

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Гузенкова Анна Андреевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение характеристик релаксационного генератора на основе  
неоновой лампы в зависимости от параметров электрической схемы**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

**Научный руководитель:**

аспирант А. С. Матвеев

Оценка научного руководителя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

И. А. Иванов

Оценка преподавателя практикума

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2020

## **Аннотация**

В ходе работы было проведено исследование характеристик релаксационного генератора на основе неоновой лампы. Была получена зависимость периода и скважности от величин сопротивления резистора и ёмкости конденсатора, входящих в цепь. В качестве релаксационного генератора была использована установка для исследования самостоятельного разряда в газе в кабинете лабораторного практикума. В качестве измерительного прибора использовался осциллограф. Полученные экспериментальные данные совпадают с теоретическими расчётами, однако есть сильные отклонения данных от теоретических кривых. Это позволило сделать вывод лишь о качественной зависимости характеристик релаксационного генератора от параметров цепи, а также о том, что данная установка не подходит в качестве релаксационного генератора для практических целей.

## Оглавление

1. Введение.....	4
2. Схема установки.....	5
3. Расчёт теоретических зависимостей периода и скважности релаксационного генератора от сопротивления и ёмкости.....	6
3.1. Зарядка конденсатора .....	6
3.2. Разрядка конденсатора .....	7
3.3. Период и скважность .....	8
4. Экспериментальная часть.....	8
5. Обработка данных и сравнение результатов с теоретическими расчётами	10
7. Заключение .....	13
Литература .....	14

## 1. Введение

Релаксационный генератор – генератор электромагнитных колебаний, ни пассивные цепи которого, ни активный нелинейный элемент не обладают резонансными свойствами. В отличие от генераторов, имеющих в своём составе резонаторы, в которых за каждый период колебаний имеет место лишь пополнение относительно небольших потерь колебательной энергии, в релаксационном генераторе энергия, запасаемая в реактивном элементе, в процессе каждого периода колебаний расходуется полностью или почти полностью, а затем возобновляется за счёт источников питания и нелинейных активных элементов (электронных ламп, транзисторов, диодов). Период колебаний при этом определяется временем релаксации (установления равновесия) в цепях генератора. [1]

Релаксационные генераторы используются в качестве источников кратковременных периодических импульсов. В качестве примера можно привести генератор на основе неоновой лампы может быть использован в стробоскопическом тахометре, используемом для измерения высоких скоростей вращения. Также релаксационные генераторы используются в качестве времязадающих сигналов для развёртки осциллографа.

Упрощённая схема релаксационного генератора на основе неоновой лампы представлена на рис. 1. Принцип работы генератора следующий: при напряжении на конденсаторе, меньшем напряжения зажигания лампы, лампа имеет очень большое сопротивление и конденсатор заряжается от постоянного напряжения; когда напряжение на конденсаторе достигает напряжения зажигания, сопротивление лампы резко падает и через неё разряжается конденсатор; при падении напряжения до напряжения гашения ток через лампу прекращается и снова начинается зарядка конденсатора.

Целью данной работы было исследовать зависимость характеристик релаксационного генератора на основе неоновой лампы от параметров элементов

генератора, а именно период и скважность импульсов от величины сопротивления и ёмкости конденсатора в генераторе.

Для достижения поставленной цели было необходимо, изменяя сопротивления резисторов и ёмкость конденсатора, построить зависимости периода и скважности, а также сравнить с теоретическими расчётами.

## 2. Схема установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Переменное напряжение с генератора ГЗ-109 подается на входной разъем электронного блока, который и будет играть роль релаксационного генератора; с помощью осциллографа Tektronix TDS2024 снимается напряжение на аноде (UA) и катоде (UK) лампы, а также рабочее напряжение (UP).

