

# UTILIZAREA TRANZISTOARELOR MOSFET ÎN CALITATE DE ELEMENT DE COMUTARE ÎN ELECTRONICA DE PUTERE

Florentin DÎRZU, Ion BRUNCHI

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** În această lucrare se cercetează funcționarea tranzistorului MOSFET ca element de cheie electronică într-un circuit de impulsuri. Se prezintă regimul de funcționare, se măsoară caracteristicile dinamice de comutare și se cercetează metoda de îmbunătățire a lor.

**Cuvintele cheie:** tranzistor MOSFET, element de comutare, polarizare, control, tensiune, driver.

## Introducere

În electronica de putere, încet, dar sigur, tranzistoarele MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) iau locul tranzistoarelor bipolare datorită multiplelor calități pe care le oferă utilizatorului. Se cunoaște faptul că, tranzistoarele bipolare de putere necesită pentru comandă un curent de bază de ordinul sutelor de mA, deoarece factorul de amplificare în curent continuu  $\beta$  este mic și apare problema realizării unei scheme de comandă costisitoare.

Tranzistoarele MOSFET au marele avantaj că sunt dispozitive semiconductoare comandate în tensiune, curentul absorbit de grilă fiind de ordinul  $\mu\text{A}$ . Valoarea tensiunii de prag grilă-sursă ( $U_{GS}$ ) este uzual cuprinsă între 2...4 V.

O calitate importantă a tranzistoarelor MOSFET este că au curent de drenă ( $I_D$ ) format numai din purtători majoritari. Astfel, timpii de comutație sunt mai mici decât la tranzistoarele bipolare. Cu aceste tranzistoare se pot realiza surse de tensiune în comutație cu frecvență de lucru foarte mare, iar gabaritul acestora scade semnificativ.

## Structura și tipurile de tranzistoare MOSFET

Tranzistoarele MOSFET, prezentate în Figura 1, sunt dispozitive electronice cu trei terminale active: grilă G, drenă D și sursă S. Grila este izolată cu un strat de oxid de siliciu, astfel încât curentul de grilă este practic nul (ajunge chiar la  $1\mu\text{A}$ ), iar curenții de drenă și sursă sunt practic egali. Funcționarea tranzistorului se bazează pe controlul conductanței electrice a canalului între drenă și sursă, control efectuat prin tensiunea grilă-sursă. Conductibilitatea între drenă și sursă crește, când crește curentul de drenă  $I_{DS}$ .

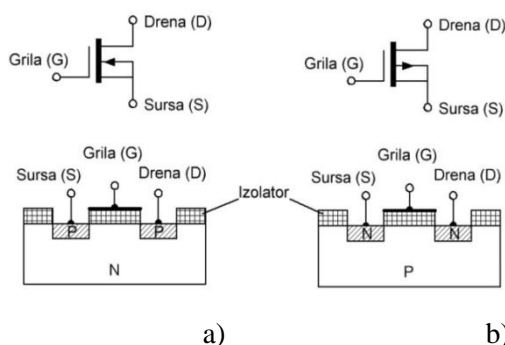


Figura 1. Tranzistoare MOSFET, cu canal N (a) și cu canal P (b)

După polaritatea lor există două tipuri de tranzistoare MOS: cu canal n (NMOS) sau canal p (PMOS), iar după principiul de funcționare avem tranzistoare cu canal indus sau canal inițial. Simbolul grafic și structura sunt prezentate pentru tranzistoarele NMOS cu canal indus în figura 1,a), iar pentru tranzistoarele PMOS în figura 1,b). Între canal și substrat există o joncțiune semiconductoare, reprezentată pe simboluri prin săgeata desenată pe terminalul substratului. Sensul săgeții arată sensul în care această joncțiune conduce: joncțiunea trebuie însă menținută întotdeauna invers polarizată, altfel ar compromite funcționarea tranzistorului. Pentru ca această joncțiune să fie blocată în orice moment, pentru un tranzistor cu canal n substratul trebuie să fie legat la cel mai coborât potențial din circuit. Când tensiune este nulă între grilă și sursă, nu există curent de drenă (în acest moment tranzistorul este închis); la aplicarea unei tensiuni pozitive care depășește o anumită valoare  $V_T$ , numită tensiune de prag (threshold în engleză), apare un canal indus, valoarea curentului fiind

controlată de tensiunea pe grila. Dacă tensiunea grilă-sursă  $V_{GS}$  depășește tensiunea de prag  $V_T$ , curentul depinde parabolic de  $V_{GS}$ .

