

Definirea modulelor fotoelectrice

Tematica: *Energii regenerabile*

→ **Capitol:** *Filiera solară*

→ **Secțiunea:** *Dimensionarea unei instalații*

Tip resursă: *Expunere* *Laborator virtual / Exercițiu* *CVR*

- cunoștințe anterioare necesare:
- nivel:
- durată estimată:
- autori: Lucie Peillon, Jean-Charles Herant, Arnaud Davigny, Christophe Saudemont
- realizare: Lucie Peillon, Jean-Charles Herant
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

Calculul puterii de vârf a sistemului

În cazul în care Soarele este singura sursă de energie a unui sistem autonom (fără generator tampon), modulele fotoelectrice trebuie să asigure întreaga cantitate de energie consumată, inclusiv pierderile la toate nivelele.

Producția zilnică de electricitate a unui modul

Un modul se caracterizează în primul rând, prin puterea de vârf P_v [W], putere în condiții [STC](#).

Modulul, expus în condițiile STC va produce la un moment dat, puterea electrică de vârf P_v , iar dacă această durează N ore, se va produce energie electrică W_{elec} egală cu produsul dintre puterea de vârf și intervalul de timp:

$$W_{elec} = N * P_v \text{ [Wh]},$$

respectiv, Energia electrică [Wh] = Numărul de ore * Puterea de vârf [W].

Totuși, iluminarea nu este constantă pe durata întregii zile, deci nu se poate aplica strict această relație.

Pentru a calcula ceea ce produce un modul fotoelectric pe durata unei zile însorite, care are un anumit profil pe baza cărui rezultă integrala energiei solare [Wh/m²], se va asimila această energie solară ca produsul dintre radiația instantanee de 1000 W/m² și un anumit număr de ore, numit "număr de ore echivalente".

Datorită valorii de 1000 a radiației de referință, numărul de ore echivalente este chiar integrala radiației solare exprimată în kWh/m² * zi.

$$E_{sol} = N_e * 1000,$$

respectiv, energia solară zilnică [Wh/m²*zi] = numărul de ore echivalente [h/zi] * 1000 [W/m²].

Exemplu

Pe durata unei zile, la stația meteo din Toulouse, în decembrie, pentru orientarea Sud și înclinarea de 60°, Soarele a furnizat 1,12 kWh/m² * zi. Această zi va fi asimilată cu 1,12h echivalente, cu radiația de 1000 W/m².

În continuare, se presupune că puterea electrică a panoului este direct proporțională cu radiația instantanee, ceea ce este corect într-o primă aproximație, dacă tensiunea la bornele panoului este suficient de mare. Se poate calcula astfel energia electrică produsă zilnic de panou, ca fiind produsul dintre puterea de vârf și numărul de ore echivalente:

$$W_{elec} = N_e * P_v.$$

Deoarece $N_e = E_{sol} / 1000$, se poate scrie:

$$W_{elec} \text{ [Wh]} = E_{sol} \text{ [kWh/m}^2 \text{ * zi]} * P_v \text{ [W]}.$$

Acest calcul nu este valabil decât pentru un panou izolat, în condiții ideale. Expresia nu ține seama de pierderile, inevitabile în cazul unui sistem complet, în condiții reale. Aceste pierderi au mai multe cauze și afectează anumiți parametri ai sistemului.

Pierderi electrice

Modulele trebuie să furnizeze întreaga energie consumată, chiar și cea care se pierde. Calculul puterii ce trebuie instalată, trebuie să țină cont de integrala tuturor pierderilor.

Tipuri de pierderi

Pomind de la radiația solară, se întâlnesc următoarele:

I. Pierderi datorate murdării panoului, zăpezii, prafului sau chiar geamul de protecție, modifică curentul debitat (tensiunea la borne nu este afectată).

În continuare, există căderi de tensiune între ieșirea panoului și intrarea în baterie:

II. pe dioda serie.

III. pe regulatorul serie, dacă se utilizează un astfel de regulator.

IV. pe cablurile de legătură, în funcție de lungimea lor, secțiune și curentul vehiculat.

O altă componentă a pierderilor afectează direct tensiunea panoului, respectiv:

V. scăderea tensiunii datorită creșterii temperaturii, puterea de vârf fiind dată pentru temperatura de 25°C.

În ceea ce privește bateria, apar și aici pierderi, ea ne- restituind 100% energia primită, trebuind să se țină seama de:

VI. randamentul energetic al bateriei: raportul dintre energia restituită și energia primită (furnizată de panou).

Regulatorul poate determina pierderi, datorate unei ne-acordări corespunzătoare a tensiunii:

VII. într-un sistem cu regulator dasic (nu de tip MPPT), tensiunea este impusă de baterie, deci modulul fotoelectric nu lucrează în punctul său de putere maximă.

