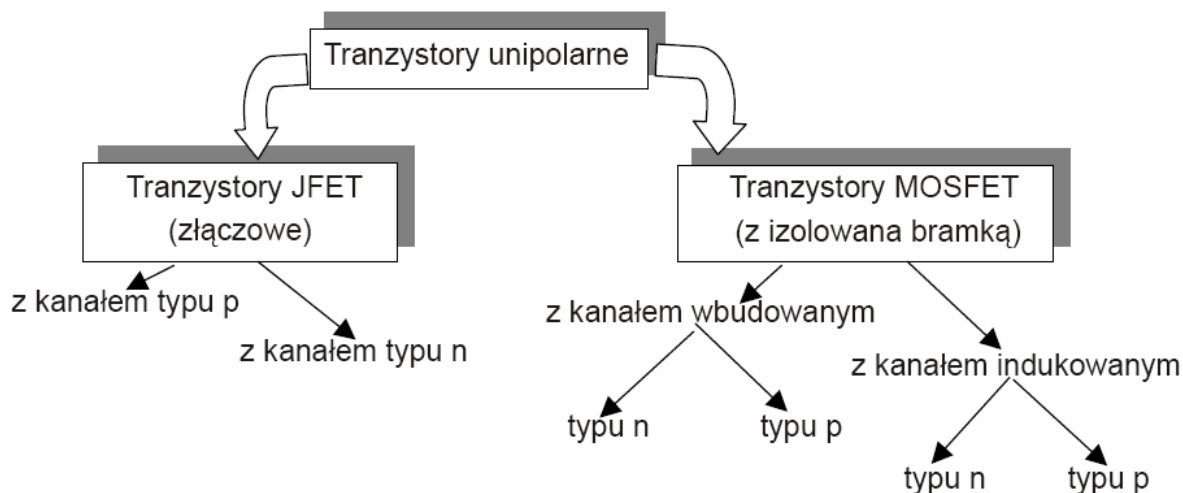


1. Tranzystor unipolarny

1.1. Klasyfikacja i główne cechy tranzystorów unipolarnych.

Tranzystory unipolarne lub inaczej polowe tak jak i tranzystory bipolarne są elementami półprzewodnikowymi, lecz różnią się od bipolarnych tym, że są sterowane polem elektrycznym, co oznacza, że nie pobierają mocy na wejściu. Pomimo takiej różnicy oba rodzaje tranzystorów mają wspólną cechę: są to elementy działające na zasadzie sterowania przepływem ładunku. W obu przypadkach są to elementy trzykońcówkowe, w których przewodność między dwoma końcówkami zależy od liczby nośników ładunków znajdujących się między nimi, a z kolei liczba nośników ładunków zależy od wartości napięcia doprowadzonego do elektrody sterującej zwanej bazą w tranzystorach bipolarnych lub bramką w tranzystorach polowych. Nazwy poszczególnych elektrod to: D - dren, S - źródło, G - bramka. Elektrody te spełniają podobne funkcje jak odpowiadające im elektrody w tranzystorze bipolarnym. Kolektorowi C odpowiada dren D, emiterowi E odpowiada źródło S, a bazie B odpowiada bramka G. Działanie tranzystora polowego polega na sterowaniu przepływem prądu przez kanał za pomocą pola elektrycznego wytwarzanego przez napięcie doprowadzone do bramki. Ponieważ w tranzystorze polowym nie ma żadnych przewodzących złącz, więc do bramki nie wpływa ani z niej nie wypływa żaden prąd i jest to chyba najważniejsza cecha tranzystorów polowych. Z właściwości tej wynika duża wartość rezystancji wejściowej tranzystora polowego, dzięki czemu znajduje on wiele zastosowań w układach takich jak przełączniki analogowe.

