

# Релаксационные колебания\*

Иван Едигарьев,  
Московский Физико-Технический Институт  
Факультет Общей и Прикладной Физики, 526т

В работе предлагается снять вольт-амперную характеристику стабилитрона и познакомиться с работой релаксационного генератора: определить критическое сопротивление, исследовать зависимость периода колебаний от сопротивления при фиксированной ёмкости и от ёмкости при фиксированном сопротивлении.

В работе используются: стабилитрон СГ-2 (газонаполненный диод) на монтажной панели, амперметр, вольтметр, магазин сопротивлений, магазин емкостей, источник питания, осциллограф (ЭО), генератор звуковой частоты (ЗГ).

## I. ЗАДАНИЕ

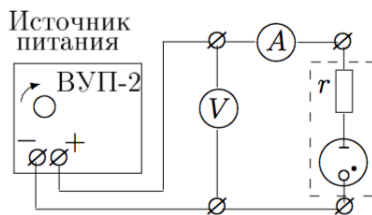
### A. Характеристика стабилитрона

1. Соберите схему, изображённую на рис. 1; к выходу источника питания подключите вольтметр (мультиметр СБМ), второй мультиметр используйте как амперметр. Правила работы с мультиметрами изложены в техническом описании (ТО) в конце папки.

Добавочное сопротивление  $r$  подпаяно между ножкой лампы и соответствующей клеммой для того, чтобы предохранить стабилитрон от перегорания. Это сопротивление остаётся включённым при всех измерениях. Запишите величину  $r$ , указанную на панели лампы.

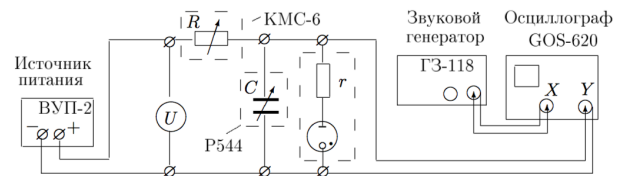
2. Установите регулятор источника питания на минимум напряжения и включите источник в сеть.

3. Снимите вольтамперную характеристику стабилитрона с резистором  $r$  при возрастании и убывании напряжения. При этом как можно точнее определите потенциалы зажигания и гашения  $V_1$  и  $V_2$  и соответствующие токи  $I_1$  и  $I_2$ .



### B. Осциллограммы релаксационных колебаний

4. Соберите релаксационный генератор согласно рис. 2.



5. Установите на магазине емкостей значение  $C = 0,05$  мкФ, а на магазине сопротивлений  $R = 900$  кОм.

6. Включите в сеть звуковой генератор и источник питания; установите напряжение  $U \approx 1,2V_1$  (целое значение, близкое к рассчитанному).

7. Настройте осциллограф, руководствуясь техническим описанием, расположенным на установке.

Подберите частоту развёртки ЭО, при которой на экране видна картина пилообразных колебаний.

Если возникли трудности, сначала найдите колебания визуально. Для этого, сохранив  $R = 900$  кОм, увеличьте ёмкость на порядок ( $C = n \cdot 10^{-1}$  мкФ). При таких больших значениях  $R$  и  $C$  возникают колебания с периодом в несколько секунд. Этот режим удобно использовать для проверки работоспособности собранного генератора. Если колебания видны глазом, можно искать пилу на экране, предварительно уменьшив ёмкость до величины  $= 0,05$  мкФ.

8. Получив пилу на экране, оцените соотношение между временем зарядки  $\tau_z$  и временем разрядки  $\tau_r$ . Зарисуйте в тетрадь картину колебаний.

9. Уменьшая сопротивление магазина, определите при котором пропадают колебания, и сравните его с величиной, рассчитанной по формуле

$$R_{кр} = \frac{U - V_2}{I_2}. \quad (1)$$

Это сравнение полезно сделать в процессе работы и подумать о причинах расхождения результатов.

Убедитесь, что колебания пропадают не только при уменьшении  $R$  при постоянном  $U$ , но и при увеличении  $U$  при постоянном  $R$ , когда это  $R$  не слишком превышает  $R_{кр}$ .

\* 3.5.3

### С. Фигуры Лиссажу и частота колебаний

10. Восстановите исходные параметры релаксационного генератора:  $C = 5 \cdot 10^{-2}$  мкФ,  $R = 900$  кОм,  $U \simeq 1, 2V_1$ .

Подайте сигнал с генератора на вход  $X$  осциллографа.

Меня частоту ЗГ, получите на экране фигуру Лиссажу без самопересечений, соответствующую отношению частот 1:1 (при сложении двух гармонических колебаний это был бы эллипс).

11. Не меняя параметров релаксационного генератора, уменьшите частоту ЗГ вдвое (втрое) и получите фигуры Лиссажу при соотношении частот 2:1 (3:1). Зарисуйте эти кривые в тетрадь (качественно).

Получите и зарисуйте фигуры Лиссажу при увеличении частоты ЗГ в два и три раза (1:2 и 1:3).

12. При любом целом значении  $R$  из интервала  $(2 - 4) R_{кр}$  снимите с помощью фигур Лиссажу 1:1 зависимость частоты колебаний от ёмкости  $C$ , меняя величину ёмкости в пределах от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  мкФ.

Напряжение  $U$ , необходимое для расчёта теоретического значения периода по формуле

$$T \approx \tau_3 = RC \ln \frac{U - V_2}{U - V_1},$$

следует поддерживать постоянным.

13. Проведите серию измерений  $\nu = f(R)$  при постоянной ёмкости  $5 \cdot 10^{-2}$  мкФ, меняя величину  $R$  от максимального значения до критического.

#### Обработка результатов

1. Постройте графики  $I = f(V)$  для системы, состоящей из стабилизатора и дополнительного сопротивления  $r$  (по результатам измерений) и для стабилизатора без сопротивления  $r$  (вычитая падение напряжения на сопротивлении  $r$  при каждом токе). Сравните относительные изменения тока и напряжения на стабилизаторе.

2. Рассчитав экспериментальные и теоретические значения периодов, постройте графики  $T_{эксп} = f(C)$  и  $T_{теор} = f(C)$  на одном листе.

3. На другом листе постройте графики  $T_{эксп} = f(R)$  и  $T_{теор} = f(R)$ .

4. Если наклоны теоретической и экспериментальной прямых заметно отличаются, рассчитайте из экспериментальной прямой динамический потенциал гашения. Потенциалы зажигания можно считать одинаковыми.

### Д. Данные

Построим график зависимости  $I = f(V)$  для системы, состоящей из стабилизатора и дополнительного сопротивления  $r$  (График 1) и для стабилизатора без сопротивления  $r$  (График 2):

График 1

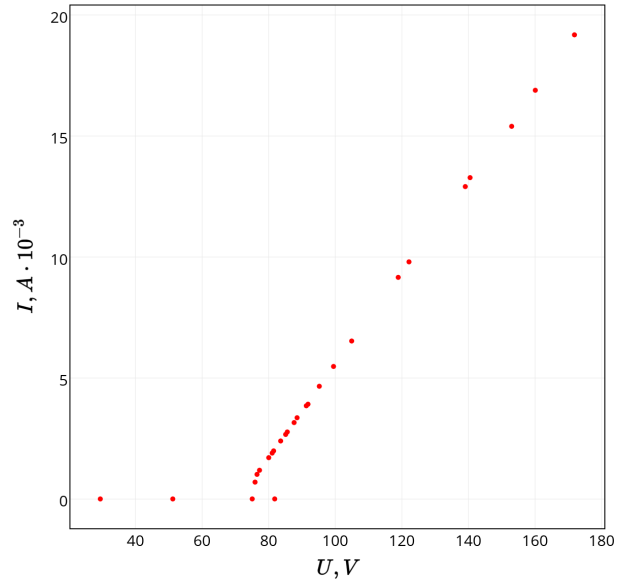
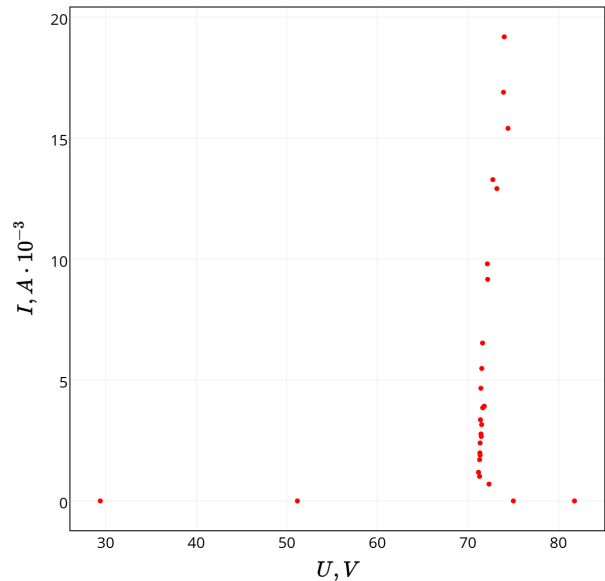


График 2



В момент гашения стабилизатора ток в цепи падал до значения порядка  $10^{-5}$  А, что вызывало уменьшение падающего на сопротивление напряжения и, следовательно, увеличение напряжения на стабилизаторе. Не будем использовать значения, измеренные в выключенном состоянии, а возьмём ближайшие к ним. Получим данные параметры:

$$V_1^{\text{exp}} = 85.6 \text{ В}, \quad I_1^{\text{exp}} = 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$V_2^{\text{exp}} = 75.1 \text{ В}, \quad I_2^{\text{exp}} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

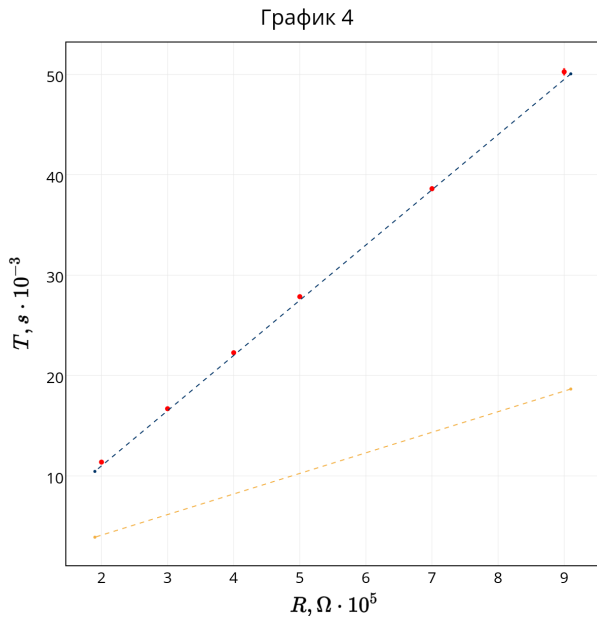
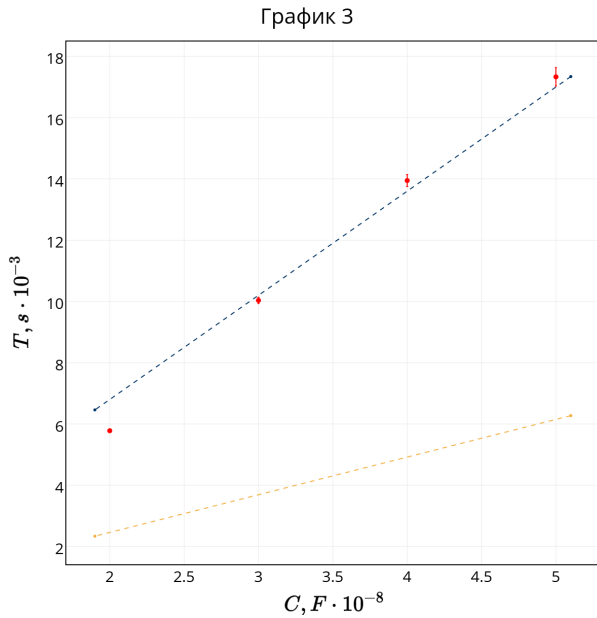
Во время работы с помощью осциллографа была сделана оценка на время зарядки  $\tau_3$  и разрядки  $\tau_p$ :

$$\tau_3 = 29 \text{ дел}, \quad \tau_p = 2 \text{ дел}$$

Отношение данных времён позволяет нам в дальнейшем пренебречь временем разрядки по сравнению с временем зарядки.

Во время работы согласно методическому описанию было проведено измерение сопротивления, при котором пропадают колебания, и сравнение с сопротивлением, рассчитанным по формуле (1) с помощью потенциалов и токов гашения и зажигания. Данные измерения плохо согласуются и можно говорить о расхождении результатов на данном этапе (см. Выполнение). Стоит заметить, что при этом можно выделить линейную зависимость ошибки от значения падающего напряжения.

Далее рассчитаем экспериментальные и теоретические значения периода колебаний и построим графики  $T_{\text{эксп}} = f(C)$  и  $T_{\text{теор}} = f(C)$  (График 3).



Аналогично поступим и с зависимостями  $T_{\text{эксп}} = f(R)$  и  $T_{\text{теор}} = f(R)$  (График 4).

Заметим, что существует достаточно большое расхождение с теорией в обеих зависимостях. Рассчитаем из экспериментальной прямой динамический потенциал гашения, построим линейную регрессию вида  $f(x) = \beta x$  с квадратичной функцией потерь. Получим:

$$\text{для } f(C) : \ln \frac{U - V_2^C}{U - V_1^C} = 1.13 \pm 0.04^{\text{stat}}$$

$$\text{для } f(R) : \ln \frac{U - V_2^R}{U - V_1^R} = 1.11 \pm 0.03^{\text{stat}}$$

Вычислим новые значения для потенциала гашения, измеренные через изменения  $C$  и  $R$ :

$$V_2^C = 43 \pm 2^{\text{stat}} V$$

$$V_2^R = 44 \pm 2^{\text{stat}} V$$

Вычитая падение напряжения на сопротивление и усредняя данные по двум опытам, получим итоговый ответ и оценим ошибку:

$$V^{\text{заж}} = (71 \pm 3^{\text{syst}}) V, \quad I^{\text{заж}} = (2.7 \pm 0.1^{\text{stat}}) \cdot 10^{-3} A$$

$$V^{\text{гаш}} = (37 \pm 2^{\text{stat}} \pm 2^{\text{syst}}) V, \quad I^{\text{гаш}} = (1.2 \pm 0.1^{\text{stat}}) \cdot 10^{-3} A$$

Картину релаксационных колебаний и качественную зарисовку фигур Лисажу можно найти в приложении к данной работе, в пунктах 1) и 2) соответственно.