

- rical equipment of the conference hall]. *Infokommunikacionnye tehnologii* [Infocommunication technologies], 2015, vol. 13, no. 2, pp. 221–228. (In Russian).
3. Nesterova E.I., Krivenok N.L., Smogorzhevsky A.A. Osobennosti realizacii innovacionnyh proektov mediaindustrii [Features of the implementation of innovative projects of the media industry]. *Innovacii* [Innovations], 2017, no. 9, pp. 116–120. (In Russian).
  4. Nesterova E.I. *Kriterii, metodi i algoritmi analiza kvalimetriceskikh harakteristik v kinematograficheskikh sistemah* [Criteria, Methods and Algorithms for Analyzing Qualimetric Characteristics in Cinematographic Systems]. Sankt-Petersburg: Politehnika Publ., 2016, 213 p. (In Russian).
  5. Nesterova E.I. Correlation between subjective and objective methods for obtaining measurement information in cinematic systems. *Nauchno-tekhnicheskaya informaciya. Seriya Informacionnye processy i sistemy* [Scientific and Technical Information. Series Information Processes and Systems], 2011, no. 3, pp. 149–153. (In Russian).
  6. Nesterova E.I. Ispol'zovanie integral'nyh kriteriev pri reshenii kvalimetriceskikh zadach [The use of integral criteria in solving qualimetric problems]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPb-GPU. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie* [Scientific and Technical Sheets of St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Control], 2011, no. 1 (115), pp. 94–99. (In Russian).
  7. Nesterova E.I. Generalized algorithm for processing expert information based on qualimetric evaluations (using the example of cinematographic systems). *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2011, vol. 45, no. 2, pp. 58–63. DOI: 10.3103/S0005105511020038.
  8. Nesterova E.I. Formirovanie struktury vyhodnyh kvalimetriceskikh harakteristik kinematograficheskoy sistemy [Formation of the structure of the output qualimetric characteristics of the cinema system]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie* [Scientific and Technical Sheets of St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Control], 2011, no. 1 (115), pp. 55–60. (In Russian).
  9. Nesterova E.I., Scherbakova E.V. Reshenie zadach klassifikacii audiovizual'noj tekhniki s ispol'zovaniem lingvisticheskikh shkal [Solving the problems of classification of audiovisual equipment using linguistic scales]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informacionnye tekhnologii* [Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information Technology], 2009, vol. 7, no. 1, pp. 37–42. (In Russian).
  10. Ochkova E. *9 sfer primeneniya virtual'noj real'nosti: razmery rynka i perspektivy* [9 Areas of Application of Virtual Reality: Market Size and Prospects]. Available at: <https://vc.ru/flood/13837-vr-use> (accessed: 03.09.2019). (In Russian).

*Received 10.09.2019*

---

## ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

---

УДК 621.391

### ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ БЕЛОГО ШУМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ УКВ-ДИАПАЗОНА

*Зотов К.Н., Жданов Р.Р.*

*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ*

*E-mail: zkn2002@inbox.ru, rtz348@mail.ru*

Рассматривается способ создания защищенного широкополосного канала радиосвязи от несанкционированного доступа в диапазоне ультракоротких волн. В связи с большим количеством устройств ультракоротковолнового диапазона, ежегодно продаваемых населению, возникает необходимость защиты канала связи на коротких расстояниях (в одном офисе, магазине, на торговом складе и т. д.) от случайных вмешательств или целенаправленной радиоэлектронной борьбы и промышленного шпионажа. Дешевым и эффективным способом является создание защищенного канала связи путем внедрения генератора белого шума совместно с фильтром, выделяющим

необходимую частоту под целый спектр эвристических критериев для решения реальных задач. Особенностью работы подобного устройства будет то, что генерация белого шума будет происходить исключительно на заявленной территории, без вредоносных помех населению.

**Ключевые слова:** генератор, белый шум, оптимальная фильтрация, ультракороткие волны, защищенный радиоканал, промышленный шпионаж

## Введение

В современном городе присутствует большое количество заведений быстрого питания, торговых центров и развлекательных заведений типа «квест-комнаты», в которых охраной и администрацией используются портативные носимые радиостанции ультракоротковолнового (УКВ) диапазона. В связи с тем что на территории одного торгового центра могут находиться несколько разных предпринимателей, использующих подобные системы, часто происходит непреднамеренный радиоперехват переговоров, что может привести к нежелательным последствиям. Помимо случайных накладок присутствует понятие промышленного шпионажа [1].

Для эффективного управления радиоресурсами подобных систем необходимо создавать такие условия, в которых работа сторонних устройств на определенной территории невозможна либо сильно затруднена [2]. Простейшим способом воздействия на систему радиоперехвата или радиопередачи является генерация белого шума [3].

