МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

по курсу «Основы электроники» (часть 1)
для студентов специальности 7.091302
«Метрология и измерительная техника»
дневной и заочной форм обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол №

Харьков НТУ «ХПИ» 2002

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Основи електроніки» (частина 1), для студентів спеціальності 7.091302 «Метрологія та вимірювальна техніка» денної та заочної форм навчання / Уклад. О.П. Давіденко, Р.П. Мигущенко, И.В. Григоренко – Харків: НТУ «ХПІ», 2002.– 48 с.– Рос. мовою

Укладачі: О.П. Давіденко,
Р.П. Мигущенко,
І.В. Григоренко

Рецензент В.І. Дякін

Кафедра вимірювально-інформаційної техніки

© О.П. Давіденко,
Р.П. Мигущенко,
І.В. Григоренко, 2002 р.
© НТУ «ХПІ», 2002 р.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Аналоговые устройства (работы 1-4) исследуют на лабораторной установке, состоящей из универсального макета, осциллографа, вольтметра и генератора гармонических колебаний.

Универсальный макет состоит из трех операционных усилителей A1, A2, A3, набора навесных резисторов R, конденсаторов C, источников регулируемых положительного E_1 и отрицательных $-E_2$ и $-E_3$. напряжений. На вертикальной панели макета расположены потенциометры R_1, R_2, стрелочный измерительный прибор М93», полупроводниковые диоды V1, V2, V3, V4, V8, V9.

Система контактных гнезд и соединительных проводников позволяет собирать из перечисленных элементов исследуемые в работах 1-4 аналоговые устройства, подключать на их входы и выходы контрольно-измерительные приборы.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО И НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: закрепление и углубление теоретических знаний по инвертирующим и неинвертирующим усилителям, выполненным на основе интегральных схем операционных усилителей; приобретение навыков в работе с электронным вольтметром и измерительным генератором гармонических колебаний.

Порядок выполнения работы

I. Измерить коэффициент усиления постоянного напряжения инвертирующего усилителя $K_{ос}$.

Собрать схему, представленную на рисунке 1.1.

При $E_1 = 0$ при помощи потенциометра “Уст. 0” установить $U_{вых} = 0$. Установить $E_1 = 50$ мВ, измерить $U_{вых}$, экспериментальное значение $K_{ос}$

определить по формуле:

$$K_{ос} = \frac{U_{вых}}{E_1}. \qquad (1.1)$$

Обратить внимание на полярность E_1 и $U_{вых}$.

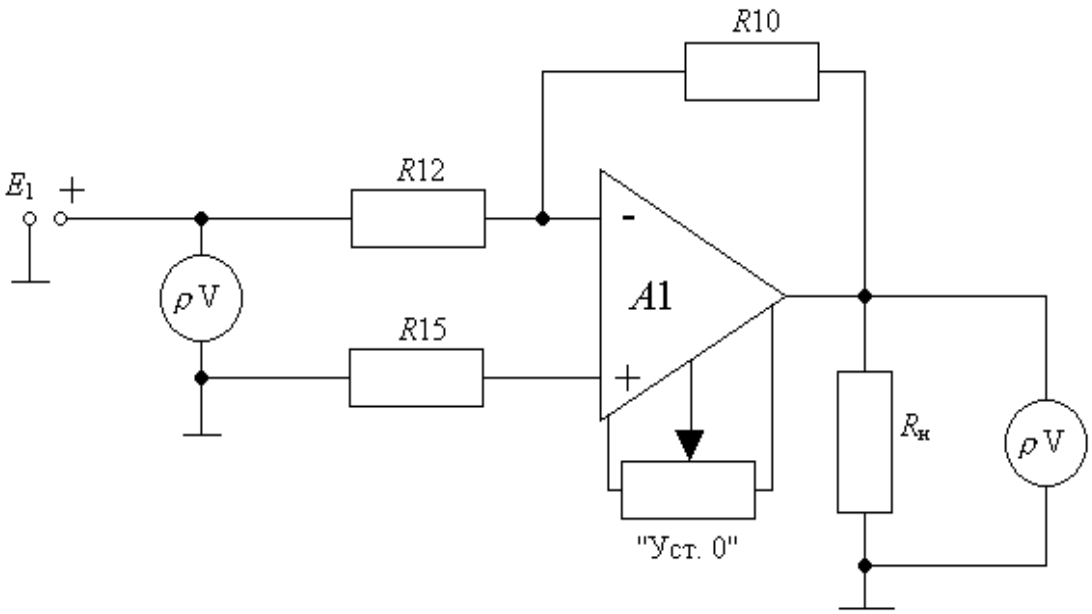


Рисунок 1.1 - Схема измерения $K_{ос}$ ИУ: R_{10} = 100 кОм; R_{12} = 2 кОм

Рассчитать теоретическое значение коэффициента усиления:

$$K_{ос} = \frac{R10}{R12}. \qquad (1.2)$$

Определить величину расхождения $K_{ос}$ и $K^1_{ос}$ по формуле:

$$\delta_к = \frac{K_{ос} - K^1_{ос}}{K^1_{ос}} 100. \qquad (1.3)$$

2. Измерить коэффициент усиления постоянного напряжения неинвертирующего усилителя $K_{ос}$.

Собрать схему, представленную на рисунке 1.2.

Используя методику измерений и расчета, изложенную в п.1, определить $K_{ос}$, $K^1_{ос}$ и $\delta_к$.

Обратить внимание на полярность E_1 и $U_{вых}$. Теоретическое значение коэффициента $K^1_{ос}$ вычислить по формуле (1.4), величину расхождения $\delta_к$ определить по формуле (1.3).

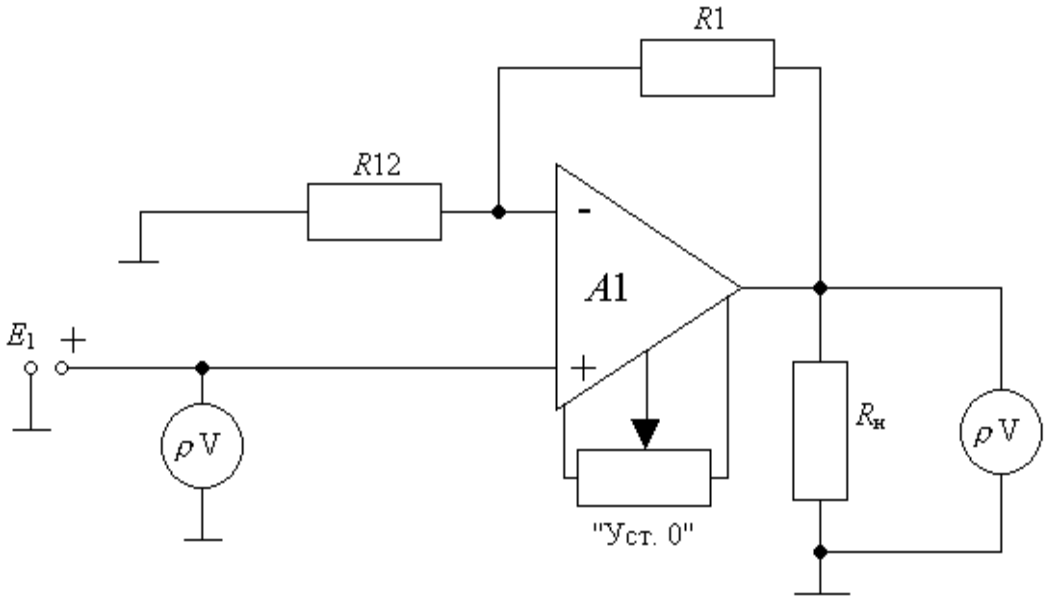


Рисунок 1.2 - Схема измерения $K_{ос}$ НУ: R10 = 100 к0м; R12 =2 к0м

Теоретическое значение коэффициента усиления найти по формуле:

$$K^{1}_{ос} = 1 + \frac{R10}{R12}. \qquad (1.4)$$

3. Измерить входное сопротивление инвертирующего усилителя. Собрать схему, представленную на рисунке 1.3.

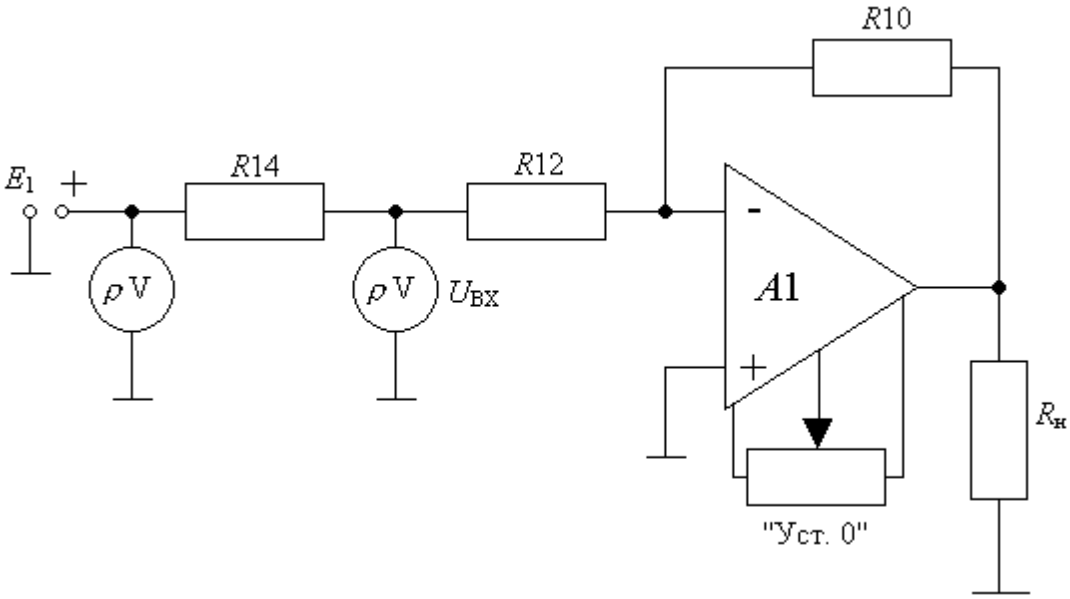


Рисунок 1.3 - Схема измерения $R_{вх}$ ИУ: R10 = 100 к0м; R12 =
= 2 к0м; R14 = 10 кОм

При $E_1 = 0$ потенциометром "Уст.0" установить $U_{вых} = 0$. Установить $E_1 = 0{,}5$ и замерить $U_{вх}$. Входное сопротивление:

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = \frac{U_{вх} R14}{E_1 - U_{вх}}. \qquad (1.5)$$

Определить величину расхождения экспериментально измеренного $R_{вх}$ с теоретическим $R^1_{вх} = R12$ по формуле:

$$\delta_к = \frac{R_{вх} - R^1_{вх}}{R^1_{вх}} \cdot 100 . \qquad (1.6)$$

Измерение и расчет повторить, заменив R12 на R11. При этом $R_{вх}$ = =R11 = 10 кОм.

4. Измерить входное сопротивление неинвертирующего усилителя $R_{вх}$.

Собрать схему, представленную на рисунке 1.4.

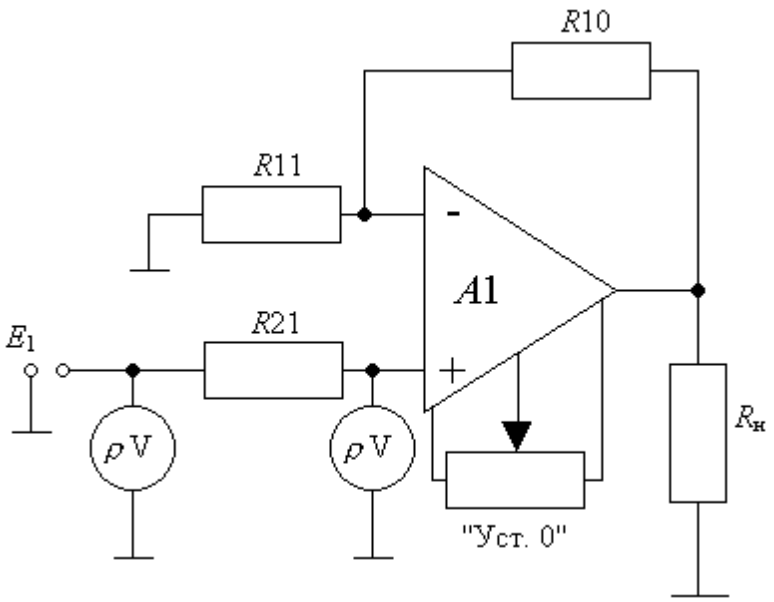


Рисунок 1.4 - Схема измерения $R_{вх}$ НУ: R10 = 100 к0м; R11 = 10 к0м; R21 = 1 МОм

При $E_1 = 0$ потенциометром "Уст.0" установить $U_{вых} = 0$. Установить $E_1 = 0{,}5$ В и замерить $U_{вх}$.

Входное сопротивление с учетом сопротивления вольтметра рассчитать из выражения:

$$R_{вх\,\Sigma} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = \frac{U_{вх} \cdot R21}{E_1 - U_{вх}} \quad . \qquad (1.7)$$

Учитывая, что $R_{вх} >> r_{вх}$ = 100 МОм, а R_v = 10 МОм,

$$R_{вх\,\Sigma} = \frac{R_v \cdot R_{вх}}{R_v + R_{вх}} \approx R_v = 10 \text{ МОм} \qquad (1.8)$$

экспериментально измеренное входное сопротивление неинвертирующего усилителя можно вычислить таким образом:

$$R_{вх} = \frac{R_v \cdot R_{вх\,\Sigma}}{R_v - R_{вх\,\Sigma}}. \qquad (1.9)$$

Вольтметр В7-27 имеет R_v = 10 МОм.

Экспериментально измеренное $R_{вх}$ сравнять с теоретическим $R^1_{вх}$:

$$R^1_{вх} = r_{вх}(1 + K\beta) // r_{вх} \cdot 10 >> r_{вх}, \qquad (1.10)$$

где $\beta = \frac{R11}{R11 + R12}$.

Для УО К140УД8 $r_{вх}$ = 1000 МОм,К = 50000.

5. Снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) инвертирующего усилителя $K_{ос}(f)$.

Собрать схему, представленную на рисунке 1.5.

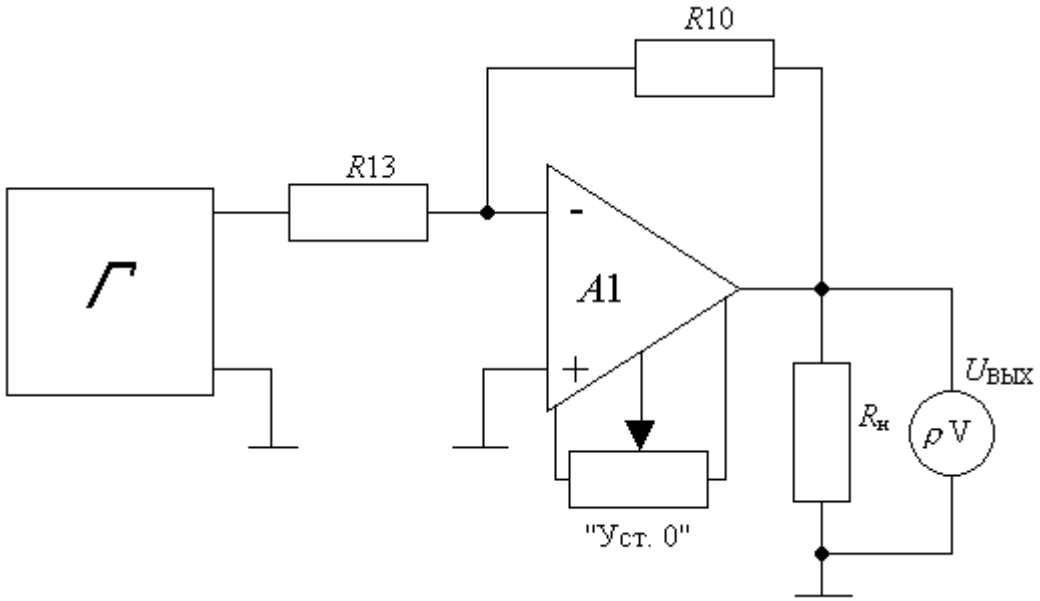


Рисунок 1.5 - Схема снятия АЧХ ИУ: R10 - 100 кОм; R13 = 1 кОм

При включенном генераторе ($U_{вх}$ = 0) установить $U_{вых}$ = 0 при

помощи потенциометра "Уст.0". Включить генератор и установить $U_{вх}$ = 50 мВ.