Pe de altă parte, calculul prezentat în secțiunea anterioară presupune că puterea panoului este proporțională cu iluminarea, dar de fapt, curentul este proporțional, deci trebuie să se mai țină seama de:

VIII. pierderile de la începutul și sfârșitul zilei, când iluminarea este slabă, iar tensiunea insuficientă pentru a încărca bateria.

Evaluarea cantitativă a pierderilor

Unele pierderi pot fi reduse prin mijloace simple și neglijate în evaluarea cantitativă. În ceea ce privește murdărirea (**I**), se va face o curățire periodică. Zăpada se topește imediat ce panoul începe să se încălzească, iar pentru evitarea prafului, se poate plasa panoul la înălțime.

În ceea ce privește pierderile pe cabluri (**IV**), pot fi limitate prin optimizarea cablării.

Pierderile datorate temperaturii (**V**) nu sunt semnificative decât în regiunile calde, unde se va prevedea o ventilație mai bună a modulelor.

Pierderile datorate ne-acordării corespunzătoare a tensiunii (**VII**) pot fi evitate complet prin instalarea unui regulator MPPT, care este conceput tocmai pentru a realiza această funcție.

Tehnologia modulelor este importantă pentru a reduce pierderile (**VIII**) și (**V**). Panourile cu siliciu amorf se comportă mai bine la iluminări reduse decât cele cu siliciu cristalin. De asemenea, tensiunea lor se modifică mult mai puțin în funcție de temperatură.

În afară de a dispune de un bun regulator MPPT, cele mai corecte măsuri sunt:

→ luați măsurile necesare pentru reducerea căderilor de tensiune: cablare adecvată, regulator serie doar în cazul sistemelor de 24 sau 48 V.c.c., bună ventilație;

→ evaluați căderea de tensiune între panou și baterie: de exemplu, 0,8V pe dioda serie + 0,5 V pe cabluri +1,5 V pierderi datorate încălzirii la temperatura medie a locației;

→ alegeți module a căror tensiune la puterea de vârf este mai mare sau egală cu tensiunea maximă a bateriei + pierderea de tensiune;

→ calculați câmpul fotoelectric și capacitatea bateriei în funcție de curentul la această putere maximă [A], ținând cont de tensiune, și doar de pierderile care afectează curentul.

Ansamblul măsurilor de mai sus poate fi rezumat la alegerea, pentru un sistem de 12 V nominal, a unor panouri fotoelectrice, care să aibă la punctul de putere maximă, tensiunea de 17-18 V pentru utilizarea în zonele calde și de 15-16 V pentru zonele temperate.

Inevitabilele pierderi în curent sunt luate în seamă în calculul energetic sub forma unui coeficient C_p numit coeficient de pierderi în curent.

Evaluarea lui C_p

Pentru murdărire (I), se va considera C_p cuprins între 0,9 și 0,95. Aceasta depinde dacă panourile sunt curățate cu regularitate, plasate orizontal, protejate de un geam...

Pentru bateriile u plumb utilizate în sistemele fotoelectrice, se poate considera un randament în Ah, cuprins între 0,8 și 0,9, în funcție de caracteristicile acestora.

Calculul practic al puterii fotoelectrice

Calculul producției de energie electrică a unui modul se poate scrie ca:

$$C_{elec} = E_{sd} * I_m * C_p,$$

respectiv, capacitatea electrică produsă într-o zi [Ah/zi] = energia solară zilnică [kWh/m² * zi] * curentul modulului la puterea maximă STC [A] * coeficientul de pierderi în curent.

Pentru a calcula puterea necesară aplicației, se utilizează relația de mai sus în sens invers, înlocuind energia produsă prin energia solicitată.

Pentru a avea garanția asigurării energiei în orice anotimp, calculul se va face în condițiile cele mai defavorabile de radiație solară pe durata de utilizare a sistemului.

Pentru determinarea curentului modulului la puterea maximă STC se poate utiliza relația:

$$I_m = N_z / (E_{sol} * C_p),$$

respectiv, curentul modulului la puterea maximă STC [A] = necesarul zilnic al aplicației [Ah/zi] / (energia solară zilnică cea mai defavorabilă [kWh/m² * zi] * coeficientul de pierderi în curent).

Exercițiul 2

Reluând datele de la [Exercițiul 1](#), s-a obținut un necesar zilnic de 812 Wh/zi.

1. Care este necesarul zilnic în [Ah/zi]?

Se va considera pentru coeficientul de pierderi în curent valoarea 0,75, iar energia zilnică de la Paris în decembrie (expunere 60° Sud) este de 1,12 kWh/m² * zi.

2. Care va fi curentul I_m necesar?

3. Care va trebui să fie valoarea minimă a puterii fotoelectrice de vârf a sistemului, P_v , dacă modulele au tensiunea maximă de 34 V?

Răspuns:

1. Necesarul zilnic $N_z = 34 \text{ Ah/zi}$;

2. $I_m = 40,5 \text{ A}$;

3. $P_v = 1377 \text{ Wv}$.

Argumentare:

1. $N_z = 812 \text{ Wh/zi} / 24 \text{ V}$ (tensiunea nominală aleasă) = 34 Ah/zi;

2. $I_m = 34 / (1,12 * 0,75) = 40,5 \text{ A}$;

3. $P_v = 40,5 \text{ A} * 34 \text{ V} = 1377 \text{ Wv}$

Tehnologia modulelor

Cea mai adecvată tehnologie pentru module, depinde, în primul rând, de puterea necesară, dar și de tipul climatului, de costuri, dar uneori și de aspectele estetice.

Siliciul amorf are un aspect particular, dar mai ales are bune performanțe la iluminări slabe și în cazul radiației difuze. În schimb, randamentul lui în cazul radiației solare nu este **decât de 7%**, față de 13% cât este în cazul siliciului cristalin. El este utilizat în situații speciale:

- putere mică (< 10 Wv) în climat temperat
- aplicații cu preț redus
- produse portabile sau flexibile
- anumite aplicații arhitecturale, datorită aspectului său uniform

Alegerea adecvată a tipului de panou pentru fiecare aplicație, trebuie făcută ținând cont de toți parametrii electrici, dar se va acorda o atenție specială următoarelor aspecte:

- tensiune suficientă
- tipul de garanție asupra puterii de vârf
- profil climatic
- facilitate de montare etc.

Tensiunea de funcționare

Tensiunea nominală a sistemului fotoelectric

Tensiunea nominală a câmpului fotoelectric trebuie aleasă ținând cont de:

- tipul aplicației
- puterea fotoelectrică a sistemului
- disponibilitatea de materiale (module și consumatori)
- extinderea geografică a sistemului

În cazul sistemelor conectate la rețea, întreaga energie produsă este convertită în 220 Vc.a. (230 Vc.a. în UE). Ar fi deci interesant ca montarea să se facă în curent continuu de tensiune cât mai mare, prin conectarea în serie a modulelor. Aceasta ar limita pierderile, deoarece curentul ar fi mai mic și s-ar putea utiliza invertoare cu randament mare.

În cazul sistemelor autonome, pentru o anumită putere, o tensiune redusă determină curenți mari, care produc pierderi Joule în cabluri (pentru un aparat de 100 W la 12 V, curentul absorbit va fi de 8 A). Diametrul cablurilor se va alege corespunzător, pentru limitarea acestor pierderi.

Pentru instalații mai mari, se va alege mai degrabă tensiunea de 24 sau 48 V, pentru a nu avea curenți prea mari.

În tabelul următor se prezintă tensiunile recomandate pentru sistemele fotoelectrice, în funcție de puterea lor:

Puterea câmpului fotoelectric	0 - 500 Wv	500 Wv - 2 kWv	2 - 10 kWv	> 10 kWv
Tensiunea recomandată	12 Vc.c.	24 Vc.c.	48 Vc.c.	> 48 Vc.c.

După alegerea tensiunii nominale, trebuie să se verifice că sunt disponibili consumatori la tensiunea aleasă. În caz contrar, se pot utiliza convertoare c.c.-c.c. (variatoare de tensiune continuă). Aceasta înseamnă totuși că trebuie revăzut consumul zilnic al sistemului și deci puterea fotoelectrică (datorită randamentului convertoarelor).

Compunerea câmpului fotoelectric

După determinarea puterii fotoelectrice necesare și în funcție de tensiunea modulelor și de câmpul ce trebuie realizat, se va realiza compunerea câmpului (conectare în serie/paralel, sau doar în paralel). Evident, se va face rotunjirea la o valoare întreagă superioară.

Exercițiul 3

În cadrul [exercițiului anterior](#) s-a determinat necesarul de putere fotoelectrică de 1377 Wv, la tensiunea nominală de 24 V.

Se presupune că modulele alese sunt de 47 Wv – 12 V.

1. Câte module trebuie utilizate?
2. Cum se vor conecta modulele?

Răspuns:

1. 30 module;

2. Se vor conecta 2 câte 2 module în serie, apoi se conectează cele 15 ansambluri în paralel.

Argumentare:

1. Dacă se utilizează 29 de module, acestea vor furniza: $29 * 47 = 1363 \text{ Wv}$, ceea ce nu este suficient. Dacă se utilizează 30 de module, acestea vor furniza: $30 * 47 = 1410 \text{ Wv}$, ceea ce este suficient.

2. Conectând 2 câte 2 module în serie, vom avea 15 ansambluri de 24 V, ce corespunde tensiunii nominale alese. Nu rămâne decât să le conectăm în paralel, pentru însumarea curenților furnizați și obține astfel puterea necesară de 1410 Wv.

Disponerea va fi ca în montajul următor:

