

# НОВЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЕДЕНИЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ВКЛЮЧЕННЫХ СТРУКТУРАХ

Арипова У.Х.

*Фото-вольтаик режимда фотодиоддаги тўғри кучланиш ва ток аримутказгич материал таққидланган зона кенлиги, юклама тури ва унинг қаршилигига кучли равишда боғлиқлиги тажрибада кўрсатилган. Ночизиқ юклама-биполяр транзистор билан фотовольтаик режимда ишловчи кетма-кет уланган фотодиодли схемалар нурланиш датчиги функциясини бажарадилар.*

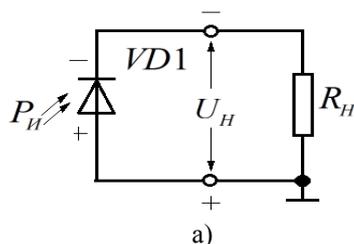
**Калит сўзлар:** интеграл оптоэлектроника, фотодиод, оптик сигнал датчиги, маълумотларни узатиш телекоммуникация тизими, геолитехник қурилма.

*Экспериментально показано, что прямое напряжение и ток фотодиода в фотовольтаическом режиме сильно зависят от ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, типа нагрузки и её сопротивления. Схемы последовательно-включенных фотодиодов в фотовольтаическом режиме с нелинейной нагрузкой на биполярном транзисторе выполняют функцию датчика излучения.*

**Ключевые слова:** интегральная оптоэлектроника, фотодиод, датчики оптических сигналов, телекоммуникационные системы передачи информации, гелиотехнические устройства.

*Experimentally it is shown that forward voltage and current of the photodiode in the photovoltaic mode strongly depend on width of forbidden energy gap of semiconductor material, like loading and its resistance. Diagrams of series-connected photodiodes in the photovoltaic mode with non-linear loading on the bipolar transistor perform function of the sensor of radiation.*

**Keywords:** integrated optoelectronics, photodiode, photodiode, optical signal sensor, transfer of information telecommunication system, solar power devices.



## Введение

В последнее время были обнаружены ранее неизвестные свойства традиционных полупроводниковых диодных и транзисторных структур. Многие из них стали использоваться по новому назначению. Наличие в них управляющего p-n-перехода открыло возможность их применения в качестве датчиков температуры, тензодатчиков и в других приложениях [1-2].

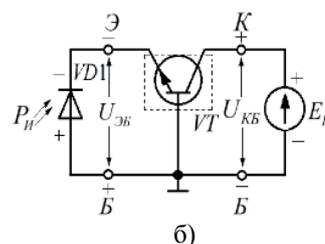
## Основная часть

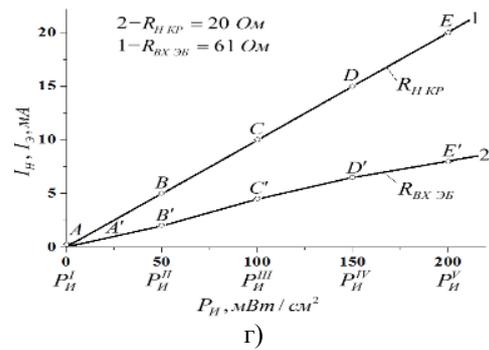
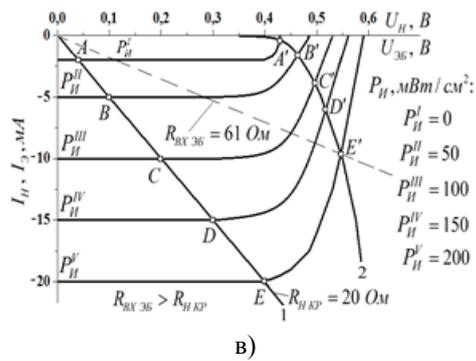
В ряде работ схемотехнического характера в основном рассматриваются свойства диодной или транзисторной структуры применительно к разрабатываемым схемам. Однако взаимосвязь их свойств с фундаментальными параметрами самого материала, из которого изготовлена структура, практически отсутствует.

В настоящей работе рассматриваются новые аспекты функциональной характеристики биполярного транзистора с фотовольтаическим эффектом в паре с фотодиодом (ФД).

Исследуемые объекты представляют собой p-p-n-кремниевые биполярные транзисторы и фотодиоды. ВАХ фотодиодов производилась симуляция электронных схем при помощи моделирующих программ Labview, Signal Express, MultiSim 10.1, Ultibroand компании National Instruments.

