

Моделирование источников сигналов с дискретной модуляцией

Роман Антипенский (г. Воронеж)

В статье рассматривается методика разработки источников сигналов с дискретной модуляцией, предназначенных для использования в системах схемотехнического моделирования РЭУ. Материал статьи может оказаться полезным разработчикам устройств формирования и обработки дискретных сигналов.

В статье [1] показана методика разработки моделей сигналов с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией в программной среде MathCAD и последующего их использования в системе схемотехнического моделирования DesignLAB. В настоящей статье описана разработка источников сигналов с дискретной модуляцией, основанная на предложенной методике.

При дискретном характере изменения первичных (управляющих) колебаний параметры несущего колебания будут изменяться по дискретному закону (скачками). В этом случае вместо термина «модуляция» чаще используется термин «манипуляция» или «телеграфия», что отражает модуляцию первичным телеграфным сигналом. При этом различают три вида манипулированных сигналов: амплитудно-манипулированные (АТ – амплитудная телеграфия), частотно-манипулированные (ЧТ) и фазоманипулированные (ФТ) [2]. Все перечисленные виды сигналов находят широкое применение в радиоэлектронных системах, однако в известных системах схемотехнического моделирования (ССМ), таких как OrCAD, Micro-Cap, DesignLAB [3] и других, источники этих сигналов, необходимые при моделировании схем, отсутствуют, что обуславливает актуальность статьи. Как и ранее, будем использовать термин «модулированное колебание», если речь идет о модуляции несущей частоты последовательностью импульсов с детерминированным характером их следования. В случае, когда первичный сигнал несёт какую-либо информацию (некоторый код), будем использовать термин «модулированный сигнал».

Сначала разработаем модель первичного колебания в виде последовательности прямоугольных импульсов с управляющими параметрами: длительность импульса, период следования импульсов и число импульсов в моделируемом фрагменте. Алгоритм формирования последовательности импульсов N_n с заданной длительностью t_n и периодом следования T аналитически можно записать с помощью условной функции вида:

$$y(x) = f \left\{ \begin{array}{l} c1 \leq x \leq c2, \\ d1, \\ d2 \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где $c1, c2$ – значения переменной x , определяющие границы условия; $d1$ – значение, принимаемое функцией при выполнении условия; $d2$ – значение, принимаемое функцией при невыполнении условия. Тогда, представив импульсную последовательность в виде суммы одиночных импульсов, смещённых друг относительно друга по оси времени на длительность импульса и периода их следования $t_n n + Tn$, получим алгоритм формирования последовательности импульсов с заданной скважностью и длительностью импульсов:

$$I1(t_i) = \sum_{n=0}^{N_n-1} f \left[\begin{array}{l} t_3 + Tn \leq t_i < t_3 + t_n n + Tn, \\ 1, \\ 0 \end{array} \right], \quad (2)$$

где t_3 – длительность интервала задержки последовательности относительно момента времени $t_1 = 0$; N_n – количество импульсов в последовательности; t_n, T – длительность и период следования импульсов для заданной скваж-

ности $q = T/t_n$. В выражении (2) формируется массив значений $I1$, в котором для каждого i -го отсчёта определено значение, откладываемое по оси ординат: 1 – если отсчёт времени t_i находится в пределах длительности импульса (удовлетворяется условие), и 0 – во всех остальных случаях (условие не удовлетворяется). Просуммировав полученные таким способом одиночные импульсы, смещённые по оси времени на интервал Tn , получим требуемую последовательность импульсов с варьируемыми значениями длительности и периодом следования.

На языке MathCAD выражение (1) можно ввести с помощью условной функции $if(arg,y1,y2)$ [4]. Тогда программа для формирования временно-го представления импульсной последовательности может быть записана следующим образом. Задаём начальные значения параметров t_i – длительность импульса, T – период следования импульсов, n_i – количество импульсов в пакете:

$$t_i := 10 \times 10^{-3} \quad n_i := 5 \quad T := 40 \times 10^{-3}.$$

Формируем массивы управляющей переменной j , отсчётов времени t_j и частоты f_j , отсчётов импульсной последовательности a_j в соответствии с выражением (2):

$$j := 0 \dots 10\,000 \quad t_j := j \times 10^{-4} \quad f_j := j$$

$$a_j := \sum_{n=0}^{n_i-1} if(Tn \leq t_j \leq Tn + t_n, 1, 0)$$

Для генерирования дискретных сигналов с кодовым формированием импульсов воспользуемся всё тем же принципом суммирования элементарных импульсов, но сдвинутых друг относительно друга по оси времени на длительность единичной посылки $(Tn/Nn)n$. Для этого сформируем кодовый массив $M = (m_0, m_1, m_2 \dots m_{Nn-1})$, в котором число элементов равно числу единичных импульсов. Так, например, для семиэлементного произвольного кода массив можно представить в виде $M = [1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0]$.

Тогда алгоритм формирования кодовой посылки импульсов с использованием (2) запишется в виде следующего выражения:

$$I2(t_i) = \sum_{n=0}^{N_n-1} F \begin{bmatrix} t_3 + \frac{T_n}{N_n}n \leq t_i < t_3 + \frac{T_n}{N_n}(n+1), \\ M_n, \\ 0 \end{bmatrix}, (3)$$

где t_3 – длительность интервала задержки кодовой посылки относительно момента времени $t_i = 0$; N_n – количество импульсов в посылке; T_n – длительность кодовой посылки.

Для получения последовательности, состоящей из нескольких посылок, разделённых временными промежутками, просуммируем сдвинутые по времени посылки на длительности элементарного импульса и периода повторения посылки $(T_n/N_n)n + pk$. Тогда алгоритм (3) следует записать в виде:

$$I3(t_i) = \sum_{k=0}^{N_n-1} \sum_{n=0}^{N_n-1} \begin{bmatrix} t_3 + \frac{T_n}{N_n}n + \\ M_n, \\ 0 \end{bmatrix} + Pk \leq t_i < t_3 + \frac{T_n}{N_n}(n+1) + Pk, (4)$$

где t_3 – длительность интервала задержки кодовой посылки относительно момента времени $t_i = 0$; N_n – количество импульсов в посылке; T_n – длительность кодовой посылки; N_n – количество посылок в последовательности; P – период повторения посылок. На языке MathCAD выражение (4) с учётом следующих обозначений (T_c – длительность пачки импульсов, Per – период следования пачек импульсов, K_c – количество импульсов в пачке и значения единичных посылок m_k) запишется в виде:

$$a_j := \sum_{k=0}^N \sum_{n=0}^{K_c-1} \text{if} \left(\frac{T_c n}{K_c} + Per k < t_j \leq \frac{T_c}{K_c} + \frac{T_c n}{K_c} + Per k, m_n, 0 \right)$$

$$\leq \frac{T_c}{K_c} + \frac{T_c n}{K_c} + Per k, m_n, 0$$

Построим модель источника АТ-сигнала, воспользовавшись алго-

```

Длительность пачки импульсов      Период следования пачки импульсов
Tc := 10·10-3                      количество пачек
Per := 20·10-3                      N := 2

Кодовая последовательность
Kc := 5
m0 := 1  m1 := 0  m2 := 1  m3 := 0  m4 := 1  m5 := 1

j := 0..100000  t_j := j·10-5  f_j := j

a_j := sum_{k=0}^N sum_{n=0}^{Kc-1} if ( (Tc·n / Kc + Per·k < t_j <= Tc / Kc + Tc·n / Kc + Per·k, m_n, 0) )

f_0 := 20·103  d_j := a_j · sin(2·pi·f_0·t_j)

Sw := cfft(a)  v_j := |Sw_j|  r := max(v)  b_j := v_j / r

Sw1 := cfft(d)  v1_j := |Sw1_j|  r1 := max(v1)  b1_j := v1_j / r1
    
```

Рис. 1. Программный код, представляющий модель источника АТ-сигнала



Рис. 2. Результаты моделирования АТ-сигнала

ритмом формирования первичного колебания (4). Для этого полученный временной массив модулирующего сигнала умножим на массив значений несущей частоты, что как раз и будет соответствовать принципу модуляции – управления параметрами несущего колебания по закону первичного. Тогда модель источника АТ-сигнала можно представить программным кодом, показанным на рис. 1.

