


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. промышленной и
медицинской электроники
проф., д-р техн. наук

 Г.С. Евтушенко

« 22 » февраля 2012 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОВИБРАТОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплинам «Схемотехника», «Электроника»
для студентов III курса, обучающихся по направлениям
210100 «Электроника и наноэлектроника»,
201000 «Биотехнические системы и технологии»

Составитель Е.В. Ярославцев

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УКД 621.374

Исследование одновибраторов: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсам «Схемотехника», «Электроника» для студентов III курса, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и нанoeлектроника», 201000 «Биотехнические системы и технологии». Сост. Е.В. Ярославцев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2012. – 32 с.

УКД 621.374
ББК 00000

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры промышленной и медицинской электроники ИНК « 22 » февраля 2012 г.

Зав. кафедрой ПМЭ
доктор техн. наук,
профессор


_____ Г.С. Евтушенко

Председатель
учебно-методической комиссии

_____ А.Н. Гормаков

Рецензент

Кандидат технических наук, с.н.с.,
заместитель директора по науке обособленного
подразделения ТУСУР
И.В. Целебровский

© Составление. ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012
© Ярославцев Е.В., составление, 2012

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОВИБРАТОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является дальнейшее развитие у студентов навыков разработки и исследования различных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры на основе работы с типовыми устройствами импульсной техники: схемами одновибраторов, выполненных на различной элементной базе.

Задача: усвоить принцип действия, рассчитать, смонтировать, настроить и исследовать ряд схем транзисторных одновибраторов с коллекторно-базовыми связями.

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

Монтаж исследуемых устройств осуществляется на универсальной лабораторной панели с помощью модулей, на которых закреплены активные и пассивные элементы электронных схем. Параметры используемых элементов определяются в результате предварительного расчета, исходные данные для которого задаются преподавателем. Электрические соединения между модулями производятся соединительными проводниками. В качестве устройства запуска используется генератор прямоугольных импульсов типа Г5-54. Для наблюдения за переходными процессами в схемах применяется двухлучевой осциллограф типа GOS 620. Питание исследуемых устройств осуществляется от универсального лабораторного блока питания.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучить разделы курса и краткие теоретические сведения, посвященные анализу транзисторных одновибраторов с коллекторно-базовыми связями.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.
3. Ознакомиться с рабочим заданием и методическими указаниями к работе.
4. Составить подробный план проведения экспериментов.
5. Рассчитать принципиальную схему исследуемого устройства, пользуясь методикой расчета, приведенной в кратких теоретических

сведениях. Исходные данные для расчета взять из таблицы согласно варианту, указанному преподавателем.

6. Подготовить бланк отчёта.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Получить у преподавателя допуск к работе.

Примечание: к работе допускаются лишь те студенты, которые правильно выполнили расчет принципиальной схемы исследуемого устройства, подготовили бланк отчета и набрали не менее 4 баллов при ответах на вопросы экспресс-контроля. В этом случае преподаватель выдает подгруппе модули с элементами, параметры которых соответствуют расчетным.

2. Включить электронную аппаратуру для предварительного прогрева.

3. Собрать на универсальной лабораторной панели транзисторный одновибратор с коллекторно-базовыми связями (рис. 2, а).

4. После проверки монтажной схемы преподавателем подключить к устройству источники питающего и смещающего напряжений.

5. Убедиться в том, что одновибратор находится в исходном состоянии покоя, измерив с помощью осциллографа токи и напряжения в характерных точках схемы. Описать качественно и количественно исходное состояние устройства.

6. Подключить ко входу схемы генератор и подать запускающий сигнал. Наблюдая с помощью осциллографа напряжение на коллекторе транзистора V_{T_2} , убедиться в нормальной работе устройства.

7. Зарисовать, сфазировав, следующие осциллограммы: $u_{зап}(t)$, $u_{б1}(t)$, $i_{б1}(t)$, $i_{к1}(t)$, $u_{к1}(t)$, $u_{б2}(t)$, $i_{б2}(t)$, $i_{к2}(t)$, $u_{к2}(t)$, $u_{C1}(t)$. Измерить параметры (и занести в отчет результаты измерений) всех наблюдаемых импульсных процессов – время фронта $t_{ф}$, среза t_c , активную длительность импульса $t_{иа}$ и период работы $T = 1/f$.

8. Сравнить реальные длительности выходного импульса $t_{и\text{вых}}$ и стадии восстановления $t_{в}$ с расчетными значениями. Определить абсолютную и относительную погрешности расчета, объяснить полученные расхождения между расчетом и экспериментом.

9. Заменить постоянный резистор $R_{к1}$ переменным с тем же (или близким) номиналом и переключить конденсатор C_1 , получив одновибратор с регулируемой длительностью выходного импульса (рис. 4). Контролируя наличие выходного сигнала, определить максимально возможный диапазон регулирования $t_{и\text{вых}}$, при котором

сохраняется работоспособность устройства. Зарисовать, фазируя, осциллограммы $u_{\text{зап}}(t)$, $u_{\text{к1}}(t)$, $u_{\text{б2}}(t)$, $u_{\text{к2}}(t)$, $u_{\text{С1}}(t)$ для двух крайних положений движка переменного резистора, при которых схема устойчиво работает. Объяснить полученный результат.

10. Собрать и запустить схему одновибратора с отсекающим вентилем, заменив резистор $R_{\text{к1}}$ двумя ($R'_{\text{к1}}$ и $R''_{\text{к1}}$) с вдвое большим номиналом и включив между ними импульсный диод (рис. 5).

11. Зарисовать осциллограммы $u_{\text{зап}}(t)$, $u_{\text{к1}}(t)$, $u_{\text{С1}}(t)$. Измерить время восстановления устройства и параметры выходного импульса, снимаемого с коллектора транзистора VT_1 . Результат сравнить с аналогичными параметрами первоначальной схемы. Объяснить полученный эффект.

12. Выключить электронную аппаратуру. Разобрав монтажную схему, сдать модули и соединительные проводники преподавателю. Навести порядок на рабочем месте.

13. Оформить, защитить и сдать отчёт о проделанной работе.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. К п. 3. Предусмотреть возможность наблюдения за базовыми и коллекторными токами транзисторов, включив в соответствующие цепи резисторы-шунты (сопротивление шунтов согласовать с преподавателем).

2. К п. 4. Организовать запирающее напряжение смещения $E_{\text{см}}$ согласно рис. 2, а с помощью резистивного делителя $R_{\text{д1}} - R_{\text{д2}}$, подключенного к дополнительному источнику E_2 (имеется в лабораторном блоке питания).

Чтобы напряжение $U_{R_{\text{д1}}} = E_{\text{см}}$ не зависело от процессов в одновибраторе, необходимо, чтобы ток делителя был приблизительно на порядок больше тока, потребляемого от $E_{\text{см}}$:

$$\frac{E_2}{R_{\text{д1}} + R_{\text{д2}}} \cong 10 \frac{E_{\text{см}}}{R_{\text{б1}} + R_{\text{С}}},$$

следовательно:

$$R_{\text{д1}} + R_{\text{д2}} = \frac{E_2 (R_{\text{б1}} + R_{\text{С}})}{10 E_{\text{см}}}.$$

отсюда имеем:

$$E_{\text{см}} = U_{R_{д1}} \cong \frac{E_2 R_{д1}}{R_{д1} + R_{д2}},$$

таким образом:

$$R_{д1} = \frac{E_{\text{см}} R_{д2}}{E_2 - E_{\text{см}}}.$$

Задаваясь $R_{д2}$, вычисляют $R_{д1}$. Для снижения сопротивления для импульсной составляющей тока резистор $R_{д1}$ целесообразно шунтировать фильтровым конденсатором ёмкостью $C_{\phi} \geq 10 \text{ мкФ}$ (обратить внимание на полярность включаемого конденсатора!).

