

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО
ЭЛЕМЕНТА

Утверждено редакционным
советом института в качестве мето-
дических указаний к лабораторной
работе № 7

Куйбышев 1984

УДК 621.382.333

В методических указаниях описываются динамические элементы и динамические оптоэлектронные функциональные элементы при питании от источников постоянного и переменного напряжений; исследуются выходные характеристики указанных элементов.

Книга рекомендуется для студентов специальности 0705.

Рецензенты: доц. В.Ф.Соколов, доц. В.А.Рожков

Составители: Василий Дмитриевич Дмитриев,
Алексей Васильевич Болков,
Михаил Николаевич Пиганов

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Редактор В.Д.Антонова
Техн.редактор Н.М.Каленюк
Корректор Н.С.Куприянова

Подписано в печать 14.05.84г.

формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.

Печать оперативная. Усл.п.л. 0,93 Уч.-изд.л. 0,9
т. 500 экз. Заказ 4141 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151

Областная тип.им. В.П.Мяги, г. Куйбышев, ул.Венцека, 60.

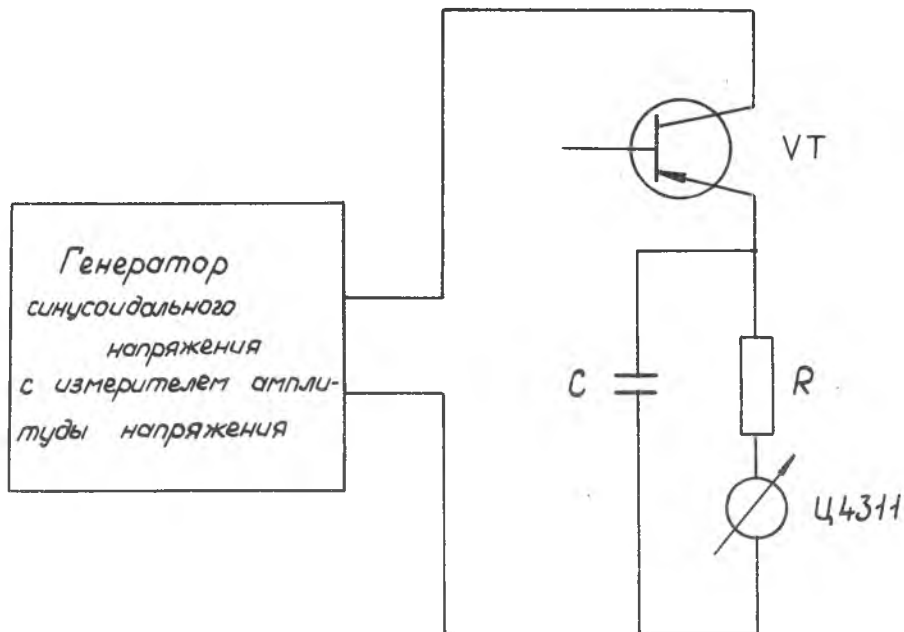
З а н я т и е I

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Ц е л ь р а б о т ы – исследование выходных характеристик функционального динамического элемента на основе биполярного транзистора.

З А Д А Н И Е :

1. Изучить принцип работы функционального динамического элемента;
2. Изучить процесс лавинного пробоя переходов транзистора в статическом режиме.
3. Изучить блок-схему исследования выходных характеристик функционального динамического элемента (рис. I).
4. Изучить инструкцию по пользованию прибором Ц4311.



Р и с. I. Блок-схема исследования выходных характеристик функционального динамического элемента

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Создание многофункциональных и экономичных элементов является одной из задач микроэлектроники. В данной лабораторной работе исследуется динамический элемент, выполняющий как функции триггера, так и логического элемента. Функциональный динамический элемент создан на основе биполярного транзистора с отключенным базовым выводом питанием от источника высокочастотного напряжения (рис.2).

