

## Прототип на устройство за изследване параметрите на фотоволтаични елементи

Веляна Желязова, Георги Господинов, Ауад Бауазир, Валентин Мутков,  
Явор Нейков, Красимира Щерева

**An electronic circuit for testing photovoltaic cells:** *This paper presents an electronic circuit with a varying load based on MOSFET for testing photovoltaic (PV) cells by tracing their I - V and P - V characteristics. The MOS transistor is controlled by means of varying gate-source voltage in order to improve the tracing of the I - V characteristics on an oscilloscope. The galvanic isolation consists of isolation amplifiers and an optocoupler. The aim of this block is to separate the photovoltaic device from the rest of the circuit. The developed electronic circuit offers a low cost and simple way for PV cells characterization .*

**Key words:** *photovoltaic cells, I - V characteristics, electronic circuit.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Бързото развитие на технологиите за добив на енергия от възобновяеми източници, например от Слънцето, налага въвеждане на нови алгоритми и методи за повишаване ефективността на устройствата, за добиване, преобразуване и съхранение на енергията. За да отговорят на пазарните нужди, производителите използват нови технологии за производство на фотоволтаични клетки и модули. Основен параметър на произвежданите фотоволтаични модули е тяхната ефективност. Правят се тестове и изследвания за повишаване ефективността на модулите [1,2].

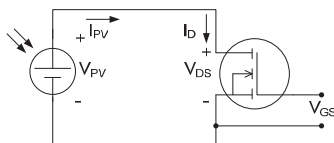
Основни параметри и характеристики на фотоволтаичната клетка са волт-амперната характеристика (ВАХ), тока на късо съединение ( $I_{SC}$ ), напрежението на празен ход ( $V_{OC}$ ), максималната мощност ( $P_{MAX}$ ) и коефициента на запълване ( $FF = P_{MAX} / I_{SC} V_{OC}$ ). Изследването на тези параметри и характеристики служи за сравнение на мощността, произвеждана от клетките в лабораторни и при реални полеви условия. Лабораторните тестове се провеждат при стандартни условия ( $1000W/m^2$  излъчване, температура на околната среда  $25^{\circ}C$  и AM 1.5), които са различни от реалните условия на тестване и работа на фотоволтаичните елементи.

Обикновено, устройствата за изследване на характеристиките и параметрите на фотоволтаичните клетки използват постояннотокови товари, чието съпротивление се променя бързо в целия работен диапазон на клетката. Тези схемни решения са скъпи и сложни. Използването на MOSFET транзистор в ролята на активен товар предлага съвременен и по-евтино решение на проблема. През последните години са разработени редица устройства за изследване на фотоволтаични клетки и модули [3-5]. В [3] е представена евтина схема за изследване на волт-амперната характеристика на 7 различни, последователно свързани модула, като са използвани механични релета. В [4] е представена схема за тестване на фотоволтаични модули реализирана с MOS транзистор, като товар. Лейте и Ченло [5] предлагат схема на устройство за изследване на параметрите и характеристиките на модули и стрингове с мощен MOS транзистор, като товар и галванична изолация на високоволтовата от слаботоковата част на схемата.

В публикацията е предложена блокова схема на устройство за изследване параметрите и характеристиките на фотоволтаични клетки и модули. При реализацията на схемата са използвани съвременни, сравнително евтини елементи и интегрални схеми, което прави устройството подходящо за провеждане както на лабораторни тестове, така и на изследвания в полеви условия. Оптимизацията на предложеното схемно решение чрез въвеждане на галванична изолация на сигнала прави устройството универсално, подходящо за тестване както на отделни клетки, така и на цели модули.

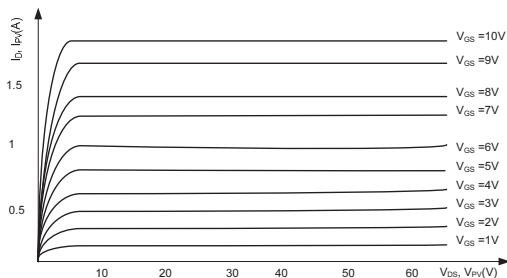
### ИЗЛОЖЕНИЕ

Електрическата схема използвана за тестване на фотоволтаични клетки с MOS транзистор в ролята на активен товар е показана на фиг. 1.



Фиг.1 Схема за тестване на фотоволтаична клетка с използване на MOS транзистор, като товар.

$V_{GS}$  е напрежението гейт-сорс,  $V_{DS}$  е напрежението дрейн-сорс,  $I_D$  е тока на дрейна на MOS транзистора,  $V_{PV}$  е изходното напрежение на фотоволтаичната клетка,  $I_{PV}$  е изходния ток на клетката,  $I_{SC}$  е тока на късо съединение и  $V_{OC}$  е напрежението на празен ход. На фигура 2 са показани статичните изходни характеристики на MOSFET BS 170G [6].



