



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

Операционные усилители в оптоэлектронных устройст-
вах систем передачи информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе №1 по дисциплине

«Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях»

Автор

Н.Ф. Карнаухов

В.В. Мартынов

Ростов-на-Дону, 2012



Аннотация

Цель исследования оптоэлектронных устройств с использованием ОУ.

Ознакомиться с принципом работы операционного усилителя (ОУ) и возможными построениями схем устройств оптоэлектроники для модуляции несущих частот передаваемых сигналов информации при конструировании передающих (ЭОМ) и принимающих (ОЭМ) модулей волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ).

Автор

проф.,к.т.н. Н.Ф. Карнаухов

доцент,к.т.н В.В. Мартынов





Оглавление

1. Краткие сведения о структуре построения операционного усилителя (ОУ)	4
2.Автоколебательный режим работы операционного усилителя.....	9
3. Исследование автогенератора (на ОУ серии К140)	14
Отчет	16



1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРУКТУРЕ ПОСТРОЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ (ОУ)

В настоящее время (кроме микроминиатюрных универсальных логических элементов и устройств на их основе) создан ряд аналоговых интегральных микросхем - усилителей, повторителей и других линейных узлов, широко применяемых в устройствах ВОЛП. Одним из наиболее характерных аналоговых интегральных микросхем является операционный усилитель - усилитель напряжения с большим коэффициентом усиления ($K = 10^3-10^5$) и полосой частот от нуля до сотен килогерц, имеющий дополнительные выводы для подключения внешних цепей обратной связи. В большинстве случаев операционные усилители строят на основе одного или нескольких последовательно включенных дифференциальных усилителей - усилителей, содержащих по два симметричных усилительных элемента (транзистора).

Принципиальная схема типового операционного усилителя показана на рисунке 1. Первый каскад усилителя выполнен по дифференциальной схеме на транзисторах T_1 , T_2 , T_{10} и T_{11} . Транзистор T_{10} работает в диодном включении, его коллектор и база соединены. Падение напряжения на этом диоде, включенном в прямом направлении, подается на базу T_{11} и служит входным напряжением для каскада на этом транзисторе. Каскад на транзисторе T_{11} работает как генератор тока, питающий эмиттерные цепи транзисторов T_1 и T_2 . Ток $I_{k11} = \alpha_{11}(U_D - U_{6911})/R_3$, где α_{11} — коэффициент передачи по току транзистора T_{11} ; U_{6911} — падение на-

Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях

пряжения на транзисторе T_{10} , работающем в режиме прямо смещенного диода; $U_{\text{бэ11}}$ - напряжение на эмиттерном переходе транзистора T_{11} . Так как $U_{\text{д}}$ и $U_{\text{бэ11}}$ (при использовании однотипных кремниевых транзисторов) изменяются одинаково в некотором температурном диапазоне работы схемы, то ток $I_{\text{к11}}$ стабилен.

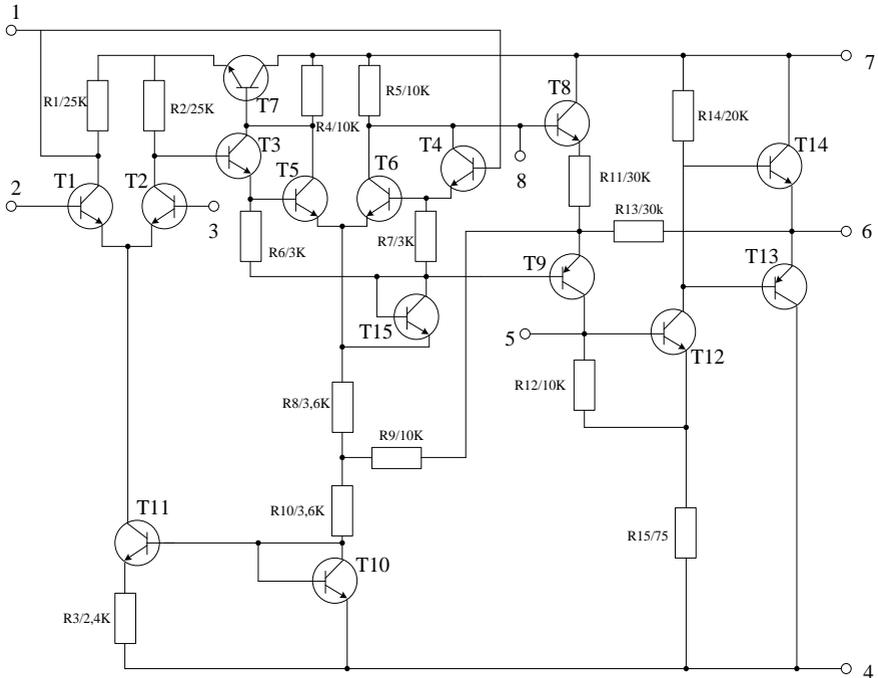


Рисунок 1 – Принципиальная схема типового ОУ

Напряжение $U_{\text{д}}$ имеет небольшое значение, поэтому ток $I_{\text{к11}}$ мал; транзисторы T_1 и T_2 работают в режиме малых токов, что не позволяет получить в первом усилительном каскаде большого коэффициента усиления по напряжению. Основное усиление обеспечивает второй усилительный каскад, состоящий из составных транзисторов T_3 , T_5 и T_4 , T_6 и «термостабилизирующего»



транзистора T_{15} .

Выходной сигнал с коллектора составного транзистора T_4 , T_6 поступает через эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе T_8 , на вход усилительного каскада на транзисторе T_9 , включенном по схеме с общей базой. С нагрузочного резистора R_{12} сигнал подается на вход «предоконечного» усилительного каскада на транзисторе T_{12} .

После дополнительного усиления транзистором T_{12} сигнал поступает на вход окончного каскада, выполненного по схеме эмиттерного повторителя на транзисторах T_{13} и T_{14} (T_{13} – $p-n-p$ - типа, T_{14} - $n-p-n$ - типа). Данный эмиттерный повторитель обеспечивает малое выходное сопротивление усилителя, как для положительной, так и для отрицательной полярности напряжения.

Через резистор R_{13} осуществляется отрицательная обратная связь с целью линейзации передаточной характеристики и уменьшения нелинейных искажений, называемых иногда в усилителях искажениями типа «ступенька».

Каскад на транзисторе T_7 , включенном по схеме эмиттерного повторителя, служит для понижения напряжения питания, подаваемого на первый дифференциальный каскад усилителя, и симметрирования коллекторных нагрузок второго дифференциального каскада.

Выходные контакты усилителя имеют следующее назначение: контакты 2 и 3 используются для подачи входных сигналов, контакт 6 — для съема выходного напряжения, контакты 4 и 7 — для подачи питающих напряжений. Остальные контакты необхо-



Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях

димы для подключения внешних корректирующих цепей.

Обычно такой усилитель питается от двух «разнополярных» источников: источника положительного напряжения E_1 , которое (в схеме рисунок 1) подается на контакт 7, и источника отрицательного напряжения $-E_2$ которое поступает на контакт 4.

Если напряжение на контактах 2 и 3 изменяется одинаково, то коллекторный ток транзисторов T_1 и T_2 также одинаков, а, следовательно, одинаковы и напряжения на коллекторах этих транзисторов. Такой случай называют «синфазным» включением входов усилителя. При синфазном включении входов ОУ выходной сигнал усилителя не меняется (из-за неидеальной симметрии схемы некоторое изменение выходного сигнала имеет место, однако оно мало). Если же сигналы на входных контактах 2 и 3 изменять в «противофазе» или напряжение на одном контакте поддерживать постоянным, а на другом — изменять, то можно получить существенные приращения выходного напряжения. Пределы изменения выходного напряжения имеют значения $U_{\text{вых}}^+$ и $U_{\text{вых}}^-$ соответствующие уровням ограничения выходного напряжения в данном усилителе. Напряжение $U_{\text{вых}}^+$ близко к $+E_1$, напряжение $U_{\text{вых}}^-$ - к $-E_2$. Если контакт 2 соединить с корпусом устройства, а на контакт 3 подать положительное напряжение, постепенно увеличивая его, то на выходе усилителя будет вырабатываться положительное напряжение. После перехода усилителя в режим ограничения выходное напряжение равно $U_{\text{вых}}^+$. Полярность его совпадает с полярностью входного сигнала, поэтому вход, соответствующий контакту 3, называют «неинвертирующим». Если же заземлить контакт 3, а на контакт 2 подавать положительное напряжение, то на выходе усилителя вырабатывается отрицательное напряжение. При переходе усилителя в режим ограничения на выходе установится уровень напряжения $U_{\text{вых}}^-$. Полярность



Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях

выходного напряжения противоположна полярности входного сигнала, поэтому вход, соответствующий контакту 2, называют «инвертирующим».

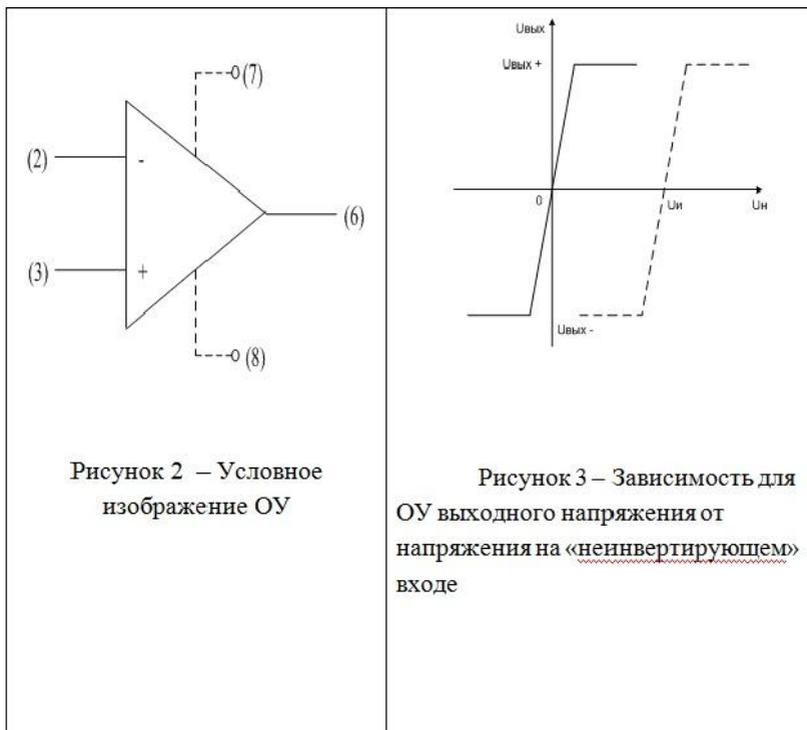
Условное изображение операционного усилителя приведено на рисунке 2. Неинвертирующий вход обозначен знаком «+», инвертирующий – знаком «-», выход соответствует контакту 6 на рисунке 1. Обозначим напряжение на неинвертирующем входе операционного усилителя через U_n , на инвертирующем – через U_i . Зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_n)$ для операционного усилителя приведена на рисунке 3. Сплошной линией показана зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_n)$ при $U_i = 0$. В этом случае точке $U_n = 0$ соответствует нулевая разность напряжений на неинвертирующем входах ($U_n = 0$; $U_i = 0$; $U_n - U_i = 0$). Следовательно, $U_{\text{вых}} = 0$. В реальных схемах из-за неидеальной симметрии операционного усилителя напряжение на выходе при $U_n = 0$ может несколько отличаться от нуля и принимать значение $U_{\text{вых}0}$. Напряжение $U_{\text{вых}0}$ называют «ошибкой» операционного усилителя. Значение $U_{\text{вых}0}$ обычно не превышает нескольких десятков микровольт; в большинстве случаев можно считать, что при $U_i = 0$ зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_n)$ проходит через нуль. В случае, когда $U_i \neq 0$ (рисунок 3, пунктирный график) выходная характеристика проходит через нуль при $U_n = U_i$, т. е. как бы смещается на U_i . Можно считать, что переход через нуль соответствует нулевому значению разностного входного напряжения $U_p = U_n - U_i$. Из-за большого коэффициента усиления незначительное превышение сигнала на одном входе относительно уровня сигнала на другом вызывает изменение выходного напряжения от $U_{\text{вых}}^-$ до $U_{\text{вых}}^+$ и выходная характеристика имеет вид, близкий к релейной. Это явление используют при построении усилительных устройств и импульсных ге-



нераторов широкого назначения и с выходным напряжением разной формы.

2.АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Схема простейшего релаксационного генератора на операционном усилителе приведена на рисунке 4. Вследствие связи «неинвертирующего» входа усилителя с выходом через делитель R_2R_3 напряжение на указанном выходе U_H составляет долю выходного напряжения; например, при $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}^+$ напряжение на неинвертирующем входе составляет



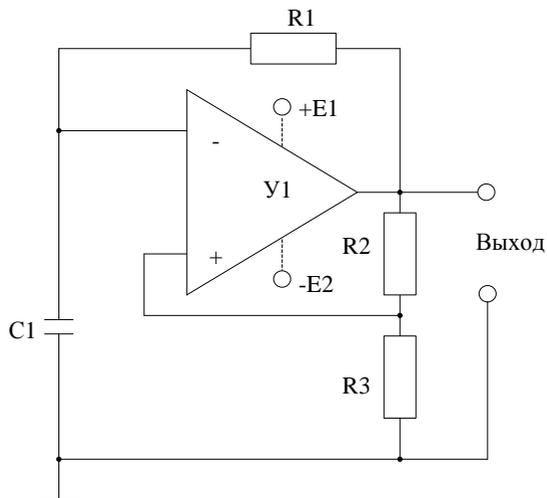


Рисунок 4 – Схема релаксационного генератора на ОУ

$$U_{н} = U_{\text{ВЫХ}}^+ \frac{R_3}{R_2 + R_3} = K_{д} U_{\text{ВЫХ}}^+ \quad (1)$$

где $K_{д} = R_3 / (R_2 + R_3)$ – коэффициент обратной связи. При вычислении $U_{н}$ предполагается, что входное сопротивление усилителя достаточно велико.

При напряжении на выходе $U_{\text{ВЫХ}}^+$ конденсатор C_1 заряжается через резистор R_1 . Постоянная времени зарядки конденсатора определится как

$$\Theta_{\text{зар}} = C_1 (R_1 + r_{\text{ВЫХ}}^+), \quad (2)$$

где $r_{\text{ВЫХ}}^+$ – выходное сопротивление операционного усилителя при положительном выходном напряжении. Когда напряжение на конденсаторе C_1 , а следовательно, и на инвертирующем входе операционного усилителя превысит уровень $K_{д} \cdot U_{\text{ВЫХ}}^+$, имеющийся на неинвертирующем входе, напряжение на выходе скачкообразно изменит знак и станет равным $U_{\text{ВЫХ}}^-$. Конденсатор C_1 начинает перезаряжаться через резистор R_1 и сопротивление $r_{\text{ВЫХ}}^+$ (выход-



Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях

ное сопротивление при отрицательном выходном напряжении). Постоянная времени цепи разрядки конденсатора C_1 $\Theta_p = C_1 \cdot (R_1 + r_{\text{вых}}^-)$. Напряжение на конденсаторе уменьшается с постоянной времени Θ_p , стремясь к уровню $U_{\text{вых}}^+$. При этом на «неинвертирующем» входе усилителя устанавливается уровень $K_d \cdot U_{\text{вых}}^-$. Когда напряжение на инвертирующем входе в процессе разрядки конденсатора C_1 перейдет этот уровень, выходное напряжение в результате переключения операционного усилителя скачком примет значение $U_{\text{вых}}^+$. Конденсатор, имеющий на обкладках напряжение, практически равное $K_d U_{\text{вых}}^-$, начинает заряжаться с постоянной времени Θ_p . Процессы изменения напряжения на конденсаторе, «инвертирующем» и «неинвертирующем» входах операционного усилителя повторяются.

Так как $r_{\text{вых}}^- \approx r_{\text{вых}}^+ \approx r_{\text{вых}}$ и $r_{\text{вых}} \ll R_1$, то $\Theta_{\text{зар}} = \Theta_p = \Theta = R_1 C_1$.

В течение положительной полуволны выходного напряжения длительностью τ_1 напряжение на конденсаторе C_1 изменяется с постоянной времени Θ от $K_d \cdot U_{\text{вых}}^-$ до $K_d \cdot U_{\text{вых}}^+$. Учитывая, что напряжение на конденсаторе C_1 носит при этом экспоненциальный характер, длительность положительной полуволны напряжения составит

$$\tau_1 = \Theta \ln \frac{U_{\text{вых}}^+ + K_d |U_{\text{вых}}^-|}{U_{\text{вых}}^+ - K_d |U_{\text{вых}}^-|} \tag{3}$$

В течение отрицательной полуволны выходного напряжения длительностью τ_2 напряжение на конденсаторе C_1 изменяется от $K_d \cdot U_{\text{вых}}^+$ до $K_d \cdot U_{\text{вых}}^-$. Длительность отрицательной полуволны составит



$$\tau_2 = \Theta \ln \frac{|U_{\text{ВЫХ}}^-| + K_{\text{д}} U_{\text{ВЫХ}}^+}{|U_{\text{ВЫХ}}^-| - K_{\text{д}} |U_{\text{ВЫХ}}^-|}. \quad (4)$$

В этом случае, когда уровни выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}^+$ и $U_{\text{ВЫХ}}^-$ симметричны относительно нулевой линии, т. е. при $U_{\text{ВЫХ}}^+ = |U_{\text{ВЫХ}}^-| = U_{\text{ВЫХ}}$, $\tau_1 = \tau_2 = \tau$, где

$$\tau = \Theta \ln \frac{1 + K_{\text{д}}}{1 - K_{\text{д}}} = R_1 C_1 \ln \left(1 + \frac{2R_3}{R_2} \right). \quad (5)$$

Период колебаний $T = 2\tau = 2R_1 C_1 \ln(1 + 2R_3/R_2)$. Скважность выходных импульсов при этом близка к двум, т.е. напряжение имеет форму меандра. Обычно уровни $U_{\text{ВЫХ}}^+$ и $U_{\text{ВЫХ}}^-$ несколько различаются, вследствие чего строгое равенство значений τ_1 и τ_2 не обеспечивается. Для обеспечения указанного равенства во всем рабочем диапазоне температур используют дополнительные цепи стабилизации выходного напряжения. Схема автоколебательного генератора с двусторонним ограничителем напряжения на стабилитроне (Д5) показана на рисунке 5.

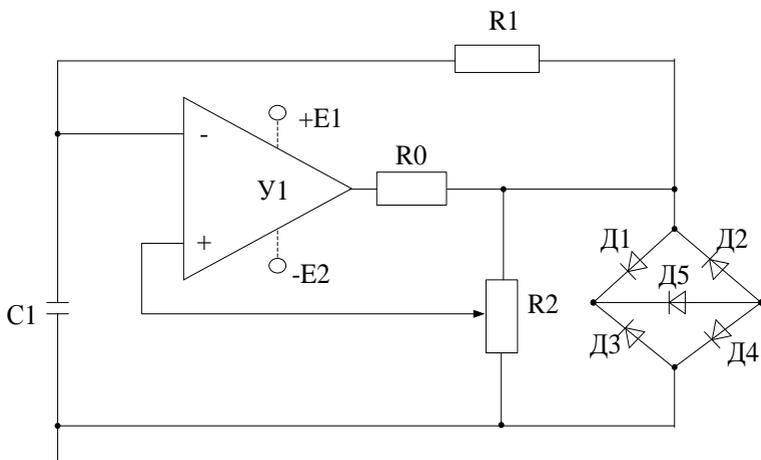


Рисунок 5 - Схема автоколебательного генератора с двусторонним ограничителем напряжения

Здесь $K_d = R_2'/R_2$, где R_2' – сопротивление той части потенциометра R_2 , которая включена между движком и общей шиной. Период колебаний

$$T = 2\Theta \ln \frac{1+K_d}{1-K_d} = 2R_1 C_1 \ln \left(\frac{R_2 + R_2'}{R_2 - R_2'} \right); q = 2. \quad (6)$$

