

\УДК 621.373.12; 621.391.822

## ФЛУКТУАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОДИННЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ\*

В. Я. НОСКОВ<sup>1</sup>, А. С. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>, Г. П. ЕРМАК<sup>2</sup>, К. А. ИГНАТКОВ<sup>1</sup>, А. П. ЧУПАХИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
Россия, Екатеринбург, 620002, ул. Мира, 19

<sup>2</sup>Институт радиофизики и электроники Национальной Академии наук Украины,  
Украина, Харьков, 61085, ул. Проскуры 12

**Аннотация.** Разработана математическая модель автодинного радиолокатора с частотной модуляцией. Модель представлена в виде автогенератора с одноконтурной колебательной системой, перестраиваемого по частоте изменением емкости варикапа. Учтено воздействие на генератор собственного отраженного от объекта локации излучения и внутренних шумов генератора, а также шумов источника питания. Получены основные выражения для расчета сигнала сопутствующего паразитного отклика генератора, составляющих полезного сигнала и шума при регистрации автодинного отклика, как в цепи питания, так и по изменению амплитуды колебаний. Выполнены расчеты шумовых характеристик при малых и больших значениях параметра обратной связи. Установлено явление периодической нестационарности уровней шума на выходе автодинного генератора при условиях сильной обратной связи. Результаты расчетов и экспериментов получены для автодина, выполненного на диоде Ганна 8-мм диапазона.

**Ключевые слова:** автодин; частотная модуляция; автодинная СБРЛ с ЧМ; сигнальные характеристики АСБРЛ с ЧМ; параметры АСБРЛ с ЧМ; генератор на диоде Ганна

Автодины благодаря совмещению в одном каскаде — автогенераторе — функций передатчика зондирующего и приемника отраженного от объекта электромагнитного излучения обеспечивают конструктивную простоту, компактность и относительно низкую стоимость СВЧ модуля. Поэтому данные устройства широко используются в тех системах, в которых эти качества являются определяющими. Например, в радиолокационных взрывателях боеприпасов, измерительной аппаратуре для про-

ведения аэробаллистических испытаний, охранных устройствах, датчиках и измерителях параметров технологических процессов и на транспорте [1–5].

Практические условия работы в различных применениях часто накладывают на автодинные системы особые требования. К ним относятся:

— реализация высокой чувствительности системы для обнаружения объектов на относительно большом расстоянии при наличии под-

\* Работа выполнена в соответствии с Договором о научно-техническом сотрудничестве между УрФУ и ИРЭ НАНУ, а также при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации, постановление № 211 контракт № 02.А03.21.0006.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alidoost, S. A.; Sadeghzade, R.; Fatemi, R. Autodyne system with a single antenna. *Proc. of 11th Int. Radar Symp., IRS-2010*. 16–18 Jun. 2010, Lithuania, Vilnius. — IEEE, 2010. — Vol. 2. — P. 406–409. — URL : <http://ieeexplore.ieee.org/document/5547497/>.
2. Kim, S.; Kim, B.-H.; Yook, J.-G.; Yun, G.-H. Proximity Vital Sign Sensor Using Self-Oscillating Mixer. *URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC)*. — 2016. — P. 1446–1448. — DOI: [10.1109/URSIAP-RASC.2016.7601402](https://doi.org/10.1109/URSIAP-RASC.2016.7601402).
3. Носков, В. Я.; Игнатков, К. А.; Чупахин, А. П. Применение двухдиодных автодинов в устройствах радиоволнового контроля размеров изделий. *Измерительная техника*. — 2016. — № 7. — С. 24–28. — DOI: [10.1007/s11018-016-1035-9](https://doi.org/10.1007/s11018-016-1035-9).
4. Ermak, G. P.; Popov, I. V.; Vasilev, A. S.; Varavin, A. V.; Noskov, V. Ya.; Ignatkov, K. A. Radar sensors for hump yard and rail crossing applications. *Telecom. Radio Eng.* — 2012. — Vol. 71, No. 6. — P. 567–580. — DOI : [10.1615/TelecomRadEng.v71.i6.80](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v71.i6.80).
5. Носков, В. Я.; Варавин, А. В.; Васильев, А. С.; Ермак, Г. П.; Закарлюк, Н. М.; Игнатков, К. А.; Смольский, С. М. Современные гибридно-интегральные автодинные генераторы микроволнового и миллиметрового диапазонов и их применение. Часть. 9. Радиолокационное применение автодинов. *Успехи современной радиоэлектроники*. — 2016. — № 3. — С. 32–86.
6. Komarov, I. V.; Smolskiy, S. M. *Fundamentals of Short-Range FM Radar*. Norwood : Artech House, 2003. — 289 p. — DOI : [10.1109/MAES.2004.1346903](https://doi.org/10.1109/MAES.2004.1346903).
7. Воторопин, С. Д.; Носков, В. Я.; Смольский, С. М. Анализ автодинного эффекта генераторов с линейной частотной модуляцией. *Известия вузов. Физика*. — 2008. — Т. 51, № 6. — С. 54–60. — URL : <http://elibrary.ru/item.asp?id=11135288>.
8. Noskov, V. Ya.; Ignatkov, K. A.; Chupahin, A. P.; Vasiliev, A. S.; Ermak, G. P.; Smolskiy, S. M. Peculiarities of Signal Formation of Autodyne Radars with Linear Frequency Modulation. *Вестник НТУ Украины «КПИ». Серия Радиотехника, Радиоаппаратостроение*. — 2016. — № 67. — С. 50–57. — <http://radap.kpi.ua/en/radiotechnique/article/view/1366>
9. Носков, В. Я.; Игнатков, К. А. Особенности шумовых характеристик автодинов при сильной внешней обратной связи. *Известия вузов. Физика*. — 2013. — Т. 56, № 12. — С. 112–124. — URL : <http://elibrary.ru/item.asp?id=21125997>.
10. Noskov, V. Ya.; Ermak, G. P. Signal and fluctuation characteristics of autodyne vibration and displacement meters. *Telecom. Radio Eng.* — 2014. — Vol. 73, No. 19. — P. 1727–1743. — DOI : [10.1615/TelecomRadEng.v73.i19.30](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v73.i19.30).
11. Носков, В. Я.; Игнатков, К. А. О применимости квазистатического метода анализа автодинных систем. *Известия вузов. Радиоэлектроника*. — 2014. — Т. 57, № 3 — С. 44–56. — URL : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347014030054>.
12. Noskov, V. Ya.; Ignatkov, K. A. Autodyne signals in case of random delay time of the reflected radiation. *Telecom. Radio Eng.* — 2013. — Vol. 72, No. 16. — P.

---

1521–1536. — DOI : [10.1615/TelecomRadEng.v72.i16.70](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v72.i16.70).

13. Varavin, A. V.; Vasiliev, A. S.; Yermak, G. P.; Popov, I. V. Autodyne Gunn-diode transceiver with internal signal detection for short-range linear FM radar sensor. *Telecom. Radio Eng.* — 2010. — Vol. 69, No. 5.

— P. 451–458. — DOI : [10.1615/TelecomRadEng.v69.i5.80](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v69.i5.80).

14. Носков, В. Я.; Игнатков, К. А. Шумовые характеристики автодинов со стабилизацией частоты внешним высокочастотным резонатором. *Радиотехника и электроника*. — 2016. — Т. 61, № 9. — С. 905–918. — DOI: [10.7868/S0033849416090102](https://doi.org/10.7868/S0033849416090102).

Поступила в редакцию 23.05.2016

---