ГИБРИДНЫЙ ФОТОПРИЁМНЫЙ МОДУЛЬ ВИДИМОГО И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА ЛЭП

**Ю.В. Брашеван, М.Е. Гусев, Ю.И. Завадский, П.Б. Константинов,
А.С. Скрылёв, В.В. Чернокожин**

АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

Представлены результаты разработки гибридного фотоприёмного модуля видимого и ультрафиолетового (УФ) диапазонов для телевизионной камеры наблюдения и контроля коронного разряда высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП). Модуль состоит из электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и сенсора изображения на основе ПЗС матрицы, сочленённых между собой с помощью волоконно-оптической системы. Приведены конструкция модуля и последовательность его сборки и основные фотоэлектрические характеристики изделия.

Ключевые слова: фотоприёмный модуль, ЭОП, волоконно-оптический элемент, фоточувствительная ПЗС матрица

Сведения об авторах: Брашеван Юрий Васильевич, brashevan_uv@pulsarnpp.ru; Гусев Михаил Евгеньевич, gusev@pulsarnpp.ru; Завадский Юрий Иванович, к.ф.-м.н., yuizavad@pulsarnpp.ru; Константинов Пётр Борисович, д.т.н., профессор, administrator@pulsarnpp.ru; Скрылёв Александр Сергеевич, к.т.н., лауреат Госпремии, askrylev@pulsarnpp.ru; Чернокожин Владимир Викторович, к.т.н., vch@pulsarnpp.ru

HYBRID PHOTOACTIVE MODULE OF VISIBLE AND ULTRAVIOLET RANGE FOR SURVEILLANCE AND MONITORING OF THE POWER LINE CORONAL DISCHARGE

**Yu.V. Brashevan, M.E. Gusev, Yu.I. Zavadskiy, P.B. Konstantinov,
A.S. Skrylev, V.V. Chernokozhin**

S&PE Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy Pr., 27

In this paper the results of development of hybrid photoactive module of visible and ultraviolet (UV) range for surveillance TV camera for monitoring power line coronal discharge are presented. Module consists of an image intensifier tube and a CCD-based image sensor, interconnected using a fiber optic network. Module design, its assembly sequence and photovoltaic performance are given.

Keywords: photoactive module, image intensifier tube, fiber optic element, photosensitive CCD

Authors: Brashevan Yury Vasilyevich, brashevan_uv@pulsarnpp.ru; Gusev Mikhail Evgenyevich, gusev@pulsarnpp.ru; Zavadskiy Yury Ivanovich, Ph.D., yuizavad@pulsarnpp.ru; Konstantinov Petr Borisovich, Sc.D., Professor, administrator@pulsarnpp.ru; Skrylev Aleksandr Sergeevich, Ph.D., laureate of Russian Federation State prize, askrylev@pulsarnpp.ru; Chernokozhin Vladimir Viktorovich, Ph.D., vch@pulsarnpp.ru

Введение

Известно, что коронный разряд на проводах линий электропередачи вызывает значительные потери передаваемой энергии, достигающие в плохую погоду 100...200 кВт·ч на километр линии и более. Кроме этого, продукты ионизации воздуха разрушительно действуют на изоляцию и металлическую арматуру. Коронный разряд также является источником акустического шума и высокочастотного электромагнитного излучения (спектр частот 0,154...100 МГц), которое создаёт помехи радио- и телеприёму [1]. Спектр излучения коронного разряда лежит в основном в ультрафиолетовом диапазоне (280-400 нм), частично захватывая начало видимого диапазона [2]. Для борьбы с потерями энергии прежде всего необходима аппаратура надёжного контроля этого излучения, чувствительная как в УФ, так и видимом (для привязки к объекту излучения) диапазоне.

Общим недостатком камер, приёмником излучения в которых служит матрица ПЗС, является недостаточно высокий уровень пороговой чувствительности, необходимый для обеспечения функционирования при низкой освещённости. Поэтому современные высокочувствительные ТВ камеры создаются либо на основе ЭОП [3], либо с применением матриц, использующих эффект лавинного умножения [4].

Использование ЭОП в качестве усилителя яркости перед матричным сенсором изображения (ПЗС матрицей или КМОП матрицей) камеры наблюдения позволяет на несколько порядков увеличить чувствительность камеры, обеспечить надёжную регистрацию изображения, в том числе в условиях низкого уровня освещённости.

Известны два принципиальных решения конструкции низкоуровневой телевизионной камеры, в которых перенос изображения с ЭОП на сенсор изображения осуществляется либо оптической системой переноса, либо волоконно-оптической системой переноса.

