

L3. TRANZISTORUL CU EFECT DE CÂMP TEC-J

În lucrare sunt măsurate caracteristicile statice ale unui tranzistor cu efect de câmp cu grilă-jocțiune (TEC-J) și este verificată concordanța cu relațiile analitice teoretice. Sunt mășurați de asemenea parametrii modelului de semnal mic, joasa frecvență și este verificată dependența acestora de punctul static de funcționare.

1. Considerații teoretice

Se studiază un tranzistor TEC-J cu canal 'n'. Structura simplificată, simbolul și mărimile electrice sunt prezentate în figura 1.

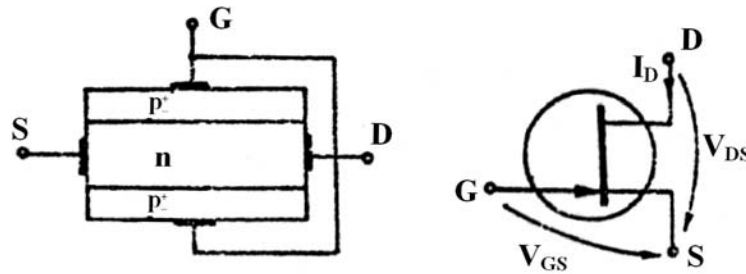


Fig 1

Caracteristicile statice

Caracteristicile de ieșire $i_D(v_{DS})$ și de transfer în saturație $i_D(v_{GS})$ sunt ??? în figura 2. Un TEC-J este saturat (zona II – figura 2 a) dacă: $v_{DS} > v_{DSSat} = v_{GS} - v_T$ (v_T este tensiunea de prag a tranzistorului folosit).

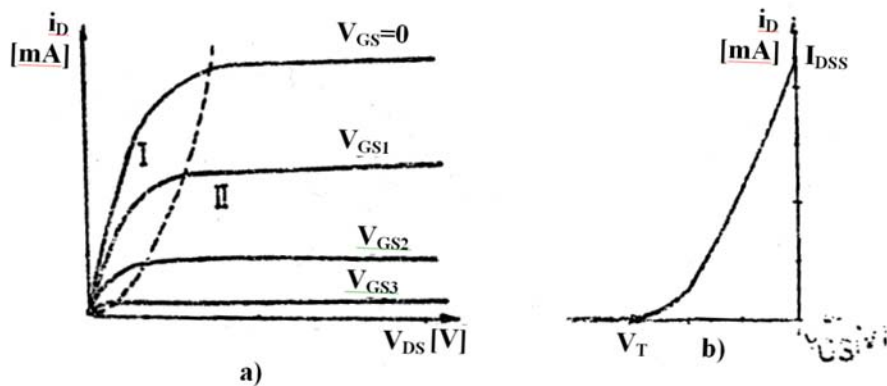


Fig 2

Caracteristica TECJ în saturație poate fi aproximată cu relația:

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \quad (1)$$

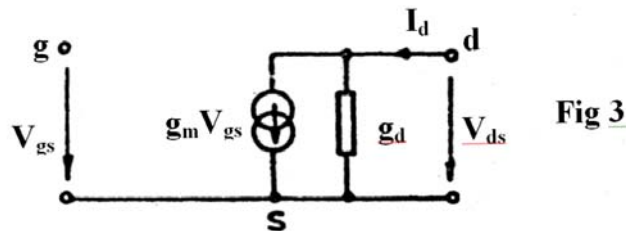
În saturație caracteristicile de ieșire sunt liniare, dar ele nu sunt perfect orizontale. Se constată că toate caracteristicile se pot extrapola spre același punct de pe axa v_{DS} . Valoarea tensiunii în acest punct se notează cu $+1/\lambda$ (unde λ corespunde inversului tensiunii Harley de la tranzistoarele bipolare).

Relația (1) devine:

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 * (1 + \lambda v_{DS}) \quad (2)$$

Model dinamic(semnal mic, joasă frecvență)

Comportarea TEC-J în regim dinamic la joasă frecvență se poate descrie cu ajutorul modelului din figura 3.



