

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра автоматического управления

А. Р. Решетилов, Н. И. Ольшевский

**Лабораторный практикум по курсу
«Электроника и микросхемотехника»**

для студентов специальности
“Автоматическое управление в технических системах”

Минск 2002

УДК 621.38+621.382.8.049.77(075.8)

ББК 32.85+32.841.1 73

Р 47

Решетилов А.Р.

Р47 Лабораторный практикум по курсу «Электроника и микросхемотехника» для студентов специальности «Автоматическое управление в технических системах» / А.Р. Решетилов, Н.И. Ольшевский. – Мн.: БГУИР, 2002.–58с: ил.

ISBN 985–444–310–8.

Приводятся описания мультивибраторов и блокинг–генераторов, а также методические указания к их выполнению. Лабораторные работы включают схемы как на дискретных элементах, так и в интегральном исполнении.

УДК 621.382.8.049.77(075.8)

ББК 32.85

© А. Р. Решетилов,
Н. И. Ольшевский, 2002

ISBN 985–444–310–8

© БГУИР, 2002

Содержание

1. Лабораторная работа №1 Мультивибраторы
 - 1.1. Общие сведения
 - 1.2. Мультивибраторы с коллекторно–базовыми связями в ждущем режиме
 - 1.3. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью
 - 1.4. Ждущий мультивибратор с конденсатором в эмиттерной цепи
 - 1.5. Автоколебательные мультивибраторы
 - 1.6. Мультивибраторы на полевых транзисторах
 - 1.7. Мультивибраторы на туннельных диодах
 - 1.8. Мультивибраторы на тиристорах (тринисторах)
 - 1.9. Генераторы импульсов на микросхемах
 - 1.10. Лабораторное задание
 - 1.11. Описание лабораторной установки
 - 1.12. Порядок выполнения работы
 - 1.13. Содержание отчёта
 - 1.14. Контрольные вопросы

Литература

2. Лабораторная работа №2 Блокинг–генераторы
 - 2.1. Общие сведения
 - 2.2. Ждущий блокинг–генератор с коллекторно–базовой связью
 - 2.3. Автоколебательный блокинг–генератор с коллекторно–базовой связью
 - 2.4. Лабораторное задание
 - 2.5. Описание лабораторной установки
 - 2.6. Порядок выполнения работы
 - 2.7. Содержание отчёта
 - 2.8. Контрольные вопросы

Литература

Лабораторная работа №1

Мультивибраторы

1.1. Общие сведения

Цель работы – изучить электронные схемы генераторов прямоугольных импульсов, их основные режимы функционирования.

Импульсными генераторами называют устройства, преобразующие энергию источников постоянного напряжения в энергию электрических импульсов. В зависимости от формы вырабатываемых импульсов выделяют генераторы прямоугольных импульсов, генераторы линейно изменяющегося напряжения и генераторы импульсов специальной формы.

Генераторы прямоугольных импульсов, как и другие типы генераторов электрических сигналов, являются схемами с положительной обратной связью. В зависимости от способа её создания различают двухкаскадные генераторы с RC-цепями, генераторы с трансформаторной обратной связью и специальные генераторы, выполненные на приборах с отрицательным сопротивлением. В последних системах положительная обратная связь является внутренней и определяется спецификой работы конкретного прибора (тиристора, туннельного диода и т.д.).

Мультивибраторы генерируют сигналы, по форме близкие к прямоугольным. Их относят к релаксаторам, скачкообразно изменяющим своё состояние. Могут работать в одном из трёх режимов: ждущем, автоколебательном и синхронизации.

В ждущем режиме мультивибраторы имеют одно состояние длительного устойчивого равновесия, когда на выходе может быть напряжение, близкое к нулю или близкое к напряжению питания (зависит от схемы). Переход из устойчивого равновесия в состояние квазиравновесия происходит только под действием запускающих импульсов. В течение времени состояния квазиравновесия выходное напряжение меняет своё значение, т.е. происходит генерация импульса. По истечении определённого времени схема самопроизвольно возвращается опять к состоянию устойчивого равновесия.

В автоколебательном режиме работы в схеме нет состояния устойчивого равновесия, но зато существуют два чередующихся состояния квазиравновесия. Период автоколебаний определяется параметрами релаксатора.

При синхронизации сам мультивибратор работает в автоколебательном режиме. Но дополнительно на схему поступают ещё внешние запускающие импульсы, что заставляет принудительно изменять момент чередования состояний квазиравновесия по отношению работы схемы в автономном режиме. Если период внешних импульсов несколько меньше, чем период импульсов в автономном режиме, то частота мультивибратора будет синхронна внешним. Если наоборот, то частота выходных импульсов становится кратной частоте внешних запускающих импульсов.

1.2. Мультивибраторы с коллекторно–базовыми связями в ждущем режиме

Простейшая схема ждущего мультивибратора изображена на рис. 1.1. Она образована на двух биполярных транзисторах VT_1, VT_2 , базы которых присоединены к коллекторам взаимно противоположных транзисторов через связи, одна из которых резистивно–емкостная ($R_{\delta 1}, C_1$), вторая емкостная (C_2). Эти цепи реализуют в схеме положительную обратную связь в момент смены одного состояния мультивибратора на второе.

Рассмотрим длительно устойчивое состояние равновесия схемы. В этом режиме на транзистор VT_2 через резистор $R_{\delta 2}$ поступает открывающий базовый ток. Величины резисторов $R_{\delta 2}$ и $R_{\kappa 2}$ выбираются так, чтобы транзистор VT_2 находился в насыщенном состоянии (в первом приближении можно принять, что ключи $K_{\delta 2}$ и $K_{\kappa 2}$, показанные на рис. 1.1 штриховыми линиями, замкнуты).

Транзистор VT_1 закрыт частью положительного напряжения, полученного делением запирающего напряжения источника смещения $E_{см}$ делителем $R_1 R_{\delta 1}$ (в первом приближении принимаем, что ключи $K_{\delta 1}$ и $K_{\kappa 1}$ разомкнуты). Конденсатор C_2 через резистор $R_{\kappa 1}$ и ключ $K_{\delta 2}$ заряжен до величины E_0 , причём на обкладке конденсатора, подключенной к коллектору VT_1 , будет минусовая полярность. Так как VT_1 закрыт (ключ $K_{\kappa 1}$ разомкнут), то напряжение конденсатора C_2 не оказывает никакого влияния на работу транзистора VT_2 , хотя одна его обкладка с положительной полярностью напряжения постоянно подключена к базе VT_2 . Ускоряющий конденсатор C_1 довольно малой величины за счёт делителя $R_1 R_{\delta 1}$ заряжен частью напряжения $E_{см}$. В данном состоянии ждущий мультивибратор может находиться сколь угодно долго – до прихода запускающего импульса.

С приходом импульса начинается процесс опрокидывания. Этот процесс включает в себя несколько этапов. Если использовать запуск схемы мультивибратора от генератора $E_{зан 2}$, импульсы которого открывают транзистор VT_1 , то различают следующие этапы:

1. Этап подготовки, на котором за счёт запускающего импульса уменьшается запирающее напряжение на базе VT_1 до уровня, соответствующего отпиранию транзистора (VT_1 будет находиться на границе активной зоны).

2. Этап рассасывания относится к транзистору VT_2 . На этом этапе транзистор VT_1 работает в активном режиме, его коллекторный ток увеличивается, напряжение на коллекторе уменьшается по абсолютной величине (приближается к нулю). Приращение напряжения через конденсатор C_2 поступает на базу VT_2 и способствует рассасыванию неосновных носителей из его базы. Коллекторный ток транзистора VT_2 на этапе рассасывания не изменяется, также не изменяется

напряжение на его коллекторе. В конце этапа транзистор будет находиться на границе активной зоны.

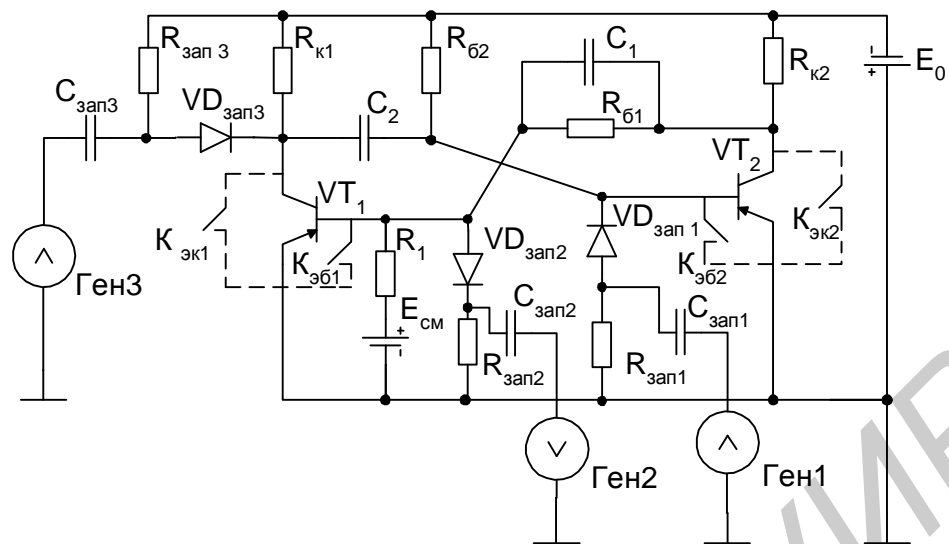
3. Этап регенерации, в течение которого оба транзистора работают в активном режиме. На этом этапе действует глубокая положительная связь: увеличение коллекторного тока V_{T_1} приводит к положительному приращению напряжения на его коллекторе; этот скачок коллекторного напряжения, передаваясь через конденсатор C_2 на базу V_{T_2} , вызывает запираание данного транзистора и уменьшение коллекторного тока; напряжение на коллекторе V_{T_2} по абсолютной величине повышается (приближается к $-E_0$), получая отрицательное приращение. Передаваясь через цепь R_{e_1} на базу V_{T_1} , это приращение напряжения приводит к дальнейшему отпираанию транзистора V_{T_1} и увеличению его коллекторного тока. Процесс переключения идёт лавинно, занимает малое время (десятые доли микросекунд) и завершается насыщением V_{T_1} и запираанием V_{T_2} . На этом этапе исходный запускающий импульс уже может отсутствовать, но его наличие обязательно на первых двух этапах: подготовки и рассасывания.

4. После завершения процесса переключения мультивибратор переходит в квазиустойчивое состояние равновесия. В этом режиме транзистор V_{T_1} насыщен (контакты $K_{эб1}$ и $K_{эк2}$ замкнуты). За время пребывания схемы в квазиустойчивом состоянии равновесия происходят следующие два главных процесса.

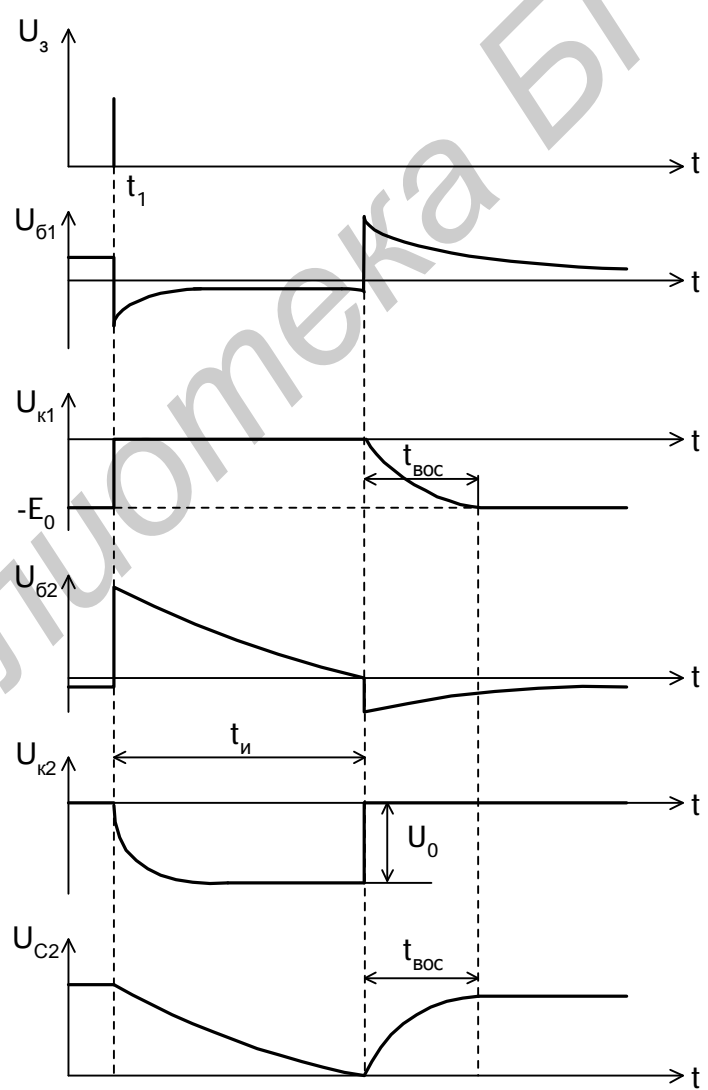
Первый из них – сравнительно быстрый процесс перезарядки конденсатора C_2 от источника $-E_0$ через резистор $R_{к2}$, контакт $K_{эб1}$ с постоянной

$$t = C_1 \cdot R_{к2}.$$

Второй процесс, занимающий более длительное время, чем первый, связан с перезарядкой конденсатора C_2 . За короткое время переключения транзисторов его напряжение не успевает существенно измениться. Левая обкладка C_2 через участок коллектор–эмиттер насыщенного транзистора V_{T_1} (замкнутый ключ $K_{эк1}$) связана теперь с плюсом E_0 и с эмиттером транзистора V_{T_2} . И пока на этой обкладке C_2 будет минусовой потенциал, то V_{T_2} будет закрыт. Напряжение на C_2 (правая обкладка) изменяется по экспоненциальному закону от напряжения $+E_0$ к напряжению $-E_0$ по цепи: земля, коллектор–эмиттер V_{T_1} , левая обкладка C_2 , правая обкладка C_2 , резистор $R_{б2}$, источник $-E_0$. И когда напряжение на конденсаторе C_2 перейдёт нулевой уровень и станет немного отрицательным, транзистор V_{T_2} отпирается, а V_{T_1} закрывается с протеканием этапов подготовки, рассасывания и регенерации. Этим процессом завершается формирование длительности выходного импульса. Таким образом, процесс перезарядки конденсатора C_2 (фактически разрядка до нулевого потенциала) является основным процессом в схеме во время квазиустойчивого состояния равновесия. Длительность выходного импульса t_u прямо пропорциональна C_2



а



б

Рис. 1.1. Ждущий мультивибратор:
а – схема; б – графики

и $R_{\sigma 2}$. Поэтому указанные элементы схемы часто называют времязадающими или хронизирующими, а продолжительность сформированного импульса оценивается как

$$t_u \approx 0,7 \cdot R_{\sigma 2} \cdot C_1.$$

В результате вышеописанных процессов мультивибратор лавинно возвращается из состояния квазиравновесия в состояние устойчивого равновесия, когда транзистор VT_2 находится в режиме насыщения, а транзистор VT_1 заперт.

5. После завершения переключения транзисторов в исходное начальное положение в схеме протекают следующие два процесса.

Первый из них – сравнительно быстрая перезарядка ускоряющего конденсатора C_1 . За время релаксации и действия положительной обратной связи он зарядился до напряжения, близкого к величине E_0 (минус на правой обкладке C_1 , плюс на левой). Через малое сопротивление коллектор–эмиттер насыщенного VT_2 этот конденсатор связан с «землёй» схемы и эмиттером VT_1 . Поэтому на базе VT_1 создаётся большой положительный скачок напряжения. Конденсатор C_1 начинает перезарядаться через две параллельные цепи: одна – это $R_{\sigma 1}$, вторая – переход коллектор–эмиттер VT_2 , E_{cm} , R_1 . В результате на C_1 устанавливается первоначальное исходное напряжение.

Второй процесс – это зарядки конденсатора C_2 . Конденсатор C_2 к концу формирования импульса разрядился практически до нуля. После переключения транзисторов в исходное состояние разряженный C_2 начинает заряжаться от источника $-E_0$ через замкнутый контакт $K_{\sigma 2}$. Постоянная времени этой цепи $t = C_2 \cdot R_{k1}$. Процесс восстановления напряжения на C_2 является основным на данном этапе (наиболее продолжительным) и имеет длительность

$$t_{восст} \approx (3-5)t = (3-5)C_2 \cdot R_{k1},$$

называемую временем восстановления, весь этот этап называется этапом восстановления.

С процессом восстановления напряжения на C_2 связаны следующие изменения напряжений в схеме:

а) экспоненциальное изменение напряжения на коллекторе транзистора VT_1 . Конденсатор C_2 своей правой обкладкой через замкнутый контакт $K_{\sigma 2}$ связан с эмиттером транзистора VT_1 , т.е. конденсатор подключен параллельно закрытому транзистору. Поэтому напряжение $U_{кэ1}$ повторяет по форме напряжение на конденсаторе;

б) отрицательный выброс на базе VT_2 . Из-за неидеальности транзистора имеется хотя и малое, но конечное значение входного сопротивления $r_{\sigma 2}$. Базовый ток VT_2 теперь создаётся суммой токов, протекающих через $R_{\sigma 2}$ и через конденсатор C_2 . В начале процесса восстановления ток заряда велик (близок к E_0/R_{k1}). Поэтому даже на малом входном сопротивлении r_{ex} открытого VT_2 создаётся ощутимый скачок напряжения отрицательной полярности. Затем по

мере зарядки C_2 и уменьшения тока зарядки напряжение на базе VT_2 принимает установившийся уровень, определяемый величиной R_{62} .

После завершения этапа восстановления все токи и напряжения в схеме принимают исходные, установившиеся значения. Мультивибратор готов к повторному запуску. Если запускающий импульс подан до завершения процесса восстановления, то мультивибратор либо вовсе не запустится из-за роста порога срабатывания (переходный процесс в конденсаторах C_1 , C_2 и соответственно базах VT_1 и VT_2), либо сработает, но выработает импульс меньшей, чем при первом запуске, длительности. Это связано с тем, что C_2 не успевает зарядиться до исходной величины E_0 .

Если осуществлять запуск схемы от генератора $E_{зан1}$, импульсы которого закрывают транзистор VT_2 , то при опрокидывании мультивибратора в состояние квазиустойчивого равновесия первым будет этап рассасывания, вторым – этап подготовки. Это связано с тем, что за счёт внешнего генератора будет происходить запирающее насыщение транзистора VT_2 , а лишь затем за счёт положительной обратной связи открывание VT_1 .

В общем случае в зависимости от места подключения источников запускающих импульсов, от мощности источников, от режимов работы транзисторов некоторые этапы в реальных схемах мультивибраторов 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.

Запуск ждущего мультивибратора осуществляется за счет внешних источников. Их возможные схемы подключения приведены на рис. 1.1. Во всех случаях для нормальной работы схемы цепи запуска должны обязательно обеспечивать воздействие этих 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 мультивибратора 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 мультивибраторе, не нарушала условий отсечки и насыщения транзисторов. Развётка по переменной составляющей напряжений и токов необходима для того, чтобы цепь запуска не создавала дополнительной нагрузки на мультивибратор во время формирования скачков напряжения при переключении, не нарушала условия лавинных процессов переключения и обеспечивала требуемую длительность выходного импульса.

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–емкостная цепь запуска, изображенная на рис. 1.1, является компромиссной с точки зрения качества развязки и сложности. Ёмкость $C_{зан}$ обеспечивает развязку мультивибратора с генератором запускающих импульсов по постоянному току. Диод $VD_{зан}$ осуществляет развязку по переменной составляющей, так как при длительных импульсах запуска на выходе конденсатора $C_{зан}$ будут образовываться короткие импульсы различной полярности (выходные импульсы дифференцирующей цепи). Один из них может осуществлять необходимое переключение мультивибратора, другой – ложное, когда схема будет находиться в состоянии квазистойчивого равновесия. Резистор $R_{зан}$ обеспечивает в основном полный разряд емкости $C_{зан}$, 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 $R_{зан}$ в цепи коллекторного запуска. В исходном состоянии транзистор VT_1 заперт. На его коллекторе установится напряжение, близкое к E_0 . Величина E_0 через резистор $R_{зан}$ будет подаваться и на анод диода $VD_{зан}$. Таким образом, этот диод будет находиться в нейтральном состоянии. Запускающий импульс, амплитуда которого превысит напряжение открывания диода, через емкость $C_{зан}$ поступает на коллектор VT_1 . В дальнейшем этот положительный перепад напряжения через емкость C_2 передаётся на базу VT_2 , вызывает выход последнего из режима насыщения и опрокидывание схемы в другое состояние. После насыщения VT_1 напряжение на его коллекторе уменьшится почти до нуля и диод $VD_{зан}$ в режиме квазистойчивого равновесия будет заперт практически всем напряжением питания, обеспечивая отключение генератора запуска, если амплитуда запускающих импульсов меньше величины E_0 . И все остальные импульсы в этом режиме работы схемы будут отсекаются диодом. Это существенное отличие коллекторного способа запуска по сравнению с базовыми, где такой эффект отсутствует.