3. К п. 5, 7, 9, 11. Перед проведением измерений отбалансировать и откалибровать осциллограф. Все измерения проводить на соответствующем пределе при «открытом» входе осциллографа (исключив входной разделительный конденсатор). При снятии осциллограмм использовать оба луча, не забывая, что «земля» у них общая. Не следует слепо копировать осциллограммы: это отнимает много времени – нужно отражать лишь качественный характер и фазировку переходных процессов. Для правильной ориентации диаграмм необходимо четко знать положение нулевой линии для каждого луча на экране осциллографа, причём, для повышения точности измерений, нулевую линию необходимо располагать как можно ближе к середине зоны минимальных искажений, совмещая с одной из горизонтальных линий разметки экрана. Период развертки установить таким, чтобы на экране просматривалось 1,2 – 1,5 периода наблюдаемого импульсного процесса. При измерении временных интервалов нужно пользоваться ждущим режимом развертки с внешней синхронизацией. Для пуска осциллографа использовать сигнал $u_{\text{зап}}(t)$.

4. К п. 6. Установить длительность положительного запускающего импульса 1 мкс, выходную частоту генератора – соответствующей заданному значению. Подключение производить через разделительный конденсатор $C_p = 120 \text{ пФ}$ при *нулевом* уровне запускающего сигнала. Плавно увеличивая амплитуду $u_{\text{зап}}(t)$, добиться надежного запуска, обеспечивающего бесперебойное срабатывание одновибратора.

5. К п. 8. Погрешности расчетов определить по формулам:
абсолютная – $\Delta t = |t_{\text{расч}} - t_{\text{эксп}}|$, относительная – $\delta t = \Delta t / t_{\text{расч}}$.

6. К п.9, 10. Все изменения в монтажных схемах, связанные с заменой модулей, производить при отключенном источнике питания.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ОДНОВИБРАТОРОВ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Таблица 1

№ варианта	Напряжение питания, В	Длительность выходного импульса, мкс	Рабочая частота, Гц
1	10	60	7000
2	11	50	10000
3	12	100	5000
4	12,6	600	800
5	15	28	7000
6	10	30	10000
7	9	100	6000
8	12	400	1000

Примечание: Температуру окружающей среды принять 20°C.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Какое из приведенных выражений является условием насыщения транзистора VT_2 в исходном состоянии?

- a) $R_{к2} \leq R_{б2}$;
- b) $R_{к2} \beta \geq R_{б2}$;
- c) $R_{к2} \leq R_{к1}$;
- d) $R_{к2} \beta \leq R_{б2}$;
- e) $R_{к2} \geq R_{б2}$.

2. В каком режиме находятся транзисторы одновибратора на этапе регенерации при переключении устройства?

- a) VT_1 – насыщен, VT_2 – в активном режиме;
- b) VT_1 – заперт, VT_2 – насыщен;
- c) VT_1 – в активном режиме, VT_2 – в активном режиме;
- d) VT_1 – насыщен, VT_2 – насыщен;

е) VT_1 – в активном режиме, VT_2 – насыщен;

3. Укажите назначение конденсатора C_2 :

- а) определяет длительность выходного импульса;
- б) служит для насыщения VT_2 в исходном состоянии;
- в) служит для запираания VT_1 в исходном состоянии;
- г) служит для сокращения времени восстановления;
- е) ускоряет процесс опрокидывания.

4. Какие из указанных элементов определяют длительность выходных импульсов?

- а) $R_{к1}$ и C_1 ;
- б) $R_{к1}$ и C_2 ;
- в) $R_{б2}$ и C_2 ;
- г) $R_{б2}$ и C_1 ;
- е) $R_{б1}$ и C_1 .

5. Укажите значения напряжений на коллекторах транзисторов в исходном режиме длительно устойчивого равновесия:

- а) $U_{к1}=0, U_{к2}=E_k$;
- б) $U_{к1}=E_k, U_{к2}=0$;
- в) $U_{к1}=0, U_{к2}=0$;
- г) $U_{к1}=E_k, U_{к2}=E_k$;
- е) $U_{к1}=E_k, U_{к2}=E_{см}$.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Общие положения

Импульсными генераторами (ИГ) называют устройства, вырабатывающие электрические импульсы путем преобразования энергии источников питающего напряжения в энергию импульсов. ИГ, имеющий только одно состояние длительно устойчивого равновесия, называется одновибратором. В этом состоянии, характеризующимся отсутствием переходных процессов в схеме, одновибратор может находиться сколь угодно долго. Вывод устройства из данного состояния осуществляется путем подачи на его вход внешнего запускающего сигнала – обычно электрического импульса с определенными параметрами. Запускающий сигнал переводит одновибратор в другое состояние: квазиустойчивого («квази-» – условно) равновесия, в

течение которого в схеме протекают переходные процессы, обуславливающие формирование выходного импульса. Квазиустойчивое состояние может существовать лишь конечное время, определяемое внутренними параметрами и структурой ИГ. По истечении этого времени устройство самостоятельно, без использования каких-либо внешних воздействий, возвращается в исходное состояние покоя. Таким образом, на каждый запускающий сигнал одновибратор «отвечает» формированием одного (и только одного! – отсюда и название) выходного импульса. Наличие единственного состояния длительно устойчивого равновесия обусловило появление другого названия одновибратора – моностабильный генератор. Кроме того, одновибратор называют ещё заторможенным или ждущим генератором, поскольку устройство «ждет» прихода запускающего импульса, чтобы начать формирование выходного сигнала. Диаграммы, поясняющие принцип действия одновибратора, показаны на рис. 1.

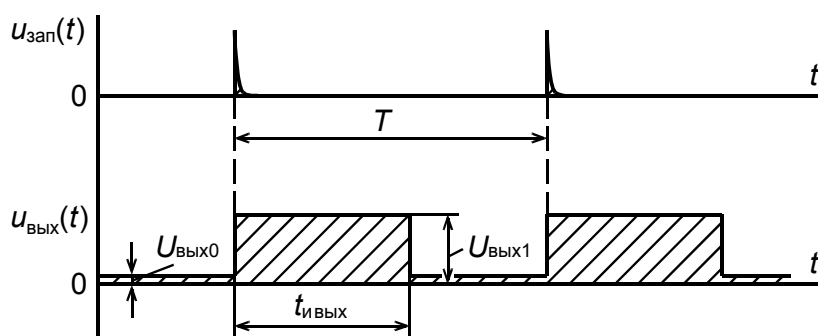


Рис. 1. Диаграммы, иллюстрирующие логику работы ждущего мультивибратора

Как и любой генератор, одновибратор представляет собой систему с положительной обратной связью (ПОС). По способу организации ПОС различают: двухкаскадные генераторы с RC -цепями обратной связи, генераторы с трансформаторной обратной связью, а также устройства на приборах с отрицательным сопротивлением, обладающих внутренней ПОС. По типу используемых активных элементов одновибраторы могут быть ламповыми, транзисторными, выполняться на приборах с отрицательным сопротивлением, на операционных усилителях, логических схемах и т.д. Основные области применения одновибраторов: устройства задержки; нормирование импульсов по амплитуде и длительности; спусковые устройства (кипп-реле), и т.д.

2. Транзисторный мультивибратор с коллекторно-базовыми связями

Базовая (классическая) схема мультивибратора на биполярных транзисторах $n-p-n$ – типа с коллекторно-базовыми связями изображена на рис. 2, а; диаграммы переходных процессов в схеме – на рис. 2, б. Устройство представляет собой двухкаскадный RC -усилитель с перекрестной положительной обратной связью, образованной конденсатором C_1 и резистором R_C .