W przypadku tranzystorów bipolarnych rozróżnia się dwa typy npn i pnp, natomiast w przypadku tranzystorów polowych jest sześć typów mogących mieć zastosowanie praktyczne, z czego wykorzystuje się pięć. Poniżej przedstawiono fragment tej klasyfikacji, którym zajmiemy się w dalszej części wykładu. Podstawowym kryterium podziału tranzystorów polowych jest sposób izolacji bramki sterującej od kanału. Jeżeli bramka izolowana jest poprzez warstwę zaporową złącza p-n to takie tranzystory nazywamy złączowymi lub JFET, jeżeli natomiast izolację ta stanowi warstwa materiału izolacyjnego to tego typu tranzystory noszą nazwę tranzystorów z izolowaną bramką lub MOSFET



1.2. Zasada działania tranzystora złączowego JFET.

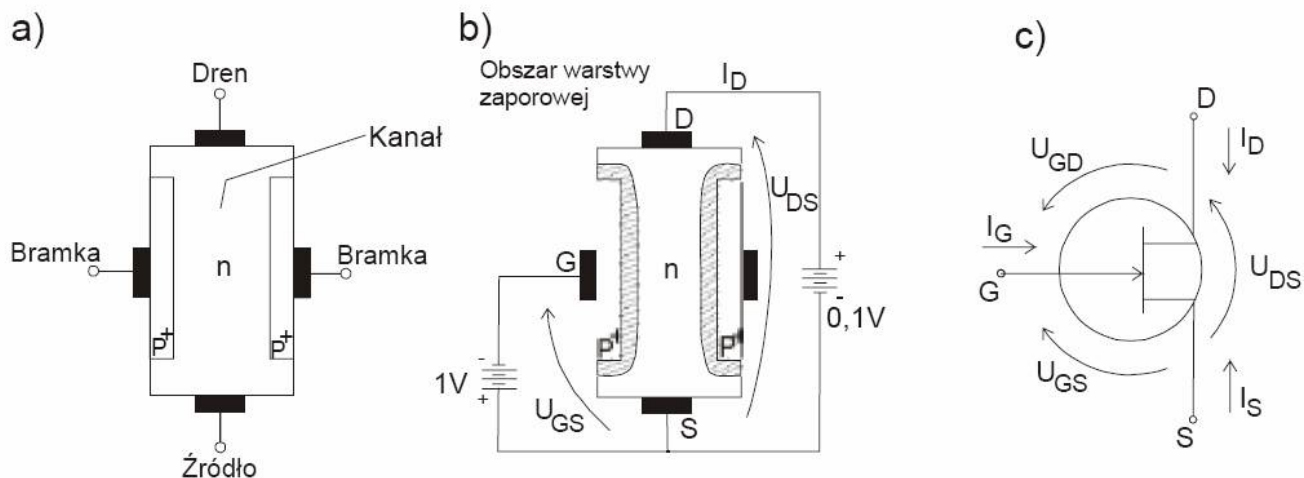
złączowe (JFET -- ang. *Junction FET*) należą do grupy tranzystorów w których izolacja bramki sterującej od kanału w którym przepływają nośniki ładunku odbywa się poprzez polaryzację złącza p-n w kierunku zaporowym. Poniżej przedstawiono przykładową strukturę i polaryzację tranzystora złączowego z kanałem typu n.

Struktura półprzewodnikowa i sposób polaryzacji

Jednorodny obszar półprzewodnika występujący między drenem i źródłem stanowi kanał, przez który płynie prąd i którego rezystancję można zmieniać przez zmianę przekroju kanału. Zmianę przekroju kanału uzyskuje się przez rozszerzenie lub zwężenie warstwy zaporowej złącza pn, a więc przez zmianę napięcia U_{GS} polaryzującego to złącze w kierunku zaporowym. Pod wpływem napięcia U_{GS} polaryzującego zaporowo złącze pn, warstwa zaporowa rozszerzy się tak, jak to pokazane jest na rysunku poniżej. przekrój kanału tym

Podstawy elektroniki

samym zmniejszy się, a jego rezystancja wzrośnie. Łatwo można sobie wyobrazić, że dalsze zwiększanie napięcia U_{GS} w kierunku zaporowym spowoduje, że warstwy zaporowe połączą się i kanał zostanie zamknięty, a jego rezystancja będzie bardzo duża.

