

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра автоматического управления

А. Р. Решетилов, Н. И. Ольшевский

ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОСХЕМОТЕХНИКА

Методическое пособие к лабораторным работам
для студентов специальности
“Автоматическое управление в технических системах”
всех форм обучения

Минск 2003

УДК 621.38+621.382.8.049.77(075.8)

ББК 32.85+32.844.1 я 73

Р 47

Рецензент:

зав. кафедрой теоретических основ электротехники БГУИР,
проф., д-р техн. наук Л.Ю. Шилин

Решетилов А. Р.

Р 47

Электроника и микросхемотехника: Метод. пособие к лаб. работам для студ. спец. “Автоматическое управление в технических системах” всех форм обучения / А. Р. Решетилов, Н. И. Ольшевский. – Мн.: БГУИР, 2003.– 47с.: ил.

ISBN 985-444-525-9

В пособии приводятся описания магнитно-транзисторной схемы управления двигателем постоянного тока и триггеров, а также методические указания к выполнению двух лабораторных работ.

УДК 621.38+621.382.8.049.77(075.8)

ББК 32.85+32.844.1 я 73

ISBN 985-444-525-9

© Решетилов А.Р.,
Ольшевский Н.И., 2003
© БГУИР, 2003

Содержание

1. Лабораторная работа № 1. Магнитно-транзисторная схема управления двигателем постоянного тока

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Описание лабораторной установки
- 1.3. Порядок выполнения лабораторной работы
- 1.4. Содержание отчета
- 1.5. Контрольные вопросы

Литература

2. Лабораторная работа № 2. Триггеры

- 2.1. Общие сведения
 - 2.1.1. Способы запуска триггеров
 - 2.1.2. Несимметричный триггер с эмиттерной связью (триггер Шмитта)
 - 2.1.3. Другие разновидности схем триггеров
 - 2.1.4. Триггеры на полевых транзисторах
 - 2.1.5. Потенциальные триггеры на логических элементах
 - 2.1.6. Триггеры на приборах с отрицательным сопротивлением (негатронах)
- 2.2. Описание лабораторной установки
- 2.3. Порядок выполнения работы
 - 2.3.1. Схема симметричного триггера с коллекторно-базовыми связями
 - 2.3.2. Триггер с эмиттерной связью
 - 2.3.3. Схема триггера на транзисторах различной проводимости
 - 2.3.4. Триггеры в интегральном исполнении
- 2.4. Содержание отчета
- 2.5. Контрольные вопросы

Литература

Лабораторная работа №1

МАГНИТНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Общие сведения

Цель работы – изучить широтно-импульсный магнитно-транзисторный модулятор в нереверсивной схеме импульсного регулирования скорости электродвигателя постоянного тока.

Изучаемый широтно-импульсный магнитно-транзисторный модулятор преобразует постоянный ток, подаваемый в обмотку управления магнитного усилителя, в длительность (ширину) импульсов, следующих с постоянной тактовой частотой. Принципиальная схема широтно-импульсного модулятора приведена на рис. 1.1.

В схеме применены два магнитно-транзисторных мультивибратора Мв1 и Мв2. Причем первый из них, выполненный на транзисторах VT1, VT2, является ведущим, а второй, на транзисторах VT3, VT4, является ведомым. Как первая схема, так и вторая – специфические схемы блокинг-генераторов с двумя транзисторами. В основном они предназначены для получения последовательности почти прямоугольных импульсов со скважностью $Q = 2$ (меандр). Частота меандра зависит как от напряжения питания, так и от других управляющих элементов схем. Сами схемы ведущего и ведомого мультивибраторов неодинаковы, поэтому процессы генерирования импульсов также будут различными, хотя и имеют много общего.

Рассмотрим работу ведомого мультивибратора в автономном (автоколебательном) режиме в предположении, что все внешние управляющие сигналы отсутствуют.

В момент включения напряжения питания транзисторы VT3, VT4 закрыты и через них начинают протекать начальные токи утечки транзисторов $I_{к0}$. Вследствие неодинаковости (несимметрии) как самих транзисторов, так и всех остальных компонентов схемы, эти токи будут неодинаковыми. Поэтому через коллекторные обмотки трансформатора Tr3 протекают также различные по величине и по направлению токи. И результирующий магнитный поток, определяемый большим из этих начальных токов, будет наводить в соответствующем транзисторе открывающее базовое напряжение в обмотке W_{oc} (специальное подключение базовой обмотки с целью реализации в схеме положительной обратной связи (ПОС)). В базовой цепи транзистора с меньшим значением $I_{к0}$ наводится закрывающее напряжение. Этот процесс протекает лавинообразно, пока один из транзисторов не откроется полностью и не войдет в режим насыщения. В его коллекторной обмотке $W1$ трансформатора Tr3 ток будет увеличиваться по экспоненциальному закону (переходный процесс в цепи с индуктивностью).

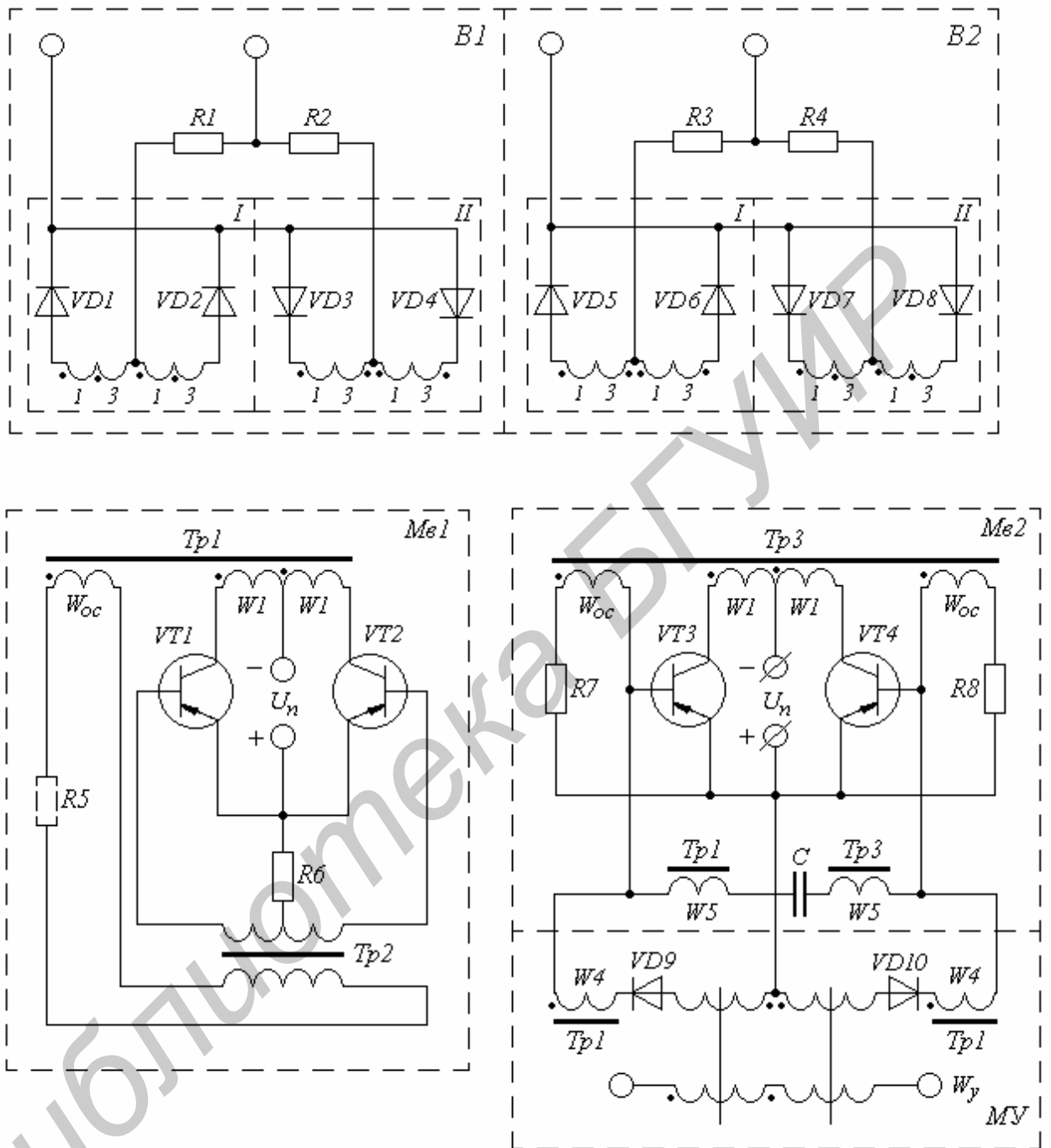


Рис 1.1. Схема широтно-импульсного модулятора

В общем случае магнитно-транзисторный мультивибратор может работать в двух режимах: с линейным (ненасыщенным) трансформатором и с насыщением трансформатора. Это зависит от величин базовых токов открытых транзисторов, определяемых выбором величин резисторов R7, R8.

Пока коллекторный ток описывается линейной частью экспоненты (рис.1.2), в базовой обмотке, согласно закону электромагнитной индукции, будет наводиться почти постоянная величина генерируемой ЭДС:

$$e_6 = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{dI}{dt} = -L \frac{dkt}{dt} = -Lk \rightarrow const.$$

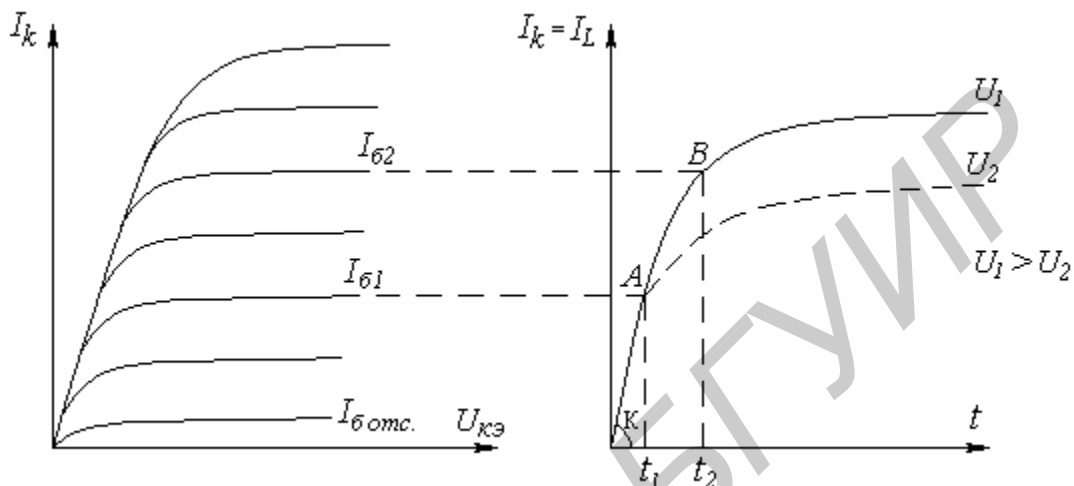


Рис.1.2. Графики переходных процессов в магнитно-транзисторном мультивибраторе

Если базовый ток открытого транзистора $I_{б1}$ выбран в области линейного изменения коллекторного тока (см. рис.1.2), то в любой момент времени $t < t_1$ открытый транзистор будет находиться в режиме насыщения и не будет оказывать какого-либо влияния на переходные процессы.

В момент времени $t = t_1$, задаваемый выбором величины тока базы, транзистор переходит из режима насыщения в активный. С этого момента в схеме начинает функционировать ПОС, способствующая закрыванию ранее открытого транзистора и открыванию закрытого, т.е. приводит к их переключению.

Кратко действие ПОС можно объяснить следующим образом. Когда транзистор войдет в активный режим, то на переходе коллектор – эмиттер будет выделяться напряжение. При этом к коллекторной обмотке приложено меньшее напряжение, что скажется на переходном процессе в этой обмотке трансформатора. И в момент $t = t_1$ переходной процесс будет описываться другой кривой с напряжением $U_2 < U_1$. Таким образом, на этом переходе уже dI/dt будет меньше первоначальной величины (скорость нарастания тока в обмотке понизится), что приведет к уменьшению генерируемой e_6 , т.е. к уменьшению базового тока. Описываемый процесс закрывания транзистора идет лавинообразно. С течением времени транзистор закроется настолько, что коллекторный ток начнет убывать, и приращение dI/dt изменит свой знак. Это приводит к изменению полярности напряжений, индуцируемых в базовых обмотках схемы. Такой процесс приведет к окончательному закрыванию ранее открытого тран-

зистора и наоборот, в базовой обмотке закрытого транзистора наведется открывающее напряжение. Уже в цепи другого транзистора действует ПОС, которая приведет почти к мгновенному открыванию VT2.

Если ток базы $I_{б2}$ выбран вне линейного изменения коллекторного тока (см. рис.1.2), то на нелинейном участке экспоненты при возрастании коллекторного тока в базовую обмотку будет генерироваться все уменьшающееся по величине (но той же полярности) напряжение e_6 , что будет приводить к убыванию базового тока. Такой медленный процесс будет длиться до момента, пока транзистор не выйдет из режима насыщения в активный. И с момента, когда транзистор войдет в активную область, в схеме возбуждается ПОС и почти мгновенно, как и в рассмотренном уже случае, приведет к переключению транзисторов.

Основной недостаток мультивибратора с насыщенным трансформатором – это более низкий КПД из-за значительных потерь в коллекторных обмотках трансформатора, меньшие значения выходных генерируемых напряжений во вторичных обмотках и уменьшение диапазона регулирования частоты генерируемых импульсов в сравнении с первым мультивибратором.

Схема ведущего мультивибратора Mв1 выполнена на транзисторах VT1 и VT2 и двух трансформаторах Tr1 и Tr2. Такой мультивибратор стандартно работает с линейным трансформатором Tr1 и кусочно-линейным Tr2. Изменяя величину резистора R5, можно корректировать постоянную времени $\tau=L/R$ в цепи первичной обмотки трансформатора Tr2, при постоянстве напряжения на выходе вторичной обмотки Tr1 – линейного трансформатора. Изменение приведет к коррекции величины генерируемой ЭДС на выходе Tr2 (в базовой обмотке любого открытого транзистора). Эта процедура позволяет изменять в некоторых пределах момент перехода транзисторов из режима насыщения в активный, т.е. регулировать частоту меандра. Габариты трансформатора Tr2 выбираются значительно меньшие, чем у Tr1, что позволяет снизить индуктивное и активное сопротивления его обмоток, получать насыщение при малых токах и, как следствие, уменьшать непроизводительные потери. При этом все необходимые выходные напряжения генерируют за счет работы линейного трансформатора Tr1. Такое схемное решение позволяет значительно ослабить основной недостаток мультивибратора с насыщенным сердечником.

Кроме обмоток W_{oc} к базам транзисторов VT3, VT4 подключены цепи синхронизации и широтно-импульсного управления, образованные дополнительными обмотками W4, W5 трансформатора Tr1, обмоткой W5 трансформатора Tr3 и рабочими обмотками магнитного усилителя МУ. Графики рис.1.3 иллюстрируют процессы синхронизации и изменения ширины импульсов в выходных цепях источников В1, В2 при увеличении управляющего тока, поступающего на обмотку управления W_y магнитного усилителя.

Ведущий мультивибратор VT1-VT2 генерирует последовательность прямоугольных импульсов (см. рис. 1.3, а). Сердечники трансформаторов Tr1 и Tr3, как правило, выполняются одинаковыми, и подбором резисторов R7 и R8 схема настроена так, что собственная частота колебаний ведомого мультивибратора несколько меньше, чем ведущего. Напряжения на обмотках W_{oc} ведомо-

го мультивибратора выбирается равным 2-3 В. Синхронизация ведомого мультивибратора осуществляется обмоткой W5 трансформатора Tr1. Напряжение на W5 имеет прямоугольную форму, в связи с чем зарядный ток конденсатора i_c представляется короткими импульсами (см. рис. 1.3, б), начало которых совпадает с фронтами импульсов ведущего мультивибратора (рис. 1.3, а). Импульсы i_c обеспечивают переключение ведомого мультивибратора одновременно с ведущим, и в этом случае фазы выходных напряжений Mв1 и Mв2 совпадают. Магнитный усилитель не оказывает влияние на процессы генерирования.

Напряжение на обмотке W5 трансформатора Tr1 целесообразно выбирать в 2,5 - 3 раза выше напряжения на обмотках W_{ос} трансформатора Tr3.

Для регулирования фазы выходного напряжения мультивибратора Mв2 использован магнитный усилитель МУ, выполненный на сердечниках из материала с прямоугольной формой петли гистерезиса и включенный в виде двух последовательных цепей с общими обмотками управления между эмиттером и базой транзисторов VT3 и VT4. Питание цепей переменного тока магнитного усилителя осуществляется обмотками W4 трансформатора Tr1. Напряжение на обмотках целесообразно брать в 1,5 - 2 раза выше, чем на обмотках W_{ос}. Диоды, включенные последовательно с рабочими обмотками магнитного усилителя, увеличивают насыщение магнитопровода, повышая коэффициент усиления МУ.

Форма тока магнитного усилителя иллюстрируется графиком рис. 1.3, в. В начальный момент времени $t = 0$ индуктивное сопротивление рабочих обмоток магнитного усилителя велико, а ток минимальный. При достижении временного момента α происходит насыщение магнитопровода МУ, ток магнитного усилителя ($i_{м\mu}$) нарастает, переключая транзисторы ведомого мультивибратора Mв2. Благодаря положительной обратной связи в мультивибраторе развивается лавинообразный процесс, ведущий к изменению состояний обоих транзисторов VT3, VT4, и выходное напряжение U_2 мультивибратора Mв2 оказывается сдвинутым к напряжению U_1 на угол $\pi - \alpha$ в сторону опережения (рис. 1.3, г). Положение временного момента α можно плавно изменять, регулируя величину тока управления обмотки W_y магнитного усилителя. Увеличение этого тока в большей степени намагничивает магнитопровод МУ, следовательно, меньшее время требуется для насыщения со стороны питающих обмоток W4 трансформатора Tr1, момент времени α смещается влево вдоль горизонтальной оси графика (см. рис. 1.3, в) в направлении опережения.

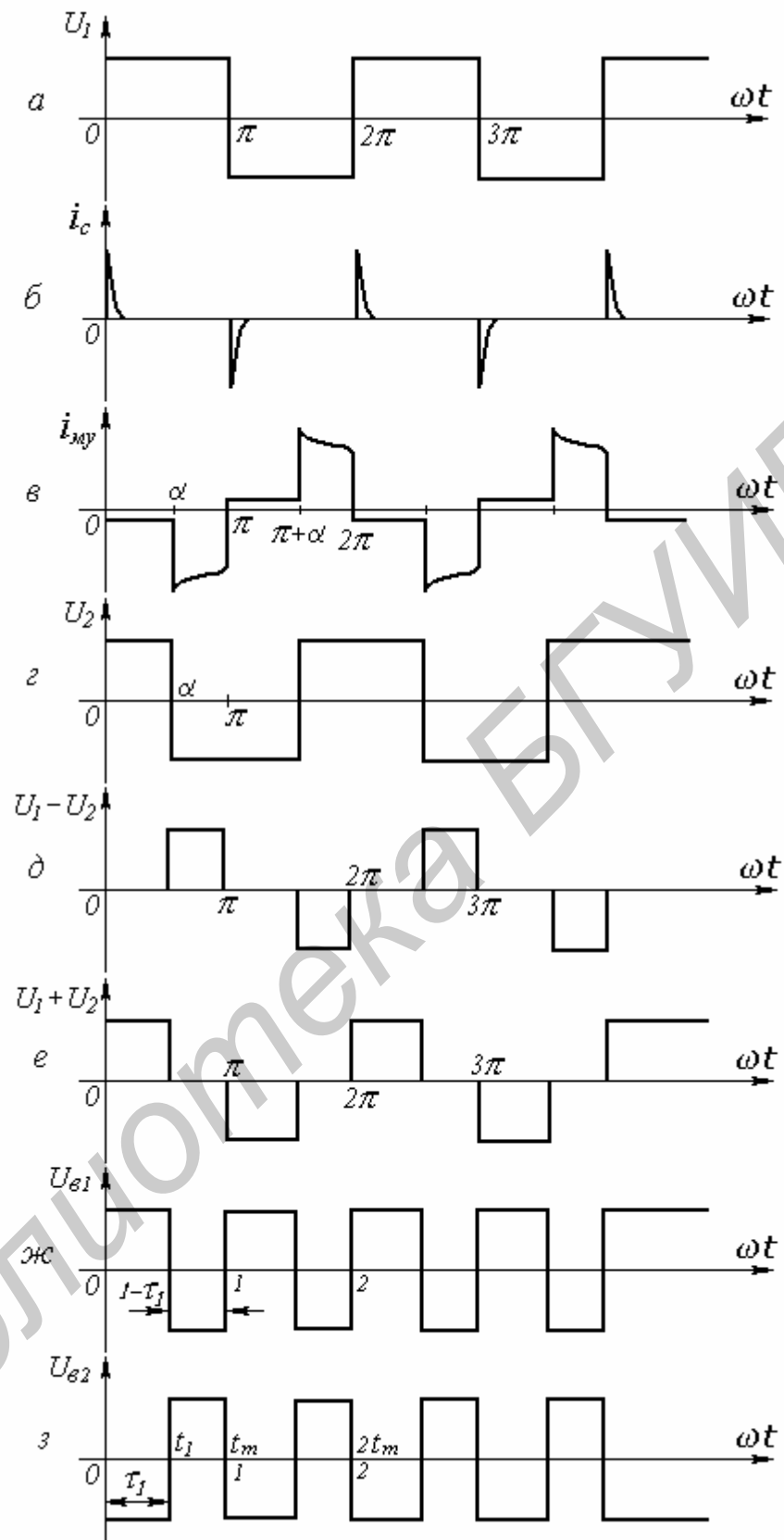


Рис. 1.3. Графики напряжения на элементах схемы импульсного модулятора

При насыщении сердечников магнитного усилителя запирающий импульс подается не только на базу ранее включенного транзистора, например VT3. Легко проследить, что в этот момент повышается также напряжение в цепи импульсной синхронизации, которая замыкается через конденсатор С на базу закрытого транзистора (в данном случае VT4). Это может помешать включению транзистора под действием обмотки обратной связи W_{oc} . Для устранения указанного эффекта в цепь импульсной синхронизации вводится также обмотка W5 трансформатора Tr3. В момент запирающего одного из транзисторов MB2 под действием сигнала синхронизации (импульсной или с помощью магнитного усилителя) напряжение на обмотке W5 трансформатора Tr3 падает до нуля. В результате уменьшается сумма ЭДС в цепи конденсатора С, и его разрядный ток способствует включению ранее закрытого транзистора. Очевидно, что напряжение на обмотке W5 трансформатора Tr3 должно быть несколько выше напряжения на обмотке W5 трансформатора Tr1.

Источники напряжения, управляющие мощными транзисторами в якорной цепи двигателя В1 или В2, выполняются в виде двух соединенных встречно выпрямителей, питаемых со стороны переменного тока соответственно суммой и разностью прямоугольных напряжений со вторичных обмоток трансформаторов Tr1 и Tr3 (рис. 1.3, д,е). Обмотки, обозначенные цифрой 1 (см. рис. 1.1), принадлежат трансформатору Tr1, а цифрой 3 – трансформатору Tr3. В цепи выпрямителя I эти обмотки включены последовательно, в цепи выпрямителя II – встречно (см. обозначения начальных выводов обмоток, помеченные точками). Поскольку коэффициенты трансформации трансформаторов Tr1 и Tr3 от первичных обмоток ко вторичным строго равны, напряжение на выходе последовательно соединенных обмоток 1 и 3 удваивается при совпадении полярности напряжений на обмотках и равно нулю, если полярности строго противоположны. После выпрямления диодами VD1 – VD8 и суммирования на встречно соединенных сопротивлениях выходные напряжения В1 или В2 имеют форму прямоугольных импульсов противоположной полярности, длительность которых определяется углом насыщения сердечников магнитного усилителя и может регулироваться в широких пределах изменением тока в его обмотке управления (рис. 1.3, ж,з). Если эти напряжения подключить к базовым переходам силовых транзисторов, то регулируется длительность соответственно их открытого и закрытого состояний, следовательно, может изменяться среднее значение протекающего тока, управляющего силовой нагрузкой (двигателем).

1.2. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема широтно-импульсного управления двигателем постоянного тока изображена на рис.1.4. Ведущий мультивибратор выполнен на транзисторах VT3,VT4. Время переманивания трансформатора Tr2 выбрано меньшим по сравнению со временем переманивания Tr1, поэтому к моменту переключения магнитопровод трансформатора Tr1 не успевает войти в режим насыщения, работает как линейный трансформатор и броски тока че-

рез транзисторы VT3,VT4 отсутствуют. Резистором R3 производится регулировка частоты генерации.

Резистор R4 необходим для задания базовых токов, а резистор R5 улучшает условия запуска мультивибратора, особенно при минимальной температуре. Величина резистора R5 выбирается такой, чтобы через базовые переходы транзисторов VT3,VT4 протекал небольшой смещающий ток, предотвращающий так называемое "засыпание" ведущего мультивибратора. При малых коллекторных токах (особенно при низких температурах) коэффициент усиления транзистора мал и в схеме может не работать ПОС, обеспечивающая первоначальное открывание одного из транзисторов и закрывание другого. Тумблером П1 производятся включение и отключение цепи обратной связи ведущего мультивибратора.

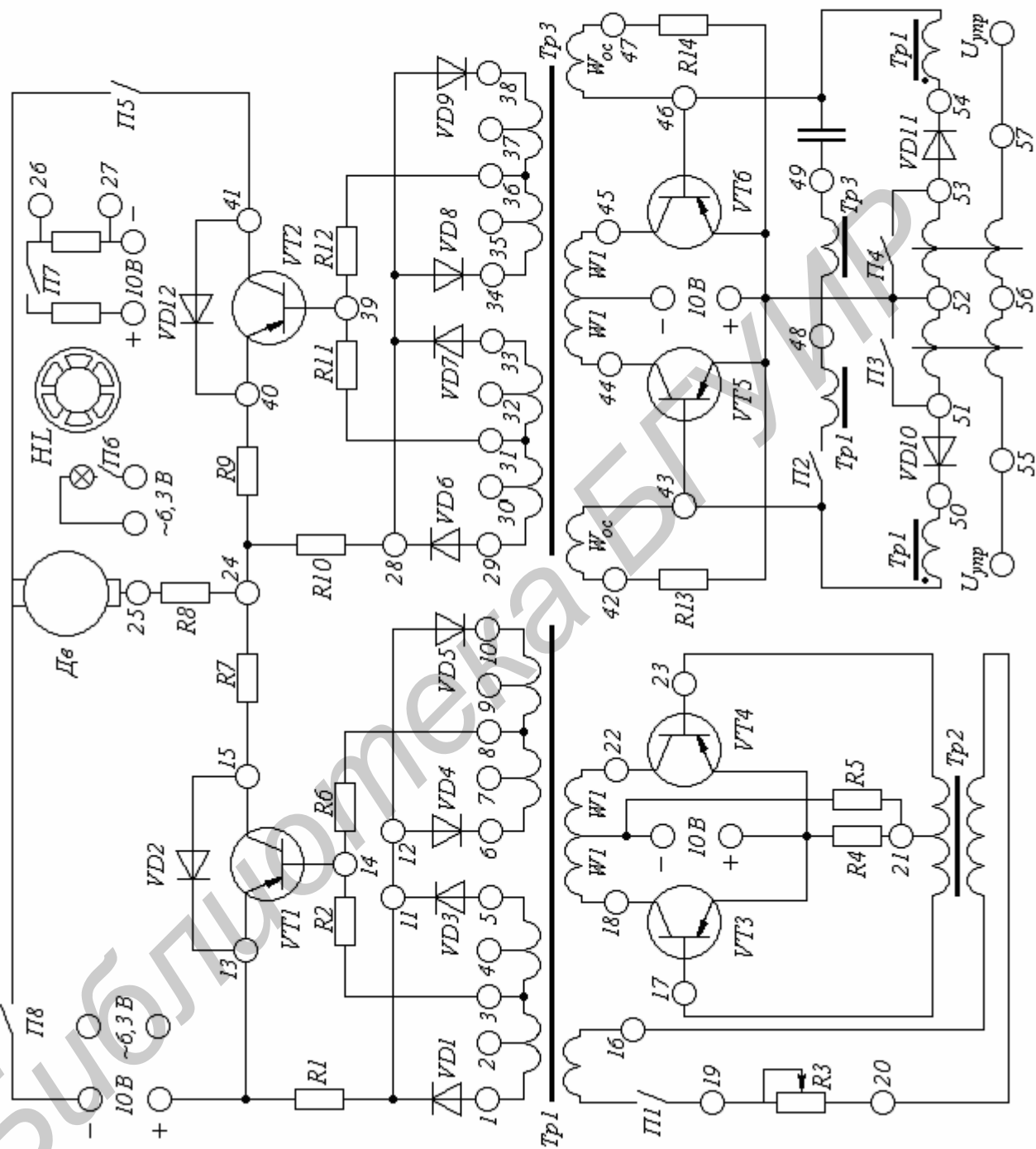
Ведомый мультивибратор на транзисторах VT5,VT6 аналогичен описанному в разделе "Общие сведения". Тумблер П2 необходим для включения и выключения обмотки синхронизации Tr1. При выключении этой обмотки ведомый мультивибратор продолжает генерировать, но на собственной частоте, которая несколько меньше по сравнению с частотой ведущего мультивибратора. Включением П2 ведомый мультивибратор вводится в режим синхронизации с ведущим мультивибратором.

Тумблеры П3, П4 введены для имитации режима насыщения магнитного усилителя. Включенные тумблеры замыкают обмотки магнитного усилителя, что подобно протеканию большого управляющего тока через обмотку управления. При включении тумблеров П3, П4 фаза выходного напряжения ведомого мультивибратора изменяется скачком (см. рис. 1.3), вследствие чего происходит скачок ширины импульса на базовых переходах управляемых силовых транзисторов VT1,VT2.

Резисторы R2, R6, R11, R12 задают величины суммируемых токов выходных выпрямителей. Резисторы R1, R7, R8, R9, R10 выполнены малоомными (десятые доли ома). Они введены для наблюдения форм токов в соответствующих цепях.

Электродвигатель Дв включен по схеме широтно-импульсного управления. При постоянной тактовой частоте ведущего МВ1 изменяется длительность открытого состояния силового транзистора VT1, а следовательно, среднее значение тока якоря и скорость вращения вала двигателя.

Импульсное управление является наиболее экономичным – коэффициент полезного действия может быть более 90% для относительно мощных двигателей. Некоторым недостатком можно считать неравномерность скорости вращения, которая отмечается из-за включения и выключения транзистора VT1. Для уменьшения пульсаций, а также рекуперации энергии введены диоды VD2, VD12 и транзистор VT2. В момент выключения транзистора VT1 за счет ЭДС самоиндукции в цепи якоря поддерживается ток прежнего направления, замы-



- + 10 В
- Встр.
- ТТ1
- Встр.
- ТТ2
- Встр.
- ТТ3
- Встр.
- ТТ4
- Встр.
- ТТ5
- Встр.
- ТТ6
- Встр.
- ТТ7
- Встр.
- "сема"
- ТТ7
- Встр.
- ТТ6
- Встр.
- ТТ5
- Встр.
- ТТ4
- Встр.
- ТТ3
- Встр.
- ТТ2
- Встр.
- ТТ1
- Встр.
- 10 В
- -

Рис. 1.4. Передняя панель

кающийся через диод VD12. Вследствие этого создается так называемый режим непрерывного тока в цепи якоря. Однако ток якоря может изменить свое направление, например, в случае увеличения числа оборотов, когда противоЭДС якоря двигателя превысит напряжение питания (Дв работает в качестве генера-

тора). В этом случае ток якоря замыкается через открытый транзистор VT2, происходит накопление энергии в индуктивности якоря. В момент выключения VT2 и включения VT1 эта энергия возвращается импульсом в источник питания через диод VD2. Таким образом, диоды VD2, VD12 защищают транзисторы VT1, VT2 от инверсного режима работы транзисторов при регенерации энергии и обеспечивают при этом режим непрерывного тока в якоре электродвигателя постоянного тока.

Инверсный режим работы транзисторов опасен при работе с большими токами, когда на р-п-переходах происходят большие потери мощности, способствующие их нагреву. При этом режиме коллектор и эмиттер транзистора электрически меняются местами и уже технологический эмиттер должен обеспечивать основной теплоотвод. Но конструктивное изготовление мощных транзисторов не позволяет ему выполнять новую задачу. В результате этого при некоторой мощности, выделяемой на транзисторе (значительно меньшей приводимых в справочных данных), может наступить тепловой пробой полупроводниковых переходов, что приводит к выходу из строя транзистора.

На валу двигателя (Дв) закреплен диск с шестью отверстиями, против которых расположены лампочка и фоторезистор. При вращении диска происходит периодическое засвечивание поверхности фоторезистора, сопротивление его изменяется, модулируя ток в цепи дополнительного сопротивления, подключаемого к точкам 26–27. Напряжение, снимаемое с точек 26–27, подключается к осциллографу для визуального наблюдения. Скорость вращения якоря двигателя рассчитывают согласно следующей формуле:

$$n = \frac{60}{6T} = 10f,$$

где n – обороты в 1 мин;

f – частота следования импульсов, Гц.

Тумблерами П6 и П7 можно коммутировать цепи измерения скорости вращения.

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Исследовать ведущий магнитно-транзисторный мультивибратор. Для этого отключить тумблеры П1–П7, а также тумблер в цепи двигателя П8. Отключенному состоянию этого тумблера соответствует левое положение переключающей ручки.

Включить вилку питания макета в сетевую розетку и тумблер "Сеть". Подключив электронный вольтметр к зажимам ± 10 В ведущего мультивибратора, убедиться в наличии напряжения питания, измерить его. Подключив осциллограф к зажимам 18–22, убедиться в отсутствии генерации ведущего мультивибратора. Измерить напряжение питания ведомого мультивибратора на зажимах ± 10 В. Убедиться в наличии генерации ведомого мультивибратора, под-

ключив осциллограф к зажимам 44 – 45. Измерить частоту генерации, зарисовать форму импульсов.

Установить наименьшую величину сопротивления R_3 , подключив омметр к точкам 19–20. Отключить омметр и включить тумблер П1. Убедиться в наличии генерации, подключив осциллограф к зажимам 18–22. Зарисовать осциллограмму импульсов. Измерить частоту генерации. Подключить осциллограф к зажимам 44–45 ведомого мультивибратора, сравнить частоты генерации и формы импульсов. Объяснить различие форм и частот.

Подключить осциллограф к зажимам 18–22 ведущего мультивибратора. Увеличивая величину сопротивления R_3 , снять зависимость частоты генерации ведущего мультивибратора. Всего должно быть 8-10 точек зависимостей "частота-сопротивление". Частоту импульсов увеличивать до тех пор, пока сохраняется их относительная прямоугольность.

Величину сопротивления R_3 измерять омметром при отключенном тумблере П1. Зарисовать промежуточные формы генерируемых импульсов на зажимах 16-19, 16-20, 18-22, 19-20, 21-18, 21-22 и объяснить их. При наибольшей частоте генерации ведущего мультивибратора подключиться зажимами осциллографа к точкам 44-45 ведомого мультивибратора, убедиться в неизменности генерируемой им частоты.

2. Изучить ведомый магнитно-транзисторный мультивибратор в режиме синхронизации с ведущим мультивибратором. Для этого потенциометр R_3 поставить в положение наименьшего сопротивления, включить тумблеры П1 и П2. Сравнивая осциллограммы напряжений на зажимах 18–22 и 44–45, убедиться в равенстве генерируемых частот. По методике п.1 снять зависимость частоты генерации ведомого мультивибратора от величины сопротивления R_3 . Ведомый мультивибратор отслеживает частоту ведущего при изменении R_3 только до определенного предела, затем наступает срыв синхронизации, частота ведущего мультивибратора продолжает нарастать, его импульсы сильно искажаются, а частота ведомого мультивибратора возвращается в исходное состояние, импульсы ведомого мультивибратора вновь становятся относительно прямоугольными. Зарисовать формы импульсов на зажимах 44–45 при произвольной частоте. Установить наименьшую частоту генерации, зарисовать форму осциллограмм на зажимах 44–45, 44–52, 45–52, 42–43, 43–48, 48–49, 46–49, 43–50, 50–51, 51–52, 1–2, 1–3, 8–10, 6–8, объяснить их.

3. Исследовать схему в режиме широтно-импульсного управления скоростью вращения. Для этого установить наименьшее сопротивление резистора R_3 , включить тумблеры П1, П2, П5, П6, П7, П8. К зажимам 55–57 обмотки управления магнитного усилителя подключить источник питания постоянного тока с напряжением, не выше 24 В по схеме рис.1.5. Реостат для схемы выбрать с $R=500–800$ Ом. Амперметр должен иметь предел измерения 50 мА. Установить наименьший ток в цепи обмотки управления. Осциллограф подключить к зажимам 13–14 силового транзистора VT1, зарисовать осциллограмму напряжения. Переключить осциллограф к зажимам 39–40 силового транзистора VT2, также зарисовать осциллограмму напряжения на базовом переходе. Включить тумблеры П3, П4, имитирующие насыщение магнитного усилителя, вновь за-

рисовать изменившуюся форму осциллограммы на зажимах 39–40, объяснить изменение формы. Отметить нарастание скорости вращения вала двигателя, измерить ее. Подключить осциллограф к зажимам 13–14 транзистора VT1, зарисовать новую форму осциллограммы, соответствующую замкнутому положению тумблеров П3, П4.

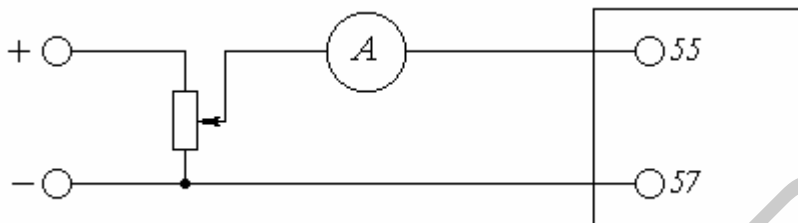


Рис. 1.5. Схема включения обмотки управления магнитного усилителя

Выключить тумблеры П3, П4. Постепенно увеличивая реостатом ток управления, снять зависимость между шириной открывающего импульса (зажимы 13–14) и током управления. Повторить опыт, сняв зависимость между скоростью вращения и током управления. Всего должно быть измерено 8-10 точек в полном диапазоне изменения тока управления. Зависимость $n=f(I)$ снять при двух положениях тумблера П5 (включенном и выключенном). Необходимо помнить, что на диске размещено шесть отверстий и за один оборот диска световой поток шесть раз освещает фоторезистор. Зарисовать форму пульсаций напряжений на фоторезисторе, объяснить причины изменения амплитуды этих пульсаций при изменении скорости вращения. Установив среднее значение скорости вращения, зарисовать осциллограммы напряжений на резисторах R1, R2, R3, R7, R8, R9, R10, R11, R12, объяснить их формы.

1.4. Содержание отчета

1. Принципиальная схема, изображенная на передней панели, схема измерения.
2. Осциллограммы напряжений, перечисленные в разделе “Порядок выполнения работы”.
3. Таблицы и графики экспериментальных зависимостей, итоги их сопоставления.
4. Выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Принцип работы ведущего мультивибратора.
2. Принцип работы ведомого мультивибратора.
3. Форма осциллограмм на базовых переходах транзисторов VT1, VT2.
4. В чем сущность режима непрерывного тока и каким образом реализуется этот режим в схеме?
5. Как действует схема индикации скорости вращения?

6. Объяснить принцип действия схем суммирования напряжений в выходных цепях мультивибраторов.
7. Почему при увеличении R_3 возрастает частота генерации ведущего мультивибратора?
8. Каково соотношение между скоростями перемагничивания трансформаторов Tr_1 и Tr_2 ?
9. Почему начальная частота генерации ведомого мультивибратора меньше частоты ведущего?
10. Как действует схема синхронизации?
11. Для чего применены диоды в магнитном усилителе?
12. Каково назначение смещающего резистора R_5 в схеме ведущего мультивибратора?
13. Для чего применены диоды VD_2 , VD_{12} , подключенные параллельно силовым транзисторам VT_1 , VT_2 ?

Литература

1. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов/ Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия–Телеком, 1999. – 768 с.
2. Косов О.А. Усилители мощности на транзисторах в режиме переключений. – М.: Энергия, 1971.
3. Решетиллов А.Р. Лабораторный практикум по курсу “Электронные устройства автоматики и импульсная техника” для студентов специальности 0606 “Автоматика и телемеханика”. Ч. 3. – Мн.: МРТИ, 1981.-51 с.

ТРИГГЕРЫ

2.1. Общие сведения

Цель работы – изучить триггеры на дискретных элементах.

Триггер – это электронное устройство, которое обладает двумя длительно устойчивыми состояниями равновесия и способностью скачком переключаться из одного состояния равновесия в другое под воздействием внешнего сигнала. Процесс перехода триггера из одного состояния в другое называется переключением, опрокидыванием, сбрасыванием или спуском. Поэтому триггеры называют спусковыми устройствами (английское слово trigger означает спусковой крючок огнестрельного оружия).

Для изготовления триггеров могут быть использованы приборы, вольт-амперные характеристики которых содержат участки отрицательной крутизны (туннельные диоды, тиристоры, двухбазовые диоды и др.). Однако наиболее широкое применение получили триггеры, построенные на базе ключей в дискретном или интегральном исполнении.

Все схемы, которые относят к классу триггеров, должны обладать рядом специфических требований. Наиболее важными из них являются наличие:

- а) в структуре положительной обратной связи (ПОС);
- б) гистерезиса, когда устройство срабатывает от различных (по величине или знаку) значений входного сигнала.

Схемы триггеров позволяют осуществлять подачу управляющих сигналов одной полярности и одной величины, но в этом случае цепи запуска должны обеспечивать поочередное их поступление на базу одного и другого транзисторов.

На рис. 2.1 изображена наиболее распространенная схема триггера на дискретных элементах – двух активных элементах–транзисторах VT1 и VT2 с добавлением пассивных элементов типа резисторов, диодов, конденсаторов. Триггер образован соединением выхода одного резисторно-транзисторного ключа со входом другого и выхода последнего со входом первого. Нетрудно видеть, что эту же схему можно представить двухкаскадным резисторным усилителем, замкнутым в петлю положительной обратной связи. Триггер характеризуется статическим состоянием и процессом опрокидывания.

В статическом состоянии один из транзисторов закрыт, а второй открыт, причем это состояние может сохраняться сколь угодно долгое время. Например, если транзистор VT1 закрыт, на его коллекторном электроде выделяется практически полное напряжение питания. Это напряжение через резистор R_6 создает базовый ток у транзистора VT2, открывая его. При этом коллекторный электрод VT2 почти накоротко соединен с землей, следовательно, в цепи базо-

вого резистора $R_{\beta 1}$ и базы VT1 тока нет, что соответствует его исходному закрытому состоянию. Для повышения устойчивости статического состояния на базы транзисторов VT1 и VT2 через резисторы R1, R2 подается напряжение $+E_6$, которое создает на базе закрытого транзистора VT1 дополнительное закрывающее смещение. Таким образом, дополнительное смещение $+E_6$ удерживает транзистор VT1 в закрытом состоянии, предохраняя триггер от ложных срабатываний при воздействии случайных помех. Это напряжение также создает обратный ток в цепи базы транзистора VT2, но величина этого тока выбирается в несколько раз меньше по сравнению с прямым током через $R_{\beta 2}$ на коллекторный электрод транзистора VT1.

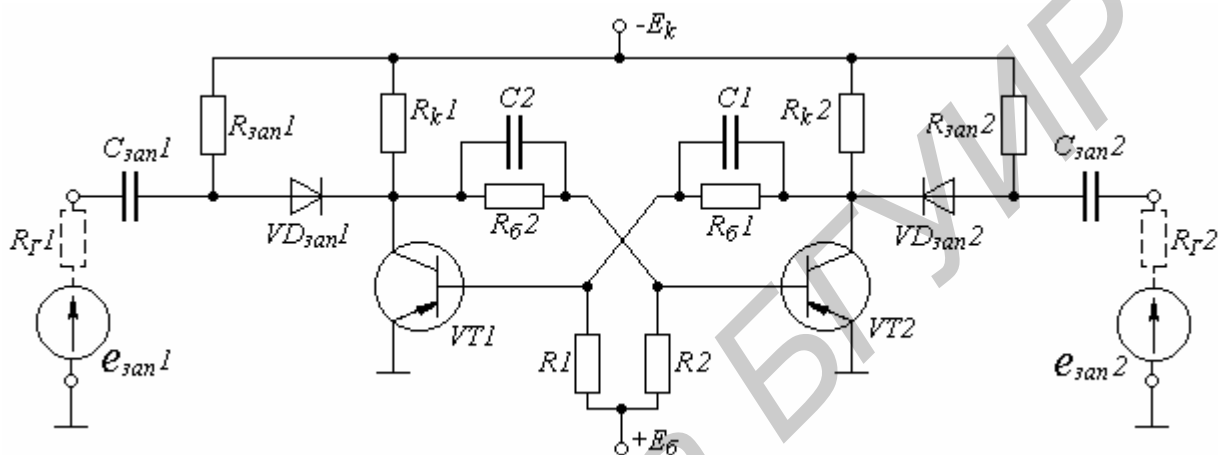


Рис. 2.1. Схема симметричного триггера с отдельным запуском по коллекторам

Рассмотрим процесс опрокидывания. Если подать на базу открытого транзистора VT2 положительный закрывающий импульс, то начиная с момента подачи переднего фронта импульса в цепи триггера происходят процессы, приводящие к закрытию открытого транзистора и опрокидыванию закрытого.

Этап рассасывания. Состоит в том, что с момента поступления переднего фронта положительного напряжения на базу насыщенного транзистора начинается рассасывание неосновных носителей, причем этот процесс происходит с постоянной времени $\tau_{нас}$, следовательно, на этапе рассасывания затрачивается время t_p . Если открытый транзистор не был насыщен, то этап рассасывания отсутствует.

Этап подготовки. После окончания этапа рассасывания начинается процесс закрывания ранее открытого транзистора, напряжение на его коллекторном электроде начинает приближаться к напряжению питания. Этап подготовки продолжается до тех пор, пока это напряжение через базовый резистор не создаст открывающий ток, противоположный току от источника E_6 и превышающий по величине ток отсечки транзистора. На этапе подготовки затрачивается время подготовки t_n .

Этап регенерации. На этом этапе закрытый транзистор входит в режим активной области. Но в это время и второй закрывающийся транзистор также

находится в режиме активной области. У закрываемого транзистора напряжение стремится к напряжению питания, а у открываемого - к нулю. В активной области оба транзистора имеют большие коэффициенты усиления, и так как в схеме имеется общая положительная обратная связь через конденсаторы, то процесс закрывания ранее открытого транзистора многократно усиливается. Время, в течение которого оба транзистора находятся в активной области, называется временем регенерации $t_{рег}$. В течение этого времени напряжение на коллекторе закрываемого транзистора стремится к напряжению питания, а напряжение на коллекторе открываемого – к нулю, оба транзистора проходят активную область.

Этап установления состояния равновесия. Этот этап начинается, когда один из транзисторов выйдет из активной области (или один транзистор – в режим отсечки или другой – в режим насыщения). Происходят заряд и разряд базовых конденсаторов. Время, в течение которого напряжение на этих коллекторных переходах достигает полного установившегося значения, называется временем установления t_y . Таким образом, общее время опрокидывания складывается из отдельных составляющих $t_{опр} = t_p + t_n + t_{рег} + t_{уст}$. Это общее время очень мало и определяет быстрдействие триггера. Обычно на графиках, иллюстрирующих работу триггера, $t_{опр}$ принимают равным нулю, изображая процесс переключения в виде вертикального нарастающего или убывающего перепада.

2.1.1. Способы запуска триггеров

В общем случае в зависимости от места подключения источников запускающих импульсов, от мощности источников, от режимов работы транзисторов некоторые этапы в реальных схемах триггеров могут отсутствовать. Например, если транзисторы будут работать на границе активной зоны, то будет отсутствовать этап рассасывания неосновных носителей из их баз. Возможны и другие ситуации.

Во всех случаях для нормальной работы схемы цепи запуска должны обязательно обеспечивать воздействие импульсов на первых двух этапах: рассасывания и подготовки. Максимальная продолжительность воздействия ограничивается моментом перехода схемы из квазиустойчивого состояния равновесия в устойчивое. В общем случае цепь запуска должна:

1. Обеспечить по возможности полную развязку триггера и генератора запускающих импульсов по постоянному току (гальваническую развязку) и по переменной составляющей. Развязка по постоянному току нужна для того, чтобы цепь запуска не влияла на статические уровни напряжений и токов в триггере, не нарушала условий отсечки и насыщения транзисторов. Развязка по переменной составляющей напряжений и токов необходима для того, чтобы цепь запуска не создавала дополнительной нагрузки на триггер во время формирования скачков напряжения при переключении, не нарушала условия лавинных процессов переключения.

2. Минимизировать потери энергии запускающего импульса в цепи запуска.

3. Исключить ложные срабатывания схемы за счёт искажения формы запускающего импульса при передаче через эту цепь.

4. Быть простой в реализации; число используемых элементов должно быть по возможности малым.

По способу выполнения цепи запуска могут быть емкостными, транзисторными, диодно-емкостными. Диодно-емкостные цепи запуска, изображенные на рис. 2.1 – 2.4, являются компромиссными с точки зрения качества развязки и сложности. Емкость $C_{\text{зап}}$ обеспечивает развязку триггера с генератором запускающих импульсов по постоянному току. Диод $VD_{\text{зап}}$ осуществляет развязку по переменной составляющей, так как при длительных импульсах запуска на выходе конденсатора $C_{\text{зап}}$ будут образовываться короткие импульсы различной полярности (выходные импульсы дифференцирующей цепи). Один из импульсов может осуществлять необходимое переключение триггера, другой – ложное, когда схема будет находиться в состоянии устойчивого равновесия. Резистор $R_{\text{зап}}$ обеспечивает в основном полный разряд емкости $C_{\text{зап}}$, так как за время запуска последняя зарядится от источника запускающих импульсов, и без её разрядки последующий запуск будет игнорироваться. Следует отметить и другую дополнительную специфическую функцию $R_{\text{зап}}$ в цепи коллекторного запуска. В исходном состоянии транзистор $VT1$ заперт. На его коллекторе устанавливается напряжение, близкое к E_k . Величина E_k через резистор $R_{\text{зап}1}$ будет подаваться и на анод диода $VD_{\text{зап}1}$. Таким образом, этот диод будет находиться в нейтральном состоянии. Запускающий импульс, амплитуда которого превысит напряжение открывания диода, через емкость $C_{\text{зап}1}$ поступает на коллектор $VT1$. В дальнейшем этот положительный перепад напряжения через емкость $C2$ передается на базу $VT2$, вызывает выход последнего из режима насыщения и опрокидывание схемы в другое состояние.

После насыщения $VT1$ напряжение на его коллекторе уменьшится почти до нуля и диод $VD_{\text{зап}1}$ в режиме равновесия будет заперт практически всем напряжением питания, обеспечивая отключение генератора запуска, если амплитуда запускающих импульсов меньше величины E_k . И все остальные импульсы в этом режиме работы схемы будут отсекаются диодом. Запуск схемы триггера можно осуществить как открывающими для рассматриваемой схемы отрицательными импульсами, так и закрывающими импульсами (положительными). Схема запуска положительными импульсами, закрывающими насыщенный транзистор, имеет некоторые преимущества:

1. Меньшая энергия запускающих импульсов, так как после выхода насыщенного транзистора в отсечку генератор запуска будет работать на большее входное сопротивление транзистора. В противном случае генератор запуска работает на протяжении всего запускающего импульса и особенно большой расход энергии будет тогда, когда соответствующий транзистор откроется.

2. Уменьшение этапа рассасывания, так как этот процесс производится с помощью внешнего генератора. При другом способе запуска рассасывание неосновных носителей осуществляется за счет работы цепи положительной обратной связи.

На рис.2.2 изображена схема симметричного триггера ($R_{k1} \approx R_{k2}$, $C1 \approx C2$, $R_{\beta 1} \approx R_{\beta 2}$, $R1 \approx R2$), у которого осуществляется отдельный запуск по базам.

Тактовые управляющие импульсы положительной полярности поступают поочередно через отдельные цепи запуска на базы транзисторов VT1 или VT2. На коллекторах будут или большие по абсолютной величине напряжения (обычно принимается за логическую "1"), или малое напряжение при открытом транзисторе (уровень логического "0"). Такие триггеры принято называть потенциальными или статическими.

Входы симметричного триггера можно принять за стандартные входы R и S (S от английского Set - включение, установка единицы; R от Reset - сброс, установка нуля), а коллекторы транзисторов - соответственно за выходы Q и \bar{Q} . Таким образом, симметричный триггер с отдельным запуском (по базам или коллекторам) - это обычный RS триггер. И он будет срабатывать (переключаться) от каждого входного сигнала только тогда, когда они поступают на входы R и S, чередуясь во времени.

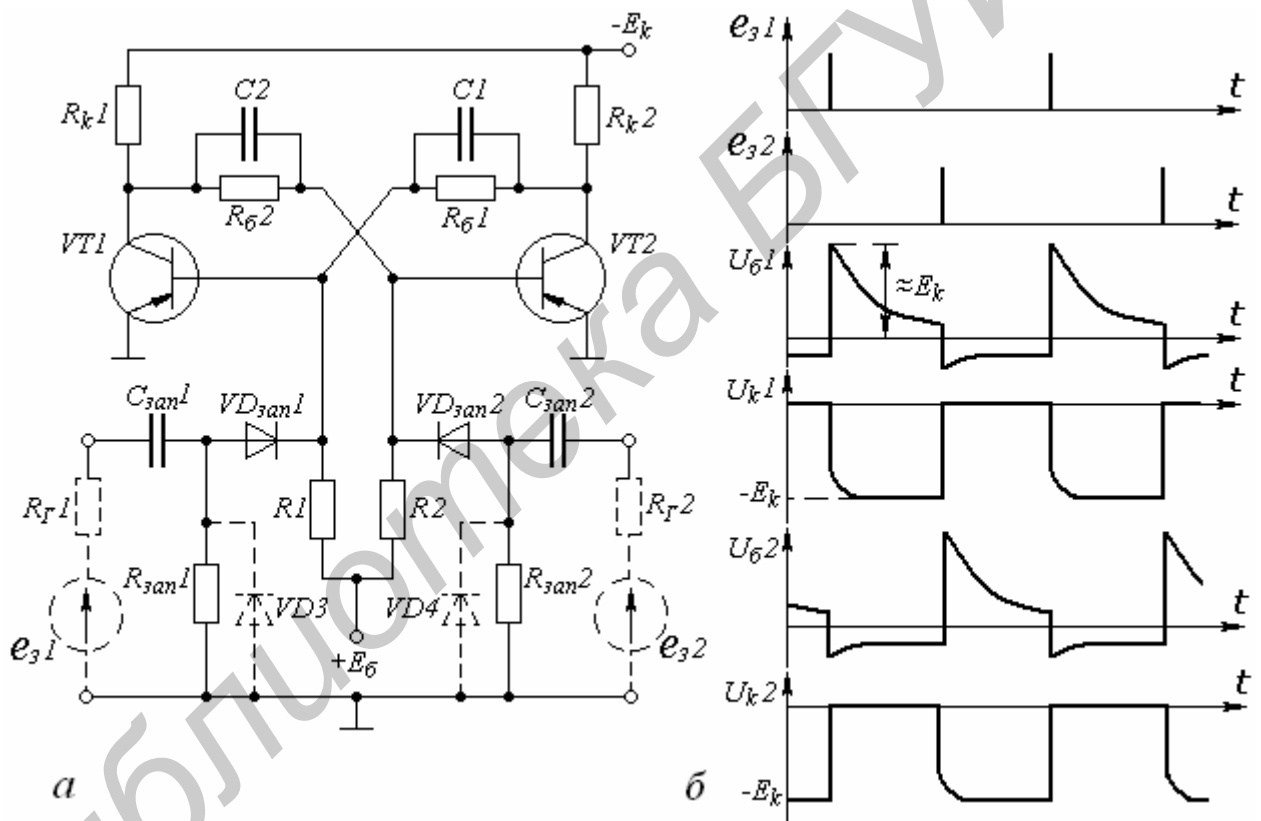


Рис. 2.2. Триггер с коллекторно-базовыми связями и отдельным запуском по базовым входам:
 а - схема; б - графики

Диоды VD3an1 и VD3an2 принято называть отсекающими. Они закрываются (отсекают, не пропускают), когда напряжение на базе закрываемого транзистора за счет дифференцирования фронтов импульсов запуска (процесс разрядки конденсаторов C3an1 или C3an2) становится отрицательным. В результате создается опасность двойного переключения (открывания уже закрытого транзистора) от одного входного импульса. Отсекающие диоды устраняют эту опасность.

Именно через резисторы $R_{зап1}$ и $R_{зап2}$ происходит разряд конденсаторов $C_{зап1}$ или $C_{зап2}$ в промежутках отсутствия управляющих импульсов. В быстродействующих схемах вместо резисторов $R_{зап1}$ и $R_{зап2}$ используют диоды VD3 и VD4. Сопротивления открытых диодов обычно значительно меньше соответствующих резисторов, что уменьшает время разряда конденсатора. Кроме того, при запуске триггера схема меньше нагружает генератор входных импульсов, так как эти диоды будут закрыты.

Конденсаторы C1 или C2 применяются для ускорения (форсировки) процесса переключения транзисторов. Основная цель их применения - это беспрепятственно (не через резистор, напрямую) передавать скачки напряжения с коллектора одного транзистора на базу другого. Этим увеличивается эффект работы (быстродействие) ПОС. Емкость форсирующих конденсаторов обычно невелика. Оптимальным принимается значение

$$C_{opt} \approx \frac{0,3 - 0,5}{f_a R_k},$$

где C_{opt} - в фарадах,

f_a - верхняя граничная частота транзисторов, Гц,

R_k - в омах.

Если величина емкостей завышена, то эффект ускорения переключения возрастает мало, но зато значительно увеличивается время их перезарядки, т.е. увеличивается время установления. В результате получается эффект, противоположный ожидаемому, — быстродействие триггера уменьшится.

На рис.2.3 изображена схема счетного запуска триггера по коллекторным цепям (схема Т-триггера). Для данного способа запуска управляющие сигналы поступают на один общий вход, и триггер срабатывает от каждого импульса. При этом сама цепь запуска должна обеспечить распределение управляющих воздействий то на один, то на другой транзисторы схемы. В результате такой работы на выходе генерируются импульсы, частота которых в два раза меньше входных.

Рассмотрим более подробно схемные решения цепей счетного запуска. На рис. 2.3 приведена схема счетного запуска положительными закрывающими импульсами по коллекторам транзисторов.

Предположим, что транзистор VT1 заперт, а транзистор VT2 насыщен. Тогда отсекающий диод VD_{зап2} закрыт, так как на его анод через резистор $R_{зап}$ подается отрицательное напряжение питания, а на катод через открытый переход коллектор-эмиттер транзистора VT2 подается положительный потенциал

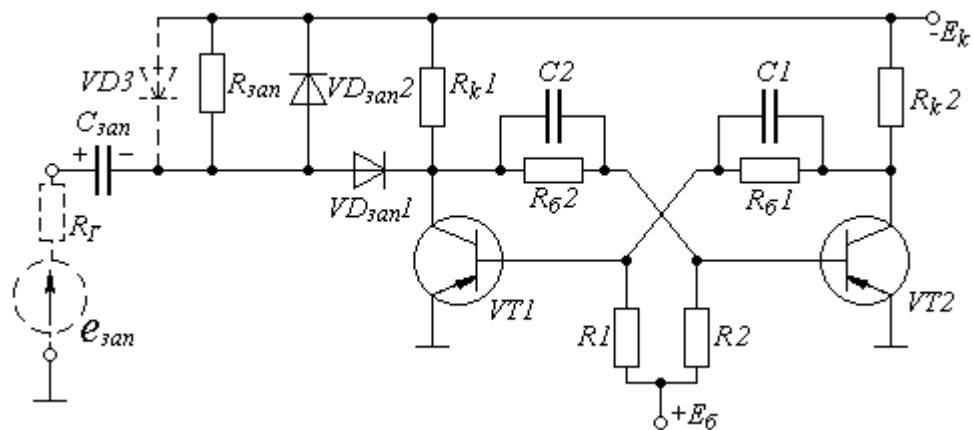


Рис. 2.3. Схема триггера с коллекторно-базовыми связями и счётным запуском по коллекторным входам

источника питания (точка «земля»). Другой диод VD_{3an1} будет почти (если исключить токи утечки транзисторов) в нейтральном состоянии (к аноду и катоду приложен потенциал, близкий к отрицательному потенциалу источника питания).

Запускающие импульсы положительной полярности при амплитуде меньше абсолютной величины напряжения питания не проходят через закрытый диод VD_{3an2} . Но через диод VD_{3an1} и ускоряющую емкость $C2$ импульс поступит только на базу открытого транзистора $VT2$, выведет его из режима насыщения и создадутся условия для лавинообразного переключения транзисторов триггера. Следующий запускающий импульс через нейтральный диод VD_{3an2} поступит на открытый в этой ситуации транзистор $VT1$.

Цепь счетного запуска по базам транзисторов показана на рис. 2.4. Работа этой цепи имеет существенное отличие от запуска по коллекторам. Так, уровни напряжения на базах как закрытого так и открытого транзисторов близки к нулю и явно недостаточны для управления состоянием отсекающих диодов VD_{3an1} и VD_{3an2} . Поэтому положительный запускающий импульс откроет оба диода и поступит как на базу $VT1$, так и базу $VT2$. И оба транзистора во время действия входного сигнала оказываются запертыми. Таким образом состояние триггера до запускающего импульса запоминается только за счет инерционности перезаряда форсирующих емкостей. Исходные напряжения на этих элементах триггера различны: напряжение на обкладках емкости, подключенной к коллектору закрытого транзистора, близко к напряжению источника питания; напряжение конденсатора, подключенного к коллектору другого транзистора, близко к нулю. И чтобы напряжение на каждом конденсаторе за время действия импульса существенно не изменялось, необходимо увеличивать постоянную времени этих цепей перезаряда τ .

Известно, что

$$\tau = C1R_{k2}.$$

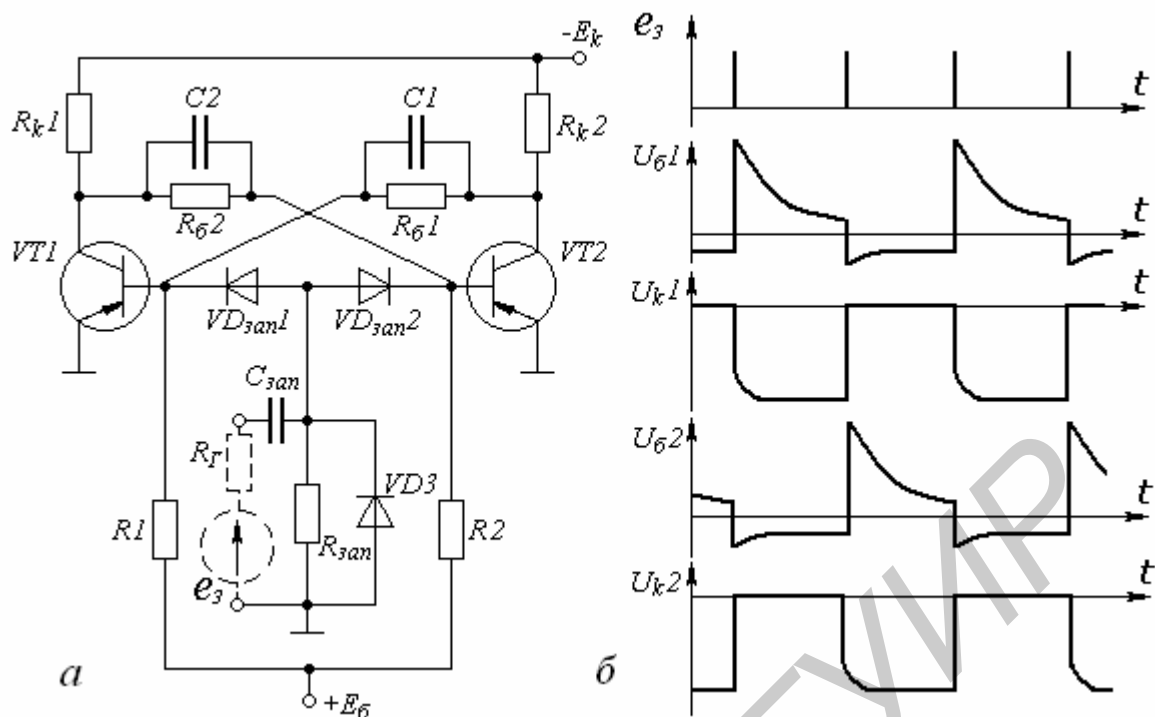


Рис. 2.4. Триггер с коллекторно-базовыми связями и счётным запуском по базовым входам:
а – схема; б – графики

Таким образом, при данном способе счетного запуска требуются большие значения ускоряющих конденсаторов. Помимо небольшого ускорения процессов переключения данные конденсаторы должны обеспечивать запоминание того положения триггера, в котором он находился перед приходом запускающего сигнала. Необходимость использования ускоряющих конденсаторов большой емкости, как уже отмечалось, увеличивает время установления $t_{уст}$ и снижает частотные свойства триггера. С другой стороны, эта схема запуска более чувствительна по отношению к запуску по коллекторам, т.е. работает при меньших амплитудах входных сигналов, но при этом имеет большую вероятность ложно переключиться от помехи.

2.1.2. Несимметричный триггер с эмиттерной связью (триггер Шмитта)

В импульсной технике для формирования напряжения прямоугольной формы и в качестве порогового (или сравнивающего) устройства широко применяются несимметричные триггеры. По отношению к симметричным они обладают более высоким входным сопротивлением, большей нагрузочной способностью и некоторыми другими преимуществами.

Схема такого триггера приведена на рис. 2.5. Она отличается от схемы симметричного триггера прежде всего тем, что одна коллекторно-базовая цепь связи R_6, C заменена связью, образуемой общим эмиттерным сопротивлением R_3 . В результате коллектор транзистора VT2 оказывается не связанным непосредственно с элементами цепи обратной связи, и поэтому при подключении нагрузки к коллектору VT2 она практически не влияет на работу триггера. Кроме того, из-за отсутствия дополнительных форсирующих конденсаторов на этом выходе можно ожидать большей крутизны фронтов выходных перепадов напряжения C другой стороны, и база транзистора VT1 также "изолирована" от элементов цепей ПОС и поэтому служит наиболее удобной точкой подачи входного управляющего напряжения $U_{вх}(t)$.