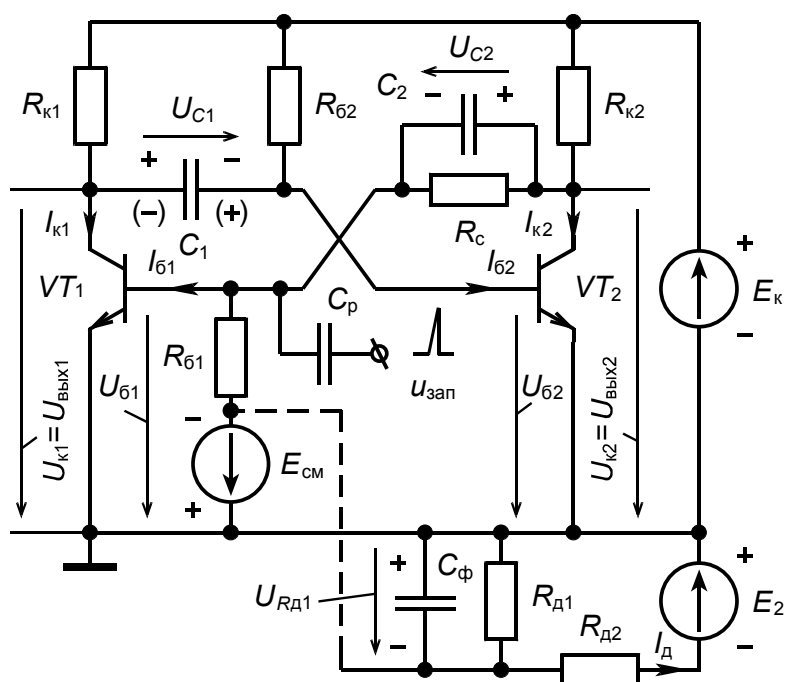


Рис. 2, а. Ждущий мультивибратор на биполярных транзисторах с коллекторно-базовыми связями

а) исходное состояние мультивибратора

В исходном состоянии длительно устойчивого равновесия транзистор VT_1 заперт отрицательным напряжением от источника $E_{см}$ и находится в состоянии глубокой отсечки. Транзистор VT_2 открыт и, при правильно выбранных параметрах элементов схемы, насыщен, получая отпирающее смещение от источника питания $E_к$ через резистор $R_{б2}$. Эквивалентная схема мультивибратора, отражающая это состояние, приведена на рис. 3, а.

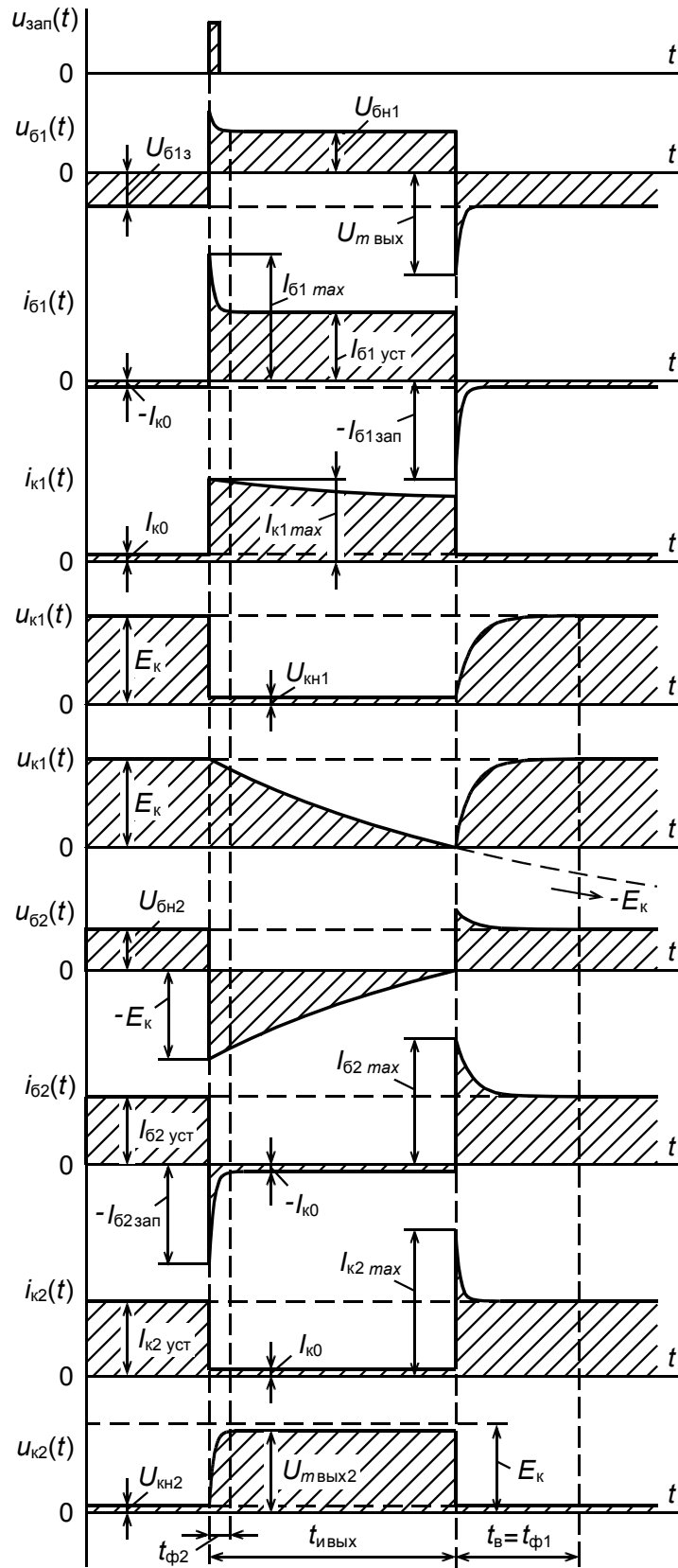
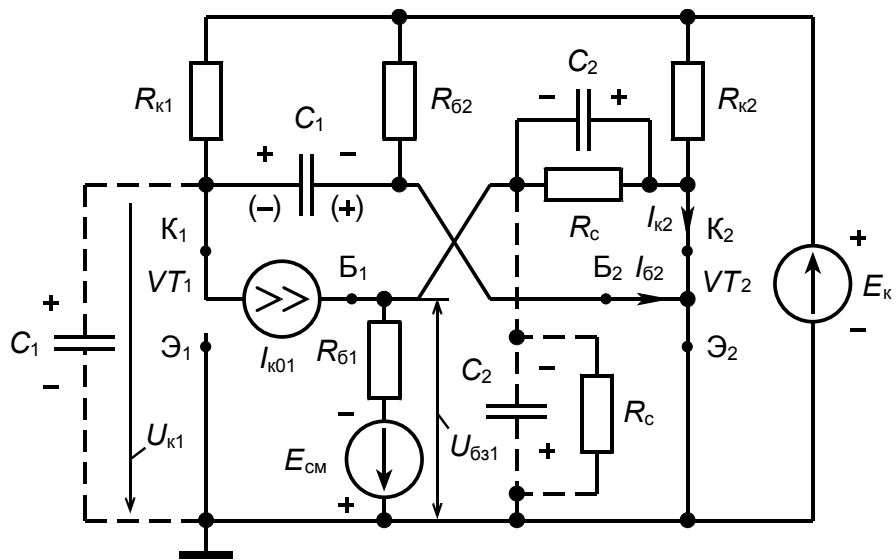
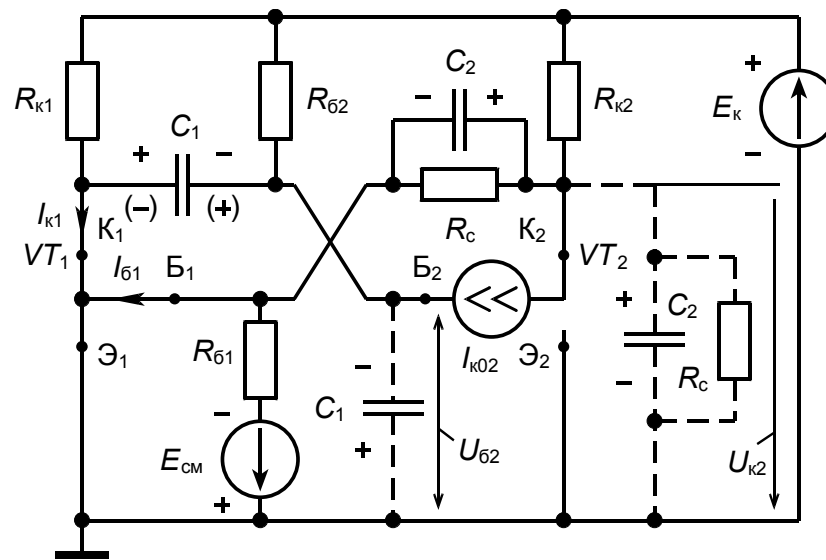


Рис. 2, б. Диаграммы переходных процессов в базовой схеме одновибратора



а)



б)

Рис. 3. Схемы замещения одновибратора: а) в исходном состоянии длительно-устойчивого равновесия; б) на этапе формирования выходного импульса

Здесь насыщенный транзистор VT_2 представлен эквипотенциальной точкой («стянут» в точку), а запертый транзистор VT_1 – идеальным источником тока, величина которого определяется тепловым током обратносмещенного коллекторного перехода $I_{к01}$. Цепь эмиттера VT_1 полагается при этом разорванной.

