

TRANZYSTORY POLOWE JFET I MOSFET

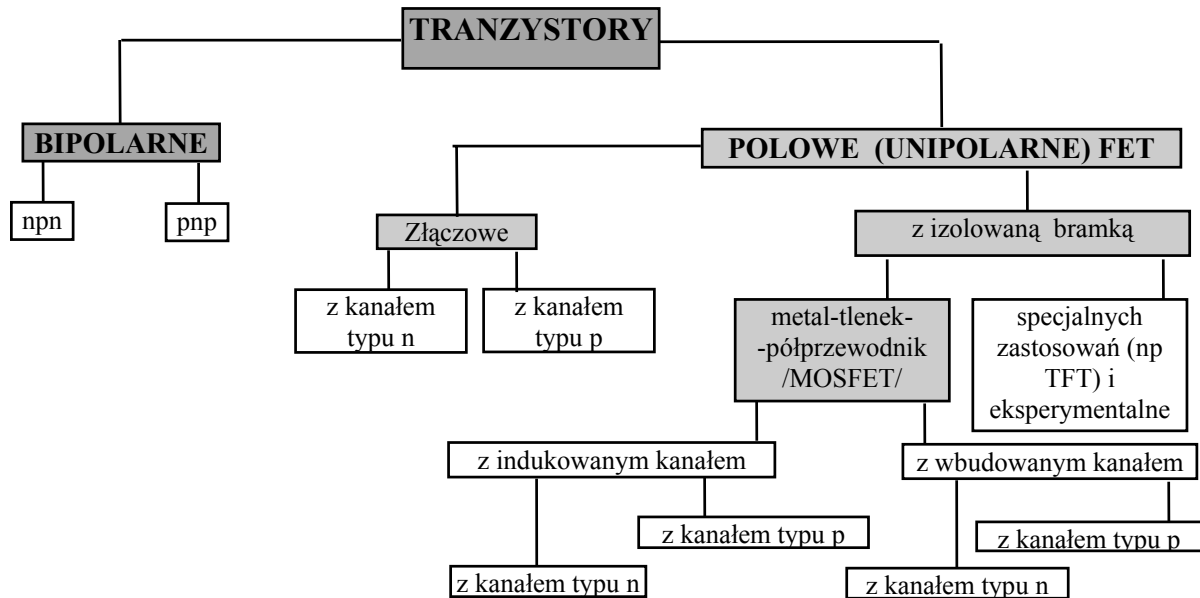
Cel ćwiczenia: *Pomiar podstawowych charakterystyk i wyznaczenie parametrów określających właściwości tranzystora polowego.*

A) Zadania do samodzielnego opracowania przed zajęciami:

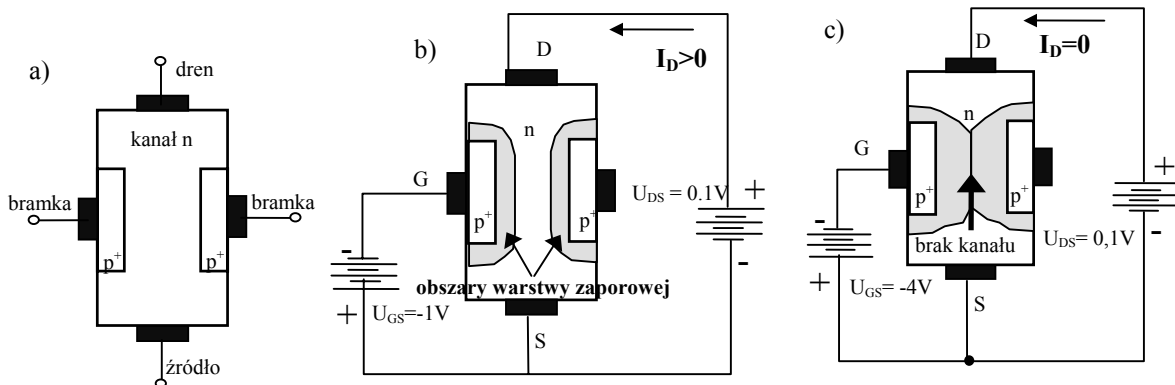
Zapoznanie się z treścią poniższej instrukcji, zapoznanie się z teoretycznymi podstawami działania tranzystorów polowych oraz ich nazewnictwem, przygotowanie schematów pomiarowych,

