

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Характеристики приемников навигационных сигналов

Электронный лабораторный практикум

САМАРА

2011

Составители: **Кудрявцев Илья Александрович,**
Корнилин Дмитрий Владимирович

Рецензент:

Заведующий межвузовской кафедрой космических исследований профессор
И. В. Белоконов

Характеристики приемников навигационных сигналов [Электронный ресурс] : электрон. лаб. практикум / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. И. А. Кудрявцев, Д. В. Корнилин. - Электрон. текстовые и граф. дан. (0,21 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В лабораторном практикуме рассматриваются основные характеристики спутниковых радионавигационных приемников, а также их основные узлы. Лабораторный практикум основан на использовании среды MatLab. Лабораторный практикум по дисциплинам «Радионавигационные системы» (210400.68) и «Основы теории радионавигационных систем» (210601.65) разработан на кафедре РТУ радиотехнического факультета для магистрантов направления подготовки 210400.68 «Радиотехника», занятия в семестре А и студентов специальности 210601.65 «Радиоэлектронные системы и комплексы», занятия в семестре 9.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ РАДИОЧАСТОТНОГО ТРАКТА.....	4
2 ИССЛЕДОВАНИЕ «ИДЕАЛЬНОГО» КОРРЕЛЯТОРА.....	6
3 ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ПОИСКА (ACQUISITION) НАВИГАЦИОННОГО СИГ- НАЛА.....	7
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ВАРИАНТА РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМЫ ПОИСКА. 8	
5 СПИСОК КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....	10

ВВЕДЕНИЕ

Навигационный приемник является основным элементом НАП (навигационной аппаратуры потребителей) и выполняет целый набор функций, главными из которых являются:

1. первичная обработка сигнала;
2. поиск навигационных сигналов и идентификация спутника;
3. слежение за навигационным сигналом и определение задержки кода и доплеровского частотного сдвига;
4. прием навигационных сообщений, передаваемых спутником;
5. получение навигационного решения;
6. визуализация полученных результатов

К перечисленным основным функциям можно добавить ряд дополнительных, например, прием сигналов вспомогательных систем (WAAS, EGNOS и т.п.) и сервисные функции. Лабораторный практикум посвящен изучению некоторых основных функций, т.к. реализация остальных функций не является сугубо радиотехнической проблемой и реализация этих функций существенным образом зависит от конкретного устройства.

Для моделирования используется система MatLab вместе с мощным модулем моделирования Simulink, позволяющим в графическом режиме строить сложные схемы обработки сигналов. Также использованы модели блоков навигационного приемника, полученные в свободном доступе из раздела обмена файлами сайта фирмы Mathworks (GPS_9b_11a).

Методические указания позволяют изучить основные схемы обработки навигационных сигналов в НАП. Указания не содержат большого объема методических материалов, изложенных в учебных пособиях, равно, как и описания среды Matlab. Для выполнения практикума, обучающиеся должны иметь простейшие навыки работы с системой Matlab, а также предварительно ознакомиться с теоретическими аспектами вопросов разработки навигационных радиоприемников.

1 Анализ радиочастотного тракта

Радиочастотный тракт навигационных приемников включает в себя антенну, предварительный усилитель, смеситель и тракт промежуточной частоты (для приемников супергетеродинной схемы). Каждый из этих элементов сам по себе представляет собой хорошо изученный элемент из курсов теории антенн и радиоприемных устройств, однако, полезный сигнал в навигационном приемнике имеет чрезвычайно низкий уровень (менее уровня теплового шума в антенне), в связи с чем разработчику необходимо уметь определять влияние особенностей РЧ тракта на характеристики приемника. В лабораторном практикуме используется модель, учитывающая энергетические соотношения во всей радиолинии от навигационного спутника до потребителя. При этом на рис. 1 можно видеть структурную схему элемента, имитирующего эту линию. Здесь отдельными элементами представлены приемная и передающая антенны, шумы усилителя радиоприемника и общее усиление в тракте. Детали реализации тракта (смеситель, УПЧ и пр.) не рассматриваются.