Недостаток коллекторного способа запуска заключается в возможном изменении длительности генерируемых мультивибратором импульсов. Запускающий импульс поступает на базу транзистора VT_2 через времязадающий конденсатор C_2 и изменяет его заряд. Поэтому этот способ применяют при большой длительности генерируемых импульсов, когда это небольшое изменение заряда конденсатора C_2 незначительно окажет влияние на длительность выходного импульса. Кроме того, с использованием в цепях запуска конденсатора C_2 для обеспечения более быстрого рассасывания неосновных носителей в базе VT_2 и запуска схемы приходится дополнительно увеличивать амплитуду запускающих импульсов.

Два способа запуска по базовым цепям имеют много общего. Но схема запуска положительным импульсом, закрывающим насыщенный транзистор VT_2 , имеет некоторые преимущества:

1. Меньшая энергия запускающих импульсов, так как после выхода VT_2 в отсечку генератор запуска будет работать на большее входное сопротивление транзистора. В другой схеме генератор запуска работает на протяжении всего запускающего импульса и особенно большой расход энергии будет тогда, когда VT_1 откроется.

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

Основное назначение ждущего мультивибратора – это формирование выходного импульса определенной длительности t_u . Базовая схема рис. 1.1 дает более прямоугольный импульс на базе транзистора VT_2 , чем на коллекторе VT_1 (см. этап восстановления).

Мультивибратор в этом режиме работы используют и для других технических задач: деления импульсов запуска, временной задержки поступающих импульсов на вход схемы на время t_u и др.

На рис. 1.2 изображены процессы деления частоты импульсов посредством схемы ждущего мультивибратора, причем запуск может быть как базовым, так и коллекторным.

Здесь используется тот эффект, что когда схема находится в квазиустойчивом состоянии, поступление очередных закрывающих импульсов на базу временно закрытого транзистора VT_2 или открывающих на базу временно открытого VT_1 не изменит их состояния. При коллекторном запуске в квазиустойчивом состоянии $VD_{зан}$ закрыт и отсекает (не пропускает) на вход схемы все поступающие импульсы запуска. Из графиков рис. 1.2 следует, что длительность импульсов, генерируемых мультивибратором, выбирается большей по сравнению с временным интервалом между запускающими импульсами. Поэтому, например, запускающие импульсы, поступающие в моменты t_2, t_3 , не нарушают режим генерирования импульса мультивибратором. Но к моменту t_4 транзисторы будут опять находиться в первоначальном состоянии, что приводит схему снова в квазиустойчивое состояние равновесия. Графики рис. 1.2 показывают, что частота следования импульсов на выходе мультивибратора в три раза ниже по сравнению с частотой задающих импульсов, и коэффициент деления частоты равен трём. В принципе может быть подобран любой другой коэффициент деления частоты, но временной интервал между запускающими импульсами должен обязательно быть больше времени восстановления $t_{восс}$. Временная задержка импульсов может быть реализована на базе структурной схемы рис. 1.3, если выходной сигнал брать с коллектора транзистора VT_2 .

Дифференцирующая цепь выделяет фронт и спад импульса, а диод реали-

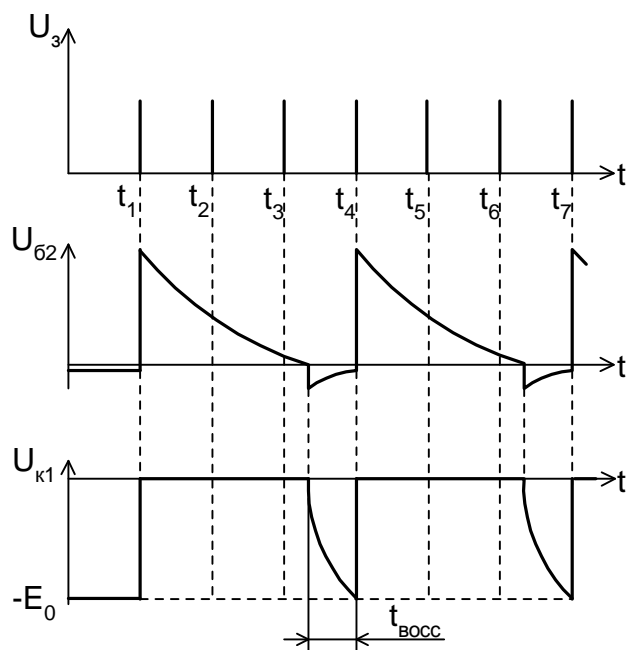


Рис. 1.2. Графики, иллюстрирующие процессы деления частоты

зует развязку по переменному току, т.е. пропускает на выход только положительный импульс, задержанный относительно момента прихода запускающего импульса на величину $t_{зад} = t_u$.

Если же выходной сигнал снимать с коллектора VT_1 , то можно получить задержанный импульс другой отрицательной полярности. При этом следует учитывать экспоненциальный характер спада сформированного выходного импульса.

Базовая схема ждущего мультивибратора обладает рядом недостатков. К числу таких недостатков относятся: значительное время восстановления; большая длительность среза импульса напряжения на коллекторе VT_1 ; неодинаковые длительности выходных импульсов, снимаемых с коллекторов транзисторов VT_1 и VT_2 ; использование двух разнополярных источников напряжения питания, проблемы регулировки t_u . Имеется много других схем, в которых в той или другой мере могут устраняться указанные недостатки.

Анализ работы схемы рис. 1.1 показывает, что длительность выходного импульса зависит от величин времязадающих элементов R_{62} и C_2 ; начального исходного напряжения на конденсаторе C_2 ; начального скачка напряжения на базе VT_2 при формировании импульса; предельного уровня напряжения, к которому стремится напряжение на конденсаторе C_2 при его разряде. Изменение любого из этих параметров приводит к изменению длительности импульса. На практике желательно, чтобы в процессе регулировки не менялся режим транзисторов по постоянному току в длительно устойчивом состоянии равновесия мультивибратора. По этой причине, например, простейшая регулировка путём изменения R_{62} имеет ограниченные возможности. При большом R_{62} транзистор VT_2 может оказаться ненасыщенным, при малом – степень насыщения транзис-

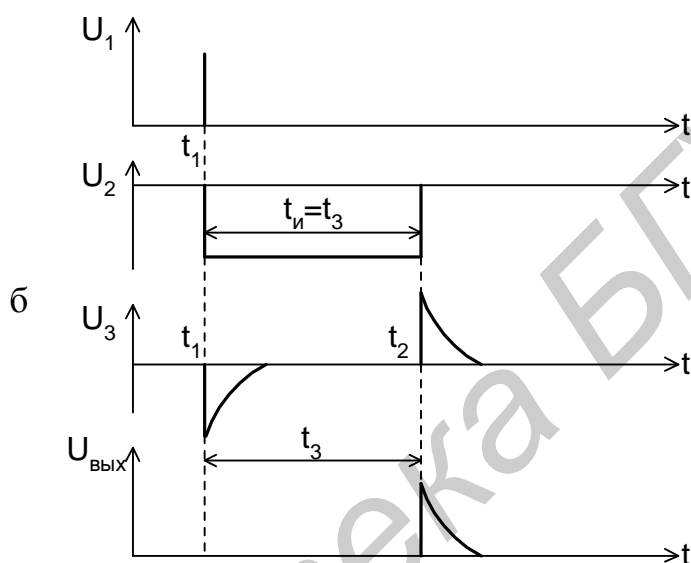
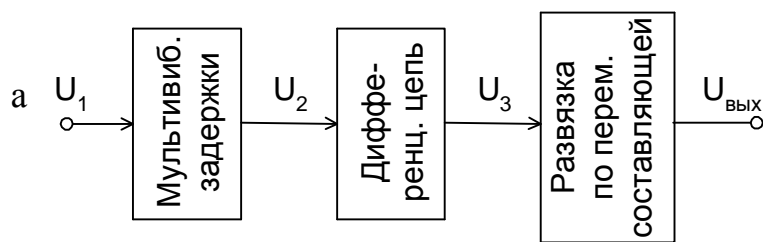


Рис. 1.3. Задержка импульсов:
а – схема; б – графики

тора VT_2 будет слишком большой, что приведёт к увеличению времени расасывания и задержки включения мультивибратора, росту пороговой амплитуды запускающих импульсов или увеличению базового тока до недопустимо больших значений и выхода транзистора из строя. Режим ждущего мультивибратора по постоянному току не изменяется при изменении ёмкости C_2 . Однако изменение ёмкости (путём регулировки или переключения) в отличие от изменения величины резистора связано с усложнением конструкции устройства. Кроме того, увеличение длительности выходного импульса при увеличении C_2 приводит к возрастанию времени восстановления схемы, что не всегда желательно.

На рис. 1.4 приведена модификация базовой схемы ждущего мультивибратора с улучшенной ручной регулировкой длительности выходного импульса. Схема ждущего мультивибратора, изображённая на рис. 1.4, наиболее просто разрешает все перечисленные проблемы. В основу регулировки здесь положено изменение начального скачка запирающего напряжения на базе VT_2 при формировании выходного импульса.

Независимо от положения движка потенциометра $R_{к1}$ конденсатор C_2 в ис-

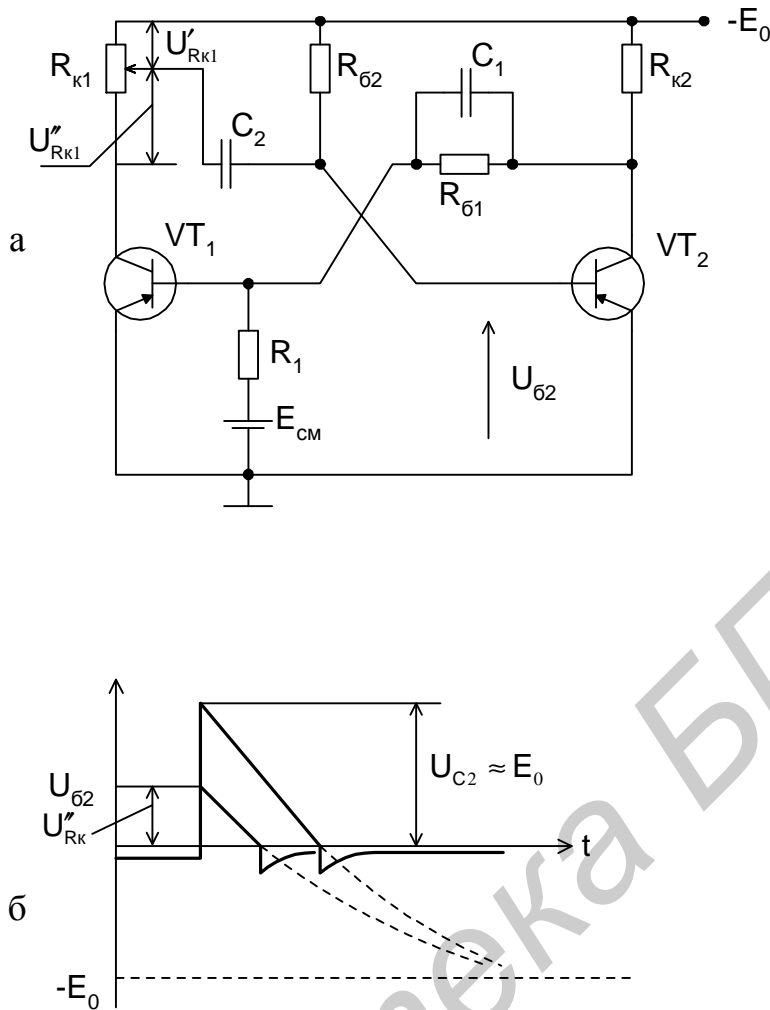


Рис. 1.4. Регулировка длительности генерируемого импульса:
а – схема; б – графики

ходном состоянии и в процессе восстановления заряжается через сопротивление участка потенциометра между движком и верхним выводом $r_{к1}$ до напряжения питания. В момент запуска мультивибратора и переключения транзисторов через VT₁ будет протекать ток перезаряда конденсатора C₂ по цепи: земля, транзистор VT₁, нижняя часть потенциометра с сопротивлением $r_{к2}$, левая обкладка C₂, правая обкладка C₂, резистор R₆₂, источник -E₀. Постоянная времени этой цепи

$$t_1 = (r_{к2} + R_{62}) \cdot C_2.$$

В результате этого на конденсаторе C₂ будет процесс установки напряжения питания E₀ с плюсом на его левой обкладке. Также через насыщенный транзистор VT₁ и резистор R_{к1} будет протекать соответствующий коллекторный ток, и на участке потенциометра с сопротивлением $r_{к2}$ будет падение напряжения

$$U_1 = I_{к1} \cdot r_{к2}$$

с минусом на движке потенциометра. По этой причине в цепи разряда конденсатора оказывается дополнительный и встречно включенный источник напряжения амплитудой U_1 . На базе VT_2 в отличие от базовой схемы рис. 1.1 уже будет меньшее запирающее напряжение

$$U_{c0} = U_{c0} - U_1 \approx E_0 - U_1.$$

С перемещением движка потенциометра вверх напряжение U_{c0} будет меньше, и потребуются меньшее время достижения этим напряжением нулевого значения при экспоненциальном законе убывания.

В схеме рис. 1.4 имеется ещё и вторая параллельная цепь перезарядки C_2 с постоянной времени

$$t_2 = (r_{к1} + R_{c2}) \cdot C_2.$$

По этой цепи конденсатор C_2 будет стремиться к величине

$$U_2 = I_{к1} \cdot r_{к1}$$

так же, как и в первой цепи перезарядки с плюсовым потенциалом на обкладке, подключённой к движку потенциометра. При перемещении его движка вверх эта составляющая разрядного тока будет увеличиваться, что ещё дополнительно способствует скорейшей перезарядке конденсатора C_2 и соответственно уменьшению длительности генерируемого импульса.

1.3. Ждущий мультивибратор с эмиттерной связью

На рис. 1.5 приведена схема ждущего мультивибратора с эмиттерной связью между транзисторами VT_1 и VT_2 , возникающей на общем эмиттерном резисторе R_3 , в которой в отличие от базовой схемы используется один источник питания.

Цепь запуска – ёмкостная без развязки по переменной составляющей и осуществляется по базовым цепям.

В исходном состоянии устойчивого равновесия транзистор VT_2 открыт и насыщен, так как посредством резисторов R_{c2} и R_3 от источника поступает достаточный открывающий базовый ток. Вследствие этого по цепи $R_{к2}$, коллектор–эмиттер насыщенного VT_2 , R_3 протекает коллекторный ток $I_{к2}$, и на резисторе R_3 суммой базового и коллекторного токов вырабатывается напряжение U_3 . Транзистор VT_1 заперт, хотя посредством делителя R_1R_2 на базу подаётся некоторый отрицательный потенциал. Но напряжение на базовом электроде VT_1 выбирается меньшим (по абсолютной величине) по отношению к эмиттерному напряжению U_3 , что создаёт запирающее напряжение на переходе база–эмиттер.

Конденсатор C_2 через резистор $R_{к1}$, открытый переход база–эмиттер VT_2 , резистор R_3 заряжен до напряжения

$$U_{c0} = E_0 - U_3$$

и не оказывает влияния на работу VT_2 , как и в рассмотренной базовой схеме рис. 1.1.

Запускающий импульс отрицательной полярности, амплитуда которого больше напряжения U_3 , откроет транзистор VT_1 . В схеме будут происходить стандартные этапы подготовки и рассасывания. Только этап регенерации имеет

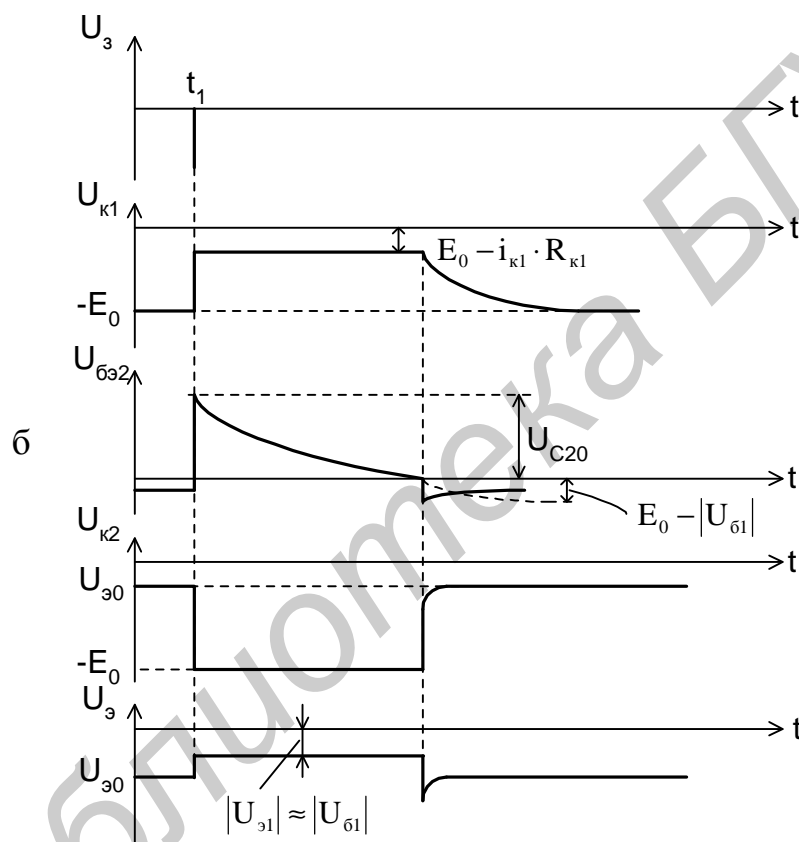
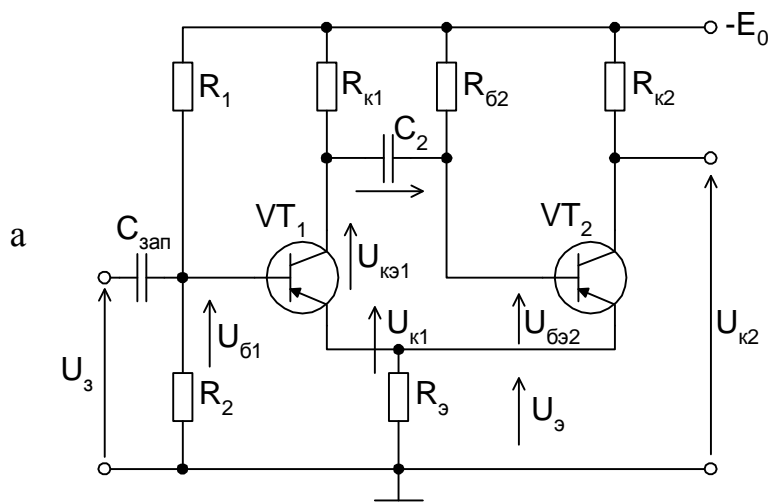


Рис. 1.5. Мультивибратор с эмиттерной связью:
а – схема; б – графики

некоторые особенности от рассмотренного выше из-за специфической особенности цепи обратной положительной связи.

Отпирание транзистора VT_1 приводит к понижению напряжения (по абсолютной величине) на его коллекторе. Этот положительный перепад напряжения через конденсатор C_2 передаётся на базу VT_2 , в результате чего происходит уменьшение коллекторного тока $I_{к2}$, что в свою очередь вызывает уменьшение напряжения на R_3 , т.е. на эмиттерах обоих транзисторов. Уменьшение закры-

вающего напряжения U_3 , приводит к дальнейшему открыванию VT_1 . Этот процесс переключения развивается лавинообразно.

