

МЕТОДИКА ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА МАЛКИ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

доц. д-р Пенка В. Георгиева
Никола И. Иванов
Бургаски свободен университет

METHODOLOGY FOR SIZING OF MICRO PV SYSTEMS

Penka V. Georgieva
Nikola I. Ivanov
Burgas Free University

Abstract: A methodology for sizing of a micro photovoltaic (PV) system is discussed in this paper. The development of the methodology aims at the efficient use of resources (electricity, money). The 5-stage algorithm is demonstrated on a micro PV system maintaining a standard home. Sizing and visualization are performed using MATLAB.

Key words: micro PV system, sizing a PV system, efficiency.

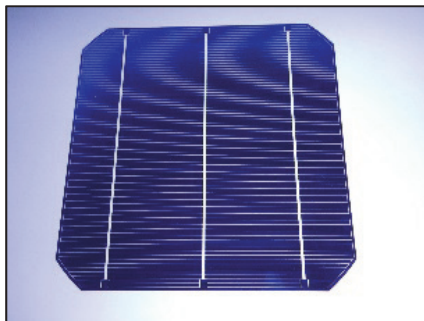
I. ФОТОВОЛТАИЧЕН МОДУЛ. ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ СИСТЕМИ

Фотоволтаичният модул представлява група от фотоволтаични клетки, свързани в серия. Електрическият сигнал от една клетка е малък, така че множество клетки се свързват в серия, капсулират се и се защитават със стъклена повърхност, така че се формира модул. [1]

Фотоволтаичните модули са основни конструктивни елементи на всяка фотоволтаична система. [2]

За получаването на необходимото напрежение произволен брой такива модули могат да бъдат свързани в PV-масив или система. [10]

Модулната структура е всъщност едно от основните предимства на фотоволтаичните системи, тъй като към съществуваща система могат да се добавят нови панели, когато е необходимо. [4]



Фиг. 1. Фотоволтаична клетка

При производство на тънкослойни фотоволтаични модули се използват съвременни технологии за производство. Техните имена са получени от активните материали, от които се изгражда слънчевата клетка: кадмиев телурид (CdTe), медно индиев диселенид (CIS), аморфен силиций (a-Si), тънкослоен силиций (thin film-Si).

Аморфният силиций е в масовото производство, докато другите три технологии по-бавно достигат до пазара. Тънкослойните модули се полагат директно върху подложка, без да е необходима междинната стъпка за производството на клетките. [12]

Основните предимства на фотоволтаичните системи са:

- **надеждност:** дори в сурови климатични условия, фотоволтаичните системи са доказали надеждността си. Поради това фотоволтаичните системи се избират често в случаите, когато системата трябва да е действаща по всяко време от годината. Фотоволтаичните системи могат да заместят скъпоструващите или опасни елементи на електрозахранването в ситуации, при които непрекъснатото действие е критично. Без необходимост от подаване на гориво и липса на движещи се части, соларните системи са сред най-надеждните генератори на електрическа енергия, способни да захранват най-чувствителните приложения от космическите спътници до микровълновите станции в планините и в други отдалечени тежки райони. Слънчевите панели обикновено имат гаранции за 20 години или повече;

- **ниски разходи за поддръжка:** скъпо е да се транспортират материали и персонал до отдалечени райони за поддръжка на оборудването. Тъй като фотоволтаичните системи се нуждаят само от периодични инспекции и поддръжка, тези разходи обикновено са по-ниски, отколкото при традиционните системи за електроснабдяване;

- **мощност и модулност:** от предоставяне на миливатове за захранване на калкулатор до няколко декара панели, осигуряващи мегаватове за присъединяване към електрическата мрежа, устройствата за слънчева енергия могат да бъдат реализирани с различни размери и конфигурации и да бъдат инсталирани бързо и почти навсякъде. Като опция за разпределено генериране се намаляват разходите за пренос и разпределение;

- **универсални приложения:** фотоволтаичната технология е единствената технология за получаването на възобновяема енергия, която може да бъде инсталирана в истински глобален мащаб, поради своята гъвкавост и поради факта, че се генерира енергия при почти всички метеорологични условия, т.е. дори при облачно време;

- **разпределяне на пиков товар:** продукцията на слънчеви системи обикновено корелира с периоди на голямо търсене на електроенергия, когато системите за климатизация създават най-високи изисквания през горещите слънчеви дни. PV – централите могат да поемат пиково натоварване, когато енергията е най-ограничена и скъпа и следователно може да се поеме товара от мрежата и да се облекчи необходимостта от изграждане на нов капацитет за справяне с пикове в натоварването;

- **двойна употреба:** очаква се слънчевите панели все повече да служат както за генератор на енергия, така и за фасада и покриви на сгради. Подобно на архитектурното стъкло, слънчеви панели могат да се монтират на покриви или фасади на жилищни и търговски сгради;

- **екологично безопасни:** слънчевите електроенергийни системи не са източник на вредни емисии във въздуха и водата, не произвеждат шум. Те са много по-безопасни от други енергийни системи, като например дизелови генератори и като такива са най-подходящата технология за градско генериране на енергия.