В результате появления на требуемой площади предприятия помехи типа белый шум определенного уровня происходят перекрытие радиоканала и невозможность применения технических средств. Следующим шагом в создании защищенного канала будет включение в цепь полосового фильтра тонкой настройки, целью работы которого является выделение одной частоты (строго привязанной к используемому легитимно на предприятии устройству). Результатом совместной работы двух систем будут отсутствие «чужих» переговоров в радиозфере предприятия, ощущение полного отсутствия связи в УКВ-диапазоне и, как следствие, препятствия для деятельности злоумышленника. Отметим, что освобожденная от белого шума частота продолжает работать, и сотрудники предприятия ведут оперативные переговоры. В случае обнаружения такой «лазейки» возможна подстройка фильтра с уходом на другую несущую частоту.

## Постановка задачи

Рассматриваемая задача представляет научный интерес, так как проблема балансирования между мощностью генератора белого шума, вопросом оптимальной фильтрации и тонкой под-

стройки (смены частоты в случае обнаружения) – это предмет рассмотрения в нескольких разделах классического учебника по связи [4]. С учетом рекомендаций Международного союза по электросвязи [5] и ГОСТ 24375-80, задача сужается до определенных разрешенных к использованию на территории РФ поддиапазонов.

Наиболее применяемый на указанных выше предприятиях диапазон Low Power Device (LPD) – выделенный безлицензионный в России диапазон УКВ-частот (VHF), предполагает использование маломощных радиостанций (не более 0,01 Вт). Радиоволны LPD-диапазона 433,075...434,775 МГц (длина волны порядка 70 см) обладают приемлемой помехозащищенностью и проникающей способностью, что позволяет использовать их в городских условиях. В данном диапазоне выделены 69 каналов с шагом 25 кГц [6]. Производитель самого устройства при этом неважен.

Рассматриваемая задача подразумевает ряд ограничений, то есть имеет границы применимости, которые необходимо использовать как критерий при выборе оптимального сочетания устройств и алгоритмов их взаимодействия. В условиях сложной электромагнитной обстановки современного города наиболее эффективным будет устройство, подобранное по следующим параметрам.

1. Генератор белого шума, покрывающий всю территорию исследуемого объекта.

2. Параметры устройства должны соответствовать рабочей документации и не противоречить рекомендации ITU-R V.431-7. Номенклатура диапазонов частот и длин волн, используемых в электросвязи.

3. Радиопередающее устройство должно работать в диапазоне 433,075–434,775 МГц.

4. Фильтр должен быть подобран таким образом, чтобы лишь одна частота из 69 (известная только службе заказчика) продолжала передачу сигнала.

5. При необходимости фильтр должен менять несущую частоту.

Необходимо оговорить обязательное условие – генератор белого шума не должен наносить ущерба существующим вокруг системам, таким как системы сотовой связи, пульты техническо-

