

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И.
Лобачевского»

Радиофизический факультет
Кафедра теории колебаний и автоматического регулирования.

Отчет по лабораторной работе

Исследование динамики систем с разрывными колебаниями.

Выполнено студентами 3 курса РФФ
Группы 0422С1ИБ1
Алексеевым Иваном Ивановичем
Катаевым Иваном Михайловичем

Нижний Новгород 2024 г

Содержание

Введение.....	3
1. Уравнения систем с туннельными диодами	3
2. Схема исследования динамических систем с малым параметром при производной.....	4
3. Динамика мультивибратора	6
4. Режим триггера.	7
5. Динамика кипп-реле (одновибратора).....	8
Практическая часть.	12
Вывод:	17

Введение

Целью работы является изучение динамики систем, совершающих разрывные колебания, на примерах мультивибратора, триггера, кипп-реле (одновибратора).

Разрывные колебания – это такие колебания, при которых сравнительно медленные изменения состояния системы чередуются с быстрыми, «скачкообразными». Такое поведение обусловлено существенностью некоторых малых параметров на определенных этапах колебательного процесса. Эти малые параметры входят в дифференциальные уравнения, описывающие систему, в качестве коэффициентов при старшей производной. Пренебрежение ими приводит к понижению порядка уравнения (потеря полстепени свободы), и, следовательно, к «дефектной», «вырожденной» динамической модели системы.

1. Уравнения систем с туннельными диодами

Схемы, динамика которых является предметом исследования, содержит в качестве нелинейного элемента туннельные диоды. Вольтамперная характеристика такого диода приведена на рисунке 1.

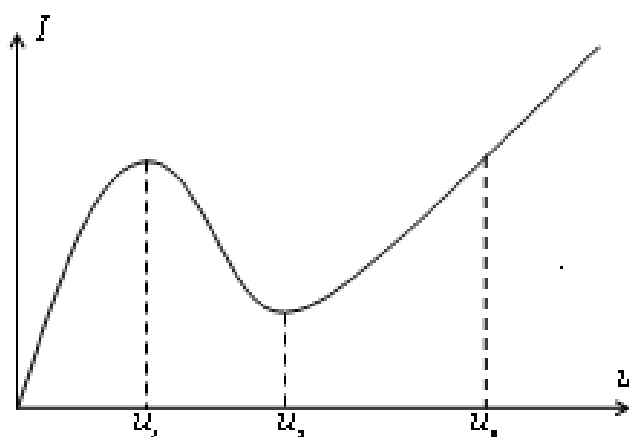


Рис. 1

Характеристика имеет падающий участок ($u_1 < u < u_2$), на котором проводимость туннельного диода является отрицательной величиной, что и позволяет получить разрывные колебания.

Схема, выполненная на туннельных диодах, приведена на рисунке 2, процессы в ней описываются следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{C}{2} \frac{d(u-E)}{dt} + \frac{C}{2} \frac{du}{dt} + i + I(u) = I(E-u) \\ L \frac{di}{dt} = u - v \\ i = \frac{v-E}{2R} \end{cases} \quad (1)$$

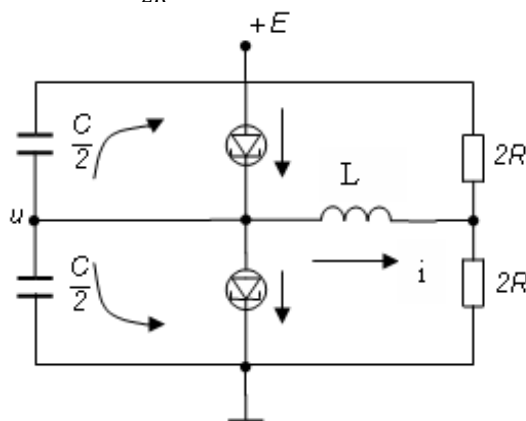


Рис. 2 Исследуемая схема.

Если перейти к новым безразмерным переменным: $\tau = \frac{R}{L}t$, параметр $\mu = CR^2/L$, $x = \frac{2u}{E}$, $y = \frac{2iR}{E}$, получим следующие уравнения:

$$\mu \frac{dx}{dt} = \varphi(x) - y, \quad \frac{dy}{dt} = x - y \quad (2)$$

где

$$\varphi(x) = \frac{2R}{E} [I(E/2 - u) + I(E/2 + u)]$$

В системе, описываемой системой уравнений (2), возможны разрывные колебания, если $\mu \ll 1$. Это система с малым параметром при старшей производной.

2. Схема исследования динамических систем с малым параметром при производной.

Схему исследования динамических систем с малым параметром при производной рассмотрим на примере исследования фазового пространства динамической системы следующего вида.

$$\begin{cases} \mu \frac{dx}{dy} = (1+x)(3-x) - y \\ \frac{dy}{dt} = 0.5x - y \end{cases} \quad (3)$$

Где $0 < \mu \ll 1$. Система (3) определена на фазовой плоскости (x, y) , в силу малости параметра μ движения на плоскости (x, y) разбиваются на быстрые и медленные.

Уравнения медленных движений получаются из уравнений (3) путём обнуления параметра μ :

$$y = (1+x)(3-x), \quad \frac{dy}{dt} = 0.5x - y \quad (4)$$

Уравнение быстрых движений имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(1+x)(3-x) - y^0}{\mu} \equiv Q(x, y^0), \quad y = y^0 = \text{const} \quad (5)$$