Изменяя частоту генератора (таблица 1.1) и поддерживая $U_{вх}$ = 50 мВ, фиксировать значения $U_{вых}(f)$. Зависимость $K_{ос}(f)$ рассчитать по формуле:

$$K_{ос}(f) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \quad . \qquad (1.11)$$

Результаты расчетов свести в таблицу 1.1, по которой построить график $K_{ос}(f)$ и определить: максимальный коэффициент усиления ($K_{ос\ max}$), полосу усиления на уровне 0,7 $K_{ос\ max}(\Delta F)$, частоту единичного усиления (f_1).

Таблица 1.1 - АЧХ инвертирующего усилителя

f, Гц	
$U_{вых}$, В	
$K_{ос}$	

Определить $\Delta F_{0,7}$ из выражения:

$$f_1 = K_{ос\ max} \cdot \Delta F_{0,7}$$

и сравнить ее с найденной по АЧХ.

6. Снять зависимость выходного напряжение инвертирующего сумматора от напряжений, поданных на вход.

Собрать схему инвертирующего сумматора, представленную на рисунке 1.6.

При E_1 =E_2 = 0 потенциометром "Уст.0" установить $U_{вых}$ = 0. Устанавливая значения E_1 и E_2 в соответствии с таблицей 1.2, измерять $U_{вых}$. Сравнить измеренные значения $U_{вых}$, с рассчитанными по формуле:

$$U_{вых} = -(E_1 + E_2) \cdot \frac{R11}{R14} \ . \qquad (1.12)$$

7. Снять зависимость $U_{вых}$ = f($U_{вх}$) для повторителя напряжения. Собрать схему, представленную на рисунке 1.7.

При E_1 = 0 потенциометром "Уст. 0" установить $U_{вых}$ = 0. Устанавливая напряжение на входе повторителя напряжения E_1 равное 0В;

0,5 В; -0,5 В, и измеряя при этом $U_{вых}$, убедиться, что $U_{вых}$ по величине и фазе совпадает с напряжением на входе.

8. Измерить коэффициент усиления инвертирующего усилителя с повышенным входным сопротивлением.

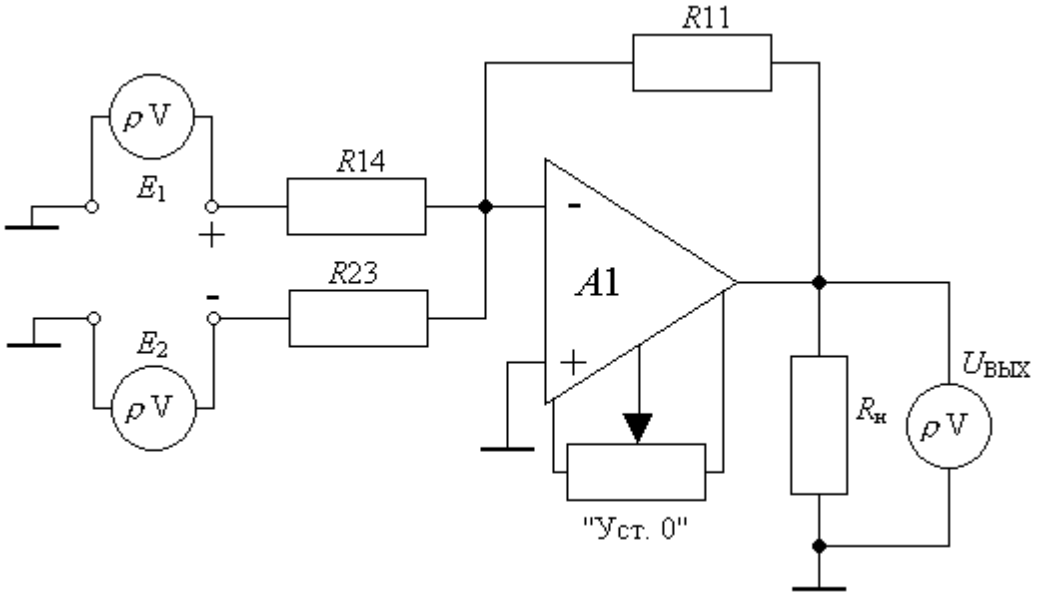


Рисунок 1.6 - Схема инвертирующего сумматора: R11 = R14 = R23 = =10 кОм

Таблица 1.2 - Напряжение на выходе инвертирующего сумматора

E_1 , В	0,0	0,5	0,5
E_2 , В	-0,5	-0,5	0,0
$U_{вых\ изм}$			
$U_{вых} = -(E_1 + E_2)$			
$\delta_U = \frac{U_{вых\,изм} - U_{вых}}{U_{вых}} \cdot 100$			

Собрать схему, представленную на рисунке 1.8.

При $E_1 = 0$ установить $U_{вых} = 0$, затем E_1 , при котором $U_{вых} = 5$ В.

Замерить коэффициент усиления $K_{ос}$ и сравнить его с расчетным:

$$K_{ос} = -\left(2 + \frac{R54}{4R + \alpha R6}\right). \qquad (1.13)$$

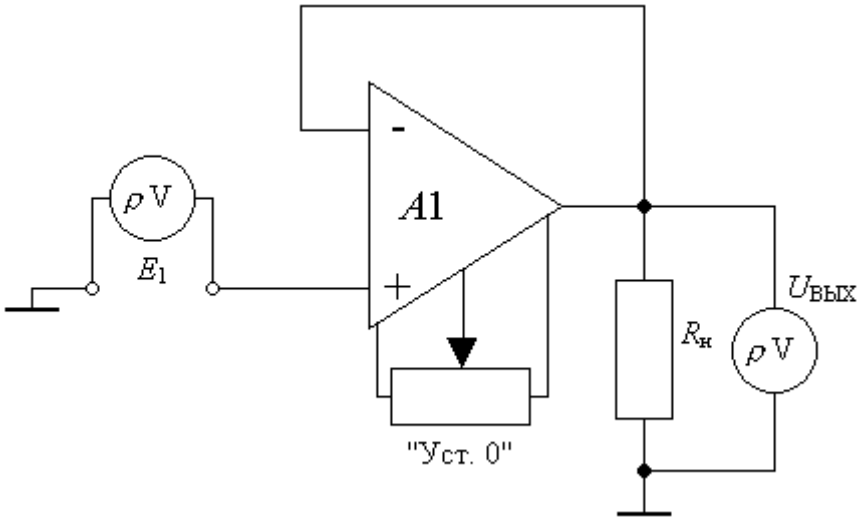


Рисунок 1.7 - Схема повторителя напряжения

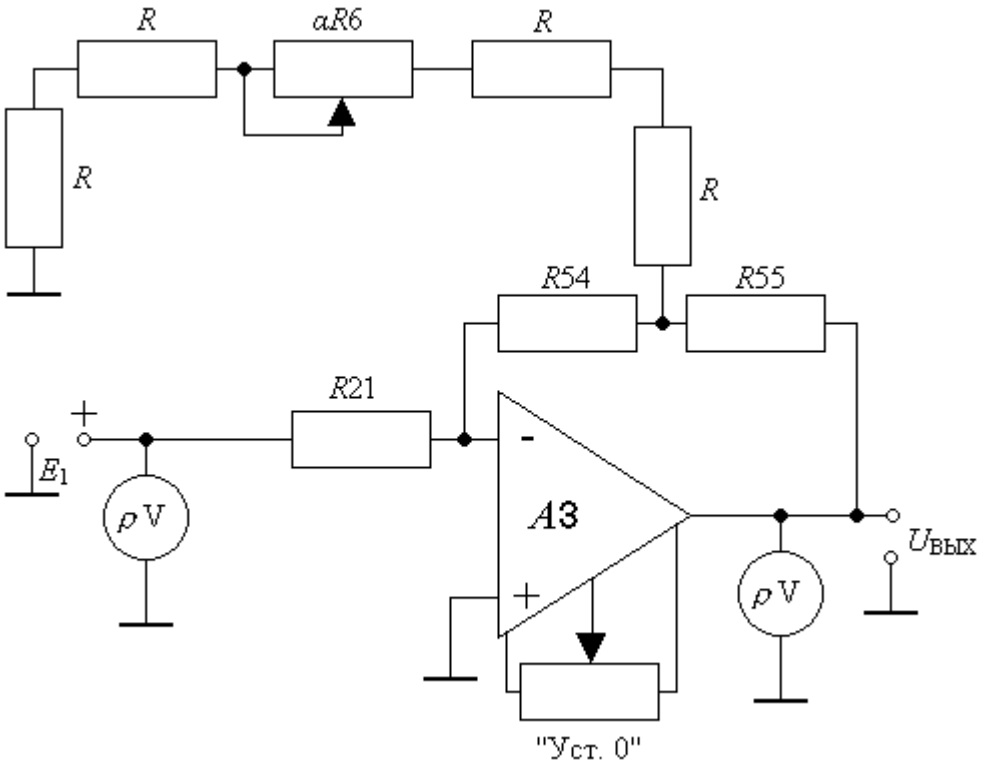


Рисунок 1.8 - Инвертирующий усилитель с повышенным $R_{вх}$

R21 = R54 = R55 = I МОм; αR6 = 4.7 к0м; R = 10 кОм

Измерения и расчеты повторить, уменьшив цепочку 4R+αR6 до R. Сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему инвертирующего (неинвертируюиего) усилителя.

2. Напишите выражение K_{oc} инвертирующего (неинвертирующего) усилителя.

3. Как по АЧХ ИУ определить: полосу пропускания $\Delta F_{0,7}$ частоту единичного усиления f_1?

4. Чем определяется входное сопротивление инвертирующего (неинвертирующего) усилителя?

5. Изобразите схему инвертирующего сумматора, обоснуйте величины сопротивления навесных резисторов.

6. Нарисуйте схему повторителя напряжения, назовите его основные свойства.

7. Какие требования предъявляются к ОУ схемы, представленной на рисунке 1.8 ?

Литература

Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергоатомиздат, 1998.

Кофлин Р., Дрискол Ф. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. - М.: Мир, 1979.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Цель работы: закрепление и углубление теоретических знаний по применению операционных усилителей в измерительной технике; приобретение практических навыков по сборке аналоговых электронных

вольтметров, измерителей изменений сопротивления, измерителей тока короткого замыкания и внутреннего сопротивления генератора напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать вольтметр постоянного тока. Собрать схему вольтметра постоянного тока (рисунок 2.1).

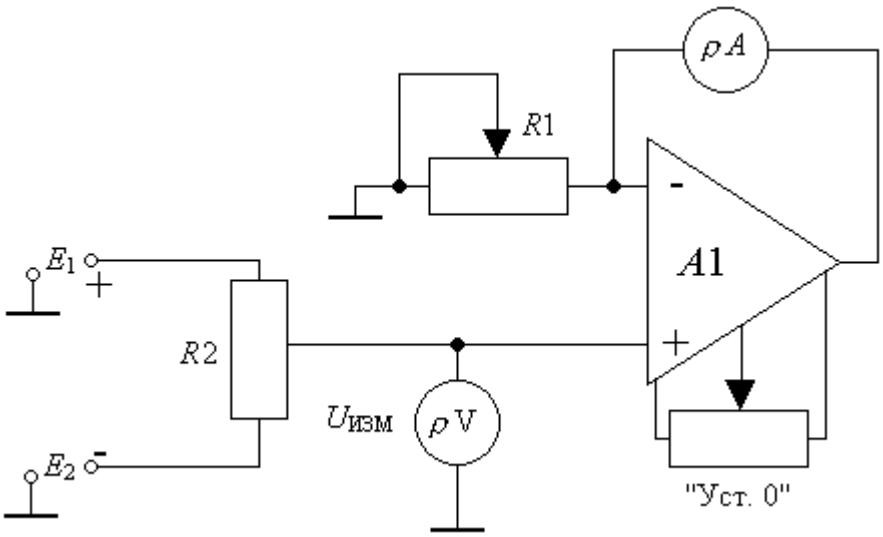


Рисунок 2.1 - Схема вольтметра постоянного тока

Произвести градуировку микроамперметра, включенного в цепь обратной связи неинвертирующего усилителя, в единицах напряжения. Для этого, установив при помощи потенциометра R2 $U_{изм}$ = 0, потенциометром "Уст.0" установить стрелку μA на нуль. Затем потенциометром R2 установить верхний предел измеряемого напряжения $U_{изм.макс}$ потенциометром R1 установить стрелку микроамперметра на верхний предел шкалы $\alpha_{макс}$ при этом:

$$\alpha_{макс} = I_{макс} = \frac{U_{изм\,макс}}{R1} .$$

Потенциометром R2 установить нижний предел измеряемого напряжения – $U_{изм\,макс}$ и убедиться, что при этом стрелка микроамперметра показывает отрицательный ток максимального отклонения $I_{макс}$.

Построить график градуировки шкалы вольтметра (рисунок 2.2). Убедиться в линейности шкалы.

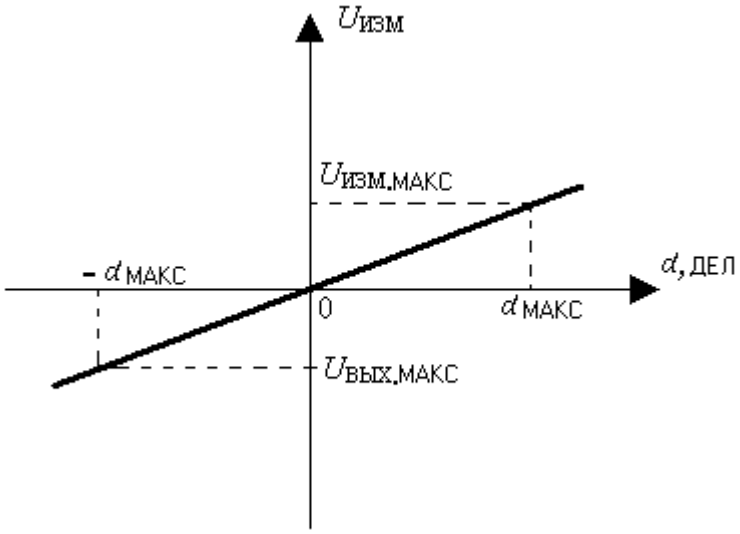


Рисунок 2.2 - График градуировки шкалы вольтметра

Включив в цепь обратной связи последовательно с μA резистор R, убедиться в неизменности показаний прибора.

2. Исследовать вольтметр переменного тока. Собрать схему вольтметра переменного тока (рисунок 2.3).

Произвести градуировку шкалы μA в единицах напряжения. Для этого, определив напряжение генератора $U_{изм}$ = 0, при помощи потенциометра "Уст.0" установить стрелку μA на нуль. Затем, установив по шкале частот генератора f = 100 Гц, по шкале напряжений - максимальное значение измеряемого напряжения $U_{изм\ макс}$ при помощи потенциометра R1 установить стрелку μA на максимальное значение шкалы $\alpha_{макс}$.

Построить график градуировки вольтметра. Для чего, устанавливая по шкале генератора промежуточные значения измеряемого напряжения в соответствии с таблицей 2.1, фиксировать показания (в делениях α) микроамперметра. По результатам измерений построить график $U_{изм}(\alpha)$ (рисунок 2.4).

3. Исследовать мостовой измеритель изменения сопротивления. Собрать схему, представленную на рисунке 2.5.

