**Seminarul 2**

**Determinarea punctului static de funcționare (PSF) a diodei**

**Metoda iterativă**

**Echivalarea Thévenin**

**P1.** În circuitul din fig. 1, D1 este o diodă redresoare, caracterizată prin curent invers de saturație, IS=10nA și factor de idealitate, n=1,95, iar D2 este o diodă zener care se caracterizează prin tensiune la străpungere zener, UZ=5V dacă prin diodă curentul este în domeniul IZ=1…10mA.

1. Motivați cum sunt polarizate cele două diode;
2. Determinați punctul static de funcționare (PSF) al fiecărei diode;
3. Doar pentru dioda D1 determinați dacă amplitudinea tensiunii variabile de pe diodă satisface condiția de semnal mic;
4. Scrieți expresia totală a tensiunii de pe dioda D1 și a curentului total prin D1.

În c.a. (la semnal mic) condensatoarele se consideră scurtcircuit.



**Fig. 1.** *Schema circuitului din problema* **P1**

**Rezolvare**

a) Dioda D1 este polarizată direct deoarece plusul sursei (bateriei) de c.c., V1, se aplică spre anodul diodei iar catodul diodei este legat la minusul sursei V1.

Dioda D2 este polarizată invers deoarece plusul sursei V1 se aplică la catodul diodei iar anodul diodei este conectat la minusul sursei V1.

b) PSF-ul diodelor presupune determinarea căderilor de tensiune pe diode și a curenților prin diode în c.c. și se efectuează pe schemele echivalente de c.c. corespunzătoare celor 2 diode.

Pe schemele echivalente de c.c.

* se pasivizează sursa de semnal variabil (aici V2). Sursa V2 fiind ideală se înlocuiește la bornele sale cu scurtcircuit (cu fir);
* condensatoarele se consideră gol (fără fir).

Schema echivalentă de c.c. corespunzătoare diodei D2 are forma din fig. 2:



**Fig. 2.** *Schema echivalentă de c.c. pentru porțiunea de circuit care conține dioda* **D2**

Mărimile din PSF pentru dioda D2 sunt curentul anodic IA2=-IZ și tensiunea anodică UA2=-UZ.

Curentul IZ se poate determina fie prin calcul direct (vezi cursul 3), fie aplicând echivalarea Thévenin.

**Breviar teoretic**

Conform teoremei lui Thévenin

* Orice rețea electrică liniară care conține doar surse de tensiune, surse de curent și rezistențe poate fi înlocuită la bornele A-B printr-o combinație echivalentă alcătuită dintr-o sursă de tensiune VTh conectată în serie cu o rezistență RTh (fig. 3)
* Tensiunea echivalentă VTh este tensiunea obținută la bornele A-B ale rețelei cu bornele A-B deschise, adică lăsate în gol, fără să fie conectat niciun circuit între bornele A și B.
* Rezistența echivalentă RTh este rezistența pe care ar avea-o circuitul dintre bornele A și B cu bornele A și B deschise, dacă toate sursele de tensiune ideale din circuit ar fi înlocuite cu un scurtcircuit și toate sursele de curent ideale ar fi înlocuite cu un circuit deschis.



**Fig. 3.**

În cazul circuitului din fig. 2, prin aplicarea teoremei lui Thévenin (echivalare Thévenin) rezultă circuitul din fig. 4:



**Fig. 4.** *Circuitul echivalent de c.c. pentru dioda D2 obținut prin echivalare Thévenin*

Valoarea tensiunii VTh2 se obține pentru circuitul din fig. 2 văzut în gol la borne, adică fără să fie conectată dioda D2 (fig. 5)



**Fig. 5.**  *Schema pentru determinarea VTh2*

Tensiunea UAB se poate determina fie aplicând legea lui Ohm, fie direct din regula divizorului de tensiune (RDT), ca o consecință a aplicării legii lui Ohm.

* Aplicând legea lui Ohm

$$I=\frac{V\_{1}}{R\_{5}+R\_{6}}$$

$$V\_{Th2}=U\_{AB}=I×R\_{6}=\frac{V\_{1}}{R\_{5}+R\_{6}}×R\_{6}=\frac{R\_{6}}{R\_{5}+R\_{6}}V\_{1}=\frac{20k}{25k}15V=12V$$

* RDT presupune că tensiunea mai mică se calculează înmulțind tensiunea mare cu un raport format la numărător din rezistența pe care apare tensiunea divizată (cea mică) iar la numitor suma rezistențelor care participă la divizare. Astfel

$$V\_{Th2}=U\_{AB}=\frac{R\_{6}}{R\_{5}+R\_{6}}V\_{1}=\frac{20k}{25k}15V=12V$$

Circuitul pentru determinarea rezistenței RTh2, adică a rezistenței văzută între bornele A și B, RAB, cu aceste borne lăsate în gol, are aspectul din fig. 6



**Fig. 6.** *Schema pentru determinarea RTh2*

 Se observă că prin pasivizarea sursei V1 (fiind ideală s-a înlocuit cu scurtcircuit, adică cu fir), R5 și R6 apar legate în paralel, deci

$$R\_{Th2}=R\_{AB}=R\_{5}||R\_{6}=\frac{1}{\frac{1}{R\_{5}}+\frac{1}{R\_{6}}}=\frac{R\_{5}R\_{6}}{R\_{5}+R\_{6}}=\frac{5k×20k}{25k}=4k$$

Revenind la schema din fig. 4, IZ se determină cu relația:

$$I\_{Z}=\frac{V\_{Th2}-U\_{Z}}{R\_{Th2}}=\frac{12V-5V}{4k}=1.75mA\in \left[1…10mA\right]$$

În consecință, presupunerea că dioda D2 ar fi în străpungere zener se adeverește, valoarea curentului IZ aflându-se în domeniul ce curenți corespunzător străpungerii zener și PSF-ul diodei este caracterizat prin valorile

$$PSF\_{D2}=\left\{\begin{array}{c}I\_{A2}=-I\_{Z}=-1.75mA\\U\_{A2}=-U\_{Z}=-5V\end{array}\right.$$

Schema echivalentă de c.c. corespunzătoare diodei D1 are forma din fig. 7:



**Fig. 7.** *Schema echivalentă de c.c. pentru porțiunea de circuit care conține dioda* **D1**

 Se observă că prin eliminarea (ștergerea) condensatoarelor C1 și C2, R3 există pe schema de c.c. iar R4 a fost eliminată, ”golul” prin care s-a înlocuit C2 întrerupând legătura spre R4.

 Se aplică și în acest caz echivalarea Thévenin și rezultă circuitul din fig. 8. Aplicând principiul de lucru de la dioda D2, elementele VTh1 și RTh1 se determină astfel:

$$V\_{Th1}=\frac{R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}V\_{1}=\frac{10k}{20k}15V=7.5V$$

$$R\_{Th1}=R\_{1}||R\_{2}=\frac{1}{\frac{1}{R\_{1}}+\frac{1}{R\_{2}}}=\frac{R\_{1}R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}=\frac{10k×10k}{20k}=5k$$



**Fig. 8.** *Circuitul echivalent de c.c. pentru dioda D1 obținut prin echivalare Thévenin*

Pentru a determina valorile din PSF ale diodei D1 se aplică metoda iterației

* la pasul 1, se presupune pentru început $U\_{A1}^{(1)}=0$ și rezultă

$$I\_{A1}^{(1)}=\frac{V\_{Th1}}{R\_{Th1}+R\_{3}}=\frac{7.5V}{7.5k}=1mA$$

* la pasul 2 se recalculează tensiunea pe diodă și apoi curentul

$$U\_{A1}^{(2)}=nU\_{T}ln\left(\frac{I\_{A1}^{(1)}}{I\_{S}}+1\right)=1.95×0.026×ln\left(\frac{10^{-3}}{10×10^{-9}}+1\right)=0.584V$$

Unde UT este tensiunea termică, având 0.026V la 300K (27°C)

$$I\_{A1}^{(2)}=\frac{V\_{Th1}-U\_{A1}^{(2)}}{R\_{Th1}+R\_{3}}=\frac{7.5V-0.584V}{7.5k}=0.92mA$$

Metoda iterativă fiind puternic convergentă, ne putem opri după primii 2 pași și astfe PSF-ul diodei D1 se caracterizează prin valorile:

$$PSF\_{D1}=\left\{\begin{array}{c}I\_{A1}=I\_{A1}^{(2)}=0.92mA\\U\_{A1}=U\_{A1}^{(2)}=0.584V\end{array}\right.$$

Cu valoarea curentului din PSF se poate determina parametrul de semnal mic rd1 – rezistența dinamică a diodei:

$$r\_{d1}=\frac{nU\_{T}}{I\_{A1}}=\frac{1.95×26mV}{0.92mA}=55.1Ω$$

c) Pentru a determina amplitudinea tensiunii variabile de pe dioda D1, se folosește schema echivalentă de c.a. din fig. 9



**Fig. 9.** *Schema echivalentă de semnal mic pentru circuitul cu dioda D1*

 Se observă că datorită înlocuirii condensatoarelor cu scurtcircuit (cu fir), R3 este eliminată din circuit și rămâne doar firul (rezistența echivalentă R3 în paralel cu rezistența zero a firului este zero), iar R4 este introdus în circuit de C2 înlocuit cu fir.

Echivalarea Thévenin se poate aplica și în c.a. și rezultă circuitul din fig. 10, pe care

$$V\_{Th1c.a.}=\frac{R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}×V\_{2}=\frac{V\_{2}}{2}=0.125V$$

deoarece cele 2 rezistoare R1 și R2 sunt egale.

$$R\_{Th1}=R\_{1}||R\_{2}=\frac{1}{\frac{1}{R\_{1}}+\frac{1}{R\_{2}}}=\frac{R\_{1}R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}=\frac{10k×10k}{20k}=5k$$



**Fig. 10.** *Circuitul echivalent de semnal mic obținut prin echivalarea Thévenin*

 Amplitudinea semnalului variabil de pe dioda D1 (pe rd1) se poate determina aplicând RDT

$$\hat{U}\_{a1}=\frac{r\_{d1}||R\_{4}}{R\_{Th1}+r\_{d1}||R\_{4}}V\_{Th1c.a.}$$

$$r\_{d1}||R\_{4}=\frac{r\_{d1}R\_{4}}{r\_{d1}+R\_{4}}=\frac{55.1×1000}{1055.1}=52.2Ω$$

și astfel

$$\hat{U}\_{a1}=\frac{52.2}{5052.2}×0.125V=1.29mV$$

Condiția de semnal mic presupune că este îndeplinită atunci când amplitudinea semnalului variabil de pe diodă este mult mai mică decât tensiunea termică. În Electronică, ”mult mai mic” începe de la de 10 ori mai mic, și condiția de semnal mic se scrie

$$\hat{U}\_{a1}<\frac{U\_{T}}{10}=2.6mV$$

Se observă că 1.29mV este mai mică decât 2.6mV, deci amplitudinea semnalului variabil de pe dioda D1 îndeplinește condiția de semnal mic.

d) Valorile totale ale tensiunii pe D1, respectiv curentului prin D1 conțin atât componenta de c.c. cât și componenta de c.a. Astfel, în caz de semnal sinusoidal, tensiunea totală pe diodă se scrie

$$u\_{A1}=U\_{A1}+u\_{a1}=U\_{A1}+\hat{U}\_{a1}sinωt=584+1.29sinωt\left[mV\right]$$

Amplitudinea curentului variabil prin diodă se determină cu legea lui Ohm

$$\hat{I}\_{a1}=\frac{\hat{U}\_{a1}}{r\_{d1}}=\frac{1.29mV}{55.1Ω}=0.023mA$$

și expresia curentului total prin diodă devine, pentru semnal sinusoidal

$$i\_{A1}=I\_{A1}+i\_{a1}=I\_{A1}+\hat{I}\_{a1}sinωt=0.92+0.023sinωt\left[mA\right]$$