

Условие

Задача 9-2 Газоразрядная лампочка

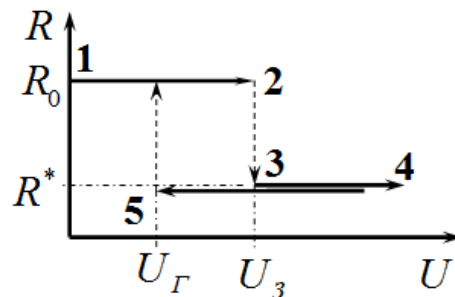
Построение всех графиков выполняйте на выданном отдельном бланке!

Во всех электронных цепях используются различные нелинейные элементы, для которых сила тока сложным образом зависит от приложенного напряжения. Одним из первых таких элементов была газоразрядная неоновая лампочка, изображение которой на электрических схемах показано на рисунке.



Главной особенностью такой лампочки является то, что ее сопротивление резко изменяется, когда лампочка загорается. В данной задаче мы используем упрощенную модель описания работы лампочки.

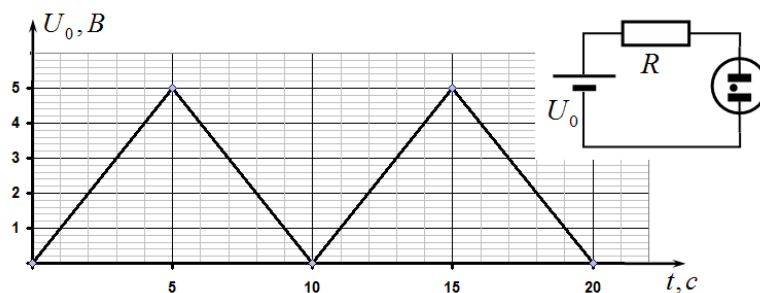
Рассмотрим, как изменяется сопротивление лампочки при изменении напряжения на ней. Пусть в начальный момент времени напряжение на лампочке равно нулю и лампочка не горит (точка 1 на рисунке). При этом сопротивление лампочки велико (обозначим его R_0), при увеличении напряжения сопротивление остается неизменным и равным R_0 до тех пор, пока напряжение не достигнет некоторого значения U_3 (напряжение зажигания). При достижении зажигания (точка 2) начинается газовый разряд – лампочка загорается, и ее сопротивление скачком падает до значения R^* (точка 3), которое значительно меньше R_0 . При дальнейшем увеличении напряжения сопротивление горячей лампочки остается равным R^* . Если уменьшать напряжение на горячей лампочке, то она погаснет при напряжении U_Γ (напряжение гашения), которое меньше, чем напряжение зажигания U_3 (точка 5). После того, как лампочка погаснет, ее сопротивление снова становится большим и равным R_0 .



Часть 1. Зажигание и гашение.

В данной части рассматривается неоновая лампочка со следующими параметрами: * - напряжение зажигания $U_3 = 3,0$ В; - напряжение гашения $U_\Gamma = 1,0$ В; - сопротивление не горячей лампочки $R_0 = 200$ кОм; - сопротивление лампочки в зажженном состоянии $R^* = 1,0$ Ом.*

1.1 Постройте на выданном бланке вольтамперную характеристику лампочки (зависимость силы тока через лампочку от приложенного напряжения) при увеличении напряжения от нуля до 5,0 В и последующем уменьшении напряжения до нуля.



Неоновая лампочка включена в цепь последовательно с резистором, как показано на рисунке. Сопротивление резистора $R = 1,0$ Ом. Напряжение источника U_0 изменяется со временем, график этой зависимости показан

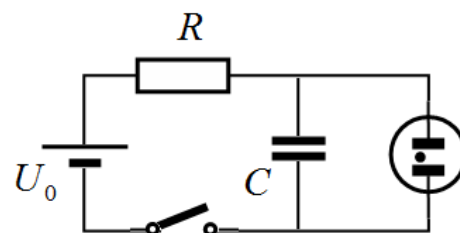
на рисунке (эти же графики приведены на отдельном бланке в большем масштабе). 1.2 Постройте график зависимости силы тока в цепи от времени. В начальный момент времени лампочка не горит.

