

# Лабораторная работа 3.2.8. Релаксационные колебания.

Иван Сладков

19 февраля 2022 г.

## 1 Аннотация

В данной работе проводится изучение вольт-амперной характеристики нормального тлеющего разряда; исследуются свойства релаксационного генератора на стабилитроне.

## 2 Теоретические сведения

Колебательные системы, как правило, имеют два накопителя, между которыми происходит перекачка энергии. Встречаются, однако, колебательные системы, содержащие всего один накопитель энергии. Одним из примером таких схем является схема на рис. 2. Разряду конденсатора можно придать периодический характер, возобновляя зарядку через постоянные промежутки времени. В данной работе для этого применяется газоразрядный диод.

ВАХ такого диода (рис. 1) не подчиняется закону Ома. При малых напряжениях лампа не пропускает ток. Он возникает, если разность потенциалов на её электродах достигает напряжения зажигания  $V_1$ . Дальнейшее возрастание тока с увеличением напряжения практически линейно. При уменьшении напряжения на диоде, лампа гаснет при напряжении гашения  $V_2 < V_1$ .

Релаксационные колебания возникают, если сопротивление  $R$  достаточно велико. Тогда в момент замыкания ключа конденсатор начнёт заряжаться, и при  $V \geq V_1$  загорится лампа. Тогда конденсатор начнёт разряжаться через неё и  $V$  станет меньше  $V_2$ . Лампа погаснет. Конденсатор вновь начнёт заряжаться.

При стационарном режиме ( $I, U = \text{const}$ ),

$$I_{\text{ст}} = \frac{U - V}{R}, \quad (1)$$

тогда  $R_{\text{кр}}$  – минимальное сопротивление, при котором возникают колебания:

$$R_{\text{кр}} = \frac{U - V_2}{I_2}. \quad (2)$$

Найдём период. При погасшей лампе,

$$RC \frac{dV}{dt} = U - V,$$

отсюда

$$V = U - (V - V_2) \exp \frac{-t}{RC}.$$

В момент зажигания  $V = V_1 = V(\tau_3)$ ,

$$V_1 = U - (V_1 - V_2) \exp \frac{-\tau_3}{RC}.$$

Тогда для периода:

$$T \approx \tau_3 = RC \ln \frac{U - V_2}{U - V_1}. \quad (3)$$

Здесь считаем, что

$$\tau_{\text{P}} \ll \tau_3, \quad (4)$$

где  $\tau_{\text{P}}$  – время разрядки. Также необходимо пренебречь паразитными ёмкостями, индуктивностями, и считать, что период колебаний существенно больше времени развития разряда.

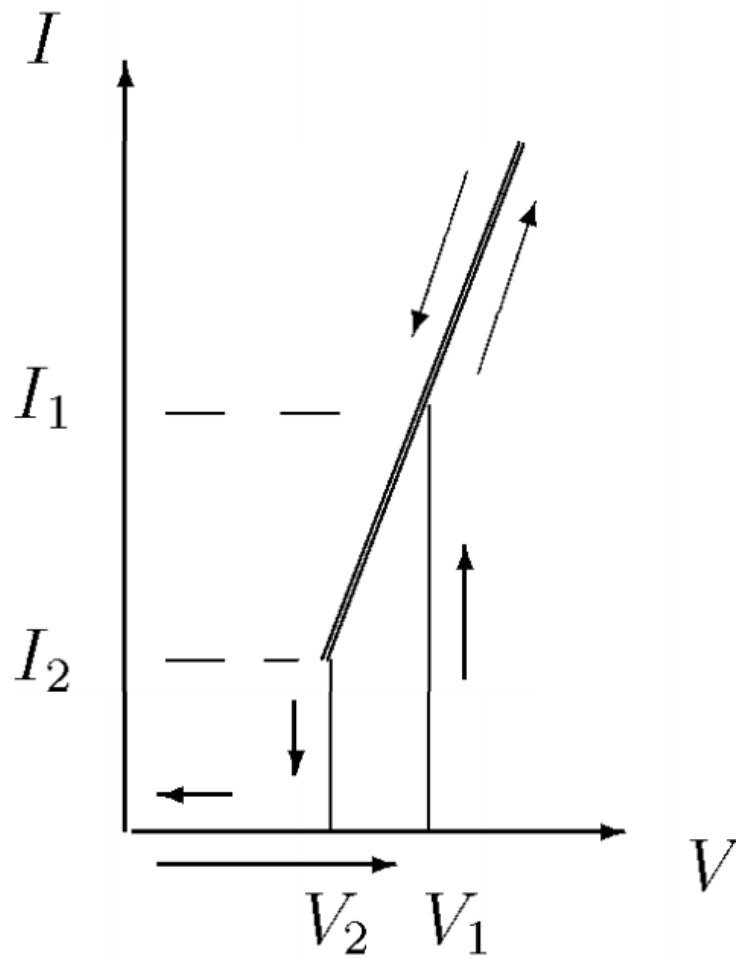


Рис. 1: ВАХ газонаполненного диода

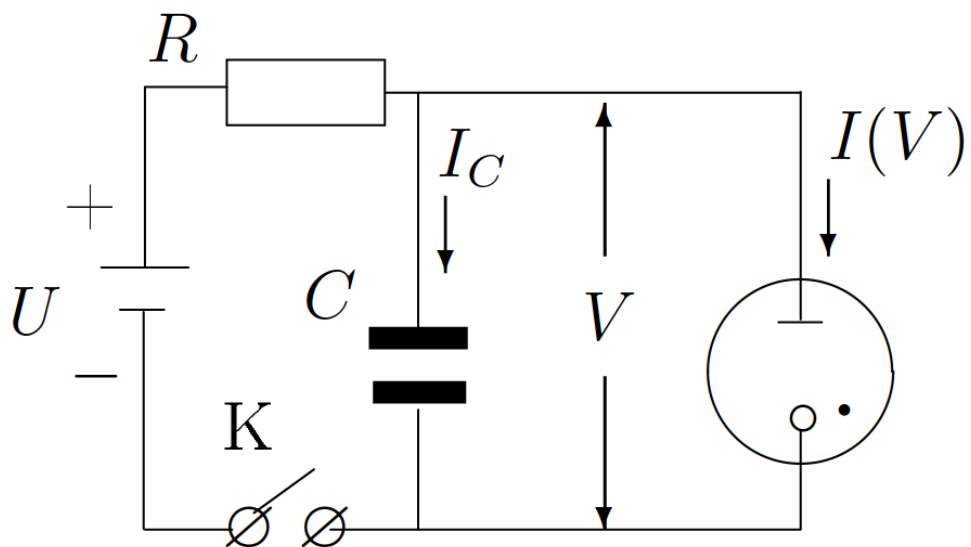


Рис. 2: Схема, реализующая релаксационные колебания

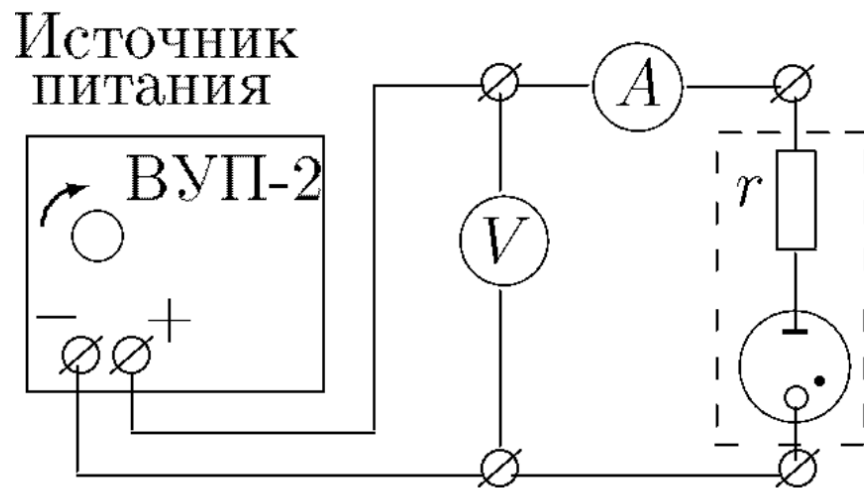


Рис. 3: Схема для исследования ВАХ

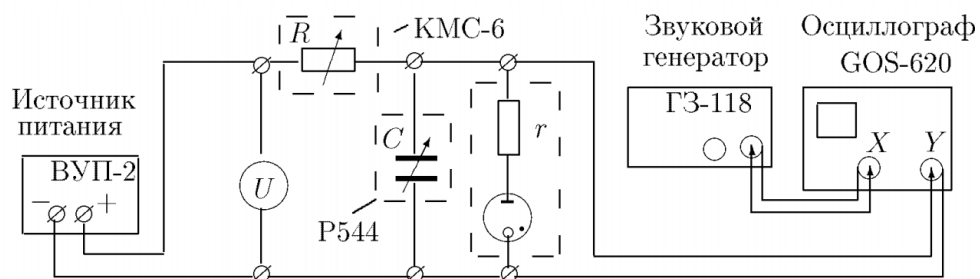


Рис. 4: Схема для исследования релаксационного генератора

### 3 Оборудование и инструментальные погрешности

В работе используются 2 схемы: 1-я для снятия ВАХ (рис. 3), 2-я для исследования релаксационного генератора (рис. 4).

Амперметр:  $\Delta = \pm 10 \mu\text{A}$

Вольтметр:  $\Delta = \pm 10 \text{ mV}$

Стабилитрон СГ-2 (газонаполненный диод) на монтажной панели:  $r = 5.2 \text{ k}\Omega$

Магазин сопротивлений

Магазин ёмкостей

Источник питания

Осциллограф

Генератор частоты

### 4 Результаты измерений

Все измерения и расчёты в СИ.

#### 4.1 ВАХ стабилитрона

Вольт-амперная характеристика стабилитрона в таблице 1.

$U_{\text{возр}} \pm 0.01 \text{ В}$	$I_{\text{возр}} \pm 0.01 \text{ мА}$	$U_{\text{уб}} \pm 0.01 \text{ В}$	$I_{\text{уб}} \pm 0.01 \text{ мА}$
5.87	0.01	110.8	6.9
13.96	0.01	100.79	5.13
48.61	0.01	95.3	4.17
69.11	0.01	90.2	3.2
90.5	0.01	85.7	2.4
93.59	3.81	80.8	1.46
99.9	4.97	77.9	0.01
109.9	6.86	60.3	0.01
120.88	8.78	41.54	0.01
124.4	9.44	22.15	0.01

Таблица 1: Снятие ВАХ

При поиске критических значений  $V, I$  получена таблица 2.

$V_1 \pm 0.01 \text{ В}$	$I_1 \pm 0.01 \text{ мА}$	$V_2 \pm 0.01 \text{ В}$	$I_2 \pm 0.01 \text{ мА}$
90.31	3.26	81.4	1.35
91.7	3.50	79.0	1.20
90.3	3.27	80.0	1.30

Таблица 2: К определению напряжений зажигания и гашения

По осциллограмме пилообразного напряжения на диоде при  $U = 110 \text{ В}$  найдём:

$$\tau_3 \approx 46 \text{ мс},$$

$$\tau_{\text{р}} \approx 1.5 \text{ мс}.$$

При этом выполнено  $\tau_{\text{р}} \ll \tau_3$ .

#### 4.2 Релаксационный генератор

В дальнейших измерениях  $U = 130.7 \text{ В}$ , т. к. иначе происходящие в системе процессы становятся малозаметными. Уменьшая сопротивление, найдём:

$$R_{\text{кр}} = 210 \pm 1 \text{ кОм}.$$

Для сравнения, по формуле (2),

$$R_{\text{кр}} \approx \frac{130 - 80}{1.20} = 38.4 \pm 0.5 \text{ кОм}.$$

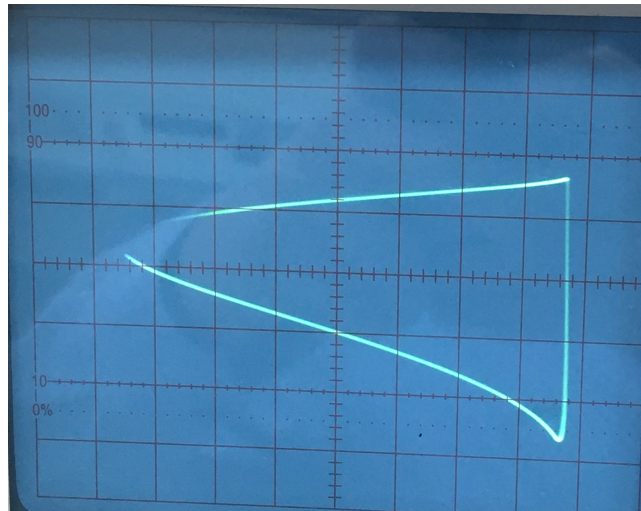


Рис. 5: Лиссажу 1:1

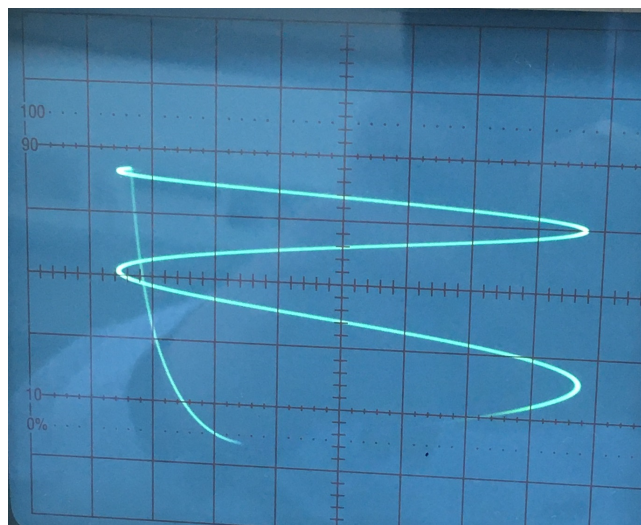


Рис. 6: Лиссажу 2:1

Теоретическое и экспериментальное значения  $R_{кр}$  существенно отличаются. Это может быть связано с тем, что не учтены процессы деионизации и установления разряда или с тем, что формула (1) задана для стационарного режима и не учитывает регулярную зарядку/разрядку конденсатора.

### 4.3 Фигуры Лиссажу и частота колебаний

Фигуры Лиссажу 1:1, 2:1, 3:1 изображены на рис. 5, 6, 7 соответственно. Для соотношений 1:2, 1:3 фигуры получить не удалось.

При снятии зависимости  $\nu(C)$  получены результаты табл. 3.

При снятии зависимости  $\nu(R)$  получили результаты в таблице 4.

## 5 Обработка данных

Построим график ВАХ стабилитрона с резистором  $r$  (рис. 8) и без него (рис. 9). Существование 2 различных  $I$  при одном  $U$  обусловлено падением напряжения на резисторе, которое отсутствует, когда лампа не горит.

Построим графики  $T(C)$ ,  $T(R)$  для экспериментальных и теоретических значений на рис. 10 и рис. 11.

Наклон графиков существенно различается. Найдём динамический потенциал из (3) например для графика  $T(C)$ :

$$k = R \ln \frac{U - V_2}{U - V_1} = 420000 \pm 8000$$

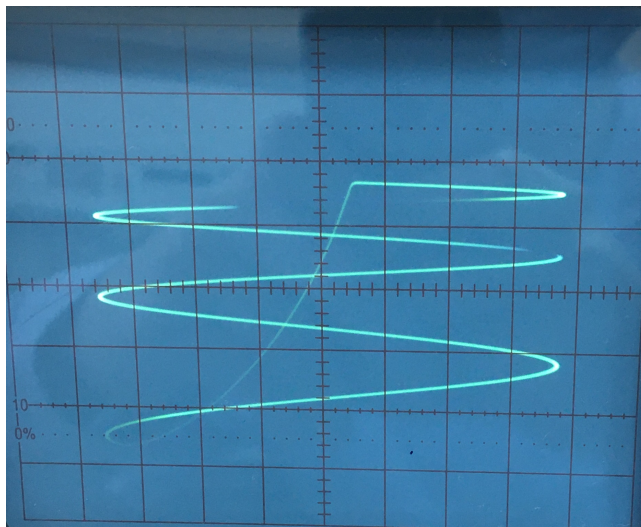


Рис. 7: Лиссажу 3:1

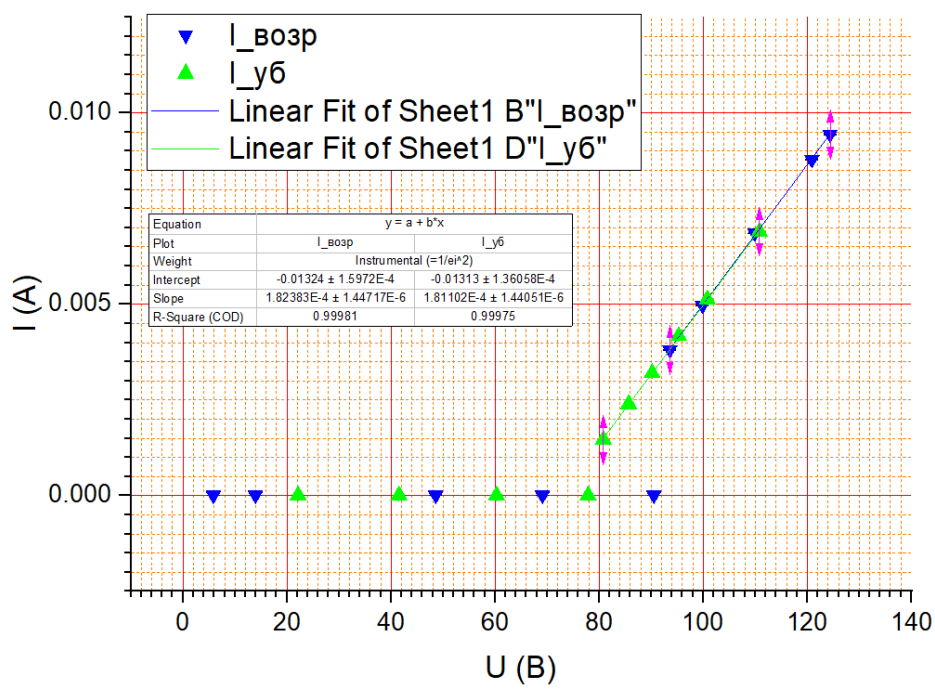


Рис. 8: ВАХ стабилитрона с резистором

$C \pm 0.1 \text{ нФ}$	$\nu \pm 1 \text{ Гц}$
50	52
45	58
40	67
35	79
30	96
25	118
20	162
15	249
10	431
5	951

Таблица 3:  $\nu(C)$  при  $R = 640 \text{ кОм}$ ,  $U = 130.7 \text{ В}$ 

$R \pm 0.001 \text{ кОм}$	$\nu \pm 1 \text{ Гц}$
1000	33
900	37
800	41
700	47
600	55
500	67
400	86
300	119
290	126
270	139
250	160
230	203

Таблица 4:  $\nu(R)$  при  $C = 50 \text{ нФ}$ ,  $U = 130.7 \text{ В}$ 

$$V_2 = U - (U - V_1) \exp \frac{k}{R} \approx 54 \text{ В}$$

Значит, лампа работает в динамическом режиме релаксационных колебаний (например, это может быть связано с выбором более высокого напряжения  $U$ ).

## 6 Вывод

Ознакомились с принципом действия газонаполненного диода в режиме стабилитрона; сняли его ВАХ. Собрали и исследовали релаксационный генератор; вычислили и нашли экспериментально его период.

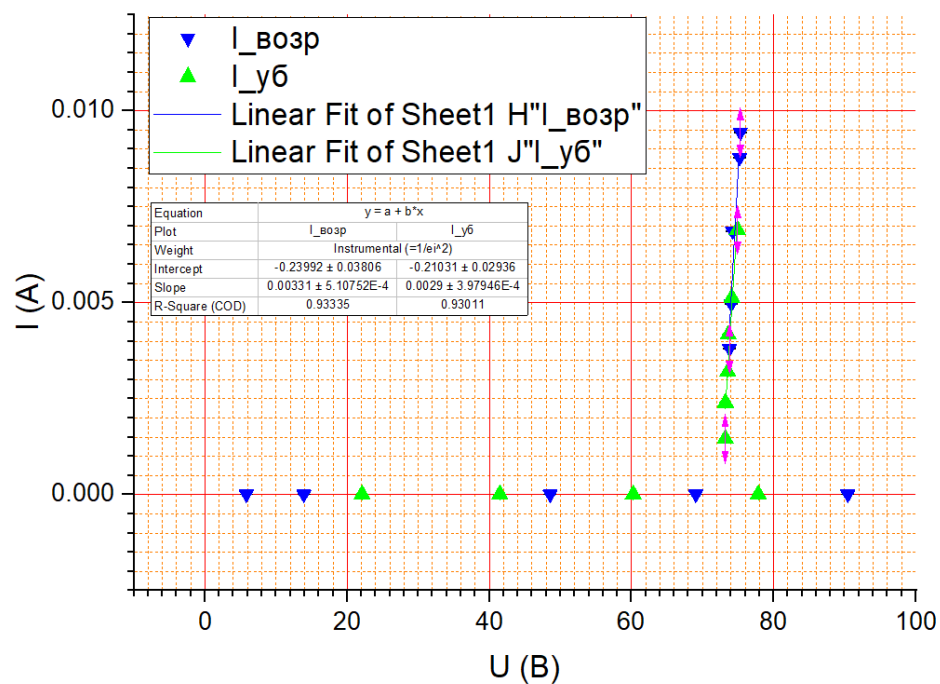
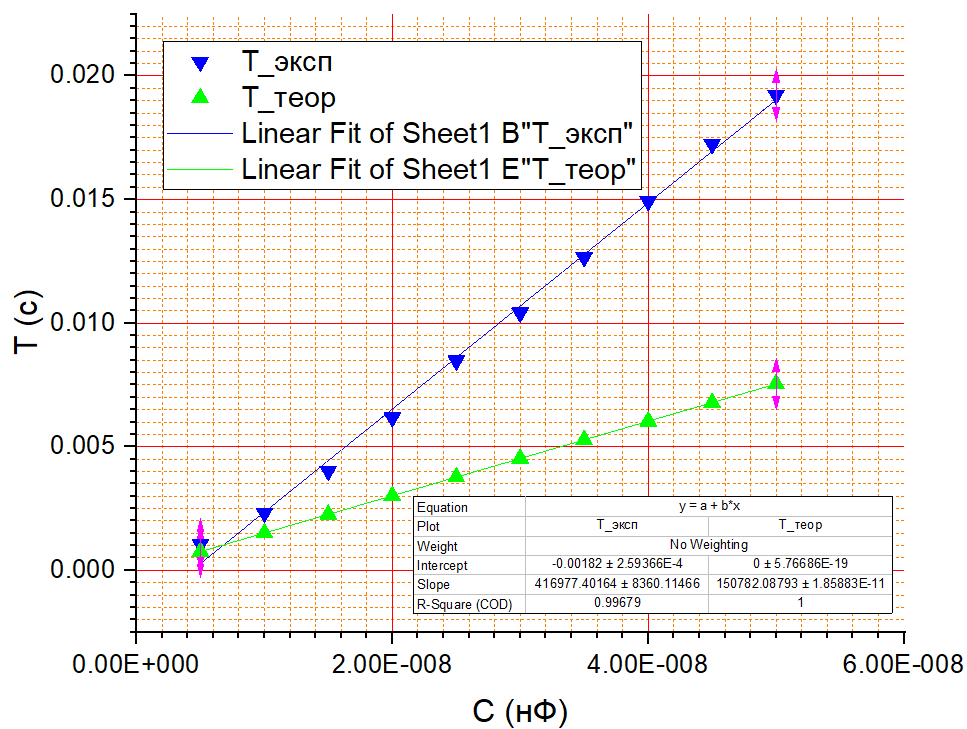
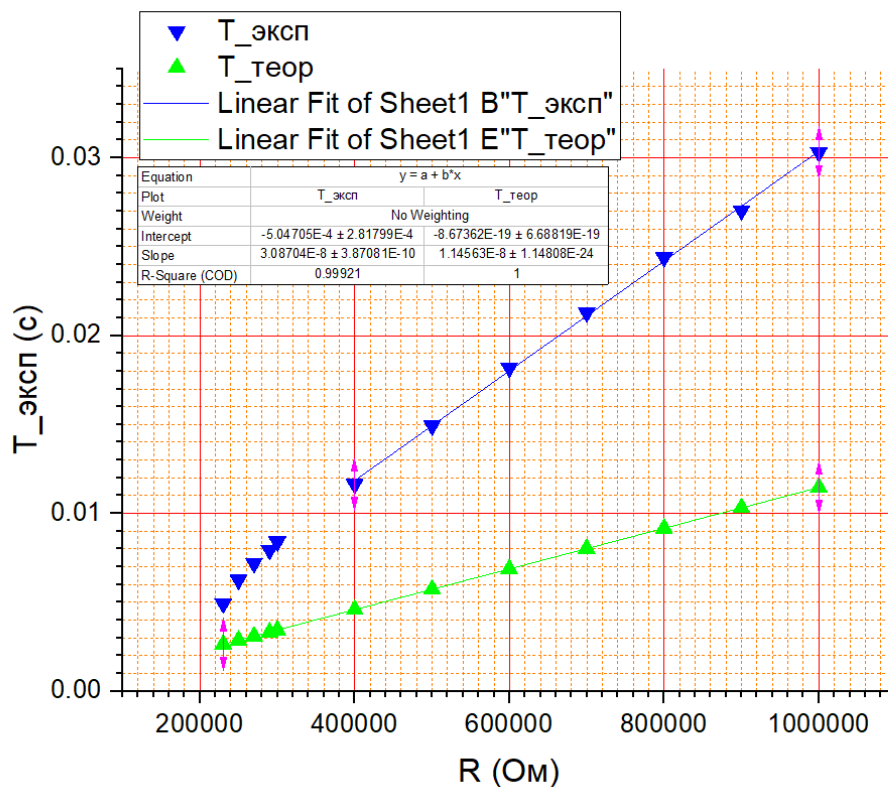


Рис. 9: ВАХ стабилизатора без резистора

Рис. 10: Зависимость  $T(C)$



Рис. 11: Зависимость  $T(R)$ 

## Список литературы

- [1] Сивухин Д. В. *Общий курс физики. Том 3 Электричество и магнетизм*, 2004
- [2] Кириченко Н.А. *Электричество и магнетизм.*, 2011
- [3] *Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие* под ред. А. В. Максимычева, М. Г. Никулина