



Universitatea „Ștefan cel Mare” - Suceava

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

Proiect la Circuite Electronice Fundamentale

PROIECT

Contribuții privind tranzistoarele cu efect de câmp

Echipa formată din următorii studenți:

Buzdea Nicanor – Robert

Zaharia Constantin - Claudiu

- SUCEAVA 2024 –

CUPRINS

1. Introducere	6
1.1. Contextul proiectului	6
1.2. Obiectivele experimentului/proiectului.....	6
1.3. Importanța utilizării tranzistorilor cu efect de câmp (FET) în aplicațiile moderne	6
2. Teoria și fundamentele tehnice	7
2.1. Tranzistorul cu efect de câmp (FET).....	7
2.2. Tipuri de tranzistoare cu efect de câmp (JFET, MOSFET)	7
2.3. Principiul de funcționare al JFET	7
2.4. Parametri relevanți: Transconductanța, curbele caracteristice de drenă	7
3. Avantaje și dezavantaje ale diferitelor componente testate	8
3.1. Analiza tranzistorilor JFET și MOSFET	8
3.2. Motivele alegerii componentelor pentru experiment	9
4. Descrierea proiectului.....	9
4.1. Schema bloc a montajului	9
4.2. Schema electrică detaliată	9
4.3. Descrierea circuitului și funcționalitatea acestuia	10
4.4. Detalii despre componentele utilizate	10
4.5. Fotografii explicative ale PCB-ului și montajului.....	10
5. Metodologia experimentului	11
5.1. Etapele de realizare a experimentului	11
5.2. Măsurători și calcule	12
5.3. Procedura de testare a tranzistorului JFET	12
5.4. Analiza rezultatelor obținute și interpretarea acestora	13
6. Instrucțiuni de utilizare	13
6.1. Manual de utilizare al dispozitivului proiectat.....	13
6.2. Instrucțiuni pentru operarea și întreținerea montajului	13
6.3. Recomandări pentru siguranță și precauții.....	13
7. Concluzii	13
7.1. Concluzii asupra performanței tranzistorilor JFET	13
7.2. Evaluarea transconductanței și a caracteristicilor de drenă.....	14
8. Evaluare	14
9. Bibliografie	16

Lista cu figuri

FIG. 1 Secțiune transversală printr-un JFET de tip n	7
FIG. 2 Curbele caracteristice de drenă.....	8
FIG. 3 Schema electrică (Altium Designer)	9
FIG. 4 Componente utilizate.....	10
FIG. 5 Schema de proiectare.....	10
FIG. 6 Procesul de obținere a montajului	11
FIG. 7 Măsurători și calcule.....	12
FIG. 8 Caracteristici drenă JFET	12

Lista de abrevieri

FET Field-Effect Transistor

JFET Junction Field-Effect Transistor

IGFET Insulated-Gate Field-Effect Transistor

MOSFET Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor

BJT Bipolar Junction Transistor

IDSS Curentul maxim Drenă - Sursă

gm Transconductanță

VGS Tensiunea Poartă - Sursă

VDS Tensiunea Drenă - Sursă

VR2 Tensiunea prin rezistorul R2

ID Curentul în Drenă

VDD Tensiunea în Drenă

VGG Tensiunea în Poartă/Grilă

1. Introducere

1.1. Contextul proiectului

Tranzistoarele cu efect de câmp cu joncțiune (JFET) reprezintă una dintre componentele esențiale în circuitele electronice moderne. Inventate de Shockley în 1952, acestea funcționează ca rezistoare a căror conductivitate este controlată printr-un câmp electric, oferind un mod eficient și precis de control al curentului. Aceste dispozitive unipolare sunt caracterizate printr-o impedanță de intrare extrem de mare și un consum redus de energie, ceea ce le face ideale pentru circuite de precizie și aplicații sensibile la zgomot.

1.2. Obiectivele experimentului/proiectului

Proiectul urmărește următoarele obiective principale:

- Studiarea și compararea teoretică a caracteristicilor tranzistorilor JFET și MOSFET.
- Realizarea unui montaj practic folosind un JFET cu canal N.
- Obținerea curbelor caracteristice de drenă (I_D - V_{DS}) și determinarea transconductanței (g_m).
- Analiza parametrilor obținuți pentru a evalua performanța dispozitivului în condiții reale de operare.

