

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева

АНАЛОГОВЫЕ МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Методические указания
к лабораторным работам

Самара 1994

Составитель В.А.Г л а з у н о в

УДК 621.396

Аналоговые многоканальные системы передачи информации: Метод. указания к лаб. работам /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. В.А.Г л а з у н о в. Самара, 1994. 21 с.

Изложен принцип уплотнения аналоговых сигналов при передаче информации по одному каналу связи, дано описание двух макетов лабораторных работ с временным и частотным уплотнением и методика их выполнения.

Методические указания предназначены для студентов специальности 23.01 при чтении дисциплин "Радиотехнические системы передачи информации" и "Системы контроля, обработки и передачи данных" (специализация "Автомобильная электроника"). Подготовлены на кафедре радиотехники.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева

Рецензент доц. Ю.Ф.Ш и р о к о в

Лабораторная работа № I

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ВРЕМЕННЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

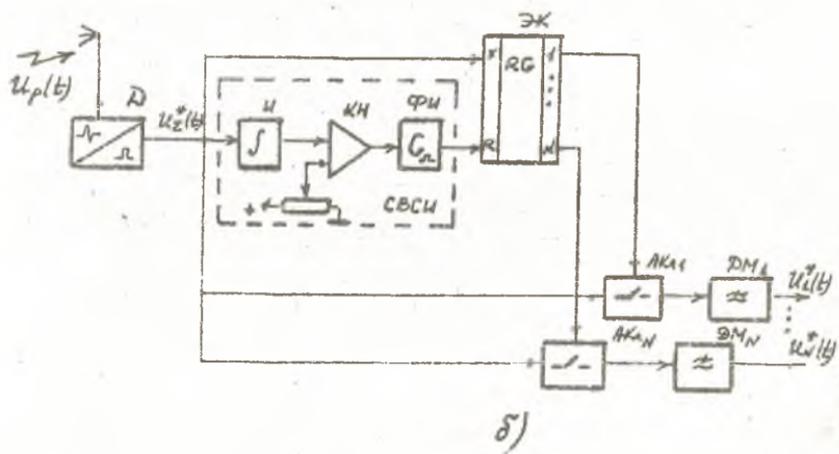
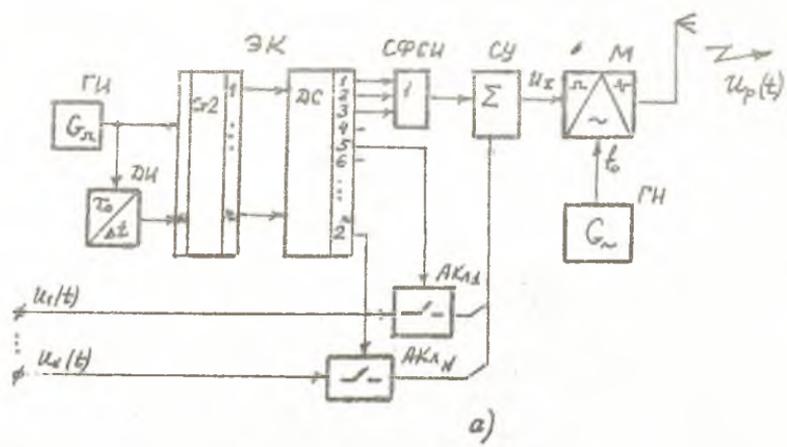
В аналоговых многоканальных системах передачи информации (СПИ) для уплотнения сигналов используется временной (ВРК), частотный (ЧРК) и фазовый (ФРК) методы разделения каналов.

Принцип временного уплотнения и разделения каналов основан на использовании импульсных поднесущих АИМ, ШИМ или ВИМ, заменяющих непрерывный сигнал $u(t)$ выборками, взятыми в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n через интервал Δt в соответствии с теоремой Котельникова

$$\Delta t \ll 1/2 F_m,$$

где F_m — наивысшая частота в спектре передаваемого сообщения.

При этом моменты времени для выборок разных каналов разносятся. Информационным параметром в импульсной последовательности является амплитуда импульсов (АИМ), либо длительность импульсов (ШИМ) или их временное положение относительно тактовых точек t_1, t_2, \dots, t_n (ВИМ). На рис. I представлена функциональная схема СПИ с ВРК (передающая и приемная части), содержащая генератор (ГГ) и делитель (ДД) импульсов, электронный коммутатор (ЭК) передатчика (СтЗ и ДС), схему формирования синхроимпульса (ОФСИ), каналные аналоговые ключи АКл, суммирующие устройства (СУ), модулятор (М), генератор несущей (ГН), детектор (Д), схему выделения синхроимпульса (СВСИ), включающую в себя интегратор (И), компаратор напряжения (КН) и формирователь импульсов (ФИ) сброса ЭК приемника (РБ), каналные демодуляторы ДМ. Работу СПИ определяет задающий ГГ, формирующий тактовые импульсы (ТИ)



Р и с. 1. Функциональная схема СПМ с ПКР: а - передающая часть; б - приемная часть

ника Δ соответствующего типа. Далее из группового сигнала $U_{\Sigma}^*(t)$ схемой СВСи выделяется СИ. При этом используется заметное различие в длительностях СИ и рабочих канальных импульсов: конденсатор интегратора от СИ заряжается дольше, а значит до большего уровня, что улавливается КН. Разделение каналов ключами АКл, коммутируемые с помощью ЭК, производится аналогично коммутации на передающем устройстве. Выделение передаваемых сообщений – аналоговых сигналов $U_1^*(t), \dots, U_N^*(t)$ обеспечивается фильтрами нижних частот ($\Delta M_1 - \Delta M_N$).

