

Министерство высшего и среднего специального образования

Р С Ф С Р

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ МУЛЬТИВИБРАТОРОВ  
НА ДИСКРЕТНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Утверждено редакционным  
советом института в качестве  
методических указаний к лабо-  
раторной работе

Куйбышев 1983

УДК 621.376.5

В указаниях приведены краткие теоретические сведения по принципам построения мультивибраторов различного типа, дано описание лабораторной установки, позволяющей собрать и изучить ждущие и автоколебательные мультивибраторы на транзисторах, логических элементах и операционных усилителях. Для закрепления материала в конце работы приведён список контрольных вопросов.

Методические указания предназначены для студентов специальности 0705, изучающих курс "Основы радиоэлектроники".

Рецензент - В.В. М о т о в

Составитель - Владимир Васильевич Ф а д е е в

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ МУЛЬТИВИБАТОРОВ НА ДИСКРЕТНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Редактор Е.Д. А н т о н о в а  
Технический редактор Н.М. К а л е н ю к  
Корректор Е.Г. Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 28.12.1983 г.  
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.  
Оперативная печать. Усл.п.л. 0,69 Уч.-изд.л. 0,6.  
Тираж 500 экз. Заказ 1896 Бесплатно.

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

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

Ц е л ь р а б о т ы: изучение и экспериментальное исследование принципов действия автоколебательных и ждущих мультивибраторов на различных активных элементах.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для получения импульсов прямоугольной формы широко применяются устройства, принцип действия которых основан на использовании электронных усилителей с положительной обратной связью /ПОС/. К таким устройствам относятся так называемые релаксационные генераторы - мультивибраторы /релаксация - постепенное ослабление какого-либо состояния после прекращения действия факторов, вызвавших это состояние/. Такие генераторы могут работать в одном из следующих режимов: ждущем, автоколебательном, синхронизации и деления частоты. Основными требованиями, предъявляемыми к ждущим мультивибраторам, являются стабильность длительности формируемого импульса и устойчивость его исходного состояния.

В ждущем /заторможенном, однотактном/ режиме генератор имеет одно устойчивое состояние равновесия. Внешний запускающий импульс вызывает скачкообразный переход ждущего генератора в новое состояние, которое не является устойчивым. В этом состоянии, называемом квазиравновесным, или временно устойчивым, в схеме генератора происходят относительно медленные изменения, которые в конечном итоге приводят к обратному скачку, после чего восстанавливается исходное устойчивое состояние. Длительность состояния квазиравновесия, определяющая длительность генерируемого прямоугольного импульса, зависит от параметров схемы генератора.

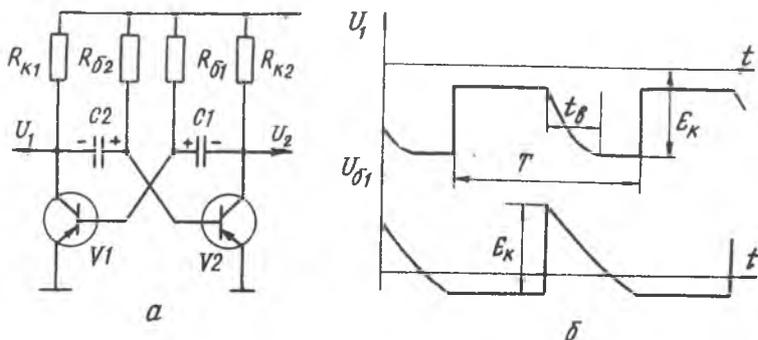
В автоколебательном режиме генератор имеет два состояния квазиравновесия и не имеет ни одного устойчивого состояния. В этом режиме без какого-либо внешнего воздействия генератор последовательно переходит из одного состояния квазиравновесия в другое. При этом генерируются импульсы, амплитуда, длительность и частота повторения которых определяются в основном только параметрами генератора.

В режиме синхронизации или деления частоты частота повторения

генерируемых импульсов определяется частотой внешнего синхронизирующего напряжения /синусоидального или импульсного/, подаваемого в схему генератора: частота повторения импульсов равна или кратна частоте синхронизирующего напряжения.

Для построения релаксационных генераторов применяют различные активные элементы: биполярные и полевые транзисторы, операционные усилители. В генераторах на основе логических интегральных схем (ИС) используются усилительные свойства инверторов.

На рис. 1,а показана простейшая схема автоколебательного мультивибратора на транзисторах с коллекторно-базовыми связями. Мультивибратор состоит из двух широкополосных резисторных усилителей с общим эмиттером, вход каждого из которых через конденсатор связан с выходом другого. При включении источника питания в схеме возникают автоколебания, полный цикл которых состоит из двух тактов длительностью  $T_1$  и  $T_2$ . В первом такте транзистор  $V_1$  заперт, а  $V_2$  насыщен, во втором такте, наоборот, транзистор  $V_1$  насыщен, а  $V_2$  заперт /рис. 1,б/.



Р и с . I

Схема (а) и диаграмма напряжений (б) мультивибратора с коллекторно-базовыми емкостными связями

Режим отсечки закрытого транзистора обусловлен тем, что в процессе разряда конденсатора  $C_1$  или  $C_2$  потенциал его обкладки, соединенный с базой транзистора, положителен относительно общей точки схемы /см. рис. 1,б/. Режим насыщения открытого транзистора при

установившемся коллекторном токе обеспечивается определённым соотношением между сопротивлениями резисторов  $R_{\beta}$  и  $R_{\kappa}$  :

$$R_{\beta} \ll \beta R_{\kappa} ,$$

где  $\beta$  - коэффициент усиления тока базы.

Основным процессом в схеме является процесс разряда ёмкости. Время, в течение которого происходит разряд (до момента очередного опрокидывания) называется временем релаксации (постоянная времени  $R_{\beta 1} C 1$  или  $R_{\beta 2} C 2$  /). Поэтому период повторения импульсов выходного напряжения

$$T = T_1 + T_2 \approx 0,7 R_{\beta 1} C 1 + 0,7 R_{\beta 2} C 2 .$$

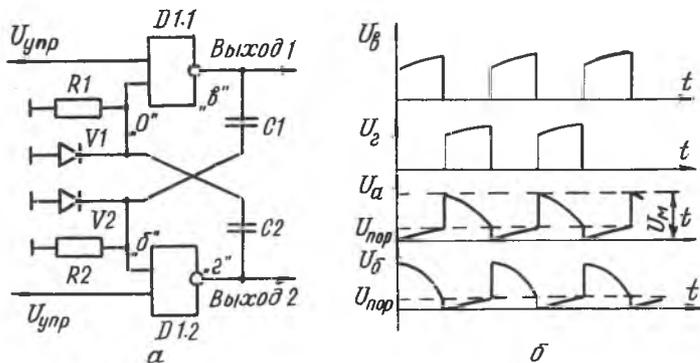
Фронты выходных импульсов мультивибратора, формирующиеся после закрытия соответствующих транзисторов, имеют значительно большую длительность, чем фронты импульсов, соответствующие моментам открытия транзисторов. Длительность фронта импульса после закрытия транзистора определяется временем, в течение которого конденсатор  $C 1$  или  $C 2$  заряжается до напряжения питания. Эта длительность, называемая временем восстановления, зависит от постоянной времени  $\tau = R_{\kappa} C$  заряда конденсатора и равна  $t_{\beta} \approx 3\tau$ .

Так как обычно  $R_{\beta} \approx 10 R_{\kappa}$ , то время восстановления составляет заметную часть периода повторения импульсов. Поэтому, во-первых, выходные напряжения мультивибратора заметно отличаются от прямоугольных, что ограничивает возможность его применения, а во-вторых, такой мультивибратор при несимметричной схеме ( $C 1 \neq C 2$ ) может устойчиво работать только при относительно небольшой скважности (порядка 10 - 15), что также является его недостатком.

Для улучшения формы выходных импульсов мультивибратора используют различные методы: фиксации и блокировки коллекторных потенциалов с помощью специальных диодов; включения в схему эмиттерных повторителей и т.д.

Схемы автоколебательных мультивибраторов на логических (цифровых) ИС аналогичны схемам подобных приборов на дискретных элементах с той лишь разницей, что усилительный каскад на транзисторе заменяется логическим элементом "И - НЕ" (рис.2,а). Работа его аналогична работе мультивибратора на транзисторе и поясняется диаграммами напряжений (рис. 2,б).

Рассмотрим работу устройства с момента, когда элемент  $D 1.1$  примет состояние с высоким логическим уровнем на выходе /"Выход 1"/. В это время на его входе /точка "а"/ напряжение, подбираемое ре-



Р и с . 2

Схема (а) мультивибратсра на ИС и диаграмма напряжений (б) для случая  $R_1 = R_2$ ,  $C_1 = C_2$

зисторами, будет ниже порога переключения  $U_{пор}$  /для микросхем серии 155-ТТЛ логика - напряжение  $U_{пор} \approx 1,15 В$  /, а на выходе элемента  $D1.2$  /"Выход 2"/ -- низкий логический уровень. Такое распределение потенциалов согласуется с логикой работы элемента "И-НЕ":  $Y = \bar{X}_1 \bar{X}_2$ . Если  $X_1 = 0$  или  $X_2 = 0$ , то  $Y = 1$ .

По мере того как конденсатор  $C1$  заряжается выходным током элемента  $D1.1$ , протекающим через выходное сопротивление элемента  $R_{вых}$  и резистор  $R2$  /диод  $V2$  в это время закрыт/, напряжение в точке "в" несколько увеличивается, а в точке "б" уменьшается. Это происходит из-за того, что по мере заряда конденсатора величина проходящего через него тока уменьшается. Как только напряжение на входе элемента  $D1.2$  /точка "б"/ станет равным  $U_{пор}$ , этот элемент изменит своё состояние, и на его выходе /точка "г"/ появится логическая "1".

Положительный скачок напряжения через конденсатор  $C2$  поступит на вход элемента  $D1.1$  и переключит его в состояние с низким логическим уровнем на выходе. Конденсатор  $C2$  начнёт заряжаться выходным током элемента  $D1.2$ . Конденсатор же  $C1$  выходным током элемента  $D1.1$  через диод  $V2$  будет разряжаться. Как только напряжение на входе элемента  $D1.1$  уменьшится до порогового, устройство примет исходное состояние и цикл повторится.

Длительность импульсов на каждом из выходов устройства определяется временем зарядки подключенного к нему конденсатора:

$$T_1 = C1(R2 + R_{\delta\delta/x}) \ln(U_M / U_{пор}).$$

Для устойчивой работы мультивибратора необходимо, чтобы зарядка конденсаторов проходила быстрее их зарядки. Это достигается включением диодов  $V1, V2$ . Они же предохраняют входы инверторов от возможных отрицательных выбросов напряжения.

При выборе резисторов  $R1$  и  $R2$  надо иметь в виду, что при отсутствии колебаний они должны обеспечить уровень логической "1" на выходе элементов  $D1.1$  и  $D1.2$  (при напряжении на входах логического элемента, равном нулю, входной ток составляет примерно 1мА для TTL схем). С этой точки зрения сопротивления  $R1, R2$  должны быть как можно меньше. Однако если сопротивление резисторов небольшое, то происходит значительный перекоп вершины генерируемых импульсов, так как отношение значений положительного и отрицательного скачков выходного напряжения практически определяется соотношением  $R/(R + R_{\delta\delta/x})$ . Исходя из этого, в мультивибраторах на TTL элементах используют резисторы сопротивлением от 100 Ом до 2 кОм. При равенстве емкостей конденсаторов скважность выходных импульсов равна 2. Подбором соотношения  $C1/C2$  можно получить устойчивую генерацию при скважности до 10 - 20.

Входы " $U_{пр}$ " служат для управления работой мультивибратора: генерация не возникает, когда величина напряжения на них меньше порога переключения  $U_{пор}$ . Если управлять работой генератора не нужно, то на входы " $U_{пр}$ " подают логическую "1" (соединяют с плюсом источника питания через резистор  $\sim 1$  кОм). Для улучшения формы импульсов и устранения влияния нагрузки мультивибратора к каждому выходу обычно подключают дополнительный инвертор.

Схемы релаксационных генераторов на основе операционных усилителей /ОУ/ строят, охватывая ОУ цепями положительной /ПОС/ и отрицательной /ООС/ обратной связи. При этом ПОС по своему действию во времени должна быть опережающей по отношению к ООС. Тогда цепь ПОС обеспечивает лавинообразный переход мультивибратора из одного состояния в другое, а цепь ООС (совместно с цепью ПОС) ограничивает время пребывания устройства в каждом из состояний.

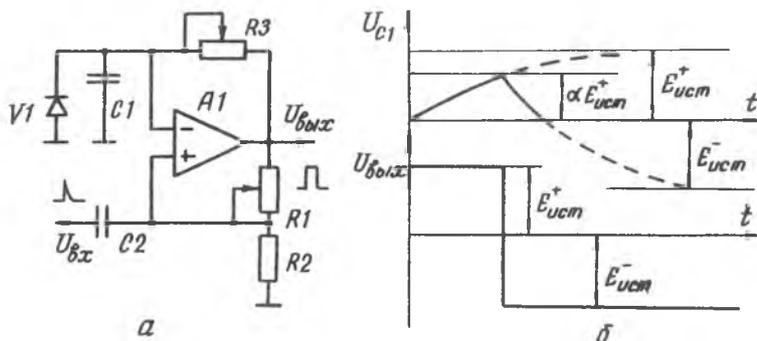
Для перевода релаксационного генератора из режима автоколебаний в ждущий режим достаточно с помощью внешней э.д.с. затормозить этот генератор в одном из его состояний. Схема ждущего мультивибратора /одновибратора/ с времязадающим конденсатором, включённым в цепь ООС, приведена на рис. 3,а. Стационарность режима покоя мультивибратора обеспечивается включением параллельно времязадающему

конденсатору  $C1$  диода  $V1$ . Когда ОУ устанавливается в режим отрицательного ограничения, этот диод открывается и препятствует заряду конденсатора  $C1$ , вследствие чего, состояние отрицательного ограничения ОУ оказывается устойчивым. Короткий положительный импульс, поступающий на неинвертирующий вход через конденсатор  $C2$ , увеличивает выходное напряжение ОУ. При этом за счёт ПОС возникает лавинообразный процесс, переводящий ОУ в состояние положительного ограничения.

Длительность импульса одновибратора определяется временем, в течение которого напряжение на инвертирующем входе увеличится до напряжения на неинвертирующем входе (равного  $E_{уст} R2 / (R1 + R2)$ ) за счёт заряда конденсатора  $C1$  через резистор  $R3$ ,

$$T_{и} = R3 C1 \ln 1 / (1 - \alpha), \text{ где } \alpha = R2 / (R1 + R2).$$

Сокращение импульса сопровождается обратным лавинообразным процессом /рис. 3, б/.



Р и с . 3

Схема (а) и диаграмма напряжений (б) одновибратора на ОУ

Время восстановления исходного состояния определяется временем разряда ёмкости  $C1$  :  $T_B = R3 C1 \ln (1 + \alpha)$ .

## ПРОВЕРЬТЕ ВАШИ ЗНАНИЯ \*

1. От каких элементов схемы автоколебательного мультивибратора на транзисторах зависит период повторения импульсов?

2. Какую форму имеют импульсы выходного напряжения автоколебательного мультивибратора на транзисторах?

3. Назначение диодов в схеме мультивибратора на ЦИС.

4. В каком положении движка переменного резистора  $R1$  в схеме ждущего мультивибратора на ОУ длительность импульса будет наибольшей?

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В установку входят стенд и осциллограф. В стенде смонтированы три схемы мультивибраторов, подлежащих исследованию (рис. 4). Автоколебательные мультивибраторы собраны на транзисторах  $V1, V2$  и микросхеме  $D1$ . С помощью переключателей на передней панели стенда можно изменять величину времязадающей ёмкости в одном из плеч мультивибратора.

Ждущий мультивибратор собран на операционном усилителе  $A1$ . Запускающие импульсы с мультивибратора на  $V1, V2$  через переключатель  $S3$  поступают на дифференцирующую цепочку  $C18, R7, V4$  и далее на инвертирующий вход ОУ. Глубину положительной обратной связи можно регулировать с помощью резистора  $R9$ . Постоянная времени заряда конденсатора  $C1$  изменяется с помощью резистора  $R8$ .

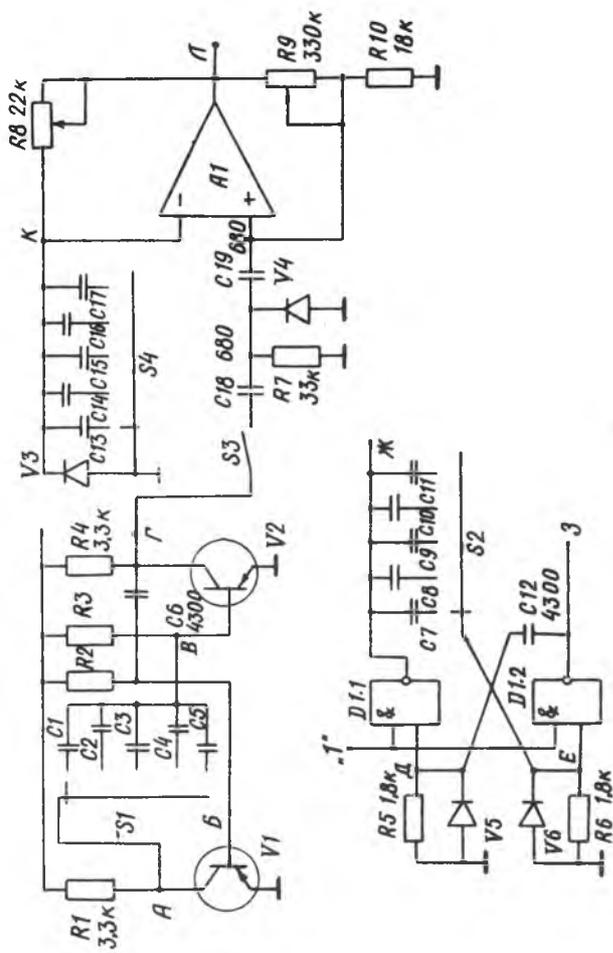
## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследовать работу автоколебательного мультивибратора на транзисторах.

Измерять с помощью осциллографа, пользуясь калиброванной развёрткой, длительность фронтов и периодов выходного напряжения для трёхзначений времязадающих ёмкостей  $C1, C3, C5$ . Зарисовать осциллограммы напряжений в точках "А", "Б", "В" и "Г".

---

\* Проверка готовности осуществляется с помощью ТСО.



Р и с . 4  
Схема лабораторной установки

2. Исследовать работу автоколебательного мультивибратора на логических элементах.

Измерить с помощью осциллографа, пользуясь калиброванной развёрткой, длительности фронтов и периодов выходного напряжения для трёх значений времязадающих емкостей  $C7, C9, C11$ . Зарисовать осциллограммы напряжений в точках "Д", "Е", "Ж" и "З".

3. Исследовать работу ждущего мультивибратора на ОУ.

С помощью переключателя  $S3$  подать запускающие импульсы на схему ждущего мультивибратора. /Переключатель  $S1$  в положении  $C3$ ./

3.1. Поставить резистор  $R8$  в среднее положение /положение 2/.

3.1.1. Поставить резистор  $R9$  в положение "1" и для трёх значений времязадающих емкостей  $C13, C15, C17$  с помощью осциллографа измерить параметры импульсов в точках "К" и "Л". Зарисовать осциллограммы напряжений.

3.1.2. Поставить резистор  $R9$  в положение "3" и повторить п. 3.1.1.

3.2. Поставить резистор  $R9$  в среднее положение / положение 2/.

3.2.1. Поставить резистор  $R8$  в положение "1" и для трёх значений времязадающих емкостей  $C13, C15, C17$  с помощью осциллографа измерить параметры импульсов в точках "К" и "Л". Зарисовать осциллограммы напряжений.

3.2.2. Поставить резистор  $R8$  в положение "3" и повторить п. 3.2.1.

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА \*

1. Схемы исследуемых генераторов.
2. Результаты сравнения расчётных и экспериментально определённых параметров импульсов; формулы, использованные в работе.
3. Осциллограммы напряжений.
4. Выводы по работе.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Схема и принцип действия автоколебательного мультивибратора

---

\* Отчёт выполняется с учётом требований ЕСКД.

на транзисторах.

2. Какие элементы схемы автоколебательного мультивибратора влияют на время восстановления?

3. Схемные методы улучшения формы выходных импульсов в мультивибраторах на транзисторах:

- а) блокировка коллекторных потенциалов;
- б) фиксация коллекторных потенциалов;
- в) применение эмиттерных повторителей.

4. Условие насыщения транзистора в схеме мультивибратора.

5. Причины, ограничивающие максимальное значение скважности в мультивибраторе с емкостными связями.

6. Причины, вызывающие нестабильность периода повторения импульсов.

7. Схема и принцип действия автоколебательного мультивибратора на ЦС.

8. Выбор величин сопротивлений резисторов  $R_1, R_2$  в схеме мультивибратора на ЦС.

9. Причины, приводящие к искажению вершины выходных импульсов мультивибратора на ЦС.

10. Схема и принцип действия ждущего мультивибратора на ОУ.

11. Методы регулировки длительности выходного импульса ждущего мультивибратора на ОУ.

12. Какие изменения необходимо произвести в схеме одновибратора на ОУ, чтобы сменить полярность выходного импульса?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г о л ь д е н б е р г Л.М. Импульсные устройства. М.: Радио и связь, 1981.
2. Проектирование радиоэлектронных устройств на интегральных микросхемах /Под ред. С.Я. Шаца. - М.: Советское радио, 1976.
3. В а ж е н и н а З.П. Импульсные генераторы на полупроводниковых приборах. - М.: Энергия, 1977.
4. Справочник по импульсной технике /Под ред. В.Н. Яковлева. - Киев: Техника, 1970.