

УДК 621.396.62

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИНТЕЗАТОРЫ СЕТКИ ЧАСТОТ
РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ МВ-ДКМ ДИАПАЗОНА.
ПРОГРАММА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕЛЕНИЯ ПО АЛГОРИТМУ ЕВКЛИДА**

© П.А. Федюнин, И.Т. Степаненко

Fedyunin P.A., Stepanenko I.T. Frequency net microprocessor synthesisers of metre- and decametre-range radio-receiving units. A programme for calculating coefficients of division using the Euclidus algorithm. The article contains a detailed account of the issue.

В настоящее время в радиоприемных устройствах радиостанций метрового и дециметрового диапазонов широкое применение находят многокольцевые синтезаторы косвенного (активного) синтеза. В таких схемах можно совместить малый шаг сетки, малую длительность переходных процессов в системе и высокие частоты выходных колебаний.

В многокольцевых синтезаторах, как и в синтезаторах с дополнительным преобразованием частоты в тракте анализа, появляются аналоговые элементы – смесители и полосовые фильтры. Это характерно для многих современных синтезаторов, т. к. проблему синтеза частот в широком диапазоне только цифровыми методами в настоящее время решить трудно. При построении синтезаторов применяются и цифровые, и аналоговые элементы на основе их рационального сочетания.

Решение противоречия между сокращением шага сетки частот и повышением быстродействия систем активного цифрового синтеза заключается в применении микропроцессоров в сочетании с некоторым допуском на отклонение синтезируемой частоты от ее номинального значения. Такой допуск позволяет использовать в кольце импульсно-фазовой автоматической подстройки (ИФАП) достаточно высокую частоту сравнения и этим обеспечить быстродействие. Но частота сравнения оказывается различной для различных синтезируемых частот, что создает сложную задачу ее выбора. Решить данную задачу можно путем применения микропроцессора.

Рассмотрим в качестве примера синтез частоты в диапазоне 12,8...14,9999 МГц при частоте опорного

генератора $f_0 = 5$ МГц с шагом сетки частот 10 Гц. Выберем из этой сетки случайную частоту $f_{\text{вых1}} = 129877430$ Гц. Для схемы рис. 1 $f_{\text{вых}} = Nf_{\text{эт}} = \frac{N}{m} f_0$.

При шаге сетки 10 Гц коэффициенты деления должны быть $N = 1298743$ и $m = 500000$. Частота сравнения в рассматриваемой схеме оказывается очень малой (10 Гц), а коэффициенты деления очень велики, так что делители получаются весьма сложными и длительность переходных процессов велика.

Поставленную задачу можно решить и по-другому, если заменить требуемое отношение коэффициентов N/m достаточно близким к нему другим. Например, если выбрать $N = 9299$, а $m = 3580$, то $f_{\text{вых1}} = 129877430$, 16759 Гц и отличается от требуемого значения всего на 0,16759 Гц. Относительная погрешность не превышает $1,29 \cdot 10^{-8}$, т. е. имеет такой же порядок, как погрешность хорошего опорного генератора. В ряде случаев такая погрешность вполне допустима. При данном техническом решении требуется частота сравнения, приблизительно равная 1,396 кГц, а коэффициенты деления не превышают 10 000.

Если выбрать данную случайную величину из требуемого диапазона, например $f_{\text{вых2}} = 13564570$ Гц ($f_{\text{вых2}} = \frac{1356457}{500000} f_0$), то для нее с погрешностью не более

$$2,44 \cdot 10^{-8} \text{ можно принять } f_{\text{вых2}} = \frac{5651}{2083} f_0 = 13564570,33125$$

Гц. Частота сравнения теперь приблизительно равна 2,4 кГц, а коэффициенты деления опять не превышают 10000.