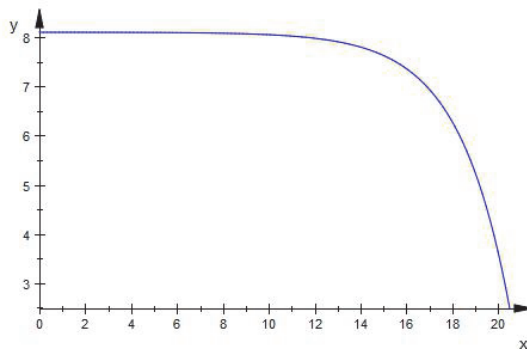
Основните недостатъци на фотоволтаичните системи са:

- **цена:** фотоволтаичните системи имат високи първоначални разходи. Всяка инсталация трябва да бъде оценена от икономическа гледна точка и сравнена със съществуващите алтернативи. Ако първоначалната цена на фотоволтаичните системи намалее и цената на конвенционалните горивни източници нараства, фотоволтаичните системи ще станат по-конкурентоспособни от икономическа гледна точка;
- **променливост на наличната слънчева радиация:** времето може да повлияе неблагоприятно на мощността на всяка фотоволтаична система. Ако няма слънце, няма мощност;
- **съхранение на енергия:** някои фотоволтаични системи използват акумулатори за съхранение на енергия, която ще бъде използвана по-късно. Те увеличават размера и цената на системата и могат да я направят по-сложна за управление и поддръжка;
- **недостиг на адекватно образование:** фотоволтаичните системи използват нова технология, с която много хора са незапознати. Малко хора разбират приложимостта ѝ. Тази липса на информация забавя пазара и технологичния растеж.

II. ЕФЕКТИВНОСТ НА ФОТОВОЛТАИЧЕН МОДУЛ

Общата енергийна мощност на фотоволтаичния модул зависи от изходното напрежение и работния ток. За разлика от източниците на напрежение, като например батериите, които произвеждат ток при сравнително постоянно напрежение, фотоволтаичните модули могат да генерират ток при различни напрежения. [3], [5], [8]

Изходните характеристики на даден модул се характеризират с крива на ефективността, наречена V - A характеристика, която показва връзката между тока и напрежението. Един пример е показан на фигура 2. Напрежението (U) се измерва по абсцисата, а токът (I) – по ординатната ос. Типични V - A характеристики са показани за условията на 1000 W/m^2 от слънчевата светлина и температурата на клетките $25 \text{ }^\circ\text{C}$. [11]



Фиг. 2. V - A характеристика на фотоволтаичен модул

Има три важни точки върху V - A характеристиката – максимална мощност, напрежение на празен ход и ток на късо съединение:

- Максималната мощност (MPP) е работната точка, при която от модула се произвежда максимална мощност при конкретни работни условия;
- Напрежение на празен ход (V_{oc}) е максималното потенциално напрежение, постигнато, когато от модула не се извлича ток;

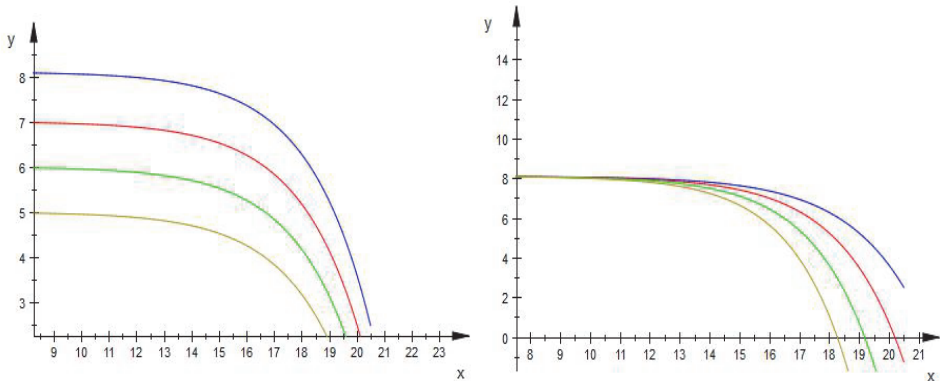
$$V \Big|_{I=0} = V_{oc}$$

• Ток на късо съединение (I_{SC}) е максималната мощност на тока, която може да бъде достигната от модула при условия на верига без съпротивление. Токът на късо съединение I_{SC} съответства на състоянието на късо съединение, когато импедансът е нисък и се изчислява, когато напрежението е равно на 0.

$$I \Big|_{V=0} = I_{sc}$$

Основните фактори, които оказват влияние върху ефективността на фотоволтаичния модул са:

- устойчивост на натоварване;
- интензивност на слънчевата светлина;
- температура на клетката;
- засенчване.