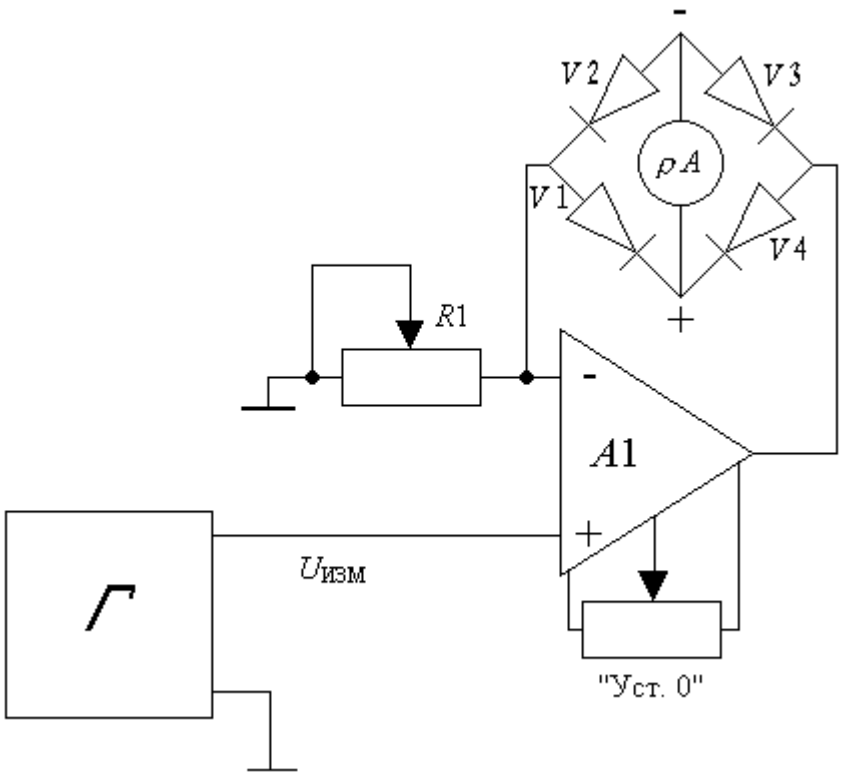


Рисунок 2.3 - Схема вольтметра переменного тока

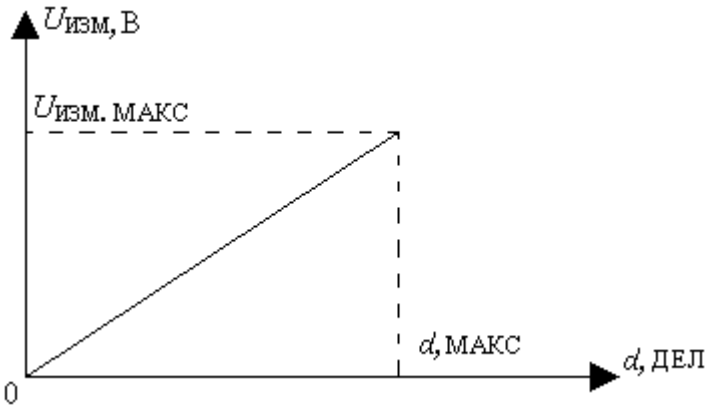


Рисунок 2.4 - График градуировки шкалы вольтметра

Таблица 2.1 - Градуировочная таблица вольтметра при f = 100 Гц

$U_{изм}$, В	
α , дел	

При помощи омметра установить R1 = 10 кОм. При E_1 = 0

потенциометром "Уст. 0" установить $U_{вых}$ = 0. Определить E_1 = 0,5 В и убедиться в том, что мостовая схема остается сбалансированной, т.е. $U_{вых}$ = = 0. В противном случае добиться баланса при помощи "Уст. 0".

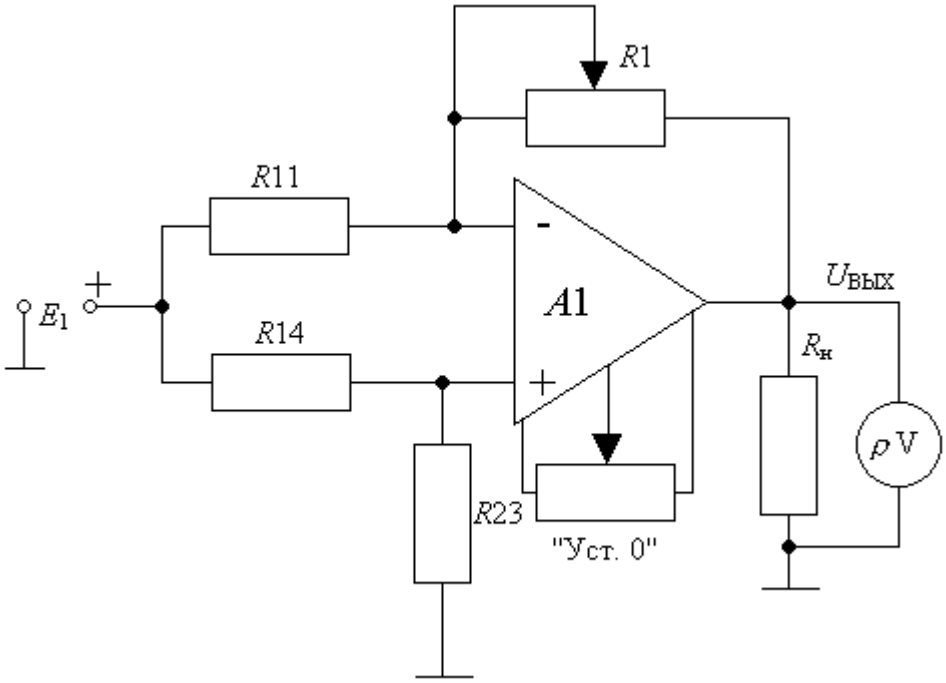


Рисунок 2.5 - Схема мостового измерителя изменений сопротивления: R11 = R14 = R23 = 10 кОм

Изменяя сопротивление R1, установить $U_{вых}$ = -0,2 В, после чего замерить величину сопротивления R1 и определить его изменение ΔR_0 относительно исходного значения (10 кОм), т.е. ΔR_0 = R1 - 10 кОм.

Определить ΔR из равенства

$$U_{вых} = -E1 \cdot \frac{\Delta R}{2R}, \qquad (2.1)$$

где $U_{вых}$ = -0,2 В; E1 = 0,5 В; R = R11 = R14 = R23 = 10 к0м.

Оценить отклонение измеренного ΔR от истинного ΔR_0:

$$\delta_R = \frac{\Delta R - \Delta R_0}{\Delta R_0} \cdot 100. \qquad (2.2)$$

Изменяя сопротивление R1, убедиться в том, что исследуемый измеритель реагирует на знак изменения ΔR.

4. Исследовать мостовой измеритель малых изменений сопротивления.

Собрать схему, представленную на рисунке 2.6. Сбалансировать схему, для чего: отключить потенциальный конец R1 от моста, при помощи омметра установить величину R1 = 10 кОм и вновь подключить к мосту. Установить $\alpha R6 = 2{,}22$ кОм, а затем $E_1 = 1$ В, потенциометром "Уст. 0" операционного усилителя A1 установить между его входами напряжение $U_{q1} = 0$; аналогичную балансировку выполнить для A2($U_{q2} = 0$); потенциометром "Уст. 0" для A3 установить $U_{вых} = 0$.

При помощи потенциометра R1 установить $U_{вых} = 5$ В. По известному выражению для исследуемой схемы:

$$\Delta R = -4R\frac{U_{вых}}{E_1 K_q + 2U_{вых}}, \qquad (2.3)$$

где

$$K_q = \left(1 + \frac{2R}{\alpha R6}\right)\cdot\frac{R50}{R} \qquad (2.4)$$

определить ΔR. Измерить при помощи прибора В7-27 R1, при котором $U_{вых} = 5$ В, и найти $\Delta R_0 = (R1 - 10^4)$ Ом. Рассчитать погрешность исследуемого измерителя:

$$\delta_{\Delta R} = \frac{\Delta R - \Delta R_0}{\Delta R_0}\cdot 100. \qquad (2.5)$$

Устанавливая другие значения R1, убедиться, что исследуемая схема реагирует не только на величину, но и на знак ΔR.

5. Изучить измеритель тока короткого замыкания. Собрать схему измерителя тока короткого замыкания (рисунок .2.7). При $E_1 = 0$ потенциометром "Уст. 0" установить $U_{вых} = 0$, а затем $E_1 = 0{,}5$ В и измерить $U_{вых}$. Ток короткого замыкания определить по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_{вых}}{R21}. \qquad (2.6)$$

Вычислить погрешность измерения

$$\delta_I = \frac{I_{кз} - I_{кз\,0}}{I_{кз\,0}}\cdot 100, \qquad (2.7)$$

где $I_{кз\,0} = \dfrac{E_1}{R22}$ - истинное значение тока короткого замыкания.

Схема, представленная на рисунке 2.7, позволяет измерять внутреннее сопротивление генератора напряжения по измеренному $I_{кз}$.

$$R22 = \frac{E_1}{I_{кз}} \ . \qquad (2.8)$$

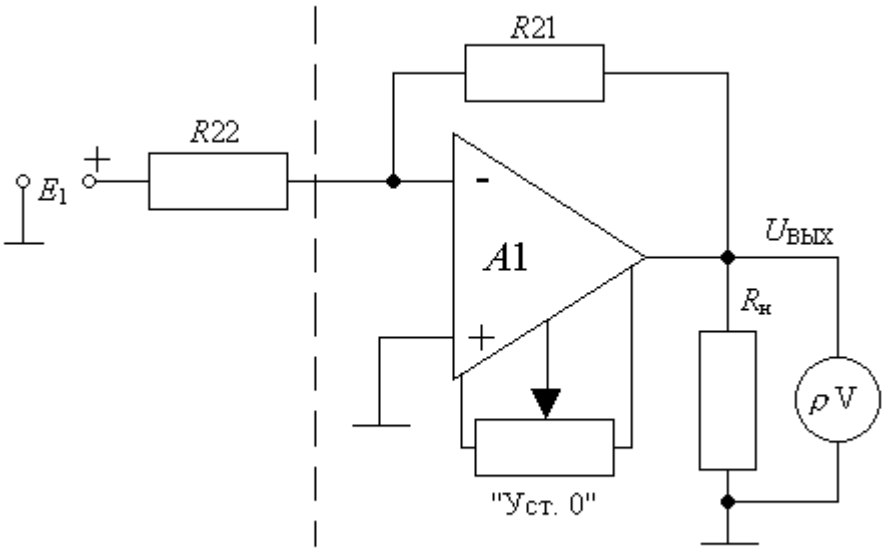


Рисунок 2.7 - Схема измерения $I_{кз}$ генератора напряжения:
R21 = 1 МОм; R22 = 100 кОм

Контрольные вопросы

1. Начертите схему электронного вольтметра постоянного (переменного) тока, выполненного на базе ОУ, поясните назначение элементов схемы.

2. Изобразите схему мостового измерителя изменений сопротивления, напишите зависимость $U_{вых}(\Delta R)$.

3. Начертите схему мостового измерителя малых измерений сопротивления, изложите порядок балансировки схемы.

4. Напишите зависимость $U_{вых}(\Delta R)$, выражение для K_q мостового измерителя малых измерений сопротивления.

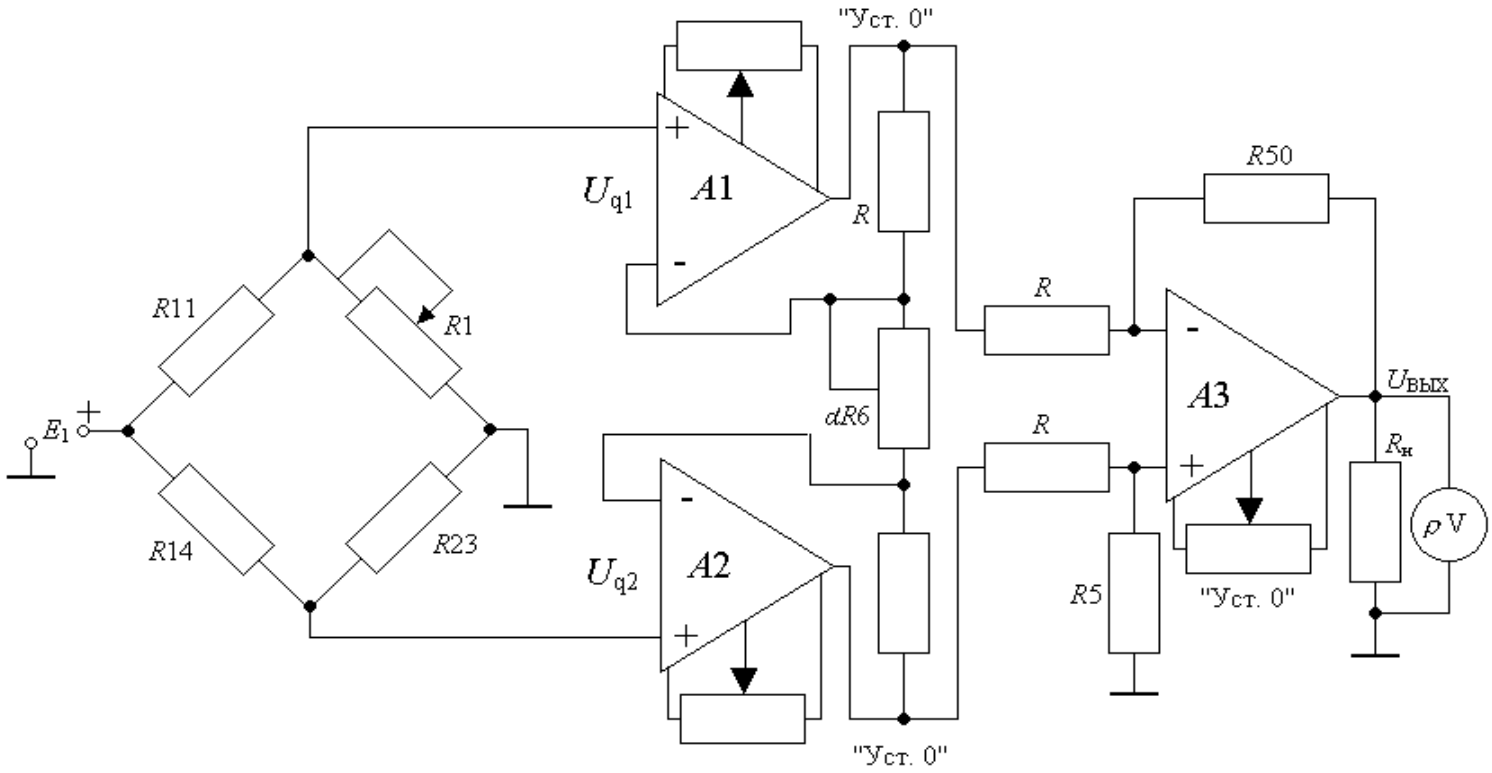


Рис. 2.6 Схема мостового измерителя малых изменений сопротивления: $R11 = R14 = R23 = R = 10$ кОм; $R50 = R5 = 100$ кОм; $\alpha R6 = 4{,}7$ кОм

Литература

Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергоатомиздат, 1988.

Кофлин Р., Дрискол Ф. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. - М.: Мир, 1979. - С.68-71, 78-80.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Цель работы: закрепление и углубление лекционного материала по релаксационным генераторам, выполненным на основе операционных усилителей: приобретение практических навыков в построении релаксационных генераторов на операционных усилителях, в расчёте их параметров и в осциллографическом исследовании режимов работы.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать мультивибратор.

Описать схему и принцип работы лабораторной установки (рисунок 3.1).

В исследуемом мультивибраторе R11, R12, R15, V1, V2, C3 – времязадающая цепочка, соединяющая выход мультивибратора с инверсным входом ОУ A2. Остальная часть схемы – A2, R4, R6, R40 – инвертирующий триггер Шмитта. На рисунке 3.2 представлены эпюры напряжений в характерных точках схемы.