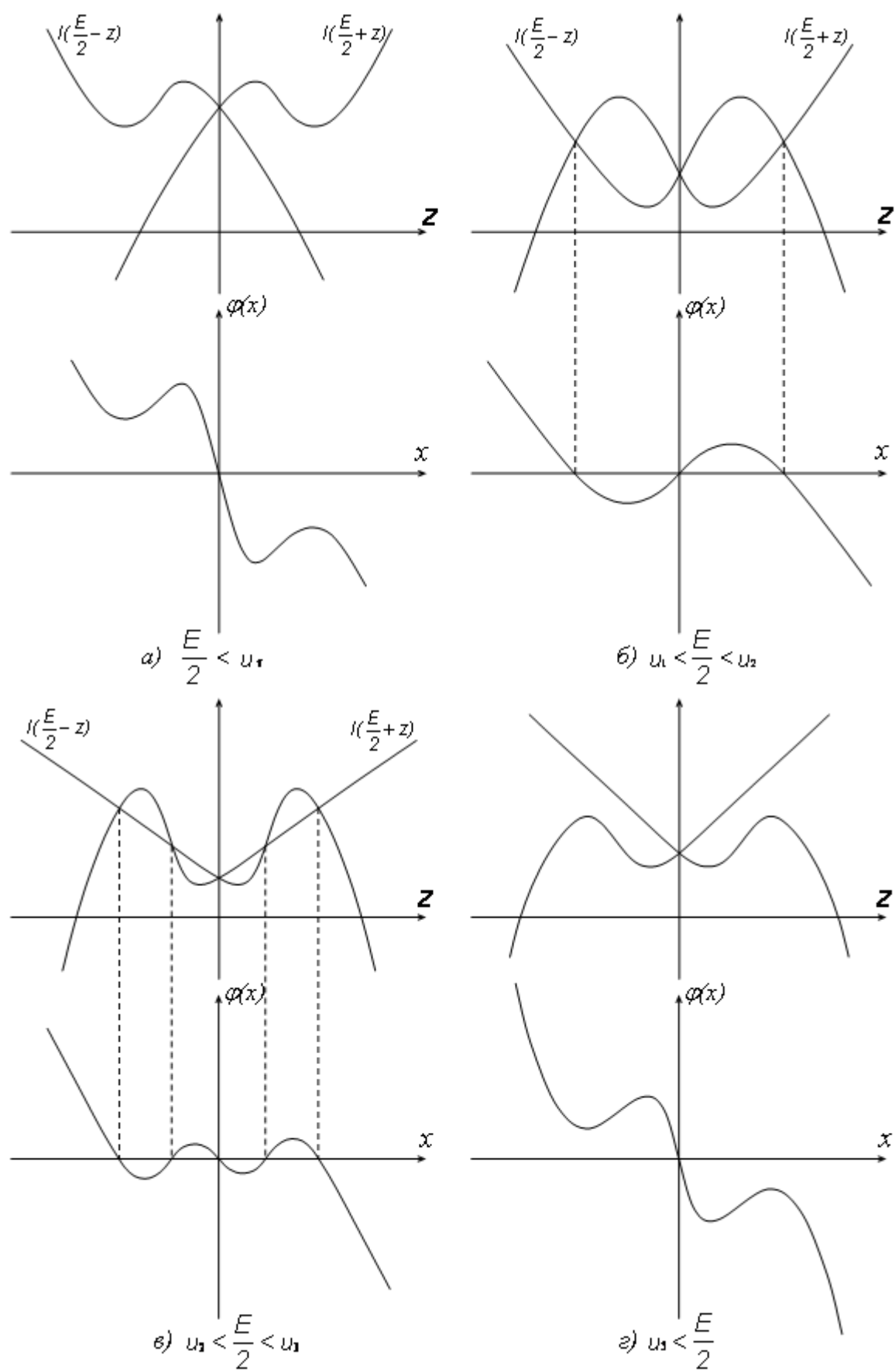


Рис. 3

3. Динамика мультивибратора

Рассмотрим случай, когда $\varphi(x)$ имеет вид, изображенный на Рис. 3б), а параметр $0 < \mu \ll 1$. При сделанных предположениях исследование движений модели (2) сводится к анализу двух систем первого порядка:

Системы медленных движений

$$y = \varphi(x), \quad \frac{dy}{dt} = x - y \quad (6)$$

Системы быстрых движений

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\varphi(x) - y}{\mu}, \quad y = y^0 = \text{const} \quad (7)$$

Фазовый портрет модели (3) при $\mu = 0$ получается путём объединения фазовых портретов систем (6) и (7). Результат такого объединения приведён на Рис. 4. Кривая медленных движений определяется первым уравнением системы (6), а направление движения на участках медленных движений – из второго уравнения системы.

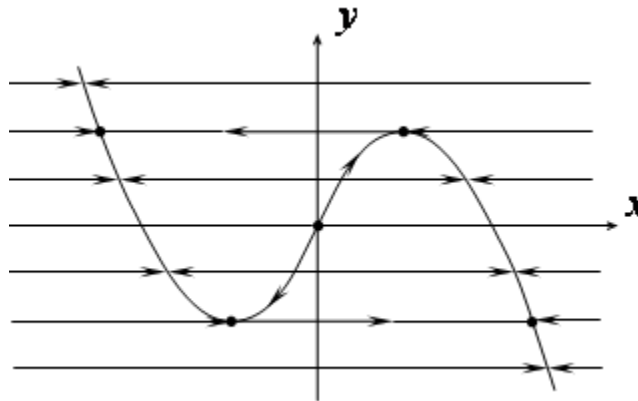


Рис.4

На рис.4 быстрые движения нарисованы линиями параллельными оси x . Направление на этих прямых определяется вторым уравнением системы (7).

Кривая «медленных» движений определяется первым уравнением, а направление движения на участках «медленных» движений - из второго уравнения системы (7).

Если функция $\varphi(x)$ имеет вид, изображенный на рис. 3в, то система (2) имеет единственное состояние равновесия в начале координат и в этом случае оно устойчиво. Тогда в схеме имеет место жесткий режим возбуждения разрывных колебаний.

Разбиение фазовой плоскости на траектории для этого случая изображено на рисунке 5.

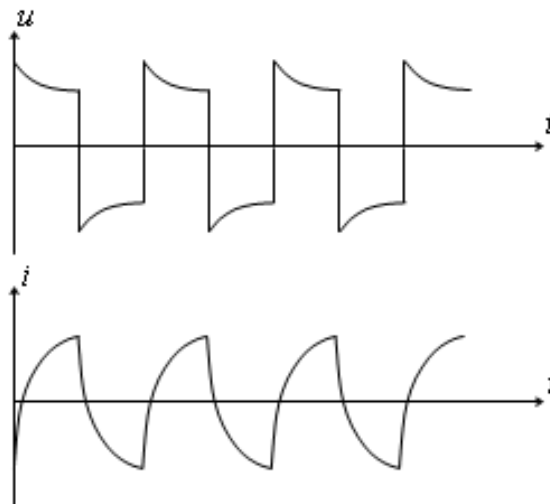


Рис.5

Наряду с устойчивым предельным циклом имеется неустойчивый цикл и устойчивое состояние равновесия рис. 6.

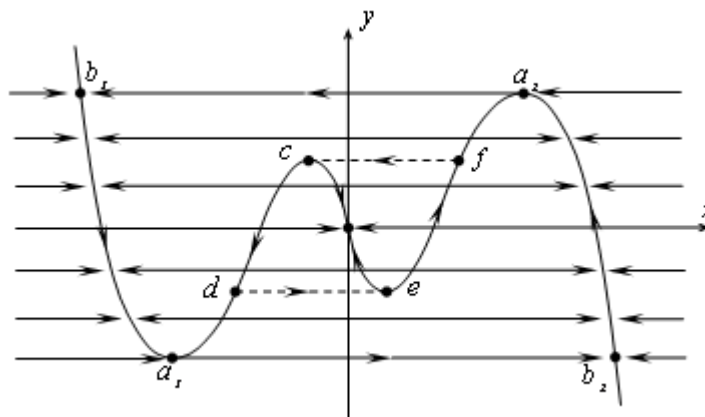


Рис.6

4. Режим триггера.

Триггером называется система, которая имеет два устойчивых состояния равновесия и одно неустойчивое и может быть переброшена из одного состояния равновесия в другое подачей соответствующего импульса напряжения в подходящий узел схемы. Триггера могут применяться в счетчиках электрических импульсов. Схема рисунка 2 будет вести себя как триггер, если функция $\varphi(x)$ имеет вид, изображенный на рис. 3б. Тогда, согласно характеристическому уравнению (4), состояние в начале координат будет седлом, а два других (т.к. $\mu \ll 1$) устойчивыми узлами. Система по-прежнему описывается уравнениями

$$\mu \frac{dx}{dt} = \varphi(x) - y, \quad \frac{dy}{dt} = x - y$$

Разбиение фазовой плоскости на траектории «быстрых» и «медленных» движений изображено на рис. 7. В зависимости от начальных условий схема будет находиться в том или ином состоянии равновесия и может быть переведена в другое состояние подачей прямоугольного импульса.

