

Моделирование источников импульсно-модулированных сигналов

Роман Антипенский (г. Воронеж)

В статье рассматривается методика разработки источников импульсно-модулированных сигналов, предназначенных для использования в системах схемотехнического моделирования радиоэлектронных устройств. Материал статьи может оказаться полезным разработчикам радиоэлектронной аппаратуры, в которой применяются импульсно-модулированные сигналы.

В статье [1] была описана методика разработки моделей сигналов в программной среде MathCAD и последующего их использования в системе схемотехнического моделирования DesignLAB. В настоящей статье мы продолжим разработку источников импульсно-модулированных сигналов, основываясь на предложенной методике.

Импульсно-модулированные сигналы представляют собой последовательность импульсов с высокочастотным заполнением, т.е. последовательность радиоимпульсов, получаемую в результате многоступенчатой (например, двухступенчатой) модуляции [2].

На первом этапе первичным сигналом $u_{\Omega}(t)$ модулируется несущее колебание, представляющее собой периодическую последовательность прямоугольных видеоимпульсов (как правило). Модуляция с использованием такой несущей называется *импульсной* и широко используется в радиорелейных системах для осуществления многоканальной радиосвязи с временным разделением каналов.

Импульсное несущее колебание имеет характер периодической последовательности импульсов и может быть представлено следующим выражением:

$$u_{\text{н}}(t) = U_m \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_1(t - t_0 - kT), \quad (1)$$

где $u_1(t)$ — функция, описывающая форму одиночного импульса.

В последовательности (1) $u_1(t)$ чаще всего является прямоугольным однополярным импульсом, который характеризуется амплитудой U_m , частотой следования $F_{\text{н}} = 1/T$, длительностью (шириной) импульса t_u и начальной

фазой t_0 , определяющей временное положение центров импульсов $t_0, k + 1 = t_0, 1 + kT$, где $t_0, 1$ — момент времени, соответствующий середине первого импульса, $k = 0, 1, 2$ — число периодов.

Изменяя один из параметров несущей импульсной последовательности пропорционально первичному сигналу $u_{\Omega}(t)$, можно получить четыре основных вида импульсной модуляции: амплитудно-импульсную (АИМ), при которой изменяется амплитуда импульсов $U_m(t) = U_m + \Delta U(t) = U_m + au_{\Omega}(t)$; широтно-импульсную (ШИМ), при которой изменяется ширина (длительность) импульса $t_u(t) = t_u + \Delta t_u(t) = t_u + au_{\Omega}(t)$; фазоимпульсную (ФИМ) или время-импульсную (ВИМ), при которой изменяется время действия импульса (фаза импульса) $t_0, k + 1(t) = t_0, k + 1 + \Delta t_0, k + 1 + au_{\Omega}(t)$; частотно-импульсную (ЧИМ), при которой изменяется частота следования импульсов $F_u(t) = F_u + \Delta F_u(t) = F_u + au_{\Omega}(t)$, где a — соответствующий виду импульсной модуляции коэффициент пропорциональности, имеющий для каждого вида свою величину и размерность.

Модель источника сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией

Для построения модели источника сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией в программной среде MathCAD введём следующие параметры модели:

Частота модулирующего колебания
 $F := 2000$
 Период и скважность импульсов дискретизации
 $dS := 0,5 \times 10^{-4} \text{ м} := 3$

Следует отдельно остановиться на выборе значений таких параметров, как период и скважность импульсов дискретизации. Чем чаще следуют импульсы в несущем колебании, тем меньше интервал Δt и тем точнее отображается сам модулирующий сигнал. Частоту следования импульсов определяют исходя из необходимой точности восстановления непрерывного модулирующего колебания по его дискретным значениям при обратном процессе демодуляции на приёмной стороне. Принципиальную возможность восстановления непрерывного колебания по набору его дискретных значений устанавливает теорема Котельникова, имеющая фундаментальное значение для решения многих задач теории передачи сигналов. Мы же не будем ограничивать значения этих параметров модели, позволяя тем самым моделировать временные реализации импульсно-модулированных сигналов с необходимыми характеристиками.

