

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **8265**
(13) **С1**
(46) **2006.08.30**
(51)⁷ **Н 03L 7/00**

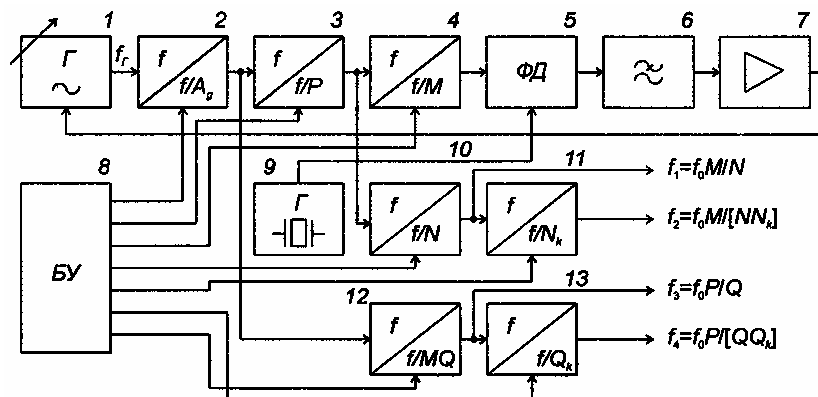
(54) **СИНТЕЗАТОР СТАБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

(21) Номер заявки: а 20010367
(22) 2001.04.18
(43) 2002.12.30
(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)
(72) Авторы: Ильинков Валерий Андреевич; Романов Вячеслав Евгеньевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)
(56) Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. - М.: Радио и связь, 1989. - С. 17-19.
RU 2030110 С1, 1995.
RU 2127020 С1, 1999.
SU 1803977 А1, 1993.
US 5495206 А, 1996.
JP 4266220 А, 1992.

(57)

Синтезатор стабильных электрических колебаний в широком диапазоне частот, содержащий перестраиваемый генератор, генератор опорного колебания, первый и второй делители частоты, блок управления и последовательно соединенные фазовый детектор, фильтр нижних частот и усилитель постоянного тока, управляющий вход и выход первого делителя частоты соединены соответственно с первым выходом блока управления и первым входом фазового детектора, выход усилителя постоянного тока подключен к управляющему входу перестраиваемого генератора, а управляющий вход второго делителя частоты соединен со вторым выходом блока управления, отличающийся тем, что дополнительно содержит третий, четвертый, пятый, шестой и седьмой делители частоты, при



ВУ 8265 С1 2006.08.30

ВУ 8265 С1 2006.08.30

этом счетный вход первого делителя частоты соединен со счетным входом второго делителя частоты, выход которого соединен с первым выходом синтезатора, счетный, управляющий входы и выход третьего делителя частоты соединены соответственно с выходом перестраиваемого генератора, третьим выходом блока управления и счетным входом четвертого делителя частоты, подключенного управляющим входом к четвертому выходу блока управления, а выходом - к счетному входу первого делителя частоты, управляющий, счетный входы и выход пятого делителя частоты соединены с пятым выходом блока управления, выходом второго делителя частоты и вторым выходом синтезатора соответственно, счетный, управляющий входы и выход шестого делителя частоты подключены к выходу третьего делителя частоты, шестому выходу блока управления и третьему выходу синтезатора соответственно, управляющий, счетный входы и выход седьмого делителя частоты соединены с седьмым выходом блока управления, выходом шестого делителя частоты и четвертым выходом синтезатора соответственно, а выход генератора опорного колебания подключен ко второму входу фазового детектора.

Предлагаемое изобретение относится к радиотехнике (РТ) и может быть использовано при построении синтезаторов электрических колебаний произвольных (некратных) частот.

Важной для радиоэлектроники является проблема генерирования высокостабильных электрических колебаний. Она решается двумя основными способами [1]: прямым частотным синтезом; с помощью системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

При прямом частотном синтезе колебание с требуемой частотой f_1 образуется посредством операций деления и (или) умножения частот нескольких (одного) базовых стабильных колебаний с последующим выделением соответствующего комбинационного продукта. Недостатками устройств прямого частотного синтеза являются: сложность аппаратной реализации, вытекающая в основном из сложности реализации умножителей и смесителей частоты; принципиальная невозможность получения колебания с изменяемым в процессе работы значением частоты.

По указанным выше причинам на практике в основном применяются синтезаторы стабильных электрических колебаний на основе системы ФАПЧ [2].

