

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР**

**КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕМА АППАРАТУРЫ „АККОРД-1200“

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕМА АППАРАТУРЫ "АККОРД-1200"

Утверждено редакционно-издательским
советом института в качестве методи-
ческих указаний к лабораторной
работе

Куйбышев 1984

УДК 621.394/395.4

Методические указания знакомят студентов с принципами частотного разделения каналов связи, с частотной манипуляцией в системах передачи данных. Предлагаемая работа выполняется на серийной аппаратуре "Аккорд-1200" и позволяет изучить основные схемотехнические решения блока модуляции и демодуляции этой аппаратуры.

Составители: В.П.Якимаха, Н.Н.Васин

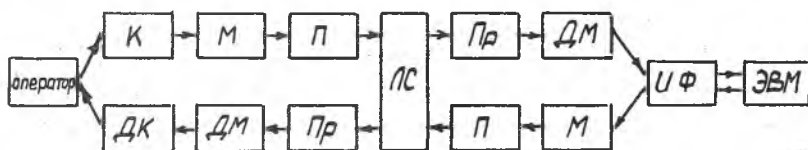
Рецензенты: доц. Л.С.Зимин, канд. техн. наук В.Д.Радченко

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с аппаратурой передачи данных "Аккорд-1200", изучение принципов работы модема, его функциональной схемы, исследование особенностей работы отдельных узлов модулятора и демодулятора при различных скоростях передачи информации.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕМАХ

Термин **м о д е м** образовался в результате сокращения слов "модулятор-демодулятор". Модем является основным устройством аппаратуры передачи данных (АПД), предназначенной для передачи информации от удаленных систем сбора и операторов на ЭВМ и обратно, а также для обмена информацией между удаленными ЭВМ.

Способ обмена информацией между оператором и ЭВМ представлен на рис.1. Необходимую для передачи текстовую или расчетную информа-



Р и с. 1. Структурная схема АПД

цию оператор кодирует, т.е. преобразует в электрические сигналы цифрового кода с помощью устройства (К). Примером кодирующего устройства может служить электрифицированная пишущая машинка типа "Consul". Цифровой код через устройство сопряжения (интерфейс-ИФ) поступает на модулятор (М). Основной функцией модулятора является преобразование цифрового кода в аналоговую форму, удобную для передачи по линии связи. Передатчик (П) и приемник (Пр) согласуют модем с линией связи (ЛС).

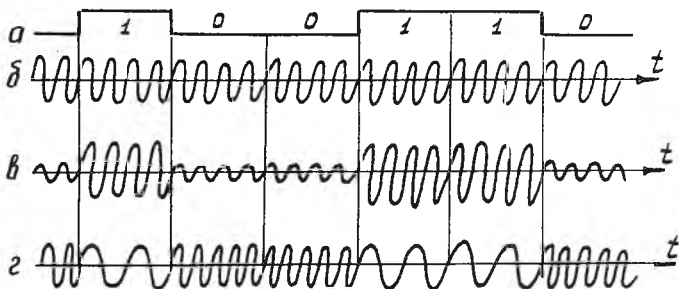
С выхода демодулятора цифровой код через интерфейс поступает в ЭВМ или декодер (ДК). Функции ДК обычно выполняют алфавитно-цифровые печатающие устройства, графопостроители, дисплеи.

В качестве **линии** связи обычно используются каналы связи существующей телефонной сети, поскольку создание специальных каналов для передачи данных потребовало бы значительных затрат средств и времени.

В телефонных каналах переносчиком информации является переменный

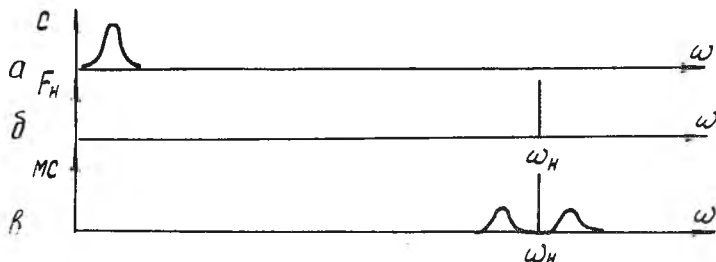
ток. Информационным параметром, т.е. параметром, несущим информацию, может быть либо амплитуда, либо частота, либо фаза, в соответствии с чем различают модуляции: амплитудную (АМ), частотную (ЧМ), фазовую (ФМ). Если информационный параметр принимает лишь дискретные значения, то такую модуляцию называют также м а н и п у л я ц и е й.

