

УДК 621.317

**С.Р. Зиборов, доцент, канд. техн. наук,***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053,**E-mail: sergey.ziborov@gmail.com***ГЕНЕРАТОР ДИСКРЕТНОГО 1/N-ОКТАВНОГО СПЕКТРА**

*Предложен принцип построения генератора дискретного 1/n-октавного спектра, составляющие которого имеют частоты, близкие к предпочтительным, и образуются путем деления частоты одного опорного генератора, что обеспечивает синхронность и высокую стабильность частоты составляющих спектра с интервалом 1/2, 1/3, 1/6 и 1/12 октавы.*

**Ключевые слова:** генератор, дискретный спектр, октава, декада, синхронный, делитель частоты, опорный генератор.

При выполнении акустических измерений используются сигналы с частотами предпочтительных рядов, установленных ГОСТ 12090-80 [1]. В этой связи возникает необходимость в разработке генераторов сигналов с дискретным эталонным спектром, составляющие которого имеют частоты предпочтительных рядов с интервалом между частотами 1/2, 1/3, 1/6 и 1/12 октавы. Необходимость в таких генераторах возникает не только при настройке и проверке анализаторов спектра, но и при проведении акустических исследований, изучении вибрации объектов, диагностическом контроле работающих механизмов и т.п.

Целью работы является обоснование принципа построения генератора сигнала с дискретным спектром, удовлетворяющим следующим требованиям:

- значения частот должны соответствовать одному из предпочтительных рядов, установленных ГОСТ 1209-80;
- отклонение частот составляющих спектра от значений предпочтительного ряда не должна превышать 2 %, что допускается ГОСТ 1209-80;
- все составляющие спектра должны быть синхронизированы с выходным сигналом одного высокостабильного опорного генератора.

Синхронизация составляющих дискретного спектра обеспечивает возможность формирования и наблюдения формы сигнала во временной области.

Основными способами, позволяющими получить синхронизированные гармонические сигналы различной частоты, являются: деление и умножение частоты опорного генератора, а также преобразование частоты опорного генератора с использованием фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ) [2], то есть путем косвенного синтеза частоты.

Основным достоинством деления частоты являются: возможность использования цифровых делителей частоты, недостатками которых являются негармонический вид их выходных сигналов, а также сложность реализации деления частоты в нецелое число раз.

Умножение частоты гармонических сигналов при целочисленных коэффициентах умножения (не более пяти) реализуется достаточно просто и обеспечивает синусоидальную форму выходного сигнала умножителя [2]. Однако при больших коэффициентах умножения данная операция реализуется сложнее операции деления.

В этом отношении представляет интерес комбинированный способ формирования спектра, при котором одни составляющие дискретного спектра получают путем деления, а другие — путем умножения.

Преобразование частоты с использование системы ФАПЧ отличается сложностью схемотехнической реализации, а также отсутствием долговременной стабильности начальных фаз полученных составляющих спектра, поскольку система ФАПЧ обеспечивают подстройку частоты с точностью до фазы [2].

Обычно при установлении градаций и отдельных значений параметров различных технических объектов и средств измерения используются ряды предпочтительных чисел, установленные ГОСТ 8032-84 [3] и представляющие собой члены геометрической прогрессии со знаменателем

$$q_m = \sqrt[m]{10}, \quad (1)$$

где  $m = 5, 10, 20, 40, 80$  и  $160$  — число значений, образующих одну декаду.

Поскольку при образовании рядов предпочтительных чисел за максимальный интервал кратности чисел принята декада, то такой принцип образования рядов далее называется декадным и сами ряды — 1/m-декадными рядами.

В таблице 1 приведены значения знаменателей прогрессий и интервалов между соседними числами предпочтительных рядов, соответствующие различным значениям  $m$ .