Как известно, ФД в фотовольтаическом режиме (рис.1) работает без подключения внешнего источника питания. При освещении световым излучением P<sub>n</sub> он автоматически смещается в прямом направлении, т.е. генерируется фото-ЭДС. Величина фото-ЭДС равна напряжению холостого хода и однозначно определяется шириной запрещенной зоны E<sub>д</sub> полупроводникового материала ФД.



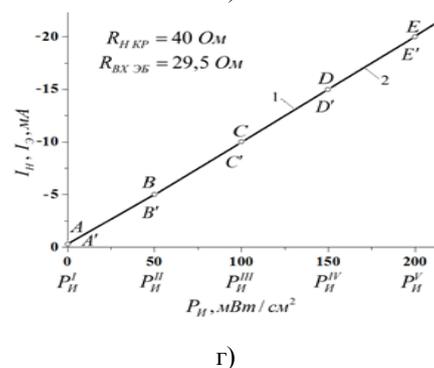
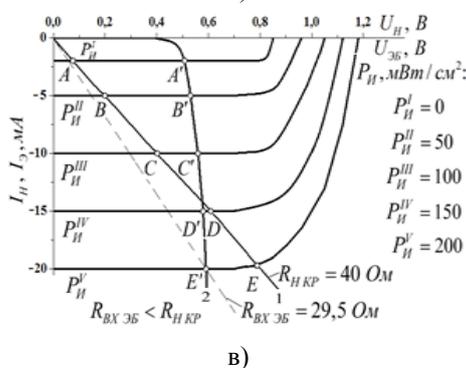
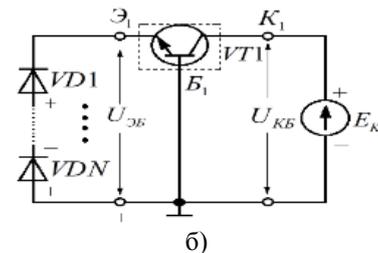
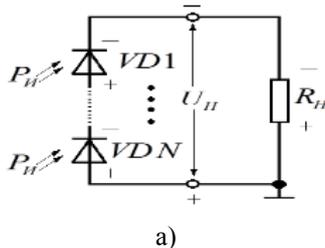


1-линейная нагрузка  $R_H = R_{HKP} = 20 \text{ Ом}$ , 2-нелинейная нагрузка  $R_{BAXZB} = 61 \text{ Ом} > R_{HKP} = 20 \text{ Ом}$

Рис.1. Схемы включения линейной (омической) нагрузки  $R_H$  (а), и нелинейной нагрузки на БТ (б), а также нагрузочные вольт-амперные характеристики ФД в фотовольтаическом режиме (в), зависимости тока нагрузки от интенсивности излучения  $P_H$  (г)

В режиме короткого замыкания наблюдается линейная зависимость между фототоком в цепи ФД и регистрируемым потоком излучения  $P_H$ . При включении ФД в фотовольтаическом режиме в цепь с нагрузкой  $R_H$  (рис.1), в ней будет протекать фототок. Величина фототока, отдаваемая в нагрузку, сильно зависит от типа нагрузки (её линейности или нелиней-

ности) и величины её сопротивления  $R_H$ . Для линейной нагрузки  $R_H > R_{HKP}$  фотодиод работает как датчик излучения  $P_H$  (рис.1 а, в и г, точки А-Е на нагрузочной прямой  $R_H$ ) в режиме генератора тока. При  $R_H > R_{HKP}$  ФД не функционирует как датчик излучения и переходит в режим генератора напряжения.



1-линейная нагрузка  $R_H = R_{HKP} = 40 \text{ Ом}$ , 2-нелинейная нагрузка  $R_{BAXZB} = 29,5 \text{ Ом} > R_{HKP} = 40 \text{ Ом}$

Рис.2. Схемы включения линейной (омической) нагрузки  $R_H$ (а), нелинейной нагрузки (б), нагрузочные вольт-амперные характеристики фотодиодов VD1 и VD2 (в), зависимости тока нагрузки от интенсивности излучения  $P_H$ (г).

В случае подключения к ФД нелинейной нагрузки -  $R_{BAXZB}$  в виде эмиттерного перехода кремниевого транзистора VT при ФД не функционирует как датчик излучения, а работает в режиме генератора напряжения (рис.1, б, в и г; точки А-Е` нагрузочной кривой  $I_3 = f(U_{ЭБ})$ -входная характеристика транзистора VT1).