Если в СИ используется ШИМ или ВИМ, то в передающее устройство необходимо дополнительно включить генератор пилообразного напряжения, запускающийся в начале канальных импульсов, например, с выхода "Г" СТ2, а в каждый канал – компаратор напряжения, производящий сравнение пилообразного напряжения с аналоговым сигналом $U(t)$ (рис. 2, г). Специальный формирователь на выходе КН формирует импульсы ШИМ (рис. 2, д). Индекс ШИМ m_{τ} определяется через девиацию длительности

$$\Delta \tau_m = \tau_{cp} - \tau_{min},$$

где $\tau_{cp} = \tau_k / 2$; τ_{min} – минимальная длительность импульса ШИМ, соответствующая защитному каналному интервалу τ_{kg} .

При этом $m_{\tau} = \frac{\Delta \tau_m}{\tau_{cp}} = 1 - \frac{2\tau_{min}}{\tau_k} = 0,8-0,9$. Для формирования ВИМ используется дифференцирующая цепочка и формирователь импульсов, временное положение которых соответствует заднему фронту импульсов ШИМ (рис. 2, е). Если $\tau_{kg} = \tau_u$, то

$$m_{\tau} = 1 - \frac{2\tau_u}{\tau_k},$$

где τ_u – длительность импульса ВИМ.

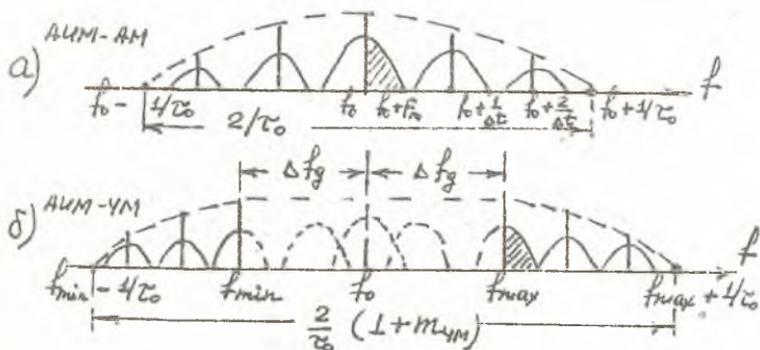
Ширина спектра АИМ-АМ определяется длительностью импульса (рис. 3, а)

$\Delta f_p = 2/\tau_0$ а для АИМ-ЧМ (рис. 3, б) также и индексом $m_{\text{чм}}$:

$$\Delta f_p = \frac{2}{\tau_0} (1 + m_{\text{чм}}),$$

где $m_{\text{чм}} = \Delta f_g \cdot \tau_0 = \frac{1}{2} (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) \tau_0$.

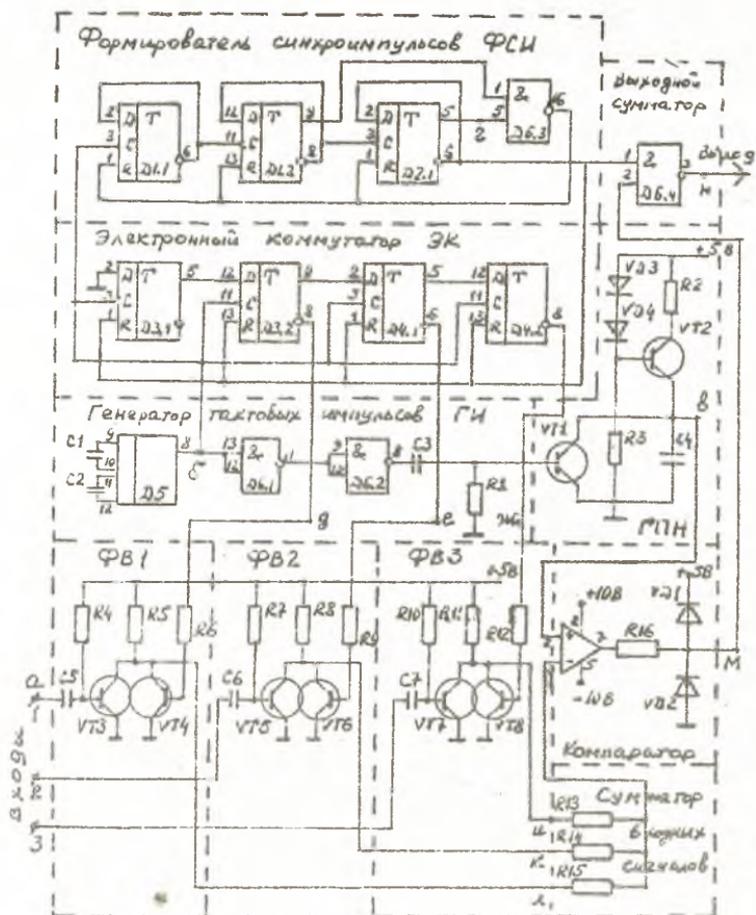
Принципиальная схема передающей части трехканальной СИ с ВРК представлена на рис. 4. В состав передающей части системы входят ГИ, генератор пилообразного напряжения (ГПН), ЭК, формирователь синхронимпульсов (ФСИ), формирователи выборок АИМ (ФВИ-ФВЗ), схема формирования ШИМ-И (компаратор) и сумматоры. ГИ (микросхема Д5) формирует импульсы длительностью τ_0 с периодом $T = 2\tau_0$, которые использу-



