

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ, СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ И
ОБРАБОТКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГОЛДА В СИСТЕМАХ
ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе

по дисциплине “Сети подвижной связи с кодовым разделением каналов”
для студентов специальности 1-45 01 03 – Сети телекоммуникаций
всех форм обучения

Минск 2006

УДК 621.396.2(075.8)

ББК 32.884.1я73

И 88

С о с т а в и т е л и:

И.И. Астровский, П.М. Буй

И 88 **Исследование** свойств, способов формирования и обработки последовательностей Голда в системах подвижной связи: Метод. указания к лабораторной работе по дисц. “Сети подвижной связи с кодовым разделением каналов” для студ. спец. 1-45 01 03 – Сети телекоммуникаций всех форм обуч. / Сост. И.И. Астровский, П.М. Буй – Мн.: БГУИР, 2006. 14 с.: ил.

Исследуются свойства, способы формирования и обработки последовательностей Голда в системах подвижной связи. Рассматриваются вопросы применения M-последовательностей в CDMA-системах.

Лабораторная работа выполняется на ПЭВМ в диалоговом режиме. Программа составлена в соответствии с современными требованиями к программному продукту и обеспечивает необходимый сервис и защиту от неправильных действий пользователя. В процессе выполнения лабораторной работы пользователь может получать помощь и пояснения.

Лабораторная работа может быть использована при изучении других курсов, связанных с цифровой обработкой сигналов в системах подвижной связи.

УДК 621.396.2(075.8)

ББК 32.884.1я73

© Астровский И.И., Буй П.М.,
составление, 2006

© БГУИР, 2006

1. Цель работы

Исследование свойств, способов формирования, обработки и применений последовательностей Голда в радиотехнических системах.

2. Теоретические сведения

В начале 90-х годов прошлого столетия американская компания Qualcomm активно начала разработку нового стандарта сотовой связи, основанного на технологии шумоподобных сигналов и кодовом разделении каналов – CDMA (Code Division Multiple Access – Множественный доступ с кодовым разделением). В сентябре 1995 года в Гонконге вступила в строй первая система сотовой связи, основанная на этом стандарте.

Кодовые последовательности, используемые в CDMA-системах для передачи сигнала, состоят из N элементарных символов (чипов). Каждый информационный символ сигнала складывается с одной N -символьной последовательностью, которая называется «расширяющей» (spreading sequence), поскольку «результатирующий» сигнал излучается в эфир с преднамеренно расширенным спектром. Выигрыш в качестве связи зависит как от числа символов (длины) последовательности, так и от характеристик совокупности сигналов, в первую очередь, – их взаимокорреляционных свойств и способа модуляции.

В оптимальном CDMA-приемнике поступающие на его вход сигналы обрабатываются с помощью корреляционных методов. Поэтому процедура поиска сводится к нахождению сигнала, максимально коррелированного с индивидуальным кодом абонента. Корреляция между двумя последовательностями $\{x(t)\}$ и $\{y(t)\}$ осуществляется путем сравнения одной последовательности со сдвинутой во времени копией другой.

Для получения выигрыша в качестве связи при использовании любого из способов корреляционной обработки необходимо, чтобы ансамбль сигналов обладал «хорошими» корреляционными свойствами. Желательно, чтобы сигналы имели единственный корреляционный пик, иначе возможна ложная синхронизация по боковому лепестку автокорреляционной функции (АКФ).

Пары кодовых последовательностей подбираются так, чтобы взаимная корреляционная функция (ВКФ) имела минимальное значение при их попарной корреляции. Это гарантирует минимальный уровень взаимных помех.

Таким образом, появление систем связи и навигации с множественным доступом и кодовым разделением каналов потребовало создания алгоритмов формирования и обработки больших ансамблей кодовых последовательностей с хорошими корреляционными характеристиками. Эти ансамбли должны иметь мощность, достаточную для одновременной работы приемопередающих станций в различных режимах. Выбор оптимального ансамбля сигналов в CDMA

сводится к поиску такой структуры кодовых последовательностей, в которой центральный пик АКФ имеет наибольший уровень, а боковые лепестки АКФ и максимальные выбросы ВКФ по возможности минимальны.