Синтезатор на основе системы ФАПЧ обладает двумя существенными недостатками: сложность аппаратной реализации перестраиваемого генератора; ограниченные функциональные возможности.

Прежде чем рассматривать указанные существенные недостатки, отметим следующее.

В случае, если рабочий диапазон $f_P \dots f_L$ синтезатора является широким, его разбивают на L поддиапазонов:

$$L = \lg \frac{f_L}{f_P} / \lg A, \quad (1)$$

где $A = f_k / f_{k-1}$; $f_{k-1}(f_k)$ - нижняя (верхняя) граничная частота k -го поддиапазона; $k = \overline{1, L}$. При декадном разбиении на поддиапазоны - $A = 10$, при октавном - $A = 2$. Например, при декадном разбиении диапазон частот $0,01 \dots 10^8$ Гц состоит из $L = 10$ поддиапазонов.

Для упрощения синтезатора целесообразно, чтобы на всех L поддиапазонах перестраиваемый генератор работал (перестраивался) в одном и том же рабочем диапазоне, соответствующем верхнему (L -ому) поддиапазону. При таком построении переход синтезатора из одного поддиапазона в другой осуществляется ступенчатым изменением коэффициента N дополнительного делителя частоты, формирующего выходное колебание. Причем в пределах поддиапазона значение N остается неизменным. Так, переход в соседний, более низкочастотный (высокочастотный) поддиапазон соответствует увеличению (уменьшению) N в A раз. При этом в верхнем поддиапазоне $N = 1$.

ВУ 8265 С1 2006.08.30

Основной делитель частоты, включенный в петлю ФАПЧ и формирующий колебание на втором входе фазового детектора, имеет переменный коэффициент M деления, обычно изменяющийся с шагом от минимального $M_{\min} = B$ до максимального $M_{\max} = A \cdot B$ значения независимо от поддиапазона, что обеспечивает внутри k -го поддиапазона неизменный шаг Δf_k сетки частот:

$$\Delta f_k = f_{k-1}/B. \quad (2)$$

Шаг Δf_k имеет максимальное значение $\Delta f_{\max} = \Delta f_L = f_0$ (f_0 - частота колебаний опорного генератора) на верхнем поддиапазоне и уменьшается (пропорционально увеличению N) при переходе в более низкочастотный поддиапазон. Например, в случае $f_p = 0,01$ Гц, $f_L = 10^8$ Гц, $A = 10$ и $B = 10^4$ коэффициент деления основного делителя изменяется в пределах $10^4 \dots 10^5$ и $\Delta f_{\max} = 1$ кГц.

С учетом изложенных общих сведений суть первого недостатка состоит в следующем.

При построении синтезатора стабильных электрических колебаний, работающего в широком диапазоне рабочих частот, последний с учетом удобств использования десятичной системы исчисления и целесообразности уменьшения числа L поддиапазонов наиболее часто разбивают по декадному принципу ($A = 10$). В этом случае перестраиваемый генератор должен работать (перестраиваться) в десятикратном диапазоне частот, соответствующем верхнему поддиапазону синтезатора, например, в диапазоне $10 \dots 100$ МГц при $f_L = 100$ МГц и $A = 10$. Реализация перестраиваемого генератора с коэффициентом перекрытия по частоте $K_{\Gamma} = \frac{f_L}{f_{L-1}} = 10$ представляет самостоятельную достаточно сложную

проблему. Ее решают либо способом построения перестраиваемого генератора (со значительно меньшим коэффициентом K_{Γ} перекрытия), работающего в более высоком диапазоне частот, и последующего переноса колебаний в требуемый диапазон $f_{L-1} \dots f_L$, либо с помощью нескольких генераторов, каждый из которых перекрывает свою часть поддиапазона. Сравнительно просто реализуется перестраиваемый генератор с коэффициентом перекрытия по частоте, не превышающем значений $1,5 \dots 2,5$. Учитывая это, применительно к рассматриваемому примеру диапазон с $f_{L-1} = 10$ МГц и $f_L = 100$ МГц необходимо разбить на три поддиапазона $f_{L-1} \dots f_{S1}$, $f_{S1} \dots f_{S2}$ и $f_{S2} \dots f_L$, каждый из которых перекрывается своим перестраиваемым генератором с коэффициентом перекрытия $K_{\Gamma} = \sqrt[3]{A} = \sqrt[3]{10} \approx 2,15$. Проведенный анализ показывает: оба способа реализации генератора, перестраиваемого в широком поддиапазоне частот $f_L/f_{L-1} = A > 2,5$, характеризуются сложностью аппаратурной реализации, что существенно усложняет построение синтезатора в целом.

