

**Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского**

“ХАИ”

Факультет РТСЛА

Кафедра ППОС

Лабораторный практикум по курсу

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА
ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ**

Составитель: проф. Колпаков Ф.Ф.

Харьков
2004 г.

Лабораторная работа № 1

Радиопередающие устройства

Цель работы:

Целью лабораторной работы является закрепления теоретического материала курса лекций “Радиотехнические устройства электронных аппаратов” путем компьютерного моделирования пакетом ELECTRONICS WORKBANСH и расчета основных показателей радиопередающих устройств (РПУ).

Задачами работы являются ознакомление со структурами РПУ с амплитудной, частотной и однополосной модуляцией, наблюдение сигналов и расчеты основных энергетических показателей таких устройств.

Введение

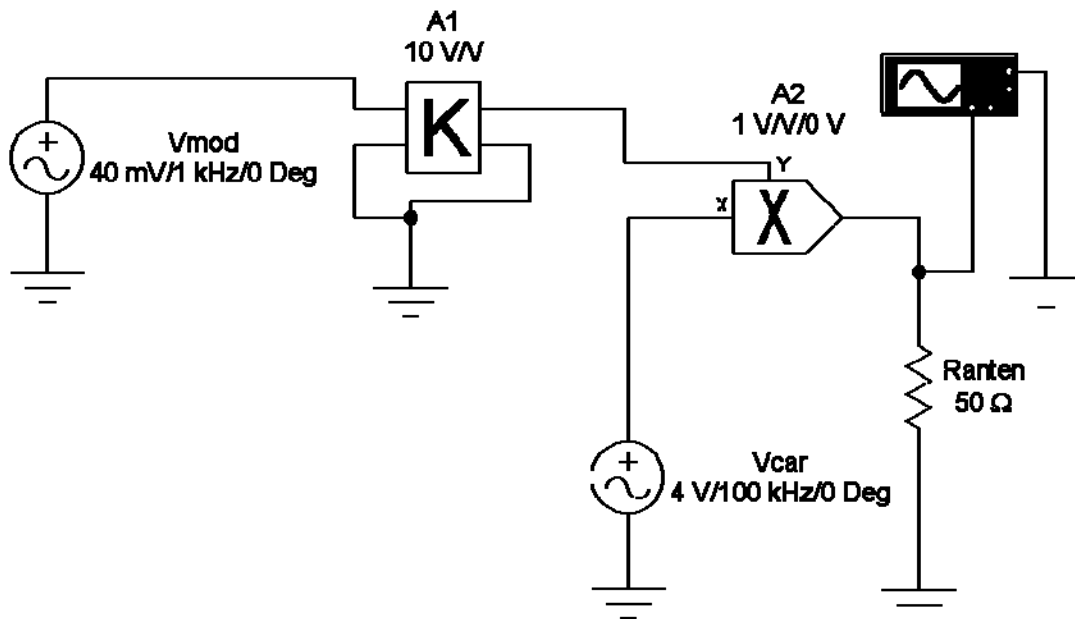


Рис. 1

Структуры РПУ, выполненные средствами пакета ELECTRONICS WORKBANСH, с амплитудной, частотной и однополосной модуляцией, показаны на рис. 1, 2 и 3 соответственно.

РПУ с амплитудной модуляцией (рис. 1) содержит источник модулирующего НЧ сигнала V_{mod} , в качестве которого в реальных РПУ могут быть микрофон, магнитофон и т.п., источник несущего ВЧ колебания V_{car} , усилитель модулирующего НЧ сигнала $A1$, нелинейный усилитель-модулятор $A2$ (перемножитель сигналов) и антенну, представленную на схеме эквивалентным сопротивлением R_{anten} .

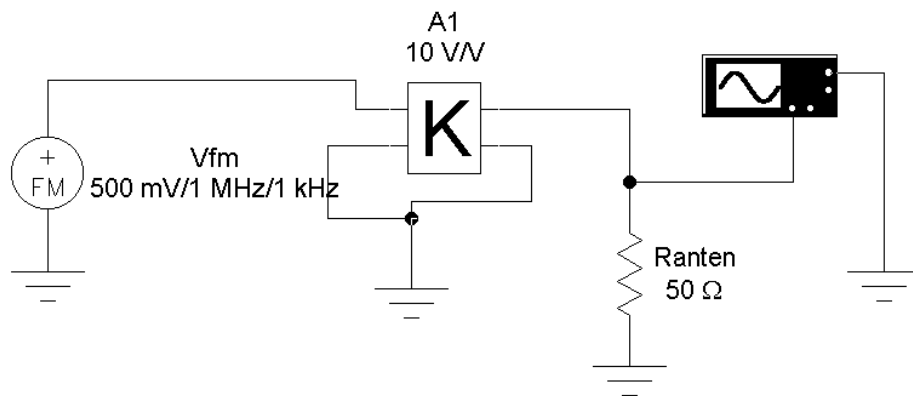


Рис. 2

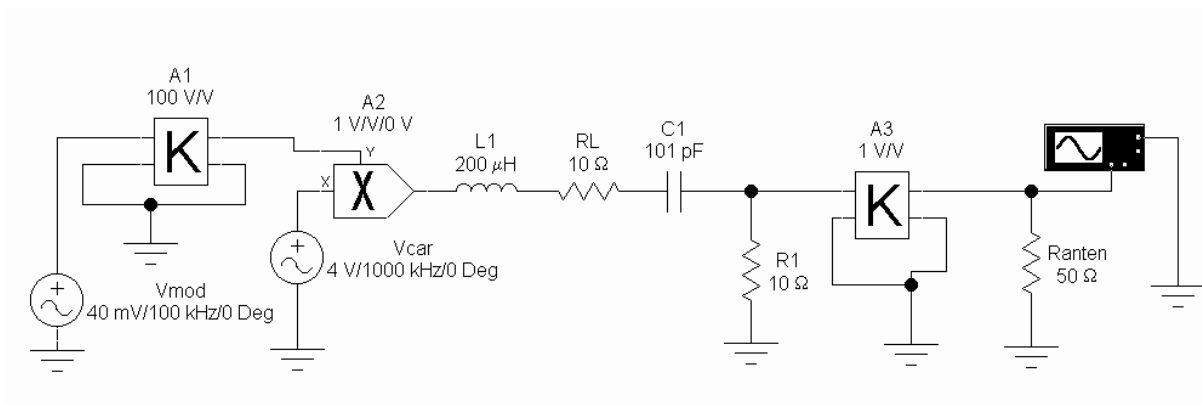


Рис. 3

РПУ с частотной модуляцией (рис. 2) содержит источник ВЧ частотно-модулированного сигнала V_{fm} , в качестве которого в реальных РПУ могут быть автогенератор с варикапом, автогенераторный преобразователь с частотным выходом т.п., усилитель модулированного сигнала $A1$ и антенну $Ranten$.

РПУ с однополосной модуляцией (рис. 3) содержит источник модулирующего НЧ сигнала V_{mod} , в качестве которого в реальных РПУ могут быть микрофон, магнитофон и т.п., источник несущего ВЧ колебания V_{car} , усилитель модулирующего НЧ сигнала $A1$, балансный модулятор $A2$ (перемножитель сигналов), полосовой фильтр на элементах L_1 , R_L , C_1 , R_1 , а также усилитель модулированного ВЧ сигнала $A3$ и антенну $Ranten$.

В схемах (рис. 1 – 3) показан также осциллограф, подключенный к антенне РПУ.

Источники модулирующего и несущего сигналов формируют, соответственно, НЧ и ВЧ колебания вида:

$$V_{\text{mod}} = U_{\text{mod}} \cos \Omega_{\text{mod}} t ,$$

$$V_{\text{car}} = U_{\text{car}} \cos \omega_{\text{car}} t .$$

Модулированные ВЧ сигналы при амплитудной, частотной и однополосной модуляции имеют следующие временные представления:

$$V_{\text{am}} = U_{\text{car}}(1 + M \cos \Omega_{\text{mod}} t) \cos \omega_{\text{car}} t ,$$

$$V_{\text{fm}} = U_{\text{car}} \cos \omega_{\text{car}}(1 + M \cos \Omega_{\text{mod}} t)t ,$$

$$V_{\text{ssb}} = U_{\text{ssb}} \cos(\omega_{\text{car}} + \Omega_{\text{mod}})t ,$$

где M – индекс глубины модуляции.

При отсутствии амплитудных искажений (в идеальном случае) при амплитудной и частотной модуляции $M = k \cdot U_{\text{mod}}$ и при однополосной модуляции – $U_{\text{ssb}} = k \cdot U_{\text{mod}}$, где k – крутизна модуляционной характеристики.

Порядок выполнения работы

Пользуясь пакетом ELECTRONICS WORKBENCH, каждая бригада должна выполнить следующие этапы:

1. Познакомиться с базовыми схемами РПУ с амплитудной, частотной и однополосной модуляцией, сохраненными в файлах am_ish.ewb, fm_ish.ewb и ssb_ish.ewb.
2. Сохранить эти схемы в своих файлах am_xxx.ewb, fm_xxx.ewb и ssb_xxx.ewb.
3. Включить питание схем и наблюдать осциллограммы выходных модулированных ВЧ колебаний.

Установить параметры схем РПУ с амплитудной, частотной и однополосной модуляцией в соответствии с заданиями, приведенными в табл. 1, 2, 3 (неуказанные в таблицах параметры оставить теми же, что в исходных файлах am_ish.ewb, fm_ish.ewb и ssb_ish.ewb).

Таблица 1. Параметры РПУ с амплитудной модуляцией

Параметры	№ бригад					
	1	2	3	4	5	6
Амплитуда источника V_{mod} , мВ	10	20	30	40	50	60
Частота источника V_{mod} , кГц	1	2	3	4	5	6

Таблица 2. Параметры РПУ с частотной модуляцией

Параметры	№ бригад					
	1	2	3	4	5	6
Амплитуда VA источника Vfm, мВ	300	400	500	600	700	800
Индекс модуляции	30	40	50	60	70	80

Таблица 3. Параметры РПУ с однополосной модуляцией

Параметры	№ бригад					
	1	2	3	4	5	6
Амплитуда источника Vmod, мВ	20	40	60	80	100	120

- Получить, сохранить в своих файлах am_xxx.ewb, fm_xxx.ewb и ssb_xxx.ewb. и показать преподавателю экранную информацию, аналогичную показанной на рис. 4, 5, 6.
- Отобразить в бланках отчетов любым доступным способом (вручную, или сформировав в WORDe и распечатав файлы или др.) осциллограммы НЧ модулирующих, ВЧ несущих и ВЧ модулированных сигналов для всех видов модуляции и с указанием частот, амплитуд и индексов модуляции сигналов. При этом по осциллографу определить частоту $f_{ssb} = 1/T$ выходного сигнала при однополосной модуляции и индекс амплитудной модуляции по формуле:

$$M = (U_{max} - U_{min}) / (U_{max} + U_{min}).$$

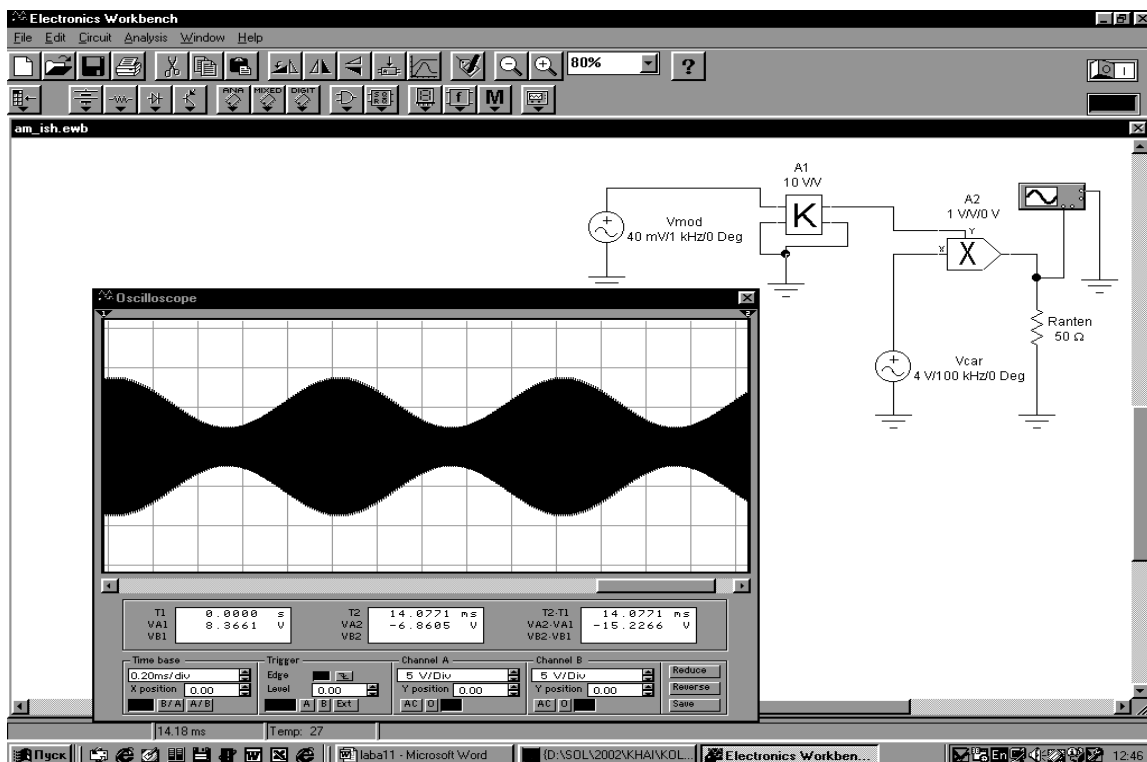


Рис. 4

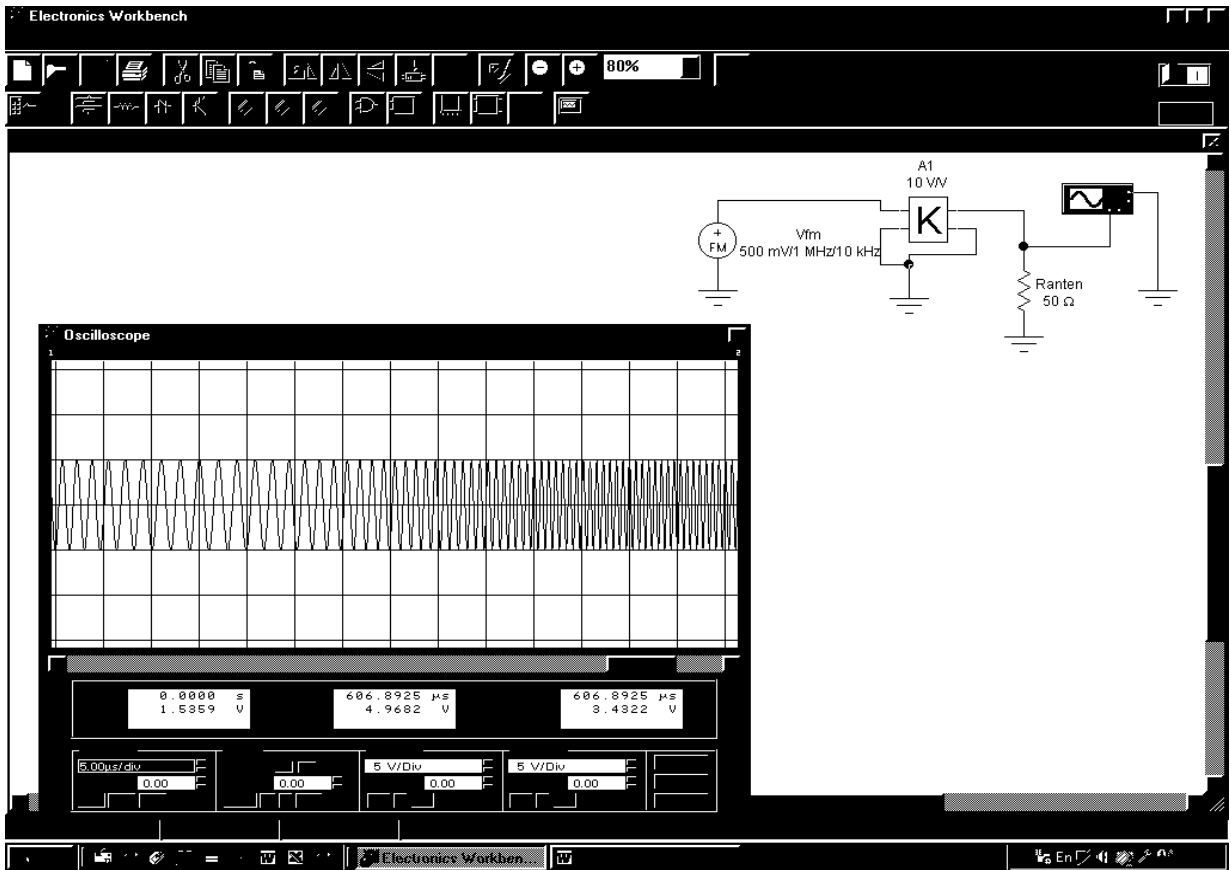


Рис. 5

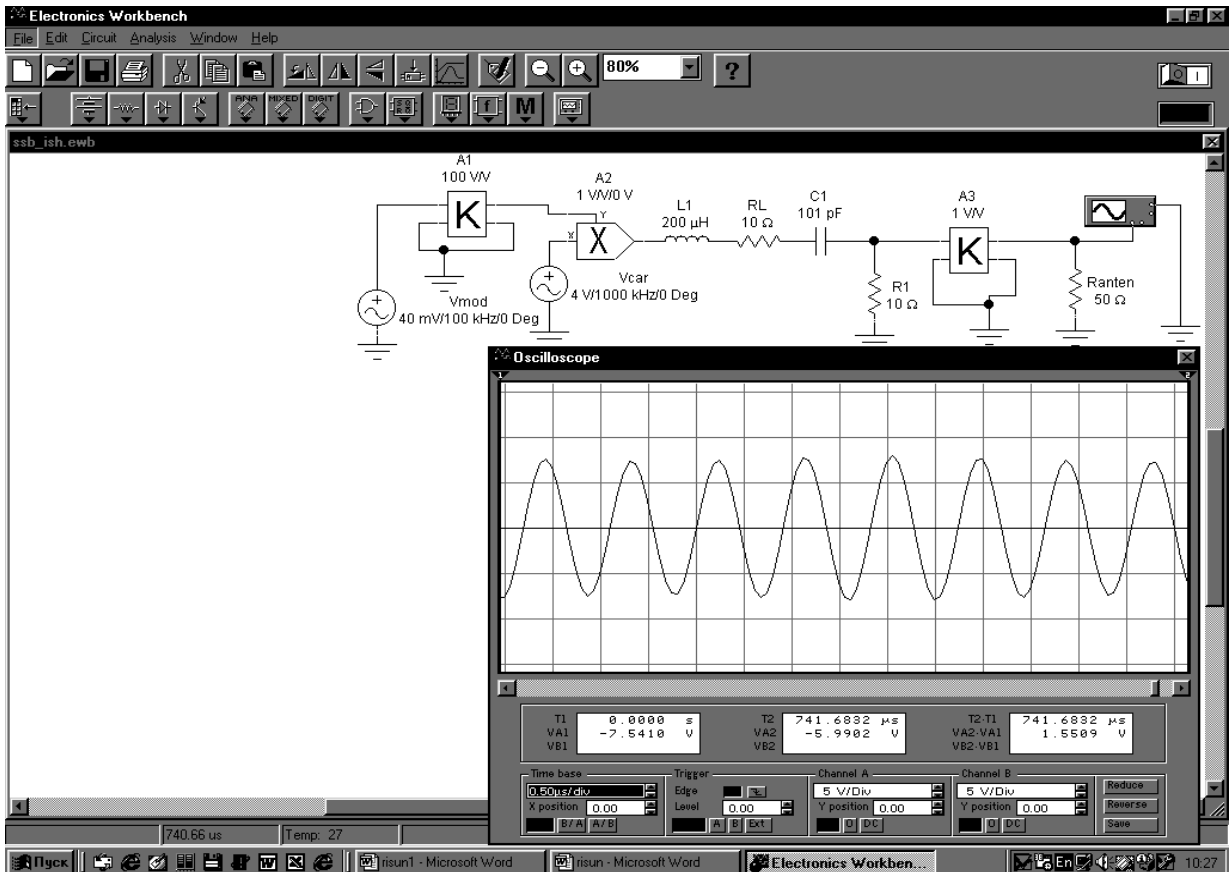


Рис. 6

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Осциллограммы НЧ модулирующих, ВЧ несущих и ВЧ модулированных сигналов с указанием частот, амплитуд и индексов модуляции сигналов по п. 6.
3. Выводы о схемах и сигналах РПУ с разными видами модуляции.

Контрольные вопросы

1. Дать классификацию РПУ по назначению.
2. Каковы особенности амплитудной модуляции. Области ее применения.
3. Каковы особенности частотной модуляции. Области ее применения.
4. Каковы особенности однополосной модуляции. Области ее применения.
5. Объяснить назначения элементов схемы, осуществляющей однополосную модуляцию.
6. Из каких соображения выбирается номинал сопротивления фидера?

Лабораторная работа №2

Исследование операционного усилителя

Цель работы:

1. Изучение принципиальной схемы операционного усилителя типа К140УД7;
2. Снятие амплитудно-частотной характеристики ОУ;
3. Измерение параметров ОУ: $R_{вх}$, $R_{вых}$, $I_{вх}$, $I_{см}$, $U_{см}$.

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет выполнен в корпусе, на задней стенке которого размещен НЧ разъем для подключения НЧ кабеля к источнику питания. На передней панели макета расположены клеммы «Вход» и «Выход» для подключения измерительной аппаратуры, переключатель «Опыт», позволяющий реализовать необходимую схему измерения, ручки потенциометров $R_{см1}$, $R_{см2}$, $R_{см3}$, $R_{н1}$, $R_{н2}$, S1 и S2.

В данной лабораторной работе исследуется ОУ, выполненный на микросхеме типа К140УД7.

Основные параметры ОУ типа К140УД7

1	Входной ток, нА	400
2	Входное сопротивление, кОм	400
3	Напряжение смещения нуля, мВ	± 9
4	Коэффициент усиления напряжения	$> 3 \cdot 10^4$
5	Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений, дБ	70
6	Частота единичного усиления, МГц	> 0.8
7	Максимальное выходное напряжение, В	± 10.5
8	Выходное сопротивление, Ом	200
9	Максимальное синфазное входное напряжение, В	12
10	Напряжение питания, В	± 15
11	Ток потребления, мА	3.5

Электрическая принципиальная схема микросхемы K140УД7 приведена на рис. 2.1. Входной сигнал подается в базы транзисторов VT2, VT3. В эмиттерах транзисторах VT4, VT5. Базовый потенциал транзисторов VT4, VT5, а следовательно, и потенциалы эмиттеров транзисторов VT2, VT3 определяются делителем на транзисторах VT9, VT10, причем коллекторный ток последнего, а следовательно и ток в базах VT4, VT5, фиксируется по схеме «токового зеркала» задающей цепочкой VT11, R5, VT12. Входной дифференциальный каскад реализует схему включения СОК (VT2, VT3) — СОБ (VT4, VT5) или схему с токовым управлением поперечных транзисторов (VT2, VT3) продольными p-n-p транзисторами (VT4, VT5). Коллекторными нагрузками последних являются динамические сопротивления каскадов СОЭ на VT7, VT8. Левый (по схеме) выход нагружен на эмиттерный повторитель с высокоомной нагрузкой (VT6, R2). Правый (по схеме) выход ДУ с коллектора VT5 нагружен на идентичный эмиттерный повторитель (VT13, R5). Благодаря симметричной нагрузке обеспечивается сильное подавление синфазного сигнала, уменьшение отклонения нуля, низкая чувствительность ДУ к вариациям температуры, питающих напряжений и к старению элементов схемы. Дополнительное симметрирование входного дифференциального каскада осуществляется внешним потенциометром, средняя точка которого подключена к минусовой шине питания, а крайние — к клеммам «1» и «5» ОУ («Балансировка»).

Выход дифференциального каскада — несимметричный (на вход эмиттерного повторителя на VT3 и с его нагрузки R5 подается на вход второго каскада усиления на транзисторе VT16). Вместе с тем, в нем при симметричном входе обеспечивается удвоенное (как при симметричном выходе) значение амплитуды усиливаемого сигнала. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Пусть оба плеча ДУ точно сбалансированы и при $U_{\text{диф}} = 0$ (оба входа «3» и «2» соединены с общей шиной) эмиттерные токи VT2, VT3 (они же - VT4, VT5) равны $i_{\text{э}2} = i_{\text{э}3} = I$. Предположим, что при подаче на вход ОУ дифференциального сигнала его фазировка такова, что на базе VT2 действует положительный потенциал (I), а на базе VT3 — отрицательный ($-I$). По сравнению с режимом покоя ток эмиттера VT2(VT4) возрастет и станет $i_{\text{э}4} = I + \Delta I$, а ток эмиттера VT3(VT5) $i_{\text{э}5} = I - \Delta I$. Ток базы VT4, VT5 фиксированы ГСТ на VT10 (обеспечивается реализация схемы ОБ для VT4, VT5) и имеет величину I_0 .

Поэтому входное сопротивление ОУ

$$R_{\text{вх}} = \frac{4m\beta_{\text{VT}2}\varphi_t}{(\beta_{\text{VT}4} + 1) \cdot I_0} \approx 400 \text{кОм}.$$

Изменения указанных токов эмиттера вызовут изменение токов коллекторов VT4, VT5:

$$i_{\text{к}4} = I_{\text{к}} + \Delta I_{\text{к}}, \quad i_{\text{к}5} = I_{\text{к}} - \Delta I_{\text{к}}.$$

Образовавшийся положительный перепад напряжения на выходе левого плеча ДУ (коллектор VT4) передается на базу VT8, вызывая приращение его коллекторного тока, на величину ΔI_K , то есть $i_{K8} = I_K + \Delta I_K$. В соответствии с законом Кирхгофа, получаем $i_{\text{вых}} = i_{K5} - i_{K8}$, или $i_{\text{вых}} = I_K - \Delta I_K - I_K - \Delta I_K = -2\Delta I_K$. Очевидно, что при смене полярности дифференциального напряжения («-» на базе VT2 и «+» на базе VT3) получим $i_{\text{вых}} = +2\Delta I_K$. Важно отметить, что на нагрузке дифференциального каскада отсутствует постоянная составляющая напряжения, а сама нагрузка должна быть весьма высокоомной (эмиттерный повторитель VT13, R5, $R_{\text{вхЭП}} \approx 5\text{МОм}$).

Второй каскад усиления ОУ выполнен по схеме СОЭ на транзисторе VT16 с динамической нагрузкой в виде ГСТ на VT15, управляемом транзистором VT11, входящим в общую для обоих каскадов токозадающую цепь. Транзистор VT15 имеет эмиттерный ток, равный току через его диод смещения VT11 ($I_{Э11} = 0,7\text{мА}$). Но у VT15 расщепленные коллекторы, между которыми ток делится поровну. Резистор R7 обеспечивает отрицательную обратную связь по току во втором каскаде. С помощью конденсатора C1 в нем осуществляется коррекция с использованием эффекта Миллера.

С выхода этого каскада напряжение поступает на базу двухэмиттерного транзистора VT19, регулирующего работу выходного эмиттерного повторителя на транзисторах VT21, VT24. Изменение напряжения на базе VT19 либо шунтируется через схему сдвига (VT17, VT18) выходной транзистор VT21, отбирая у него базовый ток, открывая в тоже время транзистор VT24 и наоборот. Выходные эмиттерные повторители работают в режиме АВ, схема сдвига, являясь двухполюсником с отрицательным температурным коэффициентом, обеспечивает термостабильное смещение транзисторов VT24, VT21. Через цепь $+U_{\text{ИП}}$, эмиттер VT15, его верхний (по схеме) коллектор, цепь сдвига, верхний (по схеме) эмиттер VT19, его коллектор, $-U_{\text{ИП}}$. Сигнал с выхода второго каскада поступает на выходные эмиттерные повторители через эмиттерный повторитель на VT19. Его динамическая нагрузка — схема сдвига, выполнена в виде ГСТ, обладает большим дифференциальным для сигнала и малым сопротивлением по постоянному току. Схема сдвига одновременно является коллекторной нагрузкой VT15 (верхний по схеме коллектор).

Транзисторы VT22, VT23 образуют схему защиты от короткого замыкания выхода. Они открываются падением напряжения на резисторах R9, R10, если импульс выходного тока превысил 25 мА. Их точки коллекторов «отбирают» при этом токи баз VT21, VT24.

Транзистор VT14 и цепь второго эмиттера VT19 предназначены для защиты выходного каскада от насыщения при больших входных сигналах. В таком режиме их сопротивление коллектор-эмиттер резко снижается и происходит шунтирование нагрузки дифференциального

каскада, а, следовательно, уменьшение его коэффициента усиления. Исходное смещение и открывающее напряжение при перегрузке входа на транзисторе VT14 снимается с температурно-зависимого сопротивления VT20 (в диодном включении), R11, являющегося коллекторной нагрузкой транзистора VT23 — защиты VT24 от короткого замыкания выхода.

Усилитель K140УД7 является аналогом схемы μ A741, разработанной фирмой Fairchild (США) в 1968 году.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить лабораторную установку к выполнению работы, с этой целью соединить НЧ разъем с НЧ кабелем.

2. Снять амплитудно-частотную характеристику ОУ (см. рис. 2.2) для этого:

а) переключатель «Опыт» на лицевой панели поставить в положение «1»;

б) потенциометр $R_{н1}$ поставить в среднее положение;

в) на выходе генератора звуковой частоты установить сигнал напряжением 0.2В с частотой 1 кГц;

Внимание: напряжение на выходе генератора звуковой частоты измерять вольтметром переменного тока;

г) подключить выход генератора звуковой частоты к клеммам «ВХОД» макета;

д) к клеммам «ВЫХОД» подключить осциллограф;

е) потенциометром $R_{см1}$ установить напряжение синусоидальной формы. Форму выходного напряжения контролировать по осциллографу; определить величину $U_{вхМАХ}$, допускающую усиление сигнала без искажения. $R_{н1}$ — в крайнем правом положении;

ж) изменяя частоту генератора звуковой частоты ($F=20, 200, 500$ Гц; 1, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200 кГц) измерить напряжение на выходе ОУ вольтметром, подключенным вместо осциллографа к клеммам «ВЫХОД».

При измерении частот звукового генератора напряжение на его выходе поддерживать постоянным !!!

По результатам опыта построить АЧХ.

3. Измерить входное сопротивление ОУ (см. рис. 2.3), для этого:

а) переключатель «ОПЫТ» поставить в положение «2»;

б) к клеммам «ВХОД» подключить генератор звуковой частоты, на его выходе установить сигнал $U_{вх1}$ напряжением 0,2 В, частотой 1кГц;

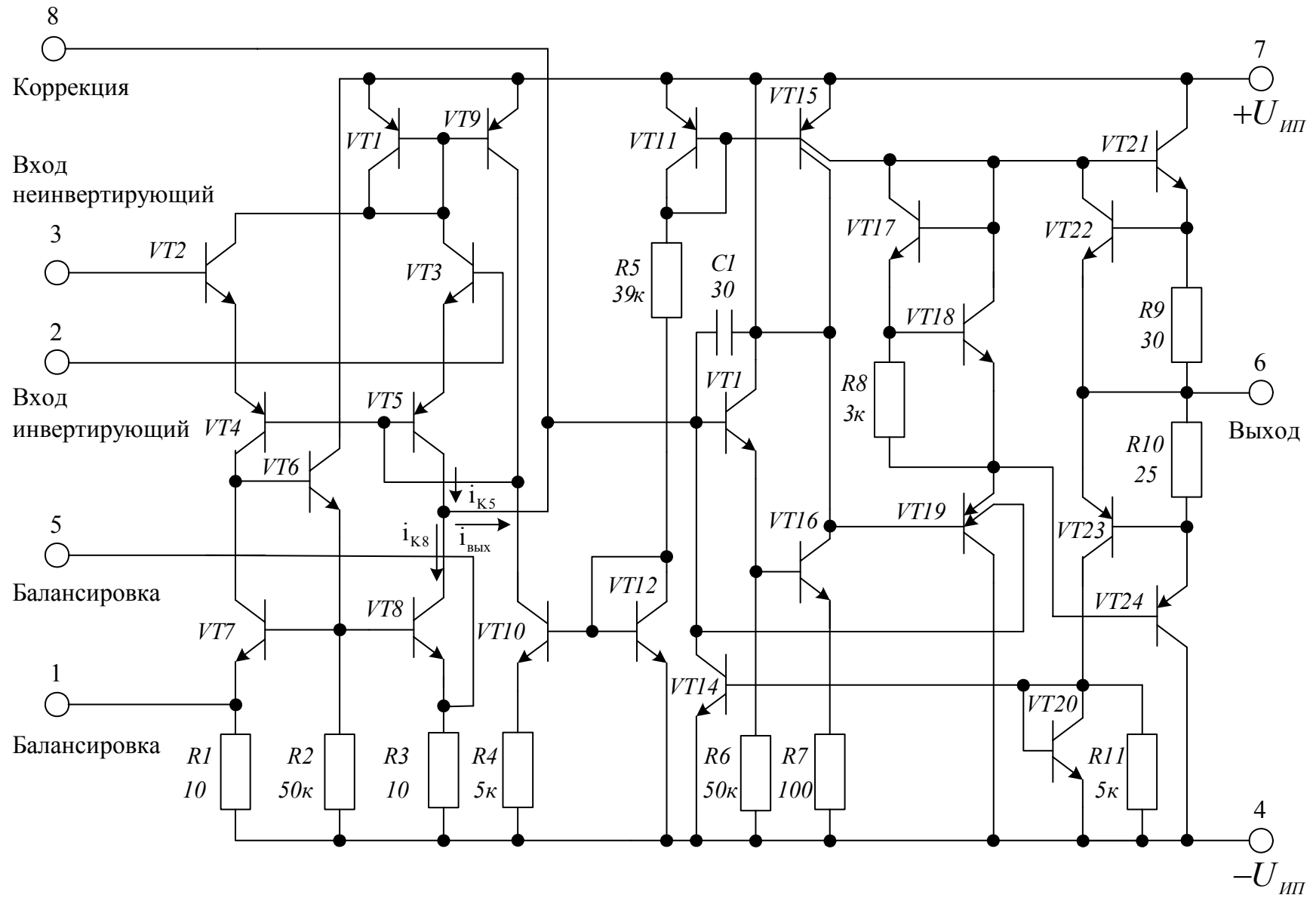


Рис.1 Схема электрическая принципиальная микросхемы К140УД7

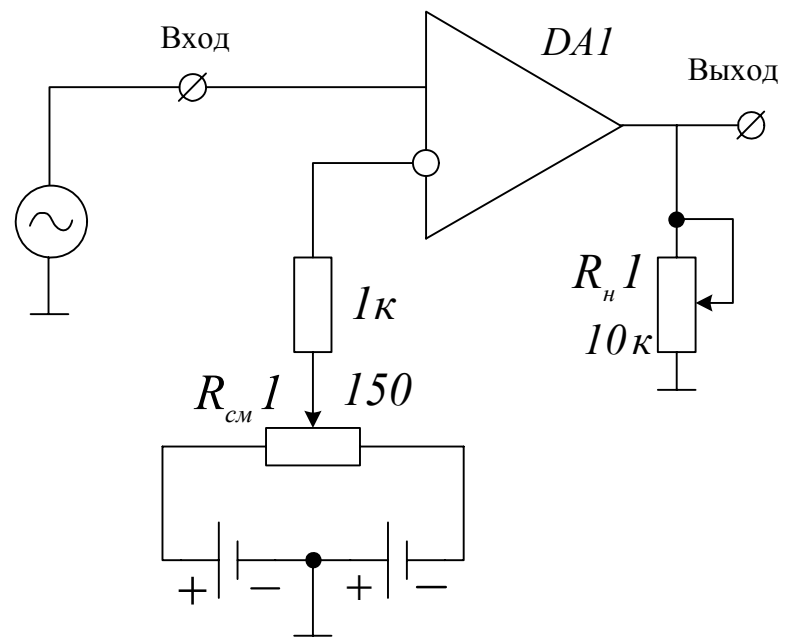


Рис.2 Схема снятия АЧХ ОУ

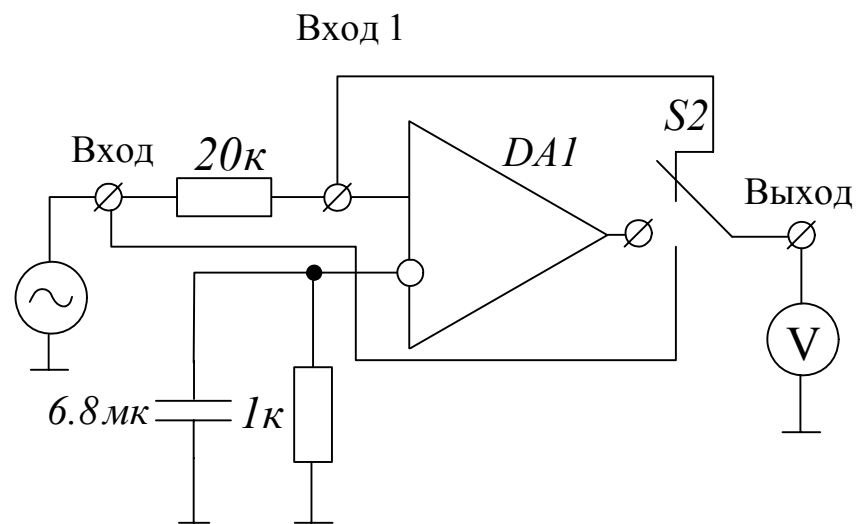


Рис.3 Схема измерения входного сопротивления ОУ

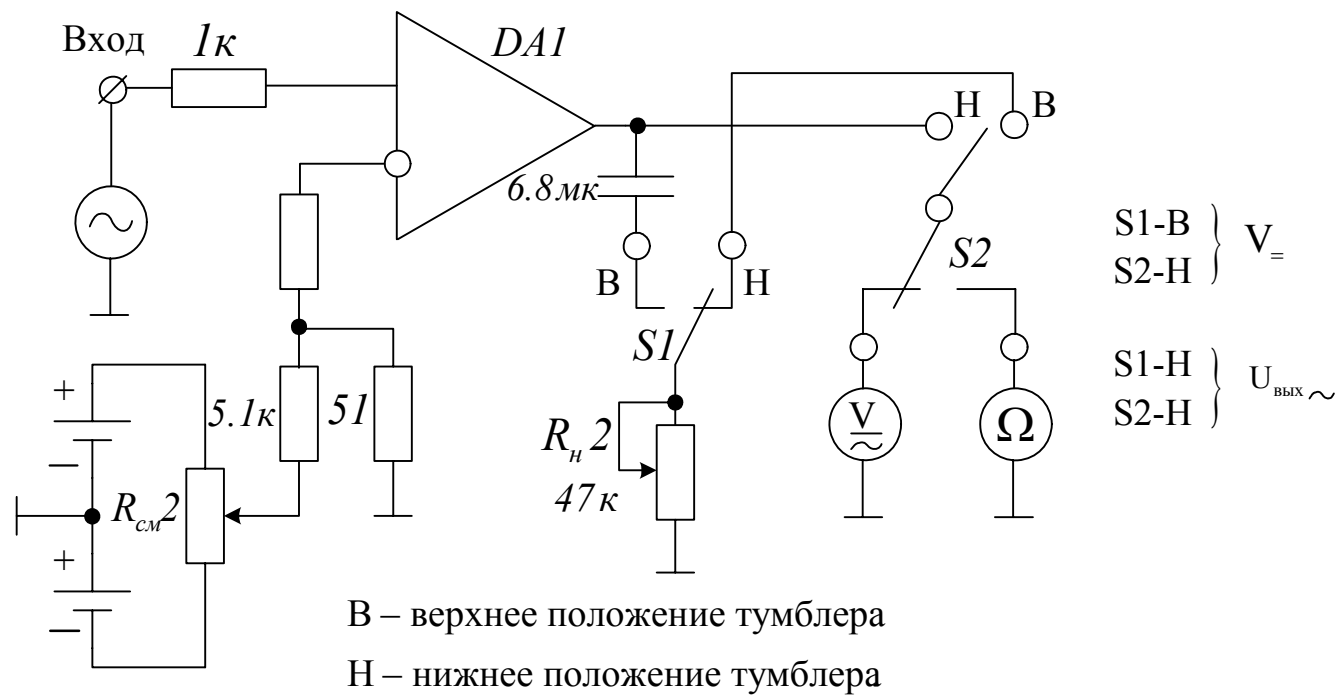


Рис.4 Схема измерения выходного сопротивления ОУ

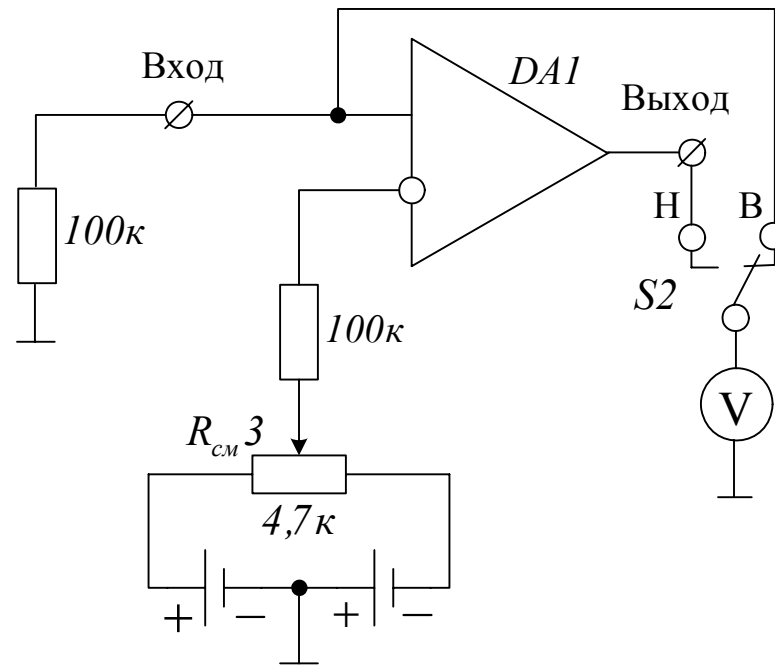


Рис.5 Схема измерения входного тока ОУ

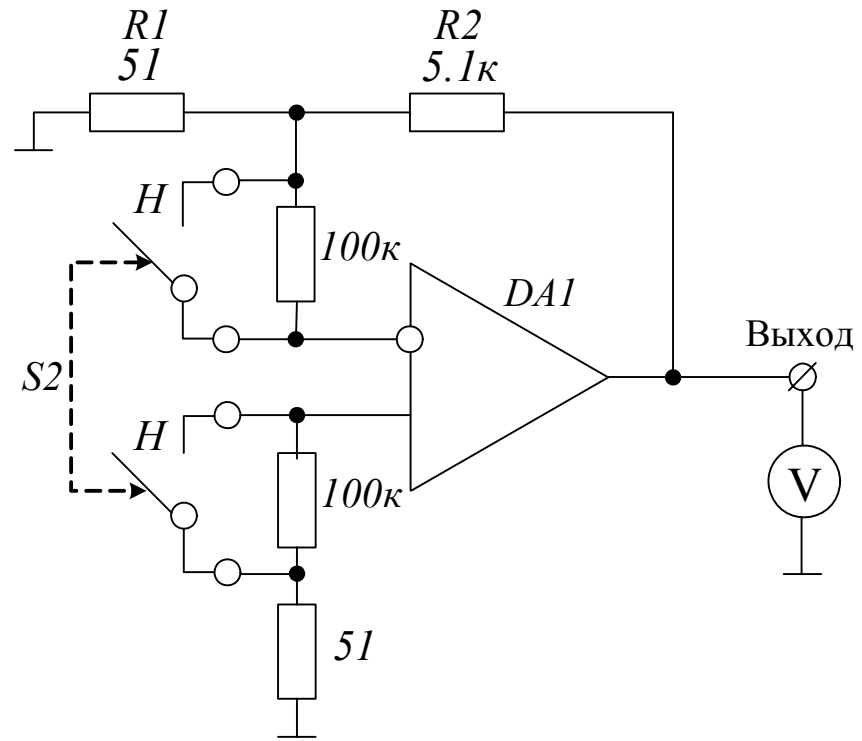


Рис.6 Схема измерения напряжения смещения и тока ОУ

- в) к клеммам «ВЫХОД» подключить вольтметр переменного тока;
- г) тумблер «S2» поставить в верхнее положение и записать значение $U_{\text{вх}2}$;
- д) вычислить значение полного входного сопротивления по формуле

$$Z_{\text{вх}} = \frac{20000}{\left(\frac{U_{\text{вх}1}}{U_{\text{вх}2}} \right)^2 - 1}, \text{ Ом.}$$

4. Измерить выходное сопротивление усилителя (см. рис. 2.4), для этого:

- а) переключатель «ОПЫТ» поставить в положение «3»;
- б) к клеммам «ВХОД» подключить генератор звуковой частоты, на выходе которого установить сигнал напряжением 0,2В, частотой 1кГц;
- в) к клеммам «ВЫХОД» подключить вольтметр;
- г) тумблер «S1» поставить в верхнее положение, тумблер «S2» - в нижнее;
- д) установить потенциометром $R_{\text{см}2}$ значение ПОСТОЯННОГО выходного напряжения, равное 0,1В;
- е) тумблером «S1» поставить в нижнее положение, записать показанное вольтметром значение ПЕРЕМЕННОГО напряжения $U_{\text{вых}1}$;
- ж) тумблер «S1» поставить в верхнее положение, потенциометром $R_{\text{н}2}$ по вольтметру ПЕРЕМЕННОГО тока установить значение напряжения, равное половине $U_{\text{вых}1}$;
- з) тумблер «S1» поставить в нижнее положение, тумблер «S2» - в верхнее положение;
- и) к клеммам «ВЫХОД» подключить омметр и записать значение $R_{\text{вых}}$.

5. Измерить входной ток ОУ (см. рис. 2.5), для этого:

- а) переключатель «ОПЫТ» поставить, в положение «4»;
- б) к клеммам «ВЫХОД» подключить вольтметр постоянного тока;
- в) тумблер «S2» поставить в нижнее положение;
- г) потенциометром $R_{\text{см}3}$ установить на выходе напряжение, равное нулю;
- д) тумблер «S2» поставить в верхнее положение и записать значение $U_{\text{вх}}$;
- е) вычислить значение входного тока по формуле:

$$I_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{100 \cdot 10^3}.$$

6. Измерить напряжение смещения и ток смещения (см. рис. 2.6), для этого:

- а) переключатель «ОПЫТ» поставить в положение «5»;
- б) к клеммам «ВЫХОД» подключить вольтметр ПОСТОЯННОГО ТОКА;

* При этом ОУ будет обеспечивать максимальную мощность: $P_{\text{вых}} = U_{\text{вых}1}^2 / 2R_{\text{н}}$ (условие оптимальной передачи мощности от источника к нагрузке)

- в) тумблер «S2» поставить в нижнее положение и записать показания вольтметра E1;
 г) тумблер «S2» поставить в верхнее положение и записать показание вольтметра E2;
 д) вычислить напряжение смещения $U_{см}$ по формуле:

$$U_{см} = \frac{E1}{R2/R1} = \frac{E1}{K_{U_{иоу}}},$$

где $R1 = 51 \text{ Ом}$, $R2 = 5.1 \text{ кОм}$.

- е) вычислить ток смещения по формуле:

$$I_{см} = \frac{E2 - E1}{R3(1 + R2/R1)},$$

где $K_{U_{иоу}} = 1 + R2/R1$, $R3 = 100 \cdot 10^3 \text{ Ом}$.

Содержание отчета

1. Схемы для снятия АЧХ и основных параметров ОУ.
2. График согласно п.2.
3. Таблицы измерений и вычислений, выполненные согласно п. 2-6.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные характеристики и параметры УПТ.
2. Дайте сравнительную характеристику УПТ прямого усиления и УПТ с преобразованием.
3. Охарактеризуйте работу балансного УПТ.
4. Приведите схему дифференциального УПТ и укажите основные особенности работы ДУ.
5. Приведите электрическую схему генератора стабильного тока, укажите области применения ГСТ.
6. Укажите основные различия между ДУ на биполярных и полевых транзисторах.
7. Назовите характеристики и параметры идеального операционного усилителя.
8. Изобразите варианты типовых схем ОУ.
9. Укажите причины, приводящие к появлению частотной зависимости коэффициента усиления ОУ
10. Изобразите частотные и фазовые характеристики ОУ, каковы их особенности?

11. Укажите условия, выполнения которых приводит к возбуждению ОУ, условия устойчивости ОУ с ООС.
12. Перечислите методы частотной коррекции в ОУ и кратко опишите каждый из них.
13. Проанализируйте по составленной вами схеме усилительные свойства инвертирующего и неинвертирующего ОУ.
14. Объясните методику экспериментального определения входного и выходного сопротивления ОУ.

Литература

1. *Агаханян Т.М.* Интегральные микросхемы: Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1993 - С. 156-200.
2. *Горошков Б.И.* Радиоэлектронные устройства: Справочник. — М.: Радио и связь, 1984. - С. 20-21, С. 103-106.
3. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника: Справ. руководство/Пер. с нем . - М.: Спр., 1982. - С. 67-90.
4. *Щербаков В.И., Гроздов Г.И.* Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. - Киев: Техника, 1983. - С. 3-19.
5. *Фолкенберри Л.* Применение операционных усилителей и линейных ИС/ Пер. с англ. — Мир, 1995 - С. 9-106.

Лабораторная работа № 3

Исследование активных фильтров на операционных усилителях

Цель работы: снятие амплитудно-частотных характеристик активных фильтров.

Описание лабораторного макета

Электрическая схема лабораторной установки расположена в корпусе, на задней стенке которого расположен НЧ разъем для подключения НЧ кабеля источника питания. На лицевой панели макета показаны принципиальные схемы полосового фильтра, фильтров нижних и верхних частот размещены клеммы для подключения генератора звуковой частоты и лампового вольтметра.

В данной лабораторной работе исследуются активные фильтры, выполненные на операционном усилителе типа К140УД7, описанного в предыдущей работе.

Порядок расчета активных фильтров

Для каждого типа фильтров определить коэффициент усиления и частоту среза (для ПФ – резонансную частоту). Номиналы резисторов и конденсаторов выбрать согласно положению переключателя. Положение переключателя соответствует номеру бригады. Номиналы резисторов и конденсаторов приведены в таблице 1.

Расчет K_0 и f_{cp} определить в следующем порядке:

Фильтр нижних частот

- коэффициент усиления:

$$K_0 = \frac{R_2}{R_1};$$

- частота среза:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2(R_i \parallel R_6) \cdot C_1 \cdot C_i}} \cdot (*)$$

* индекс "i" при R_i C_i соответствует положению переключателя SA1 – номеру бригады

Фильтр верхних частот

- коэффициент усиления:

$$K_o = \frac{C1}{C2};$$

- частота среза:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1 \cdot (Ri \parallel R5) \cdot (C2 \parallel Ci) \cdot C5}}.$$

Полосовой фильтр

- коэффициент усиления:

$$K_o = -\frac{Ri \parallel R6}{R1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Ci \parallel C1}{C4}};$$

- резонансная частота:

$$f = \sqrt{\frac{1}{(Ri \parallel R6) \cdot C4 \cdot (C1 \parallel Ci) \cdot \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}\right)}}.$$

таблица 1

Тип фильтра	ПФ	ФВЧ	ФНЧ
R1	10К	9,1К	10К
R2	10К	6,8К	220К
R3	150К	10К	2,4К
R4	300К	47К	4,3К
R5	680К	47К	10К
R6	470К	1К	22К
R7	1К	1К	1К
R8	1К	–	1К
C1	1Н	6,8Н	4,7Н
C2	1,3Н	4,7Н	0,3Н
C3	3,3Н	4,7Н	0,3Н
C4	1Н	22Н	1Н
C5	–	1Н	–

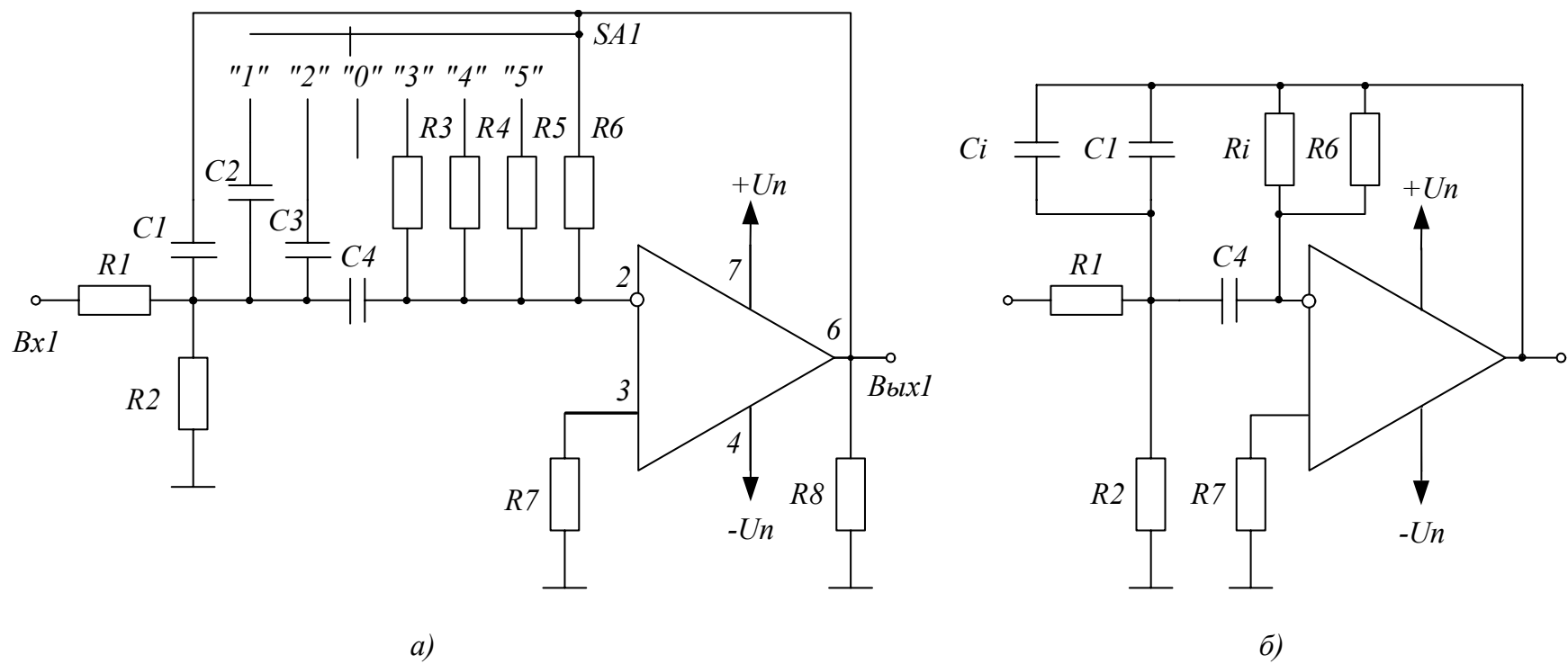
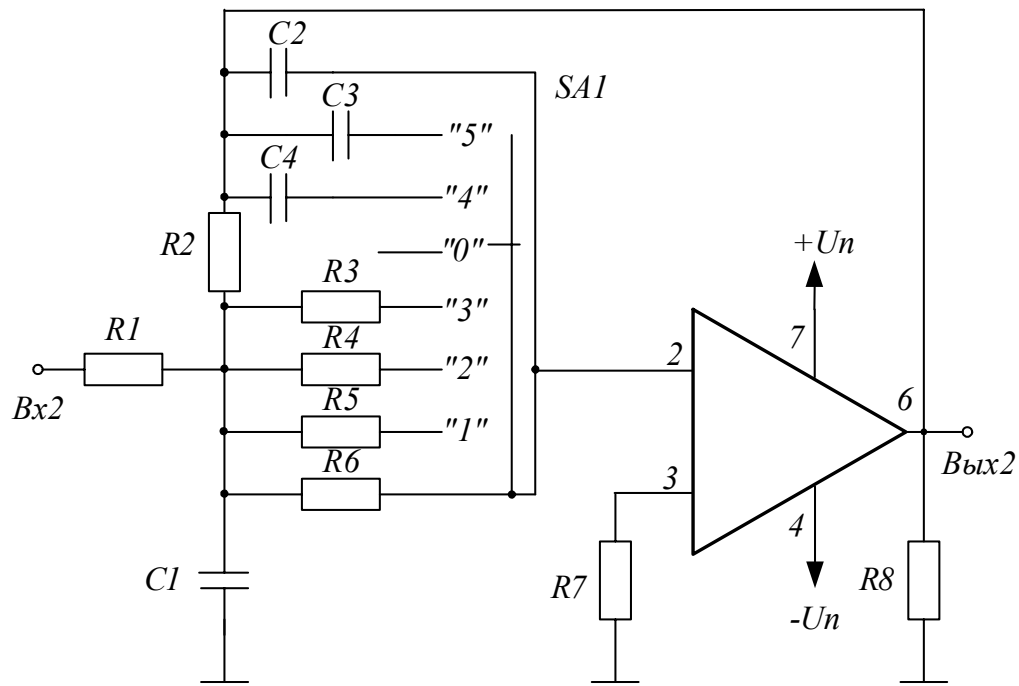
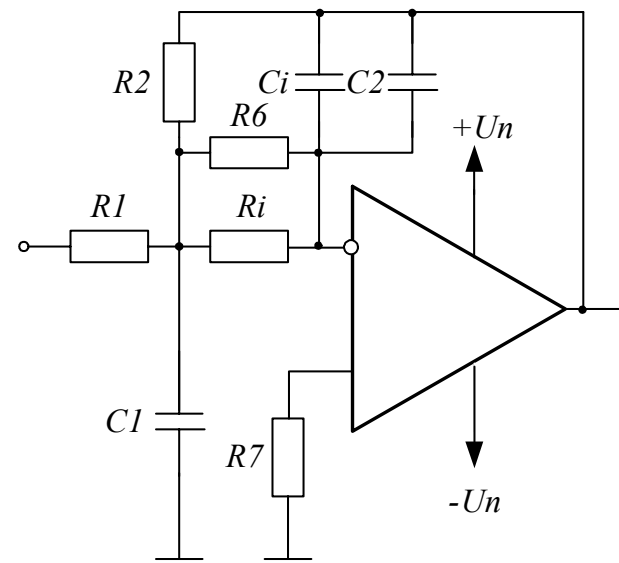


Рис.1 Схема электрическая принципиальная полосового фильтра
 а) схема лабораторного макета;
 б) обобщенная схема.



а)



б)

Рис.2 Схема электрическая принципиальная фильтра нижних частот

а) схема лабораторного макета;

б) обобщенная схема.

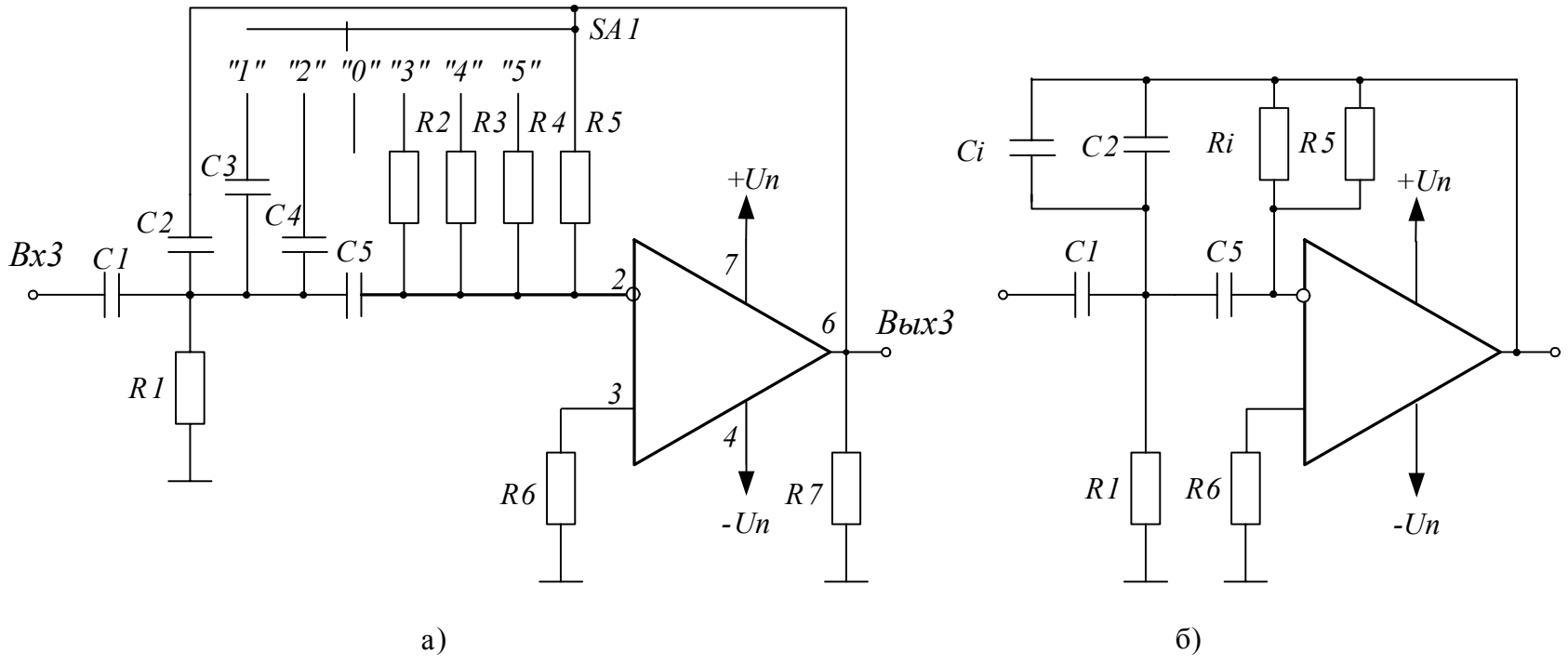


Рис.3 Схема электрическая принципиальная фильтра верхних частот
 а) схема лабораторного макета;
 б) обобщенная схема.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторным макетом, изучить принципиальные схемы полосового фильтра, фильтров нижних и верхних частот (*).
2. Исследовать амплитудно-частотную характеристику полосового фильтра (рис. 1) для расчетного варианта:
 - а) на клеммы “вх.1–общ.” подать сигнал с генератора звуковой частоты с амплитудой $U_{вх}=0,2в$; напряжение на выходе генератора звуковой частоты измерять ламповым вольтметром;
 - б) определить резонансную частоту полосового фильтра по максимальному показанию вольтметра, подключенного к клеммам “вх.1–общ.”;
 - в) определить полосу пропускания фильтра, изменяя частоту генератора в обе стороны – от резонансной до значений $U_{вых}=0,707U_{вых1max}$; $U_{вых1}=0,1U_{вых1max}$;
 - г) измерить напряжение на выходе фильтра для четырех – пяти значений частот, при которых $U_{вых}$ изменяется от $0,707U_{вых1max}$ до $0,1U_{вых1max}$;
 - д) повторить пп. 2 а,б,г,д для двух других положений переключателя S1.
3. Исследовать амплитудно-частотную характеристику фильтра нижних частот (рис. 2) для расчетного варианта:
 - а) на клеммы “вх.2–общ.” подать сигнал от генератора $U_{вх2}=0,2В$ напряжение измерить вольтметром подключенным к клеммам “вх.2–общ.” для следующих частот генератора: 30, 100, 200, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 Гц;
 - б) повторить п.3а для двух других положений переключателя.
4. Исследовать амплитудно-частотную характеристику фильтра верхних частот (рис. 3) для расчетного варианта:
 - а) на клеммы “вх.3–общ.” подать сигнал от генератора $U_{вх3}=0,2в$. Измерить напряжение вольтметром, подключенным к клеммам “вх.3–общ.” для следующих частот генератора: 200, 150, 100, 80, 60, 40, 20, 15, 10, 8, 6, 4 ,2 кГц.
 - б) повторить пункт 4а для двух других положений переключателя.

Содержание отчета

1. Структурные схемы выполненных измерений.

* переключателем SA1 установить номер расчетного варианта (номер бригады)

2. Расчет фильтров.
3. Электрические принципиальные схемы фильтров.
4. Таблицы и графики, выполненные согласно пп. 2 – 4.
5. Выводы к работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение и классификацию активных фильтров.
2. В чем различие фильтров Баттерворта, Чебышева, Бесселя?
3. Изобразите схемы ФНЧ (интегратора) и запишите выражение его передаточной характеристики.
4. В чем состоит основная трудность реализации ФВЧ?
5. Как влияет увеличение порядка фильтра на его АЧХ?
6. Какие требования предъявляются к ОУ, используемым в активных фильтрах?
7. Изобразите схему АФ с мостом Вина и поясните его принцип действия .
8. Изобразите схему АФ с двойным Т-мостом и поясните его принцип действия.
9. Перечислите варианты реализации активных селективных устройств.
10. Опишите принципы построения и использования в селективных цепях распределенных РС-структур.

Литература

Джонсон Дж., Мур. Г. Справочник по активным фильтрам. – М.: Энергия, 1993, с. 5 – 38

Лабораторная работа № 4

Исследование стабильности частоты транзисторного автогенератора

Цель работы

1. Изучить влияние питающего напряжения, количественно оценить режимную нестабильность частоты LC-автогенератора и автогенератора с кварцевой стабилизацией частоты.
2. Изучить влияние температуры и количественно оценить температурную нестабильность частоты кварцевого автогенератора.

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет предназначен для исследования стабильности частоты автогенератора с колебательной системой в виде LC-контура и кварцевого резонатора.

Макет состоит из платы, на которой выполнена электрическая схема, и корпуса, на лицевой панели которого установлены:

- ручки F_r — регулировка частоты LC-контура, E_k — регулировка напряжения коллекторного питания;
- тумблеры "LC-ZQ" — переключение колебательной системы автогенератора LC-контур - кварц;
- переключатель температуры термостата "ТС" на пять положений: 45, 50, 55, 60, 65;
- индикаторные лампочки: Н2 – включение колебательной LC- системы автогенератора, Н3 – включение колебательной системы автогенератора, Н1 – включение термостата;
- измерительный прибор, контролирующий значение коллекторного тока или напряжения коллекторного питания автогенератора.

На боковой стенке корпуса размещены:

- низкочастотный разъем для подключения кабеля питания макета ($E=15B$);
- высокочастотный разъем "Выход" для подключения кабеля, соединяющего выход макета со счетным кодом частотомера, осциллографа, вольтметра;
- вилка включения в сеть 220В.

К макету прилагаются:

- низкочастотный кабель питания с низкочастотными разъемами;
- низкочастотный кабель, соединяющий вход макета со входом частотомера.

Электрическая принципиальная схема приведена на рис.1.

Автогенератор (рис.1) является основной частью лабораторного макета. Его активная часть выполнена на транзисторе VT2 по схеме с общим коллектором, а колебательная система, подключенная к активной части тремя точками, собрана по схеме емкостной трехточки.

Коэффициент обратной связи, необходимый для самовозбуждения автогенератора, определяли отношением емкостей C4, C6.

Известно, что в трехточечной схеме при достаточной обратной связи ее самовозбуждение происходит на частоте, при которой сумма трех активных сопротивлений общего контура равна нулю. Для емкостной трехточечной схемы сопротивление коллектор-база должно быть больше нуля, т.е. иметь индуктивный характер. В исследуемом автогенераторе в зависимости от положения переключателя K2 ("LC-Z") возможны два режима работы автогенератора:

- в качестве сопротивления, включенного между коллектором-базой, используется колебательный контур, имеющий на частоте автогенерации индуктивный характер (переключатель K2 в положении "LC"). Колебательный контур образован индуктивностью L1, емкостями C1, C2 и емкостью варикапа VD1. С помощью потенциометра R19 изменяют напряжение, подаваемое на варикап, что приводит к изменению его емкости. Это вызывает изменение частоты, на которой выполняется условие баланса фаз. Ручка потенциометра R19 выведена на переднюю панель F_T;
- в качестве сопротивления коллектор-база используется кварцевый резонатор (переключатель K2 в положение "Z"), имеющий индуктивный характер сопротивления в межрезонансном промежутке.