Эквивалентная схема функционального динамического элемента показана на рис.3, где $C_{кд}$, $C_{кб}$ - нелинейные диффузионная и барьерная емкости коллекторного перехода; $C_{эд}$, $C_{эб}$ - нелинейные диффузионная и барьерная емкости эмиттерного перехода.

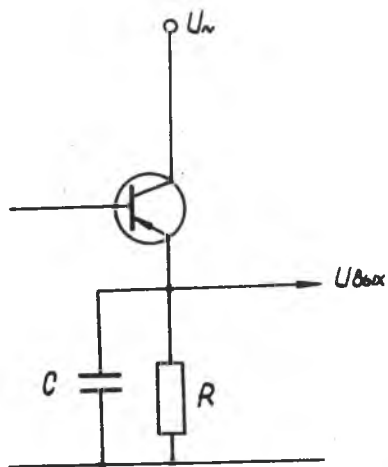
При питании транзистора от источника переменного напряжения величина и направление тока через транзистор зависят от величины емкостей р-п переходов $C_{бк}$, $C_{дк}$, $C_{бэ}$, $C_{дэ}$, а также от амплитуды и частоты напряжения питания U_m .

Для сплавных транзисторов (например, МП37, МП42 и т.д.) емкости р-п переходов $C_{бк}$ и $C_{бэ}$, $C_{дк}$ и $C_{дэ}$ по величине незначительно отличаются друг от друга, что объясняется симметричностью р-п переходов. Для таких транзисторов суммарный ток через транзистор в зависимости от амплитуды и частоты напряжения U_m протекает в одном направлении. У дрейфовых транзисторов р-п переходы резко несимметричны, величины их барьерных и диффузионных емкостей соответственно различны и в зависимости от амплитуды и частоты напряжения питания U_m направление протекания тока изменяется на противоположное.

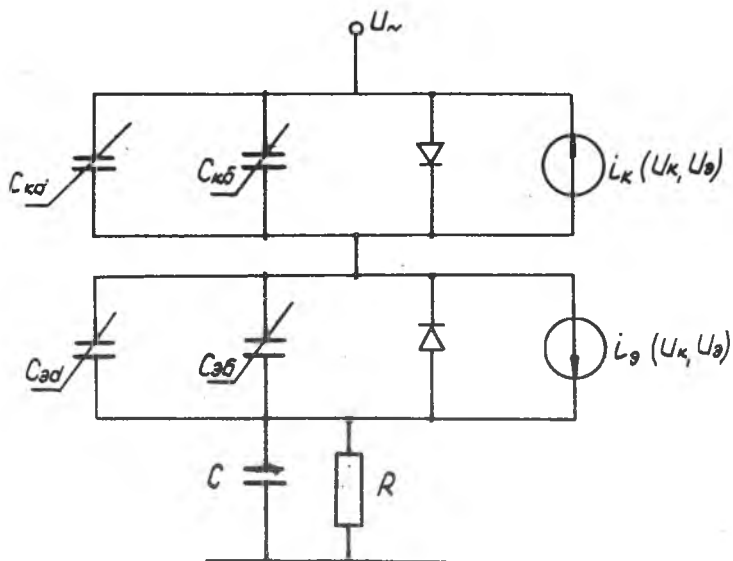
Рассмотрим работу функционального динамического элемента на основе дрейфового транзистора.

При питании дрейфового транзистора с отключенным базовым выводом от источника постоянного напряжения E_n (коллекторный р-п переход смещен в обратном направлении) ток через транзистор протекает от эмиттера к коллектору (для р-п-р типа). При этом для малых значений напряжения питания E_n величина тока, протекающего через транзистор, мала. При больших значениях напряжения E_n (например, для транзистора типа П416В $E_n = 35$ В) наступает лавинный пробой коллекторного перехода транзистора (рис.4). При этом вольт-амперная характеристика транзистора имеет падающий участок (область отрицательного сопротивления).

В динамическом режиме работы транзистора появляются свойства, отличающиеся от свойств, характерных для статического режима. Эти

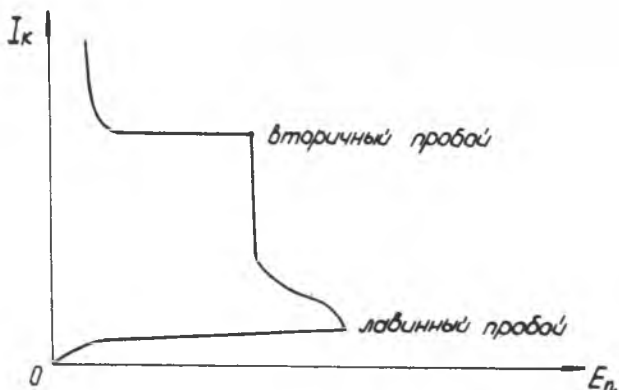


Р и с. 2. Функциональный динамический элемент на основе биполярного транзистора



Р и с. 3. Эквивалентная схема функционального динамического элемента

2-4141



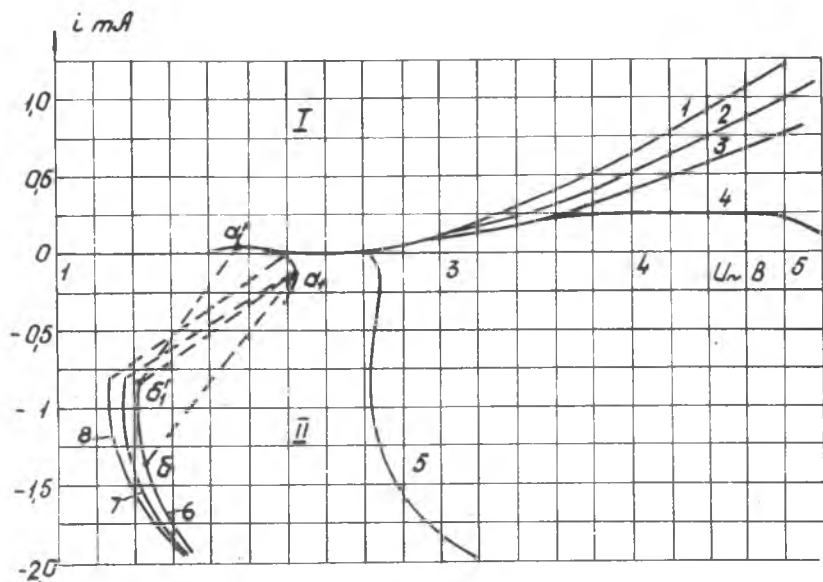
Р и с. 4. Вольт-амперная характеристика элемента при питании от источника постоянного тока

свойства зависят от амплитуды и частоты напряжения $U \sim$ и величины барьерных и диффузионных емкостей коллекторного и эмиттерного переходов транзистора, а также от значений номиналов конденсатора и резистора, включенных в цепь его эмиттера.

При питании дрейфового транзистора переменным напряжением роли коллектора и эмиттера периодически меняются: в положительный полупериод синусоидального напряжения на коллекторе ток течет от коллектора к эмиттеру, а в отрицательный полупериод — от эмиттера к коллектору. Для дрейфовых транзисторов величины этих токов резко отличаются, причем $i_{кэ} > i_{эк}$. Это обусловлено разницей ширины и соответственно различием сопротивлений обратнорасположенных коллекторного и эмиттерного р-п переходов. Однако соотношение токов $i_{кэ} > i_{эк}$ выполняется лишь в диапазоне частот от низких до нескольких сотен кГц.

На частотах до десятков кГц влияние инерционности емкостей р-п переходов мало, и суммарный ток через дрейфовый транзистор протекает от коллектора к эмиттеру. Суммарный ток представляет собой импульс положительной полярности, и барьерная емкость эмиттерного перехода заряжается положительно относительно коллекторного перехода. С увеличением частоты напряжения питания сказывается влияние инерционности емкостей р-п переходов, и суммарный ток через дрейфовый транзистор составит сумму тока постоянного уровня и искаженных импульсов тока. При дальнейшем увеличении частоты напряжения питания (диапазон частот сотни кГц) влияние емкостей возрастает настолько, что амплитуда импульсов тока уменьшается, и суммарный ток, протекающий через транзистор, будет представлять собой только постоянную состав-

ляющую. Соответственно барьерная емкость эмиттерного перехода, заряженная положительным потенциалом, начинает подзапирать коллекторный переход, а конденсатор в цепи эмиттера, заряженный положительным потенциалом на эмиттере, приотпирает эмиттерный переход и подзапирать коллекторный переход, в результате уменьшается величина тока $i_{кэ}$ (рис.5, характеристики I-4).



Р и с. 5. Динамические характеристики элемента на транзисторе типа П416Б в зависимости от частоты: 1 - 500 Гц; 2 - 5 кГц; 3 - 20 кГц; 4 - 80 кГц; 5 - 200 кГц; 6 - 500 кГц; 7 - 1,3 МГц; 8 - 10 МГц

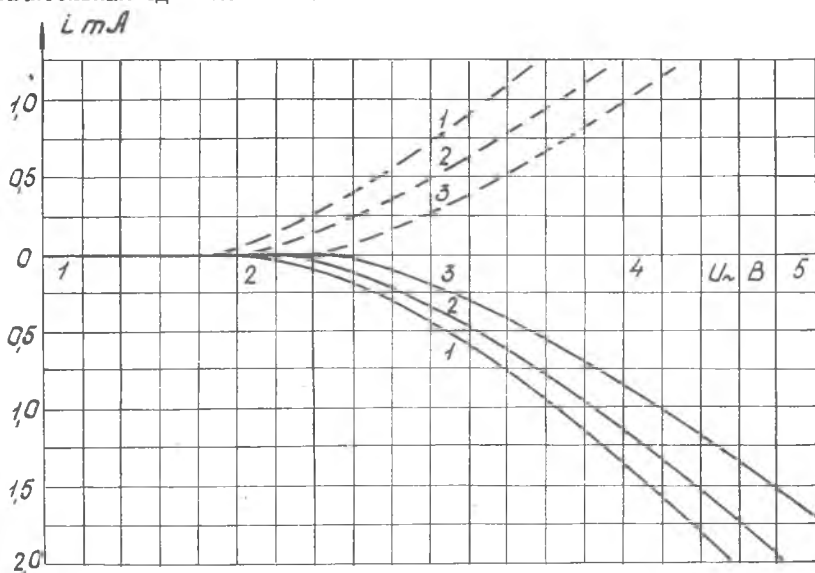
Положительное смещение на эмиттере приводит к инжекции дырок из эмиттера в базу. Уход из базы дырок в коллектор и приход в нее электронов приводит к снижению потенциального барьера эмиттера, что еще больше усиливает процесс инжекции дырок из эмиттера в базу. Таким образом, происходит лавинообразный процесс открывания транзистора, и суммарный ток через транзистор начинает протекать от эмиттера к коллектору, а на выходных характеристиках происходит скачок величины тока (например, от точки α_1 до точки δ_1). Обратное уменьшение тока также происходит скачкообразно, но уже при меньшем

значении амплитуды напряжения U_n (например, из точки δ_1 в точку A_1). Таким образом, выходная характеристика $i = f(U_n)$ имеет гистерезисную зону, ширина которой определяется разностью амплитуд напряжений $U_n' - U_n''$. В данном случае гистерезисная зона существует и по частоте напряжения U_n . При этом срыв выходной характеристики происходит при меньшей частоте напряжения U_n .

Выходные характеристики функционального элемента на основе транзистора типа П416Б (нормальное включение - рис.1) приведены для частот 500 Гц; 5 кГц; 20 кГц; 80 кГц; 200 кГц; 500 кГц; 1,3 МГц; 10 МГц (см.рис.5).

При инверсном включении дрейфовых транзисторов (вывод эмиттера подключен к потенциальной шине генератора переменного напряжения) положение выходных характеристик меняется на обратное, но несколько сдвигается влево, что обусловлено несимметричностью р-п переходов.

Коллекторный и эмиттерный р-п переходы у сплавных транзисторов отличаются друг от друга незначительно (симметричны). Выходные характеристики функционального динамического элемента на основе сплавного транзистора расположены только в одной области и не имеют области резких скачков (рис.6). Инверсное включение сплавного транзистора приводит к изменению положения характеристик на обратное с незначительным сдвигом влево.



Р и с. 6. Динамические характеристики элемента на транзисторе типа П41 в зависимости от частоты: — для нормального включения; - - - для инверсных включений; 1-400 Гц; 2-20 кГц; 3- 9 МГц

Используя гистерезисную зону выходной характеристики динамического элемента, можно построить простые и экономичные элементы памяти и логики, причем совмещенные в одном элементе.

Для триггерного режима схемы (см. рис. 2) амплитуда высокочастотного напряжения питания U_n при определенной частоте должна быть выбрана внутри гистерезисной зоны выходной характеристики, т.е. в середине интервала $U_n' - U_n''$, а для режима логической операции – левее точки U_n'' .

Для управления состояниями "0" (выключено) и "1" (включено) динамического элемента используют импульсы положительной или отрицательной полярности и через диоды подают на базу и эмиттер транзистора.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать установку согласно блок-схеме (см. рис. 1).

2. Снять выходные характеристики функционального элемента в зависимости от частоты и амплитуды переменного напряжения питания.

Для дрейфового транзистора:

при нормальном включении;

при инверсном включении.

Для сплавного транзистора:

при нормальном включении;

при инверсном включении.

Примечание.

1. Характеристики снять на следующих частотах напряжения U_n :

$f = 1$ кГц, 50 кГц, 300 кГц, 1 МГц, 5 МГц для одного из вариантов транзисторов по заданию преподавателя (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Дрейфовый транзистор	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Сплавной транзистор	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7

2. Максимальная амплитуда напряжения U_n 10 В.

3. Записать значения амплитуд напряжений скачков $U_{n\text{вкл}}$ и $U_{n\text{выкл}}$ (включения и выключения) функционального элемента.

4. Экспериментальные данные для каждой заданной частоты занести в табл. 2 с учетом знака тока.

Т а б л и ц а 2

					$f = I$ кГц					
U_m										
I										

5. Построить характеристики $I = F(U_m)$.
6. Проанализировать получение зависимости и сделать выводы.
7. Оформить отчет.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема функционального динамического элемента (ФДЭ) и блок-схема измерения его выходных характеристик.
2. Построенные по экспериментальным данным зависимости.
3. Таблица ширины гистерезисной зоны в зависимости от частоты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать блок-схему исследования выходных характеристик ФДЭ.
2. Нарисовать и объяснить эквивалентную схему ФДЭ.
3. Объяснить вольт-амперную характеристику ФДЭ при питании от источника постоянного напряжения.
4. Нарисовать и объяснить динамические вольт-амперные характеристики функционального элемента.

Л и т е р а т у р а

- С т е п а н е н к о И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. -М.:Энергия, 1973.
- Д м и т р и е в В.Д. Динамические вольт-амперные характеристики транзисторов и их использование в построении элементов памяти и логики. -В сб.: Устройства, элементы и методы комплексной микроминиатюризации РЭА. -Казань, Казанский авиационный институт, 1981.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОПТРОНАХ**

Ц е л ь р а б о т ы - исследование выполняемых функций выходных характеристик элементов на оптронах при питании от различных источников напряжений - постоянного и высокочастотного.

