АНАЛИЗ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В СИСТЕМЕ MATLAB

Методические указания к выполнению лабораторных работ

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

1.1. Содержание задания

Для заданного варианта исследуемого сигнала (сигналы 1-25) выполнить следующие задания:

1) Выбрать несущую частоту ω_0 и масштабный коэффициент амплитудно-модулированного колебания (АМК) $M_{\text{АМ}}$. Принять амплитуду $U_{\text{Н}} = 1$ В.
   Примечания:
   1. Величина $\omega_0 = 2p\,f_0 = 10\omega_{\text{B}}$ определяется из условия $E_s(\omega_{\text{B}}) \geq 0.95\,E_s$, где E_s – полная энергия модулирующего сигнала, $E_s(\omega) = \int_0^{\omega} W(\omega)d\omega$, $W(\omega)$ – энергетический спектр этого сигнала.
   2. Масштабный коэффициент АМК $M_{\text{АМ}}$ вычислить для относительного коэффициента АМК $M = 0.8$ и $M = 1.0$.
2) Записать математическую модель АМК при модуляции периодическим сигналом и построить графики $U_{\text{AM}}(t)$ при M = 0.8 и M = 0.1 (осциллограммы АМ-сигналов).
3) Построить дискретный спектр АМК с периодической модулирующей функцией при M = 0.8 и $\omega \geq 0$. Вычислить дискретную функцию $E_{\text{AM}}(n)$, n = 0, 1, 2, … распределения энергии в спектре АМК.
4) Построить дискретный спектр АМК с одной (верхней) боковой полосой и частичным подавлением несущей ($U_{\text{Н ОБП}} = 0.5U_{\text{Н}}$ (M = 0.8)). Найти распределение энергии в спектре АМК с ОБП.
5) Записать математическую модель сигнала $U_{\text{ОБП}}(t)$ с ОБП и построить график этой временной зависимости на двух периодах повторения модулирующего сигнала.
6) Аналитически определить и построить графически временную зависимость углового модулированного колебания при девиации фазы $\Delta\theta = 10\ /\ T$, где T – период модулирующего колебания.
7) Вычислить с использованием БПФ спектральную амплитудную диаграмму $S_{\text{ФМ}}(\omega)$, построить её график. Вычислить и построить график $E_{\text{ФМ}}(\omega)$.
8) Рассчитать и построить временную зависимость частотно-модулированного колебания при девиации частоты $\Delta\omega = 10\ /\ T$, где T – период модулирующего колебания.
9) Вычислить с использованием БПФ спектральную амплитудную диаграмму $S_{\text{ЧМ}}(\omega)$, построить её график $E_{\text{ЧМ}}(\omega)$.
10) Определить интервал дискретизации Δt_{AM} АМК при M = 0.8 и при условии, что энергия ошибки дискретизации $\Delta E_{\text{AM}}(\Delta t_{\text{AM}})$ не превышает 5% полной энергии АМК (см. п.3).

11) Определить интервал дискретизации $\Delta t_{ФМ}$ ФМК при условии, что энергия ошибки дискретизации $\Delta E_{ФМ}(\Delta t_{ФМ})$ не превышает 5% полной энергии ФМК (см.п.7).
12) Определить интервал дискретизации $\Delta t_{ЧМ}$ ЧМК при условии, что энергия ошибки дискретизации $\Delta E_{ЧМ}(\Delta t_{ЧМ})$ не превышает 5% полной энергии ЧМК (см.п.9).

Отчёт о выполненном задании должен содержать выводы по результатам сравнения сигналов и особенностей их характеристик.

2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 2

Ниже приведён вариант выполнения основных пунктов лабораторной работы, полученный с использованием системы моделирования MATLAB.

2.1.Математическая модель амплитудно-модулированного сигнала

Составляется функция модулирующего сигнала и рассчитывается коэффициент амплитудной модуляции при M = 0.8. соблюдаются следующие размерности: напряжение – 1 В, время – 1 мс, частота – 1 кГц, круговая частота – 1 крад/с (рисунок 2.1).