Пример информационного дискретного сигнала (а), переносчика несущей частоты F_H (б), амплитудно-модулированного (в) и частотно-модулированного (г) сигналов приведен на рис.2, принцип действия устройств с АМ также ясен из рисунка. При использовании ЧМ модулятор (манипулятор) воздействует на частоту несущего колебания F_H , увеличивает частоту на ΔF при передаче "0", уменьшая F_H на ΔF при передаче "1".



Р и с. 2. АМ и ЧМ сигналы

При модуляции происходит преобразование спектра сигналов. Низкочастотный спектр информационного сигнала (рис.3,а) переносится в область высокочастотного несущего колебания (рис.3,б), в результате формируется сигнал со спектром, представленным на рис.3,в. Поскольку

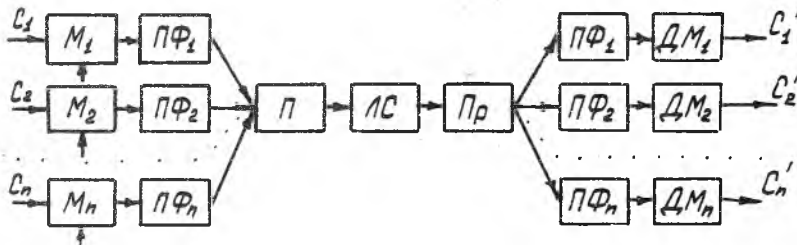


Р и с. 3. Спектр модулированного сигнала (МС)

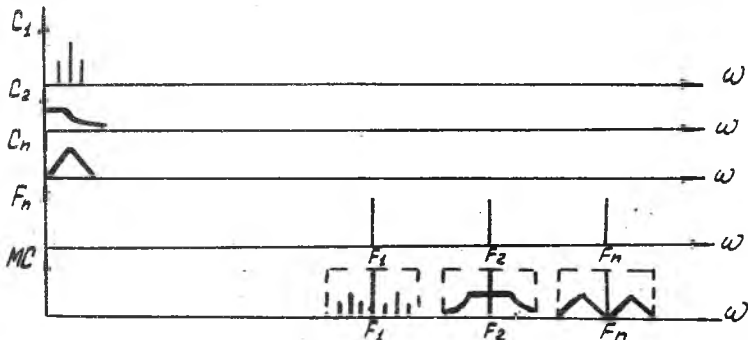
спектры реальных сигналов ограничены, то перенос спектра информационного сигнала в область высокочастотного несущего колебания F_H используется для создания многоканальных систем передачи данных.

В многоканальных системах по одной линии связи передаются данные от нескольких источников информации. Задача разделения сигналов состоит в том, чтобы выделить из смеси многих сигналов сигнал данного канала, очистив его от влияния соседних каналов.

В АДЦ, применяемой в АСУ (рис.4), обычно используют частотное разделение каналов связи (частотное уплотнение). Сигналы, несущие информацию $C_1 \dots C_n$, поступают на соответствующие модуляторы; результаты модуляции представлены на рис.5. На вторые входы модуляторов подается



Р и с . 4. Структура многоканальной АДЦ



Р и с . 5. Спектры модулированных сигналов (МС) в многоканальной АДЦ с частотным разделением каналов

несущие частоты $F_1 \dots F_n$. Промодулированные сигналы поступают на полосовые фильтры $\text{ПФ}_1 \dots \text{ПФ}_n$, пропускающие строго определенные полосы частот ($f_1 \dots f_1, f_2 \dots f_2', \dots, f_n \dots f_n'$). В результате по линии

связи одновременно передается информация нескольких каналов. Полосовые фильтры на передающей стороне необходимы, во избежание взаимного влияния канала на канал. На приемной стороне каждый ПФ из смеси сигналов выделяет сигнал данного канала.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Общие сведения