Следует обратить внимание читателя на строку 3, в которой мы задаём количество отсчетов $N = 100\,000$, шаг

дискретизации временной оси 10 мкс. Это связано с тем, что нам необходимо моделировать как первичный, так и модулированный сигналы, поэтому установленное значение параметра обеспечит нам приемлемое отображение и временного, и спектрального представлений сигналов. В строке 4 формируем первичный сигнал, в строке 5 – модулированный АТ-сигнал, в строках 6, 7 – вычисляем и выполняем нормировку амплитудно-частотных спектров сигналов. На рисунке 2 показаны результаты моделирования источника АТ-сигнала.

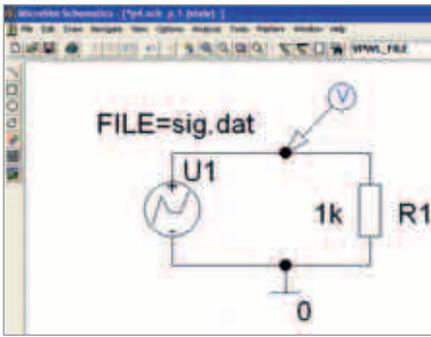


Рис. 3. Испытательная схема с источником сигнала из файла

Далее добавим в модель следующий программный код для записи АТ-колебания в файл:

```
i:=0...1    sig, i:=if(i=0, tj, dj)
WRITEPRN("sig.dat"):=sig.
```

Следует также сказать о том, что для правильной записи результатов моделирования в файл необходимо в программе MathCAD установить следующие значения системных параметров: PRN File Settings: Precision (точность отображения) = 10, Column Width (ширина столбца) = 20.

Покажем теперь, как выполнить ввод и моделирование испытательной схемы для проверки модели сигнала в DesignLAB 8.0. Введём схему, показанную на рисунке 3.

В качестве источника сигнала воспользуемся компонентом VPWL_FILE (источник напряжения, заданный в файле) и установим значение его атрибута File=sig.dat. Сохраним собранную схему, поместив в папку со схемой файл sig.dat, зададим параметры директивы временного анализа и выполним моделирование. В окне программы Probe системы DesignLAB мы увидим точно такой же сигнал, который первоначально был создан нами с помощью программы MathCAD (см. рис. 4).

Программный код источника ЧТ-колебания с разрывом фазы можно получить на основе программы для формирования источника АТ-колебания. Однако теперь в паузах первичного сигнала нам необходимо будет «генерировать» колебание с несущей частотой логического нуля. Поэтому вместо операции умножения первичного колебания на массив несущей частоты (как это мы делали в АТ источнике) следует воспользоваться условной функцией if(arg,y1,y2). На рис. 5 представлен программный код модели ЧТ-колебания.

Поясним введённые идентификаторы. В строке 2 задаём длительность импульса t_i , период следования T , частоту нажатия f_1 (логической единицы), частоту отжатия f_0

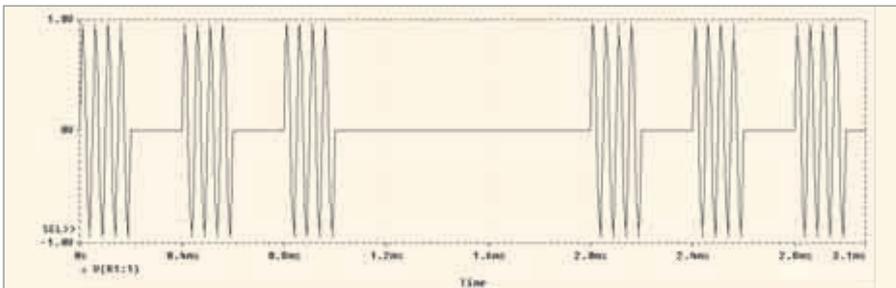


Рис. 4. Результаты моделирования источника АТ-сигнала в системе DesignLAB

```
j:=0..10000    tj:=j·10-6    fj:=j·102
ti:=5·10-4    T:=10·10-4    f1:=50·103    f0:=70·103    Ni:=20
aj:=          if(T·n ≤ tj ≤ ti + T·n, 1, 0)    dj:=if(aj > 0, sin(2·π·f1·tj), sin(2·π·f0·tj))
n=0
dj:=if(tj ≤ ti + T·Ni, dj, 0)
Sw:=cfft(d)    vj:=|Swj|    r:=max(v)    bj:=vj/r
```

Рис. 5. Программный код модели ЧТ-колебания

(логического нуля) и число импульсов в моделируемом массиве N_i . В третьей строке формируем временное представление первичного колебания a_j и частотно-манипулированного колебания по принципу: если $a_j > 0$, то заполняем массив несущим колебанием с частотой логической единицы, в противном случае заполняем массив несущим колебанием с частотой логического нуля. Пока оставшийся после заполнения импульсами фрагмент временного массива будет «забит» несущей частотой нуля, что не соответствует действительности. Эту ситуацию мы корректируем в строке 4, полагая оставшийся фрагмент равным нулю. На рисунке 6 представлены результаты моделирования источника ЧТ-колебания.

Построим модель источника АТ-сигнала, в котором импульсы имеют внутриимпульсную ЧТ-манипуляцию. Для этого, очевидно, следует воспользоваться моделью источника АТ-сигнала с кодовым следованием посылок внутри пачки. При этом ЧТ-заполнение пачки будем формировать с учётом модели источника ЧТ-колебания. Тогда изменённую часть программного кода такого источника сигнала можно представить в следующем виде:

$$a_j := \sum_{k=0}^N \sum_{n=0}^{Kc-1} \text{if} \left(\frac{Tcn}{Kc} + \text{Pcrk} < t_j \leq \frac{Tc}{Kc} + \frac{Tcn}{Kc} + \text{Pcrk}, m_n, 0 \right)$$

$$d_j := \sum_{k=0}^N \sum_{n=0}^{Kc-1} \text{if} \left(\frac{Tcn}{Kc} + \text{Pcrk} < t_j \leq \frac{Tc}{Kc} + \frac{Tcn}{Kc} + \text{Pcrk}, \text{if} \left(a_j > 0, \sin(2\pi f_1 t_j) \sin(2\pi f_0 t_j), 0 \right) \right)$$

Здесь мы при формировании результирующего сигнала d_j воспользовались условной функцией для заполнения пачки ЧТ-импульсами с частотами логической единицы f_1 и f_0 нуля.

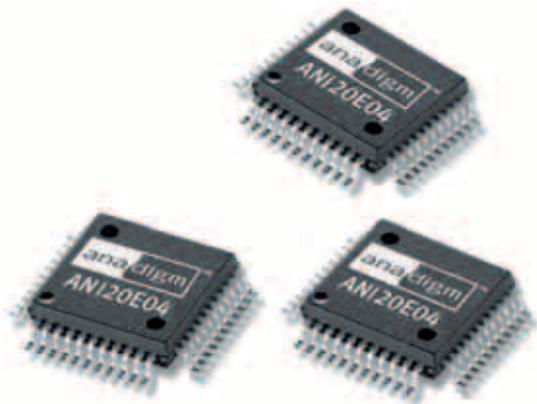
Программный код источника ФТ-колебания будет отличаться лишь тем, что теперь нам необходимо в моменты времени, соответствующие логическому нулю, формировать несущее колебание с той же частотой и изменённой на 180 градусов фазой.

Программируемые аналоговые интегральные схемы: весь спектр аналоговой электроники на одном кристалле!



ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА FPAА

- Статическая и динамическая конфигурация структуры
- Однокристалльные системы аналоговой обработки
- Программное изменение характеристик системы
- Автоматически перестраиваемые и адаптируемые схемы
- Упрощение настройки и регулировки
- Увеличение жизненного цикла изделия
- Снижение стоимости
- Повышение надёжности



Микросхемы FPAА Anadigm

На одном кристалле FPAА содержится:

- Дифференциальные компараторы
- Операционные и инструментальные усилители
- Инструментальные усилители
- Фильтры
- Источники образцового напряжения
- Усилители-ограничители
- Мультиплексор
- Выпрямители с ФНЧ
- Генераторы синусоидального сигнала
- Генераторы периодических сигналов специальной формы
- АЦП последовательного приближения
- Программируемые усилители



Отладочный комплект AN221K04-DVLP2

- Включает в себя: отладочную плату AN221K04, кабель RS-232, тех. документацию, САПР Anadigm DesignerT2, открытую лицензию
- Стоимость – 299\$
- При покупке комплекта бесплатно предоставляется Руководство пользователя на русском языке
- Техническая поддержка и консультации

САПР Anadigm Designer™2

- Простой и интуитивно понятный интерфейс
- Четырехканальный виртуальный осциллограф
- Автоматическое формирование С-кода для управления с микропроцессора или микроконтроллера
- Автоматическое формирование конфигурационных данных



Ниже представлен фрагмент программного кода источника ФТ-колебания:

$$a_j := \sum_{n=0}^{N_i} \text{if}(T_n \leq t_j \leq T_n + T_n, 1, 0)$$

$$d_j := \text{if}(a_j > 0, \sin(2\pi f_1 t_j), \sin(2\pi f_1 t_j + 3,14))$$

Покажем, каким образом можно получить импульсную последовательность со случайным следованием посылок, и выполним фазовую манипуляцию несущей частоты таким сигналом с добавлением шума. Для этого рассмотрим приведённый на рис. 7 фрагмент программного кода MathCAD.

Алгоритм формирования первичного «случайного» сигнала несколько отличается от моделей (2) – (4) детерминированных сигналов, поэтому остановимся более подробно на способе получения такого сигнала. В строке 3 переводим длину одного импульса в число отсчётов dL , задаём приращение индексной переменной b с интервалом изменения dL и вводим индексную переменную rb , которая обеспечит нам постоянство случайных значений переменной Y на протяжении всей длительности импульса. В строке 4 заполняем массив y случайными значениями с равномерным распределением и формируем массив Y в соответствии с заданной длительностью одиночного импульса, после чего рассчитываем первичный сигнал a . Если вывести на график массив Y , то станет понятен смысл операций строк 3, 4 (см. рис. 8).

Рассмотренный способ формирования последовательности с фиксированной длительностью и случайной амплитудой импульсов может быть использован при построении источников случайных АТ- и ЧТ-сигналов. Продолжим «разбор» программного кода модели ФТ-сигнала. В конце строки 4 мы устраним флуктуации амплитуды импульсов, сохраняя случайный характер их следования. В строке 6 формируем отсчёты шума Q и добавляем их к сигналу. Читатель может изменить закон распределения амплитудных отсчётов шума, воспользовавшись соответствующей функцией системы MathCAD [4]. На рисунке 9 представлены результаты моделирования источника аддитивной смеси ФТ-сигнала и гауссовского шума.

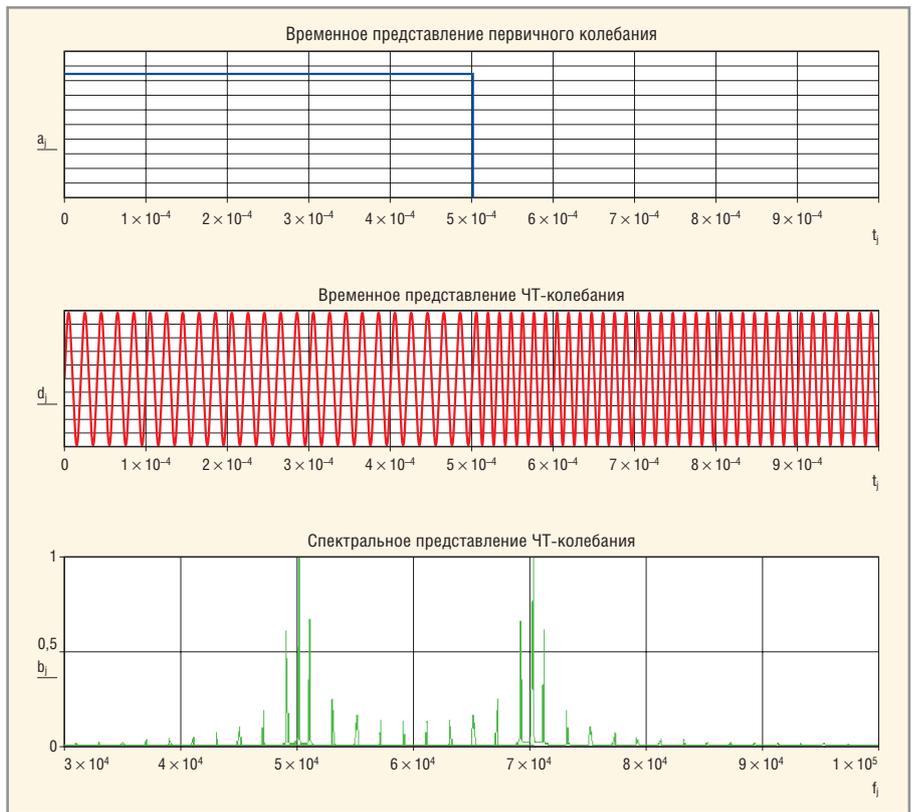


Рис. 6. Результаты моделирования источника ЧТ колебания

```

Nt := 10000    j := 0.. Nt    t_j := j · 10-6    f_j := j · 102
f0 := 50 · 103    ti := 2.2 · 10-4

dL := ti · 106    h := 0, dL - 1.. Nt    rh := 0.. dL - 1

y := runif(Nt, -1, 1)    Y(h+rh) := yh    a_j := if(Y_j > 0, 1, 0)
d_j := if(a_j > 0, sin(2 · π · f0 · t_j), sin(2 · π · f0 · t_j + 3.14))

Q := mnorm(Nt + 1, 0, 1)    am := 0.15    d_j := d_j + am · Q_j

Sw := cfft(d)    v_j := |Sw_j|    r := max(v)    b_j := v_j / r

i := 0.. 1    sigj,i := if(i = 0, t_j, d_j)    WRITEPRN("sig.dat") := sig
    
```

Рис. 7. Программный код модели случайного ФТ-колебания

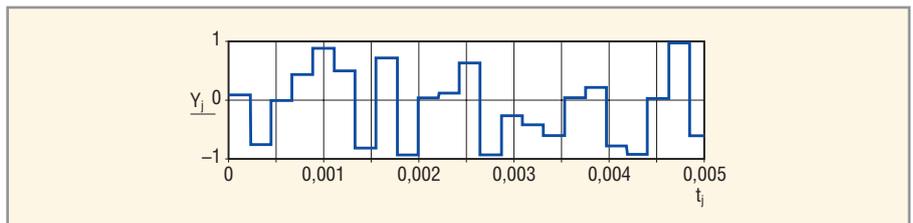


Рис. 8. Результаты моделирования последовательности со случайной амплитудой импульсов

тивной смеси ФТ-сигнала и гауссовского шума.

Поместив в папку с испытательной схемой файл sig.dat, выполним моде-

лирование. В окне программы Probe системы DesignLAB мы получим точно такой же аддитивный ФТ-сигнал, который может быть использован для мо-

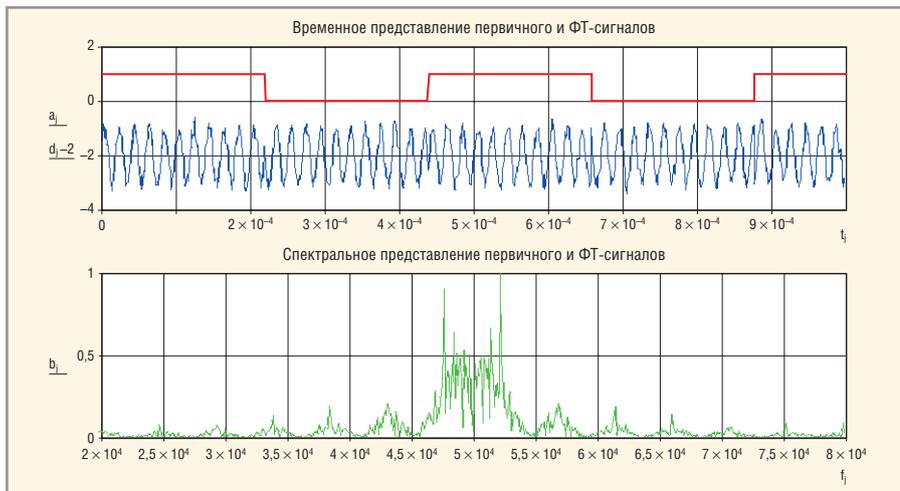


Рис. 9. Результаты моделирования аддитивной смеси ФТ-сигнала и гауссовского шума

делирования, например, детектора фазоманипулированных сигналов и т.д.

