

## TRANZYSTORY POLOWE JFET I MOSFET

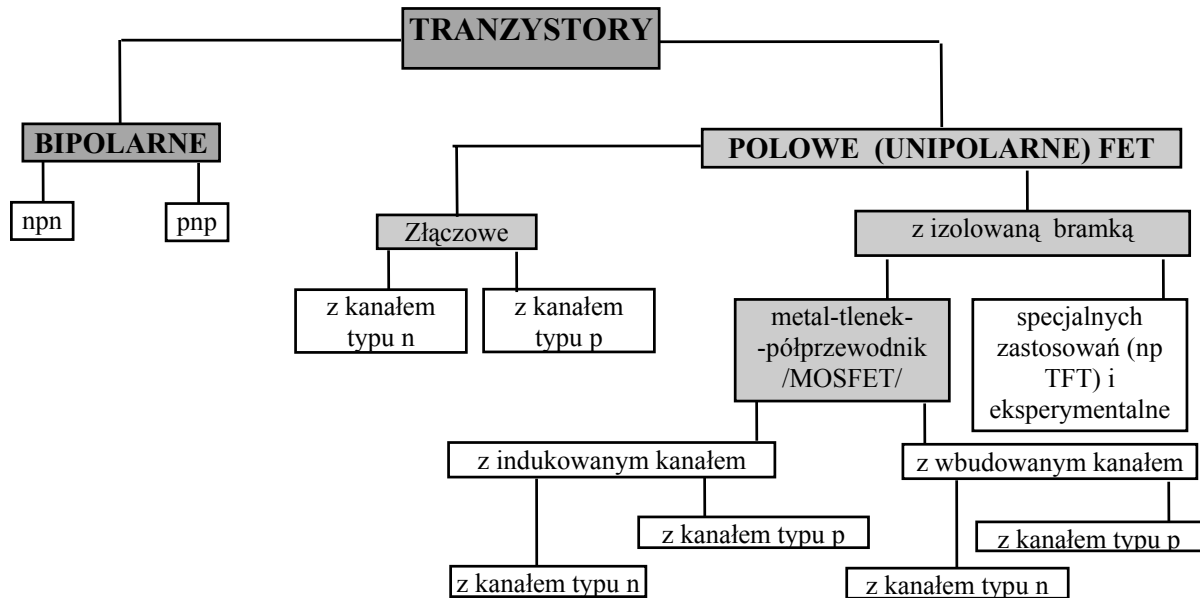
**Cel ćwiczenia:** *Pomiar podstawowych charakterystyk i wyznaczenie parametrów określających właściwości tranzystora polowego.*

**A) Zadania do samodzielnego opracowania przed zajęciami:**

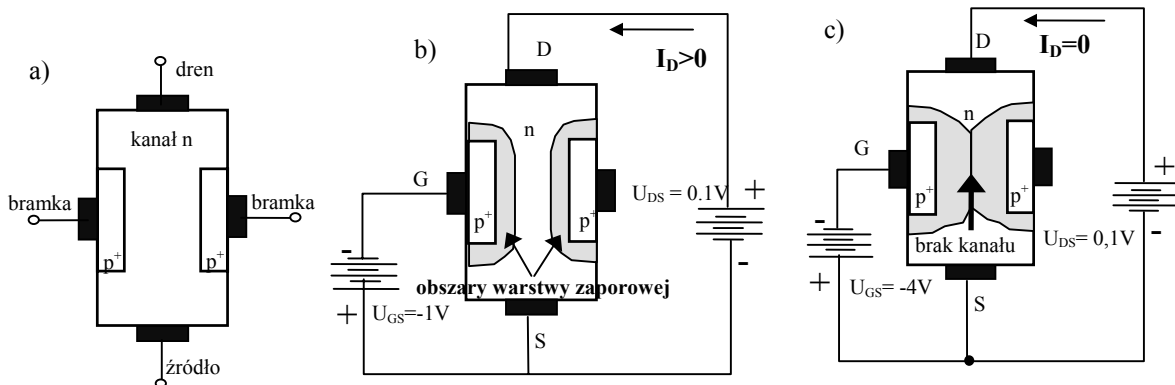
Zapoznanie się z treścią poniższej instrukcji, zapoznanie się z teoretycznymi podstawami działania tranzystorów polowych oraz ich nazewnictwem, przygotowanie schematów pomiarowych,