Суть второго недостатка рассматриваемого синтезатора состоит в следующем.

Синтезатор позволяет получить с требуемым шагом сетки частот только одно стабильное колебание. При построении же различных систем и устройств, например систем телекоммуникаций, генераторов электрических сигналов, радиоизмерительных приборов, возникает необходимость наличия одновременно нескольких, наиболее часто двух, стабильных колебаний, причем во многих случаях с некратными частотами. Этого нельзя достичь с помощью рассматриваемого синтезатора, что существенно ограничивает его функциональные возможности. В настоящее время для решения проблемы в состав системы (устройства) вводят несколько синтезаторов, число которых равно числу требуемых стабильных колебаний. Такой подход существенно усложняет аппаратурную реализацию.

Задачами изобретения являются: упрощение аппаратурной реализации перестраиваемого генератора; обеспечение возможности формирования одним синтезатором нескольких стабильных колебаний некратных частот.

Поставленные задачи решаются следующим образом.

Синтезатор стабильных электрических колебаний в широком диапазоне частот, содержащий перестраиваемый генератор, генератор опорного колебания, первый и второй делители частоты, блок управления и последовательно соединенные фазовый детектор,

фильтр нижних частот и усилитель постоянного тока, управляющий вход и выход первого делителя частоты соединены соответственно с первым выходом блока управления и первым входом фазового детектора, выход усилителя постоянного тока подключен к управляющему входу перестраиваемого генератора, а управляющий вход второго делителя частоты соединен со вторым выходом блока управления, отличающийся тем, что дополнительно содержит третий, четвертый, пятый, шестой и седьмой делители частоты, при этом счетный вход первого делителя частоты соединен со счетным входом второго делителя частоты, выход которого соединен с первым выходом синтезатора, счетный, управляющий входы и выход третьего делителя частоты соединены соответственно с выходом перестраиваемого генератора, третьим выходом блока управления и счетным входом четвертого делителя частоты, подключенного управляющим входом к четвертому выходу блока управления, а выходом - к счетному входу первого делителя частоты, управляющий, счетный входы и выход пятого делителя частоты соединены с пятым выходом блока управления, выходом второго делителя частоты и вторым выходом синтезатора соответственно, счетный, управляющий входы и выход шестого делителя частоты подключены к выходу третьего делителя частоты, шестому выходу блока управления и третьему выходу синтезатора соответственно, управляющий, счетный входы и выход седьмого делителя частоты соединены с седьмым выходом блока управления, выходом шестого делителя частоты и четвертым выходом синтезатора соответственно, а выход генератора опорного колебания подключен ко второму входу фазового детектора.

Сущность изобретения состоит в следующем. В предлагаемый синтезатор введены пять делителей частоты. С их помощью достигается уменьшение коэффициента перекрытия по частоте перестраиваемого генератора и обеспечивается возможность одновременно сформировать, помимо колебания на первом выходе с частотой f_1 , также три колебания на частотах f_2 , f_3 , f_4 . Причем, в общем случае частоты f_1 и f_3 , f_2 и f_4 являются попарно некратными, а частоты f_1 и f_2 , f_3 и f_4 - попарно кратными.

На фигуре приведена структурная схема предлагаемого синтезатора. Она содержит в себе перестраиваемый генератор 1, третий 2, четвертый 3, первый 4 делители частоты, фазовый детектор 5, ФНЧ 6, усилитель 7 постоянного тока, блок 8 управления, генератор 9 опорного колебания, второй 10, пятый 11, шестой 12 и седьмой 13 делители частоты.