$$\begin{aligned} I_D &= 0 \quad \text{pentru } V_{GS} < V_T \\ I_D &= K (V_{GS} - V_T)^2 \quad \text{pentru } V_{GS} \geq V_T \end{aligned} \quad (1.1)$$

Din caracteristica de transfer al tranzistorului MOSFET prezentată în figura 2,b) trebuie de remarcat că parabola are minimumul chiar pe axa orizontală, la  $V_{GS} = V_T$  și  $I_D = 0$ . Tranzistorul este considerat "complet" deschis (în starea ON) la o anumită valoare a tensiunii  $V_{GS}$ , uzual de 4 V, unde se definește curentul  $I_{D(on)}$ .

Valoarea a curentului  $I_{D(on)}$  este dată în foile de catalog, de aici s-ar putea estima valoarea parametrul  $K$  al tranzistorului care este folosit pentru a calcula transconductanța [2].

$$K = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_T)^2} \quad (1.2)$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2\sqrt{K} \sqrt{I_D} \quad (1.3)$$

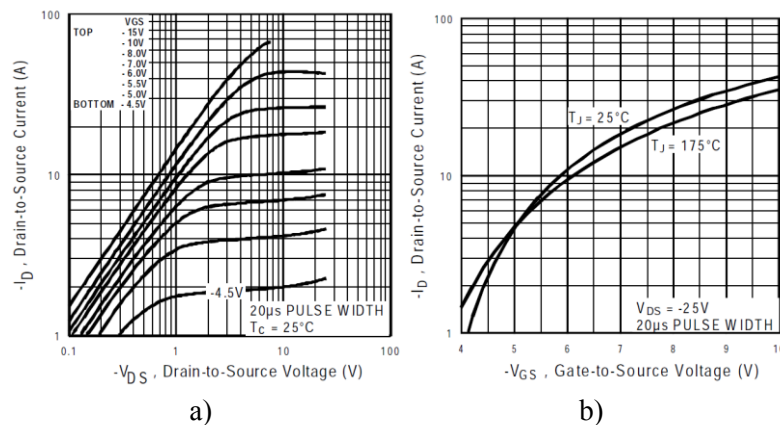


Figura 2. Caracteristicile tranzistorului MOSFET (IRF9Z34N) de ieșire (a) și de transfer (b)

Parametri tranzistorului depind de tehnologia utilizată de producător. De exemplu, pentru IFR9Z34N produs de IOR Rectifier [1], tensiunea de prag este în domeniul 2 - 4V. Caracteristica de transfer are, astfel o împrăștiere tehnologică mult mai mare decât la tranzistoarele bipolare. Dacă aplicăm pe grilă o tensiune mai mare decât tensiunea de prag (altfel tranzistorul ar fi blocat) familia de caracteristici de ieșire are forma din figura 2,a). Fiecare din caracteristici prezintă două regiuni distincte.

În prima regiune: la valori  $V_{DS}$  mici, curentul de drenă este aproximativ proporțional cu tensiunea drenă-sursă și tranzistorul se comportă ca un rezistor. Iar într-a doua regiune, tranzistorul se comportă cu totul altfel: la valori  $V_{DS}$  mari, curentul încetează practic să mai depindă de tensiunea drenă-sursă, ieșirea comportându-se ca o sursă de curent controlată de tensiunea de la grilă.

### Rezultatele cercetării experimentale

Tranzistorului MOSFET este analizat în regimul de funcționare cheie electronică. În figura 3 este prezentată schema echivalenta a tranzistorul MOSFET.

Schema echivalentă a tranzistorului MOSFET este formată din capacitățile parazite: capacitatea grilă - drenă ( $C_{GD}$ ), capacitatea grilă-sursă ( $C_{GS}$ ), capacitatea drenă-sursă ( $C_{DS}$ ), rezistența grilei ( $R_G$ ) și dioda ( $VD$ ) între drenă - sursă care este prezentă în figura de mai jos dar însa nu este ilustrată mereu în foaia de catalog.

În continuare vom analiza procesele de deschidere și închidere a tranzistorului MOSFET, diagramele în timp al cărora sunt prezentate în figura 4. Procesul de deschidere a tranzistorului MOSFET este prezentat în figura 4,a. În cazul ideal curentul drenei momentan crește până la valoarea de deschidere a tranzistorului, iar în cazul real acest proces nu are loc din cauza că tranzistorul MOSFET are un șir de capacități parazite care conduc la neliniaritatea caracteristicilor de intrare și ieșire (vezi figura 2).