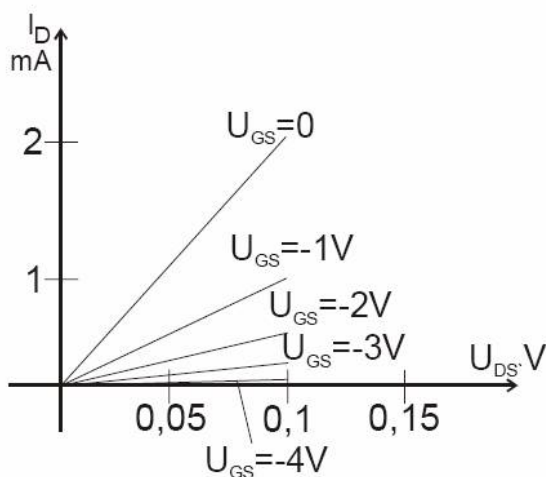


Tranzystor polowy złączowy z kanałem typu n: a) szkic struktury b) ilustracja zwożenia przekroju kanału pod wpływem zaporowej polaryzacji złącza p+n c) symbol tranzystora i strzałkowanie napięć i prądów

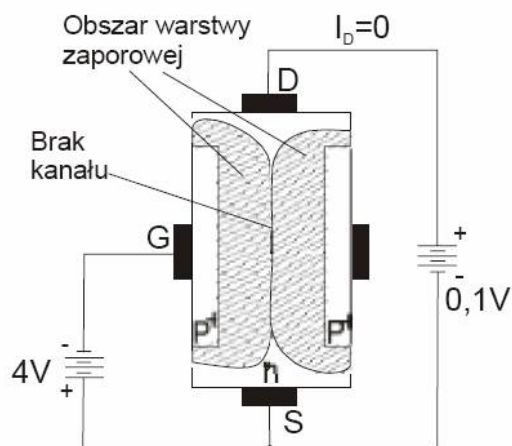
Można powiedzieć, że tranzystor JFET jest swego rodzaju rezystorem sterowanym napięciowo. Rezystancja kanału może zmieniać się od kilkudziesięciu omów, przy braku polaryzacji, do wielu megaomów w warunkach zamknięcia.

Charakterystyki statyczne

Zależności prądów i napięć stałych dla tego typu tranzystora pracującego w układzie (jak wyżej) wspólne źródło ilustruje charakterystyka wyjściowa.



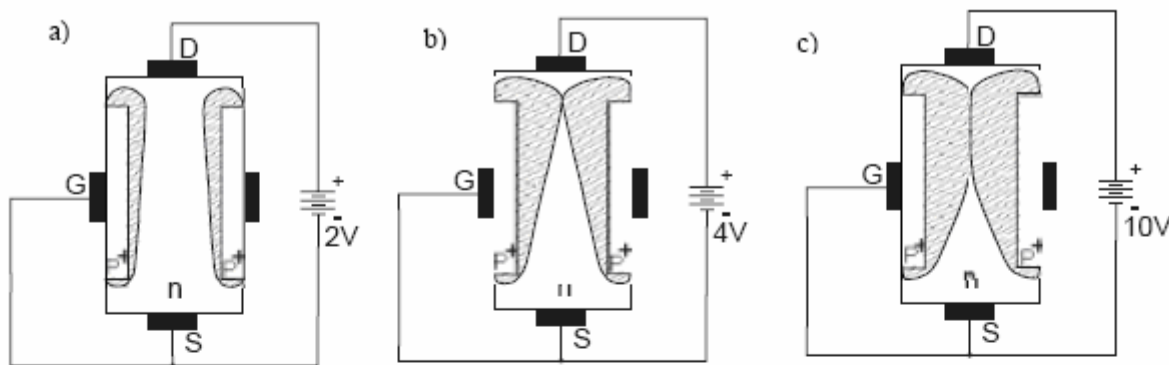
Przykładowe charakterystyki wyjściowe dla małych wartości U_{DS} tranzystora polowego złączowego z kanałem typu n



