

УДК 621.383

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ВЫСОКОЙ
ЛИНЕЙНОСТЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ**
**Борисенок С.В.¹, Воробей Р.И.¹, Гусев О.К.¹, Жуковский П.В.², Свистун А.И.¹, Тявловский А.К.¹,
Тявловский К.Л.¹, Шадурская Л.И.¹**

¹*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

²*Люблинский технический университет
Люблин, Польша*

Аннотация. Предлагается схема измерительного преобразователя, основанная на применении нескольких фотоприемников на базе полупроводников с низкой концентрацией глубокой примеси с различающимися параметрами. Достижение линейности характеристик преобразования производится путем объединения перекрывающихся линейных участков характеристик разных фотоэлектрических преобразователей, входящих в состав преобразователя.

Ключевые слова: фотоприемник, измерительный фотоэлектрический преобразователь, характеристика чувствительности, диапазон преобразования.

**THE MEASURING PHOTO-ELECTRIC CONVERTER WITH HIGH LINEARITY
OF THE POWER CHARACTERISTIC**

**Borisenok S.¹, Vorobey R.¹, Gusev O.¹, Zukowski P.², Svistun A.¹, Tyavlovsky A.¹, Tyavlovsky K.¹,
Shadurskaya L.¹**

¹*Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus*

²*Lublin University of Technology
Lublin, Poland*

Abstract. The circuit design of the measuring converter based on application of several photodetectors on the basis of semiconductors with low concentration of a deep impurity with discriminated parameters is offered. Linearity achievement characteristics transformations is made by an union of recoated linear sections of characteristics of the different photo-electric converters which are a part of the converter.
Key words: photodetector, the measuring photo-electric converter, the sensitivity characteristic, transformation range.

*Адрес для переписки: Гусев О.К., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: ktyavlovsky@bntu.by*

Основными критериями при проектировании или выборе первичных фотоэлектрических преобразователей являются соответствие областей спектра сигнала и спектральной чувствительности фотоприемника и его достаточный динамический диапазон энергетической характеристики чувствительности. Именно динамический диапазон первичного преобразователя [1] часто ограничивает свойства системы оптической диагностики в целом [2]. Принципиально измерительная задача может быть решена путем применения одноэлементных фотоприемников с большим динамическим диапазоном преобразования [3, 4]. Однако недостатком применения таких фотоприемников является наличие на энергетической передаточной характеристике достаточно большого участка с нелинейной зависимостью [4] между участками поддиапазонов характеристики с линейной зависимостью. Это, в свою очередь, приводит к неполному использованию диапазона преобразования АЦП измерительного преобразователя.

Для полупроводников, используемых при изготовлении широкодиапазонных фотоприемни-

ков, изменение постоянных времени жизни и комбинации достигает нескольких десятичных порядков [4], что обеспечивает и соответствующее изменение вида энергетической характеристики чувствительности. Автоматическая перезарядка зарядовых состояний глубокого примесного центра при увеличении интенсивности оптического сигнала приводит [3, 4] к формированию двух поддиапазонов энергетической характеристики фотоприемника. На рис. 1 приведены характеристики двух фотоприемников, отличия которых определяются материалом основного полупроводника, типом примеси и ее концентрацией.

Области «I» и «III» характеризуются высокой линейностью участков характеристики «a» и «b», с отклонением от линейной зависимости не более 10^{-3} , область «b» обуславливает расширение динамического диапазона преобразовательной функции, но область нелинейной зависимости «II» между значениями интенсивностей освещения J_L и J_H характеризуется существенной нелинейной зависимостью, и не может быть использована для решения метрологических задач.

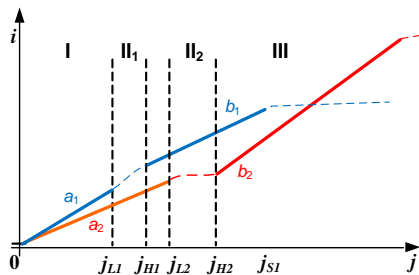


Рисунок 1 – Энергетические характеристики фотоприемников с многозарядными примесными центрами акцепторного типа