Далее введём массивы дискретного модельного времени t_j , частоты f_j для отображения спектров сигналов, а также массив отсчётов первичного модулирующего колебания y_j :

$j := 0..10 \ 000$ $t_j := j \times 10^{-6}$
 $f_j := 100j$ $y_j := 1 + \sin(2\pi F t_j)$

Затем переводим длину одного импульса dS в число отсчётов dL , задаём приращение индексной переменной b с интервалом изменения dL и вводим индексную переменную rh , которая обеспечит постоянство значений переменной Y (это и есть временное представление сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией) на протяжении всей длительности импульса дискретизации:

$dL := dS \times 10^6$ $h := 0, \ dL..10 \ 000$
 $rh := 0..dL$
 $Im_j := \text{if}(t_j < dS/m, 1, 0)$
 $Y_{\text{н}} + rh := \text{if}(rh < dL/m, y_{\text{н}}, 0)$

Выражение с идентификатором модели Im_j обеспечивает формирование временных отсчётов одиночного импульса, необходимых для сравнительного анализа спектров сигнала с АИМ. Далее вычисляем комплексные спектры сигналов Sw и Swi с помощью функции альтернативного быстрого преобразования Фурье CFFT(X) [3], получаем амплитудные спектры и выполняем их нормировку:

```
Sw:= cfft(Y)    v_j:= |Sw_j|
r:= max(v)     b_j:= v_j/r
Swi:= cfft(Im) vi_j:= |Swi_j|
ri:= max(vi)  bi_j:= vi_j/ri
```

Теперь, если вывести в окно программы MathCAD графики временного Y_j и спектрального представлений b_j сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией, получим результаты, показанные на рисунке 1.

Затем добавим в модель следующий программный код, осуществляющий запись результатов моделирования сигнала с АИМ в файл:

```
I:= 0..1 sig_j, i:= if(I = 0, t_j, Y_j)
WRITEPRN("sig.dat"):= sig
```

Необходимо отметить, что для правильной записи временных отсчётов сигнала 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 программе DesignLAB 8.0. Введём схему, показанную на рисунке 2. В качестве источника сигнала воспользуемся компонентом VPWL_FILE [4] (источник напряжения, заданный в файле) и установим значение его атрибута File = sig.dat. Сохраним собранную схему,

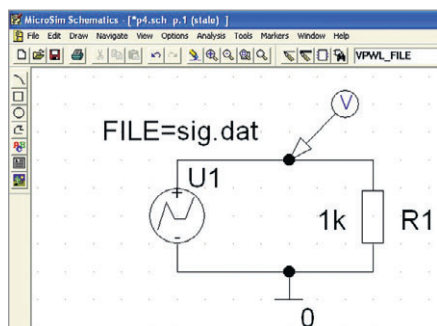


Рис. 2. Испытательная схема с источником сигнала из файла

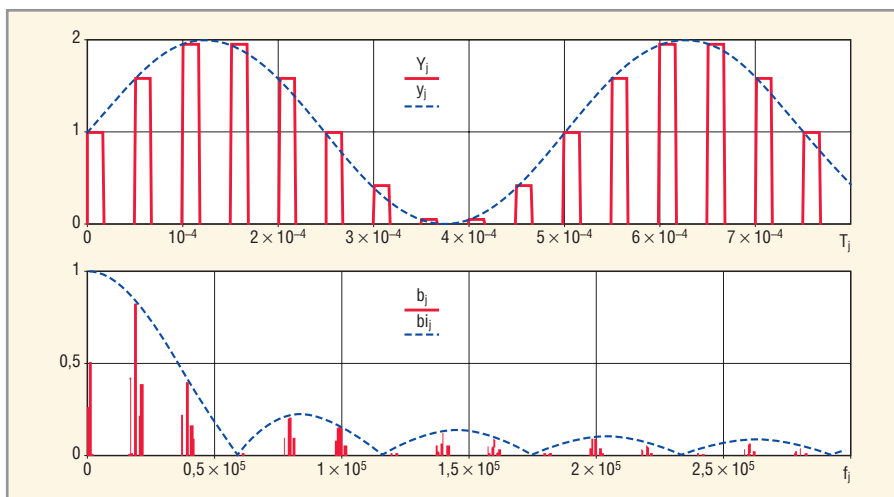


Рис. 1. Результаты моделирования колебания с амплитудно-импульсной модуляцией

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. 3).

Выполнив быстрое дискретное преобразование Фурье в системе схемотехнического моделирования DesignLAB, получим спектральное представление сигнала, полностью соответствующее модели сигнала, разработанной в программной среде MathCAD (см. рис. 4).

Модель источника сигнала с широтно-импульсной модуляцией

При этом виде модуляции ширина импульса пропорциональна амплитуде модулирующего сигнала, поэтому выражение для формирования временного представления Y_j следует преобразовать к виду:

$$Y_{h+rh} := \text{if}(rh < (dL/m) + y_h z, 1, 0).$$

В данном выражении длительность импульсов дискретизации dL/m уве-

личивается (или уменьшается) пропорционально амплитуде первичного сигнала $y_b z$. При этом амплитуда модулирующего колебания считывается в моменты времени t_b , а параметр z является глубиной модуляции. На рисунке 5 показаны результаты моделирования колебания с широтно-импульсной модуляцией.

