

# Optimizarea Sistemelor Fotovoltaice Utilizând Algoritmi MPPT Îmbunătățiți și Converteoare Boost

Autor: Gabriel Crișan

Conducător științific: Asis. Dr. Ing. Mircea Șușcă

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

18 Iulie 2024



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

# Continutul lucrarii

**1** Context și Obiectivele lucrării

**2** Analiza și Implementare

**3** Rezultate

**4** Concluzii și Perspective

## 1 Context și Obiectivele lucrării

## 2 Analiza și Implementare

## 3 Rezultate

## 4 Concluzii și Perspective

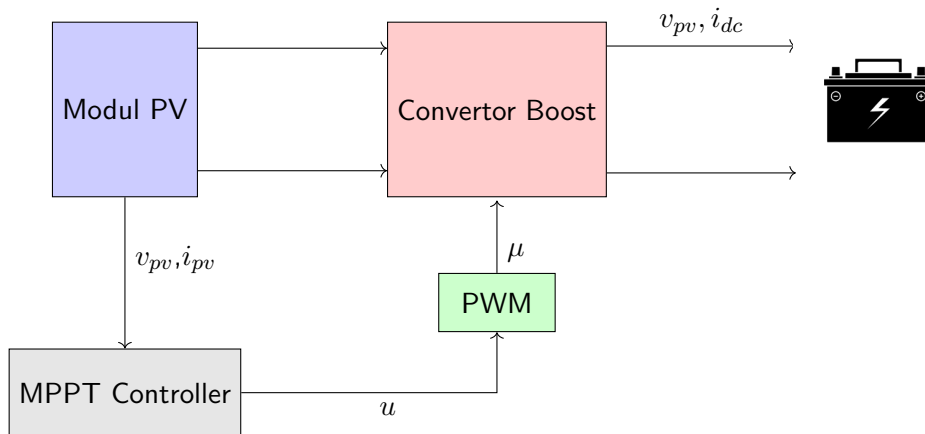
## Context

- 1 Energia solară este sectorul cu cea mai rapidă creștere dintre sursele regenerabile.
- 2 Plasează lucrarea în contextul tranziției globale către surse de energie regenerabilă.
- 3 Contribuie la eforturile de creștere a sustenabilității și eficienței energetice.

## Obiective

- 1 Implementarea de modele pentru componentele unui sistem fotovoltaic.
- 2 Implementarea și testarea algoritmilor de urmărire a punctului de putere maximă.
- 3 Analiza rezultatelor și a performanțelor sistemului proiectat.

# Diagrama Sistemului Fotovoltaic



1 Context și Obiectivele lucrării

2 Analiza și Implementare

3 Rezultate

4 Concluzii și Perspective

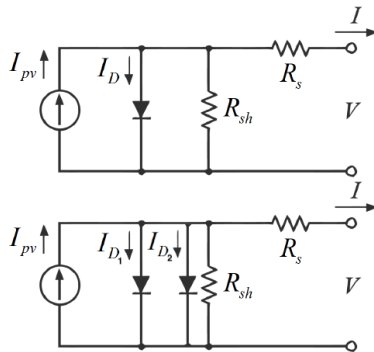
# Modulul fotovoltaic

## Modelul mono-diodă

$$I = I_{PV} - I_D \left[ \exp \left( \frac{V + IR_S}{aV_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

## Modelul dubla-diodă

$$I = I_{PV} - (I_{D1} + I_{D2}) \left[ \exp \left( \frac{V + IR_S}{aV_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$



## Parametrii modului

Parametru	Valoare
Putere nominală [W]	250
Curent de scurtcircuit [A]	8.61
Tensiune la mers in gol [V]	38.41
Coeficient de temperatură al $I_{sc}$ ( $K_i$ ) [%/K]	0.05
Coeficient de temperatură al $V_{oc}$ ( $K_v$ ) [%/K]	-0.32
Rezistența serie [Ohm]	0.22
Rezistența sunt [Ohm]	415
Numărul de celule în serie	60
Factorul de idealitate al diodei (A)	1.3
Temperatura de referinta [K]	298
Iradierea solară de referință [ $W/m^2$ ]	1000

