

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ РАДИОТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ  
С МОДУЛЯЦИЕЙ ШИМ - ЧМк - АМ

*Лабораторная работа по курсу „Радиоуправление“*

КУЙБЫШЕВ 1979

УДК 621.396.934

Составитель: В. А. Глазунов

Утверждена на редакционно-издательском  
совете института 17 ноября 1978 г.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Линии радиотелеуправления используются для формирования и передачи команд управления на летательный аппарат (на ракету, управляемый снаряд). Необходимость в управлении возникает при наведении л. а. с командного пункта, например, в системах радиотелеуправления с контролем цели с командного пункта или со снаряда. Основной характеристикой подобной радиолинии является точность передачи сообщений, поэтому целью настоящей работы является изучение принципа действия радиолинии с модуляцией ШИМ-ЧМн-АМ и исследование точности передачи команды теоретически и экспериментально.

### ПЕРЕДАЧА КОМАНДЫ В РАДИОЛИНИИ С МОДУЛЯЦИЕЙ ШИМ-ЧМн-АМ

С помощью радиолинии ШИМ-ЧМн-АМ производится управление летательным аппаратом-снарядом путем одновременной передачи на него двух плавных команд для управления рулями курса и тангажа. Блок-схема радиолинии приведена на рис. 1, временные диаграммы, поясняющие принцип работы, и спектр полного радиосигнала шириной  $2F_z$  в двухканальной радиолинии — на рис. 2.

Датчик команд (рис. 1) преобразует неэлектрическую величину — угол поворота рукоятки — в электрический сигнал команды  $U_k$  (рис. 2, а). Для осуществления управления снарядом в двух взаимно перпендикулярных плоскостях формируется два командных сигнала  $U_{к1}$  и  $U_{к2}$ . В линиях автоматического управления формирование командных сигналов осуществляется управляющим счетно-решающим прибором СРП.

Сигнал команды поступает в преобразователь команд (модулятор ШИМ), вырабатывающий последовательность прямоугольных импульсов с постоянным периодом манипуля-

