

# Capitolul II. MODELE SPICE ALE DIODELOR

## 2.1. DESCRIEREA UNEI DIODE ÎN SPICE

## 2.1.

- Declarația unei diode în programul SPICE se face astfel:

*D*nume anod catod *MODEL\_ nume* <area> <OFF>

.MODEL *MODEL\_ nume* D(IS=1E-15 N=1 ... TT=1E-9)

- Dacă linia de program începe cu litera “D”, programul înțelege că urmează descrierea unei diode.
- Fără “spațiu” urmează numele format din maxim 7 caractere.
- Nodurile anod, catod, exact în această ordine.
- *MODEL\_ nume* este numele modelului care specifică parametrii pentru acest element de circuit.

## 2.1

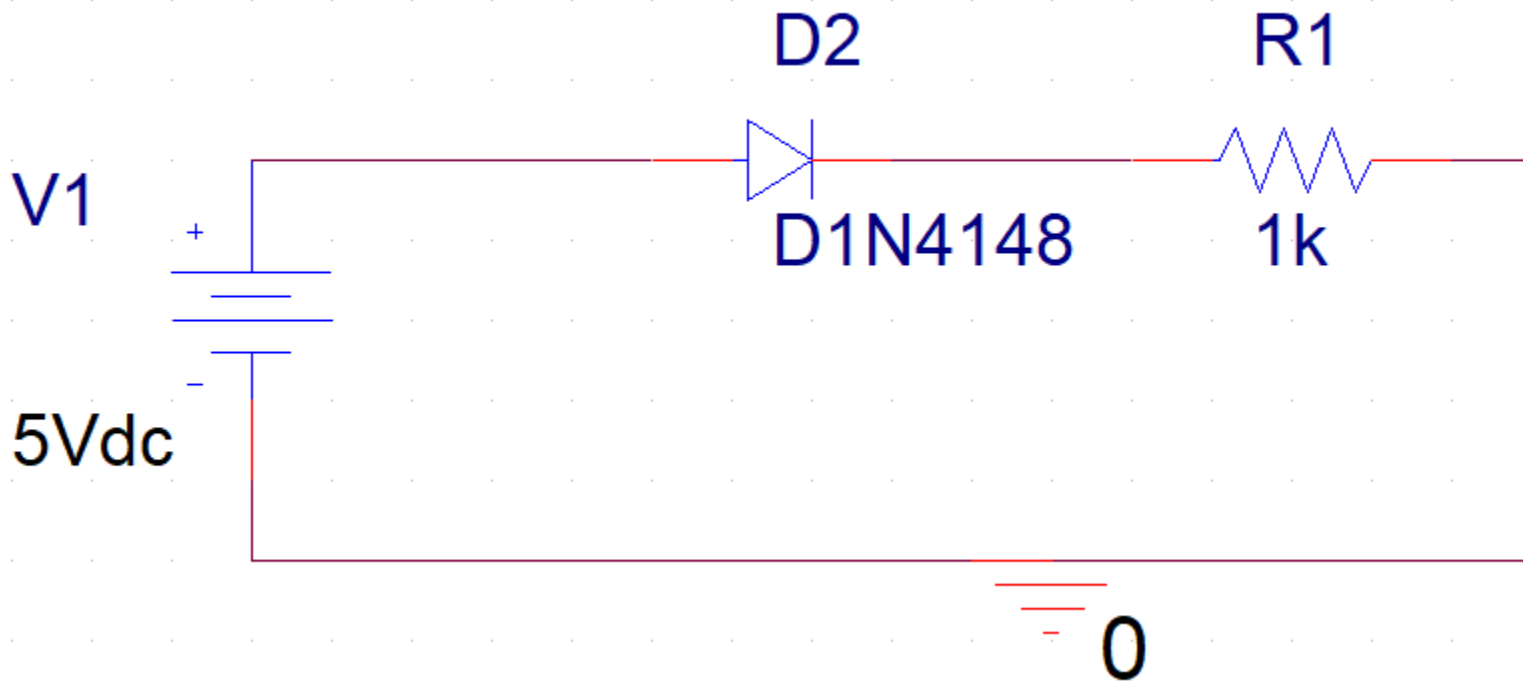
- Variabila <area> este un factor de scală egal cu numărul de diode identice conectate în paralel, valoarea implicită este 1.
- Cuvântul cheie <OFF> dacă apare, inițializează dioda în regim de blocare; în caz contrar dioda este inițializată la limita de deschidere, având pentru soluțiile de curent continuu  $V_D = +0,6V$ .
- Linia ulterioară, care începe cu “.MODEL” pune la dispoziția programului SPICE toți parametri de model extrași cu subprogramul PARTS, sau numai o parte dintre ei, ceilalți luând valorile implicite pentru diode în general.