При $t<t_1$ схема включена $U_{вх}=U_{вых}=0$. В момент $t=t_1$ включим питание схемы. На выходе схемы возникает либо положительное $\Delta U_{вых}$, либо отрицательное - $\Delta U_{вых}$ приращение напряжения. Для определённости считаем, что произошло положительное приращение $+\Delta U_{вых}$. Через R40,

αR6, R4 часть этого приращения поступает на неинверсный вход и усиливается ОУ А2, вызывая усиленное приращение $+\Delta U_{вых}$, часть которого вновь поступает на вход $U_п$, усиливается и т.д., т.е. развивается генераторный процесс, заканчивающийся в момент, когда $U_{вых} = U_н^+$. На рисунке 3.2 этот процесс показан мгновенным,

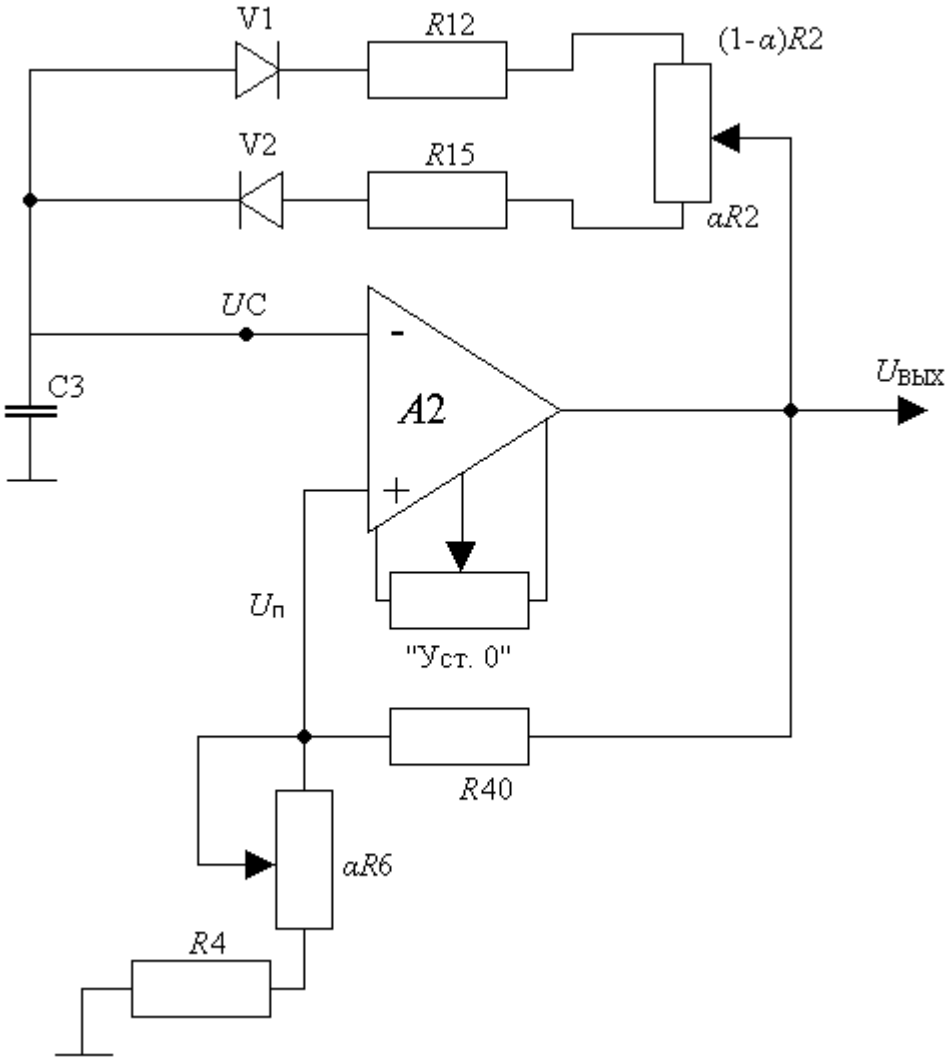


Рисунок 3.1 - Схема мультивибратора:
R12 = R15 = 2 кОм; R40 = 20 кОм;
R6 = 4,7 кОм; R4 = 6,2 кОм;
C3 = 0,1 мкФ; R2 = 10 кОм

совершающимся в момент t_1. Начиная с t_1, конденсатор C3 заряжается напряжением $+U_н$ через часть потенциометра αR2, резистор R15 и диод V2. В это время на неинверсном входе поддерживается постоянное

напряжение: верхний порог срабатывания инвертирующего триггера Шмитта:

$$U_{вп} = U_{н}^{+} \frac{\alpha R6 + R4}{R4 + \alpha R6 + R40}. \qquad (3.1)$$

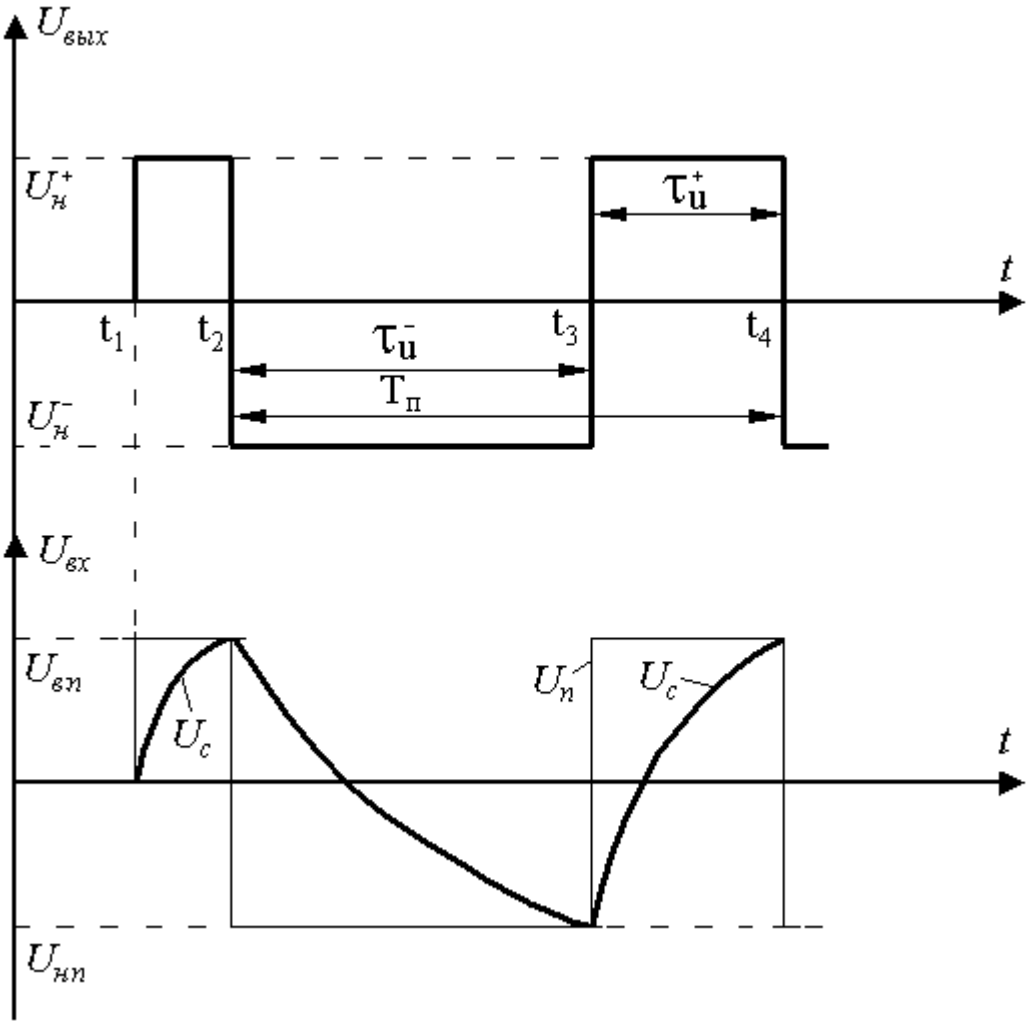


Рисунок 3.2 - Эпюры напряжения в характерных точках схемы

В момент t_2 напряжение на конденсаторе U_C равно $U_{ВП}$, триггер Шмитта опрокидывается – происходит лавинообразное изменение $U_{ВЫХ}$ с $U_н^+$ на $U_н^-$. Теперь на инверсный вход поступает напряжение нижнего порога (3.2).

Начиная с t_2, осуществляется разряд и переразряд конденсатора

$$U_{нп} = U_{н}^{-} \frac{\alpha R6 + R4}{R4 + \alpha R6 + R40} \qquad (3.2)$$

напряжением $U_н^-$ через диод V1, резистор R12 и часть потенциометра

(1-α)·R2. В момент t_3 $U_C = U_{НП}$ и схема переключается с $U_н^+$ на $U_н^-$. Процесс заряда конденсатора повторяется.

Установившийся процесс в схеме начинается с t_2 и характеризуется периодической последовательностью отрицательных и положительных импульсов на выходе схемы (рисунок 3.2).

В процессе исследования мультивибратора требуется экспериментально и расчётным путём определить длительности положительных τ_u^+ и отрицательных τ_u^- импульсов, а также период их следования T_n. Расчётные отношения для этих параметров предлагается получить, воспользовавшись приведенными на рисунке 3.2 эпюрами напряжений и известным решением дифференциального уравнения заряда конденсатора:

$$U_C(t) = U(\infty) + [U(0) - U(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}, \qquad (3.3)$$

где $U(\infty)$ - установившееся напряжение на конденсаторе (при $t = \infty$),

$U(0)$ - начальное напряжение на конденсаторе (при $t = 0$),

τ - постоянная времени заряда конденсатора.

При расчёте τ_U^+ следует, что $U_C(t) = U_C(t_U) = U_{ВП}$; $U(\infty) = U_Н$; $U(0) = U(t_3) = U_{НП}$; $\tau = (R15 + \alpha R2)C3$. Надо подставить значения этих величин в выражение (3.3) с учётом выражений (3.1), (3.2) и решить уравнение относительно $t = \tau_U^+$. Сравнить полученное равенство с выражением:

$$\tau_U^+ = (R15 + \alpha R2)C3 \ \ln \frac{1 + \dfrac{R4 + \alpha R6}{R4 + \alpha R6 + R40}}{1 - \dfrac{R4 + \alpha R6}{R4 + \alpha R6 + R40}}, \qquad (3.4)$$

Аналогично получить выражение для:

$$\tau_U^- = [K12 + (1 - \alpha)R2]C3 \ \ln \frac{1 + \dfrac{R4 + \alpha R6}{R4 + \alpha R6 + R40}}{1 - \dfrac{R4 + \alpha R6}{R4 + \alpha R6 + R40}}. \qquad (3.5)$$

Как следует из рисунка 3.2, период повторения импульсов T_n можно определить так:

$$T_п = \tau_и^+ + \tau_и^-. \qquad (3.6)$$

На основе выражений (3.4), (3.5), (3.6) сделать заключение о влиянии положения движка потенциометра R2 (см.рисунок 3.1) на величины $\tau_и^+, \tau_и^-$ и $T_п$.

Порядок исследования мультивибратора:

1) Собрать схему мультивибратора (рисунок 3.1).

2) Снять осциллограммы напряжений на выходе мультивибратора $U_{вых}(t)$ на инвертирующем входе $U_C(t)$, на неинвертирующем входе $U_n(t)$.

3) Изменить длительность: положительного импульса $\tau_и^+$, отрицательного импульса $\tau_и^-$, периода повторений $T_п$ при крайних положениях потенциометров αR2 = 0 и αR6 = 0.

Измерение длительности импульсов производится по горизонтальной шкале на защитном стекле ЭЛТ в сантиметрах с последующим умножением этой величины на цифровое значение установок переключателей: «Развёртка длительность μS/см» и «Множитель».

4) Рассчитать длительность: положительного импульса $\tau_и^+$, отрицательного импульса $\tau_и^-$ и периода повторений $T_п$ по формулам (3.4), (3.5), (3.6), при αR2 = 0 и αR6 = 0.

5) Сравнить результат измерения (п. 3) и расчёта (п. 4).

6) При помощи потенциометра R2 установить скважность импульсов на входе мультивибратора $q = \frac{T_п}{\tau_и^+} = 2$ (т.е. $\tau_и^+ = \tau_и^-$). При этом изменить период повторений $T_п$ и убедиться в его независимости от установки потенциометра R2.

7) Измерить размах напряжений $U_{вых} = 2U_н$ и размах порогового напряжения $U_н = U_{вп} - U_{нп} = 2U_{вп}$ на неинверсном входе ОУ А2 при двух крайних значениях потенциометра αR6 = 0, αR6 = 4,7 кОм.

Измерения напряжения производить в такой последовательности: выходное гнездо калибратора амплитуды соединить перемычкой с входом «У»,

установить чувствительность 5 В/см при помощи переключателей «V/см» и «Калибратор V» (оба переключателя на одной оси),

тумблер множителя напряжения калибратора установить в «X1(X5)»,

ручкой «Усиление» уровни напряжения калибратора совместить с крайними горизонтальными рисками шкалы на защитном стекле ЭЛТ,

после этого установку ручки «Усиление» не изменять,

выключить калибратор и снять перемычку,

подать на вход осциллографа «У» измеряемое напряжение. Если размах напряжения на экране равен 3 см, то U =5 В/см х 3 см=15 В.

8) Рассчитать размах порогового напряжения $U_П$ (напряжение гистерезиса $U_Г$ триггера Шмитта) на неинверсном входе ОУ при $\alpha R6 = 0$

$$U_н = U_г = U_{вп} - U_{нп} = 2U_{вп},$$

где $U_{вп}$ – напряжение верхнего порога срабатывания триггера Шмитта, определяемое выражением (3.1) ($\alpha R6 = 0$).

Сравнить рассчитанную величину $U_п$ с измеряемой в п. 7 при $\alpha R6 = 0$.

2. Исследовать одновибратор.

Описать схему и принцип работы лабораторной установки (рисунок 3.3).

В работе исследуется одновибратор (ждущий мультивибратор), который под действием импульса запуска генерирует одиночный импульс прямоугольной формы определённой длительности. Одновибратор применяется в качестве расширителя импульса или устройства задержки.

В качестве ГИЗ используется мультивибратор (А2) и дифференцирующая цепь С2 R5 с диодом V6. Схема одновибратора (А3) отличается от исследованной схемы мультивибратора (см. рисунок 3.1) наличием диода V8, шунтирующего инверсный вход, и ввода на неинверсный вход запускающего импульса $U_{ЗАП}$.

Эпюры напряжений в характерных точках схемы одновибратора представлены на рисунке 3.4.

До поступления входного импульса $U_{ВХ}$ компаратор А3 находится в

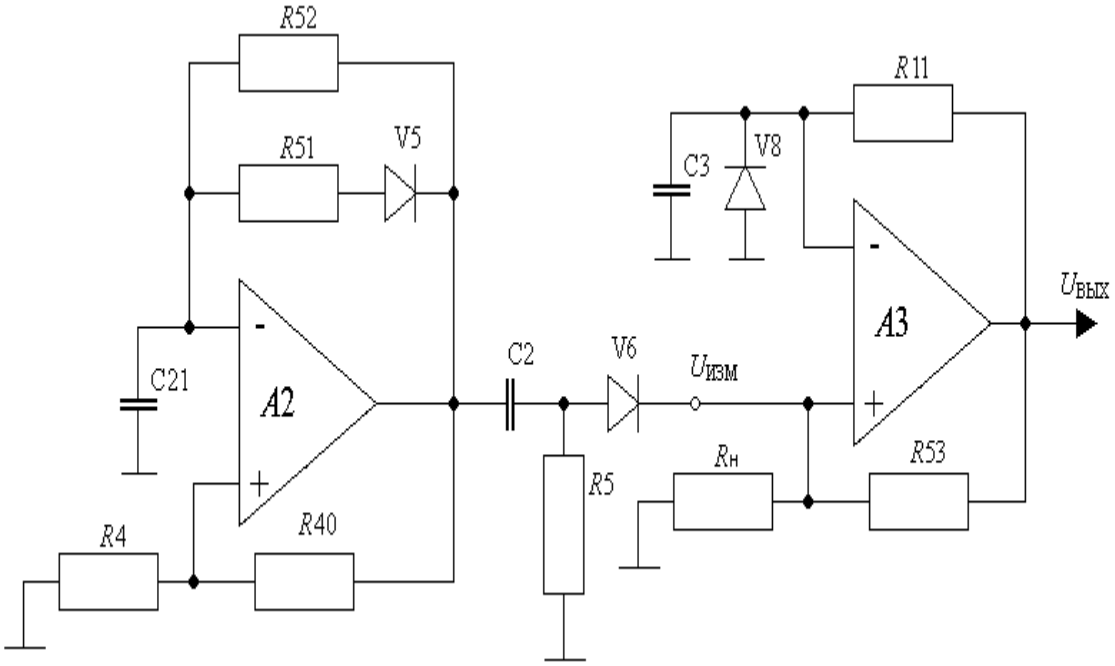


Рисунок 3.3 - Схема одновибратора А3 с генератором импульсов запуска (А2): $R_Н = R_4 = 6{,}2$ кОм; $R_{52} = R_{53} = R_{40} = 20$ кОм; $R_{51} = 2$ кОм; $R_{11} = 10$ кОм; $C_{21} = C_3 = 0{,}1$ мкФ; $R_5 = 100$ кОм; $C_2 = 620$ пФ;

состоянии отрицательного насыщения $U_{вых} = U_н^-$, конденсатор С3 разряжен, так как диод V8 оказывает шунтирующее действие для отрицательного напряжения. При поступлении в момент t_1 положительного входного импульса напряжения $U_{вых}$, превышающего абсолютную величину нижнего порога срабатывания,

$$U_{вх} > |U_{нп}| = U_н \frac{R_н}{R_н + R53} \qquad (3.7)$$

компаратор А3 опрокидывается из состояния $U_н^-$ в состояние $U_н^+$.

Процесс опрокидывания благодаря положительной обратной связи (ПОС) (R53, $R_Н$) развивается лавинообразно и осуществляется за весьма малый период времени, что создаёт крутой фронт импульса на выходе одновибратора (см. рисунок 3.4). Состояние компаратора в режиме положительного насыщения $U_{вых} = U_н^+$ поддерживается цепью ПОС, которая обеспечивает подачу на неинверсный вход напряжения верхнего предела:

$$U_{вп} = U_{н}^{+} \frac{R_{н}}{R_{н} + R53} \qquad (3.8)$$

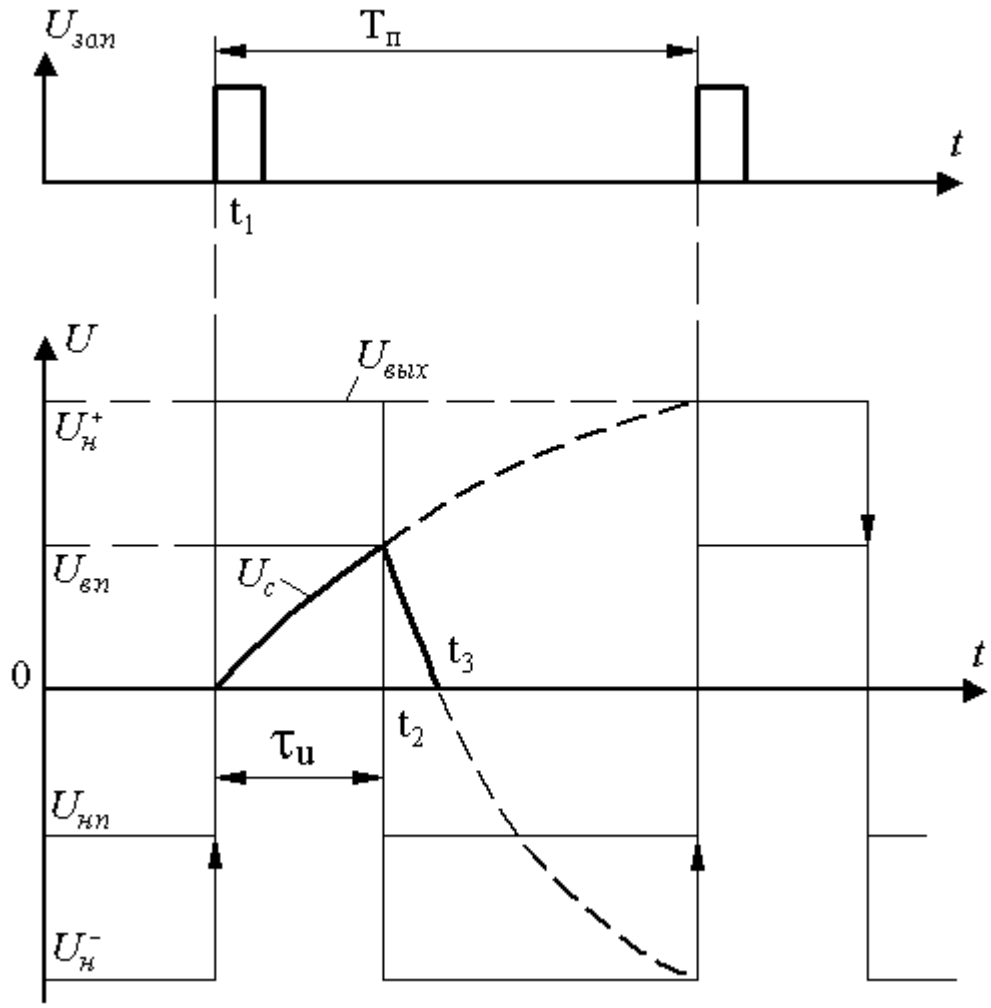


Рисунок 3.4 - Эпюры напряжения в характерных точках схемы одновибратора

Конденсатор С3 заряжается через резистор R11 выходным напряжением $U_{вых} = U_{н}^{+}$. В момент t_2 напряжение на конденсаторе U_C превышает верхний порог $U_C > U_{вп}$ и компаратор опрокидывается в состояние отрицательного насыщения $U_{вых} = U_{н}^{-}$, конденсатор С3 разряжается напряжением $-U_н$ через резистор R11 до $U_C = 0$. Дальнейшему изменению U_C препятствует шунтирующий диод V8.

Следует учесть, что время разряда конденсатора С3 – это время

восстановления.

$$\tau_{В} = t_3 - t_2. \qquad (3.9)$$

После момента t_3 одновибратор подготовлен к новому запуску. Очевидно, период следования запускающих импульсов $T_п$ не может быть меньше суммы $\tau_U + \tau_В$, т.е. $T_п > \tau_U + \tau_В$.

В данной работе предлагается изменить параметры исследуемого одновибратора $T_п$, τ_U и $\tau_В$ и сравнить их с расчётными. Для получения расчётного соотношения для τ_U в уравнение (3.3) следует подставить в соответствии с рисунком 3.4, $U_C(t) = U_C(t_2) = U_{ВП}$; $U(0) = U(t_1) = 0$; $U(\infty) = U_Н^+$ и решить его относительно $t_2 = \tau_U$. Полученное выражение сравнить с равенством:

$$\tau_U = R11\, C3 \ln \frac{R_Н + R53}{R_Н}. \qquad (3.10)$$

Для определения времени восстановления $\tau_В$ в уравнение (3.3), в соответствии с рисунком 3.4, подставить условия разряда конденсатора C3 $U_C(\tau_В) = 0$, $U(\infty) = U_Н^-$, $U(0) = U(t_1) = U_{ВП}$ и решить уравнение относительно $\tau_В$. Полученное выражение сравнить с равенством:

$$\tau_В = R11\, C3 \ln\left(1 + \frac{R_Н}{R_Н + R53}\right) \qquad (3.11)$$

Порядок исследования одновибратора:

1) Собрать схему одновибратора с генератором импульсов запуска (рисунок 3.3).

2) Снять осциллограммы напряжений: на выходе генератора импульсов запуска $U_{ЗАП}$, на инверсном входе $U_C(t)$, на неинверсном входе $U_n(t)$, на выходе одновибратора $U_{ВЫХ}(t)$.

3) По осциллограммам $U_C(t)$ и $U_{ВЫХ}(t)$ определить время восстановления $\tau_В$ и длительность выходного импульса τ_U.

4) По формулам (3.10), (3.11) рассчитать $\tau_В$ и τ_U. Результаты расчёта сравнить с данными эксперимента (п.3).

3. Исследовать генератор прямоугольного и треугольного

напряжения.

Описать схему и принцип лабораторной установки. Блок–схема исследуемого генератора прямоугольного $U_П$ и треугольного $U_Т$ напряжений показана на рисунке 3.5. Он состоит из последовательно включённых неинвертирующего триггера Шмитта и интегратора напряжения, при этом выход интегратора подключён ко входу триггера Шмитта (компаратора). Принципиальная схема генератора прямоугольного и треугольного напряжения показана на рисунке 3.6.

ОУ А2 вместе с цепочкой ПОС R14, R40 представляет собой компаратор (неинвертирующий триггер Шмитта). ОУ А3 с цепочкой ООС R20, С31 является интегратором напряжения. Эпюры напряжений на выходе компаратора $U_{ПР}$ и на выходе интегратора $U_{ТР}$ приведены на рисунке 3.7.

При включении генератора $t = t_1$ компаратор А2 благодаря ПОС (R14, R40) устанавливается в одно из состояний положительного $U_{ПР} = U_Н^+$ или отрицательного $U_{ПР} = U_Н^-$ насыщения. Пусть $U_{ПР}(t_1) = U_Н^+$, тогда постоянное по величине положительное напряжение $U_Н^+$ будет приложено ко входу интегратора. На выходе интегратора создаётся линейно падающее напряжение $U_{mP}(t)$, которое воздействует на вход компаратора. В момент t_2 это напряжение достигает значения верхнего порога срабатывания компаратора $U_{mP}(t_2) = U_{ВП}$, в результате чего компаратор опрокидывается в состояние отрицательного насыщения $U_m(t_2) = U_Н^-$. Интегрируясь, это напряжение создаёт на выходе интегратора линейно нарастающее напряжение. В момент t_3 оно достигает значения нижнего порога срабатывания $U_{mP}(t_3) = U_{НП}$, в результате чего компаратор вновь опрокидывается в состояние положительного насыщения $U_{ПР}(t_3) = U_Н^+$ и т.д.

В процессе исследования генератора нужно экспериментально и расчётным путём определить амплитуды прямоугольного $U_{mПР}$ и треугольного $U_{mТР}$ напряжений и их период колебаний T_n, как следует из рисунка 3.7. $U_{mПР}=U_Н$, а $U_{mТР}$ определяется выражением:

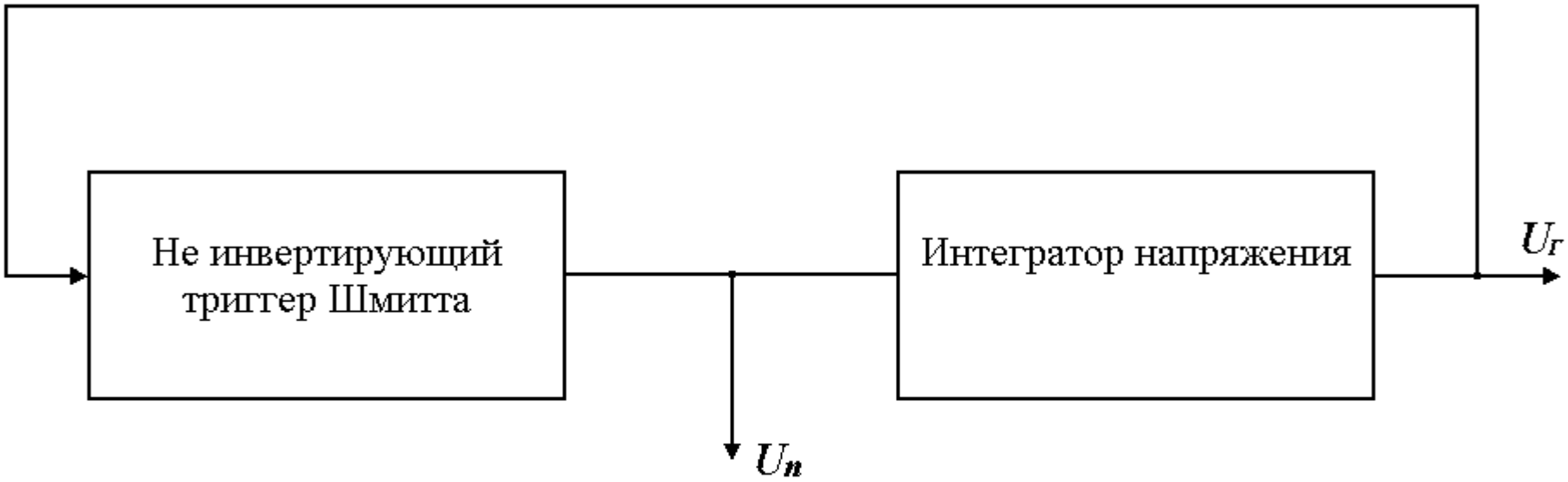


Рис.3.5. Блок – схема генератора прямоугольного
и треугольного напряжения

$$U_{mTT} = \frac{U_T}{2} = \frac{U_{НП} - U_{ВП}}{2}.$$

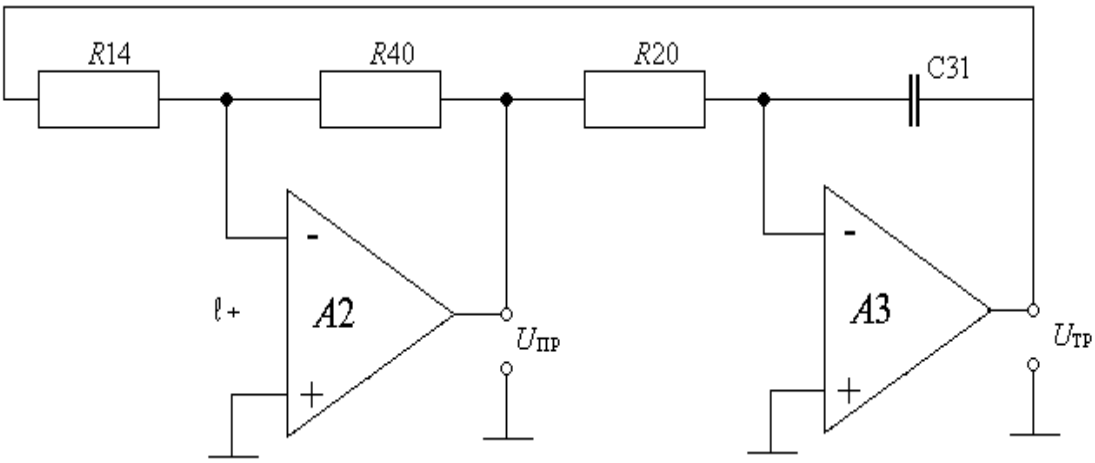


Рисунок 3.6 - Принципиальная схема генератора прямоугольного и треугольного напряжений: R14 = 10 кОм; R40 = 20 кОм; R20 = 100 кОм; C31 = 10 т.п.ф.

Расчётные соотношения для порогов срабатывания $U_{ВП}$ и $U_{НП}$ предлагается получить, исходя из выражения потенциала неинверсного входа компаратора e_+, которое, в соответствии с первым законом Кирхгофа, можно записать в виде:

$$e_+(t) = U_{ТР}(t)\frac{R40}{R14 + R40} + U_{ПР}(t)\frac{R14}{R14 + R40}. \qquad (3.12)$$

Как видим, потенциал e_+ зависит от состояния компаратора $U_{ПР}(t) = U_Н^+$ или $U_{ПР}(t) = U_Н^-$. Переключение компаратора из одного состояния в другое происходит в момент, когда $e_+ = 0$.