Ключевую роль в CDMA-системах играют псевдослучайные последовательности (ПСП), которые, хотя и генерируются детерминированным образом, обладают всеми свойствами случайных сигналов. Они выгодно отличаются от ортогональных последовательностей инвариантностью к временному сдвигу. Существует несколько видов ПСП, обладающих разными характеристиками. Современные технические средства способны генерировать любой ансамбль последовательностей с заданными свойствами.

Одно из наиболее простых и чрезвычайно эффективных средств генерации двоичных детерминированных последовательностей — использование регистра сдвига. Последовательность на выходе n -разрядного регистра сдвига с обратной связью всегда периодична, причем ее период (число тактов, через которое схема возвращается в исходное состояние) не превышает 2^n . Теоретически, используя n -разрядный регистр и соответствующим образом подобранную логику обратной связи, можно получить последовательность любой длины в пределах от 1 до 2^n включительно. Последовательность максимальной длины, или M -последовательность, имеет период $2^n - 1$. Формируются M -последовательности при помощи линейных автоматов, реализующих проверочные и генераторные полиномы кодов максимальной длины. При построении генераторов M -последовательности можно использовать и операцию деления на проверочный полином.

Выбор псевдослучайной кодовой последовательности в радиотехнической системе передачи информации очень важен, поскольку от ее параметров зависят основные характеристики системы, ее помехоустойчивость, чувствительность. При одной и той же длине кодовой последовательности параметры системы могут быть различны.

Одним из наиболее широко применяемых способов формирования псевдослучайных последовательностей является способ, основанный на использовании соотношения (1):

$$a_k = \sum_{i=1}^n \oplus a_i \cdot a_{k-i}, k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где k — номер такта; $a_k \in \{0, 1\}$ — символы последовательности; $a_i \in \{0, 1\}$ — постоянные коэффициенты;

$\sum_{i=1}^n \oplus$ — операция суммирования по модулю два n логических переменных.

При соответствующем выборе коэффициентов a_i , на основании характеристического полинома $j(x) = 1a_1x^{1a} + 2x^{2a} + 3x^{3a} + \dots + (n-1)x^{(n-1)a} + nx^n$, который должен быть

примитивным, последовательность бит $\{a_k\}$ имеет максимальную длину, равную $2^n - 1$. Такая последовательность называется М-последовательностью. Главное преимущество метода формирования псевдослучайных последовательностей по соотношению (1) – простота его реализации как программной, так и аппаратурной.

Генератор М-последовательности может быть построен с любым числом элементов задержки. В качестве элементов обратной связи используются сумматоры по модулю два. Сумматор по модулю два имеет два входа. Сигнал на его выходе определяется по правилу:

$$0 \oplus 0 = 0; \quad 0 \oplus 1 = 1; \quad 1 \oplus 0 = 1; \quad 1 \oplus 1 = 0.$$

Обобщенная структурная схема генератора М-последовательности представлена на рис. 1.

