

Universitatea Politehnica din București
Facultatea de Electronică Telecomunicații și Tehnologia Informației

DISPOZITIVE ELECTRONICE

ÎNDRUMAR DE LABORATOR

București-2009

LUCRAREA 3 - Modulul MCM4/EV

**TRANZISTORUL CU EFECT DE CÂMP CU
POARTĂ JONCTIUNE (TEC-J)**

CUPRINS

3.1 PREZENTAREA TRANZISTORULUI CU EFECT DE CÂMP CU POARTĂ JONCTIUNE

3.2 PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE. ANALIZĂ TEORETICĂ.

3.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

3.3.1 Aparate necesare

3.3.2 MCM4/EV – Tranzistorul TEC-J. Pregătiri preliminare.

3.3.3 Măsurarea caracteristicii de curent continuu

3.3.4 Verificarea modelului dinamic

3.3.5 Amplificator de semnal mic cu TEC-J

3.4 ÎNTREBĂRI

INSTRUCȚIUNI DE UTILIZARE

- ❑ Pentru utilizarea modului MCM4-EV citiți și mențineți la îndemână acest manual.
- ❑ La dezambalarea modului sau la începerea lucrării puneți toate accesoriile în ordine pentru a nu le pierde și verificați integritatea acestuia. Faceți un control vizual pentru a vă asigura ca nu sunt stricăciuni vizibile.
- ❑ Înainte de conectarea modului la tensiunea de alimentare de +/-12V, verificați că puterea estimată corespunde cu puterea sursei de alimentare.
- ❑ Înainte de alimentarea modului verificați cablurile de alimentare și corecta conectate la sursa de alimentare.
- ❑ Acest modul trebuie utilizat numai conform scopului pentru care a fost conceput respectiv pentru educație și trebuie utilizat numai sub directa supervizare a personalului specializat.
- ❑ Orice altă utilizare nu este corectă și astfel periculoasă. Utilizarea improprie sau nerațională a modului poate conduce la stricăciuni iremediabile.

3.1 PREZENTAREA TRANZISTORULUI CU EFECT DE CÂMP CU POARTĂ JONCȚIUNE

Tranzistorul cu efect de câmp poartă joncțiune (TEC-J) diferă de tranzistorul bipolar atât prin structură cât și ca mod de operare. Curentul prin tranzistorul TEC-J este datorat unui singur tip de purtători spre deosebire de tranzistorul bipolar unde conducția este asigurată de ambele tipuri de purtători. Din acest punct de vedere TEC-J este un dispozitiv unipolar.

Structura unui tranzistor TEC-J este detaliată în fig. 3.1. Într-un semiconductor (bază) ce are un tip de conductivitate se realizează două zone de conductivitate de tip opus, realizându-se astfel două joncțiuni. Prin contactarea celor două zone de conductivitate de tip opus apare electrodul de poartă (G – “gate”). Contactarea pe cele două laturi opuse ale bazei duce la obținerea electrozilor de drenă (D – “drain”) respectiv sursă (S – “source”). Simbolul tranzistorului este prezentat în fig. 3.2.

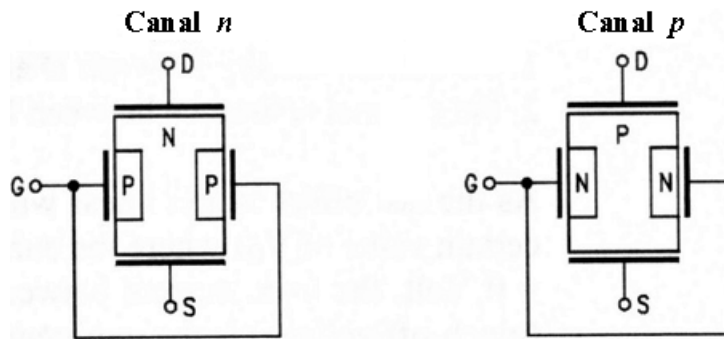


Fig. 3.1 Structura unui tranzistor TEC-J.

O deosebire esențială între tranzistorul bipolar și tranzistorul cu efect de câmp este că la tranzistorul bipolar controlul curentului de colector se realizează cu un curent de bază, pe când la tranzistorul cu efect de câmp controlul curentului de drenă se realizează cu o tensiune aplicată între poartă și sursă.

Polarizarea joncțiunii poartă-sursă se face întotdeauna în invers pentru a beneficia de efectul de tranzistor. Polarizarea în direct a acestei joncțiuni nu produce efect de tranzistor. La polarizarea directă a joncțiunii curentul prin aceasta va depinde exponențial de tensiunea aplicată și dacă acesta nu este limitat va duce la distrugerea joncțiunii, deci a tranzistorului.