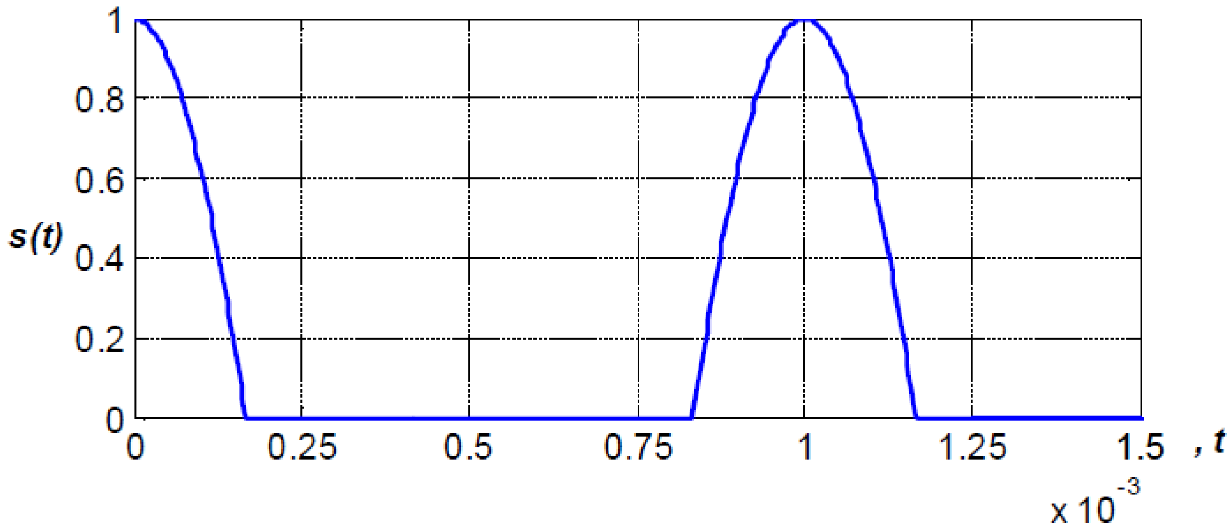

Рис. 2.1 Модулирующий сигнал

```
Uo = 1; Um = 2; T = 1e-3;
tau = T/3; W = 2*pi/T; F = 1/T;
t=linspace(0,1.5*T,500);
s=cosinobn1(t,Um,T,Uo);
plot(t,s)

m=0.8;
Umodmax=Um-Uo; Umodmin=0;
M = 2*m/((Umodmax-Umodmin)-m*(Umodmax+Umodmin));
M
```

Параметры модулирующего сигнала определены в М-функции глобальными.

```
function U=AMK(t,Un,Fn)
      % U=AMK(t,Un,Fn)

      global M Um Uo T
      U=Un*(1+M*cosinobnl(t,Um,T,Uo)').*cos(2*pi*Fn*t);
```

Гармонические составляющие периодического модулирующего колебания равны:

a = [0.2180 0.3910 0.2757 0.1378 0.0276 -0.0276 -0.0315 -0.0098 0.0098 0.0138 0.0050];

принимая верхнюю частоту модулирующего сигнала s(t) равной частоте десятой гармоники (F_{10} = 10 кГц), определим частоту несущей: $F_n = 4 * F_{10} = 40$ кГц. При амплитуде несущей $U_n = 1$ В максимальное значение АМК $U_{АМК}$ max = 9 В (рисунок 2.2).

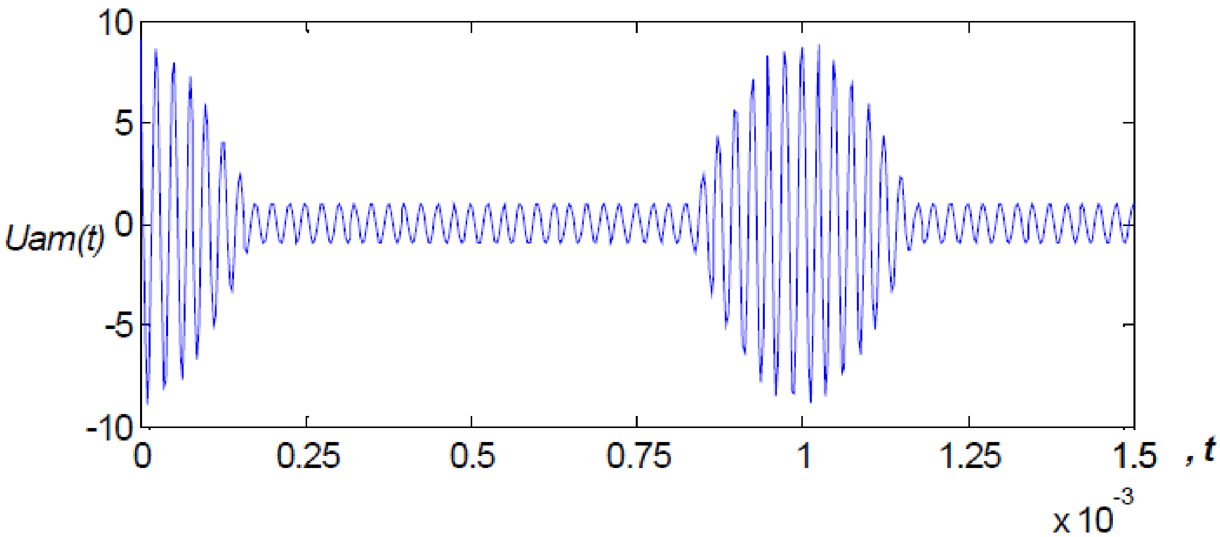

Рис. 2.2 Осциллограмма АМК при M = 0.8

```
Un = 1; Fn = 4e4;
Uam = AMK(t,Un,Fn);
plot(t,Uam)
```

2.2.Дискретный спектр АМК с периодическим модулирующим сигналом

Формирование модели АМК в виде отдельных составляющих: несущего колебания, верхней Svb_n и нижней Snb_n боковых частот. N = 40 – порядковый номер гармоники несущего колебания, выраженный через частоту следования модулирующего колебания (1 кГц). Частота несущей равна 40 кГц, боковые составляющие отстоят от её не более чем на 10 кГц, т.е. полоса частот АМК равна 20 кГц (рисунок 2.3).

