

В. М. ЛІПКА¹, к. т. н. В. В. РЮХТІН¹, д. т. н. Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ²

Україна, м. Чернівці, ¹Центральне конструкторське бюро «Ритм»,

²Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

E-mail: volodymyrliпка9@gmail.com

ФОТОПРИЙМАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, СТІЙКИЙ ДО ФОНОВОЇ ЗАСВІТКИ, З РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ ВХІДНИХ СИГНАЛІВ

Створено дослідний зразок фотоприймального пристрою для приймання періодичних оптичних інформаційних сигналів у відкритому оптичному каналі в умовах дії фонового випромінювання видимого світла потужністю до 15 мВт. Пристрій працює у низькочастотному діапазоні від 3 до 45 кГц включно з динамічним діапазоном, розширеним до 67 дБ при застосуванні автоматичного регулювання підсилення.

Ключові слова: фотоприймальний пристрій, фонове випромінювання, динамічний діапазон.

Оптичне вимірювання є носієм величезної кількості інформації, яку досліджують та обробляють різноманітні електронні засоби, засновані на первинних перетворювачах — фотоприймачах оптичного випромінювання та електронних схемах обробки фотосигналу. На величину корисного фотосигналу впливають різноманітні завади, які відносяться до двох типів — електричного походження (шумові сигнали фотоприймача, шуми, створювані провідниками, шуми підсилювача тощо) та оптичного походження (оптичні сигнали, генеровані різноманітними фоновими джерелами, такими як Сонце, освітлювальні прилади тощо) [1]. Суттєвим серед них є оптичне випромінювання з таким спектральним діапазоном, що відчувається фотоприймачем. Така ситуація спостерігається при роботі фотоприймального пристрою (ФПП) у так званому відкритому оптичному каналі, наприклад при плануванні місцевості за допомогою лазерного теодоліта або при лазерному зондуванні атмосфери для виявлення зміни концентрації певних молекул. В процесі виконання таких задач використовуються, зокрема, лазери, які працюють в інфрачервоному діапазоні спектру.

Робота системи «лазер — ФПП» в умовах відкритого каналу призводить до того, що випромінювання з певною робочою довжиною хвилі генерує у фотоприймачі фотострум I_1 , а фонове випромінювання — фотострум I_2 , при цьому I_2 може бути набагато більше за I_1 , і в такому випадку отримати інформацію з корисного інформаційного сигналу неможливо. Це особливо суттєво у випадку періодичних монохроматичних сигналів, тому протидія таким завадам є актуальним завданням сучасної електроніки.

З наукової літератури відомо, що проблему реєстрації корисного монохроматичного потоку випромінювання в умовах фонового засвітлення частково

можна вирішувати за допомогою схем автоматичного регулювання підсилення, однак при цьому відбувається звуження динамічного діапазону ФПП. Тому ще одним актуальним завданням електроніки є пошук технічного балансу між схемно-технічними рішеннями, які забезпечують протидію фоновому випромінюванню при роботі ФПП у відкритому оптичному каналі, та збереженням й розширенням його динамічного діапазону.

Фотоприймальний пристрій УФУО4, розроблений раніше у ЦКБ «Ритм», має динамічний діапазон до 30 дБ у частотному діапазоні відбору корисного сигналу 3—45 кГц. При цьому протидія фоновій засвітці здійснюється виключно за допомогою оптичного відрізаючого світлофільтра, коли частка фонового випромінювання, що проходить скрізь фільтр, ніяким чином не компенсується. Це суттєво обмежує область застосування пристрою, примушуючи споживача використовувати прилад лише в умовах низького рівня освітленості видимим світлом, практично лише у ночі.

Метою цієї роботи було створення дослідного зразку фотоприймального пристрою з динамічним діапазоном не менше 60 дБ, який би забезпечував вимірювання потоку періодичного монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі 1064 нм в умовах відкритого оптичного каналу при фоновому засвітленні видимим світлом потужністю до 15 мВт.

Аналіз шляхів досягнення мети роботи

Розширення динамічного діапазону фотоприймача досягається зменшенням його шуму, зокрема, оптимізацією його конструкції та технології [2]. Шуми, створювані з'єднувальними елементами між фотоприймачем та підсилювачем, зазвичай усуваються шляхом створення такої конструкції ФПП, коли фотоприймач, підсилювач та інші елементи обробки

оптичного сигналу збираються на одній підкладці в одному корпусі [3].

Для протидії фоновому випромінненню шляхом виділення потрібного спектрального діапазону використовуються оптичні світлофільтри [4, 5]. Але світлофільтри мають загальний недолік — вони здатні пропускати частку оптичного випроміннення за межами того діапазону, який повинні виділяти [6].

Оскільки складовою частиною ФПП є фотодіод, його динамічний діапазон також має бути широким, що досягається, зокрема, зменшенням рекомбінації носіїв заряду [7, 8]. Але такі операції ускладнюють конструкцію фотодіода та технологію його виготовлення, що знову-таки веде до здороження виробу та втраті конкурентоспроможності на ринку. Сучасні фотоприймачі, в конструкціях яких як вихідний матеріал застосовують фулерен C_{60} [9] та графен [10], мають гарні характеристики, але їх надійність (час напруцювання) поки що залишається невеликою, а ціна достатньо високою. Для вирішення поставленого завдання також використовують модуляцію вхідного сигналу [11], що вимагає обладнувати фотоприймач детектувальним пристроєм. Як правило, перелічені вище фотодіоди працюють у закритому оптичному каналі та є лінійними у межах 100—200 дБ у всьому діапазоні чутливості до оптичного випроміннення.

Схемно-технічні рішення, які реалізуються у ФПП, також сприяють розширенню його динамічного діапазону у цілому через зменшення шуму. Зокрема, у [12] для мінімізації шуму та досягнення високої чутливості створено вимірювальний тракт керування вихідним струмом за допомогою контуру зворотного зв'язку. Тієї ж мети досягають автори [13]: за допомогою вбудованих компараторів та логічних елементів поза приймачем отримується сигнал із частотою, пропорційною рівню світла, а динамічний діапазон у закритому оптичному каналі складає 145 дБ.

Описані схемні рішення належать до схем автоматичного регулювання підсилення (АРП) [14], які широко використовуються у медичній галузі [15, 16] та системах зв'язку [17, 18]. Схеми АРП здатні регулювати коефіцієнт підсилення фотосигналу і таким чином регулювати межі динамічного діапазону ФПП. Окрім того, схеми АРП можуть відстежувати сигнал із певною частотою, пропорційною відповідному рівню оптичного сигналу [13]. Наприклад, у [19] проведено дослідження величини вихідного сигналу попереднього підсилювача в умовах фонового випроміннення з довжиною хвилі 950 нм, яке показало, що при застосуванні фотодіода у відповідному обладнанні необхідно враховувати його динамічний діапазон та частотні характеристики попереднього підсилювача, які слід розширити до значень, при яких фонове випроміннення можна вивести за межі робочої частоти системи. Саме таке рішення було обрано для подальших досліджень.

Результати досліджень

ФПП створювався у рамках виконання науково-дослідної роботи, що проводиться в ЦКБ «Ритм» (м. Чернівці).

Первинним перетворювачем служив фотодіод з кремнію p -типу провідності, оптимізований для приймання монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 1064$ нм (притаманна лазеру на основі ітрієво-алюмінієвого гранату), потужністю до 5 мкВт, який широко застосовується у геодезії та при контролі чистоти атмосфери [20], як правило, в умовах відкритого оптичного каналу при фоновій освітленості оптичним випромінненням видимого діапазону спектру.