B) WPROWADZENIE

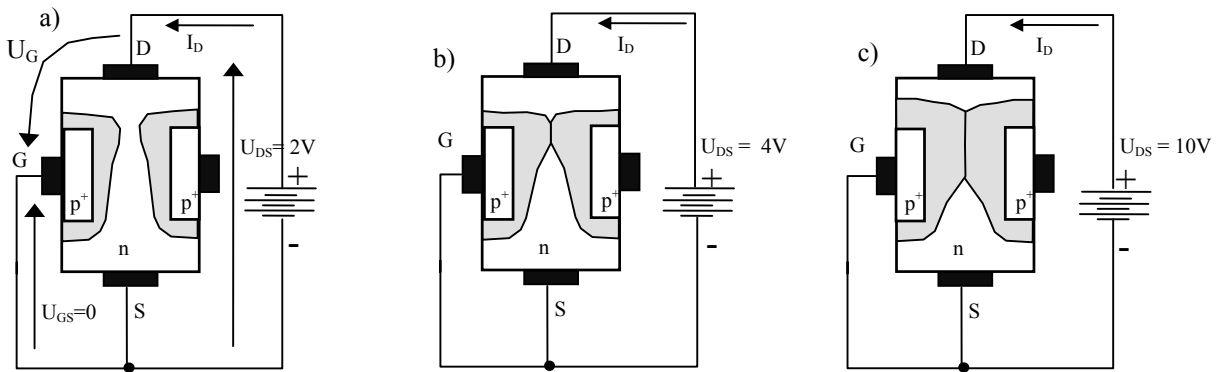
Ogólny podział tranzystorów:



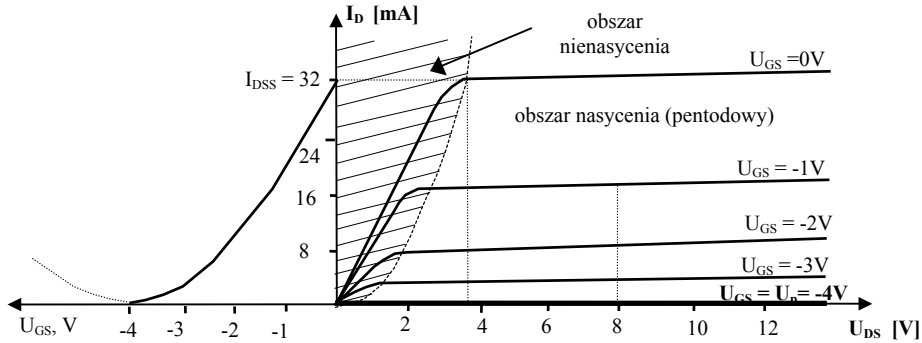
Tranzystory: JFET:



Rys.1. Tranzystor polowy złączowy z kanałem typu n. a) szkic struktury; b) wpływ zaporowej polaryzacji U_{GS} złącza p^+ -n na szerokość kanału, c) odcięcie kanału dla $U_{GS} = U_p$ czyli zatkanie tranzystora.



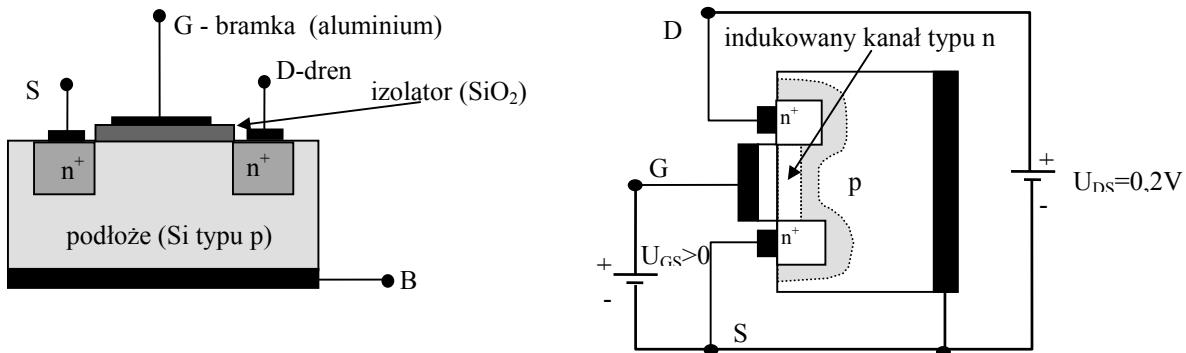
Rys.2. Ilustracja wpływu napięcia U_{DS} na kształt obszaru warstw zaporowych, a) $U_{DS} < |U_P|$, b) $U_{DS} = |U_P|$, c) $U_{DS} > |U_P|$, Pomimo „zеткиenia” warstw zaporowych, prąd drenu nie jest równy zero, przy wzroście U_{DS} utrzymuje się niemal na tym samym poziomie.