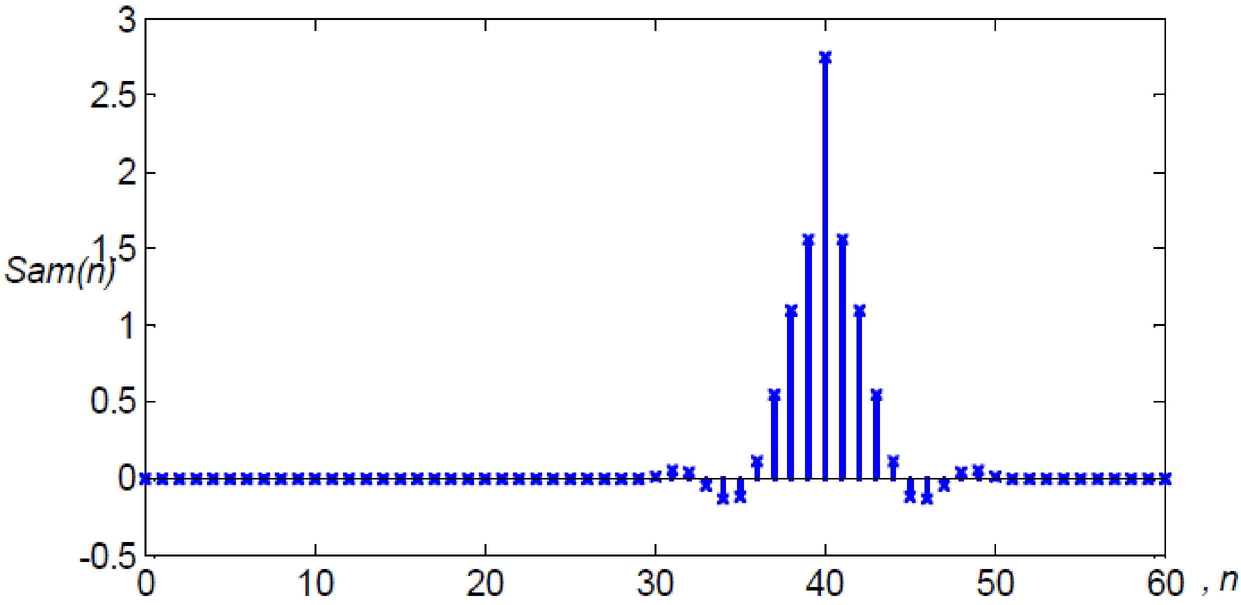

Рис. 2.3 Амплитудный спектр АМК (M=0.8)

```
N = ceil(Fn/F); Ng = length(a)-1; n = 0:N+2*Ng;
Svb = M*[zeros(1,N) a zeros(1,Ng)]/2;
Snb = M*[zeros(1,N-Ng) fliplr(a) zeros(1,2*Ng)]/2;
Sam = Svb+Snb; Sam(N+1)= Sam(N+1)+Un;
stem(n,Sam)
```

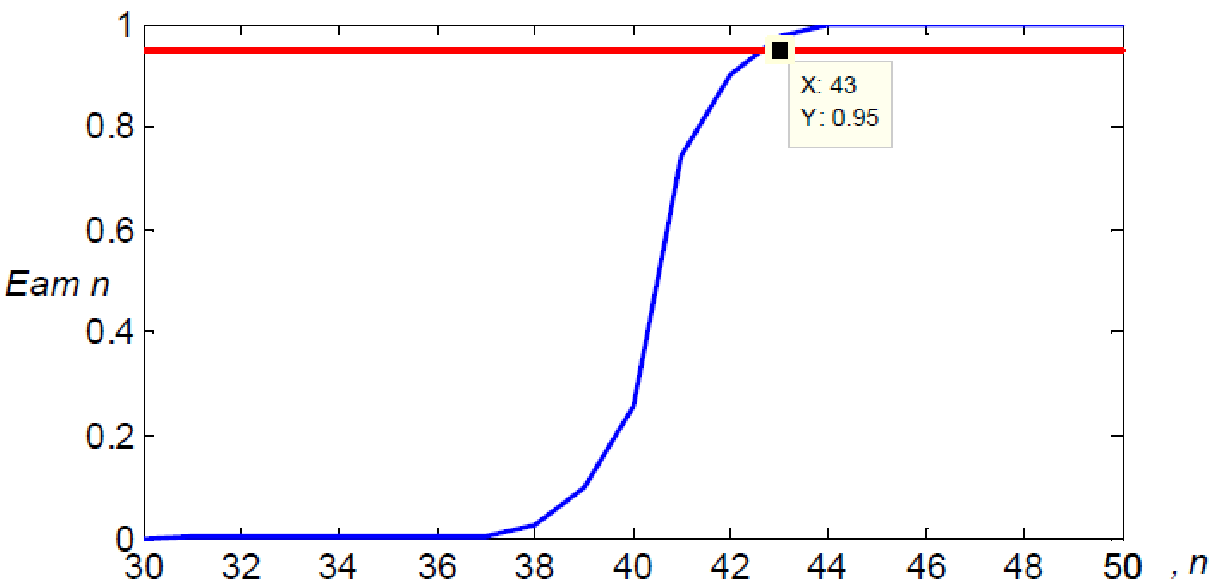

Рис. 2.4 Энергетическая характеристика АМК (M = 0.8)

Как следует из рисунка 2.4, превышение нормированной энергетической характеристикой уровня 0.95 происходит при учёте 43 гармоник частоты следования, т.е. частоту F_{AM} = 43 кГц можно считать верхней частотой спектра исследуемого АМК.

2.3.Амплитудно-модулированное колебание с одной боковой полосой

Формируется колебание с ВБП, N – номер гармоники несущего колебания, её амплитуда уменьшена в два раза (рисунок 2.5).

