

Laboratoare virtuale

Tematica: *Energii regenerabile*

→ **Capitol:** *Filiera solară*

→ **Secțiunea:** *Sisteme MPPT*

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

După parcurgerea expunerii asupra principiului MPPT, vă propunem acum câteva lucrări practice ce au scopul de a înțelege mai bine funcționarea sistemelor MPPT. Experiențele sunt virtuale, dar se bazează pe date reale.

Aceste laboratoare virtuale vă vor permite să observați influența sistemelor MPPT, în diferite cazuri de utilizare:

- [LV 1: Conectarea unui panou la o baterie](#)
- [LV 2: Conectarea unui panou la o rezistență](#)
- [LV 3: Conectarea unui panou la o baterie care are o rezistență internă](#)

Întrebările vă ghidează pas cu pas. Trageți conducteziile.

Laboratoarele virtuale au marele avantaj că puteți foarte ușor să refaceți o serie de măsurători. Nu ezitați să reveniți asupra unei experiențe, pentru a înțelege mai bine rolul sistemelor MPPT!

- cunoștințe anterioare necesare: [Principiul MPPT](#)
- nivel:
- durata estimată:
- autori: Eglantine Marescot du Thilleul, Arnaud Davigny, Christophe Saudemont
- realizare: Philippe Vanuxem, François Le Floch
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

LV 1: Conectarea unui panou la o baterie

I. Conectarea unui panou la o baterie, fără MPPT

Se presupune că se utilizează un panou fotoelectric care debitează pe o baterie de 12 V, funcționând la temperatura constantă $T=75^{\circ}\text{C}$, cu un raport de transformare $f = 1$ (fără MPPT) și iluminare $E=1000 \text{ W/m}^2$.

Scopul lucrării: Studiul influenței tensiunii bateriei asupra puterii transmise

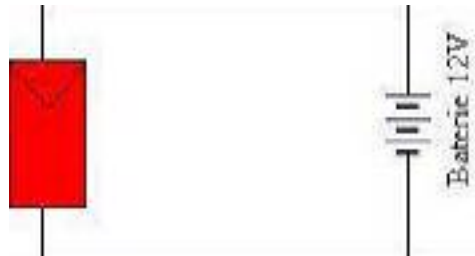
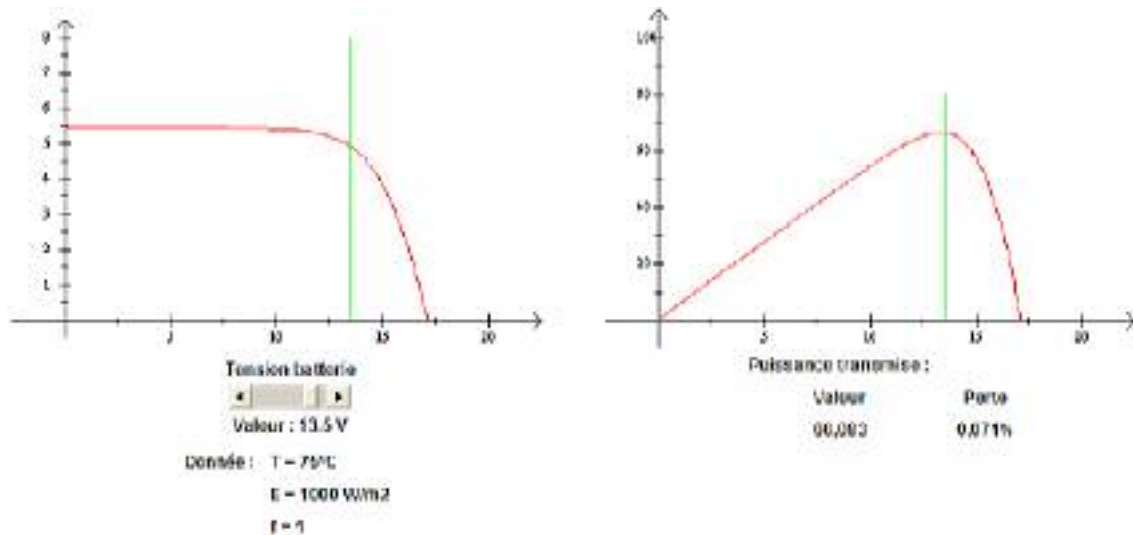


Figura 1: Schema de montaj cu baterie, fără MPPT.



1 • Ce înțelegi prin puterea transmisă?

2 • Cum evoluează această putere în funcție de tensiunea bateriei (conform animației de mai sus)? Luați câteva valori.

3 • Deoarece se debitează pe o baterie de 12 V, vor apare pierderi? Dacă "da", spuneți care este valoarea lor citită pe applet, apoi regăsiți valoarea prin calcul.

Răspuns 1

Puterea transmisă este puterea măsurată la nivelul bateriei.

Răspuns 2

Așa cum se poate vedea în applet, există trei zone:

- Dacă U_{bat} este cuprinsă între 10 și 13,3 V, puterea transmisă crește până la obținerea puterii transmise maxime;

- Dacă $U_{bat} = 13,3$ V puterea transmisă este maximă și atinge 66,125 W;
- Dacă U_{bat} este cuprinsă între 13,3 și 15 V, puterea transmisă scade.

Răspuns 3

Există pierderi, deoarece nu se funcționează la $U_{bat} = 13,3$ V

Calculul pierderilor în funcție de maximul puterii:

$$pierderi = \frac{P_{max\ panou} - P_{transmisă}}{P_{transmisă}}$$

pierderile (la 12 V, 75 °C, 1000 W/m²) = (66,12 - 63,35) / 63,35 = 4,37 %

II. Conectarea unui panou la o baterie, cu MPPT

Scopul lucrării: Studiul influenței sistemului MPPT într-un circuit care debitează pe o baterie, în funcție de temperatură și de iluminare.

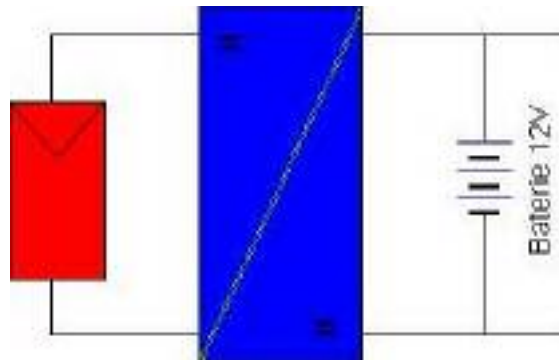
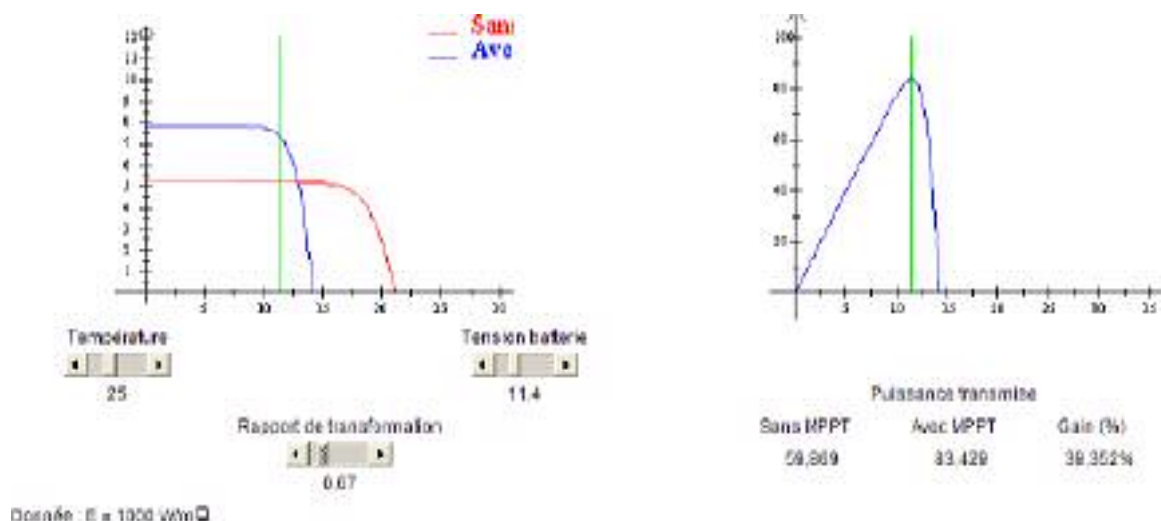


Figura 2: Schema de montaj cu baterie, cu MPPT.

a) Experimente pentru diferite valori ale temperaturii.