Фиг. 3. Ефекти от намалено слънчево излъчване и температура на клетката

III. ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ МОДУЛИ

Промишленият стандарт, според който всички фотоволтаични модули се оценяват и могат да бъдат сравнени, се нарича Стандартни условия за изпитване (STC). STC е дефиниран набор от лабораторни условия за изпитване, които са близки до условията, при които могат да се експлоатират фотоволтаични модули [7]. Същият стандарт се използва и за оценка на потенциалните места за инсталиране, тъй като това е основата за стойностите на радиацията. STC включва три фактора:

- излъчване (интензитет на слънчева светлина или мощност), попадащо върху хоризонтална повърхност (kW/m^2). Стандартът за изпитване е 1 kW/m^2
- атмосферната маса е свързана с „дебелината“ и прозрачността на въздуха, през който преминава слънчевата радиация, за да достигне до модулите (ъгълът на слънцето влияе върху тази стойност). Стандартът е AM 1,5.
- температура на клетката, която ще се различава от температурата на околния въздух. STC определя температурата на изпитване на клетките като 25 C° . [2]

Ефективността (η) е съотношението на изходната мощност P_{out} и мощността на слънчевата енергия P_{in} върху фотоволтаичната клетка. [9]

P_{out} може да се приеме за P_{MAX} , тъй като слънчевата клетка може да работи до максималната мощност, за да се получи максимална ефективност.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{P_{in}}$$

P_{in} се използва като резултат от действието на радиация 1000 W/m^2 и площта на слънчевата клетка [m^2]. Максималната ефективност (η_{max}), установена при светлинния тест е една индикация за ефективността на тестваното устройство, но от друга страна, също като останалите $V - A$ параметри, може да се повлияе и от условия на околната среда като температура, интензивност и спектър на падащата светлина. По тази причина се препоръчва тестването и сравняването на фотоволтаичните клетки при сходни условия на осветление и температура.

IV. ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНАТА СИСТЕМА

Определянето на размера на фотоволтаичната система като самостоятелна електроенергийна система е процес с 5 етапа. Този процес дава възможност на дизайнера/потребителя на фотоволтаичната система да оразмерят точно системата покриваща очакваните нужди в рамките на предвидения бюджет. Петте етапа са:

- (1) Изчисляване на електрическото натоварване;
- (2) Оразмеряване и определяне тип на инвертор;
- (3) Оразмеряване и определяне на тип на батериите;
- (4) Определяне на размера на масива;
- (5) Избор на контролер.

(1) Изчисляване на електрическото натоварване

Първата задача при проектирането на всяка фотоволтаична система е да се определи натоварването на системата. Тази оценка на натоварването е един от ключовите фактори при проектирането и разходите на самостоятелната фотоволтаична система. В предложената методология се използват предварително измерените средни дневни натоварвания и резултатът е сумата от очакваните натоварвания както за променлив, така и за постоянен ток. Ако натоварванията се различават значително на сезонен принцип или са от критичен характер, се използват стойностите на пиковите натоварвания.

Оценката на електрическото натоварване се извършва като последователно се приложат следните две формули:

$$U_L * I_L * N_L = P_L \tag{1}$$

$$P_L * h_{day} * d_{week} / 7 = P_{av} \tag{2}$$

където:

- U_L – напрежение на товара;
- I_L – ток на товара;
- N_L – брой на товарите;
- P_L – консумирана мощност на товарите;
- h_{day} – използвани часове на ден;
- d_{week} – използване дни в седмицата;
- P_{av} – средна консумирана мощност на ден.

Формулите (1) и (2) се прилагат отделно за всеки тип товар.

Дизайнът трябва да разглежда енергоспестяващи заместители на изделията, които се използват често. Определят се големи и/или променливи товари и ако могат да бъдат елиминирани или променени, за да работят от друг източник на енергия. На мястото на лампите с нажежаема жичка трябва да се използват светодиодни лампи. Те осигуряват същите нива на светлина с много по-ниско потребление на енергия. Използване на DC уреди, за да се избегне загубата в процеса на преобразуване на постоянен ток/променлив ток. DC лампите и уредите обикновено струват повече, но са по-ефективни и издържат по-дълго. Броят на наличните апарати за електрозахранване е по-голям, но ефективността обикновено е по-ниска, тъй като тези уреди са предназначени за използване на „безкрайно“ електрозахранване.

(2) Оразмеряване и определяне на инвертор

Общата мощност на свързания ток или тези, които ще се използват едновременно, както е изчислено по-горе, се дели на постояннотокното напрежение на системата:

$$\frac{P_{LAC}}{U_{system}} = I_{max} \quad (3)$$

където:

P_{LAC} – AC мощност;

U_{system} – DC напрежение на системата;

I_{max} – максимален DC ток.

Това ще осигури непрекъснат постоянен ток, който системата ще изисква. Спецификацията на инвертора трябва да бъде направена въз основа на AC мощността, тъй като по същество тя трябва да доставя това натоварване. Инверторът трябва да отговаря на спецификацията на мощността на системата.

(3) Оразмеряване и определяне на батерията

В предложената методология размерът на батериите се пресмята така, че фотоволтаична система да функционира самостоятелно. За целта се вземат под внимание следните ограничения:

- количеството резервна енергия, която ще се съхранява. Тя се изчислява в зависимост от броят дни без слънце, т.е. за колко облачни дни системата трябва да работи, използвайки енергия, която е съхранявана в батериите. Практика на производителите на батерии е да публикуват номинален капацитет на батерията (количеството енергия, което ще им осигури батерията, ако е разредена веднъж при благоприятни условия на температура и скорост на разреждане). Но този капацитет обикновено е по-голям от реалното количество енергия, което може да бъде получено от батерията при многократно използване в PV приложение. Всъщност за някои батерии използваемият капацитет е само 20% процента от номиналния капацитет, т.е. да се разрежи повече от 20 амперчаса от акумулаторна батерия със 100 ампера, ще доведе до бърза повреда на батерията. Други видове батерии, предназначени за дълбоки цикли, имат капацитет до 80% от номиналния капацитет. За повечето фотоволтаични приложения, колкото по-голяма и по-тежка е батерията, толкова е по-добре. Най-добрата препоръка за броя на дните за съхранение е капацитет на батерията да бъде увеличен, колкото е възможно. Очевидно е, че за райони с продължителна облачност ще има нужда от повече капацитет за съхранение, за да запази товара в тези периоди на лошо

време. Също така, ако товарите изискват мощност по всяко време, препоръчително е да има голям капацитет на батерията. По-малък размер на батерията може да се използва, ако прекъсване на захранването не е проблем;

- качеството и цената. Важно е да се използват висококачествени батерии, които могат да бъдат разтоварени и зареждани многократно преди повреда. Автомобилните батерии не трябва да се използват, ако има алтернатива. Автомобилните батерии са проектирани да произвеждат висок ток за кратко време, след което се зареждат бързо. Фотоволтаичните батерии могат да се използват бавно в продължение на много часове и да не се зареждат напълно няколко дни или седмици;

- Акумулаторът и контролерът на системата трябва да са съвместими. Контролерът за зареждане е електронно устройство, което поддържа състоянието на заряда на батерията (SOC) между предварително зададени граници. Напрежението на акумулатора се измерва и се използва като основен параметър за SOC (някои контролери за зареждане измерват температурата на батерията в допълнение към напрежението, за да подобрят оценката на SOC). Ако контролерът за зареждане не работи правилно, батерията може да се зарежда твърде много или да не се разрежда твърде много, което съкращава живота ѝ.

За оразмеряването на батерията последователно се прилагат следните формули:

$$((U_{avAC} \div \eta_{inv}) + U_{avDC}) \div U_{system} = R \quad (4)$$

$$R \div N_{autonomy} \div C_{lim} \div C_{bat} = N_{bat_{paralel}} \quad (5)$$

$$U_{system} \div U_{bat} = N_{bat_{series}} \quad (6)$$

$$N_{bat_{series}} * N_{bat_{paralel}} = N_{bat} \quad (7)$$

където:

U_{avAC} – AC средно дневно натоварване;

η_{inv} – ефективност на инвертора;

U_{avDC} – DC средно дневно натоварване;

U_{system} – DC напрежение на системата;

R – средно натоварване на ден;

$N_{autonomy}$ – дни на автономност;

C_{lim} – лимит на разреждане;

C_{bat} – капацитет на батерията;

$N_{bat_{paralel}}$ – батерии в паралел;

U_{bat} – напрежение на батериите;

$N_{bat_{series}}$ – батерии в серия;

N_{bat} – общ брой батерии.

(4) Определяне на размера на масива

За определяне на размера на масива също последователно се прилагат следните формули:

$$R \div \eta_{bat} \div N_{sun} = I_{peak_{array}} \quad (8)$$

$$I_{peak_{array}} \div I_{peak_{module}} = N_{module_{paralel}} \quad (9)$$

$$U_{system} \div U_{nom_{module}} = N_{module_{series}} \quad (10)$$

$$N_{module_{series}} * N_{module_{paralel}} = N_{module} \quad (11)$$

където:

R – средно натоварване на ден;

η_{bat} – енергийна ефективност на батерите;
 N_{sun} – пиково слънчево огряване (ч/ден);
 $I_{peak_{array}}$ – пиков ток на масива;
 $I_{peak_{module}}$ – пиков ток на модул;
 $N_{module_{parallel}}$ – модули в паралел;
 U_{system} – DC напрежение на системата;
 $U_{nom_{module}}$ – номинално напрежение на модул;
 $N_{module_{series}}$ – модули в серия;
 N_{module} – общ брой модули.

(5) Определяне на контролер

Контролерът трябва не само да може да обработва типични или номинални напрежения и токове, но също трябва да бъде така оразмерен, че да се справя с очакваните пикови или пулсиращи условия, като основно изискване е да има необходимата мощност за предвиденото приложение. Ако се използва контролер с недостатъчна мощност и той се повреди по време на работа, разходите за ремонт и подмяна ще бъдат по-високи от разходите, които биха били похарчени за контролер, който първоначално е бил по-мощен от нужното.

Формулите, по които се изчисляват изискванията към контролера са следните:

$$I_{max_{module}} * N_{module_{parallel}} = I_{max_{array}} \quad (12)$$

$$P_{LDC} \div U_{system} = I_{max} \quad (13)$$

където:

$I_{max_{module}}$ – ток на късо на модула
 $N_{module_{parallel}}$ – модули в паралел
 $I_{max_{array}}$ – максимален ток на низа
 P_{LDC} – DC общи свързани ватове
 U_{system} – DC напрежение на системата
 I_{max} – максимален DC ток

АЛГОРИТЪМ ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА МАЛКА PV СИСТЕМА

Оценка на електрическото натоварване

- (1) Изчисляване на общите свързани ватове както за AC, така и за DC.
- (2) Изчисляване на средното дневно натоварване за AC и DC.

Определяне на инвертор

- (3) Изчисляване на мощността на всички свързани AC консуматори.
- (4) Посочване на инвертор за захранване на общо свързаните ватове.

Размер на батерията

- (5) Установяване на загубите на инвертора.
- (6) Разделяне AC средно дневно натоварване на ефективността на инвертора.
- (7) Добавяне на резултата от (6) към средното дневно натоварване DC.
- (8) Разделяне на резултата от (7) със системното напрежение, за получаване средно натоварване на деня в амperi.
- (9) Разделяне на резултата от (8) на брой дни на автономията.

- (10) Разделяне на резултата от (9) на лимита на разреждане на батерията, за да се получи общия капацитет на часовата амплитуда на системата.
- (11) Оразмеряване на батерията и разделяне на общото количество ватове на капацитета на батерията за получаване на необходимия брой батерии за паралелно свързване.
- (12) Разделяне на напрежението на DC напрежението на системата на напрежението на батерията, за получаване на необходимия брой батерии за последователно свързване.
- (13) Умножение на (11) и (12), за получаване на необходимия брой батерии.

Оразмеряване на масива

- (14) Установяване на енергийната ефективност на батерията.
- (15) Разделяне на средното натоварване на ден на коефициента на ефективност на батерията.
- (16) Разделяне на резултата от (15) на пиковото слънчево лъчение за получаване на общият пиков ток.
- (17) Разделяне на общия пиков ток на пиковия ток на даден модул за определяне на необходимия брой на паралелно свързани модули.
- (18) Разделяне DC напрежението на системата на номиналното напрежение на един модул за получаване на необходимия брой на последователно свързани модули.
- (19) Умножение на резултатите в (17) с (18), за получаване на общия брой необходими модули.

Определяне на контролер

- (20) Умножаване максималният пиков ток на избраният модул по броя модули, за намиране на максималния входящ пиков ток на зарядния контролер.

V. РЕАЛИЗИРАНЕ НА АЛГОРИТЪМ ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА МАЛКА PV СИСТЕМА

Схема на системата

Схемата на системата изобразява отделните елементи и връзките между тях. Тя може да бъде разделена на три части: източник на енергия, който включва фотоволтаични панели, акумулаторни батерии, заряден контролер за тях и инвертор за стандартна електрическа инсталация AC 230 V, консуматори на стандартно AC напрежение и нисковолтови консуматори директно от фотоволтаик/батерии (фиг. 4).



Фигура 4. Схема на малка PV система

Фотоволтаичните панели са конфигурирани на отделни блокове, в които са разпределени паралелно за достигане на определени работни токове и последователно, за достигане на необходимото работно напрежение.

Батериите аналогично са оформени от акумулатори съответно паралелно за достигане на определен ток и последователно за работното напрежение.