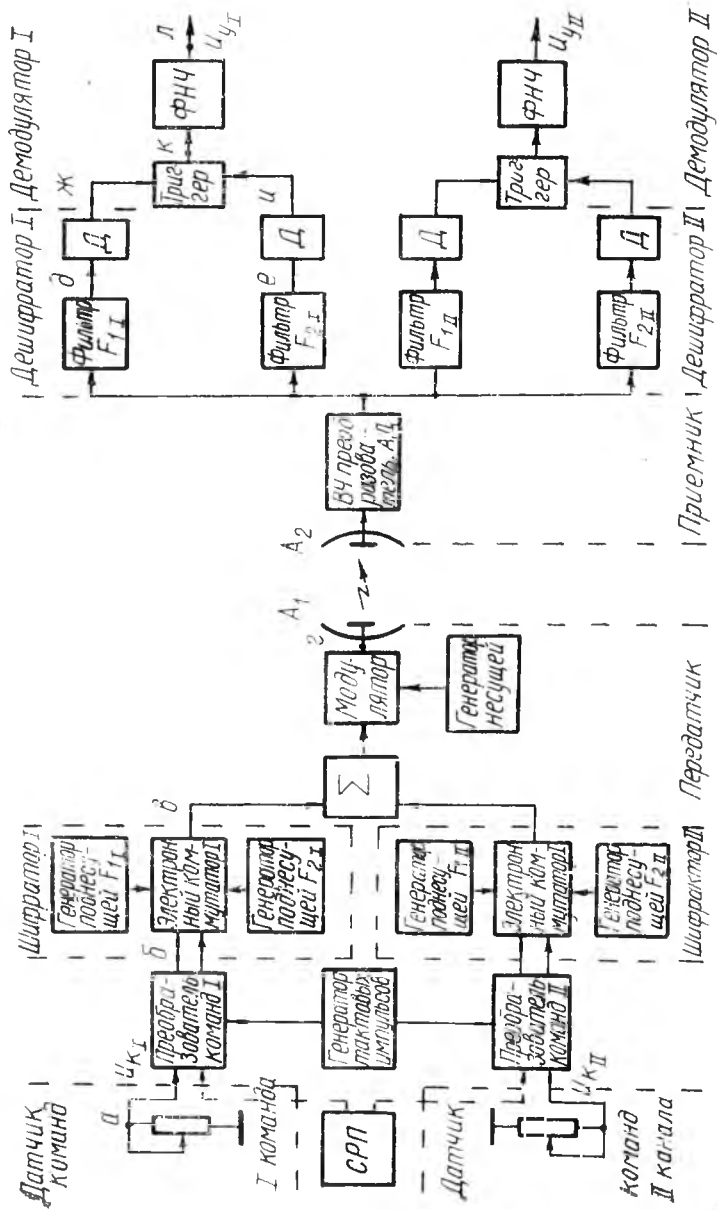


Рис. 1. Блок-схема линии радиотелеуправления с модуляцией ПИИД-ЦМФ-АМ

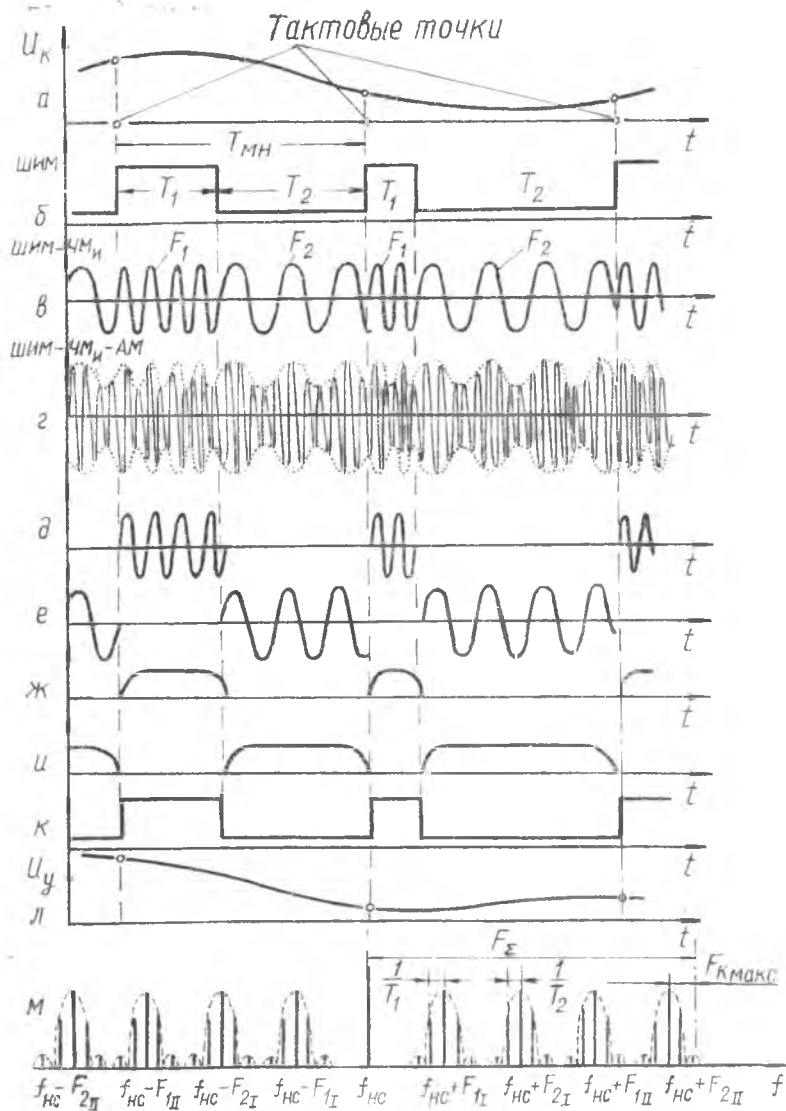


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие работу линии радиотелеуправления с ШИМ-ЧМн-АМ (а-л) и спектр выходного сигнала ШИМ-ЧМн-АМ (м)

ции  $T_{\text{ми}}$ , который задается генератором тактовых импульсов и выбирается по условию теоремы Котельникова:

$$T_{\text{ми}} \leq \frac{1}{2 F_{\text{кmax}}} \quad (1)$$

где  $F_{\text{кmax}}$  — наивысшая частота в спектре передаваемой команды.

