

Capitolul 4

4. TRANZISTORUL CU EFECT DE CÂMP

4.1. Prezentare generală

Tranzistorul cu efect de câmp a apărut pe piață în anii '60, după tranzistorul bipolar cu joncțiuni, deoarece tehnologia lui de fabricație a fost mai greu de pus la punct. Dacă pentru tranzistorul bipolar cu joncțiuni se folosește notația TBJ, pentru tranzistorul cu efect de câmp se folosesc notațiile TEC – Tranzistor cu Efect de Câmp sau FET – Field Effect Transistor.

La TEC conducția este asigurată de un singur tip de purtători de sarcină, electroni sau goluri, aceștia fiind purtătorii majoritari. De aceea, acest tranzistor se mai numește și tranzistor unipolar sau dispozitiv cu purtători majoritari. Tranzistorul cu efect de câmp are ca principiu de funcționare *efectul de câmp*, adică controlul valorii curentului prin tranzistor se obține cu un câmp electric care modifică conducția căii de trecere a curentului prin dispozitiv. Calea de trecere se numește *canal* și este partea activă a unui TEC.

TEC poate fi de două feluri din punctul de vedere al tipului de canal:

- 1) Cu canal n atunci când curentul prin dispozitiv este asigurat de electroni ca sarcini electrice;
- 2) Cu canal p atunci când curentul prin dispozitiv este asigurat de goluri ca sarcini electrice.

Câmpul ce controlează valoarea curentului prin dispozitiv este creat de o tensiune aplicată între două terminale ale tranzistorului, dintre care unul este terminalul de control care se numește *poartă* sau *grilă*. TEC este un dispozitiv electronic comandat în tensiune, spre deosebire de TBJ care este comandat în curent.

Tranzistoarele cu efect de câmp se împart în două categorii după modul în care se controlează valoarea curentului prin canal:

- Tranzistoare cu efect de câmp cu joncțiuni (TECJ) sau Junction Field Effect Transistor (JFET);
- Tranzistoare cu efect de câmp cu grilă izolată (MOSFET).

MOS corespunde denumirii de **Metal Oxide Semiconductor**, deoarece electrodul de comandă al tranzistorului este constituit dintr-un strat de metal separat de semiconductor printr-un strat izolator foarte subțire din oxid de siliciu. Tranzistoarele MOSFET reprezintă în prezent componentele de bază din circuitele integrate dedicate electronicii numerice. Prezentarea pe larg a MOSFET poate fi găsită în [? EEE-Steriu, ? DCE-Dănilă, ? E-Vasilescu].

În continuare se vor trata numai tranzistoarele cu efect de câmp cu joncțiuni (TECJ sau JFET).

4.2. Principiul de funcționare al tranzistorului cu efect de câmp cu joncțiuni

Simbolurile utilizate pentru reprezentarea tranzistorului cu efect de câmp cu joncțiuni în schemele electronice sunt arătate în figura 4.1.

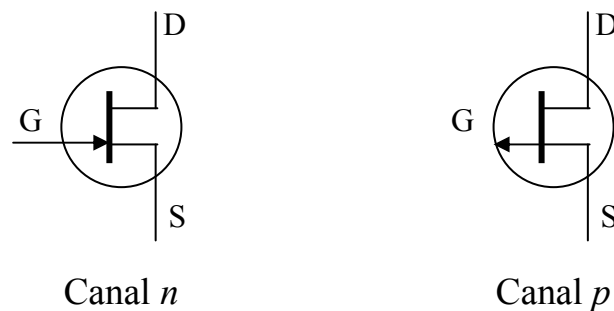


Fig. 4.1.

Cele trei terminale ale tranzistorului se numesc *drenă* (D), *sursă* (S) și *grilă* (G).

Structura unui TECJ este reprezentată în figura 4.2 a, unde s-a considerat un TECJ cu canal n . Această figură este utilă pentru înțelegerea funcționării TECJ.

