



**Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры**

---

**А.П. КУЛИНИЧ**

**СХЕМОТЕХНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ  
СРЕДСТВ. СХЕМОТЕХНИКА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ КАСКАДОВ АНАЛОГОВЫХ  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы

ТОМСК 2015

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В ходе выполнения работы предусматривается:

- 1) исследование электрических характеристик типовых каскадов аналоговых интегральных микросхем (АИМС);
- 2) освоение методик определения основных характеристик каскадов электронных схем.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТИПОВЫХ КАСКАДАХ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Современная микросхемотехника представлена широким набором аналоговых (линейных) микросхем различного функционального назначения. В свою очередь каждое из этих устройств состоит из ряда базовых схемотехнических элементов: генераторов стабильного тока, дифференциальных усилителей, каскадов сдвига уровня, выходных каскадов и схем их защиты.

Генератор стабильного тока (ГСТ) — один из наиболее часто встречающихся базовых каскадов АИМС. ГСТ строятся на биполярных или полевых структурах и могут служить нелинейными эквивалентами высокоомных нагрузочных сопротивлений или источниками фиксированных токов. Основой ГСТ является транзисторный каскад, выполненный по схеме с общим эмиттером. За счет малой разности напряжений база-эмиттер транзисторной пары, выполненной на одной подложке, удается обеспечить с достаточной точностью постоянство выходного тока этой пары в широком диапазоне изменения температур и питающих напряжений. Способность выходного тока этого каскада — точно отображать любое изменение его входного тока обусловило широкое применение этой схемы в симметричных структурах, например, в качестве динамической нагрузки.

Каскады дифференциальных усилителей (ДУ) являются основой построения АИМС благодаря превосходству их характеристик перед простейшими усилителями. Дифференциальные каскады обладают большим усилением по напряжению дифференциального сигнала, приложенного к его входам. И наоборот, усиление сигнала, одинакового на обоих входах (сифазного сигнала) невелико. Это означает, что такой каскад устойчив к помехам, совпадающим по амплитуде и фазе.

Дифференциальный усилитель характеризуется коэффициентами усиления дифференциального и сифазного сигналов. Усиление дифференциального сигнала по напряжению дифференциальным каскадом равно усилению по напряжению одним транзистором этого каскада (при идентичности характеристик транзисторов, установленных в обоих плечах этого каскада). В АИМС разброс параметров симметрично расположенных в обоих плечах незначителен, поэтому уменьшается необходимость стабилизации усиления отдельных каскадов с помощью сопротивлений обратной связи, включенных в цепь эмиттера. В этом случае дифферен-

циальное усиление каскада может быть на порядок выше, чем простейшего усилителя с резистором в цепи эмиттера.

Если на оба входа идеального ДУ одновременно подать одинаковые напряжения, выходное дифференциальное напряжение не изменится. Аналогично этому не оказывает влияния на выходное дифференциальное напряжение и одинаковые изменения в обоих плечах схемы, вызванные, например, изменением температуры. Это одно из главных преимуществ ДУ. В реальных ДУ полную идентичность плеч каскада обеспечить не удается, что и вызывает появление на выходе каскада дифференциальной помехи. Качество дифференциального усилителя характеризуется отношением коэффициентов усиления синфазного  $K_0$  и дифференциального  $K_d$  сигналов, показывающим способность ДУ различать малый дифференциальный сигнал на фоне большого синфазного напряжения. Наиболее часто используется логарифмическая форма этого параметра: относительное ослабление синфазного сигнала  $K_{000}$ :

$$K_{000} = 20 \lg [K_d / K_0]. \quad (1)$$

Задачей выходных каскадов является обеспечение требуемой мощности выходного напряжения на сопротивлении нагрузки. Часто они работают при относительно больших значениях напряжения и тока. Их основным параметром является усиление по мощности, поэтому усиление по напряжению второстепенно. По отношению к мощности, которую они должны обеспечить, на первый план выступают КПД и коэффициент нелинейных искажений.

Величину коэффициента нелинейных искажений оценивают с помощью коэффициента гармоник, определяемого соотношением эффективного значения напряжения (или тока) гармоник сигнала и значения его основной составляющей (первой гармоники).

В зависимости от условий эксплуатации выходные каскады работают в режимах А, АВ или В, причем, для обеспечения допустимого уровня нелинейных искажений последние два режима используют только в двухтактных каскадах.

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования типовых каскадов аналоговых интегральных микросхем выполняются на левом верхнем поле сменной панели N 2 макета. Точки подключения напряжения питания и контрольных проборов выведены на специальные гнезда с пояснительными надписями. Входные гнезда исследуемых каскадов имеют обозначения X, выходные - Y. В точках подключения питания обозначены величина и полярность подаваемого напряжения. Имеется также несколько групп гнезд, позволяющих подключить потребителя к выбранной точке схемы.

В данной работе для исследования предлагается дифференциальный усилитель серии 122УД1, электрическая принципиальная схема которого приведена на рис.1. Микросхема содержит каскад дифференциального усилителя на транзисторах VT1 и VT2 с резистивными нагрузками R1 и

Дифференциальный усилитель 122УД1

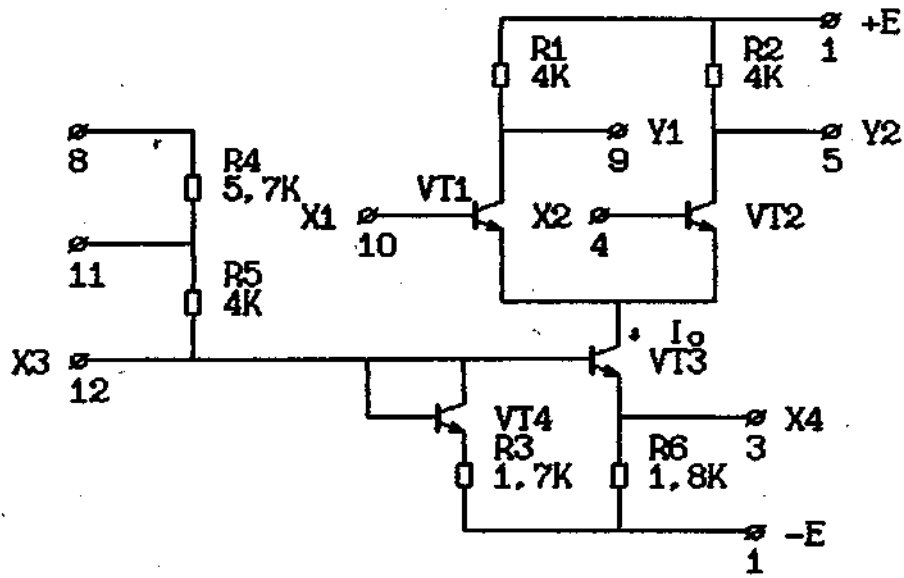


Рис. 1

Выходной каскад

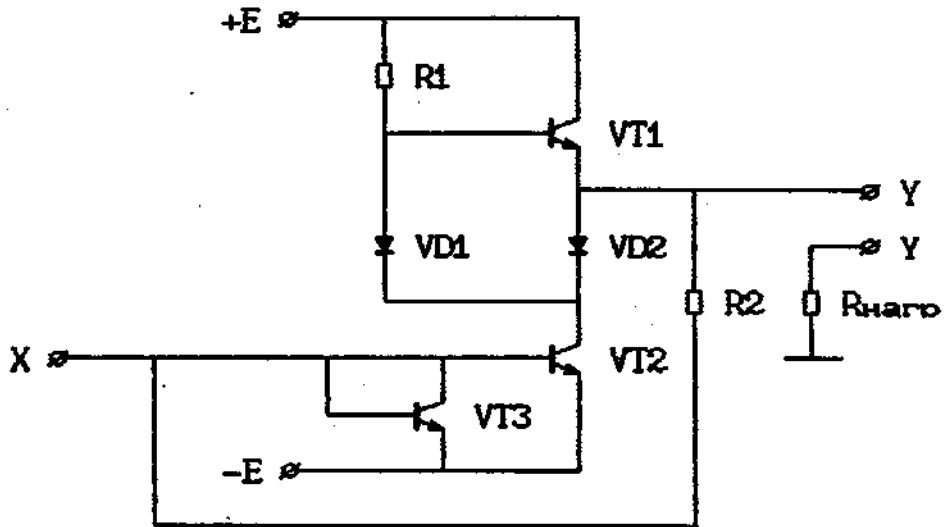


Рис. 2

R2 и генератор стабильного тока на транзисторах VT3 и VT4, а также группу коммутируемых резисторов R4 R5, задающих режим работы ГСТ. По цепи смещения (R4)-(R5)-VT4 протекает ток, определяющий падение напряжений на переходах база-эмиттер транзисторов VT3, VT4 и, в конечном итоге, выходной ток ГСТ.

Все усилительные параметры ДУ фиксируются током  $I_0$ . Если ток  $I_0$  нестабилен, в усилителе возникают синфазные ошибки усиления по постоянной составляющей сигнала. Топологическая структура ДУ такова, что транзисторы VT1, VT2 и резисторы R1, R2 составляют мостовую схему, симметричную по своей геометрии и распределению потенциалов на подложке. Отклонение параметров плеч моста не превышает нескольких процентов, поэтому схема мало чувствительна к воздействию синфазных факторов.

Вариант схемы выходного двухтактного каскада, выполненного на макете на дискретных транзисторах KT312, представлен на рисунке 2.

При отсутствии сигнала на входе X транзистор VT1 закрыт, режим работы транзистора VT2 близок к отсечке, потенциал на выходе каскада Y равен нулю. Транзистор VT2 усиливает положительный полупериод входного сигнала и выделяет ее на нагрузке  $R_{нагр}$ , включенной непосредственно в цепь его коллектора, при этом падение напряжения на диоде VD1 поддерживает транзистор VT1 в закрытом состоянии. Отрицательный полупериод входного сигнала также усиливается транзистором VT2, но выделяется на нагрузке R1. Увеличение положительного потенциала на базе транзистора VT1 открывает последний, который работает в режиме эмиттерного повторителя. Таким образом, для симметричной работы данного каскада требуется равенство сопротивлений нагрузки  $R_{нагр}$  и R1, что является недостатком данной схемы при работе на изменяющуюся нагрузку.

#### 4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА

Изучить работу типовых каскадов аналоговых ИМС по материалам лекций и рекомендуемой в данном руководстве литературы.

Составить структурные схемы для исследования:

- 1) режима работы ГСТ микросхемы 122УД1;
- 2) коэффициентов усиления дифференциального и синфазного сигналов ДУ;
- 3) амплитудной характеристик выходного каскада.

Ознакомиться с лабораторным макетом и по приведенным на схеме параметрам элементов ДУ рассчитать значения токов ГСТ при подключении к нулевому потенциалу выводов 8 и 11 исследуемой микросхемы.

#### 5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

Провести исследования:

- 1) типовых режимов работы ГСТ исследуемой микросхемы;

- 2) статических характеристик исследуемых каскадов;
- 3) усиления ДУ дифференциального и синфазного сигналов;
- 4) характеристики управления током ГСТ;
- 5) амплитудной характеристики выходного каскада;
- 6) влияния изменения сопротивления нагрузки на искажения выходного сигнала.

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

### 6.1 Исследование типовых режимов работы ГСТ микросхемы 122УД1.

В результате данных исследований определяются электрические характеристики ДУ при подаче на его входы постоянных напряжений. Напряжение питания ДУ на гнезда +6В ДУ и -6В ду подавать с выводов модуля питания макета после предварительной проверки напряжения на его гнездах +6В, -6В, +0,6В и -0,6В. Для определения тока потребления ДУ от источников положительного и отрицательного напряжений использовать миллиамперметр, расположенный на приборной панели макета. По входу X3 устанавливается один из типовых режимов работы ГСТ (заземляется вывод 8 или 11 микросхемы 122УД1). Электронным вольтметром измерить напряжение на коллекторных нагрузках ДУ. Сравнить значения величины тока потребления ДУ, полученные экспериментально, с расчетными и справочными параметрами исследуемой микросхемы.

### 6.2 Исследование статических характеристик ДУ.

При определении статических характеристик ДУ на один из входов X1 (X2) подавать постоянное напряжение, регулируемое потенциометром на гнезде Есм макета /при заземленном втором входе X2 (X1) - для дифференциального входного сигнала и при соединенных входах X1 и X2 для синфазного сигнала/.

Построить график зависимости выходного дифференциального напряжения от разности входных напряжений

$$E(u_d) = E(u_1) - E(u_2) = f[E(x_1) - E(x_2)]$$

при двух значениях общего тока пары  $I(o_1)$  и  $I(o_2)$ . По графику определить крутизну характеристики  $S(1)$  и  $S(2)$  плеч ДУ а также напряжение смещения нуля  $E(cм0)$ .

Снять зависимость выходного дифференциального напряжения от величины синфазной помехи

$$E(u_d) = E(u_1) - E(u_2) = f[E(x_1) - E(x_2)]$$

и сделать заключение о степени симметрии плеч данного ДУ.

### 6.3 Исследование усиления ДУ дифференциального и синфазного сигналов переменного тока.

Коэффициенты усиления ДУ дифференциального и синфазного гармонических входных сигналов определяются при типовых режимах ГСТ путем подачи на соответствующие входы ДУ напряжения с выхода генератора низкой частоты (1...5кГц). Амплитуду подаваемых сигналов контролировать по отсутствию искажений на выходе ДУ. Определить коэффициент подавления синхронной помехи по соотношению (1).

#### 6.4. Исследование характеристики управления током ГСТ.

Для исследования характеристики управления током ГСТ на вход X3 подать постоянное напряжение -Uпит, регулируемое потенциометром (гнезда 8 и 11 отключены от земли). Определить значения тока I(0) при трех-четырёх значениях напряжения на входе X3.

В одном из типовых режимов ГСТ подать на вход X3 через разделительный конденсатор напряжение с выхода генератора низкой частоты (0,5...1кГц). Снять амплитудную характеристику DU по входу X3

$$U(y) = f[U(x)] \quad \text{при } U(x1) = U(x2) = 0.$$

Сравнить результаты измерений по постоянному и переменному току.

Возможности использования DU для перемножения сигналов можно наблюдать, если одновременно подать на входы X1 (X2) и X3 сигналы с частотами, соответственно, (10...50кГц) и (0,5...1кГц) /для удобства наблюдения желательно целочисленное соотношение частот/. Зарисовать осциллограммы выходного напряжения DU. Поменять местами величины частот на входах X1, X3. Наблюдать форму выходного напряжения DU, объяснить полученные результаты.

#### 6.5 Исследование выходного каскада.

Для исследования электрических характеристик выходного каскада подать напряжение питания на гнезда +6В УМ и -6В УМ. В качестве переменной нагрузки можно использовать потенциометр на приборной панели макета.

Определить амплитудную характеристику выходного каскада для сигнала с частотой (1...5кГц) при максимальном сопротивлении нагрузки  $U(y) = f[U(x)]$ .

Определить максимальную величину гармонического входного напряжения, при котором не заметно искажений сигнала на выходе этого каскада. Уменьшая величину сопротивления нагрузки, наблюдать на экране осциллографа форму выходного напряжения каскада. Объяснить полученные результаты.

### 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение, состав, работа ГСТ.
2. Достоинства и недостатки схемы DU.
3. Назначение, состав, работа выходного каскада.
4. Почему характеристики усиления DU зависят от режима работы ГСТ.
5. Возможности управления характеристиками DU.
6. Достоинства и недостатки исследуемого выходного каскада.
7. Основные характеристики DU.
8. Примеры использования DU для построения функциональных узлов различного назначения.