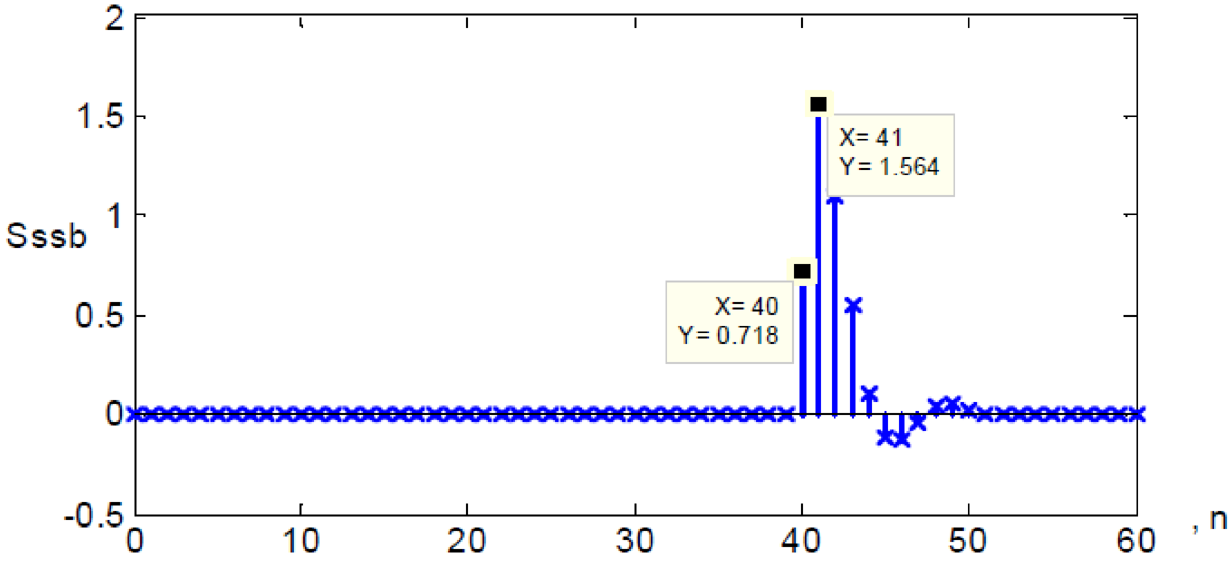

Рис.2.5 Амплитудный спектр АМК с ОБП

```
N = ceil(Fn/F); Ng = length(a)-1; n = 0:N+2*Ng;
Svb=M*[zeros(1,N) a zeros(1,Ng)]/2;
n1=N:N+Ng;  Sssb=Svb;
Sssb(N+1)=a(1)+Un/2; stem(n,Sssb)
```

Соответствующая спектру на рисунке 2.5 осциллограмма АМ-сигнала с верхней боковой полосой изображена на рисунке 2.6:

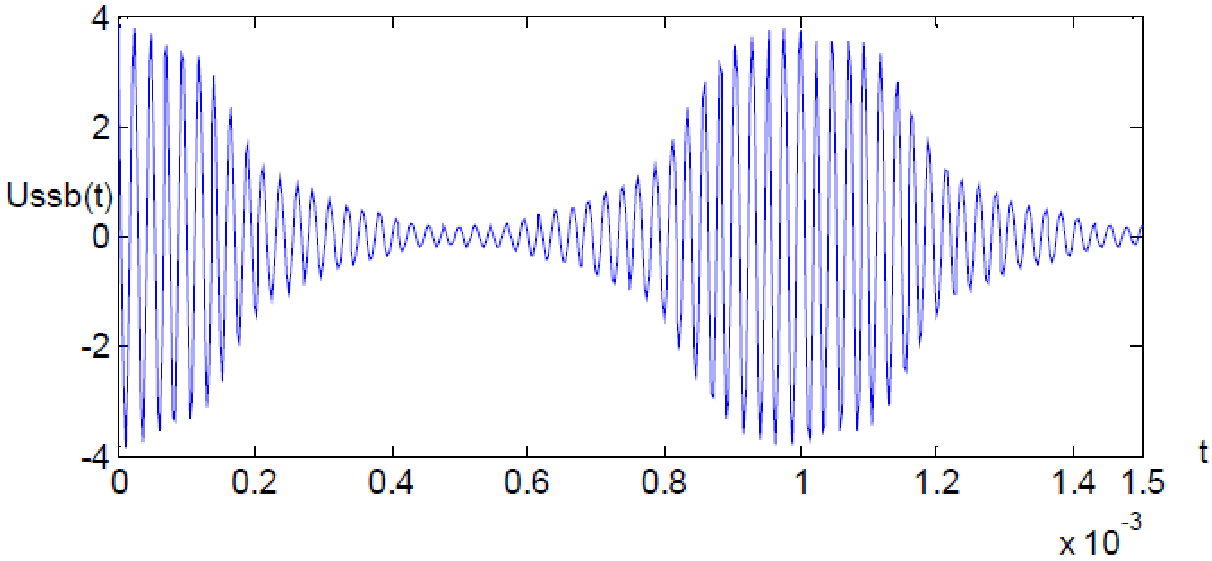

Рис.2.6 Временная зависимость АМ-сигнала с ВБП

```
figure(2)
Ussb=Sssb(n1)*cos(n1'*W*t); %[1,500]=[1,40:50]*[1,40:50]'*[1,500]
plot(t,Ussb)
```

2.4.Фазомодулированный сигнал

Модулирующая функция фазы Psi(t) – заданное периодическое колебание Umod(t). Девиация фазы (индекс модуляции) Mp = 15.