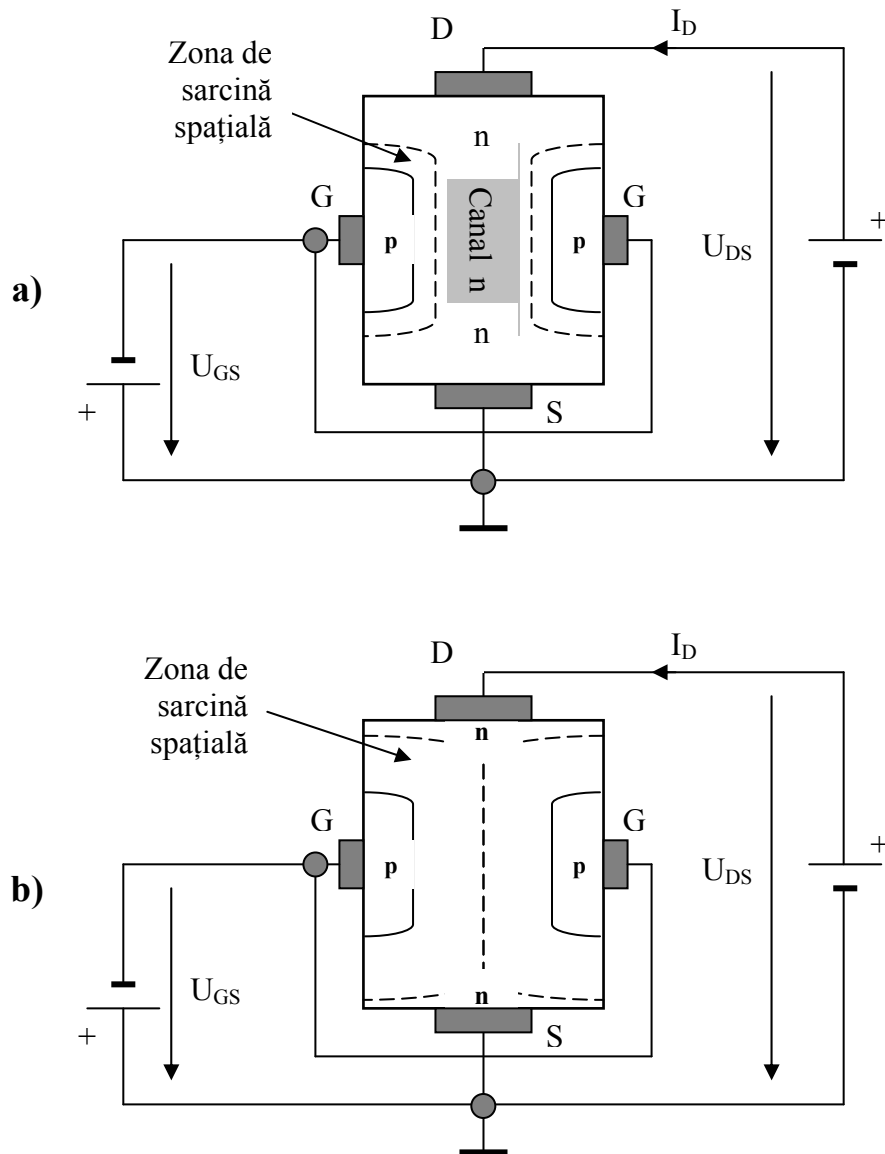


Fig. 4.2.

Un TECJ poate fi privit, ca și un TBJ, ca fiind alcătuit din doi dipoli:

1. dipolul grilă-sursă (G-S) care joacă rolul unui dipol de comandă. Prin grila TECJ circulă un curent de intensitate mică, de ordinul nano-amperilor.

2. dipolul drenă-sursă (D-S) care joacă rolul unui dipol comandat de către dipolul grilă-sursă. Dipolul drenă-sursă implică curenți mult mai mari decât cei de grilă.