Таблица 1 — Знаменатели и интервалы между соседними числами  $1/m$ -декадных рядов при различных значениях  $m$

| $m$ | Обозначение ряда | Знаменатель ряда                | Интервал между соседними частотами, декада |
|-----|------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 5   | $R5$             | $\sqrt[5]{10} \approx 1,58489$  | 1/5                                        |
| 10  | $R10$            | $\sqrt[10]{10} \approx 1,25892$ | 1/10                                       |
| 20  | $R20$            | $\sqrt[20]{10} \approx 1,12202$ | 1/20                                       |
| 40  | $R40$            | $\sqrt[40]{10} \approx 1,05925$ | 1/40                                       |

Предпочтительные числа, которые меньше или больше чисел исходной декады ряда образуются путем умножения чисел этой декады на  $10^k$ , где  $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Однако при исследовании акустических колебаний, вибрации и т.п. традиционно используется деление частотного диапазона на октавы (двукратное изменение частоты) и ее доли (1/2, 1/3, 1/6, 1/12 октавы), в соответствии с которым образуются ряды частот в виде геометрических прогрессий со знаменателем

$$q_n = \sqrt[n]{2}, \quad (2)$$

где  $n = 1, 2, 3, 6$  — число частот, образующих одну октаву.

В таблице 2 приведены значения знаменателей прогрессий и интервалов между соседними числами предпочтительных рядов, получаемых в соответствии с октавным принципом при различных значениях  $n$ .

Таблица 2 — Знаменатели и интервалы между соседними частотами  $1/n$ -октавных рядов при различных значениях  $n$

| $n$ | Обозначение ряда | Знаменатель ряда               | Интервал между соседними частотами, октава |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| 1   | $B1$             | 2                              | 1                                          |
| 2   | $B2$             | $\sqrt{2} \approx 1,41421$     | 1/2                                        |
| 3   | $B3$             | $\sqrt[3]{2} \approx 1,25992$  | 1/3                                        |
| 6   | $B6$             | $\sqrt[6]{2} \approx 1,12246$  | 1/6                                        |
| 12  | $B12$            | $\sqrt[12]{2} \approx 1,05946$ | 1/12                                       |

Поскольку в данном случае при образовании рядов часто за максимальный интервал кратности чисел принята октава, то такой принцип образования рядов далее называется октавным, а сами ряды —  $1/n$ -октавными рядами.

Сравнивая знаменатели геометрических прогрессий  $1/m$ -декадных и  $1/n$ -октавных рядов (см. таблицу 1 и таблицу 2), видно, что знаменатели рядов  $R10$ ,  $R20$ ,  $R40$  близки к знаменателям рядов  $B3$ ,  $B6$ ,  $B12$  соответственно. Для рядов  $R10$ ,  $B3$  относительное отклонение знаменателей этих рядов друг от друга не превышает 0,08 %, для рядов  $R20$ ,  $B6$  — 0,04 % и для рядов  $R40$ ,  $B12$  — 0,02 %. Малые значения отклонений свидетельствуют о том, что если в рядах каждой из указанных пар выбрать точно совпадающие значения, то отклонение последующих членов этих рядов друг от друга увеличивается достаточно медленно. Поэтому в указанных парах рядов члены одного ряда могут быть заменены с допустимой погрешностью членами другого ряда.

Покажем это на примере рядов  $R20$  и  $B6$ . Если любой член ряда  $B6$  условно принять за единицу, то 53-й член этого ряда с учетом (2) будет равен  $A_{53B} = (\sqrt[6]{2})^{53} \approx 456,140$ . Рассчитанный аналогичным образом 53-й член ряда  $R20$  с учетом (1) будет равен  $A_{53R} = (\sqrt[20]{10})^{53} \approx 446,683$ . Отклонение найденных членов двух рядов друг от друга составляет

$$\delta = \frac{A_{53B} - A_{53R}}{A_{53R}} \approx \frac{456,140 - 446,683}{446,683} \approx 0,021,$$

то есть около 2 %.

Полученный результат показывает, что в пределах  $N = 53/6 \approx 9$  октав значения предпочтительных частот ряда R20 могут быть заменены значениями частот ряда B6 с погрешностью не более 2 %, что допускается ГОСТ 12090-80. Можно показать, что аналогичный результат имеет место и для других пар рядов.

Поскольку среди значений предпочтительных частот присутствуют как десятично-взвешенные числа, так и числа, близкие к двоично-взвешенным, то поиск принципа построений генератора 1/n-октавного спектра был направлен, в первую очередь, на исследование возможности получения нужных частот путем десятичного и двоичного деления частоты одного опорного генератора.

С этой целью предпочтительные частоты, установленные ГОСТ 12090-80, были сгруппированы так, чтобы выделить группы частот, близкие к 1-октавным рядам. Указанные группы частот в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц представлены в строках таблицы 3.