Передаваемая команда выражается отношением длительностей  $T_1$  и  $T_2$ , называемым коэффициентом команды (рис. 2, б):

$$\chi = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} = \frac{T_1 - T_2}{T_{\text{ми}}} \quad (2)$$

Последовательность полученных таким образом широтно-модулированных импульсов (ШИМ) поступает в шифратор и управляет работой электронного коммутатора так, что в течение времени  $T_1$  на его выходе будет напряжение поднесущей частоты  $F_1$ , а в течение  $T_2$  — напряжение частоты  $F_2$  (рис. 2, в).

Сформированный сигнал ШИМ-ЧМн модулирует по амплитуде колебания несущей частоты передатчика (рис. 2, г) и излучается передающей антенной  $A_1$ .

Радиосигнал ШИМ-ЧМн-АМ принимается приемной антенной  $A_2$ , преобразуется, усиливается в приемнике и детектируется амплитудным детектором АД. Выделенный таким образом сигнал ШИМ-ЧМн поступает на разделительные полосовые фильтры, резонансные частоты которых соответствуют генераторам поднесущих частот обоих каналов. Сигналы с фильтров (рис. 2, д, е) выпрямляются амплитудными детекторами дешифраторов Д (рис. 2, ж, и). Продетектированные напряжения ШИМ управляют работой триггера, формирующего прямоугольные импульсы (рис. 2, к).

Демодуляция ШИМ осуществляется с помощью фильтров нижних частот. Постоянная составляющая напряжения на нагрузке фильтра  $U_v$  (рис. 2, л) пропорциональна соотношению временных интервалов  $T_1$  и  $T_2$  и, следовательно, величине коэффициента команды. Это напряжение воздействует на систему управления движением снаряда (силовые приводы — рулевые органы).

Таким образом, линия радиотелеуправления является, в принципе, радиолинией связного типа, но необходимость одновременной передачи двух командных сигналов заставляет использовать сложные виды модуляции (ШИМ-ЧМн-АМ, КЧМ-АМ и др.), специальную аппаратуру уплотнения (разде-

ления) каналов и кодирования (декодирования) сигналов. При частотном разделении каналов спектры поднесущих выходного сигнала оказываются разнесенными по частоте (рис. 2, м).

### ТОЧНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ КОМАНДЫ ПО РАДИОЛИНИИ

Основной технической характеристикой командной радиолинии является точность передачи команды от источника сообщений (датчика или СІР) к получателю — органам управления полетом снаряда.

Рассмотрим основные факторы, характеризующие искажения коэффициента команды при прохождении сигнала по линии радиотелеуправления.

При формировании сигнала в передающей части основное влияние на точность оказывает преобразователь команды (модулятор ШИМ). Вследствие нестабильности параметров схемы, характеристик транзисторов и питающих напряжений характеристика преобразования  $\chi = f(U_{\kappa})$  (рис. 3) оказывается нелинейной.

Относительная погрешность коэффициента команды  $\delta_1$  может быть найдена экспериментально по отклонению характеристики  $\chi(U_{\kappa})$  от прямолинейной (рис. 3):

$$\delta_1 = \frac{|\Delta\chi|_{\max}}{\chi_{\max}} = |\Delta\chi_{\max}|, \quad (3)$$

где  $\Delta\chi_{\max}$  — максимальное отклонение коэффициента команды от идеального — прямолинейного (абсолютная погрешность);  $\chi_{\max}$  — 1.

Ошибки при передаче команды от преобразователя передатчика к демодулятору ШИМ приемника обусловлены собственными шумами приемника и внешними радиопомехами и могут быть найдены в результате анализа действия сигнала и шума на приемник [1]. По экспериментально снятой зависимости  $\chi'(\chi)$  можно найти