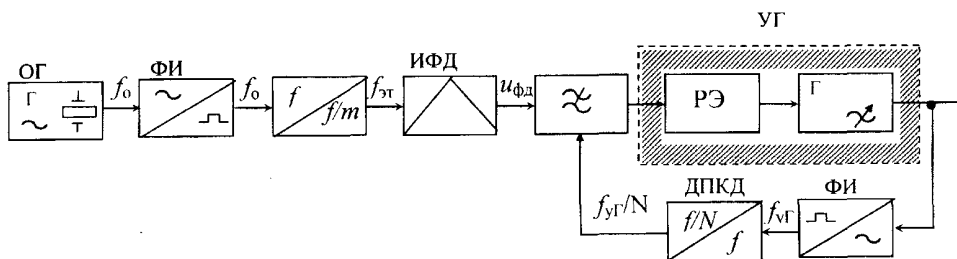


Рис. 1. Схема синтезаторов частот с ИФАП и делением в тракте анализа

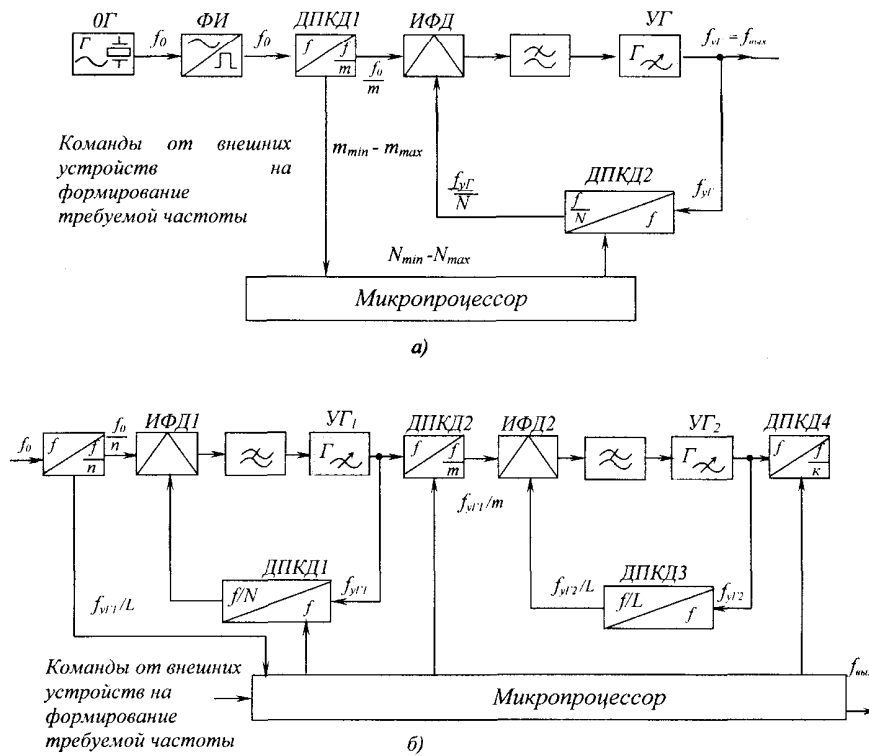


Рис. 2. Схема синтезатора с микропроцессором (активный цифровой синтез)

Частоты сравнения, необходимые для формирования $f_{\text{вых1}}$ и $f_{\text{вых2}}$, действительно оказываются неодинаковыми. Поэтому и между ОГ и ИФД должен быть включен ДПКД (рис. 2а). Выбор коэффициентов деления обоих делителей, необходимых для получения требуемых частот, сложен, и только использование микропроцессора позволит осуществить его достаточно быстро и без излишнего усложнения системы управления.

Принцип нахождения новых коэффициентов деления основан на использовании алгоритма Евклида, позволяющего представить любое рациональное число в виде конечной дроби. Такую дробь можно ограничить любым количеством звеньев и получить соответственно нулевое, первое, второе и т. д. приближения для величины N/m . Например, для частоты $f_{\text{вых1}}$

$$\frac{2}{1}, \frac{3}{1}, \frac{5}{2}, \frac{13}{5}, \frac{200}{77}, \frac{213}{82}, \frac{413}{159}, \frac{9299}{3580}, \frac{19011}{7319},$$

$$\frac{66332}{25537}, \frac{85343}{32856}, \frac{151675}{58393}, \frac{1298743}{500000}$$

для частоты $f_{\text{вых2}}$

$$\frac{2}{1}, \frac{3}{1}, \frac{8}{3}, \frac{19}{7}, \frac{274}{101}, \frac{567}{209}, \frac{2542}{937}, \frac{5651}{2083}, \frac{19495}{7181}$$

$$\frac{668481}{246407}, \frac{1356457}{500000}$$

В микропроцессор необходимо ввести данные о требуемом значении выходной частоты синтезатора и допустимых значениях N и m .