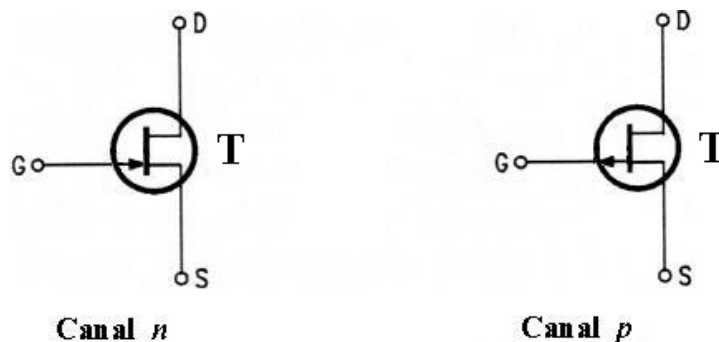


Fig. 3.2 Simbolurile pentru tranzistoarele TEC-J.

3.2 PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE. ANALIZĂ TEORETICĂ.

Caracteristici statice

Se consideră un TEC-J cu canal n cu structura simplificată, simbolul și mărimile asociate din fig. 3.3.

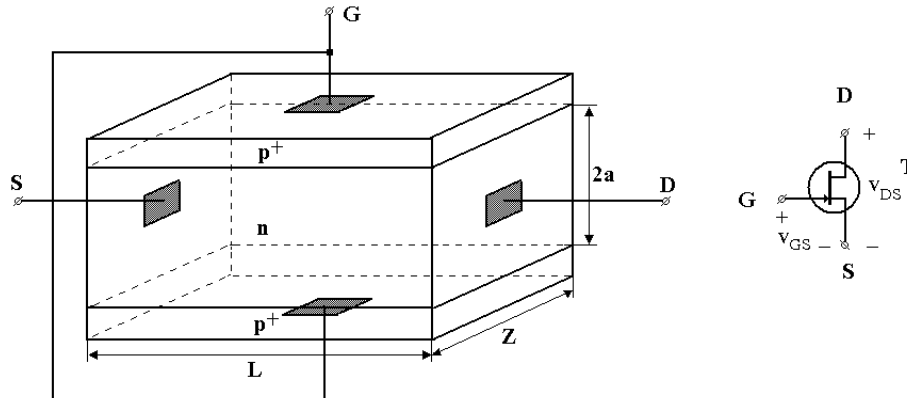


Fig. 3.3 Structura simplificată a tranzistorului TEC-J.

Se demonstrează că dependența curent-tensiune pentru structura prezentată în fig. 3.3 este după cum urmează:

Pentru $V_T \leq v_{GS} \leq 0$, $v_{DS} \geq 0$ și $|v_{DS}|$ foarte mic (sute de mV):

$$i_D = G_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{\Phi_{B0} - v_{GS}}{\Phi_{B0} - V_T} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot v_{DS} \quad (3.1)$$

unde,

$$V_T = -\frac{q \cdot N_D \cdot a^2}{2} + \Phi_{B0} \text{ este tensiunea de prag;}$$

$$G_0 = \frac{2q \cdot \mu_n \cdot N_D \cdot a \cdot Z}{L} \text{ este conductanța maximă (constructivă) a canalului;}$$

Φ_{B0} este înălțimea barierei de potențial asociată joncțiunii p^+n , poartă-canal.

Pentru $V_T \leq v_{GS} \leq 0$, $v_{DS} \geq 0$ și $0 \leq v_{DS} \leq v_{DS,sat} = v_{GS} - v_T$:

$$i_D = G_0 \cdot [f(v_{DS} + \Phi_{B0} + v_{GS}) - f(\Phi_{B0} - v_{GS})] \cdot v_{DS} \quad (3.2)$$

unde, funcția f este definită ca:

$$f(x) = x \cdot \left[1 - \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{x}{\Phi_{B0} - V_T} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Pentru $V_T \leq v_{GS} \leq 0$ și $v_{DS} \geq v_{DS,sat} = v_{GS} - v_T$ (**saturație**):

$$i_D = G_0 \cdot (\Phi_{B0} - V_T) \cdot \left[\frac{1}{3} - \frac{1}{\Phi_{B0} - V_T} \cdot f(\Phi_{B0} - v_{GS}) \right] \quad (3.3)$$

în cazul saturației, curentul de drenă poate fi exprimat aproximativ cu ajutorul relației:

$$i_D = \frac{1}{3} \cdot G_0 \cdot (\Phi_{B0} - V_T) \cdot \left(1 - \frac{\Phi_{B0} - v_{GS}}{\Phi_{B0} - V_T} \right)^2 \quad (3.4)$$

Prin neglijarea lui Φ_{B0} (ceea ce nu este întotdeauna justificabil) se obține:

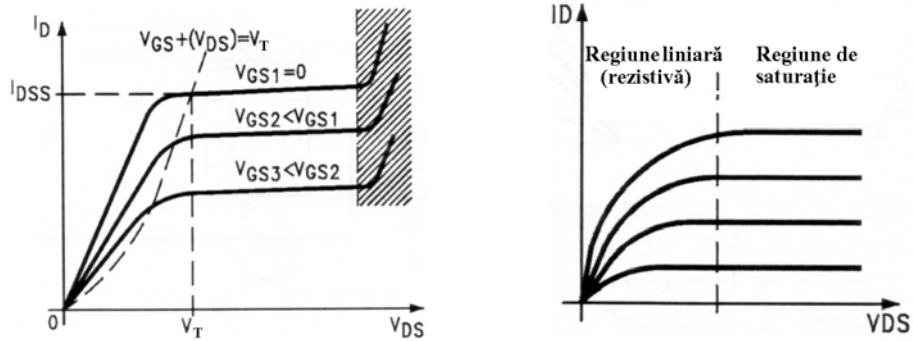
$$i_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_T} \right)^2 \quad (3.5)$$

unde,

$$I_{DSS} = \frac{1}{3} \cdot G_0 \cdot |V_T|$$

Caracteristicile de ieșire $i_D(v_{DS})$ și de transfer, în saturație $i_D(v_{GS})$ sunt date în fig. 3.4.

Pe caracteristicile de ieșire $i_D(v_{DS})$ din fig. 3.4a se disting două zone: **zona liniară** în care tranzistorul TEC-J funcționează la tensiuni V_{DS} mici și are comportament de rezistență comandată în tensiune (curentul de drenă depinde de ambele tensiuni – V_{GS} și V_{DS}) și **zona de saturație** (curentul de drenă depinde de tensiunea V_{GS} și foarte puțin de tensiunea V_{DS}).



(a)

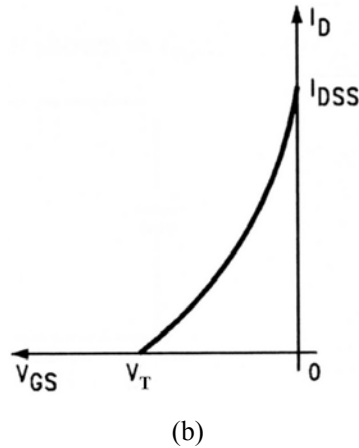


Fig. 3.4 Caracteristicile TEC-J: (a) de ieșire $i_D(v_{DS})$; (b) de transfer, în saturație $i_D(v_{GS})$.

Circuitul echivalent de semnal mic și joasă frecvență

Modelul dinamic la semnal mic, frecvențe joase, al TEC- J polarizat în saturație, este descris de circuitul din fig. 3.5:

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{I_D} = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}} \right|_{v_{DS}=V_{DS}, i_D=I_D} = \left. \frac{I_d}{V_{gs}} \right|_{v_{ds}=0}$$

$$\frac{1}{r_{ds}} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_{I_D} = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{DS}} \right|_{v_{GS}=V_{GS}, i_D=I_D} = \left. \frac{I_d}{V_{ds}} \right|_{v_{ds}=0}$$

I_d , v_{gs} , v_{ds} sunt valori efective. Expresia analitică pentru g_m (transconductanța sau conductanța mutuală) se obține prin derivarea relației (3.2) sau a uneia din relațiile (3.3), (3.4) sau (3.5) în funcție de regimul static al TEC- J .

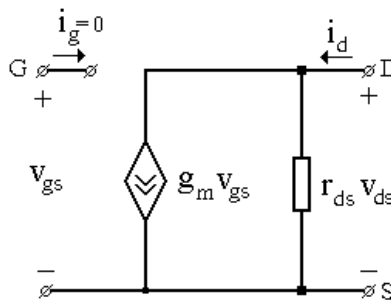


Fig. 3.5 Circuitul echivalent de semnal mic și joasă frecvență pentru funcționarea în saturație.

Expresia analitică pentru conductanța canalului $g_d = \frac{I}{r_{ds}}$ rezultă prin derivarea relației (3.1) sau (3.2). În regim de saturație, prin derivarea relațiilor (3.4), (3.5) rezultă $g_d = 0$. În realitate însă, conductanța canalului este nenulă în orice condiții.

Dacă se analizează structura reală a unui TEC-J se remarcă prezența între extremitățile canalului propriu-zis și contactele metalice S și D, a unor porțiuni de siliciu n (sau p pentru TEC-J cu canal p) a căror rezistență trebuie luată în considerare în construirea unui model dinamic mai rafinat. Astfel, modelul se completează cu rezistențele R_d și R_s și este prezentat în fig. 3.6.

Rezistențele R_d și R_s depind de tensiunile aplicate tranzistorului. Valorile măsurate pentru g_m și g_d pot diferi de cele care rezultă din formulele teoretice datorită prezenței acestor rezistențe.