Часть 2. Еще и конденсатор!

В данной части задачи используется другая лампочка. Сопротивление лампочки в незажженном состоянии бесконечно велико, а зажженном близко к нулю; напряжение зажигания $U_3 = 5,0$ В; напряжение гашения $U_{\Gamma} = 1,0$ В;

напряжения зажигания и гашения остаются прежними.

Лампочка включена в цепь, показанную на Схеме 1. Напряжение источника постоянно и равно $U_0 = 7,0$ В.



В цепи находится конденсатор (обозначен C) – это устройство, состоящее из двух пластин и предназначенное для накопления электрического заряда. При подключении конденсатора к источнику постоянного напряжения электрический заряд на пластинах достаточно медленно растет, при этом также медленно возрастает и напряжение на конденсаторе (которое пропорционально накопленному заряду).

Схема 1.

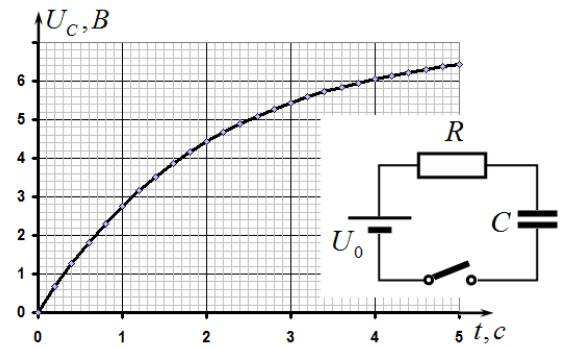
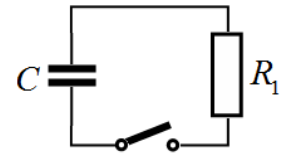


График зависимости напряжения на конденсаторе от времени при подключении его к источнику постоянного напряжения показан на рисунке. Сопротивления резисторов на схемах одинаковы.

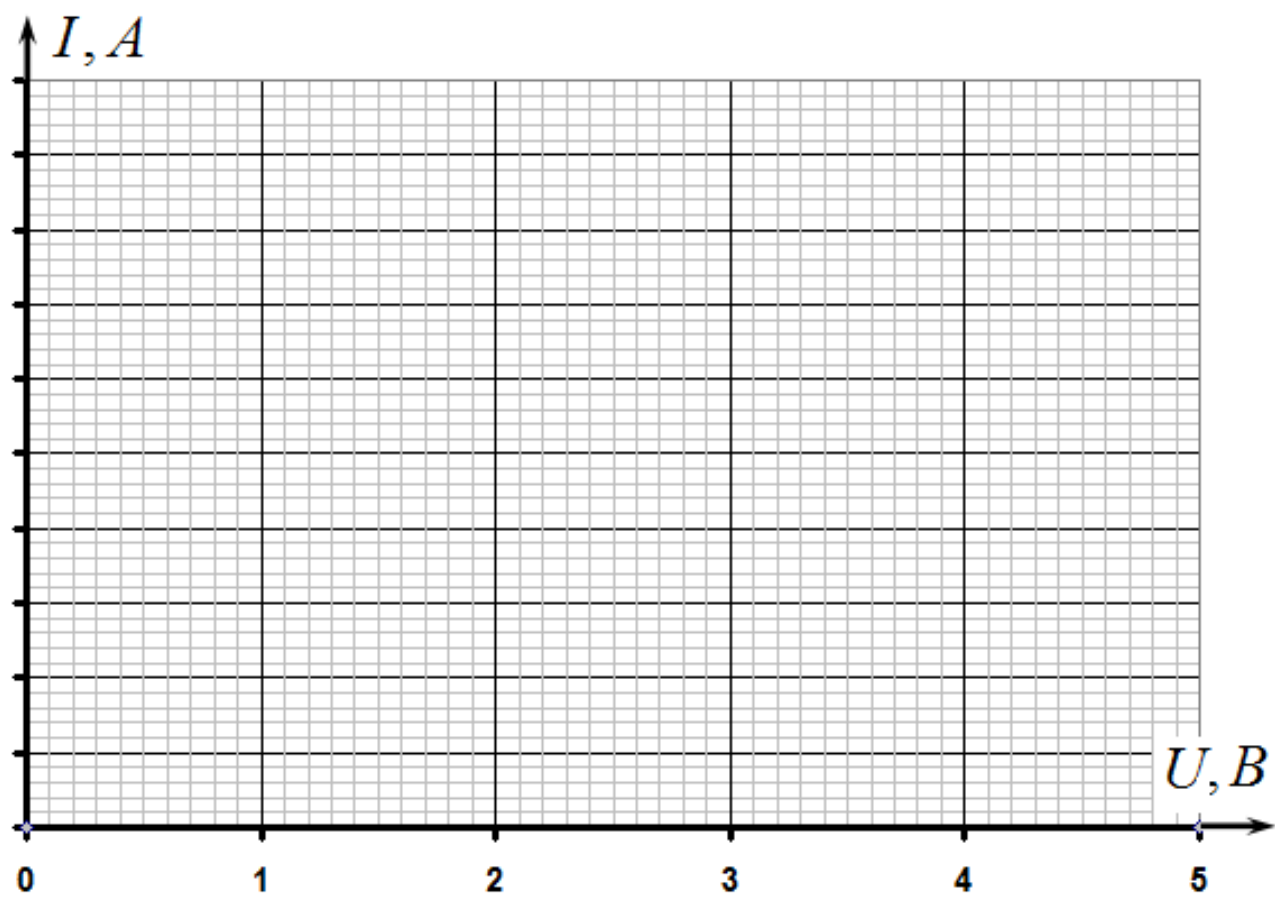
Если заряженный конденсатор подключить напрямую к резистору малого сопротивления R_1 , то он быстро разряжается, то есть напряжение падает до нуля за очень малое время.