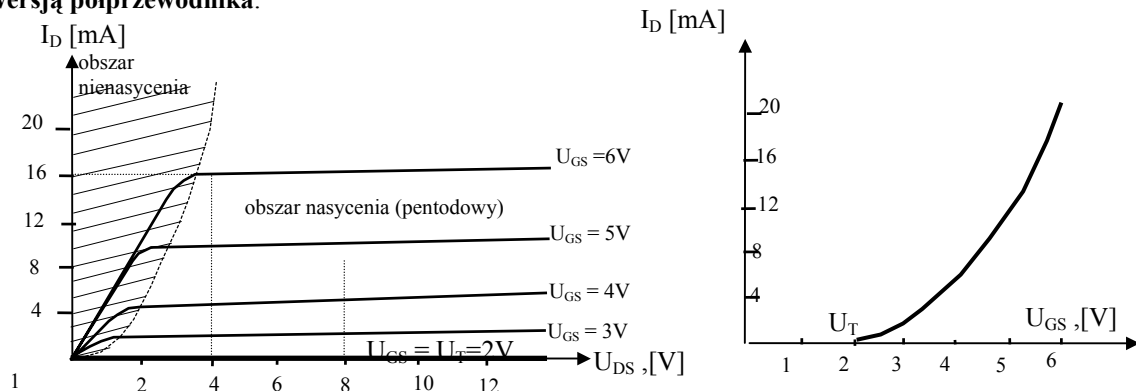
Rys. 3. Charakterystyki wyjściowe $I_D=(U_{DS})$ i przejściowe $I_D=(U_{GS})$ tranzystora JFET z kanałem typu n w układzie ze wspólnym źródłem. Parametry tranzystora: $U_P = -4V$ oraz $I_{DSS} = 32 \text{ mA}$.

Tranzystor typu MOSFET na przykładzie tranzystora z indukowanym kanałem (normalnie wyłączony):

Kanał powstaje dopiero w wyniku oddziaływania pola elektrycznego przyłożonego pomiędzy bramkę G i podłoże B:



Rys.4. Budowa tranzystora polowego typu MOSFET z indukowanym kanałem typu n. Po przyłożeniu niewielkiego napięcia $U_{DS} > 0$ i większego od niego $U_{GS} > 0$, pole elektryczne, powstające pod wpływem, U_{GS} powoduje odepchnięcie dziur od powierzchni granicznej izolator-podłoże i przyciągnięcie w jej kierunku mniejszościowych elektronów. To zjawisko nazywa się **inwersją półprzewodnika**.



Rys.5. Charakterystyki przejściowa (dla zakresu nasycenia) i wyjściowa tranzystora polowego z indukowanym kanałem typu n o napięciu tworzenia kanału $U_T = 2V$.

C) POMIARY TRANZYSTORA

Tranzystor JFET lub MOSFETz kanałem wbudowanym (depletion mode)

1. Ustalić rodzaj, symbol oraz właściwą polaryzację tranzystora JFET lub MOSFET w układzie pracy OS.
2. Zapoznać się z podstawowymi parametrami technicznymi badanego tranzystora. Szczególną uwagę zwrócić na parametry krytyczne, determinujące bezpieczny obszar pomiarów.
3. Zaproponować układ pomiarowy do badania charakterystyk: wyjściowych i przejściowych.
4. Dla tranzystora JFET lub MOSFET z kanałem wbudowanym wyznaczyć prąd nasycenia I_{DSS} . Prąd I_{DSS} jest to prąd I_D przy napięciu $U_{GS}=0$, który pozostaje praktycznie stały przy zmianach napięcia U_{DS} .
5. Zmierzyć charakterystyki przejściowe $I_D=f(U_{GS})_{U_{DS}=par}$, tranzystora polowego dla trzech wartości U_{DS} stosując odpowiedni układ pomiarowy. Podczas pomiarów zwrócić uwagę na właściwe wyznaczenie napięcia wyłączenia U_p . Napięcie $|U_{GS}|$ nie powinno przekraczać $|U_p|$ o więcej niż około 0,5V (odpowiedź dlaczego?).
6. Zmierzyć charakterystyki wyjściowe $I_D=f(U_{DS})_{U_{GS}=par}$ dla trzech ustalonych wartości napięcia U_{GS} .