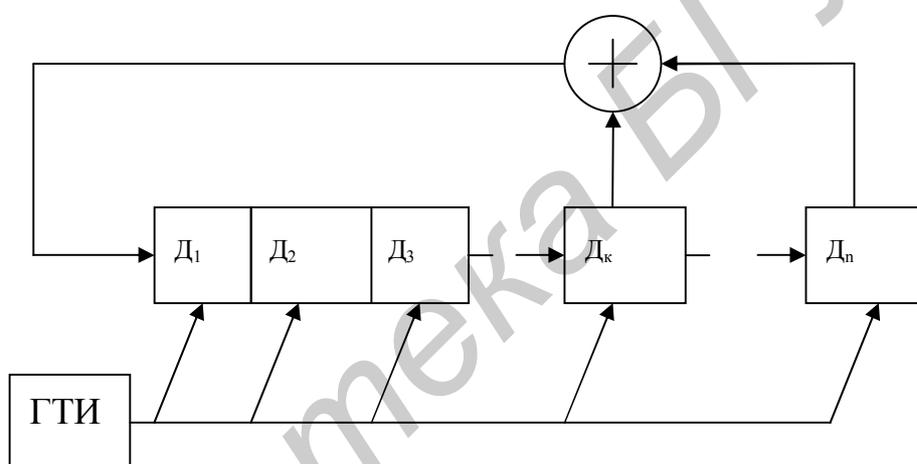


Рис. 1. Генератор М-последовательности

Первоначально все элементы задержки D регистра сдвига устанавливаются в исходное состояние. Под действием генератора тактовых импульсов (ГТИ) записанная комбинация последовательно сдвигается вправо на один элемент задержки. Правый символ теряется, а в D_1 записывается символ, получающийся суммированием по модулю два символов, ранее записанных в D_k и D_n элементы задержки. В суммировании по модулю два могут участвовать несколько символов, подача которых на сумматоры по модулю два организуется с помощью отводов, приведенных в табл. 1. Отвод от последнего элемента задержки используется во всех структурах, поскольку этот элемент определяет длину регистра сдвига.

Не всякие связи подходят для генерации последовательностей максимальной длины. Если использовать все возможные комбинации отводов в цепи обратной связи в n -разрядном регистре, то число генерируемых М-последовательностей будет равно $[\Phi(2^n - 1)]n$, где $\Phi(2^n - 1)$ – функция Эйлера, т.е. число простых положительных целых чисел (включая 1), меньших $2^n - 1$. В ос-

тальных случаях генерируемые сигналы не являются последовательностями максимальной длины или имеют меньший период.

Для каждого множества комбинаций $[n,..k,..p..]$ отводов в цепи обратной связи, перечисленных в табл. 1, существует зеркальное множество $[n,..n-k, n-p..]$, при котором формируется зеркальная кодовая последовательность. Невозможно сформировать М-последовательность, используя нечетное число обратных связей, поскольку в этом случае состояние регистра сдвига из одних единиц даёт единичную последовательность.

Таблица 1

Множества комбинаций $[n,..k,..p..]$ отводов в цепи обратной связи.

Число разрядов регистра сдвига	Длина кода	Номера отводов обратной связи
2	3	(2,1)
3	7	(3,1)
4	15	(4,1)
5	31	(5,2) (5,4,3,2) (5,4,2,1)
6	63	(6,1) (6,5,2,1) (6,5,3,2)
7	127	(7,1) (7,3) (7,3,2,1) (7,4,3,2) (7,6,4,2) (7,6,3,1) (7,6,5,2) (7,6,5,4,2,1) (7,5,4,3,2,1)
8	255	(8,4,3,2) (8,6,5,3) (8,6,5,2) (8,5,3,1) (8,6,5,1) (8,7,6,1) (8,7,6,5,2,1) (8,6,4,3,2,1)
9	511	(9,4) (9,6,4,3) (9,8,5,4) (9,8,4,1) (9,5,3,2) (9,8,6,5) (9,8,7,2) (9,6,5,4,2,1) (9,7,6,4,3,1) (9,8,7,6,5,3)
10	1023	(10,3) (10,8,3,2) (10,4,3,1) (10,8,5,1) (10,8,5,4) (10,9,4,1) (10,8,4,3) (10,5,3,2) (10,5,2,1) (10,9,4,2)

Ясно, что первоначальная комбинация в регистре сдвига не должна состоять из одних нулей, поскольку при суммировании по модулю два снова будут следовать одни нули и генерируемая последовательность окажется нулевой.

Помимо «чистых» М-последовательностей в системах связи нашли применение составные кодовые последовательности, представляющие собой комбинации М-последовательностей и обладающие некоторыми специфическими свойствами. В CDMA-системах среди таких последовательностей чаще всего применяются псевдослучайные последовательности Голда (Гоулда) и Касами, обеспечивающие малый уровень выбросов взаимной корреляционной функции.

Множества последовательностей Касами были найдены при исследовании БЧХ-кодов. Известно, что почти все последовательности, имеющие идеальные корреляционные свойства, являются одновременно и циклическими кодами, обладающими большой корректирующей способностью. Корреляционные свойства конкретных последовательностей зависят от спектра расстояний d_x кодовых слов, образованных всеми циклическими сдвигами исходной последовательности. Значения максимальных уровней боковых корреляционных выбросов определяются минимальным d_{min} и максимальным d_{max} расстоянием Хэмминга и вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} r_{max} &= n - 2d_{min}, \\ r_{min} &= n - 2d_{max}. \end{aligned}$$

Кодовые последовательности (КП) *малого множества последовательностей Касами* формируются путем суммирования по модулю два М-последовательности длиной $n_1 = 2^{2l} - 1$ и М-последовательностей длиной $n_2 = 2^{2l} - 1$ с различными циклическими сдвигами, периодически повторяющимися $2^l + 1$ раз. Все КП, полученные таким способом, будут обладать периодической автокорреляционной функцией (ПАКФ) и периодической взаимно корреляционной функцией (ПВКФ) с основным максимумом плюс три боковых выброса при $\tau \neq 0$:

$$R(\tau) = \begin{cases} r_{max} = 2^{2l} - 1, \\ r_1 = n - 2d_1 = 2^{2l} - 1 - 2 * 2^{2l-1} = -1, \\ r_2 = n - 2d_2 = 2^{2l} - 1 - 2(2^{2l-1} + 2^{l-1}) = 2^l + 1, \\ r_3 = n - 2d_3 = 2^{2l} - 1 - 2(2^{2l-1} - 2^{l-1}) = -2^l - 1. \end{cases}$$

Применение последовательностей Касами позволяет увеличить объем ансамбля КП по сравнению с М-последовательностью. Каждый полином дает одну М-последовательность и ее $2^{2l} - 1$ циклических сдвигов. Для малого множества последовательностей Касами каждый полином дает ансамбль, состоящий из одной М-последовательности длиной $2^{2l} - 1$ и $2^l - 1$ различных последовательностей, получаемых суммированием длинной исходной последовательности и $2^l - 1$ различных сдвигов более короткой последовательности, а также ансамбль, состоящий из одной периодически повторенной короткой М-последовательности.

Всего ансамбль малого множества Касами содержит 2^l+1 различных последовательностей и их сдвигов. Например, для $n = 63$ имеется ансамбль из одной М-последовательности длиной n_1 , 7 сумм исходной М-последовательности и 7 циклических сдвигов М-последовательности длиной 7, повторенных по 9 раз. Данное множество последовательностей Касами состоит из 9 различных КП. Размеры ансамблей и значения боковых выбросов малого множества последовательностей Касами и М-последовательностей различных длин приведены в табл. 2:

Таблица 2

Боковые выбросы		
n	М-последовательность	Последовательность Касами
63	1	9
255	1	17
1023	1	33
4095	1	65

Для формирования КП необходимо определенным образом выбирать короткую М-последовательность. Согласно методу Касами, берется неприводимый полином степени $2l$, и для него строится поле Галуа $GF(2^{2l})$. Для формирования длинной М-последовательности используется проверочный полином $h_1(x)$, корнями которого являются элементы поля: $a^1, a^2, a^4, \dots, a^{2^{l-1}}$. Для формирования короткой М-последовательности используется проверочный полином $h_2(x)$, корнями которого являются элементы поля:

$$a^{2^l+1}, a^{2(2^l+1)}, \dots, a^{2^{l-1}(2^l+1)}.$$

Например, если $2l = 6$ и неприводимый полином $h(x) = x^6 + x^5 + 1$, то для длинной КП имеем корни проверочного полинома $a^1, a^2, a^4, a^8, a^{16}, a^{32}$, а сам полином равен:

$$h_1(x) = (x+a^1)(x+a^2)(x+a^4)(x+a^8)(x+a^{16})(x+a^{32}) = x^6 + x^5 + 1.$$

Для короткой последовательности имеем корни a^9, a^{18}, a^{36} , и аналогичным образом вычисляется проверочный полином $h_2(x) = x^3 + x + 1$.

Тогда имеем М-последовательности длиной $n_1 = 63$ и $n_2 = 7$: (011111101010110011011101101001001110001011110010100011000010000) и (1110010).

Полный ансамбль последовательностей Касами содержит следующие девять КП (2 исходных, задаваемых $h_1(x)$ и $h_2(x)$, и 7, полученных суммированием):

(011111101010110011011101101001001110001011110010100011000010000),
(1110010111001011100101110010111001011100101110010111001011100101110010),
(111010011000001010000001000111011001000000010111010001111011011),
(010100001111000001100100110101100000011100111001000110110000111),
(001000100001010110101111010000010010100101100101101000100111110),
(110001111101111000111000011011110111010111011100110100001001100),
(000011000100100100010110001100111100110010101110001101010101001).

