

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

“ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА (ДУ)”

Цель работы

- знакомство с принципом работы ДУ;
- знакомство со схемой и принципом работы источника стабильного тока (ИСТ);
- знакомство со схемой и основными характеристиками интегральной микросхем типа КИ8УД1А;
- экспериментальное снятие и построение амплитудной характеристики ДУ;
- определение коэффициента подавления синфазного сигнала.

Основные сведения

ДУ является основным базовым элементом современной аналоговой электроники.

На его основе строятся операционные усилители, модуляторы, перемножители сигналов, усилители с электронной регулировкой коэффициента усиления для диапазона частот от постоянного тока до сотен и тысяч мегагерц.

Основные достоинства ДУ:

- высокий коэффициент усиления;
- высокая стабильность работы транзисторов при изменении их параметров;
- нечувствительность к изменению в широких пределах условий работы (питающих напряжений, температуры окружающей среды и др.);
- простота сопряжений уровней напряжений при построении многокаскадных схем;
- возможность реализации законченных многокаскадных устройств в виде однокристалльных монолитных интегральных микросхем.

Простейший ДУ состоит (рис. 5.1) из дифференциальной пары транзисторов $VT1$ и $VT2$ и источника стабильного тока (ИСТ) в их общей эмиттерной цепи. Питание расщепленное $\pm U_n$ » середина которого есть общий провод. Вследствие наличия ИСТ

$$I_s = I_{\kappa 1} + I_{\kappa 2} = Const$$

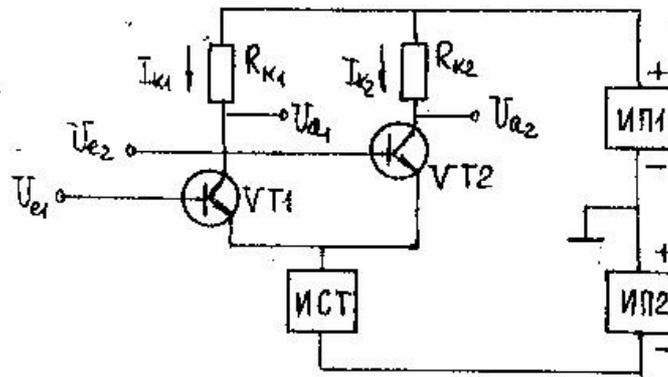


Рис. 5.1. Простейший дифференциальный усилительный каскад(ДУ)

Напряжения $U_{e1}, U_{e2}, U_{a1}, U_{a2}$ измеряются относительно общего провода. Различают дифференциальный входной сигнал

$$U_D = U_{e1} - U_{e2} \text{ и синфазный } U_c = 1/2 (U_{e1} + U_{e2}).$$

Выходной сигнал такого каскада равен разности напряжений на коллекторах транзисторов VT1 и VT2:

$$U_{\text{вых}} = U_a = U_{a1} - U_{a2} = I_{k1} * R_{k1} - I_{k2} * R_{k2}.$$

При отсутствии входного сигнала и равенства $R_{k1} = R_{k2} = R_k$ это напряжение будет равным нулю и не зависит от напряжения источников питания. Это напряжение не изменится и в том случае, если параметры плеч ДУ будут меняться одновременно по одному и тому же закону. Таким образом, стабильность схемы определяется идентичностью характеристик транзисторов дифференциальной пары. Добиться идентичности параметров пары транзисторов при их обычном конструктивном исполнении в виде двух законченных полупроводниковых приборов практически невозможно. Поэтому реализация преимуществ ДУ стала возможной после появления интегральной полупроводниковой технологии. В этом случае дифференциальная пара изготавливается на общей подложке в рамках единого технологического процесса. При этом все дестабилизирующие факторы, влияющие на параметры транзистора, будут сказываться на обоих транзисторах пары в одинаковой степени, и электрические характеристики транзисторов будут мало отличаться друг от друга. Тем не менее на выходе схемы будет существовать некоторое напряжение, которое приводится ко входу и называется напряжением смещения нуля $U_{сн}$.

Если же на вход схемы подан некоторый сигнал постоянного тока, вызывающий появление напряжения $U_{\text{вых}}$, стабильность этого напряжения будет определяться также и стабильностью тона в общей эмиттерной цепи I_3 . Поэтому для питания эмиттерной цепи используются специальные схемы

стабилизации тока. Величина выходного тока такого источника не должна зависеть от сопротивления нагрузки, напряжения источников питания, температуры.

ИСТ может быть построен на двух транзисторах VT1 и VT2. (рис. 5.2). Нагрузкой транзистора VT2 является дифференциальная пара ДУ (R_n) - Транзистор VT2 управляется с помощью транзистора VT1, включенного в диодном режиме. Транзисторы благодаря интегральной технологии обладают идентичными характеристиками и имеют высокий коэффициент усиления по току:

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta$$

Из рис. 5.2 видно, что

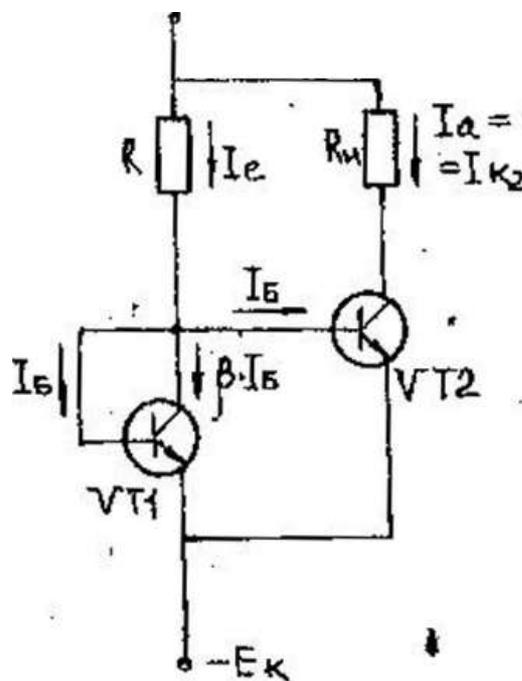


Рис. 5.2

ИСТ (токовое зеркало)

$$I_a = \beta * I_B \quad (5.1)$$

$$I_e = \beta * I_B + 2I_B$$

или

$$I_B = \frac{I_e}{\beta + 2} \quad (5.2)$$

Подставляя (5.2) в (5.1), имеем

$$I_a = \frac{\beta}{\beta + 2} * I_e \approx I_e \quad (5.3)$$

Так как ток I_e является независимым, а $I_a = I_e$ то транзистор VT2 является идеальным источником тока. Благодаря тому, что ток I_a равен току I_e , эта схема называется токовым зеркалом.

Из определения видно, что дифференциальный сигнал изменит (синфазный сигнал при этом неизменен) только напряжения переходов база-эмиттер; напряжение эмиттера при этом останется неизменным

$$U_э = Const$$

$$\Delta U_д = \Delta U_{e1} - \Delta U_{e2} = \Delta U_{БЭ1} - \Delta U_{БЭ2} = 2\Delta U_{БЭ}$$

т.к. характеристики транзисторной пары идентичны (крутизна

$$S = \frac{\Delta I_{k1}}{\Delta U_{БЭ1}} = \frac{\Delta I_{k2}}{\Delta U_{БЭ2}}), \text{ то}$$

$$\Delta U_а = \Delta I_{k1} * R_к - \Delta I_{k2} * R_к = 2\Delta I_k R_к$$

Коэффициент усиления дифференциального сигнала

$$A_д = \frac{\Delta U_а}{\Delta U_д} = \frac{2\Delta I_k * R_к}{2\Delta U_{БЭ}}$$

Принимая во внимание, что $\Delta I_k = S * \Delta U_{БЭ}$

$$A_д = \frac{\Delta U_а}{\Delta U_д} = S * R_к \quad (5.4)$$

Если входной сигнал поступает одновременно на два входа ($\Delta U_д = 0$), то такой сигнал называют однофазным ($\Delta U_с$)

Привести к заметному изменению тока ΔI_{k1} в каждом плече этот сигнал не может, т.к. в эмиттерной цепи установлен ИСТ. Следовательно, примерно на величину $\Delta U_с$ должен увеличиться потенциал эмиттеров, а не напряжение переходов $U_{БЭ}$ так как

$$\Delta U_{БЭ} = \frac{\Delta I_k}{S}$$

$$\Delta U_с = \Delta U_{БЭ} = \Delta I_э * r_{ист} \quad (5.5)$$

где $r_{ист}$ дифференциальное внутреннее сопротивление ИСТ.

Т. к. $\Delta I_э$ мало (влияет ИСТ), то $r_{ист}$ велико (достигает нескольких МОМ). Поэтому коэффициент усиления синфазного сигнала в одном плече:

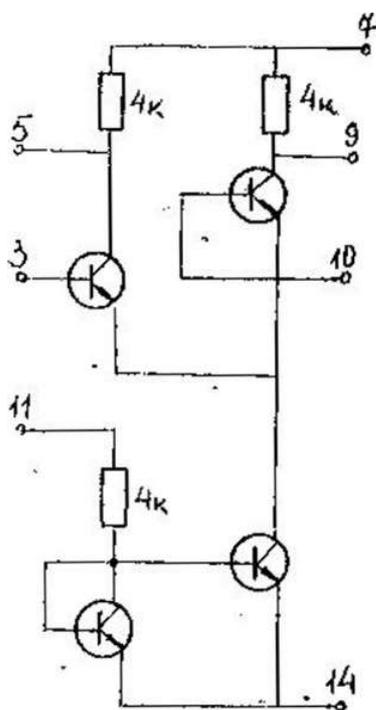


Рис. 5.3.
Упрощенный вариант
КП8УД1А

ценными качествами:

- выходное напряжение не зависит от температуры, от напряжения источника, от нелинейных характеристик транзисторов;
- схема имеет высокий дифференциальный коэффициент усиления;
- синфазный коэффициент усиления близок к нулю.

Лабораторное задание

В данной лабораторной работе исследуется ДУ, выполненный в виде интегральной микросхемы типа КП8УД1А. Упрощенная принципиальная схема изображена на рис. 5.3

$$U_{\text{ин}} = \pm 6.3 \text{ В (выводы 7 и 14)}$$

$$I_{\text{ном}} = 1.3 \text{ мА}$$

$$A_{\text{д}} \geq 15$$

$$U_{\text{см}} \leq \pm 5 \text{ мВ}$$

$$I_{\text{ex}} = 10 \text{ мкА}$$

$$A_{c1} = \frac{\Delta U_{a1}}{\Delta U_{c1}}$$

т.к. $\Delta U_{a1} = \frac{\Delta I_{\text{Э}}}{2} * R_{\text{к}}$, то $\Delta A_{c1} = \frac{\Delta I_{\text{Э}} * R_{\text{к}}}{2 \Delta U_{\text{с}}}$ или с учетом (5.5)

$$\Delta A_{c1} = \frac{R_{\text{к}}}{2r_{\text{ист}}} \quad (5.6)$$

В связи с тем, что, $R_{\text{к}} \ll r_{\text{ист}}$, A_{c1} близко нулю.

Если же плечи идентичны, то

$$\Delta U_{a1} - \Delta U_{a2} = \Delta U_{\text{а}} = 0$$

На самом деле из-за неидентичности параметров плеч будет присутствовать некоторый сигнал. Отношение величины входного синфазного сигнала к величине выходного в этом случае называют коэффициентом подавления синфазного сигнала.

В итоге, благодаря схемному решению, благодаря интегральной полупроводниковой технологии, благодаря наличию источника стабильного тока, получена схема, обладающая

Соединение вывода II с общим проводом является оптимальным. Если вывод II соединить с

$$U_{\text{вн}} = \pm 6.3 \text{ В}$$

то ток ИСТ возрастет вдвое и дифференциальный коэффициент усиления должен возрасти вдвое.

Работа выполняется в следующей последовательности.

I. Снятие амплитудной характеристики:

- собрать схему согласно рис.5,
- установить частоту выходного напряжения генератора $f=1000$ Гц. Изменяя амплитуду на входе усилителя в соответствии с табл. 5,1, измерить амплитуду сигнала на выходах 5 и 9;
- с помощью вольтметра измерить напряжения на выходах при $U_{\text{вн}} =$
- подключить вывод II, предварительно обесточив схему, к источнику $U_{\text{вн}} = \pm 6.3 \text{ В}$
- повторить измерения;
- вычислить $A_{\text{д}}$
- вычислить токи $I_{\text{э}}$ и $I_{\text{к}}$ в состоянии покоя;
- построить амплитудную характеристику.

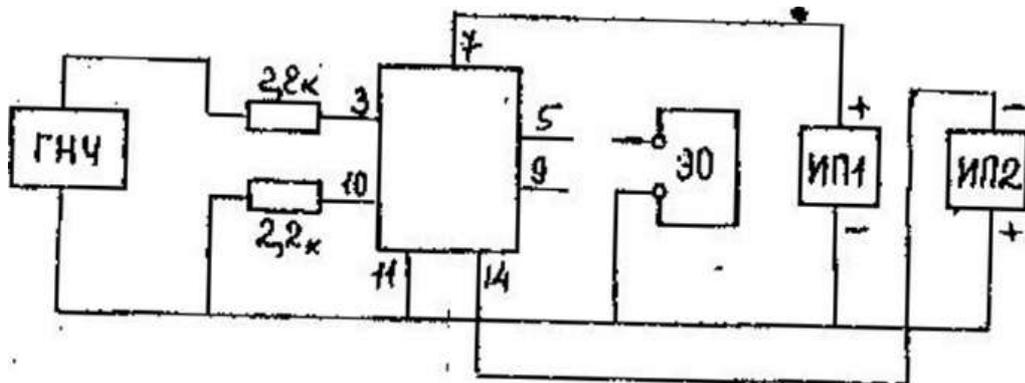


Рис. 5.4. Схема для снятия амплитудной характеристики

Таблица 6.1

Вывод II соед. С общ.	U _{вх} , мВ	0	10	20	30	40	50
	U _{вых} , В						
	Ад						
Вывод II соед. с +6,3 В	U _{вх} , мВ	0	10	20	30	40	50
	U _{вых} , В						
	Ад						

II. Определение коэффициента подавления синфазного сигнала:

- собрать схему согласно рис. 5.5.;
- установить частоту выходного напряжения генератора $f=1000$ Гц;
- изменяя напряжение на выходе генератора, получить на выходе усилителя амплитуду сигнала 2 мВ;
- измерить амплитуду входного сигнала;
- рассчитать величину коэффициента подавления синфазного сигнала.

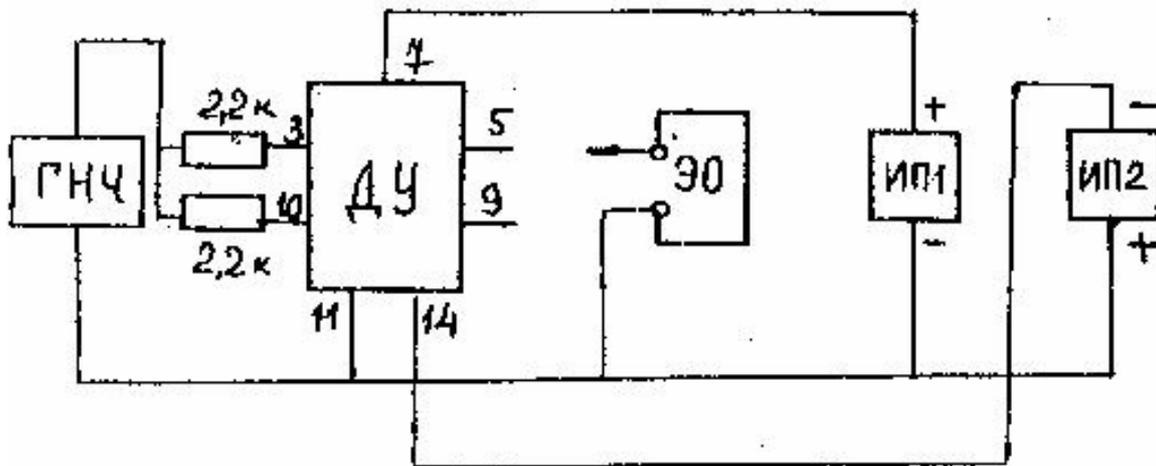


Рис. 5.5. Схема для определения коэффициента подавления синфазного сигнала

Содержание отчета

- общая схема дифференциального усилительного каскада;
- схемы проведенных опытов;

- заполненные таблицы;
- расчеты A_d , G , I_k , $I_э$.

Контрольные вопросы

1. Почему ДУ называется дифференциальным?
2. Каковы преимущества ДУ перед усилительным каскадом с общим эмиттером и перечислите, что позволило получить эти преимущества?
3. Что такое дифференциальный и синфазный сигналы и чему они равны?
4. Что такое дифференциальный и синфазный коэффициенты усиления и чему они равны?
5. Что такое коэффициент подавления синфазного сигнала и чему он равен?
6. Что такое токовое зеркало и каковы его параметры?
7. Почему ДУ имеет стабильный коэффициент усиления даже в том случае, если отсутствует отрицательная обратная связь?
8. Что такое дифференциальное сопротивление источника тока и чему оно равно?
9. К чему прикладывается напряжение дифференциального и синфазного сигнала? Почему?
10. Что такое диодный режим транзистора?
11. Два способа расчета тока, протекающего через источник тока в состоянии покоя?

