

Лабораторная работа №8. Мультивибраторы. 1.Цель работы.

Изучение принципов работы и исследование характеристик мультивибраторов (генераторов напряжения несинусоидальной формы).

2.Приборы и принадлежности.

- 1). ПК с установленным ПО National Instruments.
- 2). NI ELVIS II.

3.Теоретические сведения.

Мультивибратор – релаксационный генератор, представляющий собой двухэлементный усилитель с ёмкостной связью, выход которого соединен с входом, формируя, тем самым, замкнутую цепь положительной обратной связи. Различают два вида мультивибраторов: *автоколебательные*, не обладающие состояниями устойчивого равновесия, и *ждущие* (одновибраторы), обладающие одним состоянием устойчивого равновесия, при выходе из которого сначала переходят в другое квазиустойчивое состояние, а затем самопроизвольно возвращаются в первоначальное состояние.

1. АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ МУЛЬТИВИБРАТОР.

Колебательный процесс в *автоколебательном мультивибраторе* происходит вследствие поочередного накопления энергии в соответствующих конденсаторах от источника питания и в последующей их разрядке через цепи транзисторов.

В *симметричном* транзисторном мультивибраторе, собранном из сходных элементов: транзисторов $VT1$ и $VT2$, резисторов с сопротивлениями $R_{K1}=R_{K2}=R_K$; $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ и конденсаторов с ёмкостями $C_1=C_2=C$; $R_K \ll R_B$ (рис. 8.1, а), транзисторы работают в ключевом режиме, причём если один из них открыт, то в это время другой заперт и наоборот.

Мультивибратор имеет два состояния квазиравновесия; пусть в одном из них

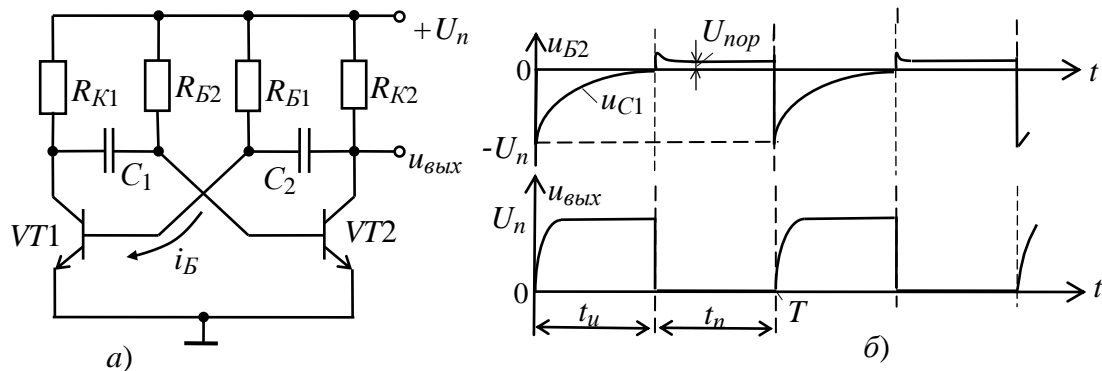


Рис. 8.1

транзистор $VT1$ открыт (находится в состоянии насыщения), а транзистор $VT2$ заперт (находится в состоянии отсечки). Однако, это состояние квазиравновесия неустойчиво, так как отрицательный потенциал на базе закрытого транзистора $VT2$ по мере разрядки конденсатора C_1 через резистор R_{B2} стремится к положительному потенциалу источника питания U_n . Отметим, что зарядка конденсатора C_2 через сопротивление R_{K2} , разряженного к моменту открытия транзистора $VT1$, идет быстрее, чем разрядка конденсатора C_1 через сопротивление R_{B2} , а открытое состояние транзистора $VT1$ поддерживается постоянным током i_{Bn} . В момент, когда потенциал базы транзистора $VT2$ станет близким к нулю, состояние квазиравновесия нарушится, закрытый транзистор $VT2$ отпирается, открытый $VT1$ запирается и мультивибратор переходит в новое состояние квазиравнове-

сия. На выходе формируются почти прямоугольные импульсы $u_{\text{вых}}$ при скважности $N = T/t_u \approx 2$ (рис. 8.1, б).

Амплитуда генерируемых импульсов приближенно равна напряжению питания U_n , а период колебаний симметричного мультивибратора

$$T = 2R_B C \ln 2 \approx 1,4R_B C.$$

В *несимметричном* мультивибраторе (при неравенстве параметров резистивных и ёмкостных элементов схемы) длительности импульса t_u и паузы t_n неодинаковы вследствие различной продолжительности запертых состояний транзисторов $VT1$ и $VT2$.