**Tabela:** Parametrii panoului fotovoltaic TATA Power TP250



# Simularea modelului

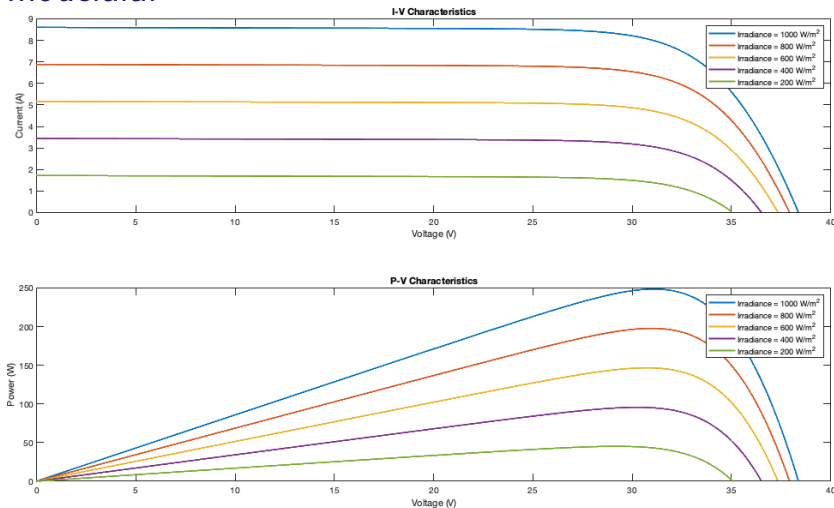


Figura: Condiții de temperatură constantă (25°C) și radiație solară variabilă

# Simularea modelului

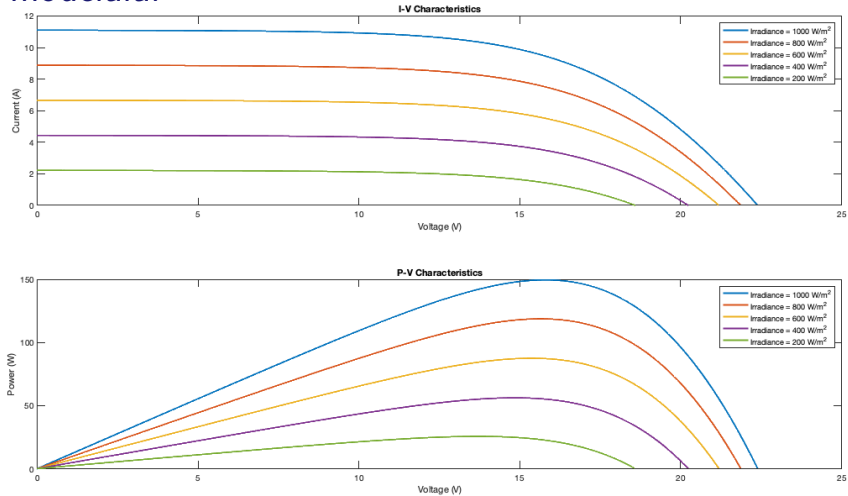
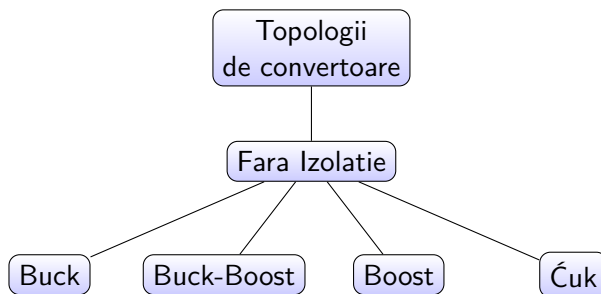
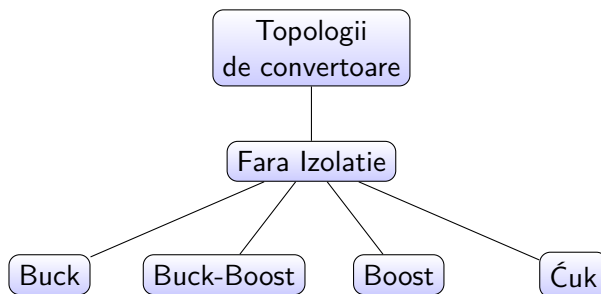


Figura: Condiții de temperatură constantă (75°C) și radiație solară variabilă

# Surse de Alimentare in Comutație



# Surse de Alimentare in Comutație



Tip	Interval Putere	Relație intrare-iesire
Buck	0–1,000	$0 \leq Out \leq In ; V_2 = DV_1$
Boost	0–5,000	$Out \geq In ; V_2 = \frac{1}{1-D} V_1$
Buck–boost	0–150	$Out \leq 0 ; V_2 = -\frac{D}{1-D} V_1$
Ćuk	0–150	$Out \leq 0 ; V_2 = -\frac{D}{1-D} V_1$

## Convertorul *Boost*

- În scopul acestei aplicații a fost aleasă topologia *Boost* pentru convertor.
- Implementarea convertorului a fost realizată pe baza modelului matematic.
- Blocul *Matlab Function* din Simulink a fost ales pentru a implementa ecuațiile.