З А Д А Н И Я:

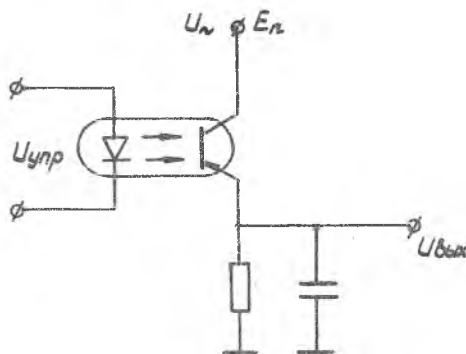
1. Изучить принцип работы транзисторного оптрона и функционального элемента на его основе.
2. Изучить блок-схему исследования выходных характеристик функциональных элементов.
3. Изучить порядок выполнения работы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Создание многофункциональных, экономичных и быстродействующих элементов является одной из задач микроэлектроники. В данной лабораторной работе исследуются две схемы функциональных элементов, выполняющих функции как логического элемента, так и триггера при питании от источника высокочастотного напряжения. Особенность элементов при высокочастотном напряжении питания - наличие гистерезисной зоны, обеспечивающей два устойчивых состояния при переключении.

На рис.1 показан один из функциональных элементов, созданный на основе транзисторного оптрона с отключенным базовым выводом и питанием от источника высокочастотного напряжения U_n .

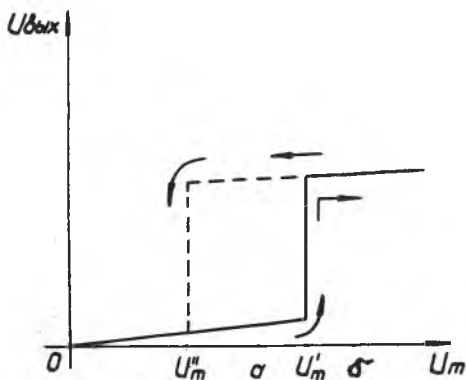
Для сравнения свойств функциональный элемент (см. рис.1) исследуется при питании как от источника постоянного напряжения U_n , так и высокочастотного напряжения U_n . При этом величина выходного напряжения (для достаточного значения эв-этогового потока на область базы транзистора) изменяется



Р и с. 1. Транзисторный оптрон

от минимального значения до максимального.

На рис.2 приведена зависимость выходного напряжения от амплитуды U_m высокочастотного напряжения U_n . При значении амплитуды



Р и с. 2. Статическая характеристика оптрона

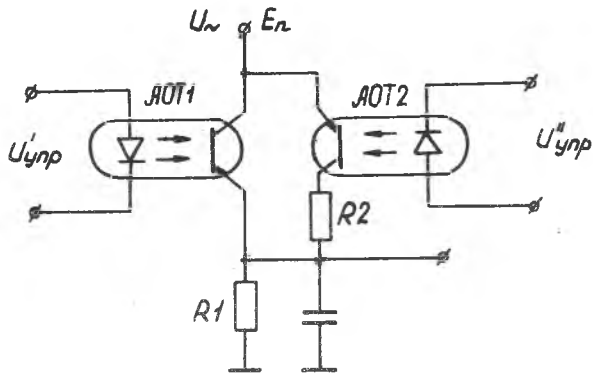
напряжения $U_m = U_m'$ происходит резкий скачок выходного напряжения. Это максимальное значение сохраняется и после выключения управляющего напряжения $U_{упр}$. Для выключения транзистора оптрона необходимо уменьшать амплитуду U_m высокочастотного напряжения U_n на 1-2 В (зависит от типа транзистора оптрона). При достижении значения $U_m = U_m''$ транзистор выключается, а выходное напряжение изменяется скачком от максимального значения до минимального. Следовательно, элемент (см.рис.1) при питании высокочастотным напряжением обладает гистерезисной зоной,

т.е. выполняет функции триггера. Ширина гистерезисной зоны определяется как разница напряжений $U_m' - U_m''$.