Tranzystor MOSFET kanałem indukowanym (enhancement mode)

7. Ustalić rodzaj, symbol oraz właściwą polaryzację tranzystora MOSFET z kanałem indukowanym w układzie pracy OS.
8. Zapoznać się z podstawowymi parametrami technicznymi badanego tranzystora. Szczególną uwagę zwrócić na parametry krytyczne, determinujące bezpieczny obszar pomiarów
9. Zaproponować układ pomiarowy do badania charakterystyk: przejściowych i wyjściowych.
10. Wyznaczyć wartość napięcia progowego U_t . Można to zrobić w : a) układzie do pomiaru charakterystyki przejściowej lub, b) układzie bramki zwartej z drenem, gdy prąd I_D osiąga określoną wartość, np. 10 μA . Porównać uzyskane wyniki.
11. Zmierzyć charakterystykę przejściową $I_D=f(U_{GS})_{U_{DS}=por}$ dla trzech różnych wartości parametru U_{DS} .
12. Zmierzyć charakterystyki wyjściowe $I_D=f(U_{DS})_{U_{GS}=par}$ dla trzech różnych wartości parametru U_{GS} .

D) OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

1. Narysować (wydrukować) wszystkie zmierzone charakterystyki tranzystora. Dla tranzystora złączowego lub MOSFET z kanałem wbudowanym pracującym w zakresie nasycenia wyznaczyć parametry I_{DSS} oraz U_p równania opisującego charakterystykę przejściową

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

Można to zrobić rysując charakterystykę przejściową w układzie współrzędnych kartezjańskich, w którym na osi pionowej znajdują się wartości pierwiastka kwadratowego prądu wyjściowego I_D , zaś na poziomej, napięcie wejściowe U_{GS} . W takim układzie współrzędnych (przy poprawnych wynikach pomiarów) wykres powinien być wykresem funkcji liniowej gdyż

$$\sqrt{I_D} = \sqrt{I_{DSS}} - \sqrt{I_{DSS}} \frac{U_{GS}}{U_p} \quad (2)$$

to równanie linowe typu

$$y = ax + b \quad (3)$$

gdzie:

$$y = \sqrt{I_D}; x = U_{GS}; a = -\frac{\sqrt{I_{DSS}}}{U_p}; b = \sqrt{I_{DSS}}. \quad (4)$$

W celu znalezienia parametrów I_{DSS} , U_p , należy zastosować metodę regresji liniowej i porównać wyrażenie na I_D przekształcone do postaci (2) z równaniem linii prostej (3). Na tej podstawie można wyznaczyć współczynniki a i b równania liniowego (3), a następnie parametr I_{DSS} . Znając I_{DSS} oraz a można wyznaczyć U_p . Ponieważ charakterystyki przejściowe mierzone są dla trzech wartości parametru, obliczenia te należy powtórzyć trzyrotnie. W przypadku dużych różnic - wyjaśnić przyczyny.

- Wykorzystując obliczone parametry I_{DSS} i U_p narysować charakterystykę teoretyczną $I_D = I_{DSS}(1 - U_{GS}/U_p)^2$ oraz na tym samym wykresie nanieść punkty pomiarowe charakterystyki rzeczywistej. Ocenić uzyskane rezultaty.
- Wyznaczyć parametry U_t oraz K równania opisującego charakterystykę przejściową tranzystora MOS z kanałem indukowanym

$$I_D = K \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_t}\right)^2 \quad (5)$$

gdzie K to stała.

Aby to zrobić można zastosować metodę omówioną w pkt. C2. W tym celu należy narysować punkty pomiarowe charakterystyki przejściowej w następującym układzie współrzędnych: na osi pionowej pierwiastek kwadratowy prądu I_D , zaś na poziomej napięcie wejściowe U_{GS} . Oznacza to wykreślenie funkcji liniowej wyrażonej zależnością

$$\sqrt{I_D} = \sqrt{K} - \sqrt{K} \frac{U_{GS}}{U_t} \quad (6)$$

W takim układzie współrzędnych (przy poprawnych wynikach pomiarów) wykres powinien być wykresem funkcji liniowej określonej równaniem (3).

W celu znalezienia parametrów K i U_t , należy zastosować metodę regresji liniowej. W tym celu najpierw wyznaczamy współczynniki a i b równania liniowego (3). Na tej podstawie wyliczamy K i U_t uwzględniając, że

$$y = \sqrt{I_D}; x = U_{GS}; a = -\frac{\sqrt{K}}{U_t}; b = \sqrt{K}. \quad (7)$$

Ponieważ charakterystyki przejściowe mierzone były dla czterech wartości parametru U_{DS} obliczenia te należy również powtórzyć czterokrotnie. W przypadku dużych różnic określić przyczynę. Porównać wartości U_t wyznaczone na podstawie charakterystyk przejściowych z wartością zmierzoną w pkt. A7. Wyjaśnić ewentualne różnice.

- Na podstawie pomiarowych charakterystyk wyjściowych obliczyć i narysować konduktancję wyjściową g_{DS} w funkcji napięcia wyjściowego $g_{DS}(U_{DS})$ dla danego typu tranzystora.
- Na podstawie teoretycznych charakterystyk przejściowych określonych równaniem (1) lub (5) obliczyć i narysować transkonduktancję g_m w funkcji napięcia wejściowego $g_m(U_{GS})$ dla danego typu tranzystora.

E) ANALIZA WYNIKÓW

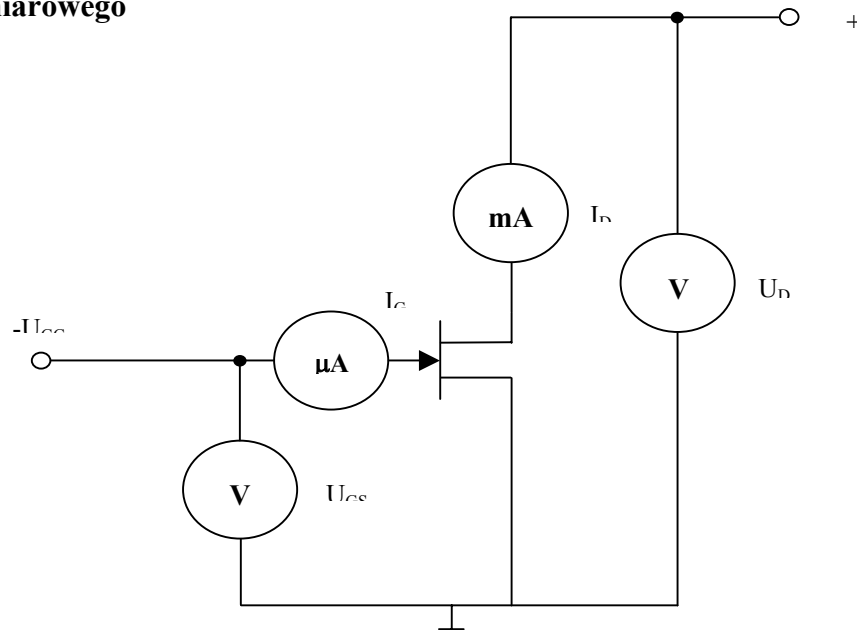
- Wykreślić zmierzone charakterystyki, dokonać kompleksowej analizy uzyskanych wyników pomiarowych oraz obliczeń.

2. Jak należy poprawnie wybrać punkt pracy tranzystora polowego.
3. Czy wartości U_i i U_p zależą od U_{DS} ?
4. Porównać wartości obliczonych parametrów z wartościami katalogowymi.

Literatura:

1. W. Marciniak „Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone”
2. W. Marciniak „Modele elementów półprzewodników”
3. A.Kusy „Podstawy elektroniki”
4. „Elementy półprzewodnikowe i układy scalone” (katalog UNITRA – CEMI)
5. Gray P.E., Searle C.L. - „Podstawy elektroniki
6. Praca zbiorowa - „Zbiór zadań z układów elektronicznych liniowych”.

F) Schemat układu pomiarowego



Rys. 6. Układ pomiarowy tranzystora złączowego z kanałem typu n np. BF 245FET. Do pomiarów można wykorzystać zasilacz stabilizowany 5121. Do regulacji napięcia ujemnego U_{GS} ($-U_p < U_{GS} < 0$) wykorzystać zakres 0 : -20 V, a do napięcia dodatniego U_{DS} zakres 0 : +6 V.