Curentul de drenă I_D este dat de electronii care se deplasează de la sursă spre drenă atunci când tensiunea drenă-sursă U_{DS} este pozitivă.

Grila corespunde zonelor de tip p care mărginesc zona n și care sunt legate electric împreună prin exterior. Lățimea efectivă a canalului depinde de extinderea celor două zone de sarcină spațială, deci de tensiunea U_{GS} aplicată. Joncțiunile grilă-canal se polarizează invers și de aceea curentul de grilă este extrem de mic, practic neglijabil, ceea ce reprezintă unul din principalele avantaje ale TECJ.

Atunci când tensiunea $U_{GS} = 0$, tranzistorul este deschis și curentul I_D are o anumită valoare.

Dacă tensiunea inversă aplicată între grilă și canal crește în valoare absolută, atunci zonele de sarcină spațială se extind mai mult, lățimea efectivă a canalului scade și în consecință rezistența acestuia crește (fig. 4.2 b). Dacă tensiunea U_{DS} se menține constantă (alimentarea circuitului se face din sursă de tensiune continuă stabilizată), atunci curentul I_D se micșorează. Aceasta este manifestarea *efectului de câmp* la TECJ.

Pentru o anumită valoare a tensiunii U_{GS} , numită *tensiune de prag* U_P a tranzistorului, cele două zone de sarcină spațială se întâlnesc (fig. 4.2 b), canalul dintre sursă și drenă dispăre și curentul de drenă $I_D = 0$.

Nu se recomandă ca tensiunea U_{GS} să devină pozitivă.

Rezultă că dipolul drenă-sursă al TECJ se comportă ca o rezistență variabilă, a cărei valoare depinde de tensiunea de comandă U_{GS} aplicată. Tranzistorul poate fi utilizat ca amplificator deoarece, ca și în cazul TBJ, pentru variații mici ale mărimii de comandă U_{GS} au loc variații mari ale mărimii comandate I_D .

Se poate afirma că TECJ este în conducție maximă atunci când $U_{GS} = 0$.

Observație: pentru TECJ cu canal p funcționarea este similară, dar sensul curentului I_D și polaritățile tensiunilor trebuie schimbate.

4.3. Conexiuni fundamentale ale tranzistorului cu efect de câmp

Conexiunile fundamentale ale tranzistorului cu efect de câmp în montajele electronice sunt următoarele: sursă comună (SC), drenă comună (DC) și grilă comună (GC) (fig. 4.3).

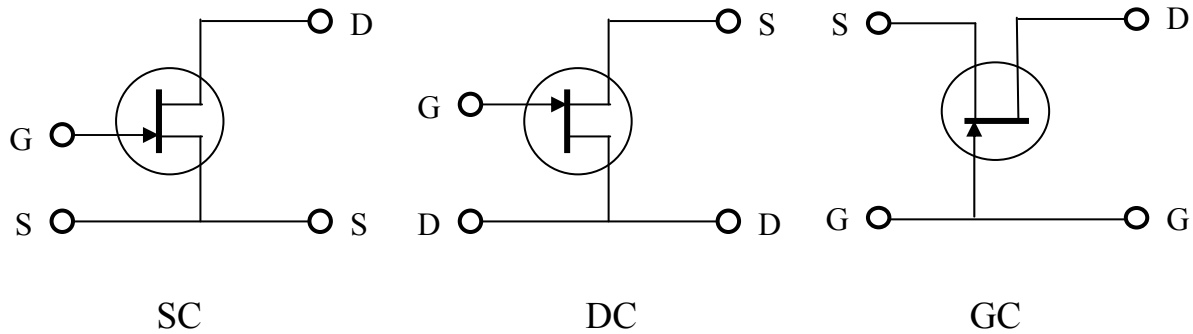


Fig. 4.3.