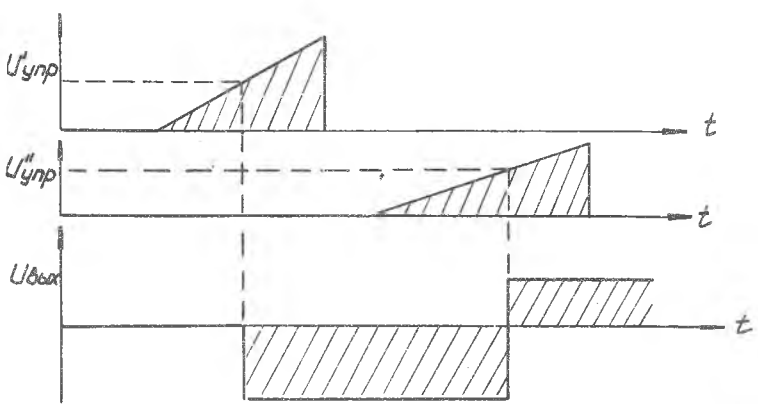
Для случая питания транзистора оптрона от источника постоянного напряжения E_n (при тех же значениях, т.е. $E_n < 10$ В) гистерезисная зона отсутствует и в области а-б (см.рис.2) выходная характеристика $U_{вых} = f(E_n)$ изменяется более плавно.

Если транзистор (см.рис.1) включить инверсно, то выходная характеристика изменяется по знаку. Следовательно, включая две эти схемы параллельно, получаем триггер (рис.3). Полярность выходного напряжения будет определять, какой из транзисторов оптронов находится в состоянии включения и наоборот. Для этого необходимо рабочие точки транзисторов выбрать внутри гистерезисной зоны, т.е. $U_m' - U_m''$.

Диаграммы, характеризующие принцип работы функционального элемента (по рис.3) приведены на рис.4. Допустим, что в исходном состоянии управляющие напряжения $U_{упр}$ и $U_{упр}'$ равны нулю. При этом величина выходного напряжения $U_{вых}$ минимальна (см.рис.4). С увеличением значения управляющего напряжения $U_{упр}$ (при $U_{упр}' = 0$) и по достижении определенного значения транзистор оптрона АОТ1 открывается



Р и с. 3. Триггер на оптроне



Р и с. 4. Диаграмма работы функционального элемента

и выходное напряжение изменяется скачком от минимального значения до максимального отрицательного значения (для р-п типа). Это состояние сохраняется и после выключения $U_{уп}''$.

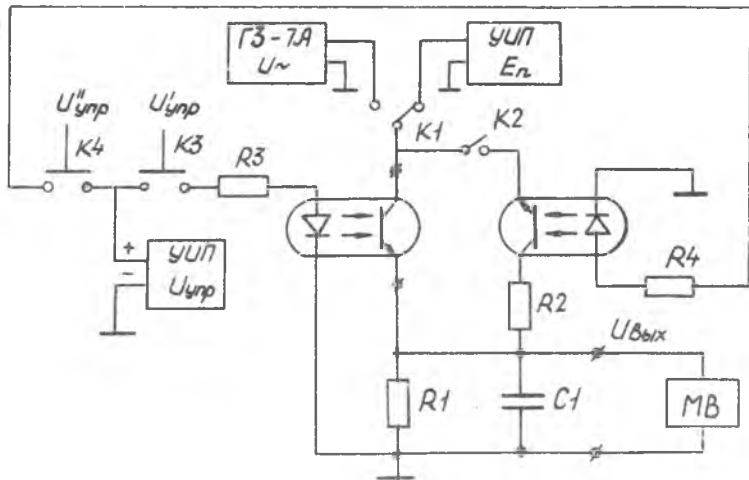
Для включения другого АОТ2 оптрона и выключения оптрона АОТ1 необходимо увеличить напряжение $U_{уп}''$ (при $U_{уп}' = 0$). По достижении напряжением $U_{уп}''$ определенного значения, достаточного для открывания транзистора оптрона АОТ2, тот открывается и на общем резисторе $R1$ создается падение напряжения, запирающее транзистор оптрона АОТ1. Транзистор оптрона АОТ1 запирается, а транзистор оптрона АОТ2 остается открытым. Процесс этот происходит мгновенно, и выходное напряжение изменяется скачком от максимального отрицательного значения до максимального положительного значения. Это состояние сохраняется и после выключения управляющего напряжения $U_{уп}''$.