Р и с. 3. Спектры сигналов АИМ-АМ (а) и АИМ-ЧМ (б)

ются для запуска ФСИ, ППН и ЭК. Схема ФСИ (рис. 4) представляет собой трехразрядный двоичный счетчик (триггеры Д1.1, Д1.2 и Д2.1) с коэф - фициентом деления, равным шести: с помощью схемы совпадения И2 (микросхема Д6.3) счетчик устанавливается в исходное состояние с приходом шестого тактового импульса, поэтому СИ имеет длительность $2T$, а период повторения - $6T$.

Синхроимпульсы снимаются с инверсного выхода Д2.1, поступая в выходной сумматор и устанавливая в исходное состояние ЭК. Коммутатор собран на четырех триггерах (микросхемы Д3, Д4) и представляет собой регистр сдвига, исходное состояние которого равно "1-0-0-0". Единица, записанная с помощью предварительной установки в первый триггер Д3.1, сдвигается вправо по регистру с приходом каждого тактового импульса. Первый триггер автоматически формирует паузу длительностью $T_{с3} = T$. Второй, третий и четвертый триггеры формируют каналные импульсы $T_{к1} = T_{к2} = T_{к3} = T$, поступающие на схемы формирования выборок ФВ. Каждый ФВ состоит из усилителя (для первого канала - на транзисторе VT3) и ключа (VT4). На один из входов каждого ФВ (с5, VT3) с датчика поступает входной сигнал, содержащий информацию о каком-либо физическом параметре (давление, температура, расход жидкости и т.п.). Когда на другом входе ФВ (база VT4) присутствует разрешающий сигнал коммутатора, то ключ VT4 закрывается, и входной сигнал через усилитель VT3 проходит на выход ФВ1 (резисторы R6-R15), т.е. производится выборка амплитуды входного сигнала АИМ. Выборка производится в течение времени T , соответствующего длительности разре-



Р и с. 4. Принципиальная схема передающей части макета трехканальной ССМ с ВРК

пающего импульса. Если входного сигнала нет, то с выхода ФВ снимается импульс амплитудой $0,5 U_{max}$, что соответствует минимальной длительности импульса ОИИМ. После ФВ импульсы поступают на резистивный сумматор входных сигналов и далее - на компаратор. На второй вход компаратора поступают импульсы с ГИИ. ГИИ запускается от ТИ через буферные каскады ДБ.1, ДБ.2 и цепочку СЗК1, которая формирует узкие положительные импульсы с периодом T для запуска ГИИ.

ГИИ (см. рис. 4) состоит из ключа $VT1$, стабилизатора тока $VT2$, диодов $VD3, VD4$, резисторов $R2, R3$ и времязадающего конденсатора $C4$. С приходом запускающего импульса транзистор $VT1$ открывается и через него происходит быстрый разряд $C4$. После окончания запускающего импульса $VT1$ закрывается, а $C4$ начинает заряжаться через стабилизатор тока, и напряжение на выходе ГИИ возрастает линейно. В компараторе линейно- пилообразное напряжение ГИИ сравнивается с амплитудой сигнала АИМ, поступающего с ФВ. Передний фронт импульсов на выходе компаратора совпадает с началом тактовых импульсов и началом возрастания пилы (см. рис. 2, г), а задний фронт по времени совпадает с моментом равенства амплитуд с сумматора (АИМ) и ГИИ. Таким образом, компаратор формирует сигнал ОИИМ-Г. Диодный ограничитель амплитуды $R16, VD1, VD2$ ограничивает амплитуду сигнала ОИИМ до уровня сигналов ИМС 155-й серии. Канальный запитный интервал определяется выбором крутизны пилообразного напряжения

$$T_{H2} = T_{min},$$

где минимальная длительность T_{min} определяется амплитудой АИМ в отсутствие входного сигнала датчика.