2.1 В Схеме 1 изначально конденсатор не заряжен (напряжение на нем равно нулю), лампочка, очевидно, не горит. В момент времени $t = 0$ ключ замыкают. Постройте график зависимости напряжения на конденсаторе от времени в течение промежутка времени от 0 до 10 секунд. Укажите на графике промежутки времени, когда лампочка горит.



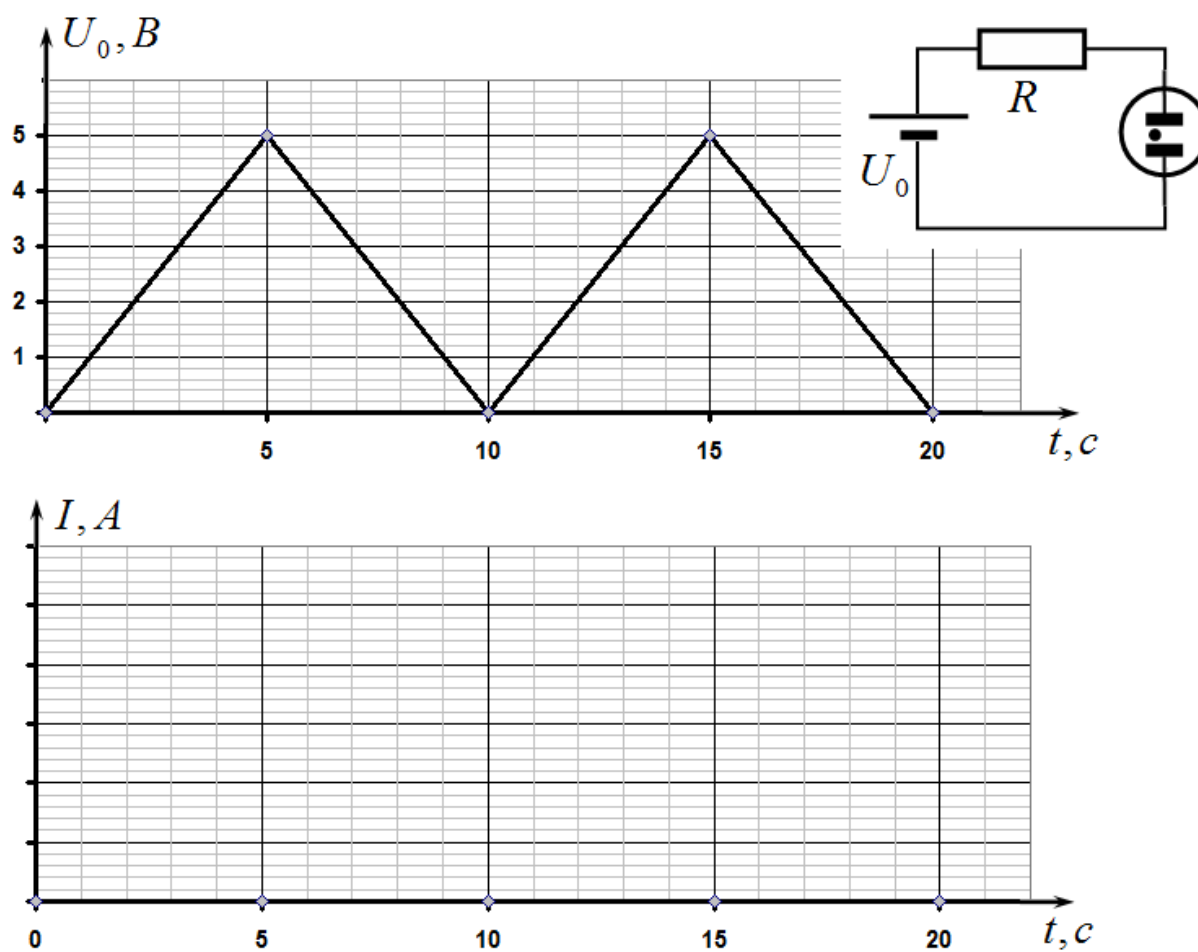
Задача 9-2 Газоразрядная лампочка (бланк 1 к задаче)