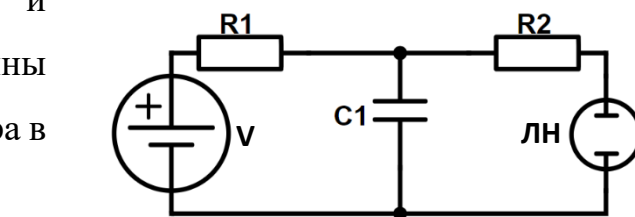


Рис. 1. Упрощённая схема релаксационного генератора на основе неоновой лампы: V – источник постоянного напряжения; ЛН – неоновая лампа; C1 – конденсатор; R1 – сопротивление зарядки; R2 – сопротивление разрядки



Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Подробная схема электронного блока представлена на рис. 3. Напряжение с генератора подаётся напрямую и через выпрямительную схему на

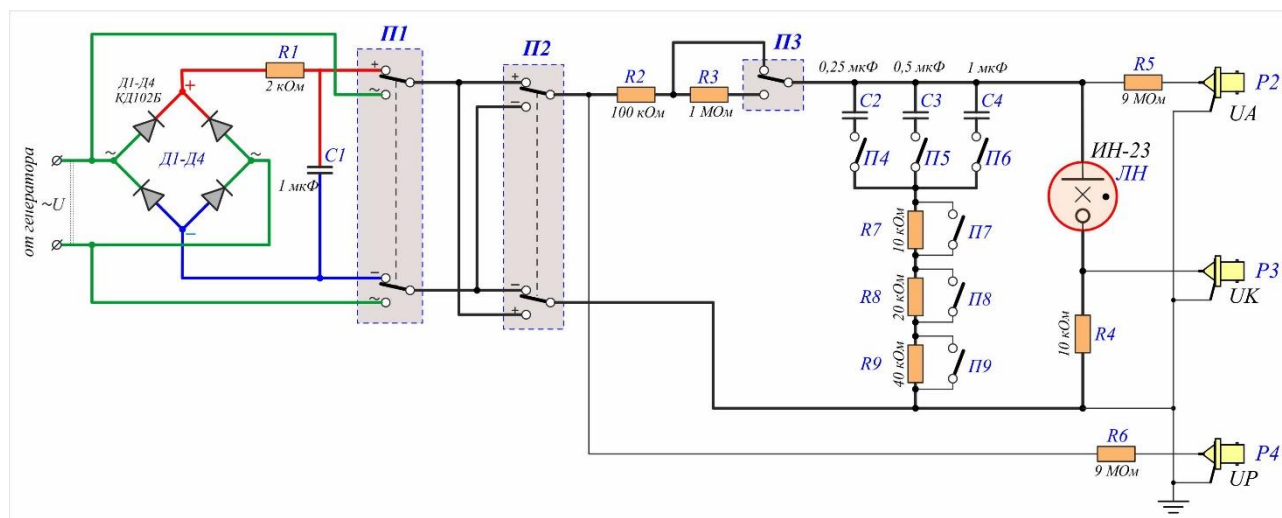


Рис. 3. Схема электронного блока

переключатель П1, позволяющий выбрать переменное или постоянное рабочее напряжение. Выпрямительная схема состоит из выпрямительного моста на диодах Д1-Д4 марки КД102Б, а также сопротивления R1 и конденсатора С1. П2 – переключатель полярности рабочего напряжения. С помощью переключателя П3 можно выбрать входное сопротивление 100 кОм или 1100 кОм. ЛН – неоновая лампа марки ТН-0.3-3, R4 – сопротивление, ограничивающее ток через лампу. Параллельно лампе включена RC-цепочка. Эта схема представляет собой релаксационный генератор. В реальной установке сопротивления  $R_5$  и  $R_6$ , которые с учётом входного напряжения осциллографа должны были играть роль делителя напряжения на десять, отсутствуют.

С помощью переключателей П4-П6 можем выбрать ёмкость  $C = 0,25 \div 1,75$  мкФ с шагом 0,25 мкФ, а с помощью П7-П9 – сопротивление  $R = 10 \div 70$  кОм с шагом 10 кОм. Таким образом, изменяя сопротивление R и ёмкость C, мы можем измерить зависимость периода и скважности от этих величин.

### 3. Расчёт теоретических зависимостей периода и скважности релаксационного генератора от сопротивления и ёмкости

Работу релаксационного генератора за период можно разделить на два этапа: зарядка конденсатора рабочим сопротивлением и разрядка конденсатора через лампу.