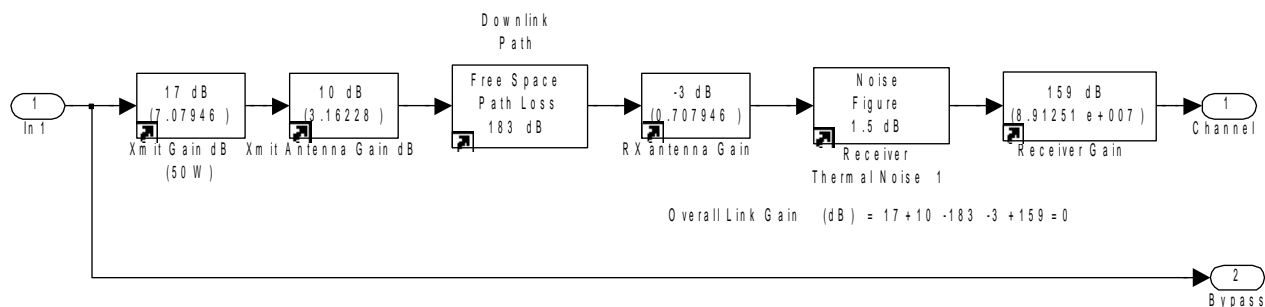


Рисунок 1 Структура модуля, имитирующего радиолинию

Откройте папку, содержащую файлы лабораторной работы и запустите двойным щелчком файл `gps_basics.mdl`. В окне программы откроется схема имитирующая навигационный приемник, представленная на рис. 2. В данной схеме опущен ряд существенных деталей, связанных с реализацией алгоритмов обработки сигнала, однако схема позволяет оценить влияние параметров радиолинии на работу навигационного приемника, в частности на способность аппаратного коррелятора идентифицировать навигационный сигнал. В этом разделе производится чисто качественная оценка – пик корреляционной функции должен быть визуально определяем.

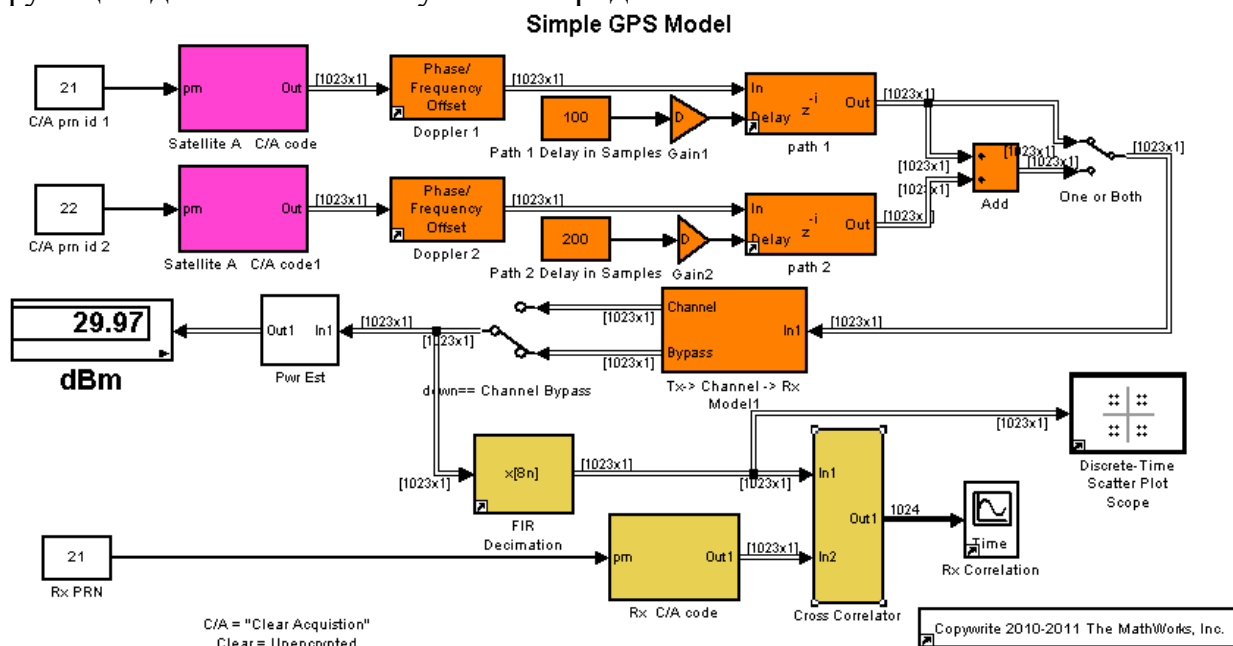


Рисунок 2 – Структурная схема простейшего имитатора приемника навигационных сигналов

Порядок выполнения работы:

1. Запустите процесс моделирования и оцените значение корреляционной функции;
2. Включите имитацию канала передачи и наблюдайте изменения в работе навигационного приемника;
3. Измените параметры имитатора навигационного спутника (кодированная задержка, частотный и фазовый сдвиги) и пронаблюдайте влияние этих параметров на результаты работы коррелятора;
4. Повторите п. 2 и 3, включив режим суммирования сигналов от двух спутников;

5. Введите дополнительно 3-й спутник (изменив схему) и оцените изменения по сравнению с п.4;
6. Переставьте блок имитации радиоканала (Tx->Channel->Rx) в отдельные каналы и исследуйте работу приемника, когда на входе имеются сигналы с различной интенсивностью.
7. Сделайте выводы по всем пунктам исследования.