Для обратного переключения необходимо подать управляющее напряжение $U_{уп}'$ на выводы светодиода оптрона АОТ1.

Схема установки, содержащая варианты, представленные на рис. 1 и 2, приведена на рис. 5

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать установку согласно схеме (см. рис. 5)



Р и с. 5. Схема для исследования характеристик элементов на оптронах при питании от источников постоянного и высокочастотного напряжений

2. Снять выходные характеристики функциональных элементов на оптронах для следующих вариантов:

при питании от источника постоянного напряжения E_n (при выключенном транзисторном оптроне А0Т2, что соответствует схеме на рис.1);

при питании от источника высокочастотного напряжения U_n (по схеме на рис.1);

определить значение амплитуды U_m'' напряжения U_n , которое соответствует порогу выключения (см.рис.2). При значении U_m'' величина выходного напряжения $U_{вых}$ резко изменяется от максимального значения до минимального;

определить ширину гистерезисной зоны как разницу пороговых значений амплитуд $U_m - U_m''$ напряжения U_n .

Составить таблицу и построить зависимости $U_{вых} = f(E_n)$ и $U_{вых} = f(U_m)$.

П р и м е ч а н и е.

1. Под выходной характеристикой $U_{вых} = f(U_m)$ и $U_{вых} = f(E_n)$ элементов подразумевается величина напряжения $U_{вых}$ на выходных клеммах в зависимости от амплитуды U_m высокочастотного напряжения питания U_n или от значения напряжения питания E_n . Выходное напряжение измеряется милливольтметром постоянного тока. При этом величина управляющего напряжения $U_{упр}$ на выводах светодиода оптрона соответствует оптимальному значению (из таблицы для соответствующих оптронов), а величина напряжения E_n (соответственно U_n) изменяется от 0 до 6 В с шагом 1 В. Для измерения величины выходного напряжения ключ К3 (К4) должен быть замкнут.

2. В зоне резкого увеличения уровня выходного напряжения (см. рис.2, область а-б) измерения производить с изменением E_n (U_n) на шаг не более 0,1 В. По вольтметру генератора записать значения амплитуды U_m напряжения U_n , при которой выходное напряжение $U_{вых}$ резко (скачком) изменяется от минимального значения до максимального. Это значение U_n обозначим через U_m' .

3. Значение частоты высокочастотного напряжения на генераторе ГЗ-7А установить в интервале 500-10000 кГц (для двух значений по заданию преподавателя).

4. Устойчивое состояние при переключении из минимального значения $U_{вых}$ в максимальное проверяется выключением ключа К3.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Нарисовать схему измерения выходных характеристик функциональных элементов.
2. По экспериментальным данным составить таблицу и построить зависимости.
3. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисуйте и объясните схему исследования функционального динамического элемента.
2. Объясните принцип работы функционального динамического элемента на оптронах.
3. Сравните экспериментально полученные зависимости выходных характеристик функционального динамического элемента при питании от источника высокочастотного и постоянного напряжения питания.
4. Объясните принцип работы транзисторной оптронной пары (оптрона).

Л и т е р а т у р а

Д м и т р и е в В.Д. Динамические элементы оптоэлектронных систем обработки информации. - В сб.: Устройства, элементы и методы комплексной микроминиатюризации РЭА. - Казань: Казанский авиационный институт, 1983.

Н о с о в Ю.Р., С и д о р о в А.С. Оптроны и их применение. - М.: Радио и связь, 1981. - 280с.