Unde:

$$g_d = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{I_D} = \left. \frac{I_d}{V_{gs}} \right|_{V_{ds}=0} \quad (3)$$

$$g_d = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_{I_D} = \left. \frac{I_d}{V_{ds}} \right|_{V_{ds}=0} \quad (4)$$

I_d, V_{gs}, V_{ds} sunt valori efective. Expresia analitică pentru transconductanță (g_m) în zona de saturație rezultă prin derivarea relației (1) Ș

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{(v_T)^2} |v_T - v_{GS}|, \quad v_{DS} = \text{ct} \quad (5)$$

În zona premergătoare saturației ($v_{DS} < v_{DSSat} = v_{GS} - v_T$) legea de variație a transconductanței este de forma:

$$g_m = \frac{I_{DSS}}{V_T^2} [2(v_{GS} - v_T) - v_{DS}] \quad (6)$$

Pentru $v_{DS} \ll v_{GS} - v_T$ relația (6) devine:

$$g_m = g_0 \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right) \quad \text{unde} \quad g_0 = \frac{2 * I_{DSS}}{V_T} \quad (7)$$

Interesul practice al acestei zone este redus datorită condiției (6) care impune $v_{DS} < 100\text{mV}$. Dacă:

$$2. \quad v_{GS} = v_{c-da} + v_{DS} \quad (8)$$

atunci transconductanța depinde liniar de tensiunea de comandă deoarece relația (6) devine:

$$g_m = g_0 \left(1 - \frac{v_{c-da}}{2V_T}\right) \quad (9)$$

Relația (8) este valabilă pentru un domeniu mai larg de tensiuni v_{DS} , atât pozitive cât și negative, și anume pentru:

$$v_{DS} = -|v_{c-da} - 2V_T| \dots + |v_{c-da} - 2V_T| \quad (10)$$

2. Mod de lucru

Montajul experimental echipat cu TEC-J este prezentat în figura 4. Montajul este echipat cu un transistor cu efect de câmp de tip BFW11-5. Reglarea tensiunii de grilă (V_{GS}) și de drenă (V_{DS}) la valoarea dorită se face din potențiometrele P_1 și P_2 respectiv P_3 și P_4 (din P_2 și P_4 se face reglajul fin).

Rezistoarele R_1 și R_2 formează un divizor de tensiune cu care se obține condiția din relația (8), iar R_3 și R_4 pot fi utilizate ca rezistoare de drenă. Condensatoarele C_1 și C_2 se folosesc pentru a pune la masă grila și respectiv borna <14> în regim dinamic.

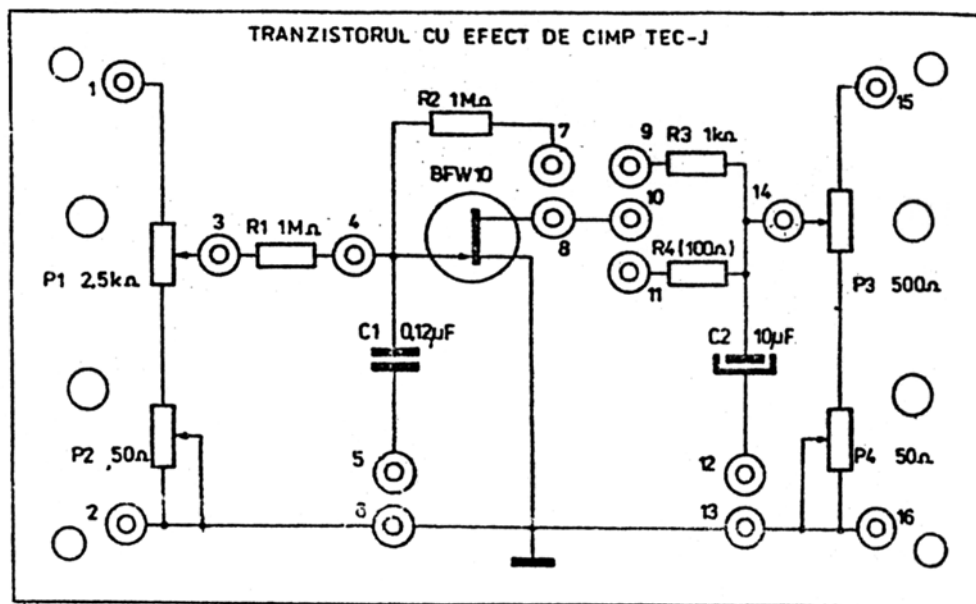


Fig 4.

Aparate necesare

- Două surse de tensiune stabilizată reglabile (sursele pot fi și cu tensiune de ieșire fixă: $U_1 \geq 6V$; $U_2 \geq 15V$; $I > 0,1A$);
- Multimetru electronic (E302);
- Multimetru (analogic);
- Generator de semnal de audiofrecvență

3. Desfășurarea lucrării

Caracteristici statice

Se realizează configurația din figura 5. Se va lega un miliampermetru între bornele <9> și <10>).

Se ridică caracteristicile de ieșire pentru $v_{DS} \geq 0$, prin fixarea succesivă a tensiunilor v_{GS} și v_{DS} la valorile indicate în tabelul 1. Reglajele se fac din sursa v_{GG} , potențiometrele P_1 și P_2 , respectiv din sursa v_{DD} și potențiometrele P_3 și P_4 . (La nevoie se pot utiliza și surse de tensiune fixe.) Se măsoară de fiecare dată I_D și se trece în tabelul 1.

2. Se inversează legăturile la sursa v_{DD} și la bornele miliampermetrului și se ridică caracteristica curent-tensiune pentru $v_{DS} < 0$, după procedeul de la punctul 1. Rezultatele se trec în tabelul 2 (care este alăturat tabelului 1)

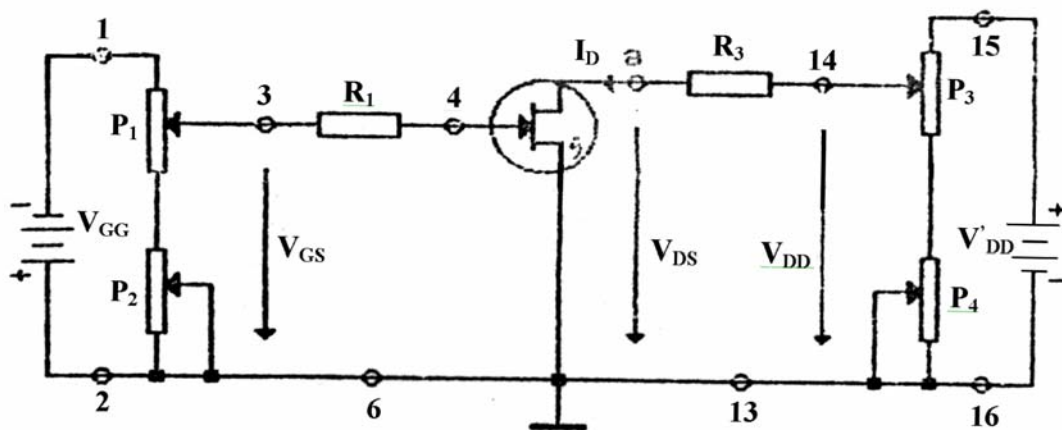


Fig 5

Tabelul 1.										Tabelul 2.			
$v_{GS}(V)$	$v_{DS}(V)$	0	0,1	0,2	0,5	1	2	4	6	-0,1	-0,2	-0,5	-1
0	$I_D(mA)$												
-0,7	$I_D(mA)$												
-1,4	$I_D(mA)$												
-2,1	$I_D(mA)$												

Verificarea modelului dinamic

Estimarea rezistenței r_d în saturatie

3. Se realizează configurația din figura 6. Se reglează $V_{GS}=0V$ și se conectează rezistența de drenă $R_3=1k\Omega$.

4. Se reglează $V_{DS}=6V$ și apoi se reglează amplitudinea semnalului de la generator astfel încât să se obțină $v_{gs}=10mV$, și se măsoară v_{ds} . Rezultatele se trec în tabelul 3.

5. Se repetă reglajele și măsurătorile de la punctul 4 pentru $R_D=R_4=1000\Omega$.

Tabelul 3.