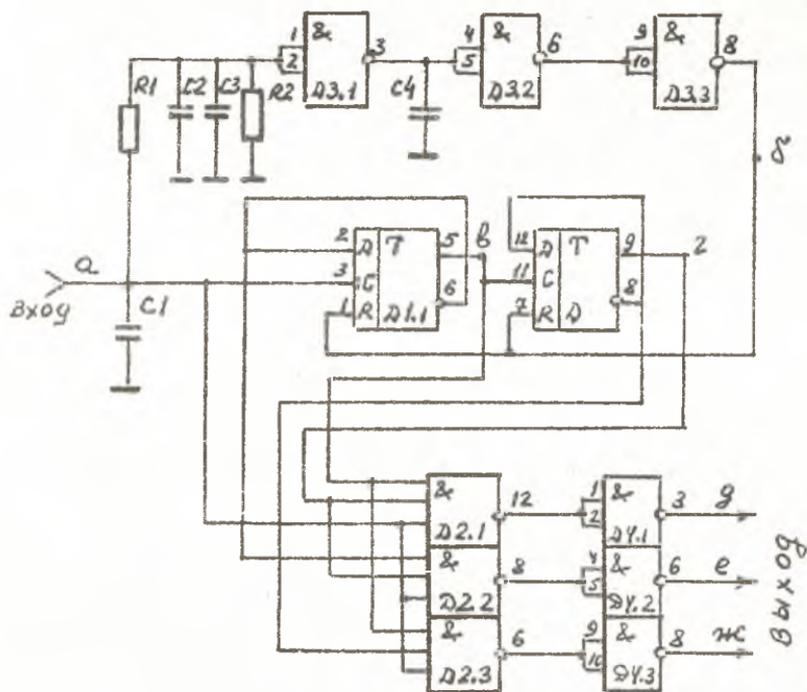
При этом $T_{cp} = T_H/2$ и $m_{\Sigma} = 1 - 2T_{min}/T_H$.

В выходном сумматоре (ДБ.4) производится сложение сигнала ОИИМ с компаратора и СИ.

В состав приемной части СИИ входят схема выделения СИ, ЭК и схема разделения каналов (рис. 5). Во входной последовательности импульсов, поступающей на "Лхор", СИ имеет наибольшую длительность

$$\Delta t = T_c + T_{c2} + 3T_c = 2T + T + 3T = 2T + T + 3(T_{0ИИМ} + T_{H2}).$$

Поэтому для его выделения СВКИ содержит интегрирующую цепочку $R1, C2, C3$ и формирователь (ДЗ). Резистор $R2$ определяет положение рабочей точки элемента ДЗ.1, $C4$ - емкость фильтра. Выделенный СИ устанавливает ЭК в исходное состояние, емкость $C1$ предохраняет ЭК (двухразрядный счетчик Д1) от ложных срабатываний, появляющихся при воз -



Р и с. 5. Принципиальная схема приемной части макета трехканальной СПМ с ВОК

никновении помех в линии связи. Временные ворота для информационных импульсов формируется с помощью трех трехходовых элементов И-НЕ, на два входа которых поступают сигналы ЭК (с триггеров двоичного счетчика Д1.1, Д1.2). На третий вход И-НЕ поступают информационные импульсы, которые разделяются по каналам в дешифраторе Д3 и через инверторы Д4 поступают на каналные демодуляторы (на схеме не показаны).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед началом работы ознакомиться с принципом действия СПМ с ВФК и схемой макета.

2. Снять осциллограммы в контрольных точках передатчика (на пе-

рекламаторе точки (рис. 4) обозначены черным цветом — от "а" до "н" и приемника (точки (рис. 5) обозначены красным цветом — от "а" до "жс").

3. Снять зависимость девиации заднего фронта информационного импульса от амплитуды и частоты входного сигнала.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Функциональная схема макета (нарисовать, пользуясь принципиальными схемами рис. 4–5).

2. Осциллограммы напряжения на клеммах приемника и передатчика, а также диаграммы ШИМ-АМ, ШИМ-ЧМ. Все временные диаграммы должны иметь единое начало отсчета и единый масштаб. Контрольные точки должны быть указаны на функциональной схеме.

3. Снятые зависимости в виде графиков и выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Чему равен коэффициент деления ДИ на схеме рис. 1?

2. Как связано число каналов N с разрядностью двоичного счетчика (рис. 1)?

3. Построить ЭК на микросхеме К591КН1 (восьмивходовый мультиплексор с цифровым управляющим входом).

4. Найти требуемую частоту ПИ в макете (рис. 4) при $F_m = 3$ кГц.

5. Сравните спектры сигналов ШИМ $\langle 1 \rangle$ и ВИМ $\langle 1 \rangle$ со спектром АИМ.

6. Построить спектры сигналов ШИМ-АМ, ШИМ-ЧМ и найти их ширину.

7. Построить спектры сигналов в точках а и ж приемника (рис. 5). Какие устройства необходимо включить в приемник СПИ, чтобы получить на выходе передаваемый (аналоговый) сигнал $u(t)$?

8. Найти полосу пропускания результирующего колебания ВИМ-ЧМ при частотах манипуляции 10 и 12 МГц, если длительность импульса ВИМ составляет 4 мкс. Чему равен индекс ЧМ?

9. Рассчитать максимальное число сообщений, которое может быть передано по СПИ с ВРК при использовании ШИМ-АМ, если на передачу выделена полоса в 2 МГц, затраты на синхронизацию составляют два канальных интервала, $\varepsilon m_{\text{ср}} = 0,8$, $F_m = 2,5$ кГц.