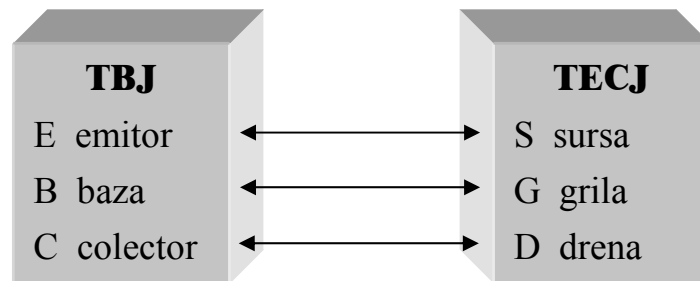


Fig. 4.4.

Se poate face o analogie cu conexiunile fundamentale ale tranzistorului bipolar cu joncțiuni (EC, CC și BC) dacă fiecăruia din cele trei terminale ale tranzistorului cu efect de câmp asociem electrodul corespunzător de la celălalt tip de tranzistor (fig. 4.4).

4.4. Caracteristici statice ale tranzistorului cu efect de câmp cu joncțiuni

Caracteristicile statice ale tranzistoarelor cu efect de câmp reprezintă modul de variație a curentului de drenă I_D în funcție de tensiunile drenă-sursă U_{DS} și grilă-sursă U_{GS} . Cele mai utilizate caracteristici statice sunt caracteristicile de ieșire $I_D = f(U_{DS}) \big|_{U_{GS}=ct.}$ și caracteristicile de transfer $I_D = f(U_{GS}) \big|_{U_{DS}=ct.}$

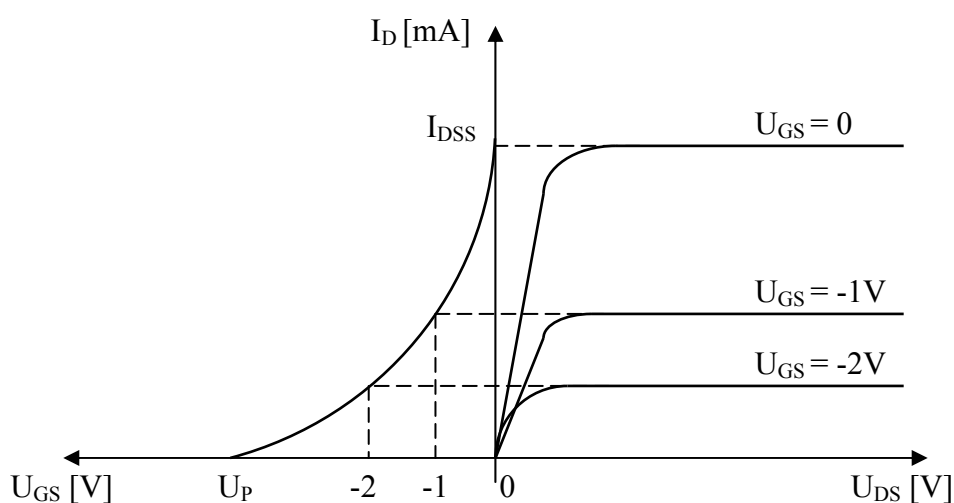


Fig. 4.5.

În figura 4.5 s-au reprezentat trei caracteristici statice de ieșire din familia de caracteristici a TECJ (partea din dreapta) și o singură caracteristică statică de transfer (partea din stânga).

Se poate remarca asemănarea caracteristicilor statice de ieșire ale TECJ cu cele ale TBJ, cu remarcă că aici mărimea de comandă nu mai este un curent ci o tensiune. Porțiunea din caracteristica statică unde curentul de drenă atinge un palier se numește „zonă de saturație”, iar porțiunea corespunzătoare valorilor reduse ale U_{DS} se numește „zona ohmică” sau „zona nesaturată”.

Dacă se crește mult valoarea tensiunii U_{DS} atunci TECJ se poate străpunge.

