

Ultra-wideband microwave noise generator

¹Vasily P. Ivanov, ²Nikolay A. Maksimov, ²Andrey I. Panas

¹Special Design Bureau, Kotel'nikov Institute of RadioEngineering and Electronics of Russian Academy of sciences, 141190, Fryazino, Moscow region., square. acad. Vvedenskogo, app. 4, Russia
ivanov@sdbireras.ru

² Kotel'nikov Institute of RadioEngineering and Electronics of Russian Academy of sciences (Fryazino branch), 141190, Fryazino, Moscow region., square. acad. Vvedenskogo, app. 1, Russia
maksna49@mail.ru

Abstract: Solid-state generator of ultra-wideband microwave noise oscillations is proposed. The stable operation of the generator by varying its supply voltages is a distinctive feature of the generator. The generator layout is implemented. Noise signal generation in the frequency range from 9 kHz to 5 GHz with output power of 20 mW and spectral characteristic non-uniformity in the range of 10 dB is experimentally demonstrated.

Keywords: noise generator, ultra-wideband oscillations, microwave

Генератор сверхширокополосных шумовых СВЧ колебаний

¹Иванов В.П., ²Максимов Н.А., ²Панас А.И.

¹ФГУП Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники Российской академии наук, 141190, г. Фрязино, Московская обл., площадь имени академика Б.А. Введенского, дом 4, Российская Федерация
ivanov@sdbireras.ru

² Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова (Фрязинский-филиал) Российской академии наук, 141190, г. Фрязино, Московская обл., площадь имени академика Б.А. Введенского, дом 1, Российская Федерация
maksna49@mail.ru

Аннотация: Предложен твердотельный генератор сверхширокополосных шумовых колебаний СВЧ диапазона. Отличительной особенностью генератора является устойчивая работа в условиях потенциально возможного изменения его питающих напряжений. Разработан макет генератора. Экспериментально про-

демонстрирована генерация шумового сигнала в диапазоне частот от 9 кГц до 5 ГГц с мощностью выходного сигнала 20 мВт и неравномерностью спектральной характеристики по диапазону в пределах 10 дБ.

Ключевые слова: генератор шума, сверхширокополосные колебания, СВЧ-диапазон

1. Введение

Среди устройств радиоэлектроники генераторы шума, позволяющие получать широкополосные и сверхширокополосные шумовые сигналы, занимают свою устойчивую нишу. Они активно используются в различных областях: от измерительной техники до систем радиоэлектронного противодействия и радиотехнической маскировки, включая средства активной защиты информативных компонент побочных электромагнитных излучений электронно-вычислительной техники [1-2]. В последние годы появляются новые сферы приложения шумовых колебаний, преимущественно в СВЧ-диапазоне, которые связаны с нормативным разрешением применения широкополосных и сверхширокополосных сигналов в современных системах связи [3]. В зависимости от назначения и, соответственно, от предъявляемых к источникам шума требований, генераторы реализуются как в вакуумном [4], так и в твердотельном исполнении [5]. Они могут иметь различные рабочие диапазоны частот и полосы генерируемых сигналов, отличаться друг от друга величиной неравномерности спектральных характеристик и уровнями мощности выходных сигналов. Наряду с этими характеристиками, современные тенденции развития радиоэлектронных средств выдвигают на передний план и ряд других характеристик, важных с точки зрения практического применения генераторов и возможности их массового производства. Среди них: энергоэффективность, небольшие массогабаритные характеристики, возможность использования низковольтного питания, дизайн, надёжность работы при изменении внешних условий. Последнее свойство связано с наличием широких зон в пространстве управляющих параметров генератора, обеспечивающих устойчивую генерацию шумовых колебаний при достаточно больших вариациях параметров от номинальных значений. Из этого свойства вытекает также ещё одно, важное с практической точки зрения, следствие – отсутствие необходимости настройки (подстройки) генератора при подаче на него рабочих напряжений питания. Разработка генератора, обеспечи-

вающего надежную работу с требуемыми характеристиками, является целью данной работы.

В докладе предлагается структура генератора сверхширокополосных шумовых СВЧ колебаний и его практическая реализация, а также обсуждаются результаты экспериментального исследования его типовых режимов работы.

2. Структура и экспериментальный макет генератора

В основе предлагаемого генератора лежит устройство, предложенное в [6] и предназначенное для активной маскировки побочных электромагнитных излучений и наводок средств электронно-вычислительной техники. Оно состоит из четырёх взаимно связанных автоколебательных систем, каждая из которых представляет собой простейший генератор на биполярном транзисторе, выполняющим функцию активного элемента. Устройство обеспечивает генерацию шумовых колебаний в диапазоне частот 10 кГц – 2 ГГц.

Для реализации, поставленной в работе цели, в структуру предлагаемого генератора, по сравнению с [6], дополнительно введены ещё два генератора. На рис. 1 представлена общая принципиальная схема генератора. В качестве активного элемента во всех парциальных генераторах используется биполярный транзистор BFP 620. Связь между генераторами осуществляется по принципу «каждый с каждым», образуя, таким образом, сложную многопетлевую автоколебательную систему.

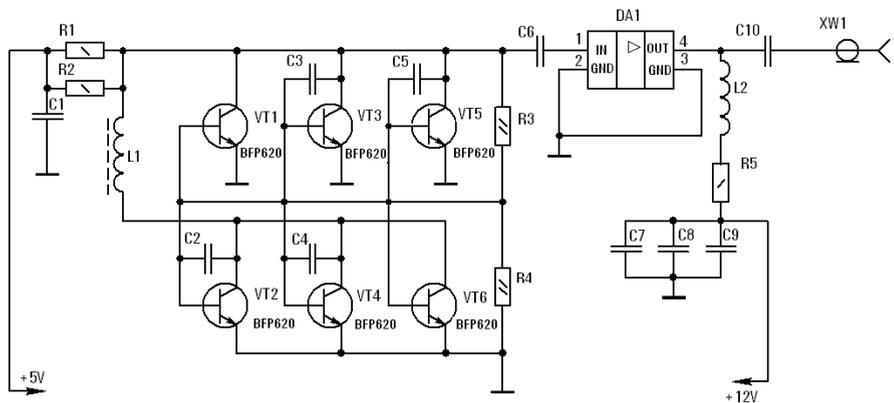


Рис. 1. Принципиальная схема генератора
Fig. 1. Schematic diagram of the generator

Питание коллекторных и базовых цепей всех используемых транзисторов обеспечивается одним источником питания напряжением 5 В через резисторы R1, R2 и R3, R4, соответственно. Ёмкости C2, C3, C4, C5 выполняют функцию элементов обратной связи парциальных генераторов. К выходу генератора (VT5) подключен буферный усилительный каскад DA1, предназначенный для согласования генератора с нагрузкой и улучшения энергетических характеристик генератора.

Рис. 2 демонстрирует макет генератора, выполненный на плате размером 40*25 мм из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,0 мм с использованием микрополосковых линий.

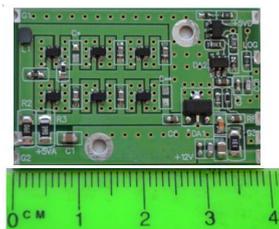


Рис. 2. Фотография макета генератора
Fig.2. Photo of the generator layout.

3. Эксперимент

При подключении макета генератора к источникам напряжения 5 В (непосредственно генератор) и 12 В (буферный усилитель), на выходе генератора наблюдаются сверхширокополосные шумовые колебания, спектр мощности которых приведён на рис. 3:

Как следует из представленного спектра, эффективная полоса генерации занимает диапазон частот от 9 кГц до 5 ГГц, причём в полосе частот 9 кГц – 4 ГГц неравномерность спектральной характеристики не превышает 10 дБ. Рис. 4 демонстрирует пример временной реализации генерируемого шумового сигнала для указанного выше режима и функцию распределения его мгновенных значений. При этом, оценка энтропийного коэффициента качества шумового сигнала на выходе генератора даёт величину не менее 0,9887. Измеренный уровень мощности выходного сигнала на на-

грузке 50 Ом составляет не менее 20 мВт, что соответствует к.п.д. устройства $\approx 1,5\%$:

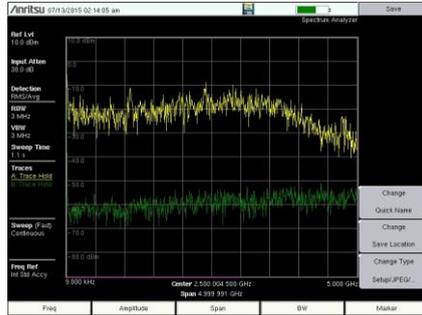


Рис. 3. Спектр мощности шумовых колебаний на выходе генератора
Fig. 3. Power spectrum of the noise oscillations at the generator output.



Рис. 4. Пример временной реализации генерируемого шумового сигнала и функция распределения его мгновенных значений
Fig. 4. Waveform (an example) of generated noise signal and the distribution function of its instantaneous values

Важно отметить, что по сравнению с базовым аналогом [6], в предложенном генераторе удалось существенно увеличить полосу шумового сигнала (до 5 ГГц). Причём, данное свойство имеет эффект наряду с достижением другой поставленной в работе цели – улучшение надёжности работы генератора в условиях потенциально возможного изменения, в процессе эксплуатации, величины его напряжения питания. В эксперименте зафиксирован тот факт, что режим генерации сверхширокополосных шу-

мовых колебаний с присущим ему спектром мощности и распределением мгновенных значений сохраняется при изменении номинального напряжения питания генератора в пределах $\pm 20\%$ (4-6 В). С другой стороны, описанный выше режим возникает сразу после подачи на генератор напряжения и не требует никакой дополнительной подстройки с помощью входящих в его состав элементов.

4. Заключение

Предложен и реализован в виде экспериментального макета генератор шума, устойчиво генерирующий шумоподобные сигналы в диапазоне частот от 9 кГц до 5 ГГц. При этом, неравномерность спектральной характеристики в указанном диапазоне не превышает 10 дБ, а выходная мощность достигает 20 мВт. Работоспособность генератора сохраняется при изменении питающего напряжения в пределах 20% от номинального значения. Небольшие габариты генератора, наряду с указанными характеристиками, делают его перспективным для различных приложений в качестве источника сверхширокополосных шумовых сигналов.

Источники финансирования и выражение признательности

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность сотрудникам ФГУП СКБ ИРЭ РАН Соснину Д.В., Квылинскому Ю.Ф. за помощь в проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] Иванов В.П. Сверхширокополосные генераторы шума и их практическое применение // Успехи современной радиоэлектроники. 2008. №13. С. 37.
- [2] Максимов Н.А., Панас А.И. Твердотельные энергоэффективные генераторы хаотических колебаний СВЧ-диапазона и их применение в системах РЭП // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. 2014. Вып. 2(521). С. 5-13.
- [3] Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Герасимов М.Ю., Мультимедийные сенсорные сети на основе сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов // Радиотехника и электроника. 2015. Т.60. №4. С.1-9.
- [4] Кислов В.Я., Мясин Е.А. Новый способ генерирования широкополосных СВЧ шумов // Специальная электроника. Сер. Электроника СВЧ. 1968. №6. С. 28-45.
- [5] Козулин В.Т., Соколов М.Ф. Полупроводниковый генератор шума // Специальная электроника. Сер. Электроника СВЧ. 1970. №6. С. 110-113.

[6] Демин В.М., Лепеха Ю.П., Поярков Л.А. Способ защиты системы обработки информации от побочных электромагнитных излучений, устройство для реализации способа и генератор шумового сигнала для реализации устройства // Патент РФ №2421917. 2010.

References

[1] Ivanov V.P. Ultra-wideband noise generators and their applications // *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki*. 2008. №13. pp. 37 (in Russian).

[2] Maksimov N.A., Panas A.I. Solid-state energy-efficient generators of microwave chaotic oscillations and their applications // *Elektronnaya tekhnika*. Ser. Microwave tekhnika. 2014. Iss. 2(521). pp. 5-13 (in Russian).

[3] Dmitriev A.S., Efremova E.V., Gerasimov M.Yu. Multimedia sensors networks based on ultra-wideband chaotic radio pulses // *Radiotekhnika i Elektronika*. 2015. V.60. №4. pp.1-9 (in Russian).

[4] Kislov V.Ya., Myasin E.A. New approach for generation of broadband microwave noise signals // *Spetsialnaya Elektronika*. Ser. Microwave Elektronika. 1968. №6. pp. 28-45 (in Russian).

[5] Kozulin V.T., Sokolov M.F. Solid-state noise generator // *Spetsialnaya Elektronika*. Ser. Microwave Elektronika. 1970. №6. pp. 110-113 (in Russian).

[6] Demin V.M., Lepexha Yu.P., Poyarkov L.A. The protection approach of an information processing system from side-electromagnetic radiations, the device for implementing the method and the noise generator for the implementation of the device // Patent of Russia. №2421917. 2010.

Acknowledgements

The authors are grateful to employees of Special Design Bureau of Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences Sosninu D.V. and Kvylynskomy Yu.F. for assistance in the experiments.