Товарите са разделени на две основни групи – едната получава директно енергия от акумулаторните батерии, другата вторично от преобразувател на DC енергията в AC.

Всеки товар има някакви специфични особености, които трябва да се имат в предвид. Общи са параметри като начален/стартов ток, номинална мощност, пикова мощност и изисквания към формата на хранящото AC напрежение. Ако например LED осветлението въобще не е критично към тези параметри, то за лаптопите работните граници са тесни и строго определени.

За консуматорите на AC напрежение понякога е важна формата на напрежението, тъй като промяната ѝ може да се изтъкува от защитата като токов удар или пренапрежение в мрежата. Не е допустимо вкарването в тази група на бойлери, тъй като те са много мощни консуматори и изискват рязко завишаване на заявената мощност към AC преобразувателите. Съвременните хладилници са висок енергиен клас и там този проблем е избягнат. Особено място заемат пералните, съдомиялните машини, микровълновите фурни и колкото и да е странно, някои видове принтери (ползват големи мощности за подгриване при работа). При тях подходът трябва да е най-деликатен и обмислен. При съвременните LED телевизори, независимо от размера им, е достигната удовлетворителна енергийна ефективност и на практика консумираната мощност е 100W +/- 20%. Могат да се използват и за монитори на стационарни компютри, което в някои случаи е много изгодно и енергийно и финансово. Домашните компютри също предизвикват много спорове, ще пропуснем екзотичните решения като храняване тип лаптоп или мини системи максимално оптимизирани по храняване за сметка на функционалността. Храняването (PSU) на компютрите е особено капризно спрямо формата на подаваното напрежение, затова там или синусоида или псевдосинусоида. Други производители са прескочили двойното и тройно преобразуване на напрежението, като са произвели нисковолтово PSU, което на практика е DC-DC преобразувател+контролер към него. В комбинация с нисковолтов монитор (12V-19V) се достига оптимална енергийна ефективност. Тъй като стационарните компютри са сравнително малки консуматори, невинаги е финансово оправдано подобно решение. [6]

Микровълновите фурни са от най-неприятните консуматори на енергия – за кратко време например 800W фурна консумира 2000W енергия, затова трябва да се подбират с максимално висок енергиен клас. Същото важи и за пералните машини.

За правилната работа на тези групи и съгласуването помежду им, служи контролер, който следи за правилното зареждане/разреждане на акумулаторите, работата на фотоволтаичните панели и следи за аварийни ситуации.

Фотоволтаичните панели могат да бъдат както от монокристален силиций, така и от поликристален – различават се единствено по коефициента на полезно действие и съответно по цената и броя необходими панели.

Акумулаторите, използвани в батериите, трябва да могат да бъдат дълбоко разреждани, за да се използват пълноценно. За целта литиевите батерии са особено подходящи, но цената им и особености по експлоатацията и безопасността им за сега възпират производителите да ги използват масово. Оловните акумулатори са евтини, но не могат да се разреждат докрай, защото се разрушават безвъзвратно (максимум до 20% от капацитета е допустимият разряд).

DC товарите са обикновено нисковолтови потребители на енергия, които е по-удачно да се хранят директно, а не да се ползват сложни преобразуватели, при което драстично да се намали коефициента на полезно действие на системата.

AC преобразувателите са обикновено с изход правоъгълен а не синусоидален ток. Това е заради значително подобреният коефициент на полезно действие. За по-капризни товари се използва или псевдосинусоида или доста по-сложен синусоидален преобразувател.

Контролерът е най-важният елемент от системата. Той служи за съгласуването и правилното функциониране на цялата система, следи работните и аварийни процеси. Правилният му избор и подходящ софтуер са основен залог за безпроблемното функциониране на системата.

Изчисляване на отделните елементи на системата

$$U_L * I_L * N_L = P_L$$

$$P_L * h_{day} * d_{week} / 7 = P_{av}$$

Таблица 1. Пресмятане на електрически товар

Пресмятане на електрическия товар											
Товари <i>L</i>	Волтаж <i>U_L</i>	Ампераж <i>I_L</i>	Бройка <i>N_L</i>	Ватове <i>P_L</i>		Използване часове на ден <i>h_{day}</i>	Използване дни в седмицата <i>d_{week}</i>	/	7 дена в седмицата	Средна консумирана мощност на ден <i>P_{av}</i>	
				AC	DC					AC	DC
LED Осветление	12*	0,5*	14=		84*	4*	7/		7=		336
Телевизор	220*	0,55*	1=	121		8*	7/		7=	968	
Лаптоп	19*	1,85*	1=		35,15*	7*	7/		7=		246,05
Компютър	220*	0,72*	1=	158,4		7*	7/		7=	158,4	
Хладилник	220*	1,13*	1=	248,6		3*	7/		7=	745,8	
Микровълнова	220*	9,10*	1=	2002		0,5*	7/		7=	1001	
	*	*	=			*	/		=		
	*	*	=			*	/		=		
	*	*	=			*	/		=		
AC общо свързани ватове			<i>P_{LAC}</i>	2530					<i>U_{avAC}</i>	=	2873,2
DC общо свързани ватове			<i>P_{LDC}</i>		119,15*				<i>U_{avDC}</i>	=	582,05

Пресмятането на електрическия товар се извършва както по нисковолтово захранване така и по стандартната AC 230V мрежа. Взима се в предвид номиналната консумирана мощност на всеки консуматор, броят им, продължителността на работа в различните дни от седмицата и разделяйки на броя на дните от седмицата можем да получим средната консумирана мощност на ден. Избрани са статистически най-често използваните консуматори и броят им в средно голямо домакинство. Стойностите както и вида на консуматорите могат да варират в широки граници в зависимост от нуждите на потребителите. В случая таблицата е примерна и важи за средно статистическо семейство. Единствено е пропуснат електрически бойлер, тъй като се използва високо ефективна хелио система.

$$\frac{P_{LAC}}{U_{system}} = I_{max}$$

Таблица 2. Определяне на инвертора

Определяне на инвертора						
АС общо свързани ватове P_{LAC}	/	DC напрежение на системата U_{system}	=	Максимален DC ток I_{max}	Очакваните ватове при пренапрежение	изброени желани характеристики
2530	/	12	=	210,8333333		
Спецификация на инвертора		Марка				Модел

Пресмятаме необходимата изходна мощност за да изберем модела на инвертора по технически спецификации.

$$((U_{avAC} \div \eta_{inv}) + U_{avDC}) \div U_{system} = R$$

$$R \div N_{autonomy} \div C_{lim} \div C_{bat} = N_{batparallel}$$

$$U_{system} \div U_{bat} = N_{batseries}$$

$$N_{batseries} * N_{batparallel} = N_{bat}$$

Таблица 3. Оразмеряване на батериите

Оразмеряване на батериите								
АС средно дневно натоварване U_{avAC}	/	Ефективност на инвертора η_{inv}	+	DC средно дневно натоварване U_{avDC}	/	DC напрежение на системата U_{system}	=	Средно натоварване на ден (Ahr) R
2873,2	/	97,50%	+	582,05	/	12	=	294,0768162
Средно натоварване на ден (Ahr) R	/	Дни на автономност $N_{autonomy}$	/	Лимит на разреждане C_{lim}	/	Капацитет на батерията C_{bat}	=	Батерии в паралел $N_{batparallel}$
294,0768162	/	5	/	0,8	/	100	=	1
DC напрежение на системата U_{system}	/	Напрежение на батериите U_{bat}	=	Батерии в серия $N_{batseries}$	*	Батерии в паралел $N_{batparallel}$	=	Нужни батерии N_{bat}
12	/	12	=	1	*	1	=	1

За правилния избор на акумулаторни батерии е необходимо да изчислим средното натоварване на ден на акумулаторите. За целта разделяме средното АС натоварване на консуматорите с коефициента на полезно действие на инвертора, прибавяме към него средното дневно натоварване на DC веригата и полученото общо средно натоварване разделяме на напрежението на системата получавайки средното дневно натоварване на акумулаторната система в Ahr. Броя батериите в паралел се определя разделяйки средното натоварване на ден на дните на автономност на лимита на разреждане на акумулаторите и капацитета на батерията. Общият брой ползвани акумулатори се получава разделяйки DC напрежението на системата на напрежението на батериите и получените батерии в серия се умножават по батериите в паралел.

$$R \div \eta_{bat} \div N_{sun} = I_{peakarray}$$

$$I_{peakarray} \div I_{peakmodule} = N_{moduleparalel}$$

$$U_{system} \div U_{nommodule} = N_{moduleseries}$$

$$N_{moduleseries} * N_{moduleparalel} = N_{module}$$

Таблица 4. Оразмеряване на масива

Оразмеряване на масива						
Средно натоварване на ден (Ahr) <i>R</i>	/	Енергийна ефективност на батериите <i>η_{bat}</i>	/	Пиково слънчево огряване (ч/ден) <i>N_{sun}</i>	=	Пиков ток на масива <i>I_{peakarray}</i>
294,0768162	/	0,61	/	5	=	96,41862826
Пиков ток на масива <i>I_{peakarray}</i>	/	Пиков ток на модула <i>I_{peakmodule}</i>	=	Модули в паралел <i>N_{moduleparalel}</i>		Ток на късо на модула <i>I_{sc}</i>
96,41862826	/	7,5	=	13		8,10
DC напрежение на системата <i>U_{system}</i>	/	Номинално напрежение на модула <i>U_{nommodule}</i>	=	Модули в серия <i>N_{moduleseries}</i>	*	Модули в паралел <i>N_{moduleparalel}</i>
12	/	19,4	=	1*		13
						Общ брой модули <i>N_{module}</i>
						13