Було проведено оцінку величини фотоструму, який може генерувати кремнієвий фотодіод при його опроміненні сонячним світлом, яке діє як фонове випроміннення. Для фотодіода певної конструкції, виготовленого з кремнію p -типу провідності, питомий фотострум, зумовлений фоновим випромінненням, є достатньо високим — його величина сягає $0,2$ мА/мм². Тому для усунення такого впливу застосовувався світлофільтр зі скла ИКС7 товщиною 4 мм, що пропускає оптичне випроміннення, починаючи з довжини хвилі близько 800 і до 4800 нм. Таким чином, область спектральної чутливості фотодіода звузилася до 800—1100 нм, чого цілком достатньо для вимірювання оптичного випроміннення з $\lambda = 1064$ нм. При цьому величина фонового фотоструму зменшилася на 60%.

Для збільшення динамічного діапазону ФПП та компенсації впливу фонового випроміннення було розроблено нову версію схеми АРП на основі мікросхеми AD633, яка наведена на **рис. 1**.

Працює запропонована схема наступним чином. Фотодіод 1 генерує фотострум, який створюється фоновим випромінненням певного частотного складу та має робочу довжину хвилі 1064 нм, яка також модулюється за певним законом. Перший каскад ФПП 2 побудовано за схемою роздільного підсилення в смузі частот з компенсацією постійного засвіт-

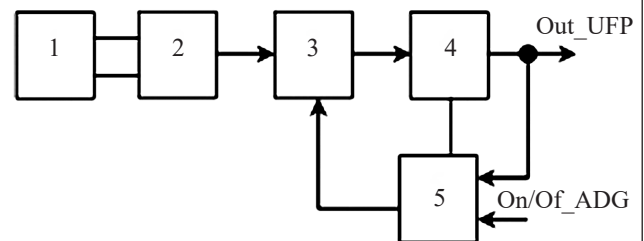


Рис. 1. Блок-схема ФПП, стійкого до немодульованого фонового випроміннення:

1 — фотодіод; 2 — перший каскад підсилювача; 3 — регулятор АРП; 4 — вихідний підсилювач ФПП; 5 — детектор АРП; Out_UFP — напруга вихідного підсилювача; On/Of_ADG — увімкнення/вимкнення АРП

лення. Він забезпечує попереднє підсилення фото-сигналу, зумовленого робочою довжиною хвилі, та часткове відфільтрування фотосигналу, який має частотний склад, що відрізняється від частоти модуляції корисного сигналу.

Схема АРП працює наступним чином. Вихідний сигнал першого каскаду 2 подається на вхід аналогового перемножувача регулятора 3, реалізованого на мікросхемі аналогового перемножувача AD633, підсилюється вихідним підсилювачем 4 і подається на детектор 5. При досягненні порогового рівня детектор АРП формує керуючий сигнал, який подається на другий вхід аналогового перемножувача регулятора 3, зменшуючи при цьому коефіцієнт підсилення регулятора АРП.

Фотоелектричні параметри ФПП досліджувались відповідно до методик вимірювання параметрів фотоприймачів, викладених у ГОСТ 17772-88 [21], із доповненнями, наведеними нижче.

Оскільки вольтова монохроматична чутливість $S_{U\lambda}$ створюваного ФПП не має бути меншою, ніж у прототипу (УФУО4), вона досліджувалась у першу чергу. Контроль величини $S_{U\lambda}$ здійснювався шляхом фокусування випромінювання випромінювача на фоточутливому елементі ФПП, і при цьому вимірювалася напруга фотосигналу U_{out} . Чутливість розраховували за формулою

$$S_{U\lambda} = U_{out} / P, \quad (1)$$

де P — потужність випромінювання (10 нВт).

Відносна похибка визначення $S_{U\lambda}$ не перевищувала $\pm 10\%$.

Вимірювання проводилися, коли система АРП була вимкнена. Результати показали, що вольтова монохроматична чутливість створеного ФПП на частоті 20 кГц і довжині хвилі оптичного випромінювання 1064 нм досягає $2,8 \cdot 10^6$ В/Вт, що не гірше ніж значення, притаманні ФПП УФУО4.

Залежність амплітуди вихідного сигналу від частоти вхідного сигналу сталої амплітуди (АЧХ), а саме — смугу пропускання ФПП (ΔU), отримували при варіюванні частоти випромінювання (без зміни амплітуди) по рівню -3 дБ, вимірюючи селективним вольтметром амплітуду вихідного сигналу ФПП на дискретних частотах. Величину динамічного діапазона розраховували за формулою

$$\Delta U = 20 \lg(U_{fd} / U_{f0}), \quad (2)$$

де U_{f0} , U_{fd} — амплітуди вихідного сигналу ФПП, відповідно, на частоті 10 кГц та на дискретних частотах.

Відносна похибка визначення ΔU — у межах $\pm 10\%$.

АЧХ вольтової монохроматичної чутливості першого каскаду ФПП наведено на **рис. 2**. Тут видно, що смуга пропускання, виміряна по рівню -3 дБ, знаходиться у діапазоні частот від 3 до 100 кГц.

Дослідження запропонованої конструкції ФПП показали (**рис. 3**), що вона забезпечує вибір корисного сигналу певної частоти модуляції у діапазоні від 3 до 45 кГц і ефективно придушує частоти, ви-

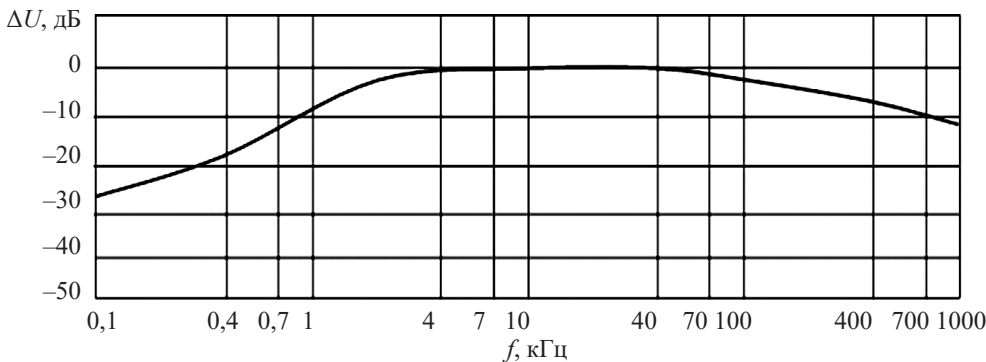


Рис. 2. АЧХ вольтової монохроматичної чутливості першого каскаду ФПП, стійкого до немодульованого фоновому оптичного випромінювання

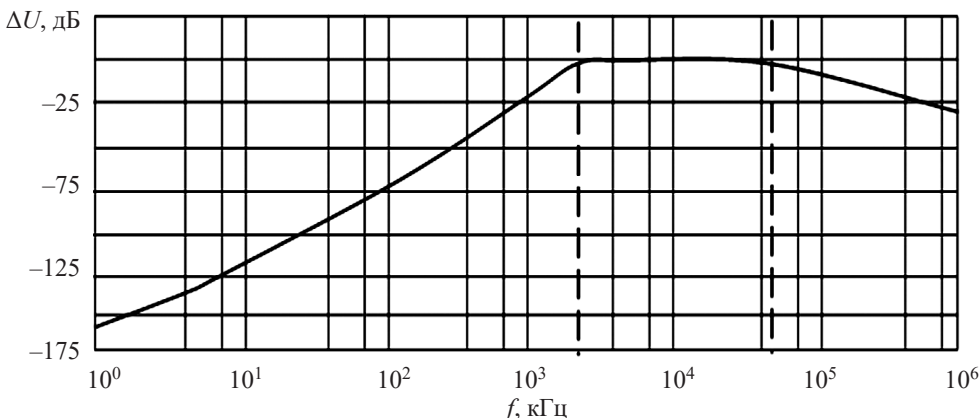


Рис. 3. АЧХ вольтової монохроматичної чутливості ФПП, стійкого до немодульованого фоновому оптичного випромінювання, у цілому

кликані оптичними завадами у низькочастотному діапазоні від частоти вхідного сигналу сталої амплітуди до 3 кГц включно.

