(19) **RU** (11) **2 221 327** (13) **C2**

(51) МПК[7] **H 03 K 3/02**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2001121641/09, 01.08.2001

(24) Дата начала действия патента: 01.08.2001

(43) Дата публикации заявки: 27.06.2003

(46) Дата публикации: 10.01.2004

(56) Ссылки: ТИТЦЕ У, ШЕНК К. Полупроводниковая схемотехника. - М.: Мир, 1983, с. 307. SU 836786, 07.06.1981. SU 1387175 A1, 07.04.1988. US 3573664, 06.04.1971. US 3842371, 15.10.1974. EP 0305343 A2, 01.03.1989.

(98) Адрес для переписки:
190031, Санкт-Петербург, Московский пр-кт, 9, ПГУПС

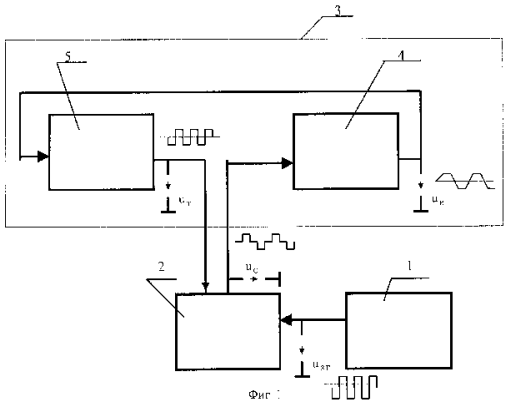
(72) Изобретатель: **Ким К.К.**, **Барбарович В.Ю.**, **Асмус В.И.**

(73) Патентообладатель:
Петербургский государственный университет путей сообщения

(54) ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР

(57)

Изобретение относится к радиоэлектронике и может использоваться для формирования сигналов специальной формы. Достигаемый технический результат - расширение функциональных возможностей. Функциональный генератор содержит инвертирующий интегратор, триггер Шмитта, задающий генератор и сумматор. 5 ил.



Фиг. 1

RU 2221327 C2

RU 2221327 C2

(19) **RU** (11) **2 221 327** (13) **C2**

(51) Int. Cl.[7] **H 03 K 3/02**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2001121641/09, 01.08.2001**

(24) Effective date for property rights: **01.08.2001**

(43) Application published: **27.06.2003**

(46) Date of publication: **10.01.2004**

(98) Mail address:
190031, Sankt-Peterburg, Moskovskij pr-kt, 9, PGUPS

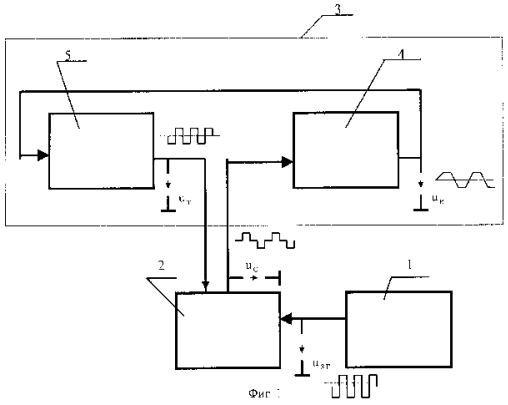
(72) Inventor: **Kim K.K., Barbarovich V.Ju., Asmus V.I.**

(73) Proprietor:
Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshchenija

(54) FUNCTIONAL GENERATOR

(57) Abstract:

FIELD: radio electronics. SUBSTANCE: functional generator that can be used for producing signals of specific waveform has inverting integrator, Schmitt flip-flop, master oscillator, and adder. EFFECT: enlarged functional capabilities. 1 cl, 5 dwg



RU 2221327 C2

RU 2221327 C2

Изобретение относится к радиоэлектронике, а более конкретно к функциональным генераторам сигналов специальной формы.

Функциональными генераторами принято называть электронные схемы, формирующие сигналы специальной формы, описываемые некоторой функцией, например, треугольные, прямоугольные, синусоидальные напряжения.

Известны простейшие генераторы треугольного и прямоугольного импульсов напряжения (Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых ИС. М.: Радио и связь, 1981, рис. 5.14, 5.17). Простейшие генераторы представляют собой самовозбуждающиеся автогенераторы с использованием цепи положительной обратной связи в операционных усилителях.

Генераторы обеспечивают получение импульсов прямоугольной и треугольной формы, которые невозможно синхронизировать между собой, что может быть необходимо при решении ряда задач электронной техники.

Простой генератор треугольного и прямоугольного напряжений, выбранный в качестве прототипа (У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1982, с. 307-308, рис. 18.26), состоит из последовательно включенных инвертирующего генератора и триггера Шмитта, охваченных отрицательной обратной связью (ОС). Триггер Шмитта является формирователем импульсов прямоугольного напряжения от единственного входного напряжения. Инвертирующий генератор в данной схеме является генератором треугольного (пилообразного) напряжения.

Таким образом, простой функциональный генератор может одновременно обеспечить потребителя в автоколебательном режиме импульсами напряжения прямоугольной и пилообразной формы. Электрическая схема прототипа позволяет путем ее усложнения получать также в автоколебательном режиме линейную частотную модуляцию выходного напряжения, а также изменять и регулировать скважность выходного напряжения.

Простой генератор и его известные схемы усложнения не решают задачи получения прямоугольных импульсов напряжения с регулируемым фазовым сдвигом, деления частоты следования прямоугольных импульсов, а также широтной модуляции сигналов, что необходимо для расширения области использования функциональных генераторов в приборостроении, вычислительной технике и автоматических технологических линиях и процессах.

Широтная модуляция сигналов предполагает изменение под воздействием информационного параметра длительности импульсов при неизменных амплитуде и частоте их следования.

Прототип работает следующим образом. В начальный момент на вход интегратора подается постоянное напряжение от триггера Шмитта, которое интегрируется интегратором. Величина выходного сигнала интегратора линейно растет со временем до тех пор, пока его величина сравняется с величиной порога срабатывания триггера Шмитта. В этом случае напряжение на выходе триггера Шмитта с устойчивого состояния скачком меняет свой знак. Вследствие этого напряжение на выходе интегратора изменяется в противоположную сторону, пока не достигнет другого порога срабатывания триггера Шмитта. Таким образом, прототип генерирует в автоколебательном режиме пилообразное треугольное напряжение на выходе интегратора и прямоугольное напряжение на выходе триггера Шмитта. Данный генератор позволяет в широком диапазоне перестраивать частоту формируемого напряжения. Она не зависит от уровня границ напряжения операционного усилителя. Амплитуда треугольного напряжения зависит только от установки уровня срабатывания триггера Шмитта.

Как отмечалось, недостатком известного генератора является невозможность получения прямоугольных импульсов напряжений с регулируемым фазовым сдвигом, деления частоты следования прямоугольных импульсов и широтной модуляции сигналов, т.е. ограниченные функциональные возможности.

Задачей предлагаемого изобретения является расширение функциональных возможностей функционального генератора.

Поставленная задача достигается тем, что функциональный генератор, содержащий последовательно соединенные инвертирующий интегратор и триггер Шмитта, охваченные отрицательной обратной связью, снабжен задающим генератором и сумматором, причем выход задающего генератора соединен с входом сумматора, другой вход которого соединен с выходом триггера Шмитта, а выход сумматора соединен с входом инвертирующего интегратора.

На фиг.1 изображена блок-схема предлагаемого функционального генератора.

На фиг.2 приведены временные диаграммы работы предлагаемого генератора в случае, когда частота колебаний задающего генератора меньше собственной частоты колебаний простого функционального генератора.

На фиг.3 приведены временные диаграммы работы предлагаемого генератора в случае, когда частота колебаний задающего генератора больше собственной частоты автоколебаний простого функционального генератора.

На фиг.4 приведены временные диаграммы работы предлагаемого генератора в случае, когда частота колебаний задающего генератора существенно больше собственной частоты автоколебаний простого функционального генератора.

На фиг.5 показана принципиальная схема действующей модели, изготовленной авторами, предлагаемого генератора.

Функциональный генератор состоит из задающего генератора 1 (фиг.1), выход которого соединен с входом сумматора 2, второй вход которого соединен с выходом триггера Шмитта 5. Выход сумматора 2 соединен с входом инвертирующего интегратора 4. Триггер Шмитта 5 и инвертирующий интегратор 4 составляют блок простого генератора 3. Триггер Шмитта 5 и инвертирующий генератор 4 охвачены отрицательной обратной связью.

В качестве задающего генератора может быть использован генератор любого типа,

RU 2221327 C2

RU 2221327 C2

имеющий на выходе сигналы напряжений прямоугольной формы, симметричные относительно точки нулевого потенциала устройства.

В качестве сумматора 2 используется любое устройство, обеспечивающее логическое суммирование напряжений задающего генератора 1 и триггера Шмитта 5 таким образом, что на выходе сумматора 2 напряжение равно нулю, если на его входы поступают напряжения разного знака, и совпадает по знаку с его входным напряжением, если это напряжение одного знака.

Следует обратить внимание, что в данной схеме триггер Шмитта выполняет функции компаратора, сравнивающего два напряжения: выходное напряжение интегратора 4 и собственное выходное напряжение, и может быть заменен на компаратор другого типа.

Принципиальная схема макета (фиг.5) построена на основе трех однотипных микросхем МС1 - МС3 - операционных усилителях КР544УД1А, причем на микросхеме МС1 собран задающий генератор 1, на МС2 и МС3 - соответственно интегратор 4 и триггер Шмитта 5 известного простого генератора 3.

В качестве задающего генератора 1 использована известная схема мультивибратора (У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1982, с. 311) на основе инвертирующего триггера Шмитта 5, охваченного цепью обратной связи в виде потенциометра R1 и конденсатора С1. Когда потенциал на конденсаторе С1 достигнет порога срабатывания операционного усилителя, он скачкообразно переходит в другое устойчивое состояние. Потенциометр R1 позволяет регулировать скорость заряда конденсатора С1 и соответственно частоту прямоугольных импульсов задающего генератора 1. Резисторы R1 и R2 задают уровень срабатывания операционного усилителя.

В качестве сумматора 2 применен резистивный делитель R4 и R5, входы которого соединены с выходами задающего генератора 1 и триггера Шмитта 5, а выход - с входом интегратора 4. Плечи делителя (резисторы R4 и R5) подбираются таким образом, что в его средней точке потенциал равен нулю при разнополярных входных сигналах. Следует отметить, что резистор R5 включен в токовую цепь между триггером Шмитта 5 и интегратором 4 и влияет на частоту автоколебаний простого генератора 3.

Резистор R6, потенциометр R7 и переменный конденсатор С2 являются времязадающей цепочкой интегратора 4 и устанавливают временной сдвиг между прямоугольными импульсами триггера Шмитта 5 и задающего генератора 1, длительность широтномо-дулированного сигнала на выходе сумматора 2 и коэффициент деления частоты задающего генератора 1.

Резисторы R8, R9 и потенциометр R10 являются делителем напряжения в цепи установки порога срабатывания операционного усилителя МС3 триггера Шмитта 5.

Функциональный генератор, принципиальная схема которого представлена на фиг.5, имеет следующие характеристики:

- частота колебаний задающего генератора от 100 до 50000 Гц;
- регулировка временного сдвига между сигналами прямоугольной формы от 0 до 180 °, с погрешностью, установленной по краям диапазона в зависимости от частоты 0,5-1,5%;
- коэффициент деления частоты от 1 до 500.

Приведенные характеристики ограничивались параметром использованных элементов, в частности микросхем КР544УД1А, имеющих длительность фронта импульса ≈ 3 мс. При использовании микросхемы с меньшей длительностью фронта погрешность схемы может быть уменьшена.

Предлагаемое устройство работает следующим образом (фиг.1). Задающий генератор 1 вырабатывает сигналы прямоугольного напряжения, симметричные относительно точки нулевого потенциала устройства и, в частном случае, со скважностью, равной 2. Эти сигналы поступают на вход сумматора 2, где сравниваются с выходным напряжением триггера Шмитта 5. В тот момент, когда сравниваемые напряжения совпадают между собой по знаку, происходит запуск схемы. Сумматор 2 вырабатывает напряжение того же знака, что и триггер Шмитта 5 и задающий генератор 1. Это напряжение поступает на вход генератора 4, который в свою очередь начинает вырабатывать линейноизменяющееся напряжение.

Если время достижения выходным напряжением интегратора 4 порога срабатывания триггера Шмитта 5 меньше длительности импульса задающего генератора 1 (или частота собственных автоколебаний интегратора 4 и триггера Шмитта 5 больше частоты задающего генератора 1), то выходное напряжение триггера Шмитта 5 раньше изменит знак на противоположный, чем задающий генератор 1. Триггер Шмитта 5 и задающий генератор 1 окажутся в противофазе, и на выходе 6 сумматора 2 значение напряжения будет равно нулю, вследствие чего выходное напряжение интегратора 4 изменяться не будет. Такое состояние будет продолжаться до тех пор, пока задающий генератор 1 не изменит знак своего выходного напряжения на противоположный и при этом совпадает по полярности с выходным напряжением триггера Шмитта 5. На выходе сумматора 2 окажется напряжение того же знака, что и на выходах триггера Шмитта 5 и задающего генератора 1. Выходное напряжение интегратора 4 будет линейно изменяться в противоположном направлении и вновь достигнет порога срабатывания триггера Шмитта 5 раньше, чем изменится на противоположное выходное напряжение задающего генератора 1. На выходе 6 сумматора 2 напряжение будет равно нулю, и выходное напряжение интегратора 4 изменяться не будет, и такое состояние будет продолжаться до тех пор, пока задающий генератор 1 не изменит знак своего выходного напряжения на противоположный, при котором выходное напряжение интегратора 4 начнет линейно изменяться в

RU 2221327 C2

RU 2221327 C2

противоположном направлении.

Таким образом, предлагаемый функциональный генератор (фиг.1) вырабатывает периодические сигналы (фиг.2), частота которых задается частотой колебаний задающего генератора 1 (диаграмма $u_{з.г}$ на фиг.2).