1.3. Importanța utilizării tranzistorilor cu efect de câmp (FET) în aplicațiile moderne

FET-urile sunt utilizate pe scară largă datorită stabilității termice, consumului redus de energie și zgomotului scăzut. În aplicațiile moderne, ele joacă un rol esențial în amplificatoare, circuite de comutare și sisteme IoT. Comparativ cu tranzistoarele bipolare, acestea oferă o mai bună flexibilitate și eficiență energetică, fiind indispensabile în proiectarea sistemelor electronice.

2. Teoria și fundamentele tehnice

2.1. Tranzistorul cu efect de câmp (FET)

Tranzistorul cu efect de câmp este un dispozitiv semiconductor controlat prin tensiune, având trei terminale: sursa (S), poarta (G) și drena (D). Principiul fundamental al funcționării este controlul curentului prin aplicarea unei tensiuni pe poartă, ceea ce modifică grosimea regiunii conductoare din canal. Spre deosebire de tranzistoarele bipolare, FET-urile sunt unipolare, folosind fie electronii (canal N), fie golurile (canal P) pentru conducție.

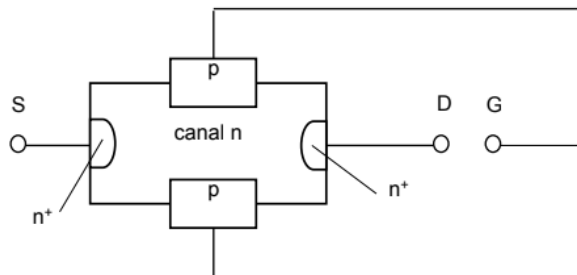


FIG. 1 Secțiune transversală printr-un JFET de tip n

2.2. Tipuri de tranzistoare cu efect de câmp (JFET, MOSFET)

- **JFET (Junction Field-Effect Transistor):** Utilizează o joncțiune PN polarizată invers pentru a controla curentul. Este disponibil în variante cu canal N sau P.
- **MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor FET):** Prezintă un strat de oxid de metal între poartă și canal, oferind un control mai precis al curentului, dar cu un consum mai mare de energie.

2.3. Principiul de funcționare al JFET

La un JFET cu canal N, tensiunea aplicată pe poartă (V_{GS}) controlează conductivitatea canalului. O tensiune negativă aplicată pe poartă extinde regiunea de sărăcire, reducând curentul de drenă (I_D). Când regiunea de sărăcire își atinge limita, curentul I_D scade până la zero.

2.4. Parametri relevanți: Transconductanța, curbele caracteristice de drenă

- **Transconductanța (g_m):** Definită ca raportul dintre variația curentului de drenă (ΔI_D) și variația tensiunii poartă-sursă (ΔV_{GS}).
$$g_m = \frac{\Delta I_d}{\Delta V_{gs}}$$
- **Curbele caracteristice de drenă:** Prezintă dependența curentului I_D de tensiunea V_{DS} pentru diferite valori ale V_{GS} , indicând regiunile de funcționare: liniară, de

saturație și de străpungere.

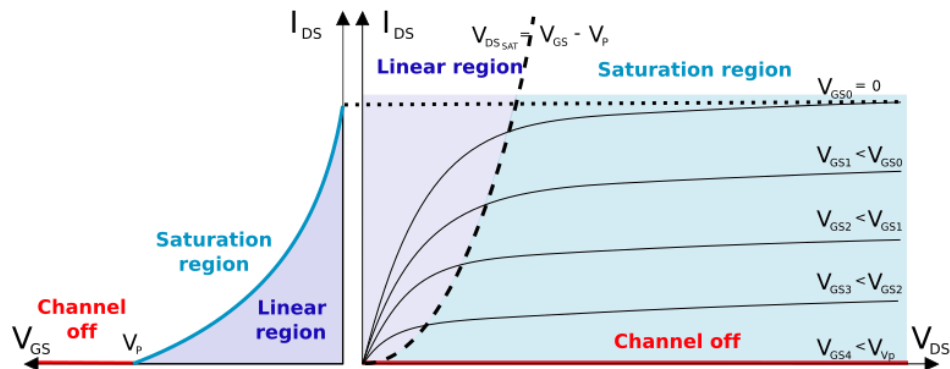


FIG. 2 Curbele caracteristice de drenă

3. Avantaje și dezavantaje ale diferitelor componente testate

3.1. Analiza tranzistorilor JFET și MOSFET

Tranzistoarele JFET și MOSFET sunt ambele utilizate pe scară largă în circuitele electronice, dar prezintă caracteristici distincte care le fac potrivite pentru aplicații diferite. JFET-urile sunt recunoscute pentru impedența lor de intrare extrem de mare și consumul redus de energie, fiind ideale pentru amplificatoare de precizie. Pe de altă parte, MOSFET-urile sunt preferate pentru aplicații de putere și comutare rapidă datorită capacității lor de a manipula curenți mari.