#### 3.1. Зарядка конденсатора

Сопротивление лампы на этом этапе много больше сопротивлений, используемых в схеме; считаем, что на лампе заряд практически не накапливается, так что ветвь с лампой можно исключить из цепи. Упрощённая схема релаксационного генератора на первом этапе показана на рис. 4. Анодное сопротивление  $R_A = R_2 + R_3 = 1100$  кОм.

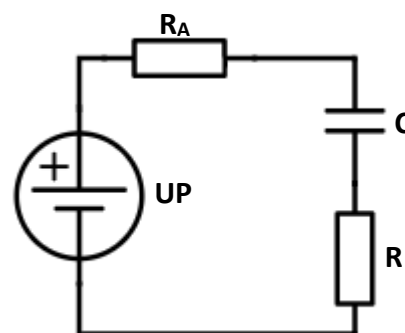


Рис. 4. Упрощённая схема релаксационного генератора на первом этапе

Запишем закон Кирхгофа для цепи

$$UP = i(R + R_A) + u_c = C(R + R_A) \frac{du_c}{dt} + u_c. [2]$$

Решением получившегося дифференциального уравнения относительно времени  $t$  будет

$$t = t_0 + C(R + R_A) \ln \frac{UP - u_{c0}}{UP - u_c}.$$

Тогда учитывая, что первый этап начинается, когда напряжение на конденсаторе падает до напряжения гашения  $U_\Gamma$ , и заканчивается, когда напряжение достигает напряжения зажигания  $U_3$ , получаем выражение для длительности первого этапа  $T_1$

$$T_1 = C(R + R_A) \ln \frac{UP - U_\Gamma}{UP - U_3}.$$

### 3.2. Разрядка конденсатора

На этом этапе сопротивление лампы резко падает до много меньшего используемых сопротивлений, так что можем им пренебречь в расчётах. Напряжение на лампе падает до напряжения гашения достаточно быстро, можно в приближении сказать, что это происходит мгновенно. Тогда лампа заменяется на источник постоянного напряжения, равного  $U_\Gamma$ . Источник рабочего напряжения просто добавляет постоянную составляющую к току, протекающему через лампу, и на время разрядки не влияет. Так что его можно исключить и делать расчёты по упрощённой схеме, представленной на рис. 5.  $R_K = R_A = 10 \text{ кОм}$ .

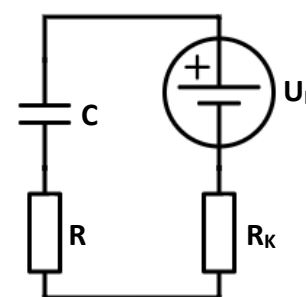


Рис. 4. Упрощённая схема релаксационного генератора на втором этапе

Запишем закон Кирхгофа для контура

$$U_\Gamma = u_c + i(R + R_K) = u_c + C(R + R_K) \frac{du_c}{dt}.$$

или

$$0 = u'_c + C(R + R_K) \frac{du'_c}{dt}, u'_c = u_c - U_\Gamma.$$

Учитывая, что начальное напряжение конденсатора равно напряжению зажигания  $U_3$ , а конечное – напряжению гашения  $U_\Gamma$ , процесс эквивалентен разрядке конденсатора от напряжения  $U_3 - U_\Gamma$  до нуля. Тогда в качестве длительности второго этапа  $T_2$  возьмём удвоенное характерное время релаксации конденсатора

$$T_2 = 2\tau = 2C(R + R_K).$$

### 3.3. Период и скважность

Тогда полный период сигнала релаксационного генератора  $T = T_1 + T_2$ .

$$\begin{aligned} T &= C(R + R_A) \ln \frac{UP - U_\Gamma}{UP - U_3} + 2C(R + R_K) = \\ &= CR \left( \ln \frac{UP - U_\Gamma}{UP - U_3} + 2 \right) + C(R_A \ln \frac{UP - U_\Gamma}{UP - U_3} + 2R_K). \end{aligned}$$

Скважность – отношение периода к длительности положительного сигнала –  $S$  равна

$$S = \frac{T}{T_2} = 1 + \frac{T_1}{T_2} = 1 + \frac{1}{2} \frac{R + R_A}{R + R_K} \ln \frac{UP - U_\Gamma}{UP - U_3}.$$

## 4. Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента необходимо привести установку в режим релаксационного генератора. Для этого переключателями П1 и П2 выбираем постоянное рабочее напряжение так, чтобы анод был подсоединён к положительному контакту. Переключателем П3 выбираем анодное сопротивление равным 1100 кОм, т. к. при сопротивлении 100 кОм ширина рабочей зоны напряжений очень мала и установить режим релаксационного генератора весьма затруднительно.



