

ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕСТЕР ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ

Любомир Секулов, Петко Костадинов, Мартина Томчева
res_start@abv.bg, petko_kostadinov@abv.bg, martito_666@abv.bg,

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
София, ул. Гео Милев № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** фотоволтаични панели, соларни панели, соларни модули, фотоволтаични модули, фотоволтаичен стринг, МППТ, зелена енергия, ефективност на фотоволтаици, електрически измервания, тестер.*

***Резюме:** Фотоволтаичните (PV) клетки могат да се използват по същия начин, както всеки друг източник на енергия. Всяка от тях е проектирана да поддържа определено количество ток при дадено напрежение. За да е ясно кои параметри трябва да бъдат проверени трябва да са известни характеристиките на PV модула, както и начините за техните измервания. С цел да се получи точен анализ измерванията се правят в реално време едновременно в реални експлоатационни условия.*

На база на гореизложеното ще се проектира и изгради тестер за изследване на фотоволтаични модули. С него ще се определят основните показатели на фотоволтаичните модули – напрежение на отворен колектор V_{oc} , ток на късо съединение I_{sc} и работна температура на повърхността на панелите. По този начин ще може да се снима волт-амперната характеристика на всеки PV модул. Преимуществото при използване на тестера е, че в стрингове с голяма дължина много лесно ще може да се установят PV модули с параметри, различни от фабричните. Чрез използване на тестера ще могат да се определят характеристиките на всеки един изследван PV модул.

В доклада е показана блокова схема на тестер за измерване на PV модули, както и принципна схема с микропроцесорно управление. Поради ограничения в обема на представянето не е показан софтуерният код за управление на микропроцесора и алгоритъмът на управление.

ВЪВЕДЕНИЕ

Темата на този доклад е свързана със създаване на възможности за изследване на PV модули за производство на електрическа енергия и провеждане на цялостни изследвания в областта на фотоволтаичната енергетика.

Чрез използване на тестера за PV модули ще могат да се определят характеристиките на всеки един изследван модул.

Предвид всичко написано до тук, основната цел на настоящия доклад е да се проектира и изгради тестер за PV модули.

МЕТОДИ ЗА ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРИЧЕСКА

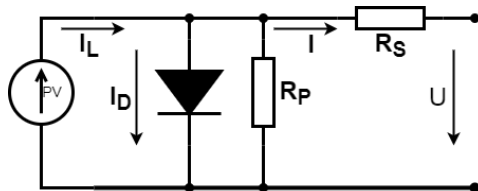
Особено привлекателни са онези начини за използване на слънчевата енергия, при които тя се преобразува директно в електрическа енергия (без предварително преобразуване в топлинна и механична енергия). Известни са три метода за такова преобразуване: термоелектрически, фотоелектрически и фотоволтаичен [1, 2, 5].

- ✓ термоелектрическият метод преобразуването следва схемата: слънчева енергия – „топлинна енергия“ - електрическа енергия;
- ✓ при фотоелектрически метод: слънчева енергия – „химическа енергия“ - електрическа енергия;
- ✓ при фотоволтаичния метод: слънчева енергия - електрическа енергия.

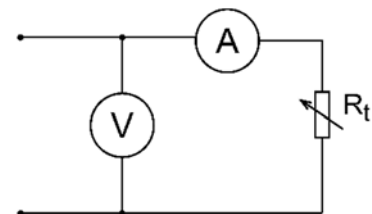
Тестерът ще бъде използван при фотоволтаичния метод, като ще изследва параметрите при преобразуване на слънчева енергия в електрическа.

ЗАМЕСТВАЩА И ИЗМЕРИТЕЛНА СХЕМА НА ФОТОВОЛТАИЧЕН МОДУЛ

За да може да се реализира тестер е необходимо да се познава заместващата схема на PV модул. На фигура 1 е заместващата схема на PV модул, а на фиг. 2 е измерителната схема. [4]



Фиг. 1 . Заместваща схема на PV клетка



Фиг. 2. Измерителна схема на PV модул

$$(1) \quad I = I_L - I_0 \left(\exp \left(\frac{U + IR_S}{U_t} \right) - 1 \right) - \frac{U + IR_S}{R_p}, A$$