Выражение для напряжения верхнего порога $U_{ВП}$ найдём, подставив в (3.12) $U_{ПР}(t) = U_Н^+$, $U_{ТР}(t) = U_{ВП}$, $e_+(t) = 0$. При этом:

$$U_{ВП} = -U_Н^+ \frac{R14}{R40}. \qquad (3.13)$$

Аналогично получим выражение для напряжения нижнего порога:

$$U_{ВП} = -U_Н^- \frac{R14}{R40}. \qquad (3.14)$$

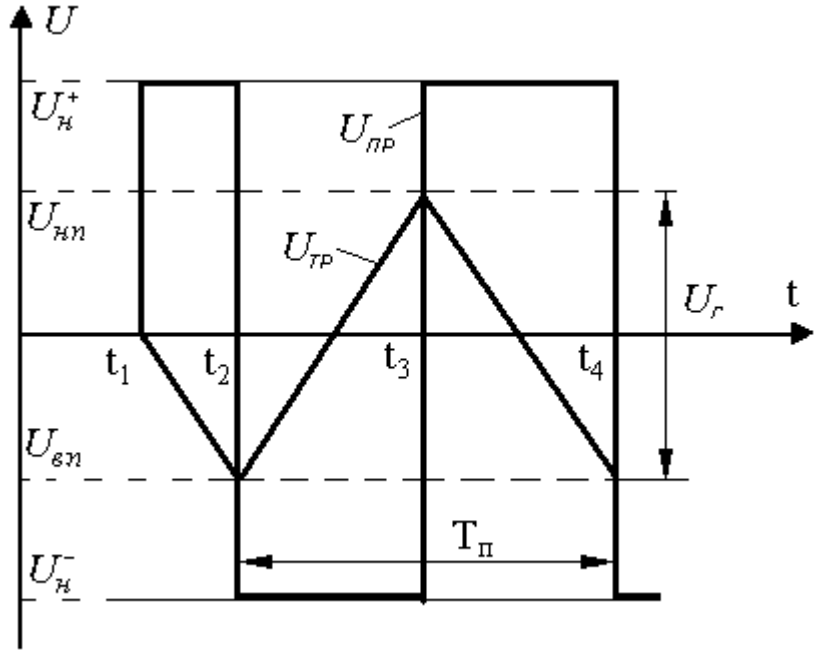


Рисунок 3.7 - Эпюры напряжений на выходе компаратора $U_{ПР}$ (вход интегратора) и на выходе интегратора $U_{ТР}$ (вход компаратора)

Напряжение гистерезиса $U_Г$ компаратора можно определить выражением:

$$U_г = U_{нп} - U_{вп} = 2U_н \frac{R14}{R40}. \qquad (3.15)$$

Известно, что напряжение на выходе генератора описывается выражением:

$$U_U(t) = U_{тр}(t) = \frac{U_н^-}{R20C31} t. \qquad (3.16)$$

Как следует из рисунка 3.7, за время $t = ½T_п$ напряжение на выходе интегратора изменяется на $U_Г$, т.е. $U_{тр}\left(\frac{1}{2} \cdot T_п\right) = U_г$. На этом основании выражение (3.16) с учетом (3.15) можно переписать в виде:

$$2U_н \frac{R14}{R40} = -\frac{U_н^-}{R20C31} \cdot \frac{1}{2} T_п. \qquad (3.17)$$

Решая уравнение (3.17) относительно $T_п$, получим:

$$T_п = 4R20C31 \frac{R14}{R40}. \qquad (3.18)$$

Порядок исследования генератора прямоугольного и треугольного

напряжений:

1) Собрать схему генератора прямоугольного и треугольного напряжения (см. рисунок 3.6).

2) Снять осциллограммы напряжений $U_{ПР}(t)$ и $U_{ТР}(t)$ (см. рисунок 3.7).

3) Измерить период следования колебаний T_n, амплитуды напряжений прямоугольных $U_{mпр}$ и треугольных $U_{mтт}$ колебаний.

4) Произвести расчет T_n и $U_{mТТ}$. Дать оценку расхождений измеренных и расчетных величин, вычисленную в процентах:

$$\delta = \frac{A_{изм.} - A_{расч.}}{A_{изм.}} 100. \qquad (3.19)$$

5) Заменить R14 на R15 = 2 кОм и измерить T_n и $U_{mпр}$. Объяснить полученные результаты.

4. Исследовать генератор пилообразного напряжения.

Описать схему и принцип работы лабораторной установки (рисунок 3.8).

Принципиальная схема исследуемого генератора пилообразного напряжения отличается от ранее исследованной схемы (п.3) лишь наличием цепочки R12, V8, через которую осуществляется ускоренный заряд конденсатора C31 напряжением $U_{ПР} = U_{Н}^{+}$ до напряжения $U_{ВП}$. В период, когда $U_{ПР} = U_{Н}^{-}$, влиянием цепочки R12, V8 на время заряда конденсатора C31 можно пренебречь, поскольку обратное сопротивление диода V8 намного больше сопротивления R20. Резкое различие времен заряда конденсатора напряжениями $U_{Н}^{+}(T_2)$ и $U_{Н}^{-}(T_1)$ определяет пилообразную форму входного напряжения генератора U.

Пилообразное напряжение $U_{пил}$ (рисунок 3.9) характеризуется:

размахом $U_Г$ – удвоенной амплитудой,

временем нарастания T_1,

временем спада T_2,

периодом следования $T_n = T_1 + T_2$.

Размах пилообразного напряжения равен напряжению гистерезиса

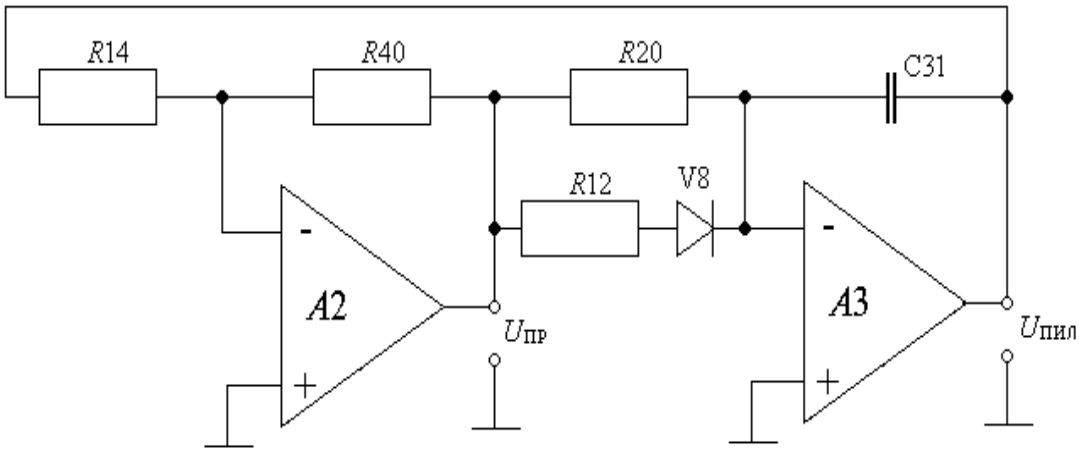


Рисунок 3.8 - Схема генератора пилообразного напряжения:
R14 = 10 кОм; R40 = 20 кОм; R20 = 100 кОм;
R12 = 2 кОм; C31 = 10 т.п.ф

$U_Г$ компаратора (3.15). Выражение для времени нарастания T_1 и спада T_2 пилообразного напряжения рекомендуется получить самостоятельно и сравнить их с выражениями:

$$T_1 = 2R20C31\frac{R14}{R40}; \qquad (3.20)$$

$$T_2 = 2\left(\frac{R12R20}{R12 + R20}C31\right)\frac{R14}{R40}. \qquad (3.21)$$

Порядок исследования генератора пилообразного напряжения:

1) Собрать схему генератора пилообразного напряжения (рисунок 3.8).

2) Снять осциллограммы напряжений $U_{пр}(t)$ и $U_{пил}(t)$.

3) Изменить размах $U_Г$ пилообразного напряжения, время нарастания T_1, время спада T_2, период следования $T_п$.

4) Произвести расчёт $U_Г$, T_1, T_2, $T_п$.

Дать оценку расхождения измеренных и расчётных величин, вычисленную по формуле (3.19).

Контрольные вопросы

1. Начертите схему мультивибратора на ОУ и с помощью

напряжений в характерных точках схемы объясните его работу.

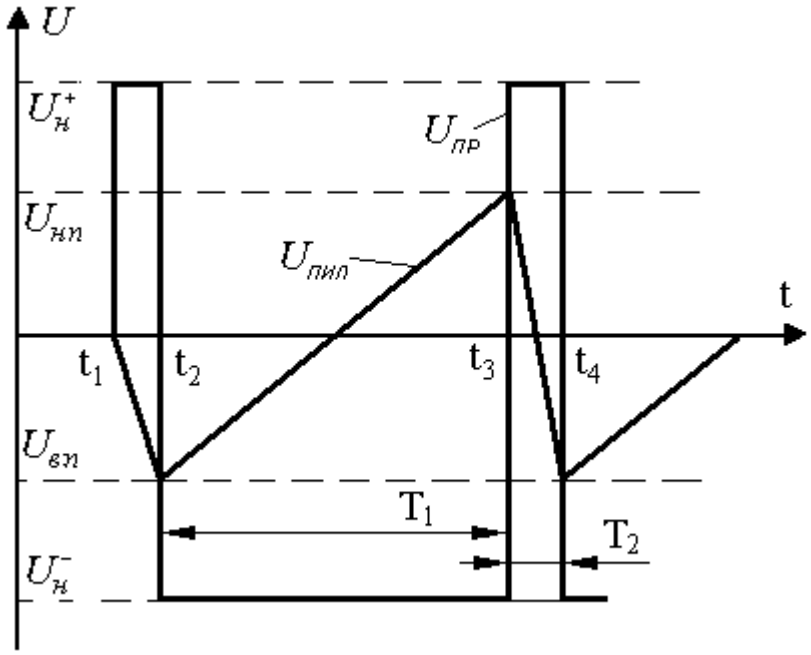


Рисунок 3.9 - Эпюры напряжений на выходе компаратора $U_{ПР}(t)$ и на выходе интегратора $U_{ПИЛ}(t)$.

2. Получите расчётные соотношения для основных параметров мультивибратора: длительности импульсов τ_U^+, τ_U^- периода повторения импульсов T_n; амплитуды импульсов.

3. Нарисуйте схему одновибратора на ОУ. В чём состоят отличительные особенности его схемы, работы по сравнению со схемой и работой мультивибратора?

4. Получите расчётные соотношения для основных параметров одновибратора: длительности генерируемого импульса τ_U^+, времени восстановления $\tau_в$, периода повторения T_n.

5. В каком соотношении должны находиться $\tau_В$ и τ_n одновибратора?

6. Начертите принципиальную схему генератора напряжения прямоугольной и треугольной форм. С помощью эпюр напряжений в характерных точках схемы объясните работу генератора.

7. Получите выражение для напряжения верхнего $U_{вп}$ и нижнего $U_{нп}$ порога срабатывания компаратора, для напряжения гистерезиса.

8. Какими элементами определяется напряжение на выходе интегратора, напишите выражение для напряжения на выходе интегратора.

9. Получите выражение для периода повторения напряжения прямоугольной и треугольной форм.

10. Какие измерения следует внести в схему генератора напряжения треугольной формы, чтобы получить из неё схему генератора пилообразного напряжения?

11. Нарисуйте схему генератора пилообразного напряжения и по эпюрам напряжения в характерных точках объясните её работу.

12. Получите выражение для основных параметров генератора пилообразного напряжения: размаха напряжения, времени нарастания T_1, времени спада T_2, периода повторения T_n.

Литература

Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.

Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. – С.311-318.

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ RC – ГЕНЕРАТОРОВ СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: закрепление и углубление лекционного материала по изучению RC – генераторов, построенных на ОУ; приобретение практических навыков экспериментального исследования генераторов, расчёта их параметров; исследование способов стабилизации амплитуды.

Порядок выполнения работы.

1. Описать схему и режим работы исследуемого лабораторного макета.

Исследуемые в данной работе RC- генераторы применяются для генерации синусоидальных колебаний в диапазоне низких и средних частот. Блок-схема генератора представлена на рисунке 4.1.

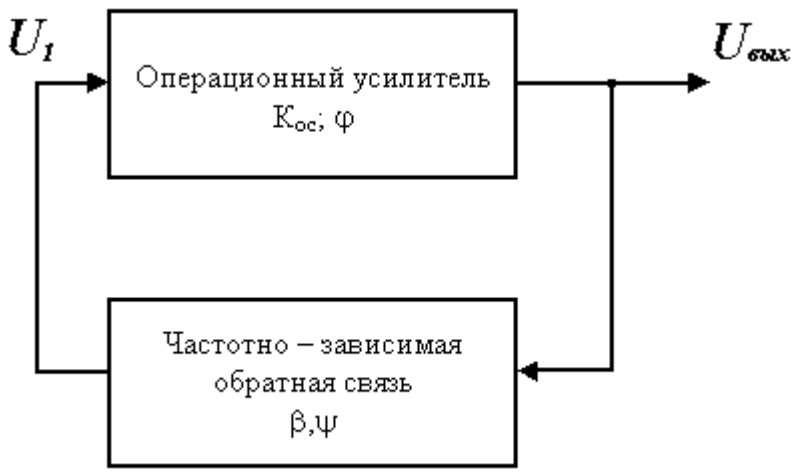


Рисунок 4.1 - Блок-схема RC – генератора

Операционный усилитель усиливает воздействующее на его вход напряжение $\overline{U}_1$ в $K_{ос}$ раз. На выходе усилителя создаётся напряжение $\overline{U}_{вых} = \overline{K}_{ос} \cdot \overline{U}_1$, сдвинутое по фазе относительно входного напряжения на некоторый угол φ. Часть этого напряжения $\beta\overline{U}_{вых}$, сдвинутая относительно $\overline{U}_{вых}$, по фазе на некоторый угол ψ, прикладывается ко входу усилителя.

Условием генератора схемы, представленной на рисунке 4.1, является равенство:

$$\overline{U}_1 = \beta\overline{U}_{вых} = \overline{K}_{ос} \cdot \overline{\beta} \cdot \overline{U_1}. \qquad (4.1)$$

Из выражения (4.1) вытекает два условия возбуждения генератора:
условие баланса амплитуд:

$$|K_{ос}| \cdot |\beta| = 1., \qquad (4.2)$$

требующее от усилителя полной компенсации потерь в целом обратной связи, и условие баланса фаз:

$$\varphi + \psi = 0; \quad 2\pi; \ldots, \tag{4.3}$$

т.е. условия совпадения фаз напряжений на входе усилителя и выходе цепи положительной обратной связи (ПОС). В схеме возникают незатухающие колебания той частоты, на которой выполняются условия генерации (4.2), (4.3).

В зависимости от структуры используемой частотно – зависимой обратной связи различают RC – генераторы: с мостом Вина, с лестничной потенциально – токовой RC – цепью, с двойным Т – мостом и др. В данной работе исследуется три типа RC – генераторов.

Принципиальная схема RC – генератора с мостом Вина представлена на рисунке 4.2.

Здесь в качестве усилителя применён ОУ в неинвертирующем режиме. В качестве частотно – зависимой ПОС – мост Вина.