Фиг. 2 Характеристика на MOS транзистор.

Дрейновият ток на MOS транзистора  $I_D$ , е равен на изходният ток на фотоволтаичната клетка  $I_{PV}$ . Когато транзисторът работи в триодната област на волт-амперната характеристика  $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$  и дрейновия ток е:

$$I_D = K(2(V_{GS} - V_{th})V_{DS} - V_{DS}^2) \approx 2K(V_{GS} - V_{th}) \quad (1)$$

Когато транзисторът работи в режим на насищане  $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$  и дрейновия ток:

$$I_D = K(V_{GS} - V_{th})^2(1 + \lambda V_{DS}) \quad (2)$$

където  $K$  и  $\lambda$  са параметри на MOS транзистора и  $V_{th}$  е праговото напрежение. Токът на фотоволтаичната клетка:

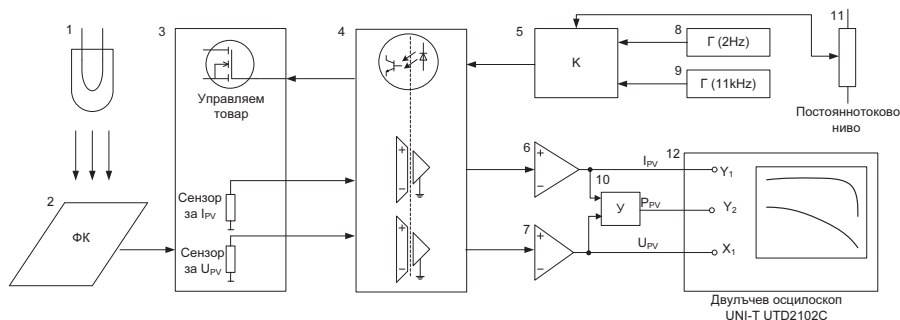
$$I_{PV} = I_L - I_{diode} \quad (3)$$

където

$$I_{diode} = I_0 (e^{V_{PV}/nV_T} - 1) \quad (4)$$

$I_L$  е фототока ( $I_L = I_{SC}$ ) и тока на диода (4)  $I_{diode}$  е тока на идеален диод, където  $I_0$  е тока на насищане на тъмно,  $n$  е фактор на идеалния диод (число между 1 и 2) и  $V_T$  е топлинния потенциал. Когато  $V_{GS}$  е по-малко от праговото напрежение  $V_{th}$ , MOS транзистора е запушен. Когато  $V_{GS}$  нарастне над  $V_{th}$ , схемата ще работи в активен режим, където  $I_D$  ще нараства линейно с  $V_{GS}$ . Характеристиката на фотоволтаичната клетка е подобна на тази на генератор на напрежение за  $V_{PV}$  по-високо от напрежението при максимална мощност ( $V_{MPP}$ ). При напрежения по-ниски от  $V_{MPP}$  фотоволтаичната клетка ще функционира, като източник на ток.

### Принцип на работа на електронното устройство



Фиг. 3 Структурна схема на устройството за изследване параметри на фотоволтаични елементи.

Светлинният източник (блок 1) е компактна луминисцентна лампа с мощност 60 W (интензитет на светлинния поток 600 lm). Същата е монтирана в корпус изолиран с екран, за да се избегнат външни влияния и смущения от околната среда и облъчване от друг източник на светлина. Блок 2 е фотоволтаичната клетка, чиито волт-амперната характеристика и параметри ще бъдат изследвани. Преобразуваната от фотоволтаичната клетка светлинна енергия в електрическа се подава на сензорите на ток и напрежение в блок 3 и на изхода им се получават два информационни сигнала. В структурата на този блок е включен и MOS транзистора, който изпълнява функцията на управляем товар. Същият изменя съпротивлението си в широки граници, симулирайки натоварване на клетката от режим на празен ход до режим на късо съединение, преминавайки през всички точки от волт-амперната характеристика на фотоволтаичната клетка. В блок 4 са включени оптоелектронна двойка и два оптоизолирани усилвателя. Целта на включването на този блок в устройството е да раздели галванично веригите на фотоволтаичната клетка и сигналите от останалите блокове. Постига се намаляване влиянието на смущения и шумове от работата на устройството към чувствителните сензорни вериги и товарния измервателен блок. Оптронната двойка от блок 4 предава управляващите