Следует отметить, что через резистор R_3 протекают два тока – I_{k1} и I_{k2} , из которых первый увеличивается, а второй уменьшается. Уменьшающийся ток создаёт положительную обратную связь, способствующую переключению транзисторов. Увеличивающийся ток I_{k1} создаёт отрицательную обратную связь, препятствующую этому, как бы стремится поддержать постоянство напряжения U_3 .

Как будет показано ниже, для устойчивой работы схемы приходится выполнять соотношение $R_{k1} > R_{k2}$. Соответственно максимальное значение напряжения на R_3 от тока I_{k1} будет меньше, чем от тока I_{k2} , и выполняется неравенство $I_{k1} \cdot R_3 < I_{k2} \cdot R_3$. В силу этого при переключении транзисторов переходный процесс напряжения на R_3 должен стремиться к меньшему значению. Итак, из-за неравенства токов I_{k1} и I_{k2} уменьшение большего выполняет главную роль, т.е. в схеме преобладает положительная обратная связь.

После переключения транзисторов напряжение конденсатора C_2 через открытый переход коллектор–эмиттер VT_1 удерживает транзистор VT_2 в закрытом состоянии. В то же время конденсатор перезаряжается от источника питания по цепи: $-E_0, R_{62}, C_2$, переход коллектор–эмиттер $VT_1, R_3, +E_0$, и все процессы происходят аналогично базовой схеме ждущего мультивибратора.

На этапе регенерации присутствие запускающего импульса уже не обязательно. Но на стадии формирования импульса, когда короткий запускающий импульс прекращает своё открывающее воздействие на транзистор VT_1 , необходимо поддерживать последний в насыщенном состоянии. Это действие реализуется за счёт делителя R_1, R_2 , с выхода которого на базу поступает необходимый ток. Величина базового напряжения выбрана меньше чем

$$U_3 = I_{k2} \cdot R_3,$$

и соответственно ток I_{b1} будет меньше I_{b2} . А для того чтобы VT_1 также находился в насыщенном состоянии, но при меньшем базовом токе, необходимо уменьшать ток I_{k1} по сравнению с I_{k2} за счёт выполнения неравенства $R_{k1} > R_{k2}$.

Основной недостаток схемы ждущего мультивибратора с эмиттерной связью в том, что выходное напряжение U_{k2} изменяется не от нуля из-за присутствия ненулевого напряжения U_3 .

1.4. Ждущий мультивибратор с конденсатором в эмиттерной цепи

Схема ждущего мультивибратора с конденсатором в эмиттерной цепи изображена на рис. 1.6. В исходном состоянии устойчивого равновесия транзистор VT_1 заперт за счёт напряжения E_{cm} , включенного в эмиттерную цепь. Через резисторы R_{k1} и R_{32} от источника питания E_0 в базу транзистора VT_2 поступает открывающий ток. Транзистор открыт и работает в активной области, близкой к режиму насыщения из-за включения нагрузочного резистора R_{32} в эмиттер-

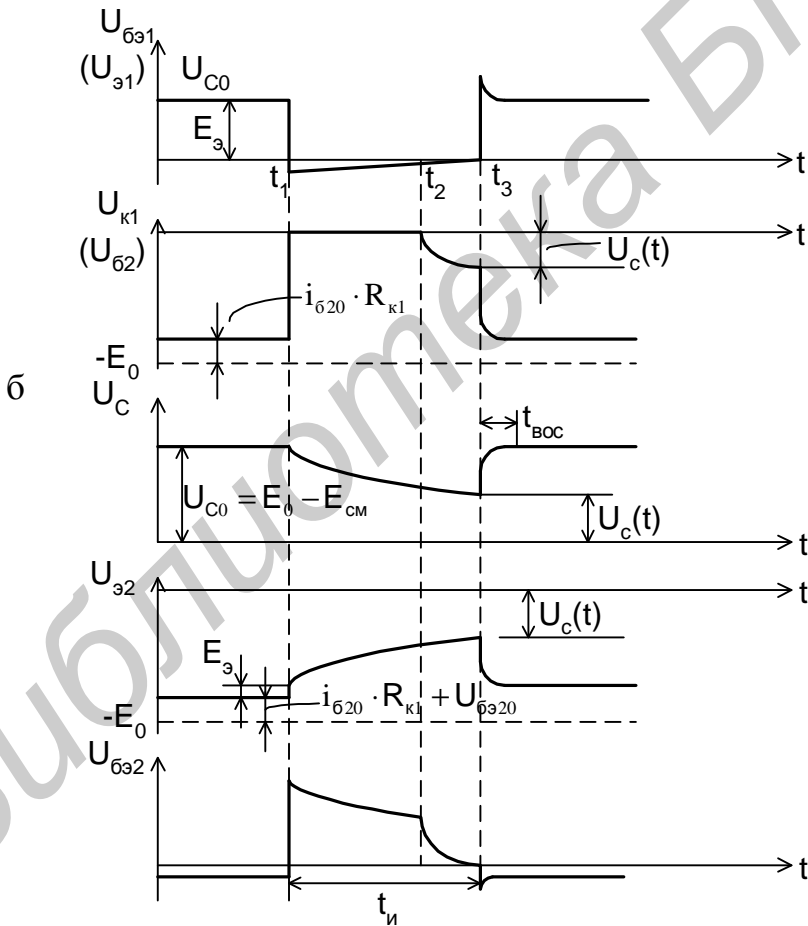
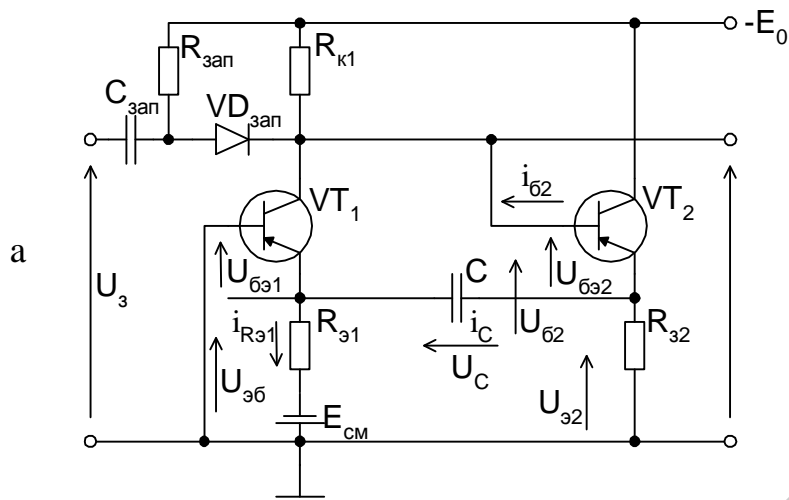


Рис. 1.6. Мультивибратор с конденсатором в эмиттерной цепи:
а – схема; б – графики процессов

ную цепь (схема эмиттерного повторителя).

Так как VT_2 работает в режиме эмиттерного повторителя, то

$$U_{c0} = E_0 - E_{cm},$$

причём на левой обкладке, подключённой к эмиттеру VT_1 , будет положительный потенциал. Этот зарядный ток конденсатора на резисторе $R_{\beta 1}$ создаёт напряжение, которое ещё больше удерживает транзистор VT_1 в закрытом состоянии. Когда конденсатор зарядится до постоянного значения U_{c0} , то разрывается гальваническая связь между эмиттерами транзисторов, и схема будет находиться в устойчивом состоянии до прихода запускающего импульса.

Этот вариант схемы ждущего мультивибратора по отношению к ранее рассмотренным имеет преимущество в уменьшенном времени восстановления, так как заряд конденсатора C происходит не через резистор $R_{\kappa 1}$, а с использованием относительно малой величины резистора $R_{\beta 1}$. Эта особенность может быть выгодна, если требуется генерация большой величины $t_{и}$ и приходится использовать большую величину времязадающей ёмкости C .

Второе достоинство схемы – это отсутствие этапа рассасывания неосновных носителей в базе транзистора VT_2 , так как он работает в активной области, и схема обладает лучшим быстродействием.

В момент прихода запускающего импульса положительной полярности (на графиках не показан) транзистор VT_2 закрывается, происходит скачкообразный переход схемы из состояния устойчивого равновесия к состоянию квазиравновесия с протеканием этапов подготовки и регенерации.

На этапе регенерации положительный перепад напряжения на коллекторе транзистора VT_1 через переход база–эмиттер VT_2 и конденсатор C поступает на эмиттер VT_1 . Это способствует более быстрому открыванию VT_1 . Таким образом, при помощи этой цепи осуществляется положительная обратная связь. После закрытия транзистора VT_2 и открытия VT_1 начинается этап квазиравновесия, и формируется выходной импульс. Транзистор VT_2 разрывает связь постоянного источника питания E_0 с резистором $R_{\beta 2}$, и конденсатор C через резисторы $R_{\beta 2}$ и $R_{\beta 1}$ начинает перезаряжаться до значения $U_c = E_{cm} + I_{\kappa 1} \cdot R_{\beta 1}$. За счёт этого конденсаторного тока на участке цепи E_{cm} , $R_{\beta 1}$ будет поддерживаться открывающее напряжение на переходе база–эмиттер VT_1 . Существует и вторая цепь разряда конденсатора: $R_{\beta 2}$, переход база–эмиттер VT_1 . И этот ток конденсатора поддерживает транзистор VT_1 в насыщенном состоянии.

Некоторая особенность (недостаток) в формировании выходного импульса проявляется в момент t_2 и объясняется тем, что по мере убывания напряжения на переходе эмиттер–база транзистора VT_1 последний переходит из состояния насыщения в активную область, сопротивление транзистора VT_1 возрастает, задерживая момент переключения. К моменту t_3 транзистор VT_1 закрывается полностью, и схема скачкообразно переходит к устойчивому состоянию с протеканием этапов подготовки, регенерации и восстановления. Здесь этап рассасывания тоже отсутствует, так как перед началом скачка транзистор VT_1 находится в активной области. Таким образом, как первый, так и второй скачок протекают быстро, что выделяет эту схему среди других.

1.5. Автоколебательные мультивибраторы

Автоколебательные мультивибраторы используют в качестве генераторов прямоугольных импульсов с заданной длительностью и частотой повторения в тех случаях, когда нет жёстких требований к стабильности этих параметров. Они относятся к классу астабильных генераторов, не имеющих длительно устойчивых состояний равновесия.

Два варианта автоколебательных мультивибраторов показаны на рис. 1.7 и рис. 1.8. Схема рис. 1.7 образуется из схемы ждущего мультивибратора (см. рис. 1.1) путём отказа от источника смещения и замены резисторно–емкостной связи на емкостную связь C_1 .

В этом случае в схеме уже не может существовать состояние устойчивого равновесия, так как обе емкостные связи вынуждают следовать друг за другом чередующиеся состояния квазиравновесия. Мультивибратор действует в режиме постоянного генерирования последовательности прямоугольных импульсов. Каждое состояние квазиравновесия иллюстрируется такими же графиками, как и на рис. 1.1,б, но так как состояния квазиравновесия чередуются, то они изображаются в виде последовательности графиков вида, показанного на рис. 1.1, на временной оси. Пример такой последовательности приведён на рис. 1.7. Отличительной особенностью графиков рис. 1.7,б является то обстоятельство, что длительность генерируемых импульсов по коллекторным выходам транзисторов VT_1 и VT_2 различна. Объясняется это разными величинами емкостей C_1 и C_2 . Принято говорить, что схема мультивибратора в этом случае несимметрична, в отличие от симметричной схемы, когда величины емкостей C_1 и C_2 и резисторов R_1 , R_2 равны, а на выходах транзисторов генерируются импульсы равной длительности типа «меандр».

Недостаток схемы рис. 1.7,а состоит в том, что из–за наличия режима восстановления, т. е. заряда конденсаторов C_1 и C_2 , форма импульсов на выходе непрямоугольна. Этот недостаток устранён в схеме рис. 1.8 установкой отсекающих диодов VD_3 , VD_4 и резисторов R_3 , R_4 . Отсекающие цепочки действуют следующим образом.

При закрытии ранее открытого транзистора, например, VT_1 , напряжение на коллекторе его должно скачком устремиться к напряжению E_0 . В схеме рис. 1.7,а это было невозможно из–за наличия заряда конденсатора C_2 (этап восстановления). Иначе протекают процессы в схеме рис. 1.8,а. При закрытии транзистора VT_1 возрастающее на его коллекторном электроде напряжение минусовой полярностью закрывает отсекающий диод VD_1 , отключая коллекторный электрод от конденсатора C_2 . Поэтому фронт напряжения получается практически прямоугольным, а заряд конденсатора C_2 (этап восстановления) происходит через резистор R_3 . Схема мультивибратора рис.1.8,а также несимметрична, о чём свидетельствуют графики рис. 1.8,б.

Отсекающие диоды можно устанавливать и в схемы ждущих мультивибра-

торов, рассмотренных ранее, при этом они включаются только лишь в емкостную связь, совершенно аналогично автоколебательным мультивибраторам. В этом случае генерируемые на выходе импульсы будут прямоугольными.

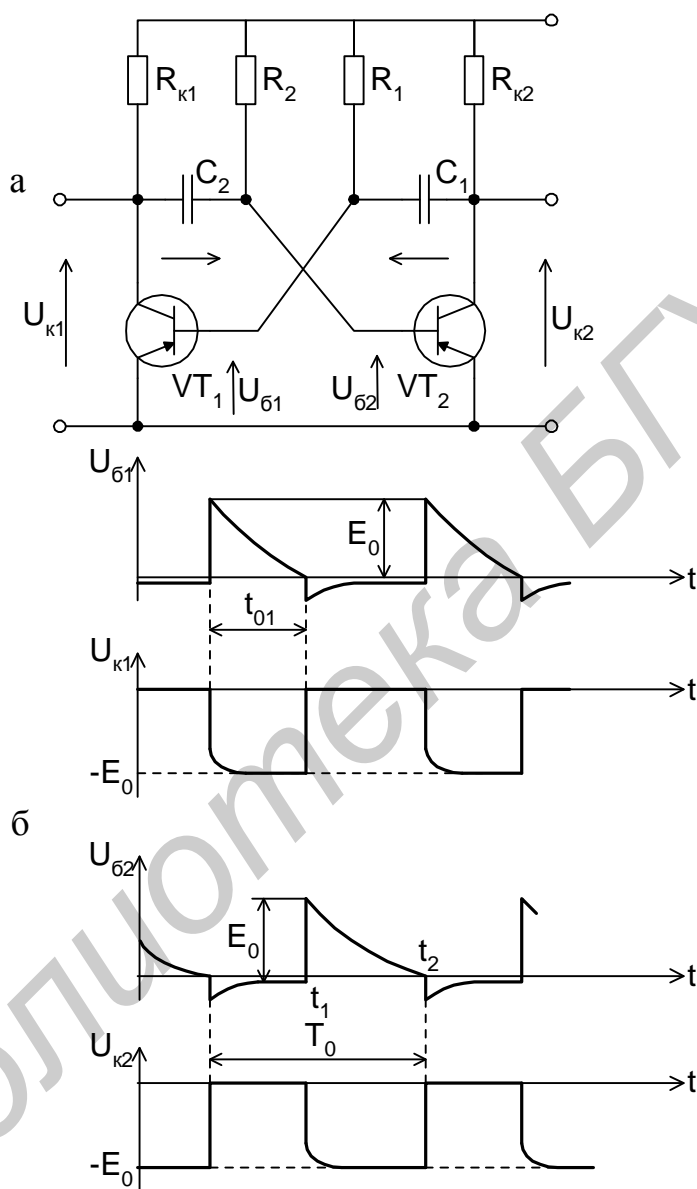


Рис. 1.7. Автоколебательный мультивибратор:
а – схема; б – графики процессов

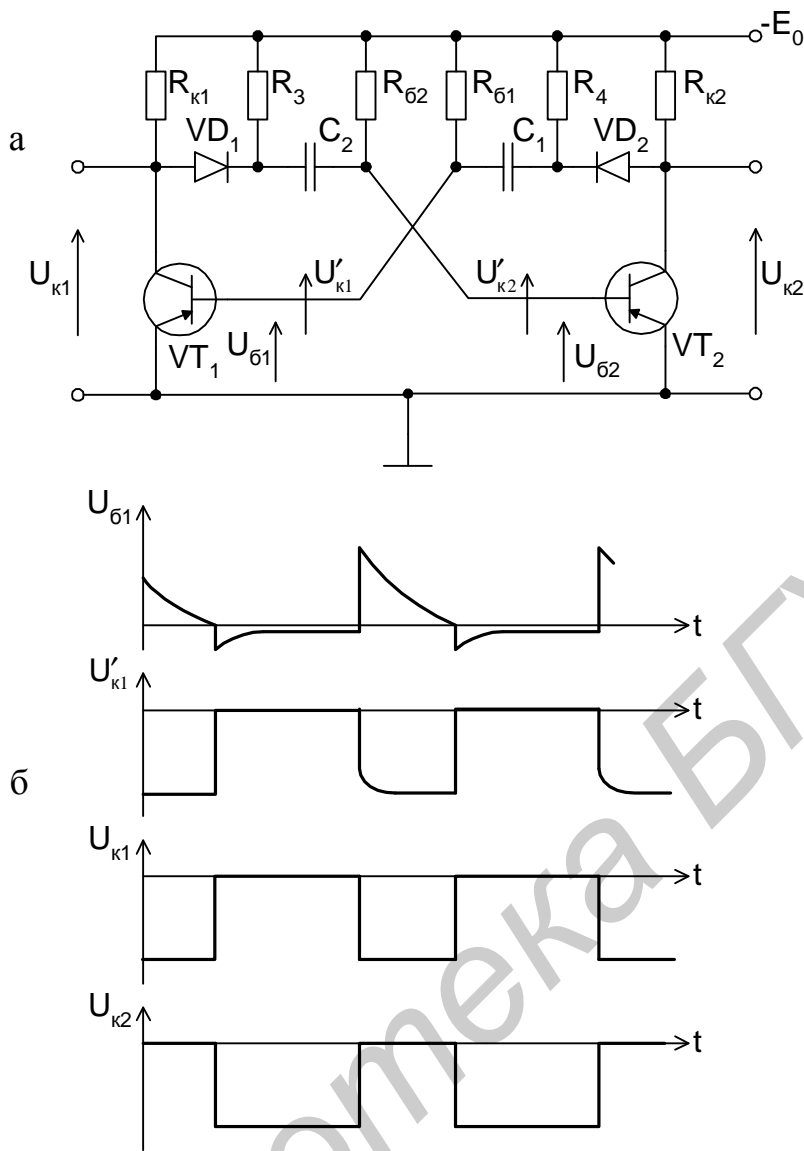


Рис. 1.8. Автоколебательный мультивибратор с отсекающими диодами:
а – схема; б – графики процессов

1.6. Мультивибраторы на полевых транзисторах

Схема ждущего мультивибратора на полевых транзисторах с индуцированным каналом «Р»-типа изображена на рис. 1.9,а. По внешней форме она идентична схеме, представленной на биполярных транзисторах на рис. 1а. Запуск схемы происходит с помощью запускающей цепочки C_p, R_p, VT_3 подключенной к стоковой цепи транзистора VT_1 . В исходном состоянии устойчивого равновесия транзистор VT_1 закрыт, а VT_2 открыт, так как к его затвору приложено открывающее напряжение отрицательной полярности от источника E_0 . Запускающий импульс положительной полярности поступает в момент t_1 на затвор открытого транзистора VT_2 через конденсатор C_p , диод VD_3 , времязадаю-