Модель источника сигнала с время-импульсной модуляцией

При этом виде модуляции положение импульса на временной оси пропорционально амплитуде модулирующего сигнала, поэтому выражение для формирования временного представления Y_j следует преобразовать к виду:

```
x_h:= floor(y_h z)
Y_h + rh + x_h:= if(x_h > 0, if(rh <
dL/m, 1, 0), if(rh < dL/m, 1,
0))
```

Параметр модели x_h представляет собой коэффициент, обеспечивающий сдвиг начала импульсов дискретизации, и вычисляется как целое значение от амплитудного отсчёта первичного сигнала, умноженного на коэффици-

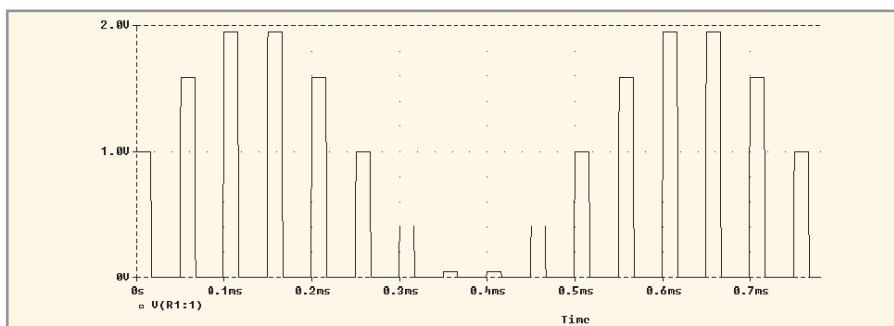


Рис. 3. Результаты моделирования источника сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией в системе DesignLAB

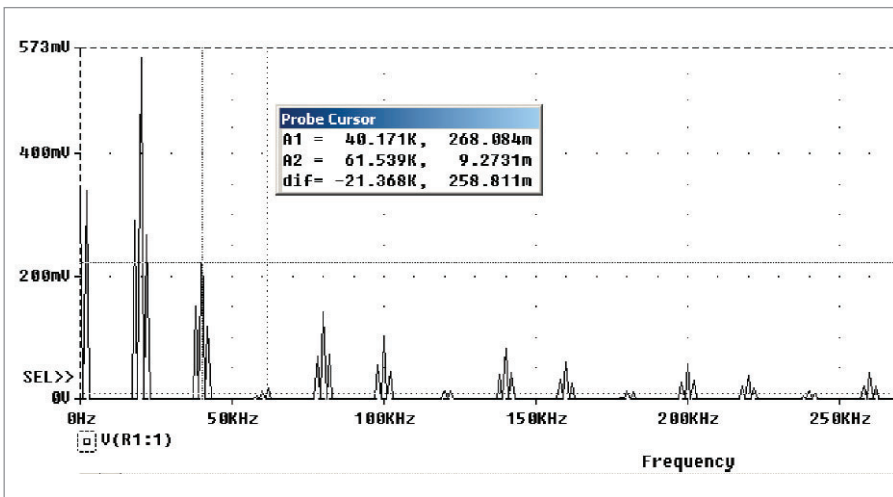


Рис. 4. Результаты спектрального анализа сигнала с АИМ в системе схемотехнического моделирования DesignLAB