Периодически повторяющиеся последовательности Касами могут быть использованы в качестве синхронизирующих КП в системах связи, когда одновременно работает несколько абонентов. При этом для уменьшения взаимных помех сигналы различных абонентов должны иметь минимальные уровни ПВКФ. Последовательности Касами обладают такими свойствами. В общем случае одновременно может работать до $2^l + 1$ абонентов. Для формирования периодически повторяющихся последовательностей Касами можно использовать устройство, представленное на рис. 2.

Устройство содержит два генератора М-последовательностей, задаваемых полиномом $h_1(x)$ и $h_2(x)$. В верхней части расположен генератор длинной последовательности, а в нижней части - генератор короткой последовательности. Сигналы с выходов обоих генераторов суммируются по модулю два. Если нижний генератор установлен в исходное состояние, когда все разряды регистра заполнены нулями, то формируется длинная М-последовательность. Если все разряды верхнего регистра заполнены нулями, то формируется короткая М-последовательность. Когда оба генератора формируют М-последовательности, то на выходе сумматора по модулю два имеем последовательность Касами. Изменяя начальную установку нижнего генератора, можно сформировать иную КП Касами.

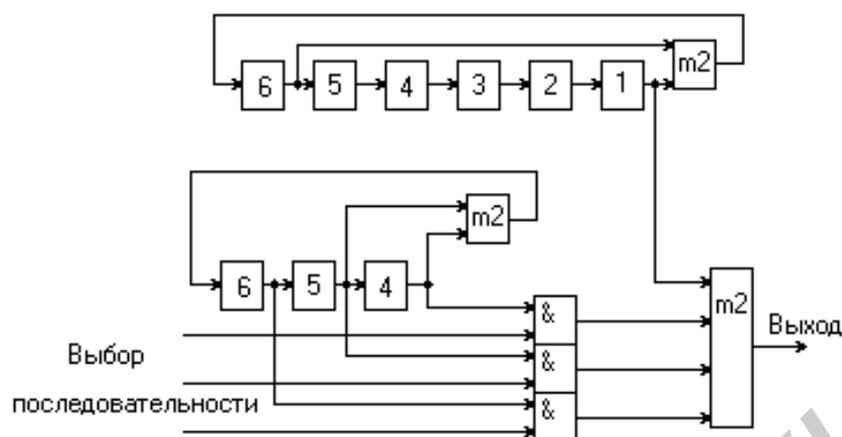


Рис. 2. Формирователь последовательностей малого множества Касами

Для формирования ансамбля КП большого множества Касами используются три М-последовательности. Две из них имеют длину $n_1 = 2^{2l} - 1$, а одна $n_2 = 2^l - 1$. Короткая М-последовательность выбирается так же, как и при формировании малого множества последовательностей Касами. Проверочный полином второй длинной М-последовательности $h_3(x)$ имеет корень $a^{\frac{2^{l+2}+1}{2}}$. Если $l \neq 0 \pmod 4$ или $l \equiv 0 \pmod 4$, то ансамбль будет состоять соответственно из $(2^{2l} + 1)2^l$ и $(2^{2l} + 1)2^l - 1$ различных последовательностей.

По своим корреляционным характеристикам последовательности Касами эквивалентны последовательностям Голда, однако обладают вдвое большим размером ансамбля.

Попытки найти ансамбли последовательностей с периодом $L=2^n - 1$ большого объема, которые имели бы приемлемые максимальные значения взаимно-корреляционных функций, привели к появлению важного класса периодических псевдослучайных последовательностей Голда или g-последовательностей. Рассмотрим алгоритмы формирования g-последовательностей.

Этот метод состоит в сложении по модулю два двух различных М-последовательностей. Наиболее существенный момент при формировании последовательностей Голда с хорошими корреляционными свойствами заключается в том, что могут быть использованы только особые пары М-последовательностей, называемые предпочтительными.

Пусть имеется М-последовательность a с периодом L и последовательность a' , полученная путем децимации последовательности a с индексом q , $a' = a[q]$. Это означает, что для получения последовательности a' берет-

ся каждый q -й символ последовательности a . Последовательность a' имеет период L , если $\text{НОД}(L, q) = 1$. НОД - это наибольший общий делитель. Любая пара M -последовательностей с периодом L может быть связана соотношением $a' = a[q]$ при некотором q . Две M -последовательности образуют предпочтительную пару, если выполняются следующие условия:

- 1) $n \neq 0 \pmod{4}$, это означает, что n - нечетное или $n = 2 \pmod{4}$;
- 2) $a' = a[q]$, где q - нечетное и равно либо $q = 2^k + 1$, либо $2^{2k} - 2^k + 1$;
- 3) $\text{НОД}(m, k) = 1$ для четного n ;
- 4) $\text{НОД}(m, k) = 2$ для $n = 2 \pmod{4}$.

Так как обе M -последовательности имеют одну и ту же длину l и тактируются единым генератором, то формируемая последовательность Голда имеет длину l , но не является последовательностью максимальной длины. Пусть n - количество разрядов регистра сдвига в генераторе M -последовательностей, тогда длина последовательности Голда

$$l = 2^n - 1.$$

Подсчитаем число различных последовательностей Голда, формируемых с помощью двух генераторов M -последовательностей при различных начальных условиях. Напомним, что при любом новом циклическом сдвиге формируется новая g -последовательность. Так как каждая M -последовательность имеет длину l , то число различных сдвигов между ними также равно l . Поэтому на основе двух различных M -последовательностей можно сформировать $l = 2^n - 1$ последовательностей Голда. При выборе соответствующей пары M -последовательностей можно получить ансамбль с удовлетворительными корреляционными свойствами.

Последовательности Голда не являются последовательностями максимальной длины, поэтому их автокорреляционные функции являются не двухуровневыми, а трехуровневыми, как и взаимно-корреляционные функции. Любая пара g -последовательностей, входящих в ансамбль объемом $L+1$, обладает трехуровневой взаимно-корреляционной функцией - уровни $-t(n)$, -1 , $t(n)-2$, причем $t(n) = l + 2^{n+1/2}$ для нечетного n ;

На рис. 3 показана структура генератора g -последовательностей с периодом $L=31$, построенная в виде двух регистров сдвига с линейной обратной связью, позволяющая формировать ансамбль g -последовательностей объемом $M=33$.