Мультивибратор можно собрать на операционном усилителе. В ОУ благодаря большому коэффициенту усиления ($K_u = 10^5 \dots 10^6$) выходное напряжение пропорционально входному только при очень малых входных сигналах (единицы мили- и микровольт). Как отмечалось, при больших входных сигналах напряжение $u_{\text{вых}}$ может иметь два значения $U_{\text{вых}}^+$ и $U_{\text{вых}}^-$ (рис. 8.2, а).

Входные напряжения $u_{\text{вх}}$, при которых разность $u_{\text{вх}} - u_{\text{ос}} = 0$,

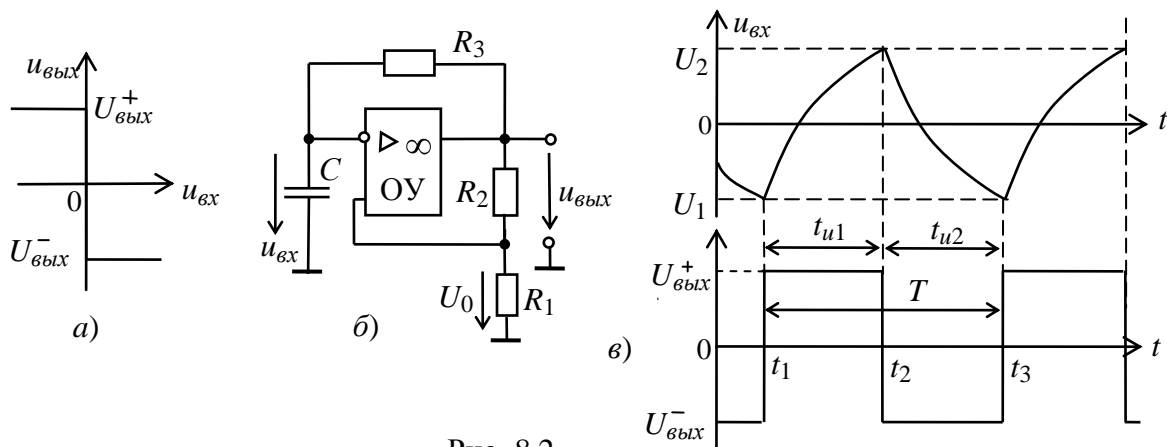


Рис. 8.2

$$U_1 = U_{\text{вых}}^- \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \beta U_{\text{вых}}^-; \quad U_2 = U_{\text{вых}}^+ \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \beta U_{\text{вых}}^+,$$

где $u_{\text{ос}}$ – напряжение обратной связи; $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$ – коэффициент обратной связи (рис. 8.2, б, в).

В схеме автоколебательного мультивибратора (рис. 8.2, б) возникает режим самовозбуждения за счет второй обратной связи через R_3C -звено.

Предположим, что в момент t_1 (рис. 7.2, в) напряжение $u_{\text{вх}}$ изменилось скачком с $U_{\text{вых}}^-$ до $U_{\text{вых}}^+$. Конденсатор C начинает перезаряжаться током, протекающим через резистор R_3 под действием $U_{\text{вых}}^+$, причем напряжение на конденсаторе u_C изменяется по экспоненциальному закону, стремясь к $U_{\text{вых}}^+$. Напряжение u_C есть входное напряжение $u_{\text{вх}}$ инвертирующего усилителя, и когда в момент t_2 оно достигнет значения U_2 , выходное напряжение ОУ скачком изменится с $U_{\text{вых}}^+$ на $U_{\text{вых}}^-$. Конденсатор начинает перезаряжаться, стремясь к $U_{\text{вых}}^-$, но, достигнув значения U_1 к моменту t_3 , оно заставляет ОУ инвертировать выходное напряжение на $U_{\text{вых}}^+$. Далее процесс будет повторяться.

Генераторы, основанные на рассмотренном принципе, называют *релаксационными*. Период колебаний такого мультивибратора

$$T = 2R_3C \ln(1 + 2R_1/R_2),$$

причем $t_{u1} = t_{u2}$. Такой вид колебаний называют *меандром*.

2. ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ.

В схеме (рис. 8.3, а) RC-генератора треугольных импульсов входным напряжением $u_{вх}$ триггера, выполненного на ОУ1, служит напряжение $u_{вых2}$, получаемое на инверторе – интеграторе, собранном на ОУ2.