Перед проведением эксперимента был измерен диапазон рабочих напряжений релаксационного генератора. В среднем для различных значений сопротивления и ёмкости он составил  $126 \div 152$  В, погрешность каждого предела составляет  $\pm 4$  В, т. к. для разных параметров цепи они отличались не больше, чем на 2 В, а шаг измерения рабочего напряжения также составлял 2 В.

В качестве рабочего напряжения было выбрано  $U_P = 140$  В. Затем при различных значениях сопротивления  $R$  и ёмкости  $C$  были сняты зависимости анодного  $U_A$  и катодного  $U_K$  напряжений от времени. Пример полученных графиков приведён на рисунках 6а) и 6б).

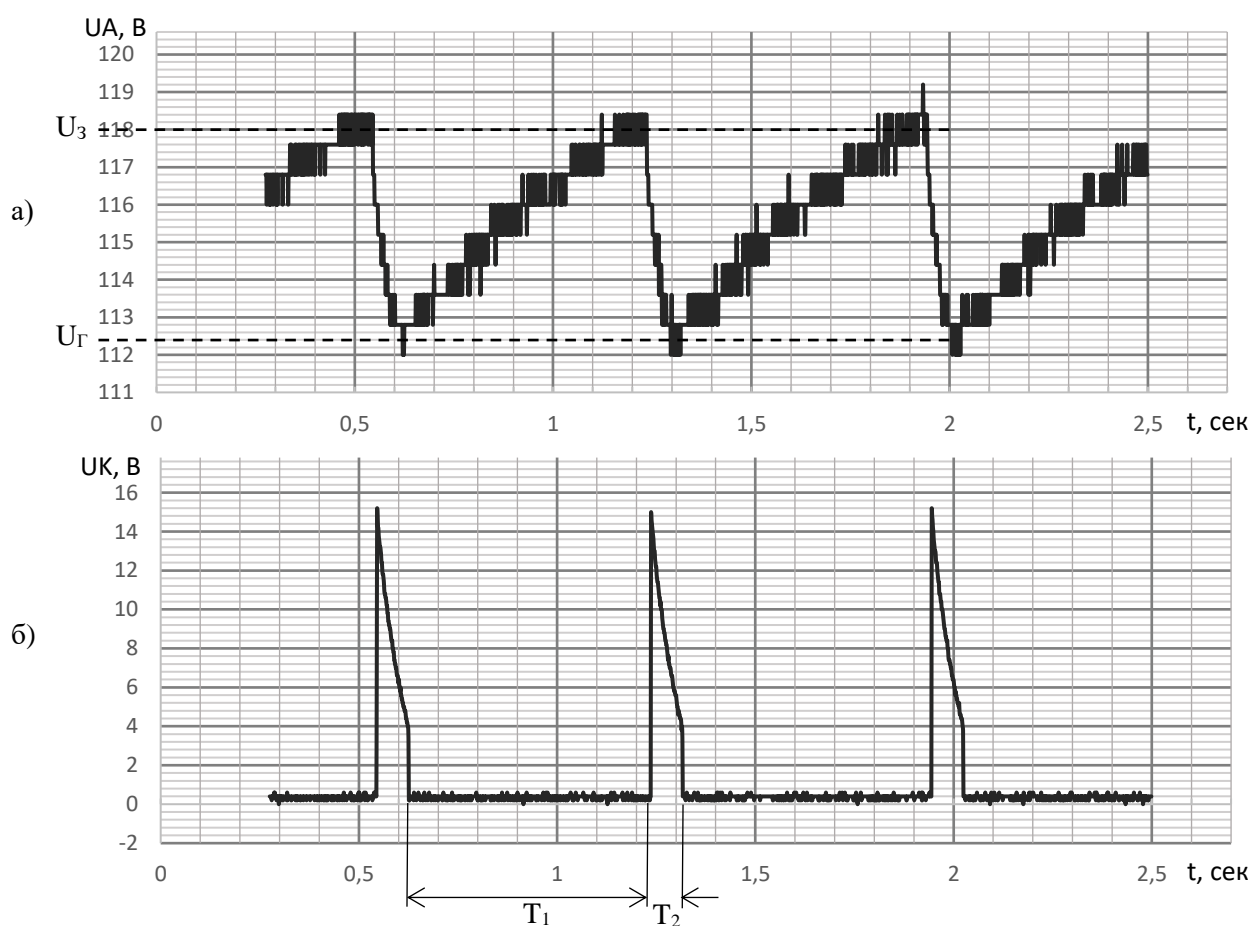


Рис. 6. Осциллограммы при  $R = 10$  кОм и  $C = 1$  мкФ: а) – напряжение на аноде, б) – напряжение на катоде

По снятым данным были вычислены времена  $T_1$ ,  $T_2$ , период  $T$  и скважность  $S$ . Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Напряжения зажигания и гашения лампы, времена  $T_1$ ,  $T_2$ , период  $T$  и скважность  $S$  в зависимости от сопротивления  $R$  и ёмкости  $C$

$R$ , кОм	$C$ , мкФ	$U_3$ , В	$U_{Г}$ , В	$T_1$ , сек	$T_2$ , сек	$T$ , сек	$\Delta T_1$ , сек	$S$	$\Delta S$
10	0,25	120,4	114,8	0,2146	0,0206	0,2352	0,0008	11,41	0,48

10	0,5	118	113,2	0,6145	0,033	0,6475	0,002	19,62	1,25
10	1	118	112,4	0,6195	0,0805	0,7	0,002	8,69	0,24
10	1,5	117,2	112,4	0,801	0,114	0,915	0,004	8,02	0,32
10	1,75	117,2	112,4	1,493	0,121	1,614	0,004	13,33	0,47
