

Aproximarea caracteristicii curent-tensiune a diodei semiconductoare utilizând un SLF

Obiective: înțelegerea motivației utilizării SLF ca aproximatori universali, experimentarea legăturii între mulțimile fuzzy de intrare și de ieșire și baza de reguli, înțelegerea operațiilor de fuzzificare/inferență/defuzzificare, realizarea unui SLF complet pentru aproximarea unei funcții date.

Observație: MATLAB/Simulink se accesează online (<https://matlab.mathworks.com/>), prin logare cu credențialele MS Teams (cele de tip nume.prenume@student.utcluj.ro).

Termeni și acronime: *aproximare de funcții, modelare fuzzy.*

○ Sisteme cu logică fuzzy ca aproximatori universali

Una dintre aplicațiile importante ale sistemelor cu logică fuzzy este folosirea lor ca aproximatori de funcții. Fiind dată o funcție grafică $y = f(x)$, care poate fi reprezentată doar aproximativ sub formă analitică, se poate proiecta un sistem cu logică fuzzy având x ca intrare și y ca ieșire, astfel încât între valoarea estimată a lui y , y_{est} , și $f(x)$, există o diferență oricât de mică se dorește, notată e .

$$|y_{est} - f(x)| < e$$

Cu alte cuvinte, sistemul cu logică fuzzy cu intrarea x și ieșirea y este un **aproximator universal de funcții** grafice $y = f(x)$.

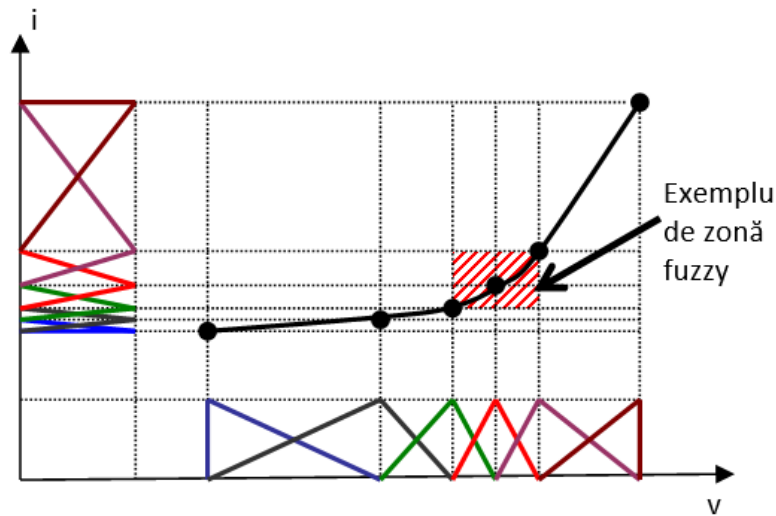
○ Modelarea fuzzy a caracteristicii i-v a diodei semiconductoare

Se dorește aproximarea regiunii directe a caracteristicii statice curent-tensiune (i-v) a unei diode semiconductoare, pe baza curbei i-v a componentei determinate experimental (sau luate din catalog). Sistemul cu logică fuzzy este descris astfel:

- **variabila de intrare** - valorile tensiunii pe diodă la polarizare directă, $v = v_{AK}$, în domeniul [0 mV, 860 mV]
- **variabila de ieșire** - valoarea curentului anodic prin diodă, $i = i_A$, în domeniul [0 mA, 450 mA]

SLF astfel definit va caracteriza complet comportamentul electric al diodei în polarizare directă, pentru $v = v_{AK}$, în domeniul [0 mV, 860 mV], ignorând variațiile cu temperatura, umiditatea și abaterile de proces tehnologic de fabricație a diodei. Deci, sistemul cu logica fuzzy va putea fi utilizat ca un model electric al diodei.

Principiul modelării caracteristicii i-v a diodei se bazează pe acoperirea graficului neliniar de variație a curentului în funcție de tensiune prin “zone fuzzy”:



Fiecare “zonă fuzzy” este descrisă prin:

- o mulțime fuzzy peste universul discuției variabilei de intrare v , notată MFV_k
- o mulțime fuzzy corespunzătoare peste universul discuției variabilei de ieșire i , notată $MFik$
- o regulă fuzzy R_k , care indică faptul că între cele două mulțimi fuzzy MFV_k și $MFik$ există o relație fuzzy care descrie “zona fuzzy”
 R_k : Dacă v este MFV_k , atunci i este $MFik$

Observație: Pentru zonele cu neliniarități pronunțate ale graficului, sunt necesare mai multe mulțimi fuzzy de intrare și respectiv de ieșire.

○ SLF pentru modelarea caracteristicii i-v a diodei semiconductoare

SLF pentru modelarea caracteristicii i-v a diodei semiconductoare este compus din:

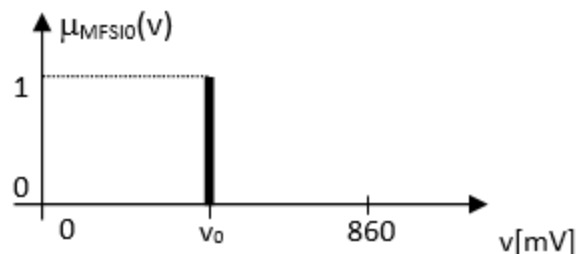
- mulțimile fuzzy definite peste universul discuției variabilei de intrare v , notate MFV_k
- mulțimile fuzzy definite peste universul discuției variabilei de ieșire i , notate $MFik$
- baza de reguli fuzzy, ce conține k reguli de forma: R_k : Dacă v este MFV_k , atunci i este $MFik$

Componentele SLF și operațiile prin care o valoare tranșantă a variabilei de intrare ($v = v_0$ - tensiunea pe diodă) este prelucrată, astfel încât la ieșire să se furnizeze o valoare tranșantă a variabilei de ieșire ($i = i_0$ - curentul prin diodă) sunt ilustrate în figură.

Operațiile unui SLF sunt:

- **fuzzificare** - transformarea mărimii tranșante de intrare într-o mulțime fuzzy singleton, cu funcția de apartenență:

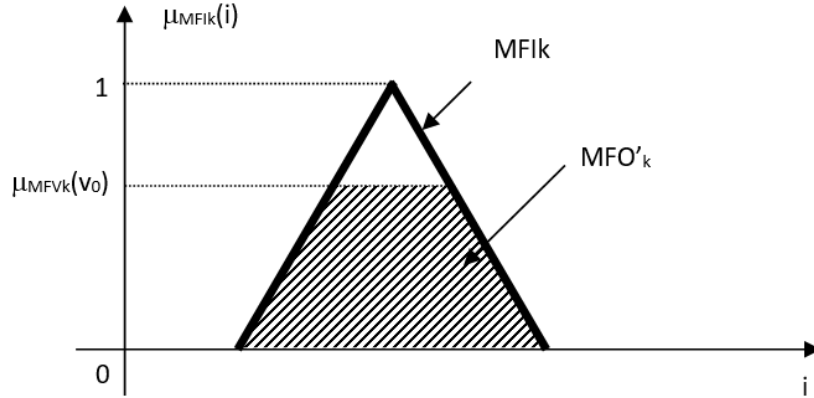
$$\mu_{MSFI_0}(v) = \begin{cases} 1, & v = v_0 \\ 0, & v \neq v_0 \end{cases}$$



- **inferență** - pe baza valorii fuzzy de intrare și a fiecărei reguli R_k , deduce rezultatul Y_k a regulii R_k , folosind implicație de tip *min* (Mamdani):

$$\mu_{MFO'_k}(i) = \min(\mu_{MFV_k}(v_0), \mu_{MFI_k}(i))$$

Mulțimea fuzzy de ieșire a regulii R_k (concluzie parțială) este:

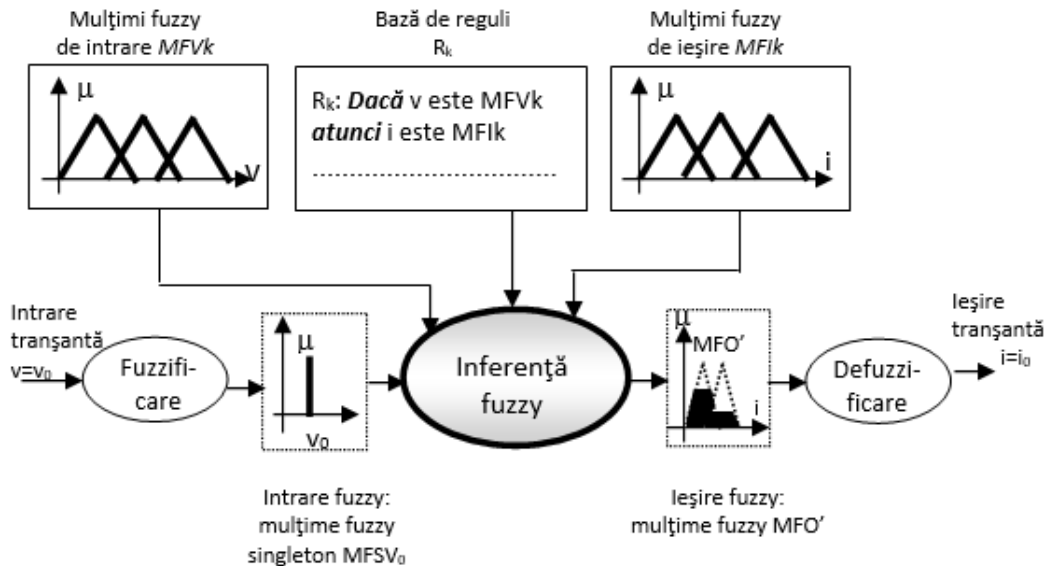


Agregarea concluziilor parțiale se face folosind operatorul *max* (reuniune):
 $\mu_{MFO'}(i) = \max_k \mu_{MFO'_k}(i)$ echivalent cu $MFO' = \cup_k MFO'_k$.

- **defuzzificare** – operația inversă fuzzificării, prin care se extrage o valoare tranșantă din mulțimea fuzzy de ieșire, rezultată în urma inferenței.

Notății:

- = operație
- = componentă
- = reprezentarea fuzzy a mărimii de intrare/ieșire a SLF



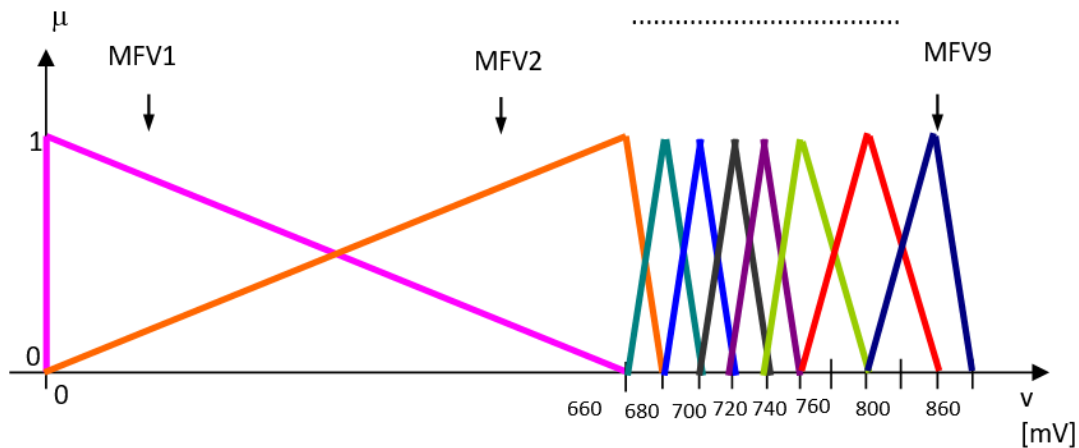
- Crearea SLF

Exercițiul 1

Implementați sistemul fuzzy cu o intrare și o ieșire, utilizând *Fuzzy Logic Designer*. Specificațiile sistemului sunt:

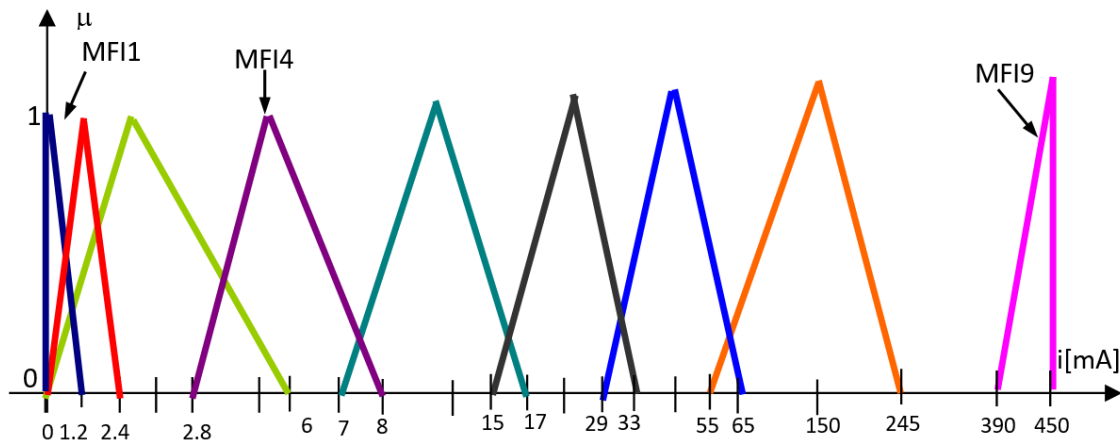
- variabila de intrare v , cu 9 mulțimi triunghiulare, notate MFV_k , $k = 1, 2, \dots, 9$, având parametrii:

MFV1 - [0 0 680]	MFV2 - [0 680 690]	MFV3 - [680 690 700]
MFV4 - [690 700 720]	MFV5 - [700 720 740]	MFV6 - [720 740 760]
MFV7 - [740 760 800]	MFV8 - [760 800 860]	MFV9 - [800 860 860]



- variabila de ieșire i , cu 9 mulțimi triunghiulare, notate MFI_k , $k = 1, 2, \dots, 9$, având parametrii:

MFI1 - [0 0 1.2]	MFI2 - [0 1.2 2.4]	MFI3 - [0 2.4 6]
MFI4 - [2.8 6 8]	MFI5 - [7 12 17]	MFI6 - [15 24 33]
MFI7 - [29 47 65]	MFI8 - [55 150 245]	MFI9 - [390 450 450]



- baza de reguli, cu 9 reguli de forma: *Dacă v este MFV_k atunci i este MFI_k*, $k = 1, 2, \dots, 9$

Salvați sistemul creat cu numele "dioda.fis".

Vizualizați curba intrare-ieșire (tensiune-curent). Setați numărul de puncte pentru afișare la 100. Comparați curba obținută cu caracteristica inițială.

Exercițiul 2

Testați sistemul creat pentru un set de valori tranșante ale variabilei de intrare:
 $v = \{0 \text{ mV}; 650 \text{ mV}; 675 \text{ mV}; 700 \text{ mV}; 725 \text{ mV}; 750 \text{ mV}; 775 \text{ mV}; 800 \text{ mV}; 850 \text{ mV}\}$. Notați valorile obținute la ieșire.

Exercițiul 3

Scrieți un script care să realizeze afișarea graficului curent-tensiune, utilizând funcțiile *readfis*, *evalfis*, *plot*.
Observație: la *evalfis* utilizați și parametrul *NPts = 10000*

Exercițiul 4

Identificați zonele de pe grafic în care sunt prezente erori de aproximare mari. Modificați sistemul fuzzy creat inițial, pentru a reduce aceste erori. Salvați noul sistem fuzzy. Afișați pe același grafic cele două variante ale curbei caracteristicii curent-tensiune.