Avantaje JFET:

- Impedanță de intrare foarte mare.
- Consum redus de energie.
- Stabilitate ridicată în condiții termice variate.

Dezavantaje JFET:

- Sensibilitate scăzută la frecvențe înalte.
- Limitat la aplicații cu curenți mici.

Avantaje MOSFET:

- Viteză mare de comutare.

- Capacitate de a opera la tensiuni și curenți mari.

Dezavantaje MOSFET:

- Impedanță de intrare mai scăzută comparativ cu JFET.
- Consum mai mare de energie în stare activă.

3.2. Motivele alegerii componentelor pentru experiment

Pentru acest experiment, s-a ales utilizarea unui JFET cu canal N datorită ușurinței de implementare și testare. Performanțele acestuia în regim liniar și stabilitatea la zgomot au fost decisive pentru aplicația studiată.

4. Descrierea proiectului

4.1. Schema bloc a montajului

Schema bloc a montajului prezintă componentele principale: sursa de alimentare, tranzistorul JFET, rezistoarele de stabilizare și dispozitivele de măsurare (multimetre pentru tensiune și curent).

4.2. Schema electrică detaliată

Schema electrică include conexiunile precise dintre componente: tranzistorul JFET, rezistoarele, sursele de alimentare VDD și VGG, și punctele de măsurare.

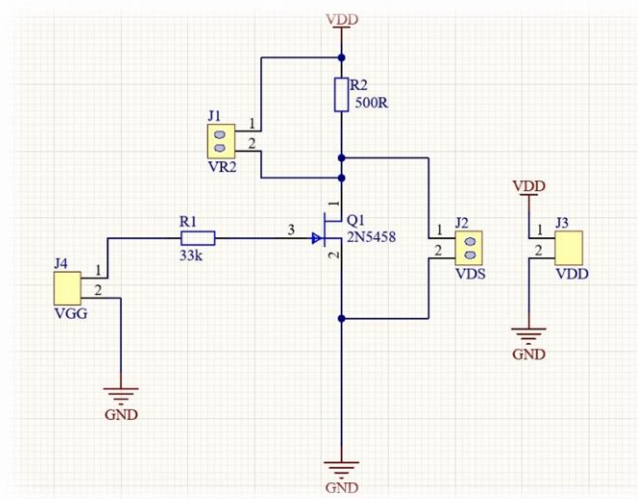


FIG. 3 Schema electrică (Altium Designer)

4.3. Descrierea circuitului și funcționalitatea acestuia

Circuitul este proiectat pentru a analiza caracteristicile tranzistorului JFET. Prin varierea tensiunii pe poartă (VGS) și drenă-sursă (VDS), se obțin curbele caracteristice necesare pentru evaluarea transconductanței.

4.4. Detalii despre componentele utilizate

- **Tranzistor:** JFET 2N5458.
- **Rezistoare:** R1 = 33 k Ω , R2 = 500 Ω .
- **Surse de tensiune:**
 - Wanptek NPS1203W,
 - TOPSHAK K3010D
- **Dispozitive de măsurare:** Multimetre pentru tensiune și curent.

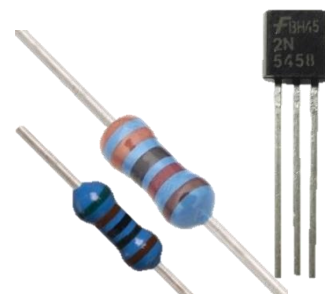


FIG. 4 Componente utilizate

4.5. Fotografii explicative ale PCB-ului și montajului

Fotografiile includ imagini clare ale montajului pe PCB, procesul de obținere a acestuia, alături de indicații privind conexiunile dintre componente.