Також за допомогою відповідного селективного вольтметра досліджувалось середньоквадратичне значення власних шумів ФПП за відсутності фонового засвітлення при вимкненій системі АРП. Смуга пропускання ФПП складала 42 кГц. Це значення не перевищувало 2 мВ (в смузі 1 кГц).

Вимірний струм компенсації першого каскаду ФПП становить 15 мА, що еквівалентно потужності світлових завад, що падають на поверхню фотодіода, близько 15 мВт.

Динамічний діапазон ФПП $d_{\text{ФПП}}$ визначається як логарифм відношення максимальної амплітуди вхідного сигналу підсилювача $U_{\text{Сmax}}$, за якої спотворення сигналу досягають гранично допустимого значення, до порогового значення чутливості підсилювача $U_{\text{пор}}$.

Дослідження $d_{\text{ФПП}}$ здійснювалося збільшенням потужності випромінювання до максимально можливого вихідного сигналу ФПП без спотворення форми (обмеження амплітуди імпульсу сигналу), контролюючи його на осцилографі та вимірюючи його амплітуду $U_{\text{Сmax}}$ за осцилограмою. Умови вимірювання: довжина хвилі оптичного випромінювання 1064 нм, діапазон потужності від $2 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^{-5}$ Вт, частота модуляції 20 кГц при ввімкненому АРП.

Динамічний діапазон розраховували за формулою $d_{\text{ФПП}} = 20 \lg(U_{\text{Сmax}}/U_{\text{пор}})$. (3)

Відносна похибка визначення $d_{\text{ФПП}}$ лежить у межах $\pm 15\%$.

У цих умовах динамічний діапазон ФПП складає до 67 дБ, при вимкненому АРП — не більше 30 дБ.

Для порівняння у таблиці наведено характеристики ФПП попередньої конструкції та новоствореного.

Характеристика	ФПП УФУО4	Створений ФПП
Динамічний діапазон, дБ	30	67
Компенсація струм-фонового засвітлення, мА	0	15
Частотний діапазон відбору корисного сигналу, кГц	3 — 45	

Висновки

Таким чином, нова версія схеми АРП, розробленої для збільшення динамічного діапазону дослідного зразка ФПП та компенсації впливу на нього фонового випромінювання видимого діапазону спектру, дозволила розширити його динамічний діапазон на 37 дБ відносно прототипу УФУО4. Конструкція нового ФПП забезпечує вибір корисного сигналу певної частоти модуляції у частотному діапазоні від 3 до 45 кГц і придушує частоти, викликані фоном випромінюванням у низькочастотному діапазоні від по-

стійної складової до 3 кГц включно. При цьому відбувається компенсація струму до 15 мА, що еквівалентно потужності фонового випромінювання близько 15 мВт.