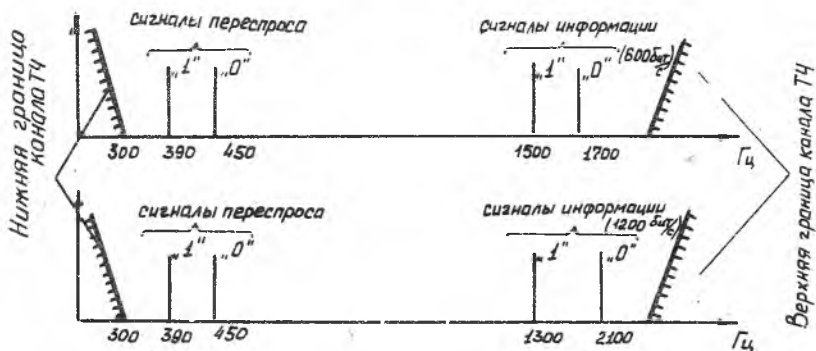
Аппаратура передачи данных "Аккорд-1200" является типичной среднескоростной аппаратурой с частотной модуляцией. В зависимости от скорости передачи информации различают три группы АЦД: низкоскоростные до 200 бит/с (передача обычно идет по стандартным телеграфным каналам); среднескоростные - 200-9600 бит/с (по стандартным телефонным каналам - каналам тональной частоты ТЧ); высокоскоростные - 48000 бит/с и более (по специальным широкополосным каналам). В соответствии с ГОСТ 17422/72 для каналов ТЧ установлены следующие скорости передачи данных: 200, 600, 1200, 2400, 3600, 7200, 9600 бит/с.

При работе по коммутируемым двухпроводным каналам Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии (МККТТ) рекомендует применять частотную манипуляцию. АЦД "Аккорд-1200" предназначена для обмена информацией между абонентскими пунктами и ЭВМ по коммутируемым телефонным каналам со скоростью 600 или 1200 бит/с. Аппаратура состоит из модема, называемого также устройством преобразования сигналов (УПС), устройства защиты от ошибок (УЗО), устройства сопряжения и перфоленточных вводно-выводных устройств.

Модулятор прямого канала

Блок модема (БМД) предназначен для сопряжения АЦД с каналом тональной частоты и обеспечивает передачу дискретных сигналов по стандартным телефонным каналам: как по кабельным, воздушным, радиорелейным линиям связи, так и по сетям ГТС. В БМД предусмотрен обратный канал для передачи служебных сигналов от УЗО со скоростью до 75 бит/с. По рекомендации МККТТ для такой АЦД используют полосу частот от 1,3 кГц до 2,1 кГц. При скорости передачи 600 бит/с на частоте 1,3 кГц передается "1", а на частоте 1,7 кГц передается "0" (средняя частота $F_H = 1500$ Гц). При скорости передачи 1200 бит/с для передачи "1" также используется частота 1,3 кГц, а для передачи "0" - частота 2,1 кГц (средняя частота $F_H = 1700$ Гц). Для передачи сигнала запроса, который формируется в УЗО при обнаружении ошибок,

используют обратный канал, по которому осуществляют передачу ЧМ сигнала со средней частотой 420 Гц, передавая "1" частотой 390 Гц, а "0" - частотой 450 Гц. В аппаратуре используется частотное разделение прямого и обратного каналов (рис.6).



Р и с. 6. Использование спектра частот телефонного канала для передачи данных с ЧМ

В модеме предусмотрена возможность передачи на вход модулятора дискретного сигнала в виде "точек" (последовательности "нулей" и "единиц"), формируемого БМД в режиме "Контроль".

С выхода модулятора ЧМ колебания подаются на соответствующие фильтры, ограничивающие частотный спектр выходного сигнала. Отношение средней частоты к скорости передачи составляет 1,4 и 2,5 соответственно при скоростях передачи 1200 бит/с и 600 бит/с. При таких отношениях неизбежны специфические краевые искажения передаваемого сигнала типа "качания фронта", вызванные значительными скачками фазы. Для устранения влияния искажений этого типа известны следующие способы:

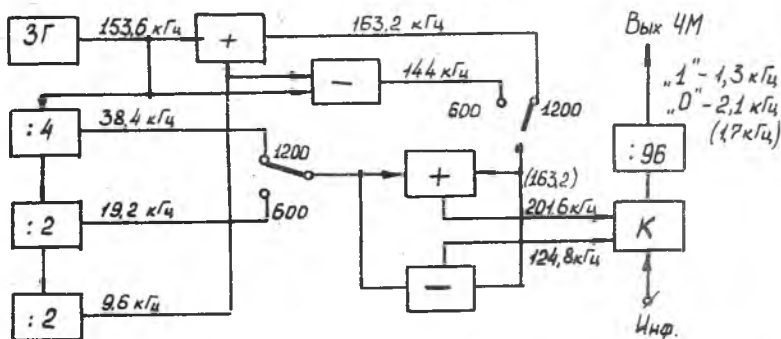
- синхронизация рабочих частот с передаваемым сигналом;
- передача сглаженными посылками;
- ведение вспомогательного преобразования частоты на передаче и приеме.

В модуляторе принят метод формирования ЧМ сигнала, основанный на принципе изменения коэффициента деления дискретного двигателя. В результате на выходе модулятора обеспечивается изменение частоты без влияния на стабильность генератора. Схема построения модулятора с использованием дискретных делителей имеет следующие достоинства:

может быть выполнена, в основном, на простых элементах - триггерах, что обеспечивает простоту и надежность всего передатчика данных, а также удобство конструирования с использованием стандартных схем; обеспечивает выбор необходимых скоростей и режимов передачи. Эти достоинства и определили выбор модулятора прямого и обратного каналов для рассматриваемой аппаратуры преобразования сигналов (АПС).

Способы формирования ЧМ сигнала с использованием дискретных частот приводят при отсутствии кратности рабочих частот модулирующей частоте к появлению скачка или разрыва фазы при переходе от одной частоты к другой. Максимальное значение скачка фазы может достигать 180° . Эта особенность является причиной дополнительных краевых искажений сигнала на приемной стороне.

В рассматриваемом модуляторе ЧМ сигнал формируется на высокой несущей частоте импульсными схемами сложения и вычитания, которые управляются информационными импульсами. Далее частота этого сигнала делится делителем, имеющим коэффициент деления, равный 96, что обеспечивает малые краевые искажения (скачок фазы не будет превышать $180^\circ/96 \approx 2^\circ$). Реализация описанного принципа модуляции представлена на рис.7.



Р и с . 7. Структурная схема модулятора прямого канала

При передаче информации со скоростью, не превышающей 1200 бит/с, на входе делителя из последовательностей импульсов с частотами следования 153,6 и 9,6 кГц формируется последовательность импульсов со средней частотой 163,2 кГц. Для получения на входе делителя верхней

рабочей частоты 2,1 кГц к последовательности импульсов 163,2 кГц добавляются импульсы частотой 38,4 кГц. Колебания частот 38,4 и 9,6 кГц жестко связаны с колебаниями задающей частоты 153,6 кГц по частоте и фазе, т.е. получены посредством деления последней. Частота сформированного на входе делителя колебания в рассматриваемом случае равна 201,6 кГц, что соответствует частоте на выходе делителя 2,1 кГц.

Для получения нижней рабочей частоты 1,3 кГц из последовательности импульсов со средней частотой 163,2 кГц вычитается также последовательность импульсов частотой 38,4 кГц. Частота колебаний на входе делителя в этом случае равна 124,8 кГц, что соответствует частоте на выходе делителя 1,3 кГц.

При работе на скоростях, не превышающих 600 бит/с, средняя частота 144 кГц образуется из задающей последовательности импульсов частотой 153,6 кГц путем вычитания последовательности импульсов частотой 9,6 кГц. Рабочие частоты (верхняя и нижняя) формируются из последовательности импульсов частотой 144 кГц путем добавления или вычитания последовательности импульсов частотой 19,2 кГц.

При добавлении последовательности импульсов 19,2 кГц имеет место колебание частотой 163,2 кГц, что соответствует верхней рабочей частоте 1,7 кГц на выходе делителя. При вычитании последовательности импульсов частотой 19,2 кГц имеет место колебание частотой 124,8 кГц, что соответствует нижней рабочей частоте 1,3 кГц на выходе делителя.