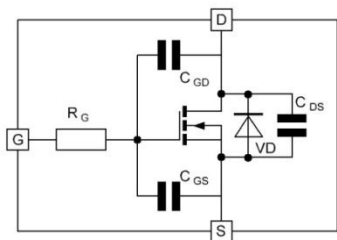


Figura 3 Schema echivalentă a tranzistorului MOSFET

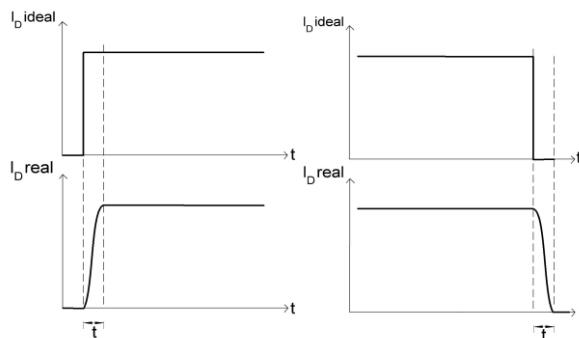


Figura 4 Procesul de deschidere (a) și procesul de închidere (b) a tranzistorului MOSFET

Curentul care circulă prin grila tranzistorului încarcă capacitatea  $C_{GS}$ . Timpul de deschidere a tranzistorului depinde de rezistența grilei  $R_G$  și capacitatea  $C_{GS}$ :

$$\tau_{desc.} = R_G \cdot C_{GS} \quad (1.4)$$

Din formula (1.4) rezultă că pentru a micșora valoarea lui  $\tau$  este necesar de a micșora valoarea  $R_G$  sau  $C_{GS}$ , ce nu putem realiza. Micșorarea a constantei de timp  $\tau$  nu este posibilă și ca urmare micșorarea timpului de deschidere este posibilă numai prin majorarea curentului de încărcare a capacității  $C_{GS}$ . Vom analiza procesele de deschidere și închidere a tranzistorului MOSFET din figura 5,a. Tranzistorul VT1 funcționează ca un comutator care în momentul când este deschis conectează grila tranzistorului MOSFET la cel mai jos potențial al circuitului. În acest moment capacitatea grilei se încarcă și VT2 se deschide, dar cu o anumită întârziere provocată de timpul de încărcare a capacității. Când tranzistorul VT1 se închide capacitatea grilei  $C_{GS}$  se descarcă prin rezistența R2, care este conectată între grilă-sursă a tranzistorului MOSFET. Timpul de deschidere a tranzistorului depinde de rezistențele  $R_G$ , R2 și capacitatea  $C_{GS}$ :

$$\tau_{inc.} = (R_G + R2) \cdot C_{GS} \quad (1.5)$$

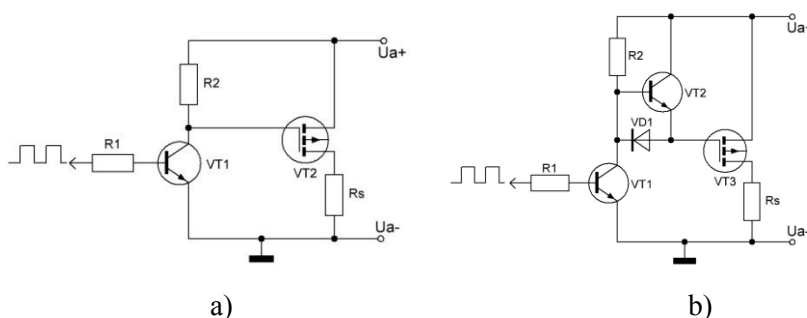


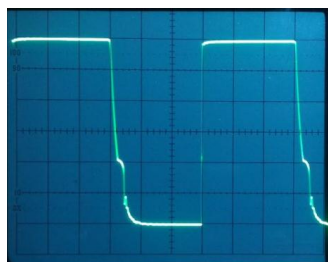
Figura 5 Tranzistorul MOSFET în regim de cheie, fără utilizarea driverului (a) și cu utilizarea driverului (b)

Din (1.4) și (1.5) se observă că timpul de închidere este mai mare decât timpul de deschidere, determinat de R2. Cu micșorarea rezistenței R2, se mărește curentul, și ca urmare se micșorează timpul de închidere a tranzistorului VT2. Însă, cu mărirea lui R2 se măresc pierderile, și apare necesitatea de a utiliza un tranzistor VT1 mai puternic. Aceasta este un lucru neadmisibil. Micșorarea timpului de închidere este posibilă prin utilizarea unui circuit special numit driver, prezentat în figura 5,b, care este alcătuit dintr-un tranzistor VT2 prin care forțat se descarcă capacitatea grilei.