Будем считать, что система находилась в состоянии равновесия «1» (рис 8), при этом форма кривой $\varphi(x)$ имеет вид (I).

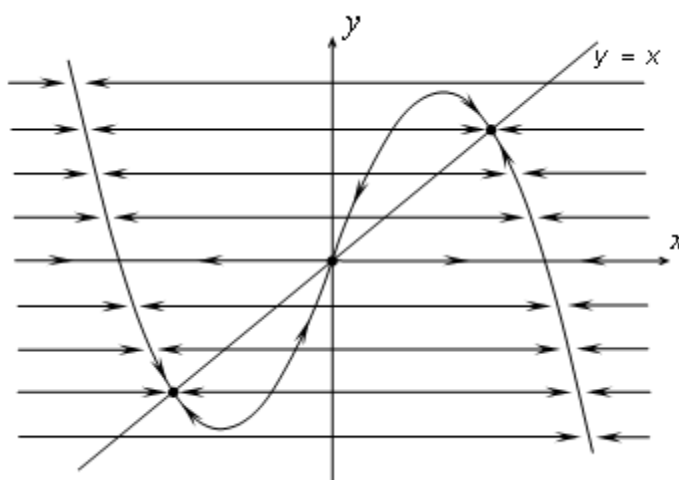


Рис.7

При подаче импульса, что эквивалентно изменению напряжения питания E , характеристика $\varphi(x)$ меняет вид, принимая форму (II). В этом случае остается единственное неустойчивое состояние равновесия в начале координат (режим мультивибратора). Изображающая точка из положения 1 будет двигаться «быстрым» движением по траектории 1-3. Минимальная длительность импульса τ_{\min} ,

необходимая для перехода триггера в состояние равновесия 2 определяется временем прохождения точки «а», иначе точка вернется обратно в состояние 1 после снятия внешнего импульса.

Если после прохождения точки *a* импульс не снимается, то дальнейшее движение аналогично движению, соответствующему режиму мультивибратора. Это «быстрое» движение 1-3, затем «медленное» движение в точку 4 и снова скачок в точку *b*. Если теперь снять импульс, то система попадет в прежнее положение 1. Из этих соображений очевидно, что максимально допустимая длительность запускаящего импульса определяется временем «медленного» движения на участке 3-4 (после точки 4 точка «срывается» по «быстрым» движениям). Это время называется время разрешения триггера.

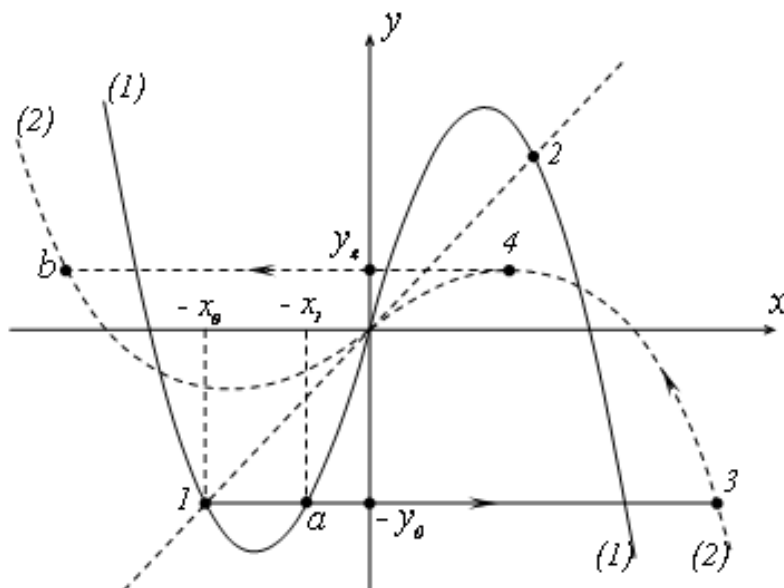


Рис.8

Если период следования импульсов существенно меньше времени разрешения триггера, например в два раза, то можно получить «деление частоты» на триггере. Это означает, что на два поданных запускающих импульса, схема переходит из одного положения равновесия в другое.

5. Динамика кipp-реле (одновибратора)

Кipp-реле (одновибратор, часто его называют спусковой схемой) имеет единственное устойчивое состояние равновесия. Если на его вход подать короткий внешний импульс, то с выхода можно снять широкий прямоугольный импульс, длительность которого определяется только параметрами самой схемы. При подаче внешнего импульса схема совершает одно колебание, а затем снова возвращается в устойчивое состояние. Такие схемы находят применение в качестве схем задержки, генераторов «ждущей» развертки в осциллографах и т.д.

Схема одновибратора, выполненная на туннельном диоде в качестве нелинейного элемента, изображена на рис. 9 и описывается уравнениями

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} + Ri = E - u \\ I(u) + C \frac{du}{dt} = i + i_{imp} \end{cases} \quad (8)$$

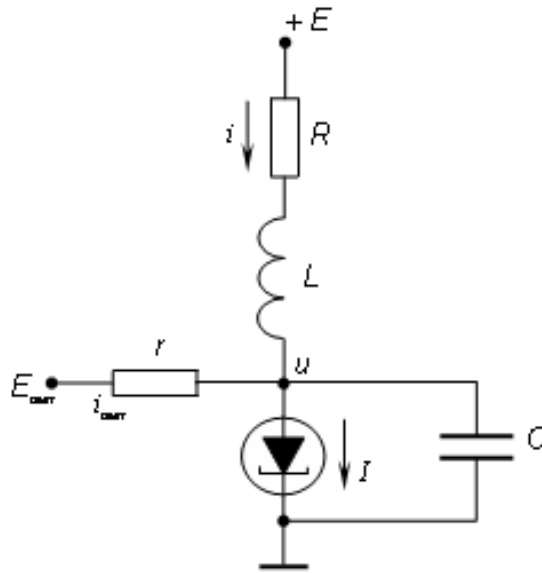


Рис.9

$I(u)$ - характеристика туннельного диода. Введя безразмерные обозначения

$$\tau = \frac{R}{L}t, \quad \mu = \frac{cR^2}{L} \ll 1, \quad x = \frac{u}{E}, \quad y = \frac{Ri}{E}, \quad \varphi(x) = \frac{R}{E}I(u), \quad e = \frac{i_{imp}R}{E},$$

получим

$$\mu \frac{dx}{d\tau} = y - \varphi(x) + e, \quad \frac{dy}{d\tau} = 1 - x - y \quad (9)$$

При $e = 0$ (внешний сигнал отсутствует) схема находится в устойчивом состоянии равновесия А (рис 10), координаты которого определяются соотношениями

$$\begin{cases} y = \varphi(x_0) \\ y_0 = 1 - x_0 \end{cases} \quad (10)$$

Уравнения «быстрых» движений имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = \frac{y^0 - \varphi(x) + e}{\mu} \\ y = y^0 = const \end{cases} \quad (11)$$

Уравнения «медленных» движений:

$$\begin{cases} y = \varphi(x) + e \\ \frac{dy}{d\tau} = 1 - x - y \end{cases} \quad (12)$$

Первое уравнение в (11) определяет траекторию движения, второе дает закон движения и направление движения изображающей точки по траектории.

