

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

Ульяновский государственный технический университет

## ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

Сборник лабораторных работ  
для студентов направления 11.03.02

Составитель: Елягин С.В.

Ульяновск 2015



## СОДЕРЖАНИЕ

Основные правила по технике безопасности .....	4
Введение .....	4
Содержание отчета по лабораторной работе .....	4
<b>1. Лабораторная работа №1</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ .....	5
<b>2. Лабораторная работа №2</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХТАКТНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ .....	8
<b>3. Лабораторная работа №3</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ .....	12
<b>4. Лабораторная работа №4</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РС – ГЕНЕРАТОРОВ .....	15
<b>5. Лабораторная работа №5</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО И АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ .....	18
Приложение	
ПОРЯДОК РАБОТЫ С ОСЦИЛЛОГРАФОМ .....	22
Список литературы .....	23

## *ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ*

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прослушавшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в журнале по технике безопасности. При нарушении правил техники безопасности студент отстраняется от выполнения лабораторной работы.

Перед началом работы необходимо ознакомиться с рабочим местом, используемыми приборами и оборудованием. Убедится, что все переключатели электрических схем и приборов находятся в исходном состоянии. Включение приборов и исследуемой схемы производится только после проверки их преподавателем.

Во время занятий запрещается отвлекать товарищей, громко разговаривать, покидать без необходимости рабочее место.

По окончании работы необходимо установить все переключатели в исходное состояние и выключить все приборы на рабочем месте.

**Запрещается:** оставлять без надзора включенное оборудование, загромождать рабочее место посторонними предметами, вскрывать и передвигать приборы, прикасаться одновременно к двум различным приборам.

При несчастном случае необходимо: обесточить оборудование и снять напряжение с электроцита лаборатории, оказать первую помощь пострадавшему, сообщить преподавателю и вызвать по телефону 03 скорую помощь.

## *ВВЕДЕНИЕ*

Основной целью лабораторных работ по курсу «Основы схемотехники» является:

- закрепление теоретических знаний и более детальная проработка основных моментов;
- изучение методов измерения параметров и характеристик электронных устройств;
- приобретение навыков работы с измерительными приборами;
- изучение методов обработки экспериментальных данных.

## *СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ*

ОТЧЕТ ДОЛЖЕН СОДЕРЖАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ РАЗДЕЛЫ:

1. Цель работы.
2. Схему исследуемого устройства.
3. Таблицы и графики результатов расчетов и измерений, выполненные в соответствии с правилами ЕСКД.
4. Выводы по проделанной работе, которые должны содержать анализ полученных результатов.

## 1. Лабораторная работа № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

#### 1.1. Цель работы

Изучение принципиальной схемы двухкаскадного усилителя звуковой частоты с отрицательной обратной связью (ООС), экспериментальное исследование влияния элементов схемы на характеристики усилителя.

#### 1.2. Краткие теоретические сведения

*Усилителем* электрического сигнала называется устройство, преобразующее маломощный электрический сигнал на входе в сигнал большей мощности на выходе с минимальными искажениями формы.

*Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)* – это зависимость модуля коэффициента усиления от частоты.

*Фазочастотная характеристика (ФЧХ)* – это зависимость фазового сдвига между выходным и входным напряжением от частоты.

*Амплитудная характеристика* – это зависимость выходного напряжения (тока) от входного напряжения (тока).

Для усилительного каскада по схеме с общим эмиттером имеем:

– *входное сопротивление* усилительного каскада  $R_{\text{вх}}$

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{д}} \parallel [r_{\text{б}} + (1 + h_{21\text{э}}) \cdot r_{\text{э}}], \quad (1.1)$$

где  $R_{\text{д}} = R1/R2$  - сопротивление делителя по переменному току,  $r_{\text{б}}$  - омическое сопротивление тела базы,  $h_{21\text{э}}$  - коэффициент передачи тока для схемы с общим эмиттером,  $r_{\text{э}} = 0.026/I_{\text{э0}}$  - сопротивление эмиттера,  $I_{\text{э0}}$  - ток покоя эмиттера.

– *выходное сопротивление* усилительного каскада  $R_{\text{вых}}$

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{к}} \parallel \frac{r_{\text{к}}}{1 + h_{21\text{э}}} \cong R_{\text{к}}, \quad (1.2)$$

– *коэффициент усиления по напряжению*  $K_u$

$$K_u = -h_{21\text{э}} \frac{R_{\text{к}} \parallel R_{\text{н}}}{r_{\text{э}} + h_{11\text{э}}(1 + r_{\text{э}}/R_{\text{д}})}, \quad (1.3)$$

где  $r_{\text{э}}$  - внутреннее сопротивление источника сигнала

– *коэффициент усиления по току*  $K_I$

$$K_I = h_{21\text{э}} \cdot \frac{r_{\text{э}}^*}{r_{\text{э}}^* + h_{11\text{э}}} \cdot \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{к}}}, \quad (1.4)$$

где  $r_{\text{э}}^* = r_{\text{э}}/R_{\text{д}}$ ,  $h_{11\text{э}}$  - входное сопротивление транзистора по переменному току.

*Обратная связь* – это явление передачи энергии с выхода устройства на его вход.

Коэффициент усиления по напряжению с ООС  $K_{uoc}$

$$K_{uoc} = K_u / A, \quad (1.5)$$

где  $A$  – глубина обратной связи.

Связь между нижними граничными частотами без ООС  $f_n$  и при наличии ООС  $f_{noc}$

$$f_{noc} = f_n / A, \quad (1.6)$$

Связь между верхними граничными частотами без ООС  $f_H$  и при наличии ООС  $f_{voc}$

$$f_{voc} = Af_v. \quad (1.7)$$

### 1.3. Задание к лабораторной работе

*Рассчитать однокаскадный усилитель по схеме с общим эмиттером. Используя формулы (1.1) – (1.4) определить его основные параметры. Построить нагрузочную прямую по постоянному и переменному току. Исходные данные для расчета выбрать самостоятельно.*

Изучить принципиальную схему исследуемого усилителя (рис.1.1).

Для разомкнутой и замкнутой цепи обратной связи провести следующие исследования:

1.3.1. Подключить разделительный конденсатор  $C4$ . Отключить конденсатор  $Cn$ , имитирующий паразитную емкость.

На частоте  $f = 1 \text{ кГц}$  снять и построить амплитудную характеристику усилителя при различных сопротивлениях нагрузки  $R_n$ .

Определить:

- динамический диапазон;
- коэффициент усиления;
- глубину обратной связи.

1.3.2. Подключить нагрузку  $R_{н2}$ .

Построить АЧХ и ФЧХ усилителя при различных емкостях разделительных конденсаторов.

Определить по АЧХ:

- нижнюю и верхнюю граничные частоты;
- глубину обратной связи;

1.3.3. Подключить: разделительный конденсатор  $C4$ , конденсатор  $Cn$  и нагрузку  $R_{н2}$ .

Построить АЧХ усилителя.

Определить:

- нижнюю и верхнюю граничные частоты.

1.3.4. Составить отчет о проделанной работе.