Как отмечено в работе [3], для реализации режима датчика излучения предложено последовательно с первым ФД VD1 (рис.2) включить второй кремниевый ФД VD2, работающий в фотовольтаическом режиме. В режиме датчика

излучения получены следующие значения результирующего напряжения: для нелинейной нагрузки его величина не удваивается в отличие от фотодиодного режима, а увеличивается лишь на 0,04 В, или в 0,074 раза, фототок в нагрузке увеличивается на 11 мА или в 1,22 раза и при этом сохраняется режим датчика излучения. Дальнейшее увеличение числа последовательно включенных кремниевых диодов ( $N=3, N=4, N=5 \dots N=8$  и т.д) не влияет на значение результирующего падения напряжения на нагрузке и тока нагрузки.

При последовательном соединении обратно смещенных выпрямительных диодов и ФД в фотодиодном режиме обратное напряжение увеличивается пропорционально числу  $N$  соединенных диодов, при этом обратный ток или фототок не изменяется.

В фотодиоде в фотовольтаическом режиме с нелинейной нагрузкой прямое напряжение и ток сильно зависят от ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, типа нагрузки и его сопротивления.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей формирования вольт-амперных характеристик последовательно включенных фотодиодов в фотовольтаическом режиме позволило авторам разработать фотопреобразователи с усилением и создать на их основе датчики оптических сигналов, используемых в телекоммуникационных системах передачи информации и, в том числе, в гелиотехнических устройствах [3].

#### Выводы

Таким образом, экспериментально показано, что в фотодиоде в фотовольтаическом ре-

жиме прямое напряжение и ток сильно зависят от ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, типа нагрузки и её сопротивления. Схемы с последовательно включенными фотовольтаическими диодами с нелинейной нагрузкой на биполярном транзисторе с фотовольтаическим эффектом выполняют функцию датчика излучения.

Работа выполнена по гранту БВ-Ф004.

#### Литература

1. Патент РУз № IAP 05120 «Многофункциональный датчик на основе полевого транзистора» / Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А., Джураев Д.Р., Тураев А.А. // Бюллетень № 11 от 30.11.2015 г.

2. Бабичев Г.Г., Козловский С.И., Романов В.А. Кремниевые двухстоковые полевые транзисторы // Журнал технической физики. 2000. Т. 70. В. 10. С. 45-49.

3. Патент РУз № 05287 «Фотопреобразователь с усилением» / Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Арипова У.Х., Анплеев А.Е., Бустанов Х.Х., Насырходжаев Ф.Р. Бюллетень. № 9 от 27.09.2016.

УДК 621.396.6.001.12

## ТЕМИР ЙЎЛ ТРАНСПОРТИ ЮҚОРИ ТЕЗЛИКДА ҲАРАКАТЛАНУВЧИ ПОЕЗДЛАРГА СИМСИЗ ИНТЕРНЕТ ТАРМОҚЛАРИНИ ТАШКИЛ ЭТИШНИНГ ТЕХНИК ЕЧИМЛАРИ

Халиков С.С., Маҳманов О.Қ.

*Ушбу мақолада юқори тезликда ҳаракатланувчи поездлар учун замонавий симсиз радиотизимларни турли турларини қўллаб интернет тармоғини тарқатишнинг техник ечимлари масалалари кўриб чиқилган. Бу борада юқори тезликдаги симсиз интернет тармоғи ва ички локаль тармоқларини мавжуд оптик-толали узатиш линиялари орқали тарқатишнинг оптимал варианты танлаб олинган.*

**Таянч иборалар:** GSM, GPRS, EDGE, UMTS, LTE, 4G, CDMA, Wi-Fi, WiMAX, GSM-R, Intmarsat 4F.

*В статье рассмотрены вопросы технического решения применения современных беспроводных радиосистем различного вида распространения в интернет сети для высокоскоростных поездов на железнодорожном транспорте. В этом отношении выбран оптимальный вариант распространения высокоскоростной беспроводной интернет сети и*

*внутренней локальной сети по существующим волоконно-оптическим линиям передачи.*

*In the article the questions of the technical solution of the application of modern wireless radio systems of various kinds in the Internet for high-speed trains on railway transport are considered. In this respect, the best option is chosen for distributing a high-speed wireless Internet network and an internal local network over existing fiber-optic transmission lines.*

Транспорт соҳасида рақамли маълумотлар оқими узатиш ва қабул қилишни симсиз радиотехнологиялари сифатида мобил радиолоқа, кенг полосали кириш ва идоравий радиолоқа тизимларидан белгиланган радиочастота диапазонлари ҳамда юқори частотали симсиз радиокиришнинг сунъий йўлдошли алоқа тизимлари орқали амалга ошириш мумкин. Интернет тармоғига симсиз киришнинг турли тизим ва технологиялари мавжуд бўлиб, улар-