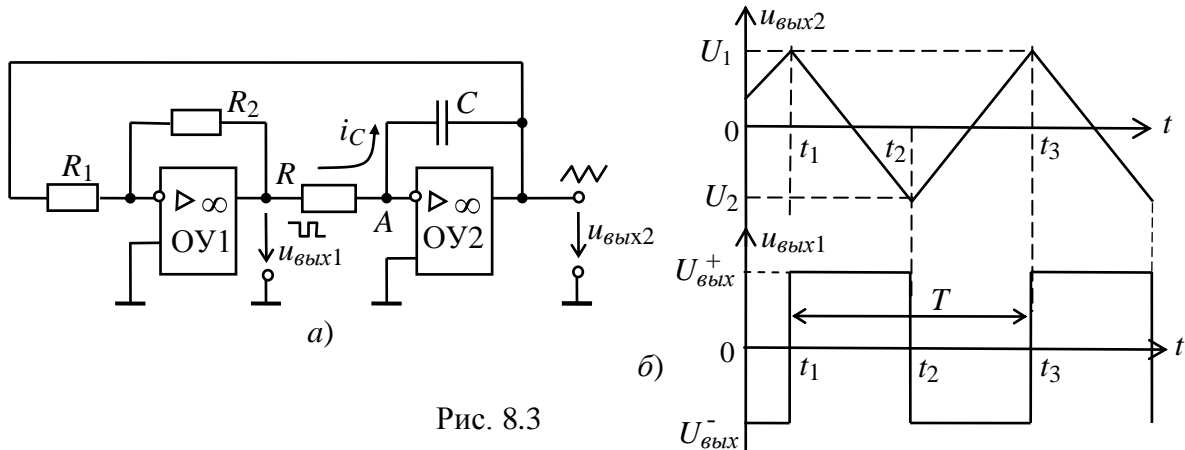


Рис. 8.3

Поясним работу интегратора. Ток i_C , проходящий через конденсатор C , равен $i_C = -C \frac{du_{вых2}}{dt}$, где $u_C = u_{вых2}$, так как потенциал точки A (рис. 27.3, а) близок к нулю. Ток связи между операционными усилителями ОУ1 и ОУ2 $i_C = u_{вых1}/R$. Проинтегрировав от 0 до t и разделив на $-C$ обе части равенства $-C \frac{du_{вых2}}{dt} \approx \frac{u_{вых1}}{R}$, получим

$$u_{вых2} - u_{вых0} \approx -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{вых1} dt,$$

где $u_{вых0}$ – напряжение на генераторе при $t = 0$.

Пусть в момент времени t_1 (рис. 8.3, б) с триггера на вход ОУ2 подано напряжение $U_{вых+}$. Так как $U_{вых+} = const$ (а интеграл от постоянного значения пропорционален времени t), то напряжение $u_{вых2}$ изменяется по прямой линии до тех пор, пока в момент t_2 оно не достигнет значения U_2 , при котором триггер переключится, и на вход интегратора будет подано напряжение $U_{вых-}$. С момента t_2 конденсатор начнет перезаряжаться и напряжение на нем будет линейно возрастать до момента t_3 , после чего процессы повторяются.

Амплитуда треугольного напряжения определяется напряжением переключения триггера и равна $|U_{вых1}| \cdot R_1/R_2$. Период колебаний $T = 4RCR_1/R_2$.

3. ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР.

Ждущий мультивибратор (одновибратор) имеет одно состояние устойчивого равновесия и второе состояние неустойчивого равновесия, называемое состоянием *квазиравновесия*. Под действием внешнего запускающего импульса генератор выходит из

состояния устойчивого равновесия, но, благодаря внутренним процессам перераспределения энергии, самопроизвольно возвращается в устойчивое состояние.

Ждущий мультивибратор можно получить из мультивибратора, затормозив его работу. Так, если в схеме (рис. 8.2, б) зашунтировать конденсатор C диодом VD (рис. 8.4),

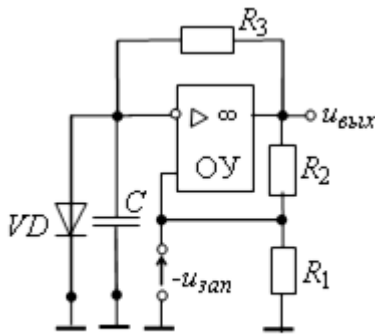


Рис. 27.4

то конденсатор, разрядившись от уровня U_1 до $u_C = 0$ (см. рис. 8.2, в), перестанет перезаряжаться под действием напряжения $U_{вых}^+$, так как ток от резистора R_3 пройдет через открытый диод, а значит напряжение на конденсаторе не достигнет значения U_2 , и автоколебания сорвутся. Генератор может быть запущен, если на неинвертирующий вход ОУ подать импульс запуска $u_{зан}$, эквивалентный напряжению u_{ex} на инвертирующем входе.

Запускающий импульс должен иметь определенную полярность, а также соответствующие амплитуду и длительность с тем, чтобы приоткрыть запертый усилительный элемент в одном из плеч мультивибратора и создать условия лавинообразного процесса его перехода в квазиустойчивое состояние.

После опрокидывания, во время формирования импульса, мультивибратор находится в неустойчивом состоянии, из которого самостоятельно и тоже лавинообразно возвращается в устойчивое состояние, а затем выводится из него следующим запускающим импульсом.