Интегратор 4 вырабатывает сигналы трапецеидальной формы (диаграмма $u_и$ на фиг. 2), причем частота и начало сигналов совпадают с частотой и началом сигналов задающего генератора 1.

Триггер Шмитта 5, управляемый интегратором 4, вырабатывает сигналы прямоугольной формы (диаграмма $u_т$ на фиг.2), совпадающие по частоте, но сдвинутые по времени относительно сигналов задающего генератора 1 на величину $\triangle t$, определяемую разницей длительности импульса $t_{з.г}$ задающего генератора 1 и времени интегрирования $t_и$ интегратора 4 в соответствии с (1).

$$\triangle t = t_{з.г} - t_и. \quad (1)$$

Сумматор 2 формирует разнополярные, широтно-модулированные сигналы прямоугольной формы (диаграмма $u_с$ на фиг.2) с длительностью импульсов t_c, определяемой только временем интегрирования $t_и$ интегратора 4 в соответствии с (2).

$$t_c = t_и = t_{з.г} - \triangle t. \quad (2)$$

Длительность t_c прямоугольных импульсов на выходе сумматора 2 или временной сдвиг $\triangle t$ между сигналами триггера Шмитта 5 и задающего генератора 1 благодаря известным свойствам интегратора (У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. М. : Мир, 1982), могут регулироваться параметрами времязадающей цепочки интегратора 4 и высокой линейности характеристики, определяемой линейными уравнениями (3) и (4)

$$t_c = t_и = K \bullet \tau_и; \quad (3)$$

$$\triangle t = t_{з.г} - t_c = t_{з.г} - K \bullet \tau_и, \quad (4)$$

где $\tau_и$ - постоянная интегрирования интегратора 4;

K - коэффициент пропорциональности, зависящий только от порога срабатывания компаратора 5.

Характеристика является линейной, если приращению аргумента на $\triangle X$ соответствует однозначное изменение функции на величину $\triangle y = a \bullet \triangle x$, где a - коэффициент пропорциональности (Арутюнов В.О. Электрические измерительные приборы и измерения. Москва - Ленинград, Государственное энергетическое издательство, 1958, с. 67). Выражения (3) и (4) удовлетворяют этому требованию. В свою очередь постоянная интегрирования $\tau_и$ также является функцией своих аргументов. Если времязадающая цепочка интегратора 4 выполнена в виде R - C цепочки, то

$$\tau_и = R \bullet C,$$

и изменение любого из аргументов R или C на величину $\triangle R$ или $\triangle C$ приводит к однозначному изменению функции t_c или $\triangle t$ на величину соответственно

$$t_c = K \bullet \triangle \tau_и \text{ и } \triangle(\triangle t) = -K \bullet \triangle \tau_и.$$

Таким образом, временной сдвиг $\triangle t$ между сигналами триггера Шмитта 5 и задающего генератора 1 можно линейно изменять одним из параметров времязадающей цепочки интегратора 4 в пределах от 0 до $t_{з.г}$, что в переводе на угловые характеристики будет соответствовать сдвигу фаз от 0 до 180°.

Если время достижения выходным напряжением интегратора 4 порога срабатывания триггера Шмитта 5 (время интегрирования $t_и$) больше длительности импульса задающего генератора 1 (фиг.3), то интегратор 4 не успевает до изменения знака выходного напряжения задающего генератора 1 изменить знак выходного напряжения триггера Шмитта 5, и задающий генератор 1 раньше компаратора 5 изменит знак своего выходного напряжения. На выходе 6 сумматора 2 окажется напряжение, равное нулю, и выходное напряжение интегратора 4 изменяться не будет. Такое состояния будет продолжаться до тех пор, пика задающий генератор 1 вновь не изменит знак выходного напряжения на противоположный, и интегратор 4 продолжит интегрировать выходное напряжение сумматора 2 в том же направлении и до тех пор, пока не достигнет значения порога срабатывания компаратора 5 или пока задающий генератор 1 не изменит знак своего выходного напряжения (фиг. 3). Если время интегрирования $t_и$ интегратора 4 существенно больше длительности импульса задающего генератора 1, то временные диаграммы работы предлагаемого функционального генератора выглядят, как показано на фиг.4.

На фиг.3 и 4 диаграмма $u_{з.г}$ отражает сигналы прямоугольного напряжения, вырабатываемые задающим генератором 1 и являющиеся тактовыми для работы предлагаемого устройства.

Интегратор 4 вырабатывает ступенчатый сигнал линейно изменяющегося напряжения (диаграмма $u_и$ на фиг.3 и 4), длительность которого и количество ступеней определяется соотношением времени интегрирования $t_и$ интегратора 4 и длительности импульсов задающего генератора 1.

Триггер Шмитта 5 вырабатывает сигналы прямоугольной формы (диаграмма $u_т$ на фиг. 3 и 4), частота следования которых меньше частоты задающего генератора 1 в целое число раз.

Сумматор 2 формирует последовательность прямоугольных импульсов (диаграмма u_c на фиг.3 и 4) интегратором 4 и триггером Шмитта 5, причем количество импульсов одной полярности зависит от кратности деления частоты задающего генератора 1.

Таким образом, если время интегрирования интегратора 4 больше длительности импульса задающего генератора 1, то предлагаемый функциональный генератор работает как делитель частоты колебаний задающего генератора 1 с коэффициентом $K_д$, равным

$$K_д = T_т/T_{з.г} = f_{з.г}/f_т = 2n-1, \quad (5)$$

где $T_{з.г}$; $f_{з.г}$ - период, частота колебаний выходного напряжения задающего генератора 1; $T_т$; f_n - период, частота колебаний выходного напряжения триггера Шмитта 5, n - целое число, подчиняющееся неравенству $t_и/t_{з.г}+1>n\geq t_и/t_{з.г}$.

RU 2221327 C2

RU 2221327 C2

В частном случае, когда n=1, коэффициент деления $К_д$=1, и функциональный генератор вырабатывает сигналы согласно фиг.2.

Число n может быть определено на фиг.2-4, как количество положительных или отрицательных импульсов в одном полупериоде на выходе 6 сумматора 2 (диаграмма u_c на фиг.2-4). Следует обратить внимание, что временной сдвиг $\triangle t$ не влияет на значение коэффициента деления $К_д$ треугольной формы.

Предлагаемое устройство в отличие от прототипа позволяет получить две сдвинутые во времени последовательности прямоугольных импульсов одной и той же частоты, причем величина временного сдвига может линейно изменяться в зависимости от параметров времязадающей цепочки интегратора. Величина временного сдвига между прямоугольными импульсами может изменяться в пределах от 0 до 180° со сколь угодно малой дискретностью, определяемой только характеристиками использованных в схеме элементов. Информационно значение временного сдвига отражено в длительности прямоугольных импульсов на выходе сумматора, имеющих ту же частоту, что и сдвинутые во времени прямоугольные импульсы на выходе сумматора, являются широтно-модулированными сигналами, длительность которых при неизменной частоте следования и амплитуде может линейно регулироваться параметрами времязадающей цепочки интегратора в пределах от 0 до половины периода колебаний задающего генератора.

Предлагаемое устройство позволяет также при изменении параметров времязадающей цепочки интегратора делить частоту следования импульсов задающего генератора, причем коэффициент деления устанавливается дискретно и в известных пределах не зависит от стабильности элементов схемы и точности установки коэффициента деления.

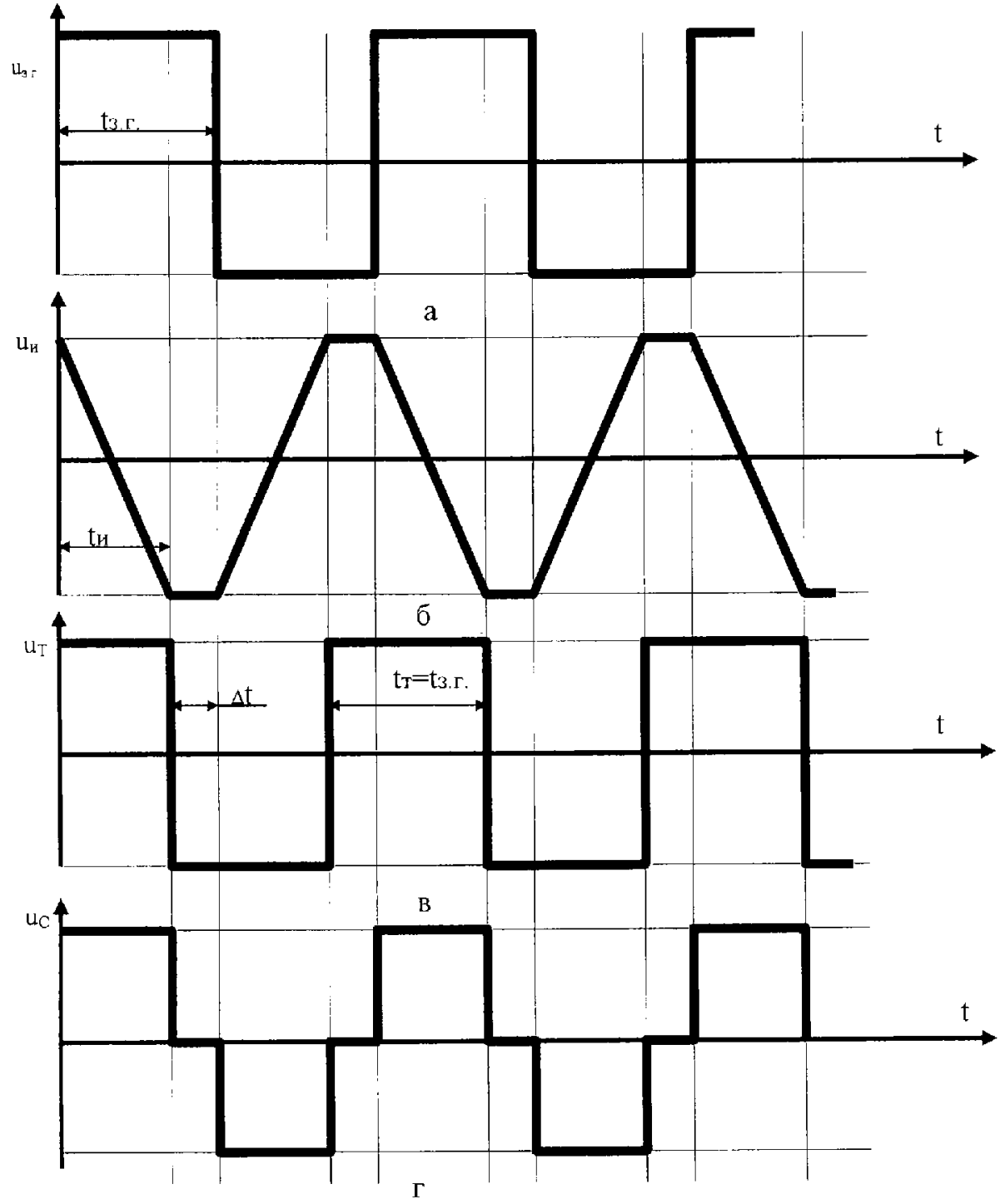
При этом устройство позволяет получить трапецеидальный периодический сигнал с регулируемыми наклонами переднего и заднего фронтов в пределах от треугольного до прямоугольного, а также более сложный ступенчатый сигнал линейно изменяющегося напряжения.

Формула изобретения:

Функциональный генератор, содержащий последовательно соединенные инвертирующий интегратор и триггер Шмитта, отличающийся тем, что он снабжен задающим генератором и сумматором, причем выход задающего генератора соединен с входом сумматора, другой вход которого соединен с выходом триггера Шмитта, а выход сумматора соединен с входом инвертирующего интегратора.

RU 2221327 C2

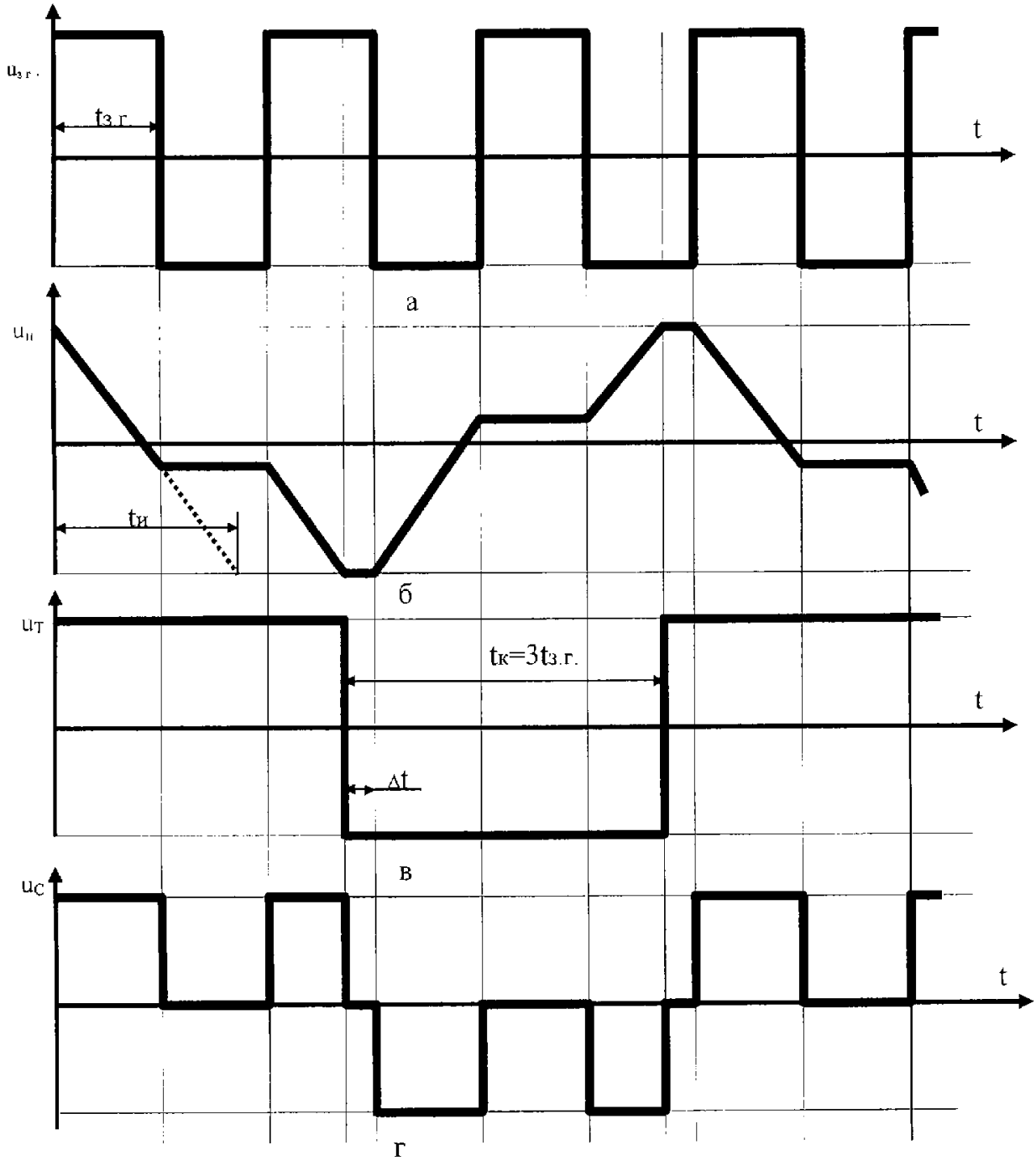
RU 2221327 C2



Фиг. 2