1.1 Вольтамперная характеристика лампочки.



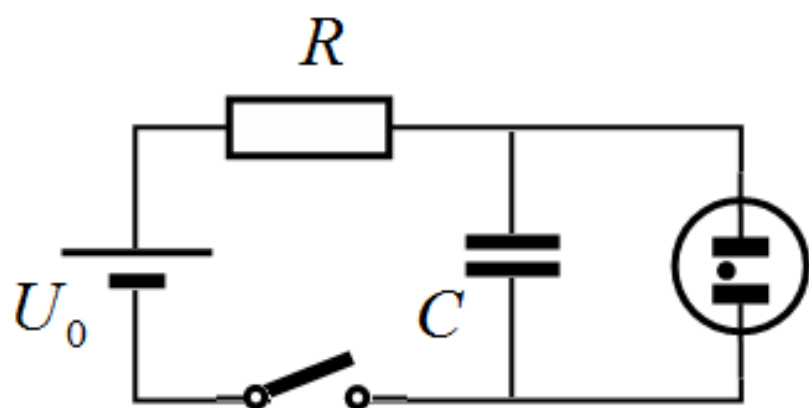
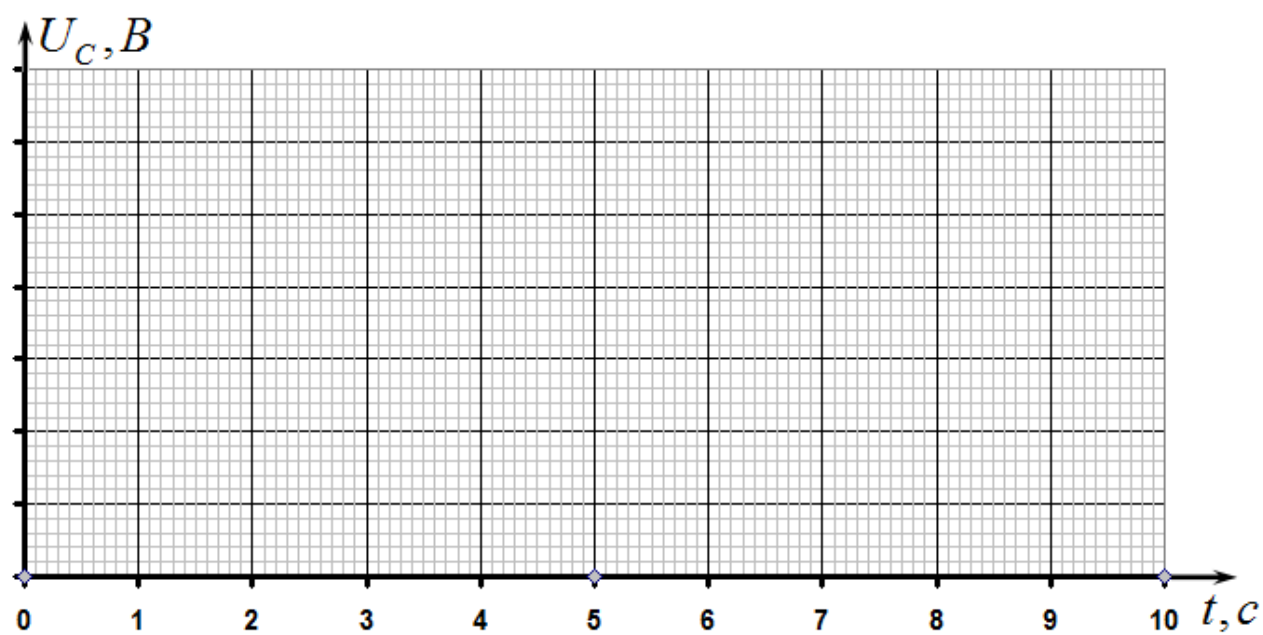
Задача 9-2 Газоразрядная лампочка (бланк 2 к задаче)