Делители 2-4 делят частоту входного колебания, поступающего на счетный вход каждого, соответственно в A_g , P и M раз, делители 10-13 - соответственно в N , N_k , $M \cdot Q$ и Q_k раз (A_g , P , M , N , N_k , Q , Q_k - целые числа). Коэффициенты деления частоты всех делителей являются переменными. Их значения устанавливаются с помощью блока 8, связанного с управляющими входами делителей. Генератор 9 представляет собой кварцевый генератор стабильного опорного колебания с частотой f_0 . Генератор 1 является перестраиваемым по частоте. Он является источником колебания с перестраиваемой частотой f_r . Делители 2, 3 и 4 делят частоту входного колебания соответственно в A_g , P и M раз, образуя тем самым на первом входе детектора 5 вспомогательное колебание с частотой $f_r / (A_g \cdot P \cdot M)$. В детекторе 5 осуществляется сравнение по фазе вспомогательного и опорного колебаний. Выходной сигнал детектора 5 подвергается низкочастотной фильтрации (ФНЧ 6) и усилению (усилитель 7). В результате вырабатывается сигнал ошибки, прямо пропорциональный разности фаз вспомогательного и опорного колебаний. Генератор 1 является генератором, управляемый напряжением. Поэтому под влиянием сигнала ошибки частота f_r колебаний на его выходе изменяется (подстраивается), стремясь к значению $f_r = f_0 \cdot A_g \cdot P \cdot M$, при котором разность фаз вспомогательного и опорного колебаний стремится к нулю. Элементы 1-7 и 9 образуют в совокупности систему ФАПЧ генератора 1, управляющую частотой последнего с точностью до фазы. Делитель 10 делит частоту поступающего на его счетный вход колебания в N раз, формируя на первом выходе синтезатора стабильное колебание с частотой $f_1 = f_0 \cdot \frac{A_g \cdot P \cdot M}{A_g \cdot P \cdot N} = f_0 \cdot \frac{M}{N}$. Делитель 11 с коэффициентом деления N_k

ВУ 8265 С1 2006.08.30

образует на втором выходе синтезатора колебание с частотой $f_2 = \frac{f_1}{N_k} = f_0 \cdot \frac{M}{N \cdot N_k}$. Делитель 12 имеет коэффициент деления частоты, равный $M \cdot Q$, и образует на третьем выходе синтезатора стабильное колебание с частотой $f_3 = f_0 \cdot \frac{A_g \cdot P \cdot M}{A_g \cdot M \cdot Q} = f_0 \cdot \frac{P}{Q}$. Делитель 13 с коэффициентом деления Q_k образует на четвертом выходе синтезатора колебание с частотой $f_4 = \frac{f_3}{Q_k} = f_0 \cdot \frac{P}{Q \cdot Q_k}$.

Делитель 12 наиболее удобно реализовать последовательным соединением двух делителей частоты с коэффициентами деления M и Q . Выбирая необходимые значения параметров M , P , N и Q делителей 3, 4, 10 и 12, можно устанавливать требуемые, в общем случае некратные, значения частот f_1 и f_3 . Частоты f_1 и f_2 , а также f_3 и f_4 являются попарно кратными. Частоты f_2 и f_4 в общем случае некратны. При $A_g = 1$ произведение $f_0 \cdot M \cdot P$ не должно превосходить значения f_L верхней граничной частоты перестраиваемого генератора 1. Поэтому максимальные значения частот колебаний $f_{1\max} = f_0 \cdot M$ и $f_{3\max} = f_0 \cdot P$, которые можно одновременно сформировать, соответствуют условию $f_0 \cdot M \cdot P \leq f_L$.

Как показано выше, независимо от используемого поддиапазона рабочих частот синтезатора, генератор 1 работает (перестраивается) в одном и том же диапазоне $f_{L-1} \dots f_L$, соответствующем верхнему поддиапазону устройства. Если ширина этого диапазона достаточно велика ($\frac{f_L}{f_{L-1}} = A > 2,5$), то реализация генератора существенно усложняется.

Для уменьшения диапазона перестройки генератора 1 в синтезатор дополнительно введен делитель 2. Он имеет переменный коэффициент A_g деления, изменяющийся с шагом 1 от минимального $A_{g,\min} = 1$ до максимального

$$A_{g,\max} = \begin{cases} \frac{A}{2}, & \text{если } \frac{A}{2} - \text{целое} \\ \left[\frac{A}{2} \right] + 1, & \text{если } \frac{A}{2} - \text{дробное} \end{cases} \quad (3)$$

значения, где $A = f_L/f_{L-1}$; $\left[\frac{A}{2} \right]$ - целая часть числа $\frac{A}{2}$. С помощью делителя 2 необходимые колебания в интервалах частот $f_{C1} \dots f_{C2}$, относящихся к нижней части $f_{L-1} \dots 0,5 \cdot f_L$ исходного диапазона $f_{L-1} \dots f_L$, образуются посредством деления в A_g раз частоты колебаний генератора 1, перестраиваемого в соответствующих интервалах $f_{Г1} \dots f_{Г2}$ верхней части $0,5 \cdot f_L \dots f_L$ диапазона $f_{L-1} \dots f_L$. За счет этого уменьшается коэффициент $K_{Г}$ перекрытия по частоте. В таблице приведены значения коэффициента A_g для различных вариантов разбиения на поддиапазоны рабочего диапазона $f_{р} \dots f_L$ синтезатора (для различных A).