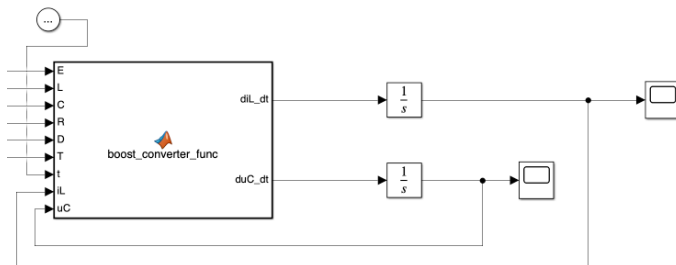


Figura: Modelul convertorului Boost în Simulink

# Convertorul Boost

Intervalul I: tranzistor saturat, diodă blocată

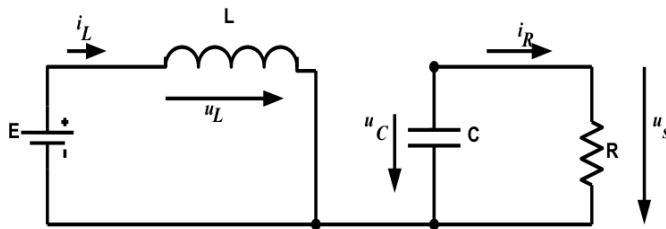


Figura: Circuitul echivalent al convertorului boost pentru tranzistor saturat

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{E}{L} \quad (1)$$

$$\frac{du_s}{dt} = -\frac{u_s}{R \cdot C} \quad (2)$$

# Convertorul Boost

Intervalul II: tranzistor blocat, diodă în conducție

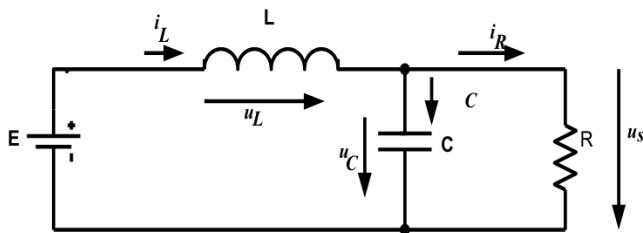


Figura: Circuitul echivalent al convertorului boost pentru tranzistor blocat

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{E - u_s}{L} \quad (3)$$

$$\frac{du_s}{dt} = \frac{1}{C} \left( i_L - \frac{u_s}{R} \right) \quad (4)$$

# Convertorul Boost

Intervalul III: tranzistor blocat și diodă blocată

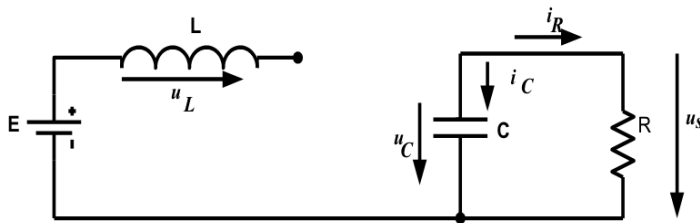


Figura: Circuitul echivalent al convertorului boost pentru regim întrerupt

$$\frac{di_L}{dt} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{du_s}{dt} = -\frac{u_s}{R \cdot C} \quad (6)$$



## Proiectarea Convertorului Boost

- Condiția pentru  $i_{L_{\min}} \geq 0$ :

$$\frac{2L}{R \cdot T} \geq D \cdot (1 - D)^2 \quad (7)$$

- Valoarea minimă a inductanței:

$$L_{\min} = \frac{R \cdot T}{2} \cdot D \cdot (1 - D)^2 \quad (8)$$

- Raportul de transfer în tensiune ( $M$ ):

$$M = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot D^2 \cdot T \cdot R}{2L}}}{2} \quad (9)$$