$R_D(K\Omega)$	$R_3=1K\Omega$	$R_4=100\Omega$
$V_{ds}(mV)$	$V_{ds1}=$	$V_{ds2}=$

Pentru calculul rezistenței r_d în saturație se va folosi relația:

$$r_{dsat} = \frac{1}{g_{dsat}} = \frac{V_{ds1} - V_{ds2}}{V_{ds2}/R_4 - V_{ds1}/R_3} \quad (11)$$

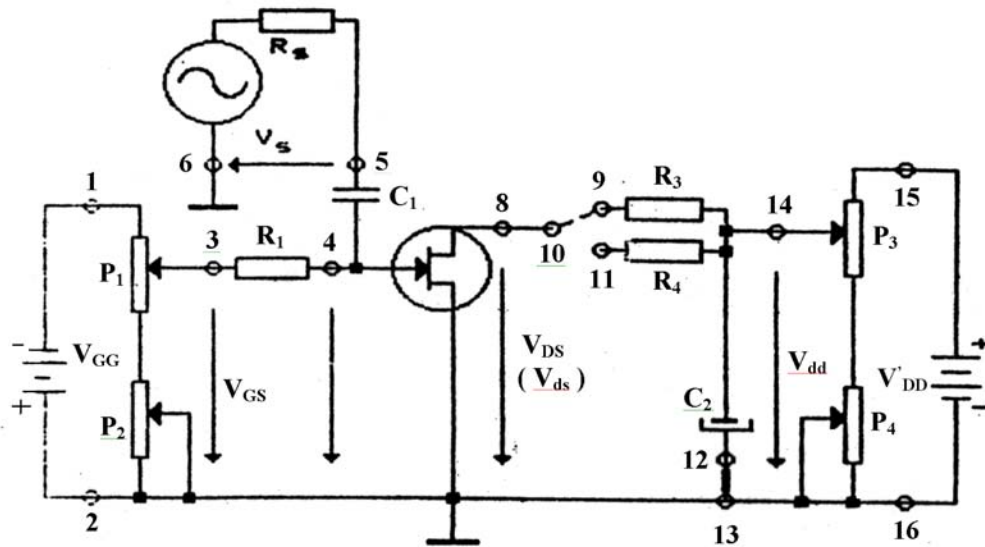


Fig 6

Dependența conductanței mutuale în saturație g_{msat} de p.s.f.

6. În configurația din figura 6 se conectează R_3 . Se reglează succesiv V_{GS} la valorile din tabelul 4 menținând $V_{DS}=6V$, $V_{gs}=20mV$, $V_{gs}=20mV$ și măsurând V_{ds} .

Tabelul 4.

$GS(V)$	0	-0,7	-1,4	-2,1
$V_{ds}(mV)$				

Conductanța mutuală în saturație se calculează cu relația:

$$g_{msat} = \frac{V_{ds}}{R_3 * V_{gs}} \text{ pentru } V_{DS}=6V \quad (12)$$

Măsurarea conductanței canalului în zona liniară g_{dlin}

7. Se realizează configurația din figura 7. Potentiometrul P_3 se va fixa în poziția superioară (ca pentru a regla o tensiune V_{DD} mare) și se vor desface legăturile de la sursa V_{DD} . Se reglează succesiv V_{GS} la valorile din tabelul 5.

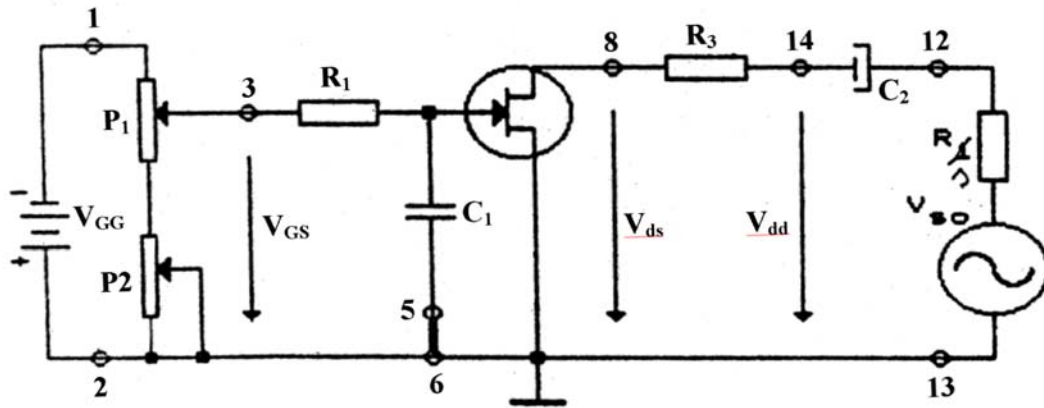


Fig 7

Tabelul 5.