Согласно первому решению изображение, сформированное люминесцентным экраном, с оптического выхода ЭОП передаётся линзовой системой переноса или любой другой системой, состоящей из элементов классической оптики, на фоточувствительную зону матричного сенсора изображения [5]. Масштабирование передаваемого изображения при этом осуществляется элементами классической оптики. Низкоуровневая телевизионная камера в этом случае состоит из ЭОП, фоточувствительного матричного сенсора, оптической системы, содержащей элементы классической оптики переноса изображения с оптического входа ЭОП на фоточувствительную зону сенсора, электронного устройства считывания, обработки, формирования управляющих и выходных сигналов.

Недостатком такой камеры является ослабление яркости изображения при передаче его через оптическую систему переноса. Кроме того, такое конструктивное решение не является компактным.

Согласно второму решению конструкции камеры изображение, сформированное люминесцентным экраном, с оптического выхода ЭОП передаётся на фоточувствительную зону сенсора изображения волоконно-оптической системой, состоящей из волоконно-оптических элементов (ВОЭ).

К классу ВОЭ относятся волоконно-оптические пластины (ВОП), состоящие из светопроводящих волокон с постоянным сечением, и фокон, состоящие из светопроводящих волокон с переменным сечением. В волоконно-оптической системе переноса функцию масштабирования переносимого изображения выполняет фокон.

В этом случае выходное окно ЭОП выполнено в виде газонепроницаемого ВОЭ, на торец которого нанесён люминесцентный экран. Торец ВОЭ с люминесцентным экраном расположен в вакуумном объёме ЭОП. Оптическим выходом ЭОП является торец газонепроницаемой ВОП, противоположный торцу с люминесцентным экраном. Между фотокатодом и люминесцентным экраном расположена микроканальная пластина (МКП), выполняющая функцию усиления потока фотоэлектронов. На рис. 1 изображена соответствующая схема низкоуровневой телевизионной камеры наблюдения [3].

Рис. 1

Схема низкоуровневой телевизионной камеры наблюдения:

1 – ЭОП; 2 – фокон; 3 – оптический выход ЭОП; 4 – люминесцентный экран; 5 – сенсор изображения (матрица ПЗС, КМОП); 6 – узел фиксации оптического выхода относительно сенсора; 7 – электронный блок управления сенсором; 8 – высоковольтный источник питания; 9 – объектив; 10 – фотокатод

Объект разработки

В разработке была выбрана схема построения фотоприёмного модуля с использованием электронно-оптического преобразователя (ЭОП), комплексированного с полноформатной ПЗС матрицей оптического формата один дюйм с помощью волоконно-оптического элемента с масштабированием изображения (фокон). В качестве входного каскада был использован ЭОП фирмы PHOTONIS типа XX1450AAT с мультищелочным фотокатодом. Типовая спектральная характеристика такого ЭОП приведена на рис. 2. Разработка конструкции предусматривает в дальнейшем импортозамещение данного ЭОП на отечественные приборы различного спектрального диапазона. Примеры унифицированных ЭОП разработки НПО «Геофизика-НВ» с использованием различных фотокатодов приведены в таблице [6].

Фотоприёмный модуль предназначен для приёма оптического излучения, преобразования его в электрический сигнал, считывания, предварительного усиления и мультиплексирования сигналов.

В качестве приёмной части использована специально разработанная кремниевая матрица с зарядовой связью на металлокерамическом держателе со скрытым каналом с числом элементов 768×580 и размером пикселя 17×17 мкм². Последовательность сборки модуля проиллюстрирована на рис. 3–5. Унификация конструкции осуществлена за счёт сухой сборки выходного ВОЭ ЭОП с входным фоконом ПЗС матрицы.

Таблица

Электронно-оптические преобразователи III поколения разработки
НПО «Геофизика -НВ»

Параметры	Размер- ность	Обозначение			
		В-ИК	УФ	ИК1	ИК2
Спектральный диапазон чувстви- тельности	мкм	0,5-0,9	0,2-0,35	0,4-1,1	0,95-1,65
Чувствительность:					
– интегральная	мкА/лм	2500	–	400	–
– спектральная (850 нм)	мА/Вт	220	–	50	–
– спектральная (1060 нм)	мА/Вт	–	–	2,5	–
Рабочее телевизионное разрешение по полю	ТВЛ	450	400	400	450
Отношение сигнал/шум ($E = 10^{-4}$ лк)		20	–	12	–
Напряжение питания	В	12	12	12	2
Ток потребления	мА	250	250	250	250
Формат выходного кадра	пиксель	768×576	768×576	768×576	768×576
Разрядность выходного сигнала	бит	12	12	12	12
Пороговая облучённость	Вт/м ²	–	$5 \cdot 10^{-7}$	–	–
Рабочая облучённость	Вт/м ²	–	$5 \cdot 10^{-4}$	–	–
Квантовая эффективность (1540 нм)	%	–	–	–	2

На рис. 3 показана сборка фоточувствительной ПЗС матрицы на металлокерамическом основании с фоконом.