4. ГЕНЕРАТОР ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

Прямолинейное нарастающее напряжение получается на конденсаторе, если его заряжать постоянным (по величине) током $i_C = const$, не зависящим от напряжения u_C на нём, и предотвратить влияние на этот ток сопротивления нагрузки.

Тогда, интегрируя по времени выражение $i_C = C du_C / dt = const$ (разделив переменные), получим:

$$\int du_C = \frac{i_C}{C} \int dt \text{ или } u_C = \frac{i_C}{C} t.$$

Условие $i_C = I_C = const$ в схеме (рис. 8.5, а) с операционным усилителем ОУ обеспечивается постоянным напряжением u_{ex} . Пока входной транзистор VT заперт, в течение времени t_n (рис. 8.5, б) происходит зарядка конденсатора C и выходное его напряжение u_C нарастает по прямой. При подаче импульса u_p транзистор VT насыщается, конденсатор быстро (за время t_p) разряжается через малое (в несколько ом) сопротивление открытого транзистора VT , после чего процесс зарядки конденсатора повторяется, а напряжение $u_{вых}$ приобретает пилообразную форму (см. рис. 8.5, б).

Длительность t_n нарастания напряжения определяется значениями ёмкости C и тока зарядки, зависящим, в свою очередь, от напряжения u_{ex} и сопротивлений резисторов R схемы. Изменяя значение напряжения U_0 , поданного на другой вход ОУ, можно "сме-

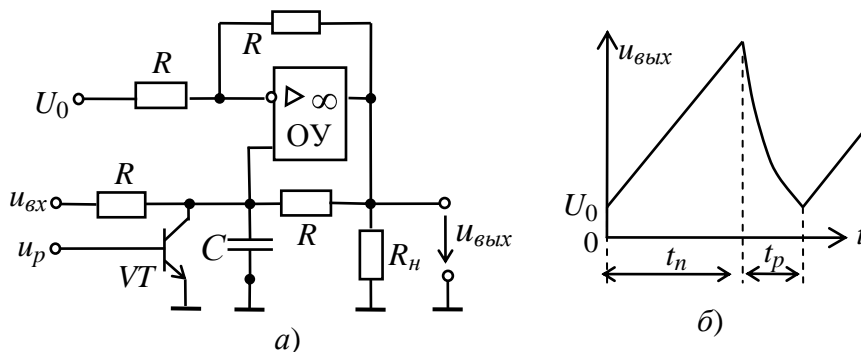


Рис. 8.5

щать пилу" по вертикали. пилообразная форма $u_{вых}$ сохраняется до тех пор, пока она располагается внутри предельных значений выходного напряжения $U_{вых}^{\pm}$ ОУ (см. рис. 8.2, а).

При одинаковых сопротивлениях R схемы выходное напряжение

$$u_{вых} = \frac{2}{RC} \int u_{вх} dt - U_0.$$

4. Экспериментальная часть.

Задание 1. Запустить среду MS10. Открыть файл **27.6.ms10**, размещённый в папке **Circuit Design Suit 10.0** среды MS10 или собрать на рабочем поле среды MS10 схему для испытания автоколебательного и ждущего мультивибраторов на ОУ (рис. 8.6) и **установить** в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

