

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ БЕЛОГО ШУМА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДРОНАМИ В КАНАЛЕ WI-FI

Зотов К.Н., Жданов Р.Р., Филатов П.Е.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

E-mail: zkn2002@inbox.ru

В статье рассматривается способ создания защищенного от дронов (квадрокоптеров) пространства с возможностью использования зарегистрированных аппаратов. В связи с большим количеством устройств у гражданских лиц в последнее время наблюдается ужесточение в законодательстве в части применения подобных дронов. Владелец дрона должен будет заранее разработать план полета и утвердить его. Населению продано большое количество дронов до вступления в силу законодательных актов, что означает возможность неконтролируемого использования подобных устройств в целях, противоречащих закону. От случайных вмешательств или целенаправленной конкурентной разведки и промышленного шпионажа фактически защиты нет. Дешевым и эффективным способом является создание «купола» вокруг важного объекта при помощи генератора белого шума совместно с фильтром, выделяющим необходимую частоту – под широкий спектр эвристических критериев для решения реальных задач. Незарегистрированные устройства не смогут пролетать над охраняемым объектом, в то время как санкционированные дроны смогут отлавливать их различными способами (сетки и пр.) и наблюдать за вверенной территорией без ограничений.

Ключевые слова: генератор белого шума, оптимальная фильтрация, беспилотный летающий аппарат, защищенный радиоканал, промышленный шпионаж

Введение

По данным Федерального агентства воздушного транспорта, к моменту вступления в силу закона о необходимости регистрации беспилотных летательных аппаратов (дронов) в России было подано более 3000 заявок. Большое количество дронов ушли в «тень» и используются владельцами незаконно. При этом зарегистрированные устройства также могут использоваться для промышленного шпионажа и в других неблагоприятных целях.

В крупных городах определено использование дронов в современных условиях с благими целями. Так, группа «Аэронет» Национальной технической инициативы выступила с предложением использования дронов для оперативной доставки медицинских анализов, проб, вакцин и лекарств; мониторинга массовых скоплений людей, оповещения населения о противовирусных мероприятиях и дистанционного контроля за инфраструктурой во время вынужденной остановки предприятий; обработки антисептиками и дезинфицирующими средствами потенциально зараженных территорий (автобусных остановок, входов-выходов из метро). Предприятия топливно-энергетического комплекса вкладывают средства в развитие программного обеспечения для дронов в своих целях и т. д. Таким образом, можно говорить о бурном развитии данного направления в целом.

Из вышесказанного следует, что в условиях современной радиоэлектронной борьбы необходимо создавать защитные комплексы противодействия использованию несанкционированных аппаратов. В современном мире известны следующие способы:

- ловля сеткой с помощью более мощного дрона;
- выведение из строя путем электромагнитного удара;
- перехват устройства с помощью спецсредств.

Авторы статьи предлагают радикально иной метод борьбы с дронами: генерацию белого шума на частотах управления устройством. Такой подход позволит полностью исключить пролет нежелательного аппарата над охраняемой территорией.

Большое количество устройств, проданных и продолжающих поступать в продажу в России, вынуждает использовать генераторы диапазона в целом. Так как более старые устройства используют 802.11 b – стандарт режима работы беспроводной сети с использованием кода Баркера [2]. Более современные устройства используют стандарт 802.11 n с шагом в 20кГц OFDM, или 802.11 g с шагом 40кГц MIMO. Такое разнообразие стандартов, алгоритмов управления дроном вынуждает использовать зашумление всего диапазона 2,4 ГГц Wi-Fi. Лишенный связи с модулем управления, полетный контроллер будет вынужден поступить так, как прописано в его программе (возвращение на место взлета по GPS-координатам,

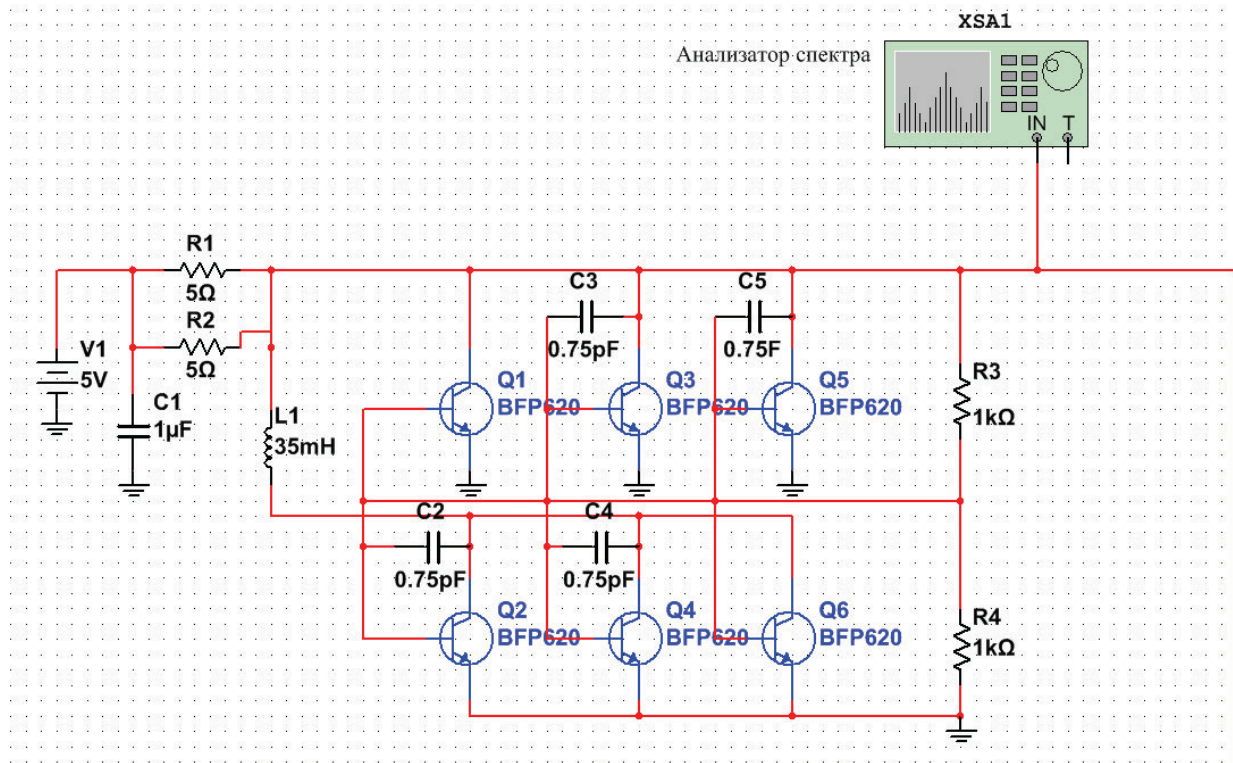


Рисунок 1. Схема генератора помех в ПО Multisim

переход в нештатный режим полета с дальнейшим опусканием на высоту 1,5 м с зависанием или падением).

Постановка задачи

Ввиду широкого выбора моделей и производителей современных дронов необходимо четко описать входные технические характеристики рассматриваемого образца. Из-за отсутствия международного стандарта для элементной базы, радиуправления и пр. рынок дронов переполнен предложениями: от очень простых, собранных на одной микросхеме, доступной широким массам населения, до профессиональных четырехосных моделей, способных выполнять сложные инженерные задачи (доставка товаров, видеосъемка, боевые роботы и пр.).

В статье рассматривается разновидность квадрокоптера класса любительской аппаратуры с небольшим весом (1–4 кг), временем полета до 30 мин, расстоянием уверенного управления до 5 км, высотой подъема до 500 м. На условия задачи не влияют такие параметры, как размещение и направления вращения винтов, а также наличие или отсутствие подвесного оборудования.

Рассматривается исключительно вопрос зашумления конкретного канала управления с частичным или полным выводом из строя дрона. За положительный результат предлагается брать возможность вывода в ту же область зашумления

отдельного квадрокоптера со схожими характеристиками, способного продолжать полет по защищенному каналу.

Из других необходимых априорных знаний выделяем следующие:

- стандарт 802.11 b;
- диапазон частот 2,4 ГГц;
- применяемая технология DSSS (широкополосная модуляция с прямым расширением спектра);
- четырехосный квадрокоптер;
- на начало эксперимента устройство полностью выключено.

Четыре основных винта управляются на четырех частотах, разделенных шагом 20 ... 40 кГц (зависит от модели устройства). В случае если один из двигателей теряет частоту управления, существует несколько алгоритмов переключения его на смежные, свободные частоты. Но такой алгоритм прописан не во всех аппаратах рассматриваемой линейки. Чаще всего подобная коллизия не прописана в алгоритме управления в принципе.

