

## Ćwiczenie 4

### Parametry statyczne tranzystorów polowych złączowych

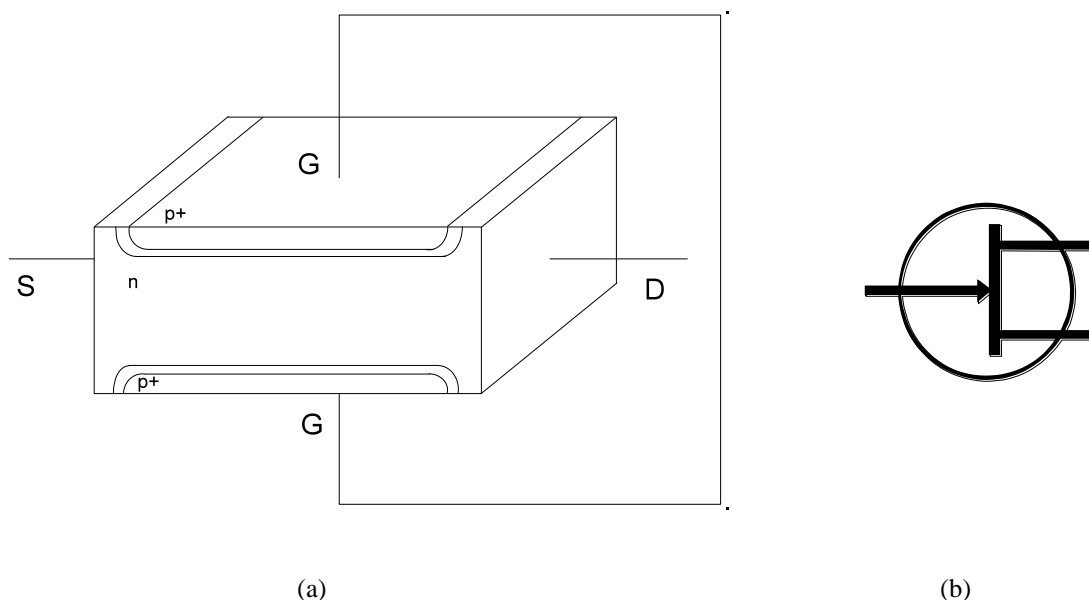
#### Cel ćwiczenia

Podstawowym celem ćwiczenia jest poznanie statycznych charakterystyk tranzystorów polowych złączowych oraz metod identyfikacji parametrów tych tranzystorów.

#### Wiadomości podstawowe

##### Budowa i zasada działania tranzystora polowego ze złączem pn

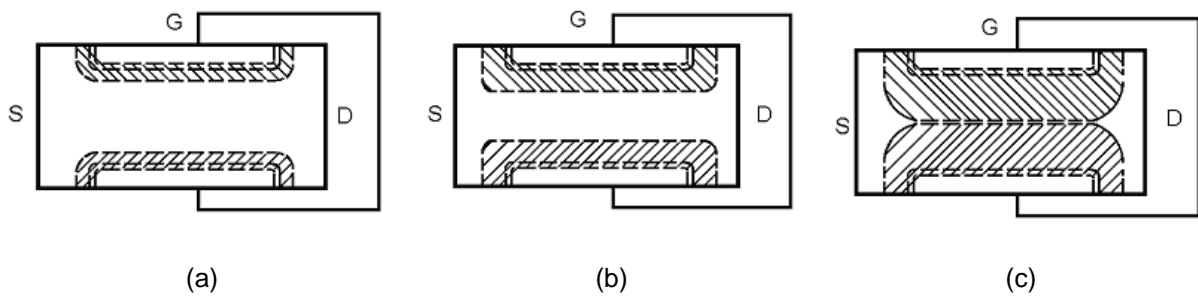
Tranzystor polowy złączowy należy do grupy przyrządów unipolarnych, w których nie ma charakterystycznego dla przyrządów bipolarnych procesu wstrzykiwania nośników przez złącze. W przyrządach tych prąd płynie w materiale tego samego typu (n lub p) poprzez obszar nazywany kanałem. Zmiany wartości tego prądu uzyskuje się zmieniając rezystancję kanału przez zmianę jego przekroju poprzecznego.