Анализируя эквивалентную схему с помощью известных законов электротехники, получаем систему уравнений, определяющих токи и напряжения в схеме одновибратора в исходном состоянии:

– ток коллектора насыщенного VT_2 :

$$I_{к2} = I_{кн2} = \frac{E_{к}}{R_{к2}} - \frac{E_{см} - I_{к01} R_{б1}}{R_{б1} + R_{с}} \cong \frac{E_{к}}{R_{к2}} ; \quad (1)$$

– напряжение на эмиттерном переходе VT_2 :

$$U_{б2} = U_{бн2} \cong 0 ; \quad (2)$$

– ток базы покоя VT_2 :

$$I_{б2} = I_{б2п} = (E_{к} - U_{бн2}) / R_{б2} \cong E_{к} / R_{б2} ; \quad (3)$$

– напряжение на коллекторе VT_2 :

$$U_{к2} = U_{кн2} \cong 0 ; \quad (4)$$

– ток коллектора запертого VT_1 :

$$I_{к1} = I_{к01} \cong 0 ; \quad (5)$$

– ток базы VT_1 :

$$I_{б1} = -I_{к01} \cong 0 ; \quad (6)$$

– напряжение на коллекторе VT_1 :

$$U_{к1} = E_{к} - I_{к01} R_{к1} \cong E_{к} ; \quad (7)$$

– напряжение на эмиттерном переходе VT_1 :

$$U_{\delta 1} = U_{\delta 13} = \frac{-E_{\text{см}} R_C + I_{\text{к01}} R_{\delta 1} R_C}{R_{\delta 1} + R_C}; \quad (8)$$

– напряжение на конденсаторе C_1 (полярность указана на рис. 2, а без скобок):

$$U_{C1} = U_{C1(0)} = E_{\text{к}} - I_{\text{к01}} R_{\text{к1}} - U_{\delta \text{н2}} \cong E_{\text{к}}; \quad (9)$$

– напряжение на ускоряющем конденсаторе C_2 (полярность – на рис. 2, а):

$$U_{C2} = U_{C2(0)} = U_{\delta 13} = \frac{-E_{\text{см}} R_C + I_{\text{к01}} R_{\delta 1} R_C}{R_{\delta 1} + R_C}; \quad (10)$$

Используя выражения (1), (3) и (8), находим условия обеспечения исходного состояния одновибратора.

Условие насыщения VT_2 (токовый критерий):

$$I_{\delta 2} \geq I_{\text{кн2}} / \beta_{2\text{min}},$$

следовательно, должно выполняться

$$\frac{E_{\text{к}}}{R_{\delta 2}} \geq \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к2}} \beta_{2\text{min}}},$$

или

$$R_{\delta 2} \leq R_{\text{к2}} \beta_{2\text{min}}, \quad (11)$$

где $\beta_{2\text{min}}$ – минимально возможное значение коэффициента усиления транзистора VT_2 по току в схеме с общим эмиттером (ОЭ).

Условие запираания VT_1 :

$$U_{\delta 13} \leq 0,$$

следовательно, должно обеспечиваться

$$E_{см} \geq I_{к01max} R_{б1},$$

или
$$R_{б1} \leq E_{см} / I_{к01max}, \quad (12)$$

где $I_{к01max}$ – максимально возможное (при максимальной рабочей температуре устройства) значение обратного теплового тока транзистора VT_1 .

б) процесс опрокидывания одновибратора и формирование выходного импульса

Запуск устройства может осуществляться либо подачей отпирающего (положительного) импульса на базу VT_1 , либо подачей запирающего сигнала на базу VT_2 . Предположим, что в момент $t_0=0$ (начало отсчета) запускающий сигнал отпирающей полярности поступает на базу запертого VT_1 – рис. 2. С приходом импульса начинается процесс опрокидывания одновибратора, включающий следующие этапы:

1) этап подготовки, на котором за счет воздействия положительного запускающего сигнала $U_{зап}$ напряжение на эмиттерном переходе VT_1 возрастает до уровня $e_{0б1}$ – напряжения отсечки входной характеристики транзистора, и транзистор VT_1 открывается;

2) этап рассасывания, в течение которого открывшийся VT_1 работает в активном режиме, его коллекторный ток возрастает, а напряжение на коллекторе уменьшается. Снижение $U_{к1}$ вызывает появление запирающего напряжения на эмиттерном переходе VT_2 , т.к. напряжение на конденсаторе C_1 за это короткое время практически не изменяется ($U_{б2} = U_{к1} - U_{C1}(0)$). Базовый ток VT_2 меняет направление, становясь запирающим, что вызывает быстрый вывод избыточного заряда из базы VT_2 . Этап заканчивается в момент перехода VT_2 из насыщенного в активный режим;

3) этап регенерации, в течение которого оба транзистора работают в активном режиме, причем коллекторный ток VT_1 продолжает увеличиваться, а VT_2 – начинает уменьшаться. В схеме действует глубокая положительная обратная связь: увеличение $I_{к1}$ приводит к увеличению падения напряжения на резисторе $R_{к1}$ и,

следовательно, к уменьшению $U_{к1}$. Отрицательный скачок напряжения на коллекторе VT_1 , передаваясь через конденсатор C_1 на базу VT_2 , вызывает его дальнейшее запираение и уменьшение $I_{к2}$. Это, в свою очередь, приводит к увеличению $U_{к2}$, положительное приращение которого через ускоряющий конденсатор C_2 передается на базу VT_1 ; последний еще более открывается, увеличивая свой коллекторный ток, и т.д. Процесс переключения идет лавинообразно и завершается насыщением VT_1 и запираением VT_2 . Длительность процесса переключения мала (десятыи доли микросекунды), поэтому на диаграммах (рис. 2, б) изменение напряжений $U_{б1}$, $U_{б2}$ и $U_{к1}$ показано в виде скачков.

После завершения процесса переключения одновибратор переходит во второе, квазиустойчивое состояние равновесия, в течение которого транзистор VT_1 насыщен, а VT_2 – заперт. Эквивалентная схема устройства в этом состоянии приведена на рис. 3, б. Во время пребывания одновибратора в квазиустойчивом состоянии равновесия происходит два основных процесса: относительно быстрый заряд ускоряющего конденсатора C_2 и разряд конденсатора C_1 , определяющий длительность выходного импульса. Рассмотрим подробнее эти процессы.

