

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13503

(13) U

(45) 2024.06.20

(51) МПК

H 03B 27/00 (2006.01)

(54)

ГЕНЕРАТОР КВАДРАТУРНЫХ СИГНАЛОВ

(21) Номер заявки: u 20240030

(22) 2024.02.06

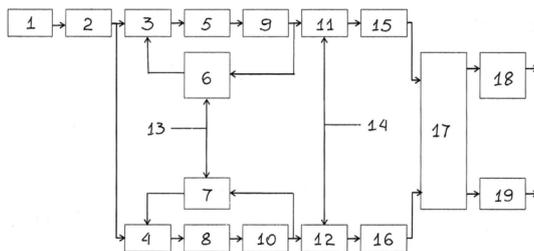
(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Забеньков Игорь Иванович; Гусинский Александр Владимирович; Лисов Дмитрий Александрович; Соколов Сергей Сергеевич (ВУ)

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

(57)

Генератор квадратурных сигналов, содержащий опорный генератор, выход которого соединен со входом делителя частоты опорного генератора, выход которого соединен с первым входом первого частотно-фазового детектора, выход которого соединен со входом первого фильтра нижних частот, выход которого соединен со входом первого генератора, управляемого напряжением, выход которого соединен со входом первого входного делителя частоты, имеющего шину программирования, выход первого входного делителя частоты соединен со вторым входом первого частотно-фазового детектора, отличающийся тем, что содержит второй частотно-фазовый детектор, вход которого соединен с выходом делителя частоты опорного генератора, а выход соединен со вторым фильтром нижних частот, выход которого соединен со вторым генератором, управляемым напряжением, выход которого соединен со входом второго входного делителя частоты, имеющего шину программирования, а его выход соединен со вторым входом второго частотно-фазового детектора; выход второго генератора, управляемого напряжением, соединен со входом второго выходного делителя частоты, имеющего шину управления, а выход соединен со входом четвертого фильтра нижних частот, выход которого соединен со вторым гетеродинным входом квадратурного преобразователя, первый вход первого выходного делителя частоты соединен с выходом первого генератора, управляемого напряжением, второй вход первого выходного делителя частоты соединен с шиной управления, а выход соединен с третьим фильтром нижних частот, выход которого соединен с первым сигнальным входом квадратурного преобразователя, с первого и второго выходов квадратурного пре-



ВУ 13503 U 2024.06.20

BY 13503 U 2024.06.20

образователя квадратурные сигналы подаются на первый и второй полосовые фильтры соответственно, выходы которых являются квадратурными I и Q выходами генератора квадратурных сигналов.

(56)

1. RU 1805542A1, 1993.

2. RU 2506692, 2014.

3. IMA225-1e Rohde & Schwarz, Modulation and Shaping of the Signals by Means of Signals Generator R&S. Munich: Rohde & Schwarz, 2017, uri. Найдено на [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma225/IMA225_1rus_Modulation_Signal_Generation.pdf].

4. РЫЖКОВ А.В. и др. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. Москва: Радио и связь, 1991, с. 63-67.

5. ШАХГИЛЬДЯН В.В. и др. Принципы построения источников сигналов на основе цифрового вычислительного синтеза. Электросвязь, № 12, 1999, с. 28-32.

Полезная модель относится к радиоизмерительной технике и может быть использована в измерительных системах для контроля приемно-передающих устройств систем радиолокации и радиосвязи, в измерительных селективных приемниках и системах персональной радиосвязи.

Известен генератор квадратурных колебаний [1], целью которого является уменьшение различия амплитуд гармонических колебаний в квадратурных каналах. Генератор квадратурных колебаний содержит четыре элемента задержки, первый и второй сумматоры, инвертирующий усилитель и усилитель. Уменьшение различия амплитуд выходных квадратурных колебаний достигается за счет выбора фазовых задержек и коэффициентов передачи усилителя и инвертирующего усилителя.

Недостатками данного устройства являются низкая стабильность частоты генерации и низкая чистота спектра.

Известен управляемый генератор [2], содержащий два интегратора, три умножителя, три квадратора, релейный элемент, ограничитель, два сумматора и инвертор, включенный между выходом третьего квадратора и третьим входом второго сумматора, выход которого соединен со вторым входом третьего умножителя, между выходом которого и первым входом первого сумматора включен ограничитель, при этом первый интегратор включен между выходом первого умножителя и первым входом второго умножителя, к выходу которого подключен вход второго интегратора, выход которого соединен со вторым входом первого сумматора, к выходу которого подключен первый вход первого умножителя, второй вход которого соединен со вторым входом второго умножителя и первой шиной управляемого генератора, вторая шина которого соединена со входом третьего квадратора, причем выходы первого и второго интеграторов соединены с соответствующими выходами управляемого генератора, первый квадрататор включен между первым выходом управляемого генератора и первым входом второго сумматора, второй квадрататор включен между вторым выходом управляемого генератора и вторым входом второго сумматора, а релейный элемент включен между первым выходом управляемого генератора и первым входом третьего умножителя.