Поскольку коэффициент деления равен 96, то за полупериод колебания на вход делителя поступает 48 импульсов. При формировании колебания частотой 2,1 кГц на вход делителя за полупериод выходного колебания поступает либо 36 импульсов задающей частоты 153,6 кГц и 12 дополнительных импульсов частотами 38,4 и 9,6 кГц (причем дополнительные импульсы располагаются в промежутках между основными), либо 38 и 10 импульсов с этими же частотами.

При формировании импульсов частотой 1,3 кГц за полупериод выходного колебания на вход делителя поступает последовательность импульсов, образованная из 58 импульсов частотой 153,6 кГц и 18 дополнительных импульсов, из которых 4 импульса частотой 9,6 кГц добавляются к основной последовательности, а 14 импульсов частотой 38,4 кГц - вычитаются; или поступает 62 импульса частотой 153,6 кГц и 18 импульсов дополнительных, из которых добавляется всего два импульса частотой 9,6 кГц, но вычитается 16 импульсов частотой 38,4 кГц.

При формировании импульсов частотой 1,7 кГц, соответствующий работе со скоростью 600 бит/с, за время полупериода выходного колеба-

ния на вход делителя поступает 44 импульса частотой 153,6 кГц и 8 дополнительных импульсов, из которых два импульса частотой 9,6 кГц вычитаются и 6 импульсов частотой 19,2 кГц добавляются к основной последовательности или поступает 46 импульсов основных и 10 (или 6) дополнительных, из которых 4 импульса (или 2) частотой 9,6 кГц вычитаются, и 6 (4) импульсов частотой 19,2 кГц добавляются.

При формировании импульсов частотой 1,3 кГц за время полупериода выходного колебания на вход делителя поступает либо 58 импульсов частотой 153,6 кГц, из них вычитается 10 дополнительных импульсов частотой 19,2 и 9,6 кГц; либо 60 импульсов основной частоты 153,6 кГц, из которых вычитается 12 импульсов этих же частот.

Из-за дискретности операций сложения и вычитания частот на выходе делителя имеет место колебание частот, равных номинальным только на промежутках времени, равных или кратных периоду поступления дополнительных импульсов частотой 9,6 кГц (импульсы частотой 9,6 кГц – цикл деления). При синхронной работе, когда скорости передачи равны 1200 или 600 бит/с в посылке укладывается целое число циклов деления (8 или 16 соответственно), поэтому рабочие частоты в среднем за посылку равны номинальным, и скачков фаз на границах посылок нет.

Д е м о д у л я т о р п р я м о г о к а н а л а

ЧМ сигнал, поступающий в модем из канала связи, представляет собой чередующиеся посылки синусоидального напряжения различных частот. Задача демодулятора (детектора) состоит в том, чтобы используя частоту посылок в качестве различительного признака, получить на выходе искомый информационный сигнал.

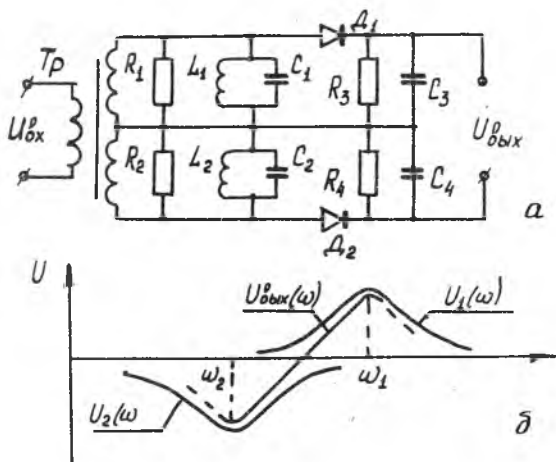
Наиболее распространенным является способ приема ЧМ сигналов, основанный на преобразовании изменения мгновенной частоты в изменение амплитуды с помощью схем, обладающих частотно-зависимым коэффициентом передачи, с последующим амплитудным детектированием.

В приборе БМД для демодуляции ЧМ сигнала применен двухтактный балансный дискриминатор с двумя расстроенными относительно средней частоты контурами. Расстройки контуров относительно среднего значения нулевой выбирают равными по величине и обратными по знаку.

