

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **8265**  
(13) **С1**  
(46) **2006.08.30**  
(51)<sup>7</sup> **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)

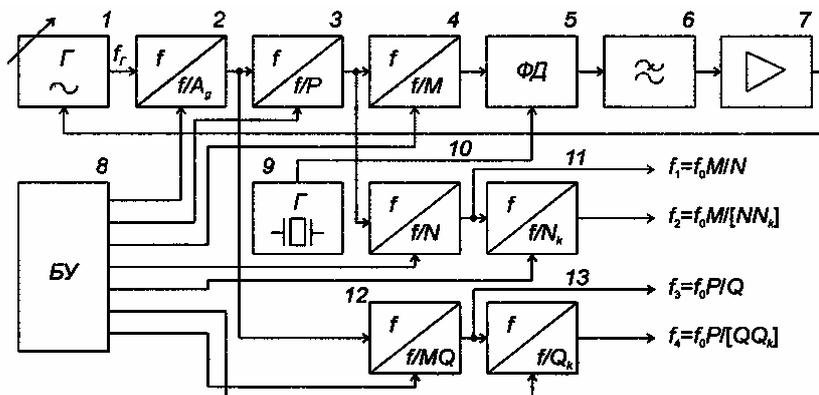
(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(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  $\Delta f_k$  сетки частот:

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

Шаг  $\Delta f_k$  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  $K_{\Gamma}$  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 некрратными, 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  $K_\Gamma$  перекрытия по частоте. В таблице приведены значения коэффициента  $A_g$  для различных вариантов разбиения на поддиапазоны рабочего диапазона  $f_p \dots f_L$  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  $K_{\Gamma}$  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).