Таблица 3 — Предпочтительные частоты близкие к 1/6-октавному спектру в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц, сгруппированные по 1-октавному принципу

| №  | Частота, Гц |     |     |     |      |      |      |      | Частота, кГц |      |      |     |     |
|----|-------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------------|------|------|-----|-----|
| 3  | 20          | 40  | 80  | 160 | 315  | 630  | 1250 | 2500 | 5            | 10   | 20   | 40  | 80  |
| 4  | 22,4        | 45  | 90  | 180 | 355  | 710  | 1400 | 2800 | 5,6          | 11,2 | 22,4 | 45  | 90  |
| 5  | 25          | 50  | 100 | 200 | 400  | 800  | 1600 | 3150 | 6,3          | 12,5 | 25   | 50  | 100 |
| 6  | 28          | 56  | 112 | 224 | 450  | 900  | 1800 | 3550 | 7,1          | 14   | 28   | 56  | 112 |
| 7  | 31,5        | 63  | 125 | 250 | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8            | 16   | 31,5 | 63  | 125 |
| 8  | 35,5        | 71  | 140 | 280 | 560  | 1120 | 2240 | 4500 | 9            | 18   | 35,5 | 71  | 140 |
| 9  | 40          | 80  | 160 | 315 | 630  | 1250 | 2500 | 5000 | 10           | 20   | 40   | 80  | 160 |
| 10 | 45          | 90  | 180 | 355 | 710  | 1400 | 2800 | 5600 | 11,2         | 22,4 | 45   | 90  | 180 |
| 11 | 50          | 100 | 200 | 400 | 800  | 1600 | 3150 | 6300 | 12,5         | 25   | 50   | 100 | 200 |
| 12 | 56          | 112 | 224 | 450 | 900  | 1800 | 3550 | 7100 | 14           | 28   | 56   | 112 |     |
| 13 | 63          | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 16           | 31,5 | 63   | 125 |     |
| 14 | 71          | 140 | 280 | 560 | 1120 | 2240 | 4500 | 9000 | 18           | 35,5 | 71   | 140 |     |

Максимальную частоту каждой такой группы можно рассматривать как образующую, так как частоты, составляющие группу, могут быть получены путем последовательного двоичного деления этой частоты. В качестве оптимальных образующих частот целесообразно выбирать такие, которые позволяют получить наибольшее число частот, значения которых точно совпадают с предпочтительными числами.

Из таблицы 3 видно, что в качестве оптимальных образующих частот целесообразно выбрать следующие десятично-взвешенные частоты:

- частоты: 160 Гц, 1,6 кГц, 16 кГц и 160 кГц, каждая из которых кратна 16 и позволяет получить 8 частот, точно совпадающих с предпочтительными;
- частоты: 180 Гц, 1,8 кГц, 18 кГц и 180 кГц, каждая из которых кратна 18 и позволяет получить 3 частоты, точно совпадающих с предпочтительными.

Поскольку в таблице 3 встречаются повторяющиеся частоты, то серым цветом выделены частоты, образующие полный 1/6-октавный ряд.

Чтобы оценить погрешность замены предпочтительных частот, указанных в таблице 3, точными частотами 1/6-октавного спектра, была составлена таблица 4, в каждой строке которой записан точный 1-октавный ряд частот, полученный путем последовательного деления на два оптимальной образующей частоты, соответствующей данному ряду.

Расчеты показали, что число частот в каждом 1-октавном ряду таблицы 4 не может превышать 10, поскольку начиная с 11-го значения отклонение частот точного 1-октавного ряда от предпочтительных частот превышает допустимое значение 2 %. Следует отметить, если из таблицы 4 исключить четные строки, то оставшиеся частоты образуют 1/3-октавный спектр в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц

Десятично-взвешенные образующие частоты кратные 16 можно получить путем последовательного деления на 10 частоты 160 кГц, а десятично-взвешенные образующие частоты кратные 18 — путем последовательного деления на 10 частоты 180 кГц. В свою очередь, для получения частот 160 кГц и 180 кГц потребуется опорный генератор, частота которого должна быть кратна как 160 кГц, так и 180 кГц. Из таблицы 4 видно, что через каждые две строки образующие частоты повышаются в 10 раз. Поэтому частот, записанных в 9-й и 10-й строках, можно получить путем последовательного деления на два образующих частот 1,6 МГц и 1,8 МГц, а частот, записанных в 11-й и 15-й строках, — последовательного деления на два образующих частот  $f_{1\max} = 16$  МГц и  $f_{2\max} = 18$  МГц соответственно.

Таблиця 4 — Точные частоты 1/6-октавного спектра в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц, сгруппированные по 1-октавному принципу

| №  | Частота, Гц |       |       |       |       |      |      |      | Частота, кГц |       |       |       |     |
|----|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------------|-------|-------|-------|-----|
| 1  | 20          | 40    | 80    | 160   |       |      |      |      |              |       |       |       |     |
| 2  | 22,5        | 45    | 90    | 180   |       |      |      |      |              |       |       |       |     |
| 3  | 25          | 50    | 100   | 200   | 400   | 800  | 1600 |      |              |       |       |       |     |
| 4  | 28,12       | 56,25 | 112,5 | 225   | 450   | 900  | 1800 |      |              |       |       |       |     |
| 5  | 31,25       | 62,5  | 125   | 250   | 500   | 1000 | 2000 | 4000 | 8            | 16    |       |       |     |
| 6  | 35,15       | 70,31 | 140,6 | 281,2 | 562,5 | 1125 | 2250 | 4500 | 9            | 18    |       |       |     |
| 7  |             |       | 156,2 | 312,5 | 625   | 1250 | 2500 | 5000 | 10           | 20    | 40    | 80    | 160 |
| 8  |             |       | 175,7 | 351,5 | 703,1 | 1406 | 2812 | 5625 | 11,25        | 22,5  | 45    | 90    | 180 |
| 9  |             |       |       |       |       | 1562 | 3125 | 6250 | 12,5         | 25    | 50    | 100   | 200 |
| 10 |             |       |       |       |       | 1757 | 3515 | 7031 | 14,06        | 28,12 | 56,25 | 112,5 |     |
| 11 |             |       |       |       |       |      |      |      | 15,62        | 31,25 | 62,5  | 125   |     |
| 12 |             |       |       |       |       |      |      |      | 17,57        | 35,15 | 70,31 | 140,6 |     |

Примечание. Значения частот, приведенные в таблице, указаны с точностью до 4-й значащей цифры.

Для определения частоты опорного генератора раскладываем значения частот  $f_{1\max}$  и  $f_{2\max}$  на простые сомножители  $f_{1\max} = 2 \cdot 8 \cdot 10^6$ ,  $f_{2\max} = 2 \cdot 9 \cdot 10^6$  и находим общие множители  $a_1 = 2$ ,  $a_2 = 10^6$ . Тогда частота опорного генератора определяется как наименьшее общее кратное двух чисел по формуле

$$f_{01} = \frac{f_{1\max} f_{2\max}}{a_1 a_2} = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot 18 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5} = 144 \text{ МГц}. \quad (1)$$

Полученный результат показывает, что получение всех частот спектра путем деления одной опорной частоты требует использования достаточно высокочастотных опорного генератора и делителей частоты.

Образующие частоты 125 кГц, 140,6 кГц, указанные в двух нижних строках таблицы 4, могут быть получены путем умножения на 5 более низких частот 25 кГц, 28,12 кГц соответственно. При этом 1/6-октавный спектр формируется комбинированным способом, что позволяет понизить частоту опорного генератора до 14,4 МГц, а максимальные образующие частоты — до 1,6 МГц и 1,8 МГц, для получения которых потребуются делители частоты с коэффициентами деления  $N_1 = 14,4 \cdot 10^6 / 1,6 \cdot 10^6 = 9$  и  $N_2 = 14,4 \cdot 10^6 / 1,8 \cdot 10^6 = 8$  соответственно. При использовании в качестве делителей частоты двоичных счетчиков их выходные сигналы близки по форме к меандру, спектр которого состоит только из нечетных гармоник [4]. В этом случае умножение частоты на 5 может быть реализовано путем выделения 5-й гармоники из спектра меандра. При необходимости деления частоты выделенной 5-й гармоники она может быть преобразована снова в меандр с помощью усилителя-ограничителя.

Функциональная схема блока делителей частоты, построенного в соответствии с рассмотренным выше комбинированным способом формирования спектра, изображена на рисунке 1.

Блок состоит из набора делителей частоты, коэффициенты деления которых указаны на рисунке 1 и двух умножителей частоты с коэффициентом умножения, равным 5. Каждый умножитель частоты состоит из полосно-пропускающего фильтра ПФ, выделяющего пятую гармонику входного сигнала, и ограничителя амплитуды ОА. На вход блока поступает сигнал с частотой 14,4 МГц. Выходные сигналы блока представляют собой меандры с частотами дискретного 1/6-октавного спектра.