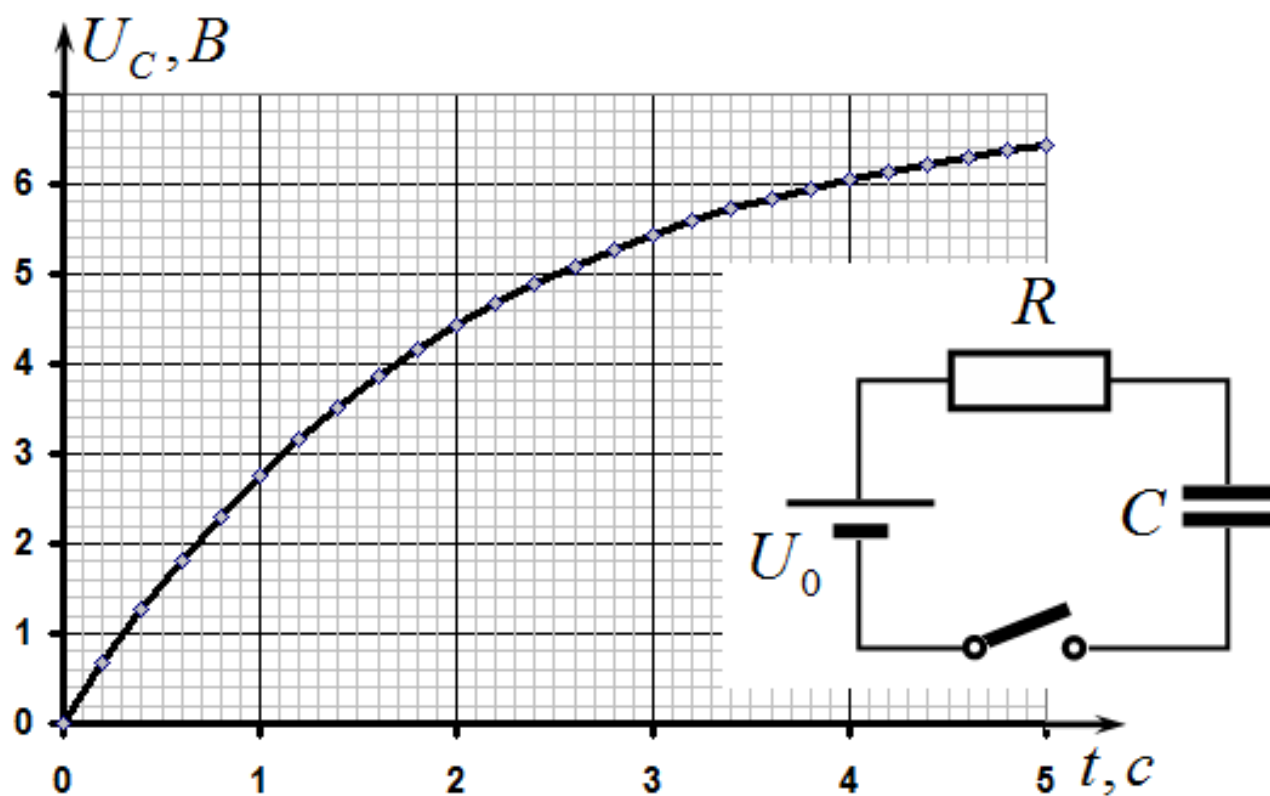
1.2 Зависимость силы тока от времени.