10. Какой максимально возможной частоты сигнал могут быть переданы по восьмиканальной СПИ с ВРК при использовании АИМ-АМ, если результирующая полоса частот не должна превышать 1 МГц, а

$$\tau_c + \tau_{03} = 2\tau_n + \tau_0 = \tau_n / 2 ?$$

II. Период следования импульсов задающего генератора передатчика (точка δ макета ВРК на рис. 4) равен 12 мкс. Запишите условие, которому должна удовлетворять частота сигнала звукового генератора, подключаемого к точке α .

12. С помощью РТС ПИ на ВРК с ЛА на землю передается информация об углах поворота рулей высоты, курса и элеронов. Скорость поворота рулей изменяется в пределах 0,2–0,5 кГц. Запишите условие, которому должен удовлетворять период следования импульсов ГИ, собранного на микросхеме Д5 (рис. 5). Найдите полосу частот, которую бы занял в пространстве сигнал ШИМ-АМ при $m_c = 0,8$.

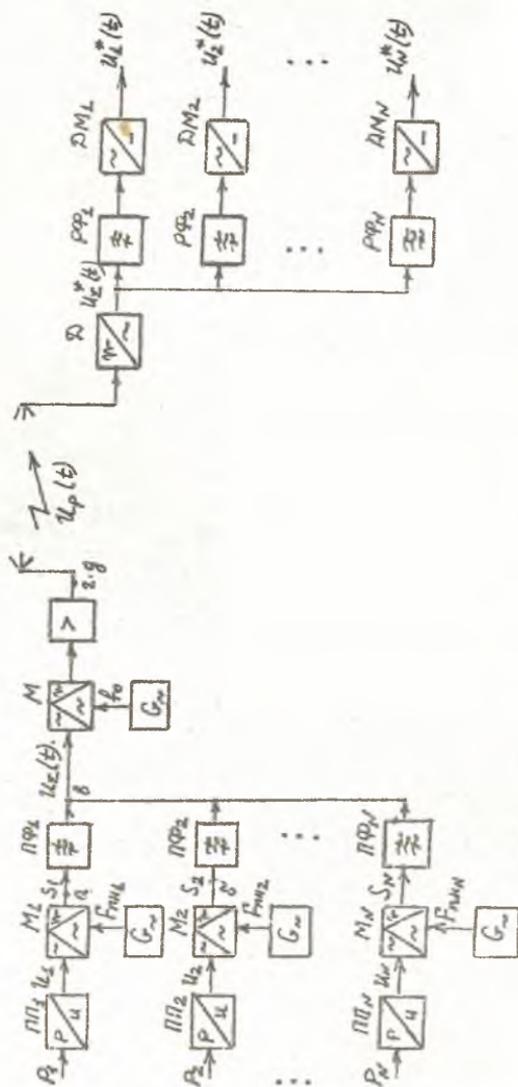
Лабораторная работа № 2

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ЧАСТОТНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

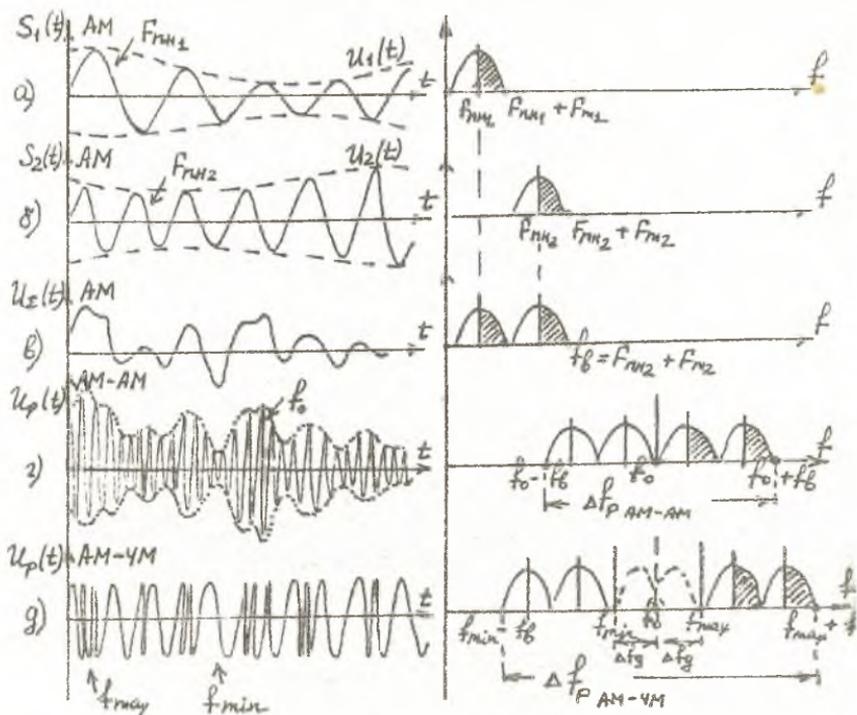
Принцип частотного уплотнения и разделения каналов основан на разнесении спектров передаваемых сообщений $0 - F_{m1}, 0 - F_{m2}, \dots, 0 - F_{mN}$ с помощью непрерывных поднесущих $F_{n1}, F_{n2}, \dots, F_{nN}$. Устройство уплотнения содержит N модуляторов M_1, M_2, \dots, M_N , а устройство разделения каналов – набор разделительных фильтров PF_1, PF_2, \dots, PF_N и каналные демодуляторы DM_1, DM_2, \dots, DM_N (рис. 6). Первичные преобразователи $PP_1 \dots PP_N$ преобразуют физические параметры $P_1 \dots P_N$ в электрические сигналы $U_1(t) \dots U_N(t)$. Полосовые фильтры $PF_1 \dots PF_N$ ограничивают полосы частот, выделяемые данному каналу. Точки $\alpha - g$ рис. 6 соответствуют позициям $a - g$ рис. 7. На рис. 7, а, б, в показаны временные диаграммы канальных сигналов $S_1(t), S_2(t)$ на выходе канальных АМ-модуляторов и групповой сигнал $U_E(t)$ на входе модулятора общего тракта как алгебраическая сумма двух АМ-сигналов. Справа на рис. 7 приведены соответствующие спектры сигналов. Для группового АМ-сигнала (рис. 7, в) верхняя частота многоканального сообщения $f_B = F_{nN} + F_{mN}$, а в случае идентичности спектров канальных сигналов