сигнали получени от изхода на компаратора към MOS транзистора (блок 5). На двата входа на компаратора постъпват напрежения от генератора на синусоидален сигнал с честота 2 Hz и генератора на трионообразно напрежение с честота 11 kHz. В този случай компараторът реализира функцията широчинно-импулсна модулация. Предвидена е възможност за промяна на постоянноотоково ниво (блок 11) на изходните сигнали на компаратора чрез постоянно напрежение. Изходните модулирани сигнали постъпват на входа на MOS транзистора през оптрона. Това води до изменение на натоварването на фотоволтаичната клетка, и следователно до промяна стойностите на сигналите от напреженовия и токовия сензор. Сигналите от сензорите постъпват на входа на двата оптоизолирани усилвателя. Усилват се от два диференциални усилвателя, съответно блок 6 за сигнала на тока на фотоволтаичната клетка, а блок 7 усилва сигнала на напрежението на клетката. Усиленият токов сигнал постъпва на вход  $Y_1$ , а напреженовият сигнал се подава на входа  $X_1$  на двулъчевия осцилоскоп (блок 12). В горната половина на екрана се изобразява волт-амперната характеристика. Същите два усилени сигнала от блок 6 и 7, постъпват на входа на аналогов умножител (блок 10), в резултат на което на изхода му се получава производението на напреженовия и токов сигнал, т.е. мощността на фотоволтаичната клетка. Сигналът за мощността постъпва на вход  $Y_2$ . Този сигнал си взаимодейства със сигнала подаден на входа  $X_1$  съответно в долната половина на екрана на двулъчевия осцилоскоп се изобразява кривата на мощността във функция от напрежението.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработената схема предлага едно евтино и достъпно решение за реализация на устройство за изследване на параметрите и характеристиките на фотоволтаични клетки и модули. При реализацията на схемата са използвани съвременни и евтини елементи и схеми. Като активен товар с високо бързодействие е използван MOS транзистор, който се управлява чрез изменението на оптимизираното напрежение гейт-сорс. В електронната схема е предвидена галванична изолация, която предпазва устройствата за събиране и обработка на данни и подобрява безопасността при тестване на високоволтови модули. Заманата на нисковолтов с високоволтов MOS транзистор, позволява работното устройство да бъде използвано за изследване, както на отделни клетки, така и на цели модули, правейки го по-универсално.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Представеното устройство за тестване на фотоволтаични елементи се реализира с финансовата подкрепа на проект по ФНИ на РУ „А. Кънчев“, договор 13-ФЕЕА-03.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Dwivedi N., S. Kumar, A. Bisht, K. Patel and S. Sudhakar. Simulation approach for optimization of device structure and thickness of HIT solar cells to achieve ~27% efficiency, *Solar Energy* 88, 31–41, 2013.

[2] Zhelyazova V., K. Shtereva. Optimization of the electrical parameters of silicon heterojunction solar cells.// *Agricultural Engineering*, 2013, No 3, pp. 11-18, ISSN 0554-5587.

[3] E.E. Van Dyk, A.R. Gxasheka, E.L. Meyer, "Monitoring Current–Voltage Characteristics and Energy Output of Silicon Photovoltaic Modules", *ELSEVIER, Renewable Energy* 30, pp. 399–411, 2005

[4] Yingying Kuai, S. Yuvarajan, "An Electronic Load for Testing Photovoltaic Panels", ELSEVIER, Journal of Power Sources 154, pp. 308–313, 2006.

[5] V. Leite, F. Chenlo, "An Improved Electronic Circuit for Tracing the I-V Characteristics of Photovoltaic Modules and Strings", in Proc. of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), March 23-25, 2010.

[6] [http://www.onsemi.com/pub link/Collateral/BS170-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BS170-D.PDF), Accessed 03.10. 2013

**За контакти:**

Веляна Желязова, докторант в катедра „Електроника“, РУ „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 516, e-mail: [vzhelyazova@uni-ruse.bg](mailto:vzhelyazova@uni-ruse.bg)

Георги Господинов, студент ОКС Бакалавър в катедра „Електроника“, РУ „Ангел Кънчев“, тел.: 0894382393, e-mail: [georgi.georgiev.gospodinov@gmail.com](mailto:georgi.georgiev.gospodinov@gmail.com)

Ауад Бауазир, докторант в катедра „Електроника“, РУ „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 516, e-mail: [adwazeer@yahoo.com](mailto:adwazeer@yahoo.com)

Доц. д-р инж. Валентин Мутков, Катедра “Електроника”, РУ“Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 246, e-mail: [vmutkov@uni-ruse.bg](mailto:vmutkov@uni-ruse.bg)

Гл. ас. Явор Нейков, Катедра „Електроника“, РУ „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 772, e-mail: [yneikov@ecs.uni-ruse.bg](mailto:yneikov@ecs.uni-ruse.bg)

Доц. д-р инж. Красимира Щерева, Катедра “Електроника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 366, e-mail: [KShtereva@ecs.uni-ruse.bg](mailto:KShtereva@ecs.uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**