Для исследования влияния на кварцевый резонатор температуры, как основного дестабилизирующего фактора, он помещен в термостат, температура которого устанавливается с помощью переключателя "ТС" в интервале 45...65° через 5° и поддерживается с точностью ±1°C. Резистор R1 обеспечивает устранение шунтирующего влияния цепи управления варикапом LC- контура. Резисторы R2, R3, R4 служат для выбора рабочей точки транзистора и обеспечивают мягкий режим самовозбуждения автогенератора. Назначение емкостных элементов схемы: C1- конденсатор связи варикапа с контуром; C3 – разделительный конденсатор; C5 - конденсатор фильтра питающего напряжения; C7 - разделительный конденсатор.

Буферный каскад (рис.1) служит для предотвращения влияния внешних цепей на режим работы автогенератора.

Буферный каскад является двухкаскадным усилителем с гальванической связью, собранный на транзисторах VT3, VT4. Резисторы R5...R10 служат для выбора рабочих точек транзисторов VT3 и VT4. Оба транзистора охвачены глубокой отрицательной обратной связью

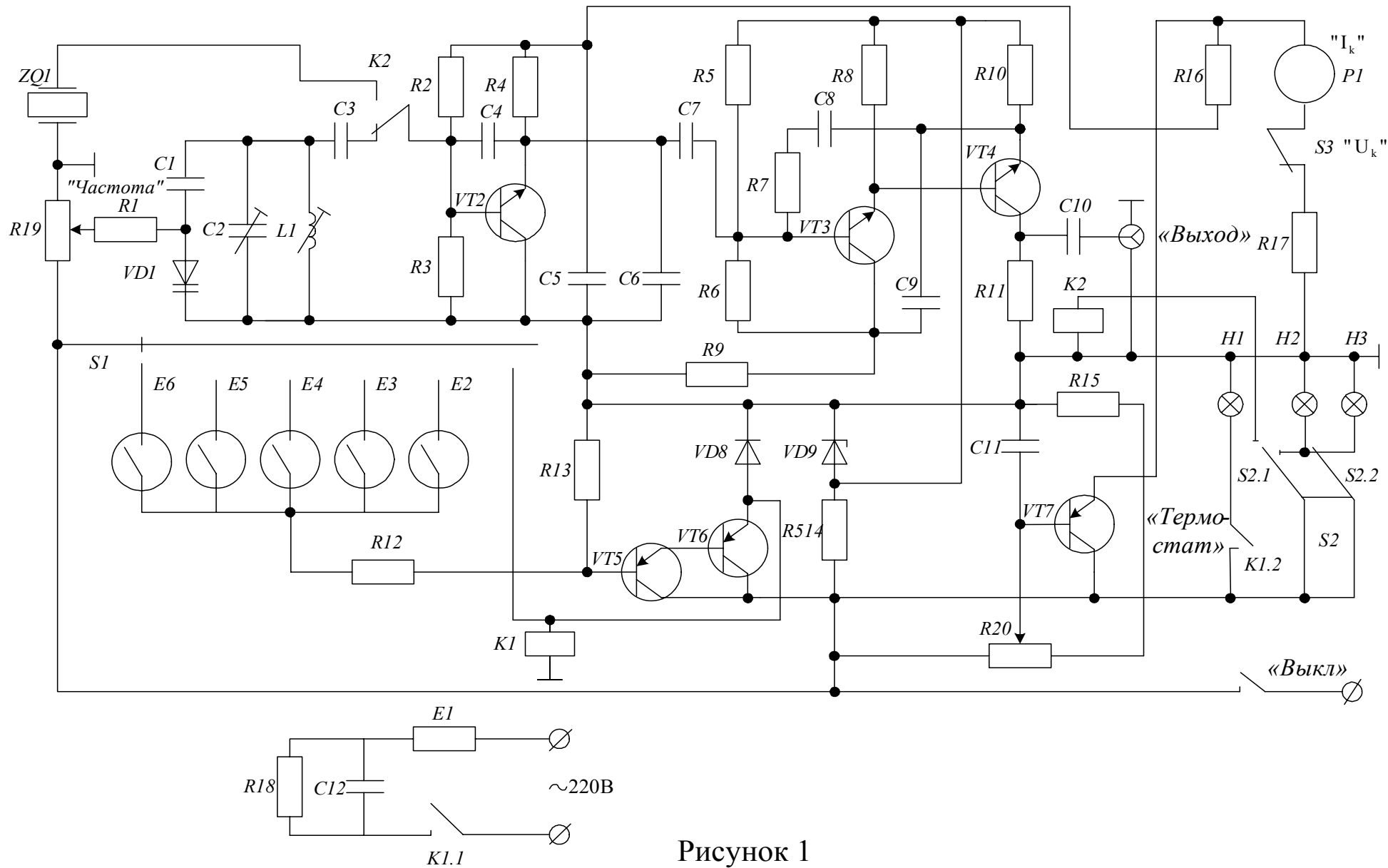


Рисунок 1

(ООС) по переменному току.. Конденсаторы С8, С9 — элементы отрицательной обратной связи по переменному току. Выходной сигнал с резистора R11 через конденсатор С10 поступает в высокочастотный разъем, размещенный задней стенке корпуса.

Термостат предназначен для нагрева кварцевого резонатора и поддержания дискретных значений температуры 45, 50, 55, 60, 65 с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

Термостат состоит из нагревательного элемента Е1, выполненного на резисторе ПЭВ-50. С одной стороны нагревателя внутрь его вставлены ртутные термоконтакты Е2...Е6, с другой стороны – кварцевый резонатор ZQ1. Нагреватель питается от сети 220В.

Ртутные термоконтакты Е2...Е6 являются температурными датчики, каждый на заданную температуру. При установке переключателя “ТС”, в положение, соответствующее заданной температуре, замыкаются контакты одного из термоконтактов Е2...Е6. На базу усилителя, собранного по схеме составного эмиттерного повторителя на транзисторах VT5, VT6, поступает отпирающее напряжение. При достижении заданной температуры реле К1 срабатывает и размыкает своими контактами К1.1 цепь питания нагревателя, что приводит к остыванию нагревателя. При этом термоконтакт размыкается, реле К1 обесточивается, замыкая цепь питания нагревателя и процесс повторяется. Таким образом, поддерживается постоянная температура. В первом положении переключателя S1 обмотка реле К1 непосредственно подключена к источнику питания, обеспечивая отключение термостата.

Параллельно обмотке реле К1 включен диод VD8 для предотвращения «дребезга» контакта. Индикатором работы термостата является лампочка Н1.

Источник питания предназначен для подачи питающих напряжений на автогенератор и буферный каскад. Напряжение питания буферного каскада стабилизировано стабилитроном VD9. Напряжение питания на автогенераторе можно изменять с помощью потенциометра R20. Напряжение с R20 через эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе VT7, подается на эмиттер транзистора VT2. Измерительным прибором Р1 в зависимости от положения переключателя S3 " I_k - U_k " контролируется значение коллекторного тока или напряжения питания автогенератора.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться со схемами лабораторного макета, органами регулировки и контроля.
2. Включить тумблером "Сеть" частотомер для прогрева. Установить режим измерения частоты и автоматического запуска частотомера.
3. Подготовить лабораторную установку к работе. Для этого необходимо:
 - низкочастотным (НЧ) кабелем соединить НЧ разъемы на макете и

стенке лабораторного стола;

- ВЧ кабелем соединить выход макета со входом А частотомера, установив режим счета частоты f_a со временем измерения 1с (измерения частоты с точностью 1 Гц);
- установить тумблер " ZQ-LC " в положение "LC";
- установить тумблер " $I_k - U_k$ " в положение " U_k ";
- потенциометр "ФГ" поставить в среднее положение;
- переключатель "ТС" поставить в положение "Выкл";
- (вилку 220В в сеть не включать !!!).

4. Проверить работоспособность лабораторного макета, для чего:

- включить питание тумблером "Вкл-Выкл", при этом должна загореться индикаторная лампочка Н2;
- установить регулятор " U_k " в крайнее правое положение;
- убедиться в том, что напряжение питания подведено к макету и равно 15В, чему соответствует максимальное отклонение стрелки индикаторной головки.

5. Снять исходные данные для оценки режимной нестабильности LC – автогенератора:

- снять 10 показаний частотомера при дискретных значениях U_k , которое изменяется с шагом 1В от 15В до 7В и занести результаты в таблицу 1.

6. Снять исходные данные да оценки режимной нестабильности автогенератора:

- установить тумблер "ZQ-LC" в положение "ZQ", при этом должна загореться сигнальная лампочка Н3;
- установить режим счета частоты f_a частотомера со временем измерения 10с (измерения частоты с точностью 0,1 Гц);
- снять 10 показаний частотомера при дискретных значениях U_k , которое изменяется с шагом 1В от 15В до 7В и занести результаты в таблицу 1, аналогичную предыдущей.

7. Снять исходные данные для оценки температурной нестабильности кварцевого генератора:

- вилку "220В" включить в сеть;
- регулятором " U_k " установить напряжение $U_k=11В$;
- тумблер "ТС" поставить в положение "45°C", при этом загорается сигнальная лампочка Н1, что свидетельствует о включении термометра;
- повторить измерения при температурах 50, 55, 65°C. Переключая тумблер "ТС" и занести результаты в таблицу 2.

Таблица 1

Тип автогенератора:									
$U_k, В$ $F_i, Гц$	15	14	13	12	11	10	9	8	7
f1									
f2									
f3									
f4									
f5									
f6									
f7									
f8									
f9									
f10									
\bar{f}									
ε									
σ									

Таблица 2

$T, ^\circ C$					
$F, Гц$					
Δf_T					
$(\Delta f/f)_T$					
σ_T					

Обработка результатов экспериментальных данных

1. Для каждого значения U_k из таблиц 1, 2, содержащих экспериментальные данные по LC и кварцевому автогенератору, определить:

- среднее значение частоты:

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n},$$

где n — число показаний частотомера;

- относительное отклонение частоты:

$$\varepsilon_i = \frac{f_i - \bar{f}}{f_H},$$

где f_H — номинальное значение частоты (в качестве f_H взять среднее значение частоты f при $U_k=11В$);

- относительную вариацию частоты:

$$\sigma_{oi} = \frac{f_{i+1} - f_i}{f_H}.$$

- среднюю относительную вариацию частоты:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{oi}}{n-1} = \frac{f_n - f_1}{(n-1)f_H}.$$

- среднеквадратичную относительную случайную вариацию частоты:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_{oi} - \varepsilon)^2}}{n-1}.$$

2. По данным таблицы определить:

- абсолютную температурную нестабильность частоты кварцевого автогенератора в диапазоне температур 45...60°C

$$\Delta f_T = |f_{45^\circ} - f_{65^\circ}|;$$

- относительную температурную нестабильность частоты:

$$\sigma_T = \frac{\Delta f_T}{f_H \Delta T},$$

где $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$.

Содержание отчета

1. Заполненный титульный лист.
2. Схема принципиальная электрическая лабораторного макета

3. Выборки показаний частоты, расчет \bar{f} , ε_i , σ_{oi} , ε и σ для LC и кварцевого автогенератора.
4. Графики зависимостей $\bar{f} = \bar{f}(U_K)$ для LC и кварцевого автогенератора.
5. Графики зависимостей $f_{KB} = f_{KB}(T, ^\circ C)$ для кварцевого автогенератора.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к автогенераторам.
2. Объясните принцип действия, назначение элементов автогенератора, исследуемого в лабораторной работе.
3. Назовите основные факторы, вызывающие нестабильность частоты автогенераторов.
4. Какие виды нестабильности частоты вы знаете?
5. Меры борьбы с влиянием температуры на частоту автогенераторов.
6. Каковы свойства пьезокварца?
7. Опишите эквивалентную схему пьезокварца.
8. Каково назначение буферного каскада, применяемого в лабораторной работе?
9. Охарактеризуйте основные особенности автогенераторов на транзисторах.
10. Изобразите реальные схемы различных трехточечных схем автогенераторов.
11. Изобразите реальные схемы автогенераторов с использованием пьезокварца.

Литература

1. Радиопередающие устройства/Под ред. М.В.Благовещенского, Г.М.Уткина. — М.: Радио и связь, 1982. — стр. 135 - 176.
2. ГОСТ 15855 - 77. Измерение времени и частоты.- Введ. В 1979 г.

Лабораторная работа № 5

Исследование модуля УПЧЗ телевизионного приемника «Электроника – 404Д»

Цель работы

1. Изучить преобразование телевизионного сигнала, осуществляемое модулем усилителя промежуточной частоты звука (УПЧЗ), его электрическую принципиальную схему и конструкцию.

Закрепить изученный ранее материал разделов «Дифференциальные усилители» и «Генераторы стабильного тока» в процессе анализа структуры микросхемы К174УР1 и частотного детектирования ЧМ – сигнала, выполняемого ею.

2. Снять основные характеристики модуля.

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет предназначен для исследований реального промышленного устройства.

Макет состоит из исследуемого модуля, имитатора сигнала звукового сопровождения корпуса. На лицевой панели последнего имеется:

- электрическая принципиальная схема исследуемого объекта (верхняя часть схемы);
 - окно для визуального изучения конструкции модуля;
 - клеммы: «Выход» – корпус «⊥», «Вход УНЧ» – корпус «⊥»;
 - тумблер включения питания макета «Вкл. – Выкл.»;
 - кнопка с фиксацией для контроля выхода имитатора сигнала звукового сопровождения и подключения внешнего модулируемого сигнала от звукового генератора П1. В положении П1 «нажат» на клеммах «Выход» снимается сигнал звукового сопровождения, перестраиваемый от 0,6 до 0,7 МГц. В положении П1 «отжат» через клеммы «Вход УНЧ» осуществляется подача на имитатор звукового сопровождения модулирующего напряжения от внешнего генератора звуковой частоты;
 - кнопки с фиксацией задания кодов проверок «1», «2», «4» и таблица «коды проверок».
- Соответствующим набором нажатых и отжатых контрольных клемм исследуемого

модуля к выходным клеммам макета. Например, для подключения клеммы E4 все три кнопки должны быть отжаты (код «0»).

На правой боковой стенке корпуса установлен потенциометр R2 (см. рис. 9) плавной перестройки частоты имитатора сигнала звукового сопровождения «Регулировка f нес.».

На задней боковой стенке корпуса установлен штеккерный разъем подвода к макету напряжения питания +12 В.

Порядок выполнения лабораторной работы

- 1) Подготовить лабораторную установку к выполнению работы. Для этого соединить штеккерный разъем с кабелем питания. Тумблер включения питания поставить в положение «Вкл.»
- 2) Снять АЧХ входной селекционирующей системы УПЧЗ. С этой целью
 - a) установить код проверок «0». При этом клемма E4 будет подключена к клемме «Вых..» макета, переключатель П1 – в положение «НАЖАТ»;
 - b) плавным вращением ручки потенциометра «Регул. f нес.» изменить частоту имитатора сигнала звукового сопровождения. Задать 8-10 частот, контролируя их по частотомеру, подключенную к клеммам «Вход УНЧ», их истинное значение, а помощью милливольтметра – амплитуды напряжений на клемме E4, соответствующие этим частотам;
 - c) построить график снятой АЧХ, сравнить со стандартной (рис. 2) и оценить возможную величину паразитной амплитудной модуляции при девиации частоты ± 50 кГц.
- 3) Определить частоту, соответствующую нулю детекторной характеристики УПЧЗ (рис. 3). Для этого
 - a) установить на выходе ЗГ модулирующее напряжение $U_{\text{мод}}=0.1$ В, частота $F_{\text{мод}}=1$ кГц, переключатель П1 – «отжат», модулирующее напряжение подать на клеммы «Вход УНЧ»;
 - b) установить код проверок «1» для подключения клеммы E11 к выходу макета (клеммы «Вых.») и подключить к нему милливольтметр переменного тока;
 - c) изменяя частоту несущей имитатора звукового сопровождения, плавным вращением в обе стороны от среднего положения ручки потенциометра «Регул. f нес.», зафиксировать её положение, при котором величина протектированного напряжения U_{Ω} максимальна;
 - d) переключатель П1 поставить в положение «НАЖАТ», коды проверок – «0», к клеммам «Вход УНЧ» подключить частотомер. Измерить значение несущей частоты.

- 4) определить ширину линейного участка характеристики частотного детектора УПЧЗ и её крутизну. Для этого
- переключатель П1 поставить в положение «отжат» (ручку «Регул. $f_{\text{нес.}}$ » В дальнейших опытах не трогать!), переключатель кодов проверки в положение «1», к клеммам «Вых.» Подключить осциллограф;
 - изменяя амплитуду модулирующего напряжения $U_{\text{мод}}$ от 0 до 0.5 В., зависимость $U_{\Omega}=\varphi(U_{\text{мод}})$, зафиксировать величину $U_{\text{мод}}$, соответствующее началу появления искажений гармонического сигнала на экране осциллографа;
 - пользуясь градуировочной характеристикой $f_{\text{нес}}$, ($U_{\text{мод}}$) (рис. П11), прилагаемой к каждому макету индивидуально, определить ширину линейного участка детекторной характеристики и её крутизну ($S_{\text{чд}}=U_{\Omega\text{max}}/\Delta f_{\text{max}}$).
- 5) Определить характеристические параметры усиления по низкой частоте: $K_{\text{цн}}$, $f_{\text{срн}}$, $f_{\text{срв}}$. Для этого
- переключатель П1 поставить в положение «отжат», переключатель кодов проверок в положение «1», к клеммам «Вых.» подключить милливольтметр переменного тока, к клеммам «Вход УНЧ» подключить ЗГ, установив значение модулирующей частоты $F_{\text{мод}}=1\text{кГц}$. Изменяя величину $U_{\text{мод1}}$, добиться $U_{\Omega}=U_{\Omega\text{max}}$ В. Зафиксировать величину $U_{\text{мод1}}$;
 - установить коды проверок в положение «2». Измерить амплитуду выходного сигнала УПЧЗ $U_{\text{вых}\Omega}$. Определить коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{цн}}=U_{\text{вых}\Omega}/U_{\Omega}$;
 - вычислить величину $U_{\text{ср}}=0,7\cdot U_{\text{вых}\Omega}$;
 - изменяя частоту ЗГ в обе стороны от 1 кГц и поддерживая постоянной величину $U_{\text{мод1}}$, определить частоты $f_{\text{срн}}$ и $f_{\text{срв}}$, при которых выходной низкочастотный сигнал достигает амплитуды $U_{\text{ср}}$.

Содержание отчета

- Принципиальная схема модуля УПЧЗ.
- Таблицы измерений и графики, выполнения согласно п.п. 2,4, таблицы параметров по п.п. 3,5.
- Выводы по работе

Контрольные вопросы

- Опишите особенности двухконтурной системы с емкостной связью.
- Объясните назначения фазосдвигающего контура в частном детекторе на базе четырехквadrанного аналогового перемножителя.

3. Проанализируйте функциональный состав микросхемы К174УР1.
4. Поясните схемотехнические особенности усилителя-ограничителя в составе микросхемы К174УР1.
5. Изложите принцип действия фазового детектора на базе аналогового перемножителя.
6. Как влияет величина добротности фазосдвигающего контура на крутизну ЧМ–детекторной характеристики, нелинейных искажениях продетектированного сигнала?
7. Какие элементы микросхемы К174УР1 служат нагрузкой аналогового перемножителя?
8. Какие элементы микросхемы К174УР1 задают режим по постоянному току?
9. Почему на микросхему К174УН4А входной сигнал подается через разделительный конденсатор?

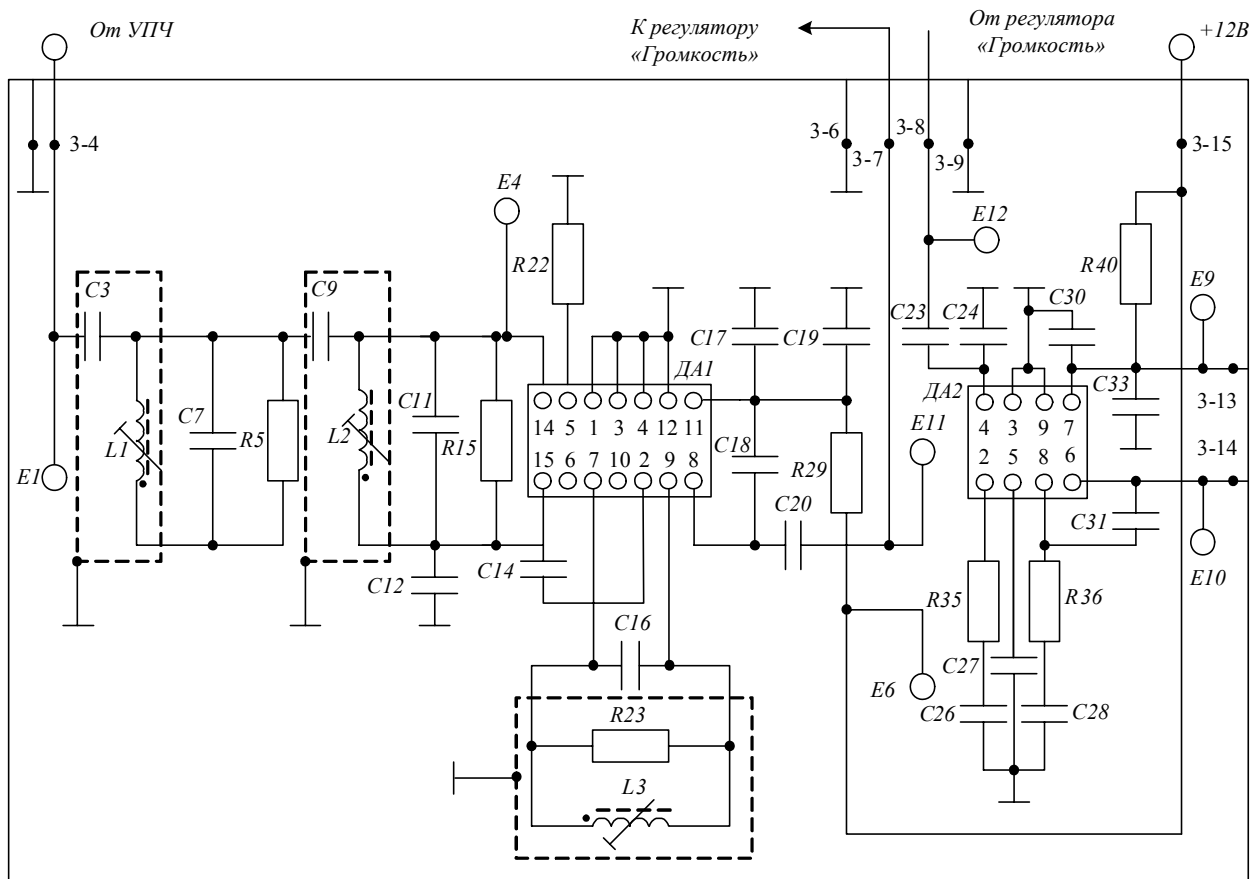


Рис. 1

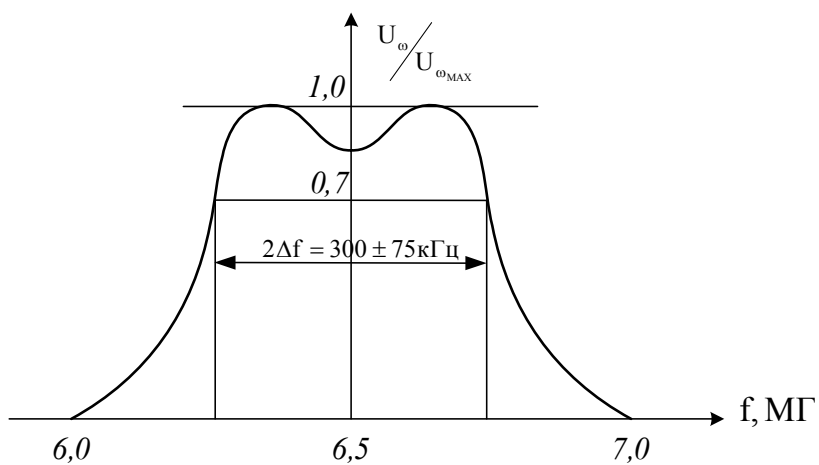


Рис. 2

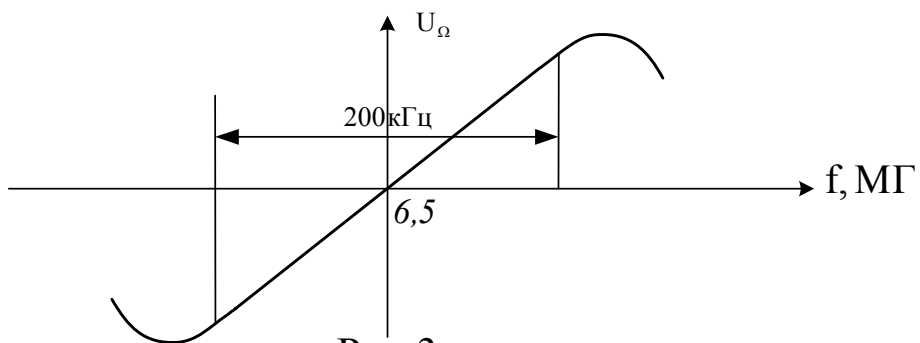


Рис. 3

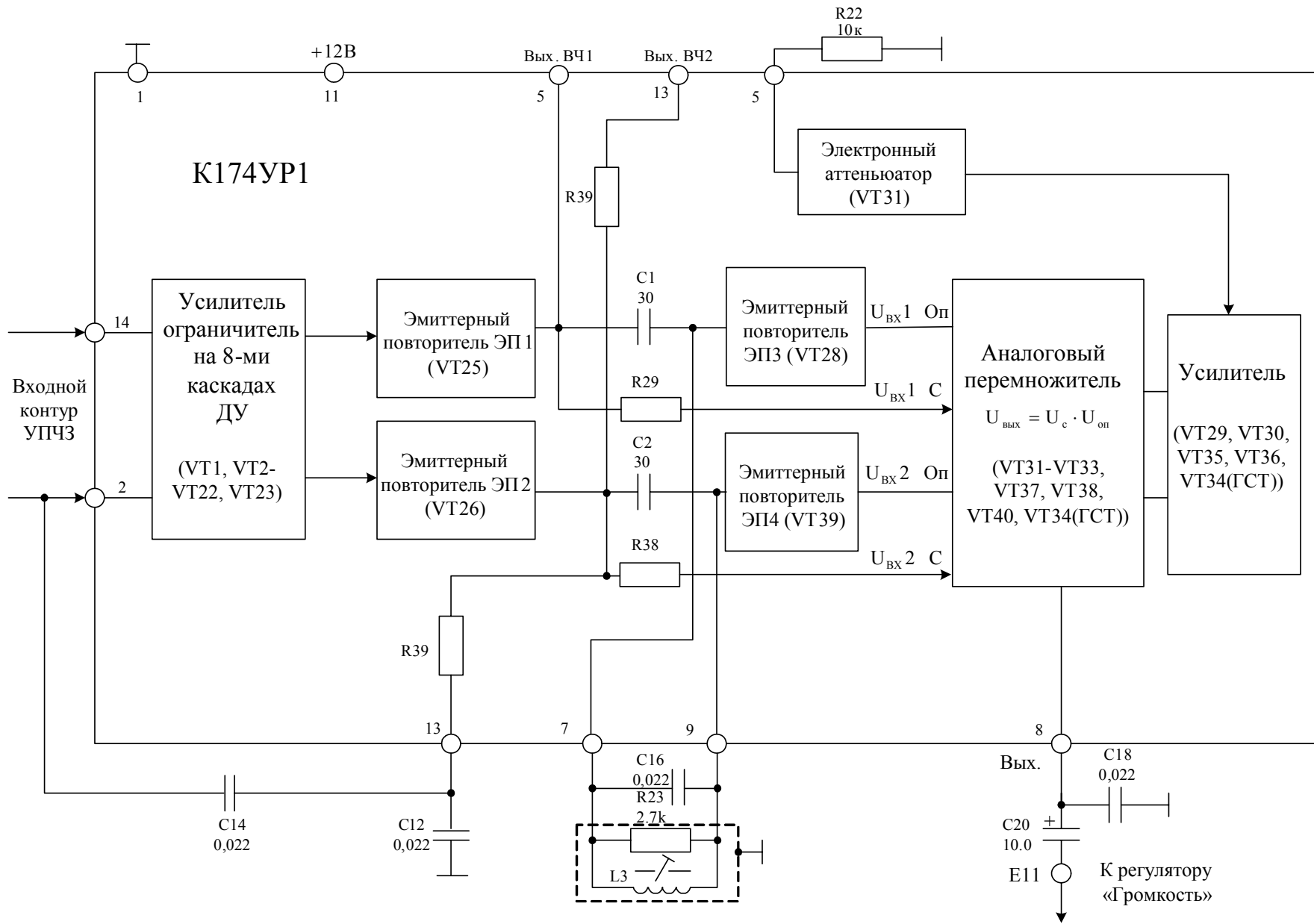


Рис.4

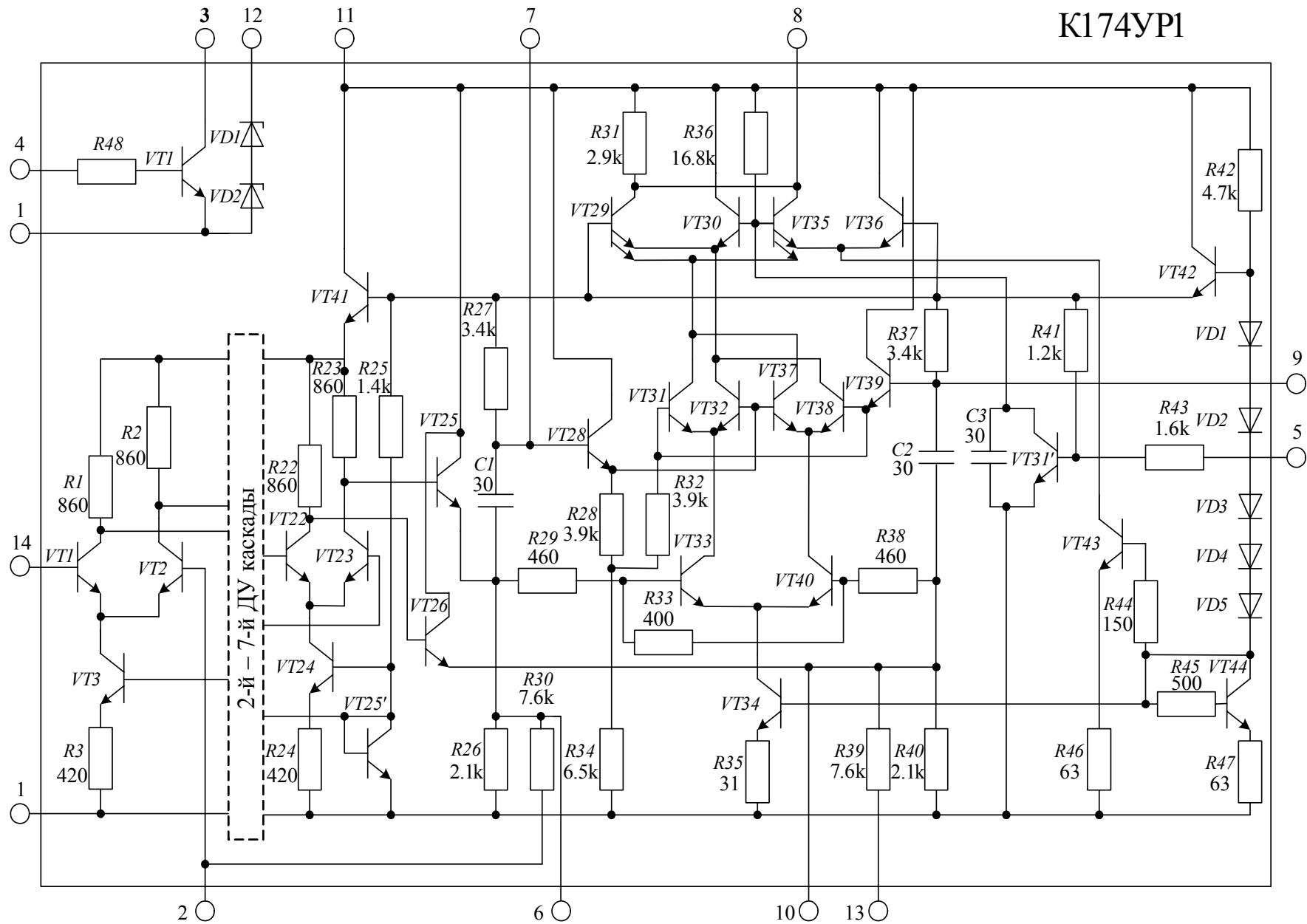


Рис.5

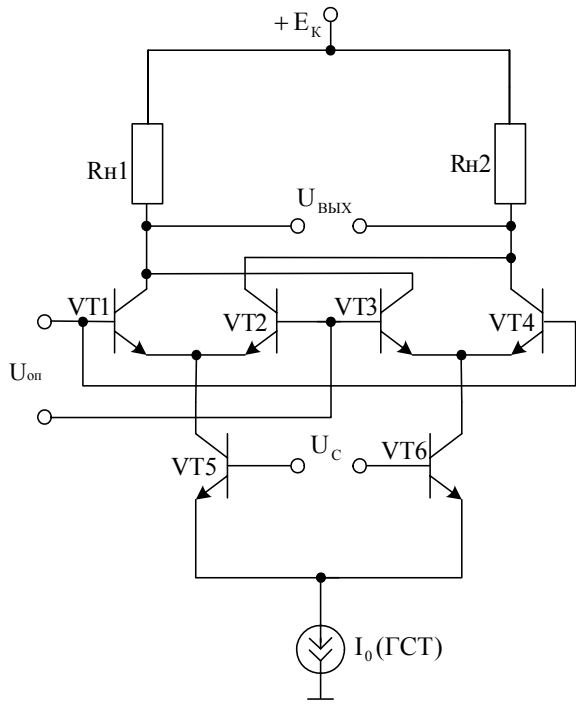


Рис.6а

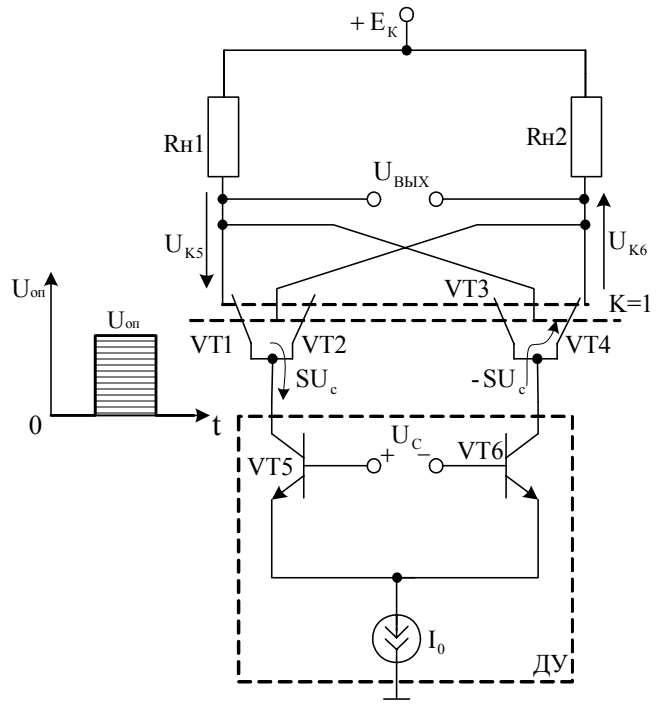


Рис.6б

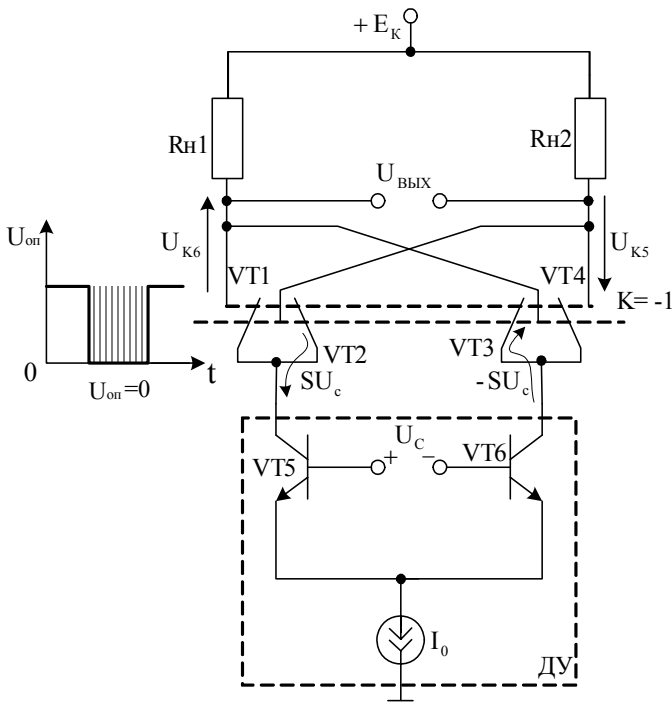


Рис.6в

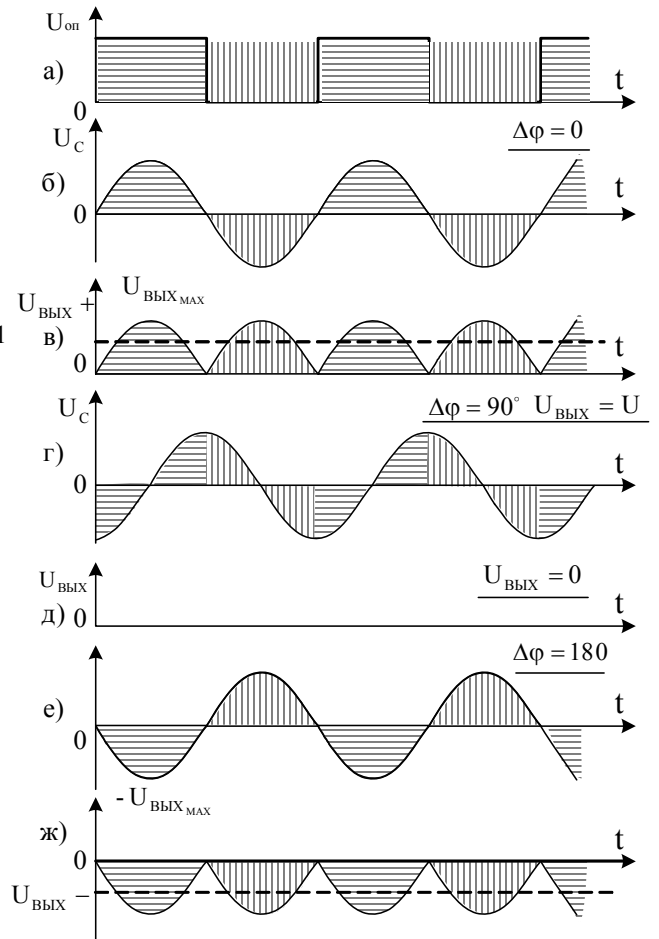


Рис.7

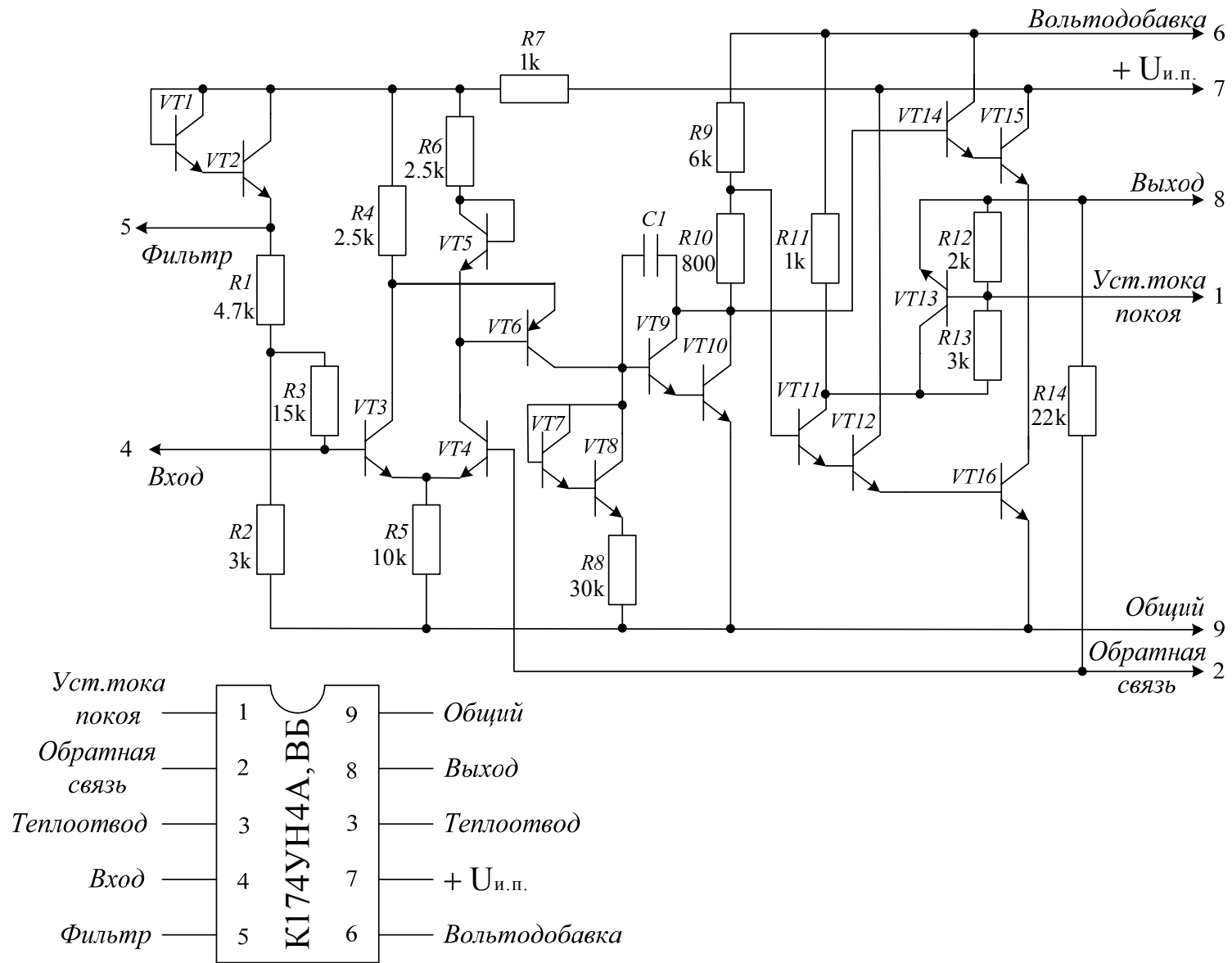


Рис.8 Принципиальная схема и назначение выводов ИМС К174УН4А,Б

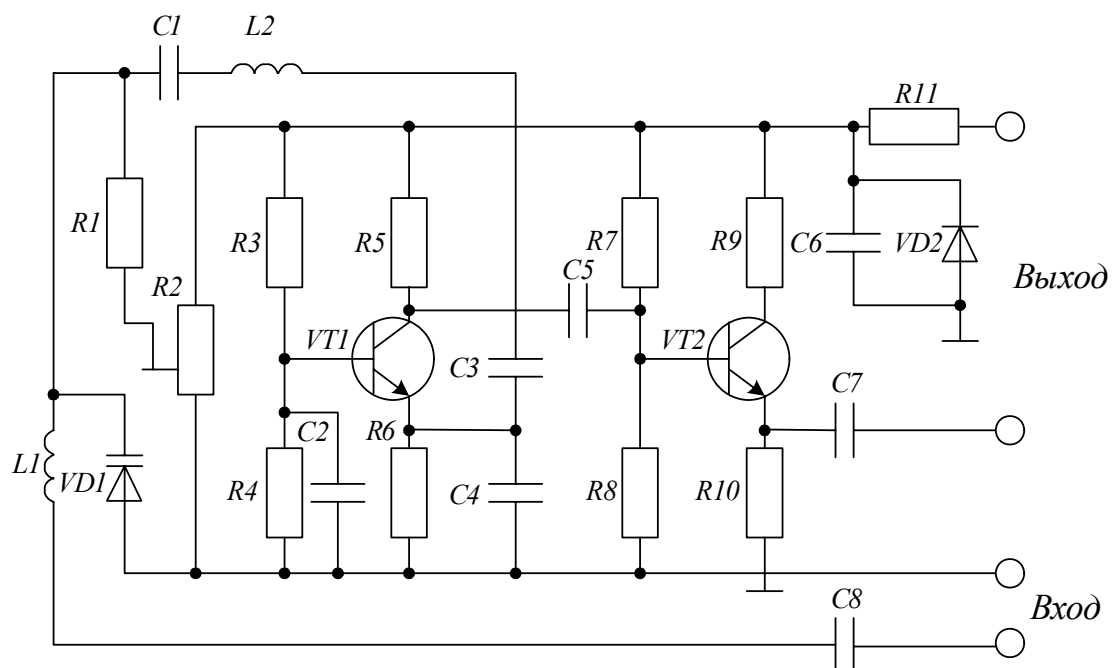


Рисунок 9. Генератор ЧМ 6.5 МГц

Номиналы:

R1	100k
R2	47k
R3	43k
R4	1k
R5	470
R6	47k
R7	120k
R8	1.2k
R9	270
R10	270
R11	100
C1	0.001мкФ
C2	0.0033мкФ
C3	200пФ
C4	1000пФ
C5	150пФ
C6	0,1мкФ
C7	10пФ
C8	270
L1	100мГн
L2	
VD1	КВ105А
VD2	Д814Б
VT1	КТ312Б
VT2	КТ312Б

Лабораторная работа №6

Исследование платы гетеродина профессионального приемника

Цель работы:

1. Ознакомиться с принципиальной схемой и конструктивным решением платы гетеродина.
2. Снять основные характеристики каскадов, смонтированных на плате.

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет предназначен для ознакомления с принципиальной схемой и конструкцией платы гетеродина профессионального приемника, а также для снятия ее основных характеристик.

Макет состоит из платы приемника и корпуса, на лицевой панели которого имеется:

- электрическая принципиальная схема платы гетеродина;
- окно для визуального изучения конструкции платы;
- тумблер «вкл.–выкл.» для подключения макета к источнику питания +12 В.;
- измерительный прибор для контроля управляющего напряжения на варикапах;
- клеммы «вых.1» и «вых.2» для подключения измерительных приборов;
- кнопки переключения рода работы «1», «2», «3»;
- потенциометр «рег. $U_{упр}$ » для установки управляющего напряжения на УКГ.

На задней панели макета расположен низкочастотный разъем для подключения кабеля питания.

Плата гетеродина. В профессиональном радиоприемнике плата предназначена для формирования частот гетеродина при работе радиоприемного устройства в следующих режимах работы: прием однополосного сигнала на верхней и нижней боковых полосах (ВБП, НБП), телеграфного сигнала с амплитудной модуляцией (ТЛГ), телеграфного сигнала с фазовой модуляцией (ТЛГФ).

Плата гетеродина содержит три автогенератора, стабилизированных кварцевыми резонаторами ZQ1, ZQ2, ZQ3, управляемый LC-генератор и резонансный усилитель. Автогенераторы собраны на микросхемах ДА1 и ДА2 (рис. 2; рис. 3) типа 235ХА6, которая

отличается своей многофункциональностью, может применяться в качестве смесителя, гетеродина, ограничителя, преобразователя и умножителя частоты и т.д.

Основные параметры микросхемы 235ХА6:

1. Диапазон рабочих частот — 0,1...150 МГц;
2. Крутизна проходной характеристики:
На частоте 10 МГц, мА/В – более 12;
На частоте 100 МГц, мА/В – не менее 5;
3. Входное сопротивление на частоте 10 МГц, кОм – не менее 1,2;
4. Выходное сопротивление, кОм – не менее 20;
5. Входная емкость, пФ – не более 15;
6. Выходная емкость, пФ не более 6;
7. Напряжение питания, В $6,3 \pm 10\%$;
8. Потребляемая мощность, мВт – не более 29.

Все генераторы собраны по схеме Батлера.

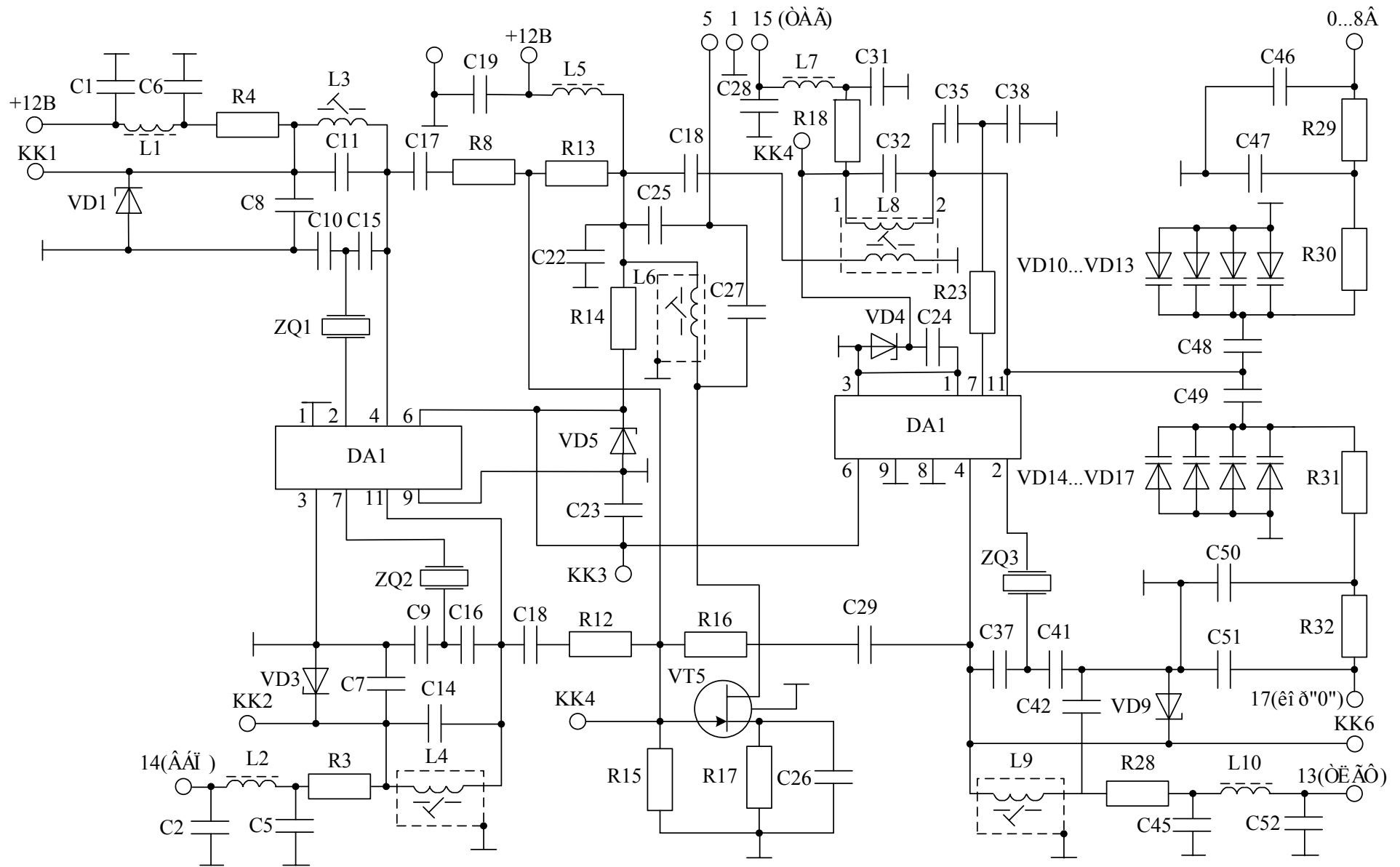
Рассмотрим назначение элементов кварцевого генератора (рис. 1, рис. 2) собранного на левой по схеме половине микросхемы ДА1 (рис.2). Автогенератор выполнен по схеме емкостной трехточки с кварцевым резонатором ZQ1 в цепи обратной связи и включением активного элемента по схеме ОБ. Реализация схемы с общей базой соединением базового вывода транзистора VT1 (рис.2) через конденсатор С4 с корпусом. Частота автогенератора определяется частотой последовательного резонатора кварцевого резонатора (на этой частоте сопротивление резонатора носит активный характер и минимально по величине). На частоте генерации общая точка конденсаторов С10 и С15 (рис.1) соединяется с эмиттером и реализуется емкостная трехточечная схема автогенератора: между базой и эмиттером включены емкость L3 и конденсатор С11, образующие колебательный контур с индуктивной реакцией на частоте последовательного резонатора кварцевого резонатора ZQ1, между базой и эмиттером — конденсатор С10, между коллектором и эмиттером — конденсатор С15. В автогенераторе приняты меры по стабилизации по постоянному току.

Схема питания коллекторной цепи – последовательная. Питание коллектора стабилизировано стабилизатором VD1, последовательно с которым включен балластный резистор R4 и параллельно — конденсатор С8 для уменьшения пульсации питания. Конденсаторы С1, С6 индуктивность L1 образуют фильтр питания. Питание базы транзистора VT1 осуществляется с помощью делителя, состоящего из резисторов R1, R2 и диода VD2. Напряжение базового делителя стабилизировано стабилизатором VD5, последовательно с которым включен резистор R14 и параллельно — конденсатор С23, элементы R15, С3 образуют фильтр. Для термостабилизации режима транзистора применен диод VD2 в базовом делителе и

глубокая ООС по постоянному току через резистор R6, включенный в эмиттер транзистора VT1. Переменное напряжение с его коллектора через конденсатор C11 и резистор R6 поступают на вход резонансного усилителя, собранного на полевом транзисторе VT5 типа 2П303Е.

На левой по схеме половине микросхемы ДА2 (рис.1, рис.3) собран управляемый LC — автогенератор по схеме с общей базой. Реализации схемы с общей базой осуществляется соединением базового вывода через конденсатор C33 (рис.3) с корпусом. Автогенератор собран по схеме емкостной трехточки: между базой и коллектором включена индуктивность L8 (её выводы 1,2) и конденсатор C33, образующие колебательный контур с индуктивной реакцией на частоте генерации; между коллектором и эмиттером — конденсатор C35, между эмиттером и базой — конденсатор C38. Параллельно колебательному контуру включены варикапы VD10...VD13, и VD14...VD17 типа KB104A. Напряжение управления на варикапы VD10...VD13 поступает через фильтры, образованные резисторами R29, R30 и конденсаторами C47, C46; на варикапы VD14...VD17 — через фильтры, образованные резисторами R31, R32 и конденсаторами C50, C51; конденсаторы C48, C49 являются разделительными и служат для частичного подключения варикапов к контуру. Подачей напряжения на варикапы VD14...VD17 устанавливается начальное значение частоты LC — генератора (коррекция нуля); изменяя напряжение управления на варикапах VD10...VD13 можно регулировать частоту автогенератора в пределах 214,95...221 кГц. Схемы питания коллекторной и базовой цепей такие же, как и в схеме рассмотренного выше кварцевого автогенератора.

Для предотвращения влияния внешних цепей на режим автогенератором выводы всех автогенераторов подключены к входу резонансного усилителя, собранного на полевом транзисторе VT5 типа 2П303Е, такой каскад имеет высокое входное сопротивление. Нагрузкой усилителя является колебательный контур, образованный индуктивностью L6 и конденсаторами C25, C27. Выходной сигнал с резонансного усилителя снимается с клемм 1, 5. Для согласования сопротивления нагрузки с эквивалентным сопротивлением контура осуществляется частичное подключение нагрузки к контуру через емкостной делитель, образованный конденсаторами C25, C27. Питание стока — последовательное, индуктивность L5, конденсатор C22 образуют фильтр питания. Напряжение на затвор подается с делителя, образованного резисторами R13, R15. Для стабилизации режима по постоянному току в усилителе применена ООС через резистор R17, конденсатор C25 служит для устранения ООС по переменному току.



Đèñ.1 Nõài à yéàèòðè ÷ àñéàý ì ðèí òèí èàèùí àý ì èàòù ààòàðí àèí à

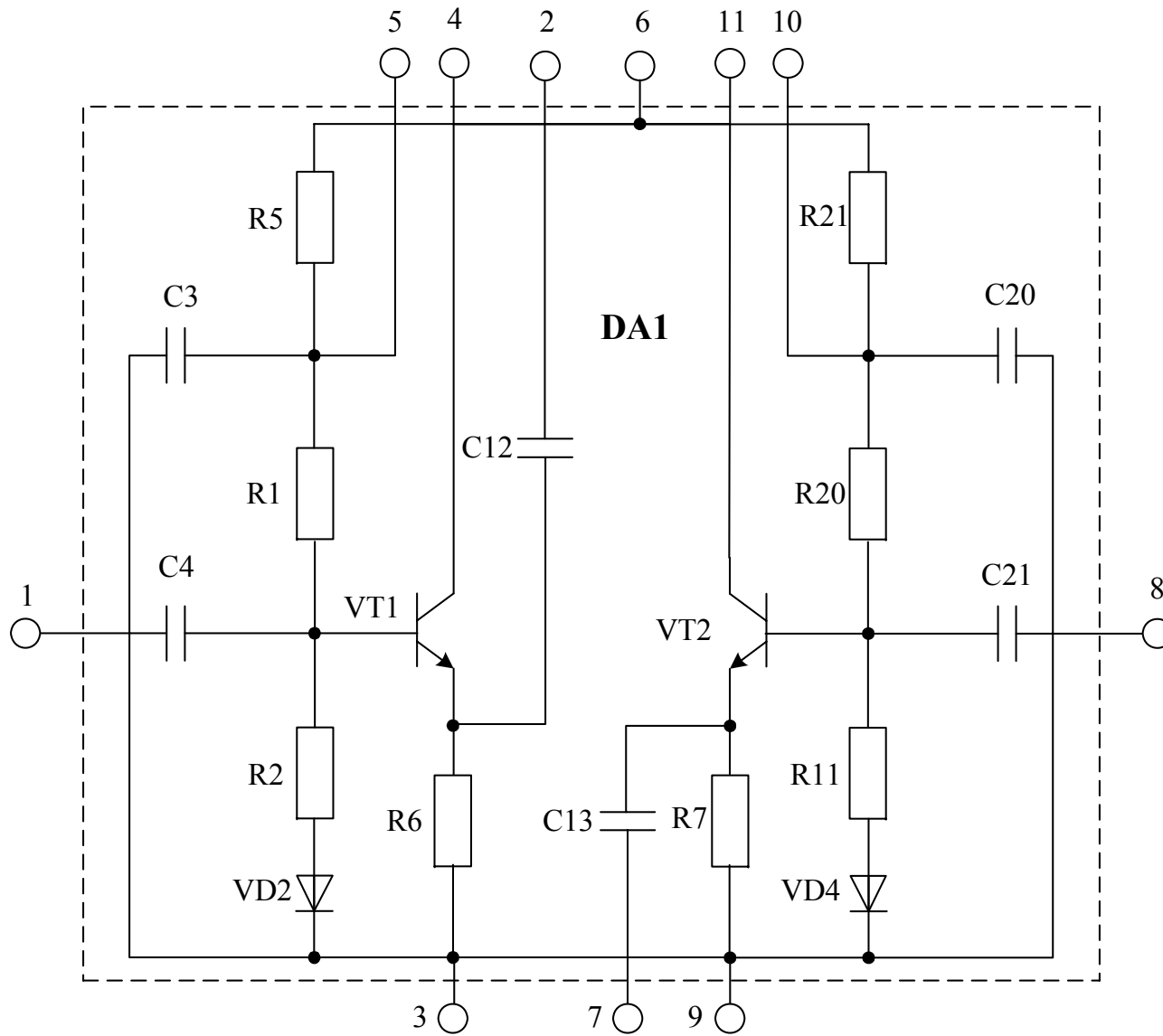


Рис.2 Схема электрическая принципиальная микросхемы DA1

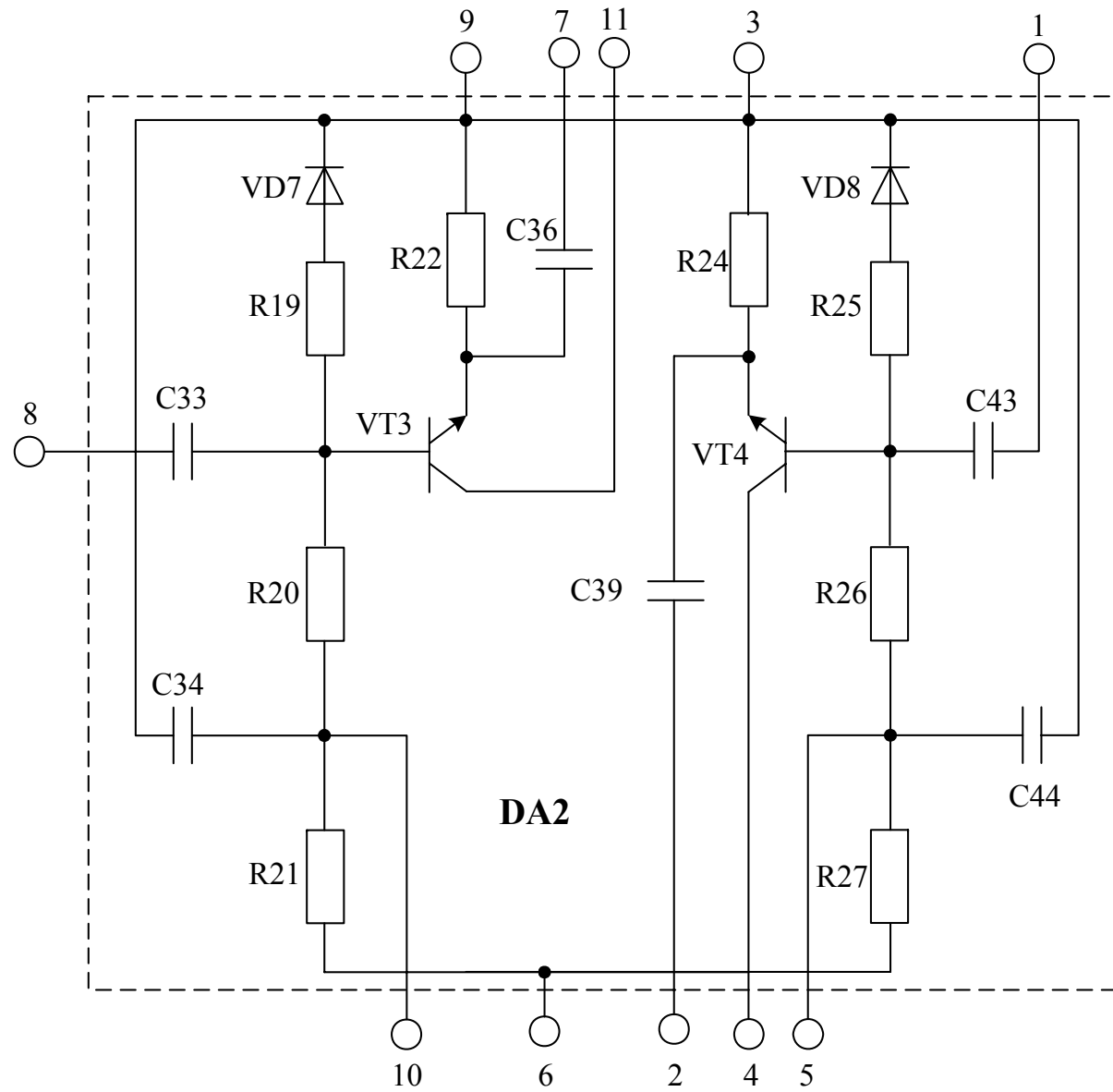


Рис.3 Схема электрическая принципиальная микросхемы DA2

Порядок выполнения работы

1. Включить тумблер «Сеть» частотомера для его прогрева. Установить режим измерения частоты и автоматического запуска частотомера. Дать прогреться не менее 40 минут.
2. Ознакомиться со схемой лабораторного макета, уяснить назначение элементов схемы, органов регулировки и контроля, их конструкцию и размещение.
3. Подготовить макет к работе, для чего подключить кабель питания к разъему на задней панели макета. К клеммам «Вых.1» подключить кабель частотомера, а к клемме «Вых.2» — кабель электронного осциллографа.
4. Получив разрешение преподавателя на выполнение работы, нажать кнопку «1» переключателя рода работ и затем поставить тумблер «Вкл. – Выкл.» В положение «Вкл.», при этом измерительный прибор покажет значение напряжения питания, поданного на макет.
5. При нажатии кнопки «1» переключателя рода работ к «Вых.1» и «Вых.2» подключится неуправляемый кварцевый генератор. Фиксировать по частотомеру значение частоты кварцевого генератора через 1–2 минуты в течении 30 минут. Полученные данные занести в таблицу. Построить график зависимости выходной частоты кварцевого генератора от времени с момента включения. Определить по графику время выхода на режим кварцевого генератора.
6. Нажать кнопку «2» переключателя рода работ. При этом будет подано питание и управляющее напряжение на управляемый LC-генератор, а его выход будет подключен к гнездам «Вых.1» и «Вых.2». Измерительный прибор покажет управляющее питание, которое можно изменять ручкой «Рег. $U_{упр}$ ».
7. Снять зависимость выходной частоты управляемого LC-генератора от управляемого питания, задав значение $U_{упр}$ от 0 до 12 В с шагом 1 В. Занести результаты в таблицу. Построить по таблице характеристику управления кварцевого генератора. Определить рабочий участок характеристики управления.
8. Отключить частотомер от «Вых.1», затем нажать кнопку «3» переключателя род работ. При этом будет подано питание только на резонансный усилитель. Вход резонансного усилителя подключается к гнездам «Вых.2», а выход — к гнездам «Вых.1».
9. Включить генератор звуковой частоты, дать ему прогреться. Установить амплитуду выходного напряжения генератора 200...300 мВ, а частоту — 200 кГц. Подключить выход генератора ко входу электронного осциллографа и проконтролировать амплитуду выходного напряжения. **ВНИМАНИЕ!** Подача на вход резонансного усилителя более высокого напряжения может вывести его из строя. После получения разрешения преподавателя подключить генератор звуковой частоты к гнездам «Вых.2», а осциллограф — к гнездам «Вых.1».

10. Снять амплитудно-частотную характеристику резонансного усилителя, изменяя частоту входного сигнала от 200 до 214 кГц с шагом 2 кГц. Амплитуду входного сигнала контролировать по прибору генератора, амплитуду выходного сигнала — по осциллографу. Полученные результаты занести в таблицу.

11. Рассчитать для каждой частоты коэффициент усиления резонансного усилителя:

$$K_{f_i} = \frac{U_{\text{вых}_{f_i}}}{U_{\text{вх}_{f_i}}}, \quad i = \overline{1,8}.$$

Построить график зависимости коэффициента усиления K_{f_i} от частоты.

Содержание отчета

1. Структурные схемы выполненных измерений.
2. Результаты измерений п.п. 5, 7, 10, сведенные в таблицы.
3. Графики зависимостей, полученные в результате измерений п.п. 5, 7, 11.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте структурную схему радиоприемного устройства прямого усиления.
2. Нарисуйте структурную схему радиоприемного устройства супергетеродинного типа.
3. Назовите основные характеристики радиоприемных устройств.
4. Объясните назначение преобразователя частоты в радиоприемных устройствах супергетеродинного типа.
5. Объясните принцип действия и назначение элементов гетеродина, исследуемого в данной лабораторной работе.
6. Как определить избирательность радиоприемного устройства по зеркальному и соседнему каналам?
7. Как по резонансной характеристике УПЧ определить полосу пропускания?

Литература

Радиоприемные устройства/ Под ред. В.И. Сифорова. — М.: Сов. Радио , 1974, с. 5-31, 159-162, 222-227, 234, 240, 171, 272.