$$f_B = \sum_{i=1}^N 2F_{m_i} \gamma = 2F_{mN} N \gamma,$$

где $\gamma = 1, 1-1, 2$ – коэффициент защитного интервала между каналами.



Р и с. 6. Функциональная схема СИ с ЦК



Р и с. 7. Временные диаграммы и спектры сигналов в СПИ с ЧРК

При ЧМ-модуляции поднесущих $f_B = 2F_m(1 + m_{ЧМк})$,

где $m_{ЧМк} = \frac{\Delta f_{ЧМ}}{F_m}$.

При АМ-модуляции в общем тракте результирующий сигнал $U_p(t)$ имеет вид АМ-АМ и показан на рис. 7, г. Ширина спектра в этом случае составляет $\Delta f_{р AM-AM} = 2f_B$. При ЧМ-модуляции в общем тракте сигнал $U_p(t)$ вида АМ-ЧМ представлен на рис. 7, д. Ширина его спектра

$$\Delta f_{р AM-ЧМ} = 2f_B(1 + m_{ЧМ}),$$

где $m_{ЧМ} = \Delta f_{ЧМ} / f_B$.

В качестве несущего АМ-модулятора из-за низкой помехоустойчивости используется редко, чаще применяется СМ-модуляция как несущего, так и поднесущих колебаний, что сокращает полосу занимаемых частот в 2-4 раза, хотя и возникает трудности технического характера при демодуляции в приемнике СМ.

Метод ЧРК широко используется при передаче небольшого числа сообщений, в частности, в командных радиоперелиниях управления летательным аппаратом путем одновременной передачи на него двух плавных команд для управления рулями курса и тангажа. Значение передаваемой команды \mathcal{U}_k заключается в соотношении временных интервалов, а для уплотнения используется модуляция ШИМ-ЧМ: каждому каналу присваивается своя пара поднесущих частот.

Принципиальная схема макета двухканальной радиоперелинии с модуляцией ШИМ-ЧМ приведена на рис. 8 и 9.

Передающая часть (рис. 8) содержит генератор тактовых импульсов, формирователи ШИМ, генераторы поднесущих частот с ЧМ-манипулятором и сумматор.

Частота генератора импульсов $1/T_{\text{ин}}$ выбирается, исходя из теоремы Котельникова

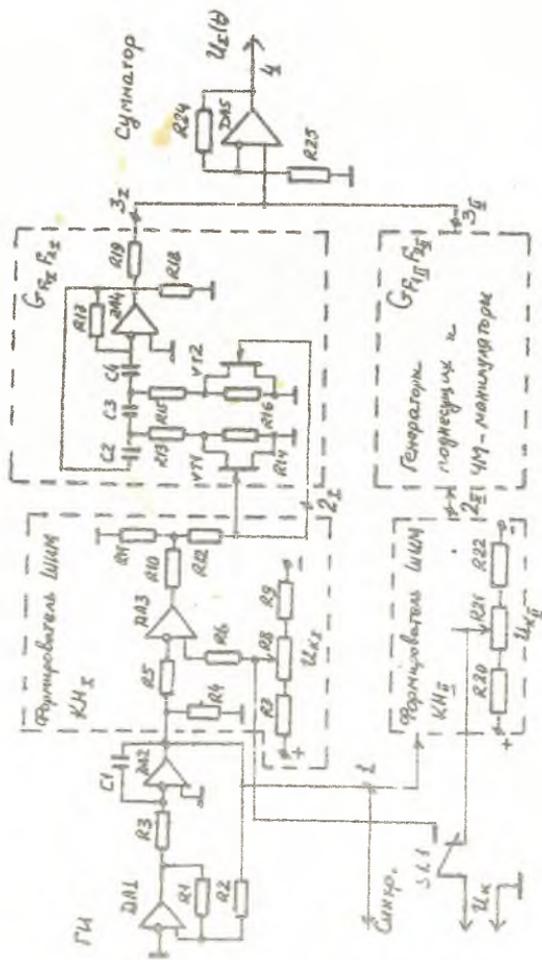
$$T_{\text{ин}} \leq 1/2 F_{\text{км}}$$

где $F_{\text{км}}$ - наивысшая частота в спектре передаваемой команды.