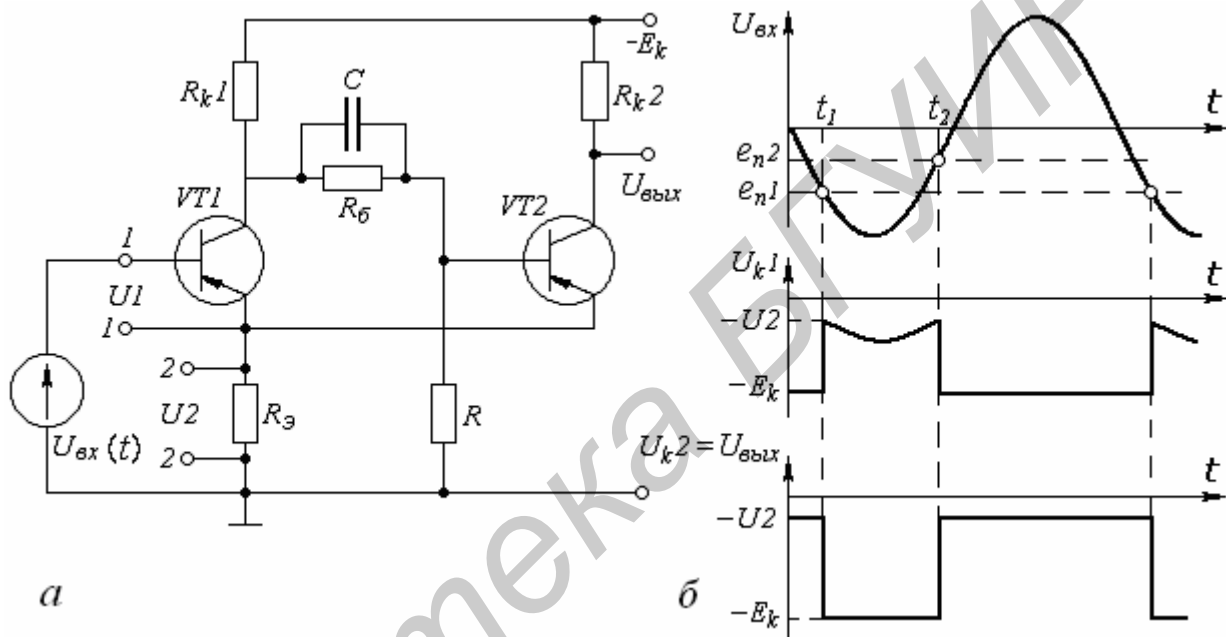


Рис. 2.5. Триггер с эмиттерной связью:
а – схема; б – графики

Триггер с эмиттерной связью имеет два устойчивых состояния: в одном VT1 заперт, VT2 насыщен, а в другом – наоборот. Переход триггера из одного состояния в другое осуществляется скачком каждый раз, когда входное напряжение достигает пороговых значений $e_{п1}$ или $e_{п2}$. Если, например, $U_{вх}(t)=0$, то транзистор VT1 закрыт. Тогда напряжение питания через делитель R_{k1}, R_6, R удерживает транзистор VT2 в насыщенном состоянии. Его коллекторный ток на резисторе R_3 образует напряжение, дополнительно закрывающее VT1, и определяет в основном порог срабатывания $e_{п1}$ в момент времени $t = t_1$

$$e_{п1} \approx E_k \frac{R_3}{R_3 + R_{k2}}$$

Эта же величина напряжения будет поддерживаться и на коллекторе VT2. В диапазоне отрицательного напряжения до величины $U_{\text{вх}}(t) = e_{\text{п}1}$ состояние триггера не изменится. При напряжении $U_{\text{вх}}(t) = e_{\text{п}1}$ и незначительном его увеличении на базе уже будет отрицательный потенциал, транзистор VT1 перейдет из режима отсечки в активный режим. Его коллекторное напряжение будет возрастать в положительную сторону (отрицательное коллекторное напряжение уменьшается по абсолютной величине), что выводит транзистор VT2 также из режима насыщения в активную область. Как только оба транзистора будут в активном режиме, начинает действовать петля ПОС и возникает регенеративный лавинообразный процесс, который завершается переключением триггера в другое состояние. Образующийся положительный перепад в основном через конденсатор форсировки C поступает на базу VT2 и прикрывает его. В результате ток коллектора VT2 уменьшается, что приводит к уменьшению запирающего транзистор VT1 напряжения $e_{\text{п}2}$ на резисторе R_3 . И при $U_{\text{вх}}(t) = \text{const}$ это приводит к еще большему открыванию VT1.

Через резистор R_3 осуществляется не только описанная процедура ПОС, способствующая лавинообразному переключению транзисторов, но и отрицательная обратная связь по току в каскаде с транзистором VT1, которая стремится противодействовать переключению триггера. Действительно, при открывании транзистора VT1 увеличивается его эмиттерный ток, который увеличивает напряжение на резисторе R_3 и стремится призакрыть VT1. Но так как в цепи ПОС включен транзистор VT2 с коэффициентом усиления по току много больше единицы, то изменение тока в цепи ПОС значительно больше изменения тока в цепи ООС и эффект ПОС будет преобладающим.

Чтобы транзистор VT1 в результате переключения оказался в режиме насыщения, необходимо выполнить условие

$$R_{\text{к}1} > R_{\text{к}2},$$

в противном случае транзистор VT1 будет находиться в активном режиме.

По мере дальнейшего роста $U_{\text{вх}}$ напряжение на эмиттерном резисторе R_3 несколько увеличится из-за связи резистора R_3 с источником $U_{\text{вх}}$ через насыщенный транзистор VT1. Однако состояние транзистора VT2, а следовательно, и напряжение на выходе триггера при этом не изменятся. Если теперь напряжение $U_{\text{вх}}$ уменьшать, то при некотором значении $U_{\text{вх}} = e_{\text{п}2}$, называемом порогом отпускания, транзистор VT1 выйдет из режима насыщения. Начнется лавинный процесс переключения транзисторов триггера с действием на резисторе R_3 эффекта ПОС и ООС, но только в другом направлении. Напряжение $e_{\text{п}2}$ определяется соотношением

$$e_{\text{п}2} = E_{\text{к}} \frac{1}{1 + \frac{R_{\text{б}}}{R} + \frac{R_{\text{к}1}}{R_3}}.$$

Чтобы была нормальная работа триггера, необходимо выполнение гистерезисных условий, т. е. необходимо, чтобы $e_{п2} < e_{п1}$.

Из работы несимметричного триггера видно, что если сигнал на входе носит импульсный характер и после окончания действия импульса равен нулю, то напряжение на выходе триггера после окончания импульса также изменится. Свойством «памяти» принятого состояния данный триггер не обладает в отличие от симметричного, поэтому как запоминающее устройство он не используется. Его применяют в устройствах сравнения, когда на выходе вырабатывается перепад напряжения в случае превышения входным сигналом уровня порога $e_{п1}$. Также часто при помощи триггера Шмитта формируют крутые прямоугольные импульсы с той же частотой повторения, что и частота входного сигнала. На длительность фронта и среза выходного сигнала мало влияет скорость изменения $U_{вх}(t)$.

2.1.3. Другие разновидности схем триггеров

Быстродействие триггеров зависит от вида варианта схемы запуска, в результате чего корректируется время $t_{уст}$. Но существуют и другие схемные решения. Если в схеме применить ненасыщенные транзисторные ключи, то можно уменьшить и время этапа рассасывания. Наиболее часто для решения этой задачи в схемах применяют диоды Шоттки.

Диоды Шоттки выполняют на основе перехода «металл-полупроводник» (но не p-n-переход). Прямой ток в них создается основными носителями заряда. Накопление заряда отсутствует, а барьерная емкость мала (доли пикофарад). Диоды Шоттки являются наряду с туннельными представителями самых быстродействующих элементов электроники. Кроме того, они имеют малое падение напряжения при открытом состоянии. К их недостаткам следует отнести небольшой ток коммутации и ограниченное допустимое обратное напряжение. Схема триггера с ненасыщенными транзисторами приведена на рис. 2.6.

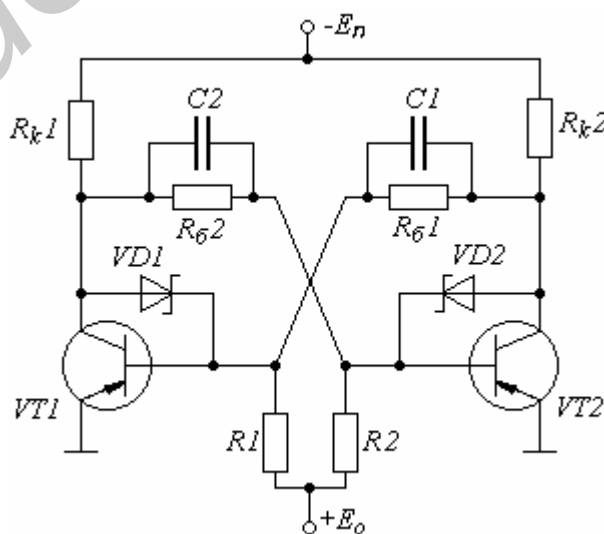


Рис. 2.6. Схема симметричного триггера с ненасыщенными транзисторами

Когда транзистор находится в режиме насыщения, он работает с открытыми переходами “база-эмиттер” и “база-коллектор”. Если транзистор находится в активном режиме, то переход “база-коллектор” смещен в обратном направлении, т.е. закрыт для поступления носителей из коллектора в базу. В общем случае в базе присутствуют неосновные носители заряда, инжектированные из эмиттера из-за воздействия базового тока, и еще дополнительные избыточные носители заряда, инжектируемые из коллектора. Этот дополнительный накопившийся заряд и обуславливает этап рассасывания при закрывании транзистора.

В схеме рис. 2.6 параллельно коллекторному переходу транзисторов подключают диоды Шоттки. Диод Шоттки – это алюминиево-кремниевый диод, у которого прямое напряжение на диоде очень мало (меньше падения напряжения на прямо смещенных р-п-переходах транзистора) и отсутствует накопление заряда. При отпирании транзистора он должен войти в режим насыщения, а его коллекторный переход сместится в прямом направлении. Однако раньше, чем откроется коллекторный переход транзистора, отпирается диод Шоттки (диоды VD1 или VD2). Падение напряжения на отпертом диоде мало – меньше напряжения отсечки коллекторного р-п-перехода. При таком напряжении коллекторный переход отпереться не может, а остается на грани включения. Поэтому избыточные носители не поступают в базу, что исключает этап рассасывания неосновных носителей при закрывании транзисторов.

В рассмотренных транзисторных триггерах (см. рис. 2.1 – 2.6) всегда в статическом режиме один транзистор заперт, а другой открыт. При применении в триггерах транзисторов различных типов (один транзистор типа р-п-р, а другой – типа п-р-п) в одном статическом режиме оба транзистора могут быть заперты, а в другом – оба открыты. Это особенность работы таких схем. В выключенном состоянии они практически не потребляют энергии, и в этом заключается основное их достоинство. (Надо, однако, иметь в виду, что при одновременном включении большого числа таких триггеров происходит большое скачкообразное изменение нагрузки на источники питания, что не всегда приемлемо.) Эти триггеры обладают и некоторыми другими достоинствами, в частности значительной нагрузочной способностью, и в ряде случаев их применение является более предпочтительным (например, в кольцевых счетчиках, в которых из большого числа триггеров включен только один). Схема такого триггера приведена на рис. 2.7.

Если транзистор VT1 открыт, то на его коллекторе будет низкое напряжение (близкое к потенциалу «земля»). Этот потенциал через резистор обратной связи R_{62} поступает на базу транзистора VT2. И с учетом того, что эмиттер VT2 находится под положительным потенциалом источника E_2 , переход “база-эмиттер” транзистора смещен в прямом направлении и VT2 будет открыт. В свою очередь на его коллекторе присутствует потенциал, близкий к источнику питания E_2 . Полярность и величина этого напряжения достаточны, чтобы через резистор обратной связи R_{61} удерживать транзистор VT1 в открытом состоянии.

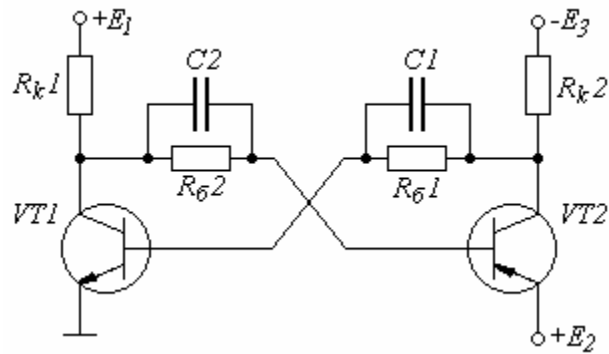


Рис. 2.7. Схема триггера на транзисторах различной проводимости

Если один из транзисторов триггера (например VT1) закрыть, то на его коллекторе образуется положительный потенциал источника E_1 . Через резистор $R_{б2}$ это напряжение ($E_1 > E_2$) будет удерживать транзистор VT2 в запертом состоянии. В свою очередь напряжение на коллекторе закрытого VT2 будет близкое к величине источнику питания E_3 и через резистор $R_{б1}$ этот отрицательный потенциал удерживает транзистор VT1 в запертом состоянии.

Назначение конденсаторов C1 и C2 аналогично схемам других триггеров – обеспечить работу ПОС в динамике.

При использовании выходных импульсов такого триггера следует помнить, что на выходе транзистора VT1 будут униполярные импульсы (только положительные), на выходе VT2 импульсы будут биполярные (будут иметь положительную и отрицательную амплитуды).

Триггер (рис. 2.7) можно включать как с отдельным запуском, так и со счетным. Но при организации цепи запуска необходимо учитывать специфику работы рассматриваемой схемы. Так, если на базу одного транзистора организовать подачу закрывающих входных импульсов, то для нормальной работы триггера на базу другого транзистора необходимо обязательно подводить открывающие импульсы.

Известны и другие варианты схем триггеров с транзисторами разной проводимости. Например, можно синтезировать схему не с тремя источниками питания (см. рис. 2.7), а с двумя и т. д.

2.1.4. Триггеры на полевых транзисторах

Две разновидности схем триггеров на полевых транзисторах с индуцированными каналами изображены на рис. 2.8. Первая схема (рис. 2.8, а) собрана на полевых транзисторах одного типа проводимости с каналами n-типа. Если, например, транзистор VT1 открыт, то это означает, что напряжение земли проходит на его стоковый электрод, а также на истоковый электрод нагрузочного транзистора VT_{н1}. Поэтому между затвором и истоком транзистора VT_{н1} приложено положительное напряжение, которое также приоткрывает этот транзистор и по цепи VT_{н1}, VT1 протекает определенный ток. Но так как транзистор VT1 открыт в большей степени,

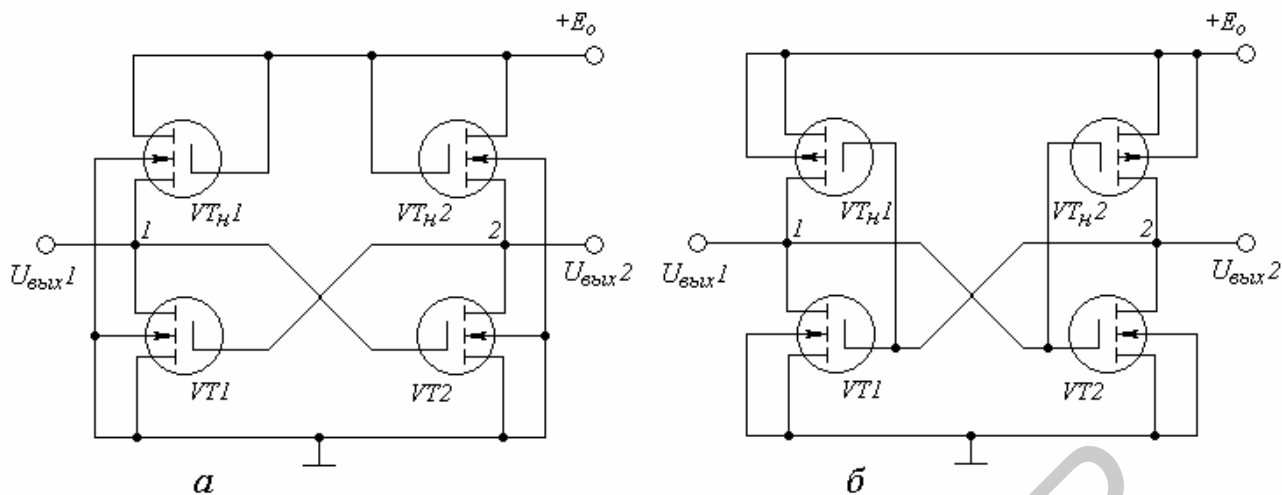


Рис. 2.8. Триггеры на полевых транзисторах :
 а – схема на элементах одного типа проводимости ("n"- типа); б – схема на элементах разного типа проводимости

чем $VT_{н1}$, то падение напряжения на нем мало, что соответствует нулевому выходу в точке 1. При этом транзистор VT_2 удерживается в закрытом состоянии, а положительное напряжение, выделяющееся на его стоковом электроде и подключенное к затвору транзистора VT_1 , удерживает последний в открытом состоянии. Запуск триггера может производиться отдельным способом на затворы коммутируемых транзисторов VT_1, VT_2 , счетный запуск затруднен из-за отсутствия запоминающих конденсаторов в цепи затворов. Нагрузочные транзисторы $VT_{н1}, VT_{н2}$ выполняют роль резисторов, аналогично транзисторной схеме рис. 2.2, а.