В ряде случаев рассмотренная простая схема цифрового синтезатора с микропроцессором (см. рис. 2а) не обеспечивает требуемой точности выходной частоты. Для устранения этого недостатка схему усложняют – используют два кольца ИФАП (рис. 2б). Частота выходных колебаний в такой схеме

$$f_{\text{вых}} = \frac{NL}{nm} f_0$$

Микропроцессор и в этой схеме по команде от внешних устройств на формирование требуемой частоты $f_{\text{вых}}$ определяет оптимальные коэффициенты деления делителей ДПКД1 – ДПКД4 при допустимых значениях коэффициентов n, N, m, L и k .

Нами разработана программа расчета коэффициентов деления микропроцессорного синтезатора частот по алгоритму Евклида, позволяющая с заданной точностью рассчитать коэффициенты деления ДПКД микропроцессорного синтезатора сетки частот (прилож.1).

Поступила в редакцию 4 ноября 2004 г.

**Программа расчета коэффициентов деления микропроцессорного синтезатора частот
по алгоритму Евклида**

```

unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Label3: TLabel;
    ListBox1: TListBox;
    ListBox2: TListBox;
    Button2: TButton;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Edit6: TEdit;
    Label2: TLabel;
    ListBox3: TListBox;
    ListBox4: TListBox;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.DFM}

// Программа расчета коэффициентов деления микропроцессорного
// синтезатора частот по алгоритму Евклида
// Ермаков К.С. Авиационные системы связи. М.: Монино, 1992.

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
Var
  A,B,F:Array[0..12] of Real;
  dF,Fmid,C,D:Array[0..12] of Real;
  i,j,n,k,m:integer;
  FLAG:boolean;
  f_min,f_max,F0:Real;
  F1,FE,Dd:real;
  new_freq,freq_srav:real;
  a_1,b_1,d_1,dF_1,dF_dop : real;
begin
  {Диапазон синтезируемых частот синтезатора}

  f_min:= 1.5*1000000;
  f_max:=31.5*1000000;

  FLAG:=False;
  //F1:=2000000;
  F1:= StrToFloat(edit1.text);

  If ((F1<f_min) OR (F1>f_max)) Then FLAG:=True;
  If (FLAG<>True) Then
    Begin

      F0:=5000000; {Частота опорного генератора Гиацинт-М}
      C[0]:=F1/F0; {Исходное отношение коэффициентов деления}
      F[0]:=Round(F1/F0);
      A[0]:=F[0];
      B[0]:=1;
    End;
  End;
end;

```

```

ListBox1.Clear;
ListBox2.Clear;
ListBox1.Items.Add('A'+FloatToStr(0)+'='+FloatToStr(A[0]));
ListBox2.Items.Add('B'+FloatToStr(0)+'='+FloatToStr(B[0]));

For n:=1 to 12 do
  Begin
    C[n]:=1/(C[n-1]-F[n-1]);
    F[n]:=Round(C[n]);
    If (n<>1) Then
      Begin
        a_1:=A[n-1]; b_1:=B[n-1];
        A[n]:=A[n-1]*F[n] + A[n-2];
        B[n]:=B[n-1]*F[n] + B[n-2];
        D[n]:=F1-F0*A[n]/B[n];
        Fmid[n]:=F1/A[n];
        dF[n]:=Abs(D[n])/F1;

        ListBox1.Items.Add('A'+FloatToStr(n)+'='+FloatToStr(abs(A[n])));
        ListBox2.Items.Add('B'+FloatToStr(n)+'='+FloatToStr(abs(B[n])));
        ListBox1.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(n)+'='+FloatToStr(dF[n]));
        ListBox2.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(n)+'='+FloatToStr(dF[n]));
        writeln('A',n,' = ',abs(A[n]));
        writeln('B',n,' = ',abs(B[n]));
        writeln('Относительная погрешность dF',n,' = ',dF[n]);

        if (Abs(D[n])<0.00001) Then FLAG:=True;
        If (A[n]>9999) OR (B[n]>9999) Then FLAG:=True;
        If (Abs(D[n])<0.00001) Then FLAG:=True;

      end;

    If (FLAG=True) Then Break;

    If (n-1) Then
      Begin
        A[1]:=A[0]*F[1] + 1;
        B[1]:=F[n];
        Dd:=F1 - F0*A[1]/B[1];
        dF[1]:=Abs(Dd)/F1;

        ListBox1.Items.Add('A'+FloatToStr(1)+'='+FloatToStr(abs(A[1])));
        ListBox2.Items.Add('B'+FloatToStr(1)+'='+FloatToStr(abs(B[1])));
        ListBox1.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(1)+'='+FloatToStr(dF[1]));
        ListBox2.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(1)+'='+FloatToStr(dF[1]));
        writeln('A',1,' = ',abs(A[1]));
        writeln('B',1,' = ',abs(B[1]));
        writeln('dF',1,' = ',dF[1]);

      end;

    end;

  end;

end;

If b_1<>0 Then d_1 :=F1-F0*a_1/b_1;

dF_1:=Abs(d_1)/F1;
edit2.text := 'a_1 = ' +floattostr(a_1)+ ' b_1 = ' +floattostr(b_1)+dF_1= ' +floattostr(dF_1);
edit3.text := 'Абс.погр.=' + floattostr(d_1); {для определения знака погрешности}

dF_dop:=F1*0.0000001;
edit4.text := 'Абс.погр.(доп)= ' + floattostr(dF_dop); {}

new_freq := F1 + dF_dop;
edit5.Text:=floattostr(new_freq);

//   ВТОРОЕ КОЛЬЦО
//   Частота на выходе new_freq
//   Частота сравнения
freq_srav := new_freq*b_1/a_1;
edit6.Text:=floattostr(freq_srav);
//

//   F1 := new_freq;
F1 := freq_srav;

//   If ((F1<f_min) OR (F1>f_max)) Then FLAG:=True;
FLAG:=False;
If (FLAG<>True) Then
  Begin