Благодаря коду Баркера в этом поколении дронов потеря управляющей частоты не рассматривалась как основная проблема. Само применение вышеупомянутого кода ведет к возможности передавать сигнал практически на уровне помех. А двоичное кодирование обеспечивает высокую достоверность принимаемой информации.

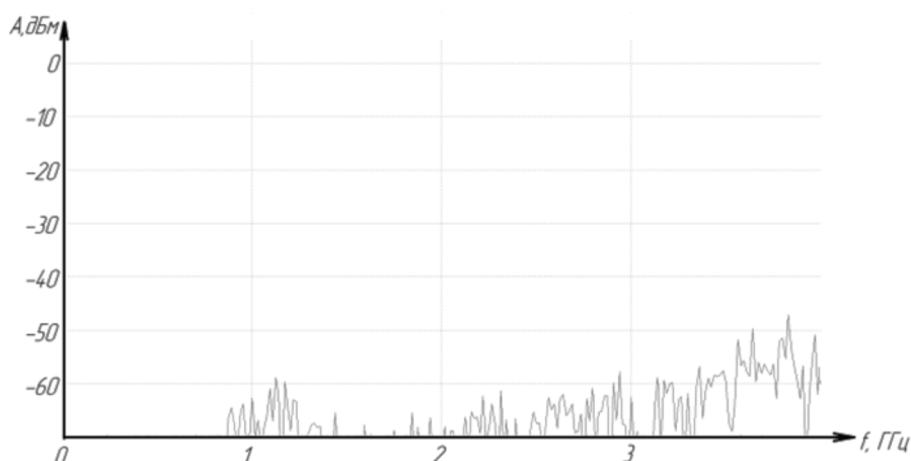


Рисунок 2. Спектр сигнала на выходе генератора

Любая помеха, попадающая в полосу исходного широкополосного сигнала, после умножения на код Баркера становится широкополосной, а полезный сигнал наоборот. Полезный сигнал фильтруется в узкой полосе частот, пропорциональной удвоенной скорости передачи. В такой ситуации в узкую информационную полосу попадает лишь часть помехи, в n раз меньше, чем помеха, действующая на вход приемника.

Принимая эти особенности, возникает вопрос зашумления не передающей части, а приемной. В приемнике присутствуют априорные сведения о поступающем сигнале и дешифраторе Баркера. Однако, если, помимо смеси «сигнал + шум» из канала связи, в месте приема будет возникать белый шум, превышающий пороговые значения (действует самостоятельно), детекция полезного сигнала управления винтом (двигателем) становится более сложной. Авторы статьи высказывают предположение, что в присутствии мощной аддитивной помехи возможно прекратить управление одним или более двигателями квадрокоптера.

Решение задачи

Для моделирования решения поставленной задачи предлагается использовать программное обеспечение промышленного стандарта Multisim [3].

Моделирование происходило в программном пакете Multisim. Это прикладное ПО предназначено для процесса моделирования и программирования схем для аналоговой, цифровой и силовой электроники. Multisim широко используется для обучения схемотехнике, предлагая широкую базу элементов. Данное ПО поддерживает Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis, сокращенное название – SPICE. SPICE представляет собой программу эмуляции со встроенным обработчиком схем, рисунок 1.

Питание всех коллекторных и базовых цепей используемых транзисторов обеспечивается одним источником питания. Его напряжение равно 5 В через резисторы R1, R2 и R3, R4. Конденсаторы C2, C3, C4, C5 выполняют функцию элементов обратной связи парциальных генераторов. К выходу генератора (VT5) подразумевается подключение широкополосного усилителя, так как выходная мощность данной генераторной сборки достаточно мала. На рисунке 2 представлен спектр выходного сигнала, из которого видно, что генерируется шум по все полосе частот, но уровень достаточно низкий.

Для более эффективной работы данного генератора необходимо усилить сигнал до более высокого уровня с помощью использования каскада, состоящего из нескольких, подключенных последовательно широкополосных усилителей на базе двух биполярных транзисторов, BFP740 и BC177. Каскад способен обеспечить усиление 20 дБ в диапазоне частот от 100 МГц до 4 ГГц, а также он согласует генератор с нагрузкой. Принципиальная схема усилителя представлена на рисунке 3.

В случае каскадного включения трех широкополосных усилителей к выходу генератора белого шума выходной сигнал значительно увеличивается (см. рисунок 4). При необходимости повысить уровень сигнала на выходе можно использовать больше усилителей или воспользоваться другими с большим усилением. Среднее значение амплитуды составляет приблизительно -15 дБм, что является достаточным усилением. Моделируемая система работает стабильно.

Получив необходимый уровень шума, необходимо обеспечить работу устройства, легитимно находящегося в зоне полета. В схожих задачах применяется полосовой фильтр для выделения

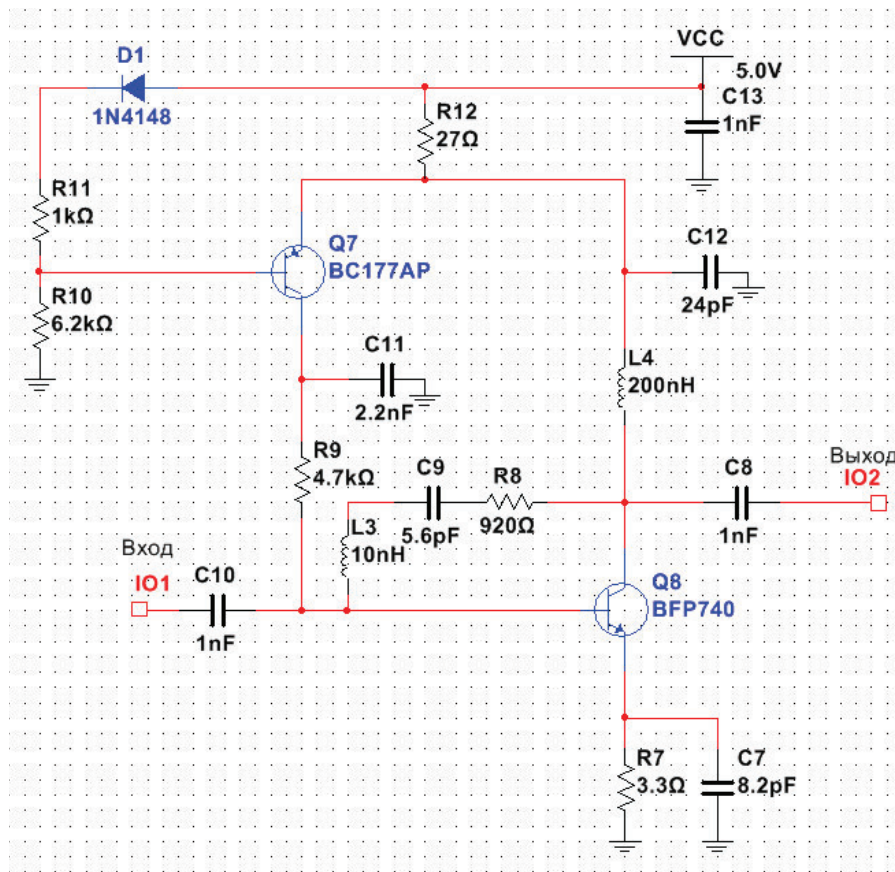


Рисунок 3. Схема усилителя сигнала

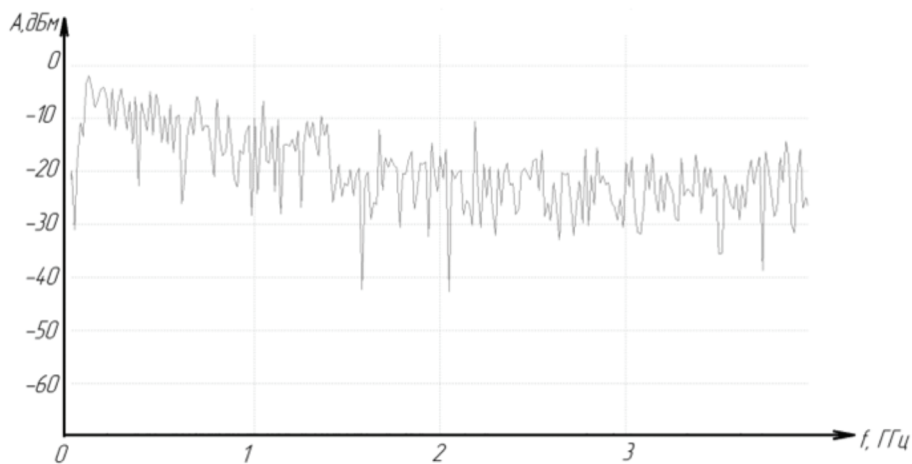


Рисунок 4. Спектр сигнала после каскадного усиления

незашумлённой полосы, в которой возможна работа аналоговых устройств [4].