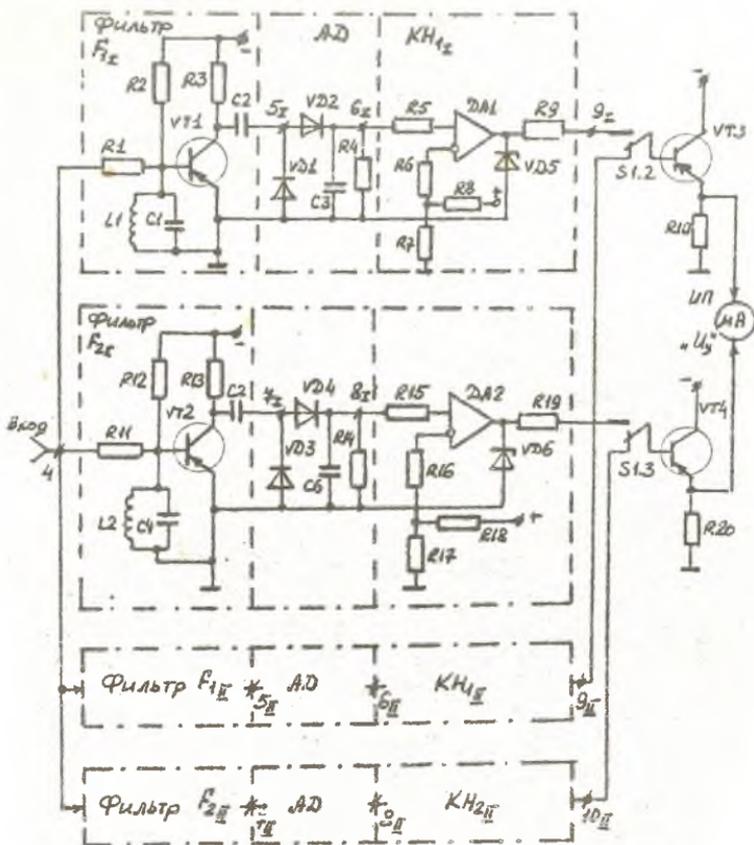
Для работы формирователя ШИМ форма генерируемых импульсов - треугольная (контрольная точка I). Генератор выполнен на двух операционных усилителях ДА1 и ДА2. Первый представляет собой компаратор, а на втором собран интегратор. Генерируемые импульсы используются для синхронизации осциллографа (гнездо "Синхр."). Формирователи ШИМ построены по схеме компараторов напряжений КН с регулируемым порогом, который задается датчиками команд - потенциометрами $R8$ и $R21$. Напряжение датчика выведено для контроля и измерения на гнездо \mathcal{U}_k . Таким образом, на выходе КН образуются импульсы ШИМ (контрольные точки 2_{I} , 2_{II}), длительность которых можно регулировать потенциометром $R8$ ($R21$) и тем самым имитировать величину командного сигнала (команды).

Передаваемая команда выражается отношением длительностей импульса ШИМ T_1 и паузы $T_2 = T_{\text{ин}} - T_1$ и называется коэффициентом команды

$$\chi = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} = \frac{T_1 - T_2}{T_{\text{ин}}} = \frac{T_{\text{ин}} - 2T_2}{T_{\text{ин}}} = 1 - \frac{2T_2}{T_{\text{ин}}}$$



Р и с. 6. Принципиальная схема передающей части макета ШИМ-ЧН



Р и с. 9. Принципиальная схема приемной части макета ШИМ-ЧМН

Генераторы поднесущих частот G_{F1}, G_{F2} представляют собой RC-генераторы, выполненные на операционных усилителях ДА4 с фазосдвигающими цепочками в цепи отрицательной обратной связи (C2, C3, C4, R13-R16). Манипуляция частоты происходит под управлением сигналов ШИМ: при высоком уровне напряжения ШИМ часть резисторов в фазосдвигающей цепочке шунтируется низким сопротивлением открытых полевых транзисторов VT1 и VT2, и генерируется сигнал более высокой частоты. В результате формируется сигнал ШИМ-ЧМн (контрольные точки $3_{II}, 3_{II}'$) с коэффициентом команды X_{II} . Групповой сигнал образуется на выходе сумматора, выполненного на операционном усилителе ДА5 (точка 4).

Приемная часть макета (рис. 9) содержит полосовые фильтры (ПФ), амплитудные детекторы (АД), формирователи импульсов (пороговые устройства-компараторы КБ) для восстановления формы импульсов ШИМ с коэффициентом команды X^1 и демодуляторы импульсов ШИМ. Для измерения величины и знака выходного (управляющего) сигнала U_y используется стрелочный индикатор с "нулем" в середине.