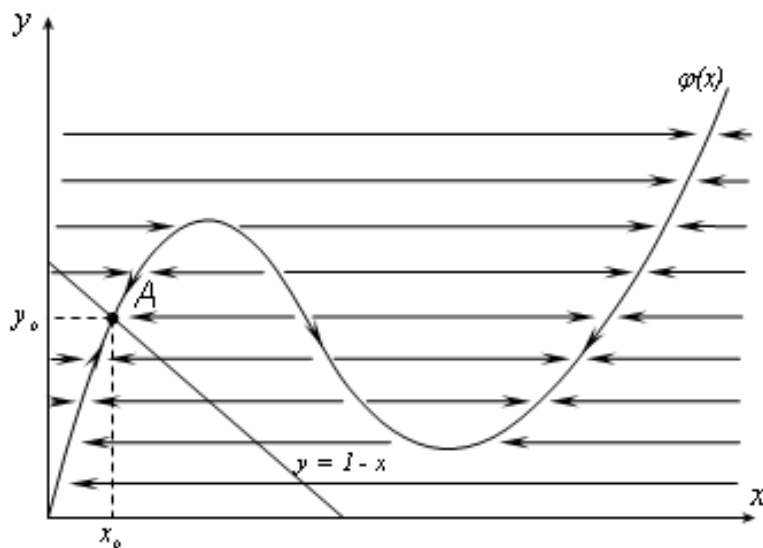


Рис.10

При подаче положительного импульса ($e > 0$) состояние равновесия смещается в точку B (рис.11).

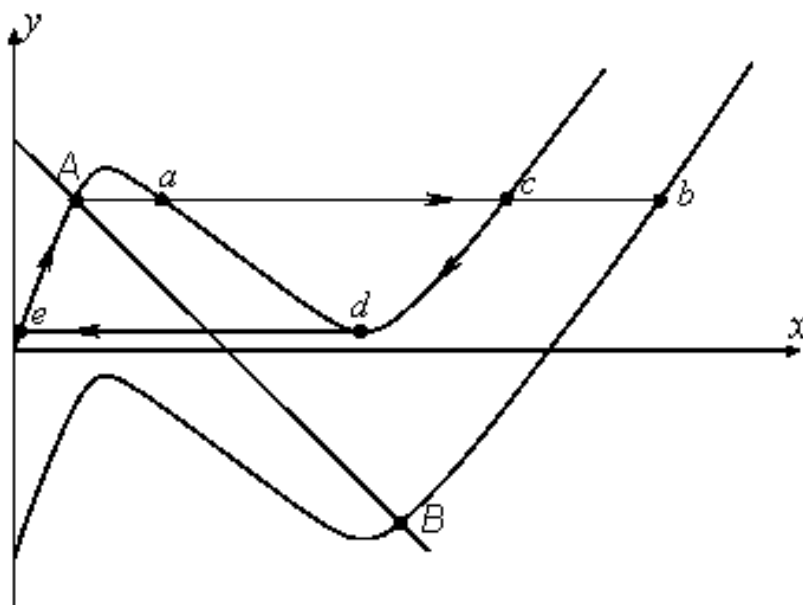


Рис.11

При этом изображающая точка из положения A , в которой система находилась до подачи импульса, будет двигаться «быстрым» движением в точку « b », а затем по траектории «медленных» движений к новому состоянию равновесия B . Если внешний импульс достаточно короткий (кончается раньше, чем изображающая точка дойдет до точки « b »), то после его окончания система приходит в точку « c », а затем по «медленным» и «быстрым» движениям возвращается в состояние A и готова к следующему импульсу. Осциллограмма напряжения изображена на рисунке 12. Очевидно, что длительность запускающего импульса должна быть больше времени «быстрого» движения $A-a$. Длительность выходного импульса определяется временем движения $c-d$ и зависит только от параметров схемы. Если длительность запускающего импульса сильно отличается от заданных, система перестает работать как формирователь импульсов.

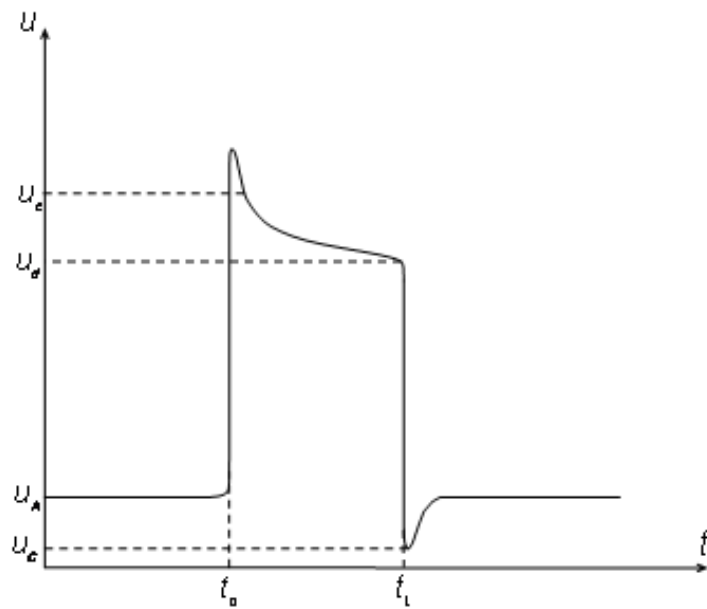


Рис.12

Амплитуда запускаящего импульса должна быть достаточно большой, чтобы состояние равновесия B попало на вторую восходящую ветвь характеристики туннельного диода.

Практическая часть.

Задание 1. Мультивибратор.

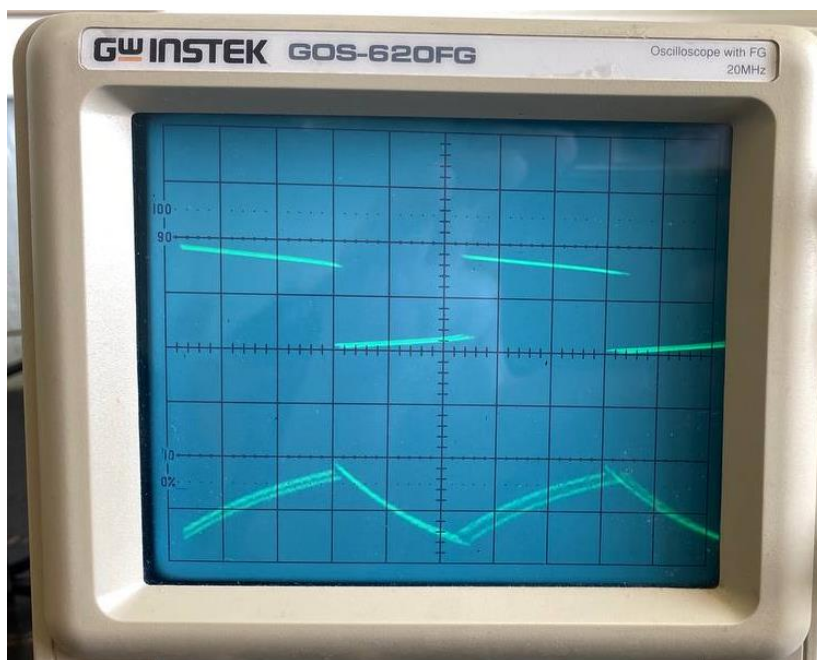


Рис. 1. Осциллограммы колебаний напряжения (сверху) и тока (снизу)

С помощью регулятора 1 перевели «Блок релаксационных колебаний» в режим мультивибратора. На экране осциллографа получили колебания напряжения и тока, а также фазовую плоскость.