Ilustracja zwożenia kanału przy napięciu U_{GS} równym napięciu odcięcia U_P i przymalych wartościach napięcia U_{DS} dla tranzystora polowego złączowego z kanałem typu n

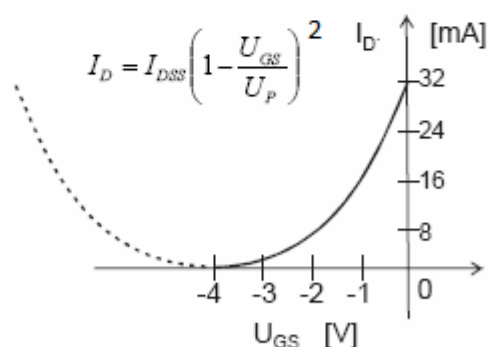
Tranzystor spolaryzowany jest dwoma napięciami: U_{DS} oraz U_{GS} i oba te napięcia mają wpływ na jego działanie. Wpływ napięcia U_{DS} na działanie tranzystora JFET przedstawiają ilustracje struktury wraz charakterystykami zależności napięć i prądów dla tego tranzystora pracującego jak w poprzednio przedstawionym przypadku w układzie WS (wspólne źródło)

Podstawy elektroniki

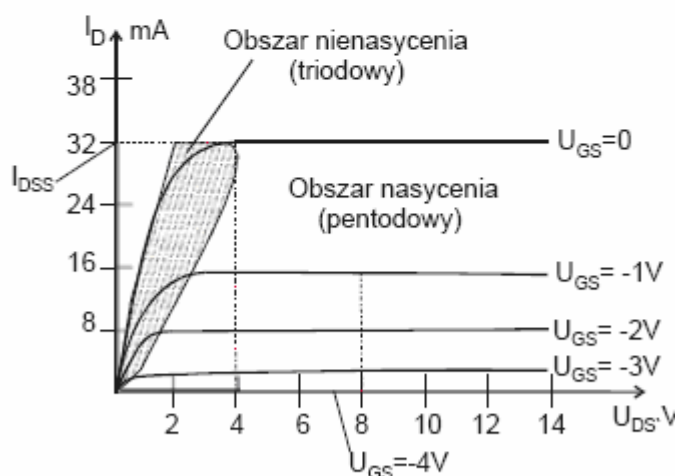


Ilustracja wpływu napięcia U_{DS} na kształt obszarów warstw zaporowych i na istnienie kanału dla tranzystora polowego złączowego z kanałem typu n, w którym $U_P = -4V$: a) $U_{DS} < |U_P|$, b) $U_{DS} = |U_P|$, c) $U_{DS} > |U_P|$

$$I_{DSS} = I_D \Big|_{U_{DS} = -U_P, U_{GS} = 0}$$



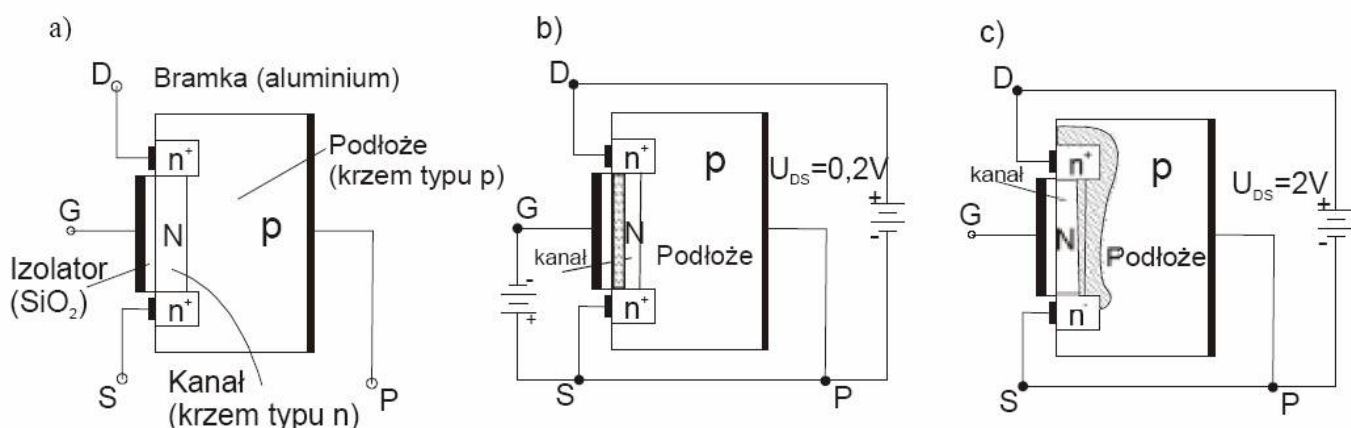
Charakterystyka przejściowa $I_D = f(U_{GS})$ tranzystora polowego złączowego z kanałem typu n.



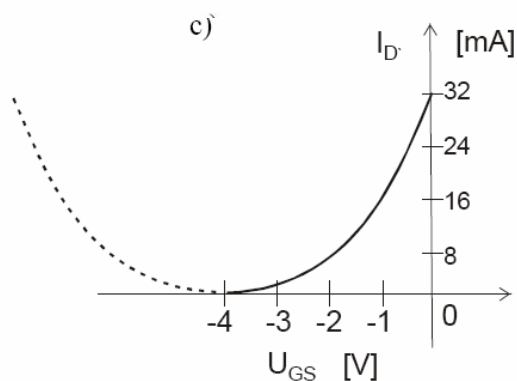
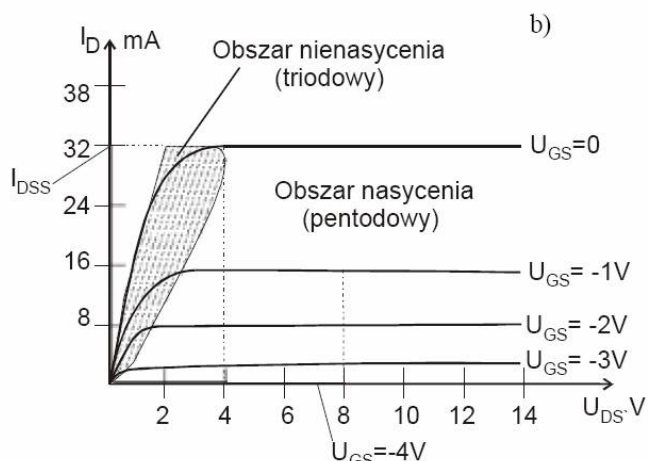
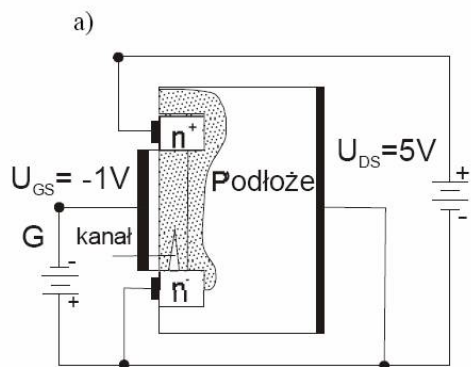
Charakterystyki wyjściowe w układzie ze wspólnym źródłem dla tranzystora polowego złączowego z kanałem typu n, dla którego $U_P = -4V$

1.3. Zasada działania tranzystora MOSFET z kanałem wbudowanym.

Struktura półprzewodnikowa i sposób polaryzacji

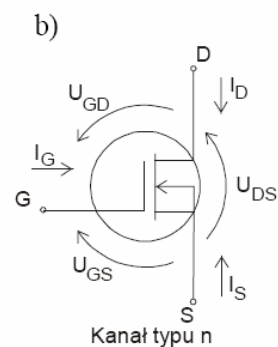
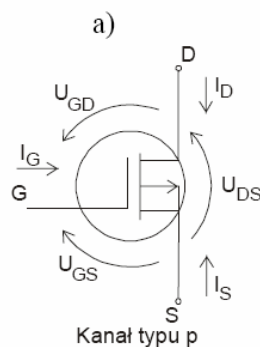


a) Struktura półprzewodnikowa tranzystora MOS z kanałem wbudowanym typu n; b) wpływ napięcia U_{GS} na działanie tranzystora c) wpływ napięcia U_{DS} na działanie tranzystora



