



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2020 00287

(22) Data de depozit: 26/05/2020

(41) Data publicării cererii:
29/11/2021 BOPI nr. 11/2021

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN
CLUJ-NAPOCA, STR. MEMORANDUMULUI
NR.28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:
• MUNTEANU RADU ADRIAN,
STR.ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL.LAMA C,
ET.7, AP.29, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;

• DULF EVA HENRIETTA, STR.LIVEZII
NR.28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• FEȘȚILĂ CLEMENT, STR. SCORȚĂRIILOR
NR.36, AP. 17, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• MUNTEANU RADU IOAN,
STR. ALEXANDRU VLAHUȚĂ, BL. LAMĂ C,
SC. 2, AP. 69, CLUJ NAPOCA, CJ, RO

(54) REGULATOR EXTREMAL ELECTRONIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un regulator extremal electronic utilizat la controlul funcționării panourilor fotovoltaice în punctul de putere maximă, pentru a le asigura acestora o eficiență ridicată în funcționare. Regulatorul conform invenției cuprinde un generator (1) care produce un semnal de perturbație triunghiular care este aplicat la comanda unui convertor (7) electronic de putere, concomitent cu două impulsuri scurte, sincronizate cu semnalul triunghiular, efectele perturbației fiind sesizate cu ajutorul unui traductor (9) de putere a cărui semnal de ieșire este memorat în două circuite (2, 3) de eșantionare și reținere, în momente succesive alternative, comandate de impulsurile generatorului (1), iar semnalul rezultat prin scăderea semnalelor memorate în circuitele (2, 3) de eșantionare și reținere este aplicat unui regulator (4) integrator uzual pentru a produce un semnal intermediar de control care se va însuma cu semnalul triunghiular, obținându-se astfel semnalul de comandă pentru convertorul (7) electronic ce va asigura, în acest mod, funcționarea panoului fotovoltaic în punctul de putere maximă.

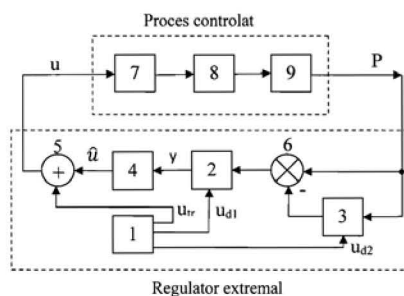


Fig. 1

Revendicări: 1
Figuri: 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 222 00 287
Data depozit 2.6 -05- 2020.

W

Regulator extremal electronic

Descriere

Invenția se referă la un regulator extremal electronic utilizat la controlul funcționării panourilor fotovoltaice în punctul de putere maximă (PPM), pentru a le asigura acestora o eficiență ridicată în funcționare.

Panourile fotovoltaice convertesc direct energia solară în energie electrică, dar dependența statică ($I=f(U)$) este neliniară, așa încât caracteristica de putere ($P=f(U)$) prezintă un punct de extrem (PPM = punct de putere maximă), având caracter neunivoc. La o putere instantanee mai mică decât cea maximă ($P_1 < P_{PPM}$), pentru atingerea extremului (funcționare justificată din punct de vedere economic), este necesară creșterea tensiunii, dar apare posibilitatea ca, pentru o altă valoare ($P_2 < P_{PPM}$), pentru a ajunge la (PPM), să fie necesară scăderea tensiunii. Adaptarea parametrilor panourilor fotovoltaice la parametrii consumatorului necesită intercalarea unor convertoare electronice de putere convenționale. Regulatorul extremal elaborează mărimea de comandă pentru convertor, în scopul funcționării în (PPM), indiferent de situația diferitelor mărimi perturbatoare (nivel de radiație solară și temperatură).

Datorită importanței funcționării în (PPM), au apărut numeroase strategii, metode, procedee și echipamente pentru controlul corespunzător al convertoarelor, însă, de fiecare dată, alături de avantaje au fost consemnate limitări și dezavantaje.

În (Hala J. El-Khozondar, Rifa J. El-Khozondar, Khaled Matter & Teuvo Suntio, A review study of photovoltaic array maximum power tracking algorithms, *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 2016, 3, 3) se identifică opt categorii de strategii de bază pentru echipamentele de control al convertoarelor de putere, unele cu caracter aplicativ imediat, altele cu caracter teoretic.

Din punct de vedere matematic, un regulator extremal crește caracterul neunivoc al caracteristicii $P=f(U)$, rezultând o caracteristică de comandă univocă a convertorului electronic de putere.

Criteriile de clasificare ale principiilor și metodelor de realizare a reguletoarelor extreme se referă la:

- viteza de convergență spre (PPM);
- performanțele funcționării în (PPM);



- exigențele impuse traductoarelor (curent, tensiune, putere, etc.);
- robustețea stabilității și prezența perturbațiilor;
- simplitatea constructivă;
- aspectele economice.

Metodele de tip ”perturbație și observație (P&O)” sunt cele mai frecvente în aplicații industriale, mai ales după fundamentarea teoretică din (Miroslav Krstic, Hsin-Hsiung Wang, Stability of extremum seeking feedback for general nonlinear dynamic systems, *Automatica*, 2000, 36, 595-601). Astfel, se injectează un semnal sinusoidal de frecvență relativ ridicată în comanda convertorului de putere și se urmărește efectul acestei ”perturbații” la ieșirea unui traductor de putere, prin separarea unei componente alternative de aceeași frecvență. Defazajul între semnalul injectat și componenta alternativă a puterii sesizate de traductorul de putere evidențiază poziția punctului instantaneu de funcționare a panoului fotovoltaic în funcție de (PPM). Punctul instantaneu de funcționare este definit prin valorile instantanee ale curentului, tensiunii și puterii aferente panoului fotovoltaic. De exemplu, pentru ($P < P_{PPM}$), la un defazaj nul, rezultă că punctul instantaneu de funcționare este poziționat în stânga punctului (PPM) și, prin urmare, va fi necesar un semnal de comandă pozitiv pentru convertorul electronic de putere, în scopul creșterii tensiunii panoului fotovoltaic, pentru a asigura evoluția spre extrem (maxim). La defazaj egal cu π , din nou, puterea generată este mai mică decât puterea maximă, dar punctul instantaneu de funcționare este poziționat în dreapta punctului (PPM) și, prin urmare, trebuie generat un semnal de comandă negativ pentru a se ajunge la (PPM). La funcționarea în (PPM) semnalul de comandă are valoare nulă. Multiplicatorul dintre cele două semnale sinusoidale este elementul cel mai scump și sursa cea mai importantă de erori. Pe lângă prețul ridicat, se consemnează posibilitatea unei funcționări instabile, în sensul divergenței față de extrem.

Asigurarea unei stabilități mai sigure este posibilă prin implicarea funcției Liapunov în strategia din (R. Leyva et al., MPPT Based on Sinusoidal Extremum-Seeking Control in PV Generation, *International Journal of Photoenergy*, 2012, <https://doi.org/10.1155/2012/672765>), dar cu prețul unui regulator extremal mai complicat și mai greu de acceptat în variantele industriale ale surselor fotovoltaice.



Prin folosirea unor semnale "perturbatoare" dreptunghiulare sau triunghiulare (Raafat Safanah, Ali Shahad, The Selection of Dither Signal in Extremum Seeking Control of 3 DOF Helicopter System, *Zaytoonah University International Engineering Conference on Design and Innovation in Sustainability*, 2014) alături de cele sinusoidale, se permit performanțe mai bune ale echipamentului fotovoltaic, dar cu aceeași complicitate în implementare.

Realizarea reguletoarelor extreme se bazează (Luigi Egiziano et al., Controller apparatus with maximum power point tracking for controlling an electric power generation system based on photovoltaic sources, controlling method and related electric power generation system, EP2422255B1, 2009) pe conceptul exploatării în două secțiuni ale panourilor și ale convertoarelor, semnalul de comandă pentru convertoare rezultând prin compararea semnalelor generate de cele două secțiuni.

Un alt concept este prezentat în (Sayed Ali Khajehoddin et al., Maximum power point tracking for a power generator, US8612058B2, 2011), fiind bazat pe memorarea în momente succesive a valorilor curentului și tensiunii. Puterea este calculată, analogic sau numeric, iar evoluția acesteia în momente succesive permite generarea semnalului de comandă pentru convertorul electric. Marele dezavantaj este dat de sensibilitatea ridicată la zgomote și de faptul că momentele măsurătorilor sunt alese arbitrar.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în concepția unor reguletoare care oferă creșterea eficienței panourilor fotovoltaice, asigurând o funcționare sigură și o stabilitate robustă, la un cost scăzut.

Creșterea eficienței panourilor fotovoltaice justifică, și din punct de vedere economic, soluția includerii reguletoarelor extreme și în echipamentele din limita inferioară de putere (de ordinul zecilor de wați), considerate cele mai numeroase de pe piață. Menționăm că, la ora actuală, reguletoarele extreme se justifică economic doar la puteri de peste 5-10 kW, necesitând și implementarea unor algoritmi de funcționare cât mai robuști.

Reguletoarelor extreme, potrivit invenției, este alcătuit dintr-un generator de sincronizare care produce un semnal de perturbație triunghiular care este aplicat la comanda convertorului electronic de putere, concomitent cu două impulsuri scurte, sincronizate cu semnalul triunghiular, iar efectele perturbației sunt sesizate printr-un



traductor de putere a cărui semnal de ieșire este memorat, în momente succesive alternative comandate de impulsurile generatorului, în două circuite de eșantionare și reținere ("sample and hold") unde, prin scăderea semnalelor memorate în aceste circuite de eșantionare și reținere, rezultă un semnal care este aplicat unui regulator integrator uzual pentru a produce semnalul intermediar de control, care se va însuma cu semnalul triunghiular, obținându-se astfel semnalul de control pentru convertorul electronic care asigură, în acest mod, funcționarea panoului fotovoltaic în punctul de putere maximă.

Regulatorul extremal, potrivit invenției, garantează o funcționare optimă și o stabilitate robustă a echipamentelor fotovoltaice prin combinarea strategiilor "perturbație și observație" și "memorare succesivă" într-o structură simplă și compactă, realizabilă la preț redus și într-un mod mult mai direct.

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției în legătură cu Figura 1, care conține schema regulatorului extremal și procesul controlat.

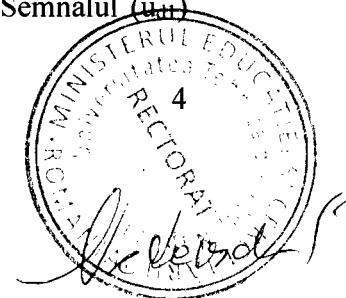
Regulatorul extremal constă din:

- generatorul de sincronizare **1** care produce semnalul triunghiular perturbator (u_{tr}) și cele două comenzi pentru circuitele de eșantionare și reținere (u_{d1} , u_{d2});
- două circuite (uzual circuite integrate) de memorare (eșantionare și reținere - S&H) **2** și **3**;
- un regulator convențional de tip integrator **4**, care generează la ieșire un semnal de tensiune (\hat{u});
- un element de însumare semnale **5** și unul de scădere semnale **6**.

La ieșirea regulatorului extremal regăsim semnalul de comandă (u) pentru convertorul electronic de putere aferent panoului fotovoltaic.

Procesul controlat constă din convertorul electronic de putere **7**, panoul fotovoltaic **8** și traductorul puterii debitate **9** (conform brevet OSIM 128666/2018 al autorilor prezentei propuneri).

Evoluția în timp a semnalelor (u_{tr} , u_{d1} , u_{d2}) produse de generatorul de semnal este prezentată în legătură cu Figura 2. Semnalul (u_{tr}) este semnalul perturbator triunghiular injectat în comanda convertorului electronic de putere, semnalul (u_{d1}) este un impuls care apare în momentul maximului semnalului triunghiular (A), iar semnalul (u_{d2}) este un impuls care apare în momentul minimului semnalului triunghiular ($-A$). Semnalul (u_{tr})



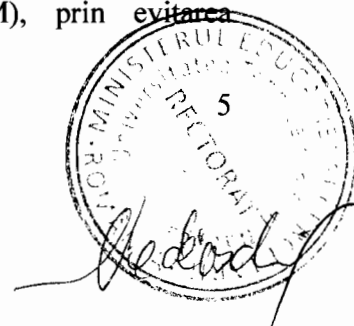
comandă circuitul de memorare 2 iar semnalul (u_{d2}) comandă circuitul de memorare 3. Perioada semnalului triunghiular s-a notat cu (t_g).

Modul de funcționare a regulatorului extremal este prezentat în legătură cu Figura 3, rolul regulatorului extremal fiind acela de a genera un semnal de tensiune (u), de o amplitudine controlată, cu o polaritate pozitivă la o funcționare în "stânga extremului" (PPM), și cu o polaritate negativă pentru o funcționare în "dreapta extremului" (PPM). Amplitudinea semnalului este un detaliu de acord al dinamicii funcționării regulatorului extremal, adică al vitezei cu care se poate atinge punctul de extrem la apariția perturbațiilor. La o funcționare în „stânga extremului”, la creșterea tensiunii (u) va crește puterea debitată, Figura 3.a. Valoarea memorată de circuitul (S&H)₁, componenta 2 din Figura 1, element comandat de semnalul (u_{d1}) generat de componenta 1, va fi mai mare decât valoarea memorată de circuitul (S&H)₂, componenta 3 din Figura 1, element comandat de semnalul (u_{d2}) generat de componenta 1, așa încât diferența realizată de elementul scăzător 6 a semnalelor din Figura 1 va fi pozitivă. Această diferență reprezintă semnalul (y) din Figura 1. Dacă punctul instantaneu de funcționare este poziționat în dreapta punctului (PPM), puterea scade la creșterea tensiunii, Figura 3.b, iar valoarea generată de elementul scăzător 6 a semnalelor din Figura 1 - valoarea semnalului (y) - va fi negativă. În consecință, dacă punctul instantaneu de funcționare este în stânga punctului (PPM), convertorul de putere primește o comandă pozitivă pentru a atinge (PPM), iar dacă poziția punctului instantaneu de funcționare este în dreapta punctului PPM, este necesar un semnal de comandă negativ pentru a ajunge în (PPM). Un semnal de comandă pozitiv al convertorului duce la creșterea tensiunii generate, iar un semnal de comandă negativ duce la scăderea tensiunii echipamentului fotovoltaic.

Semnalul (y), generat de elementul 2, este aplicat unui controller integrator convențional 4. Semnalul intermediar de control (\hat{u}) generat de acest controller integrator este însumat în elementul 5 cu semnalul triunghiular (u_{tr}) generat de elementul 1. Semnalul de la ieșirea sumatorului 5 constituie semnalul de comandă (u) pentru convertorul electronic de putere aferent panoului fotovoltaic.

Prin aplicarea invenției rezultă următoarele **avantaje**:

- simplificarea construcției și reducerea prețului regulatorului extremal care asigură funcționarea panourilor fotovoltaice în (PPM), prin evitarea



multiplicatorului de semnale și prin folosirea unor circuite electronice uzuale de preț redus;

- creșterea eficienței panourilor fotovoltaice de putere medie și redusă (de ordinul zecilor de wați) cu până la 30% (în funcție de condițiile de funcționare), devenind astfel justificată atașarea regulatorului extremal la convertorul electronic de putere;
- creșterea eficienței panourilor fotovoltaice de orice putere, datorită stabilității robuste a algoritmului implementat în regulatorul extremal, potrivit invenției.



Regulator extremal electronic Revendicări

1. Regulator extremal electronic care controlează funcționarea panourilor fotovoltaice în punctul de putere maximă (PPM) datorită injectării în comanda convertorului electronic de putere (7) aferent panoului fotovoltaic (8), a unei perturbații cu evoluție triunghiulară (u_{tr}), generată de un generator de sincronizare (1), concomitent cu două impulsuri scurte generate de același generator (u_{d1} – în momentul maximului semnalului triunghiular, u_{d2} - în momentul minimului semnalului triunghiular), sincronizate cu semnalul triunghiular, și **caracterizat prin aceea că** efectele perturbației triunghiulare (u_{tr}) sunt sesizate de către un traductor de putere (9) și sunt memorate, în vederea obținerii semnalului de control (u), în două circuite de eșantionare și reținere (2, 3), activate tot de către generatorul de sincronizare (1), iar diferența dintre valorile memorate în cele două circuite de eșantionare și reținere (2, 3), realizată în elementul scăzător (6), se integrează cu ajutorul unui regulator integrator convențional (4), la ieșirea căruia se obține semnalul intermediar de control (\hat{u}), care se va însuma, în elementul sumator (5), cu semnalul triunghiular (u_{tr}) generat de elementul (1), obținându-se astfel semnalul de comandă al convertorului electronic (7), acesta primind o comandă pozitivă pentru a atinge (PPM) dacă punctul instantaneu de funcționare este în stânga (PPM), sau o comandă negativă pentru a atinge (PPM) dacă punctul instantaneu de funcționare este în dreapta (PPM), asigurându-se, în acest mod, funcționarea panoului fotovoltaic în punctul de putere maximă.





Regulator extremal electronic Desene

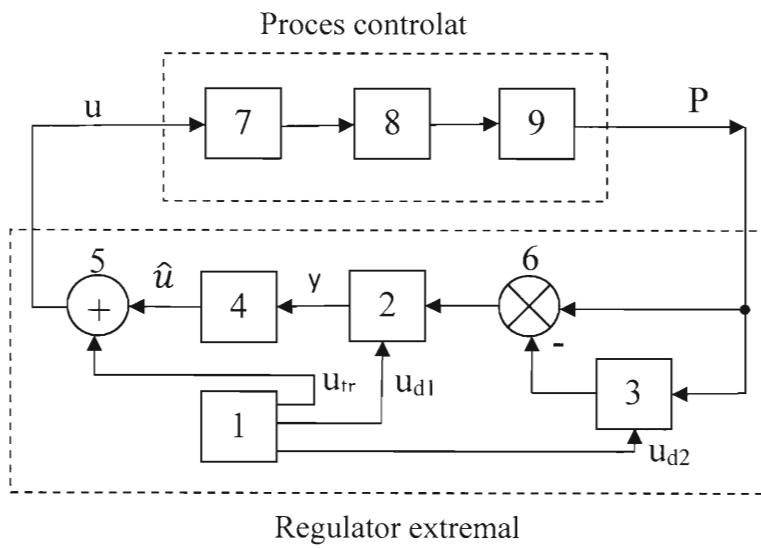


Figura 1. Structura regulatorului extremal și a procesului controlat



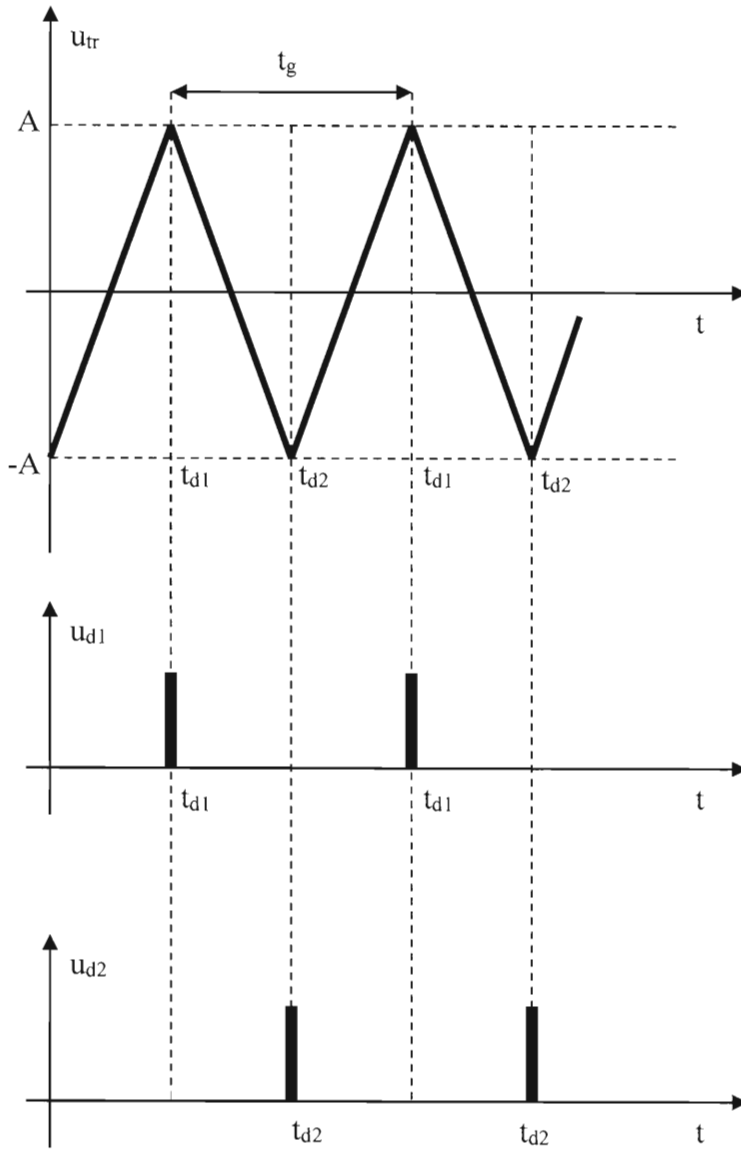


Figura 2. Corelația între semnalele u_{tr} , u_{d1} și u_{d2} produse de generatorul de sincronizare



Gedeasa

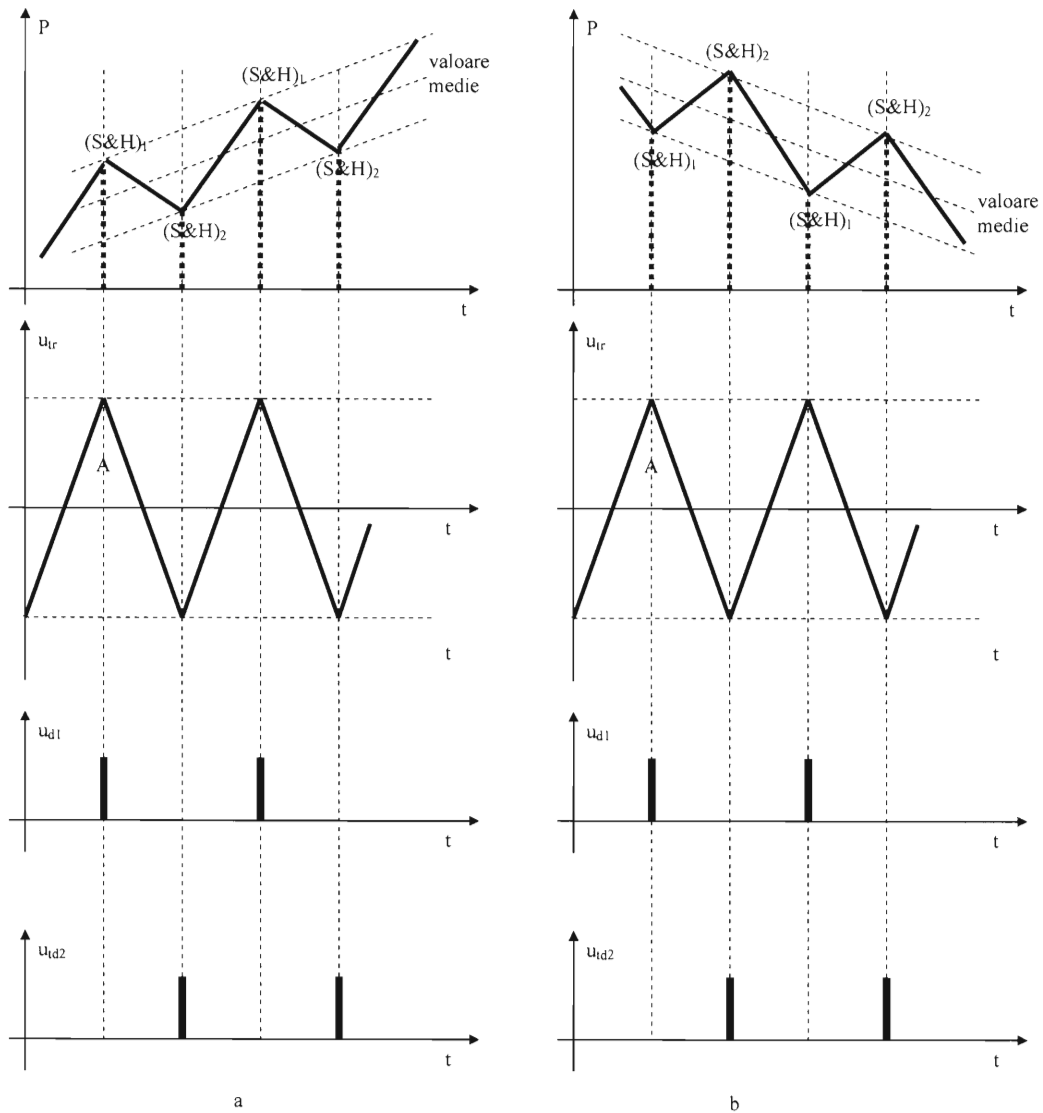


Figura 3. Funcționarea controller-ului extremal, potrivit invenției: a) funcționare în stânga punctului de putere maximă (PPM); b) funcționare în dreapta punctului de putere maximă (PPM)