Применя рассмотренные в статье алгоритмы формирования первич-

ных импульсных последовательностей, можно создавать (или модифицировать приводимые) источники сигналов с дискретной модуляцией и использовать их для моделирования различных радиоэлектронных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипенский П.В. Моделирование источников аналоговых сигналов. Современная электроника. 2007. № 4.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986.
3. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств Design-Lab 8.0. М.: Солон, 1999.
4. Richard C. Saffe. Random Signals for Engineers using MATLAB and MathCAD. Springer – Verlag, 2000.



Новости мира News of the World Новости мира

Pirelli представила настраиваемое решение для оптического L-диапазона

Название компании Pirelli в первую очередь ассоциируется с автомобильными шинами, однако этим направлением деятельность предприятия отнюдь не исчерпывается. Информационный повод для упоминания своего имени обеспечило одно из подразделений компании, Pirelli Broadband Solutions, выпустив модуль настраиваемого лазера для оптоволоконных WDM-сетей L-диапазона (длины волн 1565...1625 нм). Снаружи устройство представляет собой герметично упакованный корпус с 26 внешними контактами, а на крышке присутствует хорошо знакомый логотип бренда.



Полное решение Pirelli включает в себя динамически подстраиваемый лазер (dynamically tunable laser, DTL), интегрируемый модуль подстраиваемого лазера (integrable tunable laser assembly, ITLA) и 300-контактные MSA-транспондеры. Решение обеспечивает полное перекрытие L-диапазона (ширина диапазона 40 нм,

100 каналов) и соответствует спецификации Telcordia GR-468-CORE. Транспондеры предлагаются с различными вариантами оптических интерфейсов (NRZ, negative-chirp NRZ и Duobinary). Позиционирование устройств, которые могут быть созданы на базе предлагаемого оборудования, – оптоволоконные сети городского масштаба с протяженностью 350 км и более.

Использование подстраиваемых в пределах всего диапазона лазерных модулей – один из возможных подходов при реализации оптоволоконных сетей, предусматривающих применение различных видов частотного уплотнения. Альтернативными вариантами являются системы с набором лазеров фиксированного излучения – по одному на каждую длину волны – или с модулями, подстраиваемыми в относительно узких пределах. Решения, аналогичные предложенному Pirelli, хотя и отличаются большей себестоимостью, но в значительной мере компенсируют это удешевлением и ускорением процесса разработки, сокращением разнообразия складских запасов необходимых комплектующих и возможностью миниатюризации конечных изделий.

eetasia.com

DVD-фильм за 5 с по воздуху

Коллектив учёных из Центра проектирования электроники штата Джорджия (Georgia Electronic Design Center, GEDC) во главе с профессором Джоем Ласкаром (Joy Laskar) отпраздновали о достижении скорости беспроводной связи в 15 Гбит/с,

передав на расстояние 1 м полнометражный видеофильм DVD-качества всего за 5 с. Передатчик от GEDC работает в диапазоне 60 ГГц и предназначен для трансляции больших файлов на короткие расстояния. По мнению исследователей, разрабатываемая методика должна дополнить уже существующие технологии, работающие в нелицензируемых диапазонах частот, такие как Wi-Fi и Bluetooth.

Исследователи из штата Джорджия не являются единственным коллективом, экспериментирующим с высокоскоростной передачей данных на небольшие расстояния. Ранее в этом году инженеры компании SiBeam обнародовали некоторые детали протокола OmniLink60, работающего в диапазоне 60 ГГц, которую партнеры по консорциуму WirelessHD намерены стандартизировать в качестве основного протокола передачи данных в рамках проекта «цифрового дома».

Своей главной задачей участники группы Ласкара видят в разработке высокоскоростного чипа стоимостью менее 5 долл. США, который, по мнению разработчиков, должен будет потеснить только выходящие на рынок устройства Wireless USB, основанные на технологии Ultra Wideband. В то время как передатчики Wireless USB оперируют на частоте 10,3 ГГц и достигают скорости в 480 Мбит/с, частота 60 ГГц в разработке инженеров из GEDC обеспечит значительно большую скорость и позволит передавать потоковое видео высокого качества (HD) на расстояния в пределах нескольких метров.

eetimes.com