B	R , значение магазина сопротивления, Ом	C , значение магазина емкостей, мкФ
	<i>const</i>	<i>const</i>	<i>const</i>

4. Снимите зависимость периода колебаний T от напряжения U на источнике при постоянных значениях R и C . Для каждого значения питающего напряжения определите амплитуду A колебаний. Результаты измерений занесите в табл. 4.

Таблица 4

	$R, \text{ Ом}$	$C, \text{ мкФ}$	$U, \text{ В}$	$A, \text{ В}$

5. Снимите зависимость периода колебаний T от сопротивления при постоянных значениях U и C . Для каждого значения сопротивления резистора определите амплитуду A колебаний. Результаты измерений занесите в табл. 5.

Таблица 5

$T, \text{ с}$	$R, \text{ Ом}$	$C, \text{ мкФ}$	$U, \text{ В}$	$A, \text{ В}$
		<i>const</i>	<i>const</i>	

6. Снимите зависимость периода колебаний T от емкости конденсатора C при постоянном значении U и R . Для каждого значения емкости конденсатора C определите амплитуду A колебаний. Результаты измерений занесите в таблицу 6.

Таблица 6

$T, \text{ с}$	$R, \text{ Ом}$	$C, \text{ мкФ}$	$U, \text{ В}$	$A, \text{ В}$
	<i>const</i>		<i>const</i>	

7. Уменьшите напряжение источника до минимального значения. Выключите источник напряжения и осциллограф.

8. Постройте график зависимости периода релаксационных колебаний от величины напряжений на тиратроне.

9. Постройте график зависимости периода релаксационных колебаний от величины емкости конденсатора.

10. Постройте график зависимости периода релаксационных колебаний от величины сопротивления резистора.

11. По формуле (1) вычислите теоретическое значение периода релаксационных колебаний. Вместо значения напряжения гашения подставьте $U_{\min} = U - A$, где A – амплитуда колебаний в вольтах, U – питающее напряжение. На графики $T(U, R, C)$ нанесите соответствующие теоретические кривые.

12. Объясните полученные зависимости. По графикам определите максимальную относительную погрешность измерений периода колебаний.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит электропроводность газов?
2. Что такое несамостоятельный газовый разряд?
3. Каков механизм возникновения самостоятельного разряда?
4. Как работает генератор релаксационных колебаний?
5. Как меняется напряжение на конденсаторе генератора релаксационных колебаний?
6. Объясните вольтамперную характеристику тиратрона.
7. Как можно определить период релаксационных колебаний?

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев, И.В. Курс физики / И.В. Савельев. – М.: «Наука», 1989. Т.2.
2. Калашников, С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М., «Наука», 1970.
3. Методы физических измерений: лабораторный практикум по физике / под ред. Р.И.Солоухина. – М., «Наука», 1975.
4. Лабораторные занятия по физике / под ред. Л. Л. Гольдина. – М.: «Наука», 1983.

Учебное издание

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

*Методические указания
к лабораторной работе № 2-26*

Составители: ***Николай Михайлович Рогачев,
Галина Александровна Потапова.***

Редактор И.И. Спиридонова
Вёрстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 02.011.2012. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. Д1(14)/2012.

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.