

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по электричеству

Релаксационные колебания [3.2.8]

Талашкевич Даниил Александрович
Группа Б01-009

Долгопрудный
2021

Содержание

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 апериодический процесс. Разряду, однако, можно придать периодический характер, возобновляя заряд конденсатора через постоянные промежутки времени. Колебания в этом случае являются совокупностью двух апериодических 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

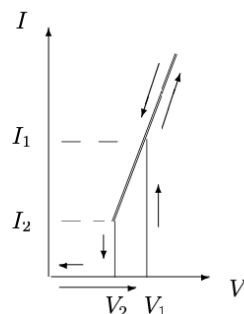


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика стабилитрона с последовательно включённым резистором

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.

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

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

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

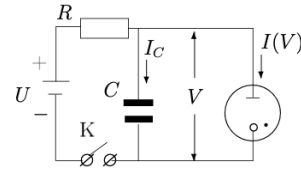


Рис. 2. Принципиальная схема релаксационного генератора

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

$$R_{кр} = \frac{U - V_2}{I_2}$$

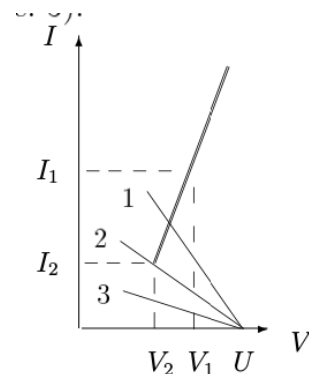


Рис. 3. Режимы работы релаксационного генератора

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.

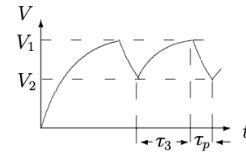


Рис. 4. Осциллограмма релаксационных колебаний

3 Результаты измерений и обработка данных

YUYYYY

4 Обработка результатов

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

5 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%.

6 Литература

1. **Лабораторный практикум по общей физике:** учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Электричество и магнетизм / Никулин М. Г., Попов П. В., Нозик А. А., и др.; под ред. А. В. Максимычева, М. Г. Никулина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : МФТИ, 2019. — 370 с. ISBN 978-5-7417-0709-8 (Т. 2. Электричество и магнетизм)