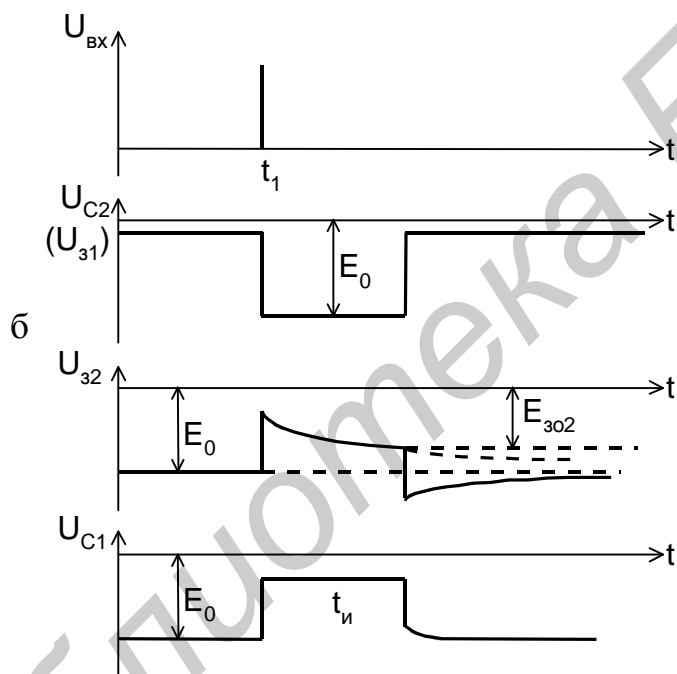
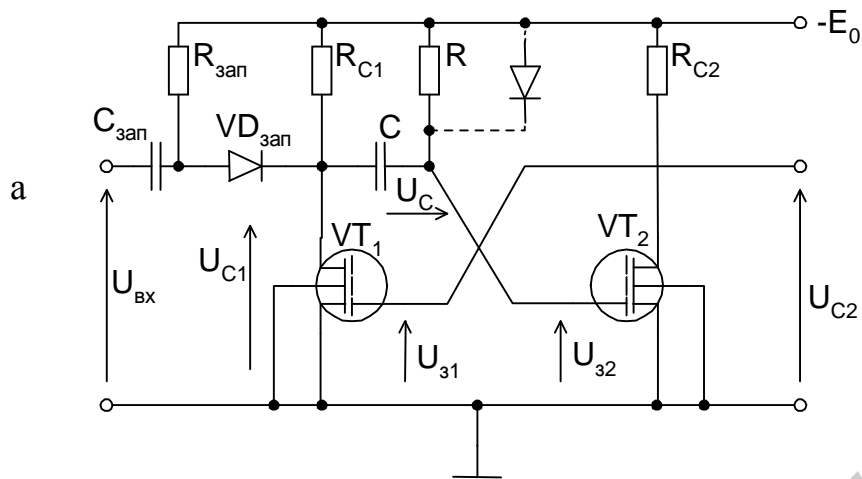


Рис. 1.9. Мультивибратор на полевых транзисторах с индуцированным каналом «Р»-типа:
а – схема; б – графики

щий конденсатор C (график $U_{вх}$ на рис. 1.9,б). Происходит скачкообразное закрывание транзистора VT_2 и открывание транзистора VT_1 с протеканием этапов подготовки, регенерации. Этап рассасывания у полевых транзисторов отсутствует, так как их проводимость обусловлена основными носителями по сравнению с биполярными транзисторами, у которых проводимость проявляется за счет неосновных носителей. Конденсатор C вплоть до момента t_1 был разряжен

в связи с тем, что и на стоковой и на затворной обкладке в состоянии устойчивого равновесия приложено напряжение источника питания. В момент t_1 транзистор VT_1 открывается, соединяя стоковую обкладку конденсатора C с землей, начинается его заряд, продолжающийся до тех пор, пока напряжение на затворной обкладке не достигнет величины E_{302} , при которой полевой транзистор VT_2 открывается. Происходит второй скачок, сопровождающийся этапом подготовки, регенерации, восстановления; схема переходит в состояние устойчивого равновесия. Конденсатор C постепенно разряжается через резисторы R_{c1} и R , транзистор VT_2 удерживается в открытом состоянии напряжением источника питания, поступающим на затвор VT_2 через резистор R , а транзистор VT_1 закрыт, так как его затвор соединён с землей через стоковый электрод открытого транзистора VT_2 .

На полевых транзисторах могут быть построены и другие схемы мультивибраторов, аналогичные рассмотренным ранее, с применением биполярных транзисторов.

1.7. Мультивибраторы на туннельных диодах

Туннельные диоды являются одним из самых быстродействующих приборов в электронной технике. Поэтому их применяют в тех импульсных схемах, от которых требуется быстродействие, недостижимое посредством униполярных и биполярных транзисторов. Например, необходима разработка приборов для оценки импульсных свойств униполярных и биполярных транзисторов. Ясно, что собственные импульсные свойства прибора должны быть не менее чем на порядок лучше по сравнению с испытуемыми. В этих случаях полезными могут быть импульсные схемы на туннельных диодах, электронных устройствах, использующих эффект Джозефсона, диодах Ганна, диодах Шотки и т.д.

Для выполнения схемы мультивибратора на туннельных диодах используется вольт-амперная характеристика туннельного диода N типа, изображенная на рис. 1.10,б. Эта характеристика на интервале $P...Q$ обладает участком отрицательного сопротивления, на которой положение рабочей точки неустойчиво. Физический смысл участка неустойчивости соответствует наличию в туннельном диоде внутренней положительной обратной связи, проявляющейся так же, как и в двух каскадном транзисторном усилителе, на котором реализуются триггеры или мультивибраторы. Поэтому на туннельных диодах могут быть построены триггеры, мультивибраторы как в ждущем, так и в колебательном режиме.

Одна из схем мультивибратора в ждущем режиме изображена на рис.1.10,а. Она состоит из последовательно соединённых резисторов R , индуктивности L и туннельного диода VD . Вся схема подключена к источнику питания E_0 . Символом $i_{вх}$ обозначен источник запускающих импульсов, основное требование которому состоит в том, что внутреннее сопротивление его должно быть значительно больше по сравнению с внутренним сопротивлением туннельного диода на любом участке характеристики, а также повышать не менее

чем на порядок все другие активные сопротивления схемы мультивибратора. Таким образом, источник запускающих импульсов должен генерировать запускающий импульс, не шунтируя туннельный диод на протяжении остального интервала времени. В состоянии устойчивого равновесия до момента времени t_1 , когда переходные процессы в схеме отсутствуют, напряжение питания должно быть выбрано таким, чтобы оно соответствовало точке E_0 (рис. 1.10,б), а наклон динамической нагрузочной прямой R должен быть принят из условия, чтобы прямая R проходила через точку E_0 и еще одну точку A на N -характеристике, которая ориентировочно располагается чуть выше середины интервала между точками M и P . Только при таком выборе напряжения питания E_0 и наклона динамической нагрузочной прямой R схема будет обладать свойствами мультивибратора в ждущем режиме.

В момент t_1 появления запускающего импульса (график $i_{вх}$ рис. 1.10,в) сопротивление индуктивности L велико (для быстродействующего процесса), поэтому весь ток запускающего импульса поступает в туннельный диод, а рабочая точка на N -характеристике перемещается из точки A в точку P и уже скачком переходит в точку B и далее в точку B' . Объяснить скачкообразный переход из точки P в точку B N -характеристики можно исходя из двух обстоятельств. Во-первых, если увеличить ток по вертикальной оси от значения I_A до значения $I_A + I_{ex}$, то это означает перемещение по характеристике от точки A до точки P и далее – скачкообразный переход к точке B и B' так как, например, координате тока в точках P и B соответствуют две координаты напряжений, полученные отсечением на горизонтальной оси напряжений вертикальными линиями, проведенными через точки P и B . Во-вторых, такое увеличение тока достигается за счет источника $i_{вх}$, который имеет большое внутреннее сопротивление и, стало быть, большое внутреннее напряжение. Если бы точку напряжения источника $i_{вх}$ изобразить на горизонтальной оси аналогично напряжению E_0 , то эта точка расположилась бы далеко в правой части оси напряжений вне поля рисунка, а наклон динамической прямой этого источника $i_{вх}$ был бы близок к горизонтальной оси, сама прямая проходила бы через точку B' на N -характеристике. Поэтому по сути дела скачок напряжения на туннельном диоде обеспечивается за счет напряжения источника сигнала $i_{вх}$ (график U_d на рис. 1.10,в).

После снятия запускающего импульса в цепи ждущего мультивибратора начинают проявляться переходные процессы на индуктивности L , соответствующие состоянию квазиравновесия. Из-за наличия индуктивности ток диода не может уменьшиться мгновенно, следовательно, в первый момент после снятия запускающего импульса ток соответствует точке B' , наклон динамической нагрузочной прямой R остаётся неизменным, значит, напряжение, которое должно поддерживать ток в точке B , должно быть равно такой величине, которая при наклоне R , проходящем через точку B' (на графике не показано), будет поддерживать ток точки B' . То есть в схеме устанавливается сумма ЭДС самоиндукции, генерируемой индуктивностью L , и напряжением питания E_0 .

Постепенно ЭДС самоиндукции уменьшается, вследствие этого перемещается влево динамическая нагрузочная прямая R . Одно из промежуточных положений такого перемещения показано точками A' и E' .

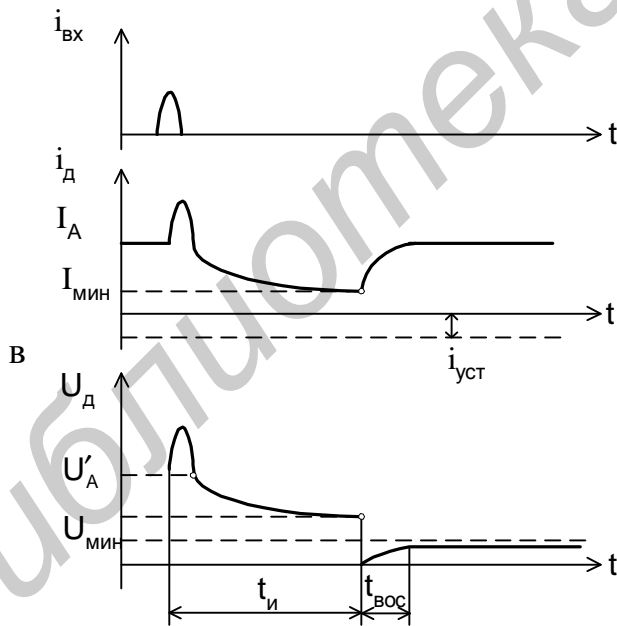
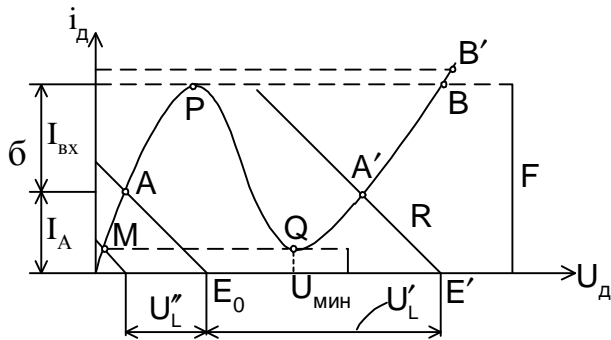
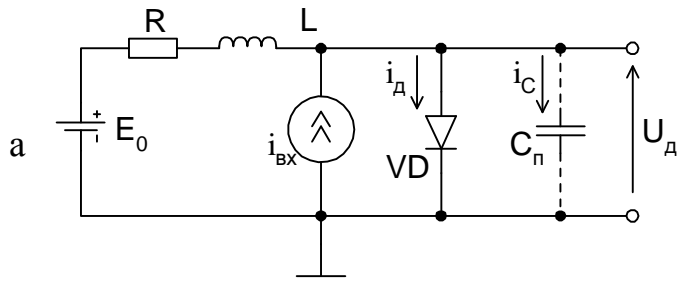


Рис. 1.10. Ждущий мультивибратор на туннельном диоде:
 а – схема; б – вольт-амперная характеристика; в – графики процессов

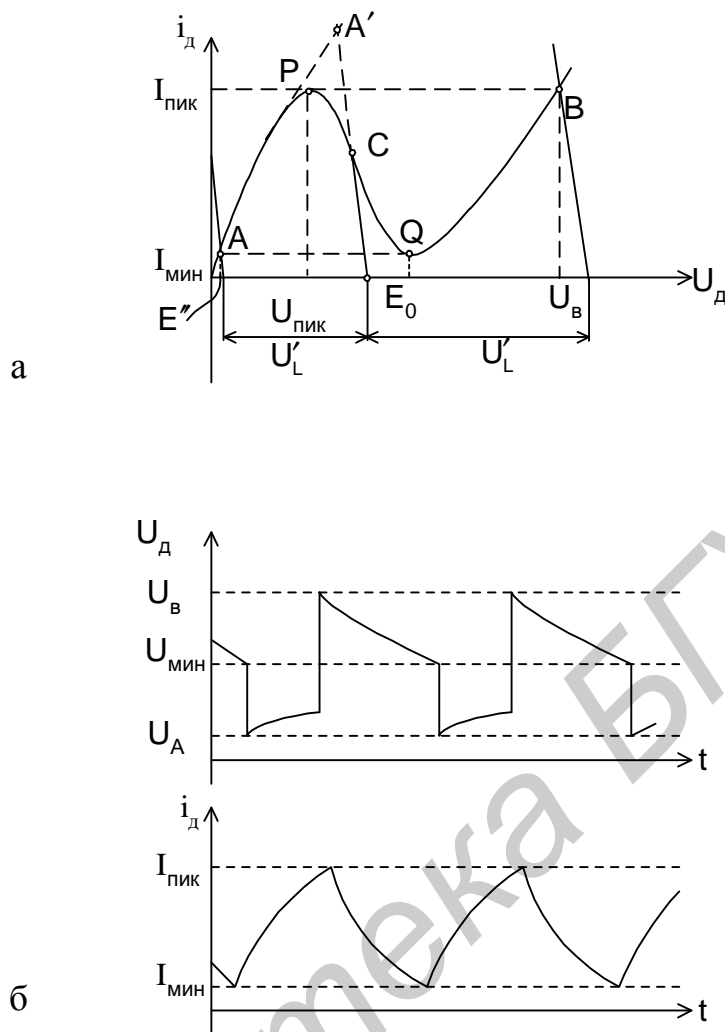


Рис. 1.11. Графики автоколебательного мультивибратора на туннельном диоде:

а – графики на характеристике “N”- типа; б – временные процессы

После достижения точки Q происходит скачкообразный переход в точку M и плавное передвижение к точке A устойчивого равновесия. На этом процессы генерации импульса в ждущем мультивибраторе заканчиваются. Автоколебательный режим мультивибратора на туннельном диоде может быть получен с помощью такой же схемы, как и ждущий мультивибратор (на рис.1.10,а), но наклон динамической нагрузочной прямой R и напряжение источника питания должны быть выбраны такими, как показано на рис. 1.11,а, кроме того, надо исключить цепь запуска. При подаче на схему напряжения питания в ней сразу же самопроизвольно устанавливаются колебания, форма которых показана на рис. 1.11,б.

Рассмотрим процессы, происходящие в схеме мультивибратора. При включении напряжения питания ток i начинает медленно (из-за наличия индуктив-

ности) нарастать, постепенно достигает точки Р и рабочая точка скачком переходит в точку В. Физический смысл такого перехода состоит в том, что после достижения точки Р ток туннельного диода ещё может возрасти под действием напряжения E_0 , но возрастание возможно только в точку В, то есть туннельный диод принимает новое состояние, увеличивая свое внутреннее сопротивление.

В новом состоянии в точке В тот же по величине ток туннельного диода, что и $I_{\text{пик}}$, создаётся возросшим напряжением U_B на туннельном диоде. Для получения этого напряжения индуктивность L должна генерировать ЭДС самоиндукции U'_L , складывающуюся с напряжением питания E_0 .

Дальнейшее повышение тока i (выше точки В) невозможно, так как нет внутренних схемных процессов, которые могли бы привести к такому повышению: напряжение E_0 неизменно, а ЭДС самоиндукции U'_L после скачка в точку В имеет тенденцию только к убыванию. Поэтому начинается постепенное уменьшение U'_L и тока диода, рабочая точка на характеристике перемещается из точки В в точку Q. Здесь опять происходит ее скачкообразный срыв и переход в точку А. Между точками Q...А происходит процесс изменения состояния туннельного диода, при котором вследствие внутренних положительных обратных связей скачком уменьшается его сопротивление. Этот процесс аналогичен скачкообразному процессу в точках Р, В, но там отмечалось нарастание сопротивления туннельного диода.

Некоторым недостатком импульсных схем на туннельных диодах является малая амплитуда выходных импульсов, составляющая несколько десятых долей вольта.

1.8. Мультивибраторы на тиристорах (тринисторах)

В мультивибраторах на тиристорах используется S-образная характеристика, имеющая участок отрицательного сопротивления. На рис. 1.12, а изображена схема ждущего мультивибратора на тиристоре. Она образована последовательным соединением тиристора VD и двух резисторов R , R_a , один из которых зашунтирован конденсатором С. Вся цепь подключена к источнику питания E_0 . Графики, иллюстрирующие процессы в ждущем мультивибраторе, приведены на рис. 1.12,б. До момента t_1 поступления запускающего импульса (см. рис. 1.12,б) тиристор VD закрыт, ток в его цепи незначителен (см. рис. 1.12,б), а напряжение на аноде тиристора U_a равно напряжению питания. В момент t_1 поступает запускающий импульс, который открывает тиристор VD, в связи с этим напряжение на его аноде становится практически равным нулю, а ток возрастает скачком до величины E_0/R_a . Здесь необходимо отметить, что сопротивления R_a и R выбираются такой величины, чтобы динамические нагрузочные прямые располагались так, как показано на рис. 1.12,в. Сумма двух сопротивлений R_a+R имеет большую величину по сравнению с одним из сопротивлений R_a , поэтому прямая R_a+R располагается с наклоном, более близким к горизонтальной оси, чем прямая R_a . Напряжение питания также

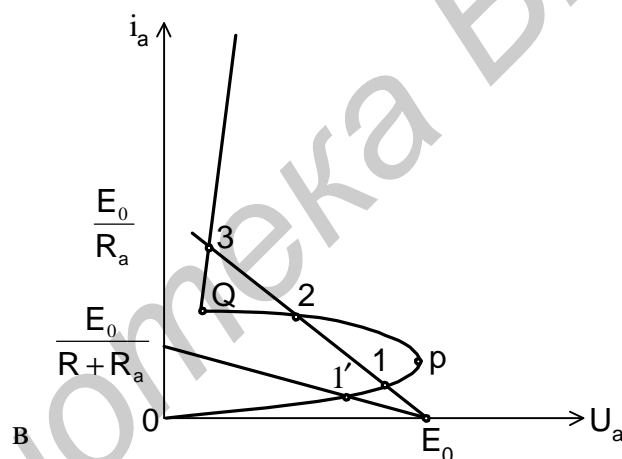
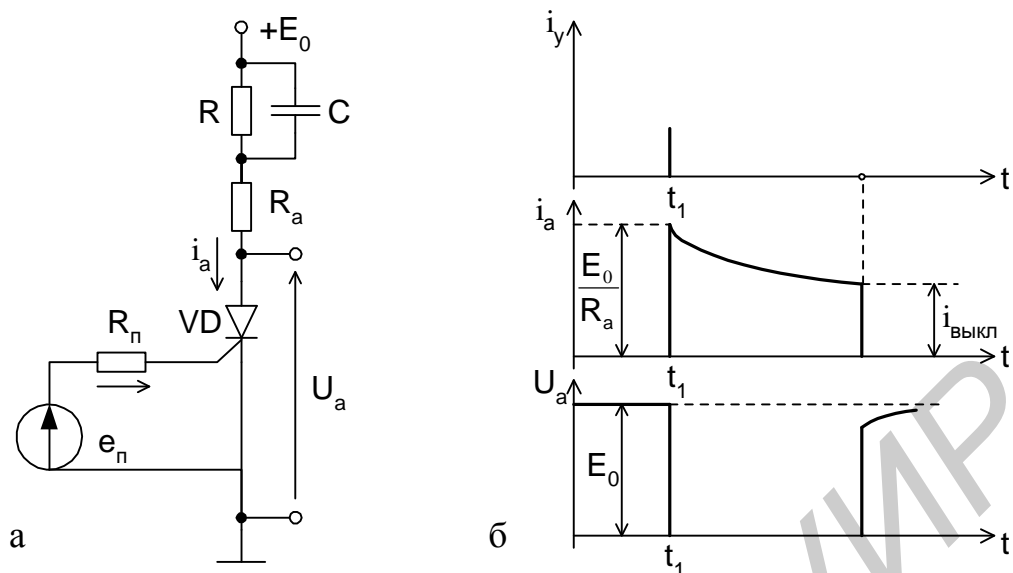


Рис. 1.12. Мультивибратор на тиристоре:

а – схема; б – временные процессы; в – графики на характеристике “S” – типа

выбирается относительно точки Р характеристики, как изображено на рис. 1.12,в. Таким образом, динамическая нагрузочная прямая R_a+R образует одну точку пересечения 1' с S-характеристикой, а прямая R_a образует три точки пересечения 1...2...3. До скачка в состоянии устойчивого равновесия рабочая точка находится на S-характеристике, совпадая с точкой пересечения прямой R_a+R и S-характеристики. После скачка сопротивление R оказывается замкнутым конденсатором C, а рабочая точка располагается в точке 3 на пересечении S-характеристики открытого тиристора VD и прямой R_a .