# 2.1.

Exemplu:

D1 1 2 D1n4148

.MODEL D1n4148 D(IS=1E-12 N=1.2 RS=4)



## 2.2. MODELAREA CARACTERISTICILOR STATICE DIRECTE

- La ecranul 1 se modelează caracteristica statică curent-tensiune în polarizare directă (Forward).
- Parametrii setati la acest modul sunt:
  - IS (A) - curentul de saturație, valoare implicită:  $10^{-15}\text{A}$ ,
  - N - coeficient de emisie, valoare implicită: 1,
  - RS ( $\Omega$ ) - rezistența serie, valoare implicită:  $0,1\Omega$ ,
  - KF - constanta zgomotului de licărire, valoare implicită: 0,
  - XTI - coeficientul de variație al lui  $I_s$  cu temperatura, valoare implicită: 3,
  - EG (eV)- lățimea energetică a benzii interzise, valoare implicită:  $1,1\text{eV}$ .

## 2.2

Modelul SPICE s-a construit pornind de la modelul empiric

$$I_F = I_S \cdot \left[ \exp\left(\frac{qV_F}{NkT}\right) - 1 \right]$$

Unde Parametrii sunt 2:

$I_S$  - curent de saturație și  $N$  coeficient de emisie.

Valori tipice pentru acești parametri sunt:  $I_S = 1\mu A \div 1fA$  și  $n = 1 \div 2 \div 3$ .

Modalitate experimentală de extragere a acestor parametri:

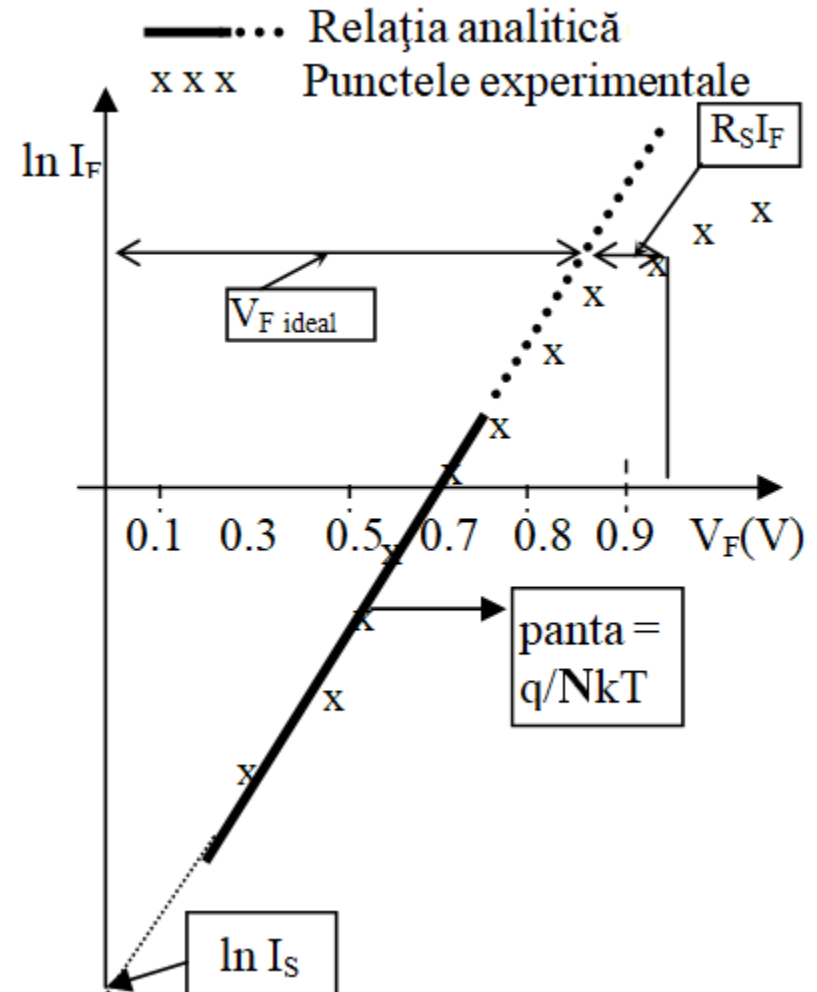
- Se realizează măsurători experimentale curent  $I_F$ , pentru diverse tensiuni aplicate:  $V_F = +0.1V \div +0.8V$ .
- În figura s-a reprezentat la scară semilogaritmică dependența curent-tensiune.

## 2.2.

$$\ln I_F = \ln I_S + \frac{q}{NkT} V_F$$

Efectele rezistențelor serie

$$V_A = V_{Fideal} + V_{RezSerie} = \frac{NkT}{q} \ln \left( \frac{I_F}{I_S} \right) + R_S I_F$$



Un nou parametru de model  $R_S$  - rezistența serie  $R_S=0,1 \div 10\Omega$ .

## 2.2.

- Se mai consideră dependența curentului de saturație de temperatură - după modelul empiric:

$$I_S(T) = I_S(T_{\text{nom}}) \cdot \left( \frac{T}{T_{\text{nom}}} \right)^{XTI/N} \cdot \exp \left[ \frac{E_G}{NkT} \left( \frac{T}{T_{\text{nom}}} - 1 \right) \right]$$

unde  $T_{\text{nom}}$  este o temperatură nominală (300K), iar vechiul parametru de model  $I_S$ , devine acum parametrul  $I_S(T_{\text{nom}})$ .

$$n_i = AT^{3/2} \cdot \exp \left( - \frac{E_G}{2kT} \right)$$



## 2.2.

- Ultima completare a modelelor caracteristicii directe - zgomot.
- Zgomotul *termic*, datorată agitației termice a purtătorilor de sarcină, modelată de relația lui Nyquist:  $I_{RS,med}^2 = 4kT \cdot \Delta f / R_S$
- Zgomotul de *alice* (*shot noise*), se datorează naturii discrete a sarcinilor electrice:  $I_{n,med}^2 = 2qI_F \cdot \Delta f$
- Aceste două tipuri de zgomote sunt implicit considerate și incluse în modelul SPICE al diodelor.
- Zgomotul de *licărire* (*flicker noise*) este legat de fenomenele de captură a purtătorilor de sarcină la suprafața semiconductorului :  $I_{1/f,med}^2 = KF \cdot \Delta f \cdot I_F / f$

**Un nou param: KF.** Neglijarea zgomotului de licărire înseamnă considerarea parametrului  $KF=0$

## 2.3. MODELAREA CAPACITĂȚII DIODEI ÎN POLARIZARE INVERSĂ

Modelul capacitate de barieră-tensiune inversă (Rreverse) aplicată pe diodă,  $C_j$ - $V_R$ :

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_R}{V_j}\right)^{1/2}}$$

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_R}{V_j}\right)^M}$$

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_R}{V_j}\right)^M}$$

dacă  $V_F < FC \cdot V_j$

## 2.4. MODELAREA CARACTERISTICILOR STATICE INVERSE

De la DE avem modelul cu parametrii eventual adaptati:

$$I_R = I_{SR} \cdot \left[ \exp\left(\frac{qV_R}{N_R kT}\right) - 1 \right]$$

$V_R = 1V \div 20V$  -> exponențială de argument negativ, extrem de mică față de 1 în toate cazurile, de ordinul  $10^{-20} \div 10^{-100}$ . ->  $I_R \approx -I_{SR} = ct$

In Spice se adopta un model de Fitare aici :

$$I_D = -I_{SR} + V_D / Z_{ZMAX}$$

unde impedanța maximă  $Z_{ZMAX}$  depinde de datele de intrare de la ecranul urmator.

## 2.5. MODELAREA CARACTERISTICILOR ÎN REGIMUL DE STRĂPUNGERE

- Parametrii de model sunt:
- BV (V) - tensiunea de străpungere (Breakdown Voltage), valoare implicită: 100V,
- IBV (A) - curentul de străpungere, valoare implicită:  $10^{-4}$ A.
  
- Dacă dioda este Zener, atunci se indică în catalog mărimile:  $I_Z$ ,  $V_Z$ ,  $Z_Z$ . Cu ajutorul acestor valori, PARTS extrage parametrii BV și IBV.

## 2.5.

De exemplu dioda 10DZ180 este stabilizatoare.

Din simbolul sau codul său deducem:  $P_{DM}=10W$ ,  $V_Z=180V$ .

La diodele Zener tensiunile de străpungere pot fi de 1V până la sute de volți. Când  $V_Z$  este mică, zonele p și n se impurifică mult și mecanismul predominant de străpungere este efectul Zener.

Diodele uzuale sunt dopate asimetric. Atunci predominantă devine străpungerea prin mecanismul avalanșei, cu valori mari pentru tensiunea de străpungere (zeci-sute de volți).

## 2.5.

- Modelul adoptat apoi în SPICE pentru regimul de străpungere este cel exponențial:

$$I_D = -ISR \cdot \left[ \exp\left(\frac{-q(BV + V_D)}{kT}\right) - 1 \right] - IBV$$

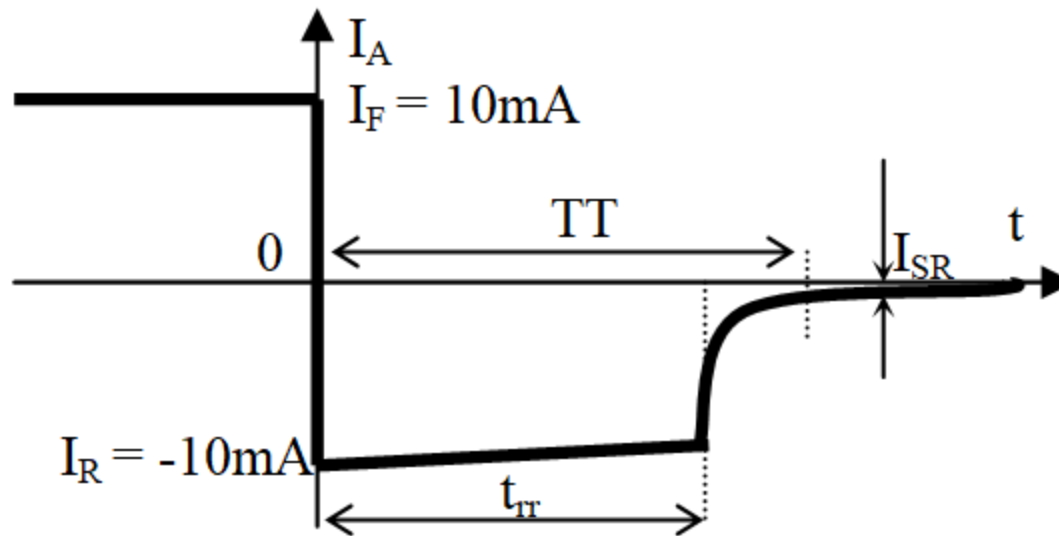
## 2.6. MODELAREA DIODEI ÎN REGIM DE COMUTAȚIE

- Parametrul de model este:
- $TT$  (s) - timpul de tranzit, valoare implicită: 5ns.
- Cu ajutorul acestui parametru se modelează capacitatea de difuzie a diodei:

$$C_{Dif} = TT \cdot \frac{dI_A}{dV_A}$$

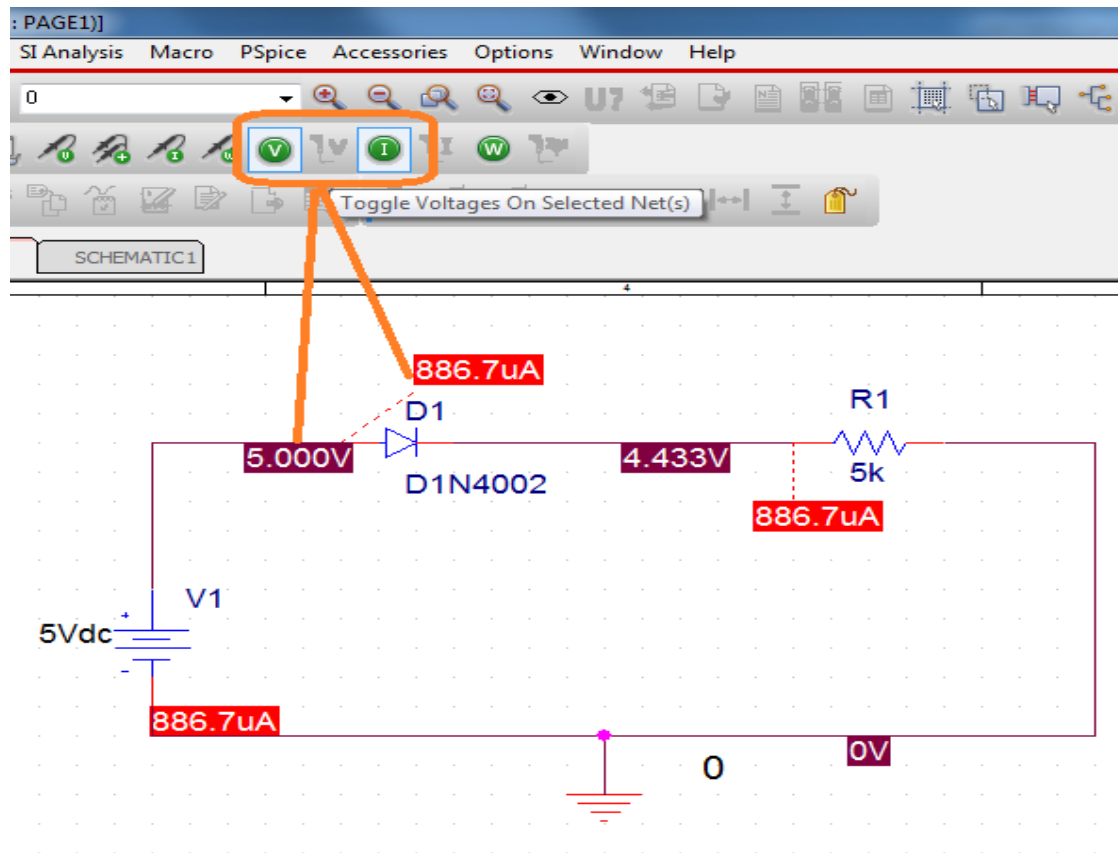
## 2.6.

- În catalog se furnizează timpul de revenire inversă (time reverse recovery),  $t_{rr}$ .





- Exemple



# Example