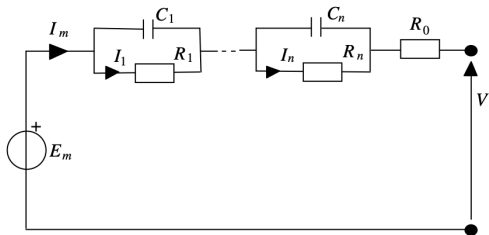
- Condensatorul de filtraj:

$$C = \frac{(I_{L_{\max}} - I_s)^2 \cdot T(1 - D)}{2(I_{L_{\max}} - I_{L_{\min}})} \quad (10)$$

# Bateria

## Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

### Circuitul echivalent *Thévenin* al bateriei:



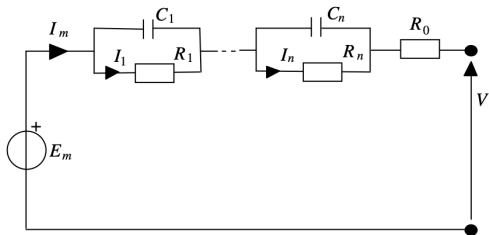
# Bateria

Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

**Sarcina extrasă:**

$$Q_e(t) = \int_0^t I_m(\tau) d\tau \quad (11)$$

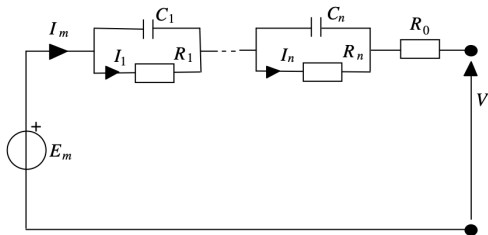
**Circuitul echivalent *Thévenin* al  
bateriei:**



# Bateria

## Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

### Circuitul echivalent *Thévenin* al bateriei:



### Sarcina extrasă:

$$Q_e(t) = \int_0^t I_m(\tau) d\tau \quad (11)$$

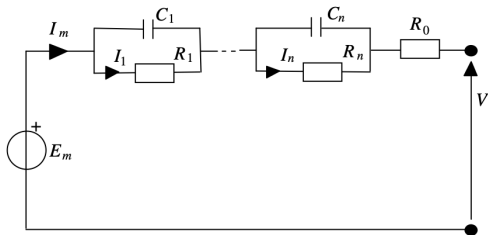
### Calculul SoC (*State of Charge*):

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{C_Q} \int_{t_0}^t \eta_{Coulombic} I(\tau) d\tau \quad (12)$$

# Bateria

## Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

### Circuitul echivalent *Thévenin* al bateriei:



### Sarcina extrasă:

$$Q_e(t) = \int_0^t I_m(\tau) d\tau \quad (11)$$

### Calculul SoC (*State of Charge*):

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{C_Q} \int_{t_0}^t \eta_{Coulombic} I(\tau) d\tau \quad (12)$$

### Calculul tensiunilor:

$$V_{bat} = V_{oc} - u_1 - R_s \cdot I_{bat} \quad (13)$$

$$\frac{du_1}{dt} = -\frac{1}{R_p \cdot C_p} u_1 + \frac{1}{C_p} \cdot I_{bat} \quad (14)$$

# Modelul Bateriei

## Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

- Modelul bateriei a fost implementat în Simulink folosind metoda circuitului echivalent
- Valoarea *SoC* a fost calculată folosind metoda *Coulomb Counting*
- Relația dintre *SoC* și tensiunea la mers în gol *OCV* a fost reprezentată utilizând o tabelă de căutare bidimensională

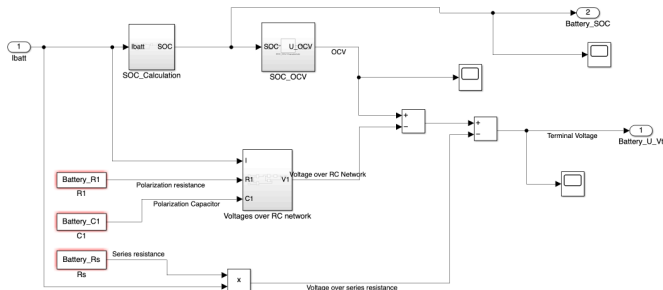
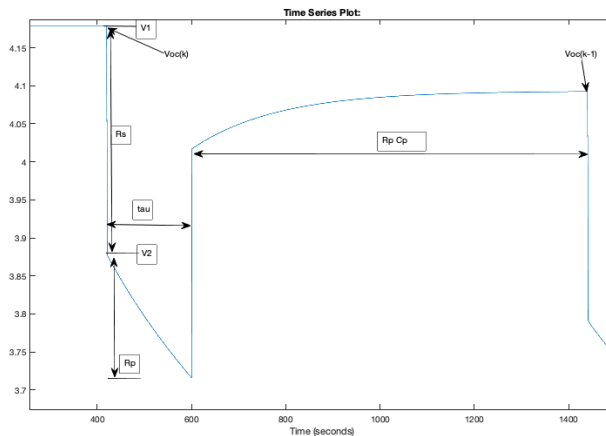


Figura: Modelul bateriei în Simulink

# Determinarea Parametrilor Bateriei

## Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

- Identificarea parametrilor bateriei a fost efectuată utilizând date obținute în urma unor teste de descărcare ale celulei folosite (CC-CV test) <sup>1</sup>
- Valorile parametrilor au fost determinate pe baza unui puls de descărcare reprezentat grafic <sup>2</sup>



<sup>1</sup>G. dos Reis, C. Strange, M. Yadav, and S. Li, “Lithium-ion battery data and where to find it,” Energy and AI, vol. 5, p. 100081, Sep. 2021

<sup>2</sup>M. Ruba, R. Nemes, S. Ciornei, and C. Martis, Parameter Identification, Modeling and Testing of Li-Ion Batteries Used in Electric Vehicles. IntechOpen, Mar. 2020

# Calculul Parametrilor Bateriei

Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

## ■ Rezistența serie:

$$R_s = \frac{V_{OC} - V_1}{I_{bat}} \quad (15)$$

## ■ Rezistența rețelei RC:

$$R_p = \frac{V_2 - V_3}{I_{bat}} \quad (16)$$

## ■ Condensatorul rețelei RC:

$$\tau = R_p \cdot C_p \quad (17)$$



# Determinarea Parametrilor Bateriei

## Bateria ca Sistem de Stocare a Energiei

- Valoarea tensiunii la mers în gol a fost determinată folosind setul de date obținut în urma testului de descărcare completă a celulei
- Aproximarea valorii  $OCV$  a fost realizată folosind o funcție polinomială de ordin șapte
- Valorile decimate au fost apoi trecute în tabela de căutare din Simulink

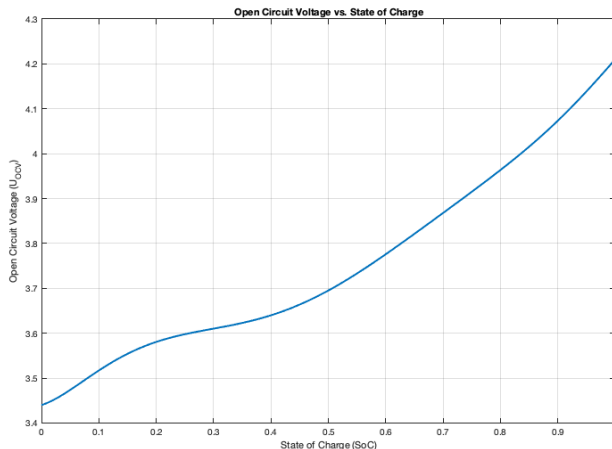
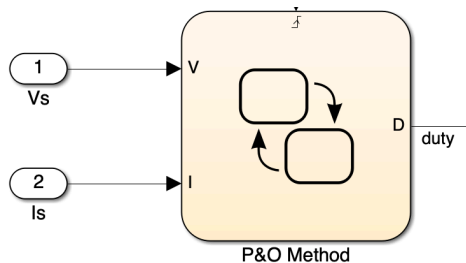


Figura: Relația OCV-SOC

# Implementarea Algoritmilor

- Algoritmii *P&O* și *IncCond* au fost implementați în *Simulink* folosind blocul *Stateflow*
- Pasul de actualizare al factorului de umplere a fost ales suficient de mic pentru a putea urmări punctul de putere maximă
- De asemenea, timpul de execuție a fost luat în considerare în alegerea pasului de actualizare.



# Algoritmul *Perturb and Observe*

---

## Algorithm 1 Perturb and Observe

---

```
1: procedure P&O( $V_{pv}$ ,  $I_{pv}$ )
2:   Input: Tensiune  $V(i)$  și curent  $I(i)$ .
3:   Output: Modifică tensiunea  $V$ .
4:   Măsoară  $V(i)$  și  $I(i)$ .
5:   Calculează puterea  $P(i) = V(i) \cdot I(i)$ .
6:   if  $P(i) - P(i-1) == 0$  then
7:      $V(i+1) = V(i)$ 
8:   else if  $P(i) - P(i-1) > 0$  then
9:     if  $V(i) - V(i-1) > 0$  then
10:      Crește tensiunea
11:    else
12:      Scade tensiunea
13:    end if
14:  else
15:    if  $V(i) - V(i-1) < 0$  then
16:      Crește tensiunea
17:    else
18:      Scade tensiunea
19:    end if
20:  end if
21:  Repetă procesul
22: end procedure
```

---

# Algoritmul *Incremental Conductance*

## Algorithm 2 Incremental Conductance

**procedure** INCCOND( $V_{pv}$ ,  $I_{pv}$ )

**Pasul 1.** Se specifică vectorul inițial,  
 $[D_{init}, D_{min}, D_{max}, \Delta D] = [0.4, 0, 0.8, 0.008]$ .

**Pasul 2.** Stocarea temporară a vectorului  
 $[V_{pv}, I_{pv}, P_{pv}, D]$ .

**Pasul 3.** Calculul puterii PV,  $P_{pv} = V_{pv} \cdot I_{pv}$ .

**Pasul 4.** Introducem o întârziere pentru vectorul  
 $[V_{pv}, I_{pv}, P_{pv}, D]$ .

**Pasul 5.** Verificăm condițiile de operare după cum urmează:

**if**  $\Delta V = 0$  și  $\Delta I = 0$  **then**

$$D_{new} = D_{old}$$

**else if**  $\Delta V = 0$  și  $\Delta I > 0$  **then**

$$D_{new} = D_{old} - \Delta D$$

**else if**  $\Delta V = 0$  și  $\Delta I < 0$  **then**

$$D_{new} = D_{old} + \Delta D$$

**else if**  $\Delta V \neq 0$  și  $\Delta I / \Delta V = -I_{pv} / V_{pv}$  **then**

$$D_{new} = D_{old}$$

**else if**  $\Delta V \neq 0$  și  $\Delta I / \Delta V > -I_{pv} / V_{pv}$  **then**

$$D_{new} = D_{old} - \Delta D$$

**else if**  $\Delta V \neq 0$  și  $\Delta I / \Delta V < -I_{pv} / V_{pv}$  **then**

$$D_{new} = D_{old} + \Delta D$$

**end if**

**Pasul 6.** Limitarea lui  $D$  în intervalul limitelor inferioare și superioare.

**end procedure**

1 Context și Obiectivele lucrării

2 Analiza și Implementare

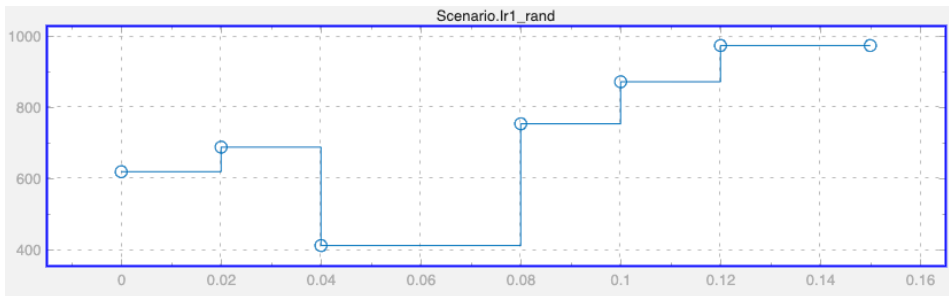
3 Rezultate

4 Concluzii și Perspective

# Semnalul de intrare pentru panoul fotovoltaic

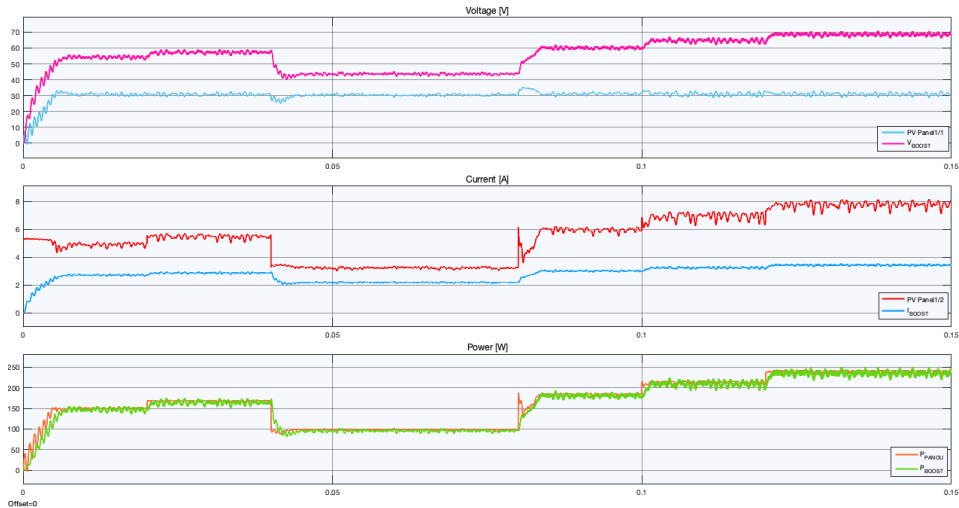
Scenariul realizat in Simulink pentru testarea intregului sistem

- Scenariul a fost realizat cu ajutorul blocului *Signal Editor* din Simulink
- Valorile radiației solare au fost alese pentru a simula condiții meteorologice variabile, asemănator cazului sistemului real



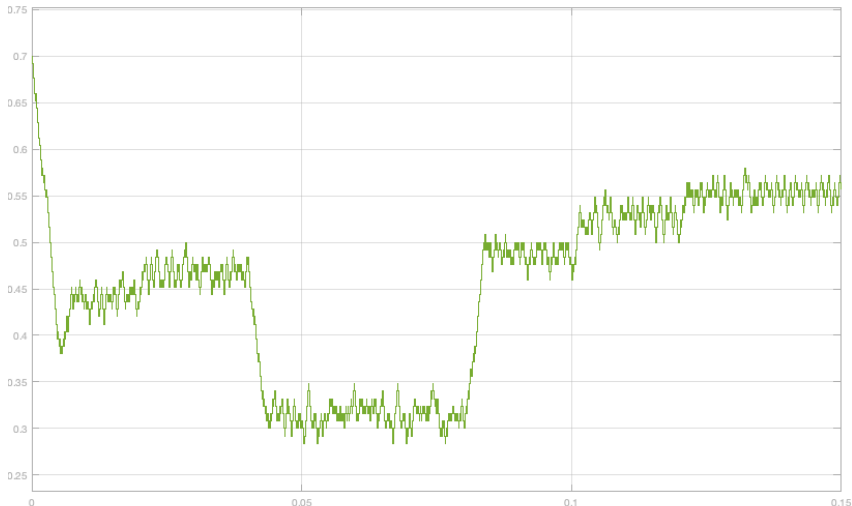
# Rezultatele simulării sistemului fotovoltaic cu algoritmi implementați

Graficele rezultate în urma simulării pentru algoritmul *Perturb and Observe*



# Rezultatele simulării sistemului fotovoltaic cu algoritmi implementați

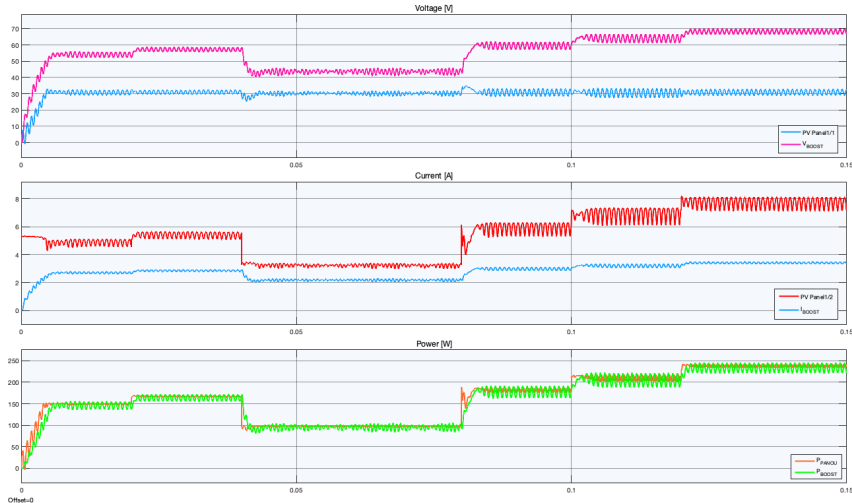
Valoarea factorului de umplere pentru algoritmul *Perturb and Observe*





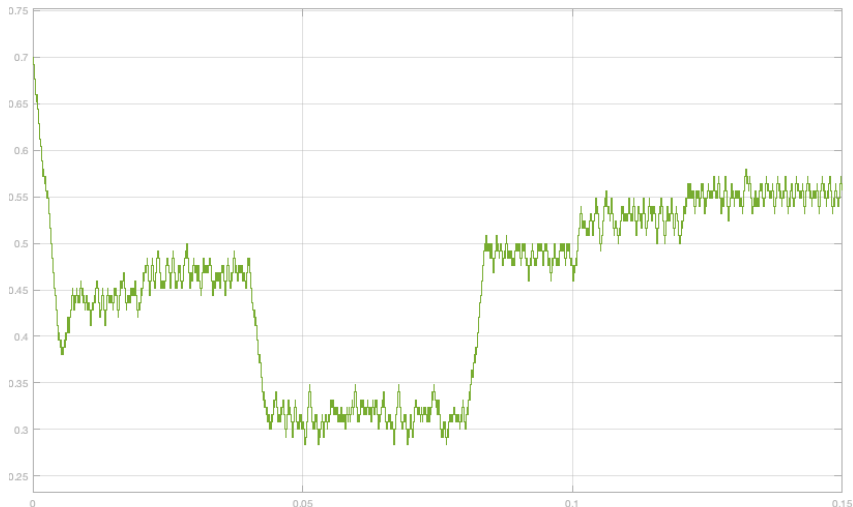
# Rezultatele simulării sistemului fotovoltaic cu algoritmi implementați

Graficele rezultate în urma simulării pentru algoritmul *Incremental Conductance*

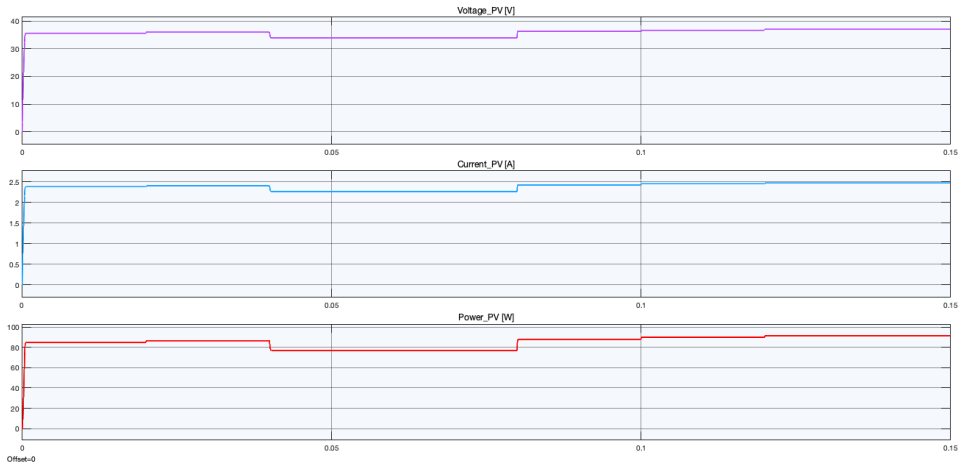


# Rezultatele simulării sistemului fotovoltaic cu algoritmi implementați

Graficele rezultate în urma simulării pentru algoritmul *Incremental Conductance*



# Rezultatele simulării sistemului fotovoltaic fara algoritm de urmarire a punctului de putere maxima



1 Context și Obiectivele lucrării

2 Analiza și Implementare

3 Rezultate

4 Concluzii și Perspective

## Concluzii

- Obiectivele de implementare a modelelor pentru panoul fotovoltaic, convertorul DC-DC și baterie au fost îndeplinite cu succes, permițând o simulare precisă și eficientă a comportamentului sistemului.
- Rezultatele obținute confirmă performanța bună a sistemului, cu urmărirea eficientă a punctului de putere maximă (MPPT). Utilizarea optima a energiei este asigurata.

## Perspective

- Dezvoltarea de algoritmi metaeuristici pentru optimizarea continuă a performanței sistemului fotovoltaic.
- Integrarea sistemului fotovoltaic cu rețeaua de energie electrică și alte surse regenerabile.

# Vă mulțumesc!