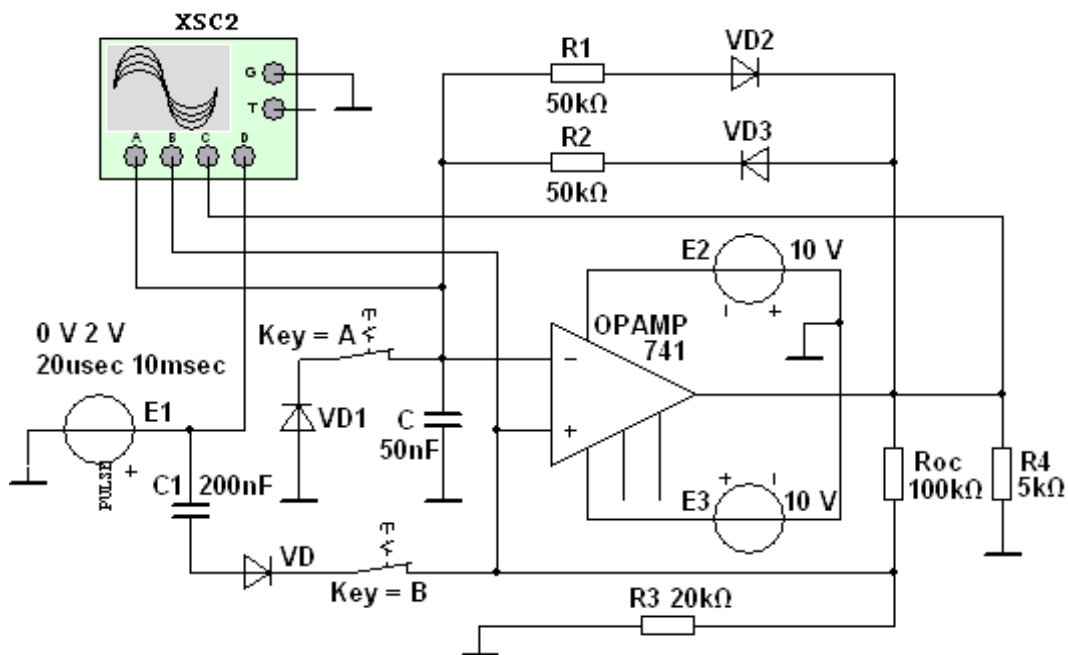


Рис. 8.6

Скопировать схему (рис. 8.6) в отчёт.

Схема (рис. 8.6) собрана на ОУ типа **SN741** с двумя звеньями обратной связи и обеспечивает работу мультивибратора как в *режиме автоколебаний* (ключи **A** и **B** разомкнуты), при котором на выходе непрерывно формируются импульсы, близкие к прямоугольной форме, так и в *ждущем режиме* (ключи **A** и **B** замкнуты), выходной импульс которого формируется только после подачи на неинвертированный вход ОУ так называемого запускающего импульса $t_{зан}$, который формируется с помощью генератора **E1** (в котором можно задать полярность, ширину и период повторения прямоугольного импульса), конденсатора **C1** и диода **VD**.

Диоды **VD1** и **VD2**, включенные последовательно с резисторами **R1** и **R2** в цепь ООС, обеспечивают поочередное прохождение токов зарядки и разрядки конденсатора **C** при напряжениях на выходе $U_{вых}^+$ и $U_{вых}^-$.

Задание 2. Провести испытание *симметричного* мультивибратора (разомкнув ключи **A** и **B** и установив сопротивления $R_1 = R_2 = 40$ кОм резисторов **R1** **R2** и ёмкость $C = 50$ нФ конденсатора **C**). В окне осциллографа **XSC2** с помощью визирных линий **измерить** параметры выходного напряжения: $U_{вых}^+$, $U_{вых}^-$, t_1 , t_2 , период T и частоту f

колебаний напряжения на выходе и **сравнить** измеренные временные параметры с расчётными величинами. диодов **VD1** и **VD2** в открытом состоянии и влиянием сопротивления нагрузки **R4** пренебречь.

Скопировать окно осциллографа **XSC2** с осциллограммами напряжений симметричного мультивибратора на страницу отчёта.

Длительность генерируемых импульсов, как и их фронты, увеличивается (уменьшается) с увеличением (уменьшением) сопротивлений резисторов **R1**, **R2** и ёмкости **C**.

Задание 3. Провести испытание *несимметричного* мультивибратора (ключи **A** и **B** разомкнуты, см. рис. 8.6), установив сопротивления $R_1 = 50 \text{ кОм}$, $R_2 = 30 \text{ кОм}$ резисторов **R1**, **R2** и ёмкость $C = 50 \text{ нФ}$ конденсатора **C**. В окне осциллографа **XSC2** с помощью визирных линий **измерить** параметры выходного напряжения: $U_{вых}^+$, $U_{вых}^-$, t_1 , t_2 , период T и частоту f колебаний и **сравнить** измеренные временные параметры с расчётными величинами. Сопротивлением диодов **VD1** и **VD2** в открытом состоянии и влиянием сопротивления нагрузки **R4** пренебречь.

Скопировать окно осциллографа **XSC2** с осциллограммами напряжений несимметричного мультивибратора на страницу отчёта.

Несимметричность выходных импульсов ($t_1 \neq t_2$, рис. 27.8, а, полученные при $R_1 = 50 \text{ кОм}$, $R_2 = 20 \text{ кОм}$ и $C = 50 \text{ нФ}$) мультивибратора обеспечивается неодинаковыми постоянными времени зарядки и разрядки конденсатора **C** при переключении триггера Шмитта (основного элемента мультивибратора) из уровня $U_{вых}^+$ на уровень $U_{вых}^-$ ($\tau_1 = R_2C$) и из уровня $U_{вых}^-$ на уровень $U_{вых}^+$ ($\tau_2 = R_1C$).

