

Работа 3.5.3 or 3.2.8

Релаксационные колебания

Стрижак Даниил

1 Аннотация

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.

2 Теоретические сведения

Колебательные системы, как правило, имеют два накопителя, между которыми происходит перекачка энергии. В контуре, содержащем конденсатор и катушку индуктивности, электрическая энергия переходит в магнитную и обратно; при колебаниях маятника потенциальная энергия поля тяжести переходит в кинетическую энергию движущейся массы и т.д.

Встречаются, однако, колебательные системы, содержащие всего один накопитель энергии. Рассмотрим в качестве примера электрическую цепь, содержащую конденсатор и сопротивление без самоиндукции. Разряд конденсатора через сопротивление представляет собой аperiодический процесс. Разряду, однако, можно придать периодический характер, возобновляя заряд конденсатора через постоянные промежутки времени. Колебания в этом случае являются совокупностью двух аperiодических процессов - процесса зарядки конденсатора и процесса его разрядки. Такие колебания называются релаксационными.

В нашей установке роль ключа, обеспечивающего последовательно попеременную зарядку и разрядку конденсатора, играет газоразрядный диод. Зависимость тока от напряжения для газоразрядной лампы не подчиняется закону Ома и характеризуется рядом особенностей (рис. 1). При малых напряжениях лампа не пропускает тока вовсе (не горит). Ток в лампе возникает только в том случае, если разность потенциалов на её электродах достигает напряжения зажигания V_1 . При этом, тлеющий разряд. При дальнейшем незначительном увеличении напряжения сила тока заметно возрастает по закону, близкому к линейному. Если начать уменьшать напряжение на горячей лампе, то при напряжении, равном V_1 , лампа ещё не гаснет, и сила тока продолжает уменьшаться. Лампа перестанет пропускать ток лишь при напряжении гашения V_2 , которое обычно существенно меньше V_1 . Сила тока при этом скачком падает от значения I_2 ($I_2 < I_1$) до нуля. Характеристика, изображённая на рис. 1, несколько идеализирована. У реальной лампы зависимость $I(V)$ не вполне линейна. При $V > V_1$ графики соответствующие возрастанию и убыванию напряжения, не всегда совпадают. Эти отличия, впрочем, носят второстепенный характер и для нашей задачи несущественны.

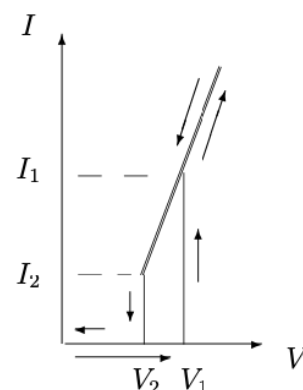


Рис. 1. Вольтамперная характеристика стабилитрона с последовательно включённым резистором

Рассмотрим схему релаксационного генератора, представленную на рис. 2. Пусть напряжение батареи U больше напряжения зажигания V_1 . В обозначениях, принятых на схеме, справедливо уравнение

$$I_C + I(V) = \frac{U - V}{R}$$

$$C \frac{dV}{dt} + I(V) = \frac{U - V}{R}$$

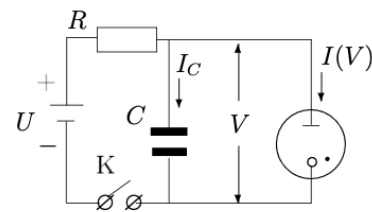


Рис. 2. Принципиальная схема релаксационного генератора

В стационарном режиме работы, когда напряжение V на конденсаторе постоянно и $dV/dt = 0$, ток через лампу равен

$$I_{cr} = \frac{U - V}{R}$$

Равенство (2) может быть представлено графически (рис. 3). При разных R графики имеют вид прямых, пересекающихся в точке $V = U, I = 0$. Область, где эти нагрузочные прямые пересекают вольт-амперную характеристику лампы, соответствует стационарному режиму - при малых R (прямая 1) лампа горит постоянно, колебания отсутствуют. Прямая 2, проходящая через точку (I_2, V_2) , соответствует критическому сопротивлению

$$R_{кр} = \frac{U - V_2}{I_2}$$

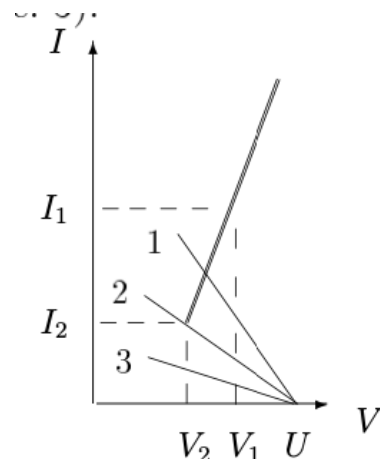


Рис. 3. Режимы работы релаксационного генератора

При сопротивлении $R > R_{кр}$ нагрузочная прямая 3 не пересекает характеристику лампы, поэтому стационарный режим невозможен. В этом случае в системе устанавливаются колебания. Рассмотрим, как происходит колебательный процесс. Пусть в начале опыта ключ K разомкнут (рис. 2) и $V = 0$. Замкнём ключ. Конденсатор C начинает заряжаться через сопротивление R , напряжение на нём увеличивается (рис. 4). Как только оно достигнет напряжения зажигания V_1 , лампа начинает проводить ток, причём прохождение тока сопровождается разрядкой конденсатора. В самом деле, батарея U , подключённая через большое сопротивление R , не может поддерживать необходимую для горения лампы величину тока. Во время горения лампы конденсатор разряжается, и когда напряжение на нём достигнет потенциала гашения, лампа перестанет проводить ток, а конденсатор вновь начнёт заряжаться. Возникают релаксационные колебания с амплитудой, равной $(V_1 - V_2)$.

Рассчитаем период колебаний. Полное время одного периода колебаний T состоит из суммы времени зарядки τ_3 и времени разрядки τ_p , но если сопротивление R существенно превосходит сопротивление Зажжённой лампы, то $\tau_3 \gg \tau_p$ и $T \simeq \tau_3$ (этим случаем мы и ограничимся). Во время зарядки конденсатора лампа не горит [$I(V) = 0$], и уравнение (1) приобретает вид

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

Будем отсчитывать время с момента гашения лампы, так что $V = V_2$ при $t = 0$ (рис. 4). Решив уравнение (4), найдём

$$V = U - (U - V_2) e^{-t/(RC)}$$

В момент зажигания $t = \tau_3$, $V = V_1$, поэтому

$$V_1 = U - (U - V_2) e^{-\tau_3/(RC)}$$

Из уравнений (5) и (6) нетрудно найти период колебаний:

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

Развитая выше теория является приближённой. Ряд принятых при расчётах упрощающих предположений оговорен в тексте. Следует иметь в виду, что мы полностью пренебрегли паразитными емкостями и индуктивностями схемы. Не рассматривались также процессы развития разряда и деионизация при гашении. Поэтому теория справедлива лишь в тех случаях, когда в схеме установлена достаточно большая ёмкость и когда период колебаний существенно больше времени развития разряда и времени деионизации (практически $\gg 10^{-5}$ с). Кроме того, потенциал гашения V_2 , взятый из статической вольт-амперной характеристики, может отличаться от потенциала гашения лампы, работающей в динамическом режиме релаксационных колебаний.

3 Результаты измерений и обработка данных

1. Характеристика стабилитрона

Соберем схему, изображённую на рис. 5. Добавочное сопротивление r подпаяно между ножкой лампы и соответствующей клеммой для того, чтобы предохранить стабилитрон от перегорания. Это сопротивление остаётся включённым при всех измерениях.

$$r = 5,4 \text{ кОм}$$

. Установим регулятор источника питания на минимум напряжения и включим источник в сеть.

Снижением вольтамперную характеристику стабилитрона с резистором r при возрастании и убывании напряжения. При этом как можно точнее определим потенциалы зажигания и гашения $V_1 = 88,73\text{В}$ и $V_2 = 80,55\text{В}$ и соответствующие токи $I_1 = 3,144\text{А}$ и $I_2 = 1,254\text{А}$

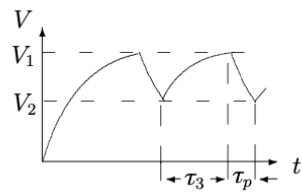


Рис. 4. Осциллограмма релаксационных колебаний

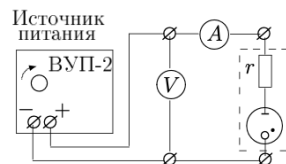


Рис. 5. Схема установки для изучения характеристик стабилитрона

II. Осциллограммы релаксационных колебаний

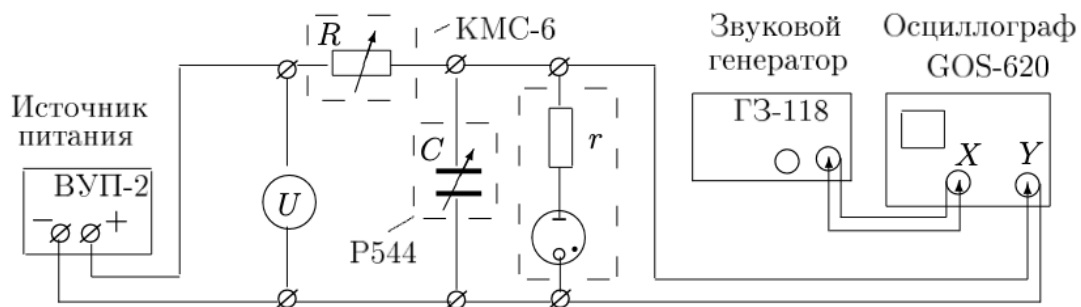


Рис. 6. Схема установки для исследования релаксационных колебаний

Соберем релаксационный генератор согласно рис. 6. Установим на магазине емкостей значение $C = 0,05$ мкФ, а на магазине сопротивлений $R = 900$ кОм.

Включите в сеть звуковой генератор и источник питания; установите напряжение $U \simeq 1,2V_1 = 107$ В (целое значение, близкое к рассчитанному).

Подберём частоту развёртки ЭО, при которой на экране видна картина пилообразных колебаний (рис. 4)

Получив пилу на экране, оценим соотношение между временем зарядки τ_3 и временем разрядки τ_p , оно равно $\frac{25}{2}$. При этом картина колебаний выглядит так:

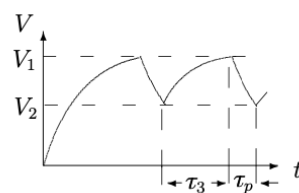


Рис. 4. Осциллограмма релаксационных колебаний

тут должна быть картинка с осциллографа, но она точно такая же

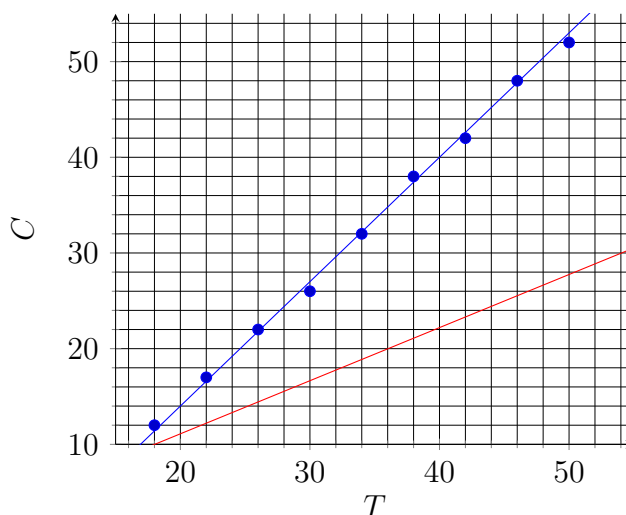
Уменьшая сопротивление магазина, определим $R_{кр}$, при котором пропадают колебания, и сравните его с величиной, рассчитанной по формуле (3). Это сравнение полезно сделать в процессе работы и подумать о причинах расхождения результатов.

$$R_{кр} = 78 \text{ кОм}$$

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

При значении $R = 150$ кОм проведем серию измерений $T = T(C)$ при постоянном напряжении.

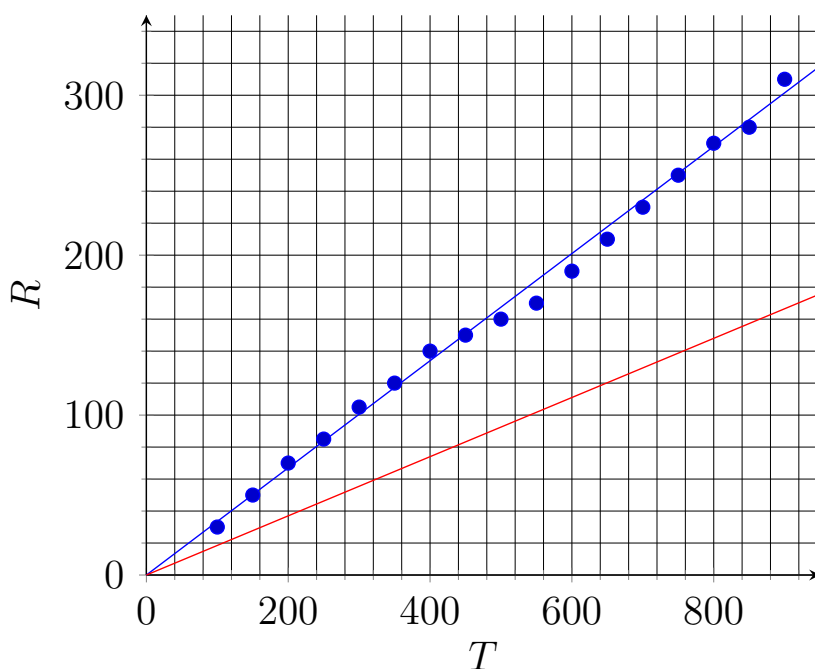
C, нФ	T, мс
50	52
46	48
42	42
38	38
34	32
30	26
26	22
22	17
18	12



Заметны отличия наклона графиков теоретической и экспериментальной зависимостей. Коэффициенты наклона отличаются в 2,36 раз, значит динамический потенциал гашения равен $V_d = 86,4$ В.

Проведем серию измерений $T = T(R)$ при ёмкости $C = 50$ нФ

R, кОм	T, мс
900	310
850	280
800	270
750	250
700	230
650	210
600	190
550	170
500	160
450	150
400	140
350	120
300	105
250	85
200	70
150	50
100	30

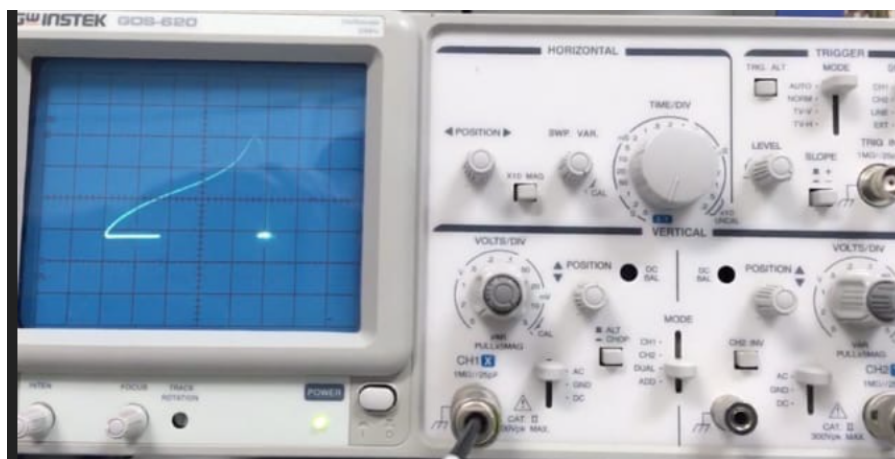


Заметны отличия наклона графиков теоретической и экспериментальной зависимостей. Коэффициенты наклона отличаются в 1,81 раз, значит динамический потенциал гашения равен $V_d = 86,6$ В.

III. Фазовые траектории релаксационных колебаний

Настроим осциллограф так, чтобы можно было наблюдать фазовые траектории релаксационных колебаний.

Зарегистрируем фазовую траекторию с координатной сеткой, а так же коэффициенты усиления по осям координат, по которым можно будет восстановить количественные характеристики фазовой траектории.



Данной фазовой траектории можно однозначно сопоставить вольт-амперную характеристику стабилитрона. Сглаживание траектории объясняется пренебрежениями, допущенными в теоретической модели, которыми нельзя было пренебрегать. Следует иметь в виду, что мы полностью пренебрегли паразитными емкостями и индуктивностями схемы. Не рассматривались также процессы развития разряда и деионизация при гашении.

4 Выводы и расчет погрешностей

4.1 Вывод

Мы познакомились с работой релаксационного генератора и определили все характеризующие его параметры. Выяснилось, что теоретические расчеты немногим отличаются от действительности, например Динамический потенциал гашения отличается на 7%.

4.2 Погрешности

$$\frac{\Delta V_d}{V_d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_1}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2} \approx \frac{\Delta T}{T} \approx 3\%$$