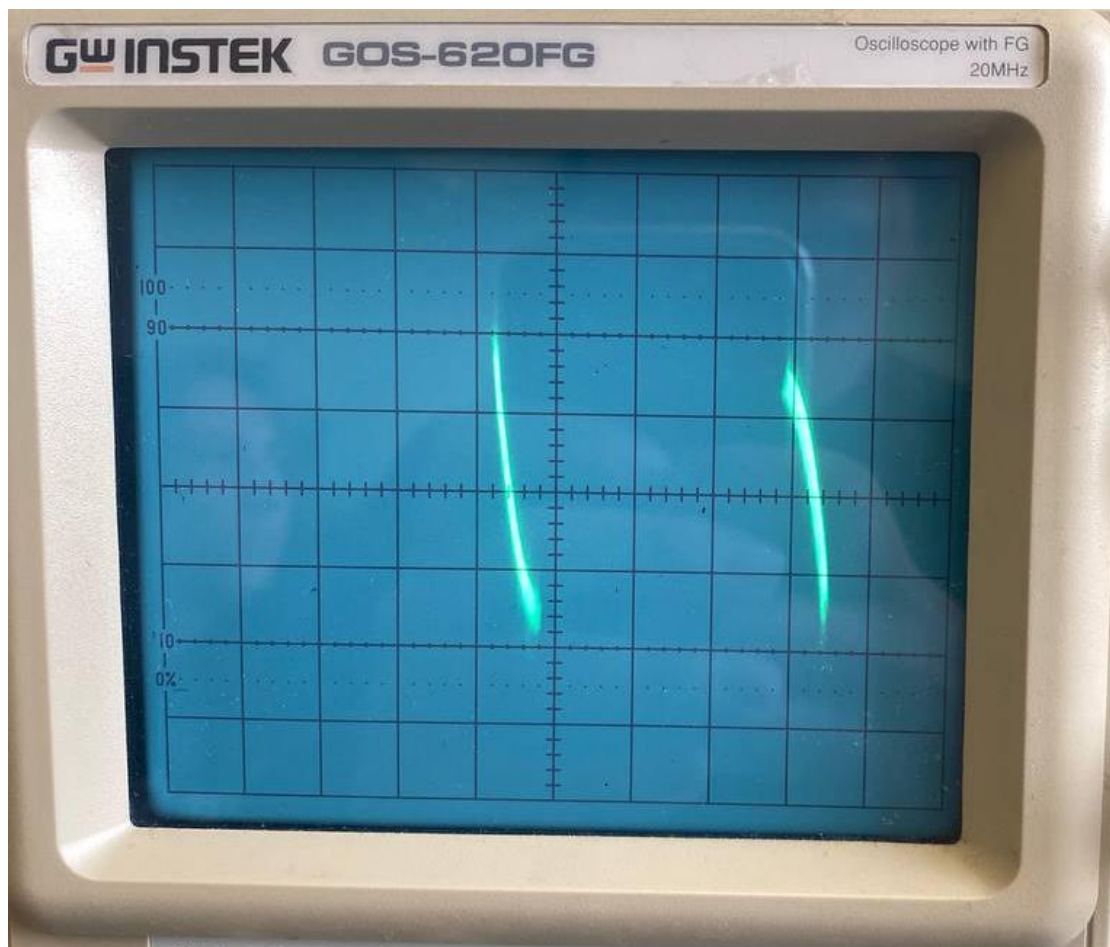


Рис. 2. Осциллограмма фазовой плоскости.

Измерили период автоколебаний и амплитуду. Период равен 270 мкс, амплитуда напряжения 0.9 В, амплитуда тока 0,7 В.

Тусклые горизонтальные участки соответствуют «быстрым» движениям системы, яркие вертикальные - «медленным» движениям.

Задание 2. Триггер.

С помощью регулятора 1 перевели «Блок релаксационных колебаний» в режим триггера, подсоединили генератор импульсов к соответствующему входу и подали на вход прямоугольные импульсы.

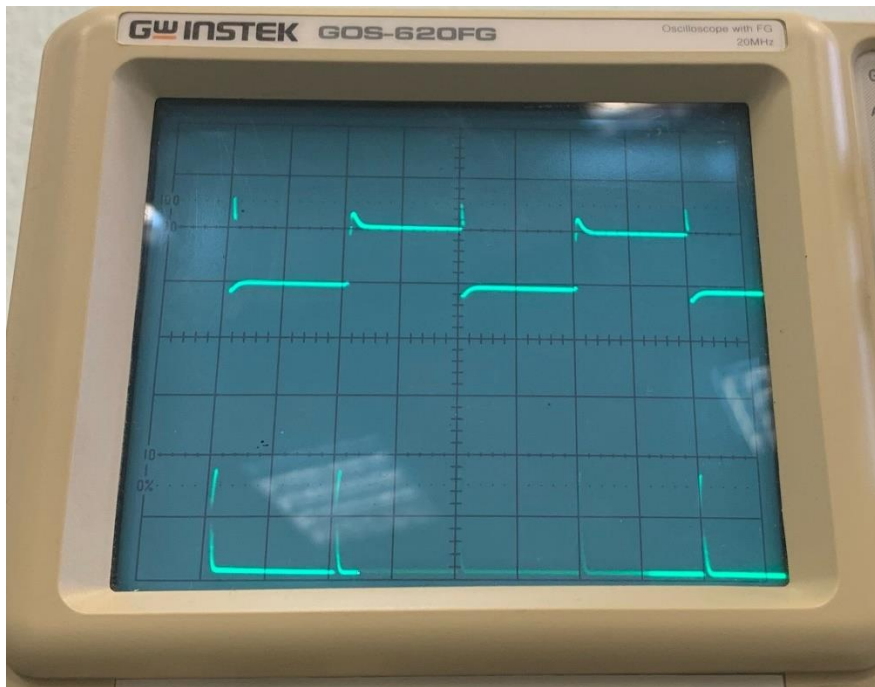


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера.

Частота поданного на триггер прямоугольного сигнала равна 1 кГц, начальная амплитуда — 900 мВ, а коэффициент заполнения — 2% (длительность входного импульса равна 20 мкс). Длительность выходного импульса составила 1 мс.

Существуют минимальная и максимальная длительность входного импульса, которые «разрушают» режим триггера, и система переходит к режиму мультивибратора. Коэффициент заполнения в случае минимума равен 0,5% (длительность входного сигнала равна 5 мкс), а в случае максимума — 4,7% (длительность входного сигнала равна 47 мкс).