$$\delta_2 = \frac{|\Delta\chi'|_{\max}}{\chi'_{\max}} = |\Delta\chi'_{\max}|,$$

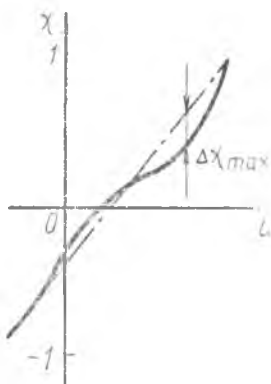
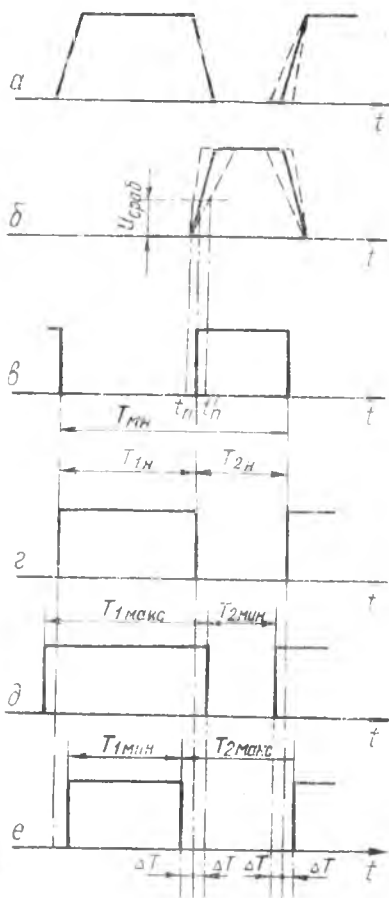


Рис. 3. Характеристика преобразователя команд (модулятора ШИМ)

где  $\chi'$  — коэффициент команды на выходе приемника (на выходе АД).

В приемном устройстве искажения коэффициента команды обусловлены в основном узкополосностью полосовых фильтров дешифраторов. При этом огибающая импульсов, запускающих триггер, отлична от прямоугольной. В первом приближении огибающую можно рассматривать как трапецевидную (рис. 4 а, б). Растягивание переднего фронта запускающего импульса (при напряжении срабатывания триггера

$U_{ср\text{аб}}$ ) приводит к задержке момента срабатывания на время  $\Delta T$ : переброс триггера происходит в момент  $t_n'$  (рис. 4, в), отличающийся на случайную величину  $\pm \Delta T$  от  $t_n$ . На рис. 4, г изображены импульсы триггера, когда погрешность равна нулю и коэффициент команды  $\chi_{\text{ном}}$  соответствует



$$\chi_{\text{ном}} = \frac{T_{1н} - T_{2н}}{T_{мн}}$$

$$\chi_{\text{макс}} = \frac{T_{1\text{макс}} - T_{2\text{мин}}}{T_{1\text{макс}} + T_{2\text{мин}}} = \chi_{\text{ном}} + \frac{4\Delta T}{T_{мн}}$$

$$\chi_{\text{мин}} = \frac{T_{1\text{мин}} - T_{2\text{макс}}}{T_{1\text{мин}} + T_{2\text{макс}}} = \chi_{\text{ном}} - \frac{4\Delta T}{T_{мн}}$$

Рис. 4. Искажения команды в демодуляторе приемника



команде передающей стороны радиолинии. Рис. 4, д, е характеризуют случаи передачи команды  $\chi_{\max}$  и  $\chi_{\min}$  вместо  $\chi_{\text{ном}}$ , т. е. с ошибкой.

Абсолютная и относительная погрешности передачи команды определяются степенью растягивания фронтов импульсов:

$$\Delta\chi = \chi_{\max} - \chi_{\text{ном}} = \chi_{\text{ном}} - \chi_{\min} = \frac{4 \Delta T}{T_{\text{ин}}}; \quad (5)$$

$$\delta_3 = \frac{|\Delta\chi|}{\chi_{\max}}.$$

Суммарная погрешность передачи команды находится через составляющие [2]:

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}. \quad (6)$$

Для более полного учета составляющих суммарной погрешности следует рассмотреть и другие факторы, такие как нестабильность срабатывания триггера, случайность начальной фазы поднесущей частоты и т. п.

## 2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка представляет собой макет приемника и передатчика, собранного в одном корпусе и питаемого от встроенного источника питания.

Принципиальная схема макета изображена на рис. 5 (см. вкладку). Генератор тактовых импульсов построен по схеме блокинг-генератора (транзистор  $v1$ ). Короткие импульсы, снимаемые с импульсного трансформатора Тр1, поступают на эмиттерные повторители ЭП ( $v4$ ) и используются для синхронизации осциллографа (гнездо «синхр»). Построение и работа обоих каналов макета аналогичны, поэтому на принципиальной схеме второй канал показан условно — функциональными блоками. С эмиттерных нагрузок R6-1 и R6-2 тактовые импульсы поступают на запуск мультивибраторов обоих каналов. Мультивибраторы ( $v6-v9$ ) выполняют функции преобразователей команд и объединены с датчиками команд (потенциометры R9). Напряжение датчика выведено на гнездо « $U_k$ » для контроля. Мультивибраторы вырабатывают импульсы ШИМ, длительность которых можно регулировать потенциометрами R9 и тем самым имитировать величину командного сигнала.