2 Исследование «идеального» коррелятора

Запустите файл Corr01.mdl, находящийся в той же самой директории с исходными файлами. Схема предназначена для анализа характеристик «идеального коррелятора», на входы которого поступает локальная копия сигнала и сигнал после демодуляции. Коррелятор в данной схеме осуществляет «идеальное» перемножение и интегрирование.

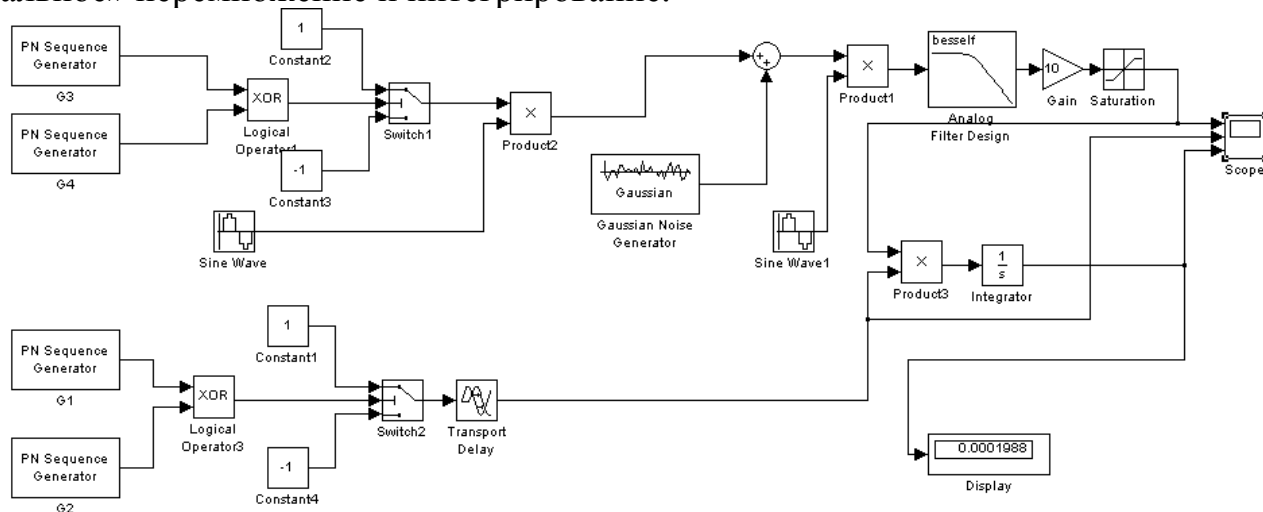


Рисунок 3 – Моделирование «идеального» коррелятора

Для ускорения анализа частота несущей в этой схеме выбрана равной промежуточной частоте. Такое допущение незначительно влияет на работу коррелятора. Генератор C/A кода выполнен в виде двух отдельных генераторов псевдослучайных последовательностей на основе регистров сдвига с обратными связями, что соответствует логике формирования кодов Голда.

Порядок выполнения работы:

Запустите схему, установив идентичные параметры генераторов C/A кода и нулевое значение интенсивности шума. Пронаблюдайте формы сигналов, определите величину выходного сигнала интегратора при анализе фиксированного временного интервала работы.

1. Измените начальное значение, загружаемое в регистр одного из генераторов и повторите п.1.
2. Измените параметры фильтра на выходе смесителя приемника (синхронного детектора) и изучите его влияние на работу коррелятора.
3. Изучите шумовые свойства (помехоустойчивость) коррелятора при различных параметрах помехового сигнала.
4. Введите в один из каналов элемент с управляемой задержкой и постройте график корреляционной функции.

5. Изменяя частоту и фазу генератора (в канале приемника), изучите работу схемы при наличии доплеровского сдвига и случайной фазы.
6. Добавьте к схеме еще один канал принимаемого сигнала с произвольными значениями кода и доплеровского сдвига и изучите работу схемы в условиях действия нескольких сигналов.
7. Сделайте выводы о работе исследуемого коррелятора.

