**Проектирование командно-измерительной радиолинии системы управления летательным аппаратом**

Техническое задание

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

Время сеанса связи не более 10 минут.

За сеанс требуется передать по информационному каналу не менее 105 символов при вероятности ошибки на символ не больше 10-3.

В сеансе требуется измерить дальность с ошибкой не более 20 м при точности прогноза 50 км.

Энергетический потенциал (отношение мощности сигнала к спектральной плотности шума) на входе приемника — 104 Гц.

Несущая частота радиолинии — 103 МГц.

Занимаемый радиолинией диапазон частот не более 0,5 МГц.

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

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 Тп=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: GШ — спектральная плотность шума на входе ФАПЧ (Вт/Гц), РСН — 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 ТПС<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): РСИ/GШИ>890 Гц.



Выбор девиации фазы в фазовом модуляторе передатчика

Из предыдущих расчетов имеем:





Решив эти трансцендентные уравнения, получим: mC=1,085 рад., mИ=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; k2=10 — коэффициент запаса; β=3/τИ – крутизна наклона главного пика сигнальной функции; Q0=РссТизм — энергия сигнала (время измерения — 1 с). Общая ошибка по дальности (20 м) поровну распределена между запросной и ответной радиолинией, следовательно, ΔRmax=10 м. Зная это, найдем, что τИ<4,4·10-5 с. Следовательно, тактовая частота 2Fт должна быть меньше величины 1/τИ=22,7 кГц

Выбор параметров задающего генератора и генератора ПШС

Выберем необходимое число символов в ПШС (nпс):



Ближайшее целое число, удовлетворяющее этому условию — 127. Пересчитанное значение длительности импульса составит 42,5 мкс и тактовая частота 2Fт=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.

Полоса частот, связанная с модуляцией несущей сигналом КИМ-ФМн, отстоит на частоту 4Fт=±47,06 кГц и в полосу поиска не попадает.

В режиме слежения за несущей сигнал выделяется полосой ФАПЧ ±40 кГц. Ближайшая гармоника синхросигнала отстоит на частоту 1/Тпс=185 Гц и в полосу ФАП не попадает.

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 Аmax наибольшей из гармоник синхросигнала, попадающей в полосу поиска:



где Аm — амплитуда максимальной гармоники в синхросигнале. Полезная гармоника имеет амплитуду 0,362UН, т. е. почти в 100 раз больше по мощности, что обеспечивает легкую селекцию.

Определение необходимых полос пропускания фильтров в приемном тракте

Полосовой ограничитель должен пропускать сигнал КИМ-ФМн. В спектре сигнала UД(t) после синхронного детектора сигнал расположен вблизи частоты 47,06 кГц и занимает полосу примерно (4… 5)/ТПС=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.

ФНЧ канала синхронизации выделяет синхросигнал. Считая, что полоса занимаемых частот соответствует примерно 12FТ, находим необходимую полосу фильтра в 142 кГц.

Высокочастотный преобразователь приемного тракта должен пропустить достаточное число полезных компонент сигнала, т.е. иметь полосу не менее ±12FТ, 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 Тпс=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/nпс. 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.