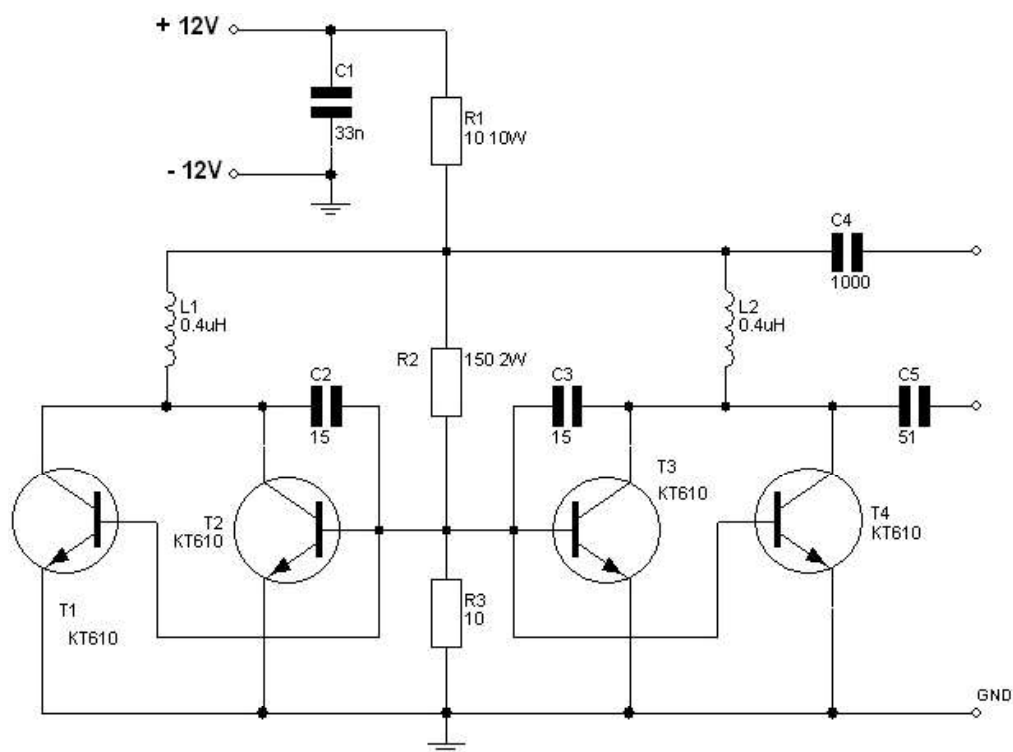


Рисунок 1. Принципиальная схема генератора белого шума

го управления, компьютерные сети, медицинские приборы, имплантируемые в тело человека, и пр. Вопросы электромагнитной совместимости в рамках данной статьи не рассматриваются ввиду большого объема экспериментальных данных, необходимых для качественной оценки взаимодействия. Четких правил работы подобных систем на сегодняшний день не существует, так как подобное применение генераторов белого шума известно в системах подавления радиоуправляемыми бомбами и при антитеррористических мероприятиях, которые являются специальными разработками. В гражданских целях использование этих приборов авторами статьи неизвестно.

Второе ограничение связано с тем, что оптимальная фильтрация – это задача тривиальная, известная и применяемая во многих системах телекоммуникаций [7]. В то же время фильтрация с подстройкой рабочей частоты для системы с защищенным каналом связи – задача нетривиальная и требующая дополнительного исследования по таким параметрам, как скорость принятия решения, скорость реакции на появление злоумышленника в сети связи, однозначность принятия решения о переходе на другую частоту (канал) и др.

Таким образом, ограничивая задачу по указанным критериям, необходимо смоделировать систему защищенного канала связи в диапазоне LPD с генерацией помехи и оптимальной фильтрацией оной на определенной частоте, соответствующей сетке каналов прибора.

### Решение задачи

Для решения первой подзадачи – генерация помехи, предлагается известная схема [8].

В основе работы широкополосного шумового генератора лежит влияние положительной обратной связи на усилительные элементы (транзисторы). В связи с отсутствием какой-либо резонансной системы в схеме отсутствует элемент, способный удерживать частоту работы устройства в определенном четком диапазоне, что позволяет генератору «плавать» по частотам. Частота периодически сдвигается под воздействием множества факторов – частотных свойств транзисторов, влияния параметров печати и внешней среды, напряжения питания и т. д. Когда таких генераторных каскадов расположено рядом четыре с общими элементами нагрузки и обратной связи, общий спектр принимает размытый, непрерывный и случайный характер.

На уровне электрических токов принцип работы генератора можно описать следующим образом. Генератор состоит из делителя напряжения ( $R_1$ ,  $R_2$ ), двух LC-генераторов с положительной обратной связью (на транзисторах  $T_1$ ,  $T_2$  и транзисторах  $T_3$ ,  $T_4$ ) и выходных фильтров ( $C_4$ ,  $C_5$ ). После прохождения делителя напряжения ток поступает на базы транзисторов  $T_1$ – $T_4$ . После этого LC-генераторы начинают генерировать сигналы. Каждый генератор работает, но не на частоте свободных колебаний контура, а на частоте

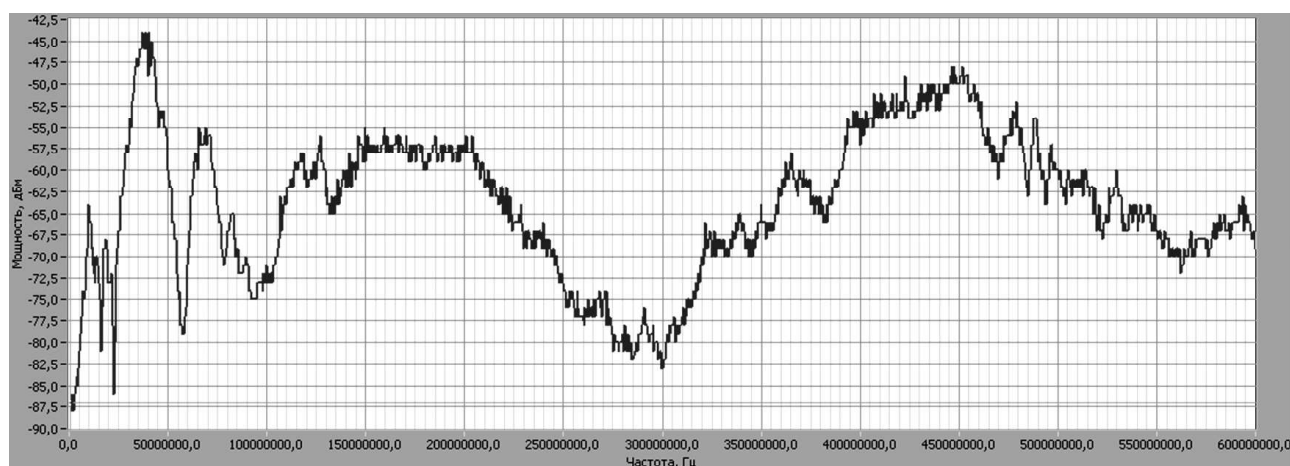


Рисунок 2. Спектр сигнала на частотах 0...600 МГц с воздействием прибора

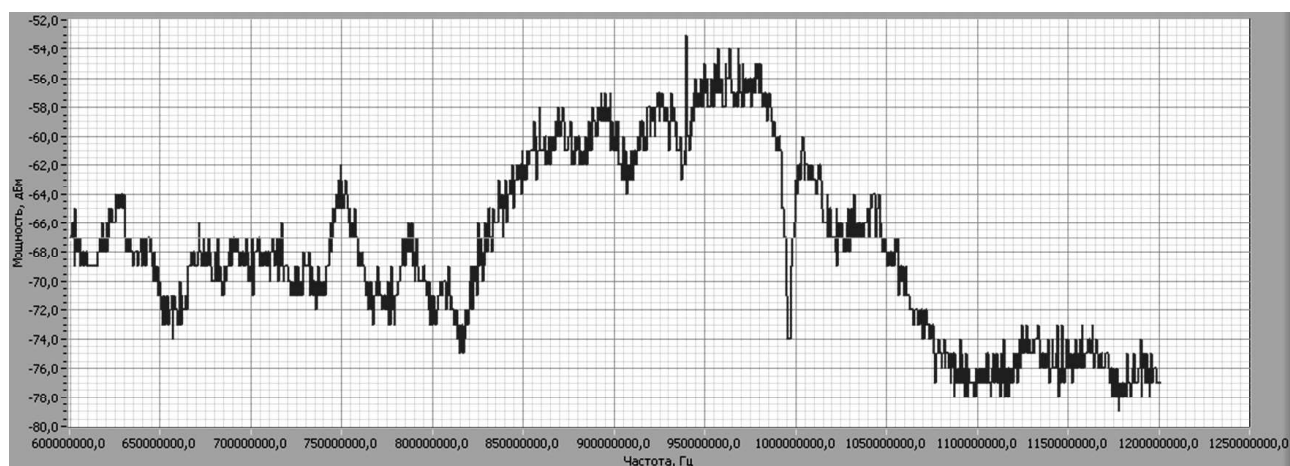


Рисунок 3. Спектр сигнала на частотах 600...1200 ГГц с воздействием прибора

вынужденных колебаний, из-за этого генератор излучает две частоты: большую – на частоте вынужденных колебаний и меньшую – на частоте свободных колебаний контура.

При первой итерации две частоты образуют четыре: две исходные и две суммарно-разностные. При второй итерации четыре частоты производят еще большее число суммарно-разностных частот. В результате при большом числе итераций получается целый спектр частот, который в приемниках смешивается с входным сигналом и образует еще большее число суммарно-разностных частот.

На рисунках 2 и 3 приведены спектральные характеристики генерируемого шума. По полученным спектрам был определен рабочий диапазон устройства 1 Гц – 1000 МГц, что совпадает с диапазоном работы выбранных компонентов схемы.

В некоторых устройствах, которые обычно строятся на операционных усилителях, также могут быть использованы транзисторы. Преимущества операционных усилителей для усиления сигналов постоянного тока неоспоримы. Но на

переменном токе ситуация уже не так однозначна. Операционные усилители с частотой единичного усиления более 10 МГц стоят значительно дороже транзисторов на частоту до 1000 МГц. Аналитические расчеты транзисторных устройств несколько сложнее из-за более сложной схемы замещения транзистора по сравнению с идеализированным операционным усилителем. Однако в настоящее время эту проблему облегчает доступность компьютерных вычислений.

В частотной области, лежащей много ниже частоты единичного усиления, большинством паразитных параметров транзисторов можно пренебречь. Поэтому при расчетах можно использовать простейшую схему замещения транзистора на основе источника тока, управляемого напряжением. Она удобна при расчете цепей методом узловых потенциалов.