30	0,25	116,8	110,8	0,1093	0,0216	0,1309	0,0008	6,06	0,26
30	0,5	116,4	110,8	0,2208	0,04	0,2608	0,0008	6,52	0,15
30	1	117,2	111,6	0,5375	0,094	0,6315	0,002	6,71	0,16
30	1,5	117,2	111,6	0,7405	0,1315	0,872	0,002	6,63	0,12
30	1,75	116,4	111,6	0,783	0,1515	0,9345	0,002	6,16	0,09
40	0,25	116,4	110,8	0,1037	0,0227	0,1264	0,0004	5,56	0,12
40	0,5	116,4	110,8	0,2178	0,0418	0,2596	0,0008	6,21	0,14
40	1	116,4	110,8	0,399	0,091	0,49	0,002	5,38	0,14
40	1,5	116,4	110,8	0,594	0,13	0,724	0,002	5,56	0,10
40	1,75	115,6	110,8	0,73	0,142	0,872	0,002	6,14	0,10
60	0,25	116,4	110,8	0,1031	0,0257	0,1288	0,0004	5,01	0,09
60	0,5	116,4	110,8	0,2818	0,0376	0,3194	0,0008	8,49	0,20
60	1	116,4	110,8	0,368	0,099	0,467	0,002	4,71	0,12
60	1,5	115,6	110,8	0,532	0,138	0,67	0,002	4,85	0,08
60	1,75	115,6	110,8	0,608	0,162	0,77	0,002	4,75	0,07

В Таблице 1 также представлены напряжения зажигания и гашения лампы, вычисленные по экспериментальным данным как максимальное и минимальное анодное напряжение, и погрешности для измеренных величин. Погрешность измерения интервалов времени бралась как удвоенный шаг измерений. Погрешность скважности считалась как погрешность частного  $T/T_2$ . Погрешность измерения напряжений составляет  $\pm 0,4$  В, т. к. значения снимались как дискретные величины с как раз таким шагом. Также необходимо учесть, что отклонение измеренных периода и скважности от среднего значения для некоторых измерений составили 6%.