3 Исследование схемы поиска (acquisition) навигационного сигнала

«Идеальный» коррелятор в том виде, в котором он был исследован в предыдущей лабораторной работе, на практике применить затруднительно по ряду причин. Во-первых, для получения навигационного решения нам необходимо не менее четырех спутников, следовательно, нужно не менее четырех каналов синхронного детектирования, во-вторых, аналоговая техника обработки сигнала сильно усложняет схему. Применение стандартных решений на основе интегральных узлов типа MAX2769, заставляет применять специфические алгоритмы обработки, рассмотренные, например, в [1].

Запустите файл FFT_1.mdl. Здесь реализуется умножение принятого сигнала промежуточной частоты на кодовый сигнал и БПФ результат этой операции. Если кодовая задержка подобрана правильно, в результате умножения должен получиться непрерывный гармонический сигнал, частота которого может быть определена с помощью БПФ. Таким образом, реализуется приближенное определение задержки и доплеровского сдвига, которые впоследствии будут переданы в схему слежения.

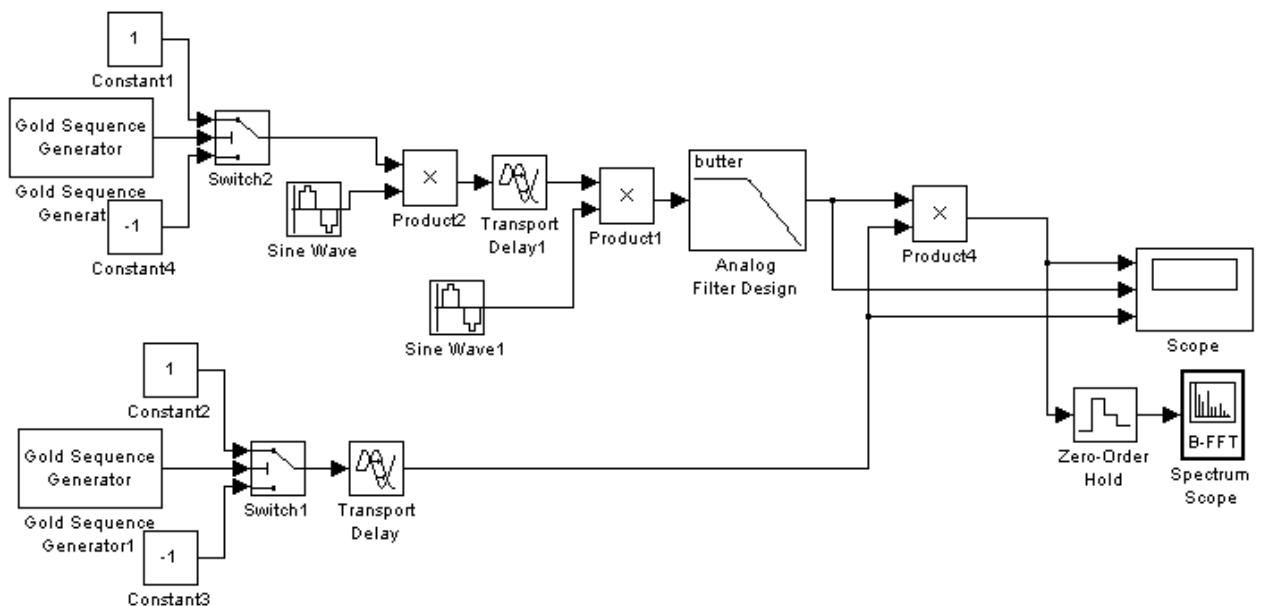


Рисунок 4 – Моделирование схемы поиска сигнала

В исследуемой схеме вначале осуществляется перенос сигнала на промежуточную частоту, а затем перемножение получившегося сигнала на локальный C/A код. Результат подвергается БПФ. Как и ранее, для сокращения времени анализа моделирование производится на пониженной частоте.

Порядок выполнения работы:

1. Установите нулевое значение задержек и запустите цикл моделирования. Подберите параметры БПФ и длительность цикла анализа, так чтобы спектр приобрел за разумное время анализа установившийся вид.
2. Изучите поведение схемы при изменении задержки C/A кода;
3. Изменяя доплеровское смещение и начальную фазу несущей, исследуйте изменения спектра сигнала;
4. Введите генератор широкополосного шума, аналогично предыдущей лабораторной работе и исследуйте помехоустойчивость схемы;
5. Замените широкополосный генератор на узкополосный и повторите предыдущее исследование;
6. Измените схему, добавив дополнительные каналы приема (дополнительные спутники) и повторите исследование;
7. Сделайте выводы о работе данной схемы.

4 Исследование цифрового варианта реализации схемы поиска

Как правило, цифровая обработка сигнала реализуется на базе FPGA, так как необходимо быстро обрабатывать большие объемы данных, и сигнальных процессорах, обеспечивающих основные вычисления и «интеллектуальные» алгоритмы на завершающих этапах обработки. Типичные RF-end модули, как уже упоминавшийся раньше MAX2769, включают в свой состав АЦП с разрядностью от одного до трех, чего обычно достаточно для обработки навигационных сигналов [1]. Моделирование такой обработки в среде Matlab удобно выполнять с помощью блока Quantizing Encoder, параметры которого можно настраивать. Перемножение величин небольшой разрядности удобно осуществлять с помощью табличных перемножителей, легко реализуемых в FPGA с помощью блоков Lookup-Table (LUT). Схема на рис. 5 представляет собой фактически аналог предыдущей с измененным вариантом обработки сигнала промежуточной частоты.

Порядок выполнения работы:

1. Прделайте исследования, аналогичные п.1-7 в разделе 3 с целью сравнения цифрового варианта реализации с аналоговым
2. Подберите параметры квантователя таким образом, чтобы результаты квантования соответствовали АЦП микросхемы MAX2769 (табл. 1). На рис. 6 также приводится графическая интерпретация характеристики АЦП.
3. Изменяя совместно параметры Lookup Table и квантователя, изучите влияние квантователя на результаты работы схемы поиска и сделайте выводы.
4. Подключите генератор узкополосного шума и сравните работу схемы поиска при различных вариантах квантования.