Балансный дискриминатор (рис.8), благодаря двухтактному включению контуров, приобретает ряд достоинств:

удваивается по сравнению с одноконтурным крутизна характеристики, т.е. повышается чувствительность;

на выходе подавляется постоянная составляющая, т.е. "1" от "0"



Р и с. 8. Схема двухтактного частотного дискриминатора (а) и его амплитудно-частотная характеристика (б)

отличается знаком выходного напряжения;

улучшается линейность характеристики;

увеличивается по сравнению с однотактной схемой помехоустойчивость как к аддитивным флуктуационным помехам, так и к мультипликативным (паразитная амплитудная модуляция в канале связи).

Практическая реализация балансного дискриминатора в случае, когда отношение частот несущего канала к скорости манипуляции велико, достаточно проста. На единичном интервале – интервале передачи одного символа – укладывается большое число периодов несущего сигнала, поэтому отделение информационного сигнала от несущей частоты может быть осуществлено простыми фильтрами нижних частот.

Малое же отношение между несущей и модулирующей частотами требует применения фильтра с высокой крутизной нарастания затухания в полосе непрозрачности для отделения несущей частоты от частоты модуляции, что приводит к ухудшению фазовой характеристики фильтра в полосе прозрачности. Для устранения этого недостатка применяется перенос спектра ЧМ сигнала (900...2500 Гц вверх по шкале частот 7100...8700 Гц). После преобразования отношение между несущей и модулирующей частотами значительно увеличивается и последетекторный фильтр упрощается.

Так как уровень линейного сигнала, поступающего на вход демодулятора вследствие различных причин может меняться, то для нормальной работы последующих каскадов демодулятора этот уровень необходимо поддерживать постоянным. С этой целью в демодуляторе используется усилитель – ограничитель. Применение ограничителя позволяет устранить влияние уровня входного сигнала на работу демодулятора и паразитную амплитудную модуляцию ЧМ сигнала, которая может вызвать искажения длительности посылок.

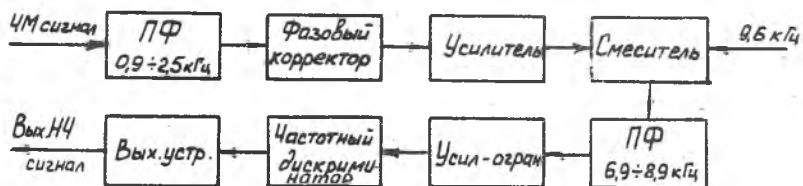
В колебательных контурах дискриминатора ЧМ сигнал преобразуется в сигнал, модулированный по амплитуде, после чего подвергается детектированию.

Отделение сигнала огибающей от сигнала несущей частоты производится последетекторным фильтром. Сигнал на выходе последетекторного фильтра представляет собой сглаженный информационный сигнал с очень малой крутизной фронтов. Выходное устройство преобразует искаженные посылки в сигналы прямоугольной формы с заданной амплитудой. На выходе формирователя полученный сигнал соответствует модулирующему сигналу на передаче, т.е. происходит восстановление из линейного сигнала переданной информации.

Цепь преобразований сигналов в демодуляторе показана на рис.9. Частотно-модулированный сигнал из канала связи поступает на вход полосового фильтра (ПФ, $9...2,5$ кГц), который предназначен для отделения сигнала ЧМ прямого канала от ЧМ сигнала обратного канала. Полоса пропускания и крутизна нарастания затухания ПЧ $0,9...2,5$ кГц выбрана из условия допустимого влияния обратного канала на прямой (по величине краевых искажений).

С выхода ПФ $0,9...2,5$ кГц сигнал поступает на вход фазового корректора, который предназначен для уменьшения неравномерности группового времени замедления, вносимого фильтрами передачи и приема, а также преобразователями сигнала в приемных пунктах.

После фазовой коррекции сигнал усиливается усилителем и посту-



Р и с. 9. Структурная схема демодулятора

пает на один из входов балансного модулятора, на второй вход которого подается синусоидальное напряжение 9600 Гц. Фильтром ПФ 7,9±1 кГц производится выделение нижней боковой полосы выходного сигнала балансного модулятора.