В един модул определен брой клетки са свързани последователно, а определен брой вериги - паралелно. Поставянето на клетките последователно (N_S) увеличава напрежението, докато поставянето на клетките паралелно (N_P) увеличава тока, така че [6, 7]:

$$(2) \quad I_{\text{общ}} = N_P I, A$$

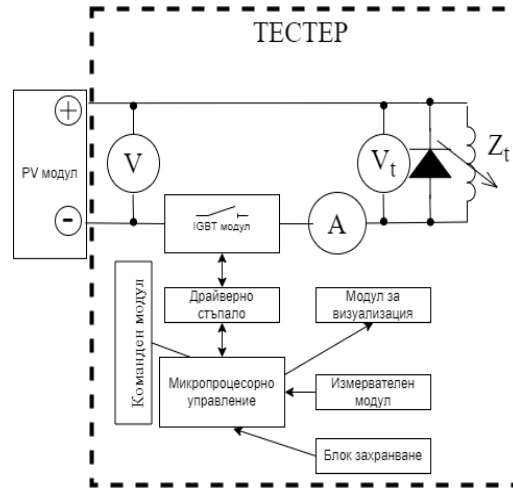
$$(3) \quad U_{\text{общ}} = N_S U, V$$

БЛОКОВА СХЕМА И ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ТЕСТЕР ЗА PV МОДУЛИ

На фиг. 3 е показана блоковата схема на тестера за PV модул. Тестерът се присъединява директно към PV модула. Състои се от захранващ блок, микропроцесорно управление, драйверен модул, IGBT модул, измервателен модул, модул за визуализация, команден модул и индуктивност за товар.

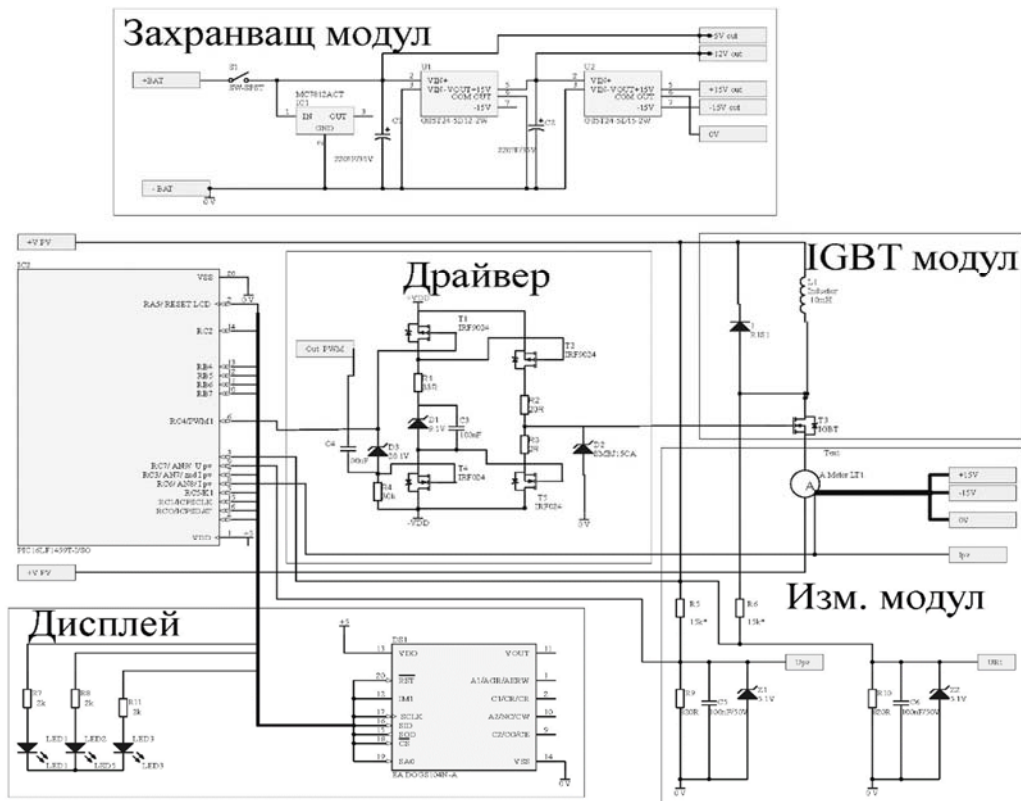
Схемата функционира по следния начин: при включване на тестера IGBT модулът е запушен през драйверния модул от микропроцесорното управление, като през измервателния модул се визуализират измерените стойности за ток и напрежение, след което очаква команда за “тест”. Командата за тест се извършва при предварително зададена стойност на тока I_{mp} в границите от 0A до 40A, като тази стойност се визуализира на дисплея. След извършване на теста се визуализира стойността U_{mp} на модула при зададения ток I_{mp} както и $I_{sc} U_{oc}$, както и коефициентът на запълване FF.

Схемата е обхваната от контур за обратна връзка, който използва входното напрежение и зададения базов ток, за да управлява IGBT модула посредством широчинна импулсна модулация (ШИМ). Независимо от първоначалното входно напрежение се променя комплексното съпротивление на индуктивността, така че изходния ток да се поддържа на зададената стойност.