Моделирование необходимого фильтра производилось в программной среде для моделирования и анализа высокочастотных цепей RFSim99. Полосовой фильтр типа Чебышева [5] с центральной полосой в 2450 МГц, построенный программой, приведен на рисунке 5.

В результате совместной работы двух моделей был получен спектр комбинированного сигнала, рисунок 6.

Представленное моделирование комбинации двух схем позволяет говорить о возможности блокирования нерелевантных квадрокоптеров по следующей схеме.

Шаг 1. Включение легитимного устройства.

Шаг 2. Введение занятой полосы частот в полосовой фильтр (после включения квадрокоптера, 4 рабочие частоты на основные двигатели будут заняты до полного выключения дрона).

Шаг 3. Включение генератора белого шума с каскадным усилением и фильтрацией.

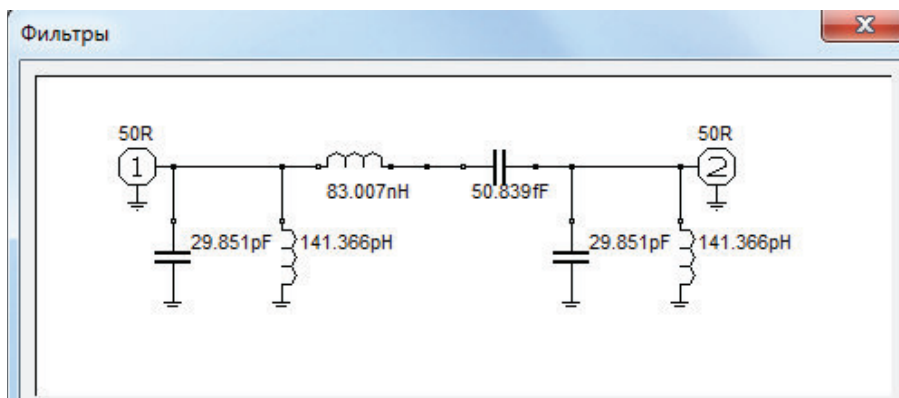


Рисунок 5. Смоделированная схема фильтра

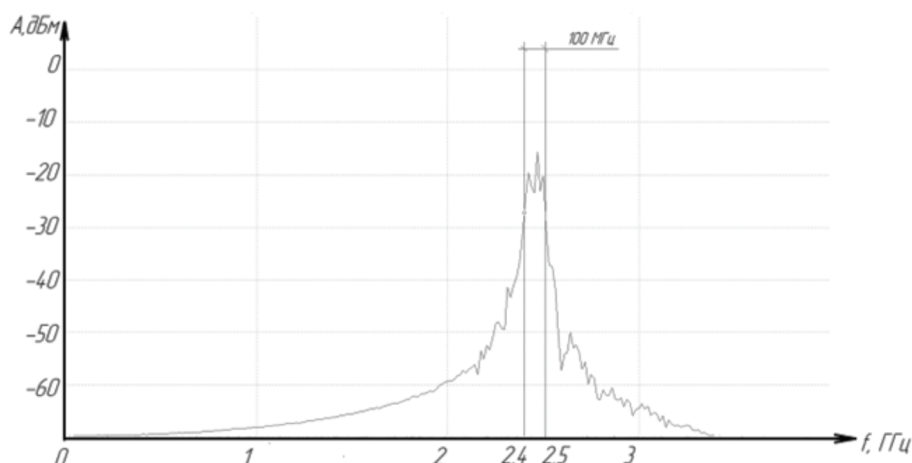


Рисунок 6. Результирующий спектр

Шаг 4. Результат: невозможность подключения сторонних квадрокоптеров к управляющим блокам ввиду отсутствия свободного канала (каналов).

Крупномасштабные замирания – это среднее ослабление мощности сигнала или потери на трассе при прохождении трасс большой протяженности. Два основных явления, приводящие к эффектам замираний крупного масштаба, – это потери на трассе и затенение [6].