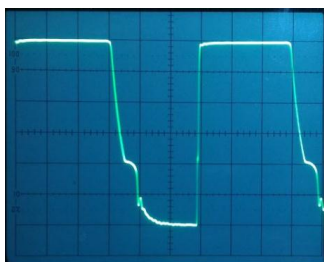
În momentul când se deschide tranzistorul VT1, grila tranzistorului VT3 se conectează la cel mai jos potențial al circuitului prin dioda deschisă VD1 și VT3 se deschide. Când tranzistorul VT1 se închide se deschide tranzistorul VT2, deoarece se aplică potențial pozitiv la baza lui prin rezistorul R2. Dioda VD1 se închide. Capacitatea  $C_{GS}$  a tranzistorului VT3 se descarcă rapid prin tranzistorul deschis VT2. Astfel timpul de închidere se micșorează semnificativ aceasta se observă în figura 7.

Astfel după utilizarea driverului se poate obține un randament mai mare, acest lucru se poate observa din oscilोगrame obținute din rezultatele experimentale prezentate în figura 7.

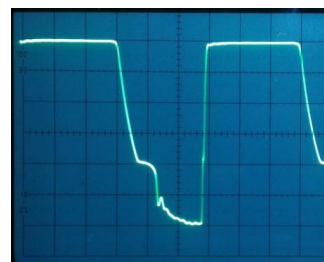
Astfel a fost montată o schemă experimentală pentru ridicarea oscilogramelor care utilizează: un generator, sursă de alimentare, oscilograf și schemele montate din figura 5, a și b. În urma efectuării am obținut următoarele oscilograme prezentate mai jos.



Oscilograma la  
frecvența de 50  
kHz

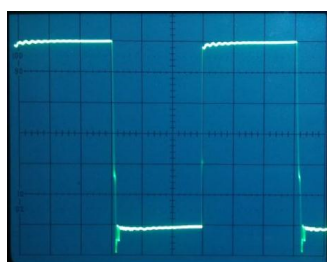


Oscilograma la frecvența de 100  
kHz



Oscilograma la frecvența de 150  
kHz

Figura 6 Oscilogramele tensiunii grilă-sursă a tranzistorului MOSFET pentru schema fără driver



Oscilograma la frecvența de 50  
kHz



Oscilograma la frecvența de 100  
kHz



Oscilograma la frecvența de 150  
kHz

Figura 7 Oscilogramele tensiunii grilă-sursă a tranzistorului MOSFET pentru schema cu driver

## Concluzie

Cercetarea efectuată arată că în cazul utilizării a tranzistorul MOSFET ca element de comutare se manifestă un șir de neajunsuri cauzate de elementele parazite ce apar în procesul de fabricare. Cel mai tare influențează capacitatea  $C_{GS}$  a tranzistorului asupra timpului de comutare. Aceasta devine foarte esențială când se mărește frecvența de lucru. Utilizarea unui circuit driver analizat în lucrare permite de a micșora timpul de închidere a tranzistorului. Timpul de deschidere de asemenea se poate de micșorat utilizând un circuit driver care va permite mai rapid de încărcat capacitatea  $C_{GS}$ . Astfel tranzistorul MOSFET poate fi utilizat în diferite circuite de comutație.

## Bibliografie

1. <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/irf/irf9z34n.pdf>
2. [http://old.unibuc.ro/prof/dinca\\_m/miha-p-dinc-elec-manu-stud/docs/2011/sep/22\\_12\\_32\\_50cap\\_7\\_v3.pdf](http://old.unibuc.ro/prof/dinca_m/miha-p-dinc-elec-manu-stud/docs/2011/sep/22_12_32_50cap_7_v3.pdf)
3. T. J. Floyd, Dispozitive electronice, Ed. Teora, București, 2003.
4. Găzdaru C., Constantinescu C. - Îndrumar pentru electroniști vol. 1- Ed. Tehnică, București 1986
5. [http://elth.ucv.ro/fisiere/probleme%20studentesti/Cursuri/Electronica%20I%209%20iunie%202009/CURS/Cp.3\\_Tranzistoare%20unipolare.pdf](http://elth.ucv.ro/fisiere/probleme%20studentesti/Cursuri/Electronica%20I%209%20iunie%202009/CURS/Cp.3_Tranzistoare%20unipolare.pdf)