## 5. Обработка данных и сравнение результатов с теоретическими расчётами

Для более удобного анализа данных, построены графики зависимостей периода и скважности от сопротивления и от ёмкости конденсатора. Графики приведены на рис. 7 и 8.

Вычислим теоретические значения периода и скважности для конкретных значений сопротивления и ёмкости по формулам. Учтём, что  $UP = 140$  В,

$R_A = 1100$  кОм,  $R_K = 10$  кОм, напряжения гашения и зажигания берём из Таблицы 1.

$$T = C(R + R_A) \ln \frac{U_P - U_\Gamma}{U_P - U_3} + 2C(R + R_K)$$

$$S = 1 + \frac{1}{2} \frac{R + R_A}{R + R_K} \ln \frac{U_P - U_\Gamma}{U_P - U_3}$$

Теоретические значения также нанесены на графиках рис. 6 и рис. 7. Пунктирной линией обозначены теоретические зависимости. Вычислим погрешность полученных формул, как

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial U_P} \Delta U_P\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial U_\Gamma} \Delta U_\Gamma\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial U_3} \Delta U_3\right)^2} \quad [3]$$

где  $f$  – выражение для периода или скважности. Погрешности приведены в Таблице 2.

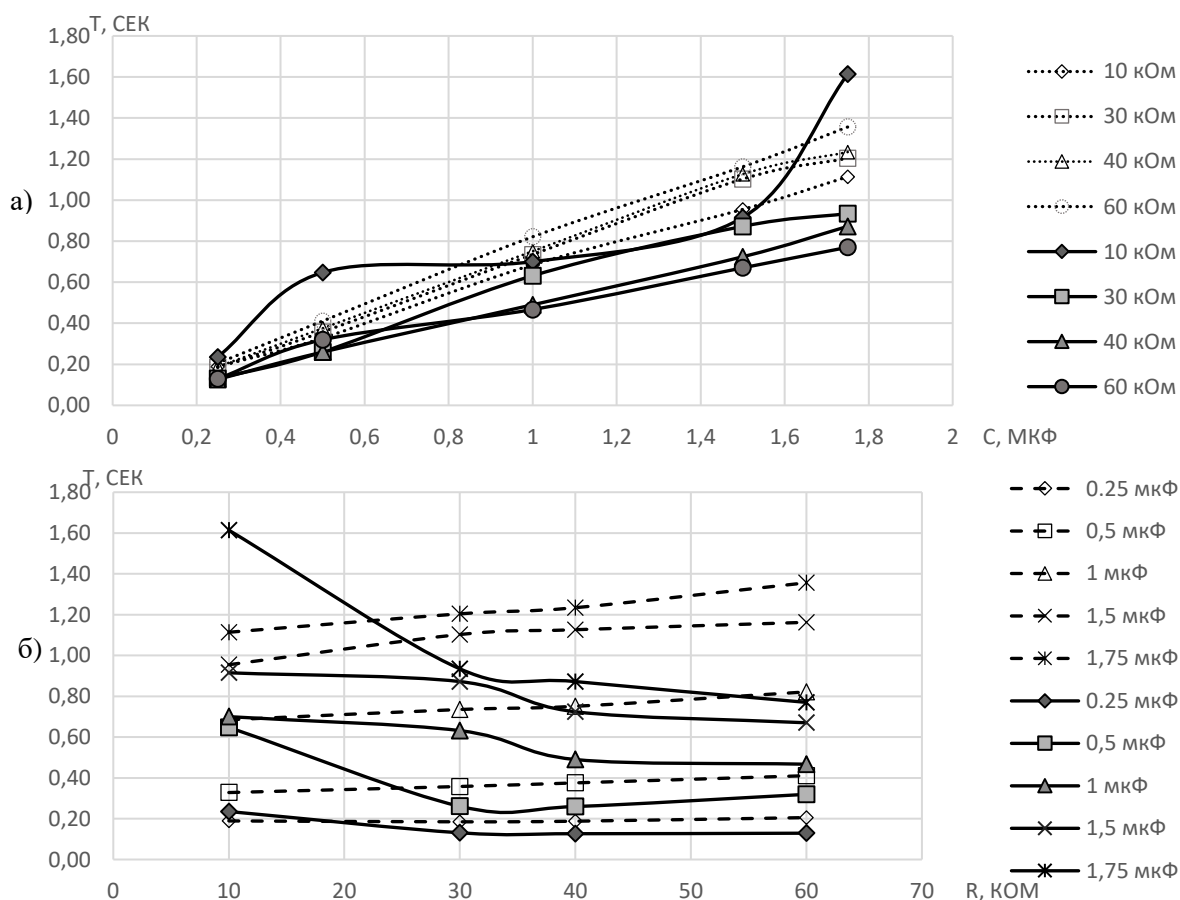


Рис. 6. Графики зависимости периода  $T$ : а) – от ёмкости  $C$  при постоянном сопротивлении  $R$ , б) – от сопротивления  $R$ , при постоянной ёмкости  $C$

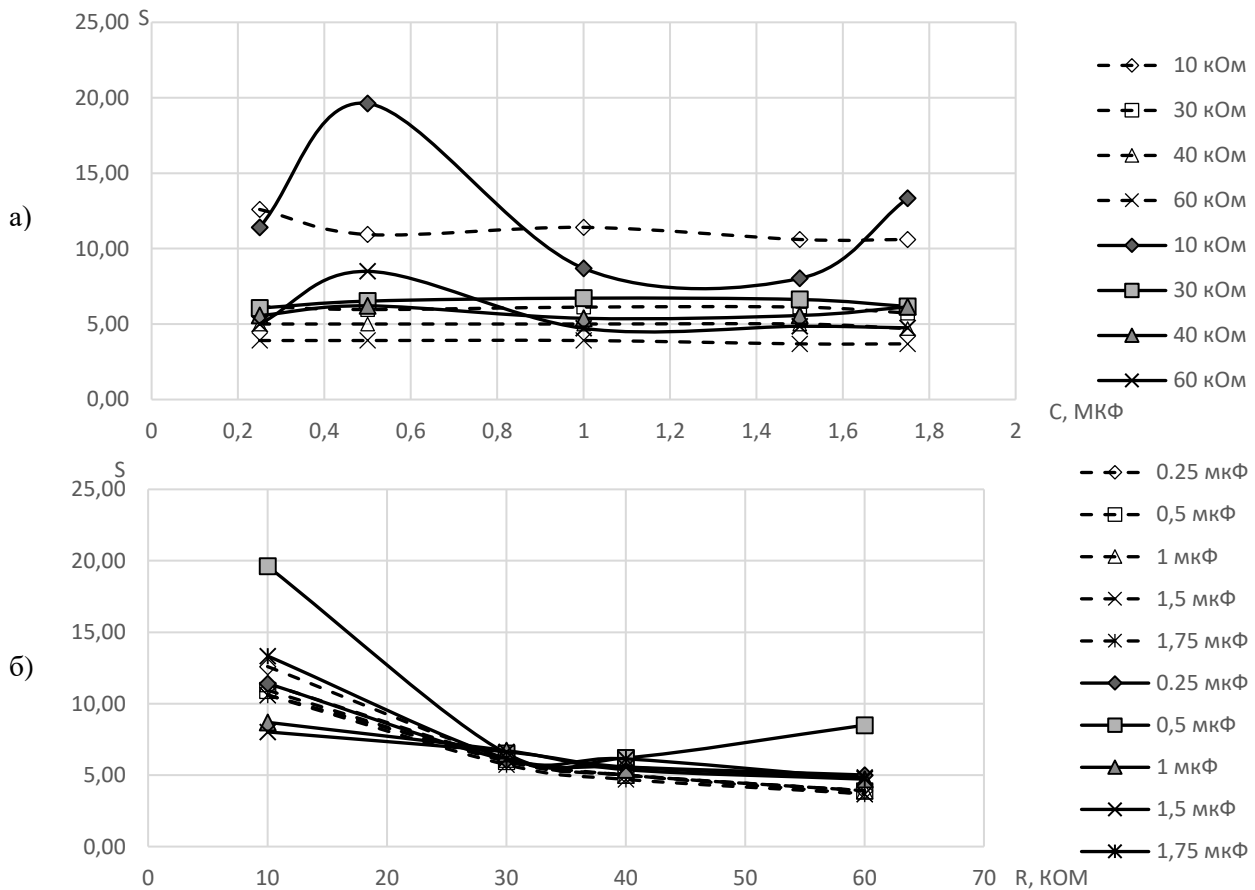


Рис. 7. Графики зависимости скважности  $S$ : а) – от ёмкости  $C$  при постоянном сопротивлении  $R$ , б) – от сопротивления  $R$ , при постоянной ёмкости  $C$