Средние потери радиосигнала на трассе позволяет рассчитать формула

$$L(d)[\text{дБ}] = L(d_0)[\text{дБ}] + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma, \quad (1)$$

где $L(d_0)$ – средние потери на трассе прямой видимости при эталонном расстоянии d_0 в свободном пространстве; d – расстояние между передатчиком и приемником; γ – экспонента потери на трассе, которая зависит от окружающей среды; X_σ – логарифмически нормальное замирание вследствие затенения, то есть нулевое значение средней случайной гауссовой переменной со стандартным.

В беспилотных летательных системах эталонное расстояние d_0 выбирается равным рабочей

высоте БПЛА. Средние потери $L(d_0)$ при распространении в свободном пространстве рассчитываются по формуле

$$L(d_0)[\text{дБ}] = 10 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)^2, \quad (2)$$

где λ – длина волны сигнала. Если расстояние d_0 и частота f ($f = c/\lambda$, c – скорость света) измеряются в километрах и мегагерцах соответственно, то при $X_\sigma = 0$ из уравнений 1 и 2 получаем следующее выражение:

$$L(d)[\text{дБ}] = 10\gamma \log(d) + (20 - 10\gamma) \log(d_0) + 20 \log(f) + 32,45. \quad (3)$$

На основании полученного выражения (3) возможно получать априорные сведения о летательных аппаратах и иметь необходимые данные об уровне управляющего сигнала и необходимом уровне генерации шума.

Выводы

Задача создания защищенного канала управления в заданной полосе частот при наличии особых условий достаточно нова. В условиях

физической реализуемости, практическая составляющая имеет высокий интерес со стороны эксплуатирующих организаций.

Стоит принимать во внимание большое количество модификации квадрокоптеров. Практически в каждом поколении данных устройств применяется либо новая технология, либо протокол взаимодействия. Представленные в данной статье выводы не являются универсальными для всех случаев и носят исключительно научный характер.

Литература

1. О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации: постановление Правительства РФ [утверждены Постановлением Правительства РФ от 03.02.2020 № 74] // СПС «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_344554 (дата обращения: 16.09.2020).
2. Теория электрической связи / А.Г. Зюко [и др.] М.: Радио и Связь, 1999, 432 с.
3. Рекомендация ИТУ-R V.431-7. Номенклатура диапазонов частот и длин волн, используемых в электросвязи. ИТУ, 2005. 3 с.
4. Zotov K.N., Zhdanov R.R. Применение генераторов белого шума для создания защищенного канала связи в УКВ диапазоне // Инфокоммуникационные технологии. 2019. Т. 17, № 4. С. 412–419.
5. Краткий энциклопедический словарь по радиоэлектронике и радиопромышленности / Е.Г. Геннадиева [и др.]; под общ. ред. В.Н. Саблина. М.: Диво, 2006. 276 с.
6. 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.
7. Zotov K.N., Zhdanov R.R. О применимости помех в сетях сотовой связи для создания защищенного канала связи // Вестник СибГУТИ. 2020. № 3. С. 90–100.
8. Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справ. М.: Радио и Связь, 1990. 274 с.
9. Янушевич Е.В., Zotov K.N. Автоматизированные беспроводные системы передачи полётной информации в гражданской авиации // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях: материалы XX Международной научно-технической конференции. Уфа: РИК УГАТУ, 2018. С. 229–231.
10. Рекомендация ИТУ-R SM.1446. Definition And Measurement Of Intermodulation Products In Transmitter Using Frequency, Phase, Or Complex Modulation Techniques. ИТУ, 2000. 12 p.

Получено 29.03.2021

Зотов Кирилл Николаевич, к.т.н., доцент кафедры телекоммуникационных систем (ТС) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). 450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12. Тел. +7 960 388-88-11. E-mail: zkn2002@inbox.ru

Жданов Руслан Римович, к.т.н., доцент кафедры ТС УГАТУ. 450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12. Тел. +7 347 273-06-89. E-mail: tk@ugatu.ac.ru

Филатов Павел Евгеньевич, к.т.н., доцент кафедры ТС УГАТУ. 450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12. Тел. +7 917 344-43-91. E-mail: filatovpe@gmail.com