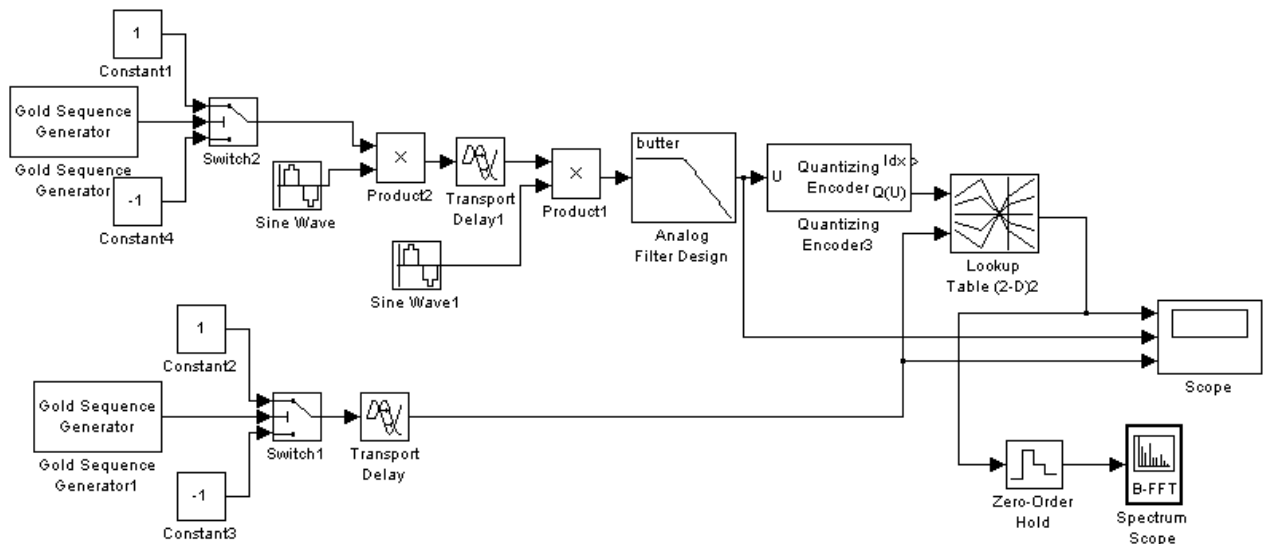


Рисунок 5 – Цифровой поиск навигационного сигнала

Таблица 1 Кодирование выходного сигнала MAX2769

INTEGER VALUE	SIGN/MAGNITUDE					UNSIGNED BINARY					TWO'S COMPLEMENT BINARY				
	1b	1.5b	2b	2.5b	3b	1b	1.5b	2b	2.5b	3b	1b	1.5b	2b	2.5b	3b
7	0	01	01	011	011	1	10	11	101	111	0	01	01	101	011
5	0	01	01	001	010	1	10	11	100	110	0	01	01	100	010
3	0	01	00	001	001	1	10	10	100	101	0	01	00	100	001
1	0	00	00	000	000	1	11	10	011	110	0	00	00	011	000
-1	1	00	10	000	100	0	11	01	011	011	1	00	11	011	111
-3	1	10	10	101	101	0	01	01	001	010	1	11	11	111	110
-5	1	10	11	101	110	0	01	00	001	001	1	11	10	111	101
-7	1	10	11	111	111	0	01	00	000	000	1	11	10	110	100

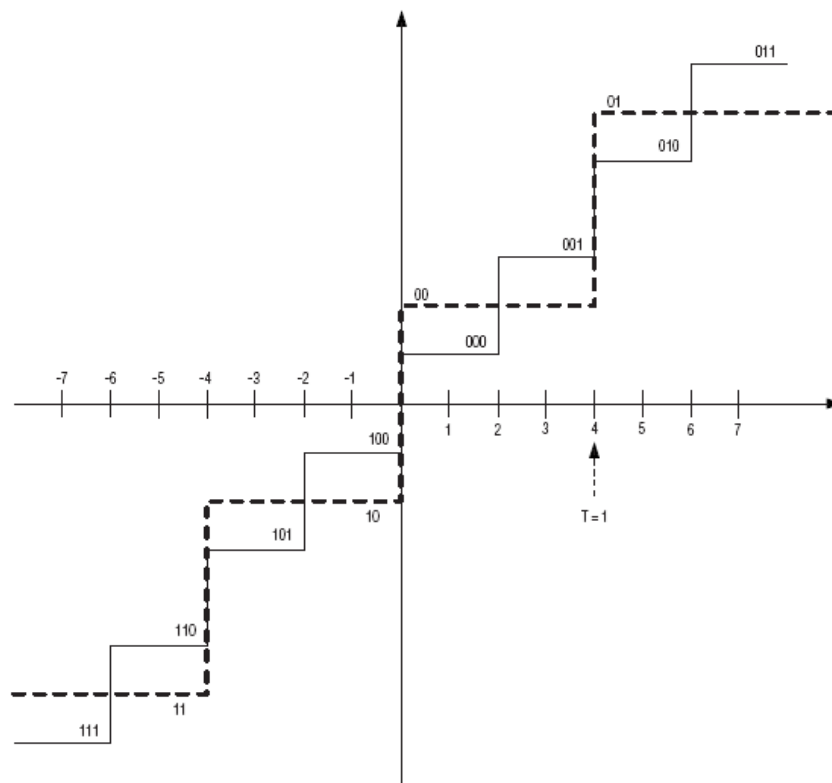


Рисунок 6 – Характеристика АЦП MAX2769

5 Список контрольных вопросов для самопроверки

1. Как определить уровень сигнала на входе навигационного приемника?
2. Какие требования предъявляются к антенне навигационного приемника?
3. Какова должна быть полоса пропускания навигационного приемника ?
4. Укажите достоинства и недостатки схемы приемника с прямой дискретизацией сигнала на несущей частоте
5. Перечислите методы поиска навигационных сигналов
6. Какие требования выдвигаются к системе поиска сигналов в системе GPS ?
7. Какие требования выдвигаются к автокорреляционной характеристике кодовой последовательности ?
8. Как реализовать коррелятор средствами ПЛИС?
9. Как реализовать цифровой генератор выборок с изменяемой частотой средствами ПЛИС ?
10. Чем отличается БПФ от ДПФ ?
11. Какие алгоритмы вычисления БПФ Вам известны ?
12. Для чего нужны оконные функции ?

Список использованных источников

1. James Bao-Yen Tsui. Fundamentals of global positioning system receivers. A software approach. Wiley & Sons, 2000. 255p.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6. 5 SP1/7. 0+ Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров.- М. :СОЛОН Пресс, 2005.- 576 с.
3. MAX2769. 19-0791, Rev. 0 6/07. Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive

Учебное издание

Исследование характеристик навигационных сигналов систем GPS,
GALILEO, ГЛОНАСС

Методические указания к лабораторному практикуму

Составители: И.А. Кудрявцев, Д.В. Корнилин.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