RU 2221327 C2

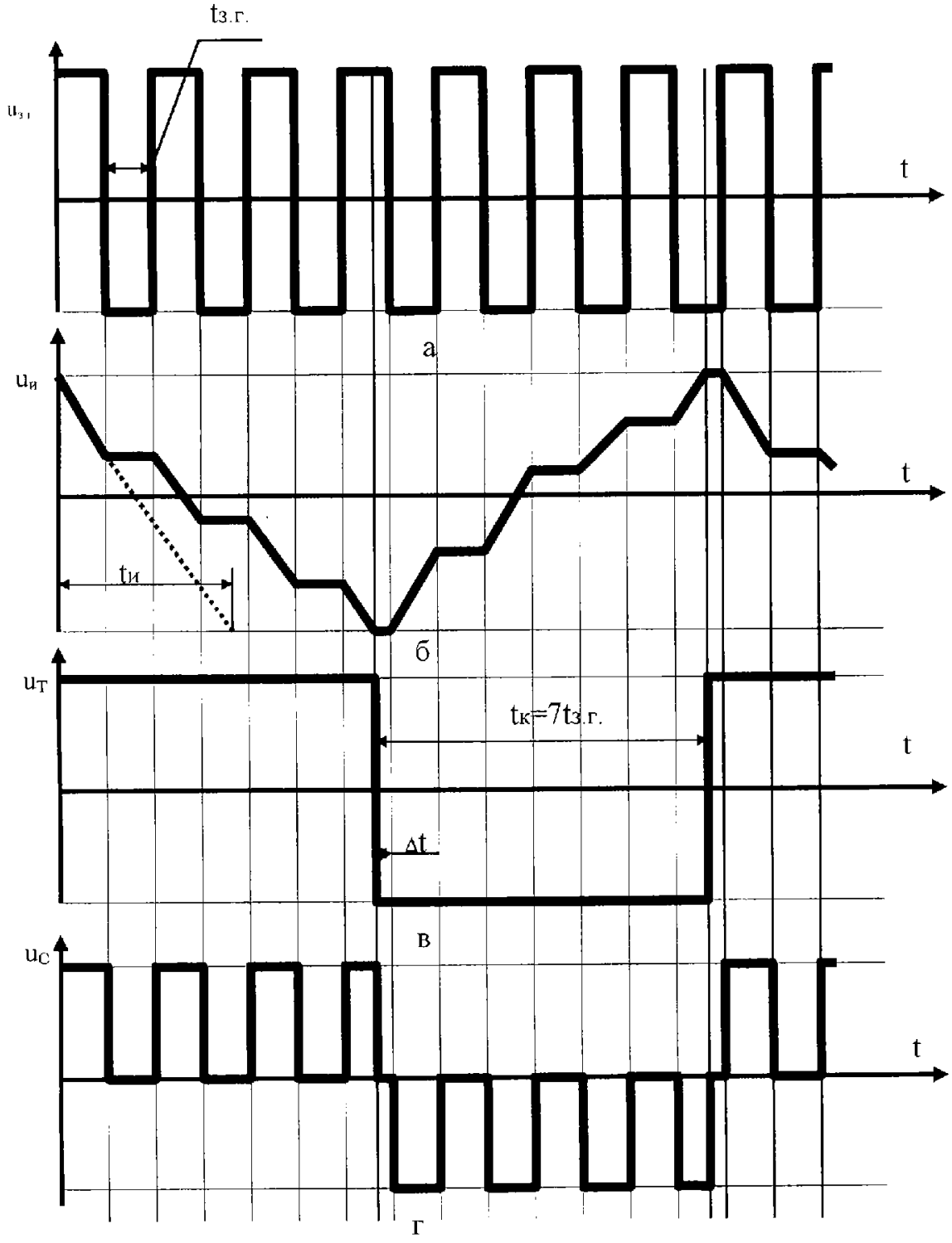
RU 2221327 C2



Фиг. 3

RU 2221327 C2

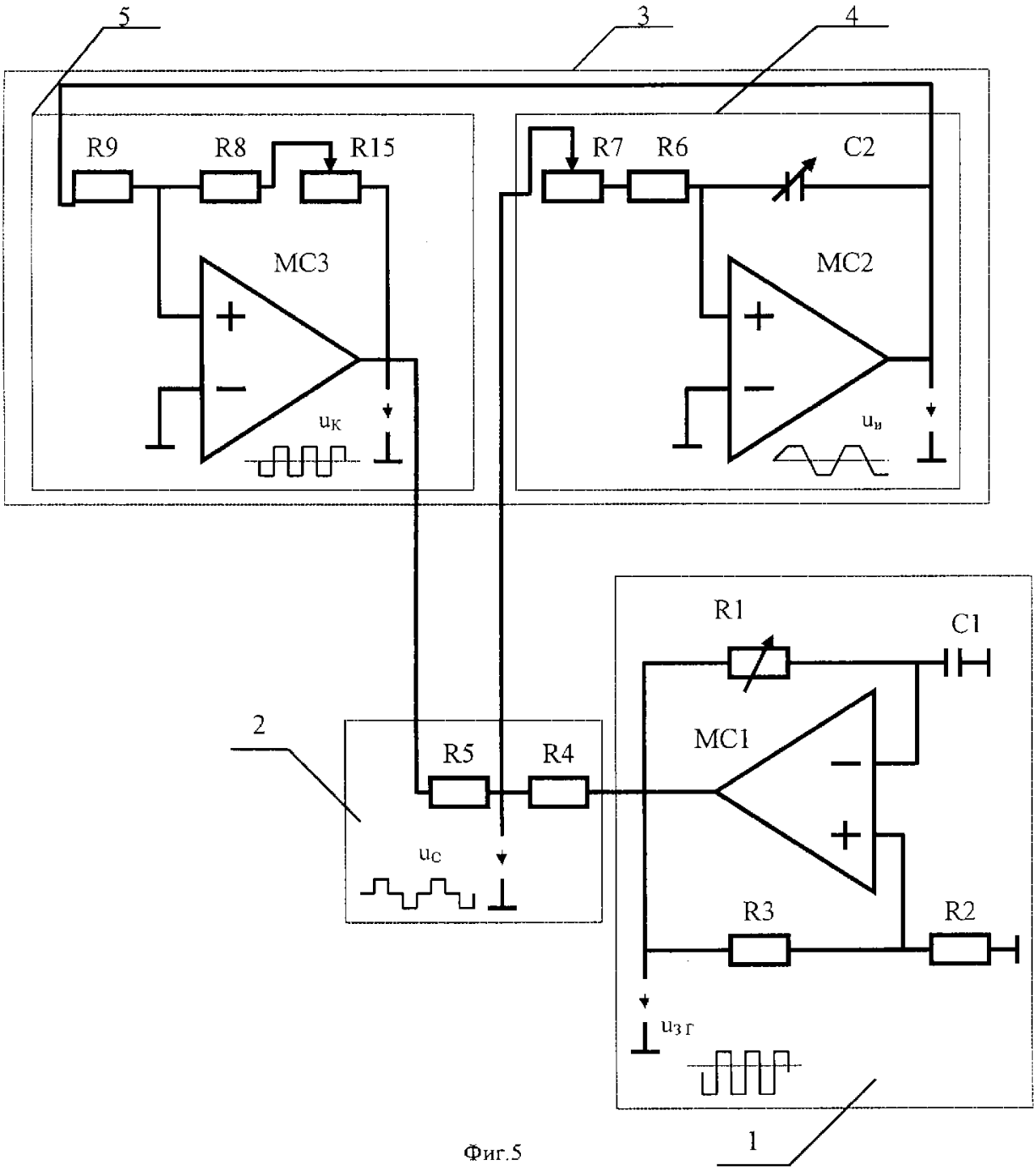
RU 2221327 C2



Фиг. 4

RU 2221327 C2

RU 2221327 C2



Фиг.5

RU 2221327 C2

RU 2221327 C2