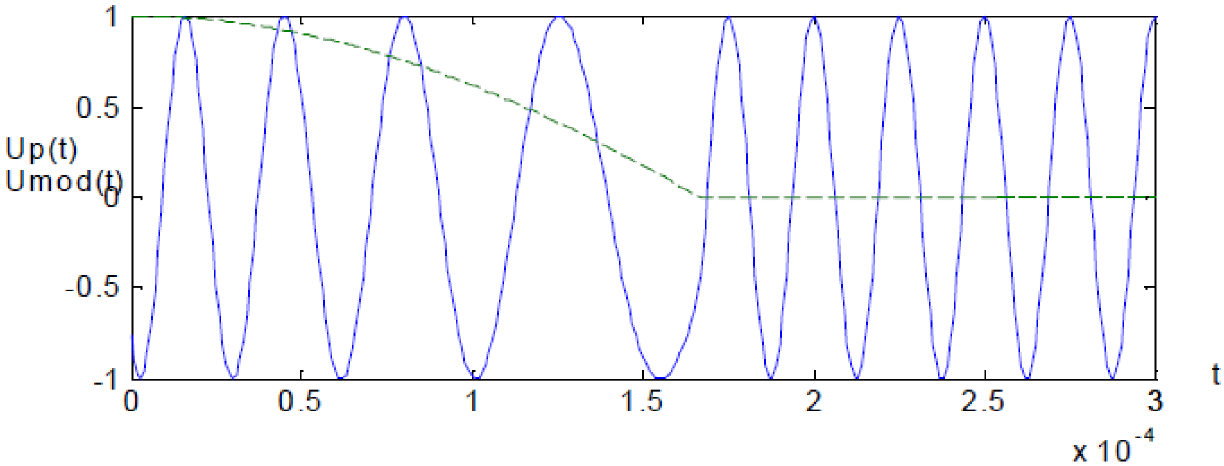

Рис. 2.7 Осциллограмма фазомодулированного сигнала

```
Mp = 15;
Uo = 1; Um = 2; T = 1e-3;Un = 1; Fn = 4e4;
t =(0:1e-3:0.3)*1e-3;
Umod = cosinobn1(t,Um,T,Uo);        Up = Un*cos(Psi);
Psi = 2*pi*Fn*t+Mp*Umod';           plot(t,Up,t,Umod)
```

Для определения правильной формы спектра ФМК (рисунок 2.8) следует применить преобразование Фурье от его временной зависимости на нескольких периодах следования. В системе MATLAB/Octave функцией быстрого преобразования Фурье является `fft`, имеющая в качестве аргумента вектор размерностью 2^N, в нашем случае $2^{10} = 1024$ элемента.

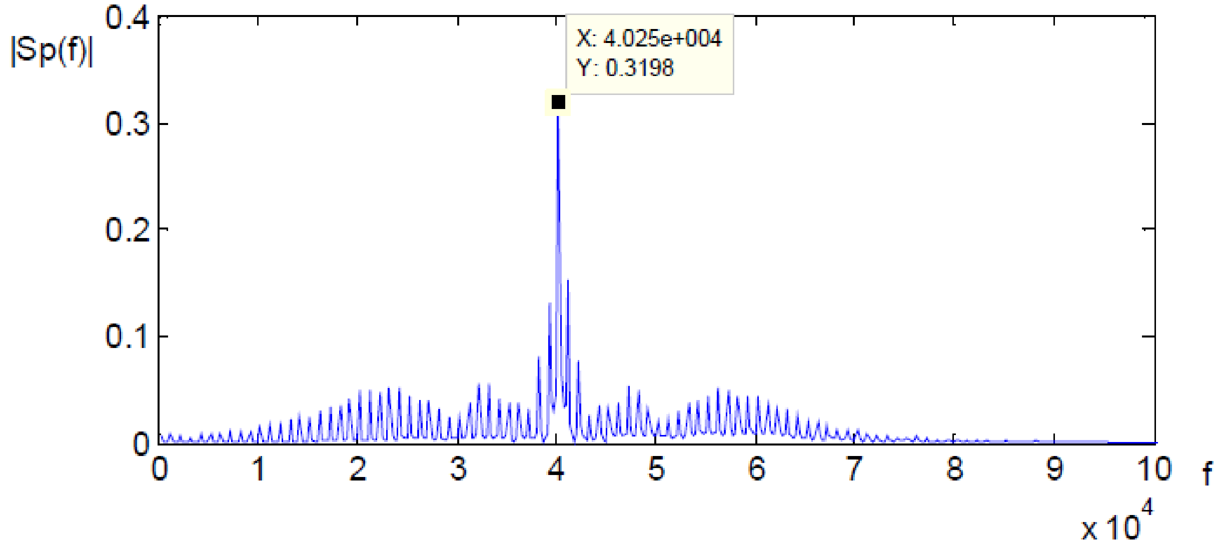

Рис. 2.8 Амплитудный спектр ФМК

```
K = 1024; t = linspace(0,4*T,K);
df = 1/(4*T);
Umod = cosinobn1(t,Um,T,Uo);
Psi = 2*pi*Fn*t+Mp*Umod';
Uph = Un*cos(Psi);
Sph = fft(Uph)/K;
plot(df*(1:512),abs(Sph(1:512)))
```

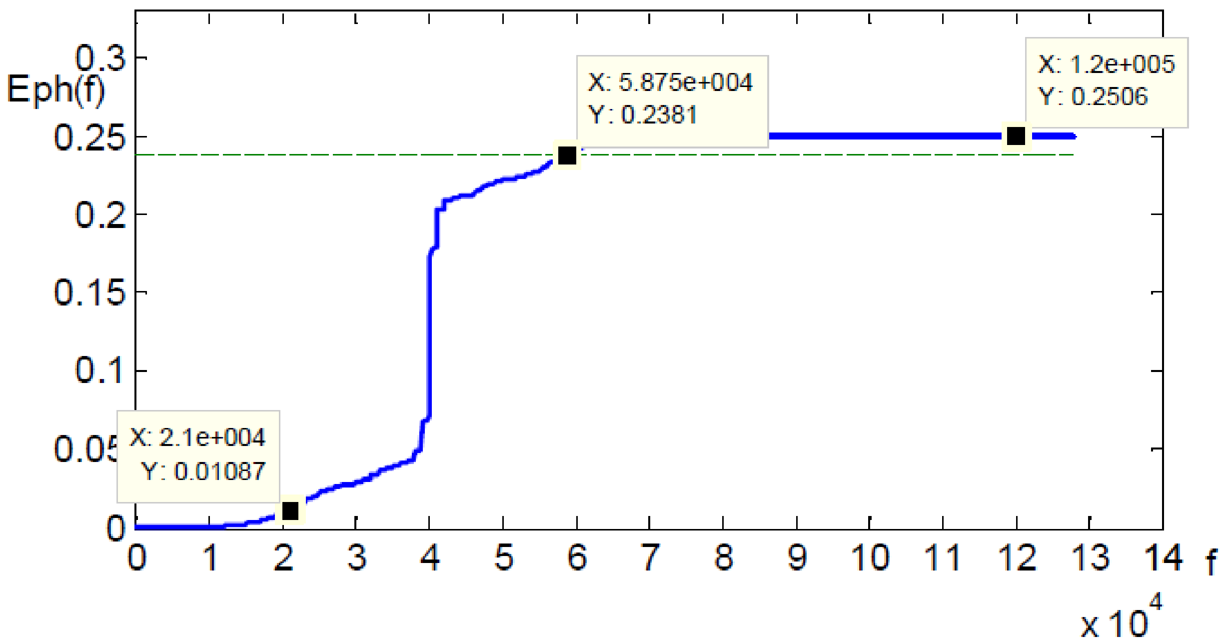

Рис. 3.9 Энергетическая функция ФМК

```
Eph=cumsum(abs(Sph(1:512)).^2);
Gr1=0.95*Eph(end)*ones(1,512);      % Граница по уровню 0.95
plot(df*(1:512),Eph,df*(1:512),Gr1)
```

Энергетическая функция ФМК находится по следующей формуле:

$$Eph_{k1} := \sum_{j=0}^{k1} |\,Sph_j\,|^2$$

Полная энергия ФМК на периоде повторения сигнала равна:

$$Eps = \sum_{k1} Eph_{k1} = 251\ \text{В}^2 \cdot \text{мс}$$

Поскольку взяты четыре периода следования, то шаг по частоте равен ¼ кГц = 250 Гц, и верхняя частота спектра ФМК по уровню 0.95 равна 58.9 кГц, нижняя частота по уровню 0.05 равна 21 кГц.

Ширина спектра частот определяется по уровням 5% и 95% (рисунок 2.9) от полной энергии ФМК: $П_{ФМ} = 58.9e3 - 21e3 = 38$ кГц, что почти в два раза больше полосы частот, занимаемой АМК.

2.5.Частотно-модулированный сигнал

Фаза ЧМК вычисляется как интеграл от текущей частоты, изменяющейся по закону модулирующего колебания. Можно также вычислить интеграл от этого колебания и, умножив на масштабный коэффициент частотной модуляции, образовать полную фазу как сумму фаз несущей частоты и модулирующего сигнала. Фрагмент временной зависимости ЧМК показан на рисунке 2.10, а его амплитудный спектр – на рисунке 2.11.

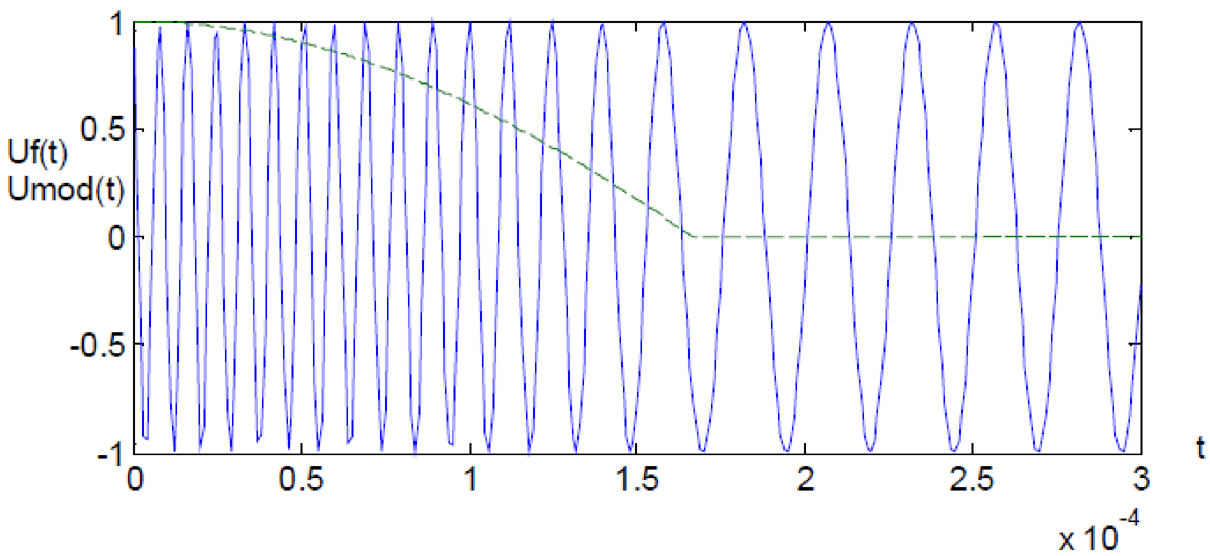

Рис.2.10 Осциллограмма частотно-модулированного колебания

```
Uo = 1; Um = 2; T = 1e-3;
Un = 1; Fn = 4e4;
Mf=500;
t=(0:1e-3:0.3)*1e-3;
Umod=cosinobn1(t,Um,T,Uo);
Psi=2*pi*Fn*t+Mf*1e-3*cumsum(Umod)';
Uf=Un*cos(Psi);
figure(1)
plot(t,Uf,t,Umod)
```

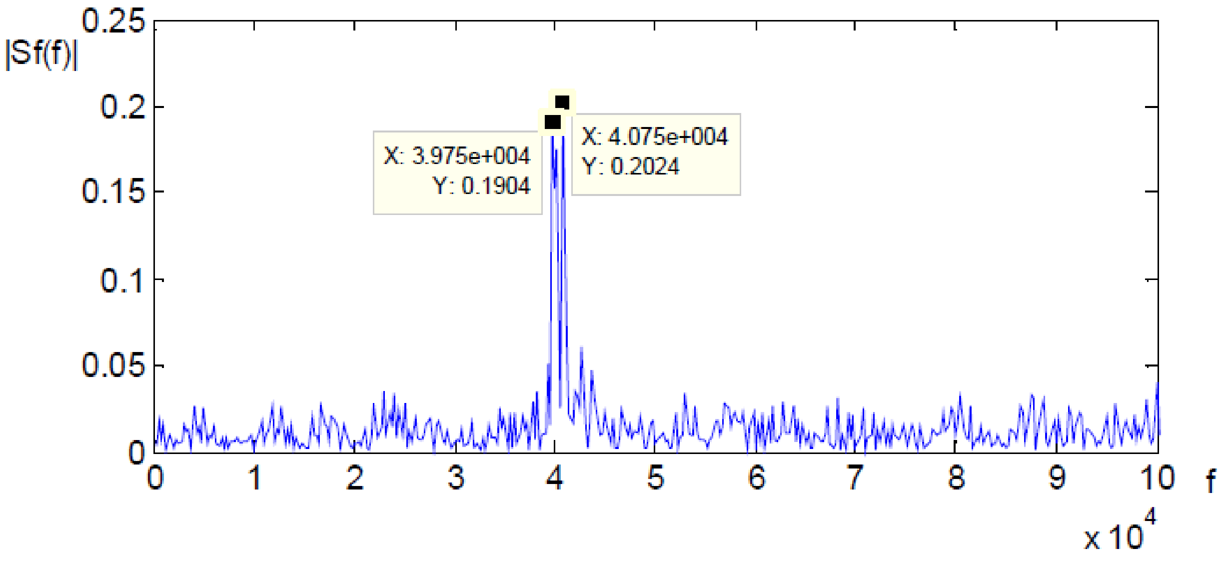

Рис.2.11 Амплитудный спектр частотно-модулированного колебания

Спектральные характеристики ЧМК вычисляются так же, как спектральные характеристики ФМК. Представление временной зависимости на четырёх периодах модуляции в 1024 точках даёт возможность с помощью БПФ определить спектр ЧМК и его энергетическую характеристику (рисунок 2.12).

```
K=1024; t=linspace(0,4*T,K);
df=1/(4*T);
Umod=cosinobn1(t,Um,T,Uo);
Psi=2*pi*Fn*t+Mf*cumsum(Umod)';
Ufh=Un*cos(Psi);
Sfh=fft(Ufh)/K;
figure(2)
plot(df*(1:512),abs(Sfh(1:512)))
```

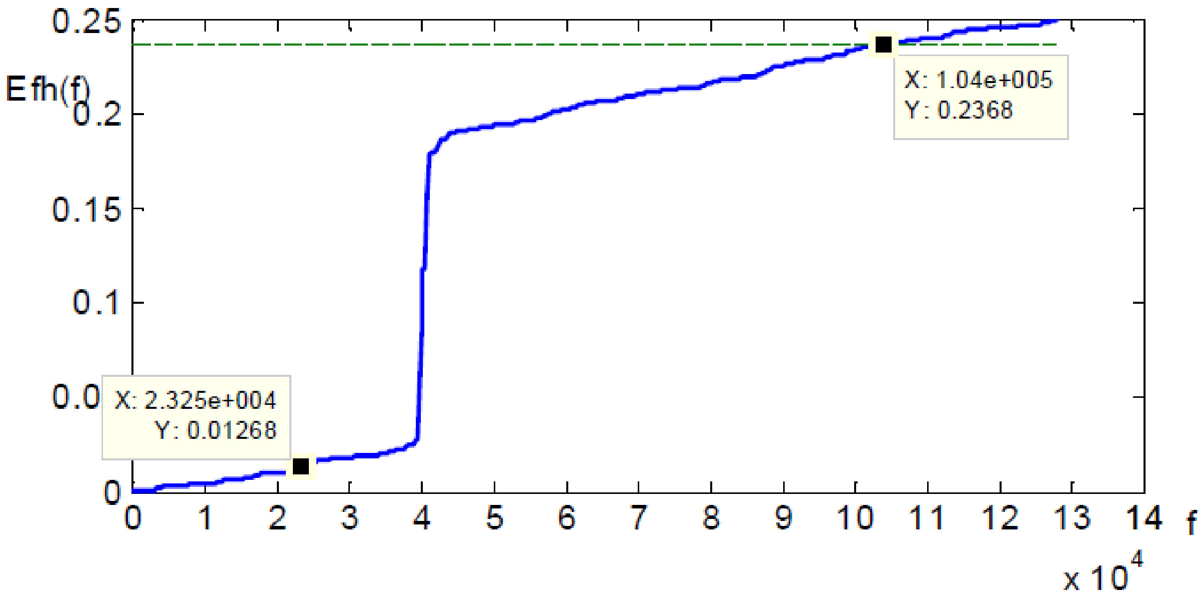

Рис.2.12 Энергетическая характеристика ЧМК

Энергетическая характеристика ЧМК находится по формуле:

$$Efs_{k1} := \sum_{j=0}^{k1} |Sfs_j|^2$$

Полная энергия ЧМК на периоде повторения равна:

$$Ef = \sum_{k1} Efs_{k1} = 249\ \text{В}^2 \cdot \text{мс}$$

Верхняя частота спектра ЧМК по уровню 0.95 равна 104 кГц, нижняя частота по уровню 0.05 равна 23.3 кГц. Ширина спектра частот определяется по уровням 5% и 95% от полной энергии ЧМК и равна: $П_{ФМ}$ = *(104 – 23.3)* = *81* кГц, что в четыре раза больше полосы частот, занимаемой АМК.

2.6.Определение интервала дискретизации

Амплитудно-модулированное колебание имеет энергетическую характеристику, ограниченную частотой 43 кГц. Следовательно, по теореме Котельникова интервал дискретизации АМК равен:

$$\Delta t_{\text{АМ}} = \frac{1}{2 \cdot F\text{в}_{\text{АМ}}} = 12\ \text{мкс.}$$

График амплитудно-модулированного колебания и его представления дискретным рядом Котельникова приведён на рисунке 2.13. На период модуляции приходится 86 дискретов, на период несущей – 2.15 дискрета.

Величины интервалов дискретизации угловых модулированных колебаний находятся аналогично:

$$\Delta t_{\text{ФМ}} = \frac{1}{2 \cdot F\text{в}_{\text{ФМ}}} = 8.5\ \text{мкс,} \quad \Delta t_{\text{ЧМ}} = \frac{1}{2 \cdot F\text{в}_{\text{ЧМ}}} = 4.8\ \text{мкс.}$$

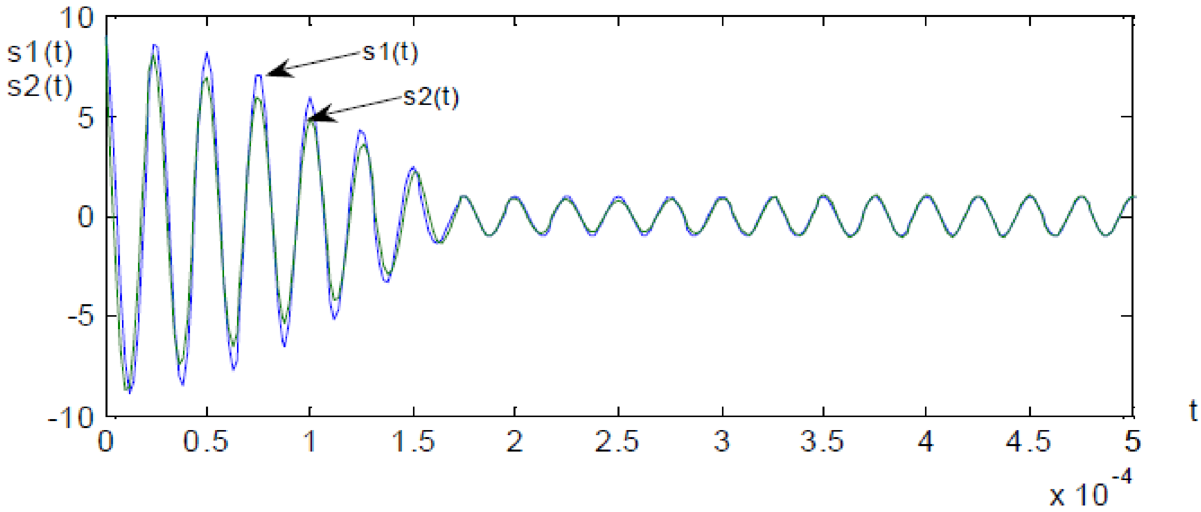

Рисунок 3.13 - АМК и его представление рядом Котельникова

```
Fb = 43e3;  DeltaT=1/(2*Fb);
t1=0:DeltaT:T; Us=AMK(t1,Un,Fn);
t=0:0.002*T:T;
for i=1:length(t)
    s2(i)=sum(Us.*sinc(2*Fb*(t(i)-t1)));
end
s1=AMK(t,Un,Fn); plot(t,s1,t,s2)
D=sqrt(sum((s1-s2).^2)/length(s1))/. . .
  sqrt(sum(s1.^2)/length(s1))
```

Относительная ошибка восстановления АМК при выбранном интервале дискретизации довольно велика и составляет более 25 %, хотя на графике отличия не так заметны.