московский государственный ордена ленина И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
авиационный институт имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

(технический университет)

факультет радиоэлектроники ла

Кафедра 402

Отчет по практическим занятиям по курсу  
«Радиосистемы управления и передачи информации»

на тему

«Проектирование  
командно-измерительной радиолинии  
системы управления летательным аппаратом»

Выполнил:  *О. А. Левин и др.,*

*гр. 04-517*

Преподаватель: *В. В. Заикин*

москва

1997

## Техническое задание

Спроектировать командно-измерительную линию, взяв в качестве основы функциональную схему, изображенную на рис. 1 при следующих исходных данных:

1. Время сеанса связи не более 10 минут.
2. За сеанс требуется передать по информационному каналу не менее 105 символов при вероятности ошибки на символ не больше 10-3.
3. В сеансе требуется измерить дальность с ошибкой не более 20 м при точности прогноза 50 км.
4. Энергетический потенциал (отношение мощности сигнала к спектральной плотности шума) на входе приемника — 104 Гц.
5. Несущая частота радиолинии — 103 МГц.
6. Занимаемый радиолинией диапазон частот не более 0,5 МГц.
7. Априорная неизвестность частот в сигнале до 10-5 от номинала.

### Дополнительные условия

* Точность и достоверность измерений и передачи информации определяются в основном шумом.
* Шумовые ошибки в запросной и ответной линии дальномера можно считать одинаковыми.
* Дальномер должен выдавать независимые отсчеты дальности с интервалом в 1 секунду.

В результате расчета должны быть выбраны следующие основные параметры подсистем передающего и приемного трактов:

* частота задающего генератора в передающем тракте;
* скорость передачи информационных символов;
* параметры фазового модулятора передатчика;
* число каскадов в генераторах ПС-кода;
* параметры системы ФАПЧ в приемнике;
* полоса пропускания ВЧ-преобразователя в приемнике;
* полосы пропускания полосового ограничителя и ФНЧ в аппаратуре разделения каналов;
* параметры системы тактовой синхронизации в аппаратуре декодирования.

## Спектры используемых сигналов

# 

Рис. 1. Спектр ПШС



Рис. 2. Спектр сигнала тактовой синхронизации



*U*ПШСх2F*(f)*

Рис. 3. Правая половина спектра сигнала в радиолинии

Рис. 4. Спектр сигнала на несущей



## Выбор параметров системы

### Шумовая полоса ФАПЧ

Положим, что на режим захвата можно выделить 10% времени сеанса (1 мин.). Диапазон неизвестности частоты задан, как 10-5 от номинала 1 ГГц, т. е. поиск надо вести в полосе . Для надежности этот диапазон надо пройти 5-6 раз, поэтому один проход будет совершаться за время *Т*п=10 с. Отсюда получим требуемую скорость перестройки частоты:. Для надежного захвата сигнала при такой скорости требуется ФАПЧ с достаточно малой инерционностью (широкой шумовой полосой). Шумовая полоса будет опре­де­лять­ся по формуле:



### Необходимая мощность гармоники на несущей частоте из условия нормальной работы ФАПЧ в режиме слежения

Дисперсия шумовой ошибки определяется по формуле:



где: *G*Ш — спектральная плотность шума на входе ФАПЧ (Вт/Гц), *Р*СН — мощность гармоники на несущей частоте. Положим , тогда необходимо иметь:



В техническом задании указан полный энергетический потенциал радиолинии — 104 Гц. Следовательно, на гармонику с несущей частотой следует выделить  от полной мощности сигнала. Мощность гармоники на несущей: . Учитывая, что полная мощность сигнала КИМ-ФМн-ФМ будет , имеем .

### Оценка необходимой мощности сигнала в информационном канале

На режим приема в сеансе остается 9 минут. За это время надо передать 105 символов. Значит длительность одного символа *Т*ПС<540·10-5 с. Информация передается третьим членом в спектре сигнала. Соответствующая мощность:



где ηи — часть мощности, затрачиваемая на передачу информации. Вероятность ошибки не должна превышать 10-3, поэтому (из интеграла вероятности): *Р*СИ/*G*ШИ>890 Гц.



### Выбор девиации фазы в фазовом модуляторе передатчика

Из предыдущих расчетов имеем:





Решив эти трансцендентные уравнения, получим: *m*C=1,085 рад., *m*И=1 рад.

### Распределение мощности между компонентами сигнала

Выше было найдено, что на несущую приходится 0,13, а на информацию — 0,089 полной мощности сигнала. Мощность сигнала синхронизации будет определяться по формуле:



## Выбор тактовой частоты, обеспечивающей заданную точность измерения дальности

Дальность измеряется по сигналу символьной синхронизации, имеющему остроугольную сигнальную функцию. Максимальная ошибка по дальности будет определяться по формуле:



где с — скорость распространения радиоволн; *k*2=10 — коэффициент запаса; β=3/τИ – крутизна наклона главного пика сигнальной функции; *Q*0=*Р*сс*Т*изм — энергия сигнала (время измерения — 1 с). Общая ошибка по дальности (20 м) поровну распределена между запросной и ответной радиолинией, следовательно, Δ*R*max=10 м. Зная это, найдем, что τИ<4,4·10-5 с. Следовательно, тактовая частота 2*F*т должна быть меньше величины 1/τИ=22,7 кГц

### Выбор параметров задающего генератора и генератора ПШС

Выберем необходимое число символов в ПШС (*n*пс):



Ближайшее целое число, удовлетворяющее этому условию — 127. Пересчитанное значение длительности импульса составит 42,5 мкс и тактовая частота 2*F*т=23,53 кГц.