Valoarea maximală a curentului de drenă, obținută cu tensiunea $U_{GS} = 0$, se notează I_{DSS} și este de obicei de ordinul a câțiva miliamperi. În notația

curentului de drenă I_{DSS} semnificația simbolurilor utilizate este următoarea: primul S corespunde la „sursă comună”, iar cel de-al doilea S corespunde la „scurt circuit” deoarece se scurtcircuitează grila prin legarea ei la sursă.

Tensiunea de prag U_P și curentul I_{DSS} sunt cei doi parametri caracteristici ai TECJ.

În zona de saturație, curentul de drenă este dat de relația teoretică următoare:

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2. \quad (4.1)$$

Pentru TECJ cu canal p tensiunile de polarizare și curentul de drenă sunt inversate în raport cu cele pentru TECJ cu canal n .

4.5. Polarizarea tranzistorului cu efect de câmp

Polarizarea cea mai simplă și mai economică a unui TECJ se poate asigura cu ajutorul montajului din figura 4.6, care conține o singură sursă de alimentare $+E_D$. Rezistența R_G , care poate să aibă o valoare oricât de mare dorim, fixează potențialul grilei la zero (la TECJ curentul de grilă este nul).

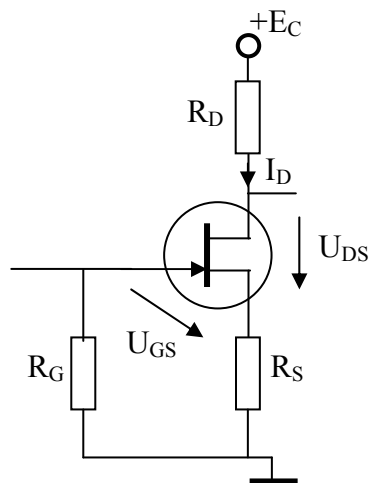


Fig. 4.6.

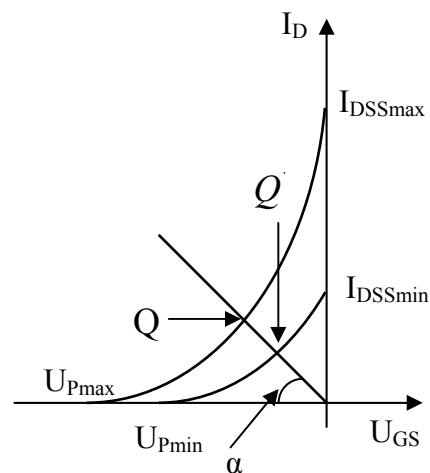


Fig. 4.7.

În sursă se pune rezistența R_S care asigură polarizarea inversă a joncțiunii grilă-sursă. La acest tip de tranzistor $I_G = 0$, deci prin R_G nu trece curent și nu va exista cădere de tensiune la borne. Se aplică teorema II a lui Kirchhoff pe ochiul de circuit format din joncțiunea grilă-sursă, R_S și R_G și se obține

$$U_{GS} = -R_S \cdot I_D \quad (4.2)$$

relație care reprezintă ecuația dreptei de polarizare. Punctul de lucru Q al montajului este situat la intersecția caracteristicii de transfer a tranzistorului cu dreapta de polarizare de pantă $tg\alpha = -\frac{1}{R_S}$ (vezi figura 4.7). Dacă se alege R_S mică, atunci unghiul α este mare și implicit I_D poate varia mult. Dacă se alege R_S mare, atunci unghiul α este mic și implicit I_D poate varia puțin. Deci alegând R_S de valoare mare se asigură stabilizarea punctului static de funcționare a tranzistorului.

Se face precizarea că la TECJ cea mai importantă variație a punctului static de funcționare se datorește dispersiei parametrilor tranzistorului (există o plajă de variație a parametrilor U_p și I_{DSS}).