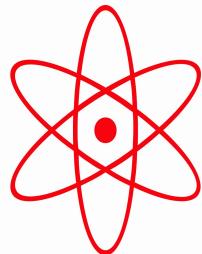


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



**РТТУЛ-9**

**ИЗУЧЕНИЕ УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С  
ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ УСИЛЕНИЯ**

Тула, 2010 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

### ИЗУЧЕНИЕ УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ УСИЛЕНИЯ

Цель работы: исследовать теоретические основы и практические принципы работы интегральной микросхемы УЗЧ типа TDA1013 с электронной регулировкой усиления, применяемой при конструировании ТВ и радиоприемных устройств.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ. Особенности усилителей низкой частоты.

Усилители низкой частоты (УНЧ) предназначены для усиления колебаний звукового спектра. Область их применения не ограничивается радиоприемниками. Они широко используются в качестве самостоятельных устройств различного назначения.

В приемнике УНЧ обычно состоит из двух или трех каскадов. Значительно реже применяются многокаскадные УНЧ.

Оконечный каскад УНЧ часто называют усилителем мощности или выходным каскадом. Его назначение заключается в выделении необходимой мощности звукового сигнала на полезной нагрузке.

Усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ) предназначен для передачи сигнала от источника возбуждения в нагрузку с одновременным усилением сигнала по мощности. УМЗЧ можно рассматривать и как генератор, в котором энергия источника питания преобразуется в энергию переменного сигнала под воздействием входного напряжения определенной амплитуды. Поэтому УМЗЧ также называют генераторами с внешним возбуждением.

В радиоприемниках усилителем мощности низкой частоты называют оконечный (выходной) каскад, работающий на какой-либо акустический прибор. Задача усилителя мощности заключается в эффективном преобразовании энергии постоянного тока источника питания в энергию переменного тока звуковой частоты, выделяемую на полезной нагрузке. Такой типичной нагрузкой является электродинамический громкоговоритель. Его сопротивление весьма мало (единицы ом). В дальнейшем оно считается активным по характеру. Это допущение верно в области средних звуковых частот.

Выделение значительной мощности на малом сопротивлении нагрузки возможно только при большом токе полезного сигнала. Поэтому в оконечном каскаде приемника могут возникать заметные нелинейные искажения усиливаемых колебаний. Наиболее часто они бывают несимметричные (рис. 1). Изменение формы полезных сигналов означает, что на выходе усилителя появляются новые частоты (высшие гармоники), которых нет на входе. Их уровень оценивают при помощи коэффициента гармоник.

Для теоретического расчета коэффициента гармоник разработаны специальные методы. Один из них поясняется рис. 2, где показан график

искаженного выходного тока сигнала.

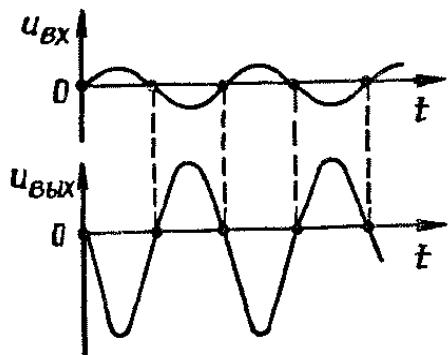


Рис. 1 Испытательный сигнал на входе и выходе усилителя при наличии несимметричных нелинейных искажений

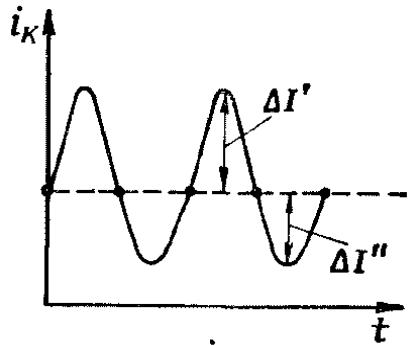


Рис. 2 Пример искажения тока

В соответствии с принятыми обозначениями коэффициент гармоник  $K_g$ :

$$K_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta I' - \Delta I''}{\Delta I' + \Delta I''}. \quad (1)$$

Точность определения коэффициента гармоник по данной формуле получается невысокой, но она вполне достаточна для ориентировочных расчетов.

Коэффициент гармоник обычно много меньше единицы. Его часто выражают в процентах. Допустимая величина  $K_g$  зависит от назначения приемника. Для уменьшения нелинейных искажений, возникающих в усилителе, принимают специальные меры.

Основными показателями оконечного усилителя приемника являются:

- выходная полезная мощность при заданном коэффициенте гармоник;
- мощность, потребляемая от источника питания;
- мощность потерь, расходуемая на нагрев усилительного прибора (или приборов);
- коэффициент полезного действия;
- коэффициенты частотных искажений на граничных частотах полосы пропускания.

В современных приемниках усилители мощности выполняются по однотактной или двухтактной схеме. Наиболее часто они являются трансформаторными каскадами. Бестрансформаторные усилители мощности используются значительно реже.

Основное достоинство всех трансформаторных усилителей заключается в том, что они позволяют получать на малом активном сопротивлении нагрузки большую выходную мощность полезного сигнала, так как с помощью трансформатора можно осуществить согласование небольшого сопротивления

полезной нагрузки с большим выходным сопротивлением усилительного прибора.

Для анализа свойств усилителей мощности часто используется испытательный синусоидальный сигнал средней звуковой частоты.

### Усилитель звуковой частоты с электронной регулировкой усиления на базе интегральной микросхемы TDA1013b.

Микросхема TDA1013B представляет собой интегральный УМЗЧ с электронной регулировкой усиления при помощи постоянного напряжения. Микросхема размещается в 9 — выводном корпусе. Широкий диапазон напряжений питания делает эту схему идеальной для применения как в сети ~220 В так и в портативных электронных приборах таких, как телевизионные приемники и проигрыватели.

Микросхема TDA1013B имеет логарифмическую шкалу регулировки громкости в диапазоне около 80 децибелов, осуществляющую подачей постоянного (DC) напряжения в диапазоне от 2 до 6.5 V. Микросхема для стабильной работы требует только наличие некоторых внешних компонент.

Блок схема интегральной микросхемы TDA1013B приведена на рис. 3.

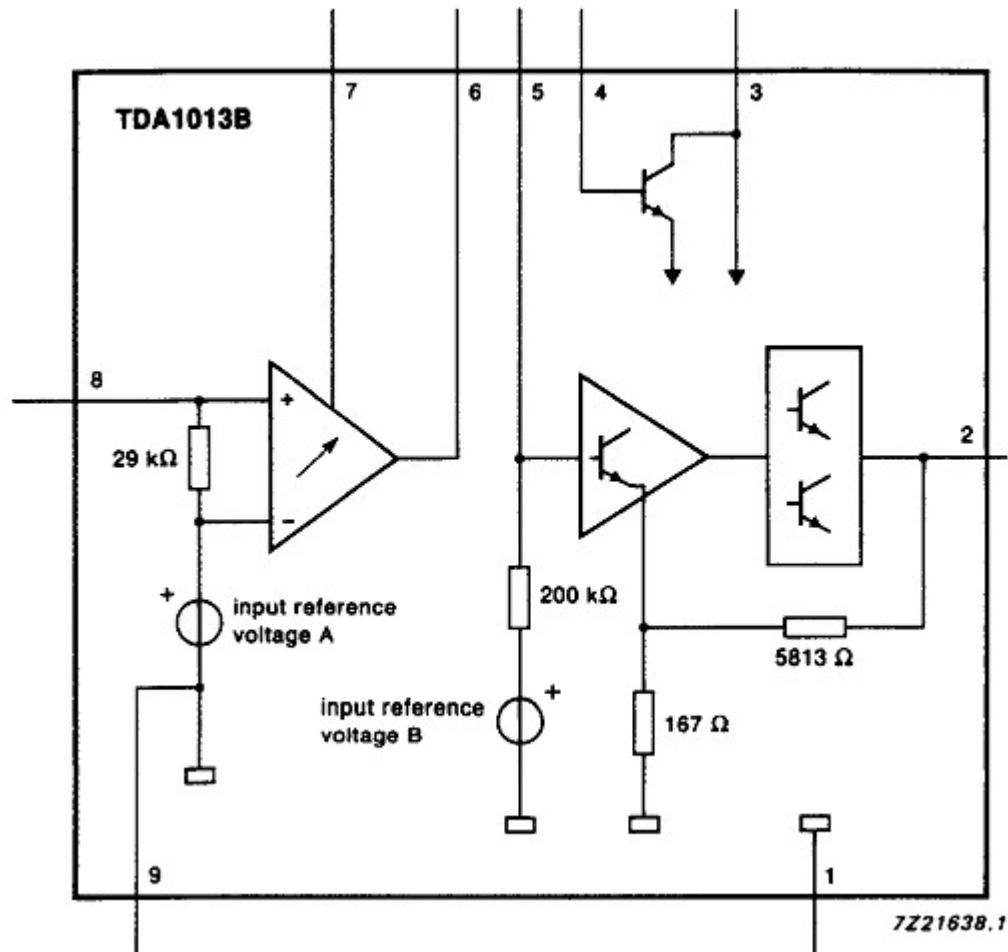


Рис. 3. Блок — диаграмма интегральной схемы УМЗЧ TDA1013B с электронной регулировкой усиления.

Микросхема состоит из предварительного усилителя звуковой частоты и оконечного каскада усилителя мощности с выводом сигнала на головку громкоговорителя. Электронная регулировка режимами работы открывает пути по дальнейшему развитию конструкции. Например, вместо резисторной можно сделать псевдосенсорную кнопочную регулировку громкости и тембра.

Назначение выводов микросхемы:

1. Корпус (усилитель мощности)
2. Выход усилителя мощности
3. Напряжение питания
4. Электронный фильтр
5. Вход усилителя мощности
6. Выход предварительного усилителя
7. Напряжение регулировки для электронного регулирования усиления
8. Вход предварительного усилителя (вход микросхемы)
9. Корпус (предварительный усилитель)

Справочные данные из паспорта на микросхему приведены в табл. 1

Табл.1

PARAMETER	CONDITIONS	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply voltage		$V_P$	10	18	40	V
Repetitive peak output current		$I_{ORM}$	—	—	1.5	A
Total sensitivity	$P_o = 2.5 \text{ W}$ ; DC control at max. gain	$V_i$	44	55	69	mV
Audio amplifier						
Output power	$\text{THD} = 10\%$ ; $R_L = 8 \Omega$	$P_o$	4.0	4.2	—	W
Total harmonic distortion	$P_o = 2.5 \text{ W}$ ; $R_L = 8 \Omega$	THD	—	0.15	0.1	%
Sensitivity	$P_o = 2.5 \text{ W}$	$V_i$	100	125	160	mV
DC volume control unit						
Gain control range		$ \Delta G_v $	80	—	—	dB
Signal handling	$\text{THD} < 1\%$ ; DC control = 0 dB	$V_i$	1.2	1.7	—	V
Sensitivity (pin 6)	$V_o = 125 \text{ mV}$ ; max. voltage gain	$V_i$	39	45	55	mV
Input impedance (pin 8)		$ Z_i $	23	29	35	kΩ

Предельно допустимые условия эксплуатации указаны в табл. 2

Табл. 2

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
$V_P$	Supply voltage	–	40	V
$I_{OSM}$	Non-repetitive peak output current	–	3	A
$I_{ORM}$	Repetitive peak output current	–	1.5	A
$T_{stg}$	Storage temperature range	–55	+150	°C
$T_c$	Crystal temperature	–	+150	°C

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Приборы и оборудование.

Эксперимент проводится на учебно — лабораторной установке РТТУЛ-9, основным элементом которой является объект исследования — усилитель звуковой частоты с электронной регулировкой усиления, выполненный на базе ИС TDA1013b. Микросхема включена согласно принципиальной схеме рис. 4.

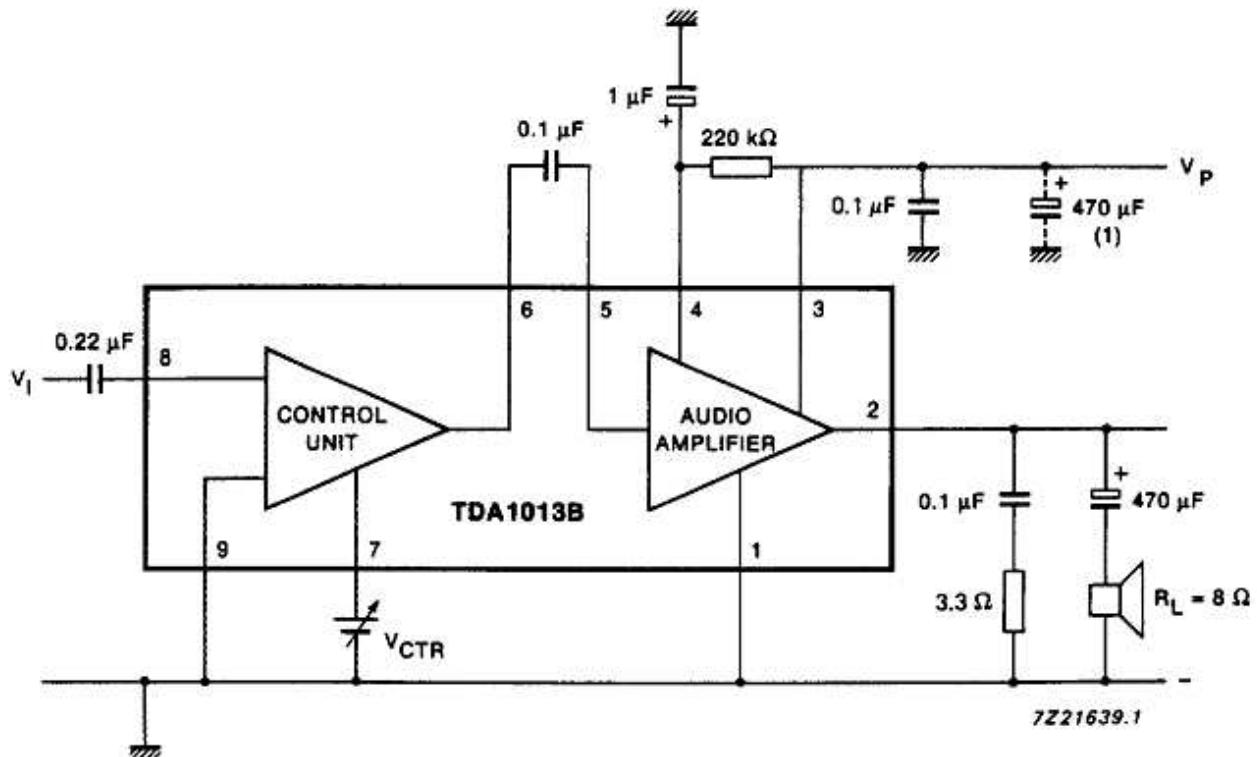


Рис. 4. Принципиальная схема включения интегральной схемы УМЗЧ TDA1013B с электронной регулировкой усиления.

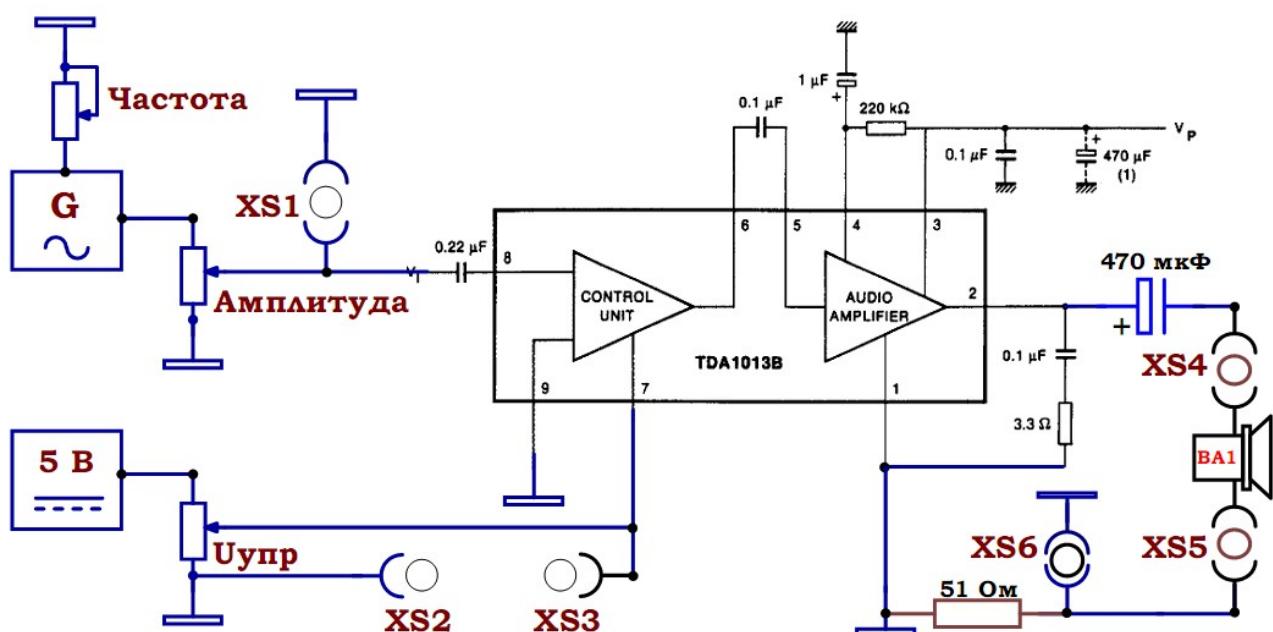


Рис. 5. Упрощенная принципиальная блок — схема учебной установки РТТУЛ-9

Принципиальная электрическая блок-схема учебной установки для изучения УНЧ с электронной регулировкой усиления приведена на рис. 5. Интегральная микросхема УМЗЧ TDA1013b включена согласно схеме рис. 4. Питание установки осуществляется от стабилизированного источника питания, встроенного в модуль. Напряжение регулировки на вывод 7  $V_{CTR}$  микросхемы подается от регулируемого источника питания 5 Вольт. Регулировка  $V_{CTR}$  осуществляется ручкой  $U_{upr}$ . Сигнал звуковой частоты подается от встроенного генератора гармонического сигнала на вход 8 микросхемы (предварительный усилитель). Амплитуда и частота входного гармонического сигнала регулируется соответственно ручками «АМПЛИТУДА» и «ЧАСТОТА». Генератор работает без автоматической регулировки усиления (АРУ), поэтому амплитуда выходного сигнала с генератора зависит от частоты. Для измерения амплитуды и частоты входного сигнала предназначен вывод XS1 для подключения электронного осциллографа. Для измерения амплитуды и частоты входного сигнала предназначен вывод XS6 для подключения электронного осциллографа. Для наблюдения сигнала необходимо подключить к выводам XS4 – XS5 головку громкоговорителя. Клеммы XS2 – XS3 предназначены для подключения вольтметра (универсального мультиметра) для измерения напряжения электронной регулировки.

### Порядок выполнения.

- Перед включением установки в сеть необходимо убедиться в целостности сетевых и соединительных проводов. Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выходы контрольных точек.
- Включить установку и электронный осциллограф в сеть ~220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель сеть на панели учебного модуля и электронного осциллографа в положение «ВКЛ», при этом должны загореться сигнальные индикаторы «СЕТЬ».
- Установить ручку «AC – GND – DC» осциллографа в положение «AC».
- Установить ручки «АМПЛИТУДА», «ЧАСТОТА» и «Упр» учебного модуля в среднее положение.
- Подключить головку громкоговорителя к клеммам XS4 – XS5. При этом из громкоговорителя должен быть слышен сигнал звуковой частоты.
- Подключить к выводам XS2 – XS3 универсальный мультиметр (рис. 6). Черный щуп мультиметра «COM» подключается к общему контакту схемы XS2, красный щуп к клемме XS3.
- Вращая ручку 1, установите на мультиметре **предел измерения 20 В DCV**, обеспечивающий измерения постоянного напряжения с точностью до 0,01 В.
- Измерительный щуп осциллографа типа «тюльпан — BNC» подключить к клемме XS1 для наблюдения сигнала, подаваемого с гармонического генератора на вход микросхемы УМЗЧ TDA1013b.
- Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении Y (внутренняя синхронизация). При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.
- Установить ручку «ЧАСТОТА» учебной установки в крайнее левое

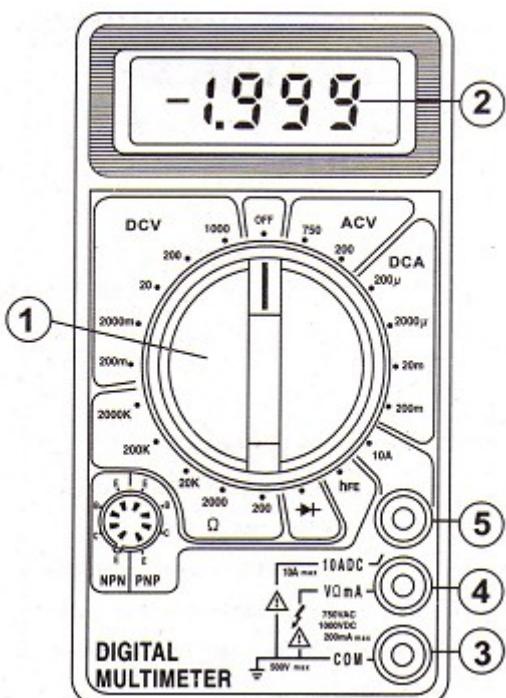


Рис. 6. Мультиметр универсальный.

положение (минимальная частота). Зарисуйте сигнал с экрана осциллографа на миллиметровую бумагу по клетку. Определите амплитуду входного сигнала  $U_{\text{вх}}$  и частоту входного сигнала  $v$ .

11. Исследовать амплитудную характеристику усилителя  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ . Для этого при фиксированной частоте  $v$  входного сигнала и фиксированном значении напряжения управления «Уупр» следует плавно вращать ручку регулировки «АМПЛИТУДА». Измеряя с помощью электронного осциллографа амплитуды на входе  $U_{\text{вх}}$  и выходе  $U_{\text{вых}}$  усилителя, при этом для измерения амплитуды на входе  $U_{\text{вх}}$  осциллограф подключать к клемме XS1, для измерения амплитуды на выходе  $U_{\text{вых}}$  осциллограф подключать к клемме XS6 (обязательно при включенной головке громкоговорителя).
12. Измерения амплитудной характеристики усилителя  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  провести для трех — четырех других частот входного сигнала  $v$  и трех — четырех других значений напряжения управления электронной регулировкой «Уупр», устанавливая их соответственно ручками «ЧАСТОТА» и «Уупр».
13. Исследовать зависимость коэффициента усиления  $K_{\text{yc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$  от частоты для усилителя  $K_{\text{yc}} = K_{\text{yc}}(v)$  при фиксированном значении напряжения управления «Уупр». Для этого устанавливая ручкой «ЧАСТОТА» различную частоту входного сигнала измерять осциллографом амплитуды входного  $U_{\text{вх}}$  и выходного  $U_{\text{вых}}$  сигналов. При этом для измерения амплитуды на выходе  $U_{\text{вых}}$  осциллограф подключать к клемме XS1, для измерения амплитуды на выходе  $U_{\text{вых}}$  осциллограф подключать к клемме XS6 (обязательно при включенной головке громкоговорителя).
14. Измерения  $K_{\text{yc}} = K_{\text{yc}}(v)$  провести для трех — четырех значения напряжений управления «Уупр», устанавливая его соответствующей ручкой и измеряя мультиметром.
15. Исследовать зависимость коэффициента усиления  $K_{\text{yc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$  от напряжения управления «Уупр». Для этого установить ручку «ЧАСТОТА» в крайнее левое положение (минимальная частота). Ручку «АМПЛИТУДА» установить в среднее положение. Определите амплитуду входного сигнала  $U_{\text{вх}}$  и частоту входного сигнала  $v$  (осциллограф подключить к клемме XS1).
16. Вращая ручку «Уупр» снять зависимость  $K_{\text{yc}} = K_{\text{yc}}(\text{Уупр})$  при фиксированной частоте  $v$  и амплитуде входного сигнала  $U_{\text{вх}}$ . Для этого

следует определять коэффициент усиления  $K_{yc} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$  микросхемы для каждого установленного вами значения напряжения управления электронной регулировкой «Уупр». Шаг изменения напряжения управления Уупр делать 0,02 – 0,05 Вольт.

17. Измерения зависимости  $K_{yc} = K_{yc}(U_{упр})$  провести для трех — четырех других частот входного сигнала  $v$  и трех — четырех других значений амплитуды входного сигнала.
18. По полученным вами данным построить графики зависимостей  $U_{вых} = f(U_{вх})$  для различных частот входного сигнала  $v$  и значений напряжения управления электронной регулировкой «Уупр»;  $K_{yc} = K_{yc}(v)$  для различных значений напряжений управления «Уупр»;  $K_{yc} = K_{yc}(U_{упр})$  для различных частот и амплитуд входного сигнала  $U_{вх}$ .
19. По окончании работы отключить электронный осциллограф и учебную установку от сети, поставить все сетевые переключатели в положение «ВЫКЛ».

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

**20.**

1. Для чего предназначены усилители низкой частоты УНЧ? Чем отличаются УНЧ от УМЗЧ?
2. Приведите один из методов расчета коэффициента гармоник.
3. Что представляет собой исследуемая микросхема TDA1013B?
4. В чем преимущество электронной регулировки усиления?
5. Расскажите о назначение выводов исследуемой микросхемы.
6. Приведите пример блок — диаграммы интегральной схемы УМЗЧ TDA1013B и принципиальной схемы включения микросхемы.

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. // М.: Мир. 1984, Т. 1 455 с. Т.2 455 с.
2. Маллер Р.А, Кейминс Т. Элементы интегральных схем. // М.: Мир, 1986, 630 с.
3. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектронника. (Физические и технологические основы, надежность). // М.: Высшая школа. 1995, 464 с.
4. Справочник. Полупроводниковые приборы. Нефедов А.В., Гордеева В.И. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги. // М.: КУБК-а. 1998, 401 с.
5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника — М. : Высшая школа, 1982.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Ч. I, II: Пер. с. англ. / Под. ред. М.В. Гальперина — М. : Мир., 1983.
7. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г. Герасимова — М. : Высшая школа, 1986.
8. Щербаков В.И., Гредов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях : Справочник. — Киев : Техника, 1983.
9. Паспорт на микросхему TDA1013b, Philips Semiconductors.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**