```

```

F0:=5000000; {Частота опорного генератора Гиацинт-М}
C[0]:=F1/F0; {Исходное отношение коэффициентов деления}
F[0]:=Round(F1/F0);
A[0]:=F[0];
B[0]:=1;

ListBox3.Clear;
ListBox4.Clear;
ListBox3.Items.Add('A'+FloatToStr(0)+'=''+FloatToStr(A[0]));
ListBox4.Items.Add('B'+FloatToStr(0)+'=''+FloatToStr(B[0]));

For n:=1 to 12 do
  Begin
    C[n]:=1/(C[n-1]-F[n-1]);
    F[n]:=Round(C[n]);
    If (n>1) Then
      Begin
        a_1:=A[n-1]; b_1:=B[n-1];
        A[n]:=A[n-1]*F[n] + A[n-2];
        B[n]:=B[n-1]*F[n] + B[n-2];
        D[n]:=F1-F0*A[n]/B[n];
        Fmid[n]:=F1/A[n];
        dF[n]:=Abs(D[n])/F1;

        ListBox3.Items.Add('A'+FloatToStr(n)+'=''+FloatToStr(abs(A[n]));
        ListBox4.Items.Add('B'+FloatToStr(n)+'=''+FloatToStr(abs(B[n]));
        ListBox3.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(n)+'=''+FloatToStr(dF[n]);
        ListBox4.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(n)+'=''+FloatToStr(dF[n]);
        writeln('A',n,' = ',abs(A[n]));
        writeln('B',n,' = ',abs(B[n]));
        writeln('Относительная погрешность dF',n,' = ',dF[n]);

        //
        //
        //
        //
        if (Abs(D[n])<0.00001) Then FLAG:=True;
        If (A[n]>9999) OR (B[n]>9999) Then FLAG:=True;
        If (Abs(D[n])<0.00001) Then FLAG:=True;

        end;

      If (FLAG=True) Then Break;

    If (n=1) Then
      Begin
        A[1]:=A[0]*F[1] + 1;
        B[1]:=F[1];
        Dd:=F1 - F0*A[1]/B[1];
        dF[1]:=Abs(Dd)/F1;

        ListBox3.Items.Add('A'+FloatToStr(1)+'=''+FloatToStr(abs(A[1]));
        ListBox4.Items.Add('B'+FloatToStr(1)+'=''+FloatToStr(abs(B[1]));
        ListBox3.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(1)+'=''+FloatToStr(dF[1]);
        ListBox4.Items.Add('ОП dF'+FloatToStr(1)+'=''+FloatToStr(dF[1]);
        writeln('A',1,' = ',abs(A[1]));
        writeln('B',1,' = ',abs(B[1]));
        writeln('dF',1,' = ',dF[1]);

        //
        //
        //
        end;

      end;

    end;

  end;

end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  close;
end;

end.

```