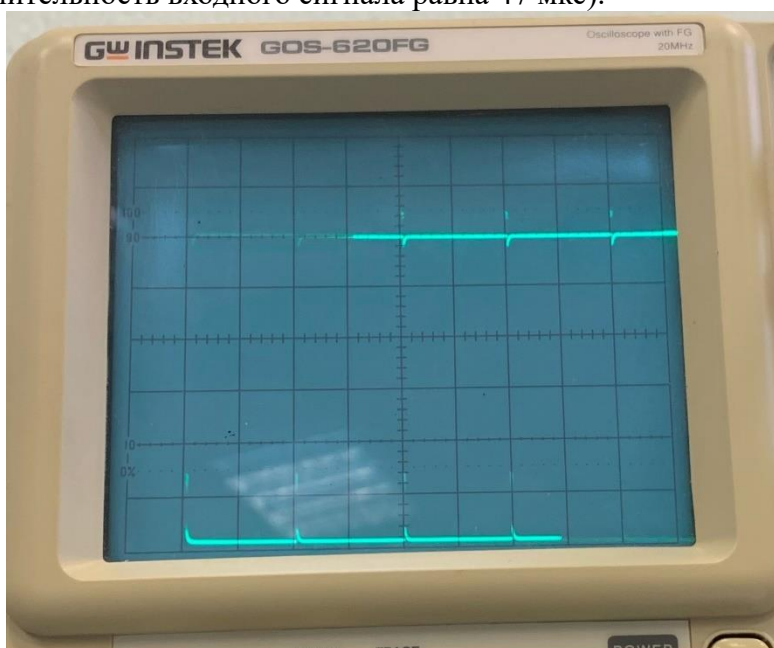


Рис. 4. Осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера при длительности входного импульса в 5 мкс.

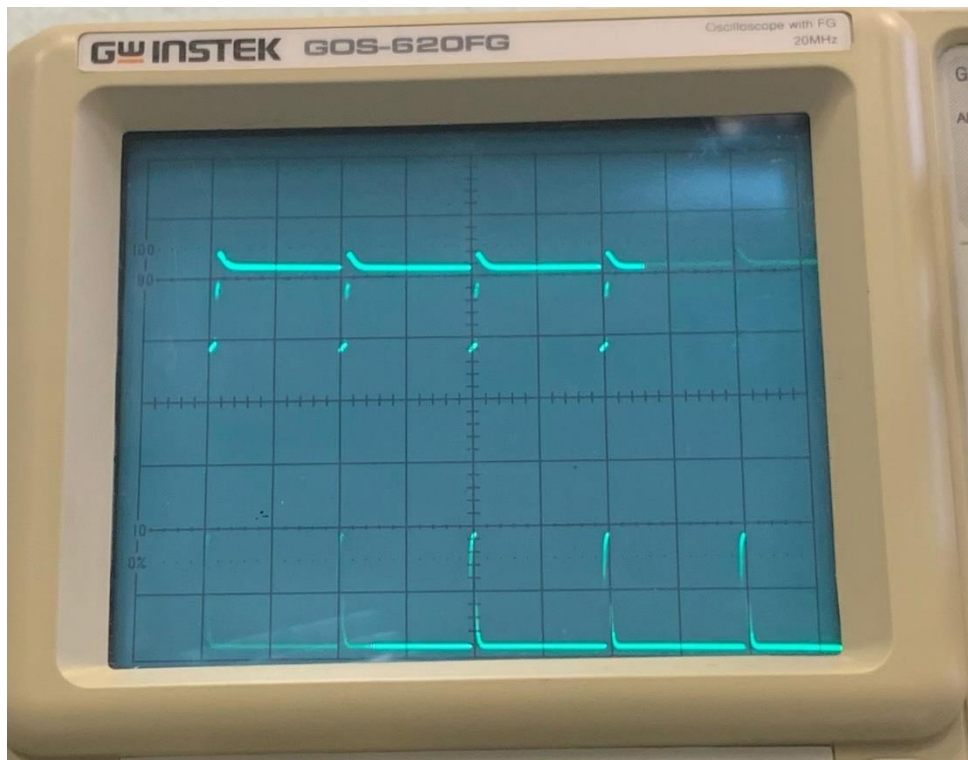


Рис. 5. Осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера при длительности входного импульса в 47 мкс.

Аналогичная ситуация для амплитуды. Минимум амплитуды, при котором сохраняется режим триггера — 220 мВ, максимум — 4,4 В.

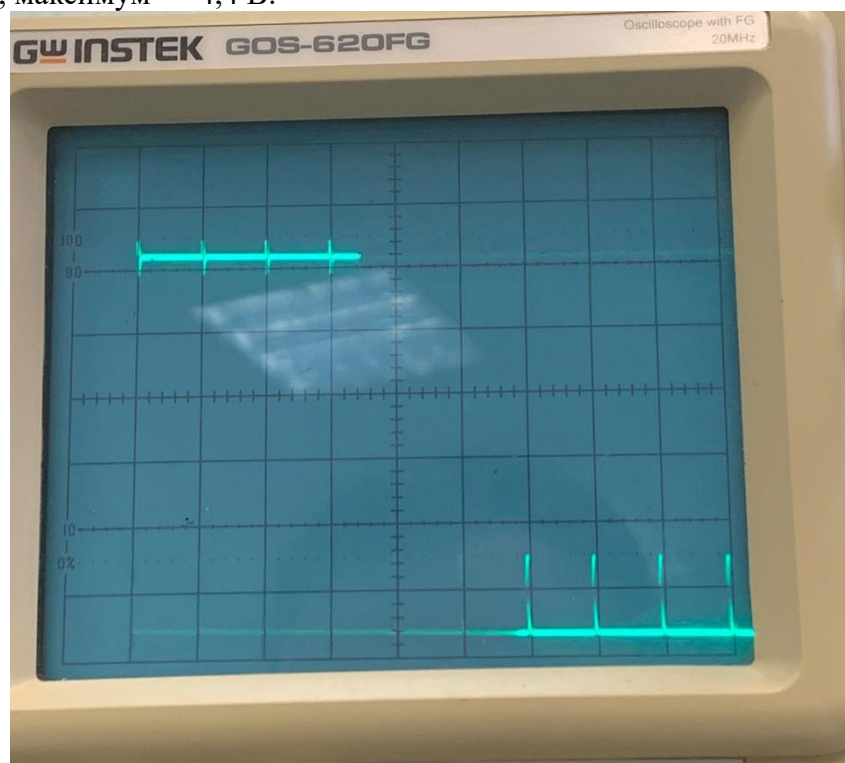


Рис. 6. Осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера при амплитуде 220 мВ.