Фиг. 3 Блокова схема на ТЕСТЕР за PV модул

На фиг. 4 е проектираната принципна схема на тестер за PV модули. Той е съобразен със съвременната база от елементи. Проектиран е съобразно блоковата схема, като в блокът за визуализация е интегриран командния модул. Микропроцесорът може



Фиг. 4 Принципна схема на тестер за PV модули

да бъде всяка базова схема на Arduino или MCU на Microchip. Софтуерно решение е дали ще се използват PWM регистрите на микропроцесорите или ще се програмират I/O

изходи, които да изпълняват същите функции. Драйверният модул е изпълнен с дискретни елементи, заради увеличаване горната граница на изходния ток. Модулът за визуализация осъществява стандартна връзка с микропроцесора по I2C шината като той е от типа “*LCD Keypad Shield*”. Сензорите са присъединени към три аналогови порта на микропроцесора като са съгласувани съобразно обхватите на измерване и коефициентите на преобразуване [2, 5, 6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването в лаборатория на ВТУ на PV модули би било лесно осъществимо с тестер на PV модули, който да показва основните му електрически параметри, максимален ток, ток на късо съединение, напрежение на отворен колектор, номинално напрежение, вътрешно съпротивление, ефективност. Необходимостта от такъв тестер се обуславя и с голямото разнообразие на PV модули на пазара и техния широки диапазон на номинални напрежения и токове. Поради липсата на стандарти, определящи са екстремумите на токовете и напрежения на отделните PV модули.

Ако е необходимо бързо да се определи ефективността на PV модул или стринг и да се начертае V-A характеристика на изходната мощност в зависимост от напрежението, то това може да се осъществи посредством тестера. В единия край на графиката има максимален ток при нулево напрежение. В тази точка не се отделя никаква мощност, защото няма напрежение и енергията е нула. В другия край на графиката има максимално напрежение при нулев ток, в резултат на което също не се отдава енергия.

Между тези две граници тестерът отдава енергия от PV в индуктивността, но тя е много малка, заради импулсното управление на IGBT модула.

Фактът, че семейството на кривите на тока има една и съща форма, означава, че винаги ще получаваме максимална мощност при едно и също напрежение, независимо от яркостта на слънцето. Разбира се, реалната мощност ще зависи от интензивността на слънчевата радиация в даден момент, но максималната мощност ще се наблюдава при същото напрежение. Следователно, за да се оцени правилно ефективността на PV е необходимо тя да се натовари така, че коефициентът на запълване FF да е максимален. Този метод е ефективен не само за сравняване на клетките помежду им при едни и същи условия, но и за оценка на качеството на отделна клетка, на отделен модул или стринг от PV модули.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов П. , Чернева Г. Моделиране на фотоволтаични панели. VI научна конференция с международно участие KEIT 2022, Научно списание “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, бр. 3, 2022 стр.X-7-X-13 <https://mtc-aj.com/library/2267.pdf>
- [2] Пачаманов А. “Електроснабдяване и осветителна техника”, 2004г., ISBN 954-438-253-4
- [3] Чернева Г., Спиридонова Хр. Определяне параметрите на работната точка на фотоволтаичен панел при различен интензитет на слънчево греене. Сборник доклади VII научна конференция с международно участие TechCo 2023, ISSN 2535-079X, стр.71-74. <https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/Techco-Lovech-23-web.pdf>
- [4] Cherneva G., Petrakieva-Filipova S. Modeling and analysis of an autonomous photovoltaic system for laboratory research. Proceedings of 14th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2022, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55320895700>
- [5] Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota “Solar Energy: renewable Energy and the Environment” ISBN 978-1-4200-7566-3

[6] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. -ЛР № 020528 от 05.06.97

[7] http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_electronics.php

TESTER DESIGN FOR PHOTOVOLTAIC MODULES

Lyubomir Sekulov, Petko Kostadinov, Martina Tomcheva
res_start@abv.bg, petko_kostadinov@abv.bg, martito_666@abv.bg,

*Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 1574, str. "Geo Milev" 158
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: photovoltaic panels, solar panels, solar modules, photovoltaic modules, photovoltaic string, MPPT, green energy, photovoltaic efficiency, electrical measurements, tester.

Abstract: Photovoltaic (PV) cells can be used in the same way as any other energy source. Each is designed to maintain a certain amount of current at a given voltage. In order to be clear which parameters need to be checked, the characteristics of the PV module must be known, as well as how to measure them. In order to obtain an accurate analysis, measurements are made in real time simultaneously under real operating conditions.

Based on the above, a PV module tester will be designed and built. It will be used to determine the basic performance of the PV modules - open collector voltage V_{oc} , short-circuit current I_{sc} and operating temperature of the panel surface. In this way the volt-ampere characteristic of each PV module can be taken. The advantage of using the tester is that it will be very easy to detect PV modules with parameters different from the factory ones in strings of long length. By using the tester it will be possible to determine the characteristics of each PV module tested. A block diagram of a PV module measurement tester as well as a principle circuit with microprocessor control is shown in this paper. Due to limitations in presentation size, the microprocessor control software code and control algorithm is not shown.