После прохождения ПФ 7,9±1 кГц ЧМ сигнал усиливается и ограничивается усилителем-ограничителем, с выхода которого подается на вход частотного дискриминатора, который преобразует ЧМ колебания в амплитудно-модулированные, подвергающиеся затем выпрямлению. Последующий детекторный фильтр отделяет от полезного сигнала пульсации выпрямления. Отфильтрованный полезный сигнал приводится к нормализованной форме выходным устройством, с выхода которого направляется на внешнее устройство.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с общими вопросами передачи данных, с видами построения и схемами модуляторов и демодуляторов, использованных в аппаратуре "Аккорд-1200".

2. Органы управления на передней панели блока БМД установить в следующие положения:

тумблер 600/1200 – в положение 600,

тумблер "Опер-Авт" – в положение "Опер",

тумблер "2ПР-4ПР" – в положение "2ПР",

переключатель "Измерение" – в положение "ОТЧЛ",

переключатель "Уровень передачи" и "Пределы" – в положение "0".

3. Включить питающее напряжение 220 В, для чего на лицевой панели блока БМД тумблер "СЕТЬ" перевести в положение "ВКЛ". При этом в блок БМД будут поданы необходимые стабилизированные напряжения +10, -10, -27 В.

4. Нажать кнопку "КОНТРОЛЬ" на передней панели блока БМД, при этом должна загореться лампочка над кнопкой, а на вход модулятора поступить сигнал "точки" – чередующиеся "0" и "1",

5. Проверить работу генератора и делителей частоты блока БМД, для чего снять осциллограммы напряжений в контрольных точках: Гн.1 – 153,6 кГц; Гн.2 – 38,4 кГц; Гн.3 – 9,6 кГц и зарисовать их в одном масштабе.

6. Подключить вход осциллографа к Гн.4 и зарисовать высокочастотное ЧМ колебание на выходе счетчика делителя на 2 ("0" – частота 81,6 кГц, "1" – частота 62,4 кГц).

7. Подключить вход осциллографа к Гн.5 и зарисовать низкочастот-

ный ЧМ сигнал ("0" - 1,7 кГц, "1" - 1,3 кГц).

8. Снять и зарисовать осциллограммы ЧМ колебаний после прохождения ПФ 0,9-2,5 кГц передачи (Гн.6) и приема (Гн.7).

9. Снять и зарисовать осциллограмму ЧМ колебания после переноса "Вверх" спектра принятого сигнала балансным модулятором и выделения нужной полосы ПФ 6,9-8,9 кГц (Гн.8).

10. На один вход осциллографа подать "точки" (Гн.11), а на другой - сигнал с выхода детектора (Гн.9). Зарисовать осциллограммы на совмещенном рисунке в одном временном масштабе.

11. Аналогично п.10 снять и зарисовать осциллограммы "точек" (Гн.11) и выходного сигнала демодулятора (Гн.9). Сравнить переданную информацию с принятой. Оценить качество работы модема.

12. Перевести тумблер "600-1200" в положение "1200" и зарисовать осциллограммы в Гн.4...Гн.11 аналогично тому, как это делалось в п.п.6-11. Сравнить работу модема на скоростях передачи 600 и 1200 бит/с.

Содержание отчета

1. Структурная схема модулятора прямого канала аппаратуры "Аккорд-1200".

2. Структурная схема демодулятора прямого канала.

3. Осциллограммы напряжений в контрольных точках.

4. Анализ результатов. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Способы передачи данных по телефонным каналам. Назначение модема.

2. Основные технические характеристики и режимы работы аппаратуры "Аккорд-1200".

3. Использование спектра канала ТЧ для передачи данных с ЧМ со скоростью 600-1200 бит/с. Как разделяются прямой и обратный каналы?

4. Недостатки формирования ЧМ сигнала на низкой частоте.

5. Принцип формирования ЧМ сигнала в блоке БМД. Структурная схема модема.

6. Почему демодулятор ЧМ сигнала выполнен с переносом спектра в область более высоких частот?

7. Структурная схема демодулятора прямого канала и назначение отдельных блоков.

Составители: Николай Николаевич В а с и н,
Виктор Петрович Я к и м а х а

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕМА АППАРАТУРЫ "АККОРД-1200"

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор М.В.П а в л о в а

Подписано в печать 1.10.84. Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Т. 200 экз.
Заказ 8255 Бесплатно.

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

Областная типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.