Период и частота колебаний выходного напряжения

$$T = t_1 + t_2; f = 1/(t_1 + t_2),$$

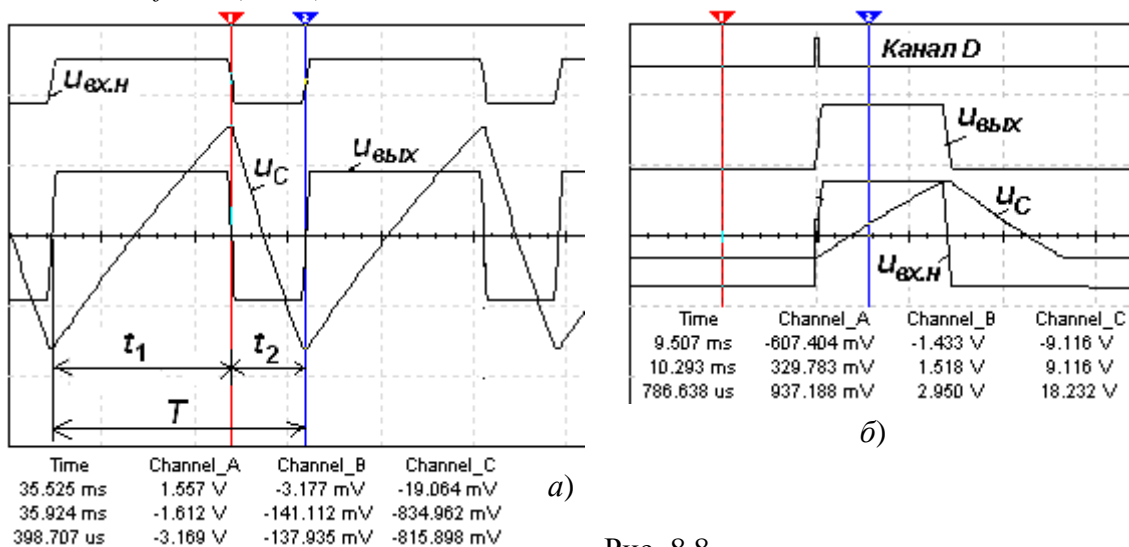


Рис. 8.8

где $t_1 = \tau_1 \ln[(1 + \beta)/(1 - \beta)] = \tau_1 \ln(1 + 2R_3/R_{oc})$;

$t_2 = \tau_2 \ln[(1 + \beta)/(1 - \beta)] = \tau_2 \ln(1 + 2R_3/R_{oc})$; $\tau_1 = R_2C$ и $\tau_2 = R_1C$ – постоянные времени цепей зарядки и разрядки конденсатора **C**.

Задание 4. Провести испытание *ждущего* мультивибратора (замкнув ключи **A** и **B**, см. рис. 8.6) при $R_1 = 50 \text{ кОм}$, $R_2 = 50 \text{ кОм}$ и $C = 50 \text{ нФ}$. В окне осциллографа **XSC2** с помощью визирных линий **измерить** длительность импульса и **сравнить** её с расчётной длительностью, определяемой по формуле

$$t_1 = \tau_1 \ln[(1 + \beta)/(1 - \beta)] = \tau_1 \ln(1 + 2R_3/R_{oc}), \text{ где } \tau_1 = R_2C.$$

Скопировать окно осциллографа **XSC2** с осциллограммами напряжений ждущего мультивибратора на страницу отчёта.

В сежущего мультивибратора конденсатор **C** может зарядиться только до напряжения u_C , равного напряжению $U_{np} = 0,5 \dots 1,2$ В на открытом диоде **VD1** (см. рис. 8.6), и оно не может стать более отрицательным, чем напряжение $U_{вых}^- \beta$, приложенное к неинвертирующему входу ОУ при $u_{вых} = U_{вых}^-$ (рис. 27.8, б). По этой причине схема не может самостоятельно переключиться из состояния $U_{вых}^-$ в состояние $U_{вых}^+$.

Так, при подаче положительного запускающего импульса в цепь ПОС от генератора **E1** (также на канал **D** осциллографа **XSC1**, см. рис. 8.8, б) с амплитудой, например 2 В, превышающей абсолютное значение отрицательного напряжения $u_{ex.n} = -0,8$ В на неинвертирующем входе ОУ (канал **B**), напряжение на выходе $u_{вых}$ (канал **C**) быстро нарастет до напряжения $U_{вых}^+$. От этого напряжения через резистор **R2** конденсатор **C** начинает заряжаться. Когда напряжение u_C (канал **A**) на конденсаторе окажется чуть больше $U_{вых}^+ \beta$, происходит новое переключение схемы к уровню напряжения $U_{вых}^-$ и перезарядка конденсатора до напряжения U_{np} диода, т. е. схема вернулась в исходное состояние.

Задание 5. Открыть файл **27.9.ms10**, размещённый в папке **Circuit Design Suit 10.0** среды MS10 или собрать на рабочем поле среды MS10 схему (рис. 8.9) для испытания генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) и **установить** в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы. **Скопировать** схему (рис. 8.9) отчёт.