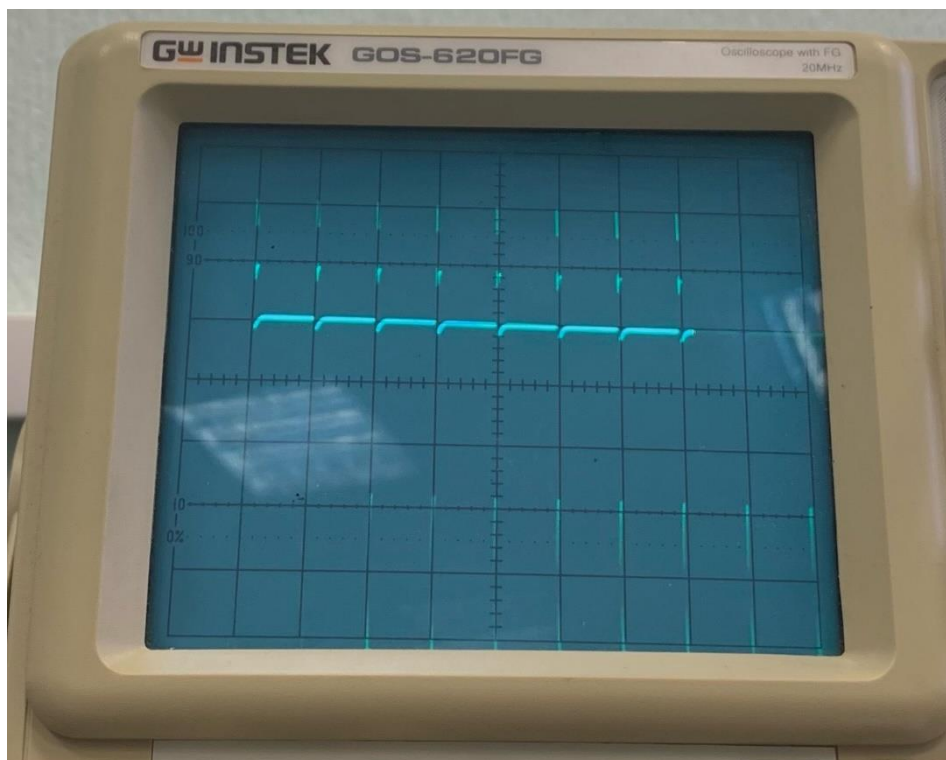


Рис. 7. Осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера при амплитуде 4,4 В. Также получили осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера в случае деления частоты.

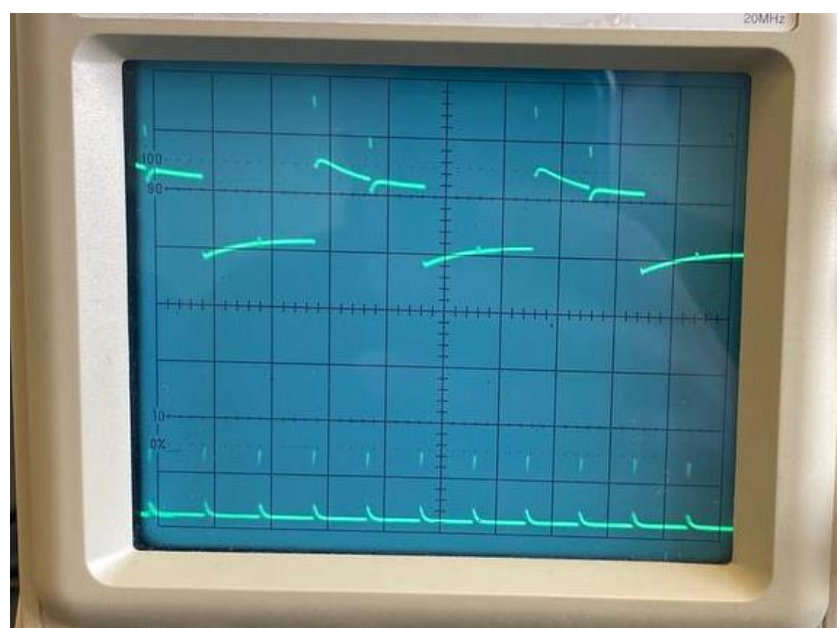


Рис. 8. Осциллограммы напряжения на выходе и входе триггера в случае деления частоты. Частота входного сигнала в случае деления частоты равна 5,25 кГц.

Задание 3. Кипп-реле.

Подготовили лабораторную установку к изучению колебаний кипп-реле, подсоединив генератор и осциллограф к соответствующим входу и выходу.

Начальная амплитуда поданного сигнала равна 400 мВ, частота - 15 кГц, коэффициент заполнения — 2% (длительность входного импульса равна 1,334 мкс).

Длительность выходного сигнала кипп-реле составляет 4 мкс.

Длительность сигнала при минимально допустимом коэффициенте заполнения, при котором схема работает как кипп-реле составляет 93,4 нс.

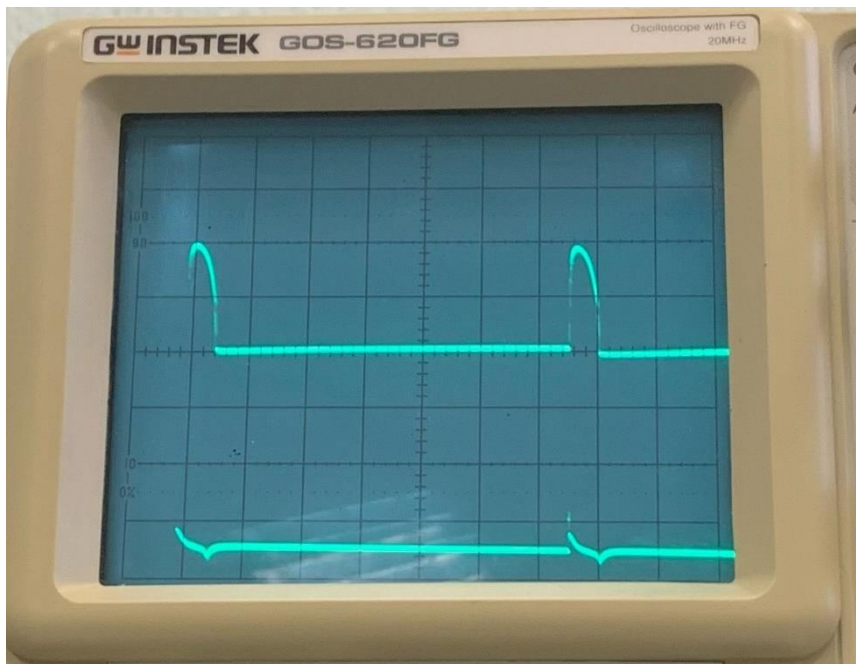


Рис. 9. Осциллограммы напряжения на выходе и входе кпп-реле при минимальной длительности входного импульса в 93,4 нс.