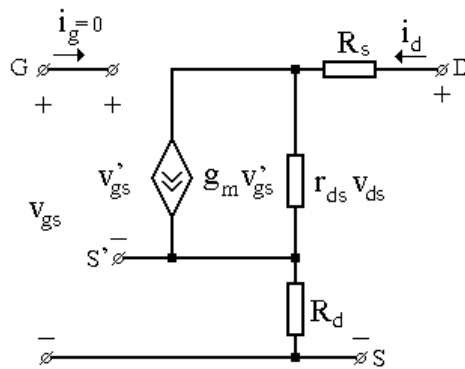


Fig. 3.6 Circuitul echivalent de semnal mic și joasă frecvență ce include efectul rezistențelor serie din zona de sursă respectiv drenă.

Circuit de amplificare cu tranzistor TEC-J

Pentru a fi utilizat ca amplificator tranzistorul TEC-J se utilizează polarizat în regim de saturație. În acest regim există, la semnal mic, o dependență liniară între tensiunea de comandă v_{gs} și curentul de drenă i_d (fig. 3.7).

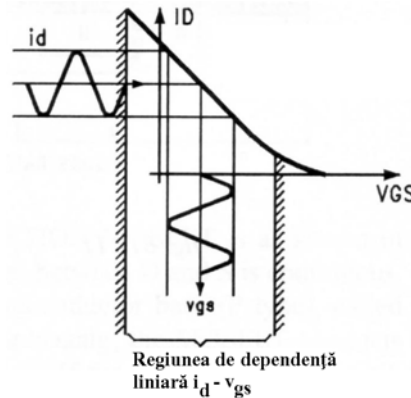


Fig. 3.7 Zona optimă de lucru pentru tranzistorul TEC-J ca amplificator de semnal mic.

$$i_d = g_m \cdot v_{gs}$$

unde,

g_m = transconductanța sau panta tranzistorului TEC-J.

Ca și tranzistorul bipolar, TEC-J-ul poate lucra ca amplificator într-una din cele patru conexiuni: *sursă comună (SC)*, *grilă comună (GC)*, *drenă comună (DC)* sau *repetor pe sursă și sarcină distribuită (SD)*.

În fig. 3.8 este prezentat un circuit de amplificare în care tranzistorul lucrează în conexiunea SC. Tranzistorul este atacat pe grilă cu un generator de semnal prin intermediul condensatorului de decuplare C_1 . Rezistorul R_G este utilizat pentru întoarcerea curentului de poartă către punctul de masă. Curentul prin tranzistor se fixează cu ajutorul rezistorului R_S . Condensatorul C_S este utilizat ca și condensator de decuplare în circuitul sursei. Pentru o valoare bine aleasă acesta va scurtcircuita R_S în curent alternativ în banda de lucru punând tranzistorul cu sursa la masă (sursă comună).

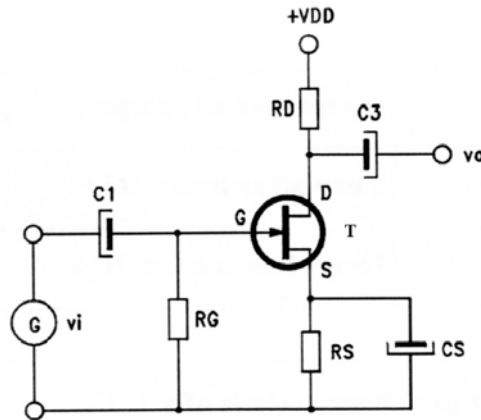


Fig. 3.8 Etaj *sursă comună* (SC) realizat cu tranzistor TEC-J.

Rezistența de sarcină a etajului este constituită numai din R_D , rezistor ce are rol și pentru polarizarea în curent continuu a tranzistorului.

Amplificarea de tensiune a etajului SC este dată de relația:

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = -g_m \cdot R_D$$

Semnul minus din relația ce dă amplificarea de tensiune a etajului semnifică faptul că la ieșire semnalul este defazat cu 180° față de semnalul de intrare.

Rezistențele de intrare/ieșire în/din etaj sunt:

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_G$$

$$R_o = \frac{v_o}{i_o} = R_D$$

Calculul acestora au presupus o rezistență de intrare și o rezistență r_{ds} infinite pentru tranzistorul TEC-J.

3.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

3.3.1 APARATE NECESARE

- Sursă de alimentare PS1-PSU/EV sau PSLC/EV
- Modulul MCM4/EV;
- Multimetru;
- Osciloscop;
- Generator de semnal.

3.3.2 MCM4/EV-TRANZISTORUL TEC-J. PREGĂTIRI PRELIMINARE

MCM-4	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis
SIS2	Introduceți cod lecție: B04

Se pornește de la modulul aflat pe placa MCM-4 stânga sus cu schema electrică pentru măsurători pe tranzistorul TEC-J prezentată în fig. 3.9:

Tehnica de polarizare aleasă este cu două surse:

- Sursa fixă de 12V/-12V și un divizor rezistiv reglabil pentru tensiunea V_{GS} ;
- Sursă variabilă 1,2V-24V (V_{CC}) și o rezistență serie pentru polarizarea drenă-sursă.