Правилното оразмеряване на масива се извършва разделяйки средното натоварване на ден на енергийната ефективност на батериите и на броя слънчеви часове дневно, получавайки пиковия ток на масива. Този пиков ток разделен на пиковия ток на модула ни дава броя модули в паралел. Броя на модулите в серия се определя разделяйки DC напрежението на системата на номиналното напрежение на модула, а получения резултат умножен по брой модули в паралел ни дава общия брой модули.

$$I_{maxmodule} * N_{moduleparalel} = I_{maxarray}$$

$$P_{LDC} \div U_{system} = I_{max}$$

Таблица 5. Определяне на контролера

Определяне на контролера						
Ток на късо на модула <i>I_{sc}</i>	*	Модули в паралел <i>N_{moduleparalel}</i>	=	Максимален ток на низа <i>I_{maxarray}</i>	Ток на низа подаван от контролера	Списък на желаните функции
8,10	*	13	=	105,3		
DC общо свързани ватове <i>P_{LDC}</i>	/	DC напрежение на системата <i>U_{system}</i>	=	Максимален DC ток на натоварване <i>I_{max}</i>	Ток на натоварване на контролера	
119,15	/	12	=	9,929166667		

Спецификациите на контролера се определят чрез максималния ток на низа който се получава от производението на тока на късо на модула и броя им в паралел. Максималния ток на натоварване се определя от отношението на DC консумираната мощност и DC напрежението в системата.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тази статия е описан алгоритъм за оразмеряване на малка фотоволтаична система за захранване, която не е свързана с електрическата мрежа.

В процеса на създаване на алгоритъма са изброени важни изисквания за правилното проектиране на фотоволтаична система. Един от проблемите, които възникват при проектиране е недостатъчно задълбоченото разбиране на възможностите на технологиите, използвани във фотоволтаичните системи.

Полезно развитие на представения алгоритъм е създаване на самообучаваща се програма, която автоматично да оразмерява фотоволтаични системи. Такава програма ще бъде широко използвана, предвид темповете на развитие на тази технология по света. Например, в Австралия над 2 милиона домакинства (20,3% от домакинствата) имат монтирани на покривите си PV системи. Средностатистически те спестяват годишно \$540 от икономия на електрическа енергия.

Оптимизирането на PV системите е друг приоритет при развитието на зелените технологии.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Георгиев Г., К. Сейменлийски, С. Лецковска, Симулационно изследване на характеристиките на учебна фотоволтаична централа в среда на MATLAB. Годишник БСУ, том XXX, стр. 165-169, 2017.
- [2] Долчинков Р., Механизми и машини във фотоволтаичните централи. Годишник БСУ, том XXIX, стр.216-228, 2013.
- [3] Долчинков Р., П. Георгиева, Ефективност на системите за слънчево проследяване. Годишник БСУ, том XXVII, стр. 243-255, 2012.
- [4] Долчинков Р., П. Георгиева, Светодиодно осветление с вятърна и слънчева енергия. Компютърни науки и комуникации, Vol 1, № 1, 48-57, 2012.
- [5] Лецковска С., К. Сейменлийски, Система за мониторинг и оценка на енергийния потенциал от слънчева енергия, Годишник БСУ, том XXX; стр. 208-214, 2014.
- [6] Choudhary R., G. Augenbroe, Simulation enhanced prototyping of an experimental solar house. Building Simulation 2007, Beijing, China.
- [7] Detrick, A., A. Kimber, et al. Performance evaluation standards for photovoltaic modules and systems. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Lake Buena Vista, FL, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Piscataway, NJ 08855-1331, United States (2005).
- [8] Georgiev G, S. Letskovska, K. Seimenliyski, P. Rahnev, Creating Laboratory Models for Auto Backup Power. Icest 2017: Proceedings of Papers, pp. 362-366, Niš, Serbia, 2017.
- [9] King D., Photovoltaic Module and Array Performance Characterisation Methods for All System Operating Conditions, Proceeding of NREL/SNL Photovoltaics Program Review Meeting, Lakewood, USA, 1996.
- [10] Marion, B., J. Adelstein, Performance parameters for grid-connected PV systems. The 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Lake Buena Vista, FL, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Piscataway, NJ 08855-1331, USA, 2005.
- [11] Skoplaki E., J. A. Palyvos, Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. Renewable Energy, Vol. 34 № 1, pp. 23-29, 2009.
- [12] Willis H. L., G. V. Welch, et al. Aging power delivery infrastructures. New York, M. Dekker, 2001.