

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036472**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.11.13**

(51) Int. Cl. **H03B 5/02 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**201800288**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.03.27**

---

(54) **ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ**

---

(43) **2019.09.30**

(56) RU-U1-156096

(96) **2018/EA/0018 (BY) 2018.03.27**

RU-U1-134719

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

RU-C1-2580068

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

RU-C1-2297092

**"БЕЛОРУССКИЙ**

US-A-742208

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И**

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ" (BY)**

(72) Изобретатель:

**Гусинский Александр Владимирович,**

**Ворошень Алексей Владимирович,**

**Лапшин Сергей Михайлович,**

**Кондрашов Денис Александрович,**

**Вольнец Алексей Сергеевич,**

**Кострикин Анатолий Михайлович**

**(BY)**

(57) Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в радиолокации, измерительной технике, технике связи, а именно в тех генераторах сигналов, где требуется обеспечить стабильный уровень генерируемых сигналов и малое значение флуктуации их фазы при реализации перестройки в широком спектре диапазонов частот (метровом, дециметровом, сантиметровом, миллиметровом). Поставленная задача достигается тем, что в структуре генератора сигналов алгоритм расширения диапазона перестройки частоты заключается в использовании одинаковых по составу блоков расширения. В эти блоки входят фиксированные умножители частоты на 2, что позволяет реализовать в одном генераторе возможность формирования сигналов в широком спектре диапазонов частот. Блоки расширения соединены так, что входы каждого последующего блока соединены с выходами предыдущего блока. Генератор содержит высокостабильный синтезатор частоты на базе кварцевого резонатора в диапазоне частот 0,01-5 ГГц. Первый блок расширения 5-20 ГГц, который является опорным, также содержит синтезатор частот. Использование делителя частоты с переключаемым коэффициентом деления позволяет обеспечить малое значение шага перестройки частоты, что повышает точность установки частоты во всем спектре диапазонов частот. Использование управляемого фазовращателя в первом блоке расширения и балансных смесителей в блоках расширения обеспечивает формирование стабильных по уровню сигналов с малыми флуктуациями фазы.

**B1**

**036472**

**036472**

**B1**

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в радиолокации, измерительной технике, технике связи, а именно в тех генераторах сигналов, где требуется обеспечить стабильный уровень генерируемых сигналов и малое значение флуктуации их фазы при реализации перестройки в широком спектре диапазонов частот (метровом, дециметровом, сантиметровом, миллиметровом).

Известны генераторы сигналов на основе синтеза частот (генераторы частоты), состоящие из опорного генератора, формирующего несколько значений фиксированных опорных частот, устройства коммутации сигналов опорных частот и последовательно включенных блоков, каждый из которых содержит смеситель, полосовой фильтр и делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления [1]. Недостатками таких генераторов являются узкая полоса перестройки частоты генерируемого сигнала и необходимость большого количества блоков для получения малого шага перестройки частоты, т.е. сложность конструкции генераторов.

Известны генераторы сигналов на основе синтеза частот, содержащие опорный генератор, блоки формирования сетки частот и формирователь управляющих сигналов [2]. Каждый блок содержит смеситель, полосовой фильтр и делитель частоты с переключаемым коэффициентом деления. Недостатком таких генераторов является узкая полоса перестройки частоты генерируемого сигнала.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому генератору является выбранный в качестве прототипа широкополосный генератор сигналов [3] на основе синтеза частот, содержащий перестраиваемый по частоте источник сигнала, формирователь сигналов управления и блоки расширения диапазона перестройки частоты, причем вход первого блока соединен с выходом источника сигнала, и каждый из блоков содержит преобразователь частоты, полосовой фильтр, делитель частоты с переключаемым коэффициентом деления, при этом блоки соединены так, что вход каждого последующего блока соединен непосредственно с выходом предыдущего.

Недостатками прототипа являются сложность конструкции из-за наличия в каждом из блоков расширения громоздких преобразователей частоты, состоящих из смесителей и гетеродинов, что ограничивает спектр диапазонов частот, и отсутствие возможности формирования стабильных по уровню сигналов с малыми флуктуациями фазы.

Задача изобретения - обеспечение возможности формирования стабильных по уровню сигналов с малыми флуктуациями фазы в широком спектре диапазонов частот - метровом, дециметровом, сантиметровом, миллиметровом.