По графикам видно, что с учётом погрешностей формульное выражение для скважности достаточно точно аппроксимирует полученные теоретические значения. То есть скважность не зависит от ёмкости конденсатора, и гиперболически зависит от сопротивления. Но для некоторых точек ( $C = 0,5 \text{ кОм}$ ,  $R = 10 \text{ кОм}$ ,  $R = 60 \text{ кОм}$ ) данные отличаются от теоретических почти в два раза. Эти расхождения можно объяснить тем, что временные характеристики спонтанно изменялись за время наблюдений, и, хотя

Таблица 2. Погрешности формульных вычислений периода и скважности

$R, \text{кОм}$	$C, \text{мкФ}$	$\Delta S$	$\Delta T, \text{сек}$
10	0,25	0,87645	0,00876
30	0,25	0,38013	0,0076
40	0,25	0,30371	0,00759
60	0,25	0,22074	0,00773
10	0,5	0,7982	0,01596
30	0,5	0,37631	0,01505
40	0,5	0,30371	0,01519
60	0,5	0,22074	0,01545
10	1	0,78857	0,03154
30	1	0,38844	0,03107
40	1	0,30371	0,03037
60	1	0,22074	0,0309
10	1,5	0,77223	0,04633
30	1,5	0,38844	0,04661
40	1,5	0,30371	0,04556
60	1,5	0,21651	0,04547
10	1,75	0,77223	0,05406
30	1,75	0,3807	0,0533
40	1,75	0,29788	0,05213
60	1,75	0,21651	0,05304

бралось среднее значение из двух периодов для уменьшения ошибки, это не исключает погрешности.

Для периода общая зависимость от ёмкости  $C$  описывается теорией достаточно хорошо, то есть период линейно зависит от ёмкости конденсатора. Хотя отклонение полученных данных отличаются от теоретических точек в среднем на 30-40% относительно теоретических значений. При сопротивлении 10 кОм расхождение достигает 97%. Это может быть из-за того, что для сопротивления 10 кОм данные снимались первыми, и установка не прогрелась и работала недостаточно хорошо. От сопротивления период зависит не так, как ожидалось. В теории он должен расти с ростом сопротивления, в действительности же при ёмкости от 1 мкФ с ростом сопротивления он слабо, но падает за счёт уменьшения разности между напряжением зажигания и напряжением гашения, что напрямую влияет на время зарядки и разрядки конденсатора. Отсюда можно сделать вывод, что ток разряда влияет на условия зажигания и гашения лампы. Также причинами расхождения могут быть неточности в самой установке или неверная теоретическая модель лампы, так как напряжение на лампе всё-таки зависит от времени. Однако если это учитывать, расчёты сильно усложнятся.

## **7. Заключение**

В результате проделанной работы были получены зависимости временных характеристик релаксационного генератора на основе неоновой лампы. Однако с теоретическими расчётами данные сходятся не полностью. Также данные при некоторых параметрах установки сильно разбросаны относительно аппроксимирующей кривой, что описано в анализе результатов. Таким образом, изучаемое устройство нецелесообразно использовать в качестве релаксационного генератора в практических целях, так как настроить его на определённую частоту будет затруднительно.

## **Литература**

1. *Энциклопедия Физики и Техники*, <http://femto.com.ua/>
2. Сивухин Д.В. *Общий курс физики*. М.: Физматлит: Изд-во МФТИ, 2002. Т. 3: Электричество.
3. Князев Б. А., Черкасский В. С. *Начала обработки экспериментальных данных*. Новосибирск: НГУ, 2005.