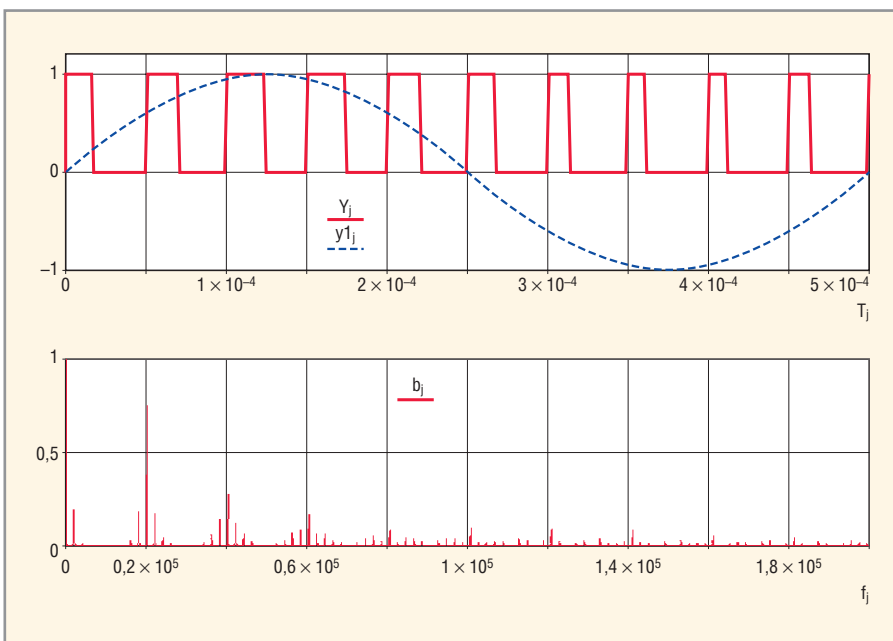


Рис. 5. Результаты моделирования колебания с широтно-импульсной модуляцией

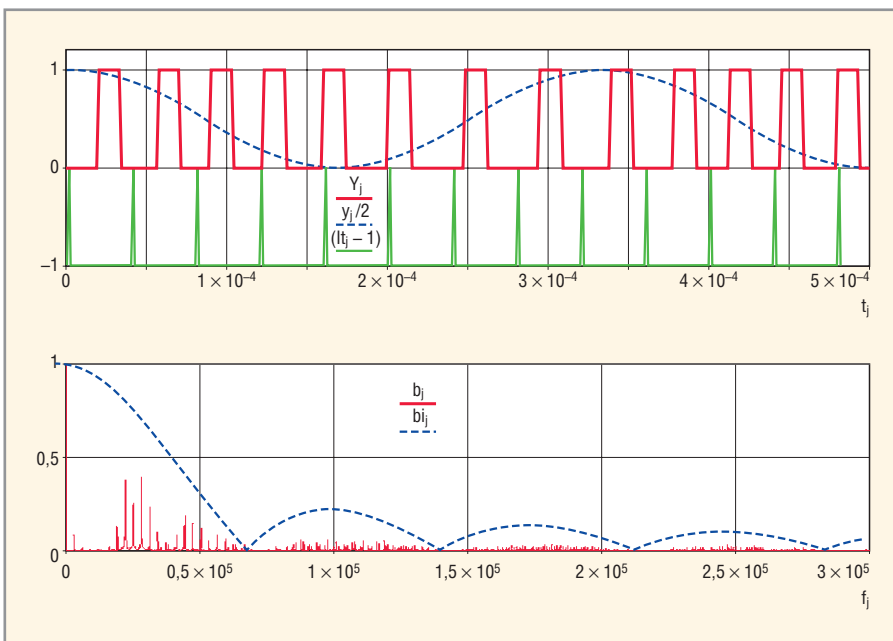


Рис. 6. Результаты моделирования колебания с время-импульсной модуляцией

ент глубины модуляции z . Сдвиг начала импульсов дискретизации (функции Y_j) осуществляется путём приращения индексов на величину x_b . Результаты моделирования колебания с время-импульсной модуляцией представлены на рисунке 6, где обозначены моменты снятия амплитудных отсчётов первичного колебания, позволяющие оценить глубину модуляции.

Модель источника сигнала с кодово-импульсной модуляцией

Процесс получения модулированного сигнала при кодово-импульсной модуляции (КИМ) складывается из трёх операций: дискретизации модулирующего сигнала по времени, квантования его отсчётов по уровню и кодирования квантованных отсчётов в соответствии с каким-либо кодом. Значение уровня квантованного отсчёта сигнала соответствует определённому числу, которое представляется последовательностью m – элементарных комбинаций импульсов и пауз («1» и «0») в двоичном коде.

Разработку модели сигнала с кодово-импульсной модуляцией начнём с кодирования квантованных уровней сигнала. Положим их число равным 10, тогда нам необходимо не менее четырёх разрядов для кодирования каждого из десяти уровней. На рисунке 7 показан фрагмент программного кода модели сигнала с кодово-импульсной модуляцией, где введены варьируемые параметры модели – четырёхразрядные коды квантованных уровней первичного сигнала, а также период и коэффициент сжатия импульсов дискретизации.

В качестве первичного сигнала будем использовать телефонное сообщение, подробно рассмотренному в [5]. При этом модулирующий сигнал представим в виде суммы ограниченного числа гармонических составляющих, аппроксимирующих спектр реального телефонного сообщения (ТЛФС) в регулируемых пределах отклонения их амплитуд и фаз, и генерируемых по случайному закону с равномерным распределением в диапазоне $0...2\pi$:

$$S_{ТЛФС} = \sum_{k=0}^{N_T-1} (Sm_k + d\Delta Sm_k) \cos(2\pi F_k t_j + \varphi_k), \quad (2)$$

где F_k , Sm_k – частоты и их амплитуды, аппроксимирующие спектр реального

ТЛФС; d — уровень отклонения амплитуд гармонических составляющих от аппроксимированных значений амплитуд реального ТЛФС; Δsm_k — нормированные случайные значения отклонений амплитуд гармонических составляющих; φ_k — начальные фазовые сдвиги частот; N_r — количество гармонических составляющих в спектре. Фрагмент программного кода, приведённый на рисунке 8, формирует временное представление телефонного сообщения в соответствии с выражением (2), выполняет его нормировку по уровню так, чтобы отсчёты сигнала находились в пределах от 0 до 1.

При этом имеется возможность регулирования количества частотных составляющих первичного сигнала путём изменения параметра N . Установив маркер в поле, отмеченное красным фоном, можно каждый раз генерировать новые случайные значения фазовых сдвигов гармоник модулирующего сигнала φ_k , чтобы получать различные реализации формы как первичного, так и модулированного сигналов.

Теперь нам необходимо получить выражение, которое бы формировало заданную кодом импульсную последовательность в зависимости от уровня первичного сигнала. Для этого мы воспользуемся моделью импульсной последовательности с кодовым следованием посылок, разработанной в [6]:

$$I2(t_i) = \sum_{n=0}^{N_u-1} F \left[\begin{array}{l} t_3 + \frac{T_n}{N_u} n \leq t_i < t_3 + \\ 0 \\ + \frac{T_n}{N_u} (n+1), \end{array} \right], \quad (3)$$

где t_3 — длительность интервала задержки кодовой посылки относительно момента времени $t_i = 0$; N_u — количество импульсов в посылке; T_n — длительность кодовой посылки; параметр M_n будет определяться кодовой комбинацией того или иного квантованного уровня. Чтобы формировать кодовые импульсы, соответствующие определённому уровню, необходимо добавить условие, проверяющее, попадает ли текущий уровень сигнала в заданный диапазон или нет. Тогда совокупность выражений, реализующих рассмотренный алгоритм на

```

период дискретизации           коэффициент сжатия импульсов дискретизации
dS = 0.5 10^-4                 k = 1
кодирование десяти уровней первичного сигнала
m0_1 := 0  m0_2 := 0  m0_3 := 0  m0_4 := 1  m1_1 := 0  m1_2 := 0  m1_3 := 1  m1_4 := 0
m2_1 := 0  m2_2 := 0  m2_3 := 1  m2_4 := 1  m3_1 := 0  m3_2 := 1  m3_3 := 0  m3_4 := 0
m4_1 := 0  m4_2 := 1  m4_3 := 0  m4_4 := 1  m5_1 := 0  m5_2 := 1  m5_3 := 1  m5_4 := 0
m6_1 := 0  m6_2 := 1  m6_3 := 1  m6_4 := 1  m7_1 := 1  m7_2 := 0  m7_3 := 0  m7_4 := 0
m8_1 := 1  m8_2 := 0  m8_3 := 0  m8_4 := 1  m9_1 := 1  m9_2 := 0  m9_3 := 1  m9_4 := 0
    
```

Рис. 7. Фрагмент программного кода модели КИМ-сигнала

```

s := k 4  N := 10  k := 1..N  Nt := 10000  j := 0..Nt  t_j := j 10^-6  f_j := j 100
Um_1 := 3  Um_2 := 4  Um_3 := 6  Um_4 := 5  Um_5 := 4.5  Um_6 := 4
F_1 := 300  F_2 := 600  F_3 := 900  F_4 := 1200  F_5 := 1500  F_6 := 1800
Um_7 := 3.5  Um_8 := 3  Um_9 := 2.4  Um_10 := 2
F_7 := 2100  F_8 := 2400  F_9 := 2800  F_10 := 3200  phi_k := rnd(Um_k) pi
T_j := sum_{k=1}^N Um_k cos(2 pi F_k t_j + phi_k)  min := min(T)  T_j := T_j + |min|  R := max(T)  T_j := T_j / R
    
```

Рис. 8. Фрагмент программного кода модели КИМ-сигнала, формирующий первичный сигнал в виде телефонного сообщения

языке программной среды MathCAD для уровней первичного сигнала в диапазонах $0,9 \leq y1_j \leq 1$, затем $0,8 \leq y1_j \leq 0,9$ и т.д., запишется в следующем виде:

```

dL := dS x 10^6  h := 0, dL...Nt
rh := 0...dL  y1_j := T_j
Y3_{h+rh} := if(rh < 2, 1, 0)
yr9_{h+rh} := if(0,9 <= y1_h <= 1, sum_{n=1}^4 if(dL/n <= dL/s + dL/n/s, m9_n, 0), 0)
yr8_{h+rh} := if(0,8 <= y1_h < 0,9, sum_{n=1}^4 if(dL/n <= dL/s + dL/n/s, m8_n, 0), yr9_{h+rh})
yr1_{h+rh} := if(0,1 <= y1_h < 0,2, sum_{n=1}^4 if(dL/n <= dL/s + dL/n/s, m1_n, 0), yr2_{h+rh})
Yr_{h+rh} := if(y1_h < 0,1, sum_{n=1}^4 if(dL/n <= dL/s + dL/n/s, m0_n, 0), yr1_{h+rh})
    
```