! Valorile amplitudinilor tensiunilor și curenților alternativi sunt date în mărimi RMS.

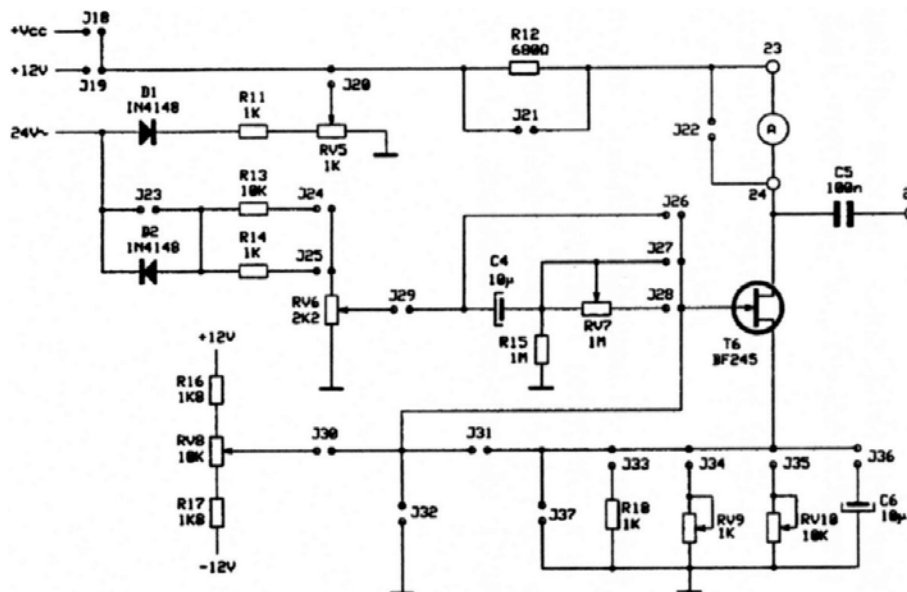


Fig. 3.9 Schema electrică pentru măsurători pe tranzistorul TEC-J de pe modulul MCM-4.

3.3.3 MĂSURAREA CARACTERISTICILOR DE CURENT CONTINUU

Caracteristica de transfer

Se realizează circuitul din fig. 3.10 prin conectarea jumperilor $J18$, $J22$, $J30$, $J37$. Pentru măsurarea tensiunilor se utilizează voltmetrul sau osciloscopul așa cum se arată în figură.

Se fixează tensiunea $V_{CC} = 15V$.

Cu ajutorul potențiometrului $RV8$ se reglează tensiunea V_{GS} a tranzistorului la valorile din tabelul 3.1 și se măsoară curentul de drenă I_D indirect, prin măsurarea căderii de tensiune pe rezistorul R_{I2} .

Curentul I_D se calculează cu relația:

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_{DS}}{R_{I2}}$$

unde, $R_{I2} = 680\Omega$.

Se trasează graficul $I_D = f(V_{GS})$ și se evaluează valoarea curentului I_{DSS} . Graficul rezultat va fi de forma celui din fig. 3.11.

Se evaluează tensiunea de prag a tranzistorului TEC-J (V_T). Tensiunea de prag este tensiunea V_{GS} de la care curentul de drenă devine egal cu zero.

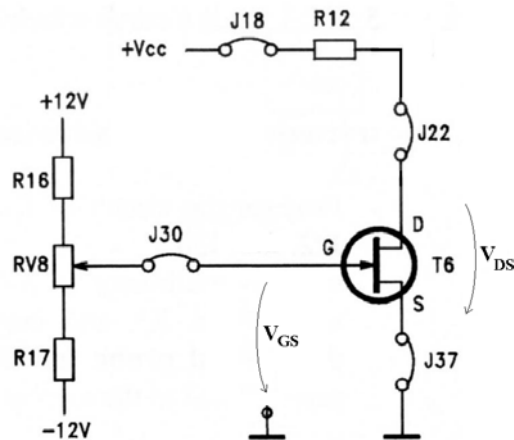


Fig. 3.10 Circuitul pentru măsurarea caracteristicii de transfer.

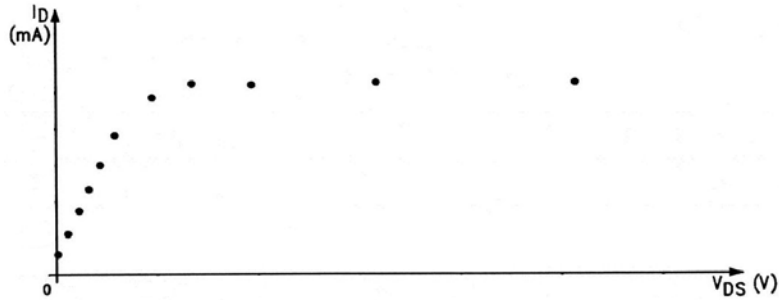


Fig. 3.12 Forma caracteristicii de ieșire.

