

240

Лаб. 8

Государственный комитет РСФСР по делам науки и высшей школы

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Экз. 04

ТИРИСТОРНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Методические указания
к лабораторной работе

Ленинград 1980

Государственный комитет РСФСР по делам науки и высшей школы
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТИРИСТОРНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Методические указания
к лабораторной работе

Ленинград 1990

Тиристорные импульсные устройства: Методические указания к лабораторной работе. /Сост. Б.А.Мартынов. - Л.: ЛГУ, 1990. - 16 с.

Методические указания содержат описание лабораторной работы, которая входит в цикл работ по радиоэлектронике, предусмотренный программами лабораторных практикумов по курсу "Радиотехнические цепи и сигналы" и смежным учебным дисциплинам. Предназначены для студентов отраслевого факультета автоматики, вычислительной техники и радиоэлектроники, а также вечернего электро-радиотехнического, радиофизического, физико-механического и физико-технического факультетов.

В процессе подготовки к работе и в ходе ее выполнения студенты получают и углубляют знания принципов построения и основных характеристик тиристорных импульсных устройств и приобретают навыки измерения и расчета их параметров.

Главное внимание в работе уделяется изучению разновидности генератора импульсов, именуемой мультивибратором. Для колебаний, генерируемых мультивибратором, характерна резко выраженная несинусоидальная форма с очень широким спектром гармоник. Последним обстоятельством объясняется происхождение названия этого генератора.

Программой работы предусмотрено исследование мультивибратора в автоколебательном и ждущем режимах. В первом из упомянутых режимов мультивибратор генерирует периодические колебания, для возникновения которых не требуются внешние переменные воздействия. Эти колебания принято называть автоколебаниями. В случае ждущего режима в отсутствие внешних переменных воздействий колебания не генерируются, т.е. мультивибратор находится в состоянии покоя (равновесия). При подаче извне запускающего импульса соответствующей амплитуды и полярности мультивибратор формирует одиночный импульс, после чего вновь устанавливается состояние равновесия.

Учебная лабораторная установка (см. схему на рис. 1) выполнена на диодном тиристоре (динисторе).

Важной отличительной чертой вольт-амперной характеристики (ВАХ) динистора (рис. 2, а) является наличие в ней падающего участка, в пределах которого дифференциальное сопротивление $\frac{dU}{dI}$ отрицательно.

Именно то обстоятельство, что динистор относится к числу приборов с отрицательным сопротивлением, дает возможность при соответствующих комбинациях напряжения питания E и параметров пассивных элемен-

Составитель: Борис Александрович Мартынов

ТИРИСТОРНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Методические указания к лабораторной работе

Подписано к печати 28.05.90 Формат бумаги 60x90 1/16
 Бумага тип. М 3. * Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,0 Уч.-изд.л. 1,0
 Тираж 500. Заказ 614. Бесплатно.
 Издание ЛГУ. 198251. Ленинград, Политехническая, 29.
 Отпечатано на ротатристе ЛГУ. Ленинград, Политехническая, 29.

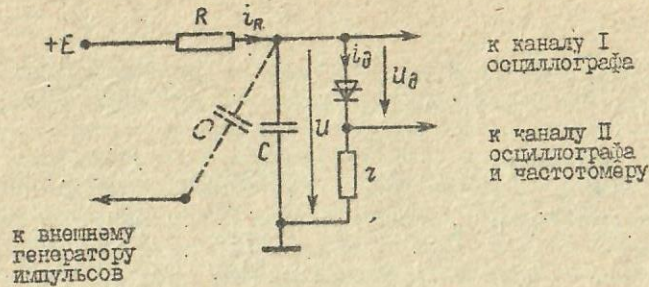


Рис. 1. Схема учебной лабораторной установки. Штриховыми линиями показано положение конденсатора в случае подключения внешнего генератора импульсов

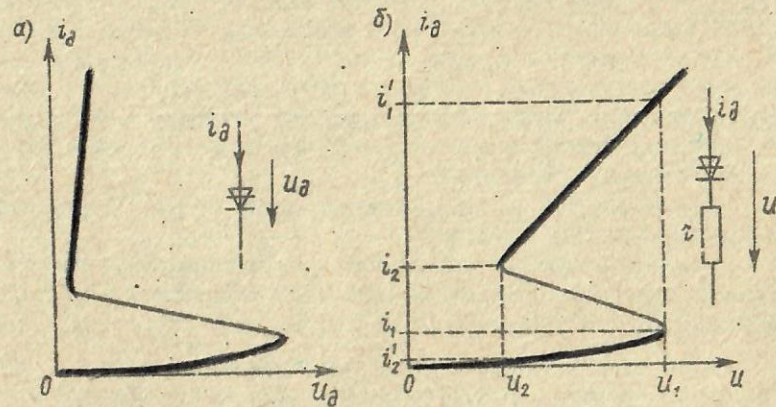


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики диода (а) и составного двухполюсника (б). Толстыми штриховыми линиями выделены восходящие ветви ВАХ

тов реализовать в установке автоколебательный и ждущий мультивибраторы*.

* В импульсных устройствах могут применяться различные типы приборов с отрицательным сопротивлением (туннельный диод, двухбазовый диод, инжекционно-индуцированный транзистор и др.). Многие из них превосходят тиристоры по своим свойствам и некоторым другим характеристикам.

При анализе процессов, протекающих в исследуемых устройствах, последовательное соединение диода и токоограничительного резистора r (рис. 1) удобно рассматривать как один двухполюсник, называемый далее составным.

Связь между током i_d через зажимы этого двухполюсника и напряжением U на зажимах нетрудно установить по известной ВАХ диода (рис. 2, а) при помощи соотношения

$$U = U_d + r i_d$$

Для напряжений и токов на границах падающего участка ВАХ составного двухполюсника (рис. 2, б) введены те же наименования, что используются в случае тиристоров. Значения U_1 и i_1 в дальнейшем называются напряжением и током включения, а U_2 и i_2 — остаточными напряжением и током. В ходе работы эти значения определяются при экспериментальном исследовании автоколебательного мультивибратора по наблюдаемому на экране осциллографа восходящим ветвям ВАХ.

При выполнении работы в соответствии с программой необходимо: изменяя напряжение питания мультивибратора, найти границы автоколебательного режима;

определить период автоколебаний, длительности импульса тока и паузы;

используя изображение ВАХ составного двухполюсника на экране осциллографа найти напряжение и ток включения (U_1, i_1), остаточные напряжение и ток (U_2, i_2);

по известным U_1, U_2 и заданным параметрам элементов схемы мультивибратора рассчитать длительности импульса тока и паузы;

пронаблюдать за изменением состояния ждущего мультивибратора (однотактного релаксатора и триггера) при запуске внешними импульсами различной амплитуды;

исследовать автоколебательный и ждущий мультивибраторы в режиме деления частоты внешних периодических импульсов.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ИССЛЕДУЕМЫХ УСТРОЙСТВ

I. Исходные соотношения

Обратимся к схеме лабораторной установки (рис. 1). Если нижний вывод конденсатора C присоединен к заземленному проводу, то при вы-

обранных на рис. 1 обозначениях и условных положительных направлениях токов и напряжений можно записать, что

$$C \frac{du}{dt} = i_R(u) - i_{\beta}(u). \quad (1)$$

Здесь зависимость $i_{\beta}(u)$ определяется ВАХ составного двухполосника (см. Введение и рис. 2,б), а

$$i_R = \frac{E - u}{R}. \quad (2)$$

Соотношение (2) представляет собой уравнение прямой, которая, если ее построить в координатах u, i_R , пересекает ось абсцисс в точке E , а ось ординат - в точке E/R . Эту прямую принято для краткости называть нагрузочной, хотя следует отметить, что резистор R , через который заряжается конденсатор C , нагрузочным не является.

Варируя E и R , можно изменять положение нагрузочной прямой относительно ВАХ двухполосника. Ниже рассматриваются различные случаи взаимного расположения, соответствующие автоколебательному и κлючевому режимам мультивибратора.

2. Автоколебательный мультивибратор

Пусть ВАХ двухполосника и нагрузочная прямая не имеют других общих точек, кроме одной точки, лежащей на падающем участке ВАХ (рис. 3). Выясним, какие зависимости токов и напряжений от времени вытекают из уравнения (1). Прежде всего, заметим, что уравнению (1) удовлетворяется при постоянном значении напряжения u , для которого $i_R = i_{\beta}$ (точка пересечения ВАХ и нагрузочной прямой). Однако, как можно показать, состояние равновесия, соответствующее этому не зависящему от времени решению, в данном случае неустойчиво и поэтому не реализуется на практике.

Обратимся теперь к решению, зависящим от времени. Допустим, что в начальный момент времени $t = t_0$ напряжение u меньше u_2 . (Можно положить, что $u(t_0) = 0$). При этом, как видно из рис. 3, $i_R > i_{\beta}$ и из уравнения (1) вытекает, что u возрастает. Одновременно в соответствии с ВАХ увеличивается и ток i_{β} .

Обозначим через t^* момент времени, когда u и i_{β} достигнут

значений u_2 и i_{β}' . В отсутствие переменных внешних воздействий непрерывный рост напряжения u и тока i_{β} продолжается и при $t > t^*$ вплоть до момента $t = t_1$, когда u и i_{β} станут равными u_1 и i_1 соответственно.

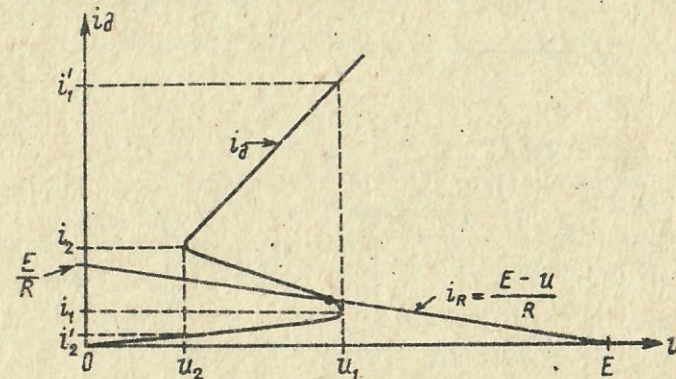


Рис. 3. Взаимное расположение ВАХ двухполосника и нагрузочной прямой в случае автоколебательного мультивибратора

В этой точке, как следует из (1), производная $\frac{du}{dt}$ по-прежнему положительна. Однако из рис. 3 видно, что дальнейшее возрастание напряжения u при непрерывном изменении тока i_{β} невозможно. Отмеченное противоречие устраняется, если снять требование непрерывности изменения тока i_{β} . Нужно предположить, что в момент $t = t_1$ ток i_{β} изменяется скачком и исходить не из уравнения (1), которое в этом случае нельзя использовать из-за разрыва функции $i_{\beta}(u)$, а из условия, что напряжение на конденсаторе C не может мгновенно изменить свое значение. Оно остается во время скачка тока равным u_1 .

Иными словами, следует принять, что при $u = u_1$ происходит скачкообразное изменение тока i_{β} от значения i_1 до значения i_1' (рис. 3). При этом, поскольку в точке (u_1, i_1') , как видно из рис. 3, $i_{\beta} > i_R$,

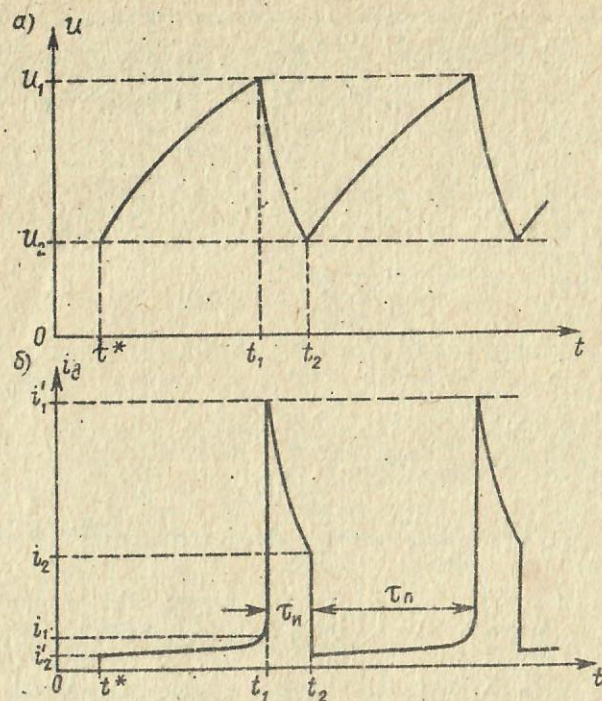


Рис. 4. Зависимость напряжения на конденсаторе (а) и тока через диодистор (б) от времени для автоколебательного мультивибратора

знак производной $\frac{du}{dt}$ изменяется. Напряжение u и ток i_d теперь убывает во времени, достигая к моменту t_2 значений u_2 и i_2 , после чего напряжение u не может уменьшаться при непрерывном изменении тока i_d .

Из рассуждений, аналогичных приведенным выше, следует, что при $u = u_2$ должен произойти скачок тока i_d от значения i_2 до значения i_1 . Далее процесс будет повторяться и в схеме установятся периодические колебания, для которых характерно чередование непрерывных изменений тока со скачками (рис. 4).

В колебаниях, представленных на рис. 4, можно выделить две стадии непрерывного изменения тока. Во время одной из них ток через диодистор принимает значения верхней ветви ВАХ ($i_2 < i_d < i_1'$), во время другой — значения нижней ветви ($i_2' < i_d < i_1$). Первая стадия соответствует импульсу тока, вторая — паузе.

Как видно из рис. 4, длительность импульса тока

$$\tau_n = t_2 - t_1, \quad (3)$$

длительность паузы

$$\tau_n = t_1 - t^*. \quad (4)$$

Для любой стадии непрерывного изменения тока, используя уравнение (I), являющееся уравнением с разделяющимися переменными, сравнительно несложно найти зависимость $u(t)$, а затем и $i_d(t)$. Бесспорно, простейшие приближенные выражения получаются в тех случаях, когда при $t^* < t < t_1$ можно пренебречь i_d по сравнению с i_1 , а при $t_1 < t < t_2 - i_R$ по сравнению с i_2 . Тогда при $t^* < t < t_1$,

$$t - t^* = RC \ln \frac{E - u_2}{E - u} \quad (5)$$

и напряжение

$$u = E - (E - u_2) e^{-\frac{t-t^*}{RC}}$$

При $t_1 < t < t_2$, если дополнительно предположить, что $u_d \ll r i_d$, т.е. $i_d \approx u/r$,

$$t - t_1 = rC \ln \frac{u_1}{u}, \quad (6)$$

а напряжение

$$u = u_1 e^{-\frac{t-t_1}{rC}}$$

Из (3), (4), (5), (6) в частности вытекают следующие приближенные формулы для длительностей импульса и паузы

$$\tau_n = r C \ell n \frac{U_1}{U_2}, \quad \tau_p = R C \ell n \frac{E - U_2}{E - U_1} \quad (7)$$

Из (7) следует, что период колебаний, равный

$$T = \tau_n + \tau_p,$$

прямо пропорционален емкости C , но определяется также и факторами, не связанными непосредственно с энергоемкими параметрами. Последнее свойство — отличительный признак релаксационных систем. Мультивибратор — типичный релаксационный генератор.

Автоколебательный режим мультивибратора может быть использован для получения на экране осциллографа изображения восходящих (верхней и нижней) ветвей ВАХ двухполосника (см. толстые линии на рис. 5).

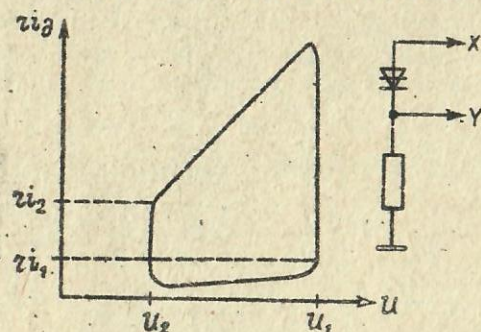


Рис. 5. Осциллограмма восходящих ветвей ВАХ двухполосника и линии перехода с одной ветви на другую

Для этого нужно обеспечить горизонтальное отклонение луча напряжением U , а вертикальное — напряжением i_d . Обычно по полученной таким способом осциллограмме можно заметить, что переход с одной ветви ВАХ на другую происходит, хотя и очень быстро, но не мгновенно, поскольку напряжение U при переходе успевает несколько измениться (см. тонкие линии на рис. 5). Здесь сказываются не учитывавшиеся выше собственная индуктивность диода и другие паразитные энергоемкие параметры.

10

3. Однотактный релаксатор

Изменением напряжения питания E или сопротивления R , можно перевести тиристорный мультивибратор из автоколебательного режима в ждущий.

Пусть, например, E и R таковы, что единственная обчая точка ВАХ двухполосника и нагрузочной прямой лежит на какой-либо из восходящих ветвей ВАХ (рис. 6). Нетрудно убедиться в том, что эта точка соответствует устойчивому состоянию равновесия, из которого рассматриваемая система способна выходить только под действием внешних толчков. Система может генерировать одиночные импульсы тока, близкие по форме к импульсам автоколебательного мультивибратора. Однако для генерации каждого импульса необходим внешний запускающий импульс соответствующей полярности и достаточной амплитуды. Отсюда ясно происхождение термина "ждущий" (заторможенный) мультивибратор. Систему, рассматриваемую в данном параграфе, называют также однотактным релаксатором, одновибратором и спусковым устройством с одним положением равновесия.

В лабораторной работе запуск однотактного релаксатора обеспечивается при помощи внешнего генератора импульсов, подключенного между нижним выводом конденсатора C и заземленным проводом установки (рис. 1).

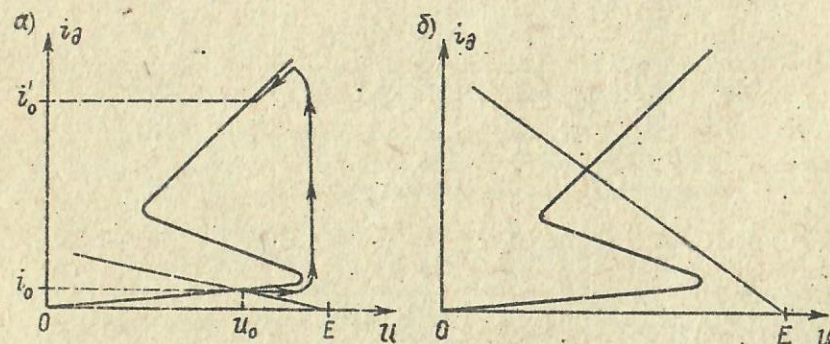


Рис. 6. Примеры взаимного расположения ВАХ двухполосника и нагрузочной прямой в случае однотактного релаксатора. Тонкой линией со стрелками показано, как при запуске происходит быстрый переход из точки (U_0, i_0) в точку (U_0, i'_0)

11

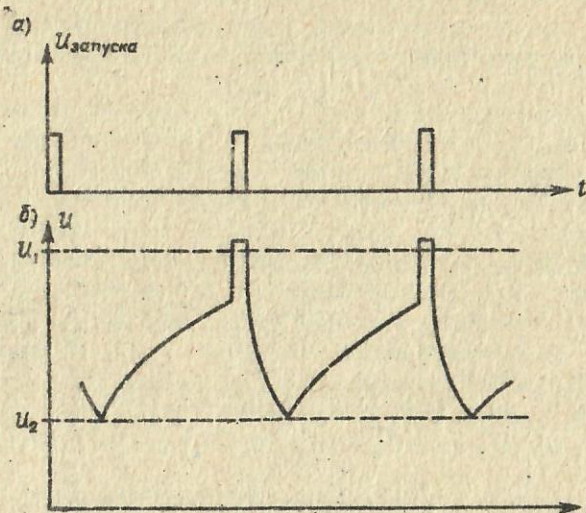


Рис. 7. Запуск релаксатора периодической последовательностью импульсов

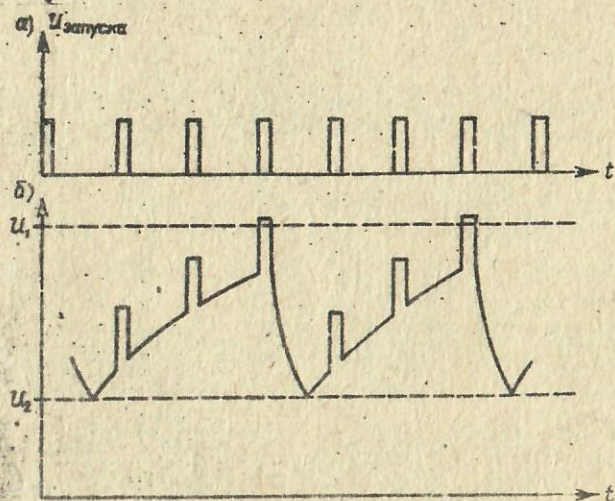


Рис. 8. Осциллограммы в случае деления частоты в 3 раза

Рассмотрим более подробно случай, когда нагрузочная прямая пересекается с нижней ветвью ВАХ двухплосника (рис. 6,а) в точке (U_0, i_0) , а длительность запускающего импульса настолько мала, что за время его действия заряд конденсатора C , а следовательно и напряжение на нем практически не успевают изменяться. При положительной полярности запускающего импульса и амплитуде, превышающей разность $U_1 - U_0$, внешний толчок приводит в конечном счете к скачкообразному изменению тока диодистора от значения i_0 до значения i'_0 (см. рис. 6,а). Далее согласно (I) напряжение U , а вместе с ним и ток диодистора i_d , убывают с течением времени, достигая в некоторый момент значений U_2 и i_2 . Затем происходит скачок тока от значения i_2 до значения i'_2 , после чего напряжение U и ток i_d возрастают, стремясь к равновесным значениям U_0 и i_0 . В конце концов система возвращается в состояние равновесия и остается в нем до следующего толчка.

При принятых выше предположениях форма импульса, генерируемого однократным релаксатором, мало зависит от формы и амплитуды запускающего импульса. Поэтому однократный релаксатор используется в качестве формирующего устройства, которое может запускаться последовательностями импульсов различной формы и амплитуды и с разными периодами повторения.

4. Мультивибратор как делитель частоты

Продолжим рассмотрение однократного релаксатора, имеющего состояние равновесия в точке (U_0, i_0) нижней ветви ВАХ. На рис. 7,б приведен график зависимости напряжения U от времени при запуске релаксатора периодической последовательностью импульсов (рис. 7,а). Здесь период повторения импульсов релаксатора равен периоду следования запускающих импульсов.

Для того чтобы внешний импульс мог запустить релаксатор, необходимо выполнение следующих двух условий.

1. Импульс должен прийти в тот отрезок времени, когда изменяющееся напряжение U и ток i_d принимают значения, соответствующие нижней ветви ВАХ.

2. Амплитуда импульса должна быть больше разности $U_1 - U_0$.

Заметим, что в п.3 рассматривался запуск из состояния равнове-

сия, когда напряжение U и ток i_D равняются постоянным величинам U_0 , I_0 (рис. 6,а).

Предположим теперь, что импульсы идут от внешнего генератора чаще, чем это представлено на рис. 7. Тогда для части импульсов упомянутые условия (или хотя бы одно из них) могут оказаться невыполненными. Это значит, что не все внешние импульсы будут запускать релаксатор. Возможны ситуации, когда запуск осуществляется каждым вторым импульсом, каждым третьим и т.д., т.е. период повторения импульсов релаксатора оказывается в соответствующее число раз больше периода внешних импульсов. В этом случае релаксатор может использоваться как делитель частоты.

Для кратности деления, равной трем, на рис. 8 построена временная диаграмма напряжения U .

Делитель частоты может быть реализован также и на основе автоколебательного мультивибратора, синхронизируемого внешними импульсами. При этом, как и в случае одностактного релаксатора, можно, подбирая амплитуду и период следования запускающих импульсов, получать различные кратности деления.

5. Триггер

К числу разновидностей лучшего мультивибратора можно отнести спусковое устройство с двумя положениями равновесия, называемое обычно триггером. В случае диностороннего триггера нагрузочная прямая пересекает ВАХ двушлюсника сразу в трех точках (рис. 9). Из них две крайние (на верхней и нижней восходящих ветвях) соответствуют устойчивым состояниям равновесия, а средняя (на падающем участке) — неустойчивому. В зависимости от начальных условий система может находиться в любом из устойчивых состояний равновесия, обозначенных на рис. 9 буквами "а" и "б". Для перевода триггера из положения "а" в положение "б" следует подать от внешнего источника

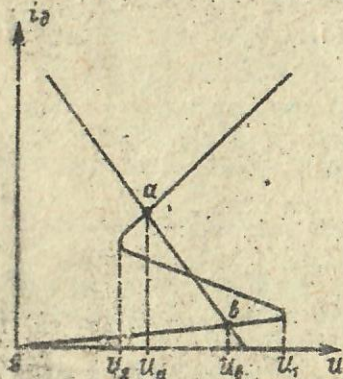


Рис. 9. Изменное расположение ВАХ двушлюсника и нагрузочной прямой в случае триггера

пересекает ВАХ двушлюсника сразу в трех точках (рис. 9). Из них две крайние (на верхней и нижней восходящих ветвях) соответствуют устойчивым состояниям равновесия, а средняя (на падающем участке) — неустойчивому. В зависимости от начальных условий система может находиться в любом из устойчивых состояний равновесия, обозначенных на рис. 9 буквами "а" и "б". Для перевода триггера из положения "а" в положение "б" следует подать от внешнего источника (рис. 1) отрицательными импульсами с амплитудой, большей чем $U_a - U_2$

Для обратного перехода нужен положительный импульс с амплитудой, большей разности $U_1 - U_0$.

Описанное устройство может в принципе использоваться как логический элемент цифровой вычислительной машины. На практике, однако, для этой цели применяются главным образом транзисторные триггеры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисуйте схему автоколебательного мультивибратора на диносторе и расскажите, чем определяется форма колебаний тока через диностор и напряжения на конденсаторе в установившемся режиме.
2. От чего зависят длительность импульса и период повторения автоколебательного мультивибратора?
3. Каковы основные особенности одностактного релаксатора на диносторе? Как осуществить его однократный запуск?
4. Расскажите, на чем основана возможность использования одностактного релаксатора в качестве делителя частоты.
5. Что такое триггер? Как реализовать триггерный режим в мультивибраторе на диносторе?

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Автоколебательный мультивибратор

1. Соберите тиристорный мультивибратор согласно рис. 1, установив $R = 100 \text{ кОм}$, $C = 10 \text{ нФ}$ (при отключенном внешнем генераторе импульсов). В соответствии с рис. 1 подключите к мультивибратору частотомер и осциллограф, установив переключатели входов осциллографа в положение "—". Установите поочередный режим работы каналов тракта вертикального отклонения осциллографа ($\rightarrow \rightarrow$).
2. Включите источник питания лабораторной установки. По наблюдаемым осциллограммам напряжений на конденсаторе C и токоограничительном резисторе Z определите при помощи цифрового вольтметра, в каком диапазоне напряжений питания реализуется автоколебательный режим мультивибратора.
3. Установите напряжение питания ($E = E_{\text{ср}}$), соответствующее примерно середине диапазона, найденного в п.2. Используя калибровку развертки осциллографа, измерьте длительности импульса тока и паузы ($\tau_{\text{и}}$ и $\tau_{\text{п}}$) и период T_0 . Значение периода проконтролируйте по частоте

том ру. Зарисуйте осциллограммы напряжения на конденсаторе и тока через диодистор и отметьте на них измеренные значения.

4. Переключите осциллограф в режим "X - Y", получите на экране и зарисуйте изображение восходящих ветвей вольт-амперной характеристики (ВАХ) диодистора с последовательно включенным резистором $r = 1 \text{ кОм}$.

Заверните временно вход осциллографа (положение "1" переключателя входов), найдите и отметьте на рисунке положение луча, соответствующее нулевому напряжению и току.

Используя калиброванные значения коэффициентов отклонения каналов I и II осциллографа, измерьте и отметьте на рисунке координаты границ падающего участка ВАХ (U_1, i_1, U_2, i_2). Для точек верхней восходящей ветви ВАХ найдите дифференциальное сопротивление. Отметьте найденные значения U_1, i_1, U_2, i_2 на осциллограммах, полученных в п.3.

5. По заданным R, r, C, E и найденным в п.4 U_1 и U_2 , рассчитайте длительности импульса тока и паузы при помощи приближенных формул:

$$\tau_n = r C \ln \frac{U_1}{U_2}, \quad \tau_p = R C \ln \frac{E - U_2}{E - U_1}.$$

Вычисленные значения τ_n, τ_p и T_0 вместе с полученными экспериментально в п.3 сведите для сравнения в таблицу.

Выясните причины значительного расхождения экспериментального значения и расчетной оценки длительности импульса тока.

6. Установив $C = 100 \text{ мкФ}$ (при подключении электролитического конденсатора учтите его полярность) наблюдайте за движением светящейся точки по экрану осциллографа. Объясните, почему скорость движения неодинакова на разных участках экрана.

Измерьте при $C = 100 \text{ мкФ}$ период следования импульсов и сравните его с полученным в п.3 (для определения периода используйте частотомер в специальном режиме измерения временных интервалов, описанном в инструкции по эксплуатации приборов).

Однотактный релаксатор

7. Уменьшив напряжение питания, переведите мультивибратор в клушый режим, соответствующий однотактному релаксатору ($C = 100 \text{ мкФ}$, осциллограф в режиме "X - Y"). Установите напряжение на конденсаторе $U_0 = 10 \text{ В}$.

Изменив положение конденсатора С на соединительной плате, подключите к мультивибратору внешний генератор импульсов.

Установите длительность запускающих импульсов равной 1 мкс, а частоту следования - меньшей 500 Гц.

Определите, при какой полярности и при каких значениях амплитуд внешних импульсов осуществляется запуск релаксатора (амплитуда измеряется как расстояние между двумя светящимися точками, соответствующими основанию и вершине запускающего импульса).

Сравните наименьшее из найденных значений амплитуды с разностью $U_1 - U_0$.

Мультивибратор как делитель частоты.

8. При $C = 10 \text{ нФ}$, $U_0 = 10 \text{ В}$, амплитуде запускающих импульсов 4 В и длительности 4 мкс определите области значений частоты следования f внешних импульсов, при которых в релаксаторе реализуются режимы деления частоты с кратностями 2, 3, 4 и периодический запуск с отношением частот 1:1. Зарисуйте осциллограмму напряжения U для кратности деления, равной трем.

9. Установите напряжения питания $E = E_{\text{ср}}$ (см. п.3). Добейтесь синхронизации автоколебаний импульсами внешнего генератора при отношениях частоты f к частоте мультивибратора 1:1, 2:1, 3:1, 4:1. При амплитуде внешних импульсов 4,5 В и длительности 4 мкс найдите значения частоты следования f , соответствующие границам областей синхронизации.

Триггер

10. Переведите осциллограф в режим "X - Y". Установите $R = 10 \text{ кОм}$ и выберите напряжение питания, соответствующее триггерному режиму.

Сравните скорости переключения триггера из одного устойчивого состояния в другое при $C = 100 \text{ мкФ}$ и $C = 10 \text{ нФ}$.

Измерьте напряжения U_a и U_b , соответствующие положениям равновесия триггера. Отметьте эти положения на ВАХ, полученной в п.4.