Конденсатор C_2 , заряженный в исходном состоянии до небольшого напряжения $U_{C_2}(0) = U_{б13}$ (см. выражение (10)) и сохранивший значение этого напряжения неизменным за время переключения одновибратора, теперь начинает заряжаться от источника питания E базовым током насыщенного транзистора VT_1 . Постоянная времени цепи заряда

$$\tau_{13} = C_2(R_C \parallel R_{к2}). \quad (13)$$

Поскольку обычно $R_{к2} \ll R_C$, на практике считают

$$\tau_{13} \cong C_2 R_{к2}. \quad (14)$$

Спустя время, равное $\approx 3\tau_{13}$, напряжение на C_2 с первоначальной полярностью достигает установившегося значения (см. рис. 3, б):

$$U_{c2(\infty)} = E_{\kappa} \frac{R_C}{R_C + R_{\kappa 2}} - I_{\kappa 02} \frac{R_{\kappa 2} R_C}{R_{\kappa 2} + R_C} \cong E_{\kappa} \frac{R_C}{R_C + R_{\kappa 2}}. \quad (15)$$

Так как через эмиттерный переход насыщенного транзистора VT_1 конденсатор C_2 включен параллельно запертому VT_2 , процесс заряда C_2 определяет закон изменения коллекторного напряжения $U_{\kappa 2}$, а, следовательно, и длительность фронта выходного сигнала. Таким образом (рис. 2, б):

$$t_{\phi 2} \cong 3\tau_{13} \cong 3C_2 R_{\kappa 2}. \quad (16)$$

Амплитуда на выходе 2 определяется, очевидно, разностью уровней коллекторного напряжения транзистора VT_2 в состояниях квазиустойчивого и длительно устойчивого равновесия:

$$U_{m\text{вых}} = U_{C2(\infty)} - U_{\kappa 2} \cong U_{C2(\infty)} \cong \frac{E_{\kappa} R_C}{R_C + R_{\kappa 2}} \quad (17)$$

Рассмотрим второй процесс – разряда конденсатора C_1 . В исходном состоянии C_1 заряжен до напряжения, практически равного E , с полярностью, указанной на рис. 3, а без скобок. За время переключения одновибратора это напряжение почти не меняется. После насыщения VT_1 конденсатор C_1 через короткозамкнутый участок коллектор-эмиттер насыщенного транзистора подключается параллельно эмиттерному переходу VT_2 , поддерживая последний в запертом состоянии (рис. 3, б). При этом C_1 перезарядается коллекторным током транзистора VT_1 по цепи: $(+)E_{\kappa} \rightarrow R_{\beta 2} \rightarrow C_1 \rightarrow КЭ_1 \rightarrow (-)E_{\kappa}$, стремясь к установившемуся значению

$$U_{C1(\infty)} = -(E_{\kappa} + I_{\kappa 02} R_{\beta 2} - U_{\kappa 1}) \cong -E_{\kappa} \quad (18)$$

с полярностью, указанной на рис. 2, а в скобках. Постоянная времени цепи перезаряда $\tau_{2p} = C_1 R_{\beta 2}$. По мере изменения напряжения на конденсаторе C_1 запирающее напряжение на эмиттерном переходе VT_2 уменьшается по абсолютной величине. Когда это напряжение, перейдя

нулевое значение, достигает порогового уровня $e_{0\delta 2} \cong 0$, транзистор VT_2 отпирается, и формирование выходного импульса заканчивается. Таким образом, процесс разрядки C_1 является «основным» процессом в схеме, поскольку именно он определяет продолжительность состояния квазиустойчивого равновесия одновибратора, а, следовательно, и длительность выходного сигнала $t_{\text{и вых}}$.

Используя выражение (9) и (18), получаем закон изменения напряжения на времязадающем конденсаторе C_1 :

$$\begin{aligned} u_{C1}(t) &= U_{C1}(\infty) - [U_{C1}(\infty) - U_{C1}(0)]e^{-t/\tau_{2p}} = \\ &= - (E_k + I_{k02} R_{\delta 2} - U_{кн1}) + [(E_k + I_{k02} R_{\delta 2} - U_{кн1}) + \\ &+ (E_k - I_{k01} R_{к1} - U_{\delta н2})]e^{-t/\tau_{2p}} = E_k (2e^{-t/\tau_{2p}} - 1). \end{aligned} \quad (19)$$

При $t = t_{\text{и вых}}$:

$$U_{C1} \Big|_{t=t_{\text{и вых}}} = e_{0\delta 2} \cong 0. \quad (20)$$

Воспользовавшись условием (20), из выражения (19) получаем:

$$\begin{aligned} t_{\text{и вых}} &= \tau_{2p} \ln \frac{2E_k + I_{k02} R_{\delta 2} - U_{кн1} - I_{k01} R_{к1} - U_{\delta н2}}{E_k + I_{k02} R_{\delta 2} - U_{кн1}} \cong \\ &\cong \tau_{2p} \ln \frac{2E_k}{E_k} = \tau_{2p} \ln 2 \cong 0,7 R_{\delta 2} C_1. \end{aligned} \quad (21)$$

Видно, что длительность выходного импульса прямопропорциональна величинам C_1 и $R_{\delta 2}$, поэтому указанные элементы называют **времязадающими** или **хронирующими**.

Определим условия обеспечения квазиустойчивого состояния равновесия одновибратора. Запертое состояние транзистора VT_2 обеспечивается однозначно отрицательным напряжением на его эмиттерном переходе, создаваемым напряжением конденсатора C_1 при насыщении VT_1 (рис. 3, б). Следовательно, основным критерием существования квазиустойчивого состояния равновесия является выполнение условия насыщения транзистора VT_1 в течение всего

времени формирования выходного импульса. Таким образом, при $0 < t < t_{\text{и вых}}$ должно выполняться:

$$I_{\text{б1min}} \geq I_{\text{к1max}} / \beta_{1\text{min}} \quad (22)$$

Из рассмотрения переходных процессов в схеме во время квазиустойчивого состояния равновесия ясно, что, как базовый, так и коллекторный токи насыщенного транзистора VT_1 меняются во времени (рис. 2, б). Максимальное значение $I_{\text{к1max}}$ наблюдается в момент начала процесса разряда C_1 , т.е. непосредственно после процесса переключения одновибратора, и, следовательно, составляет (рис. 3, б):

$$\begin{aligned} I_{\text{к1max}} &= (E_{\text{к}} - U_{\text{кн1}}) \frac{(R_{\text{к1}} + R_{\text{б2}})}{R_{\text{к1}} R_{\text{б2}}} + \frac{U_{C1(0)}}{R_{\text{б2}}} + I_{\text{к02}} \cong \\ &\cong \frac{E_{\text{к}} (2R_{\text{к1}} + R_{\text{б2}})}{R_{\text{к1}} R_{\text{б2}}}. \end{aligned} \quad (23)$$

Минимальное значение базового тока VT_1 , устанавливающееся после окончания процесса заряда форсирующего конденсатора C_2 , определяется (рис. 3, б):

$$\begin{aligned} I_{\text{б1min}} = I_{\text{б1уст}} &= \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{бн1}}}{R_{\text{к2}} + R_{\text{с}}} - \frac{E_{\text{см}} + U_{\text{бн1}}}{R_{\text{б1}}} - \frac{I_{\text{к02}} R_{\text{к2}}}{R_{\text{к2}} + R_{\text{с}}} \cong \\ &\cong \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к2}} + R_{\text{с}}}. \end{aligned} \quad (24)$$

Подставляя (23) в (24), после преобразований получаем условие насыщения VT_1 :

$$\frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к2}} + R_{\text{с}}} \geq E_{\text{к}} \frac{2R_{\text{к1}} + R_{\text{б2}}}{R_{\text{к1}} R_{\text{б2}} \beta_{1\text{min}}}, \quad (25)$$

или:

$$R_{\text{с}} \leq \frac{R_{\text{к1}} \beta_{1\text{min}}}{1 + 2R_{\text{к1}}/R_{\text{б2}}} - R_{\text{к2}}. \quad (26)$$

Поскольку на практике обычно выполняется неравенство $R_{к1} \ll R_{б2}$, условие (26) можно упростить:

$$R_c < R_{к1} \beta_{1\min} - R_{к2};$$

с) обратное опрокидывание одновибратора и восстановление исходного состояния

В момент отпираания транзистора VT_2 процесс формирования выходного импульса заканчивается, и начинается второй лавинообразный процесс переключения одновибратора, в результате которого транзистор VT_2 насыщается, а VT_1 – запирается. Физически процесс обратного опрокидывания происходит аналогично описанному ранее, и поэтому подробно здесь не рассматривается. После переключения транзисторы устройства находятся в состоянии длительно устойчивого равновесия, однако переходные процессы в схеме еще не закончились. Это связано с тем, что напряжение на конденсаторах C_1 и C_2 , практически не меняющиеся за время обратного опрокидывания, отличается от значений, характерных для исходного состояния. Так, конденсатор C_1 , разрядившийся за время нахождения устройства в квазиустойчивом состоянии до нуля, должен зарядиться до напряжения $U_{C1(0)} \cong E_k$ – рис. 2, б, а зарядившийся конденсатор C_2 – разрядиться до исходного уровня $U_{C2(0)} = U_{б13}$. Поскольку конденсаторы восстанавливают свои первоначальные значения напряжения, данный процесс и получил название «**стадия восстановления**» одновибратора.