**B) WPROWADZENIE**

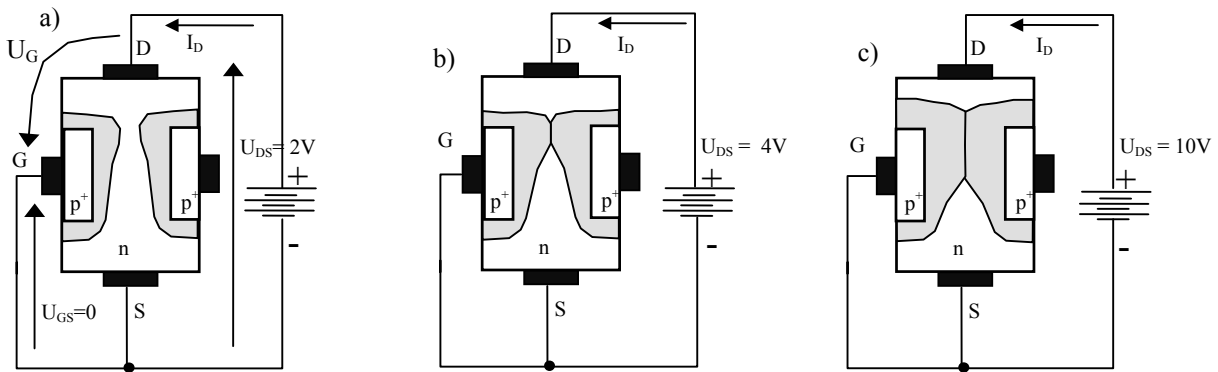
Ogólny podział tranzystorów:



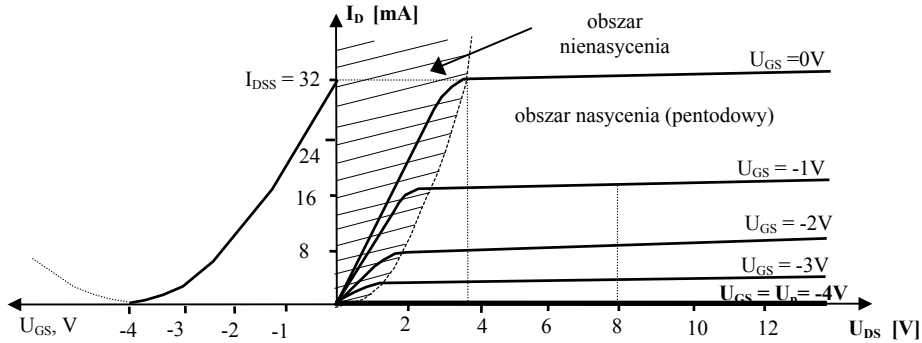
**Tranzystory: JFET:**



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.



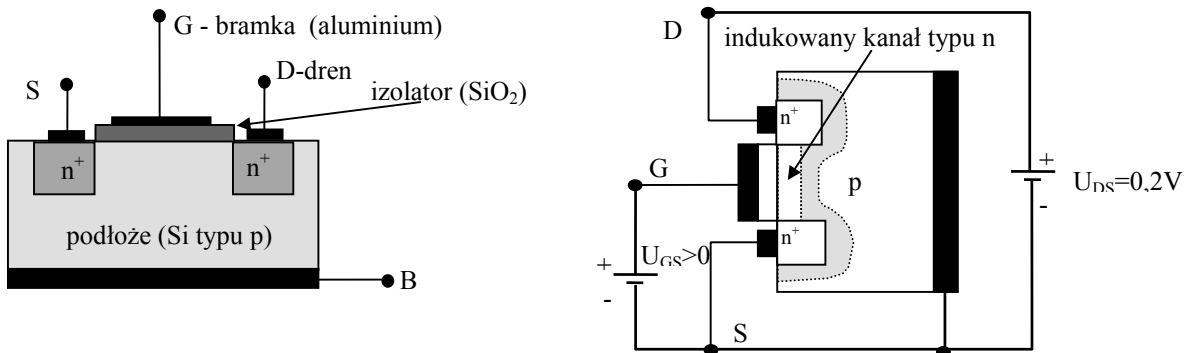
Rys. 2. Ilustracja wpływu napięcia  $U_{DS}$  na kształt obszaru warstw zaporowych, a)  $U_{DS} < |U_P|$ , b)  $U_{DS} = |U_P|$ , c)  $U_{DS} > |U_P|$ , Pomimo „zеткиenia” warstw zaporowych, prąd drenu nie jest równy zero, przy wzroście  $U_{DS}$  utrzymuje się niemal na tym samym poziomie.



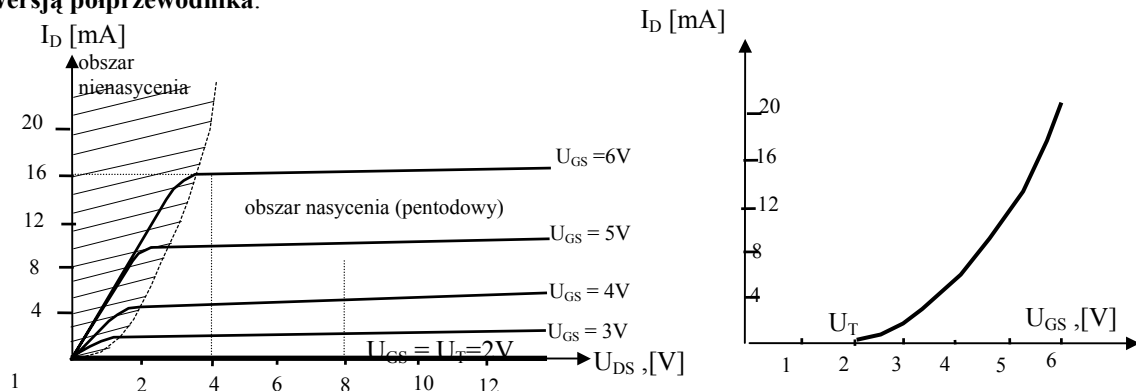
Rys. 3. Charakterystyki wyjściowe  $I_D=(U_{DS})$  i przejściowe  $I_D=(U_{GS})$  tranzystora JFET z kanałem typu n w układzie ze wspólnym źródłem. Parametry tranzystora:  $U_P = -4V$  oraz  $I_{DSS} = 32 \text{ mA}$ .

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

Kanał powstaje dopiero w wyniku oddziaływania pola elektrycznego przyłożonego pomiędzy bramką 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  $\mu A$ . 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

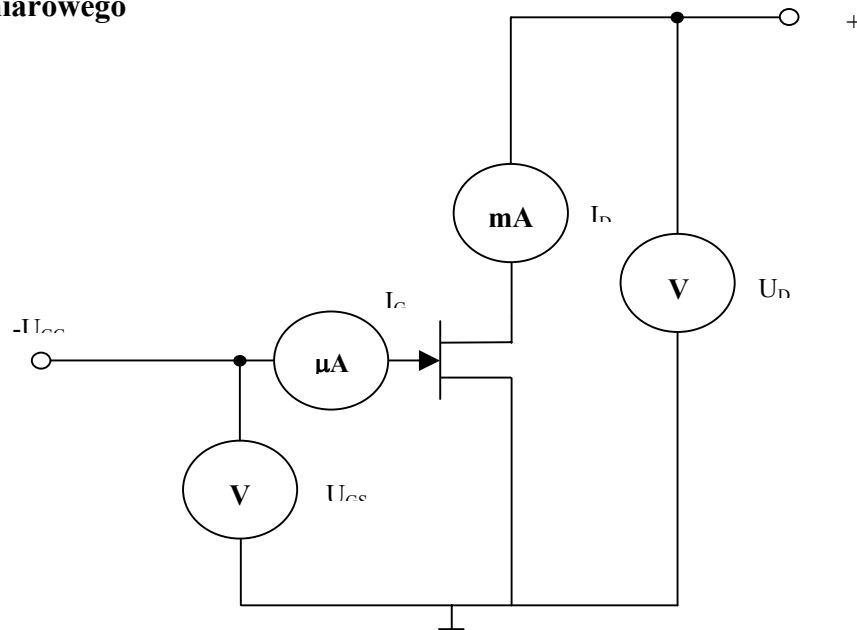
- Wykreślić zmierzone charakterystyki, dokonać kompleksowej analizy uzyskanych wyników pomiarowych oraz obliczeń.

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.