На рисунке 2 показана структурная схема генератора 1/6-октавного спектра.

Сигнал опорного генератора ОГ с частотой 14,4 МГц подается на блок делителей частоты БДЧ, который обеспечивает заданные коэффициенты деления частоты опорного сигнала (см. рисунок 2). Блок управления БУ позволяет производить начальную установку состояния делителей частоты, входящих в состав БДЧ, и при необходимости изменять эти состояния в процессе работы генератора. Изменения состояния делителей частоты позволяет сдвигать начальные фазы гармоник генерируемого спектра на  $\pm 180^\circ$ , что существенно влияет на форму выходного сигнала генератора. Полосно-пропускающие фильтры ПФ<sub>1</sub>, ..., ПФ<sub>89</sub> выделяют первые гармоники выходных сигналов блока делителей частоты. Регулируемые аттенюаторы РА<sub>1</sub>, ..., РА<sub>89</sub> и фазовращатели РФ<sub>1</sub>, ..., РФ<sub>89</sub> позволяют осуществлять раздельную регулировку амплитуд и начальных фаз гармоник спектра. Первый сумматор складывает гармоники 1/3-октавного спектра, частоты которых указаны в нечетных строках таблицы 2. Второй сумматор складывает гармоники, дополняющие 1/3-октавный спектр до 1/6-октавного (см. значения



Для генерирования 1/12-октавного спектра необходимо 1/6-октавный спектр дополнить частотами, значения которых соответствуют ряду предпочтительных чисел  $R_{40}$ . В качестве примера в таблице 5 приведены значения частот 1/12-октавного спектра в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. В таблице 5 упомянутые выше дополнительные частоты сгруппированы аналогично остальным частотам спектра и, кроме того, выделены цветом. Отклонение значений частот, указанных в таблице 5, от предпочтительных чисел, установленных ГОСТ 8032-84, не превышает 2 %.

Таблица 5 — Частоты 1/12-октавного спектра в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц, сгруппированные по 1-октавному принципу

| №  | Частота, Гц |       |       |        |        |        |        |      |       |       |
|----|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| 1  |             | 30    | 60    |        |        |        |        |      |       |       |
| 2  | 18,75       | 37,5  | 75    | 150    | 300    | 600    |        |      |       |       |
| 3  | 20          | 40    | 80    | 160    |        |        |        |      |       |       |
| 4  | 21,25       | 42,5  | 85    | 170    |        |        |        |      |       |       |
| 5  | 22,5        | 45    | 90    | 180    |        |        |        |      |       |       |
| 6  | 23,43       | 46,87 | 93,75 | 187,5  | 375    | 750    | 1500   | 3000 | 6000  |       |
| 7  | 25          | 50    | 100   | 200    | 400    | 800    | 1600   |      |       |       |
| 8  | 26,56       | 53,12 | 106,2 | 212,5  | 425    | 850    | 1700   |      |       |       |
| 9  | 28,12       | 56,25 | 112,5 | 225    | 450    | 900    | 1800   |      |       |       |
| 10 |             |       | 117,1 | 234,37 | 468,75 | 937,5  | 1875   | 3750 | 7500  | 15000 |
| 11 | 31,25       | 62,5  | 125   | 250    | 500    | 1000   | 2000   | 4000 | 8000  | 16000 |
| 12 | 33,2        | 66,4  | 132,8 | 265,6  | 531,2  | 1062   | 2125   | 4250 | 8500  | 17000 |
| 13 | 35,15       | 70,31 | 140,6 | 281,2  | 562,5  | 1125   | 2250   | 4500 | 9000  | 18000 |
| 14 |             |       |       |        |        | 1171,8 | 2343,7 | 4687 | 9375  | 18750 |
| 15 |             |       |       | 312,5  | 625    | 1250   | 2500   | 5000 | 10000 | 20000 |
| 16 |             |       |       | 332    | 664    | 1328   | 2656   | 5312 | 10620 |       |
| 17 |             |       |       | 351,5  | 703,1  | 1406   | 2812   | 5625 | 11250 |       |
| 18 |             |       |       |        |        |        |        |      | 11710 |       |
| 19 |             |       |       |        |        |        | 3125   | 6250 | 12500 |       |
| 20 |             |       |       |        |        |        | 3320   | 6640 | 13280 |       |
| 21 |             |       |       |        |        |        | 3515   | 7031 | 14060 |       |

Примечание. Значения частот, приведенные в таблице, указаны с точностью до 4-й значащей цифры.