По найденным значениям была собрана электрическая принципиальная схема оптимального фильтра. Полученная электрическая схема, собранная с помощью программного обеспечения NI Multisim, представлена на рисунке 4.

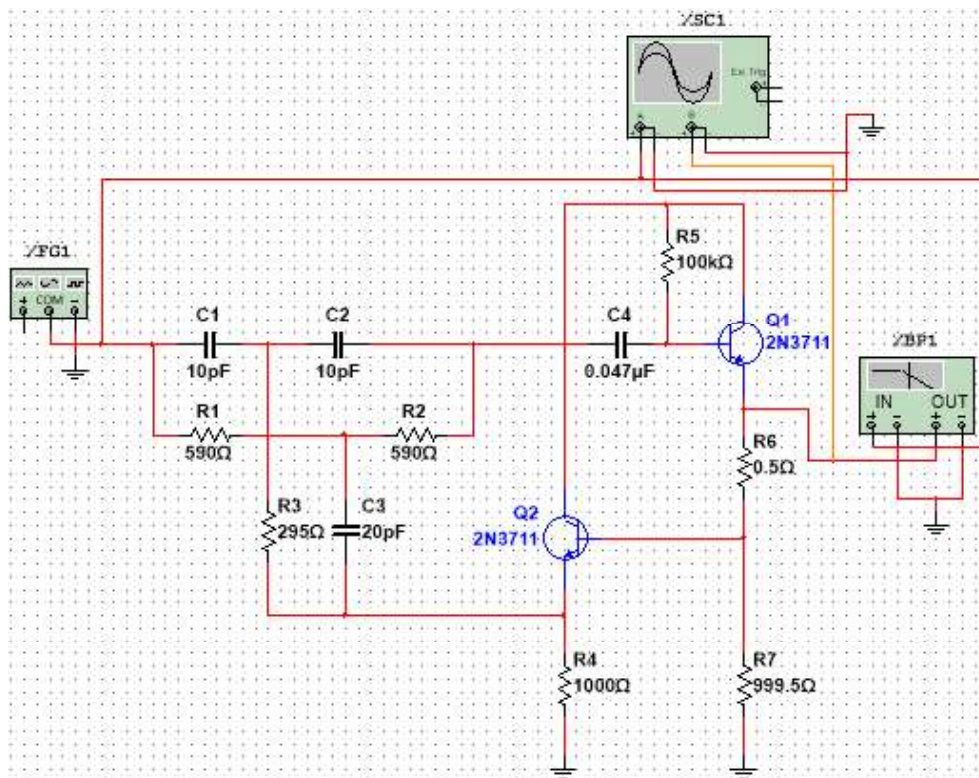


Рисунок 4. Электрическая принципиальная схема оптимального полосового фильтра в NI Multisim

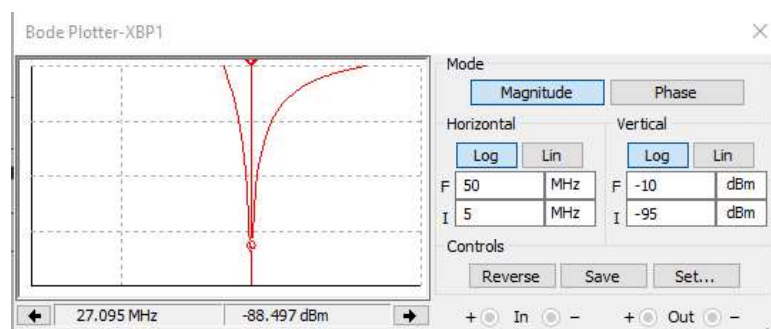


Рисунок 5. Амплитудно-частотная характеристика оптимального режекторного фильтра

На рисунке 5 показана амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) в диапазоне. Минимальное значение затухания находится на частоте 27,095 МГц, то есть между 11-м и 12-м каналами сетки средневолнового (СВ) диапазона.

Далее можно в программе построить амплитудно-частотную характеристику полученного фильтра. На рисунке 6 показана АЧХ смоделированного режекторного фильтра в исследуемом диапазоне.