Сигналы ШИМ через эмиттерные повторители ( $v10, v11$ ) управляют работой электронных ключей ( $v12, v13$ ), на которые поступают синусоидальные сигналы от звуковых генера-

торов ( $v 14—v 16$ ,  $v 17—v 19$ ). С общей нагрузки ключа  $R 21$  снимается сигнал ШИМ-ЧМн, который через переключатель  $S 1.1$  поступает в приемную часть макета.

После усиления ( $v 20$ ,  $v 21$ ) сигнал поступает на полосовые фильтры, затем усиливается ( $v 22$ ,  $v 25$ ) и детектируется амплитудными детекторами ( $v 23$ ,  $v 26$  /  $v 24$ ,  $v 27$ ). С нагрузки детекторов  $R46—C23$  ( $R50—C26$ ) сигнал поступает на схему стрелочного индикатора (микроамперметр ИП с двумя эмиттерными повторителями  $v 28$ ,  $v 29$  для снижения шунтирующего действия катушки микроамперметра), выполняющего функции демодулятора временных интервалов. Подключение схемы стрелочного индикатора к I или II каналу, а также выбор канала при проведении эксперимента осуществляется переключателем  $S 1$ .

О величине сигнала команды можно судить по углу отклонения стрелки ИП, а о знаке коэффициента команды  $\chi$  — по направлению отклонения стрелки (применен стрелочный прибор с «нулем» в середине шкалы: при соответствующей настройке при  $\chi = 0$  стрелка ИП должна находиться в середине шкалы, т. е. на нуле).

Питание макета осуществляется от сети  $\sim 220$  В через выпрямитель и стабилизатор напряжения ( $v 30—v 36$ ).

Для просмотра временных диаграмм к гнездам «Осц.» через переключатели  $S 1.4$  и  $S 2$  подключены следующие точки обоих каналов:

- 1 — генератор тактовых импульсов;
- 2 — 1-й выход преобразователя команд;
- 3 — 2-й выход преобразователя команд;
- 4 — выход передающей части;
- 5 — выход 1-го полосового фильтра;
- 6 — выход 2-го полосового фильтра;
- 7 — выход 1-го детектора дешифратора;
- 8 — выход 2-го детектора дешифратора.

Выбор канала осуществляется переключателем  $S 1$ .

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с расположением и назначением всех органов управления и гнезд, выведенных на переднюю панель макета.

2. Включить макет тумблером «Сеть».

3. Просмотреть и зарисовать осциллограммы напряжений в т.т. 1—8 для обоих каналов при различных значениях коэффициента команды ( $\chi = 0$ ,  $\chi > 0$ ,  $\chi < 0$ ). Измерить и записать частоту опроса и значения  $\chi$  для снятых осциллограмм. Отметить на блок-схеме макета точки снятия осциллограмм.

4. При передаче команды по одному из каналов снять одновременно следующие зависимости:

а) величину коэффициента команды, формируемую в модуляторе ШИМ, от командного сигнала, снимаемого с потенциометрического датчика:  $\chi = f(U_K)$ . Коэффициент команды  $\chi$  определять по осциллографу (т.т. 2, 3 переключателя S2), используя формулу (2); командный сигнал измерять вольтметром, подключенным к гнездам « $U_K$ »;

б) величину коэффициента команды на выходе дешифратора  $\chi'$ , измеряемого по осциллографу (т.т. 7 и 8), от величины коэффициента  $\chi$ , определяемого и рассчитываемого в предыдущем пункте 4а;

в) величину управляющего напряжения  $U_Y$  на выходе демодулятора ШИМ, измеряемого по шкале микроамперметра (в делениях), от коэффициента  $\chi'$ , определяемого в предыдущем пункте 4, б;

г) величина управляющего напряжения  $U_Y$  от величины командного сигнала  $U_K$ .

Для снятия указанных зависимостей произвести одновременно по 10 измерений  $U_K$ ,  $\chi$ ,  $\chi'$  и  $U_Y$ . Результаты измерений занести в таблицу:

Номер измерения	$U_K$	$T_{1\text{мод}}$	$T_{2\text{мод}}$	$\chi = \frac{T_{1\text{мод}} - T_{2\text{мод}}}{T_{\text{мн}}}$	$T_{1\text{дш}}$	$T_{2\text{дш}}$	$\chi' = \frac{T_{1\text{дш}} - T_{2\text{дш}}}{T_{\text{мн}}}$	$U_Y$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

5. По результатам проведенных в п. 4 измерений:

а) построить графики  $\chi = f_1(U_K)$ ,  $\chi' = f_2(\chi)$ ,  $U_Y = f_3(\chi')$  и  $U_Y = f_4(U_K)$ ;

б) если построенный график оказался смещенным, то пе-

рестроить его так, чтобы он проходил через начало координат;

в) аппроксимировать полученные зависимости прямыми, касательными к построенным графикам в начале координат (для зависимости  $\chi' = f_2(\chi)$  — прямая с угловым коэффициентом, равным 1);

г) определить абсолютные погрешности  $\Delta\chi$ ,  $\Delta\chi'$ ,  $\Delta U_y / \chi'$  и  $\Delta U_y / U_k$  как максимальные смещения (разности) полученных графиков относительно аппроксимирующих прямых;

д) рассчитать относительные погрешности  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\delta_3$  по узлам и  $\delta$  всей радиолинии по формулам (3—5) (делением абсолютной погрешности на максимально-возможное значение параметра

$$\chi_{\max} = \chi'_{\max} = 1, U_{y_{\max}} = 20);$$

е) рассчитать погрешность радиолинии по формуле (6) и сравнить полученное значение с найденными в п. 5д.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Блок-схема макета, составленная заранее по принципиальной схеме.

2. Осциллограммы напряжений, снятые во время эксперимента, с указанием на блок-схеме точек, к которым они относятся.

Все временные диаграммы должны иметь единое начало отсчета и единый масштаб времени, чтобы по ним можно было проследить формирование и выделение управляющего сигнала.

3. Таблица, графики снятых зависимостей и результаты вычислений.

4. Перечень контрольно-измерительных приборов, используемых в работе, с указанием режима их работы.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и принцип построения командной радиолинии управления. Почему в радиолиниях управления используются сложные виды модуляции?

2. Блок-схема передающей части линии радиотелеуправления. Поясните образование ШИМ-ЧМн-АМ в макете передатчика.

3. В каких пределах теоретически может изменяться коэффициент команды?

4. Поясните, как учесть формулу (1) при выборе параметров передающей части командной радиoliniи?

5. Расскажите принцип построения суммирующего устройства  $\Sigma$  (рис. 1) с помощью временных диаграмм на его входах и выходе.

6. Блок-схема и принцип построения приемной части линии радиотелеуправления. Поясните выделение управляющего сигнала в макете приемника.

7. Поясните временные диаграммы, полученные при выполнении работы. Нарисуйте спектральные характеристики напряжений в точках снятия осциллограмм.

8. Перечислите факторы, определяющие точность передачи команды по радиoliniи.

9. Поясните правило нахождения абсолютной и относительной погрешностей передачи команды по радиoliniи.

10. Расскажите методику определения составляющих погрешностей передачи команды в данной работе. Поясните формулу (6).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Основы радиоуправления. Под ред. В. А. Вейделя и В. Н. Тигуина, М., «Советское радио», 1973.

2. Розенберг М. И. Расчет точности измерительных систем. М., «Связь», 1975.

Составитель: *Владислав Александрович Глазунов*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ РАДИОТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ  
С МОДУЛЯЦИЕЙ ШИМ-ЧМ<sub>n</sub>-АМ

Лабораторная работа по курсу «Радиоуправление»

Редактор Н. В. К а с а т к и н а  
Техн. редактор Н. М. К а л е н ю к  
Корректор С. С. Р у б а н

Сдано в набор 1.03.79 г. Подписано к печати 16.03.79 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага оберточная белая. Усл. п. л. 0,70 + 1 вкладка. Уч.-изд. л. 0,84.  
Тираж 600 экз. Бесплатно. Заказ № 303.

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

---

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.