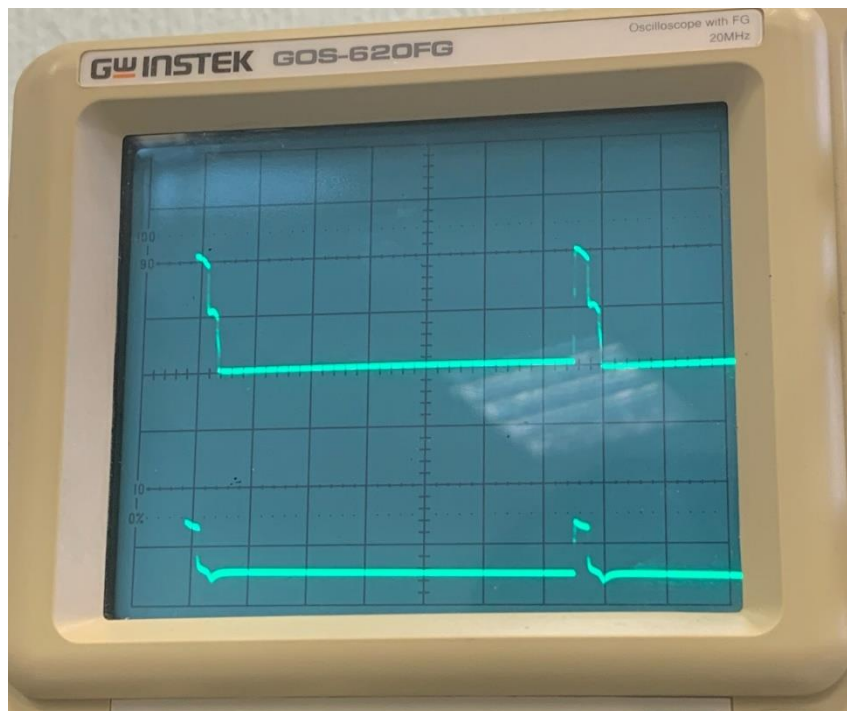


Рис. 10. Осциллограммы напряжения на выходе и входе кпп-реле при максимальной длительности входного импульса в 3,3345 мкс.

Длительность сигнала при максимально допустимом коэффициенте заполнения, при котором схема работает как кпп-реле, составила 3,3345 мкс.

Максимально допустимая амплитуда, при которой схема работает как кпп-реле, равна 522 мВ.

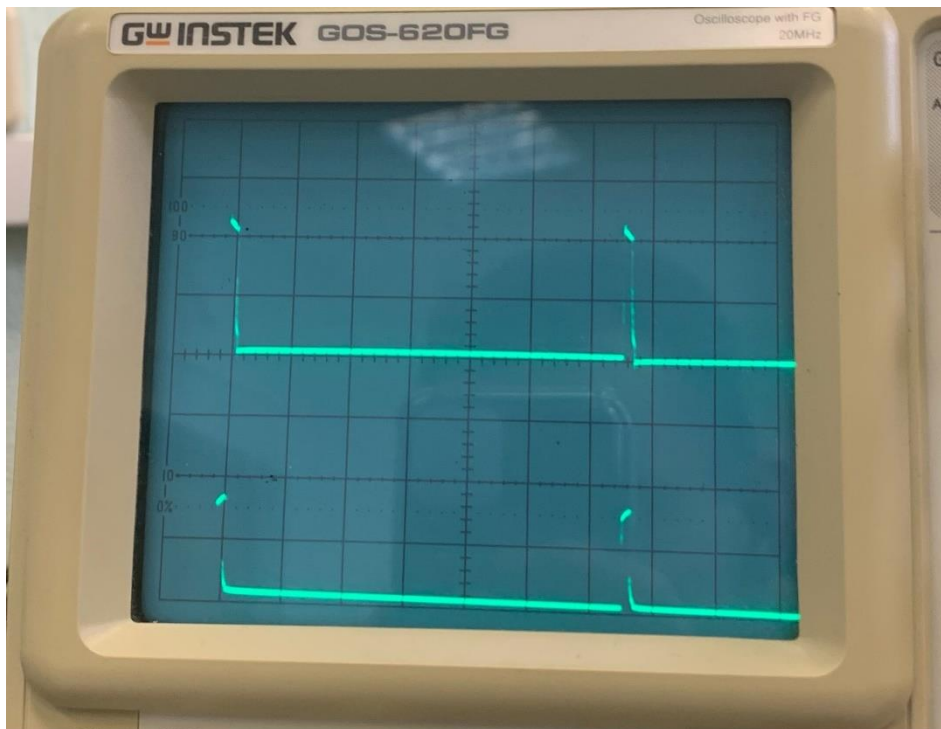


Рис. 11. Осциллограммы напряжения на выходе и входе кипп-реле при максимальной амплитуде, равной 522 мВ.

Минимально допустимая амплитуда, при которой схема работает как кипп-реле, равна 79 мВ.

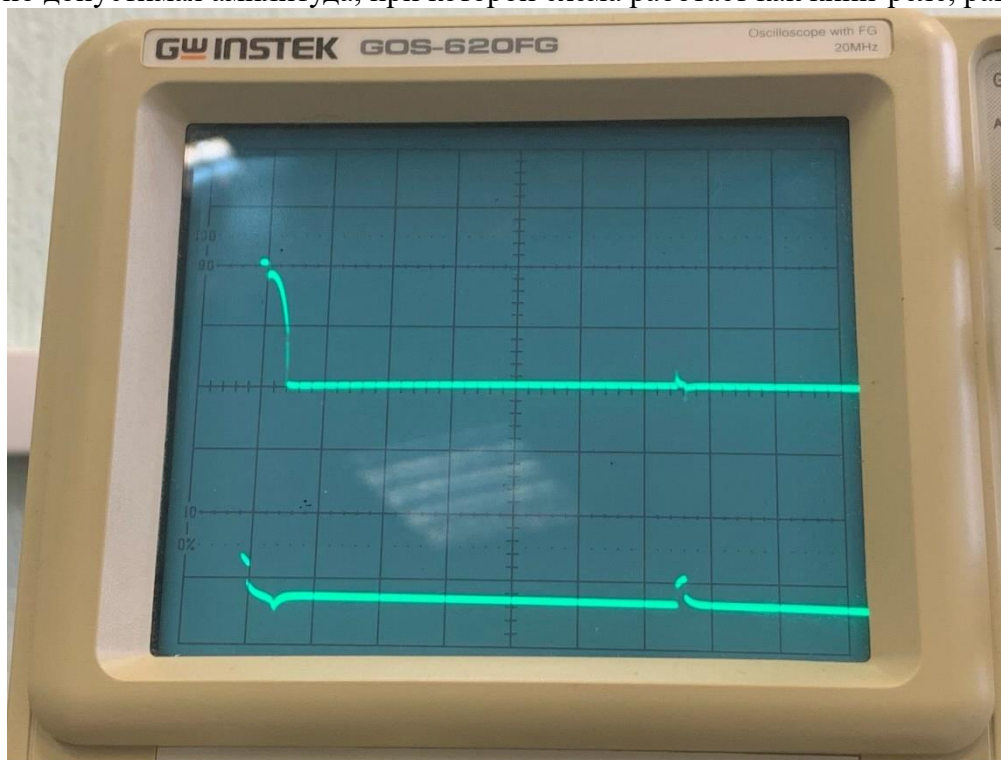


Рис. 11. Осциллограммы напряжения на выходе и входе кипп-реле при минимальной амплитуде, равной 79 мВ.

Вывод:

В ходе лабораторной работы мы измерили амплитуду и период автоколебаний мультивибратора. Измерили длительность импульса на выходе триггера. Определили диапазон значений длительности запускающих импульсов, при которых система ведёт себя как триггер. Изучили колебания кипп-реле: измерили длительность выходного сигнала кипп-реле. Определили диапазон значений длительности запускающего импульса, при которых установка работает как кипп-реле.