Rys. 1. Schematyczna budowa (a) oraz symbol tranzystora polowego złączowego z kanałem typu (b)

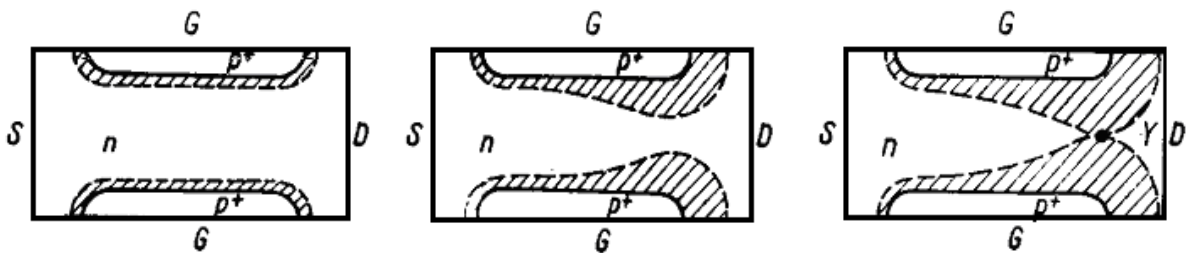
Zasadę działania polowego tranzystora złączowego ilustruje rys. 1, na którym przedstawiono jego schematyczną budowę. Prąd płynie w nim od źródła S do drenu D przez kanał (na rys. jest to kanał typu n). Szerokość tego kanału jest ograniczona z dołu i z góry przez dwa złącza powstałe w wyniku wprowadzenia do jednorodnej płytki typu n dwóch wysepki typu p<sup>+</sup> (o dużej koncentracji domieszek) połączonych ze sobą i stanowiących elektrodę bramki G. W normalnych warunkach pracy złącze bramka-kanał jest polaryzowane w kierunku zaporowym, a sterowanie pracą tranzystora odbywa się przez zmianę napięcia bramka-źródło  $U_{GS}$ .

Na rys. 2 przedstawiono sytuację w kanale dla różnych napięć bramka-źródło przy pomijalnie małym prądzie drenu  $I_D$ , (prądzie płynącym przez kanał od źródła do drenu). Rys. 2a przedstawia stan odpowiadający napięciu  $U_{GS}=0$ . Szerokość kanału jest z góry i z dołu ograniczona przez obszary ładunku przestrzennego złącz p-n, których rozmiar jest określony jedynie przez potencjały dyfuzyjne tych złącz. Rys. 2b odpowiada spolaryzowaniu złącz napięciem wstecznym o niewielkiej wartości. Obszar ładunku przestrzennego złącz spolaryzowanych wstecznie wnika głębiej w obszar kanału, szerokość kanału maleje i tym samym rośnie jego rezystancja, prąd przez kanał może jednak w dalszym ciągu przepływać. Rys. 2c odpowiada spolaryzowaniu złącz napięciem  $U_{GS} = U_P$ . Napięcie  $U_P$  nosi nazwę napięcia odcięcia i odpowiada sytuacji, w której obszary ładunku przestrzennego obu złącz łączą się. Oznacza to, że szerokość kanału staje się praktycznie równa 0.



Rys.2. Kanał w tranzystorze polowym złączowym dla napięcia  $U_{GS}=0$  (a),  $0 < |U_{GS}| < |U_P|$  (b),  $U_{GS}=U_P$  (c)

Wprowadzenie napięcia źródło-dren powoduje poszerzenie warstwy zaporowej pomiędzy bramką a drenem (przy normalnej polaryzacji  $U_{GD}=U_{DS}+U_{GS}$ ) i jednocześnie przepływ prądu przez kanał. W wyniku tego zmienia się kształt kanału. Przy dalszym wzroście napięcia źródło-dren osiąga ono wartość  $U_p$  co powoduje zamknięcie kanału od strony drenu. Pokazano to na rys. 3. W zamkniętej części kanału pole elektryczne silnie wzrasta i powoduje usuwanie wszystkich nośników dostarczanych od strony źródła do drenu. W rezultacie prąd przez kanał nie przestaje płynąć, ale jego wartość nie zależy w tym zakresie od wartości napięcia  $U_{DS}$ .