Основными недостатками данного устройства являются низкая чистота спектра, большое время установления сигнала при оперативном включении-выключении генератора и значительная сложность реализации.

Наиболее близким по достигаемому эффекту является структура [3, с. 24] генерации высокочастотных сигналов аналоговым методом синтеза на основе подсистемы фазовой автоподстройки частоты.

Для получения синтезированных сигналов в этом случае применяются операции генерации опорным генератором и генератором, управляемым напряжением сигналов, их сравнения после деления на n сигнала генератора управляемого напряжением и на m в частотно-фазовом детекторе, который вырабатывает после фильтрации управляющее напряжение, подаваемое на управляющий вход генератора, управляемого напряжением, на выходе которого получается высокочастотный сигнал, уровень которого регулируется, усиливается по мощности, подается на детектор автоматической регулировки уровня и через ступенчатый аттенуатор поступает на выход генератора.

Такие устройства обладают следующими недостатками: а) низкая чистота спектра выходного сигнала из-за недостаточного уровня их фильтрации; б) снижение ее быстродействия из-за введения инерционных элементов в структуру, что особенно важно при оперативном включении-переключении выходных сигналов генератора.

Наиболее близкой по достигаемому эффекту является структура синтезатора частоты, использующего кольцо подсистемы фазовой автоподстройки частоты [3, с. 7, 24], [4, 5] и позволяющая реализовать управление генератором высокочастотных сигналов до частот сотни МГц [4]. Структурная схема такого синтезатора содержит опорный генератор, блок подсистемы фазовой автоподстройки частоты, генератор, управляемый напряжением, I-Q модулятор (квадратурный преобразователь), управление уровнем с автоматической регулировкой усиления и ступенчатый аттенуатор.

При этом частота сравнения опорного генератора и генератора, управляемого напряжением, в частотно-фазовом детекторе достигает сотен МГц. Но даже при таких параметрах кольца подсистемы фазовой автоподстройки частоты время установления (переключения) частоты всего генератора сигналов по сравнению со временем установления частоты опорным генератором резко возрастает [4, 5] из-за ограничений по устойчивости на полосу пропускания фильтра нижней частоты подсистемы фазовой автоподстройки частоты, что является недостатком такого способа.

Задачей данной полезной модели является повышение чистоты спектра выходного сигнала генератора квадратурных сигналов и снижение времени включения/выключения сигнала при необходимости оперативного изменения его частоты.

Поставленная задача решается тем, что в генератор квадратурных сигналов содержит опорный генератор, выход которого соединен со входом делителя частоты опорного генератора, выход которого соединен с первым входом первого частотно-фазового детектора, выход которого соединен со входом первого фильтра нижних частот, выход которого соединен со входом первого генератора, управляемого напряжением, выход которого соединен со входом первого входного делителя частоты, имеющего шину программирования, выход первого входного делителя частоты соединен со вторым входом первого частотно-фазового детектора, а также содержит второй частотно-фазовый детектор, вход которого соединен с выходом делителя частоты опорного генератора, а выход соединен со вторым фильтром нижних частот, выход которого соединен со вторым генератором, управляемым напряжением, выход которого соединен со входом второго входного делителя частоты, имеющего шину программирования, а его выход соединен со вторым входом второго частотно-фазового детектора; выход второго генератора, управляемого напряжением, соединен со входом второго выходного делителя частоты, имеющего шину управления, а выход соединен с входом четвертого фильтра нижних частот, выход которого соединен со вторым гетеродинным входом квадратурного преобразователя, первый вход первого выходного делителя частоты соединен с выходом первого генератора, управляемого напряжением, второй вход первого выходного делителя частоты соединен с шиной управления, а выход соединен с третьим фильтром нижних частот, выход которого соединен с первым

сигнальным входом квадратурного преобразователя, с первого и второго выходов квадратурного преобразователя квадратурные сигналы подаются на первый и второй полосовые фильтры соответственно, выходы которых являются квадратурными I и Q выходами генератора квадратурных сигналов.

Известно [4, 5], что деление частоты генераторов на N раз приводит к улучшению чистоты спектра на $20 \lg N$ дБ. Введение в структуру генератора делителей частоты, коэффициент деления которых определяет нужный диапазон частоты генерации и позволяющих увеличить частоту генерации генератора, управляющего напряжением, совместно с третьим и четвертым фильтрами нижних частот, снижающими гармонические составляющие основной частоты генератора, управляющего напряжением, позволяет производить оперативное включение/переключение не выключением генераторов, управляющих напряжением, а отключением последующих делителей частоты, что значительно снижает время установления выходного уровня генератора квадратурных сигналов.

Генератор квадратурных сигналов предназначен для формирования двух взаимосвязанных по частоте и амплитуде сигналов I и Q со сдвигом по фазе на 90° .

На фигуре показана структурная схема генератора квадратурных сигналов. Генератор содержит опорный генератор 1, выход которого соединен со входом делителя частоты 2 опорного генератора 1, выход которого соединен с первыми входами первого и второго частотно-фазовых детекторов 3 и 4, выходы которых соединены со входами первого и второго фильтров нижних частот 5 и 8, выходы которых соединены со входами первого и второго генераторов, управляемых напряжением 9 и 10, выходы которых соединены с первыми входами первого и второго выходных делителей частоты 11 и 12 и первыми входами программируемых делителей частоты 6 и 7, выходы которых соединены со вторыми входами первого и второго частотно-фазовых детекторов 3 и 4, вторые входы программируемых делителей частоты 6 и 7 соединены с шиной программирования 13, вторые входы первого и второго выходных делителей частоты 11 и 12 соединены с шиной управления 14, выходы первого и второго выходных делителей частоты 11 и 12 соединены со входами третьего и четвертого фильтров нижних частот 15 и 16, выход третьего фильтра нижних частот 15 соединен с первым сигнальным входом квадратурного преобразователя 17, а выход четвертого фильтра нижних частот 16 соединен со вторым гетеродинным входом квадратурного преобразователя 17, с выходов квадратурного преобразователя 17 квадратурные сигналы подаются на первый и второй полосовые фильтры 18 и 19 соответственно, выходы которых являются квадратурными I и Q выходами генератора квадратурных сигналов.

Рассмотрим основные функции структурных компонентов схемы. Опорный генератор 1 служит для получения высокостабильного опорного сигнала, частота которого является основой сравнения опорной и генерируемой генератором, управляемым напряжением, частот. Делитель частоты 2 опорного генератора 1 обеспечивает требуемую дискретность установки частот генератором, управляемым напряжением, совместно с подсистемой фазовой автоподстройки частоты. Программируемые делители частоты 6 и 7 приводят частоты генераторов, управляемых напряжением 9 и 10, к частоте сравнения, образующейся на выходе делителя частоты 2. Частотно-фазовые детекторы 3 и 4 служат для сравнения этих частот с точностью до фазы и выработки сигнала управления частотами генераторов, управляемых напряжением 9 и 10. Управляющий сигнал после частотно-фазовых детекторов 3 и 4 фильтруется фильтрами нижних частот 5 и 8, которые определяют полосу частоты удержания и устраняют паразитные компоненты частоты сравнения. Генераторы, управляемые напряжением 9 и 10, служат для получения высокочастотных гармонических сигналов, частоты которых после программируемых по шине программирования 13 делителей частоты 6 и 7 сравниваются с разделенной частотой высокостабильного опорного генератора 1 в частотно-фазовых детекторах 3 и 4. Выходные делители частоты 11 и 12 предназначены для приведения частоты генератора к нужному диапазону, снижения вели-

ВУ 13503 U 2024.06.20

чины фазовых шумов выходного сигнала генераторов, управляемых напряжением и уменьшения времени включения/выключения сигнала при необходимости оперативного изменения его частоты и управляются по шине управления 14. Последующие далее фильтры нижних частот 15 и 16 служат для улучшения чистоты спектров полезного и гетеродинных сигналов. Полезный сигнал подается с выхода фильтра нижних частот 15 на сигнальный вход квадратурного преобразователя 17, на гетеродинный вход которого поступает напряжение с выхода фильтра нижних частот 16. Квадратурный преобразователь представляет собой микросхему балансного смесителя со встроенным в микросхему фазосдвигающим элементом. С выходов квадратурного преобразователя 17 квадратурные сигналы подаются на первый и второй полосовые фильтры 18 и 19, выделяющие нужный частотный диапазон, выходы которых являются квадратурными I и Q выходами генератора квадратурных сигналов.

Генератор квадратурных сигналов обладает уменьшенным временем включения/выключения сигнала при необходимости оперативного изменения его частоты и сниженным уровнем фазовых шумов, что улучшает чистоту его частотного спектра.