Подальші дослідження мають відповісти на питання щодо надійності запропонованої конструкції ФПП та оптимізації його оптичної системи.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. *Авиационные лазерные и оптико-электронные системы*. Под ред. В. М. Сидорина, Москва, ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2003, 321 с.
2. Рогальский А. Инфракрасные детекторы. Новосибирск, Наука, 2003, 636 с. [Rogalski A. *Infrared and Terahertz Detectors, Third Edition*. CRC Press, 2018, 1066 p.
3. Бараночников М.Л. Приемники и детекторы излучений. Справочник. Москва, 2017, 1041 с.
4. Тарасов В.В., Якушенков Ю. Г. *Инфракрасные системы «смотрящего» типа*. Москва, Логос, 2004. -342 с.
5. Молдавская Л.Д., Востоков Н.В., Гапонова Д.М. и др. Сэндвич-структура InGaAs/GaAs с квантовыми точками для инфракрасных фотоприемников. *Физика и техника полупроводников*, 2008, т. 42, вып. 1, с.101–105.
6. Колежук К.В., Комашенко В.Н., Шереметова Г.И. и др. Новое поколение приемников ультрафиолетового излучения. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2003, № 3, с. 51–51.
7. Chunxiong Bao, Zhaolai Chen, Yanjun Fang et al. Low-noise and large-linear-dynamic-range photodetectors based on hybrid-perovskite thin-single-crystals. *Advanced Materials*, 2017, vol. 29, iss. 39. <https://doi.org/10.1002/adma.201703209>
8. Chenglong Li, Hailu Wang, Fang Wang et al. Ultrafast and broadband photodetectors based on a perovskite/organic bulk heterojunction for large-dynamic-range imaging. *Light: Science & Applications*, 2020, vol. 9, art. no. 31. <https://doi.org/10.1038/s41377-020-0264-5>
9. Fawen Guo, Zhengguo Xiao, Jinsong Huang . Fullerene photodetectors with a linear dynamic range of 90 dB enabled by a cross-linkable buffer layer. *Advanced Optical Materials*, 2013, vol. 1, iss. 4, pp. 289–294. <https://doi.org/10.1002/adom.201200071>
10. De Sanctis A., Jones G. F., Wehenkel D. J. et al. Extraordinary linear dynamic range in laser-defined functionalized graphene photodetectors. *Science Advances*, 2017, vol. 3, no. 5, e1602617. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602617>
11. Williams K.J., Nichols L.T., Esman R.D. Photodetector nonlinearity limitations on a high-dynamic range 3 GHz fiber optic link. *Journal of Lightwave Technology*, 1998, vol. 16, iss. 2, pp. 192–199. <https://doi.org/10.1109/50.661009>
12. Xiaojun Bi, Jian Li, Zhen Gu et al. High sensitivity and dynamic-range 25 Gbaud silicon receiver chipset with current-controlled DC adjustment path and cube-shape Ge-on-Si PD. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 2020, vol. 67, iss. 11, pp. 3991–4001. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2020.3011292>
13. Raynor J.M. , Seitz P. A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit. *Sensors and Actuators A: Physical*, 1997, vol 61, iss. 1–3, pp. 327–330. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)01481-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01481-7)
14. Alegre Pérez, Juan Pablo, Celma Santiago López, Belén Calvo. *Automatic Gain Control. Techniques and Architectures for RF Receivers*. Springer-Verlag New York, 2011, 134 p. <https://www.springer.com/gp/book/9781461401667>
15. Thomas F. A., Dietz V., Schrafl-Altarmatt M. Automatic gain control of neural coupling during cooperative hand movements. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, art. no. 5959. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24498-6>

16. Veugen L. C. E., Chalupper J., Snik Ad. F.M. et al. Matching automatic gain control across devices in bimodal cochlear implant users. *Ear and Hear*. 2016, vol. 37, iss. 3, pp. 260–70. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000260>

17. Borowski H., Isoz O., Marsten Eklöf F. et al. Detecting false signals with automatic gain control. *GPS World Staff*, 2012. <https://www.gpsworld.com/detecting-false-signals-automatic-gain-control-12804/>

18. Jun Hee Jang, Hyung Jin Choi. A fast automatic gain control scheme for 3GPP LTE TDD system. 2010 *IEEE 72nd Vehicular Technology Conference - Fall*, 2010, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1109/VETEFC.2010.5594461>

19. Hodovaniouk V.M., Doktorovych I.V., Butenko V.K. et al. Silicon photodiode & preamplifier operation characteristic properties under background radiation conditions. *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2005, vol. 1, iss. 1, pp. 83–86.

20. Колесник Ю.И., Кипенский А.В. *Квантовая электроника. Применение лазеров : Уч. пособие*. Харьков, 2005, 156 с.

21. ГОСТ 17772-88. Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик.

Дата надходження рукопису до редакції 31.03 2021 р.

DOI: 10.15222/TKEA2021.3-4.03

UDC 535.23:628.98:004.9:535-31:535.247

V. M. LIPKA¹, V. V. RYUKHTIN¹, Yu. G. DOBROVOLSKY²

Ukraine, Chernivtsi, ¹Ritm Central Design Bureau Joint-Stock Company,

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

E-mail: volodymyrliпка@gmail.com

PHOTODETECTOR RESISTANT TO BACKGROUND LIGHT NOISE WITH EXTENDED DYNAMIC RANGE OF INPUT SIGNALS

Measurement of periodic optical information signals in the background light noise with a photodetector with extended dynamic range is an urgent task of modern electronics and thus has become the aim of this study.