USING OF WHITE NOISE GENERATORS FOR DRONE CONTROL SYSTEMS IN THE WI-FI CHANNEL

Zotov K.N., Zhdanov R.R., Filatov P.E.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

E-mail: zkn2002@inbox.ru

This article discusses a way to create a space protected from drones (quadcopters), with the possibility of using registered vehicles. Due to the large number of devices among civilians, there has been a recent tightening of legislation regarding the use of such drones. In particular, from September 27, 2020 in the Russian Federation, in order to lift a drone into the air in accordance with clause 52 of «Rules No. 138 use of airspace by an unmanned aerial vehicle», it is necessary to obtain permission to use the airspace. In this case, the owner will have to develop a flight plan in advance and approve it. A large number of drones were sold to the public before the entry into force of legislation, which

means the possibility of uncontrolled use of such devices for purposes contrary to the law. Virtually nothing protects against accidental interference or targeted competitive intelligence and industrial espionage. A cheap and effective way is to create a kind of «dome» around an important object using a white noise generator together with a filter that selects the necessary frequency for a whole range of heuristic criteria for solving real problems. The peculiarity of the operation of such a device will be that unregistered devices will not be able to fly over the protected object, while authorized drones will be able to catch them in various ways (nets, etc.) and observe the entrusted territory without restrictions.

Keywords: *generator of white noise, optimal filtering, unmanned aerial vehicle, drone, protected radio channel, industrial espionage*

DOI: 10.18469/ikt.2021.19.2.12

Zotov Kirill Nikolaevich, Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marksa Street, Ufa, 450000, Russian Federation; Associated Professor of Telecommunications Systems Department, PhD in Technical Sciences. Tel. +7 960 388-88-11. E-mail: zkn2002@inbox.ru

Zhdanov Ruslan Rimovich, Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marksa Street, Ufa, 450000, Russian Federation; Associated Professor of Telecommunications Systems Department, PhD in Technical Sciences. Tel. +7 347 273-06-89. E-mail: tks@ugatu.ac.ru

Filatov Pavel Evgenievich, Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marksa Street, Ufa, 450000, Russian Federation; Associated Professor of Telecommunications Systems Department, PhD in Technical Sciences. Tel. +7 917 344-43-91. E-mail: filatovpe@gmail.com

References

1. On amendments to the Federal Rules for the Use of the Airspace of the Russian Federation: Resolution of the Government of the Russian Federation [approved by the Resolution of the Government of the Russian Federation of 03.02.2020 No. 74]. SPS «Konsul'tantPljus». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_344554 (accessed: 16.09.2020). (In Russ.)
2. Zyuko A.G. et al. *Theory of Electrical Communication*. Moscow: Radio i Svjaz', 1999, 432 p.
3. Recommendation ITU-R V.431-7. Nomenclature of frequency bands and wavelengths used in telecommunications. ITU, 2005. 3 p.
4. Zotov K.N., Zhdanov R.R. Application of white noise generators to create a secure communication channel in the VHF range. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2019, vol. 17, no. 4, pp. 412–419. (In Russ.)
5. Gennadieva E.G. et al. *Concise Encyclopedic Dictionary of Electronics and Radio Industry*. Ed. by V.N. Sablin. Moscow: Divo, 2006, 276 p. (In Russ.)
6. Soshnikov A., Migalyov I., Titov E. Principles of functioning of technological module for danger estimation of combined electromagnetic field. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 165, pp. 1027–1034.
7. Zotov K.N., Zhdanov R.R. On the applicability of interference in cellular networks to create a secure communication channel. *Vestnik SibGUTI*, 2020, no. 3, pp. 90–100. (In Russ.)
8. Badalov A.L., Mihajlov A.S. *Norms for Parameters of Electromagnetic Compatibility Res: Ref*. Moscow: Radio i Svjaz', 1990, 274 p. (In Russ.)
9. Janushevich E.V., Zotov K.N. Automated wireless systems for transmission of flight information in civil aviation. *Problemy tehniki i tehnologii telekommunikatsij. Opticheskie tehnologii v telekommunikatsijah: materialy XX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. Ufa: RIK UGATU, 2018, pp. 229–231. (In Russ.)
10. Recommendation ITU-R SM.1446. Definition and Measurement of Intermodulation Products in Transmitter Using Frequency, Phase, or Complex Modulation Techniques. ITU, 2000, 12 p.

Received 29.03.2021