Рассмотрим вначале процесс разряда C_2 . Конденсатор C_2 , зарядившийся за время формирования выходного импульса до $U_{C2(\infty)} = U_{m\text{вых}}$, после насыщения VT_2 прикладывается через короткозамкнутый участок коллектор-эмиттер этого транзистора параллельно эмиттерному переходу VT_1 , создавая на нем значительный выброс запирающего напряжения, близкий к $U_{m\text{вых}}$ – рис. 2, б; 3, а. Разряд C_2 осуществляется через резисторы R_c и $R_{б1}$, включенные параллельно по переменной (импульсной) составляющей разрядного тока. Уровень, к которому стремится напряжение на C_2 , очевидно, составляет $U_{C2(0)} = U_{б13}$ (рис. 2, б), а постоянная времени цепи разряда

$$\tau_{1p} = C_2 \frac{R_C R_{\delta 1}}{R_C + R_{\delta 1}}. \quad (28)$$

Процесс разряда C_2 продолжается примерно $3\tau_{1p}$. Это время напряжения на базе VT_1 уменьшается по абсолютной величине до установившегося значения $U_{\delta 13}$, соответствующего исходному состоянию схемы.

Следует отметить, что разрядный ток конденсатора C_2 увеличивает коллекторный ток насыщенного транзистора VT_2 на величину $(U_{C_2}(t) - U_{кн2} - E_{см}) / R_{\delta 1}$. Максимальная величина $I_{к2}$ с учетом этой «добавки» наблюдается непосредственно после обратного переключения одновибратора и, следовательно, составляет

$$I_{к2\max} \cong \frac{E_{к}}{R_{к2}} + \frac{U_{m\text{вых}}}{R_{\delta 1}} \quad (29)$$

Однако транзистор VT_2 не выходит при этом из насыщения, поскольку его базовый ток также увеличивается по сравнению с установившимся значением за счет заряда конденсатора C_1 . Действительно, сразу же после обратного опрокидывания, когда $U_{C_1}(t_{\text{ивых}}) \cong 0$, значительная часть базового тока VT_2 ответвляется на заряд C_1 , и резисторы $R_{\delta 2}$ и $R_{к1}$ по переменной составляющей тока оказываются включенным параллельно. Следовательно, базовый ток VT_2 имеет при этом максимальное значение:

$$I_{\delta 2\max} \cong \frac{R_{к1} R_{\delta 2}}{R_{к1} + R_{\delta 2}} E_{к} \cong \frac{E_{к}}{R_{к1}}. \quad (30)$$

Поскольку $I_{\delta 2\max}$ получается такого же порядка, как и $I_{к2\max}$ (обычно $R_{к1} \cong R_{к2}$), транзистор VT_2 во время заряда C_1 будет явно насыщенным, причем с большой степенью насыщения. Отметим, что «всплеск» тока базы приводит к появлению положительного выброса напряжения на эмиттерном переходе VT_2 (рис. 2, б). Этот выброс обусловлен падением напряжения на входном сопротивлении насыщенного транзистора $r_{\delta н2}$, которое, хотя и мало, но имеет конечную величину. По мере заряда C_1 базовый ток VT_2 уменьшается, стремясь к установившемуся значению

$I_{\text{б2п}} \cong E_{\text{к}}/R_{\text{б2}}$. Вместе с ним снижается и напряжение $U_{\text{б2}}$, приближаясь к $U_{\text{бн2}}$ (рис. 2, б).

Заряд C_1 , происходящий с постоянной времени

$$\tau_{23} = C_1 R_{\text{к1}}, \quad (31)$$

продолжается примерно $3\tau_{23}$. За это время напряжение на C_1 достигает установившегося уровня $U_{\text{с1}}(0)$, и переходные процессы в схеме заканчиваются.

Из двух процессов, протекающих в одновибраторе на этапе восстановления напряжения, более продолжительным, а, следовательно, и основным, является заряд конденсатора C_1 . Поэтому в качестве времени восстановления устройства используется параметр

$$t_{\text{в}} \cong 3\tau_{23} = 3C_1 R_{\text{к1}}. \quad (32)$$

В процессе заряда конденсатор C_1 через короткозамкнутый эмиттерный переход насыщенного VT_2 оказывается включенным между коллектором и эмиттером запятого VT_1 – рис. 3, а. Следовательно, коллекторное напряжение $u_{\text{к1}}(t)$ повторяет по форме напряжение $u_{\text{с1}}(t)$. Таким образом, длительность положительного фронта импульса, снимаемого с коллектора VT_1 , составляет (рис. 2, б):

$$t_{\text{ф1}} = t_{\text{в}} \cong 3C_1 R_{\text{к1}}. \quad (33)$$

После завершения процесса восстановления одновибратор находится в исходном состоянии длительно устойчивого равновесия и готов к повторному запуску. Минимально допустимый период повторения запускающих импульсов, очевидно, определяется выражением

$$T_{\text{min}} = t_{\text{ивых}} + t_{\text{в}} \cong C_1(0,7R_{\text{б2}} + 3R_{\text{к1}}), \quad (34)$$

а максимальная частота работы устройства –

$$F_{\text{max}} = 1/T_{\text{min}}. \quad (35)$$

Рассмотренное устройство является простейшим вариантом схемы транзисторного одновибратора с коллекторно-базовыми связями. Для расширения функциональных возможностей и улучшения некоторых параметров генератора используют более сложные схемные решения.

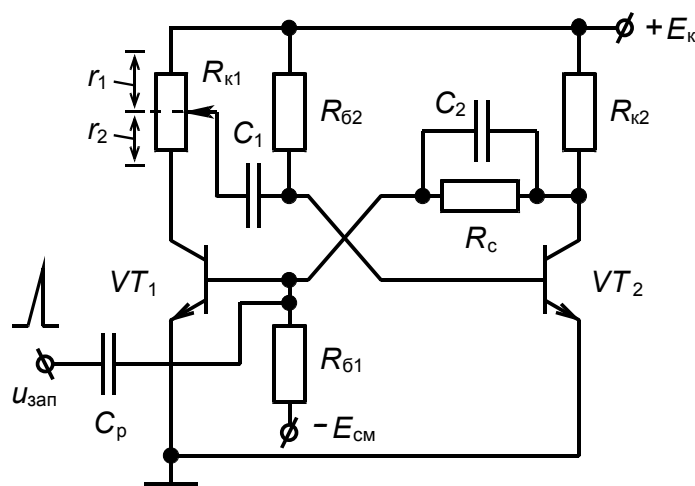


Рис. 4, а. Одновибратор с регулируемой длительностью выходного импульса

На рис. 4, а представлена схема одновибратора с регулируемой длительностью выходного импульса. Здесь, в отличие от рассмотренного устройства, левая по схеме обкладка храниющего конденсатора C_1 подключена не к коллектору транзистора VT_1 , а к среднему выводу (движку) переменного резистора, используемого в качестве коллекторного сопротивления $R_{к1}$.

Принцип регулирования выходного сигнала поясняется сфазированными диаграммами $u_{зап}(t)$, $u_{б2}(t)$ и $u_{к2}(t)$, приведенными на рис. 4, б, и заключается в следующем.