Pentru fiecare curbă se va determina grafic tangenta în origine:

$$g_{d,lin} = \left. \frac{di_D}{dv_{DS}} \right|_{V_{DS}=0} = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{DS}} \right|_{V_{DS}=0}$$

Rezultatele se trec în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

$V_{GS} [V]$	0	-0,5	-0,1	-1,5	-2	-2,5	-3
$g_{d,lin1} [mA/V]$							

Funcționarea TEC-J ca generator de curent constant

Regimul în care tranzistorul TEC-J poate funcționa ca generator de curent constant este saturația ($V_T < V_{GS} < 0V$ și $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$). Dacă se neglijează efectul scurtării canalului în saturație și se utilizează ecuația ce descrie funcționarea TEC-J:

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

rezultă că pentru $V_{GS} = 0V$ se obține $I_D = I_{DSS} = ct. = maxim$. Dacă $V_T < V_{GS} < 0V$ și $V_{GS} = ct.$ atunci tranzistorul va funcționa în continuare ca generator de curent constant dar cu un curent de drenă de valoare mai mică decât I_{DSS} . Pentru verificarea acestui comportament se va utiliza circuitul din fig. 3.13.

Se reglează sursa de tensiune la valoarea de +24V. Se conectează jumper-ii J18, J22, J31 și J34. Se variază rezistorul RV9 fixându-se pentru V_{DS} valorile din tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

$V_{DS} [V]$		13	14	15	16	17	18	19
$V_{GS} = 0$	$V_{DD} - V_D [V]$							
	$R_{12} [k\Omega]$							
	$I_D [mA]$							

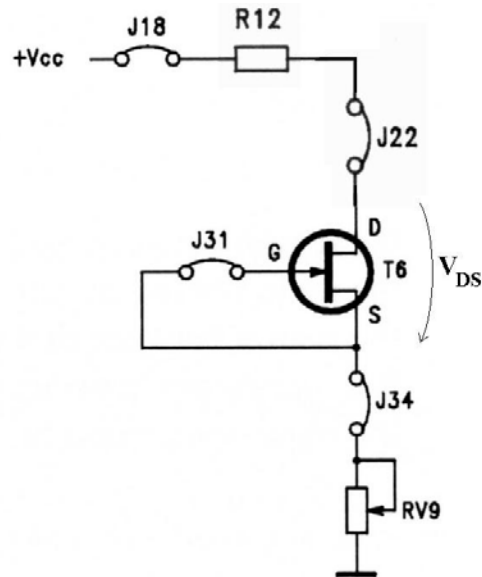


Fig. 3.13 Circuitul pentru măsurarea caracteristicii curent-tensiune a sursei de curent constant realizate cu TEC-J.

Se măsoară indirect curentul în circuit. Acesta trebuie să rămână constant câtă vreme tranzistorul rămâne în saturație.

Se trasează graficul $I_D = f(V_{DS})$.

3.3.4 VERIFICAREA MODELULUI DINAMIC

Estimarea r_d în saturație

Se realizează configurația din fig. 3.14. Se conectează jumper-ii *J18*, *J21*, *J30* și *J37*.

Se conectează rezistența $R_{J22}^1 = 10k\Omega$ și condensatorul C_{J20} ($10\mu F$) se fixează $V_{GS} = -2V$ și $V_{DS} = 5V$. Generatorul de semnal este conectat și pornit, dar reglat la $V_S = 0V$. Potentiometrul semireglabil *RV5* se reglează cu cursorul în masă.

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 măsurătorile pentru $R_{J22}^2 = 22k\Omega$.

Tabelul 3.5

$R_{J22} [k\Omega]$	10	22
$V_{ds} [mV]$		

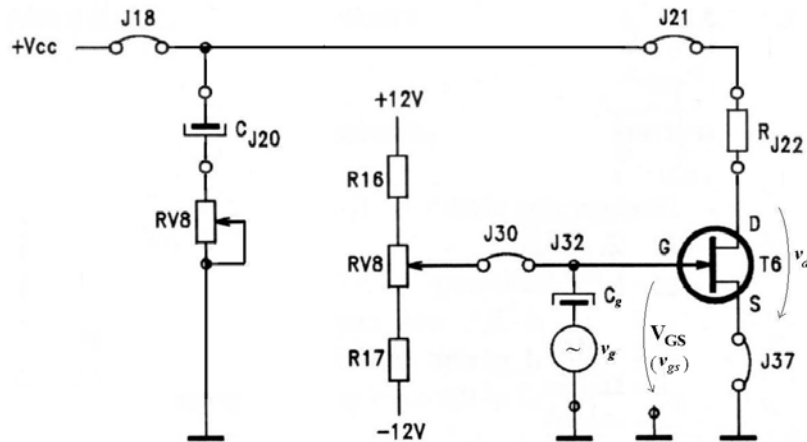


Fig. 3.14 Circuitul pentru măsurarea rezistenței dinamice în saturație (r_d) și a $g_{m,sat}$.