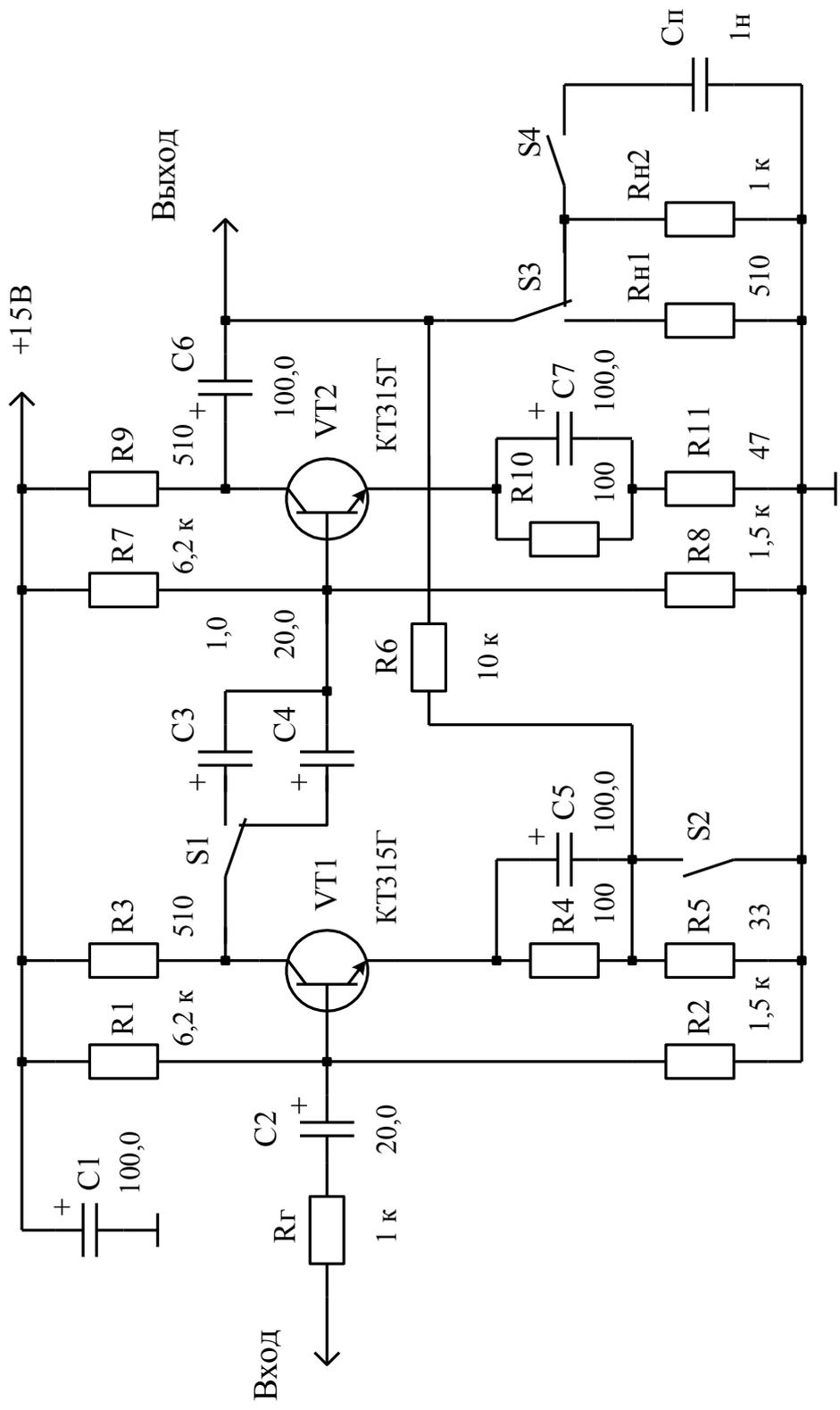


Рис. 1.1. Двухкаскадный усилитель звуковой частоты с отрицательной обратной связью

## **1.4. Контрольные вопросы**

1.4.1. Перечислите режимы работы транзистора и способы задания рабочей точки.

1.4.2. Как строятся нагрузочные прямые по постоянному и переменному току?

1.4.3. Какие параметры усилительного каскада могут быть определены по нагрузочной прямой по переменному току?

1.4.4. Как экспериментально снимаются амплитудная характеристика, АЧХ и ФЧХ? Какие параметры усилителя могут быть по ним определены?

1.4.5. Что называется коэффициентом частотных искажений? От чего он зависит?

1.4.6. Что называется обратной связью? Дайте классификацию типов обратной связи.

1.4.7. Объясните влияние отрицательной обратной связи на АЧХ и амплитудную характеристику усилителя.

1.4.8. Назовите элементы цепи обратной связи исследуемого усилителя и докажите, что имеет место отрицательная обратная связь.

1.4.9. Почему в многокаскадном усилителе с общей ООС возможно самовозбуждение.

## *2. Лабораторная работа № 2*

### *ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХТАКТНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ*

#### **2.1. Цель работы**

Изучение принципиальной схемы и характеристик двухтактного усилителя мощности в режимах *B* и *AB*.

#### **2.2. Краткие теоретические сведения**

Основное назначение каскадов мощного усиления – это отдача в заданное сопротивление нагрузки заданной мощности при допустимых уровнях нелинейных искажений и возможно большем КПД.

Ниже приведен порядок расчета двухтактного усилителя мощности, показанного на рис.2.1. Для двухтактного усилителя характерно то, мощность, отдаваемая одним плечом в нагрузку равна выходной мощности всего каскада.

Максимальная мощность рассеяния на коллекторе транзистора одного плеча усилителя

$$P_{к max} = \frac{2P_H}{\pi^2}, \quad (2.1)$$

где  $P_H$  – выходная мощность на сопротивлении нагрузки  $R_H$ .

Максимальный коллекторный ток транзистора одного плеча

$$I_{к max} = \sqrt{\frac{2P_H}{R_H}}. \quad (2.2)$$

Напряжение источника питания

$$E_k = I_{к max} \cdot R_H + U_{кэ ост}, \quad (2.3)$$

где  $U_{кэ ост}$  определяется по выходной динамической характеристике для тока коллектора, равного  $I_{к max}$ . Следует отметить, что обычно напряжение питания каскада принимают на  $1 \div 2$  В больше расчетного значения.

По значениям  $P_{к max}$ ,  $I_{к max}$  и  $E_k$  из справочника выбирают комплементарные транзисторы, например, КТ814 и КТ815, КТ816 и КТ817, КТ818 и КТ819.

Мощность, отбираемая каскадом от источника питания

$$P_0 = 2E_k I_{к ср} = 2E_k \frac{I_{к max}}{\pi}, \quad (2.4)$$

где  $I_{к ср}$  – средний ток коллектора. Двойка в формуле (2.4) учитывает второе плечо усилителя мощности.

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_H}{P_0}, \quad (2.5)$$

где  $P_H = U_{н max}^2 / 2R_H$  – максимальная выходная мощность.

По выходной динамической характеристике определяют максимальную амплитуду тока базы  $I_{б max}$ , а по входной характеристике – максимальную амплитуду напряжения  $U_{бэ max}$ .

Усредненное входное сопротивление транзистора

$$R_{вх ср} = \frac{U_{бэ max}}{I_{б max}}. \quad (2.6)$$

Глубина обратной связи

$$A = 1 + \frac{I_{к max} R_H}{U_{бэ max}}. \quad (2.7)$$

Входное сопротивление плеча

$$R_{вх ос} = AR_{вх}. \quad (2.8)$$

Входная мощность каскада

$$P_{вх} = 0.5 U_{бэ max} I_{б max} = 0.5 (U_{бэ max} + I_{к max} R_H) I_{б max}. \quad (2.9)$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_p = \frac{P_n}{P_{вх}}. \quad (2.10)$$

Сопротивление базового резистора

$$R_{\bar{o}} = R_{вх ос} \left( \frac{E_k}{U_{\bar{o} max}} - 1 \right). \quad (2.11)$$

Коэффициент гармоник

$$K_z = \frac{1}{2} \frac{I_{к max} - 2I_1}{I_{к max} + I_1} k, \quad (2.12)$$

где  $I_1$  – значение тока, определяемое по сквозной характеристике при напряжении  $0.5U_{\bar{o} max}$ , коэффициент  $k=1.5$  учитывает асимметрию схемы.

### 2.3 Задание к лабораторной работе

*Рассчитать двухтактный усилитель мощности. Исходные данные выбрать самостоятельно.*

Изучить принципиальную схему исследуемого усилителя (рис.2.1). В исходном состоянии ключ  $S3$  замкнут, внешняя обратная связь отключена (ключ  $S1$  находится в нижнем положении).

2.3.1. Перевести усилитель мощности в режим  $B$ .

Построить амплитудную характеристику усилителя мощности.

Определить:

- динамический диапазон;
- коэффициент усиления;
- рассчитать коэффициент гармоник.

Зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Указать на осциллограмме искажения типа «ступенька».

2.3.2. Ввести общую обратную связь (ключ  $S1$  перевести в верхнее положение).

Повторить п.2.3.1.

2.3.3. Перевести усилитель мощности в режим  $AB$ .

- повторить п.2.3.1.
- ввести в верхнее плечо усилителя резистор  $R6$ . Зарисовать осциллограммы выходного напряжения до и после разбаланса плеч, а также с внешней обратной связью и без нее.

2.3.4. Построить сквозную характеристику для режима  $B$  и  $AB$ . Рассчитать по формуле (2.12) коэффициент гармоник для обоих режимов.

2.3.5. Составить отчет о проделанной работе.

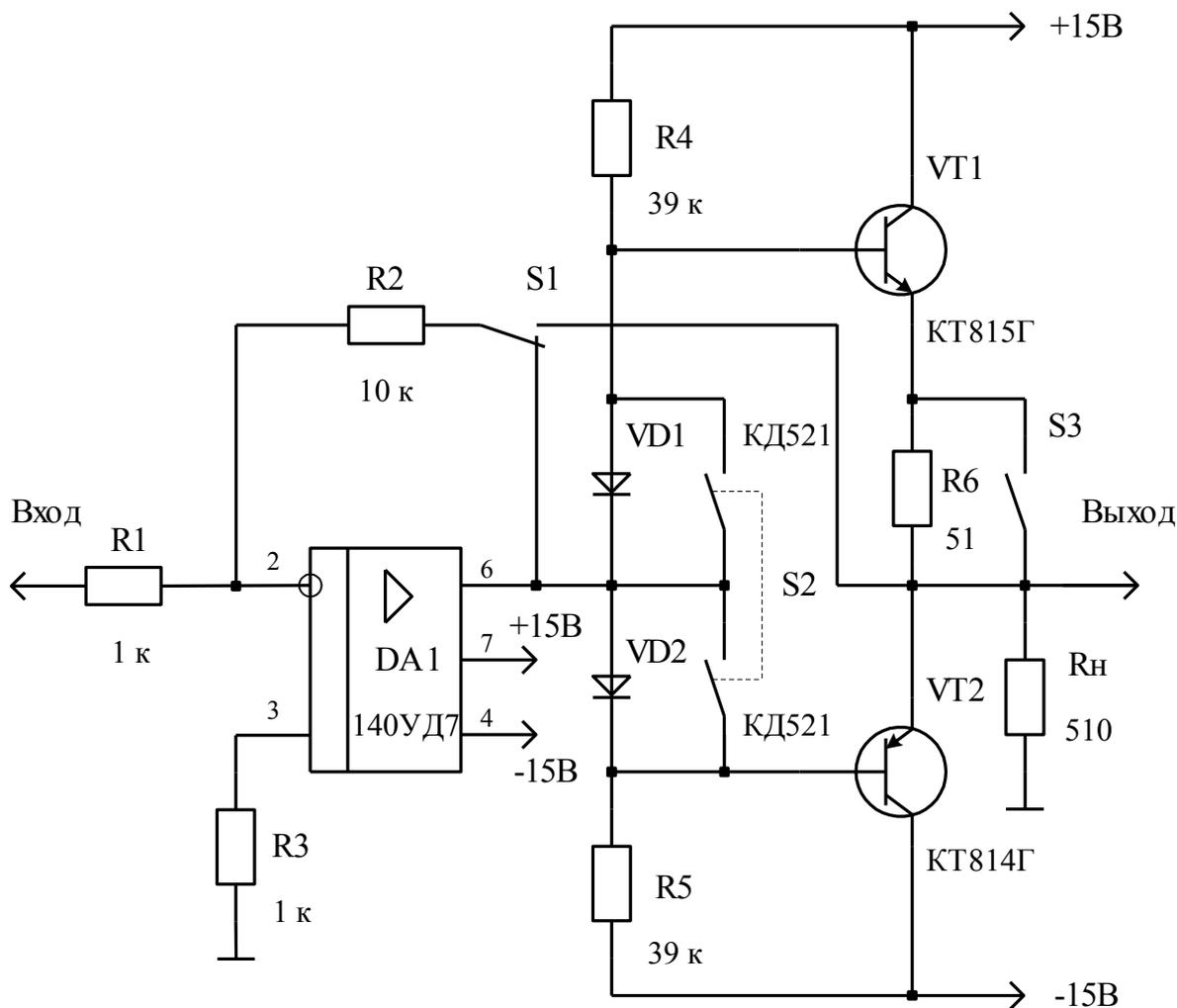


Рис. 2.1. Двухтактный усилитель мощности

## 2.4. Контрольные вопросы

- 2.4.1. Перечислите основные требования к усилителям мощности.
- 2.4.2. Какая схема называется двухтактным усилителем мощности?  
Основные достоинства двухтактной схемы.
- 2.4.3. Расскажите о принципе работы двухтактного каскада?
- 2.4.4. Почему в усилителях мощности применяют режимы *B* и *AB*?  
Как их задают?
- 2.4.5. Что называется искажением типа “ступенька”. При каких условиях оно возникает?
- 2.4.6. Постройте нагрузочную прямую двухтактного усилителя мощности для режимов *B* и *AB*.
- 2.4.7. Поясните назначение элементов исследуемого усилителя.
- 2.4.8. Какова причина возникновения нелинейных искажений. Назовите методы расчета и измерения коэффициента гармоник.
- 2.4.9. Чем определяется напряжение питания выходного каскада усилителя мощности?

### 3. Лабораторная работа № 3

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

##### 3.1. Цель работы

Исследование основных параметров и характеристик операционного усилителя, а также схем, строящихся на базе операционных усилителей.

##### 3.2. Краткие теоретические сведения

Операционный усилитель (ОУ) (рис.3.1) является дифференциальным устройством, способным реагировать только на дифференциальный сигнал  $\Delta U = U_+ - U_-$ .

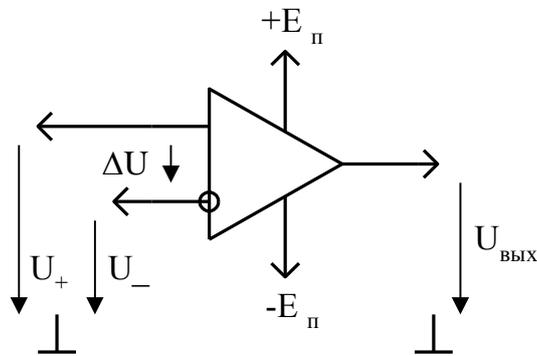


Рис. 3.1 Операционный усилитель

Напряжение синфазного сигнала определяется как  $U_{сф} = 0.5(U_+ + U_-)$ .

Следует отметить, что в основном ОУ используется только с отрицательной обратной связью. В равновесном режиме имеем:

$$\Delta U = \frac{U_{вых}}{K} \rightarrow 0, \quad U_+ = U_-, \quad (3.1)$$

где  $K$  – собственный коэффициент усиления ОУ.

Равенство (3.1) позволяет рассчитать передаточную функцию устройства, построенного на базе операционного усилителя. Для дифференциального усилителя (рис.3.2) имеем:

$$\left. \begin{aligned} U_- &= \frac{U_1 \cdot kR}{R+kR} + \frac{U_{вых} \cdot R}{R+kR} \\ U_+ &= \frac{U_2 \cdot kR}{R+kR} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{U_1 \cdot kR}{R+kR} + \frac{U_{вых} \cdot R}{R+kR} = \frac{U_2 \cdot kR}{R+kR},$$

$$\begin{aligned} U_1 \cdot k + U_{вых} &= U_2 \cdot k, \\ U_{вых} &= k \cdot (U_2 - U_1). \end{aligned} \quad (3.2)$$

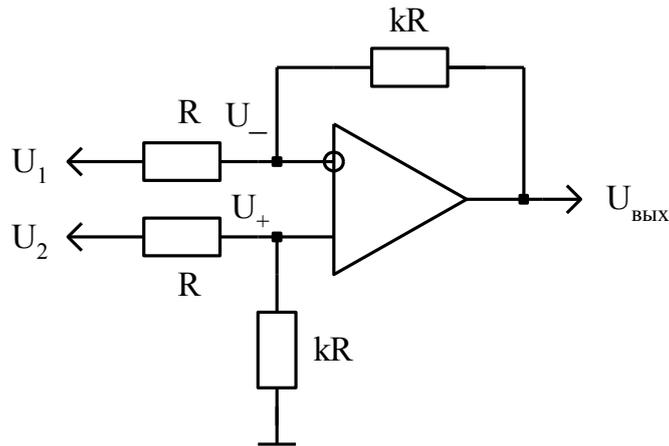


Рис. 3.2. Дифференциальный усилитель

Использование в обратной связи операционного усилителя  $RC$  элементов делает возможным построение на их базе активных  $RC$ - фильтров (рис.3.4). Передаточная функция фильтра нижних частот (ФНЧ) второго порядка имеет следующий вид:

$$H(p) = \frac{a_0}{1 + b_1 p + b_2 p^2}. \quad (3.3)$$

Параметр  $a_0$  определяет величину коэффициента усиления. Коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$  зависят от вида полинома по которому синтезируют фильтр. Так, если необходимо получить фильтр Баттерворта второго порядка, то, используя таблицы коэффициентов в [4] имеем  $b_1 = 1.4142$ ,  $b_2 = 1$ . Для фильтра, приведенного на рис.3.4 при  $a_0 = 1$  и  $R6 = R7$  передаточная функция

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 - R6^2 C1 C2 \omega^2 + j \cdot 2R6 C1 \omega}. \quad (3.4)$$

Расчет активного ФНЧ заключается в определении сопротивлений резисторов  $R6$  и  $R7$  при заданных частоте среза  $\omega_c$  и емкостях конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , к которым предъявляется следующее требование

$$\frac{C2}{C1} \geq \frac{4b_2}{b_1^2}. \quad (3.5)$$

Таким образом,

$$R6 = R7 = \frac{b_1 C2 + \sqrt{a_1^2 C2^2 - 4b_2 C1 C2}}{2\omega_c C1 C2}. \quad (3.6)$$

### 3.3 Задание к лабораторной работе

**Исследование операционного усилителя с частотно-независимой обратной связью**

Изучить принципиальную схему исследуемого усилителя (рис.3.3).

3.3.1. Для каждого сопротивления обратной связи рассчитать и измерить коэффициент усиления усилителя.

3.3.2. Измерить коэффициент подавления синфазного сигнала (синфазный сигнал формируется за счет перевода ключа  $S1$  в верхнее положение).

3.3.3. Построить амплитудную характеристику усилителя для различных коэффициентов усиления. Определить динамический диапазон.

3.3.4. Построить АЧХ усилителя для различных коэффициентов усиления.

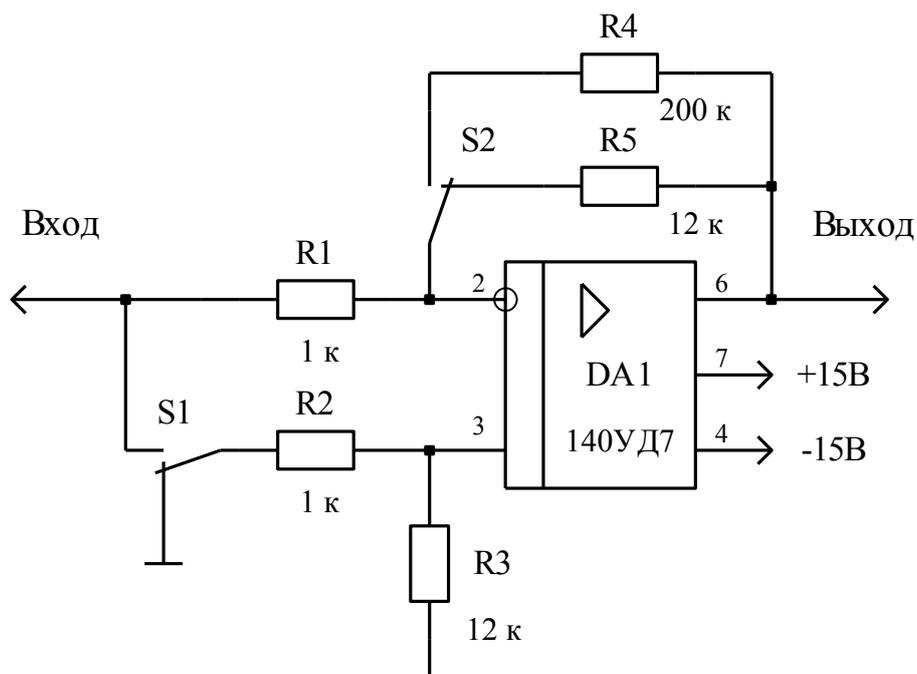


Рис. 3.3. ОУ с частотно-независимой обратной связью

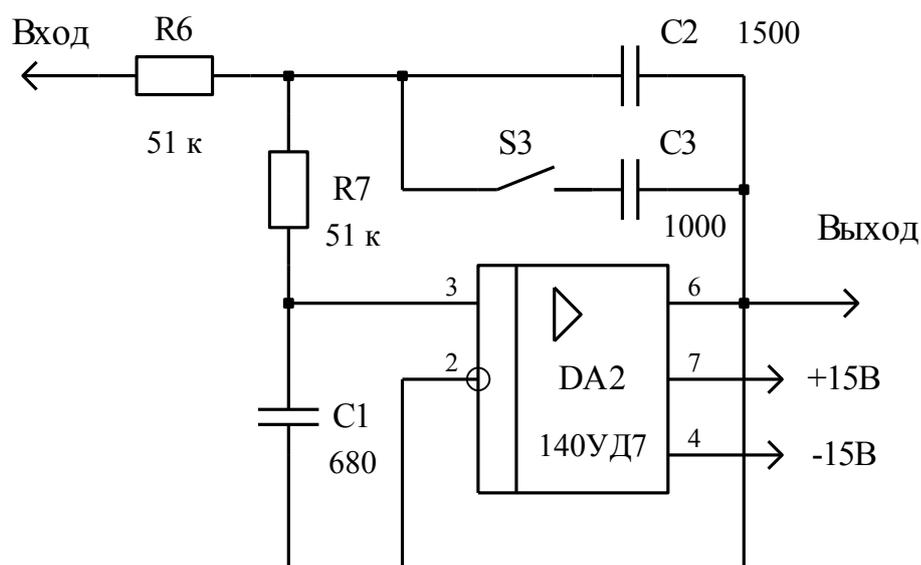


Рис. 3.4. Активный ФНЧ

### ***Исследование активного ФНЧ***

Изучить принципиальную схему активного ФНЧ (рис.3.4).

3.3.5. Рассчитать и построить АЧХ активного ФНЧ с частотой среза  $f_c = 3.4 \text{ кГц}$ .

3.3.6. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра. Определить граничную частоту. Сравнить полученные результаты.

3.3.7. Построить амплитудную характеристику ФНЧ.

3.3.8. Изменить параметры цепи обратной связи и повторить п.3.3.6 и п.3.3.7.

3.3.9. Составить отчет о проделанной работе.

### **3.4. Контрольные вопросы**

3.4.1. Перечислите основные параметры операционного усилителя.

3.4.2. В чем заключается идеализация параметров операционного усилителя?

3.4.3. Как на основе операционного усилителя построить устройство с заданными характеристиками?

3.4.4. Выведите аналитическое выражение передаточной функции для инвертирующего усилителя, интегратора и сумматора.

3.4.5. Какое устройство называется усилителем постоянного тока? Перечислите типы усилителей постоянного тока.

3.4.6. Назовите методы стабилизации дрейфа нуля.

3.4.7. Дайте классификацию фильтров электрических сигналов.

3.4.8. Какое устройство называется активным фильтром. Назовите методы расчета активных  $RC$ – фильтров.

3.4.9. Перечислите и поясните ограничения, которыми следует руководствоваться при построении активных фильтров на базе операционных усилителей.

## ***4. Лабораторная работа № 4***

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ $RC$ – ГЕНЕРАТОРОВ***

#### **4.1. Цель работы**

Изучение принципиальных схем  $RC$ – генераторов, экспериментальное исследование влияния элементов схемы на параметры и характеристики усилителя.

## 4.2. Краткие теоретические сведения

Генератор – устройство, преобразующее энергию источника питания в энергию электрического колебания при отсутствии внешнего сигнала.

Генератор с фазовращающей  $RC$ – цепью (рис.4.1) состоит из усиленного каскада с поворотом фазы на  $180^0$  и фазовращающей  $RC$ – цепи, у которой фазовый сдвиг в  $180^0$  имеет место на единственной частоте

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{6}}{RC}. \quad (4.1)$$

При этом коэффициент передачи  $\beta$  фазовращающей  $RC$  – цепи на частоте генерации  $\omega_0$  равен  $1/29$ .

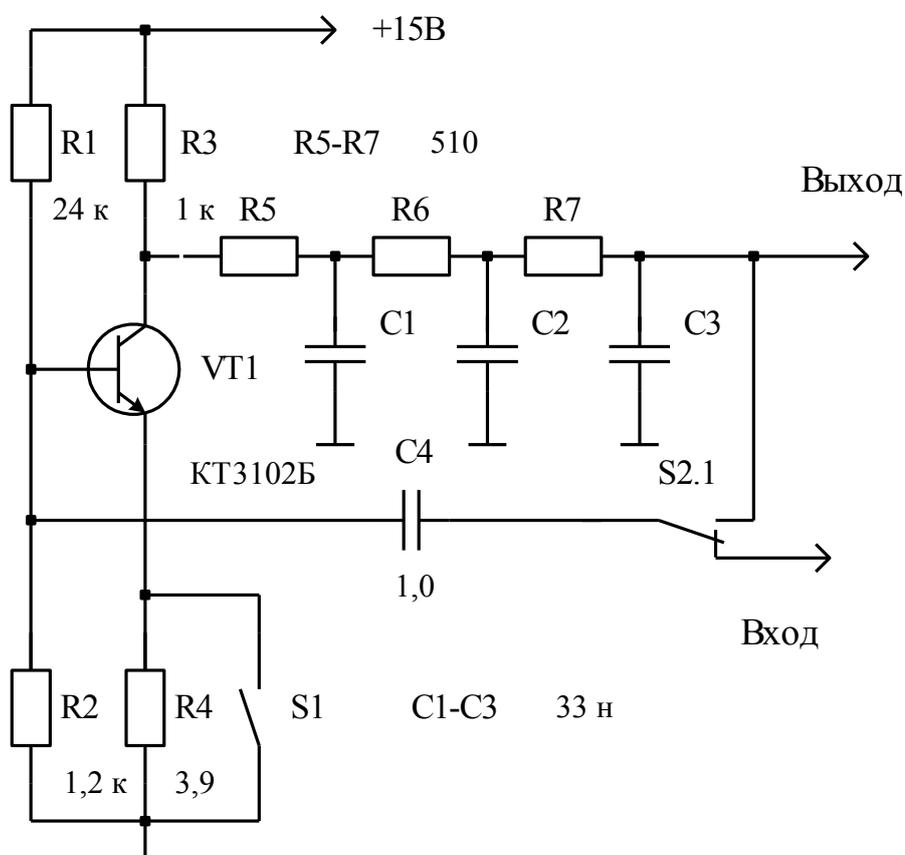


Рис. 4.1. Генератор с фазовращающей  $RC$  цепью

Генератор с мостом Вина (рис.4.2) также использует  $RC$ – цепь, которая имеет нулевой фазовый сдвиг на частоте

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad (4.2)$$

и коэффициент передачи  $\beta$ , на частоте генерации  $\omega_0$ , равный  $1/3$ . Таким образом, усилительный каскад должен обладать нулевым фазовым сдвигом и коэффициентов усиления не менее трех.

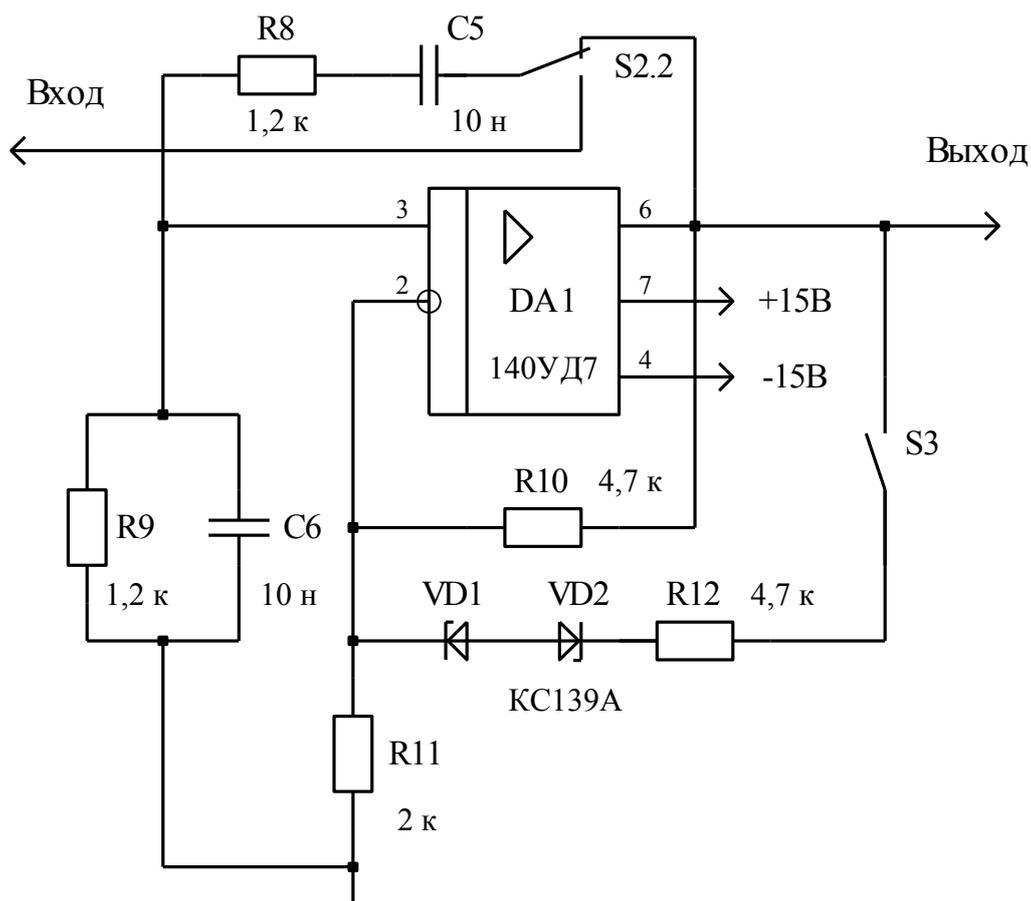


Рис. 4.2. Генератор с мостом Вина

### 4.3 Задание к лабораторной работе

#### *Исследование генератора с фазовращающей RC – цепью*

Изучить принципиальную схему генератора с фазовращающей RC цепью (рис.4.1).

4.3.1. Рассчитать частоту генерации для схемы на рис.4.1.

4.3.2. Исключить местную отрицательную обратную связь.

4.3.3. Измерить частоту генерации и зарисовать осциллограмму выходного напряжения.

4.3.4. Разомкнуть цепь положительной обратной связи. Построить АЧХ и ФЧХ разомкнутой системы. Определить по ним частоту генерации.

4.3.5. Повторить п.4.3.3. – п.4.3.4. при наличии местной отрицательной обратной связи.

#### *Исследование генератора с мостом Вина*

Изучить принципиальную схему генератора с мостом Вина (рис.4.2).

4.3.6. Рассчитать частоту генерации для схемы на рис.4.2.

4.3.7. Исключить местную отрицательную нелинейную обратную связь.

4.3.8. Измерить частоту генерации и зарисовать осциллограмму выходного напряжения.

4.3.9. Разомкнуть цепь положительной обратной связи.

Построить:

– АЧХ и ФЧХ разомкнутой цепи и определить по ним частоту генерации;

– амплитудную характеристику разомкнутой системы.

4.3.10. Повторить п.4.3.8. – п.4.3.9. при наличии местной отрицательной нелинейной обратной связи.

4.3.11. Составить отчет о проделанной работе.

#### **4.4. Контрольные вопросы.**

4.4.1. Дайте определение автогенератора.

4.4.2. Назовите области применения  $RC$ – генераторов. Перечислите их достоинства.

4.4.3. По каким признакам классифицируют генераторы электрических сигналов.

4.4.4. Назовите условия самовозбуждения автогенератора.

4.4.5. Что называется колебательной характеристикой? Как она строится?

4.4.6. В чем заключается линейная и нелинейная теории автогенератора?

4.4.7. Назовите причины искажения формы генерируемого гармонического сигнала. Укажите способы улучшения формы сигнала.

4.4.8. Поясните отличие мягкого и жесткого режимов самовозбуждения.

4.4.9. Каково назначение частотных характеристик устройства с разомкнутой обратной связью при его исследовании.

### *5. Лабораторная работа № 5*

#### *ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО И АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ*

##### **5.1. Цель работы**

Изучение принципа построения цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразователей, экспериментальное исследование их работы в процессе преобразования входных сигналов.

## 5.2. Краткие теоретические сведения

**Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)** обеспечивает преобразование входной информации в цифровой форме в выходную информацию в аналоговой форме.

Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  пропорционально входному коду  $N$

$$U_{\text{вых}} = k \cdot N = \frac{U_{\text{он}}}{N_{\text{max}}} \cdot \sum_{s=0}^{n-1} a_s 2^s, \quad (5.1)$$

где  $k = U_{\text{он}} / N_{\text{max}}$ ,  $U_{\text{он}}$  – внешнее опорное напряжение ЦАП,  $N_{\text{max}} = 2^n - 1$  – наибольшее значение входного кода.

$$N = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_{n-1} 2^{n-1} = \sum_{s=0}^{n-1} a_s 2^s, \quad (5.2)$$

где  $n$  – число двоичных разрядов, число которых определяется разрядностью ЦАП,  $a_s = 1, 0$ .

Обычно входной код  $N$  сначала преобразуется в ток, а затем в напряжение. Для преобразования кода в ток используются:

- резистивная матрица  $R-2R$  (рис.5.1);
- резистивная матрица с двоично-взвешенными по номиналу резисторами (рис.5.2);

**Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)** обеспечивает переход от информации в аналоговой форме к информации в цифровой форме.

АЦП осуществляет преобразование напряжения в код, причем в течение времени преобразования входное напряжение считаем неизменным. Принцип работы и структура АЦП зависят от метода преобразования. Здесь рассматривается АЦП поразрядного кодирования, работа которого заключается в формировании цифровым способом эталонного напряжения  $U_{\text{эт}}$  путем последовательного его приближения к входному напряжению  $U_{\text{вх}}$ . В АЦП поразрядного кодирования различают два типа внутренних перехода, которые выбираются по результату сравнения входного и эталонных напряжений.

## 5.3 Задание к лабораторной работе

### **Исследование ЦАП с резистивной матрицей $R-2R$**

Изучить схему 4-х разрядного ЦАП (рис.5.1).

5.3.1. С помощью ключей  $S1-S4$  задать код, соответствующий входному цифровому сигналу. Измерить выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  и токи  $I_0-I_3$  резистивной матрицы. Изменяя положение ключей  $S1-S4$  установить их связь с выходным напряжением и токами резистивной матрицы.

5.3.2. Определить диапазон выходного напряжения и разрешающую способность ЦАП.

5.3.3. Изменить сопротивления резисторов матрицы произвольным образом на величину, составляющую не более 5% от номинала. Повторить п.5.3.1 и п.5.3.2.

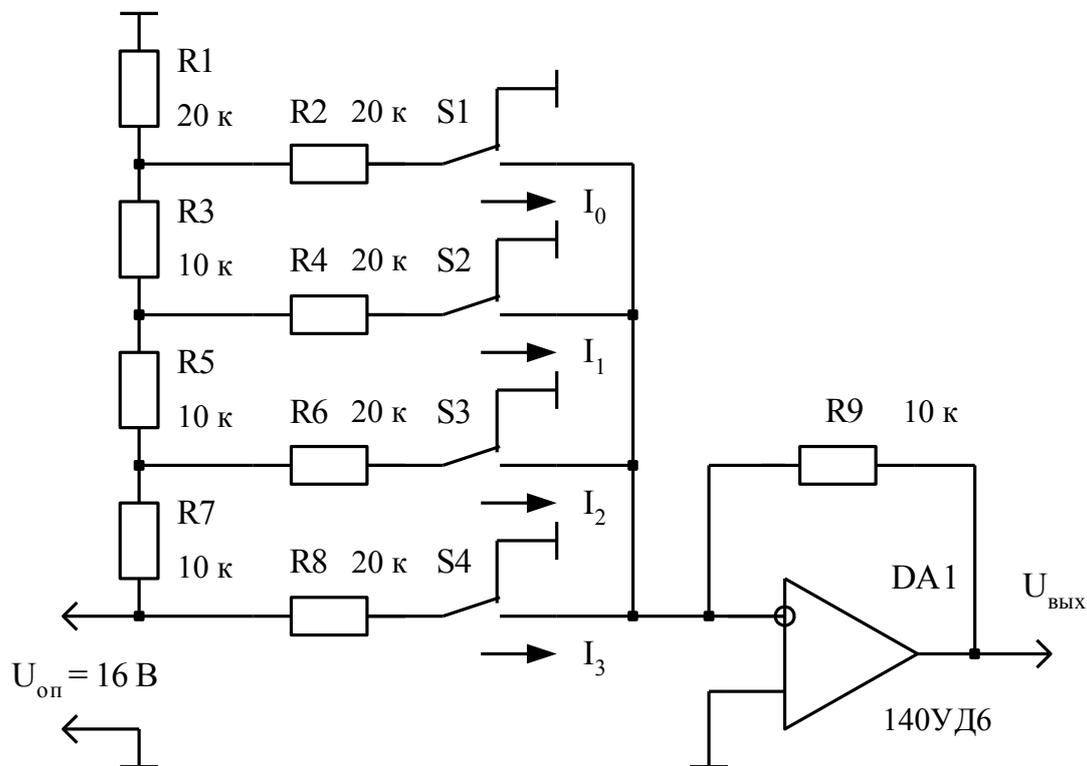


Рис. 5.1. ЦАП с резистивной матрицей  $R-2R$

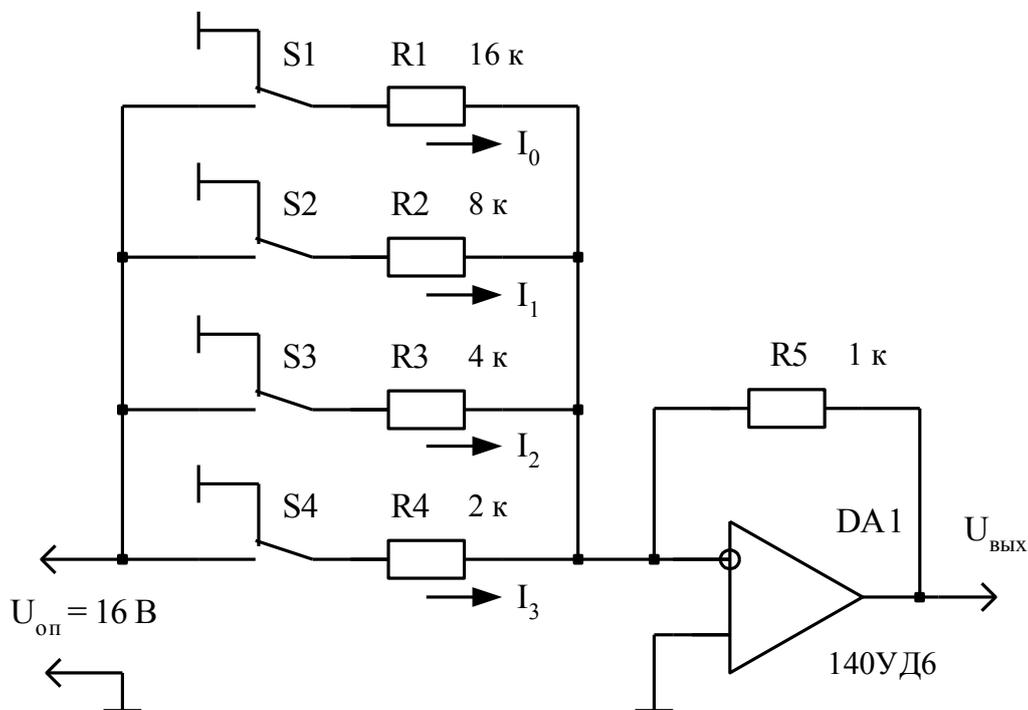


Рис. 5.2. ЦАП с матрицей с двоично-взвешанными по номиналу резисторами

### **Исследование ЦАП с матрицей с двоично-взвешанными по номиналу резисторами**

Изучить схему 4-разрядного ЦАП (рис.5.2).

5.3.4. Повторить п.5.3.1 и п.5.3.3.

5.3.5. Сравнить полученные результаты.

### **Исследование АЦП поразрядного кодирования**

Изучить функциональную схему АЦП поразрядного кодирования (рис.5.3), которая соответствует принципиальной схеме исследуемого АЦП. Ключ  $S1$  позволяет выполнить преобразование в пошаговом режиме. Индикатор  $H$  отображает результат работы компаратора.

5.3.6. Подать на вход АЦП заданное напряжение  $U_{вх}$ . В пошаговом режиме выполнить преобразование входного напряжения в код, отслеживая при этом процессы, происходящие отдельных узлах АЦП.

5.3.7. Построить граф переходов и зависимость эталонного напряжения  $U_{эт}$  от шага преобразования.

5.3.8. Повторить п.5.3.6 и п.5.3.7 для других входных напряжений.

5.3.9. Определить диапазон входных напряжений и разрешающую способность АЦП.

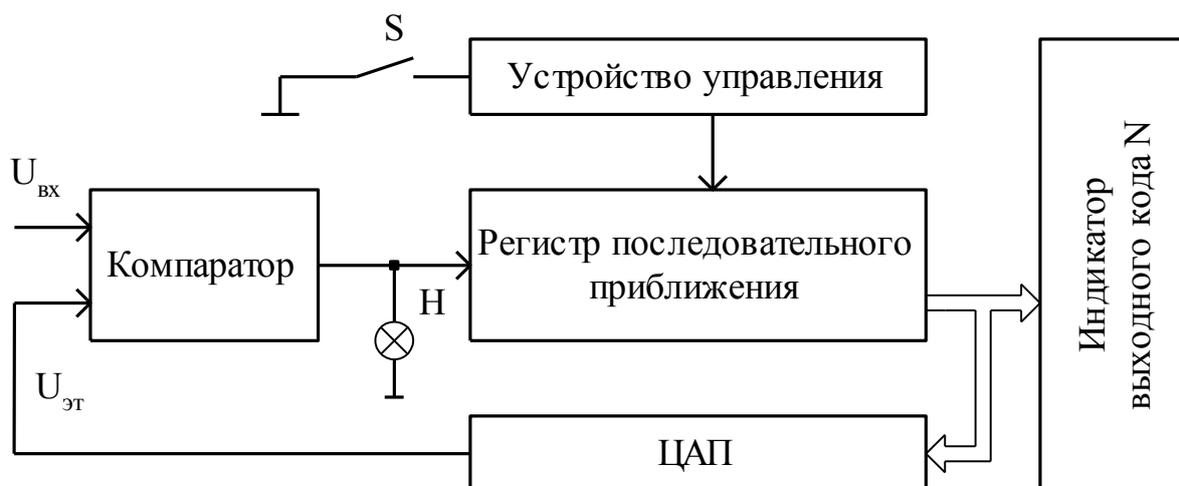


Рис. 5.3. АЦП последовательного приближения

### **5.4. Контрольные вопросы**

5.4.1. Перечислите назначения и области применения ЦАП и АЦП.

5.4.2. Дайте классификацию ЦАП и АЦП.

5.4.3. Перечислите требования, предъявляемые к ЦАП и АЦП.

5.4.4. Назовите и поясните основные параметры ЦАП.

5.4.5. Назовите и поясните основные параметры АЦП.

5.4.6. Объясните принцип действия ЦАП.

5.4.7. Объясните принцип действия АЦП параллельного действия.

5.4.8. Объясните принцип действия АЦП последовательного счета.

5.4.9. Принцип действия АЦП поразрядного кодирования.

## ПОРЯДОК РАБОТЫ С ОСЦИЛЛОГРАФОМ

Осциллограф – универсальный электронный измерительный прибор, позволяющий увидеть исследуемый электрический сигнал. С помощью осциллографа измеряют параметры электрических сигналов: амплитуду, частоту, временные интервалы, разность фаз и т.д. В измерительную цепь включается как вольтметр.

Возможность увидеть исследуемый электрический сигнал достигается за счет одновременного перемещения луча по вертикали и горизонтали электроннолучевой трубки. Горизонтальное перемещение луча по экрану обеспечивается парой горизонтальных отклоняющих пластин, на которые подается периодическое линейно меняющееся напряжение от генератора развертки осциллографа. Вертикальное перемещение обеспечивается парой вертикальных отклоняющих пластин, на которые подается исследуемый сигнал.

### ***Синхронизация в осциллографе***

Синхронизация – получение неподвижного изображения исследуемого сигнала на экране осциллографа. Чтобы это изображение казалось непрерывным оно должно приходить в одну и ту же точку экрана относительно начала напряжения развертки. В этом случае исследуемый сигнал и напряжение с генератора развертки приходят на отклоняющие пластины электроннолучевой трубки одновременно, синхронно.

Для получения синхронизации в осциллографе есть схема синхронизации. На лицевую панель осциллографа от нее выводятся следующие регулировки:

- *стабильность*;
- *уровень*;
- *вид синхронизации*.

«*Стабильность*» управляет режимом работы генератора развертки. При этом крайнее правое положение соответствует автоколебательному режиму работы генератора развертки, а крайнее левое положение – ждущему режиму работы генератора развертки.

«*Уровень*» регулирует амплитуду синхроимпульса, который запускает задающий генератор.

*Вид синхронизации:*

- Внутренняя синхронизация. Генератор развертки запускается исследуемым сигналом;
- Внешняя синхронизация. Генератор развертки запускается внешним сигналом;
- Синхронизация от сети. Генератор развертки запускается синхроимпульсом с частотой 50 Гц от блока питания осциллографа.

### ***Работа с осциллографом***

1. Поставить все регулировки электроннолучевой трубки (яркость, смещения по горизонтали и вертикали) в среднее положение.
2. Включить осциллограф в сеть  $\sim 220 В$ .
3. Регулировку «*Стабильность*» поставить в крайнее правое положение.
4. Регулировку «*Уровень*» поставить в крайнее левое положение. На экране появляется линия развертки.
5. Атенюатор «*В / Дел*» поставить в одно из левых положений, но не крайнее (загрузить вход осциллографа).
6. Подать на «*У вход*» осциллографа исследуемый сигнал.
7. Выбрать нужный вид синхронизации.
8. Атенюатор «*В / Дел*» поставить в положение при котором изображение занимает не менее половины экрана по вертикали.
9. Регулировку «*Стабильность*» медленно поворачивать влево и остановиться в момент исчезновения изображения.
10. Регулировку «*Уровень*» медленно поворачивать вправо до появления неподвижного изображения.
11. Переключателем «*Время / Дел*» растянуть изображение исследуемого сигнала на необходимую величину.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыкин Г.С. Усилительные устройства. –М.: Связь, 1982.
2. Королев Г.В. Электронные устройства автоматики: Учеб. пособие. –2-е изд., перераб. и доп. –М.: Высш. шк., 1991.
3. Горбоконтенко А.Д. Проектирование аналоговых электронных схем. Учебное пособие. – Ульяновск.: УлГТУ, 1995.
4. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. –М.: Мир. 1982.
5. Транзисторы для аппаратуры широкого применения. Справочник / Под ред. Б.Л. Перельмана. –М.: Радио и связь, 1981.