To increase the dynamic range of the photodetector, a new version of the automatic gain control (AGC) circuit has been developed, which consists of an AGC controller, an output photodetector amplifier and an AGC detector.

The authors measured the dynamic range of the photodetector when receiving optical radiation with a wavelength of 1064 nm in the power range from 2.10⁻⁸ to 2.10⁻⁵ W at a modulation frequency of 20 kHz with the AGC on. Under these conditions, the dynamic range of the photodetector was found to be up to 67 dB. If the AGC was off, the dynamic range did not exceed 30 dB.

Thus, the study made it possible to create a photodetector with an extended dynamic range up to 67 dB based on a new version of the AGC circuit. The design of the photodetector allowed choosing a useful signal of a particular modulation frequency in the frequency range from 3 to 45 kHz and effectively suppresses the frequencies caused by optical interference in the low frequency range from the frequency of the input signal of constant amplitude up to 3 kHz inclusive. This compensates the current up to 15 mA, which is equivalent to the power of light interference of about 15 mW.

Further research should address the issues of reliability of the proposed photodetector design and optimization of its optical system.

The photodetector can be used in geodesy and ambient air quality monitoring.

Keywords: photodetector, background light noise, dynamic range.

REFERENCES

1. *Aviatsionnyye lazernyye i optiko-elektronnyye sistemy* [Aviation Laser and Optoelectronic Systems] Ed. by V.M. Sidorin. Moscow, VVIA named after N.E. Zhukovsky, 2003, 321 p. (Rus)

2. Rogalski A. *Infrared and Terahertz Detectors, Third Edition*. CRC Press, 2018, 1066 p.

3. Baranochnikov M.L. *Priyemniki i detektory izlucheniya. Spravochnik* [Radiation Receivers and Detectors. Handbook]. Moscow, 2017, 1041 p. (Rus)

4. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. *Infrakrasnyye sistemy «smotryashchego» tipa* [Infrared Systems of the “Looking” Type]. Moscow, Logos, 2004, 342 p. (Rus)

5. Moldavskaya L.D., Vostokov N.V., Gaponova D.M. et al. [InGaAs/GaAs Sandwich Structure with Quantum Dots for Infrared Photodetectors]. *Physics and Technology of Semiconductors*, 2008, vol. 42, iss. 1, pp. 101–105. (Rus)

6. Kolezhuk K.V., Komashchenko V.N., Sheremetova G.I. et al. New generation of ultraviolet radiation receivers. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2003, no. 3, pp. 51–51. (Ukr)

7. Chunxiong Bao, Zhaolai Chen, Yanjun Fang et al. Low-noise and large-linear-dynamic-range photodetectors based on hybrid-perovskite thin-single-crystals. *Advanced Materials*, 2017, vol. 29, iss. 39. <https://doi.org/10.1002/adma.201703209>

8. Chenglong Li, Hailu Wang, Fang Wang et al. Ultrafast and broadband photodetectors based on a perovskite/organic bulk heterojunction for large-dynamic-range imaging. *Light: Science & Applications*, 2020, vol. 9, art. no. 31. <https://doi.org/10.1038/s41377-020-0264-5>

9. Fawen Guo, Zhengguo Xiao, Jinsong Huang. Fullerene photodetectors with a linear dynamic range of 90 dB enabled by a cross-linkable buffer layer. *Advanced Optical Materials*, 2013, vol. 1, iss. 4, pp. 289–294. <https://doi.org/10.1002/adom.201200071>

10. De Sanctis A., Jones G. F., Wehenkel D. J. et al. Extraordinary linear dynamic range in laser-defined functionalized graphene photodetectors. *Science Advances*, 2017, vol. 3, no. 5, e1602617. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602617>

11. Williams K.J., Nichols L.T., Esman R.D. Photodetector non-linearity limitations on a high-dynamic range 3 GHz fiber optic link.

Journal of Lightwave Technology, 1998, vol. 16, iss. 2, pp. 192–199. <https://doi.org/10.1109/50.661009>

12. Xiaojun Bi, Jian Li, Zhen Gu et al. High sensitivity and dynamic-range 25 Gbaud silicon receiver chipset with current-controlled DC adjustment path and cube-shape Ge-on-Si PD. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 2020, vol. 67, iss. 11, pp. 3991–4001. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2020.3011292>

13. Raynor J.M., Seitz P. A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit. *Sensors and Actuators A: Physical*, 1997, vol. 61, iss. 1–3, pp. 327–330. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)01481-7](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)01481-7)

14. Alegre Pérez, Juan Pablo, Celma Santiago López, Belén Calvo. *Automatic Gain Control. Techniques and Architectures for RF Receivers*. Springer-Verlag New York, 2011, 134 p. <https://www.springer.com/gp/book/9781461401667>

15. Thomas F. A., Dietz V., Schrafl-Altermatt M. Automatic gain control of neural coupling during cooperative hand movements. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, art. no. 5959. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24498-6>

16. Veugen L. C. E., Chalupper J., Snik Ad. F.M. et al. Matching automatic gain control across devices in bimodal cochlear implant

users. *Ear and Hear*. 2016, vol. 37, iss. 3, pp. 260–70. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000260>

17. Borowski H., Isoz O., Marsten Eklöf F. et al. Detecting false signals with automatic gain control. *GPS World Staff*, 2012. <https://www.gpsworld.com/detecting-false-signals-automatic-gain-control-12804/>

18. Jun Hee Jang, Hyung Jin Choi. A fast automatic gain control scheme for 3GPP LTE TDD system. 2010 *IEEE 72nd Vehicular Technology Conference - Fall*, 2010, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1109/VETECE.2010.5594461>

19. Hodovaniouk V.M., Doktorovych I.V., Butenko V.K. et al. Silicon photodiode & preamplifier operation characteristic properties under background radiation conditions. *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2005, vol. 1, iss. 1, pp. 83–86.

20. Kolesnik Yu. I., Kipensky A. V. *Kvantovaya elektronika. Primeneniye lazerov* [Quantum Electronics. Application of Lasers]. Kharkov, 2005, 156 p. (Ukr)

21. *State Standart 17772-88*. [Radiation Receivers. Semiconductor Photovoltaic and Photodetectors. Methods for Measuring Photovoltaic Parameters and Characterization]. (Rus)

Опис статті для цитування:

Ліпка В. М., Рюхтін В. В., Добровольський Ю. Г. Фотоприймальний пристрій, стійкий до фонові засвіткі, з розширеним динамічним діапазоном вхідних сигналів. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2021, № 3–4, с. 3–8. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.3-4.03>

Cite the article as:

Lipka V. M., Ryukhtin V. V., Dobrovolsky Yu. G. Photodetector resistant to background light noise with extended dynamic range of input signals. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2021, no. 3–4, pp. 3–8. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.3-4.03>

НОВІ КНИГИ

НОВІ КНИГИ

Баришніков Г. В., Гельжинський І. І., Готра З. Ю., Іванюк Х. Б., Мінаєв Б. П., Стахіра П. Й. Органічні світловипромінювальні структури. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020.

Розглянуто теорію та принципи молекулярної люмінесценції та її застосування в органічних світловипромінювальних структурах, базові структури та принцип роботи, описано електрофлуоресцентні органічні світловипромінювальні структури синього та зеленого кольорів свічення, електрофосфоресцентні органічні світловипромінювальні структури із випромінюванням у високоенергетичній ділянці оптичного випромінювання, синього, оранжево-го та червоного кольорів свічення із випромінюванням у синьо-зеленій області видимого спектра, органічні світловипромінювальні структури жовтого, оранжевого та теплого білого кольорів свічення. Наведено схематичні рішення мікроелектронного керування органічними світловипромінювальними структурами.

Монографія розрахована на фахівців, які працюють у галузі електроніки, а також може бути корисною студентам і аспірантам відповідного спрямування.