Из таблицы 5 видно, что дополнительные 1-октавные группы частот могут быть получены путем двоичного деления следующих образующих частот:

- десятично-взвешенных частот 60 Гц, 600 Гц, 6000 Гц, кратных 6;
- десятично-взвешенных частот 170 Гц, 1700 Гц, 17 кГц, кратных 17;
- частот 10,62 кГц, 11,71 13,28 кГц, 18,75 кГц.

Анализ показывает, что частоты, представленные в таблице 5, можно получить путем десятичного и двоичного деления образующих частот 6 МГц, 16 МГц, 17 МГц и 18 МГц. В свою очередь, перечисленные образующие частоты в соответствии с формулой (1) могут быть получены путем деления опорной частоты 2448 МГц, для понижения которой можно также применить комбинированный способ формирования 1/12-октавного спектра. Если образующие частоты 10,62 кГц, 11,71 кГц, 12,5 кГц, 13,28 кГц, 14,06 кГц, 18,75 кГц, 20 кГц получить путем умножения на 5 более низких частот 2,125 кГц, 2,343 кГц, 2,656 кГц, 2,812 кГц, 3,75 кГц, 4 кГц соответственно, то для получения остальных образующих частот путем деления достаточно использовать опорный генератор с частотой 24,48 МГц, которая на два порядка меньше найденного выше значения.

Генератор 1/12-октавного спектра, построенный в соответствии с предложенным принципом, может найти применение не только для решения технических задач в области акустики, вибрации и т.п., но и для настройки клавишных музыкальных инструментов, у которых полутона клавиатуры отличаются по частоте на 1/12-октавы.

С учетом возможностей современной элементной базы фильтры для выделения низкочастотных гармоник выходных сигналов цифровых делителей частоты в диапазоне от 0,1 Гц до 140 кГц могут быть реализованы на интегральных фильтрах с переключаемыми конденсаторами. На более высоких частотах возможно использование LC-фильтров. Часть генератора, состоящая из опорного генератора, блока делителей частоты и блок управления, может быть реализована в виде цифровой интегральной микросхемы. Поскольку в настоящее время быстродействие цифровых схем достигает единиц гигагерц,

то можно полагать, что такая интегральная схема позволит формировать сигналы с  $1/n$ -октавным спектром в диапазоне частот от долей герца до сотен мегагерц.

В дальнейшем предполагается разработка программного обеспечения, реализующего в цифровом виде предложенный метод формирования  $1/n$ -октавных спектров.

**Библиографический список использованной литературы**

1. ГОСТ 12090-80 Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды — Взамен ГОСТ 12090-66, введ. 1981-01-01. — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 2 с.
2. Винокуров В.И. Электрорадиоизмерения: учебное пособие для радиотехнич. спец. вузов / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, И.Г. Петелин; под ред. В.И. Винокурова. — М.: Высш. шк., 1986. — 351 с.
3. ГОСТ 8032-84 Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. — Взамен ГОСТ 8032-56, введ. 1985-07-01. — М.: Изд-во стандартов, 1986. — 16 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.

*Поступила в редакцию 24.02.2012 г.*

**Зіборов С.Р. Генератор дискретного  $1/n$ -октавного спектра**

Запропоновано принцип побудови генератора дискретного  $1/n$ -октавного спектра, складові якого мають частоти, що близькі до кращих, та утворюються шляхом поділу частоти одного опорного генератора, який забезпечує синхронність та високу стабільність частоти складових спектра з інтервалом  $1/2$ ,  $1/3$ ,  $1/6$  та  $1/12$  октави.

**Ключові слова:** генератор, дискретний спектр, октава, декада, синхронний, частотоподільник, опорний генератор.

**Ziborov S.R. Discrete  $1/n$ -octave spectrum generator**

The design principle of discrete  $1/n$ -octave spectrum generator with  $n=2, 3, 6, 12$  is proposed. A deviation of all spectrum frequencies from preferred frequencies doesn't override the error 2%. All spectrum frequencies are formed by dividing the frequency of one local generator.

**Keywords:** generator, discrete spectrum, octave, decade, frequency divider, synchronism