Схема ГЛИН (рис. 8.9), собранная на виртуальном ОУ с *RC*-цепью в звене ООС,

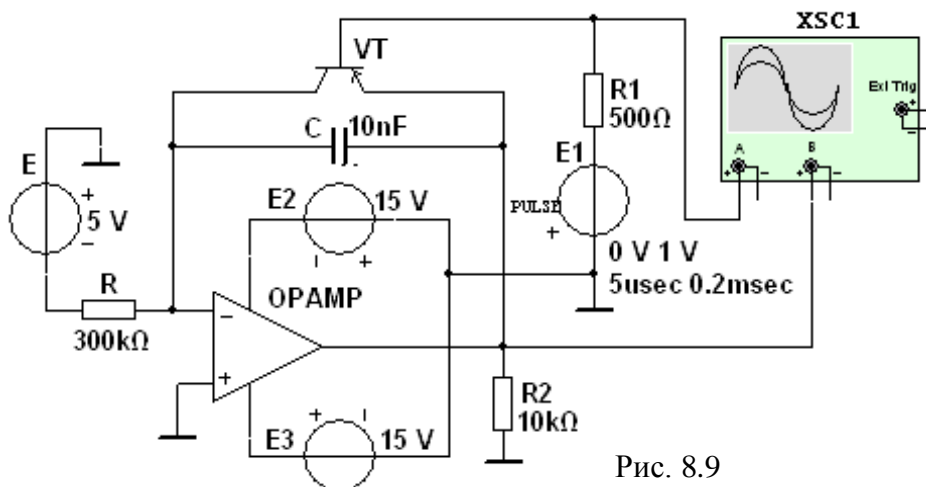


Рис. 8.9

представляет собой интегратор, в котором обеспечивается постоянство зарядного тока конденсатора **C** с помощью ключа, собранного на транзисторе **VT** типа *n-p-n*, управление которым осуществляется выходными импульсами генератора **E1**: при подаче на базу транзистора **VT** напряжения отрицательной полярности транзисторный ключ, а при его прекращении – запирается.

Рассмотрим процесс зарядки и разрядки конденсатора **C** (см. рис. 8.9), воспользовавшись временной диаграммой (рис. 8.10), снятой при ЭДС $E = -5$ В генератора **E**, сопротивлении $R = 300$ кОм и $C = 10$ нФ, длительности $t_H = 5$ мкс запускающих импульсов генератора **E1** и их периоде $T = 0,2$ мс.

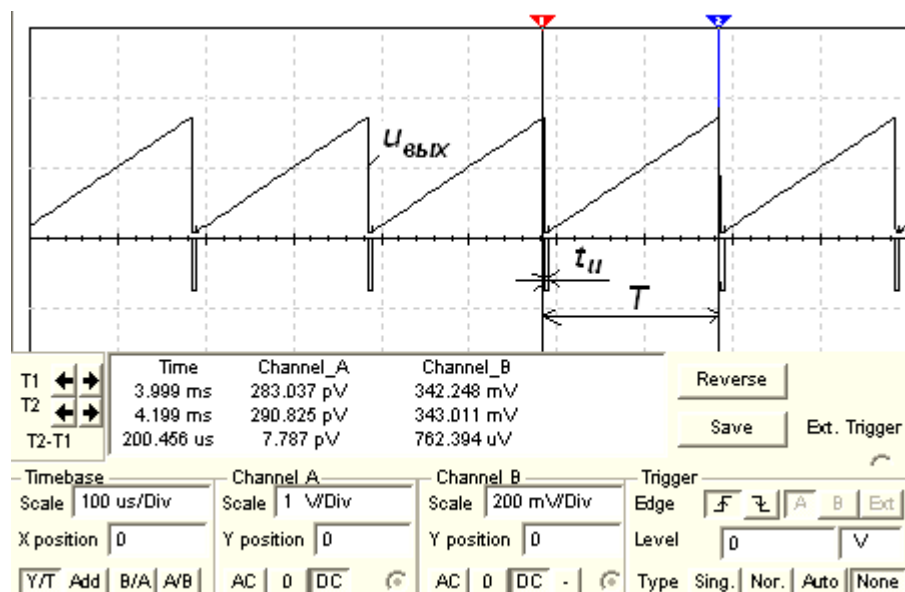


Рис. 27.10

Процессу зарядки конденсатора (напряжению $u_C = u_{\text{вых}}$) соответствует линейно возрастающая прямая. Когда напряжение на конденсаторе достигает верхнего относительного предела, под действием импульса генератора **E1** открывается транзистор **VT** и шунтирует конденсатор, который быстро разряжается через небольшое сопротивление открытого транзистора **VT**. К концу периода T выходное напряжение ГЛИН достигает значения,

$$u_{\text{вых}} = u_C = U_{mC}; \quad u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt = \frac{U_{\text{ex}}}{RC} t,$$

а в интервале времени импульса t_u выходное напряжение быстро снижается до падения напряжения между электродами коллектор-эмиттер открытого транзистора **VT**.