Лучшими свойствами обладает схема рис. 2.8, б на полевых транзисторах различной проводимости. Коммутируемые транзисторы VT_1, VT_2 имеют каналы проводимости n-типа, а нагрузочные – p-типа. Отдельные цепи – $VT_1, VT_{н1}$ и $VT_2, VT_{н2}$ образуют ключи, особенность которых в том, что один из транзисторов цепи открыт, а второй закрыт. Например, если транзистор VT_1 триггера открыт, то в это время транзистор $VT_{н1}$ закрыт, а в другой цепи VT_2 закрыт, $VT_{н2}$ – открыт. Действительно, при открытом VT_1 напряжение на его стоковом электроде практически равно нулю. Это же нулевое напряжение приложено к затвору второго коммутируемого транзистора с индуцированным каналом n-типа, поэтому он закрыт и на стоковом электроде VT_2 выделяется напряжение питания. У нагрузочного транзистора $VT_{н1}$ исток подключен к источнику питания $+E_0$, одновременно на его затвор поступает это же напряжение со стокового электрода закрытого VT_2 , поэтому транзистор $VT_{н1}$ закрыт. Аналогично можно показать, что транзистор $VT_{н2}$ открыт, так как его затвор присоединен к минусу (земле) через открытый транзистор VT_1 , а исток – к $+E_0$ источника питания.

Особенность рассматриваемой схемы состоит в том, что ни в одной из ветвей триггера в статическом состоянии не протекает ток из цепи источника питания. Это обстоятельство является важным экономическим преимуществом

по сравнению с другими схемами. В процессе переключения схема потребляет ток на перезаряд затворных емкостей – оно невелико.

2.1.5. Потенциальные триггеры на логических элементах

Простейшие RS–триггеры выполняются на двух двухвходовых элементах ИЛИ-НЕ, а также И-НЕ (рис. 2.9, а, б).

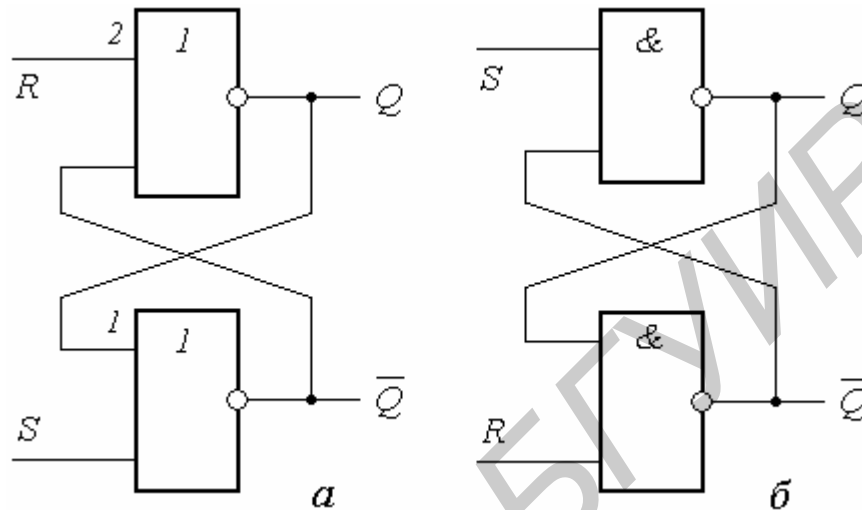


Рис. 2.9. Простейшие RS–триггеры:
а – на двух двухвходовых элементах типа ИЛИ;
б – на двух двухвходовых элементах типа И

Предположим, что на выходе Q схемы на элементах ИЛИ-НЕ (рис. 2.9, а) выделяется высокий уровень напряжения, который принимаем за единицу. Принято говорить, что в триггере записана единица, когда выход Q равняется единице, а $\bar{Q} = 0$. Эта единица проходит на вход первого элемента, выделяя на выходе \bar{Q} нуль, который в свою очередь проходит на вход второго элемента, поддерживая на его выходе Q единицу. Сигналы на входах RS в режиме ожидания полагаем равными нулю. Для перевода триггера в другое состояние необходимо подать единицу на свободный вход того элемента, на выходе которого выделяется в данный момент также единица. Так как мы приняли на выходе Q единицу, то, следовательно, на вход R надо подать единицу, при этом на выходе Q выделяется нуль, а на обоих входах элемента 1 устанавливаются нули, вследствие чего выход \bar{Q} примет состояние 1 . Если подать единицу на свободный вход того элемента, на входе которого выделяется нуль, то состояние триггера не изменится. Запрещенной комбинацией в логической схеме является одновременная подача единиц на оба свободных входа триггера R и S , так как при этом на обоих выходах одновременно устанавливаются нули, что не свойственно триггеру. Слово “запрещенная комбинация” не означает, что если на входы R и S одновременно будут поданы единицы, то триггер будет испорчен, и его логические способности будут в данный момент нарушены. Устранив за-

прещенную комбинацию, полностью восстанавливаем логическую работоспособность триггера.

На рис. 2.9,б изображена аналогичная схема триггера на двухвходовых элементах И-НЕ. Особенность ее в том, что управляющим потенциалом или импульсом по отношению ко входам R, S являются нули, а в статическом состоянии ожидания на входах R, S должны быть единицы. Управляющий нулевой импульс должен подаваться на свободный вход того элемента, на выходе которого в данный момент времени выделяется нуль. Запрещенной логической комбинацией триггера является одновременная подача на оба входа нулей. Триггеры вида рис. 2.9,б могут быть изготовлены на элементах логики 133-й, 134-й, 155-й, 555-й серий.

Синхронизируемый RS-триггер (рис. 2.10). Данный триггер состоит из

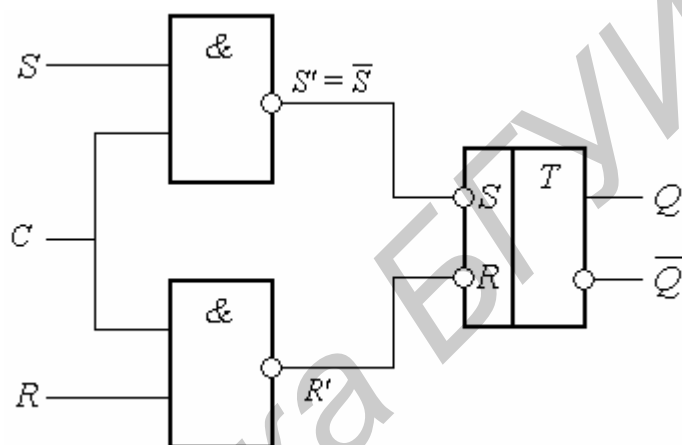


Рис. 2.10. Синхронизируемый RS-триггер

двух двухвходовых логических микросхем И-НЕ и RS-триггера, изображенного в условном виде. В этой схеме в целом на входы RS необходимо подавать единицы, причем одновременная подача единиц на входы R, S и C является запрещенной комбинацией. Вход C выполняет синхронизирующую роль, так как сигналы на выходы R` и S` проходят только при одновременной подаче единиц на входы R и C или S и C. В состоянии ожидания на входах R, S и C должны быть нули, при этом на выходах R` и S` выделяются одновременно единицы, а на выходах Q и Q` устанавливаются нуль и единица или наоборот, в зависимости от вида предыдущего опрокидывания.

Триггер со счетным входом (Т-триггер). Функциональная схема триггера со счетным входом изображена на рис. 2.11. Она состоит из двух синхронизируемых триггеров T₁ и T₂ и инвертирующей микросхемы. Каждый

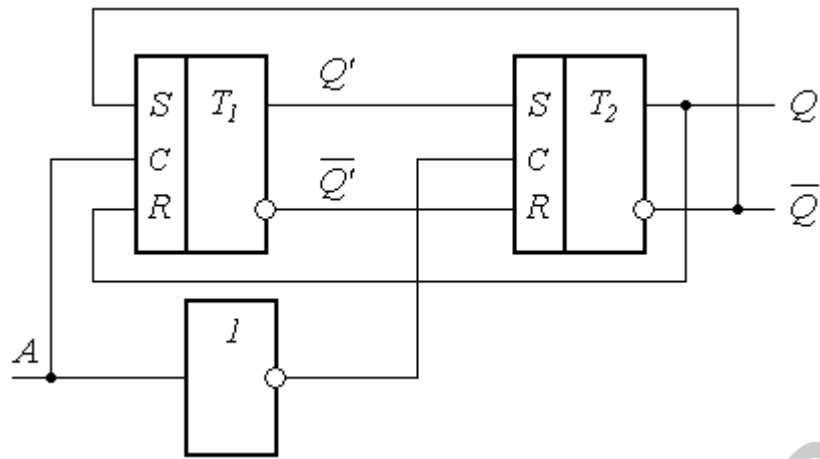


Рис. 2.11. Триггер со счетным входом (Т-триггер)

T_1 или T_2 в целом представляет собой схему рис. 2.9 и 2.10, но изображен на рис. 2.11 в более компактном виде. Назначение Т-триггера то же самое, что и триггеров со счетным входом, изображенных на рис. 2.3 и 2.4, однако схемное исполнение и организация счетного входа выполнены по-иному, так как необходимо учесть специфику логических схем. Из аналога схемы рис. 2.10 известно, что если на ее входы S и C попадают единицы, то триггер примет также состояние единицы по выводу Q . Учитывая это обстоятельство, проанализируем работу Т-триггера. В исходном состоянии примем, что на счетном входе A – нулевой сигнал, тогда на выходе микросхемы НЕ выделится единица. Пусть на выходе Q' триггера T_1 была ранее установлена единица, а на выходе \overline{Q} – нуль. Так как на входы S и C триггера T_2 поступают единицы, то на выходе появляется единица, которая через обратную связь поступает на вход R триггера T_1 . При этом на вход S триггера T_1 поступает нуль выхода \overline{Q} триггера T_2 .

Для опрокидывания Т-триггера в целом на вход A необходимо подать единицу. Так как у первого триггера T_1 единица раньше была приложена ко входу R и теперь дополнительно поступает единица на вход C , то этот триггер изменит свое состояние, выделяя единицу на выходе \overline{Q} . Вместе с тем единица поступает на вход микросхемы НЕ, поэтому на ее выходе образуется нуль, поступающий на вход C триггера T_2 . Этот нуль запрещает срабатывание триггера T_2 , несмотря на то, что триггер T_1 изменил свое состояние, образовав единицу на выходе \overline{Q} и нуль на выходе Q' . И только после окончания синхронизирующего импульса на входе A микросхема НЕ изменяет свое состояние, на ее выходе появляется единица, поступающая на входы C и R , и он также изменяет свое состояние, выделяя единицу на выходе \overline{Q} и нуль на выходе Q . Таким образом, первая особенность триггера со счетным входом на логических микросхемах состоит в том, что он действует в две ступени, а вторая – заключается в существенно большей сложности.

Триггер задержки (D-триггер). Функциональная схема D-триггера изображена на рис. 2.12.

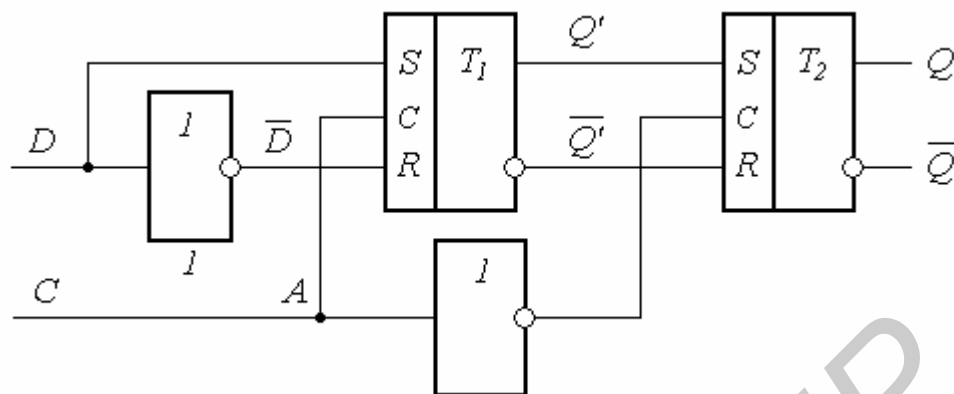


Рис. 2.12. Триггер задержки (D-триггер)

Данный триггер предназначен для запоминания поступающей на вход D информации, которая записывается в момент прихода синхронизирующего импульса. Если на входе D действует сигнал $D = 1$, то при поступлении синхронизирующей единицы на выходе Q' триггера T_1 выделится также единица. После окончания действия синхронизирующего импульса сигнал C' становится равным единице и информация переписывается в триггер T_2 .

Если на вход D поступает нуль, то на выходе первого элемента НЕ сигнал D становится равным единице. В момент прихода синхронизирующего импульса этим сигналом триггер T_1 переводится в состояние нуля. После окончания действия синхронизирующего импульса информация с триггера T_1 переносится в триггер T_2 .

Универсальный JK-триггер. Этот триггер является универсальным, т.е. он может выполнять функции предыдущих триггеров. Функциональная схема одного из вариантов JK-триггеров изображена на рис. 2.13. Если вход J полагать эквивалентным входу S схемы рис. 2.10, вход K - входу R, то при наличии синхронизируемых входов C оба триггера выполняют одну и ту же роль. Действительно, сигнал 1, действующий на входе J одновременно с синхроимпульсом на входе C, переводит триггер в состояние 1 (по выходу Q_2), а сигнал 1, действующий на входе K, переводит триггер в состояние нуля. Отличие состоит только в том, что при $J=K=1$ триггер изменяет свое состояние на противоположное при поступлении каждого нового синхронизирующего импульса, т.е. действует как триггер со счетным входом (Т-триггер).

Особенность JK-триггера состоит в том, что информация на выходах появляется только после окончания действия синхронизирующего импульса (аналогично T и D триггерам схем рис. 2.11 и 2.12). Для того чтобы образовать из триггера JK триггер задержки типа D, необходимо дополнительно ввести эле-

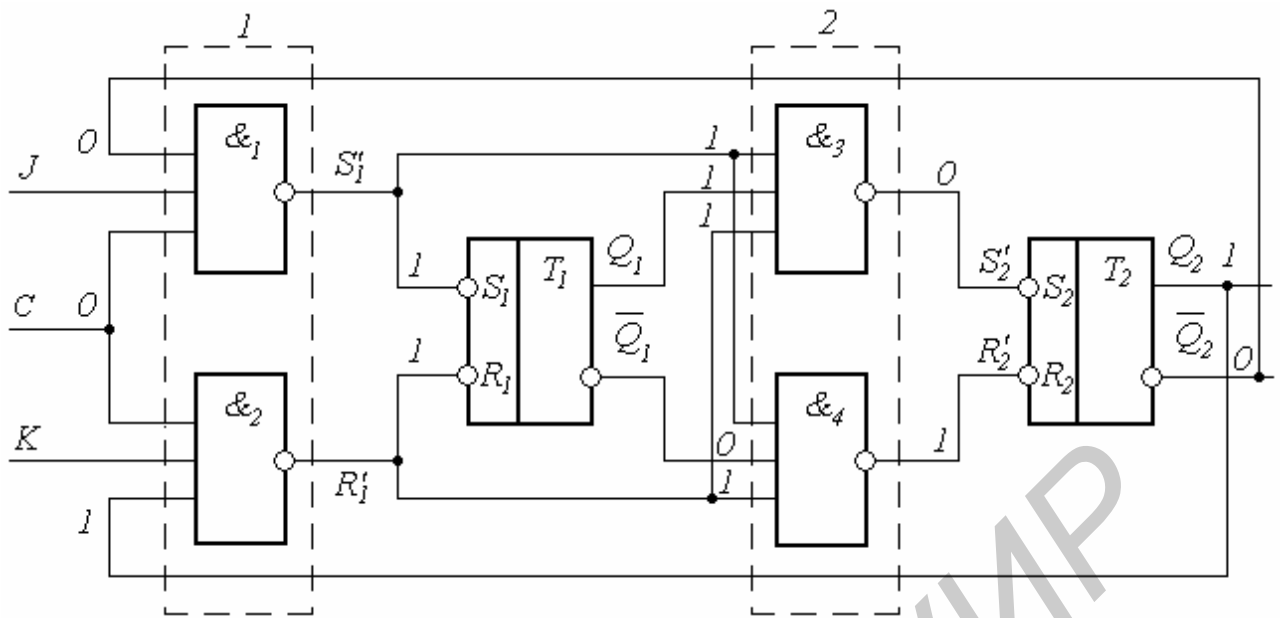


Рис. 2.13. Универсальный JK-триггер

мент типа НЕ точно так же, как это показано на рис. 2.12, полагая эквивалентными входы J-S и K-R.

Рассмотрим процессы переключения в схеме JK-триггера. Пусть в триггерах T_1 и T_2 в исходном состоянии записаны единицы (на выходах Q_1 и Q_2 – высокие уровни). На входах J, K и C сигналы в режиме ожидания равны нулю. Для опрокидывания триггера необходимо одновременно подать единицы на синхронизируемый вход C, а также на тот вход, который симметричен выходу триггера, где должна быть записана единица. Таким входом является вывод K, так как принято в исходном состоянии $Q_2 = 1$, $\bar{Q}_2 = 0$. При одновременном поступлении единиц на входы C, K, а также на третий вход микросхемы 2, на ее выходе выделится 0, который одновременно поступает на инверсный вход R_1 триггера T_1 , а также нижние входы третьей и четвертой микросхемы И-НЕ. Особенность внутренних триггеров T_1 и T_2 состоит в том, что они управляются нулями, как это было рассмотрено для схемы рис. 2.9, б, поэтому входы таких триггеров обозначены дополнительными кружочками. При поступлении нуля на вход R_1 триггера T_1 на его выходе \bar{Q}_1 записывается единица (принято говорить, что в самом триггере T_1 при этом записывается 0, так как на выходе Q_1 выделяется нуль). Других изменений в состоянии JK-триггера нет до тех пор, пока действуют единицы на выходах C и K. После окончания одного из этих сигналов или обоих одновременно на выходе R'_1 второй микросхемы И-НЕ выделяется единица, в то время как на выходе S'_1 первой микросхемы эта единица действует постоянно, независимо от сигналов на входах C и K. Теперь на все три входа четвертой микросхемы И-НЕ поступают единицы, выделяя на ее выходе “нуль”, который воздействует на инверсный вход второго триггера T_2 , переводит его в состояние нуля (на выходе \bar{Q}_2 – единица). Таким образом, во время поступления единиц на входы C и K происходит опрокидывание триггера

T_1 , а после окончания действия этих импульсов – опрокидывание триггера T_2 и входная информация выделяется на выходе.

Аналогично можно рассмотреть переключение при организации счетного Т-триггера, для чего входы J и K необходимо соединить вместе и подать на них постоянный уровень напряжения, соответствующий единице (для триггеров 133-й, 134-й, 155-й, 555-й серий это напряжение составляет 2,5–5 В, причем лучше большая величина в этом диапазоне). Счетные импульсы подключаются ко входу С.

Имеются и другие разновидности триггеров в интегральном исполнении, принцип их действия строится аналогично рассмотренным схемам. Во всех случаях анализа триггеров на логических микросхемах необходимо помнить, что на входы должны подаваться единицы или нули. Если какой-то вход не подключен, т.е. цепь оборвана, то это эквивалентно его отсутствию в данной схеме.

2.1.6. Триггеры на приборах с отрицательным сопротивлением (негатронах)

В данных триггерах используются свойства туннельных диодов и тиристоров образовывать устойчивые состояния и поэтому запоминать сигналы единиц и нулей эквивалентно обычным триггерам. На рис. 2.14, а приведена простейшая схема триггера на туннельном диоде.

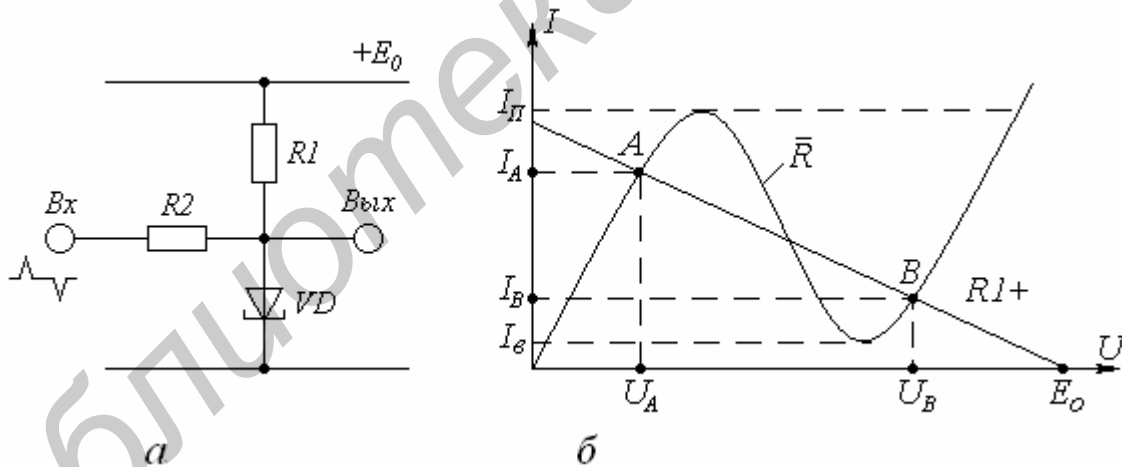


Рис. 2.14. Триггер на туннельном диоде:
а – схема; б – график, иллюстрирующий работу триггера

Напряжение E_0 и сопротивление резистора R_1 выбраны таким образом, как показано на рис. 2.14, б, при этом появляются две устойчивые точки А и В. Предположим, что в исходном состоянии установилось положение равновесия в точке А, тогда выходное напряжение равно U_A , что принимается как эквивалент 0. После подачи на вход положительного импульса ток в цепи туннельного диода возрастает до I_n , и триггер автоматически переходит во второе устойчивое состояние (точка В, выходное напряжение U_B - эквивалент единицы).

Для обратного переключения туннельного диода необходимо на вход подать отрицательный импульс такой величины, чтобы в цепи его ток стал меньше тока выключения $I_{\text{с}}$, тогда триггер автоматически переходит в устойчивое состояние А. Основным отличием триггеров на туннельных диодах является большое быстродействие по сравнению со всеми другими схемами, кроме того, они менее чувствительны к тепловому воздействию и ядерному излучению.

Аналогичную схему триггера можно построить также на одном динисторе или тиристоре. На рис. 2.15 изображена схема триггера на двух тиристорах, она эквивалентна схеме триггера на транзисторах с коллекторно-базовыми связями (см. рис. 2.4).

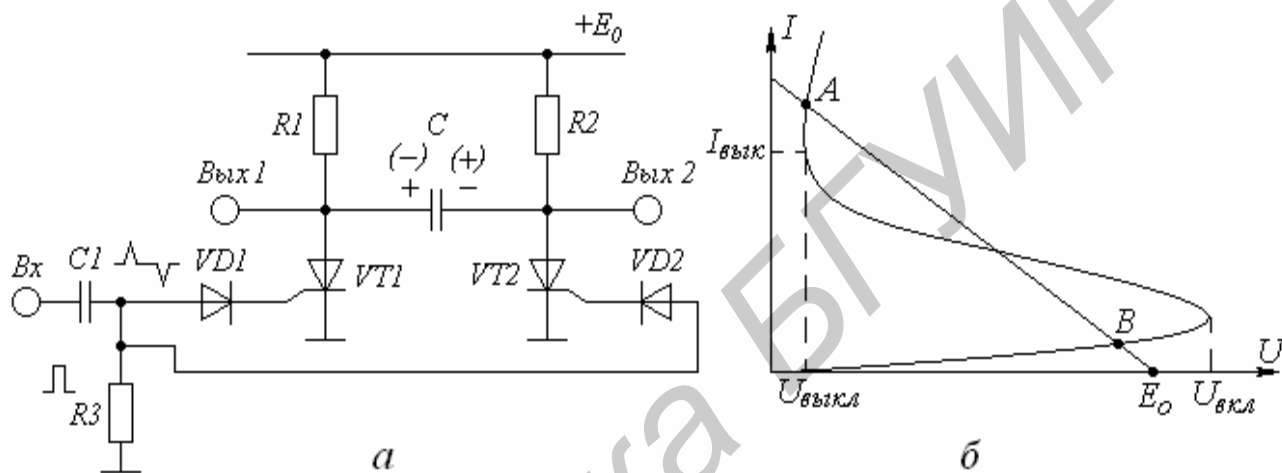






Рис. 2.15. Триггер на тиристорах:
а – схема; б – график, иллюстрирующий работу триггера

В одном из состояний тиристор VT1 закрыт и его рабочая точка находится в положении В (рис. 2.15,б), второй тиристор VT2 открыт (точка А). В этом состоянии конденсатор C заряжается плюсовым напряжением на левой обкладке. Если теперь на оба входа подать одновременно открывающий положительный импульс, то тиристор VT1 откроется, а тиристор VT2 в этот момент по-прежнему остается открытым. Но так как конденсатор C был заряжен, в цепи обоих тиристоров потечет разрядный ток, который будет совпадать с прямым током в цепи VT1 и противоположен в цепи VT2. Эта противоположность приводит к тому, что общий ток в цепи VT2 становится меньше тока выключения и тиристор VT2 закрывается, т.е. триггер изменяет свое состояние. В дальнейшем при поступлении новых управляющих импульсов процессы повторяются.

Тиристорные триггеры обладают невысоким быстродействием, но необходимо отметить, что в устройствах автоматики высокое быстродействие в большинстве случаев не требуется. Особенность тиристорных триггеров состоит в том, что на их выходах можно получать высокие напряжения – сотни и

тысячи вольт, в зависимости от допустимого напряжения тиристоров данного конкретного типа.

2.2. Описание лабораторной установки

На передней панели лабораторной установки, изображенной на рис. 2.16, выгравированы схемы симметричного триггера, триггера с эмиттерной связью и триггера на транзисторах различного типа проводимости. В цепях триггеров устанавливаются гнезда и переключатели для организации различных видов цепей, измерения напряжений и наблюдения осциллограмм. Описание работы триггеров приведено в предыдущих разделах. В нижней части передней панели выгравирована мнемосхема генератора и формирователя импульсов положительной и отрицательной полярности. С помощью потенциометров I—IV и переключателей V, VI производится регулировка длительности и частоты следования импульсов, которые можно наблюдать на экране осциллографа, подключая его потенциальный зажим к гнездам  и . Переключателями П1 и П2 выбираем продифференцированные импульсы передних и задних фронтов. Формирователи  и  позволяют получить прямоугольные импульсы положительной и отрицательной полярности, передний фронт которых синхронизируется с продифференцированными импульсами и выбирается посредством переключателей П3 на их входах. Регулировка длительности и частоты импульсов формирователей производится переключателями VII, VIII и потенциометрами IX, X. Изменение амплитуды импульсов генератора и двух формирователей может быть произведено потенциометрами «Рег. амп.» Постоянное напряжение положительной и отрицательной полярности выведено на гнезда, расположенные под регуляторами +2 В и –2 В. Штепсельный разъем предназначен для подключения интегральных микросхем, расположенных в специальных корпусах из оргстекла, которые дополнительно прилагаются к лабораторной установке.

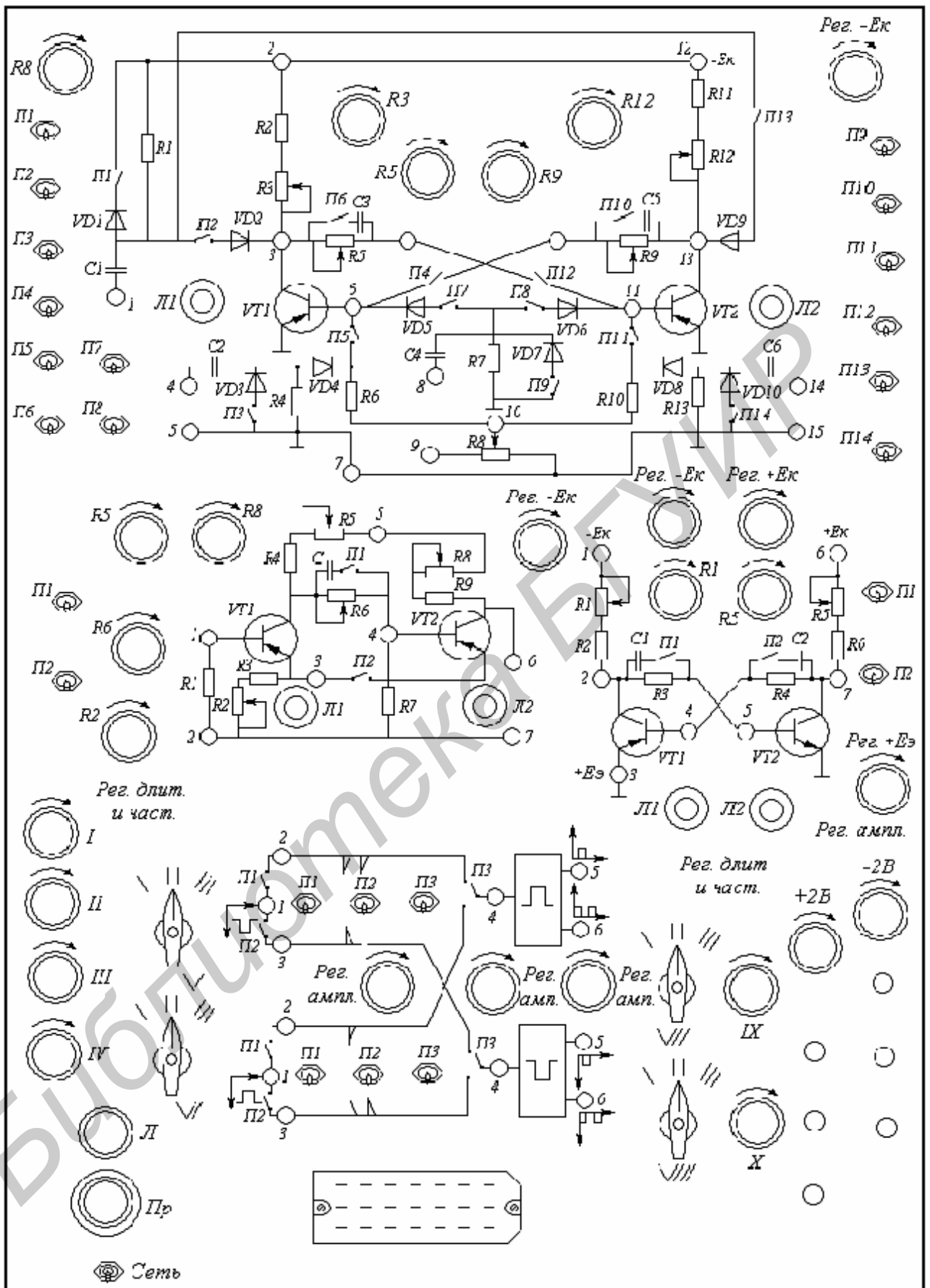


Рис. 2.16. Схемы передней панели лабораторной установки

2.3. Порядок выполнения работы

2.3.1. Схема симметричного триггера с коллекторно-базовыми связями

Потенциометром «Рег.-Ек» установить в гнездах 2 или 12 напряжение – 5 В. Отключить микротумблеры П1, П2, П7, П8, П9, П13 и включить микротумблеры П3, П4, П5, П6, П10, П11, П12, П14. Верхнее положение рычага микротумблера – включенное, нижнее – отключенное. При этом положении микротумблеров образуется схема симметричного триггера с коллекторно-базовыми связями и отдельным запуском по базовым цепям. Потенциометр R8 установить в такое положение, чтобы в точке 10 было напряжение 0,1–0,2 В. Потенциометры R3, R5, R9, R12 установить в крайнее правое положение, вращая их по часовой стрелке, — это исходное состояние для исследований, оно характеризуется тем, что один из транзисторов закрыт, а второй открыт. Сигнальные лампы Л1 или Л2 высвечивают закрытое состояние соответствующего транзистора. Если по какой-либо причине сигнальные лампочки не функционируют, то необходимо к коллектору транзистора подключить осциллограф и при помощи его визуально наблюдать состояние транзисторов. Так как в процессе измерений или наблюдений на потенциальных проводниках осциллографа, вольтметра наводятся электромагнитным путем напряжения, то в момент касания этим проводником точек схемы возможно опрокидывание триггера.



1. Исследовать схему триггера при воздействии медленно меняющихся сигналов:




а) повышая потенциометром R8 напряжение в точке 10 и измеряя это напряжение вольтметром, определить моменты потери триггерных свойств (по погасанию ламп, которые подключены через схему включения к коллекторам транзисторов Л1 к VT2 и Л2 к VT1 или по увеличению коллекторного напряжения на открытом транзисторе). Измерить напряжение на коллекторных электродах VT1 и VT2 в точках 3, 13. Объяснить причину закрывания транзисторов;

б) установить в точке 10 потенциометром R8 напряжение (0,1–0,2)В. Измерить напряжение на коллекторных электродах закрытого и открытого транзисторов в точках 3 и 13. Если при подключении контакта потенциального проводника вольтметра происходит опрокидывание триггера, то необходимо разомкнуть на время подключения тумблеры обратной связи П4 или П12; этим состояние триггера будет зафиксировано;

в) установить потенциометр «Рег. ампл. –2 В» в положение наименьшего напряжения. Соединить проводником одно из гнезд – 2В с гнездом 11 базы транзистора VT2, при этом транзистор должен закрыться, а лампа Л2 – высвечиваться. Постепенно увеличивая потенциометром «Рег. ампл. –2 В» напряжение на базе VT2, определяем момент опрокидывания триггера. Измерить входное опрокидывающее напряжение.


2. Исследовать схему триггера в режиме отдельного запуска по базовым цепям:


а) подключить осциллограф поочередно к гнездам 2 и 3 выходов мультивибраторов  и , убедиться в наличии продифференцированных импульсов, потенциометром «Рег. ампл.» установить их максимальную величину. При этом потенциометры I – IV должны быть установлены в крайнее левое (против часовой стрелки) положение, а галетные переключатели V и VI должны находиться в первом положении. Наблюдая осциллограммы в точках 2, 3, необходимо переключатели П1 и П2 также установить в верхнее (включенное) состояние. Регулируя ручку развертки осциллографа, получить устойчивое изображение на экране, зарисовать осциллограммы продифференцированных импульсов;

б) соединить гнездо 3 мультивибратора  с гнездом 4 триггера. Убедиться, что импульсы  проходят на вход, но триггер не переключается. Сохранив прежнее соединение, подключить гнездо 3 мультивибратора  к гнезду 14 триггера и убедиться в наличии процесса опрокидывания по миганию ламп. Подключить осциллограф к гнезду 3 или 13 триггера, зарисовать осциллограммы. Отключить кратковременно тумблер П5, а затем П11, убедиться в прекращении процесса опрокидывания. Потенциометром R8 постепенно увеличивать запирающее напряжение в точке 10. Убедиться в постоянном уменьшении выходных импульсов на коллекторных электродах 3, 13. При наличии времени снять зависимость этого уменьшения в функции напряжения точки 10, амплитуду импульсов измерять на экране осциллографа;

в) установить прежнее значение напряжения в точке 10 (0,1 – 0,2 В). Плавно вращая против часовой стрелки ручку потенциометра «Рег. ампл.» мультивибратора, уменьшить амплитуду продифференцированных импульсов. Определить момент прекращения опрокидывания. Путем сравнения на экране осциллографа измерить наименьшую амплитуду запускающих импульсов. Установить прежнее значение продифференцированных импульсов;

г) путем кратковременного отключения тумблеров П6, П10 убедиться, что емкости С3, С5 практически не оказывают влияния на работу триггера при низких частотах в режиме раздельного запуска;

д) отключить тумблеры П5, П11, включить тумблеры П7, П8, П9, организовав счетный базовый запуск. Отключить гнезда 4 и 14 триггера и подключить гнездо 8 триггера к гнезду 3 мультивибратора . Подключить потенциальный вход осциллографа к гнезду 3 или 13 триггера, зарисовать форму импульсов. Если при подключении потенциального входа осциллографа к гнездам 3, 13 опрокидывание триггера прекращается, то его можно восстановить, подобрав необходимую амплитуду входных импульсов, вращая ручку потенциометра «Рег. ампл.» мультивибратора. Кратковременно отключив тумблерами П6, П10 емкости С3, С5, убедиться в прекращении работы счетного входа. Объяснить причину срыва процесса переключений;


е) отключить тумблеры П7, П8, П9, включить П1, П2, П13, при этом образуется счетный вход по коллекторным цепям. Так как в этом случае запускающие импульсы должны быть более мощными, то используем формирователь импульсов . Регулятор амплитуды «Рег. ампл.» этого формирователя устанавливаем в крайнее правое положение, галетный переключатель VIII – в

положение 1, тумблер ПЗ – в верхнее положение. После этого гнездо 1 триггера соединяем с гнездом 5 или 6 этого формирователя и убеждаемся в наличии процессов опрокидывания.

2.3.2. Триггер с эмиттерной связью

Установить потенциометры "Рег.-Ек", R2, R8 и R6 в крайнее правое положение, а потенциометр R5 - в крайнее левое положение (против часовой стрелки). Тумблеры П1 и П2 включить - это означает закрытое состояние транзистора VT1 и открытое состояние VT2:

1. Исследовать работу триггера при медленных изменениях напряжения на входе. Для этого соединить гнездо 1 триггера с одним из гнезд источника "Рег. ампл. -2 В", предварительно установив регулятором наименьшее напряжение. Плавно вращая ручку потенциометра "Рег. ампл.-2 В" по часовой стрелке, определить момент переключения сигнальных ламп Л1 и Л2. Подключив вначале вход вольтметра к гнезду 3, а затем к гнезду 6, снять зависимости выходных напряжений в функции входного напряжения, построить графики и объяснить их. При снятии гистерезисной зависимости необходимо сначала входное напряжение увеличивать от нуля до максимального значения без каких-либо коммутаций, а затем понижать от максимального значения до нуля. При этом необходима обязательная фиксация порога срабатывания $e_{п1}$ и $e_{п2}$. Убедиться, что при отключенном тумблере П2 триггер не опрокидывается;



2. Исследовать работу триггера при импульсных сигналах. Для этого подключить гнездо 1 триггера к гнезду 2 мультивибратора . Вход осциллографа подключить вначале к эмиттеру VT1 (гнездо 3), затем к коллектору VT2 (гнездо 6). Убедиться в наличии опрокидывания триггера, зарисовать осциллограммы.

2.3.3. Схема триггера на транзисторах различной проводимости

1. Произвести настройку схемы триггера. Для этого потенциометры "Рег. -Ек", "Рег. +Ек", R1, R5 установить в крайнее правое положение. Включить тумблеры П1, П2. С помощью потенциометра "Рег. +Еэ" установить на эмиттерном электроде первого транзистора (гнездо 3) напряжение +2 В. В таком состоянии обе лампы должны одновременно высвечиваться или быть погашенными;

2. Произвести исследование схемы триггера при медленных изменениях входного напряжения. Если лампы высвечиваются, то это означает одновременное закрытое состояние транзисторов. При этом на коллекторном электроде транзистора VT1 выделяется отрицательное напряжение (примерно -2 В), а на коллекторном электроде VT2 - положительное напряжение. При погашенных лампах транзисторы открыты, на коллекторном электроде VT1 выделяется положительное напряжение (примерно +2 В), а на коллекторном электроде VT2 - нулевое напряжение.

Установить транзисторы триггера в открытое состояние (обе лампы погашены). Для этого подключить напряжение от источника "Рег. ампл. -2 В " к гнезду 4 первого транзистора. После этого необходимо установить самое малое напряжение источника "Рег. ампл. $+2\text{ В}$ " и подключить базу транзистора VT1 (гнездо 4) к этому источнику. Постепенно повышая положительное напряжение на базе транзистора VT1, определить момент закрывания обоих транзисторов. Измерить напряжение, опрокидывающее схему, и напряжения на всех электродах триггера до и после опрокидывания.

3. Исследовать схему триггера в импульсном режиме. Для этого необходимо подключить базу транзистора VT1 (гнездо 4) к закрывающим продифференцированным импульсам (гнездо 3 мультивибратора ) , а базу VT2 — к открывающим продифференцированным импульсам (гнездо 3 мультивибратора ). Наблюдать процессы опрокидывания, зарисовать осциллограммы напряжений на коллекторных электродах обоих транзисторов и объяснить их.

2.3.4. Триггеры в интегральном исполнении

1. Исследовать схему RS–триггера при медленно меняющихся напряжениях и в импульсном режиме. Схема RS–триггера соответствует рис. 2.9, б, она составлена из элементов логики типа И-НЕ, 155-й серии.

Корпус с микросхемой прилагается. Для подготовки исследований необходимо включить штыревой разъем корпуса в гнездовой разъем лабораторного макета.

2. Исследовать универсальный JK–триггер на микросхемах К1ТК551, эквивалентный схеме рис. 2.13. Исследование произвести по методике, изложенной для предыдущих триггеров при медленно меняющихся напряжениях и в импульсном режиме.

Схемы, относящиеся к блоку питания, изображены на рис. 2.17, 2.18.

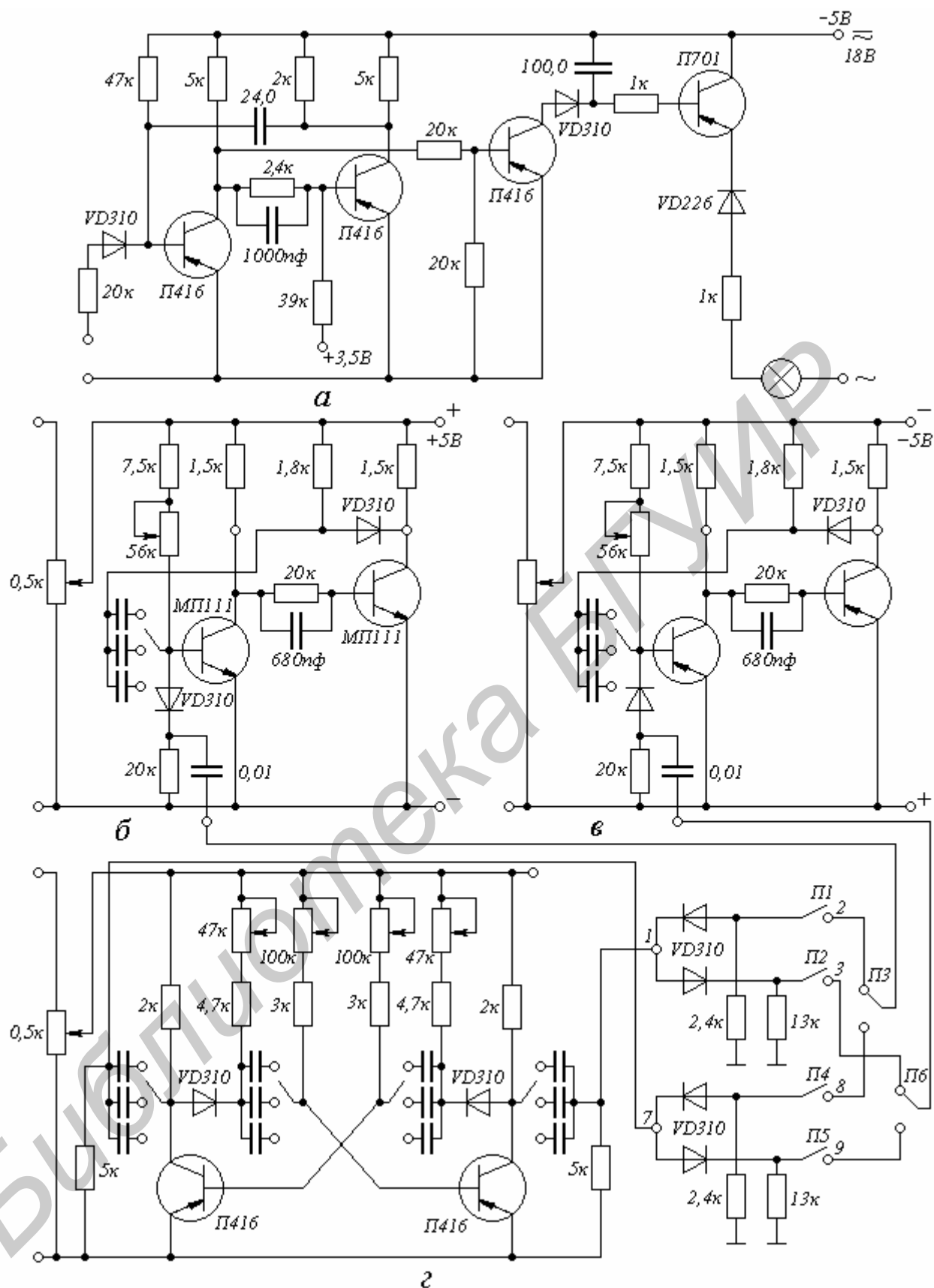


Рис. 2.17. Блок питания:

а – включение сигнальной лампы; б, в – ждущие мультивибраторы;
 г – мультивибратор в автоколебательном режиме

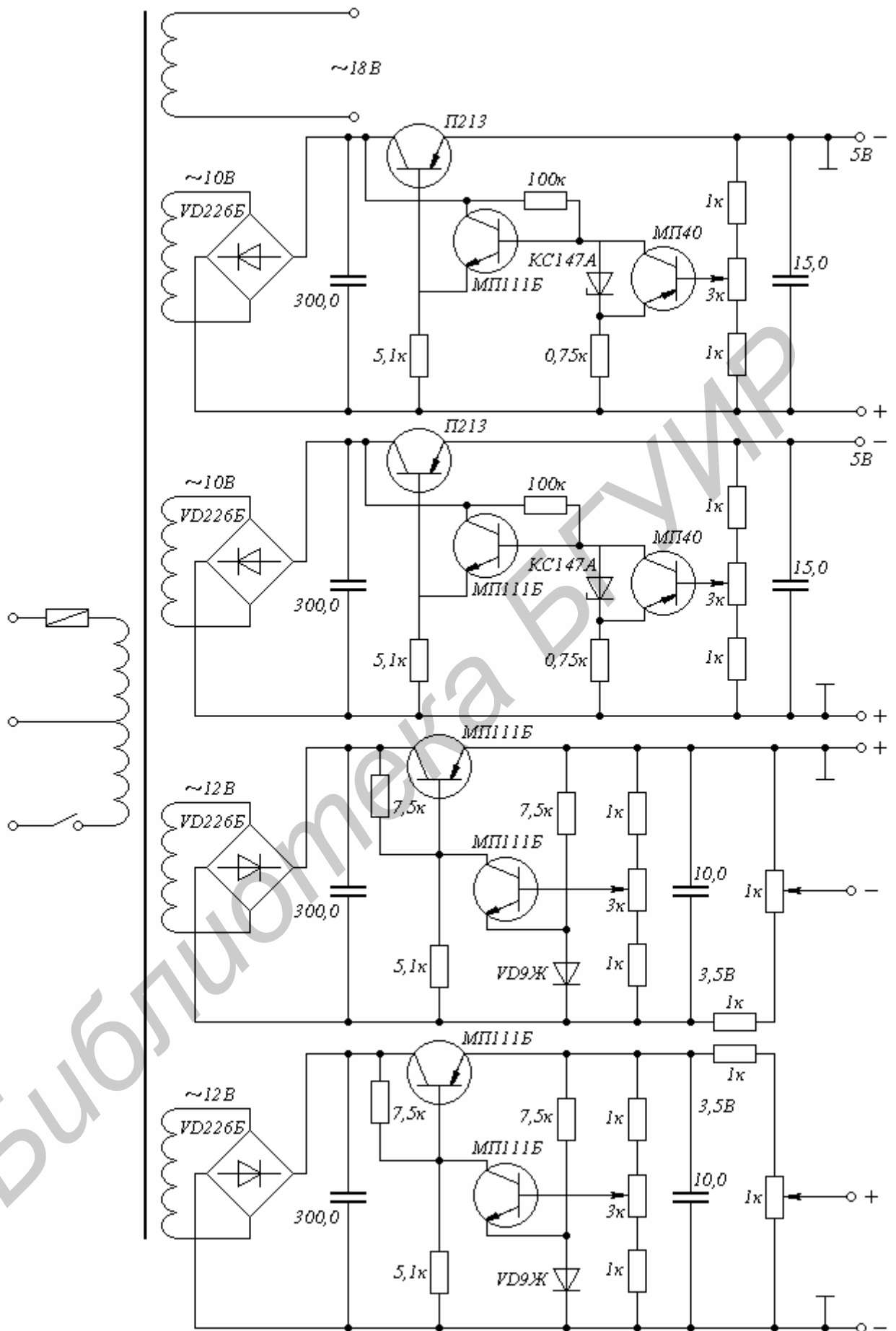


Рис. 2.18. Схема источника питания

2.4. Содержание отчёта

1. Принципиальные схемы триггеров и схемы измерений.
2. Осциллограммы входных и выходных импульсов.
3. Таблицы снятых зависимостей и графики зависимостей.
4. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Работа симметричного триггера.
2. Работа схем раздельного запуска, особенности запуска по базам и коллекторам.
3. Работа схемы счётного запуска, особенности счётного запуска по базам и коллекторам.
4. Роль базовых конденсаторов в схеме триггеров, их выбор.
5. Этапы в процессе переключения транзисторов.
6. Работа схемы несимметричного триггера, особенности его функционирования и применения.
7. Принципы увеличения быстродействия триггеров.
8. Работа схемы триггера с ненасыщенными транзисторами.
9. Диоды Шоттки. Особенности их работы.
10. Работа схемы триггера с транзисторами разной проводимости.

Литература

1. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов/ Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия - Телеком, 1999. – 768 с.
2. Решетилов А.Р. Лабораторный практикум по курсу “Электронные устройства автоматики и импульсная техника” для студентов специальности 0606. Ч. 2. – Мн.: МРТИ, 1980. – 51 с.

Учебное издание

Решетилов Анатолий Родионович,
Ольшевский Николай Иванович

Электроника и микросхемотехника

Методическое пособие к лабораторным работам
для студентов специальности
“Автоматическое управление в технических системах”
всех форм обучения

Редактор Н.А.Бебель

Корректор Е. Н. Батурчик

Компьютерная верстка Е. Г. Реут

Подписано к печати

Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная.

Печать ризографическая.

Гарнитура Times.

Усл.печ.л.

Уч.-изд.л. 3,3.

Тираж 200 экз.

Заказ 199.

Издательство и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

“Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”

Лицензия ЛП №156 от 30.12.2002.

Лицензия ЛП №509 от 03.08.2001.

220013, Минск, П. Бровки, 6.