После моделирования генератора белого шума и узкополосного режекторного фильтра в пакете NI Multisim отдельно необходимо объединить оба устройства в одной схеме и провести эксперимент по определению их совместной работы. Критерии оптимальности объединенного устройства формируются из критериев оптимальности генератора белого шума и узкополосного режекторного фильтра:

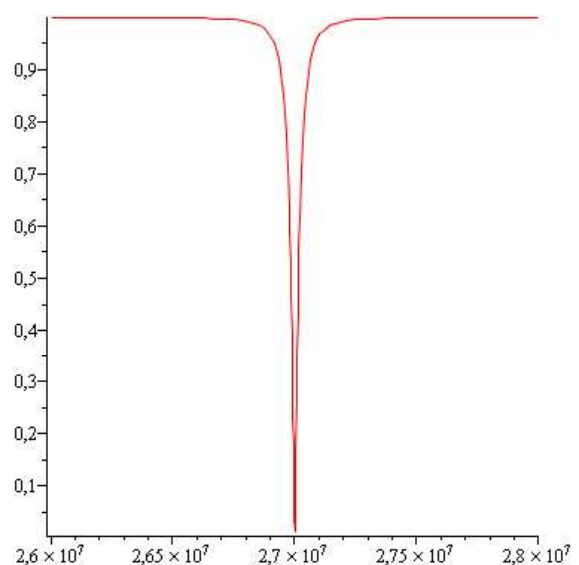


Рисунок 6. Теоретически рассчитанная амплитудно-частотная характеристика исследуемого режекторного фильтра



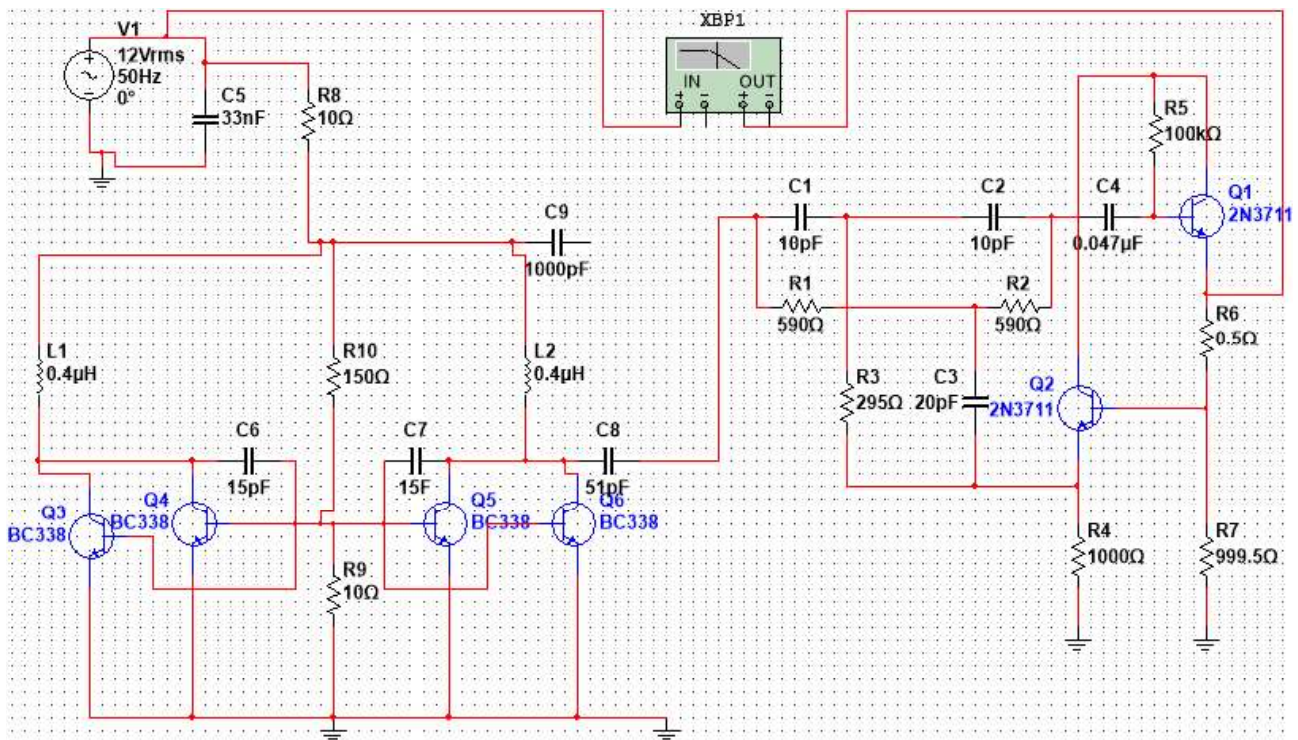


Рисунок 7. Объединенная схема генератора белого шума и узкополосного режекторного фильтра

$26,965 \text{ МГц} < D < 27,405 \text{ МГц}; \quad B \leq 50 \text{ кГц};$

$$P_T > P_S > P_A; \quad \frac{P_S}{P_N} < 1; \quad R_n \geq 5 \text{ м}; \quad t_p \geq 10 \text{ м.}$$

Диапазон излучаемых частот  $D$ . Белый шум должен генерироваться на частотах СВ-диапазона. Ширина полосы режекции фильтра  $B$ . Для оптимальной работы системы была выбрана ширина полосы не более 50 кГц. Мощность генерируемого шума должна быть больше мощности сигналов на всем диапазоне СВ, но в полосе режекции ослабление шума должно быть меньше уровня полезного сигнала. Отношение уровня сигнала к уровню шума меньше единицы. Радиус подавления сигналов не менее 5 м. Время непрерывной работы должно быть не менее 10 мин.

На рисунке 7 к выходу генератора белого шума подключен узкополосный режекторный фильтр. На вход системы подается переменное напряжение 12 В.

По приведенным результатам видно, что условия оптимальности выполняются. Следовательно, можно сделать вывод, что разрабатываемый метод позволяет создать защищенный канал радиосвязи с помощью генератора белого шума и оптимального узкополосного режекторного фильтра.

## Вывод

Задача создания защищенного канала связи в нелицензируемой (разрешенной) полосе частот

достаточно нова. В условиях физической реализуемости практическая составляющая имеет высокий интерес со стороны эксплуатирующих организаций. Интерес к совместимости радиосистем, их действию на другие системы растет, и области применения постоянно расширяются [8].

В статье показано, что применение небольших по мощности и радиусу действия генераторов помех может положительно сказаться на работе различных служб предприятий. Система работает достаточно надежно, однако существует целый ряд сопутствующих проблем и подзадач, требующих комплексного решения и дальнейших экспериментов. При проведении эксперимента имел место выход из строя систем автомобильной сигнализации, так как работа большинства пультов дистанционного управления ответной части фиксирована на частоте 433,92 МГц, которая попадает в диапазон действия прибора.

## Литература

1. Панюкова В.В. Коммерческая разведка – мощное оружие конкурентной борьбы // Российская торговля. 2005. № 10. С. 62–64.
2. Степанов П.Д., Фарвазинов А.Ф., Zotov K.N. Подавление сигналов мобильной связи стандарта GSM 900/1800 // XVI МНТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций»: тез. докл. Уфа, 2015. С. 95–99.
3. Романов Б.Н. Теория электрической связи. Устройства формирования и преобразования

- сигналов: методические указания к лабораторным работам. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 28 с.
4. Теория электрической связи / А.Г. Зюко [и др.]. М.: Радио и связь, 1999. 432 с.
  5. МСЭ-R V.431-7. Номенклатура диапазонов частот и длин волн, используемых в электро-связи. 2008. 3 с.
  6. Краткий энциклопедический словарь по радиоэлектронике и радиопромышленности / под ред. В.Н. Саблина. М.: Диво, 2006. 276 с.
  7. Разработка дифференциального OFDM-преобразователя с координированным предсказанием сигналов для энергодефицитных систем связи / И.В. Кузнецов [и др.] // Радио-техника. 2016. № 12. С. 59–63.
  8. Soshnikov A., Migalyov I., Titov E. Principles of functioning of technological module for danger estimation of combined electromagnetic field // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 1027–1034.

*Получено 15.10.2019*

**Зотов Кирилл Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры телекоммуникационных систем (ТС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). 450008, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12. Тел. +7 960 388-88-11. E-mail: zkn2002@inbox.ru

**Жданов Руслан Римович**, к.т.н., доцент кафедры ТС УГАТУ. 450008, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12. Тел. +7 927 236-70-88. E-mail: rtz348@mail.ru

## USING WHITE NOISE GENERATORS FOR CREATING A PROTECTED VHF RADIO COMMUNICATION CHANNEL

*Zotov K.N., Zhdanov R.R.*

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation*

*E-mail: zkn2002@inbox.ru, rtz348@mail.ru*

The article describes a method of creating a broadband radio channel protected from unauthorized access in the ultra-short wavelength range. Due to the large number of ultra-short-wavelength devices sold annually to the public, there is a need to protect the communication channel at short distances (in the same office, store, in warehouses, etc.) from accidental interference or targeted electronic warfare and industrial espionage. A cheap and effective way is to create a secure communication channel by introducing a white noise generator together with a filter that selects the necessary frequency for a whole range of heuristic criteria to solve real-world tasks. A feature of the operation of such a device will be that the generation of white noise will occur exclusively on the announced territory, without harmful interference to the population.

**Keywords:** *generator, white noise, optimum filtration, ultra-short waves, protected radio channel, industrial espionage*

**DOI:** 10.18469/ikt.2019.17.4.08

**Zotov Kirill Nikolaevich**, Ufa State Aviation Technical University, 12, Karl Marx Street, Ufa, 450008, Russian Federation; Associate Professor, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, Department of Telecommunication Systems. Tel. +7 960 388-88-11. E-mail: zkn2002@inbox.ru

**Zhdanov Ruslan Rimovich**, Ufa State Aviation Technical University, 12, Karl Marx Street, Ufa, 450008, Russian Federation; Associate Professor, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, Department of Telecommunication Systems. Tel. +7 927 236-70-88. E-mail: rtz348@mail.ru

### References

1. Panyukova V.V. Kommercheskaya razvedka – moschnoe oruzhie konkurentnoy bor'by [Commercial intelligence is a powerful weapon of competition]. *Rossiyskaya trgovlya* [Russian Trade], 2005, no. 10, pp. 62–64. (In Russian).

2. Stepanov P.D., Farvazdinov A.F., Zotov K.N. Podavlenie signalov mobil'noy svyazi standarta GSM 900/1800 [The suppression of signals of mobile communication of standard GSM 900/1800]. *XVI MNTK «Problemy tekhniki i tekhnologii telekommunikacij»: tez. dokl.* [Problems of telecommunications engineering and technology: 16th international scientific and technical conference: proceedings], Ufa, 2015, pp. 95–99. (In Russian).
3. Romanov B.N. *Teoriya elektricheskoy svyazi. Ustroystva formirovaniya i preobrazovaniya signalov: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam* [Theory of Telecommunication. Devices for Generating and Converting Signals: Guidelines for Laboratory Work]. Ul'yanovsk: UIGTU, 2010, 28 p. (In Russian).
4. Zyuko A.G. et al. *Teoriya elektricheskoy svyazi* [Theory of telecommunication]. Moscow: Radio i svyaz', 1999, 432 p. (In Russian).
5. *Rekomendatsiya ITU-R V.431-7. Nomenklatura diapazonov chastot i dlin voln, ispol'zuemykh v elektrosvyazi* [Recommendation ITU-R V. 431-7. Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications]. Available at: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.431-7-200005-S!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.431-7-200005-S!!PDF-R.pdf) (accessed: 23.08.2019). (In Russian).
6. Gennadieva E.G. et al. *Kratkiy entsiklopedicheskiy slovar' po radioelektronike i radiopromyshlennosti. Pod redaktsiyey V.N. Sablina* [A brief encyclopedic dictionary of electronics and radio industry. Ed. by V.N. Sablin]. Moscow: Divo, 2006, 276 p. (In Russian).
7. Kuznetsov I.V. et al. *Razrabotka differentsial'nogo OFDM-preobrazovatelya s koordinirovannym predskazyvaniem dlya energodefitsytnykh system svyazi* [Development of Differential OFDM-Converter with Coordinated Signal Prediction for Energy-Deficient Communication Systems]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering], 2016, no. 12, pp. 59–63. (In Russian).
8. Soshnikov A., Migalyov I., Titov E. Principles of functioning of technological module for danger estimation of combined electromagnetic field. *Procedia Engineering*, 2016, no. 165, pp. 1027–1034.

*Received 15.10.2019*

УДК 621.314

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ИНВЕРТОРОВ И РАВНОЗНАЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Осипов О.В., Гейтенко А.Е.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

*E-mail: oo@psuti.ru*

Электропитание телекоммуникационных систем осуществляется посредством резервируемых установок, среди которых важнейшее положение занимают инверторы и источники бесперебойного питания. Преобразователи на основе параллельно соединенных широтно-импульсных инверторов позволяют осуществить резервирование без коммутации. Для моделирования и исследований преобразователей на основе широтно-импульсных инверторов с равнозначным управлением предлагается дискретно-нелинейная модель, обладающая более высокой адекватностью в сравнении с линеаризованной. Модель позволяет повысить достоверность результатов исследований и расширить число исследуемых характеристик преобразователя. Среди важнейших результатов моделирования следует выделить влияние фазовых задержек задающего сигнала инверторов, которые приводят к неравномерному распределению их выходных токов. При этом увеличивается реактивная мощность, генерируемая инверторами, и уменьшается их энергетическая эффективность. Для снижения влияния такого внешнего воздействия предлагается увеличить обратную связь по разностному сигналу среднего значения тока инверторов и действительным значением тока каждого инвертора. Глубина обратной связи определяется допустимым для практики уровнем реактивной мощности в инверторах.

**Ключевые слова:** телекоммуникации, резервирование, коэффициент готовности, преобразователь напряжения, широтно-импульсная модуляция, параллельное соединение инверторов, дискретно-нелинейная модель, многоконтурная обратная связь, переменные состояния, задержка фазы, Simulink