**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ**

# ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Кафедра РПрУ и ТВ**

# **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к курсовой работе

**«Расчёт усилителя воспроизведения для магнитофона»**

## Выполнил

студент группы Р-17 Семёнов И.В.

Проверил

ст.преподаватель кафедры РПрУ и ТВ Снежкова Л.А.

# Таганрог 2000

# **ЛИСТ ЗАМЕЧАНИЙ**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

Рассчитать усилитель воспроизведения для магнитофона со стандартной зависимостью коэффициента усиления от частоты со следующими параметрами:

1. Скорость движения ленты ;



1. Среднее квадратическое значение выходного напряжения предварительного усилителя на частоте .



1. Чувствительность магнитной головки на частоте .



1. Напряжение питания .



1. Полоса пропускания , .



**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение………………………………………………………………….5

1. Краткий обзор теоретических основ звукозаписи...……………..6

2. Анализ ТЗ……………………………..…………………………….9

3. Выбор элементной базы………..…………………………………10

4. Расчёт принципиальной схемы УВ………………………………14

#### Заключение……………………………………………………………...21

#### Список литературы…………………………………………………..…22

#### Приложения…………………………………………………………..…23

ВВЕДЕНИЕ

Усилители воспроизведения предназначены для усиления сигналов, поступающих от воспроизводящей или универсальной головки, и частотной коррекции. Особенности УВ следующие:

1. работа при слабых сигналах на входе (ЭДС, развиваемая воспроизводящей головкой, не превышает нескольких милливольт для катушечныхных магнитофонов и нескольких сотен микровольт для кассетных, например, самое большое значение развиваемой ЭДС лучшей отечественной головкой воспроизведения для кассетных магнитофонов 3Д24.80 на частоте 1 кГц при номинальном магнитном потоке, проходящим через её сердечник, равным 110…190 мГн, равно 350 мкВ);
2. 2) внутреннее сопротивление источника сигнала (магнитной головки) зависит от частоты и изменяется в широких пределах;
3. 3) неравномерность АЧХ, необходимая для частотной коррекции сигналов, может достигать 25…35 дБ.

Основные трудности, встречающиеся при разработке усилителя воспроизведения, заключаются в достижении низкого уровня собственных шумов и минимального уровня нелинейных искажений. Получение необходимой АЧХ особых трудностей не представляет.

В настоящее время разработан большой класс микросхем для усилителей воспроизведения магнитофонов, в которых учитываются все вышеперечисленные особенности построения усилителей воспроизведения для магнитофонов, они практически не уступают по шумовым параметрам УВ, построенным на лучших по шумовым параметрам дискретных элементах, поэтому для миниатюризации УВ желательно использование таких микросхем, при этом также возрастает надёжность УВ и он меньше подвержен влияниям различных наводок и помех.

1. КРАТКИЙ ОБЗОР ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЗВУКОЗАПИСИ

Входным сигналом усилителя воспроизведения является ЭДС воспроизводящей головки, величина которой на нижних частотах не превышает 100…150 мкВ и растёт с увеличением частоты. Это требует от усилителя большого коэффициента усиления, чтобы обеспечить необходимый динамический диапазон. Как известно, динамический диапазон ограничивается снизу шумами. Источниками шума являются магнитная лента, магнитная головка и собственно усилитель воспроизведения. Шумы усилителя воспроизведения преобладают над шумами, создаваемыми головкой и лентой. Отсюда первое требование к усилителям подобного рода – низкий уровень собственных шумов, обеспечивающий наибольшее отношение сигнал/шум. Удовлетворение этого требования зависит как от схемных решений каскадов электрической схемы, так и от рационального их исполнения.

Наиболее ответственным узлом усилителя является первый каскад, так как именно к нему предъявляются жёсткие требования по обеспечению необходимого превышения сигнала над собственными шумами. Даже незначительные шум или помеха, возникающие в первом каскаде и усиленные остальными каскадами, способны значительно уменьшить отношение сигнал/шум на выходе усилителя воспроизведения.

Высокочастотные шумы ощущаются на слух как шипение в акустических системах или наушниках, оказывающее раздражающее действие на слушателя. Поэтому в относительном уровне суммарных помех усилителя воспроизведения доля высокочастотных помех должна быть на 20…30 дБ меньше остальных.

Второе требование к усилителям воспроизведения – малые нелинейные искажения, возникающие при усилении. Величина их должна быть по возможности меньшей.

На качество воспроизведения магнитной записи кроме нелинейных (гармонических) искажений и шумов существенное влияние оказывают частотные искажения. Форма амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) усилителя должна быть строго определённой.

АЧХ УВ представляет собой зависимость напряжения сигнала на выходе от частоты при постоянной ЭДС воспроизводящей головки. Для того, чтобы на данном магнитофоне можно было воспроизводить фонограммы, записанные на других магнитофонах, строго нормируют АЧХ тракта воспроизведения (воспроизводящая головка – УВ). Следовательно, требования, предъявляемые к АЧХ УВ, зависят от параметров воспроизводящей головки, её АЧХ, снятой при воспроизведении фонограммы с измерительной ленты. ЭДС головки при воспроизведении фонограммы с неизменным остаточным магнитным потоком пропорциональна частоте, поэтому АЧХ головки представляет собой наклонную прямую с крутизной около 6 дБ/окт (в средней части диапазона рабочих частот). В области высших рабочих частот крутизна АЧХ головки уменьшается до нуля, а затем изменяет знак (ЭДС головки уменьшается). Это обусловлено главным образом щелевыми потерями и частично частотными потерями. Щелевые потери зависят от эффективной ширины рабочего зазора головки и скорости ленты. На частоте 18 кГц щелевые потери достигают 5…7 дБ при скорости ленты , 3…4 дБ при скорости ленты 9.53 см/с и 2 дБ при скорости 19.05 см/с для современных головок воспроизведения. Частотные потери возникают вследствие уменьшения эффективной магнитной проницаемости сердечника головки на высших частотах.



Подъём АЧХ головок в области низших частот обусловлен тем, что для улучшения отношения сигнал/шум запись на этих частотах выполнена с большим, чем на средних частотах, уровнем. При воспроизведении подъём компенсируют завалом низших частот. В результате уровень шумов на этих частотах снижается на 6…12 дБ.

Чтобы получить горизонтальную АЧХ тракта воспроизведения, АЧХ УВ должна быть обратной относительно АЧХ головки, т.е. в области средних частот АЧХ должна иметь спад в сторону высших частот с крутизной 6 дБ/окт. В области высших частот начиная с некоторой частоты АЧХ должна быть близка к горизонтальной.

Коррекция частотной характеристики усилителя воспроизведения осуществляется RC- и LRC-цепями, включаемыми как в цепь сигнала, так и в цепь отрицательной обратной связи. Чаще коррекцию производят в промежуточных каскадах и лишь иногда на входе усилителя.

Практически всегда необходимая коррекция АЧХ УВ в области средних частот достигается при помощи последовательной цепи из резистора и конденсатора, включаемой параллельно нагрузке корректирующего каскада или в цепь ООС.

Необходимая постоянная времени такой цепи зависит от параметров магнитной головки и магнитной ленты.



По стандарту для каждой из определённых номинальных скоростей движения ленты с магнитным слоем на основе оксида железа определён стандартный вид АЧХ усилителя воспроизведения, также для кассетных магнитофонов со скоростью перемещения ленты определён отдельный вид АЧХ для ленты с магнитным слоем на основе оксида железа и отдельный вид АЧХ для лент с магнитным слоем на основе оксида хрома и с магнитным слоем на основе смеси порошков металлов никеля, железа и др. Все эти виды АЧХ определяются последовательной цепью, состоящей из резистора и конденсатора, с постоянной времени и параллельной цепью, состоящей из резистора и конденсатора, с постоянной времени и определяющей АЧХ в области низших рабочих частот.



Постоянная времени последовательной цепи для скорости движения ленты и при использовании магнитной ленты с рабочим слоем на основе оксида железа должна быть равна . Постоянная времени параллельной цепи для этих параметров должна быть равна . Эти постоянные времени в идеальном случае и должны определять АЧХ усилителя воспроизведения, если не учитывать влияние на АЧХ УВ индуктивности ГВ. Это влияние пренебрежимо мало, если входное сопротивление УВ значительно больше полного сопротивления головки на наивысшей рабочей частоте (в принципе это условие легко достижимо).



Также для коррекции АЧХ УВ на высших рабочих частотах применяют включение конденсатора определённой ёмкости параллельно ГВ. Это включение образует параллельный колебательный контур, поднимающий АЧХ УВ в области высших частот. Контур выбором корректирующего конденсатора настраивают на частоту 16…18 кГц и подбором сопротивления, параллельно включенного этому контуру, получают необходимую форму АЧХ в области высших частот.

В настоящее время последовательная и параллельная цепи, указанные выше включают только в цепь обратной связи усилителя с большим коэффициентом усиления, т.к. при этом АЧХ УВ будет определяться только параметрами этой цепи и характеристики такого УВ имеют лучшие показатели чем УВ в котором последовательная цепь включена параллельно нагрузке, а параллельная перед нагрузкой последовательно с ней. Наилучшие шумовые параметры при наименьшем уровне нелинейных и частотных искажений достигаются при включении вышеуказанных цепей в цепь обратной связи с выхода всего усилителя на первый малошумящий каскад, при этом с ростом частоты, его входное сопротивление сильно увеличивается, что важно для высокоомных ГВ.

2. АНАЛИЗ ТЗ

В ТЗ необходимо рассчитать усилитель воспроизведения для кассетного магнитофона со стандартной АЧХ УВ для скорости движения ленты . Это условие уже говорит и том, что сигнал на входе усилителя будет очень небольшой величины, поэтому необходимо разработать усилитель с малым уровнем собственных шумов



Т.к. задан нестандартный уровень выходного сигнала для усилителя воспроизведения , то в расчётах будем использовать . Примем что частотный диапазон равен 31,5…16000Гц , т.к. для кассетных магнитофонов он наиболее распространённый.



При использовании современных высокочастотных транзисторов, ОУ или усилителей в виде ИМС, для самого усилителя нетрудно обеспечить указанную в ТЗ полосу рабочих частот, в основном рабочая полоса тракта ГВ-УВ определяется только характеристиками ГВ. Для головки 3Д24.80 при использовании ленты с магнитным слоем на основе оксида железа рабочий диапазон частот составляет значение 40…12500 Гц, при использовании ленты с рабочим слоем на основе оксида хрома – 31.5…16000 Гц и при использовании «металлических» лент – 31.5…18000 Гц.

Для расчёта коррекции на высших рабочих частотах необходимо знать значение индуктивности используемой головки, для головки 3Д24.80 индуктивность составляет значение 110…190 мГн.

Как указывалось во введении существуют специальные микросхемы для УВ магнитофонов, содержащие в себе усилитель переменного тока с большим коэффициентом усиления и малым уровнем собственных шумов, таким образом для уменьшения габаритных размеров УВ мы применим одну из таких микросхем для УВ.

3. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ УВ

Как указывалось при анализе технического задания в качестве УВ желательно выбрать интегральный малошумящий усилитель переменного тока с большим входным сопротивлением для уменьшения влияния индуктивности ГВ на АЧХ усилителя и желательно с большим коэффициентом усиления, для того, чтобы АЧХ УВ, построенного на этой микросхеме зависела только от параметров цепи отрицательной обратной связи (при этом легко обеспечить стандартный вид АЧХ УВ).

Наилучшими шумовыми параметрами из отечественных интегральных усилителей переменного тока, предназначенных для использования в УВ кассетных магнитофонов, обладает усилитель в виде ИМС К157УЛ1А.

Это двухканальный усилитель воспроизведения для стереофонических магнитофонов с низким уровнем шумов. Напряжение шумов, приведённое ко входу усилителя воспроизведения кассетного магнитофона, в полосе частот 20…20000 Гц, может быть получено не более 0.5 мкВ, Функциональная схема усилителя и схема её включения приведены на рис. 1.

Уменьшение собственных шумов микросхемы достигнуто применением режима микротоков во входном и оконечном усилителях и большими коэффициентами усиления.

На выходе усилителя – эмиттерный повторитель с динамической нагрузкой, что позволяет обеспечить хорошее согласование микросхемы с последующими каскадами магнитофона. Кроме того, усилитель на выходе имеет защиту от короткого замыкания.

АЧХ усилителя задаётся внешней цепью ООС по току, включаемой между выходом усилителя и эмиттера первого транзистора. Как указывалось выше, такое построение УВ даёт наилучшие характеристики УВ: во-первых усилитель имеет наилучшие шумовые параметры, во-вторых он имеет минимальный коэффициент нелинейных искажений, в третьих его АЧХ зависит только от параметров цепи обратной связи (при большом усилении усилителя без ООС как и в нашем случае), так что легко реализовать стандартный вид АЧХ для нашего случая, и в четвёртых входное сопротивление такого усилителя повышается с ростом частоты, поэтому минимизируется влияние индуктивности ГВ на АЧХ тракта ГВ-УВ.

Коэффициент усиления определяется при этом сопротивлением внешнего резистора, включенного между выводами 1, 3 (7, 5 для второго канала) и параметрами цепи ООС. Для получения максимального усиления основного усилителя и устранения уменьшения усиления на низших частотах между выводами 14, 3 (8, 5) включают конденсатор большой ёмкости (при стандартном включении этой микросхемы в качестве УВ кассетного магнитофона ёмкость этого конденсатора выбирают равной 100 мкФ и номинальное напряжение этого конденсатора выбирается равным 15 В при напряжении питания микросхемы ). Устойчивость работы усилителя обеспечивается включением конденсатора между выводами 2, 3 (6, 5). Этот конденсатор совместно с ГВ образует параллельный колебательный контур, поднимающий АЧХ тракта ГВ-УВ в области высших частот, частоту настройки этого контура выбирают равной при работе с головкой 3Д24.80.



### Основные электрические параметры микросхемы К157УЛ1А

##### Номинальное напряжение питания 12 В

## Коэффициент усиления по напряжению в полосе частот 20…20000 Гц

без ООС, не менее 8000…13000

Потребляемый ток (по двум каналам), не более 6 мА

Входное сопротивление, не менее 60 кОм

Коэффициент гармоник при , , не более 0.2%



Переходное затухание, не менее -70 дБ

Напряжение шумов, приведённое ко входу, в полосе частот 20 Гц…20 кГц

при сопротивлении источника сигнала 10 Ом, ,



, не более 0.3 мкВ



### Предельно допустимые режимы эксплуатации

## Диапазон питающих напряжений 8.1…20 В

Входной ток, не более 1 мА

Выходной ток, не более 5 мА

Рассеиваемая мощность, не более 250 мВт

### Описание типовой схемы включения

При типовой схеме включения выбранной микросхемы резисторы R1 и R2, стоящие в цепях эмиттеров транзисторов первых каскадов рекомендуется выбирать в пределах 90..110 Ом, вследствие того, что при увеличении сопротивлений этих резисторов увеличивается уровень шумов усилителя, а при уменьшении начинает сказываться входное дифференциальное сопротивление эмиттеров транзисторов первого каскада и в силу его нелинейности увеличиваются нелинейные искажения сигнала на выходе усилителя. Выбираем сопротивление резисторов R1 и R2 равными 91 Ом. Номиналы резисторов и конденсаторов цепей, задающих АЧХ усилителей R3, R5, C7 для левого канала и R4, R6, C8 для правого канала, рассчитываются исходя из необходимого усиления на частоте и необходимой АЧХ усилителей. Ёмкости конденсаторов С1 и С2 рассчитываются исходя из условия настройки контуров, образуемых индуктивностями головки и этими конденсаторами на частоту .



Рис. 1. Функциональная и типовая схемы включения микросхемы К157УЛ1А:



1 – входной каскад; 2 – каскад основного усиления; 3 – выходной каскад;

4 – стабилизатор режима первого каскада.

Электролитические конденсаторы С3, С4 выбираются ёмкостью 20 мкФ при типовой схеме включения микросхемы и рассчитаны на номинальное напряжение 6 В.

Ёмкость конденсаторов С9, С10 рассчитывается исходя из заданного входного сопротивления последующего каскады, обычно следующий каскад имеет высокое входное сопротивление 10…100 кОм, поэтому достаточное значение емкостей конденсаторов С9 и С10 лежит в пределах 10…100 мкФ для предотвращения спада уровня низкочастотных составляющих. Номинальное напряжение этих конденсаторов выбирается равным 10 В при номинальном напряжении питания .



Сопротивления резистора R7 и его номинальная мощность рассчитываются исходя из выбранного значения напряжения питания микросхемы и напряжения питания, заданного в ТЗ.

Ёмкость конденсатора С11 выбирается при типовой схеме включения равной 100 мкФ, и при номинальном напряжении питания микросхемы конденсатор С11 выбирается с номинальным рабочим напряжением 15 В.

Ёмкости конденсаторов С5, С6 выбираются равными 100 мкФ при типовой схеме включения, они в основном и определяют спад на нижних рабочих частотах АЧХ усилителя, для этих значений спад АЧХ усилителей на частоте составляет 1 дБ, таким образом выбирая ёмкость конденсаторов С5, С6 как и в типовой схеме мы снижаем нижнюю рабочую частоту усилителя 20 Гц по уровню –1 дБ.



Таким образом необходимо произвести лишь расчёт цепей, задающих АЧХ усилителя, расчёт емкостей конденсаторов С1, С2 и расчёт сопротивления резистора R7 в фильтре питания.

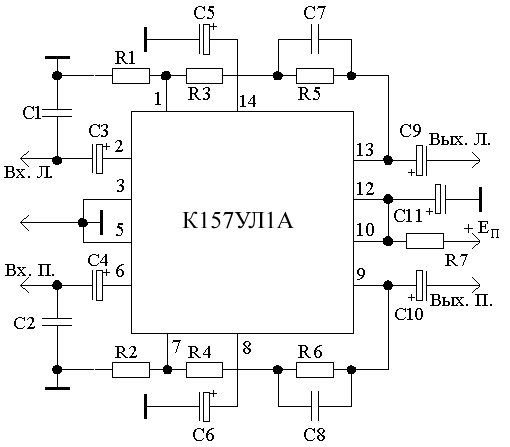
Т.к. усиление УВ требуется довольно большое, т.е. сравнимое по порядку с усилением микросхемы без ООС, то необходимо проверить отклонение АЧХ нашего усилителя от стандартной, при которой считается, что усилитель без ООС имеет бесконечно большое усиление. При отклонении АЧХ рассчитанного усилителя от стандартной особенно на нижних частотах более чем на 3 дБ, необходимо будет произвести коррекцию сопротивлений R5, R6 в сторону увеличения для того, чтобы поднять усиление на нижних рабочих частотах и приблизить форму АЧХ нашего усилителя к стандартной.

Исходя из всех вышеперечисленных рассуждений выбираем принципиальную схему УВ, показанную на рис. 2.

4. РАСЧЁТ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

УСИЛИТЕЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Рис. 2. Электрическая принципиальная схема усилителя воспроизведения



Расчёт будем вести для левого канала и результаты расчёта распространим на правый канал.

Стандартная АЧХ УВ (при бесконечно большом усилении микросхемы без ООС) рассчитывается по формуле:

(4.1).



При этом должно выполняться условие R1<<R3, что при большом усилении, как в нашем случае, всегда выполняется.

В нашем случае усиление микросхемы без ООС не бесконечно и имеет определённое значение , поэтому реальная АЧХ усилителя будет рассчитываться по формуле:



(4.2).



Таким образом при расчёте необходимо подобрать такие номиналы резисторов R3, R5 и конденсатора С7, чтобы расхождения между требуемой и получаемой АЧХ были минимальными.

Т.к. на частоте выходное напряжение первого каскада должно равняться 0.5 В при входном напряжении усилителя , то необходимое усиление на этой частоте УВ составит значение



.



На частоте параллельная цепь R5-C7 с постоянной времени практически не влияет на усиление УВ, влияние имеет только цепь R3-C7 с постоянной времени . Определим необходимый коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи по напряжению исходя из формулы



Принимая самый худший случай когда , рассчитаем необходимый коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи по напряжению



.



Тогда, учитывая пренебрежимо малое влияние резистора R5 на частоте

1 кГц и вышеуказанное условие R1<<R3, легко рассчитать сопротивление резистора R3 исходя из формулы для коэффициента ООС

. (4.3)



Мы в этой формуле ёмкость С7 выразили через сопротивление резистора R3 и постоянную времени .



Сопротивление резистора R1 по вышеуказанной рекомендации выбираем равным R1=91 Ом (из ряда Е24 номинальных сопротивлений резисторов), выбираем тип резистора . Для правого канала аналогично выбираем номинал и тип резистора R2 .



Т.к. сопротивление резистора R1 выбрано, то рассчитываем сопротивление резистора R3

.



Из ряда Е24 номинальных сопротивлений резисторов выбираем номинал резистора R3=150 кОм и тип резистора . Для правого канала аналогично выбираем номинал и тип резистора R4 .



Тогда ёмкость конденсатора С7 равна .



Из ряда Е6 номинальных емкостей конденсаторов выбираем номинал конденсатора С7=1 нФ и тип конденсатора . Для правого канала аналогично выбираем номинал и тип конденсатора С8 .



Рассчитаем сопротивление резистора R5, исходя из условия .



.



Из ряда Е24 номинальных сопротивлений резисторов выбираем номинал резистора R5=1,5 МОм и тип резистора . Для правого канала аналогично выбираем номинал и тип резистора R6 .



Рассчитаем сопротивление резистора R7

.



Мощность, рассеиваемая на резисторе R7

.



Из ряда Е24 номинальных сопротивлений резисторов выбираем номинал резистора R7=2 кОм и тип резистора .



Выбираем номинал и тип конденсатора С9 .



По вышеуказанным рекомендациям для типовой схемы включения микросхемы К157УЛ1А выбираем номиналы и типы конденсаторов С3 и С4 .



По вышеуказанным рекомендациям для типовой схемы включения микросхемы К157УЛ1А выбираем номиналы и типы конденсаторов С5 и С6 .



Теперь по формулам (4.1) и (4.2) рассчитаем и построим АЧХ нашего УВ и стандартную АЧХ, также строим нормированную по стандартной АЧХ зависимость их разности от частоты.

Рассчитаем ёмкость конденсатора С1, исходя из настройки контура ГВ-конденсатор С1 на частоту 16 кГц.

Принимаем индуктивность ГВ равной .



Тогда ёмкость конденсатора С1 будет равна



Из ряда Е24 номинальных емкостей конденсаторов выбираем номинал конденсатора С1=680 пФ и тип конденсатора . Для правого канала аналогично выбираем номинал и тип конденсатора С2 .



На этом расчёт УВ можно считать законченным.

Теперь проверим допустимость отклонений АЧХ полученного УВ от стандартной. На рис. 3 построены стандартная АЧХ сплошной линией и реальная нашего УВ штриховой линией. Как видно отклонение реальной от стандартной АЧХ наблюдается только на нижних рабочих частотах, это объясняется большим усилением УВ на нижних рабочих частотах и сравнимым с ним по порядку коэффициентом усиления микросхемы К157УЛ1А без ООС. На рис. 4. показано нормированное по стандартной АЧХ отклонение реальной АЧХ от стандартной. Видно, что на нижней рабочей частоте отклонение не превышает 10 дБ и резко уменьшается в сторону увеличения частот, т.е. отклонения реальной АЧХ от стандартной меньше 2дБ по напряжению, поэтому рассчитанный усилитель можно признать удовлетворяющим ТЗ.



Рис. 3



Рис. 4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной курсовой работе был рассчитан УВ для кассетного магнитофона. Основной особенностью этого УВ являлась необходимость большого усиления, особенно на нижних рабочих частотах ИМС, что и было достигнуто на микросхеме К157УЛ1А. При разработке УВ мы руководствовались необходимостью уменьшения габаритов УВ для уменьшения уровня наводок на УВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даниленко Б.П., Манкевич И.И. Отечественные и зарубежные магнитофоны: схемы, ремонт. – Мн.: Беларусь, 1994. 617 с.: ил.
2. Галкин В.И. и др. Полупроводниковые приборы: Справочник 2-е изд. перераб. и доп. Минск: Беларусь. 1987. 283 с.
3. Гершунский Б.С. Справочник по расчёту электронных схем. Киев: В. шк., 1983. 240 с.
4. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства: Учеб. пособие для ВУЗов. 2-е изд. переб. и доп. М: Связь, 1977. 360 с.
5. Остапенко Г.С. Усилительные устройства: Учебн. пособие для радиотехнических специальностей техникумов. Киев: Изд-во. ун-та., 1968. 250 с.
6. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приёмно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя. Киев: Наукова Думка, 1985, 671 с.: ил.