Se presupune că se funcționează cu sistem MPPT, care debitează pe o baterie de 12 V, iluminare de $E = 1000$ W/m².

În toate experimentele, se funcționează cu $U_{sacină} = U_{bat} =$ t.e.m.



Donnée : E = 1000 W/m²

1 • Ce reprezintă câștigul pus în evidență de acest applet? (formula)

Răspuns 1

G = câștigul obținut datorită MPPT

$$G = \frac{P_{transC} - P_{transNC}}{P_{transNC}}$$

P_{transC} = Puterea transmisă cu convertor MPPT

$P_{transNC}$ = Puterea transmisă fără convertor MPPT

2 • Pentru fiecare temperatură între 0 și 75°C {0°C ; 25°C; 50°C; 75°C} alegeți o tensiune a bateriei de 12 V, apoi citiți pe applet-ul de mai sus, raportul de transformare f , care determină câștigul maxim.

T = 0°C

la 12 V, 1000 W/m²

- câștig max = 48,17% pentru $f = 0,63$
- P_{trans} fără MPPT = 61,90 W
- P_{trans} cu MPPT = 91,71 W

T=25°C

la 12 V, 1000 W/m²

- câștig max = 32,81% pentru $f = 0,7$
- P_{trans} fără MPPT = 62,88 W
- P_{trans} cu MPPT = 83,52 W

T=50°C

la 12 V, 1000 W/m²

- câștig max = 17,81% pentru $f = 0,79$
- P_{trans} fără MPPT = 63,67 W
- P_{trans} cu MPPT = 75,01 W

T=75°C

la 12 V, 1000 W/m²

- câștig max = 4,37% pentru $f = 0,9$
- P_{trans} fără MPPT = 63,35 W
- P_{trans} cu MPPT = 66,12 W

3 • Care este utilitatea sistemului MPPT pentru diferite temperaturi?

Răspuns 3

Se observă că la orice temperatură, este posibil să se obțină un câștig maxim. Aceasta datorită posibilității modificării lui f . Dar ce reprezintă f ? f reprezintă sistemul MPPT, respectiv, în permanență, sistemul MPPT se autoreglează pentru a forța sistemul să funcționeze la puterea sa maximă, deci cu câștig maxim.

Mai mult, se observă că este preferabil să se funcționeze, pentru o iluminare constantă, la o temperatură redusă, deoarece câștigul este mai mare.

4 • Pentru fiecare temperatură între 0 și 75°C {0°C; 25°C; 50°C; 75°C}, citiți pe applet-ul de mai sus, raportul de transformare f și tensiunea bateriei U_{bat} care determină câștigul optim.

T = 0°C

$U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,53$ cu un câștig optim $G_{opt} = 77,818\%$

- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,52$ cu un câștig $G = 77,729\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,53$ cu un câștig $G_{opt} = 77,818\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,54$ cu un câștig $G = 76,982\%$

Dacă U_{bat} este diferită de 10 V, de exemplu:

- $U_{bat} = 11 \text{ V}$, $G_{opt} = 61,579\%$ cu $f = 0,58$
- $U_{bat} = 12 \text{ V}$, $G_{opt} = 48,148\%$ cu $f = 0,63$
- $U_{bat} = 13 \text{ V}$, $G_{opt} = 36,817\%$ cu $f = 0,69$
- $U_{bat} = 14 \text{ V}$, $G_{opt} = 27,47\%$ cu $f = 0,74$
- $U_{bat} = 15 \text{ V}$, $G_{opt} = 19,404\%$ cu $f = 0,79$

T = 25°C

$U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,58$ cu un câștig optim $G_{opt} = 58,82\%$

- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,57$ cu un câștig $G = 57,922\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,58$ cu un câștig $G_{opt} = 58,82\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,59$ cu un câștig $G = 58,481\%$