Задача достигается тем, что широкодиапазонный генератор сигналов (прототип) характеризуется тем, что он содержит формирователь сигналов управления, перестраиваемый по частоте источник сигнала и блоки расширения диапазона перестройки частоты, причем вход первого блока расширения соединен с выходом источника сигнала; перестраиваемый по частоте источник сигнала содержит опорный генератор; первый блок расширения диапазона перестройки частоты содержит делитель частоты с переключаемым коэффициентом деления; при этом блоки расширения соединены так, что вход каждого последующего блока соединен непосредственно с первым выходом предыдущего; отличающийся тем, что перестраиваемый по частоте источник сигнала 0,01-5 ГГц включает в себя также синтезатор частот 0,01-5 ГГц, ко входу которого подключен первый выход опорного генератора; выход синтезатора частот 0,01-5 ГГц через регулируемый усилитель 0,01-5 ГГц соединен со входом управляемого ключа 0,01-5 ГГц; второй выход опорного генератора является первым выходом источника сигнала 0,01-5 ГГц; первый блок расширения 5-20 ГГц содержит также синтезатор частот 5-20 ГГц, регулируемый усилитель 5-20 ГГц, фазовращатель и управляемый ключ 5-20 ГГц, причем вход делителя частоты является входом первого блока расширения 5-20 ГГц, а выход соединен со входом синтезатора частот 5-20 ГГц; выход синтезатора частот 5-20 ГГц через усилитель 5-20 ГГц, фазовращатель соединен со входом ключа 5-20 ГГц; на управляющий вход фазовращателя поступает сигнал с выхода мультиплексора; выход фазовращателя является первым выходом первого блока расширения 5-20 ГГц; все блоки расширения, начиная со второго (второй 20-40 ГГц, третий 40-80 ГГц, четвертый 80-120 ГГц, пятый 120-160 ГГц, шестой 160-220 ГГц), имеют одинаковую структуру; второй блок расширения 20-40 ГГц содержит умножитель частоты на 2, регулируемый усилитель 20-40 ГГц, управляемый ключ 20-40 ГГц, балансный смеситель, фильтр низких частот, фильтр высоких частот, амплитудный детектор, первый и второй усилители постоянного тока; при этом вход умножителя частоты является входом второго блока расширения 20-40 ГГц; выход умножителя частоты через усилитель 20-40 ГГц подключен ко входу ключа 20-40 ГГц; кроме того, выход усилителя 20-40 ГГц подключен к первому входу балансного смесителя, а вход умножителя частоты соединен также со вторым входом балансного смесителя; первый выход балансного смесителя через фильтр высоких частот, амплитудный детектор и первый усилитель постоянного тока подключен к управляющему входу усилителя 20-40 ГГц; второй выход балансного смесителя через фильтр низких частот, второй усилитель постоянного тока соединен с первым входом мультиплексора; выход усилителя 20-40 ГГц также является первым выходом второго блока расширения 20-40 ГГц, а выход второго усилителя постоянного тока является вторым выходом этого блока расширения; сигналы управления с выходов их формирователя подаются на управляющие входы синтезаторов частот 0,01-5 и 5-20 ГГц, делителя частоты, усилителей источника сигнала 0,01-5 ГГц и первого блока расширения 5-20 ГГц, делителя частоты, ключей источника сигнала 0,01-5 ГГц и всех блоков расширения; сигналы с выходов всех ключей

поданы на выходы 0,01-5 ГГц, 5-20 ГГц, 20-40 ГГц, 40-80 ГГц, 80-120 ГГц, 120-160 ГГц, 160-220 ГГц генератора; вторые выходы третьего, четвертого, пятого, шестого блоков расширения соединены со вторым, третьим, четвертым, пятым входами мультиплексора.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемый генератор отличается наличием новых функциональных узлов, а также дополнительными связями этих узлов с остальными функциональными частями генератора.

Сравнение заявляемого решения с другими техническими решениями показывает, что в заявляемом генераторе

алгоритм расширения диапазона перестройки частоты, заключающийся в использовании одинаковых по структуре блоков расширения, в которые входят умножители частоты на 2, позволяет реализовать в одном генераторе возможность формирования сигналов в широком спектре диапазонов частот (метровом, дециметровом, сантиметровом, миллиметровом);

формирование стабильных по уровню сигналов с малыми флуктуациями фазы обеспечивается за счет использования балансных смесителей в блоках расширения. Например, для второго блока расширения при взаимодействии второй гармоники сигнала с первого выхода первого блока расширения и выходного сигнала второго блока расширения балансный смеситель представляет собой фазовый дискриминатор, при этом на втором выходе балансного смесителя формируется сигнал, постоянная составляющая которого, выделяемая фильтром низких частот и пропорциональная разности фаз сигналов на входах балансного смесителя, усиливается вторым усилителем постоянного тока и через мультиплексор подается на вход управления регулируемого фазовращателя, обеспечивая уменьшение флуктуации фазы. При взаимодействии сигнала с выхода первого блока расширения и его гармоник с выходным сигналом второго блока расширения на первом выходе балансного смесителя формируется высокочастотный сигнал, уровень которого пропорционален уровню выходной мощности сигнала второго блока расширения. Этот сигнал выделяется фильтром высоких частот, детектируется амплитудным детектором и после усиления первым усилителем постоянного тока подается на вход управления регулируемого усилителя второго блока расширения, обеспечивая тем самым повышение стабильности уровня мощности сигнала второго блока расширения. При этом обеспечивается большая линейность и более широкий динамический диапазон в сравнении с обычно используемыми диодными детекторами уровня мощности [4].

Работа широкодиапазонного генератора сигналов поясняется чертежом.

На чертеже - 1 - формирователь сигналов управления; 2 - синтезатор частот 0,01-5 ГГц; 3 - регулируемый усилитель 0,01-5 ГГц; 4 - управляемый ключ 0,01-5 ГГц; 5 - опорный генератор; 6 - делитель частоты с переключаемым коэффициентом деления; 7 - синтезатор частот 5-20 ГГц; 8 - регулируемый усилитель 5-20 ГГц; 9 - регулируемый фазовращатель; 10 - управляемый ключ 5-20 ГГц; 11 - умножитель частоты на 2; 12 - регулируемый усилитель 20-40 ГГц; 13 - управляемый ключ 20-40 ГГц; 14 - первый усилитель постоянного тока; 15 - амплитудный детектор; 16 - фильтр высоких частот; 17 - балансный смеситель; 18 - фильтр низких частот; 19 - второй усилитель постоянного тока; 20 - мультиплексор.

Перестраиваемый по частоте источник сигнала 0,01-5 ГГц содержит опорный генератор 5, синтезатор 2, усилитель 3, ключ 4, причем первый выход опорного генератора 5 подключен ко входу синтезатора 2, выход которого через усилитель 3 соединен со входом ключа 4. Вторым выходом опорного генератора 5 является первым выходом источника сигнала 0,01-5 ГГц, который соединен со входом первого блока расширения 5-20 ГГц.

Первый блок расширения 5-20 ГГц содержит делитель частоты 6, синтезатор 7, усилитель 8, фазовращатель 9, ключ 10, при этом вход делителя частоты 6 является входом первого блока расширения 5-20 ГГц. Выход делителя частоты 6 соединен со входом синтезатора частот 7, а выход этого синтезатора через усилитель 8, фазовращатель 9 соединен со входом ключа 10. На управляющий вход фазовращателя 9 поступает сигнал с выхода мультиплексора 20. Выход фазовращателя 9 является также первым выходом первого блока расширения 5-20 ГГц.

Все блоки расширения, начиная со второго, имеют одинаковую структуру, при этом они соединены так, что входы каждого последующего блока расширения соединены непосредственно с первым выходом предыдущего блока расширения. Второй блок расширения 20-40 ГГц содержит умножитель частоты 11, усилитель 12, ключ 13, балансный смеситель 17, фильтр низких частот 18, фильтр высоких частот 16, амплитудный детектор 15, первый 14 и второй 19 усилители постоянного тока, при этом вход умножителя частоты 11 является входом второго блока расширения 20-40 ГГц. Выход умножителя частоты 11 через усилитель 12 подключен ко входу ключа 13. Кроме того, выход усилителя 12 подключен к первому входу балансного смесителя 17, а вход умножителя частоты 11 соединен также со вторым входом балансного смесителя 17. Первый выход балансного смесителя 17 через фильтр высоких частот, амплитудный детектор 15 и первый усилитель постоянного тока 14 подключен к управляющему входу усилителя 12. Вторым выходом балансного смесителя 17 через фильтр низких частот 18, второй усилитель постоянного тока 19 соединен с первым входом мультиплексора 20. Выход усилителя 12 также является первым выходом второго блока расширения 20-40 ГГц, а выход второго усилителя постоянного тока 19 является вторым выходом этого блока.

Сигналы управления с выходов их формирователя 1 подаются на управляющие входы синтезаторов

частот 2 и 7, делителя частоты 6, усилителей 3, 8, ключей источника сигнала и всех блоков расширения. Сигналы с выходов всех ключей подаются на выходы 0,01-5 ГГц, 5-20 ГГц, 20-40 ГГц, 40-80 ГГц, 80-120 ГГц, 120-160 ГГц, 160-220 ГГц генератора.

Вторые выходы третьего, четвертого, пятого, шестого блоков расширения соединены со вторым, третьим, четвертым, пятым входами мультиплексора 20.

Генератор работает следующим образом. Опорный генератор 5 формирует опорный сигнал для перестраиваемого по частоте генератора сигнала и всех блоков расширения. В качестве опорного генератора 5 используется высокостабильный по частоте генератор на базе кварцевого резонатора. Синтезатор 2 формирует сигнал в диапазоне частот 0,01-5 ГГц с шагом, задаваемым сигналом управления формирователя 1.

Сигнал 0,01-5 ГГц усиливается усилителем 3 и через управляемый ключ 4 поступает на выход 0,01-5 ГГц генератора. При работе в других диапазонах частот управляемый ключ 4 закрыт при подаче соответствующего сигнала управления формирователя 1. Первый блок расширения 5-20 ГГц также содержит синтезатор 7, усилитель 8 и ключ 10, выполняющие те же функции, что и соответствующие узлы в источнике сигнала 0,01-5 ГГц.

Использование делителя частоты 6 с переключаемым коэффициентом деления позволяет обеспечить малое значение шага перестройки частоты, что приводит к высокой точности установки частоты во всем спектре диапазонов частот генераторов.

Кроме того, в первом блоке используется управляемый фазовращатель 9, обеспечивающий высокую стабильность по фазе выходного сигнала первого блока расширения.

Все блоки расширения, начиная со второго, имеют одинаковую структуру. Например, во втором блоке расширения 20-40 ГГц для расширения частотного диапазона используется множитель частоты на 2 (11), а также управляемые усилитель 12 и ключ 13, выполняющие те же функции, что и соответствующие узлы в источнике сигнала 0,01-5 ГГц. Второй блок расширения 20-40 ГГц содержит балансный смеситель 17, в котором происходит взаимодействие выходного сигнала блока и второй гармоники выходного сигнала первого блока расширения. При этом на первом выходе балансного смесителя 17 фильтром высоких частот 16 выделяется высокочастотный сигнал, уровень которого пропорционален уровню мощности выходного сигнала второго блока расширения 20-40 ГГц. Этот сигнал детектируется амплитудным детектором 15 и после усиления первым усилителем 14 поступает на вход управления усилителя 12, обеспечивая повышение стабильности уровня мощности второго блока расширения 20-40 ГГц. С другой стороны на втором выходе балансного смесителя 17 формируется сигнал, постоянная составляющая которого пропорциональна разности фаз сигналов на входах балансного смесителя 17. Сигнал после усиления вторым усилителем постоянного тока 19 через мультиплексор 20 поступает на вход управления усилителя 9, тем самым обеспечивая уменьшение флуктуации фазы.

В качестве фазовращателя 9 используется фазовращатель на варакторных диодах в микрополосковом исполнении. В качестве балансных смесителей блоков расширения используются смесители на базе диодного моста, выполненные на базе волноводной или микрополосковой структуры. Разделение мощности реализуется с помощью разделителей, выполненных в резистивном, коаксиальном, волноводном, микрополосковом исполнении.

Выбор диапазона частот осуществляется формирователем 1, который формирует сигналы управления ключами генератора и мультиплексором 20, осуществляющим выбор сигнала управления фазой для соответствующего блока расширения.

Широкодиапазонные генераторы сигналов, в которых реализованы заявленные принципы построения их структуры, были разработаны и изготовлены при выполнении совместных работ Научно-образовательного инновационного центра СВЧ-технологий и их метрологического обеспечения Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники и Белорусским государственным институтом метрологии при реализации эталонов единицы мощности и единицы плотности потока энергии (для эталонов единиц мощности диапазоны частот 0,01-40 и 40-180 ГГц, для эталона единицы плотности потока энергии - 0,01-37,5 ГГц). Кроме того, широкодиапазонные генераторы были реализованы Научно-образовательным инновационным центром СВЧ-технологий и их метрологическим обеспечением при выполнении хозяйственных работ по разработке радиолокационных систем.

Широкодиапазонные генераторы используются в аккредитованных лабораториях Научно-образовательного инновационного центра СВЧ-технологий и их метрологического обеспечения: испытательной лаборатории аппаратуры и устройств сверхвысоких частот и калибровочной лаборатории средств измерений сверхвысоких частот.

Список использованных источников.

1. Шапиро Д.Н., Паин А.А. Основы теории синтеза частот. - М.: Радио и связь, 1981. - с. 102-111.
2. А.с. SU № 1695488. Широкополосный синтезатор частот. 06.03.2002.
3. Патент Республики Беларусь № 4791377, US.
4. Клич С.М. Проектирование и расчет СВЧ-устройств радиолокационных приемников. - М.: Сов. радио, 1973. - с. 104-105.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Широкодиапазонный генератор сигналов содержит формирователь сигналов управления, пере-страиваемый по частоте источник сигнала 0,01-5 ГГц, блоки расширения диапазона перестройки частоты 5-20 ГГц, 20-40 ГГц, 40-80 ГГц, 80-120 ГГц, 120-160 ГГц, 160-220 ГГц, мультиплексор, причем вход первого блока расширения 5-20 ГГц соединен с выходом источника сигнала 0,01-5 ГГц, а второй блок расширения 20-40 ГГц и последующие соединены так, что входы каждого последующего блока расширения соединены непосредственно с первыми выходами предыдущего блока расширения, вход второго блока расширения 20-40 ГГц - с первым выходом первого блока расширения 5-20 ГГц, вход третьего блока расширения 40-80 ГГц - с первым выходом второго блока расширения 20-40 ГГц, вход четвертого блока расширения 80-120 ГГц - с первым выходом третьего блока расширения 40-80 ГГц, вход пятого блока расширения 120-160 ГГц - с первым выходом четвертого блока расширения 80-120 ГГц, вход шестого блока расширения 160-220 ГГц - с первым выходом пятого блока расширения 120-160 ГГц; источник сигнала 0,01-5 ГГц содержит синтезатор частот 0,01-5 ГГц, ко входу которого подключен первый выход опорного генератора; выход синтезатора частот 0,01-5 ГГц через регулируемый усилитель 0,0-5 ГГц соединен со входом управляемого ключа 0,01-5 ГГц; второй выход опорного генератора является первым выходом источника сигнала 0,01-5 ГГц, первый блок расширения 5-20 ГГц содержит делитель частоты с переключаемым коэффициентом деления, вход которого является входом первого блока расширения 5-20 ГГц, а выход соединен со входом синтезатора частот 5-20 ГГц; выход синтезатора частот 5-20 ГГц через регулируемые усилитель 5-20 ГГц, фазовращатель соединен со входом управляемого ключа 5-20 ГГц; на управляющий вход фазовращателя поступает сигнал с выхода мультиплексора; выход фазовращателя является также первым выходом первого блока расширения 5-20 ГГц; все блоки расширения, начиная со второго, имеют одинаковую структуру; второй блок расширения 20-40 ГГц содержит умножитель частоты на 2, регулируемый усилитель, управляемый ключ, балансный смеситель, фильтр низких частот, фильтр высоких частот, амплитудный детектор, первый и второй усилители постоянного тока; при этом вход умножителя частоты является входом второго блока расширения 20-40 ГГц; выход умножителя частоты через усилитель подключен ко входу ключа; кроме того, выход усилителя подключен к первому входу балансного смесителя, а вход умножителя частоты соединен также со вторым входом балансного смесителя; первый выход балансного смесителя через фильтр высоких частот, амплитудный детектор и первый усилитель постоянного тока подключен к управляющему входу усилителя; второй выход балансного смесителя через фильтр низких частот, второй усилитель постоянного тока соединен с первым входом мультиплексора; выход усилителя также является первым выходом второго блока расширения, а выход второго усилителя постоянного тока является вторым выходом второго блока расширения; сигналы управления с выходов их формирователя подаются на управляющие входы синтезаторов частот 0,01-5 и 5-20 ГГц, делителя частоты, усилителей источника сигнала и первого блока расширения, ключей источника сигнала и всех блоков расширения; сигналы с выходов всех ключей поданы на выходы 0,01-5 ГГц, 5-20 ГГц, 20-40 ГГц, 40-80 ГГц, 80-120 ГГц, 120-160 ГГц, 160-220 ГГц генератора; вторые выходы третьего, четвертого, пятого, шестого блоков расширения соединены со вторым, третьим, четвертым, пятым входами мультиплексора.