Задача 9-2 Газоразрядная лампочка (бланк 3 к задаче)

2.1 Зависимость напряжения на конденсаторе от времени





Решение

Задача 9-2 Газоразрядная лампочка

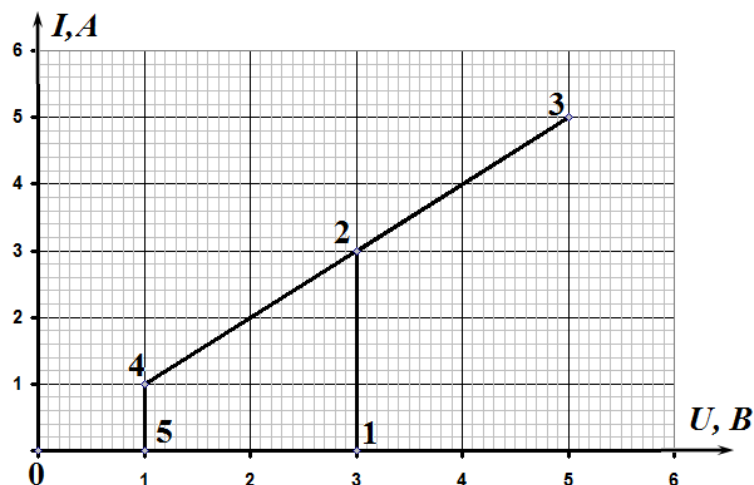
Комментарии к условию. Главная особенность данной задачи заключается в том, что в программе курса физики до 9 класса не изучаются ни конденсаторы, ни нелинейные электрические элементы. Но это олимпиадная задача, предполагается, что участники должны уметь извлекать нужную информацию из условия задачи (поэтому и размер условия заметно превышает задания ЦТ), использовать известные физические законы и принципы для описания неизвестных явлений. Кстати, последнее положение фигурирует и в правилах проведения международных физических олимпиад.

К удовольствию членов жюри, многие из участников олимпиад успешно справились с решением этой задачи. Отметим также, что каждому участнику были выданы подготовленные бланки для построения требуемых графиков.

Приступим к обсуждению решения данной задачи. Прежде всего следует сообразить, что неоновая лампочка является своеобразным выключателем: в диапазоне низких напряжений она «выключена», ток через нее практически не идет; при более высоких напряжениях она «включена» - ее сопротивление становится малым. Существенно, что это сопротивление постоянно, не зависит от напряжения, поэтому в этом режиме лампочка работает как обыкновенный резистор, для которого выполняется закон Ома для участка цепи. Существенно, что эти диапазоны перекрываются: в диапазоне от 1 до 3 вольт лампочка может находиться в обоих состояниях. Выбор одного из них зависит от «предыстории», от того, в каком

состоянии находилась лампочка до попадания в этот бистабильный диапазон.