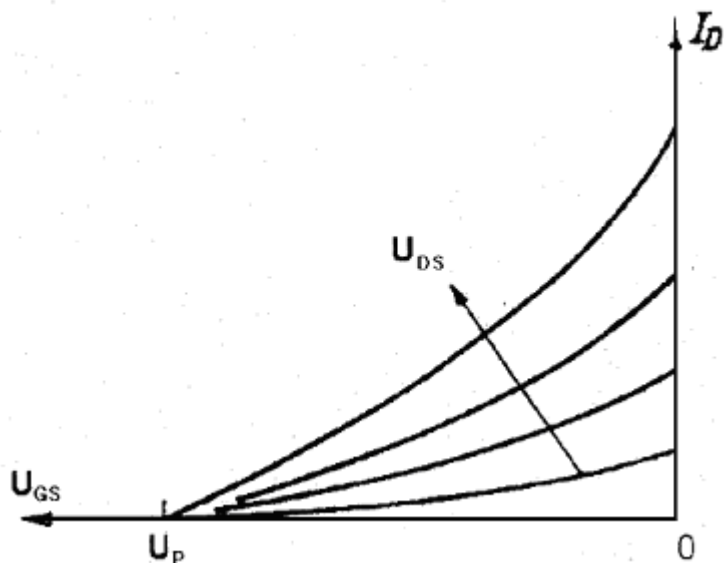


Rys.3. Kanał w tranzystorze polowym złączowym dla stałego napięcia  $U_{GS}$  oraz różnych wartości napięcia  $U_{DS}$

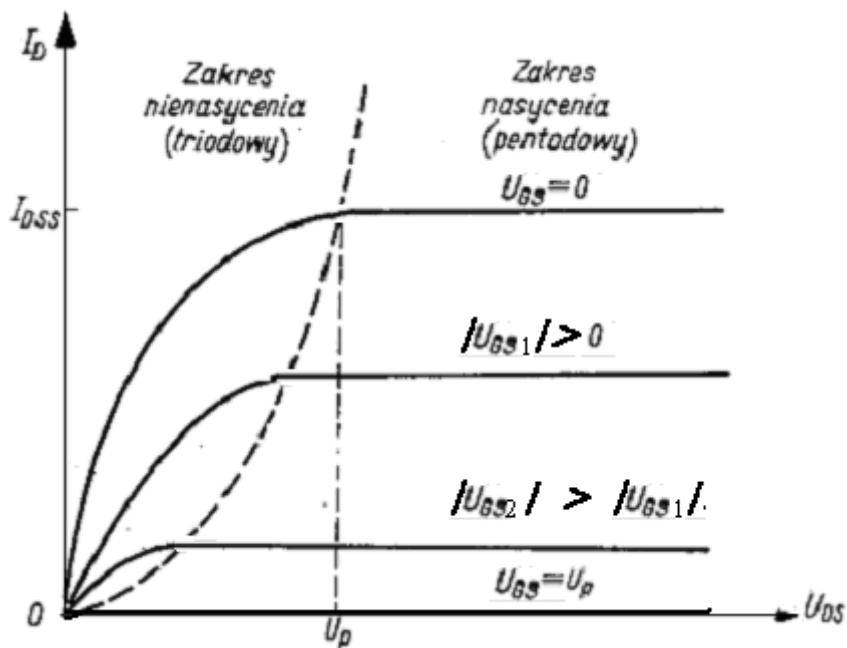
### Charakterystyki statyczne tranzystora

Pracę tranzystora polowego złączowego charakteryzują dwie podstawowe rodziny charakterystyk statycznych: charakterystyki przejściowe  $I_D=f(U_{GS})$  dla  $U_{DS}=\text{const}$  oraz charakterystyki wyjściowe  $I_D=f(U_{DS})$  dla  $U_{GS}=\text{const}$ . Typowy przebieg tych charakterystyk pokazano na rys. 4 i 5.

Na rys. 5, obrazującym charakterystyki wyjściowe, można wyróżnić dwa obszary odpowiadające różnym warunkom pracy tranzystora: obszar nienasycenia i obszar nasycenia. Przez analogię z charakterystykami lamp elektronowych nazwano je odpowiednio obszarem triodowym i obszarem pentodowym.



Rys. 4. Charakterystyki statyczne przejściowe tranzystora polowego złączowego



Rys.5. Charakterystyki statyczne wyjściowe tranzystora polowego złączowego

#### Parametry małosygnałowe

Tranzystor polowy złączowy – podobnie jak tranzystor bipolarny - można traktować jako czwórnik nieliniowy, którego właściwości statyczne są opisane rodzinami charakterystyk wyjściowych i przejściowych. W przypadku pracy z przebiegami o małej amplitudzie tranzystor można traktować jako czwórnik liniowy i opisać go małosygnałowymi parametrami różniczkowymi określonymi dla danego punktu pracy. Parametry te stanowią elementy małosygnałowego schematu zastępczego tranzystora.

W zakresie małych częstotliwości najistotniejszymi parametrami są: transkonduktancja bramki  $g_m$  i konduktancja wyjściowa (kanału)  $g_d$ , zdefiniowane wzorami:

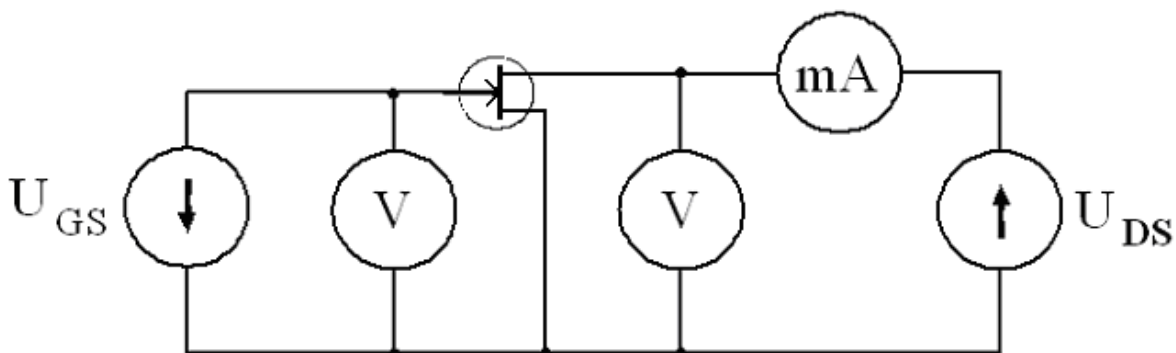
$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \right|_{U_{DS} = const}$$

$$g_d = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \right|_{U_{GS} = const}$$

### Wykonanie ćwiczenia

Uproszczony schemat układu pomiarowego pokazany jest na rys. 6. Należy wyznaczyć następujące charakterystyki:

- wyjściową  $I_D = f(U_{DS})$  dla kilku wartości napięcia bramki  $U_{GS}$ . Jako pierwszą wartość przyjąć  $U_{GS}=0$  a następne w granicach  $0 - U_p$  tak, aby otrzymane charakterystyki były na wykresie równomiernie rozłożone.
- przejściową  $I_D = f(U_{GS})$  dla kilku wartości napięcia drenu  $U_{DS}$ . Jedną wartość napięcia  $U_{DS}$  należy przyjąć z zakresu pentodowego, pozostałe z pogranicza i z zakresu triodowego. Zadbać, aby wykreślone charakterystyki były równomiernie rozłożone.



Rys.6. Schemat układu do pomiaru charakterystyk statycznych tranzystora polowego złączowego.

**Uwaga 1.** Przed wyznaczaniem charakterystyk nastawić wstępnie napięcie  $U_{DS}$  na poziomie kilku woltów (3V - 8V) a następnie zmniejszyć prąd drenu do zera przez zmianę napięcia  $U_{GS}$ . Pozwoli to na określenie rodzaju kanału badanego tranzystora i wartości napięcia odcięcia. W tabelach wyników pomiarów notować znaki napięć i prądu.

**Uwaga 2.** Przed przystąpieniem do pomiarów dokonać wszystkich możliwych regulacji i zaobserwować, w jakim zakresie zmieniają się poszczególne wielkości, jak się zmieniają (gwałtownie, wolno). W oparciu o te obserwacje ustalić zakres pomiarów, krok pomiarowy (niekoniecznie stały w całym zakresie pomiarowym) oraz wartości parametrów przy jakich będą mierzone poszczególne charakterystyki. Dopiero wtedy przystąpić do właściwych pomiarów.

### Opracowanie wyników

- wykreślić wszystkie pomierzone charakterystyki,
- na wykresie charakterystyk wyjściowych zaznaczyć granicę między obszarem triodowym i pentodowym,
- określić typ przewodnictwa kanału, wyznaczyć wartość napięcia odcięcia  $U_p$  i wartość prądu nasycenia drenu  $I_{DSS}$ . Zaznaczyć te wartości na wykresach,
- na podstawie pomierzonych charakterystyk wyznaczyć parametry małosygnałowe  $g_m$  i  $g_d$  dla trzech różnych punktów pracy (tych samych dla obydwu parametrów).

### Literatura

Z. Lisik – Podstawy fizyki półprzewodników, skrypt PŁ,  
 A. Świt, J. Pułtorak – Przyrządy półprzewodnikowe,  
 W. Marciniak – Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone.