

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУРЬШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе 5

В методических указаниях приведены общие сведения о преобразователях частоты приемников амплитудно-модулированных сигналов; рассмотрены особенности построения каскадов преобразователей частоты на интегральных микросхемах; дано описание лабораторного макета, приведен порядок выполнения работы. Указания предназначены студентам специальности 0701.

Составитель Л. И. Калакутский

Рецензенты: Н. Я. Яцен, Ю. С. Быховский

Цель работы: ознакомление со схемным построением и основными характеристиками преобразователей частоты (ПЧ) радиоприемников; изучение схем ПЧ на интегральных микросхемах (ИМС); исследование характеристик ПЧ на ИМС серий К237, К224.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Принцип действия ПЧ. Преобразователь частоты служит для линейного переноса спектра радиосигнала с одной несущей частоты на другую, называемую промежуточной. Для данного приемника промежуточная частота постоянна и в большинстве случаев ниже частоты принимаемого сигнала. Линейность преобразования частоты заключается в том, что вид и параметры модуляции преобразуемого сигнала остаются неизменными.

Преобразование частоты осуществляется путем перемножения двух переменных напряжений — напряжения принимаемого сигнала и напряжения гетеродина — и выделения с помощью фильтра колебаний комбинационной частоты, принятой за промежуточную. Перемножение двух высокочастотных напряжений можно осуществить двумя способами. Один из них основан на использовании элементов, обладающих нелинейной проводимостью, другой — на использовании линейных цепей с переменными параметрами. В том и другом случае ПЧ должен быть линеен по отношению к принимаемому сигналу. Это необходимо для того, чтобы избежать нелинейных искажений сигнала, а также нелинейных эффектов, ухудшающих селективность приемника, таких как перекрестная модуляция и интермодуляция.

Нелинейные элементы, применяемые для преобразования частоты, необходимы для получения коэффициента передачи, изменяющегося с частотой гетеродина. Такое изменение получается, если свойства элементов зависят от приложенного к ним напряжения гетеродина, что говорит об их нелинейности по отношению к этому напряжению. Совмещение требования линейности по отношению к напряжению сигнала и нелинейности к напряжению гетеродина достигается выбором уровня этих напряжений: первое берется достаточно малым, а второе — большим.

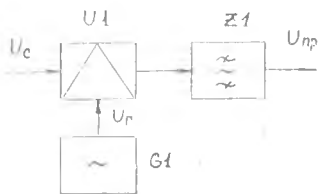


Рис. 1

ПЧ содержит в своем составе нелинейный элемент, или элемент с переменным параметром (смеситель), маломощный автогенератор (гетеродин) и избирательную систему, настроенную на промежуточную частоту (рис. 1).

Частотная характеристика ПЧ. Выходной ток преобразователя содержит множество комбинационных составляющих с частотами:

$$f_k = |\pm n f_r \pm m f|,$$

где f — частота принимаемого сигнала,
 f_r — частота колебаний напряжения гетеродина,
 m, n — целые числа.

Количество комбинационных составляющих выходного тока зависит от вида нелинейности характеристики смесителя, а также от числа гармоник гетеродина.

Избирательная нагрузка преобразователя настроена на промежуточную частоту, являющуюся в большинстве случаев разностной, например, при линейном смесителе ($m = 1$) $f_{пр} = n f_r - f$ или $f_{пр} = f - n f_r$.

В общем случае частоты сигналов, поступающие на вход преобразователя и дающие выходное напряжение на нагрузке, настроенной на $f_{пр}$, определяются как

$$f = \frac{n}{m} f_r \pm \frac{1}{m} f_{пр}.$$

Частотная характеристика ПЧ представляет собой зависимость его коэффициента передачи от частоты принимаемого сигнала при постоянной частоте гетеродина. Если ограничиться первыми двумя гармониками гетеродина ($n = 1, 2$) и случаем линейного

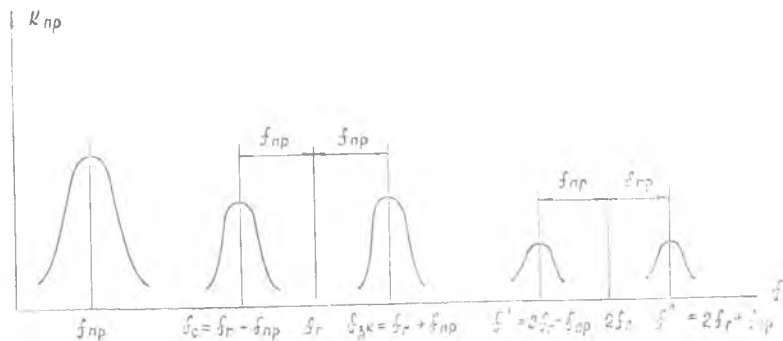


Рис. 2

смесителя ($m = 1$), то частотная характеристика ПЧ примет вид, представленный на рис. 2.

Частоты, на которых входные сигналы ПЧ проходят на выход схемы (каналы приема) попарно и симметрично, расположены относительно частоты гетеродина и ее гармоник, за исключением канала «прямого прохождения», равного $f_{пр}$. На частоте канала «прямого прохождения» ПЧ работает как усилитель, поэтому его коэффициент передачи определяется крутизной активного элемента смесителя. На частотах остальных каналов приема коэффициент передачи пропорционален крутизне преобразования по соответствующим гармоникам гетеродина.

Из всех каналов приема только один, например $f = f_r - f_{пр}$, является полезным (основным), все остальные являются дополнительными.

Наличие дополнительных каналов приема ухудшает эффективную избирательность супергетеродинного приема. Ослабить прием по этим каналам можно с помощью избирательных систем преселектора (входной цепи и УРЧ), а также соответствующим выбором режима активных элементов ПЧ (уменьшение крутизны преобразования по гармоникам гетеродина, выбор специальных схем смесителей, уменьшающих число гармоник). Для ослабления приема по каналу «прямого прохождения» в преселекторе часто включают режекторный фильтр, настроенный на промежуточную частоту. В диапазонных приемниках частота гетеродина перестраивается синхронно с перестройкой избирательных систем преселектора, обеспечивая постоянство промежуточной частоты при приеме различных по частоте сигналов.

На некоторых частотах настройки преобразователя наблюдается появление так называемых «свистов» — тональной огибающей принимаемого сигнала, частота которой лежит в звуковом диапазоне и изменяется при изменении частоты настройки приемника. «Свист» возникает на той частоте настройки, где образуется приблизительное совпадение преобразования входного сигнала ПЧ по основному и одному из дополнительных каналов приема. Для исключения «свистов» промежуточная частота приемника должна быть больше половины максимальной частоты принимаемого сигнала.

Схемы преобразователей частоты на ИМС. ИМС, разработанные для использования в качестве преобразователей частоты, обычно содержат активные элементы и цепи их питания, предназначенные для построения каскадов смесителя и гетеродина.

Микросхема К224ХА2, применяемая в радиовещательных приемниках, содержит простейшую схему одностранзисторного смесителя (рис. 3). Гетеродин собран по автогенераторной схеме на транзисторе 1VТ2, включенном по схеме с общей базой. Транзистор 1VТ1 используется в качестве смесителя: на его базу (вывод 1)

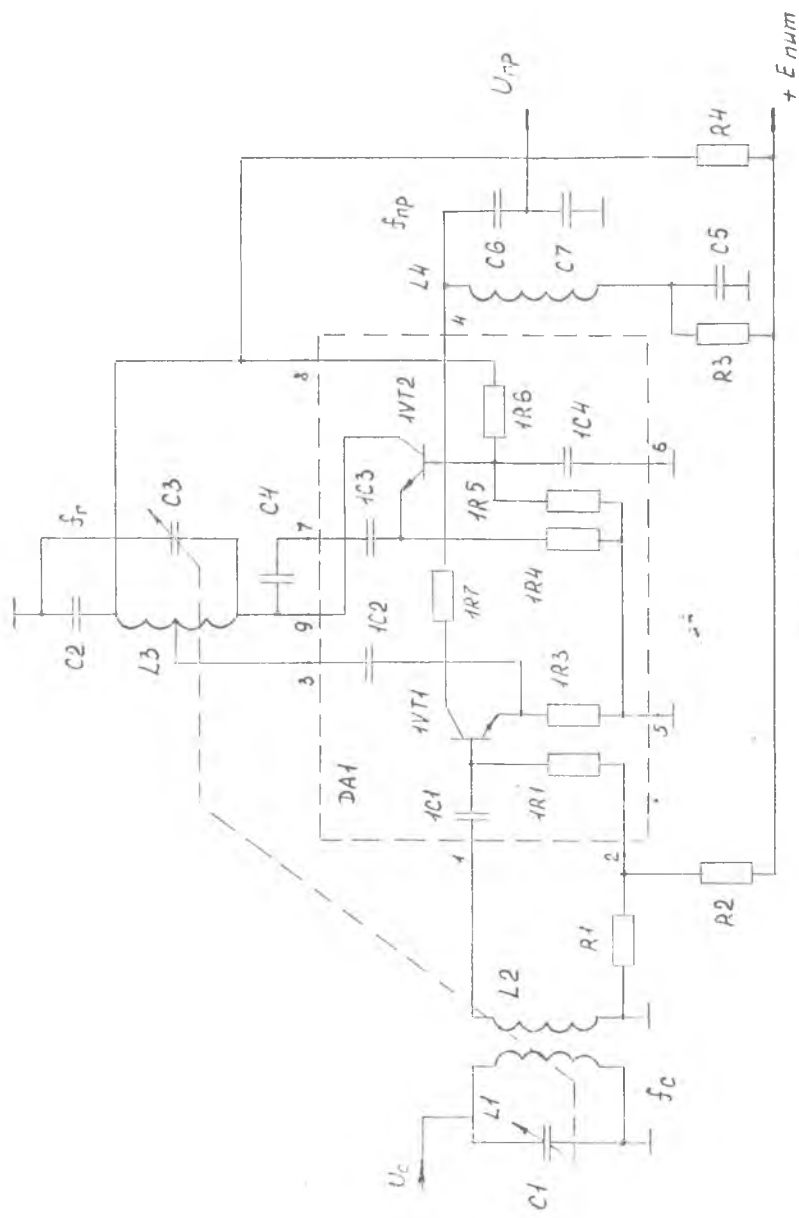


Рис. 3

подается напряжение сигнала, на эмиттер (вывод 3) напряжение гетеродина. Для напряжения сигнала транзистор 1VT1 включен по схеме с общим эмиттером, для напряжения гетеродина — по схеме с общей базой. Контур L4, C6, C7 настроен на промежуточную частоту. Питание базовой цепи 1VT1 осуществляется от делителя R1, R2, базовой цепи 1TV2 — от делителя 1R6, 1R5.

Диапазон рабочих частот смесителя составляет 0,15...30,0 МГц, крутизна вольт-амперной характеристики смесителя — не менее 18 мА/В, гетеродина — не менее 14 мА/В; входное сопротивление для сигнала по частоте 10 МГц не менее 50 Ом.

Наибольшее распространение при построении схем преобразователей частоты на ИМС нашли балансные схемы смесителей, построенные на основе применения дифференциальных транзисторных каскадов. Такие смесители обладают рядом преимуществ по сравнению с однотактными схемами, важнейшими из которых являются подавление шумов гетеродина и уменьшение числа дополнительных каналов приема. Балансные схемы широко применяются в интегральной микросхемотехнике. По балансным схемам построены смесители микросхем: К237ХА1, К157ХА1, К174ПС1, К235ПС1, К174ХА2.

Рассмотрим типовое включение преобразователя частоты на ИМС К237ХА1 (рис. 4). Микросхема содержит усилитель радиочастоты с регулируемым коэффициентом усиления на транзисторе 1VT1 и преобразователь частоты на транзисторах 1VT2—1VT6. Преобразователь включает гетеродин на транзисторах 1VT3, 1VT4, 1VT6 и смеситель на транзисторах 1VT2, 1VT5.

Усилитель радиочастоты — аperiodический, выполнен по схеме с общим эмиттером. Вывод 2 микросхемы соединяется с корпусом, к выводу 1 подводится напряжение сигнала. Вывод 14 через разделительный конденсатор С3 соединяют с выводом 11 и, кроме того, к нему подключают режекторный фильтр L1, С1, настроенный на промежуточную частоту. К выводу 13 подводится либо постоянное напряжение питания, либо напряжение с выхода цепи АРУ.

Таким образом, в рабочем диапазоне частот нагрузкой каскада по переменному току служит параллельное соединение резисторов 1R1, 1R4 и входного сопротивления транзистора 1VT2. Суммарное сопротивление нагрузки составляет около 400 Ом. На промежуточной частоте сопротивление фильтра, шунтирующего нагрузку, уменьшается до 10—20 Ом и ослабление сигнала промежуточной частоты достигает около 20 дБ. Режекторный фильтр имеет достаточно высокую добротность ($Q \approx 50$), он вносит значительную неравномерность в зависимость коэффициента передачи от частоты в рабочем диапазоне. Через сопротивление резистора 1R2 каскад охвачен слабой обратной связью по напряжению.

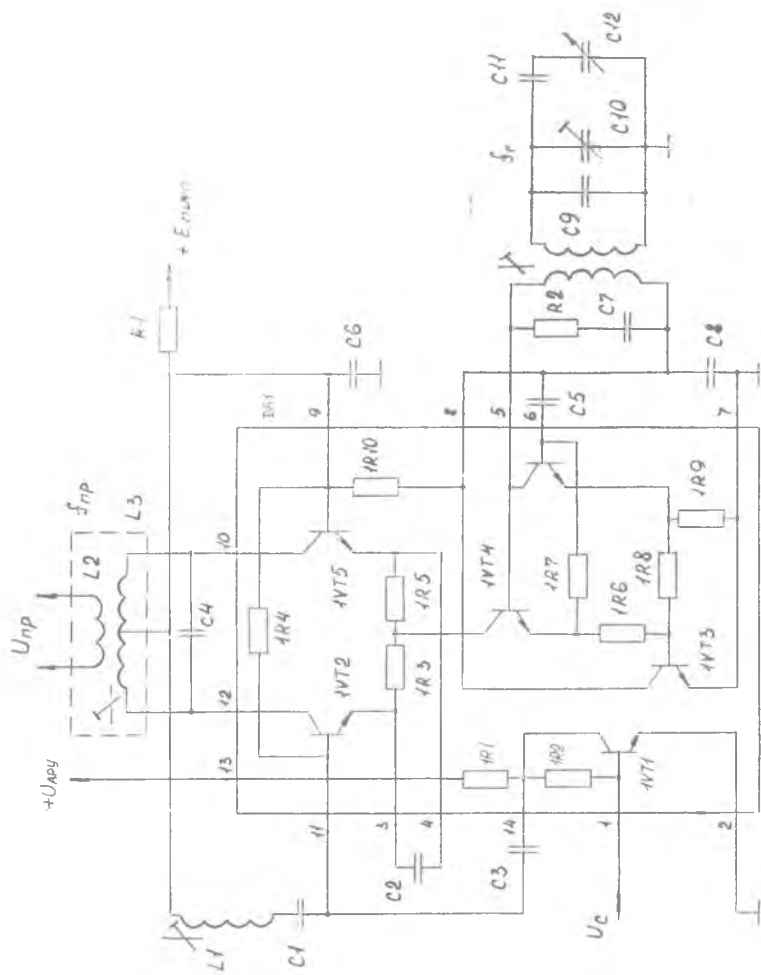


Рис. 4

Смеситель (см. рис. 4) собран по балансной схеме. Коллекторный ток $1VT4$ — выходной ток гетеродина — поровну распределяется между транзисторами смесителя $1VT2$ и $1VT5$. Выводы 3 и 4 соединяются между собой через разделительный конденсатор $C2$, поэтому сигнал радиочастоты, поступающий на базу транзистора $1VT2$, оказывается в противофазе по отношению к сигналу, приложенному к выводам база—эмиттер транзистора $1VT5$ (этот транзистор включен по схеме с общей базой, его база через вывод 9 и конденсатор развязывающего фильтра источника питания $C6$ соединена с корпусом). К выводам 12 и 10 подключается контур $L3, C4$, настроенный на $f_{цр}$, согласующий выход микросхемы с ФСС. Питание коллекторных цепей транзисторов $1VT2, 1VT5$ осуществляется через вывод от средней точки первичной обмотки $L3$, соединенной с источником питания.

Гетеродин собран на транзисторах $1VT4, 1VT6$ по автогенераторной схеме. Транзистор $1VT3$ используется для стабилизации амплитуды колебаний. Питание коллекторной цепи транзистора $1VT3$, базовой цепи транзистора $1VT4$ и коллекторной цепи транзистора $1VT6$ осуществляется через резистор $1R10$, подключенный через вывод 9 к источнику питания.

Гетеродин работает следующим образом. Напряжение с контура подается на базу транзистора $1VT4$ и повторяется на делителе $1R5, 1R8, 1R9$, расположенном в эмиттерной цепи этого транзистора. С сопротивления $1R9$ напряжение поступает на вход транзистора $1VT6$, включенного по схеме с общей базой, и, усиленное, прикладывается к базе $1VT4$. Если напряжение на контуре гетеродина возрастает, то возрастает и напряжение на резисторах $1R8, 1R9$, приложенное к выводам база—эмиттер транзистора $1VT3$. При этом возрастает выпрямленный базовый и постоянный коллекторный ток транзистора $1VT3$, увеличивается падение напряжения на $1R10$, падают напряжения на базе $1VT4$ и коллекторе $1VT6$, их токи уменьшаются и уменьшается амплитуда колебаний на контуре. Так осуществляется автоматическая стабилизация амплитуды колебаний гетеродина.

Микросхема $K237XA1$ работает в диапазоне частот $0,15...15$ МГц; коэффициент усиления в режиме преобразования $150...250$ (при эквивалентном сопротивлении между выводами 10 и 12, равном 10 кОм); уменьшение коэффициента усиления на $f = 15$ МГц по отношению к усилению на $f = 150$ кГц — не более 5 дБ; коэффициент шума на $f = 150$ кГц — не более 6 дБ.

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ МАКЕТА

Лабораторный макет содержит две схемы преобразователя частоты: однотактную, собранную на ИМС $K224XA2$, и балансную — на ИМС $K237XA1$ (рис. 5). Схема балансного преобразователя

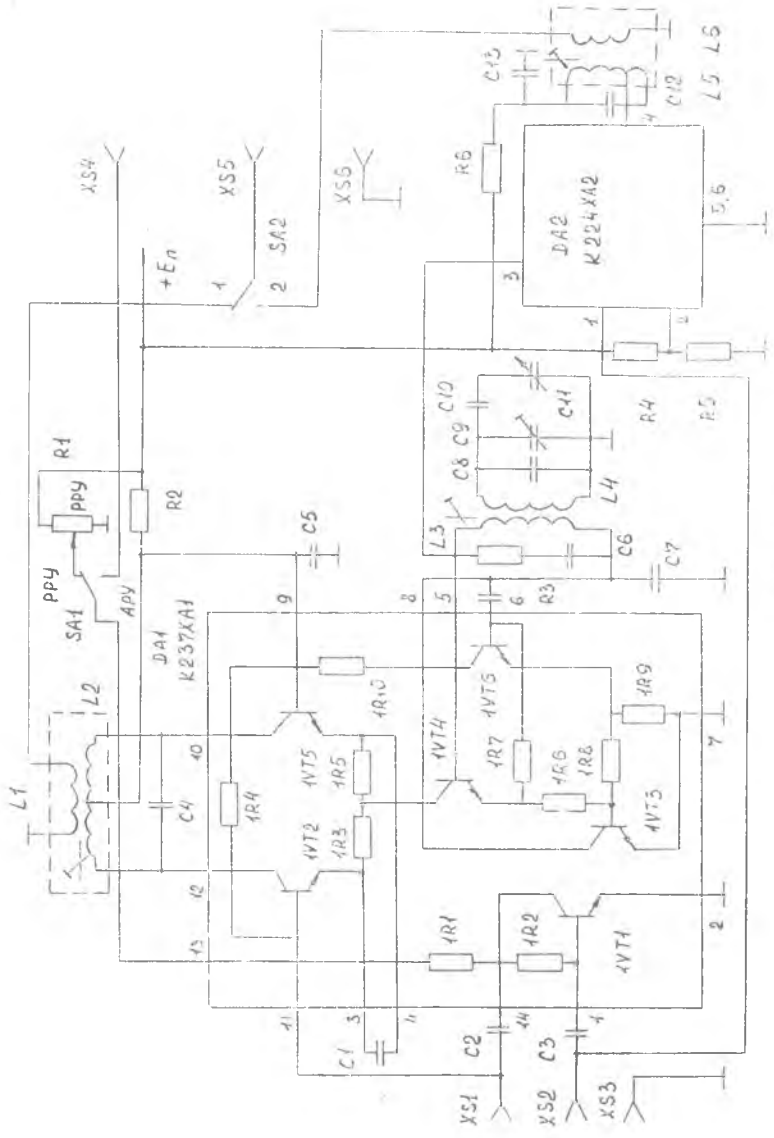


Рис. 5

собрана по типовой схеме включения ИМС. Входной сигнал от генератора через разделительный конденсатор СЗ поступает на вход УРЧ (транзистор 1VT1). Питание 1VT1 регулируется с помощью переменного резистора R1 (переключатель SA1 в положении «РРУ» — ручная регулировка усиления). В положении переключателя SA1 «APУ» питание 1VT1 осуществляется через клемму XS4 от схемы автоматической регулировки усиления макета УПЧ. Нагрузка смесителя — контур L2, С4, настроенный на промежуточную частоту. Контур гетеродина образован элементами L4, С8-С11; переменный конденсатор С11 снабжен ручкой, выведенной на лицевую панель макета для установки частоты гетеродина.

В схеме одноканального преобразователя частоты используется напряжение гетеродина, формируемое в ИМС ДА1. Переход к исследованию одноканальной схемы осуществляется путем переключения тумблера SA2 («1» — балансная схема, «2» — одноканальная схема). Нагрузкой одноканального преобразователя является контур L5, С12, настроенный на промежуточную частоту.

Входной сигнал подводится к макету от генератора сигналов через клеммы XS2, XS3. Напряжение на выходе преобразователя частоты контролируется с помощью милливольтметра и осциллографа на клеммах XS5, XS6. Клемма XS1 служит для контроля сигнала на выходе усилителя радиочастоты. Клемма XS4 служит для подачи напряжения APУ при исследовании схемы APУ.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследование одноканального ПЧ.

1. Измерить резонансную характеристику ПЧ для сигналов, соответствующих каналу прямого прохождения промежуточной частоты:

а) установить органы регулировки макета: SA1-«РРУ», ручку R1 — в среднее положение SA2-«2»;

б) перестраивая генератор сигналов в диапазоне 450...470 кГц при выходном напряжении 0,5—1,0 мВ, измерить резонансную характеристику, зафиксировав не менее чем по 5 точек при расстройке по обе стороны от резонанса;

в) построить резонансную характеристику; определить величину промежуточной частоты и коэффициент передачи преобразователя по каналу прямого прохождения.

2. Измерить частотную характеристику ПЧ для различных частот гетеродина, соответствующих положениям ручки С11 «1» — «5»:

а) установить требуемое положение ручки С11;

б) перестраивая генератор сигналов в диапазоне 500...3000 кГц, определить уровни напряжения и частоты основного и зеркаль-

ного каналов приема. Определить коэффициент передачи преобразователя по основному каналу приема;

в) используя данные п. 2 б, определить частоту гетеродина и возможное расположение дополнительных каналов приема по второй гармонике гетеродина;

г) измерить уровни рассчитанных в п. 2 в дополнительных каналов приема.

3. Определить диапазон рабочих частот преобразователя частоты, используя результаты измерений п. 2.

II. Исследование балансного ПЧ.

1. Измерить резонансную характеристику ПЧ, используя методику п. 1.

2. Измерить частотную характеристику ПЧ, используя методику п. 2 задания 1.

III. Проведение сравнительного анализа одноконтурной и балансной схем ПЧ.

IV. Исследование явления «свистов» в преобразователях частоты:

1. Рассчитать частоту сигнала, при которой образуются «свисты» за счет преобразования по гармоникам сигнала (например, второй гармонике, совпадающей с зеркальным каналом).

2. Установить рассчитанную частоту на генераторе сигналов; уровень выходного напряжения генератора выбрать в пределах 10...30 мВ. Настроить макет на прием установленной частоты с помощью СЧ.

3. Измерить по осциллографу глубину модуляции «свистов» для различного усиления УРЧ (усиление УРЧ изменяется поворотом ручки резистора R1 вправо и влево от среднего положения).

4. Определить характер изменения частоты модуляции «свистов» при небольшой отстройке генератора сигналов от рассчитанной частоты.

5. Зарисовать осциллограммы напряжений на выходе преобразователя частоты при наличии свистов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.

2. Принципиальная схема макета, включая схему ИМС.

3. Перечень используемых приборов с указанием их основных данных.

4. Таблицы с результатами измерений.

5. Графики зависимостей, определенных в п. 2 задания 1, рисунки осциллограмм.

6. Расчетные формулы.

7. Выводы о полученных результатах, сопоставление их с теорией.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

1. В чем заключаются основные функции преобразователя частоты?
2. Дайте характеристику основных способов построения преобразователей частоты.
3. Какой вид имеет частотная характеристика преобразователя частоты?
4. Как рассчитываются частоты дополнительных каналов приема?
5. Поясните работу схемы балансного транзисторного преобразователя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Изобразите схемы ПЧ и объясните назначение элементов.
2. Объясните назначение элементов в схемах ПЧ на ИМС серий К224, К237.
3. Изобразите графически и объясните частотную характеристику ПЧ; как рассчитываются частоты дополнительных каналов приема?
4. Получите выражение для выходного тока ПЧ.
5. Получите уравнение прямого преобразования и объясните его физический смысл.
6. В чем состоит физический смысл явления обратного преобразования частоты?
7. Как возникают «свисты» в преобразователе?
8. Получите выражение для коэффициента передачи ПЧ.
9. Поясните эквивалентную схему ПЧ, полученную на основе уравнений прямого и обратного преобразования.
10. Влияет ли коэффициент усиления тракта приемника до ПЧ на число дополнительных каналов приема?
11. В чем заключаются основные особенности балансной схемы ПЧ?
12. Почему при увеличении амплитуды гетеродина возрастает крутизна преобразования по некоторым дополнительным каналам приема?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиоприемные устройства / Под ред. В. И. Сифорова, — М.: Сов. радио, 1974, с. 222—236, 238—240.
2. Палшков В. В. Радиоприемные устройства. — М.: Радио и связь, 1984, с. 107—112, 139—140, 151—156.

Составитель *Лев Иванович Калакутский*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ
НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 4.02.88 г. Подписано в печать 24.3.88 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая. Печать высокая.
Гарнитура литературная. Усл. п. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,6.
Т. 500 экз. Заказ 296. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.