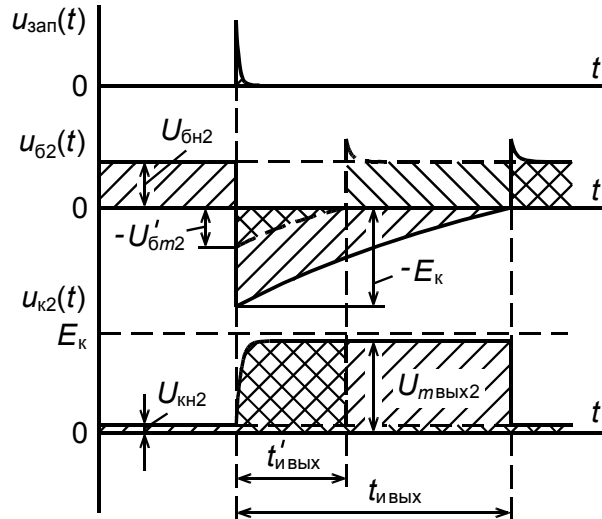


Рис. 4, б. Диаграммы, поясняющие принцип действия одновибратора с регулируемой длительностью выходного импульса

После первого опрокидывания одновибратора, вызванного поступлением запускающего импульса, как и прежде, транзистор VT_1 насыщается, а VT_2 – запирается. Но, в отличие от простейшей схемы, во время формирования выходного сигнала к эмиттерному переходу VT_2 прикладывается с запирающей полярностью не все напряжение конденсатора C_1 , а разность между падением напряжения на нижней по схеме части r_2 переменного резистора $R_{к1}$ и напряжением конденсатора C_1 :

$$u_{б2}(t) = u_{r_2}(t) - u_{C_1}(t). \quad (36)$$

Очевидно, что, чем выше по схеме находится движок переменного резистора (т.е. больше r_2), тем больше величина $u_{r_2}(t)$ и меньше запирающее напряжение на базе VT_2 . Следовательно, выходной сигнал укорачивается, поскольку напряжение $u_{б2}(t)$ раньше достигает порогового напряжения $U_{б2}(t_{ивых}) = e_0 \cong 0$. Расчет переходного процесса, проведенный известными методами, дает следующее выражение для длительности выходного импульса в этой схеме:

$$t_{ивых} = \tau'_{2p} \ln \left[2 - \frac{r_2}{r_2 + (r_1 \parallel R_{б2})} - \frac{r_2 \parallel r_1}{R_{б2} + (r_2 \parallel r_1)} \right], \quad (37)$$

где $\tau'_{2p} = C_1 [R_{62} + (r_2 \parallel r_1)] \cong C_1 R_{62}$.

Анализ выражения (37) показывает, что, если движок переменного резистора находится в крайнем нижнем положении (т.е. $r_2 = 0$, $\tau'_{2p} = \tau_{2p}$), то $t_{\text{ивых}} = t_{\text{ивых макс}} = \tau_{2p} \ln 2$, что соответствует рассмотренной ранее классической схеме нерегулируемого одновибратора. При крайнем верхнем положении движка имеем: $r_1 = 0$, $r_2 = R_{к1}$; $t_{\text{ивых}} = t_{\text{ивых мин}} = 0$, т.е. устройство теряет работоспособность. Это обусловлено незапиранием транзистора VT_2 при насыщении VT_1 вследствие полной компенсации запирающего напряжения конденсатора падением напряжения на $r_2 = R_{к1}$ (см. выражение (36)). Для исключения такого режима на практике последовательно с переменным резистором ставят постоянный, имеющий небольшое сопротивление (единицы-десятки Ом).

Еще один вариант усовершенствования базовой схемы одновибратора показан на рис. 5.

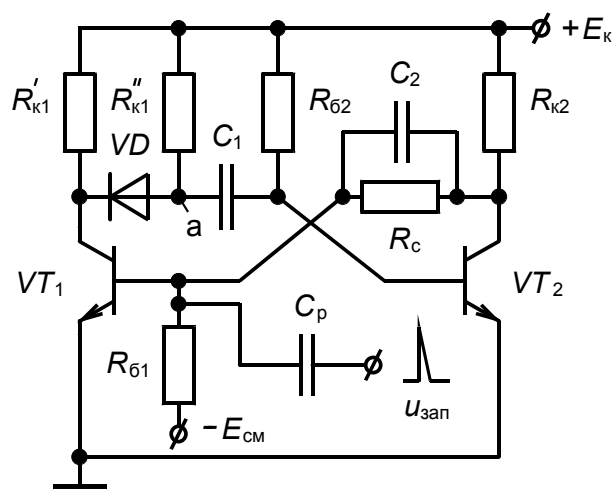


Рис. 5, а. Схема одновибратора с отсекающим вентилем

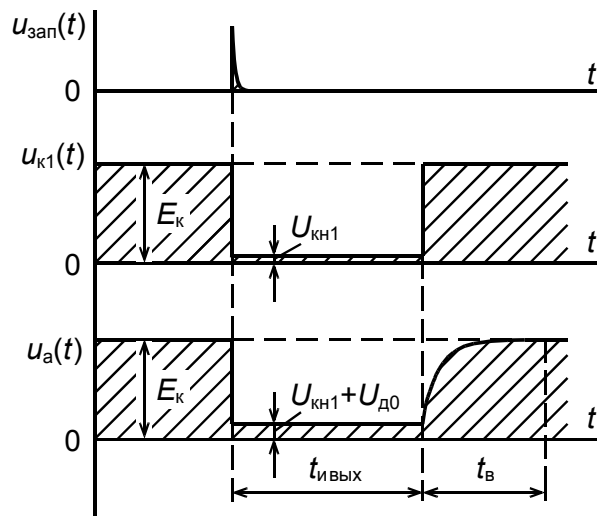


Рис. 5, б. Диаграммы, поясняющие принцип действия одновибратора с отсекающим вентиляем

Специфика устройства заключается в следующем. В схему введен дополнительный элемент – «отсекающий» диод, обеспечивающий существенное сокращение длительности $t_{\phi 1}$ импульса, снимаемого с коллектора транзистора VT_1 . Для этого коллекторный резистор VT_1 заменен двумя – $R'_{к1}$ и $R''_{к1}$, каждый из которых имеет вдвое больший номинал относительно $R_{к1}$ базовой схемы. Между резисторами включен импульсный диод, к аноду которого (точка «а») подключен времязадающий конденсатор C_1 . Особенности работы устройства поясняются диаграммами, представленными на рис. 5,б.

После первого опрокидывания, когда происходит формирование длительности выходного сигнала, процессы в схеме протекают практически также, как в классической. Транзистор VT_2 заперт, VT_1 – насыщен; диод VD смещен в прямом направлении и проводит ток перезаряда конденсатора C_1 , замыкающийся через VT_1 . Резисторы $R'_{к1}$ и $R''_{к1}$ через проводящий диод VD включены параллельно, и их результирующее сопротивление $R_{к1\Sigma} = R'_{к1} \parallel R''_{к1}$ определяет постоянную составляющую коллекторного тока VT_1 .

Отличия в работе классической и рассматриваемой схем появляются после обратного опрокидывания одновибратора. При $t = t_{ивых}$ транзистор VT_2 , получив прямое смещение эмиттерного перехода, насыщается, а VT_1 запирается. Анод диода VD через

эмиттерный переход насыщенного VT_2 подключается к «земле», и диод, сместившись в обратном направлении, запирается. Запертый диод **отсекает** цепь заряда конденсатора C_1 от коллектора транзистора VT_1 , поэтому длительность $t_{\phi 1}$ выходного напряжения $u_{к1}$ запирающегося VT_1 определяется только режимом запираания транзистора по базе (величиной запирающего тока базы) и его частотными свойствами. Заряд конденсатора C_1 до исходного напряжения, определяющий время восстановления устройства, происходит с постоянной времени $\tau'_{23} = C_1 R''_{к1}$ по цепи: $(+)E_k \rightarrow R''_{к1} \rightarrow C_1 \rightarrow БЭ_2 \rightarrow (-)E_k$. Таким образом, время восстановления в рассматриваемом одновибраторе составляет:

$$t_b \cong 3\tau'_{23} = 3C_1 R''_{к1}. \quad (38)$$

Поскольку сопротивление $R''_{к1}$ в два раза больше сопротивления $R_{к1}$ в классической схеме, время восстановления одновибратора с отсекающим диодом вдвое превышает аналогичный параметр классического устройства. Это – «плата» за весьма существенное сокращение длительности фронта выходного сигнала, снимаемого с коллектора транзистора VT_1 .

3. Методика расчета классической схемы одновибратора с коллекторно-базовыми связями

Исходные данные для расчёта:

1. Период следования запускающих импульсов – T .
2. Напряжение источника питания – E_k .
3. Длительность выходного импульса – $t_{\text{ивых}}$.
4. Максимальная рабочая температура окружающей среды – $t^\circ\text{C}$.

Последовательность расчета

1. Определяется амплитуда выходного импульса одновибратора

$$U_{m\text{вых}} = E_k / (1,15 \div 1,2). \quad (39)$$

2. Выбирается тип транзисторов.

Обычно используются маломощные низко- и среднечастотные транзисторы, у которых максимально допустимое напряжение

$$U_{кэ доп} > 2 E_k, U_{эб доп} > |E_k|.$$

3. Выбираются сопротивления коллекторных резисторов $R_{к1}$ и $R_{к2}$. Для уменьшения времени опрокидывания сопротивления этих резисторов следует выбирать поменьше, но так, чтобы не нарушалось неравенство

$$R_k \geq E_k / I_{к доп}, \quad (40)$$

где $I_{к доп}$ – максимально допустимый коллекторный ток транзистора.

Обычно сопротивление $R_{к1} = R_{к2}$ составляет единицы кОм.

4. Выбирается напряжение базового источника смещения $E_{см}$ и сопротивление резистора $R_{б1}$:

$$E_{см} = (0,5 \div 1) В; \quad R_{б1} \leq \frac{E_{см}}{I_{к0 max}}, \quad (41)$$

где $I_{к0 max}$ – тепловой ток коллекторного перехода транзистора при максимальной рабочей температуре.

5. Рассчитывается сопротивление резистора R_c :

$$R_c < R_{к1} \beta_{min} - R_{к2}. \quad (42)$$

Следует учесть, что неравенство (42) не должно быть слишком сильным, поскольку при малых R_c снижается амплитуда выходного импульса и увеличивается степень насыщения VT_1 , что приводит к увеличению времени опрокидывания.

6. Выбираются параметры времязадающей цепи:

$$R_{б2} = \frac{\beta_{min} R_{к2}}{2 \div 3}; \quad C_1 \cong \frac{t_{и вых}}{0,7 R_{б2}}. \quad (43)$$

Для обеспечения восстановления устройства необходимо выполнить неравенство

$$C_1 \leq \frac{T - t_{\text{и вых}}}{(3 \div 4) R_{\text{к1}}}. \quad (44)$$

7. Выбирается емкость ускоряющего конденсатора C_2 :

$$C_2 \cong \frac{0,3 \div 0,5}{f_{\alpha} R_{\text{к2}}}, \quad (45)$$

где $f_{\alpha} = \beta f_{\beta}$ – граничная частота транзистора в схеме с общей базой;

f_{β} – граничная частота в схеме с общим эмиттером.

Обычно емкость конденсатора C_2 составляет (десятки – сотни) пФ.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЕМУ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ

1. Обязательными для выполнения являются предварительное и пункты 1 – 8 рабочего задания, что составляет 80% от максимального количества баллов, выделяемых на данную работу.

2. Выполнение каждого из пунктов 9, 10 рабочего задания увеличивает итоговый процент выполнения работы на 10%.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение ждущего мультивибратора (одновибратора). Поясните принцип действия этого устройства диаграммами (в общем виде, не «привязываясь» к конкретной схеме).

2. Приведите базовую схему одновибратора на биполярных транзисторах с коллекторно-базовыми связями. Опишите исходное состояние устройства, пояснив, за счет чего оно обеспечивается (из физических соображений).

3. Получите условия работоспособности схемы (условие насыщения одного транзистора при одновременном запираии второго в исходном состоянии).

4. Получите выражение, определяющее длительность выходного импульса в основной схеме одновибратора. Приведите диаграммы, поясняющие процесс формирования выходного сигнала.

5. Каким образом можно регулировать длительность выходного импульса одновибратора? Предложите, аргументируя, несколько способов.

6. Что такое «время восстановления» одновибратора? Укажите это время на соответствующей временной диаграмме. Получите выражение для определения t_g в основной схеме устройства.

7. Получите условие насыщения открытого транзистора на этапе формирования выходного сигнала.

8. Поясните принцип действия форсирующего конденсатора в основной схеме одновибратора.

9. Получите выражения для определения длительностей спада и фронта выходного сигнала, снимаемого с коллектора VT_1 .

10. Получите выражения, определяющие длительности переднего и заднего фронтов выходного сигнала, снимаемого с коллектора второго транзистора VT_2 в основной схеме одновибратора.

11. Приведите сфазированные диаграммы переходных процессов в базовой схеме ждущего мультивибратора (по указанию преподавателя): запускающий сигнал $u_{зап}(t)$ и а) напряжение на времязадающем конденсаторе $u_{C1}(t)$; б) напряжения и токи первого транзистора – $u_{б1}(t)$, $i_{б1}(t)$, $i_{к1}(t)$, $u_{к1}(t)$; в) напряжения и токи второго транзистора – $u_{б2}(t)$, $i_{б2}(t)$, $i_{к2}(t)$, $u_{к2}(t)$.

12. Рассчитайте величину запирающего напряжения на базе первого транзистора в исходном состоянии, если задано: $E_k = 10$ В; $|E_{см}| = 1$ В; $R_{к1} = R_{к2} = 2,2$ кОм; $R_{б1} = 6,8$ кОм; $R_{б2} = 33$ кОм; $R_c = 15$ кОм; $\beta_1 = \beta_2 = 30$; $I_{к01} = I_{к02} = 5$ мкА; $C_1 = 6,2$ нФ; $C_2 = 120$ пФ.

13. Определите амплитуду выходного сигнала, снимаемого с коллектора второго транзистора VT_2 , при значениях параметров элементов схемы, указанных в п. 12.

14. Какой граничной частотой должен обладать VT_2 , чтобы длительность фронтов выходного напряжения, снимаемого с коллектора этого транзистора, не превышала 0,5 мкс? (параметры элементов схемы

взять из п. 12; сопротивление открытого эмиттерного перехода принять равным 100 Ом).

15. Определите максимальные и минимальные степени насыщения транзисторов в основной схеме одновибратора, если параметры элементов такие же, как в устройстве по п. 12.

16. Рассчитайте схему ждущего мультивибратора, если задано: $f_{\text{зап}} = 1$ кГц; $U_{\text{т вых}} = 10$ В; $t_{\text{и вых}} = 200$ мкс; $t_{\text{окр ср}} = 10\text{--}40$ С°.

17. Приведите схему ждущего мультивибратора с регулируемой длительностью выходного импульса; поясните, изобразив соответствующие диаграммы, каким образом осуществляется регулировка $t_{\text{и вых}}$.

18. Получите выражение для определения $t_{\text{и вых}}$ в схеме с регулируемой длительностью выходного импульса. Чем ограничиваются верхняя и нижняя границы диапазона регулирования этого сигнала?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев Ю.Н. Импульсные устройства: Учеб. пособие для вузов по спец. «Радиотехника». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 527 с.: ил.

2. Проектирование радиоэлектронных устройств на интегральных микросхемах. Под ред. С.Я. Шаца. – М.: Сов. радио, 1976. – 312с.

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОВИБРАТОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсам «Схемотехника», «Электроника» для студентов III курса, обучающихся по направлению 210100 Электроника и нанoeлектроника, 201000 Биотехнические системы и технологии

Составитель

ЯРОСЛАВЦЕВ Евгений Витальевич


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати _____.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru