

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С.П.Королева

МУЛЬТИВИБРАТОРЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу "Импульсная техника"

Куйбышев 1981

УДК 621.382:621.396.6

Составитель А.С. Капустин

Утверждены на редакционно-издательском
совете института 12.12.80 г.

МУЛЬТИВИБРАТОРЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
"Импульсная техника"

Редактор Н.В. Касаткина
Техн.редактор Н.М. Каленюк
Корректор Е.Д. Антонова

Подписано в печать 12.04.82 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.
Печать оперативная. Усл.п.л. 0,70. Уч.-изд.л. 0,6.
Тираж 400 экз. Заказ № 2078 Бесплатно.

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

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

Цель работы - привить студентам навыки самостоятельной работы и развить у студентов элементы научных исследований, изучить способы построения мультивибраторов на основе операционных усилителей (ОУ), исследовать схему мультивибраторов на ОУ.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

I.1. Спусковые свойства операционных усилителей (ОУ), охваченных положительной обратной связью

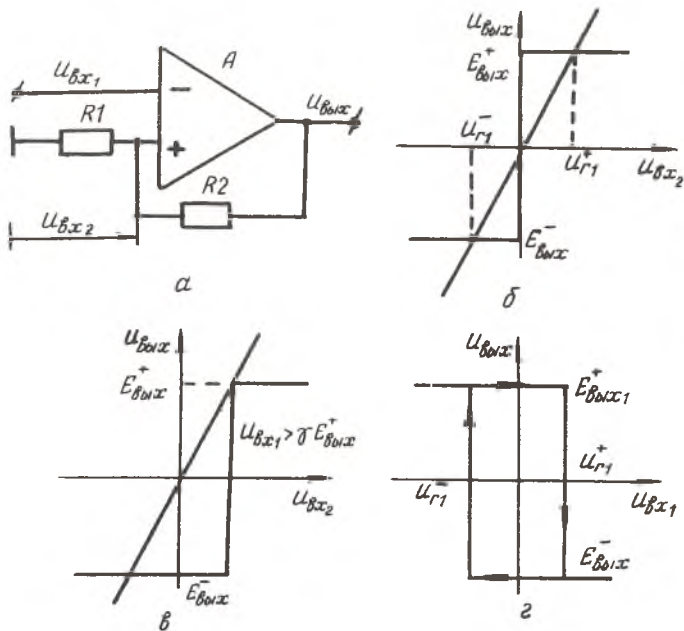
Спусковые свойства ОУ, охваченных положительной обратной связью, проявляются в схеме с резисторной связью между выходом и неинвертирующим входом (рис. I, а). Полагая $R_{\beta x} \rightarrow \infty$, можно записать:

$$U_{\beta x 2} = U_{\beta 01 x} \frac{R1}{R1 + R2} = \gamma U_{\beta 01 x}, \quad (I)$$

где $\gamma = \frac{R1}{R1 + R2}$ - коэффициент обратной связи по неинвертирующему входу.

В свою очередь $U_{\beta x 2}$ связано с $U_{\beta 01 x}$ передаточной характеристикой ОУ. Учитывая релейный характер последней, можно видеть, что в данной схеме возможны два устойчивых состояния, которым соответствуют два различных выходных напряжения $E_{\beta 01 x}^+$ и $E_{\beta 01 x}^-$ (рис. I, б).

Изменяя напряжение на инвертирующем входе, можно перейти от двух устойчивых состояний к одному (рис. I, в). Отсюда видно, что $U_{\beta x 1}$ и $U_{\beta 01 x}$ связаны между собой гистерезисно (рис. I, г), что и является характерным признаком спусковых устройств.



Р и с. 1. Спускные свойства ОУ, охваченных ПОС: а - принципиальная схема; б - релейная характеристика ОУ; в - передаточная характеристика ОУ при изменении напряжения на инвертирующем входе; г - гистерезисная связь между $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх1}}$

Пороговые уровни $U_{\text{вх1}}$, соответствующие скачкообразному изменению выходного напряжения ($U_{Г1}^+$, $U_{Г1}^-$), определяются высоким и низким уровнями выходного напряжения ОУ и коэффициентом передачи обратной связи по неинвертирующему входу:

$$U_{Г1}^+ = \gamma E_{\text{вых}}^+; \quad U_{Г1}^- = \gamma E_{\text{вых}}^- . \quad (2)$$

Основываясь на вышеизложенном можно создать различные регенеративные импульсные устройства, в частности мультивибраторы.

1.2. Автоколебательные мультивibrаторы

Принципиальная схема автоколебательного мультивibrатора на ОУ изображена на рис. 2, а. Реализация двух временно устойчивых состояний мультивibrатора обеспечивается резистивной положительной обратной связью между неинвертирующим входом и выходом (делитель из ре-

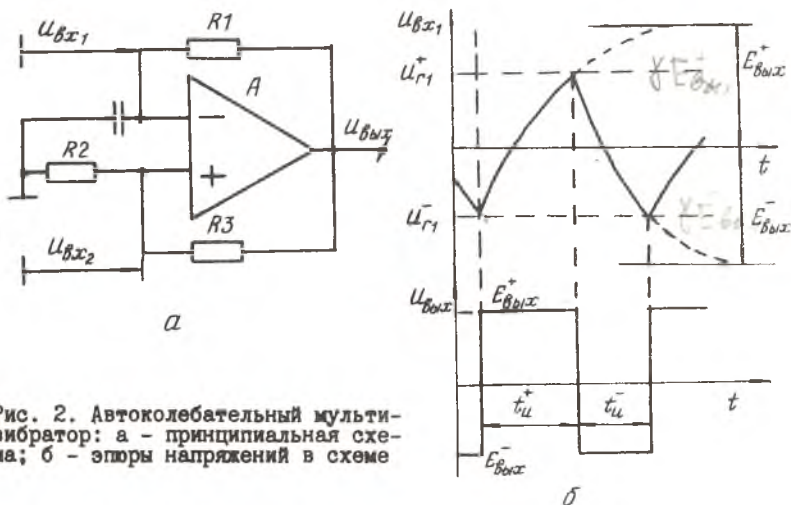


Рис. 2. Автоколебательный мультивibrатор: а - принципиальная схема; б - эпюры напряжений в схеме

зисторов R2 и R3). Переключение мультивibrатора из одного состояния в другое осуществляется релаксационным изменением напряжения на инвертирующем входе.

Если $U_{вх2} > U_{вх1}$, на выходе мультивibrатора присутствует высокий уровень, равный $E_{вых}^+$. Напряжение на неинвертирующем входе ($U_{вх2}$) при этом постоянно и равно $\beta E_{вых}^+$. Напряжение на инвертирующем входе, равное напряжению на конденсаторе ($U_{вх1} = U_C$), возрастает в связи с зарядом конденсатора через сопротивление резистора R1 с постоянной времени $\tau_z = R1C$, стремясь к уровню $E_{вх1}^+$ (рис. 2, б). В момент времени, когда $U_{вх1} = U_{г1} = \beta E_{вых}^+$, скачкообразно изменяется режим ОУ. При этом напряжение на выходе становится равным $E_{вых}^-$. Конденсатор C разряжается через резистор R1 и выход ОУ с постоянной времени $\tau_p = R1C$ стремясь к уровню $E_{вх1}^-$.

При достижении уровня входного напряжения на инвертирующем входе, равного нижнему порогу $U_{г1} = \beta E_{\delta_{\text{вых}}}^-$, происходит обратный скачок выходного напряжения до уровня $E_{\delta_{\text{вых}}}^+$, и процесс повторяется.

Длительности импульсов положительного t_{u}^+ и отрицательного t_{u}^- определяются соответственно:

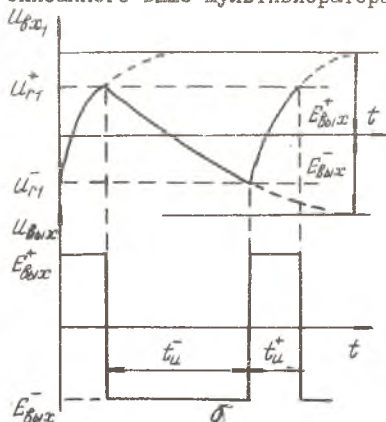
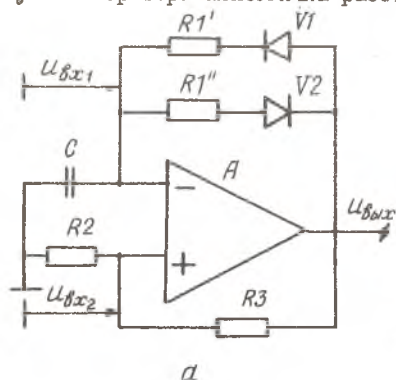
$$t_{u}^+ = R1C \ln \left(1 + \frac{1 - \frac{E_{\delta_{\text{вых}}}^-}{E_{\delta_{\text{вых}}}^+}}{R3} R2 \right); \quad (3)$$

$$t_{u}^- = R1C \ln \left(1 + \frac{1 - \frac{E_{\delta_{\text{вых}}}^+}{E_{\delta_{\text{вых}}}^-}}{R3} R2 \right). \quad (4)$$

Если верхний и нижний уровни равны по модулю между собой, т.е. $|E_{\delta_{\text{вых}}}^+| = |E_{\delta_{\text{вых}}}^-|$, то период колебаний мультивибратора определится из выражения

$$T = t_{u}^+ + t_{u}^- = 2R1C \ln \left(1 + 2 \frac{R2}{R3} \right). \quad (5)$$

Принципиальная схема мультивибратора, генерирующего импульсы с большой скважностью, представлена на рис. 3, а. Работа этого мультивибратора аналогична работе описанного выше мультивибратора.



Р и с. 3. Мультивибратор с большой скважностью генерируемых импульсов; а - принципиальная схема; б - эпюры напряжений в схеме

Изменение скважности достигается созданием различных цепей для заряда и разряда конденсатора C . Если предположить идеальность характеристик диодов $V1$ и $V2$, длительность положительного импульса t_{u}^{+} определяется зарядом конденсатора C через резистор $R1'$ и диод $V1$ (рис. 3,а), а длительность отрицательного импульса t_{u}^{-} - разрядом конденсатора C через резистор $R1''$ и диод $V2$. Если применяется ОУ с $E_{\beta o1x}^{+} = -E_{\beta o1x}^{-}$, то

$$\left. \begin{aligned} t_{u}^{+} &= R1' C \ln \left(1 + 2 \frac{R2}{R3} \right) \\ t_{u}^{-} &= R1'' C \ln \left(1 + 2 \frac{R2}{R3} \right) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Скважность генерируемых импульсов определится соотношением сопротивлений резисторов $R1'$ и $R1''$, т.е.

$$q = 1 + \frac{t_{u}^{-}}{t_{u}^{+}} = 1 + \frac{R1''}{R1'} \quad (7)$$

где q - скважность положительных импульсов.

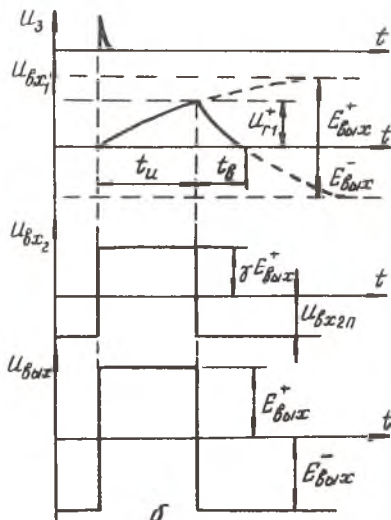
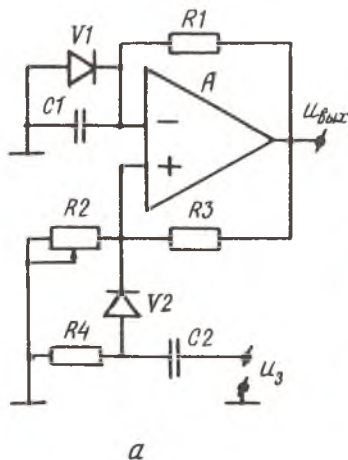
1.3. Ждущий мультивибратор на основе ОУ

Принципиальная схема мультивибратора с время задающим конденсатором, включенным в цепь обратной связи по инвертирующему входу, представлена на рис. 4,а. Устойчивое состояние схемы обеспечивается включением параллельно конденсатору $C1$ диода $V1$. Полярность генерируемых импульсов определится включением диода $V1$. Элементы $V2$, $C2$, $R4$ образуют типовую цепь запуска. В режиме покоя напряжение на инвертирующем входе ОУ равно нулю, т.е.

$$U_{\beta x1n} = U_{cn} = 0.$$

Напряжение на неинвертирующем входе определяется выражением

$$U_{\beta x2n} = \frac{\frac{R2R4}{R2+R4}}{R3 + \frac{R2R4}{R2+R4}} E_{\beta o1x}^{-} \quad (8)$$



Р и с. 4. Ждущий мультивибратор: а - принципиальная схема; б - эпюры напряжения в схеме

В режиме покоя ток смещения протекает по цепи: диод $V1$, резистор $R1$ и выход OU :

$$J_{\partial n} = \frac{E_{\text{бхх}}^-}{R1}$$

Диод $V2$ также открыт, и ток протекает через резисторы $R4$ и $R3$.

При подаче положительного импульса амплитудой $U_3 > |U_{\text{бхх}2n}|$ в схеме за счет положительной обратной связи через резисторы $R2$ и $R3$ осуществляется регенеративный процесс, который приводит к скачкообразному увеличению выходного напряжения OU до уровня $E_{\text{бхх}}^+$ (см. рис. 4, б). Временно устойчивое состояние мультивибратора обеспечивается тем, что напряжение на конденсаторе C после момента переброса, равное $U_{\text{бхх}1}$, близко к нулю, а напряжение на неинвертирующем входе возрастает до уровня $\frac{R2}{R2+R3} E_{\text{бхх}}^+ = \delta E_{\text{бхх}}^+$ (так как диод $V2$ запирается и отключает элементы $R4$ и $C2$ от делителя $R2$ и $R3$)

После опрокидывания мультивибратора изменяется направление тока через резистор $R1$, что приводит к запираанию диода $V1$ и заряду конденсатора $C1$. Длительность временно устойчивого состояния мультивибратора определяется временем заряда конденсатора $C1$ от

напряжения $u_{сн} = 0$ до порогового уровня, равного напряжению на неинвертирующем входе $u_{r1}^+ = u_{\beta x2} = \gamma E_{\beta 01x}^+$ (см. рис. 4, б). При достижении этого уровня возникает обратный регенеративный процесс, и напряжение на выходе становится равным $E_{\beta 01x}^-$.

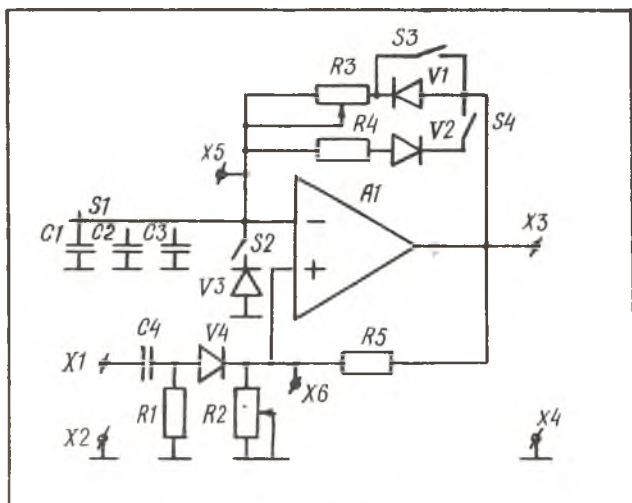
Длительность генерируемого импульса определится из выражения

$$t_u = R1C1 \ln \frac{E_{\beta 01x}^+}{E_{\beta 01x}^+ - u_{r1}^+} = R1C1 \ln \frac{1}{1-\gamma} \quad (9)$$

Стадия восстановления исходного состояния мультивибратора сводится к разряду время задающего конденсатора С1 и определяется по формуле

$$t_{\beta} = R1C1 \ln \left(\frac{E_{\beta 01x}^- - u_{r2}^+}{E_{\beta 01x}^-} \right) = R1C1 \ln \left(1 - \gamma \frac{E_{\beta 01x}^+}{E_{\beta 01x}^-} \right) \quad (10)$$

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА (рис. 5)



Р и с.5.Макет лабораторной работы

Лабораторный макет по исследованию мультивибраторов на основе ОУ встроен в общий корпус лабораторной установки. В состав макета входит интегральная микросхема А1 типа К140УД5Б, блок конденсаторов С1, С2, С3, которые переключаются переключателем S7, переменные резисторы R2 и R3, постоянные резисторы R1, R4, R5, разделительный конденсатор С4 и диоды V1, V2, V3, V4 с выключателями S2, S3, S4.

Параметры микросхемы К140УД5Б:

1. Напряжение источника питания $\pm (I2 \pm I,2) В$
2. Ток потребления $I2 мА$
3. Коэффициент усиления $I000 \pm 2000С$
4. Выходное напряжение $+6В, -4,5 В$
5. Входной ток $I0 мкА$
6. Разность входных токов $5 мкА$
7. Напряжение смещения $\pm 5 мВ$
8. Входное сопротивление $7 кОм$
9. Максимальное синфазное напряжение $3В$
10. Максимальное дифференциальное напряжение $\pm I,5 В$.

Блок конденсаторов С1, С2, С3 и переменный резистор R3 служат для изменения постоянной времени задающей цепочки. Переменный резистор R2 изменяет параметры положительной обратной связи, образованной делителем R5, R2. Диоды V1 и V2 с резисторами R3 и R4 создают отрицательную обратную связь. Диод V3 служит для перевода схемы в ждущий режим работы. Переключатели S2, S3, S4 служат для коммутации V3, V1 и V2. Цепочка С4, R1, V4 служит целью запуска схемы при работе последней в ждущем режиме. Гнезда X1 и X2 служат для подключения запускающих импульсов от внешнего генератора Г5-54. Гнезда X3, X5, X6 необходимы для наблюдения процессов, происходящих в схеме.

Длительность запускающих импульсов и частота их следования выбираются в каждом конкретном случае, исходя из особенностей работы исследуемой схемы мультивибратора.

Регистрация постоянных напряжений и визуальное наблюдение процессов в мультивибраторе производится с помощью универсального вольтметра В7-26 и осциллографа типа ИО-4, С1-72 или любого другого, имеющегося в лаборатории.

2.1. Содержание работы

Перед началом работы необходимо изучить краткую теорию настоящего методического указания и сдать коллоквиум по теории.

При исследовании мультивибраторов необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Зависимость длительности импульсов от элементов время задающей цепи.
2. Изменение скважности генерируемых импульсов от параметров время задающей цепи.
3. Влияние изменения напряжения смещения на длительность генерируемых импульсов.
4. Влияние навесных элементов на время восстановления схемы мультивибратора в исходное состояние.
5. Влияние параметров цепи положительной обратной связи на работу мультивибраторов.

2.2. Порядок выполнения работы

Исследование схемы автоколебательного мультивибратора на ОУ (см.рис.3,а) производится при условии, что переключатели S_2 , S_4 разомкнуты, а переключатель S_3 замкнут. Исследование схемы ведется согласно пунктам параграфа 2.3 до полного уяснения принципа и особенностей работы мультивибратора на ОУ.

Увеличить скважность генерируемых импульсов (т.е.создание несимметричного мультивибратора) можно путем размыкания переключателя S_3 и замыкания переключателя S_4 (см.рис.4). Для того, чтобы перевести мультивибратор в ждущий режим, достаточно замкнуть переключатель S_2 .

Все данные теоретических расчетов и экспериментов сводятся в соответствующие таблицы (табл. I).

Т а б л и ц а I

$$R_2 = \text{const}; R_3 - \text{var}$$

		R3=1	R3=2	R3=4	R3=5	и т.д.				
С1	t_u		Расчетные значения							
			Экспериментальные данные							
С2	t_u		Расчетные значения							
			Экспериментальные данные							

и т.д.

2.3. Содержание отчета

Отчет выполняется индивидуально каждым студентом на отдельном двойном листе из тетради. Он включает в себя: название работы; цель, которую преследовал студент при выполнении работы; принципиальные схемы исследованных мультивибраторов, выполненные по ЕСКД, формулы, по которым производился теоретический расчет; таблицы с экспериментальными и теоретическими данными; графики экспериментальных и теоретических зависимостей, выполненных в одних осях и в одном масштабе. В конце отчета должен быть сделан вывод о проделанной работе.

2.4. Контрольные вопросы для самоподготовки

1. Спусковые свойства ОУ.
2. Принципиальные схемы мультивибраторов, построенных на основе ОУ.
3. Эпюры напряжений в различных точках схемы, поясняющие работу мультивибратора.
4. Эквивалентные схемы мультивибраторов для устойчивого и квазиустойчивого состояний схемы.
5. Расчетные соотношения для устойчивого и квазиустойчивого режимов работы схемы.
6. Формулы длительности импульсов для различных схем мультивибраторов.
7. Регулировка длительности генерируемых импульсов.
8. Способы включения ОУ в мультивибраторах.
9. Влияние параметров ОУ на построение схем мультивибраторов.

Л и т е р а т у р а

1. Проектирование радиоэлектронных устройств на интегральных микросхемах / Под ред. С.Я.Шаца. - М.: Советское радио, 1976, с. 143-158.
2. Г у т н и к о в В.С. Интегральная электроника в измерительных приборах. - Л.: Энергия, 1974, с. 127-139.