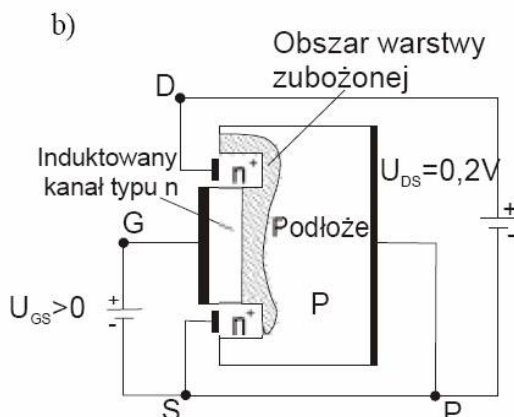
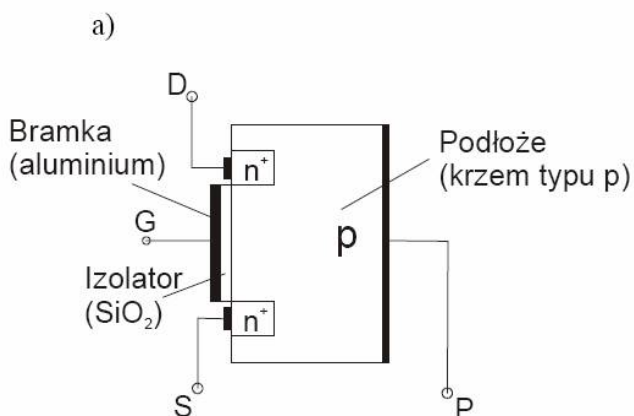
a) Ilustracja jednoczesnego oddziaływania napięć U_{DS} i U_{GS} na kształt warstw zubożonych dla tranzystora polowego MOSFET z wbudowanym kanałem typu n dla obszaru nasycenia b) charakterystyki wyjściowe tego samego tranzystora charakteryzującego się wartościami U_P i I_{DSS} równym odpowiednio $-4V$ oraz 32 mA – c) charakterystyka przejściowa

Symbole oraz oznaczenia napięć i prądów tranzystorów MOS z kanałem wbudowanym a) z kanałem typu p b) z kanałem typu n



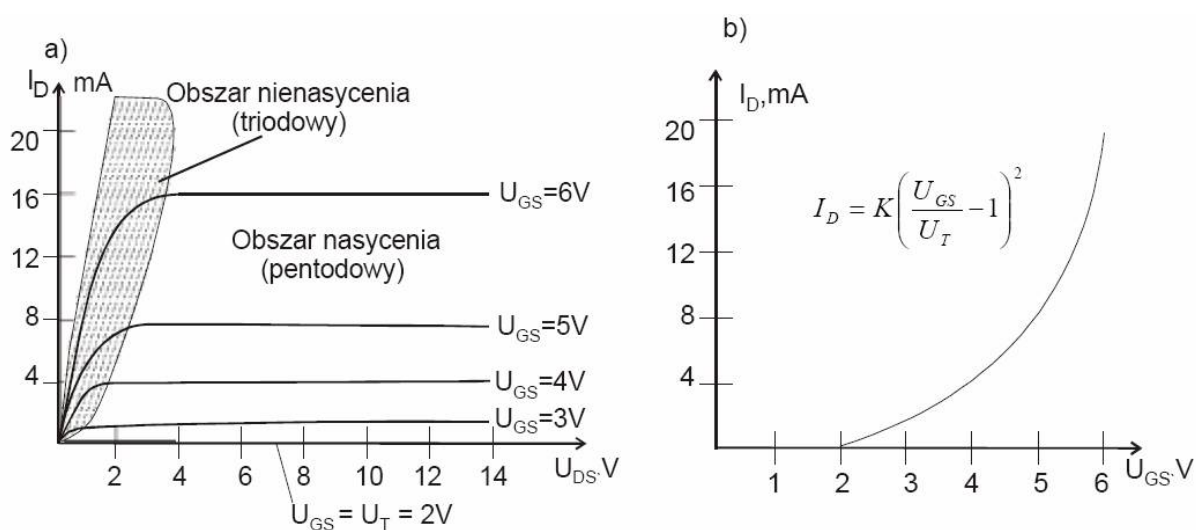
1.4. Zasada działania tranzystora MOSFET z kanałem indukowanym.

Struktura półprzewodnikowa i sposób polaryzacji



a) Struktura półprzewodnikowa tranzystora MOS z kanałem indukowanym typu n; b) wpływ napięcia U_{GS} na działanie tranzystora

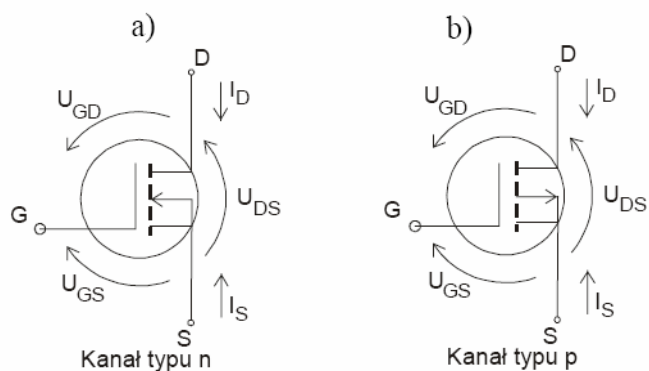
Charakterystyki statyczne



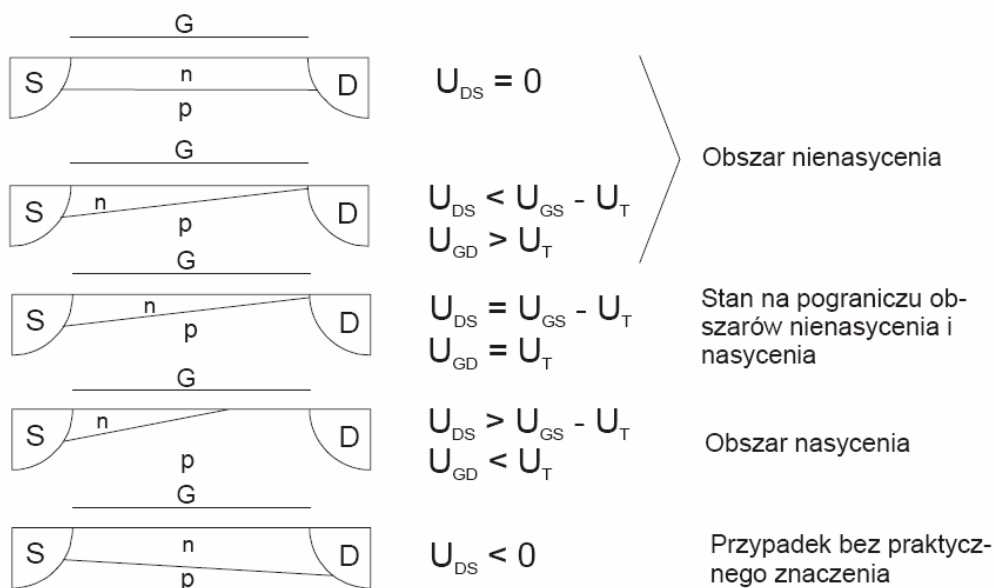
Charakterystyki tranzystora polowego z indukowanym kanałem typu n, napięcie tworzenia kanału $U = 2V$

a) charakterystyki wyjściowe b) charakterystyka przejściowa

Symbole oraz oznaczenia napięć i prądów tranzystorów MOS z kanałem indukowanym a) z kanałem typu n b) z kanałem typu p