T = 50°C

$U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,66$ cu un câștig optim $G_{opt} = 40,473\%$

- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,65$ cu un câștig $G = 40,227\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,66$ cu un câștig $G_{opt} = 40,5\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,67$ cu un câștig $G = 39,942\%$

T = 75°C

$U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,75$ cu un câștig optim $G_{opt} = 22,236\%$

- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,74$ cu un câștig $G = 22,161\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,75$ cu un câștig $G_{opt} = 22,236\%$
- $U_{bat} = 10 \text{ V}$; $f = 0,76$ cu un câștig $G = 22,18\%$

5 • Concluzia acestui experiment?

Concluzie

Pentru a avea un câștig optim, s-a arătat deja că trebuie să existe un sistem MPPT și să se funcționeze la o temperatură cât mai scăzută. Aceasta se confirmă din nou aici.

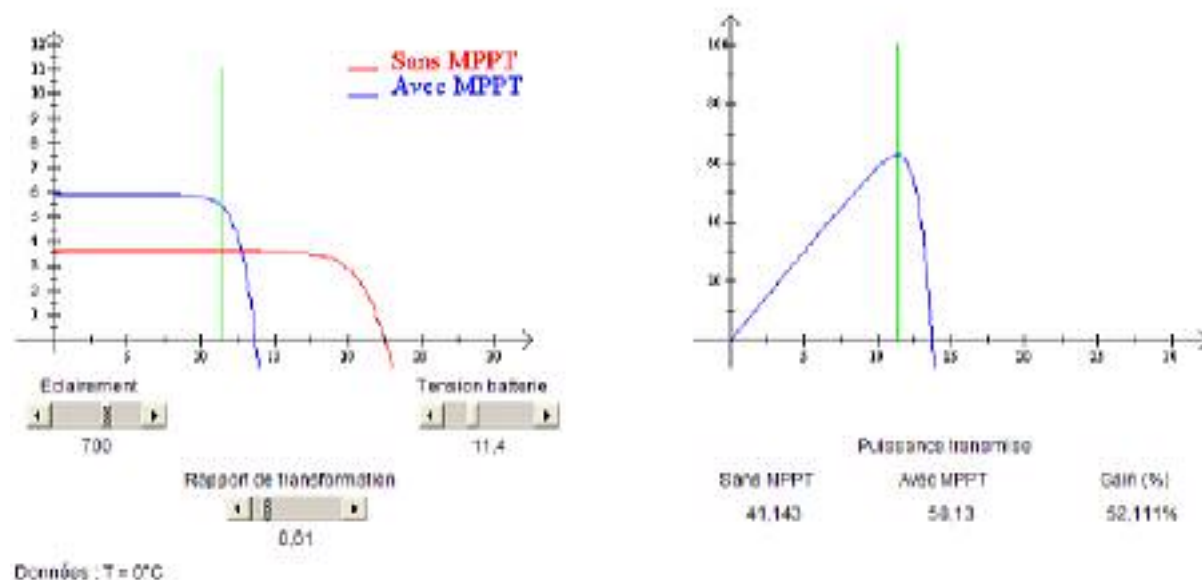
Acest experiment arată că trebuie să fie posibil să se debiteze pe o baterie de 10 V. Cum este posibil acest lucru, știind că bateria este de 12 V? S-ar putea adăuga bateriei o rezistență internă.

Observație: Se va vedea în LV 3

b) Experimente pentru diferite valori ale iluminării.

Se va plasa funcționarea în cazul optim de mai sus: circuit cu MPPT (f variabil) care debitează pe o baterie de 10 V la temperatura de $T=0^{\circ}\text{C}$.

1 • Pe applet-ul de mai jos, evidențiați câștigul(rile) maxim(e) prin modificarea iluminării (de la 1000 W/m^2 la 500 W/m^2) și raportul de transformare f .



Răspuns 1

Iată câteva valori ale câștigului în funcție de diferite valori ale iluminării:

- Pentru $E = 1000 \text{ W/m}^2$ și $f = 0,53$; $G_{opt} = 77,8\%$
- Pentru $E = 900 \text{ W/m}^2$ și $f = 0,53$; $G = 76,55\%$
- Pentru $E = 500 \text{ W/m}^2$ și $f = 0,55$; $G_{opt} = 68,82\%$

2 • Care este utilitatea sistemului MPPT pentru diferite iluminări?

Răspuns 2

Pe măsură ce E se reduce, câștigul se diminuează. Dar, datorită raportului de transformare f variabil (și sistemul MPPT), se poate obține chiar un câștig mai mare; pe măsură ce se reduce E , trebuie crescut f .

În plus, sistemul MPPT este foarte important dacă panourile sunt amplasate într-o regiune în care iluminarea variază. Ori iluminarea variază peste tot. Deci, este greu de imaginat să se renunțe la sistemul MPPT pentru o instalare corectă.

Concluzia Laboratorului 1

Concluzie

Datorită celor două experimente și ținând cont de limitările cursoarelor applet-elor, se poate observa că sistemele MPPT suscită un interes major, atunci când apar următorii factori:

- Stocarea energiei într-o baterie;
- Iluminare variabilă în regiunea instalării;
- Temperatură variabilă în timpul utilizării.

Se pare că sistemele MPPT par a fi indispensabile în cazul instalării panourilor solare. În sfârșit, pentru a se obține rezultate bune, este mai bine să se funcționeze la temperaturi scăzute și iluminare mare și să se debiteze pe o baterie care să aibă, dacă trebuie, o anumită rezistență internă.

LV 2: Conectarea unui panou la o rezistență, cu MPPT

Scopul lucrării: Studiul influenței sistemului MPPT într-un circuit care debitează pe o rezistență, în funcție de temperatură și de iluminare.

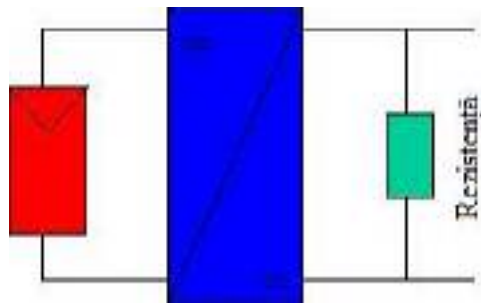
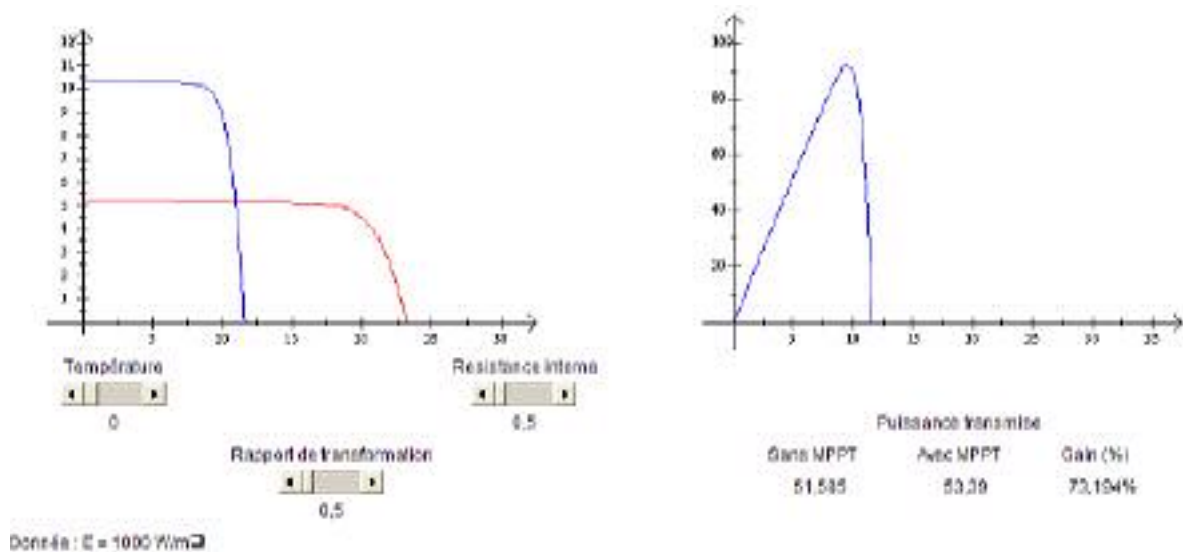


Figura 3: Schema de montaj cu rezistență.

a) Experimente pentru diferite valori ale temperaturii.

Se presupune că se funcționează cu sistem MPPT, care debitează pe o rezistență, iluminare de $E = 1000 \text{ W/m}^2$.

În toate experimentele, se funcționează cu $U_{\text{sacină}} = U_{\text{bat}} = R \cdot I$.



1 • Ce reprezintă câștigul pus în evidență de acest applet? (formula)

Răspuns 1

G = câștigul obținut datorită MPPT

$$G = \frac{P_{\text{transC}} - P_{\text{transNC}}}{P_{\text{transNC}}}$$

P_{transC} = Puterea transmisă cu convertor MPPT

P_{transNC} = Puterea transmisă fără convertor MPPT

2 • Pentru fiecare temperatură între 0 și 75°C {0°C ; 25°C; 50°C; 75°C}, citiți pe applet-ul de mai sus câteva valori (raport de transformare f și rezistență de sarcină R) și câștigul aferent, apoi trageți concluziile asupra valorilor care permit găsirea câștigului optim.

$T = 0^\circ\text{C}$

$R = 0,8 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 289,1\%$

Conform applet-ului:

- $R = 0,8 \Omega$; $f = 0,51$ cu câștigul $G = 275,5\%$
- $R = 0,8 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G_{opt} = 289,1\%$
- $R = 0,8 \Omega$; $f = 0,52$ cu câștigul $G = 262,6\%$

Dar dacă R este diferită de $0,8 \Omega$:

- $R = 0,9 \Omega$, $G_{opt} = 274,1\%$ cu $f = 0,5$
- $R = 1 \Omega$, $G_{opt} = 243,4\%$ cu $f = 0,5$
- $R = 2 \Omega$, $G_{opt} = 12,2\%$ cu $f = 0,5$

$T = 25^\circ\text{C}$

$R = 0,6 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 294\%$

Conform applet-ului:

- $R = 0,6 \Omega$; $f = 0,51$ cu câștigul $G = 280\%$
- $R = 0,6 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G_{opt} = 294\%$
- $R = 0,6 \Omega$; $f = 0,52$ cu câștigul $G = 266,8\%$
- $R = 1 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 192,9\%$
- $R = 1,7 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 21,5\%$

$T = 50^\circ\text{C}$

$R = 0,2 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 299,4\%$

Conform applet-ului:

- $R = 0,2 \Omega$; $f = 0,51$ cu câștigul $G = 283,9\%$
- $R = 0,2 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G_{opt} = 299,4\%$
- $R = 0,2 \Omega$; $f = 0,52$ cu câștigul $G = 269,3\%$
- $R = 1 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 139,7\%$
- $R = 1,6 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 7,4\%$

$T = 75^\circ\text{C}$

$R = 0,2 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 299,4\%$

Conform applet-ului:

- $R = 0,2 \Omega$; $f = 0,51$ cu câștigul $G = 283,9\%$
- $R = 0,2 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G_{opt} = 299,4\%$
- $R = 0,2 \Omega$; $f = 0,52$ cu câștigul $G = 269,3\%$
- $R = 1 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 139,7\%$
- $R = 1,6 \Omega$; $f = 0,5$ cu câștigul $G = 7,4\%$

3 • Care este utilitatea sistemului MPPT pentru diferite temperaturi?

Răspuns 3

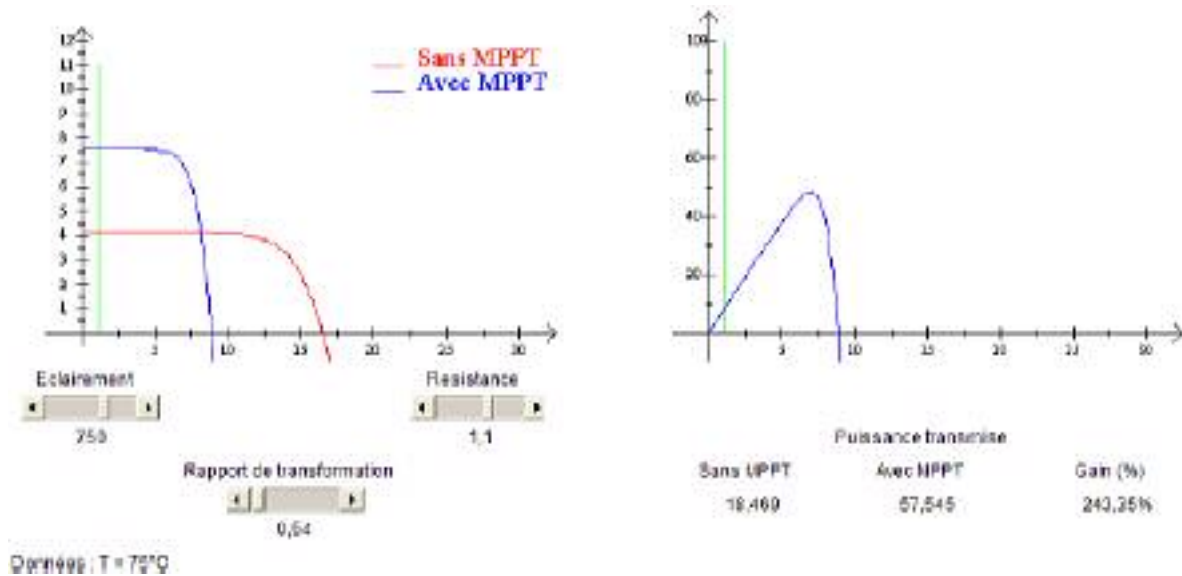
Se observă că la orice temperatură, este posibil să se obțină un câștig maxim. Aceasta datorită posibilității modificării lui f . Dar ce reprezintă f ? f reprezintă sistemul MPPT, respectiv, în permanență, sistemul MPPT se autoreglează pentru a forța sistemul să funcționeze la puterea sa maximă, deci cu câștig maxim.

Mai mult, se observă că este preferabil să se funcționeze, pentru o iluminare constantă, la o temperatură ridicată și rezistență mică, deoarece câștigul este mai mare. f este atunci mic.

b) Experimente pentru diferite valori ale iluminării.

Se presupune că se funcționează cu sistem MPPT, $f = 0,5$, care debitează pe o rezistență $R = 0,5 \Omega$, la temperatura $T = 75^\circ\text{C}$.

1 • Conform applet-ului de mai jos, care este legea de variație a câștigului în funcție de iluminare? Evidențiați punctele în care câștigul are valoarea(rile) maximă(e) și iluminarea(ările) aferentă(e).



Răspuns 1

- Pentru $E = 1000 \text{ W/m}^2$, câștigul $G = 299,4\%$
- Pentru $E = 1000 \text{ W/m}^2$ sau pentru $E < 1000 \text{ W/m}^2$, câștigul G este în permanență egal cu $299,4\%$

Observație: Modificând cursorul iluminării, se observă că pentru $E \leq 750 \text{ W/m}^2$, tensiunea fără convertor este nulă, ceea ce înseamnă că nu se poate determina câștigul (conform expresiei câștigului).

2 • Care este utilitatea sistemului MPPT pentru diferite iluminări?

Răspuns 2

Iluminarea are o influență foarte mică asupra câștigului. Din contră, încă o dată, reglajul raportului de transformare permite obținerea câștigului maxim. În consecință, sistemul MPPT este indispensabil în acest montaj pe rezistență.

Concluzia Laboratorului 2

Concluzie

Datorită celor două experimente și ținând cont de limitările cursoarelor applet-elor, se poate observa că sistemele MPPT suscită un interes major, atunci când apar următorii factori:

- Consumul de energie pe o rezistență de sarcină;
- Iluminare variabilă în regiunea instalării;
- Temperatură variabilă în timpul utilizării.

Se pare că sistemele MPPT par a fi indispensabile în cazul instalării panourilor solare. În sfârșit, pentru a se obține rezultate bune, este mai bine să se funcționeze la temperaturi ridicate și iluminare mare și să se debiteze pe o rezistență care să constituie o sarcină redusă (ori, la alimentarea unei locuințe, rezistențele de sarcină sunt numeroase; aceasta este problema! De exemplu, un bec înseamnă o rezistență de 882 Ω).

LV 3: Conectarea unui panou la o baterie care are o rezistență internă

Scopul lucrării: Studiul comportării circuitului cu sistem MPPT care debitează pe o baterie ce are o anumită rezistență internă

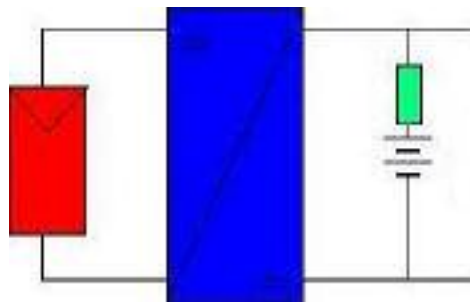
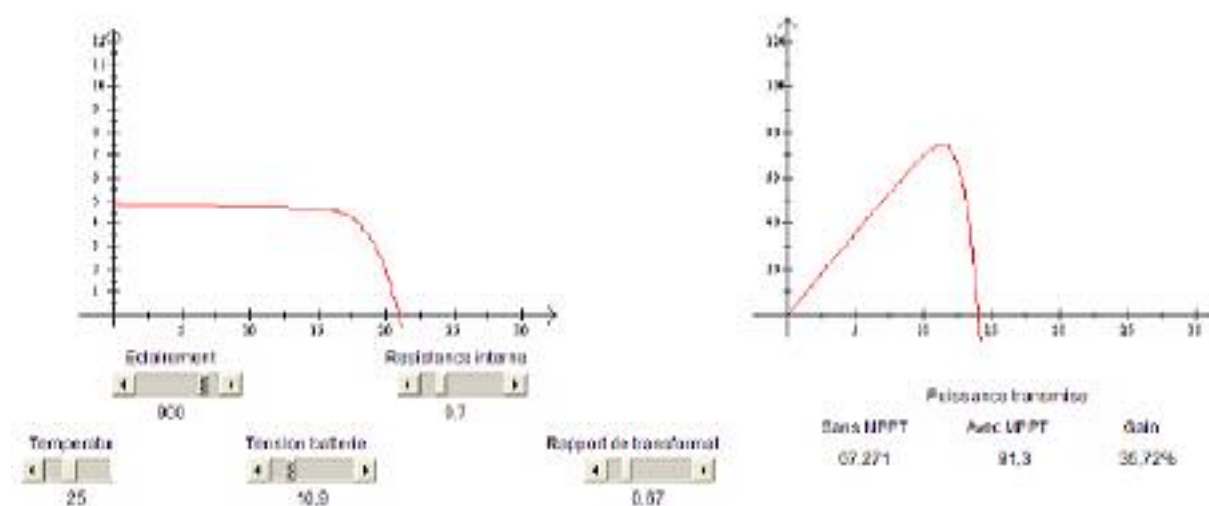


Figura 4: Schema de montaj cu baterie și rezistență internă.



În aceeași manieră ca și în cazul laboratoarelor anterioare, analizați comportarea montajului, apoi trageți concluziile privind influența diferitelor componente și a factorilor externi.

Concluzie

Dacă se presupune că bateria este de 12 V și că se funcționează fără MPPT (raport de transformare = 0), puterea maximă transmisă (91,7 W) este obținută pentru:

- iluminare maximă de 1000 W/m²;
- temperatură de 0°C;
- rezistență internă de 1,4 Ω.

Dacă se funcționează cu MPPT, se observă că în condiții normale de temperatură și de iluminare (25°C, 950 W/m²) utilizarea sistemului MPPT este indispensabilă pentru optimizarea puterii transmise. Și aici, o iluminare importantă, permite obținerea celor mai bune rezultate. De asemenea, valoarea rezistenței interne este importantă. Se observă și că, pe măsură ce temperatura crește, puterea transmisă scade.

Totuși, sistemul MPPT și rezistența internă constituie factori de câștig în utilizarea panourilor fotoelectrice în condiții normale de exploatare.