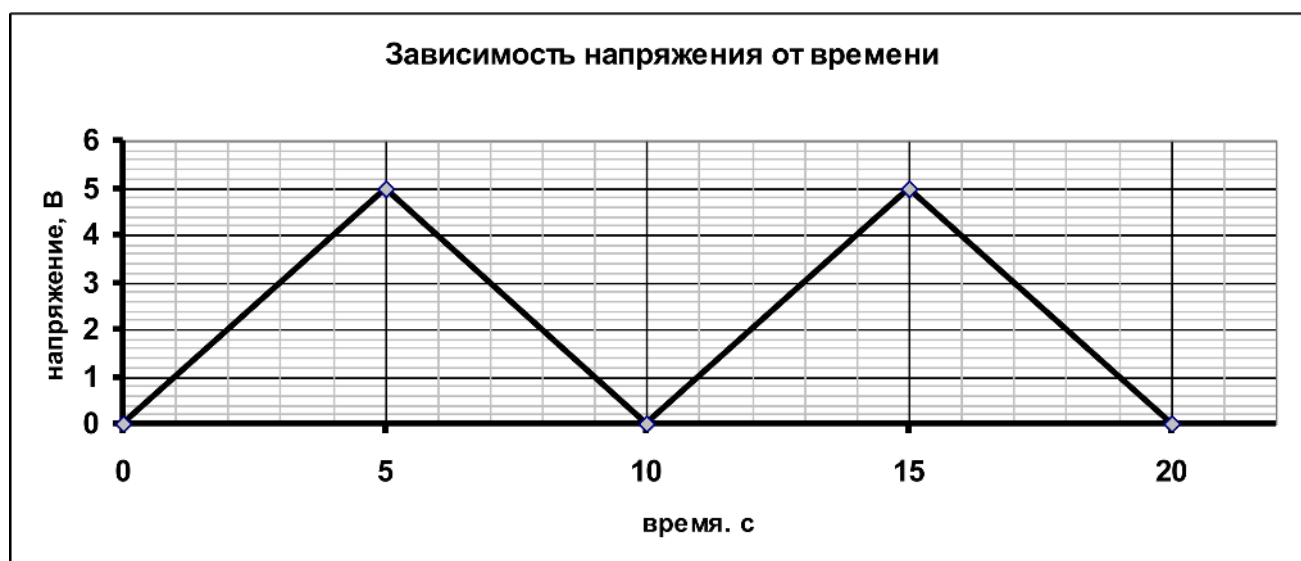
Понимание этих принципов работы достаточно, что выполнить первый пункт задачи, построение вольтамперной характеристики.



При увеличении напряжения от 0 до 3 вольт (участок 0-1) ток через лампочку отсутствует, при достижении напряжения в 3 В лампочка зажигается (переход 1-2), при дальнейшем увеличении напряжения сила тока прямо пропорциональна приложенному напряжению в соответствии с законом Ома (участок 2-3). При уменьшении напряжения, линейное уменьшение силы тока будет наблюдаться, пока напряжение не упадет до 1 В (участок 3-4), после чего лампочка гаснет. Итак, с точки зрения математики, самое сложное на этом этапе – умение построить график функции $U = \frac{I}{R}$, причем при $R = 1,0 \text{ Ом}$.

Небольшая сложность в решении следующего пункта заключается в том, что задана зависимость напряжения от времени не на лампочке, на всей цепи. Поэтому нужно аккуратно и с пониманием рассмотреть, как изменяется напряжение на именно лампочке, то есть правильно «поделить» суммарное напряжение между резистором и лампочкой: если лампочка не горит (ее сопротивление значительно больше сопротивления резистора), то напряжение на лампочке практически равно суммарному напряжению. Поэтому лампочка загорится, когда напряжение источника достигнет напряжения зажигания, т.е. 3 В. При горящей лампочке зависимость силы тока от напряжения описывается законом Ома $I = \frac{U}{R+R^*}$.

Если же лампочка горит, ее сопротивление равно сопротивлению резистора, следовательно, лампочка погаснет, когда напряжение источника упадет до 2 В (в это момент напряжение на лампочке будет равно 1В). Требуемый график показан на следующем рисунке.



Во второй части задачи ситуация, в некотором смысле противоположная: пока напряжение меньше напряжения зажигания – напряжение растет по указанному закону. Когда напряжение достигает напряжения зажигания – открывается лампочка и конденсатор очень быстро разряжается до напряжения гашения. После этого процесс повторяется. Лампочка вспыхивает в момент разрядки конденсатора, когда напряжение скачком падает до нуля, после чего процесс зарядки повторяется. Лампочка вспыхивает в короткий промежуток времени разрядки конденсатора, когда напряжение на нем скачком падает до нуля. Отметим, что рассмотренная схема является схемой, так называемого, релаксационного генератора. Колебания в данном случае относятся к типу автоколебаний. Требуемая зависимость показана на рисунке.