Se calculează:
$$r_{d,sat} = \frac{I}{g_{d,sat}} = \frac{R_{J22}^2 - R_{J22}^1}{\frac{R_{J22}^2 \cdot v_{ds1} - I}{R_{J22}^1 \cdot v_{ds2}}}$$

Măsurarea conductanței mutuale în saturație - $g_{m,sat}$

În configurația din fig. 3.14 se elimină jumper-ul J21 și se adaugă J22. Se reglează succesiv V_{GS} la valorile din tabelul 3.6 menținându-se de fiecare dată $V_{DS} = 4V$, $V_{gs} = 10mV$ și măsurându-se V_{ds} . Se calculează conductanța mutuală măsurată, $g_{m,sat1}$, iar valorile se trec în tabelul 3.6.

$$g_{m,sat1} = \left. \frac{v_{ds}}{R_{J22} \cdot v_{gs}} \right|_{V_{DS}=4V}$$

Tabelul 3.6

$V_{GS} [V]$	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
$V_{ds} [mV]$							
$g_{m,sat1} [mA/V]$							
$g_{m,sat2} [mA/V]$							

Cu ajutorul valorilor I_{DSS} și V_T determinate anterior se calculează conductanța mutuală teoretică $g_{m,sat2}$, iar valorile se trec în tabelul 3.6.

$$g_{m,sat2} = \frac{2I_{DSS}}{(V_T)^2} \cdot |V_T - V_{GS}| \Big|_{V_{DS}=4V}$$

Cu datele din tabelul 3.6 se trasează pe aceleași grafic, curbele:

C1: $g_{m,sat1} = f(V_{GS})$, pentru $V_{DS} = 4V$

C2: $g_{m,sat2} = f(V_{GS})$, pentru $V_{DS} = 4V$

Cum explicați diferențele care rezultă între $g_{m,sat1}$ (transconductanța măsurată) și $g_{m,sat2}$ (transconductanța calculată)?

Măsurarea conductanței canalului în regiunea liniară - $g_{m,lin}$

Se realizează configurația din fig. 3.15 conectându-se jumper-ii $J21$, $J30$, $J37$ și $R_{J22} = 10k\Omega$. Se reglează potențiometru $RV5$ cu cursorul în masă. Se ajustează succesiv V_{GS} la valorile din tabelul 3.7. Se modifică de fiecare dată amplitudinea generatorului astfel încât să se obțină $V_{ds} = 20mV$. Se măsoară V_{dd} și se trece în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7

$V_{GS} [V]$	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
$V_{dd} [mV]$							
$g_{d,lin2} [mA/V]$							
$g_{d,lin3} [mA/V]$							

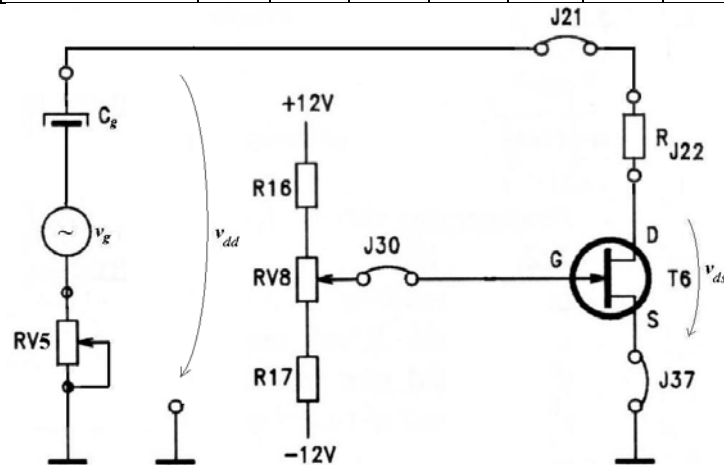


Fig. 3.15 Circuitul pentru măsurarea conductanței canalului în regiunea liniară - $g_{d,lin}$.

Utilizând datele din tab. 3.7 se calculează pentru fiecare valoare a lui V_{GS} , parametrul:

$$g_{d,lin2} = \left. \frac{\frac{V_{dd} - I}{V_{ds}}}{R_{J22}} \right|_{V_{DS}=0V}$$

și cu ajutorul lui I_{DSS} și V_T parametrul

$$g_{d,lin3} = \frac{2I_{DSS}}{(V_T)^2} \cdot |V_T - v_{GS}| \Big|_{V_{DS}=0V}$$

Rezultatele se trec în tabelul 3.7. Cu datele din tabellele 3.3 și 3.7 se trasează grafic curbele:

C3: $g_{d,lin1} = f(V_{GS})$, pentru $V_{DS} = 0V$

C4: $g_{d,lin2} = f(V_{GS})$, pentru $V_{DS} = 0V$

C5: $g_{d,lin3} = f(V_{GS})$, pentru $V_{DS} = 0V$

Cum explicați diferențele care rezultă între conductanțele drenă-sursă măsurate prin diferite metode $g_{d,lin1}$ și $g_{d,lin2}$ și conductanța $g_{d,lin3}$ calculată cu relația?