По мере заряда конденсатора C ток в цепи убывает, в связи с чем рабочая точка постепенно перемещается по S-характеристике из точки 3 в точку Q. Как

только ток тиристора достигает величины $I_{\text{выкл}}$ (в точке Q), происходит самопроизвольное выключение тиристора, рабочая точка скачком переходит в точку 1', схема принимает вновь состояние устойчивого равновесия.

На тиристорах могут быть построены автоколебательные мультивибраторы, триггеры и другие импульсные схемы. Все они отличаются малым быстродействием вследствие большой инерционности процессов выключения в тиристорах (из-за глубокого насыщения p-n переходов). Достоинство тиристорных схем состоит в больших амплитудах напряжений, которые можно получить на выходах анодных электродов – до нескольких сотен вольт и более.

1.9. Генераторы импульсов на микросхемах

Так же как и рассмотренные схемы на дискретных элементах, генераторы на микросхемах используют положительную обратную связь. Могут применяться как в ждущем, так и в автоколебательном режиме. На рис. 1.13,а,б приведены два варианта генераторов, построенных с применением логических микросхем И–НЕ. Первый генератор (рис. 1.13,а) собран на двух логических микросхемах, каждая из которых на активном участке рабочей области выполняет функции инвертирующего каскада, подобные тем, которые имеет обычный транзисторный каскад с коллекторной нагрузкой. Поэтому по исполнению эта схема совершенно подобна схеме автоколебательного мультивибратора на дискретных элементах, изображенной на рис. 1.7,а. Конденсаторы C_1 , C_2 схемы 1.13,а включены между выходами и входами соответствующих микросхем так же, как конденсаторы C_1 , C_2 схемы рис. 1.7,а включены между базами и коллекторами соседних транзисторов. Потенциометры R_1 , R_2 схемы рис. 1.13,а по своим функциям подобны резисторам R_1 , R_2 схемы рис. 7,а. Процессы схемы рис. 1.13,а можно рассматривать с помощью графиков рис. 1.7,б. Регулировка частоты генерирования импульсов в схеме рис. 1.13,а может быть получена путем изменения сопротивлений потенциометров R_1 , R_2 : чем меньше их величины, тем выше частота генерации. Основным недостатком схемы – относительно низкая температурная стабильность.

На рис. 1.13,б изображена более сложная схема на четырех логических микросхемах И–НЕ. Обратной связью охвачено три логических микросхемы, каждая из которых является инвертором. Конденсатор C подключен параллельно только одной микросхеме. В моменты формирования скачков конденсатор C имеет очень малое сопротивление и фактически закорачивает вторую микросхему И–НЕ. Поэтому контур общей обратной связи охватывает две логических микросхемы, т.е. обратная связь становится положительной, обеспечивая процесс рассасывания регенерации, подготовки. После скачка начинается процесс формирования вершины импульса, протекающий относительно медленно.

Конденсатор C медленно заряжается или разряжается на соответствующем участке вершины импульсов, имеет большое сопротивление, не шунтирует микросхему. На этом участке можно считать, что общая обратная связь охватывает три инвертирующих микросхемы, она становится отрицательной, стабилизируя длительность генерируемых импульсов. Это обстоятельство делает схему

относительно стабильной в широком диапазоне температур. Недостаток ее в том, что при необходимости изменения частоты генерирования следует изменять ёмкость конденсатора C , а это не всегда удобно в условиях практики.

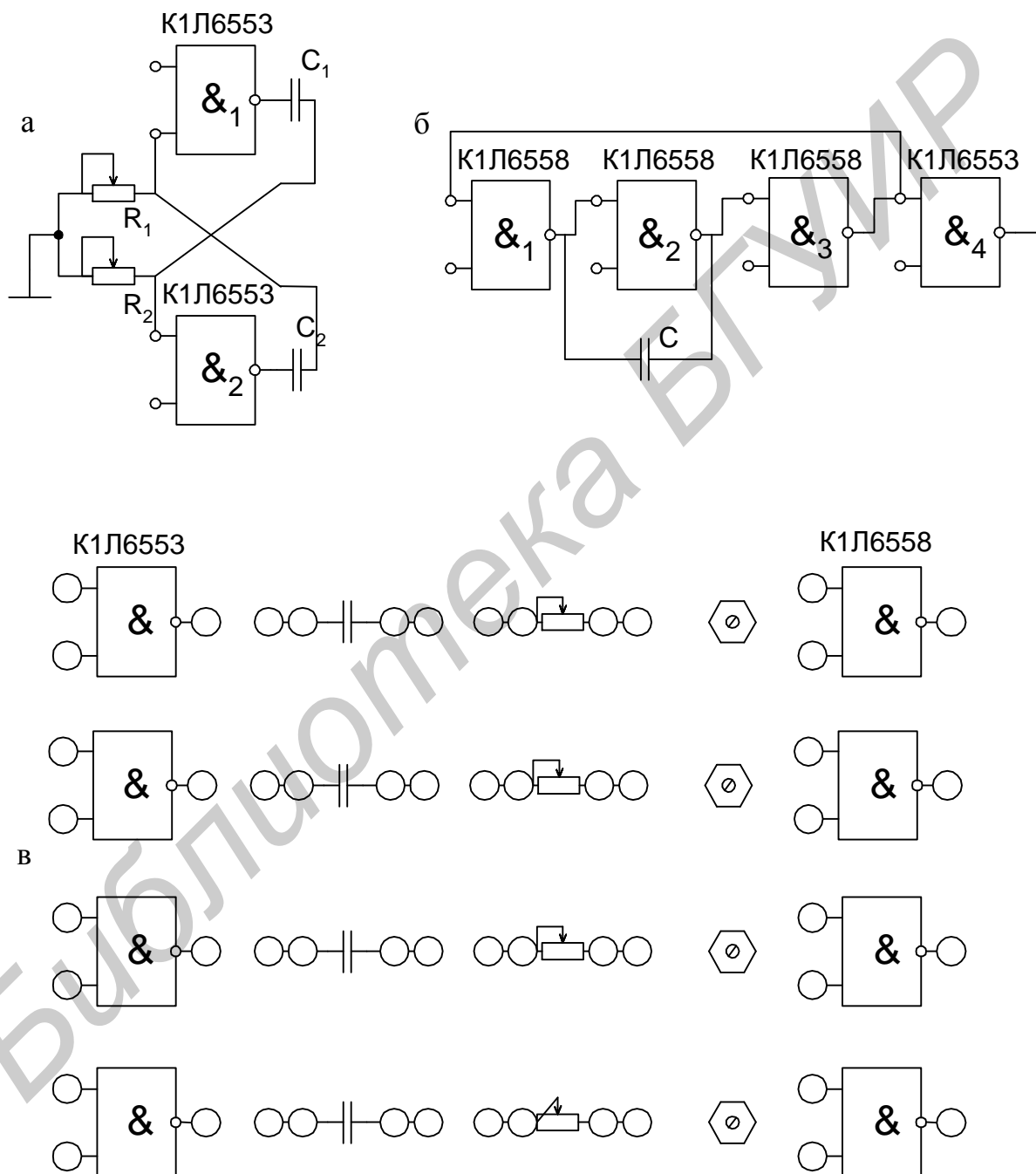


Рис. 1.13. Схемы генераторов в интегральном исполнении:
 а – на двух логических элементах; б – на четырёх логических элементах;
 в – макет для сборки схем

1.10. Лабораторное задание

1. Изучить основы генерирования импульсов.
2. Изучить принципы построения мультивибраторов и их практические схемы.
3. Исследовать схему ждущего мультивибратора с коллекторно–базовыми связями.
4. Исследовать схему автоколебательного мультивибратора с коллекторно–базовыми связями.
5. Исследовать схему автоколебательного мультивибратора с коллекторно–базовыми связями и отсекающими диодами.
6. Исследовать схему ждущего мультивибратора с эмиттерной связью.
7. Исследовать схему ждущего мультивибратора с конденсатором в эмиттерной цепи.
8. Исследовать генераторы прямоугольных импульсов на микросхемах.

1.11. Описание лабораторной установки

Изображение передней панели лабораторной установки приведено на рис. 1.14. На ней выгравированы две схемы, отмеченные цифрами I; II, а также мнемосхема генераторов импульсов, отмеченная цифрой III. Посредством схемы I можно исследовать различные варианты мультивибраторов с коллекторно–базовыми связями как в ждущем, так и в автоколебательном режиме. Здесь же исследуются схемы базового или коллекторного запуска ждущих мультивибраторов.

По схеме II собираются мультивибраторы с эмиттерной связью и с конденсатором в эмиттерной цепи.

Мнемосхема III позволяет получить прямоугольные импульсы как положительной, так и отрицательной полярности, продифференцированные импульсы обеих полярностей, а также постоянные напряжения, амплитуду которых можно изменять потенциометрами в пределах $0...+3$ В и $0...-3$ В.

Штепсельный разъем IV служит для подключения отдельных модулей со схемами на логических микросхемах, туннельных диодах, тиристорах.

1.12. Порядок выполнения работы

1. Подготовить мнемосхему III источников сигналов.

Установить потенциометры II, III, IX, X, "Рег.ампл." в крайнее правое положение (по часовой стрелке), потенциометры I, IV – в крайнее левое положение. Переключатели V, VI, VII, VIII установить в 1–ое положение, тумблеры П5, П6, П7, П8, П9, П10 в верхнее положение. После таких подготовительных операций на выходных зажимах мнемосхемы устанавливаются испытательные напряжения. На рис. 1.15 приведена принципиальная схема источников сигналов, элементы которой обозначены теми же символами, что и на передней па-

нели лабораторной установки. Она состоит из автоколебательного мультивибратора на транзисторах VT_1 , VT_2 , аналогично рис. 1.8,а и двух ждущих мультивибраторов. Первый ждущий мультивибратор на транзисторах VT_3 , VT_4 генерирует импульсы положительной полярности (мнемосхема $\neg\lrcorner$), второй на транзисторах VT_5 , VT_6 – отрицательной полярности (мнемосхема \lrcorner). Дифференцирующие RC–цепочки и диодные ключи позволяют получить в гнездах 2, 3, 4, 5 продифференцированные импульсы положительной и отрицательной полярности, используемые в качестве выходных сигналов.

Включить тумблер «Сеть». Подключить земляной проводник осциллографа к земляным гнездам любой из исследуемых схем (например, гнезда 13, 14, 16, 17, 18 схемы I), с помощью потенциального зажима осциллографа наблюдать в гнездах 1 и 12 схемы III источника сигналов прямоугольные импульсы отрицательной полярности (их вершины несколько искажены). В гнездах 2, 4 наблюдать продифференцированные импульсы отрицательной полярности, в гнездах 3, 5 – положительной полярности, в гнездах 8, 9 – прямоугольные импульсы положительной полярности, в гнездах 10, 11 – прямоугольные импульсы отрицательной полярности. На этом подготовка источника сигналов заканчивается.

2. Исследовать схему ждущего мультивибратора с коллекторно–базовыми связями, с базовым запуском.

Для этого, воспользовавшись схемой I, в верхней части передней панели лабораторной установки с помощью тумблеров и переключателей собрать схему рис. 1.1,а.

Сборку схемы произвести следующим образом: галетный переключатель П12 установить в I положение, галетный переключатель П13 установить в III положение, тумблеры П3, П6, П7, П9, П10 включить, тумблеры П1, П2, П4, П5, П8, П11 – отключить. Потенциометры R_2 , R_5 , R_{11} установить в крайнее левое положение. Регулятор «Рег. E_0 » установить в крайнее правое положение, измерить напряжение $-E_0$, убедиться, что оно равно -5 В. Регулятор «Рег. $E_{см}$ » установить в такое положение, при котором напряжение в гнезде 15 по отношению к земле составляет ориентировочно $+0,1$ В.

2.1. Подключить гнездо 19 запускающей цепи ждущего мультивибратора к гнездам 3 или 5 источника сигналов. При этом продифференцированные импульсы положительной полярности поступают на базу открытого транзистора VT_2 , периодически вызывая переход к квазистационарному состоянию.

Наблюдать с помощью осциллографа импульсы на выходах транзисторов VT_1 (гнездо 2) и VT_2 (гнездо 12). Снять осциллограммы напряжений в точках 2, 12, 8, 10, 19. Рекомендованное положение переключателя синхронизации осциллографа С1–48Б " $-20ms$ ". Сопоставить снятые осциллограммы с графиками рис. 1.1,б, объяснить совпадающие участки и различия.

2.2. Увеличивая сопротивление R_5 путем вращения его по часовой стрелке, снять зависимость длительности генерируемого импульса от величины сопротивления (следовательно, постоянной времени, которую можно найти, имея в виду, что ёмкость времязадающего конденсатора С составляет $0,1$ мФ). Вели-

чину сопротивления измерять тестером, на время измерения отключить тумблер ПЗ. Длительность генерируемого импульса измерять посредством частотомеров 43–32 или 43–33, используя сигнал на коллекторном выходе транзистора VT_2 (гнездо 12). При настройке лабораторной работы измерения производились частотомером 43–33. Входы А и Б подключались к гнезду 12, земляной электрод частотомера соединялся с землей используемой схемы. Тумблер "Внешний запуск" на панели частотомера – в нижнем положении ручка "Время индикации" – в удобном для съема показаний режиме, переключатель "Род работы" в положении А – Б, переключатель "Время измерения" – в положении $10\mu s$, тумблер "Запуск" канала А – в нижнем положении, тумблер "Запуск" канала Б – в верхнем положении. Ручки уровней каналов А и Б устанавливаются в промежуточном положении путем медленного вращения до тех пор, пока на индикаторе частотомера не выявится четкий и устойчивый отсчет длительности импульса.

Аналогичные измерения произвести для случая изменения сопротивления R_2 (по схеме рис. 1.4,а). При этом потенциометр R_5 установить в крайнее левое положение, а потенциометр R_2 медленно вращать по часовой стрелке. В связи с тем, что гнездо для измерения части сопротивления R_2 не предусмотрено, отсчет длительности импульса произвести только в двух крайних положениях движка потенциометра R_2 и одном среднем положении.

2.3. Ввести отсекающий диод (аналогично схеме 1.8,а). Для этого тумблер П2 –включить, П6 – отключить, положение потенциометра R_3 может быть произвольное. Наблюдать изменение формы импульсов на коллекторном электроде транзистора VT_1 (гнездо 2), объяснить различие.

2.4. При наличии свободного времени произвести такие же опыты, как и в пунктах 1, 2, 3, но при коллекторном запуске. Для этого необходимо включить тумблеры П1, П2 и подать проинтегрированные запускающие импульсы на гнездо 1 ждущего мультивибратора.

2.5. Произвести опыты по режиму деления импульсов в соответствии со схемой рис. 1.1,а. Отсекающий диод в схеме ждущего мультивибратора можно оставить включенным. Запуск производить по базовой или по коллекторной запускающей цепи. Потенциометр R_5 установить в среднее положение. Галетные переключатели V и VI источников сигналов установить во второе положение. При этом частота запускающих импульсов повышается. С помощью двухлучевого осциллографа наблюдать запускающие импульсы (гнезда 2, 3, 4, 5 источников сигналов) и генерируемые импульсы мультивибратора (на выходе транзистора VT_2 гнездо 12). Потенциометром R_5 подстроить режим деления. Измерить частоты запускающих и генерируемых импульсов. При настройке измерения производились частотомером 43–33, сигнал подавался на вход А, переключатель рода работы находился в положении F_A , переключатель "Время измерения" – в положении "1S", ручка уровня канала А – в крайнем левом положении. По результатам измерений определить коэффициент деления. Привести схему источника сигналов в соответствии с п.1.

3.1. Исследовать схему автоколебательного мультивибратора, изображенную на рис. 1.7,а.

Для этого отключить источник запускающих импульсов, галетные переключатели П12, П13 установить в 1-е положение, тумблеры П3, П4, П6, П10 включить, П2, П5, П7, П8 – отключить, потенциометры R_2 , R_5 , R_7 , R_{11} установить в крайнее левое положение. Наблюдать на коллекторных выходах транзисторов VT_1 , VT_2 генерируемые колебания. Одновременно изменяя величины сопротивлений R_5 , R_7 , наблюдать за изменением формы колебаний и частоты. Установить потенциометры R_5 , R_7 в крайнее левое положение, произвести те же опыты, одновременно изменяя величины сопротивлений R_2 , R_{11} . Объяснить причины изменения формы и частоты колебаний. При наличии свободного времени снять зависимость частоты генерируемых колебаний от величин сопротивлений R_2 – R_{11} и R_5 – R_7 .

3.2. Ввести отсекающие диоды VD_2 , VD_3 (схема рис. 6,а). Для этого включить тумблеры П2, П5 и выключить тумблеры П6, П10. Наблюдать изменение формы импульсов. При наличии свободного времени провести те же опыты, что и в 3.1.

3.3. Зарисовать осциллограммы во всех характерных точках схемы при наличии отсекающих диодов и без них (гнезда 2,12,8,10). Сопоставить эти осциллограммы с графиками рис. 1.7,б, 1.8,б.

4. Исследовать схему идущего мультивибратора с эмиттерной связью (рис.1.5,а). Для этого на схеме П передней панели лабораторной установки (см. рис.1.14, а также схему, приведенную на передней панели лабораторной установки) установить галетный переключатель П8 в положение I, а галетный переключатель П9 – в положение III, тумблеры П1, П2, П4, П6 – включить, Л3, П5, П7 – отключить, регулятор "Рег. E_{cm} " установить в крайнее левое положение. Подключив к гнезду I запускающей цепи положительные продифференцированные импульсы, наблюдать на выходах транзисторов VT_1 и VT_2 (гнезда 2 и 4) генерируемые импульсы. Объяснить различия. Зарисовать формы импульсов в точках 2, 3, 4, 6, сопоставить с графиками рис. 1.5,б. Рекомендуемое положение развертки осциллографа 5 ms.

Медленно вращая потенциометры II и III источника сигналов, изменяем его частоту, добиваясь устойчивой синхронизации задающих и генерируемых импульсов. Объяснить причины устойчивой и неустойчивой синхронизации этих импульсов. Возвратить потенциометры II и III источника сигналов в крайнее правое положение.

5. Исследовать схему ждущего мультивибратора с конденсатором в эмиттерной цепи (см. рис. 1.6,а).

Для этого галетный переключатель П8 установить в положение III, а П9 – в положение I. Тумблеры П1, П3, П5, П6, П7 – включить, П2, П4 – отключить. Запускающие импульсы подавать на вход 1. Снять осциллограммы генерируемых импульсов в точках 2, 3, 6, 8, сопоставить их с графиками рис. 1.6,б, привести объяснения совпадений и различий.

Наблюдать изменение формы импульсов в зависимости от напряжения источника $+E_{cm}$ в двух положениях галетного переключателя П9 – I и II, привести объяснения.