Sterowanie tranzystorem

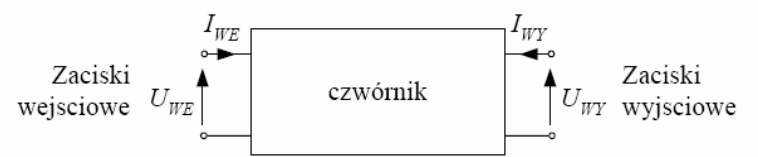
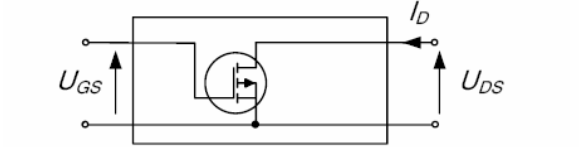
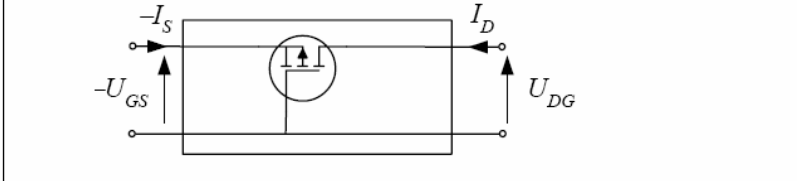
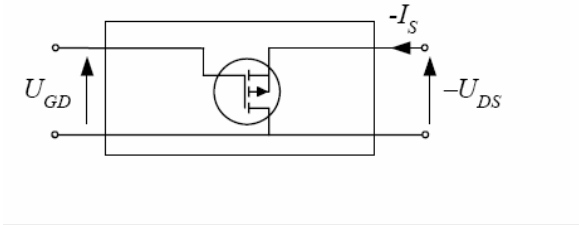


Ilustracja jednoczesnego wpływu napięć U_{GS} i U_{DS} na szerokości istnienia kanału w tranzystorze typu MOSFET z indukowanym kanałem typu n.

Podstawy elektroniki

1.5. Układy pracy (włączania) tranzystora polowego

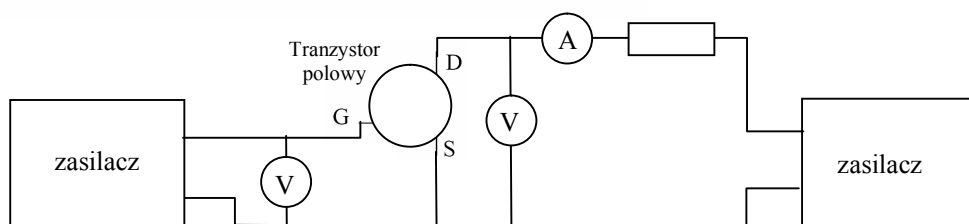
określają sposoby włączenia tranzystora (trójnika) w charakterze czwórnika

 taki sposób włączenia wymaga aby jedna z końcówek tranzystora była wspólna dla wejścia i wyjścia	Zastrzeżenia: • bramka musi być jedną z końcówek wejściowych • dren musi być końcówką wyjściową Te ograniczenia sprawiają, że są trzy układy pracy których nazwy pochodzą od wspólnej końcówki
• ze wspólnym źródłem WS (ang. <i>common source</i> – CS) 	• ze wspólną bramką WG (ang. <i>common gate</i> – CG) 
• ze wspólnym drenem WD (ang. <i>common drain</i> – CD) 	• Każdy z układów pracy ma inne właściwości • W każdym z układów tranzystor może być w jednym z zakresów pracy • W przypadku tranzystorów z wyprowadzonym podłożem: ○ podłoże typu n należy dołączyć do węzła o najwyższym potencjale ○ podłoże typu p należy dołączyć do węzła o najniższym potencjale dzięki czemu złącze kanał-podłoże jest spolaryzowane zaporowo

1.6. Pomiary charakterystyk statycznych tranzystora polowego

Charakterystyka wyjściowa $I_{WY}(U_{WY})_{I_{WE}=const}$

Charakterystyka przejściowa $I_{WY}(I_{WE})_{U_{WY}=const}$



1.7. Właściwości tranzystorów polowych dla prądu zmiennego

Schemat zastępczy małosygnałowy