Следует отметить, что в представленном программном коде осуществ-

ляется формирование сигнала, начиная в девятого уровня квантования. Поэтому, если вывести на график массив $yr9_j$, мы увидим кодовые импульсы, соответствующие только девятому (последнему) уровню первичного сигнала. Затем мы выполняем суммирование импульсов каждого уровня так, чтобы в итоге получить модулированный сигнал Yr_j . Добавив в программный код выражения для расчёта амплитудного спектра сигнала и записи результатов моделирования в файл, можно вывести и проанализировать результаты моделирования, представленные на рисунке 9.

Разновидностью кодово-импульсной модуляции является т.н. дельта-модуляция (ДМ). В отличие от КИМ, ДМ кодирует не полное значение дискретного уровня, а лишь приращение каждого последующего уровня по сравнению с предыдущим. Для реализации такого алгоритма необходимо сравнивать амплитудные отсчёты первичного сигнала в текущий и предыдущий моменты времени. Поскольку возможно и нарастание, и убывание сигнала, следует предусмотреть отслеживание этих изменений с целью последующего кодирования данных.

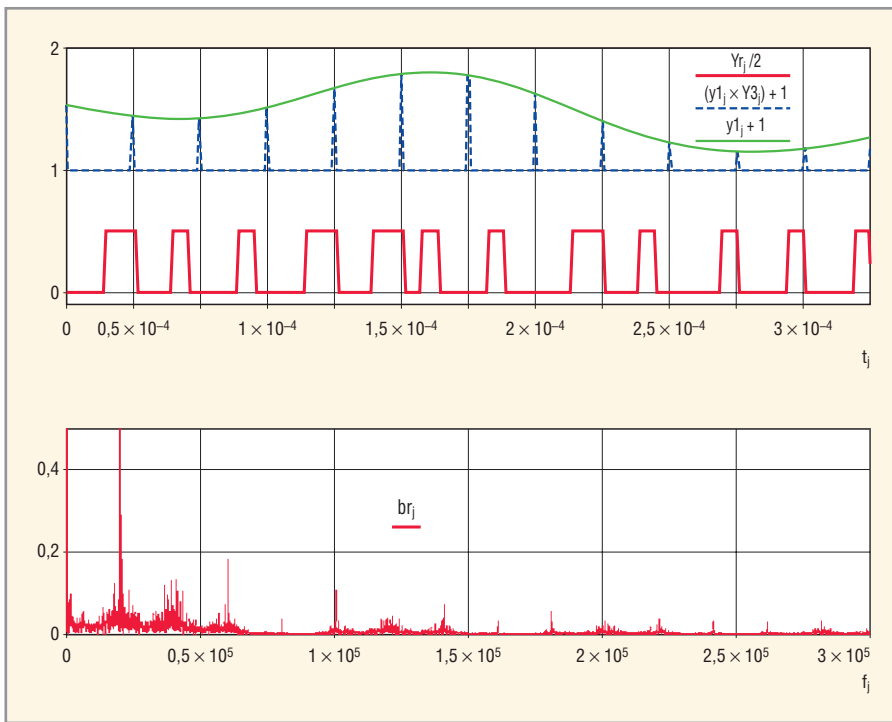


Рис. 9. Результаты моделирования сигнала с кодово-импульсной модуляцией

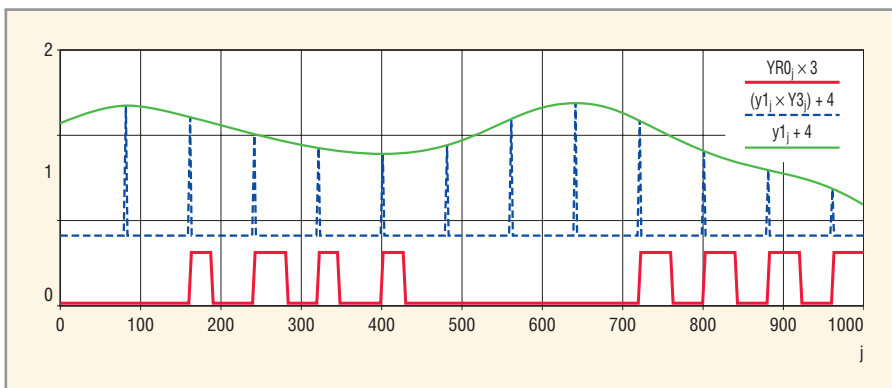


Рис. 10. ДМ-сигнал для ниспадающего первичного сигнала

Обозначим идентификаторами $m0...m3$ кодовые последовательности четырёх дельта-уровней возрастающего первичного сигнала, а идентификаторами $m6...m9$ – кодовые последовательности четырёх дельта-уровней убывающего первичного сигнала. Пример задания кодовых последовательностей представлен следующим программным кодом:

Кодирование четырёх дельта-уровней ниспадающего первичного сигнала

```

m6_0 := 1      m6_1 := 1
m6_2 := 0      m6_3 := 0
m6_4 := 0      m7_0 := 1
m7_1 := 1      m7_2 := 1
m7_3 := 0      m7_4 := 0
m8_0 := 1      m8_1 := 1
m8_2 := 1      m8_3 := 1
m8_4 := 0      m9_0 := 1
    
```

```

m9_1 := 1      m9_2 := 1
m9_3 := 1      m9_4 := 1
    
```

Тогда фрагмент программного кода, формирующий модулированный ДМ-сигнал для убывающего первичного сигнала, можно представить в следующем виде:

$$dL := dS \times 10^6 \quad h := dL, 2dL...Nt$$

$$rh := 0...dL \quad y1_j := T_j$$

$$yr9_{h+rh} := \text{if} \left(3 \leq y1_{h-dL} - y1_h \leq 5, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{s} < rh \leq \frac{dL}{s} + \frac{dLn}{s}, m9_n, 0 \right) \right)$$

$$yr8_{h+rh} := \text{if} \left(2 \leq y1_{h-dL} - y1_h \leq 3, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{s} < rh \leq \frac{dL}{s} + \frac{dLn}{s}, m8_n, 0 \right) \right)$$

$$yr7_{h+rh} := \text{if} \left(1 \leq y1_{h-dL} - y1_h \leq 2, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{s} < rh \leq \frac{dL}{s} + \frac{dLn}{s}, m7_n, 0 \right), yr9_{h+rh} \right)$$

$$Yr0_{h+rh} := \text{if} \left(0 \leq y1_{h-dL} - y1_h \leq 1, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{s} < rh \leq \frac{dL}{s} + \frac{dLn}{s}, m6_n, 0 \right), yr7_{h+rh} \right)$$

Обратим внимание на следующий момент: в связи с тем, что мы должны сравнивать текущее $y1_b$ и предыдущее (отстоящее на длительность интервала дискретизации) $y1_{b-dL}$ значения первичного сигнала, необходимо соответствующим образом задать приращение индексной переменной b , что мы и делаем в первой строке представленного выше программного кода. Кроме того, чтобы обеспечить попадание разности текущих и предыдущих амплитудных отсчётов первичного сигнала в четыре диапазона (для нашего примера), необходимо нормированный ТЛФС сигнал умножить на 10. На рисунке 10 представлены результаты расчёта массива $YR0$, соответствующего ДМ-сигналу для ниспадающего первичного сигнала.

Для возрастающего первичного сигнала следует в условиях операторов поменять местами идентификаторы $y1_b$ и $y1_{b-dL}$: тогда выражение, формирующее ДМ-сигнал для первичного сигнала, дельта-отсчёты (разность текущего и предшествующего амплитудных отсчётов) которого попадают в самый верхний диапазон, можно записать в следующем виде:

$$yr3_{h+rh} := \text{if} \left(3 \leq y1_h - y1_{h-dL} \leq 5, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{s} < rh \leq \frac{dL}{s} + \frac{dLn}{s}, m3_n, 0 \right) \right)$$

Аналогичным образом запишутся выражения для дельта-уровней 2, 1, и 0 возрастающего модулирующего сигнала. В заключение необходимо

сложить получившиеся массивы для фрагментов возрастающего и убывающего по амплитуде телефонного сообщения, что даст результирующий дельта-модулированный сигнал с количеством дельта-уровней первичного сигнала от 0 до 8.

Модель источника сигнала с частотно-импульсной модуляцией

Модель сигнала с частотно-импульсной модуляцией можно получить с использованием предыдущей модели. Во-первых, зададим последовательность, одинаковую для всех уровней квантования сигнала, следующим кодом:

```

Период дискретизации
ds:= 1 × 10-4

Кодовая последовательность
m00:= 1      m01:= 0
m02:= 1      m03:= 0
m04

Коэффициенты сжатия импульсов
дискретизации для уровней 0 – 9
k9:= 2      k8:= 1,8
k7:= 1,7    k6:= 1,6
k5:= 1,5    k4:= 1,4
k3:= 1,3    k2:= 1,2
k1:= 1,1    k10:= 1
    
```

Затем введём коэффициенты сжатия импульсов дискретизации каждого уровня, что и позволит получить различную частоту их следования в зависимости от уровня первичного сигнала. Следует отметить, что с изменением длительности импульсов дискретизации мы изменяем и длительности пауз, при этом скважность последовательности равна двум.

Во-вторых, следует внести изменения в выражения для формирования модулированного сигнала:

$$y_{9h+rh} := \text{if} \left(0,9 \leq y_{1h} \leq 1, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{sk9} < \leq \frac{dL}{sk9} + \frac{dL}{sk9} \cdot m0_n, 0 \right), 0 \right)$$

$$y_{8h+rh} := \text{if} \left(0,8 \leq y_{1h} \leq 0,9, \sum_{n=0}^4 \text{if} \left(\frac{dLn}{sk8} < < rh \leq \frac{dL}{sk8} + \frac{dL}{sk8} \cdot m0_n, 0 \right), y_{9h+rh} \right)$$

Здесь показан фрагмент измененного программного кода для формирования уровней 9 и 8 модулирован-

ного сигнала. И, наконец, для заданной кодовой последовательности параметр *s* следует установить равным 6, тогда на каждом интервале дискретизации *dS* поместится три импульса и три паузы. Наибольшая частота следования импульсов получается, когда уровень первичного сигнала у1 соответствует девятому интервалу (коэффициент сжатия импульсов дискретизации *k9* = 2); наименьшая частота следования импульсов получается, когда уровень первичного сигнала находится в пределах от 0 до 1 (коэффициент сжатия импульсов дискретизации *k0* = 1).

В реальных системах связи полученная модулированная последовательность импульсов используется для манипуляции гармонического высокочастотного несущего колебания. Тем самым осуществляется перенос модулированных импульсов на частоту несущего колебания *ωн*, излучаемого в эфир. В этом случае получается вторичная или двойная модуляция. Чаще всего применяется вторичная амплитудная манипуляция. Для реализации этой операции в модели добавим следующий программный код:

```

fn:= 150000      slj:= if (Yrj > 0,
cos(2 × 3,14fntj), 0)
    
```

Таким образом, массив *sl_j* является сигналом КИМ-АТ, полученным

путём первичной кодово-импульсной модуляции и вторичной амплитудной манипуляции (телеграфии).

Применяя рассмотренные в статье алгоритмы формирования сигналов, читатель сможет самостоятельно создавать или модифицировать приведённые модели и использовать их в процессе моделирования различных радиоэлектронных устройств. В следующих статьях автор планирует рассмотреть вопросы моделирования процессов взаимодействия сигналов и преднамеренных помех, используемых в радиоаппаратуре специального назначения для подавления систем связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипенский П.В. Моделирование источников сложных сигналов. Современная электроника. 2007. № 9.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Радио и связь, 1986.
3. Saffe R. C. Random Signals for Engineers using MATLAB and Mathcad. Springer-Verlag, 2000.
4. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств Design-Lab 8.0. Солон, 1999.
5. Антипенский П.В. Моделирование источников аналоговых сигналов. Современная электроника. 2007. № 4.
6. Антипенский П.В. Моделирование источников сигналов с дискретной модуляцией. Современная электроника. 2007. № 8. ©

ДАТЧИКИ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ ДЖОЙСТИКИ



В основе автоматизации любого оборудования лежит использование различных датчиков и преобразователей. Особенно актуальной является проблема увеличения производительности небольших и недорогих машин. Более чем 40 лет MEGATRON представляет на мировом рынке экономичные механические и электрические преобразователи (датчики).

ДАТЧИКИ
ЛИНЕЙНОГО
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ



ДЖОЙСТИКИ



БЕСКОНТАКТНЫЕ
ДАТЧИКИ
ЛИНЕЙНОГО
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ



БЕСКОНТАКТНЫЕ
ДАТЧИКИ
ВРАЩЕНИЯ



ДАТЧИКИ
ВРАЩЕНИЯ



КАТАЛОГИ ПРОДУКЦИИ
НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ
НА САЙТЕ [WWW.IRIT.RU](http://www.irit.ru)

«ИРИТ»: Москва, 115211, Каширское шоссе, дом 55, корпус 1
Телефон/факс: (495) 781-79-97
E-mail: sale@irit.ru Internet: http://www.irit.ru

реклама