3.3.5 AMPLIFICATOR DE SEMNAL MIC CU TEC-J

Conexiunea utilizată pentru experimentarea amplificării la tranzistorul TEC-J este sursa comună (SC) – fig. 3.16.

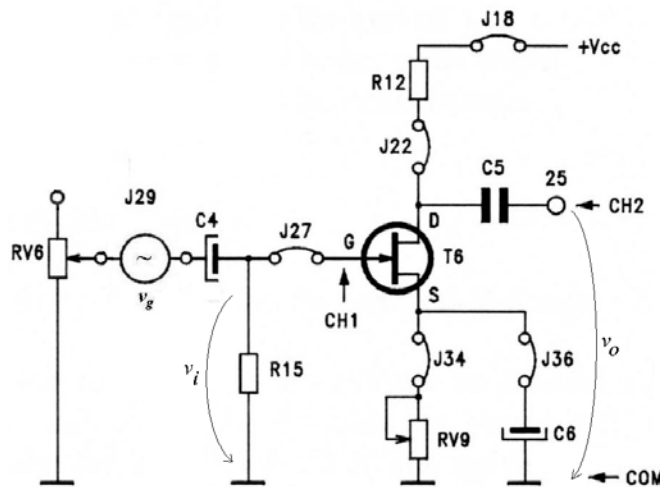


Fig. 3.16 Amplificator sursă comună cu TEC-J.

Fig. 3.16 se realizează în următoarele etape:

- Se conectează jumperii *J18*, *J22*, *J27*, *J29*, *J34*, *J36*;
- Se reglează *Vcc* la valoarea de *24V*;
- Se conectează cele două canale ale osciloscopului ca în fig. 3.16;
- Se poziționează cursorul potențiometrului semireglabil *RV6* la masă;
- Se conectează generatorul de semnal pe poziția jumper-ului *J29*;
- Se reglează semnalul pe grila tranzistorului *T6* la o amplitudine de *0,2Vpp / 1kHz*;
- Se ajustează cursorul potențiometrului semireglabil *RV9* până amplitudinea semnalului de ieșire e maximă;
- Se măsoară tensiunea pp (peak to peak) la ieșire în absența distorsiunilor și se calculează amplificarea cu relația:

$$A_v = \frac{v_{o,pp}}{v_{i,pp}}$$

- Se verifică dacă defazajul între intrare și ieșire este de 180° .

3.4 ÎNTREBĂRI

1. Ce este canalul la un tranzistor TEC-J?
 - a) Regiunea dintre sursă și drenă;
 - b) Regiunea dintre poartă și sursă;
 - c) Regiunea dintre drenă și sursă;
 - d) Conexiunea dintre cele două regiuni ale porții;
 - e) Conexiunea de intrare în TEC-J.
2. Canalul drenă-sursă este întrerupt ($I_D = 0$) când:
 - a) $V_{DS} = 0V$;
 - b) $V_{GS} = V_T$;
 - c) $V_{GS} = 0V$;
 - d) $V_{GS} = -5V$;
 - e) $V_{DS} = -1V$.
3. În regiunea liniară tranzistorul TEC-J se comportă ca:
 - a) O rezistență;
 - b) O diodă;
 - c) Un capacitor;
 - d) O bobină;
 - e) Un comutator deschis.
4. Ce erori se introduc în determinările asupra caracteristicilor statice prin menținerea prea îndelungată a TEC-J într-un regim de putere disipată relativ mare (I_D și V_{DS} mari)?
5. Tranzistorul TEC-J se poate utiliza ca generator de curent constant în:
 - a) Polarizare în regiunea liniară;

- b) Polarizare în saturație;
 - c) în oricare regiune a caracteristicii $I_D(V_{DS})$;
 - d) La $V_{GS} < V_T$;
 - e) La $V_{DS} = 0V$.
6. Tranzistorul TEC-J se poate utiliza ca amplificator de semnal mic:
- a) în regiunea liniară;
 - b) în oricare regiune a caracteristicii $I_D(V_{DS})$;
 - c) La $V_{GS} < V_T$;
 - d) La $V_{DS} = 0V$.
 - e) în saturație;
7. Curentul de poartă al tranzistorului TEC-J:
- a) Este dependent de V_T ;
 - b) Este dependent de caracteristica $I_D(V_{DS})$;
 - c) Este curentul rezidual al joncțiunii de poartă;
 - d) Crește invers proporțional cu tensiunea V_{DS} ;
 - e) Este proporțional cu I_{DSS} .