BY 8265 C1 2006.08.30

Значения коэффициента A_g деления для различных вариантов построения

$f_{L-1} \dots f_L$	A	A_g	$f_{C1} \dots f_{C2}$	$f_{\Gamma 1} \dots f_{\Gamma 2}$
(0,1...1,0) f_L	10	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
		4	(0,125...0,25) f_L	(0,5...1,0) f_L
		5	(0,1...0,125) f_L	(0,5...0,625) f_L
(0,11(1)...1,0) f_L	9	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
		4	(0,125...0,25) f_L	(0,5...1,0) f_L
		5	(0,11(1)...0,125) f_L	(0,55(5)...0,625) f_L
(0,125...1,0) f_L	8	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
		4	(0,125...0,25) f_L	(0,5...1,0) f_L
(0,143...1,0) f_L	7	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
		4	(0,143...0,25) f_L	(0,572...1,0) f_L
(0,16(6)...1,0) f_L	6	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
		3	(0,16(6)...0,25) f_L	(0,5...0,75) f_L
(0,20...1,0) f_L	5	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
		3	(0,20...0,25) f_L	(0,6...0,75) f_L
(0,25...1,0) f_L	4	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,25...0,5) f_L	(0,5...1,0) f_L
(0,33(3)...1,0) f_L	3	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L
		2	(0,33(3)...0,5) f_L	(0,66(6)...1,0) f_L
(0,50...1,0) f_L	2	1	(0,5...1,0) f_L	(0,5...1,0) f_L

Анализ работы предлагаемого синтезатора с учетом соотношения (3) и данных таблицы показывает, что введение в устройство делителя 2 позволило уменьшить коэффициент K_{Γ} перестраиваемого генератора, который, по сравнению с известным синтезатором, при любых вариантах разбиения рабочего диапазона $f_p \dots f_L$ на поддиапазоны (при различных A) не превышает значения $K_{\Gamma} = 2$. Это существенно упрощает аппаратную реализацию генератора и синтезатора в целом.

Вернемся к рассмотренному выше примеру построения синтезатора с $f_L = 100$ МГц и декадным ($A = 10$) разбиением на поддиапазоны рабочего диапазона частот $f_p \dots f_L$. В случае известного устройства [2] перестраиваемый генератор должен перекрывать диапазон частот 10...100 МГц, соответствующий верхнему поддиапазону $f_{L-1} \dots f_L$. В предлагаемом синтезаторе генератор 1 работает в диапазоне частот 50...100 МГц. При этом необходимые колебания в интервалах частот 25...50, 12,5...25 и 10...12,5 МГц образуются делением (делителем 2) соответственно в 2, 4 и 5 раз частоты колебаний генератора, который применительно к этим интервалам частот работает в интервалах соответственно 50...100, 50...100 и 50...62,5 МГц (см. таблицу).

Таким образом, при установке значения параметра $P = 1$ предлагаемый синтезатор позволяет сформировать на своем первом выходе стабильное колебание в том же диапазоне

ВУ 8265 С1 2006.08.30

и с тем же шагом сетки частот, что и известный синтезатор [2], и отличается от последнего тем, что благодаря введению делителя 2 с переменным коэффициентом деления $A_g = 1, A_{g.\max}$ коэффициент перекрытия по частоте перестраиваемого генератора 1 не превышает значения $K_\Gamma = 2$ при любых вариантах разбиения на поддиапазоны рабочего диапазона $f_p \dots f_L$ синтезатора. Введение в устройство делителей 3, 11, 12 и 13 обеспечивает возможность одновременно сформировать, помимо колебания с частотой f_1 , также колебания на частотах f_2 , f_3 и f_4 . При этом в общем случае частоты f_1 и f_3 , f_2 и f_4 являются попарно некратными, а частоты f_1 и f_2 , f_3 и f_4 - попарно кратными.

Источники информации:

1. Зарецкий М.М., Мовшович М.Е. Синтезаторы частот с кольцом фазовой автоподстройки. - Л.: Энергия, 1974. - С. 5-15.
2. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. - М.: Радио и связь. 1989. - С. 17-19 (прототип).