6. В штепсельный разъем IV вставить вилку с блоком, на передней панели

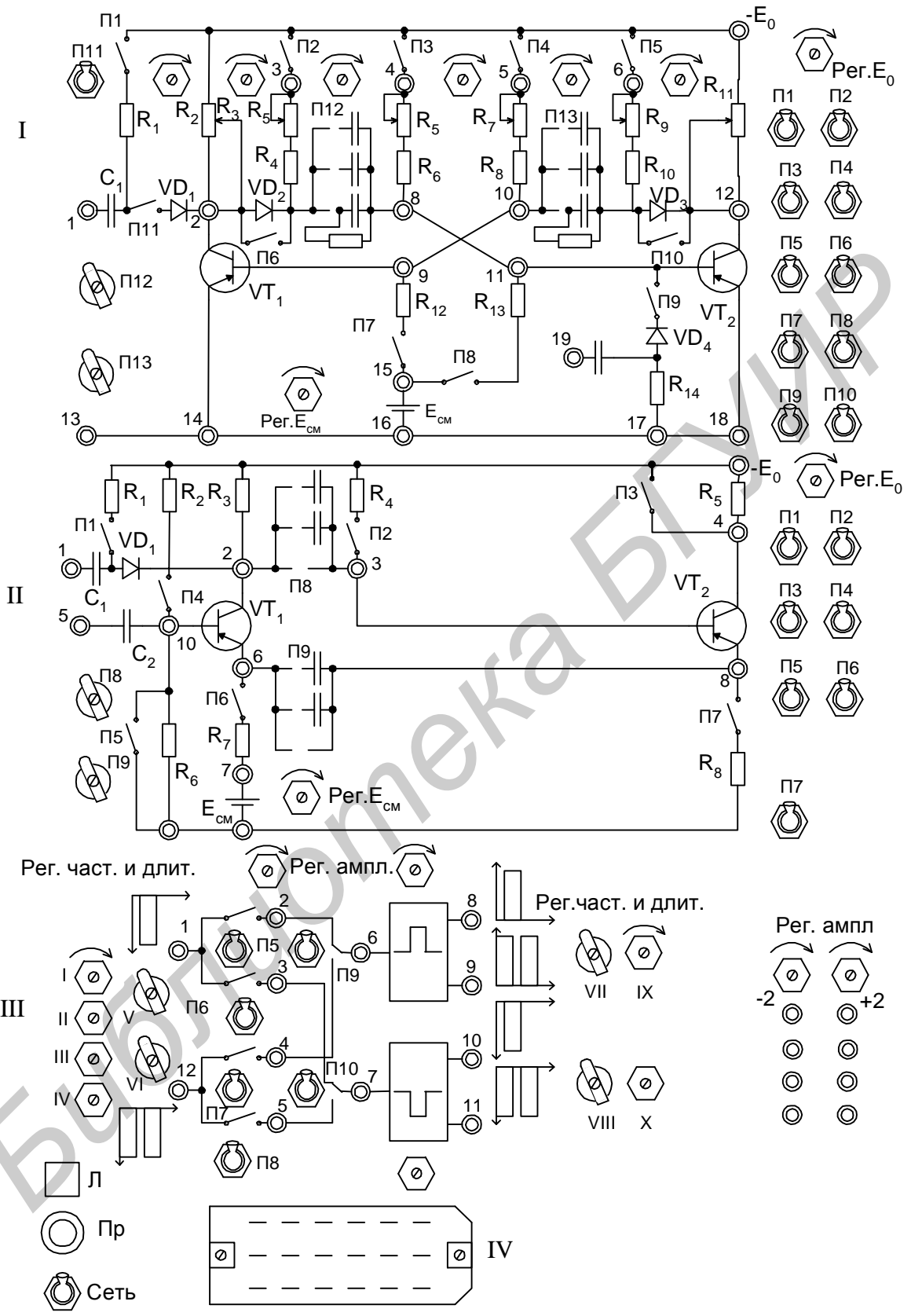


Рис. 1.14. Схемы передней панели лабораторной установки

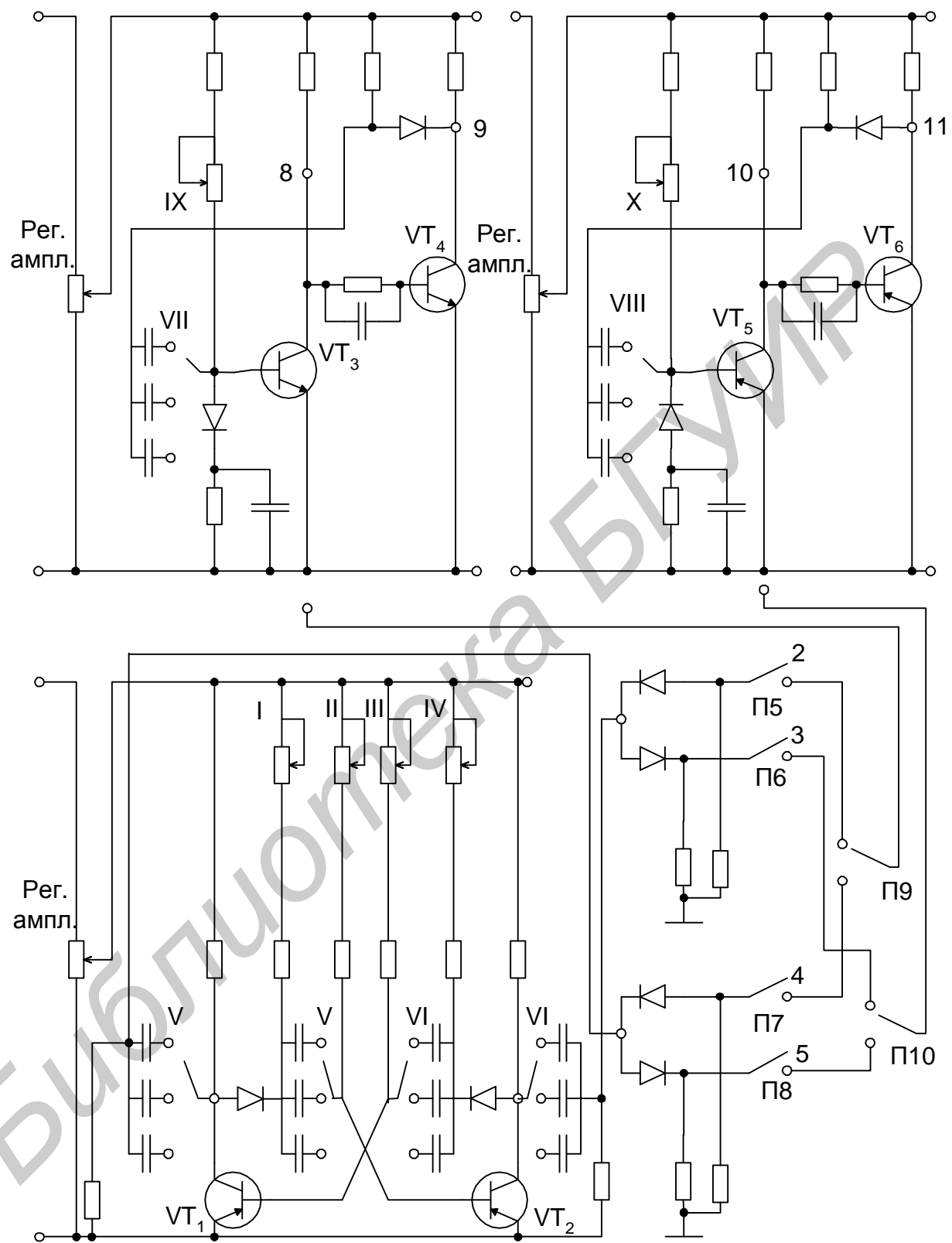


Рис. 1.15. Схемы задающего мультивибратора (транзисторы VT₁, VT₂) и ждущих мультивибраторов (транзисторы VT₃, VT₄, транзисторы VT₅, VT₆)

которого изображена схема рис. 1.13,в.

6.1. Посредством проводников произвести сборку схемы рис. 1.13,а, наблюдать форму колебаний. При этом движки потенциометров R_1 , R_2 одновременно перемещать из одного крайнего положения в другое. Снять зависимость частоты генерируемых импульсов от величин сопротивлений R_1 , R_2 . Зарисовать осциллограммы.

6.2. Произвести сборку схемы генератора рис. 1.13,б. Зарисовать осциллограммы в разных точках схемы. Подключить конденсатор иной емкости, измерить новую частоту генерации, привести объяснение причины изменения частоты.

1.13. Содержание отчета

1. Принципиальные схемы исследуемых мультивибраторов и генераторов.
2. Графики зависимостей, полученные в процессе опыта.
3. Осциллограммы импульсов в характерных точках.
4. Выводы.

1.14. Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему ждущего мультивибратора без отсекающих диодов и с отсекающими диодами, поясните процессы в схемах.
2. Виды запускающих цепей, их достоинства и недостатки.
3. Для чего в запускающих цепях применяют конденсаторы, диоды резисторы?
4. Расскажите об этапах рассасывания, подготовки, регенерации установления, объясните их физический смысл.
5. Для чего необходим источник смещающего напряжения?
6. Как рассчитать коллекторные и базовые резисторы, задающий и форсирующий конденсаторы?
7. В чем состоит режим деления импульсов?
8. Как получить задержку импульса, используя схему мультивибратора?
9. Нарисуйте схемы автоколебательных мультивибраторов с отсекающими диодами и без отсекающих диодов.
10. Поясните процессы генерирования импульсов в автоколебательных мультивибраторах.
11. Нарисуйте схему мультивибратора с эмиттерной связью, поясните процессы в ней.
12. Нарисуйте схему мультивибратора с конденсатором в эмиттерной цепи, поясните процессы в схеме.
13. Расскажите об особенностях мультивибраторов с эмиттерной связью и с конденсатором в эмиттерной цепи.
14. Нарисуйте схему мультивибратора на полевых транзисторах, расскажите о процессах в этой схеме.

15. Нарисуйте схему мультивибратора на туннельных диодах, расскажите о принципах построения этих мультивибраторов и об особенностях процессов.

16. Нарисуйте схему мультивибратора на тиристоре и расскажите об особенностях и о физике процессов.

17. Нарисуйте типовые схемы генераторов импульсов на микросхемах, расскажите о физике процессов в этих схемах.

18. Расскажите об особенностях проведения опытов, методике использования электронных приборов.

Литература

1. Опачий Ю. Ф., Глудкин О.П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник. – М.: «Горячая линия – Телеком». 1999.

2. Карлащук В.Л. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение. Изд-во «Салон – Р». М., 1999.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №2

Блокинг–генераторы

2.1. Общие сведения

Цель работы – изучить основные схемы блокинг–генераторов, режимы их функционирования.

Блокинг–генератором называют однокаскадный релаксационный генератор, в котором положительная обратная связь входной и выходной цепей обеспечивается за счет использования импульсного трансформатора. Эта положительная обратная связь может вводиться различными способами, в том числе для дискретных биполярных транзисторов между коллектором и базой, между коллектором и эмиттером, между эмиттером и базой. В лабораторной работе исследуются блокинг–генераторы на импульсных трансформаторах с ненасыщающимся сердечником.

Блокинг–генераторы могут действовать в двух режимах: автоколебательном, когда на выходе выдаётся последовательность прямоугольных импульсов, и ждущем, при котором блокинг–генератор генерирует только один импульс в момент поступления входного сигнала.

Обычно в режиме ожидания транзистор блокинг–генератора закрыт и только в момент генерации импульса открывается на короткое время. Благодаря этому в момент импульса через транзистор можно пропустить значительно большие токи, чем при непрерывном режиме, получая эффект формирования большой мощности в импульсе.

Автоколебательные генераторы также, как правило, генерируют очень короткие импульсы по сравнению с интервалом времени между ними, когда транзистор вполне успевает рассеять тепловой нагрев. При необходимости получения различных амплитуд напряжения у трансформатора делают несколько вторичных обмоток. Таким образом, блокинг–генераторы дают возможность получать импульсы большой мощности повышенного или пониженного напряжения.

2.2. Ждущий блокинг–генератор с коллекторно–базовой связью

На рис. 2.1 изображена типовая схема блокинг–генератора с коллекторно–базовой связью, предназначенная для работы в ждущем режиме. Между коллекторной и базовой цепями осуществляется положительная обратная связь через трансформатор с коллекторной обмоткой, имеющей количество витков W_K , и базовой обмоткой $W_б$.

Для того чтобы в режиме ожидания транзистор был более надёжно закрыт, в цепи базы включен смещающий источник $E_{см}$, плюсом приложенный к базовому электроду. Применение источника $E_{см}$ необязательно.

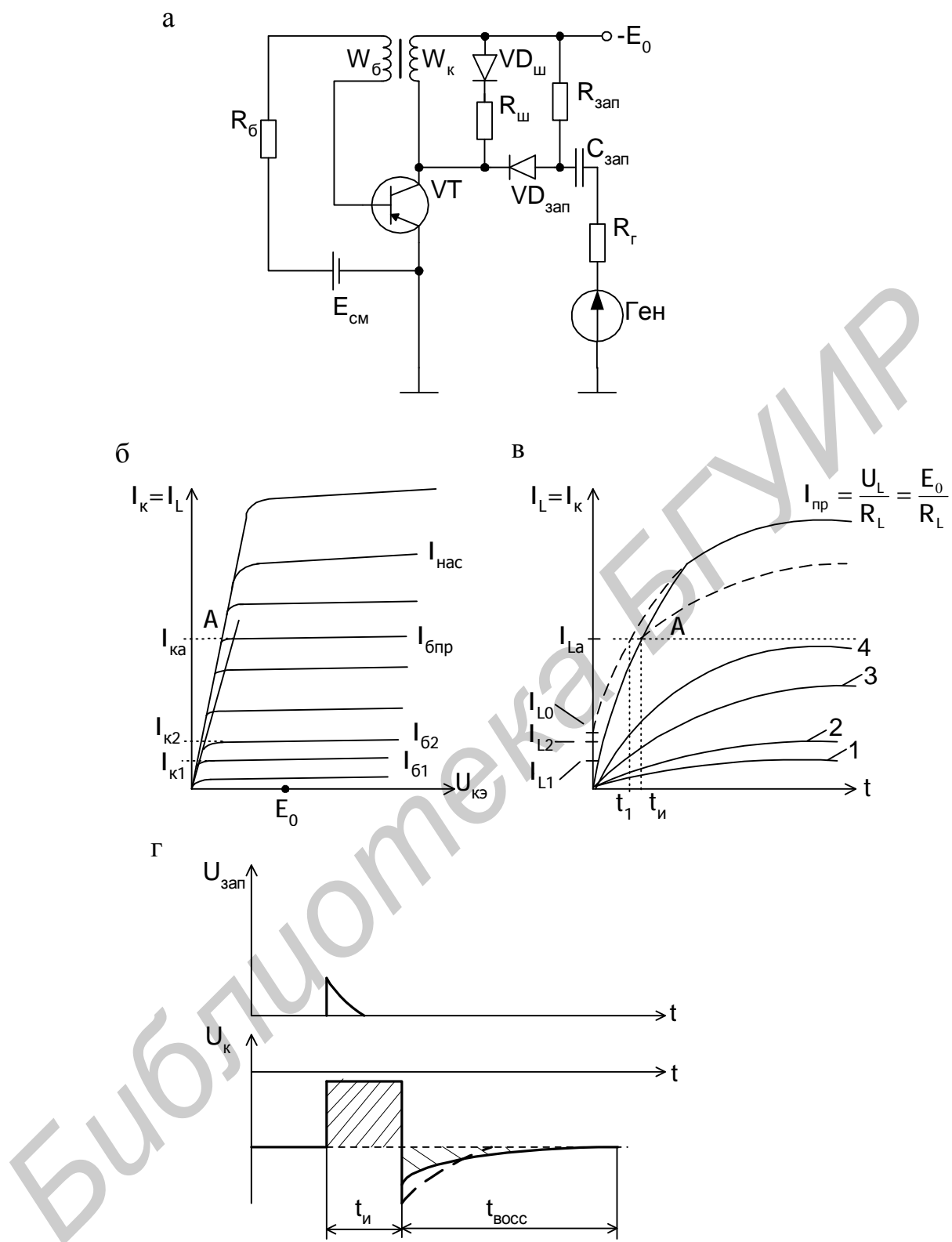


Рис. 2.1. Ждущий блокинг-генератор с коллекторно-базовой связью: а – схема; б – выходные характеристики транзистора; в – переходный процесс в индуктивности; г – временные графики

С другой стороны, запуск схемы будет происходить импульсами с амплитудой, большей $E_{см}$, что увеличит помехоустойчивость схемы.

Итак, в режиме устойчивого равновесия транзистор заперт и в первичной обмотке трансформатора W_K ток отсутствует.

Запускающий импульс положительной полярности, проходя через $C_{зап}$, $VD_{зап}$, обмотку W_K , внутреннее сопротивление E_0 , вызывает изменение тока в первичной обмотке трансформатора и соответственно изменение магнитного потока. Во вторичной обмотке трансформатора согласно закону электромагнитной индукции наводится ЭДС:

$$e_{\sigma} = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI_L}{dt}. \quad (2.1)$$

Эта вторичная обмотка подключается так, чтобы её минусовой контакт обязательно был подключен к базе транзистора. И если амплитуда e_{σ} больше напряжения смещения $E_{см}$, транзистор выходит из режима отсечки в активную область. В схеме начинает действовать положительная обратная связь, приводящая транзистор в режим насыщения.

Принцип её действия иногда описывается следующим образом. Благодаря усилительным действиям транзистора, работающего в активном режиме, приращение базового тока приводит к приращению коллекторного тока большей величины. Появление тока коллекторной обмотки вследствие трансформаторной связи коллекторной и базовой цепей вызывает приращение базового тока. Процесс переключения транзистора развивается лавинообразно.

Правдоподобно и другое объяснение. Первоначальный ток $I_{\sigma 1}$, создаваемый за счет генератора запускающих импульсов, вызывает выход транзистора в активный режим с предельным для данного момента времени значением коллекторного тока $I_{к1}$ (см. временные диаграммы). В коллекторной индуктивности будет протекать экспоненциальный переходный процесс (кривая 1), так как к индуктивности будет приложено $U_L > 0$ из-за изменения потенциала на коллекторе VT. Это изменение тока согласно (2.1) будет наводить новое значение e_{σ} и соответственно тока $I_{\sigma 2}$. Этот процесс протекает лавинообразно, пока транзистор не перейдет из активного режима в насыщение. Соответственно переходный процесс в индуктивности на графике отобразится предельным графиком с конечным током $I_{np} = \frac{E_0}{R_L}$, а в базе будет протекать предельный базовый ток

$I_{бпр}$.

Таким образом, когда схема ждущего блокинг-генератора находится в квазиустойчивом состоянии, транзистор VT находится в режиме насыщения, в коллекторной обмотке трансформатора протекает электромагнитный переходный процесс. Общеизвестно, что часть экспоненты от нуля и до 0,7 от её максимума хорошо аппроксимируется прямой линией. Если токи в трансформаторе не будут превосходить эти значения, то коллекторный ток при переходном процессе практически будет изменяться линейно, в базовой обмотке будет наводиться постоянная величина напряжения e_{σ} и в базе транзистора будет про-

текать постоянный по величине ток $I_{\text{бпр}}$. Такой режим блокинг–генератора обычно называют работой с ненасыщенным трансформатором.

После переключения трансформатора в его коллекторной нагрузке протекает переходный процесс. И по мере нарастания коллекторного тока при постоянном базовом степень насыщения транзистора уменьшается. В момент времени $t_{\text{и}}$ VT будет находиться на границе активной области при $I_{\text{к}}=I_{\text{ка}}$. Дальнейшее незначительное увеличение тока вынуждает транзистор перейти в активную область, вследствие чего появится изменение коллекторного напряжения (VT закрывается), ведущее к уменьшению напряжения U_{L} , приложенного к индуктивности. Поэтому переходный процесс не будет отображаться предельной экспонентой (см. пунктирную линию). В результате приращения коллекторного тока или $\frac{dI_{\text{к}}}{dt}$ уменьшит своё значение и уменьшится величина базового тока, что повлечет ещё большее изменение приращения $I_{\text{к}}$. Процесс переключения транзистора в устойчивое состояние идёт лавинообразно, пока транзистор не перейдёт в режим отсечки.

В начале переключения транзистора коллекторный ток изменяет свою скорость нарастания, в результате чего в базу VT поступает уменьшающийся ток отсривающей полярности. Но когда коллекторный ток станет убывать, то значение $\frac{dI_{\text{к}}}{dt}$ изменит свой знак и в базовой обмотке будет генерироваться уже другое запирающее напряжение, ускоряющее процессы запираания транзистора.

Если для работы блокинг–генератора использовать нелинейную часть экспоненты переходного процесса коллекторного тока (если установить $I_{\text{б}}>I_{\text{бпр}}$), то схема будет работать с насыщающим сердечником трансформатора. Процессы в такой схеме имеют незначительные отличия от описанных ранее. Основное отличие заключается в том, что в этих случаях базовый ток будет уменьшаться (ранее $I_{\text{б}} = \text{const}$) с увеличением коллекторного тока, пока транзистор не выйдет в активную область. Затем все основные переходные процессы не будут отличаться от блокинг–генератора с ненасыщенным трансформатором.

Регулировку длительности генерируемого импульса $t_{\text{и}}$ легче всего производить путём изменения величины $I_{\text{б}}$. В результате этого момент перехода транзистора из области насыщения в активный режим будет зависеть от коллекторного тока, т. к. будет происходить в различные моменты времени. В общем случае для схемы рис. 2.1 базовый ток можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{б}} = \frac{e_{\text{б}} - E_{\text{см}} - U_{\text{бэVT}}}{R_{\text{б}} + R_{\text{э}}}.$$

При лавинообразном характере закрывания транзистора в коллекторной индуктивности наводится ЭДС самоиндукции, полярность которой препятствует мгновенному изменению тока. Это напряжение может во много раз превышать значение E_0 . Суммарная величина ЭДС самоиндукции и напряжения E_0 прикладывается к промежутку коллектор–эмиттер транзистора и часто вызывает его пробой. Для нормальной работы VT необходимо, чтобы напряжение на его коллекторе не превосходило $U_{\text{Кдоп}}$, являющегося паспортным параметром прибора. Для уменьшения ЭДС самоиндукции в схему блокинг–генератора

вводят демпфирующий диод $VD_{ш}$, через который создаётся цепь исчезающего тока индуктивности. Но при таком решении затягивается переходный процесс. Из-за сохранения энергии, которая накапливается в индуктивности, площадь генерируемого импульса должна быть равна площади выброса. Для сокращения времени восстановления в цепь шунтирования последовательно включают резистор $R_{ш}$, увеличивающий выброс напряжения (ЭДС самоиндукции) до допустимой величины, но уменьшающий время восстановления (на графике пунктирная линия). Энергия, накопленная в индуктивности, быстрее преобразуется в тепловые потери на резисторе $R_{ш}$.

Запуск в работу блокинг-генератора осуществляется посредством специальных цепей запуска. В общем случае цепь запуска должна:

1) обеспечить по возможности полную развязку блокинг-генератора и генератора запускающих импульсов как по постоянному току, так и по переменной (импульсной) составляющей. Развязка по постоянному току нужна для того, чтобы цепь запуска не создавала дополнительной нагрузки на блокинг-генератор во время формирования скачков напряжения при переключении и не нарушала лавинных процессов переключения;

2) исключить ложные срабатывания схемы за счёт искажения формы запускающего импульса при передаче через эту цепь;

3) исключать потери запускающего импульса в цепи запуска;

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

По способу выполнения цепи запуска могут быть ёмкостными, транзисторными, диодно-ёмкостными и др. На рис. 2.2 приведены стандартные цепи запуска блокинг-генератора и способы их подключения к схеме. В этих цепях использована гальваническая развязка за счёт применения конденсатора $C_{зап}$ или за счёт трансформаторной связи с базовой обмоткой. Диоды $VD_{зап}$ осуществляют развязку схемы и генератора запуска по переменной составляющей,

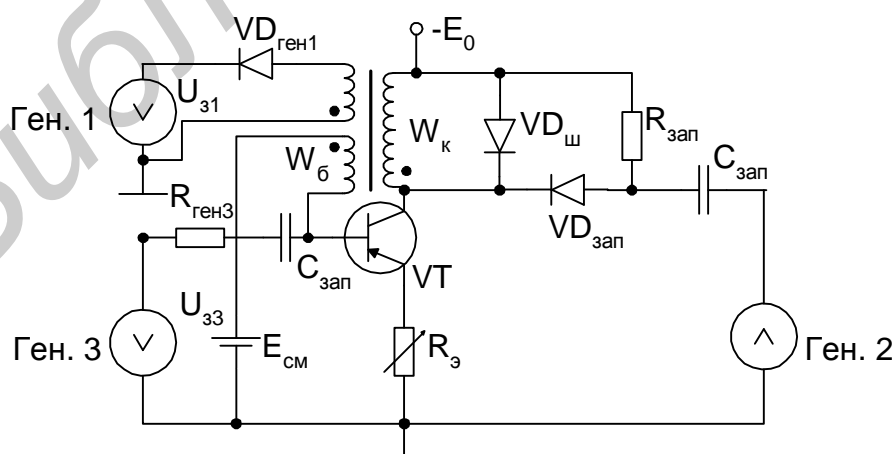


Рис. 2.2. Способы запуска блокинг-генератора в ждущем режиме

пропуская лишь импульсы одной полярности. Запускающая цепь от генератора $U_{Г3}$ выполнена чисто емкостной без развязки по переменной составляющей.

Диодно–емкостная запускающая цепь $U_{Г2}$ является наиболее компромиссной с точки зрения качества развязки и её сложности. Резистор $R_{зап}$ выполняет двойную роль. Во–первых, помогает разряду ёмкости $C_{зап}$, когда последняя зарядится во время действия запускающего импульса. Без разряда ёмкости $C_{зап}$ все последующие импульсы будут игнорироваться схемой.

Во–вторых, через $R_{зап}$ на анод диода $VD_{зап}$ подается минусовой потенциал от источника E_0 . Когда транзистор находится в закрытом состоянии, то через индуктивность и на катод подается такой же потенциал и диод будет находиться в нейтральном состоянии. Когда транзистор переключится и будет находиться в квазистационарном состоянии ($U_k=0$), диод $VD_{зап}$ будет заперт напряжением E_0 и не будет пропускать импульсы от генератора запуска.

2.3. Автоколебательный блокинг–генератор с коллекторно–базовой связью

На рис. 2.3 приведена схема типового блокинг–генератора с коллекторно–базовой связью, работающей в автоколебательном режиме.

В момент подключения питания транзистор закрыт, и начинает заряжаться конденсатор C по цепи: земля, C , R , $-E_0$. По мере заряда конденсатора на базу транзистора поступает открывающее отрицательное напряжение, когда U_c достигает уровня открывания V_T (0,2..0,3В для германиевых V_T , 0,7..0,9В – для кремниевых). Как только транзистор перейдет из режима отсечки в активный режим, создаются условия для его лавинного переключения и транзистор переходит в режим насыщения. Тогда обкладка конденсатора, подключенная к базовой обмотке, начинает заряжаться плюсовым потенциалом за счет генерируемой e_g .

В этой схеме ток заряда конденсатора (ток I_6) уменьшается по мере заряда конденсатора, ток коллектора нарастает по экспоненте и создаются условия выхода транзистора из режима насыщения в активный режим (см. работу ждущего блокинг–генератора с ненасыщенным сердечником). Выход транзистора в активный режим вызывает лавинный процесс его запириания.

После запириания V_T происходит обратная перезарядка заряженного током I_6 конденсатора от источник $-E_0$ и когда на нём опять будет напряжение отпириания транзистора, все описанные процессы повторяются.

На рис. 2.4,а,б приведены схемы блокинг–генераторов в ждущем режиме с коллекторно–эмиттерной и эмиттерно–базовой связями. Особенность первой схемы заключается в том, что регулировочный потенциометр R_3 устанавливается в базовой цепи, поэтому во время генерации импульсов выходное напряжение коллекторного электрода практически равно нулю, в то время как на схеме рис. 2.2 это напряжение не равно нулю из–за наличия потенциометра R_3 в эмиттерной цепи. В схеме рис. 2.4,б коллектор транзистора заземлён, что выгодно в тех случаях, когда радиатор транзистора также заземлён. В отношении процес-

сов генерации рассматриваемые схемы совершенно идентичны блокинг-генератору, изображённому на рис. 2.1,а.

На рис. 2.5 приведён пример запускающей цепочки к схеме блокинг-генератора с коллекторно-эмиттерной связью. Рис. 2.5 иллюстрирует различные способы подключения нагрузки к блокинг-генератору с коллекторно-базовыми связями.

Автоколебательные варианты блокинг-генераторов приведены на рис. 2.6 и 2.7. Первая обладает большей температурной стабильностью благодаря тому, что конденсатор дополнительно разряжается не током I_{60} , как это имело место в предыдущей схеме, а током I_{30} , который значительно меньше. Аналогичный результат отмечается и для приведённой на рис. 2.7 схемы блокинг-генератора с коллекторно-эмиттерной связью.

Специфичные схемы блокинг-генераторов на двух транзисторах изображены на рис. 2.8,а и в. Подобные схемы в литературе часто называют магнито-транзисторными преобразователями, генераторами напряжения прямоугольной формы. Они предназначены для получения последовательности прямоугольных импульсов, а также для преобразования постоянного тока в переменное прямоугольное с высоким коэффициентом полезного действия (до 0,95). Графики, иллюстрирующие работу схемы, приведены на рис. 2.8,б. Особенностью обмоток является то обстоятельство, что их начала включены специальным образом, благодаря которому обеспечивается положительная обратная связь. На схеме 2.8,а начальные концы обмоток обозначены точками. В момент включения напряжения питания оба транзистора VT_1 и VT_2 закрыты и через них начинают протекать начальные токи утечки $I_{к0}$. Вследствие незначительной несимметричности эти токи различаются, например, через транзистор VT_1 начинает протекать чуть больший ток. Такое несимметричное протекание приводит к нарастанию магнитного потока в магнитопроводе и генерированию ЭДС в базовых обмотках, причем, так как ток VT_1 больше, то на его базовом электроде трансформируется ЭДС отрицательной полярности, открывающая транзистор. Теперь ток в цепи $W_{к1}$ и VT_1 нарастает не только из-за несимметричности, но и из-за открывания транзистора VT_1 . Этот процесс происходит лавинообразно, и транзистор VT_1 оказывается открытым. Если на базовом конце обмотки W_{61} генерировалась отрицательная ЭДС, то на противоположном начале, обозначенном точкой, генерируется положительная полярность этой ЭДС. На всех других выводах трансформатора, обозначенных точкой, также генерируются положительные полярности, в том числе и на базе транзистора VT_2 , вследствие чего этот транзистор надёжно закрывается. Таким образом, в течении первого полупериода транзистор VT_1 открыт, а VT_2 – закрыт. Процесс этот продолжается до тех пор, пока магнитный поток магнитопровода трансформатора не достигнет насыщения, когда приращение магнитного потока становится отрицательным, вследствие чего и полярность генерируемых в обмотках ЭДС также меняет знак. Теперь первый транзистор VT_1 закрывается, а второй открывается, начинается второй полупериод преобразования в переменное напряжение и т.д. Частота генерируемых импульсов зависит от приложенного напряжения, чем боль-

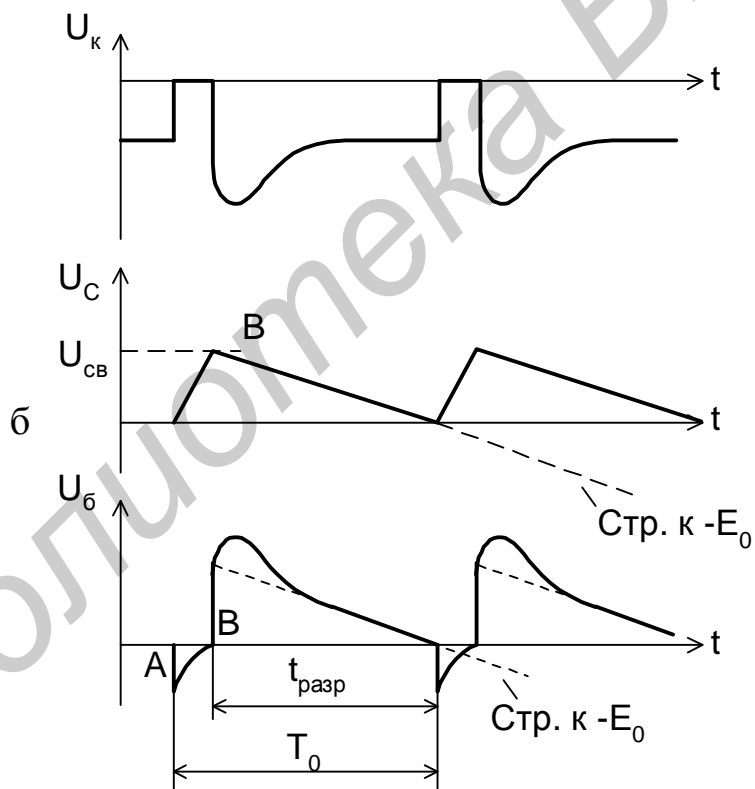
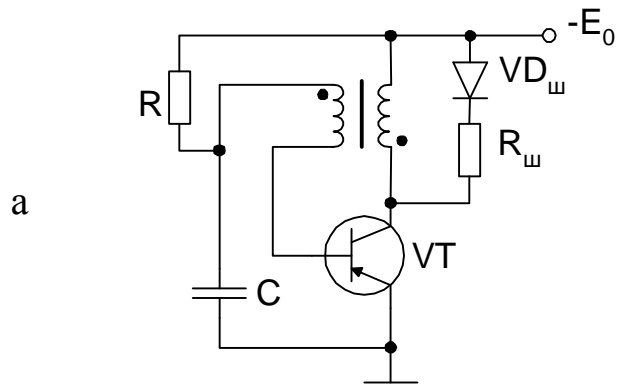


Рис. 2.3. Автоколебательный блокинг-генератор с коллекторно-базовой связью:

а – схема; б – временные графики

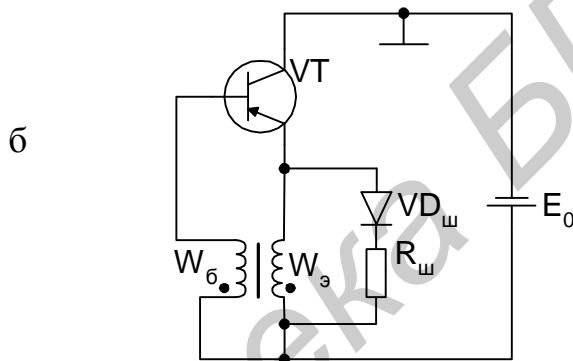
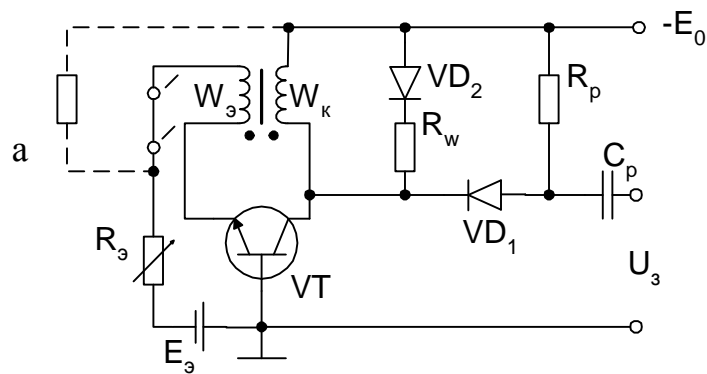


Рис. 2.4. Схемы блокинг-генератора:
 а – с коллекторно-эмиттерной связью; б – с эмиттерно-базовой связью

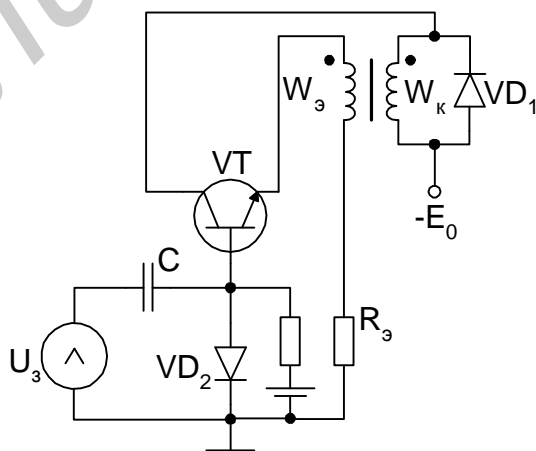


Рис. 2.5. Схема запуска блокинг-генератора с коллекторно-эммитерной СВЯЗЬЮ

ше это напряжение, тем выше частота, поэтому эти схемы используют в качестве пропорциональных преобразователей напряжения в частоту. Резисторы R_1 , R_2 необходимы для задания небольшого начального смещения по базовым

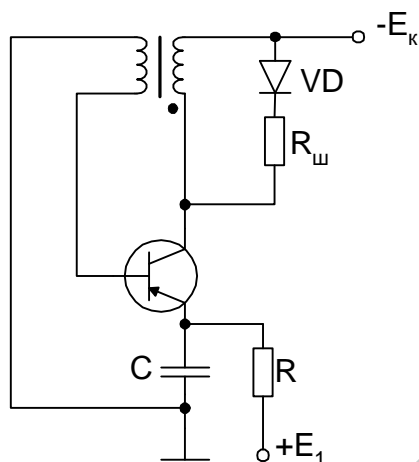


Рис. 2.6. Схема блокинг-генератора с улучшенной температурной стабильностью

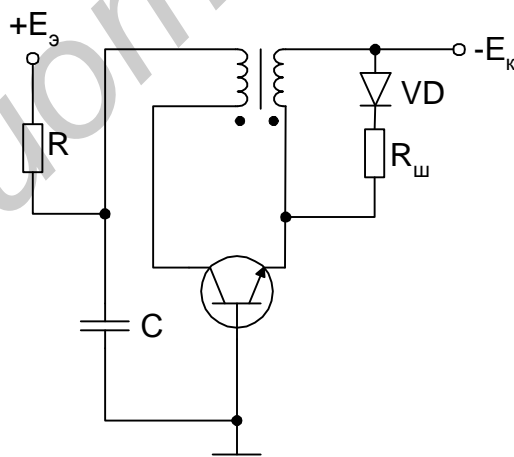


Рис. 2.7. Схема автоколебательного блокинг-генератора с коллекторно-эмиттерной связью

цепям, что предотвращает «засыпание» процессов преобразования, особенно при низких температурах. Особенность схемы рис. 2.8, в заключается в том, что оба коллектора имеют гальваническую связь, благодаря этому их можно расположить на одном и том же радиаторе.

Наряду с двухтранзисторными преобразователями широко применяются четырёхтранзисторные мостовые и двухтранзисторные полумостовые схемы. Специальное включение транзисторов в этих схемах даёт возможность в два раза уменьшить допустимое напряжение коллектор – эмиттер, что особенно

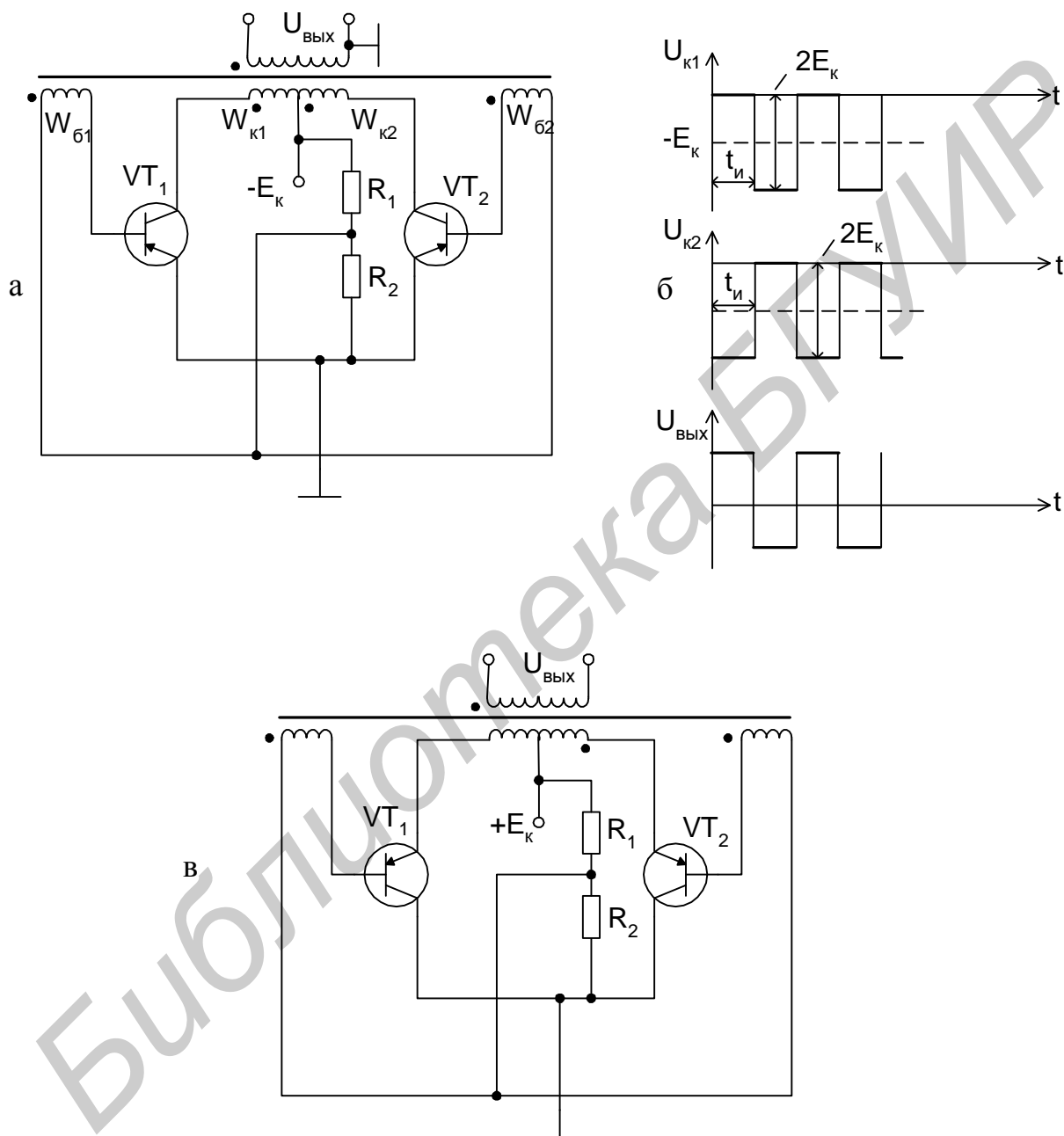


Рис. 2.8. Магнитно–транзисторный преобразователь:

а – типовая схема; б – временные графики; в – случай гальванической связи коллекторных электродов

важно в высоковольтных схемах. Подключение нагрузки вносит некоторые особенности в работу блокинг–генератора, так как она часто не имеет гальва-

нической развязки со схемой. Точки её подключения показаны на рис.2.5. В частности в лабораторной работе исследуется влияние подключения нагрузки в виде подключения R , L , C_H к выводам $U_{\text{вых1}}$. Подключение любого нагрузочного элемента изменяет характер переходного процесса в коллекторной индуктивности по сравнению с холостым ходом. Например, при подключении R_H при закрытом транзисторе в индуктивности будет протекать начальный ненулевой ток по цепи: $-E_0$, L , R_H , $+E_0$. Тогда при открывании транзистора весь этот ток мгновенно переключается на транзистор (переход коллектор–эмиттер открыт). В схеме начинается переходный процесс с начальным ненулевым током (рис. 2.1, штриховая кривая 4) и транзистор быстрее войдет в активный режим. Длительность выходного импульса будет короче.

Изменение переходного процесса при подключении нагрузки типа L_H и C_H также легко анализируется (самостоятельно).

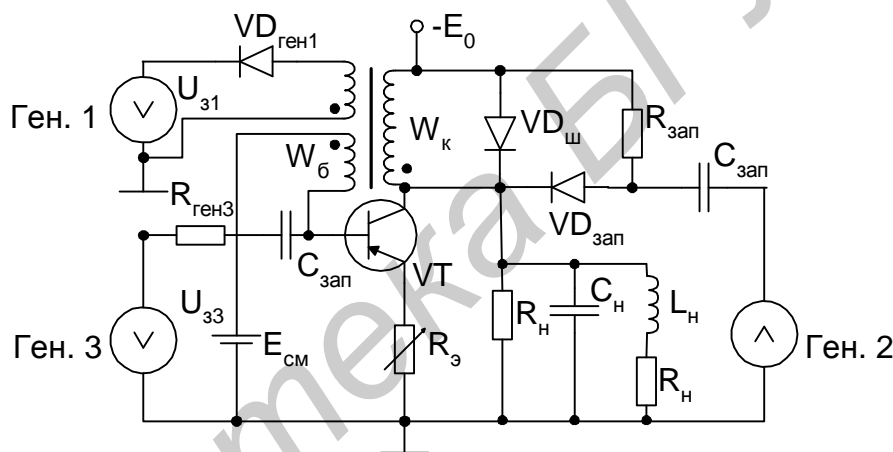










Рис. 2.9. Способы подключения нагрузки к блокинг–генератору

2.4. Лабораторное задание

1. Изучить виды схем ждущих блокинг–генераторов.
2. Изучить виды схем автоколебательных блокинг–генераторов.
3. Изучить процессы в схемах ждущих и автоколебательных блокинг–генераторов, сравнительные особенности отдельных схем.
4. Исследовать схему блокинг–генератора с коллекторно–базовой связью в ждущем и автоколебательном режимах при организации различных видов цепей запуска и нагрузок.
5. Исследовать схему блокинг–генератора с коллекторно–эмиттерной связью в ждущем и автоколебательном режимах.
6. Исследовать схему блокинг–генератора с эмиттерно–базовой связью в ждущем и автоколебательном режимах.

2.5. Описание лабораторной установки







На передней панели лабораторной установки выгравированы три вида схем блокинг–генераторов: с коллекторно–базовой, коллекторно–эмиттерной связью и эмиттерно–базовой связями. Галетные переключатели, микротумблеры и потенциометры дают возможность выполнять исследования при различных величинах напряжения и параметров элементов схемы. Вид передней панели лабораторной установки изображен на рис. 2.10. В нижней части лабораторной установки расположены органы управления встроенного генератора мультивибратора и двух формирователей  и  импульсов положительной и отрицательной полярности. Посредством ручек потенциометров I–IV и галетных переключателей V и VI производится регулировка длительности и частоты генерируемых мультивибратором импульсов. В гнездах  и  можно наблюдать с помощью осциллографа генерируемые мультивибратором импульсы, которые после дифференцирования проходят на гнезда ,  и , . Регулировка амплитуды импульсов производится потенциометром «Рег.ампл». Частота и длительность импульсов формирователей настраиваются галетными переключателями VII, VIII и регуляторами IX, X, амплитуда изменяется потенциометром «Рег.ампл». Для вывода постоянных напряжений с амплитудой до 3 В предусмотрены гнезда +E и –E, величину напряжений можно плавно изменять потенциометром «Рег.+E и Рег.–E».

Гнездовой штепсельный разъем предназначен для исследования других схем блокинг–генераторов.

Вид передней панели лабораторной установки для исследования блокинг–генераторов представлен на рис. 2.10

2.6. Порядок выполнения работы

1. Исследовать схему ждущего мультивибратора с коллекторно–базовой связью.

Подготовить схему к исследованию: включить микротумблеры П2, П3, отключить П1, П5, П6, П7, галетный переключатель установить в положение IV, потенциометр R4 – в крайнее левое положение (наименьшая величина сопротивления), потенциометр «Рег.Е₀» – в крайнее правое положение, измерить напряжение питания в гнезде 10 – оно должно быть равно –5 В, потенциометр «Рег.Е_{см2}» установить в крайнее левое положение. Галетные переключатели V и VI генератора импульсов (мультивибратора) установить в первое положение, потенциометры генератора импульсов I, IV – в крайнее левое положение, потенциометры II, III – в крайнее левое положение, все микротумблеры цепей  и  установить в верхнее положение, потенциометры «Рег.ампл.» – в крайнее правое положение (по часовой стрелке). Подключив осциллограф к гнездам продифференцированных импульсов, ,  и , , убедиться в наличии генерации, установить для наблюдений развертку осциллографа и амплитуду изображения на экране.

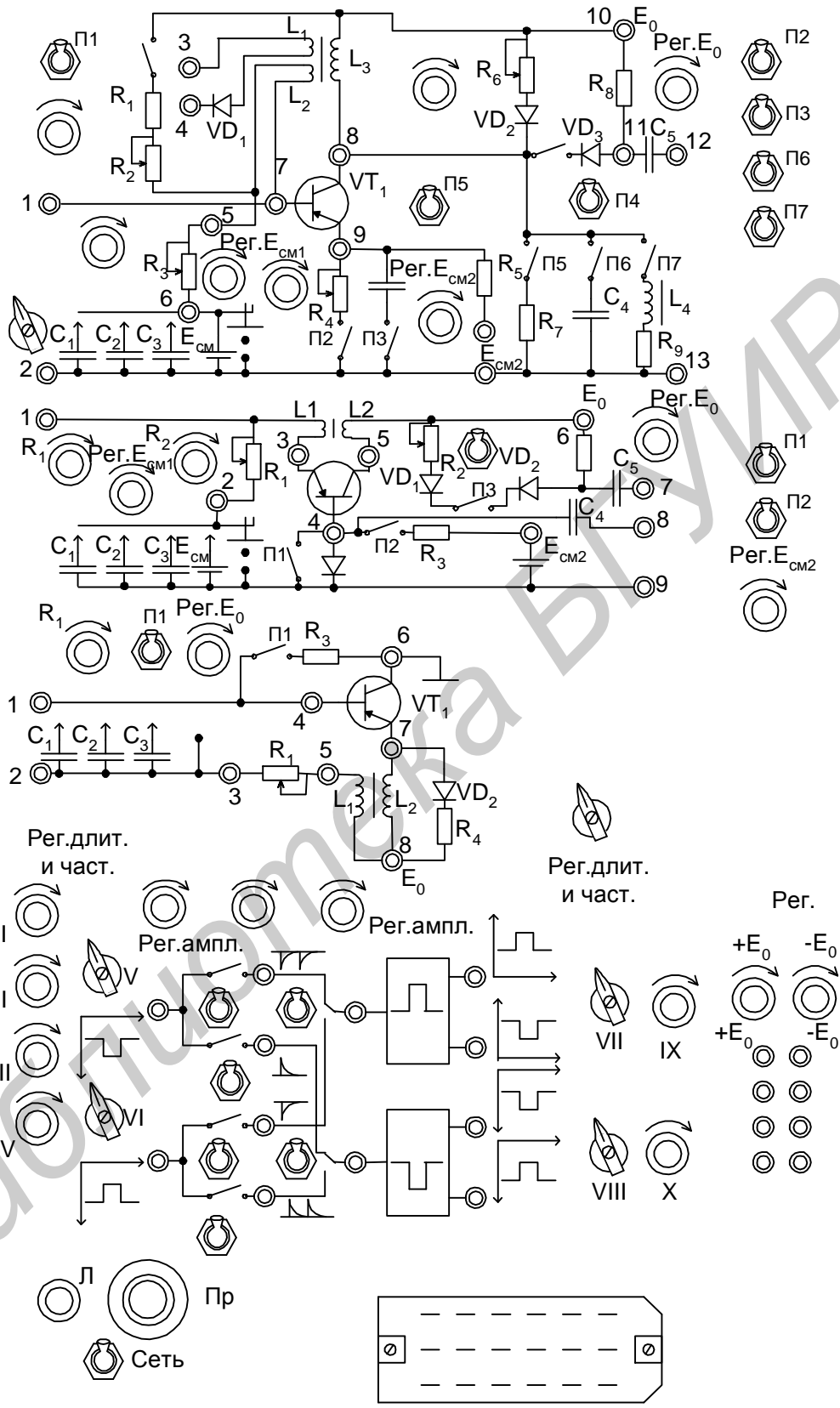



Рис. 2.10. Вид передней панели лабораторной установки для исследования блокинг-генераторов

Включить тумблер П4 цепи запуска блокинг–генератора с коллекторно–базовой связью, соединить гнездо 12 цепи запуска с гнездом  продифференцированных импульсов, установить потенциометры R3, R6 в крайнее правое положение, установить потенциометр «Рег.Е_{см1}» напряжения смещения в гнезде 6 равным 0,25...0,3 В. Подключить осциллограф к коллектору транзистора (гнездо 8), при этом на экране должны высвечиваться импульсы работающего в режиме запуска блокинг–генератора. Кратковременно отключить сигнал от гнезда 12, убедиться, что запуск блокинг–генератора прекращён. В исследуемой схеме, так же как и в других, трансформаторы блокинг–генератора имеют большие магнитопроводы, поэтому постоянная времени в цепи коллекторной обмотки и импульсы получаются длинными во времени. Это сделано с целью удобства развертки и наблюдения формы импульсов на экране осциллографа.

1.1. Постоянно увеличивая сопротивление потенциометра R₃ вращением его ручки против часовой стрелки (от крайнего правого положения), снять зависимость длительности генерируемого импульса в функции изменяемого сопротивления. Измерение длительности импульса производить визуально на экране осциллографа.

Объяснить причину изменения длительности импульса при увеличении сопротивления R₃.

1.2. Установить потенциометр R₃ в крайнее правое положение. Постепенно увеличивая потенциометром E_{см1} напряжение смещения в точке 6, измерить зависимости длительности импульса в функции напряжения. Объяснить причину изменения длительности импульса.

1.3. Установить потенциометр «Рег.Е_{см1}» в крайнее левое положение (наименьшее напряжение). Постоянно увеличивая потенциометром R₄ (вращать по часовой стрелке) сопротивление в эмиттерной цепи, наблюдать на экране осциллографа уменьшение импульса. Объяснить причину этого уменьшения.

1.4. Установить потенциометры R₃ в крайнее правое положение, R₄ – в крайнее левое положение, а потенциометром «Рег.Е_{см1}» установить напряжение смещения 0,25...0,3 В (в гнезде 6). Микротумблером П₅ подключить к коллектору активную нагрузку R₇. Наблюдать и зарисовать изменённую форму импульса, объяснить физику процессов такого изменения. Затем поочередно произвести такие же опыты с помощью микротумблеров П₆, П₇. Зарисовать осциллограммы и привести объяснение.

1.5. Установить микротумблер П₅ во включенное (верхнее) положение, переключить проводник с запускающим сигналом с гнезда 12 на гнездо 3, а к гнезду 4 подключить землю (гнездо 2 или 13). Наблюдать генерацию импульсов при этом способе запуска. Отключить кратковременно тумблер П₅, наблюдать высокочастотную генерацию (самовозбуждение), объяснить его.

1.6. Исследовать схему блокинг–генератора в автоколебательном режиме. Исходное состояние: тумблер П₁ включен, галетный переключатель установить в положение I (крайнее левое положение, упор в ограничитель), проводники от задающего генератора отсоединены, тумблер П₂ включен, П₃, П₄, П₅, П₆, П₇ отключены, потенциометр R₄ – в крайнем левом положении, R₂, R₃ – в крайнем

правом положении, R_6 – в крайнем левом положении. В этом исходном состоянии на экране осциллографа выявляются генерируемые импульсы.

1.7. Измерить зависимость частоты генерируемых импульсов от величины сопротивления R_3 .

Не изменяя настройки схемы, при крайнем правом положении потенциометра R_3 галетный переключатель блокинг–генератора установить в положение II и III и также измерить генерируемые частоты.

Установить галетный переключатель блокинг–генератора в положение I и произвести поочередно опыт подключения нагрузок R_7 , C_4 и L_4 , R_9 микротумблерами Π_5 , Π_6 , Π_7 . Зарисовать формы импульсов и измерить частотомером изменение частоты.



Переключить галетный переключатель блокинг–генератора во положение II, произвести те же опыты, объяснить их.

1.8. Установить потенциометр R_3 в крайнее положение, галетный переключатель – в положение I. Увеличивая потенциометром R_4 сопротивление в эмиттерной цепи, наблюдать изменение частоты генерации. Произвести тот же опыт при включенном конденсаторе посредством тумблера Π_3 . Объяснить опыты.

1.9. Установить потенциометр R_3 в крайнее правое положение, выключить тумблер Π_3 . Увеличивая потенциометром «Рег. E_{cm2} » (вращать по часовой стрелке) напряжение смещения, наблюдать за изменением генерируемых импульсов, объяснить опыт.

2. Исследовать схему блокинг–генератора с коллекторно–эмиттерной связью.

2.1. Исследовать схему в ждущем режиме.

Исходное состояние схемы: потенциометры R_1 , R_2 , «Рег. E_{cm1} » находятся в крайнем левом положении (против часовой стрелки), галетный переключатель – в положении IV, тумблеры Π_1 , Π_3 включены, Π_2 отключен, потенциометр «Рег. E_0 » находится в крайнем правом положении. Соединить гнездо 7 блокинг–генератора с гнездом  выхода мультивибратора . При этом на выходе блокинг–генератора (гнездо 5) наблюдаются генерируемые импульсы. Кратковременно отключив микротумблером Π_3 входной сигнал, убедиться в прекращении генерации импульсов.

2.2. Вращая ручку потенциометра R_1 по часовой стрелке (увеличение R_1), снять зависимость уменьшения длительности импульса в функции этого сопротивления (аналогично п. 1.1).

2.3. Установить потенциометр R_1 в крайнее левое положение. Постепенно вращая по часовой стрелке ручку потенциометра «Рег. E_{cm1} », снять зависимость уменьшения длительности генерируемого импульса в функции напряжения (гнездо 2).

2.4. Переключить проводник входного сигнала с гнезда 7 на гнездо 8. Отключить тумблер Π_1 , включить Π_2 . Установить потенциометр E_{cm2} в крайнее левое положение. На коллекторном электроде транзистора (гнездо 5) с помощью осциллографа наблюдаем генерируемые импульсы. Зарисовать и объяснить форму. Постепенно увеличивая потенциометром « E_{cm2} » напряжение сме-

щения, наблюдать изменение формы импульсов, привести объяснение. Отключить микротумблер П_2 , наблюдать генерируемые импульсы, объяснить их.

2.5. Выполнить исследование блокинг–генератора в автоколебательном режиме.



Исходное состояние схемы: проводник источника сигнала соединить, галетный переключатель установить в положение I, потенциометры R_1 , R_2 установить в крайнее левое положение, тумблер П_1 включить, П_2 отключить. Так как в режиме автоколебаний транзистор должен находиться в режиме небольшого открывающего смещения, то к эмиттеру (гнездо 1) подключаем напряжение смещения $+E_0$, проводники от источника $+E_0$ внизу справа, причем потенциометр «Рег. $+E_0$ » устанавливаем в крайнее правое положение (наибольшее напряжение смещения). В этом исходном состоянии на коллекторе (гнездо 5) наблюдаются генерируемые импульсы. Зарисовать их форму и измерить частоты генерации при трех положениях галетного переключателя – I, II, III.

Любознательным студентам провести исследования при изменении параметров элементов схемы аналогично п. I.

3. Исследование блокинг–генератора с эмиттерно–базовой связью.

3.1. Выполнить исследования в ждущем режиме.

Исходное состояние: потенциометр R_1 находится в крайнем левом положении, потенциометр «Рег. $+E_{\text{см}}$ » – в крайнем правом положении, тумблер П_1 включен, галетный переключатель – в положении IV.

Проводником связи соединить гнездо 4 (базу) транзистора блокинг–генератора с гнездом  мультивибратора . При этом на эмиттерном электроде (гнездо 7) наблюдаются генерируемые импульсы. Зарисовать и объяснить их форму. Наблюдать изменение формы этих импульсов при медленном вращении вправо (по часовой стрелке) ручки потенциометра R_1 .

3.2. Выполнить исследование в автоколебательном режиме. Исходное состояние: тумблер П_1 включен, сигнал (гнездо 4) отключен, галетный переключатель установлен в положение I. На эмиттере (гнездо 7) наблюдать форму генерируемых импульсов. Постепенно вращая ручку потенциометра R_1 по часовой стрелке, наблюдать форму импульсов, привести объяснения. Устанавливая галетный переключатель в положения I, II, III, измерить частоту генерируемых импульсов.

2.7. Содержание отчета

1. Принципиальные схемы блокинг–генераторов.
2. Осциллограммы импульсов.
3. Таблицы и графики.
4. Выводы, обобщения.

2.8. Контрольные вопросы

1. В чем состоит схемная особенность блокинг–генератора по сравнению с другими релаксационными схемами?
2. Каким образом составляются схемы блокинг–генераторов в ждущем и автоколебательном режимах?
3. Каково назначение цепочек, подключенных параллельно первичной обмотке трансформатора?
4. Перечислите способы запуска блокинг–генератора.
5. Рассказать о процессах в ждущем блокинг–генераторе.
6. Рассказать о процессах в автоколебательном блокинг–генераторе.
7. В чем состоит сущность процесса синхронизации блокинг–генератора?
8. Как с помощью блокинг–генератора произвести деление частоты?
9. Рассказать о формах импульсов блокинг–генераторов.
10. Как происходит закрывание транзистора блокинг–генератора в момент окончания импульса?
11. Рассказать о схемах магнитно–транзисторных преобразователей.

Литература

1. Опадчий Ю. Ф., Глудкин О.П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник. – М.: «Горячая линия – Телеком». 1999.
2. Карлащук В.Л. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение. Изд–во «Салон – Р». М., 1999

Учебное издание

Решетилов Анатолий Родионович,
Ольшевский Николай Иванович

**Лабораторный практикум по курсу
«Электроника и микросхемотехника»**

для студентов специальности
“Автоматическое управление в технических системах”

Редактор Т.А. Лейко
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано к печати Формат 60x84 1/16

Бумага Печать Гарнитура

Усл.печ.л. Уч.–изд.л. Тираж 250 экз. Заказ

Издательство и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
“Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники”

Лицензия ЛП №156 от 05.02.2001
Лицензия ЛП №509 от 03.08.2001
220013, Минск, П. Бровки, 6.