

## UR4UDT

### Синтезатор частоты с перестраиваемым опорным генератором.

$F_{\text{ВЫХ}} \leftarrow [VFO] \rightarrow [ :N \rightarrow \Phi Д \leftarrow :M ] \leftarrow [ОГ] \leftarrow [ЦАП] \leftarrow \text{код частоты } [L]$

При заданной частоте сравнения в фазовом детекторе (около 10 кГц), частота на выходе VFO будет равна:

$$F_{\text{ВЫХ}} = F_{\text{оп}} \times N / M \quad (1)$$

С другой стороны выходную частоту можно представить суммой частот в десятках кГц и единиц Гц:

$$F_{\text{ВЫХ}} = F_{\text{к}} + F_{\text{г}} \quad (2)$$

Частота опорного генератора (ОГ) есть сумма частоты при нулевой расстройке ( $F_0$ ) и некоторого отклонения ( $dF_0$ ), которое зависит от кода частоты расстройки ( $L$ ):

$$F_{\text{оп}} = F_0 + dF_0 \quad (3)$$

Формулу (3), используя (1) и (2) преобразуем к виду:

$$F_{\text{оп}} = F_{\text{ВЫХ}} \times M / N = F_{\text{к}} \times M / N + F_{\text{г}} \times M / N \quad (4)$$

где:

$$F_0 = F_{\text{к}} \times M / N \quad (5)$$

$$dF_0 = F_{\text{г}} \times M / N = dF_{\text{омах}} \times L / 255 \quad (6)$$

где  $dF_{\text{омах}}$  – отклонение частоты ОГ при коде частоты 255.

Из (5) и (6) находим коэффициент деления выходной частоты ( $N$ ) и код частоты расстройки опорного генератора ( $L$ ):

$$N = F_{\text{к}} \times M / F_0 \quad (7)$$

$$L = dF_0 \times 255 / dF_{\text{омах}} = (F_{\text{г}} \times M \times 255) / (N \times dF_{\text{омах}}) \quad (8)$$

$$dF_{\text{омах}} = (10000 \times 255 \times M) / (256 \times N \times \nu_u) \quad (9)$$

где  $\nu_u = F_{\text{minVFO}} / 10000$ ,  $F_{\text{minVFO}}$ -минимальная частота VFO, присутствующего в синтезе частот (в Гц).

\*\*\*\*\*

Посмотрим на реальном примере:

1. Частота опорного генератора (ОГ) при нулевой расстройке равна 7200 кГц.

Минимальная частота VFO равна 40 МГц, частота сравнения в ФД около 10 кГц, тогда

$$M = 7\,200\,000 / 10\,000 = 720$$

$$N_u = 40\,000\,000 / 10\,000 = 4\,000$$

$$dF_{\text{омах}} = (10000 \times 255 \times 720) / (256 \times 4000) = 1793 \text{ Гц}$$

2. По частотомеру устанавливается частота кварцевого генератора ( $F_0$ ) 7 200 000 Гц при минимальном напряжении на выходе ЦАП ( $L=0$ ) и 7 201 793 Гц при максимальном напряжении на выходе ЦАП ( $L=255$ ).

3. Коэффициент деления выходной частоты ( $N$ ) будет численно равен значению частоты VFO в десятках килогерц.

4. Формула для расчета кода частоты расстройки опорного генератора упростится:

$$L = (F_{\text{г}} / N) \times 720 \times 255 / 1793 = (F_{\text{г}} / N) \times 102,4 \quad (10)$$

Максимальное значение  $L$  для диапазона 40 МГц будет составлять 255, а для диапазона 120 МГц всего 85!

5. Используя (1-6) получим формулу для вычисления выходной частоты:

$$F_{\text{ВЫХ}} = N \times (7\,200\,000 + 1793 \times L / 255) / 720 \quad (11)$$

Эта формула не используется в программе, но позволяет оценить шаг перестройки частоты на разных диапазонах.

Для диапазона 40 МГц:

$$F_0 = 4000 \times (7\,200\,000 + 1793 \times 0 / 255) / 720 = 40\,000\,000 \text{ Гц}$$

$$F_1 = 4000 \times (7\,200\,000 + 1793 \times 1 / 255) / 720 = 40\,000\,039 \text{ Гц}$$

И шаг перестройки частоты составит 39 Гц.

Для диапазона 120 МГц:

$$F_0 = 12000 \times (7\,200\,000 + 1793 \times 0 / 255) / 720 = 120\,000\,000 \text{ Гц}$$

$$F_1 = 12000 \times (7\,200\,000 + 1793 \times 1 / 255) / 720 = 120\,000\,117 \text{ Гц}$$

И шаг перестройки частоты составит 117 Гц.

6. Алгоритм расчета коэффициента деления выходной частоты (N) и кода частоты расстройки опорного генератора (L) может быть реализован двумя путями: с использованием десятичной арифметики (нужно писать процедуру поразрядного сложения и вычитания) или с использованием обычной 32-битной арифметики.

Последний вариант, на мой взгляд, предпочтительней по компактности кода.

7. Предлагаю следующий алгоритм.

7.1. В режиме приема (RX) получить частоту сигнала [32; 38; 37; 36; 35; 34; 33; 32 – в ASCII], наличие расстройки (RIT), ее частоту и знак [допустим “-“ 35; 34; 33; 32; 31].

7.2. Преобразовать каждый разряд вычитанием 30 [28 765 432] и перевести в 16-ричный код путем умножения каждого разряда на его “десятичный вес” [ 0 x 01 B6 EC F8 ].

7.3. Добавить величину промежуточной частоты PowerSDR (например 10 кГц) [ 0 x 01 B6 EC F8 + 0 x 27 10 = 0 x 01 B7 14 08 ].

7.4. Если включена расстройка, то прибавить или отнять значение частоты расстройки [0 x 01 B7 14 08 - 0 x D4 31 = 0 x 01 B6 3F D7].

7.5. Два старших байта используем для определения диапазонов ДПФ и VFO.

7.6. Умножим частоту на 4, используя два сдвига влево [0 x 01 B6 3F D7 x 0 x 04 = = 0 x 06 D8 FF 5C].

7.7. Находим коэффициент деления выходной частоты (N) делением на 10 000 [0 x 06 D8 FF 5C / 0 x 27 10 = 0 x 2C E0 и остаток 0 x 11 5C] Полученное значение (0 x 2CE0) заносим в ИМС синтезатора (LC72131).

7.8. Остаток от деления используем для расчета кода частоты расстройки опорного генератора:  $L = 4444 \times 102,4 / 11488 = 40$  (0x28).

Значение 0x28 заносим в ИМС ЦАП 74НС595.

8. Частота на выходе VFO составит:

$$F_{\text{вых}} = 11488 \times (7\,200\,000 + 1793 \times 40 / 255) / 720 = 114\,884\,488 \text{ Гц.}$$

Учитывая умножение на 4 и частоту ПЧ, получим частоту приема:

$$114\,884\,488 / 4 - 10\,000 = 28\,711\,122 \text{ Гц.}$$

В программе PowerSDR установлено:  $28\,765\,432 - 54\,321 = 28\,711\,111 \text{ Гц.}$

Таким образом погрешность установки частоты составит -11 Гц.

8. Аналогично производим все вычисления в режиме передачи (TX), учитывая значение ХИТ и VFO А или В, без учета ПЧ.

73 ! Валерий.