Групповой сигнал ШИМ-ЧМн поступает на полосовые фильтры (ПФ-контуры), усиливается (VT1, VT2 - контрольные точки 5 и 7) и детектируется амплитудными детекторами (VD1-VD4 - точки 6 и 8). С нагрузки детекторов C3-R4 (C6-R14) сигнал поступает на компараторы ДА1 (ДА2) с фиксированным порогом срабатывания, устанавливаемым делителем R7-R8 (R17-R18). Стабилитроны VD5 (VD6) ограничивают амплитуду выходных сигналов (контрольные точки 9 и 10), которые через эмиттерные повторители VT3, VT4 поступают на стрелочный измерительный прибор (ИП)-микроамперметр, выполняющий функции демодулятора временных интервалов.

Подключение стрелочного индикатора к первому или второму каналу, а также выбор канала при проведении эксперимента осуществляется переключателем S1 (I-II). О величине и знаке сигнала команды можно судить по углу и направлению отклонения стрелки ИП. При $U_x = 0$ ($X = 0$) стрелка ИП должна находиться в середине шкалы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед началом работы ознакомиться с принципом действия СПИ с ЧРК и схемой макета.
2. Снять осциллограммы в контрольных точках I-10 для обоих каналов при различных коэффициентах команды ($X > 0$, $X < 0$).
3. Для одного из каналов снять зависимость $U_y(U_x)$, вычисляя

в ходе снятия коэффициенты команды χ и χ^2 . Командный сигнал U_{κ} измерить вольтметром, подключенным к гнезду U_{κ} , а величину U_{ψ} - микросамперметром (в делениях). Построить график $U_{\psi}(U_{\kappa})$ и рассчитать абсолютную ΔU_{ψ} и относительную $\delta_{\psi} = \Delta U_{\psi} / U_{\psi \max}$, где $U_{\psi \max} = 20$, погрешности передачи командного сигнала.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Функциональная схема макета (нарисовать, пользуясь принципиальными схемами рис. 8-9).
2. Осциллограммы напряжений с указанием на функциональной схеме точек, к которым они относятся. Временные диаграммы должны иметь единое начало отсчета и единый масштаб времени, чтобы по ним можно было проследить формирование и выделение управляющего сигнала.
3. Временные диаграммы и спектр реализующих сигналов ШИМ-ЧМ-АМ и ШИМ-ЧМ-ЧМ, если бы макет содержал высокочастотный модулятор.
4. График снятой зависимости, результаты вычислений и выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Постройте временные диаграммы и спектры сигналов ЧМ-АМ и ЧМ-ЧМ. Найти $m_{\text{ЧМ}}$ и $m_{\text{ЧМк}}$.
2. В каких пределах теоретически может изменяться коэффициент команды? Как при этом будет изменяться спектр ШИМ-ЧМ?
3. Найти полосу частот, занимаемую сигналом ШИМ-ЧМ, и индекс $m_{\text{ЧМ}}$ при передаче командного сигнала с $F_{\text{км}} = 100$ Гц при $\chi = \pm 0,8$, и частотах манипуляции $F_1 = 60$ кГц, $F_2 = 80$ кГц.
4. Рассчитайте максимально возможное число речевых сообщений, которое можно разместить в СПИ с ЧРК, если на передачу всех сообщений методом ЧМ-АМ выделена полоса частот в 300 кГц, $m_{\text{ЧМк}} = 4$, защитные интервалы по частоте между соседними каналами составляют 10% от полосы частот канала. Как изменится это число при использовании метода ОБМ-ОБМ?
5. По СПИ с ЧРК передается 3 сообщения с $F_{\text{м}} = 2,5$ кГц методом АМ-ЧМ. Поднесущие выбраны равными 40, 50 и 60 кГц соответственно. Найти индекс $m_{\text{ЧМ}}$ и девиацию несущей $\Delta f_{\text{д}}$ при выделении в эфире полосы в 0,8 МГц. Как изменится спектр результирующего колебания при использовании ШИМ-ЧМ-АМ?
6. Какому условию должна удовлетворять частота генератора импульсов, собранного на ДАТ (рис. 8), если полоса сигнала ШИМ-ЧМ-АМ

с поднесущими 15, 30, 45 и 60 кГц составляет 130 кГц, а $f_{max} = \pm 0,8$?

7. Найти число каналов, которое можно разместить в КВ-диапазоне при использовании ЧРК с ЧМ-ЧМ. Принять $m_{ЧМ} = 3$, $F_m = 20$ кГц, $\gamma = 1,2$, $m_{ЧМк} = 4$.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиотехнические системы передачи информации: Учеб. пособие для вузов / В.А.Борисов, В.В.Калмыков, Я.М.Ковальчук и др. Под ред. В.В.Калмыкова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.

2. Основы радиуправления: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.А.Вейцеля и В.Н.Типутина. М.: Сов. радио, 1973. 464 с.