$V_{GS}(V)$	0	-0,7	-1,4	-2,1
$V_{dd}(mV)$				

Amplitudinea semnalului sinusoidal se reglează de fiecare data astfel încât să se obțină $V_{ds}=20mV$. Se măsoară V_{dd} și se trece în tabelul 5.

Conductanța în zona liniară se calculează cu relația:

$$g_{din1} = \frac{V_{dd}/V_{ds} - 1}{R_3} \text{ pentru } V_{DS}=0V \quad (13)$$

Utilizarea TECJ ca rezistență controlată în tensiune

8. Opțional se studiază TECJ ca rezistență controlată în tensiune. Utilizând montajul din figura 7 se scurtcircuitază bornele <7> cu <8> pentru a îndeplini condiția impusă de relația (8). Se va regla tensiunea de comandă (V_{c-da} , măsurată între bornele <3> și masă) la diverse valori între 0 și 4V. Pentru o valoare V_{GS} fixată se va determina amplitudinea semnalului sinusoidal pentru care apar distorsiuni (vizualizate cu un osciloscop plasat în drena tranzistorului). Se va compara cu amplitudinea tensiunii V_{ds} la care apar distorsiuni în montajul clasic (fără scurtcircuit între bornele <7> și <8>, pentru aceeași tensiune V_{GS} fixată).

4. Prelucrarea datelor experimentale și concluzii

Caracteristici statice

1. datele din tabelul 1 și 2 se vor trasa graficele:

a) $i_D(v_{DS})$ pentru $v_{DS}=[-1 \dots +1V]$ si $v_{GS}=0;-0,7;-1,4;-2,1V$ ca parametru.
Pentru fiecare curbă se va determina grafic tangenta în origine:

$$g_{dlin2} = \left. \frac{di_D}{dv_{DS}} \right|_{v_{DS}=0} \quad (14)$$

Rezultatele se trec in tabelul 6.

b) $i_D(v_{DS})$ pentru $V_{DS}=[-1 \dots +6V]$ si $v_{GS}=0;-0,7;-1,4;-2,1V$.

c) $\sqrt{i_D}=f(v_{GS})$ pentru $V_{DS}=6V$. Se extrapolează curba până la $i_D=0$ si se determină astfel $V_T=V_{GS} (i_D=0)$. Valoarea obținută se trece in tabelul 6.

2. Pe graficul de la punctual 1a) se vor marca, pentru fiecare curbă separat, punctele pentru care $v_{DS}=V_{DSSat}=V_{GS}-V_T$.

3. Se determină $I_{DSS}=I_D$ pentru $V_{DS}=-V_T$ si $V_{GS}=0$ si se trece in tabelul 6.

Tabelul 6.

$V_T=$ V	$I_{DSS}=$ mA		$R_{dsat}=$ Ω	
$V_{GS}(V)$	0	-0,7	-1,4	-2,1
$g_{msat}(mA/V)$				
$g_{mcalc}(mA/V)$				
$g_{dlin1}(mA/V)$				
$g_{dlin2}(mA/V)$				

Parametrii modelului dinamic si dependența lor de p.s.f.

- Utilizând relațiile (11), (12), (13) si tabelele corespunzătoare (3, 4)se vor calcula respectiv parametrii: r_{dsat} , g_{msat} , g_{dlin1} . Rezultatele obținute se vor centraliza in tabelul 6.
- Cu ajutorul relației (5) se calculează g_{mcalc} pentru fiecare valoare a tensiunii V_{GS} din tabelul 4. Rezultatele se trec in tabelul 6.
- Justificați obținerea relațiilor 11, 12, 13.
- Cu datele din tabelul 6 se trasează pe acelasi grafic curbele ?? si $g_{msat}(V_{GS})$ pentru $V_{DS}=6V$.
- Cu datele din tabelul 6 se trasează pe acelasi grafic $g_{dlin1}(V_{GS})$ si $g_{dlin2}(V_{GS})$ pentru $V_{DS}=0V$.