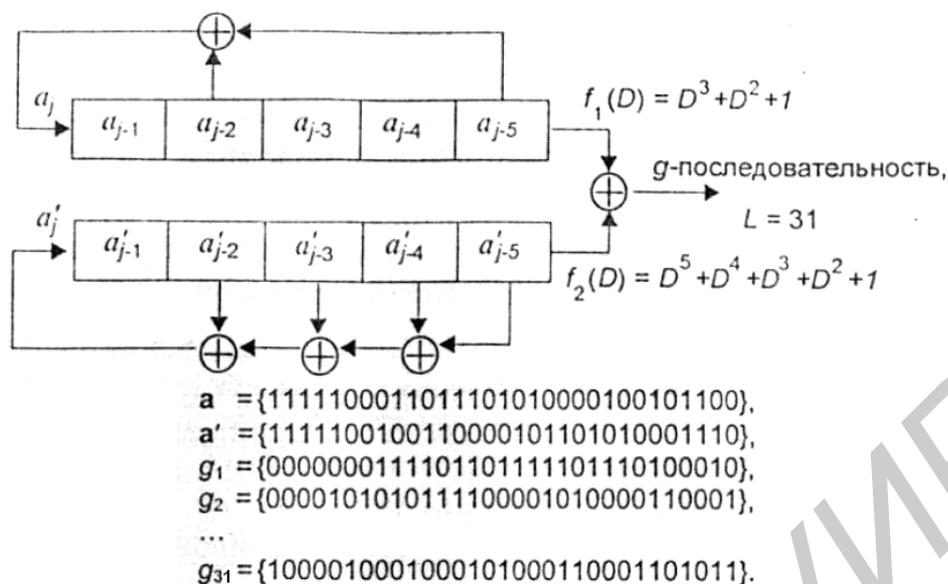


Рис. 3. Структурная схема генератора g -последовательностей

3. Программное обеспечение

Лабораторная работа выполняется на персональных ЭВМ. Это позволяет моделировать входные сигналы требуемой формы, генерировать помехи заданной мощности, получать смесь сигнала с другими сигналами или с помехой с заданным соотношением сигнал/помеха. При выполнении лабораторного задания имеется возможность визуального наблюдения за сигналами, их спектрами и другими показателями. При необходимости можно вновь задавать, изменять и выводить на индикацию требуемые параметры и получать необходимые статистические характеристики.

Наличие меню и свободного перехода от одного пункта меню к другому, работа на ПЭВМ в диалоговом режиме, возможность временной архивации сигналов и их преобразований, наличие защиты от неправильных действий пользователя, возможность получения советов и теоретических сведений по желанию пользователя предоставляют широкие возможности как для эффективного, творческого выполнения лабораторного задания, так и для дополнительных исследований.

Данные выводятся на экран в виде таблиц и графиков. При желании они могут быть выведены на печать. Для более эффективного использования экрана графики выводятся в нормированном виде и сопровождаются индикацией масштабного множителя.

Программа обладает большими возможностями. На её основе могут быть реализованы самостоятельные виды работ или различные варианты лабораторных работ.

4. Предварительное задание

1. Изучить принципы построения последовательностей Касами и Голда.
2. Зарисовать структурные схемы генерирования последовательностей Касами и Голда.
3. Изучить и записать особенности периодических и непериодических автокорреляционных и взаимокорреляционных функций последовательностей Касами и Голда.

5. Лабораторное задание

Перед выполнением лабораторного задания следует получить указания преподавателя о параметрах выбираемых сигналов и других данных, необходимых при выполнении лабораторной работы, или получить разрешение на самостоятельный выбор по наводящим вопросам и комментариям раздела главного меню "лабораторное задание".

Начать выполнение лабораторной работы следует с раздела главного меню "предварительное задание". ПЭВМ поможет выяснить, сколь успешно Вы справились с предварительным заданием, работая без ПЭВМ.

При выполнении всех пунктов лабораторного задания следует производить зарисовки и записи данных, имеющих принципиальное значение. Данные таблиц отсчетных значений следует приводить частично, с округлением, но так, чтобы они показывали сущность исследуемых процессов.

При зарисовке графиков следует записывать масштабные множители, обозначения осей, располагать графики и рисунки так, чтобы можно было в дальнейшем производить сравнения.

При выполнении работы следует сохранять в памяти ПЭВМ (архиве) наиболее характерные массивы. Помните, однако, что "архив" временный и исчезнет при выходе из программы.

До выполнения пунктов лабораторного задания следует ознакомиться с заданием целиком. Наибольшим приоритетом обладает задание преподавателя, затем рекомендации ПЭВМ.

Не задерживайтесь на выполнении пунктов, суть которых уже выяснена или, наоборот, не ясна. Сэкономив время, Вы получите возможность вернуться и с учетом накопленного опыта успешно справиться с затруднениями.

6. Содержание отчета

1. Решение задач предварительного задания.
2. Результаты выполнения лабораторного задания.
3. Результаты машинного тестирования.
4. Анализ результатов и выводы.

Литература

1. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи.-М.:Эко-Трендз, 2001. – 300с.
2. Громаков Ю.А.Стандарты и системы подвижной радиосвязи. - М.:Эко-Трендз, 1997. – 238с.
3. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина. - М.: Радио и связь, 1998. – 248с.
4. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи - СПб.: ВHV-Санкт-Петербург, 1998. – 256с.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ, СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ И
ОБРАБОТКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГОЛДА В СИСТЕМАХ
ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе**

по дисциплине “Сети подвижной связи с кодовым разделением каналов”
для студентов специальностей 1-45 01 03 – Сети телекоммуникаций
всех форм обучения

Составители:

**Астровский Иван Иванович,
Буй Павел Михайлович**

Редактор Т.Н. Крюкова

Подписано в печать
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 0,8.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ 3.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6