В этом случае, когда требуется обеспечить скважность $q \neq 2$, в цепи зарядки и разрядки конденсатора C_1 используют различные резисторы, например R_1 и R_4 (рисунок б). Зарядку конденсатора осуществляют через резистор R_1 и включенный диод D_1 . При этом диод D_2 заперт и отключает резистор R_4 от зарядной цепи. Разрядка конденсатора происходит через резистор R_4 и включенный диод D_2 . Диод D_1 в этот момент заперт. В данном случае постоянные времени зарядки и разрядки неодинаковы: $\Theta_{зар} = R_1 C_1$; $\Theta_p = R_4 C_1$, т.е. при $R_1 \neq R_4$ и $\Theta_{зар} \neq \Theta_p$.

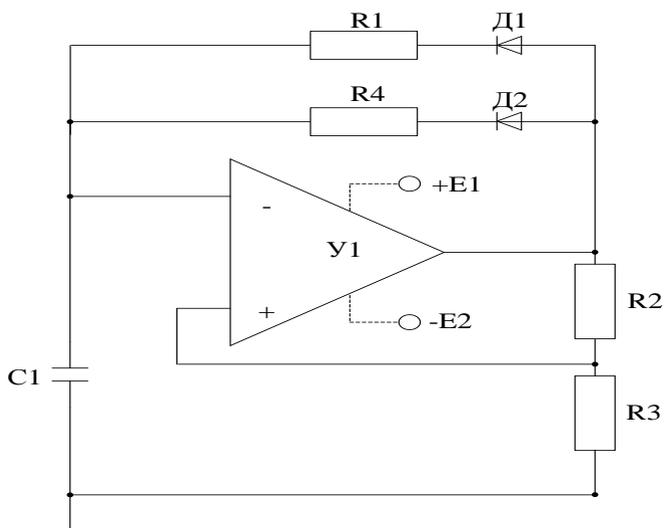


Рисунок 6 – Схема обеспечения скажности выходного напряжения

3. ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРА (НА ОУ СЕРИИ K140)

На рисунке 7, приведена блок-схема электронного автогенератора прямоугольных импульсов, собранная на основе ОУ серии K140. Исследование проводится на лабораторном стенде, общий вид которого приведен на рисунке 8. Приборы (частотомер, осциллограф, милливольтметр) для контроля измеряемых, регулируемых и наблюдаемых параметров следует подсоединить в контрольных точках исследуемой схемы.

Автогенераторный процесс в схеме ОУ осуществляется благодаря имеющейся в ней положительной обратной связи («обвязки»), подаваемой с выхода ОУ на его «неинвертирующий» вход (+), при наличии слабой отрицательной обратной связи, подаваемой с выхода ОУ на его «инвертирующий» вход (-). При этом конденсатор C_1 перезаряжается через резистор R_1 выходным на-



пряжением ОУ.

Когда напряжение на выходе ОУ достигает максимального уровня, конденсатор C_1 зарядится до напряжения, равного критическому напряжению на неинвертирующем входе, а напряжение на выходе ОУ почти мгновенно уменьшится до минимального значения. Затем конденсатор начнет перезаряжаться. Когда отрицательное напряжение на нем сравняется с напряжением на неинвертирующем входе, напряжение на выходе ОУ достигнет максимального уровня. Процесс автоколебаний происходит с частотой, определяемой по формуле

$$f = \frac{0,23}{C_1 * R_1 * \lg(1 + 2R_3 / R_2)}, \quad (7)$$

где f – частота автоколебаний, Гц; R_1 – значение сопротивления первого резистора, Ом; R_2 – значение сопротивления второго резистора, Ом; R_3 – значение сопротивления третьего резистора, Ом; C_1 – емкость конденсатора, выраженная в микрофарадах (мкФ). В процессе исследования используются приборы: ручной осциллограф-мультиметр цифровой U1602A, источник питания постоянного тока АК ИП-1110 с изолированными каналами для питания ОУ. Номинальные значения внешних компонентов генератора можно принять в пределах R_1 и R_3 от 3 до 10 кОм; отношение $R_3 / R_2 =$ от 0,5 до 10; $C_1 = 0,01$ до 0,1 мкФ.



Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях

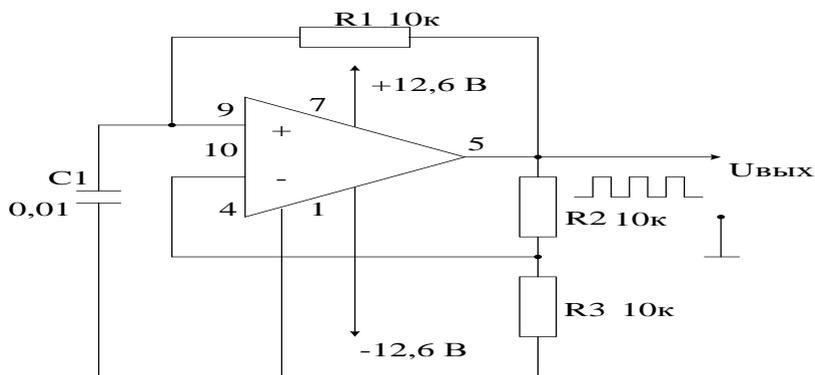


Рисунок 7 – Блок-схема генератора прямоугольных импульсов тока накачки лазера (на ОУ серии К140)

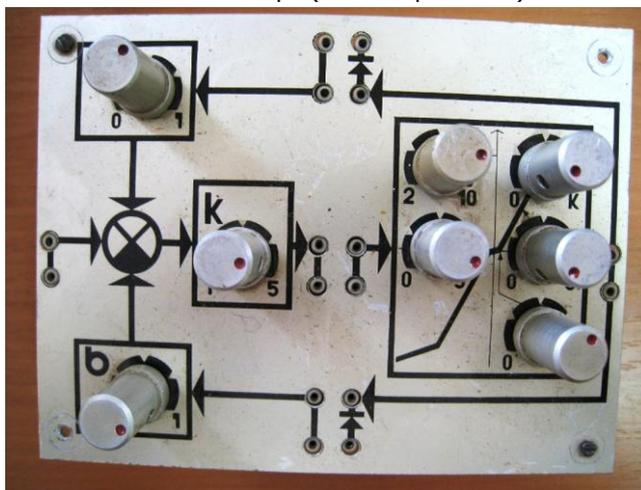


Рисунок 8 - Внешний вид лабораторного стенда для исследования ОУ

ОТЧЕТ

по лабораторной работе выполняется на листах белой бумаги формата А4 (210 x 297 мм) и должен содержать ответы на поставленные вопросы:

1. Дать краткие характеристики применяемых ОУ, привести типовое изображение (обозначение) его в схемах ОЭУ.



Оптоэлектроника в сетевых коммуникациях

2. Почему необходимо ограничивать уровни сигналов, подаваемых на входы ОУ? Поясните принципы защиты ОУ по входу. Какие сигналы (переменного или постоянного тока) усиливает ОУ?

3. Поясните принцип работы «операционного» усилителя (ОУ) в режиме усиления малого сигнала, когда $V_{вх} < (V_{вых} = V_{пит.})$?

4. В каком случае ОУ работает в режиме усиления с ограничением сигнала на выходе? Как изменить уровни выходных напряжений ОУ в режиме компаратора?

5. Почему в схеме (рис.6) не возможна генерация выходных импульсов? В какой части схемы допущена ошибка и поясните, каким образом можно создать условия для симметричной генерации импульсов?

6. Что произойдет в схеме (рис.7), если значение C_1 установить больше рекомендуемого значения, например, 10 мкФ? Результаты исследования необходимо подтвердить расчетами с использованием временных диаграмм изменения контролируемых параметров.

7. Выполненное исследование считается завершенным только после собеседования преподавателя, ведущего лабораторные занятия, со студентом по результатам представленного отчета и контроля по усвоению материала, задачи лабораторной работы и методов поиска решения.