Для расширения динамического диапазона преобразовательной функции измерительного преобразователя с сохранением высокой линейности во всем диапазоне преобразования предлагается использовать два (или более) фотоприемника (ФП) с отсутствием перекрытия областей нелинейной зависимости «II» на энергетической характеристике. В измерительном преобразователе системы оптической диагностики сигнал с выхода одного из выбранных фотоприемников поступает на вход программно управляемого усилителя, и после усиления с коэффициентом, выбранным микроконтроллером МК в соответствии с моделью фотоприемника, подается на вход модуля АЦП. В результате выбора и «склейки» с требуемыми коэффициентами только линейных участков передаточных характеристик фотоприемника, например (рис. 2), участок характеристики a_{21} ФП 2 в диапазоне интенсивностей от 0 до J_{L2} , участок характеристики b_{12} ФП 1 в диапазоне интенсивностей $J_{L2}-J_{H2}$, участок характеристики b_{22} ФЭП 2 при интенсивности излучения более J_{P2} формируется результирующая характеристика измерительного преобразователя. Выбор участков исходных участков характеристик для «склейки» зависит от положения пороговых значений интенсивностей J_L, J_H для разных ФП, и может отличаться от приведенного. Результирующая преобразовательная характеристика имеет динамический диапазон чувствительности, определяемый максимальным значением этого параметра у всех используемых ФП, и линейный характер зависимости во всем диапазоне преобразования.

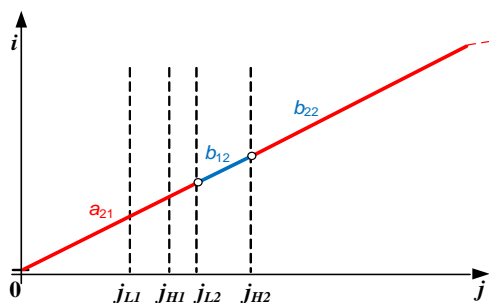


Рисунок 2 – Результирующая передаточная характеристика измерительного преобразователя

Из свойств характеристик ФП с широким динамическим диапазоном преобразования, способа формирования результирующей характеристики преобразования «склежкой» следует, что разрядность результата может до 2 раз превышать разрядность модуля АЦП. Необходимо учитывать, что для формирования характеристик чувствительности измерительного преобразователя с большим динамическим диапазоном используются механизмы перераспределения неравновесных носителей заряда по уровням рекомбинации и прилипания многозарядной примеси в процессе изменения ее зарядового состояния [4].

Это сопровождается изменением времен жизни и подвижности носителей заряда, что приводит и к изменению параметров быстродействия фотоприемников и, соответственно, измерительного преобразователя в целом.

Схема измерительного преобразователя (рис. 3) с высокой линейностью энергетической характеристики основана на применении нескольких, не менее двух, фотоэлектрических преобразователей с различающимися параметрами, в которой достижение линейности характеристик преобразования производится путем выбора и объединения перекрывающихся линейных участков характеристик разных фотоэлектрических преобразователей.

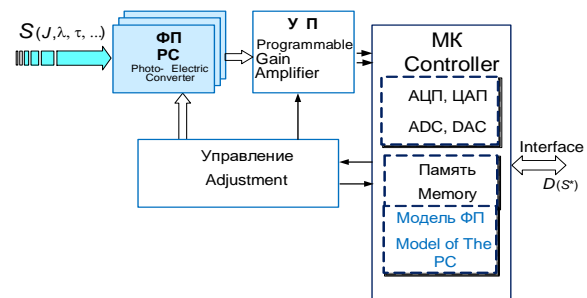


Рисунок 3 – Схема измерительного преобразователя

Выбор материала полупроводника, типа глубокой примеси и ее концентрации позволяют создавать измерительные преобразователи с результирующими характеристиками преобразования для заданных значений интенсивностей излучения.

Литература

1. Формозов, Б. Н. Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах / Б. Н. Формозов. – СПб.: СПбГУАП, 2002. – 120 с.
2. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О.К. Гусев [и др.] ; под общ ред. О. К. Гусева. – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
3. Series of Photovoltaic Converters Based on Semiconductors with Intrinsic Photoconductivity / R. I. Vorobey [et. al.] // Devices and Method of Measurements. – 2021. – № 2. – P. 108–116.
4. Controlling the characteristics of photovoltaic cells based on their own semiconductors / R. Vorobey, [et. al.] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2015. – № 8. – P. 81–85.