На рис. 4 представлен фотоприёмный модуль, включающий в себя ЭОП и ПЗС матрицу с фоконом.

На рис. 5 дан общий вид конструкции модуля и вид изделия без электронного блока управления.

Основные фотоэлектрические параметры изделия:

– пороговая облучённость в максимуме спектральной характеристики составляет не более $2 \cdot 10^{-7}$ Вт/м²;

– телевизионное разрешение не менее 350 ТВЛ;

– динамический диапазон не менее 70 отн. ед.;

– количество дефектных элементов не более 40.

Рис. 2

Спектральная характеристика
фотокатода ЭОП фирмы PHOTONIS

Рис. 3

Сборка фоточувствительной ПЗС матрицы на металлокерамическом основании с фокусом (общий вид и в разрезе)

Рис. 4

Фотоприёмный модуль (общий вид и в разрезе)

Рис. 5

ФПУ УФ: а – изделие в сборе; б – без электронного блока управления

Рис. 6

*Сборка твердотельного матричного кремниевого ПЗС фотоприёмника
с волоконно-оптическим входом (а) и тест-таблица с видеоконтрольного
устройства фотоприёмного модуля (б)*

На рис. 6 приведены изображения ПЗС матрицы с масштабирующим изображением волоконно-оптическим элементом и изображение тест-таблицы с видеоконтрольного устройства фотоприёмного модуля.

Выводы

Разработана конструкция и изготовлен унифицированный гибридный фотоприёмный модуль видимого и ультрафиолетового диапазонов для телевизионной камеры наблюдения и контроля коронного разряда высоковольтной линии электропередачи. Разработка потребовала создания компактной сборки (ЭОП, фокон, ПЗС матрица в металлокерамическом корпусе, электронный блок управления), обеспечивающей минимальные оптические потери. Исследование фотоприёмного модуля показывает перспективность его применения для создания телевизионной камеры наблюдения и контроля коронного разряда высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП).

Литература

1. Важов, В.Ф. Техника высоких напряжений: курс лекций для бакалавров / В.Ф. Важов, В.А. Лавринович, С.А. Лопаткин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 150 с.
2. Ультрафиолетовые камеры COROCAM. – [сайт]. – http://www.corocam-uv.ru/menu_6_1.html
3. Пат. 2362274 С2 Российская Федерация, МПК Н 04 N 5/225. Низкоуровневая телевизионная камера наблюдения и электронно-оптический преобразователь для неё / Викторов А.А., Гамзинов С.В., Степаненко З.И., Локтионов В.И.; заявитель и патентообладатель ОАО «Катод». – № 2007135605/06; заявл.25.09.07; опубл. 20.07.2009, Бюл.№ 20.
4. Hynecsek J. CCM-A new low-noise charge carrier multiplier suitable for detection of charge in small pixel CCD image sensors. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1992, vol. 39, iss. 8, pp. 1972-1975. DOI: 10.1109/16.144694
5. Волков, В.Г. Приборы ночной фото- и видеосъёмки / В.Г. Волков. – Специальная техника. – 2004. – № 3. – Режим доступа: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=653&lvl=10.02.&p=1>
6. Каталог продукции ОАО «НПО Геофизика-НВ». – М.: Открытое Акционерное общество «Научно-производственное объединение Геофизика-НВ», 2011.

References

1. Vazhov V.F., Lavrinovich V.A., Lopatkin S.A., Tekhnika vysokikh napryazheniy [High-voltage engineering]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2008, 150 p.
2. COROCAM ultraviolet cameras, available at: http://www.corocam-uv.ru/menu_6_1.html
3. Viktorov A.A., Gamzinov S.V., Stepanenko Z.I., Loktionov V.I., Nizkourovnevaya televizionnaya kamera nablyudeniya i elektronno-opticheskiy preobrazovatel' dlya nee [Low-tier surveillance TV camera and image intensifier tube for it]. Patent of Russian Federation no. 2007135605/06 (2007).
4. Hyneczek J. CCM-A new low-noise charge carrier multiplier suitable for detection of charge in small pixel CCD image sensors. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1992, vol. 39, iss. 8, pp. 1972-1975. DOI: 10.1109/16.144694
5. Volkov V.G. Pribory nochnoi i video syemki [Devices for night photo and video recording]. *Spetsial'naya tekhnika*. 2004, no. 3, available at: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=653&lvl=10.02.&p=1>
6. Product catalog of JSC «NPO Geofizika-NV». Moscow, Open Joint-Stock Company «Nauchno-proizvodstvennoye ob'yedineniye Geofizika-NV», 2011.