### Проверка надежности работы ФАПЧ в режиме захвата и выделения несущей

Проверим, не будут ли мешать гармоники сигнала, лежащие рядом с несущей частотой. Полоса ФАПЧ выбрана шириной 80 Гц и в процессе поиска просматривается диапазон ±10 кГц около несущей.

1. Полоса частот, связанная с модуляцией несущей сигналом КИМ-ФМн, отстоит на частоту 4*F*т=±47,06 кГц и в полосу поиска не попадает.
2. В режиме слежения за несущей сигнал выделяется полосой ФАПЧ ±40 кГц. Ближайшая гармоника синхросигнала отстоит на частоту 1/*Т*пс=185 Гц и в полосу ФАП не попадает.
3. Проверим, не может ли произойти ложный захват ФАПЧ гармоникой, связанной с модуляцией несущей синхросигналом. Они находятся в полосе ФАПЧ и могут селектироваться только по амплитуде. Амплитуда *А*max наибольшей из гармоник синхросигнала, попадающей в полосу поиска:



где *А*m — амплитуда максимальной гармоники в синхросигнале. Полезная гармоника имеет амплитуду 0,362*U*Н, т. е. почти в 100 раз больше по мощности, что обеспечивает легкую селекцию.

### Определение необходимых полос пропускания фильтров в приемном тракте

1. Полосовой ограничитель должен пропускать сигнал КИМ-ФМн. В спектре сигнала *U*Д*(t)* после синхронного детектора сигнал расположен вблизи частоты 47,06 кГц и занимает полосу примерно (4… 5)/*Т*ПС=1 кГц. При нестабильности частоты 10-5 от номинала частотный сдвиг не превысит 500 Гц. Следовательно, полосовой ограничитель должен быть настроен на частоту 47,06 кГц и иметь полосу пропускания около 1 кГц.
2. ФНЧ канала синхронизации выделяет синхросигнал. Считая, что полоса занимаемых частот соответствует примерно 12*F*Т, находим необходимую полосу фильтра в 142 кГц.
3. Высокочастотный преобразователь приемного тракта должен пропустить достаточное число полезных компонент сигнала, т.е. иметь полосу не менее ±12*F*Т, к этому надо добавить нестабильность несущей (±10 кГц). Следовательно, полоса должна быть порядка 2(142+±10) кГц= =300 кГц. Эта же величина определяет занимаемый радиолинией диапазон частот.

## Проверка выполнения требований ТЗ по необходимой точности прогноза дальности



Рис. 5. Сигнальная функция синхросигнал

В задании указана точность прогноза дальности 50 км. Это обеспечивает прогноз по задержке ±0,333·10-3 с. Поскольку *Т*пс=5,4·10-3 с, а τи=4,25·10-5 с, в диапазон исследуемых задержек может попасть только один большой пик сигнальной функ­ции и большое число малых пиков высотой 1/*n*пс. Надежные измерения обеспечиваются только при условии:



Зная, что в данном случае

видим, что это условие выполняется с большим запасом. Таким образом, заданная точность прогноза при выбранных параметрах сигнала надежно обеспечивает однозначное определение дальности.

Кодирующее устройство

Задающий генератор

Фазовый модулятор

Фазовый модулятор

Сумматор

Команды от ЭВМ

*U*ДШ*(t)*

*U*4F*(t)*

*U*КИМ*(t)*

*U*М*(t)*

*S(t)*

Делитель частоты  
 на 2

Перемно­житель

Генератор несущей частоты

Генератор ПШС

Дешифратор

*U*2F*(t)*

*U*сс*(t)*

*U*ПШС*(t)*

На измеритель дальности

Рис. 6. Структурная схема передающего тракта

Рис. 7. Структурная схема передающего тракта

Блокировка

К передатчику линии   
«Борт — Земля»

*U*дш*(t)*

*U´*F*(t)*

*U*з*(t)*

*U*сс*(t)*

*U*оп*(t)*

*S*г*(t)*

Схема распознавания сигналов

*U*г*(t)*

*U*д*(t)*

к БЗУ

Декодирующее устройство

Устройство контроля символьной синхронизации

УПЧ

Преобразователь частоты

УВЧ

УВС  
по задержке

ФАПЧ

УВС по частоте

Фазовый   
детектор  
несущей

Система слежения за задержкой

ФНЧ

Устройство контроля синхронизации

Решающее устройство

Фазовый детектор поднесущей

Полосовой фильтр

Интегратор