Провести испытание ГЛИН при входном напряжении $u_{\text{ex}} = U_{\text{ex}} = -5$ В генератора **E**; сопротивлении $R = 250$ кОм и ёмкости $C = 10$ нФ цепи ООС; длительности прямоугольных импульсов $t_u = 5$ мкс и периоде следования прямоугольных импульсов $T = 0,2$ мс генератора **E1** (см. рис. 27.9). В окне осциллографа **XSC2** с помощью визирных линий **измерить** амплитуду выходного напряжения и **сравнить** её с расчётной амплитудой U_{mC} . **Скопировать** окно осциллографа **XSC2** с осциллограммой напряжения ГЛИН на страницу отчёта.

Задание 6.

1. получить у преподавателя реальные электронные элементы;
2. определить назначение и базовые параметры по справочнику;
3. произвести снятие характеристик по методике, изложенной в теоретических сведениях.

Содержание отчета.

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Изображения электрических схем для испытания мультивибраторов.
4. Копии осциллограмм, отображающих работу мультивибраторов.

5. Сопоставление измеренных и расчётных параметров исследуемых мультивибраторов.
6. Выводы по работе.

5. Вопросы для проверки знаний.

1. Укажите **признаки**, характеризующие построение и работу автоколебательных мультивибраторов, построенных на ОУ.

- Обратные связи выполняют по переменному току.
- Обратные связи выполняют по постоянному току.
- У этих устройств имеется несколько устойчивых состояний равновесия.
- Работа этих устройств заключается в постоянной смене состояний квазиравновесия, что сопровождается формированием на выходе напряжения, близкого к прямоугольной форме.
- На выходе мультивибраторов формируется синусоидальное напряжение.
- В цепи обратной связи вводят колебательные контуры.

2. Укажите принципиальный **подход** (приём) преобразования мультивибратора в одновибратор.

- Таких приёмов не существует, так как проектирование одновибраторов выполняется на принципиально другой основе.
- Введение дополнительной обратной связи по переменному току.
- Замена хотя бы одной обратной связи по переменному току связью по постоянному току.
- Смена полярности источника питания.

3. Укажите, каким образом симметричный мультивибратор на ОУ **можно преобразовать** в несимметричный?

- Путём изменения постоянной времени зарядки или разрядки конденсатора, например, увеличив сопротивление резистора в цепи зарядки конденсатора.
- Путём изменения постоянной времени зарядки или разрядки конденсатора, например, увеличив ёмкость конденсатора.
- Зашунтировать конденсатор диодом.
- Заменить в цепи ПОС (см. рис. 27.6) любой из последовательно соединённых резисторов конденсатором.
- Ввести дополнительную обратную связь по переменному току.

4. В схеме (см. рис. 27.1, а) $R_{B1} = R_{B2} = R_B = 10 \text{ кОм}$, $C_1 = C_2 = C = 10 \text{ нФ}$. Укажите **частоту** колебаний выходного напряжения.

- 1780 Гц
- 3560 Гц
- 5240 Гц
- 71 Гц
- 9780 Гц

5. Укажите **период** колебаний выходного напряжения мультивибратора (см. рис. 27.2, б), если $R_1 = 64 \text{ кОм}$, $R_2 = R_3 = 10 \text{ кОм}$, $C = 1 \text{ нФ}$.

- мкс
- 40 мкс
- мкс
- мкс
- 100 мкс

6. Укажите **длительность** t_u прямого хода ГЛИН (см. рис. 27.9), если $U_{ex} = -5 \text{ В}$, $U_{вых} = 0,333 \text{ В}$, $R = 300 \text{ кОм}$, $C = 10 \text{ нФ}$.

- 0,2 мс 2 мс 6 мс 8 мкс 10 мкс

7. Укажите значение ёмкости несимметричного мультивибратора (см. рис. 27,6), если $R_1 = 50 \text{ кОм}$, $R_2 = 20 \text{ кОм}$, длительность импульсов $t_1 = 0,841 \text{ мс}$, $t_2 = 0, \text{мс}$.

- 10 нФ 20 нФ 30 нФ 40 нФ 50 нФ

8. Укажите, чем определяется максимальное значение выходного напряжения ГЛИН на ОУ (см. рис. 27.9)?

- Напряжением питания.
- Уровнем и длительностью входного напряжения и постоянной времени RC -цепи.
- Параметрами ОУ.
- Параметрами цепи зарядки конденсатора C .

9. Укажите, может ли на выходе мультивибратора сформироваться сигнал треугольной формы?

- Да Нет