На вход инвертирующего усилителя подаётся напряжение ПОС. На выходе образуется напряжение:

$$U_{вых} = U_1\left(\frac{R2}{R1} + 1\right). \tag{4.4}$$

Для установления зависимости напряжения U_1 от параметров схемы запишем первый закон Кирхгофа (точка 1 на рисунке 4.2а):

$$\frac{U_{вых} - U_1}{R + 1/j\omega c} - \frac{U_1\left(R + 1/j\omega c\right)}{R/j\omega c} = 0. \tag{4.5}$$

С учётом выражения (4.4) уравнение (4.5) в операционной форме приобретает вид:

$$\frac{\frac{R2}{R1}C_p U_1}{1 + pRC} - \frac{\left(R + \frac{1}{RC}\right)U_1}{\frac{R}{pC}} = 0, \tag{4.6}$$

$$p^2 U_1 + \left(2 - \frac{R2}{R1}\right)\frac{1}{RC}pU_1 + \frac{1}{R^2C^2} \cdot U_1 = 0, \tag{4.7}$$

или $$\ddot{U}_1 + 2\gamma\dot{U}_1 + \omega_0^2 U_1 = 0, \tag{4.8}$$

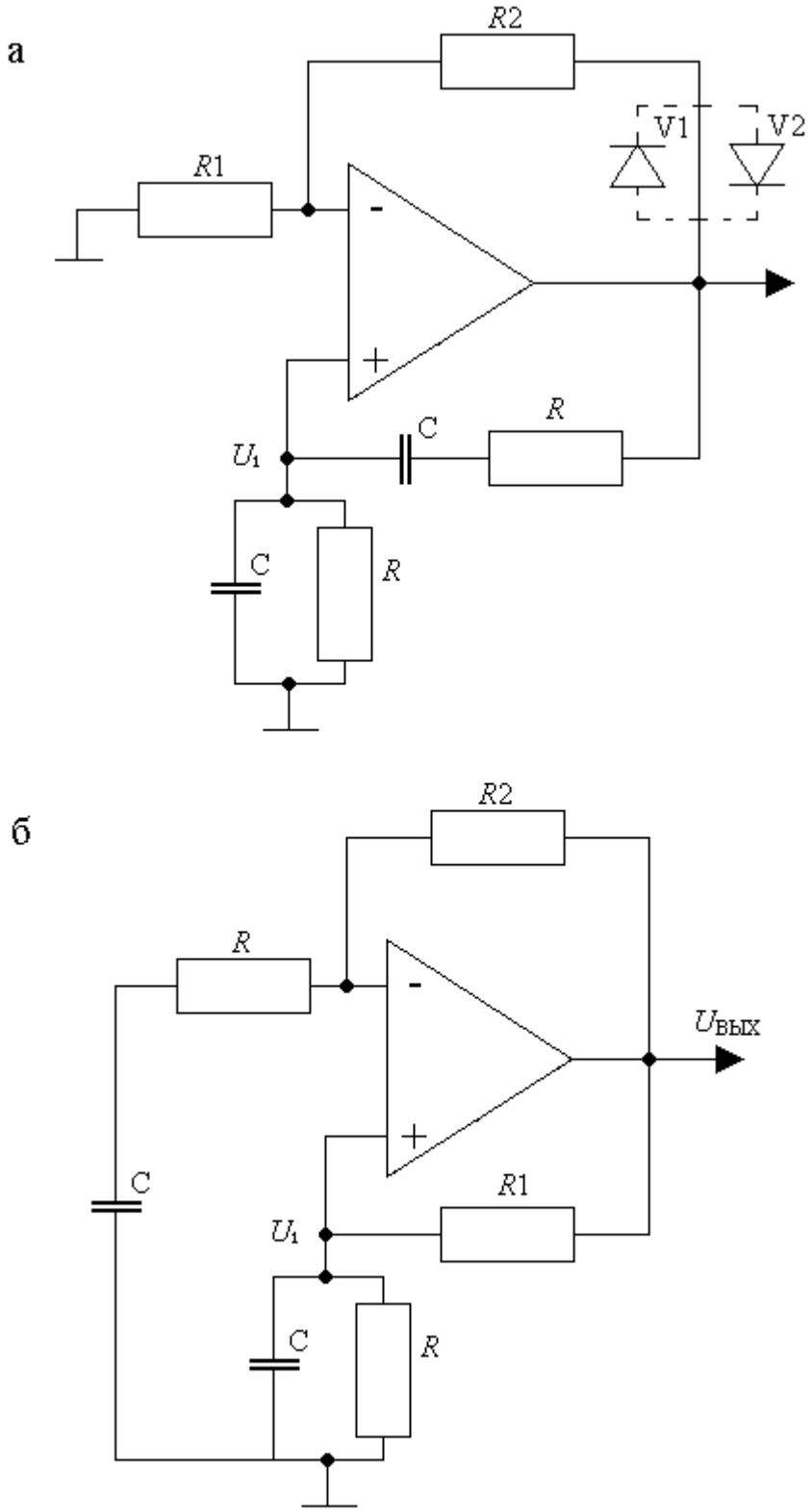


Рисунок 4.2 - Схема RC – генератора:
а – с мостом Вина; б – вариант схемы

где $$\gamma = \left(2 - \frac{R2}{R1}\right)\frac{1}{2RC}, \qquad (4.9)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}. \qquad (4.10)$$

Полученное уравнение (4.8) представляет собой однородное дифференциальное уравнение второго порядка, решение которого имеет следующий вид:

$$U_1(t) = U_{m1} e^{-\gamma t} \sin\left(\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2 t}\right) \qquad (4.11)$$

В соответствии с (4.11) RC – генератор может работать в одном из трёх режимов:

1) при $\gamma > 0$, т.е. $\frac{R2}{R1} < 2$, $K_{oc}<3$ амплитуда напряжения уменьшается во времени по экспоненциальному закону, в схеме возникают затухающие колебания, самовозбуждение отсутствует,

2) при $\gamma = 0$, т.е. $\frac{R2}{R1} = 2$, $K_{oc}=3$ возникает синусоидальное колебание с постоянной амплитудой U_{m1} и частотой $\omega_0 = 1/RC$.

$$U_{вых}(t) = U_{mввы} \cdot \sin \omega_0 t, \qquad (4.12)$$

3) при $\gamma < 0$, т.е. $\frac{R2}{R1} > 2$, $K_{oc}>3$ появляется колебание с возрастающей по экспоненциальному закону амплитудой. В этом режиме при включении питания наступает самовозбуждение колебания, амплитуда которого нарастает до уровня насыщения ОУ. При этом в результате перегрузки ОУ величина K_{oc} уменьшается до 3, форма колебания отличается от синусоидальной.

Для получения синусоидального колебания с регулируемой амплитудой применяют устройство автоматической стабилизации коэффициента усиления K_{oc}. С этой целью, в частности, в цепь ООС последовательно с резистором R2 включают параллельную пару разнонаправленных диодов V1, V2 (пунктир на рисунке 4.2). По мере нарастания амплитуды выходного колебания внутреннее сопротивление одного из диодов (в зависимости от полярности $U_{вых}$) падает, что ведёт к

уменьшению $K_{ос}$, а следовательно, и амплитуды выходного напряжения. Таким образом, автоматически устанавливается второй режим работы генератора, при котором $\gamma=0$, $\frac{R2}{R1}=2$, $K_{ос}=3$, $\omega_0 = 1/RC$. При этом выходное напряжение характеризуется достаточно малыми нелинейными искажениями.

Величина амплитуды выходного напряжения будет определяться параметрами диодов, которыми можно управлять, изменяя режим работы путём изменения одного из резисторов R1 или R2. За счёт этого имеется возможность изменять амплитуду колебаний в определённых пределах.

Изменение частоты достигается одновременным и одинаковым изменением резисторов R или ёмкостей C (рис.4.2а). Как известно, равновесие четырёхплечего моста не нарушается, если два любых противоположных плеча поменять местами. Поменяв местами плечи, образованные резистором R и последовательным соединением C и R, получим схему RC – генератора (рисунок 4.2б), в котором оба конденсатора C имеют по заземлённой пластине. Это позволяет применять сдвоенный конденсатор (с общей пластиной), тем самым упростить регулировку частоты генерируемых колебаний.

Принципиальная схема RC – генератора с лестничной потенциально – токовой RC – цепью представлена на рисунке 4.3.

Цепочки C1, R1, C2, R2, C3 представляет собой фазосдвигающую цепь, благодаря которой выполняется условие баланса фаз (4.3). На частоте генерации эта цепь должна обеспечить сдвиг фаз на $\psi = 180^0$, поскольку в инвертирующем усилителе осуществляется фазовый сдвиг $\varphi = 180^0$. Каждое RC – звено осуществляет максимальный сдвиг на угол, меньший 90^0, поэтому потребовалось использовать три звена.

Условие баланса амплитуд обеспечивается соответствующей отрицательной обратной связью через резистор R3.Благодаря ООС входное сопротивление по инвертирующему входу мало. Полагая входное сопротивление фазосдвигающей цепи достаточно малым ($R_{ВЫХ}$ усилителя), а выходное практически равным нулю ($R_{ВХ}$ усилителя), получим следующее выражение для частоты генерации:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1R2(C1C2 + C1C3 + C3C2)}}. \qquad (4.13)$$

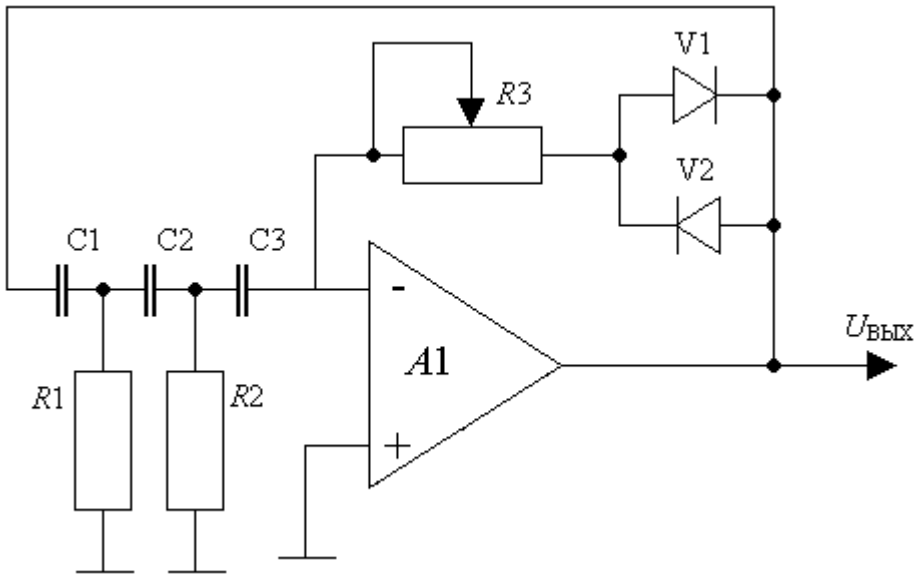


Рис.4.3. Схема RC – генератора с лестничной потенциально - токовой RC - цепью

Условие самовозбуждения исследуемого генератора определяется выражением:

$$R3 > R1\frac{C1 + C2}{C_э} + R2\frac{C2 + C3}{C_э}, \qquad (4.14)$$

где $C_э = \dfrac{C1C2C3}{C1C2 + C1C3 + C2C3}$.

При соблюдении равенств R1=R2=R, C1=C2=C3=C условие самовозбуждения генератора (4.14) преобразуется к виду R3 > 12R, а частота генерируемых колебаний (4.13):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{3}RC}. \qquad (4.15)$$

Перестройка частоты автоколебаний в таких генераторах затруднена. Они применяются, как правило, для генерации фиксированной частоты.

Принципиальная схема RC – генератора с двойным Т – образным мостом представлена на рисунке 4.4.

В качестве частотно – зависимой обратной связи в этом генераторе

используется двойной Т – образный мост R1, R2, R3, C1, C2, C3, образующий отрицательную обратную связь. Положительная обратная связь осуществляется через делитель напряжения R4, R5.

Т – образный мост R1, R2, C3 обеспечивает отрицательную обратную связь на низких частотах $\omega < \omega_0$, так как по мере роста частоты увеличивается шунтирующее действие емкости C3. Другой Т – образный мост C1, C2, R3 создаёт отрицательную обратную связь на высоких частотах $\omega > \omega_0$, поскольку с понижением частоты растёт сопротивление конденсатора C1, C2 и коэффициент передачи моста $\beta = \frac{U_{ос}}{U_{вых}}$ уменьшения (рисунок 4.5).

Двойной Т – образной мост рассчитывают таким образом, чтобы в области генерируемой частоты ω_0 его коэффициент передачи β приближался к нулю, а фазовый сдвиг ψ равнялся $\pm\pi/2$ (см. рисунок 4.5), на частотах $\omega \neq \omega_0$, $\beta \approx 1$, $\psi \approx 0$.

Наибольшее ослабление колебаний частоты достигается при соблюдении условий: R1 = R2 = R, $R3 = R/2$, C1 = C2 = C, C3 = 2C.

В этом случае:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}. \qquad (4.16)$$

На частоте ω_0 ООС отсутствует (β = 0). Остаётся только ПОС, приводящая к возникновению самовозбуждения на частоте ω_0. Наличие в цепи ПОС пары двунаправленных диодов V1, V2 (см. рисунок 4.4) обеспечивает автоматическую установку требуемой глубины ПОС, т.е. автоматически обеспечивает выполнение условия баланса амплитуд (4.2). Любая тенденция к затуханию или нарастанию амплитуды колебаний на выходе в силу нелинейного характера сопротивления диода вызывает соответствующее увеличение или ослабление коэффициента усиления ОУ, необходимое для поддержания постоянства амплитуды генерируемых колебаний.

Условие самовозбуждения достигается изменением глубины ПОС при помощи потенциометра R4. Заметим, что условие самовозбуждения

может быть достигнуто и при отсутствии цепи ПОС, т.е. при подключении неинвертирующего входа ОУ к корпусу. Действительно как следует из рисунка 4.5, двойной Т – образный мост на частоте ω_0 обеспечивает фазовый сдвиг на 180^0, т.е. выполняется условие баланса фаз, поскольку в инвертирующем усилителе осуществляется фазовый сдвиг на 180^0.

Условие баланса амплитуд может быть осуществлено введением частотно – независимой линейной ООС в виде последовательного включения резистора R6 и двух разнонаправленных диодов V8, V9, как показано на рис.4.4 пунктиром. При этом должно выполняться условие R > 2R3.

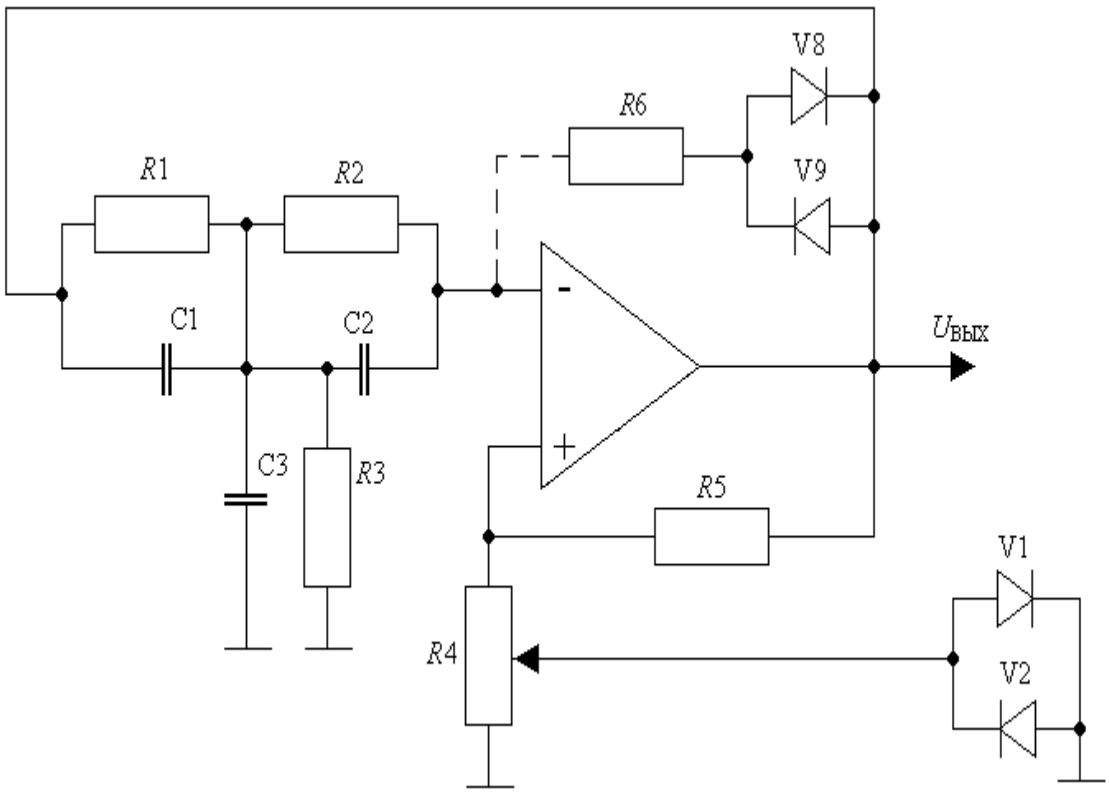


Рисунок 4.4. Принципиальная схема RC – генератора
с двойным Т – образным мостом

2. Исследовать RC – генератор с мостом Вина.

Собрать схему генератора, представленную на рисунке 4.6а.

Регулировкой αR6 добиться условия самовозбуждения генератора:

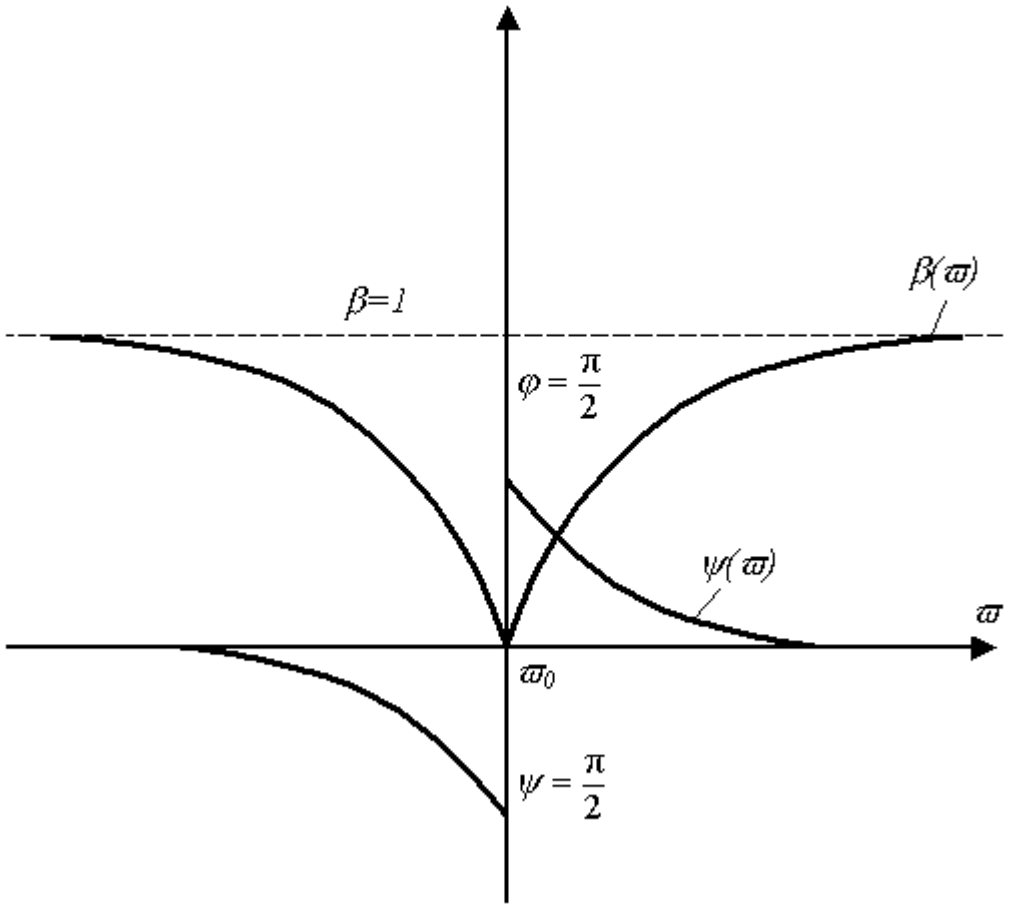


Рисунок 4.5. Частотные характеристики двойного Т – образного моста

$$\frac{R53+R12}{\alpha R6+R} > \frac{R50}{R5} + \frac{C32}{C31},$$

которое при R50 = R5 и C32 = *C*31 будет $\frac{R53+R12}{\alpha R6+R} > 2$.

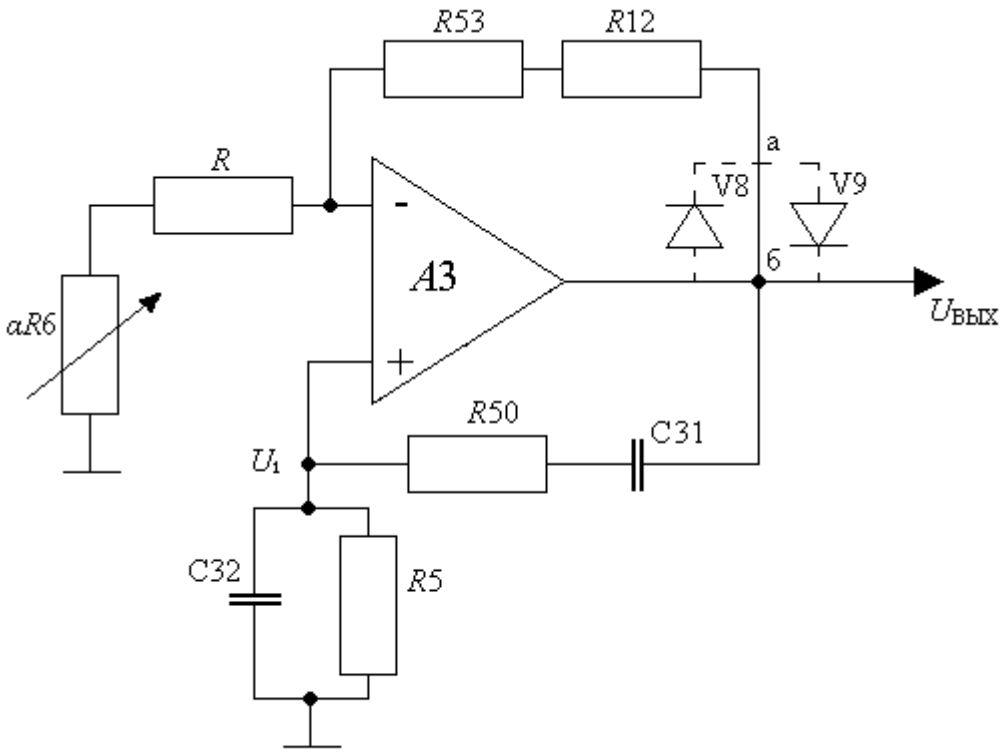
Измерить период и частоту колебания при помощи осциллографа с калибровкой разверткой.

Убедиться в невозможности регулирования амплитуды напряжения генератора в пределах $U_m < U_{нас}$.

Рассчитать частоту колебаний и сравнить её с измеренной:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R5R50C31C32}} = \frac{1}{2\pi R5C31}.$$

Исследовать возможность стабилизации амплитуды при помощи нелинейной ООС. Для этого в разрыв ООС (точки а, б на рисунке 4.6а)



а

Рисунок 4.6 - Схема генератора: а – с мостом Вина: R5 = R50 = 100 кОм,
R = 10 кОм, R53 = 20 кОм, R12 = 2 кОм, R6 = 4,7 кОм,
C31 = C32 = 10 т.п.Ф

включить диоды V8 и V9, как показано пунктиром на рисунке 4.6а.

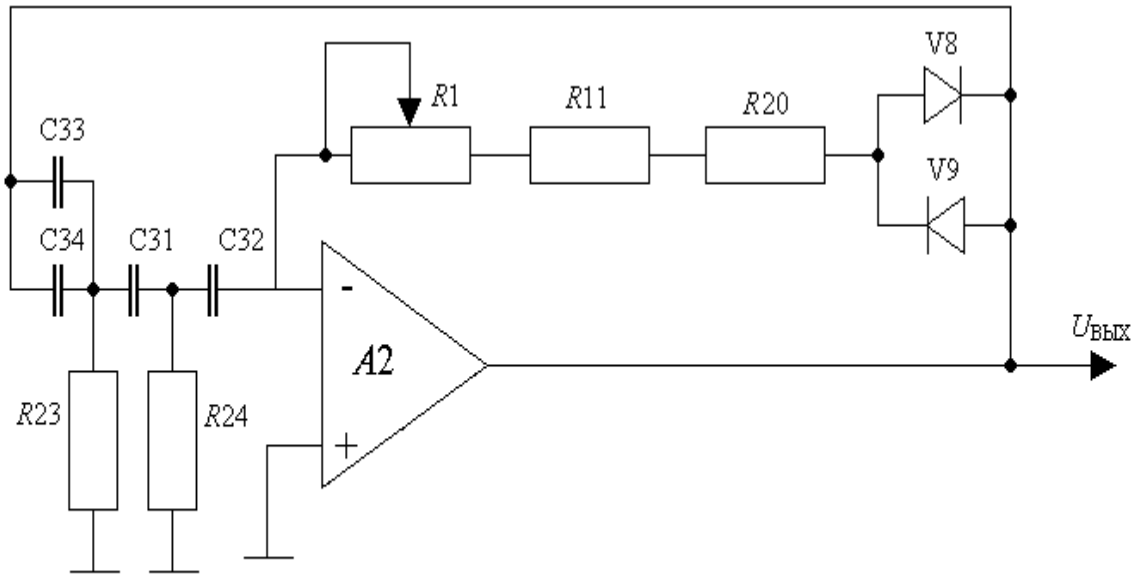
Устанавливая регулировкой αR6 различные амплитуды напряжения, убедиться в их стабильности.

Исследовать влияние ёмкости конденсаторов на частоту. Для этого заменить C31 и C32 на C33 и C34 соответственно (C33 = C34 = 5 т.п.Ф).

Измерить и рассчитать частоту колебаний; сравнить с частотой, полученной в п.1.2 и 1.3.

3. Исследовать RC – генератор с лестничной потенциально – токовой RC – цепью.

Собрать схему генератора (рисунок 4.6 б).



б

Рисунок 4.6 - Схема генератора: б – с лестничной потенциально – токовой RC – цепью

R5 = R50 = 100 кОм, R = 10 кОм, R53 = 20 кОм, R12 = 2 кОм, R6 = 4,7 кОм, C31 = C32 = 10 т.п.Ф;

Регулировкой R1 добиться условия самовозбуждения генератора.

При C31 = C32 = C33 = C34 и R23 = R24 условие самовозбуждения определяется неравенством $R_{ос}$ > 12R23 R1 = 20 кОм; R11 = R23 = R24 = = 10 кОм; R20 = 100 кОм; C31 = C32 = 10 т.п.ф; C33 = C34 = 5 т.п.ф, где $R_{ос} = R_1$ + R11 + R20 + R.

Изменяя R1, нужно убедиться в возможности регулирования амплитуды выходного напряжения и её стабильности.

Измерить и вычислить частоту генерируемых колебаний

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R23C31\sqrt{3}}$$

Сравнить результаты расчёта и эксперимента.

4. Исследовать RC – генератор с двойным Т – мостом в цепи ООС.

Собрать схему генератора (рисунок 4.7).

Регулировкой R2 добиться самовозбуждения генератора. Убедиться

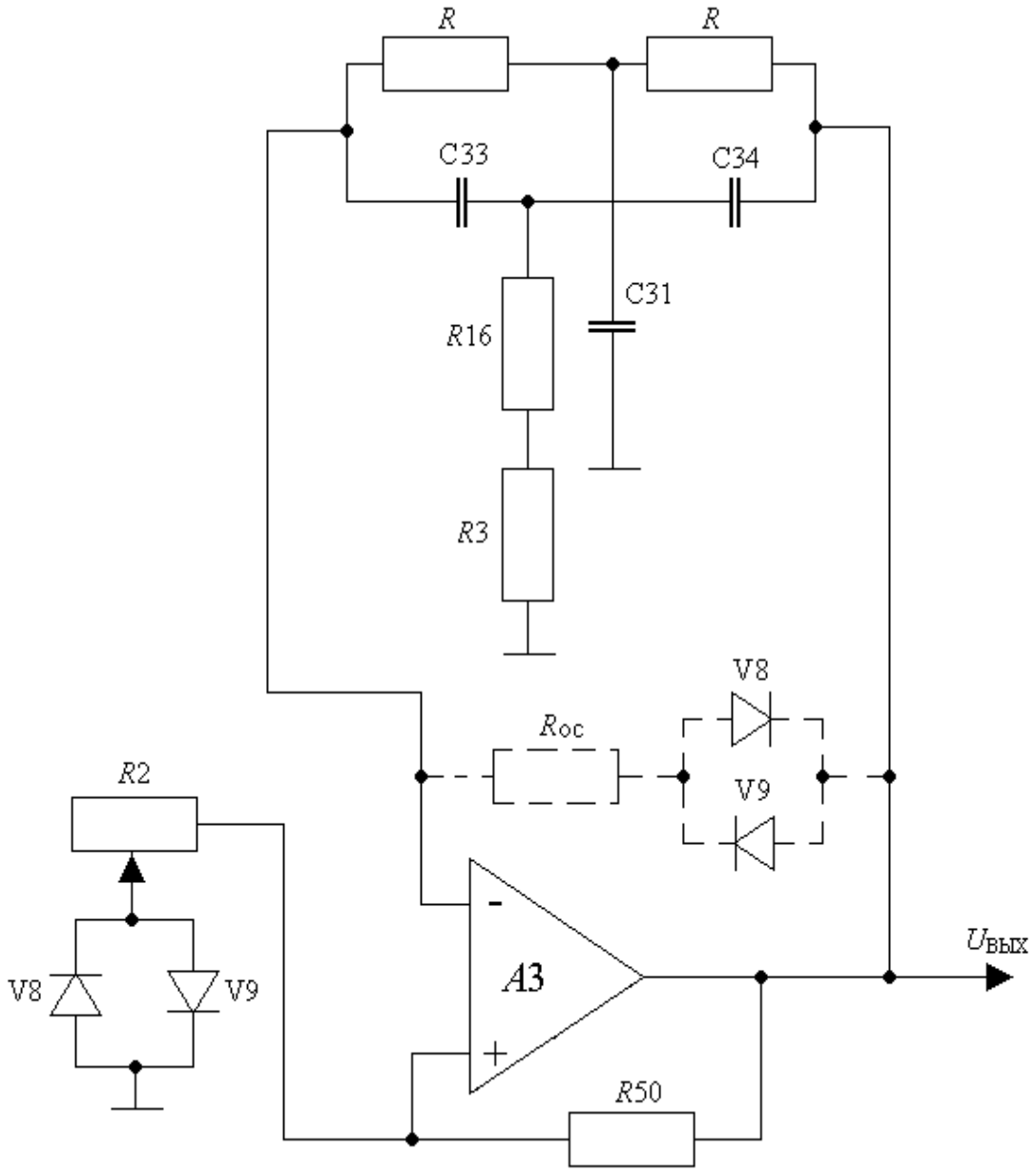


Рисунок 4.7 - Схема генератора с двойным Т – мостом в цепи ООС:
R = R2 = 10 кОм; R50 = 100 кОм; R3 = 5 кОм;
R16 = 1 кОм; C33 = C34 = 5 т.п.ф;
C31 = 10 т.п.ф;

в возможности регулирования амплитуды и её стабильности. Закоротить диоды V8 и V9 и убедиться в том, что стабилизация амплитуды при этом отсутствует.

Измерить и рассчитать частоту колебаний, сравнить результаты расчёта и эксперимента

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\ RC},$$

где C = C33 = C34.

Отключить положительную обратную связь замыканием входа “+” на корпус. Заменить R3 на R15 = 2 кОм. Убедиться в наличии колебаний. Для устранения ограничения синусоиды в цепь ООС включить сопротивление $R_{ос}$, равное $R_{ос}$ = R30 + R40 + R53 + R1 = 80 кОм, и диодную пару V8, V9, как показано на рисунке 4.7 пунктиром.

Регулировкой R1 добиться устранения ограничения и изменения амплитуды выходного напряжения.

Контрольные вопросы

1. Начертите схему моста Вина и его фазочастотную характеристику.
2. При помощи чего достигается стабилизация амплитуды выходных колебаний в генераторе с мостом Вина?
3. Начертите схему генератора с лестничной потенциально – токовой RC – цепью.
4. Для чего служит диодная пара V8, V9 в схеме генератора, представленного на рисунке 4.2?
5. Сформулируйте условия самовозбуждения генераторов с положительной обратной связью.
6. Нарисуйте схему двойного Т – образного моста и его частотные характеристики.
7. При помощи чего достигается стабилизация амплитуды выходных колебаний в генераторе с двойным Т – образным мостом?

Литература

Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.

Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. – С.301-307.

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних робіт
з курсу «Основи електроніки» (частина 1)
для студентів спеціальності 7.091302
“Метрологія та вимірювальна техніка”
денної та заочної форм навчання
Російською мовою

Укладачі: ДАВІДЕНКО Олександр Петрович,
МИГУЩЕНКО Руслан Павлович,
ГРИГОРЕНКО Ігор Володимирович

Відповідальний за випуск В.І. Дякін
Роботу до друку рекомендував О.І. Рогачов

В авторській редакції

План 2002р., п
Підписано до друку . Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк – ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. . Облік. – вид. арк. . Наклад 100 прим. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №196 від 10.07.2000р. .

Друкарня НТУ “ХПІ”