FIG. 5 Schema de proiectare

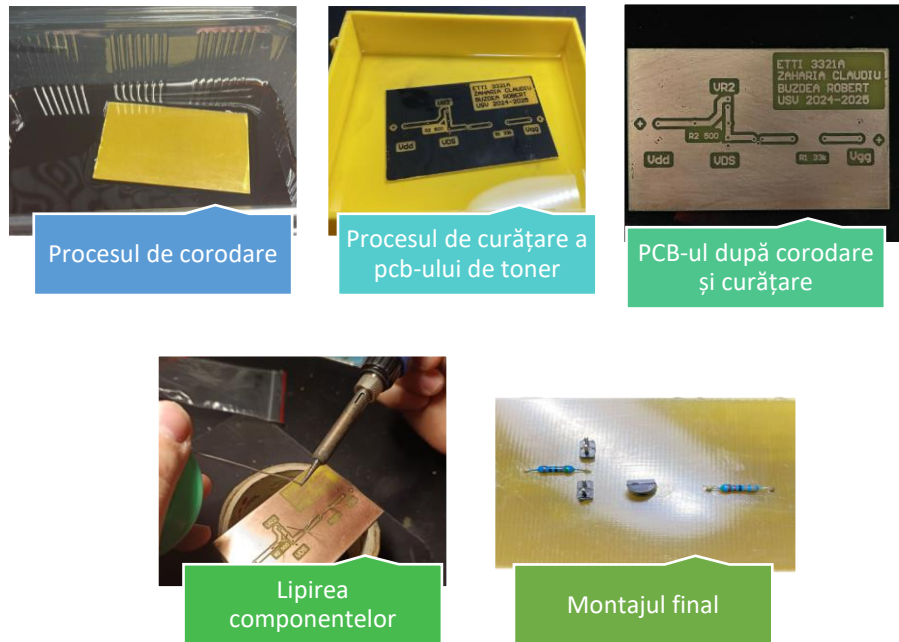


FIG. 6 Procesul de obținere a montajului

5. Metodologia experimentului

5.1. Etapele de realizare a experimentului

1. Configurarea circuitului conform schemei electrice detaliate.
2. Ajustarea surselor de tensiune pentru a obține valorile dorite de VGS și VDS.
3. Măsurarea curentului de drenă (ID) și a tensiunilor în diverse puncte ale circuitului.

5.2. Măsurători și calcule

	VGG = 0V		VGG = -1V		VGG = -2V	
VDS Măsurată	VR2 Măsurată [V]	ID Calculat [mA]	VR2 Măsurată [V]	ID Calculat [mA]	VR2 Măsurată [V]	ID Calculat [mA]
1V	1.47	2.87	0.006	0.01171875	0.0003	0.000586
2V	1.74	3.40	0.009	0.01757813	0.0007	0.001367
3V	1.94	3.79	0.014	0.02734375	0.0011	0.002148
4V	2.16	4.22	0.018	0.03515625	0.0014	0.002734
6V	2.42	4.73	0.04	0.078125	0.0022	0.004297
8V	2.78	5.43	0.12	0.234375	0.0028	0.005469

FIG. 7 Măsurători și calcule

Se vor calcula transconductanța și alți parametri specifici pe baza datelor obținute experimental, utilizând formula:

$$g_m = \frac{\Delta I_d}{\Delta V_{gs}}$$

Exemplu de calcul la $V_{ds} = 6V$:

Pentru $V_{gg} = 0V$: $I_d = 4.73A$

Pentru $V_{gg} = -1V$: $I_d = 0.017mA$

$\Delta I_d = 4.73mA - 0.017mA = 4.6mA$

$\Delta V_{gs} = 1V$

$g_m = \Delta V_{gg} / \Delta I_d = 4.6mA / 1V = 4.6mS$

5.3. Procedura de testare a tranzistorului JFET

Testarea implică variarea treptată a tensiunii VGS și observarea efectului asupra curentului ID și a tensiunii VDS, în vederea obținerii curbelor caracteristice.

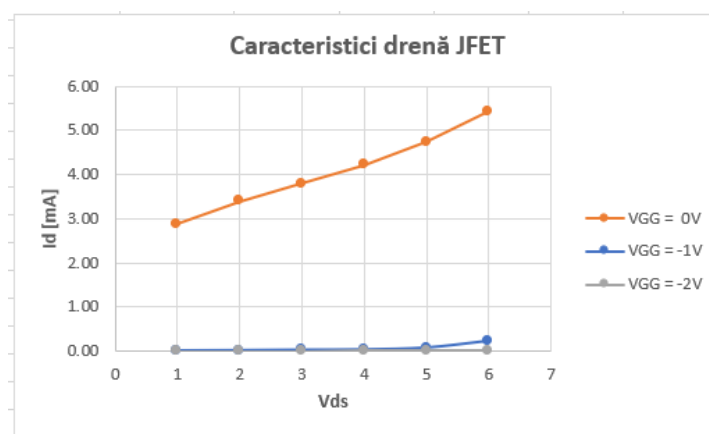


FIG. 8 Caracteristici drenă JFET

5.4. Analiza rezultatelor obținute și interpretarea acestora

Transconductanța este de 4.6 mS, valoare care se încadrează în domeniul specificat pentru JFET.

Se observă că transconductanța variază cu V_{gg} și I_d , confirmând caracterul neliniar al tranzistorului JFET.

6. Instrucțiuni de utilizare

6.1. Manual de utilizare al dispozitivului proiectat

Dispozitivul trebuie conectat conform schemei, având grijă la polaritatea surselor de alimentare și la valorile rezistoarelor utilizate. Asigurați-vă că toate componentele sunt montate corect pentru a asigura funcționarea optimă a circuitului.

6.2. Instrucțiuni pentru operarea și întreținerea montajului

- Verificați toate conexiunile înainte de a alimenta circuitul, pentru a preveni eventuale erori de montaj.
- Asigurați-vă că sursa de alimentare este conformă cu specificațiile circuitului
- În cazul în care apar semne de disfuncționalitate, întrerupeți alimentarea și verificați integritatea componentelor.

6.3. Recomandări pentru siguranță și precauții

- **Protecția la scurtcircuit:** Chiar dacă tensiunile sunt scăzute, un scurtcircuit poate provoca daune componentelor sensibile ale circuitului.
- **Polaritatea corectă:** Este important să respectați polaritatea componentelor, chiar și la tensiuni mici, pentru a evita deteriorarea acestora sau funcționarea incorectă a circuitului.

7. Concluzii

7.1. Concluzii asupra performanței tranzistorilor JFET

JFET-urile demonstrează o performanță excelentă în regimul liniar, fiind ideale pentru aplicații de precizie.

7.2. Evaluarea transconductanței și a caracteristicilor de drenă

Parametrii obținuți experimental corespund valorilor teoretice, confirmând funcționarea optimă a tranzistorului.

8. Evaluare

a) Explicați cum găsiți I_{DSS} din curbele caracteristice ale JFET-ului.

I_{DSS} se determină atunci când tensiunea V_{GS} este 0 V. Aceasta este valoarea maximă a curentului de drenă I_D în condiții de saturare, fără polarizare negativă a porții.

b) Din datele prelevate, care este I_{DSS} pentru JFET-ul utilizat?

Din tabelul de măsurători, pentru $V_{gg}=0V$, la $V_{DS}=8V$, curentul de drenă I_D este 5.43 mA, astfel I_{DSS} este 5.43mA.

c) Folosind datele când tensiunea pe poartă este 0 V, explicați cum poți folosi JFET-ul ca o sursă de curent cu două terminale care dau curentul I_{DSS} .

JFET-ul poate fi utilizat ca o sursă de curent constant atunci când operează în regiunea de saturație. În această stare, curentul I_D rămâne constant și independent de variațiile tensiunii V_{DS} .

d) Datele experimentale indică cum că transconductanța este o constantă în toate punctele?

Nu, transconductanța nu este constantă. Ea variază în funcție de tensiunea V_{GS} și curentul I_D , fiind mai mare în regiunea de saturație și mai mică în regiunea liniară.

e) Din datele experimentale, care dovezi indică că un JFET este un dispozitiv neliniar?

Dovezile constau în forma curbelor caracteristice de drenă, care arată că I_D nu este proporțional cu V_{DS} în regiunea de saturație. Aceasta confirmă natura neliniară a JFET-ului.

f) Stabiliți tensiunea de tăiere când $V_{GS} = 0 V$.

Tensiunea de tăiere (V_P) este determinată din curbele caracteristice, fiind valoarea V_{GS} care face ca I_D să devină zero. Datele experimentale permit calcularea V_P , care ar trebui să fie negativă pentru un JFET cu canal N.

g) De ce un JFET poate funcționa numai prin polarizarea inversă a joncțiunii poartă-sursă?

Polarizarea inversă este necesară pentru a controla regiunea de sărăcire din canal, astfel încât să se regleze curentul I_D . Polarizarea directă ar duce la o conductanță necontrolată, ceea ce compromite funcționalitatea dispozitivului.

9. Bibliografie

- [1] A. Graur, " TRANZISTOARE CU EFECT DE CÂMP" în *Tema 1 TECJ*. Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava, Material de proiect, Departamentul de Electronică Aplicată.
- [2] A. Graur, "Tranzistorul cu efect de câmp cu joncțiune" în *9_2 TECJ_gen_caract_polarizare*. Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava, Material de curs, Departamentul de Electronică Aplicată.
- [3] Wikipedia, wikipedia.org/wiki/JFET