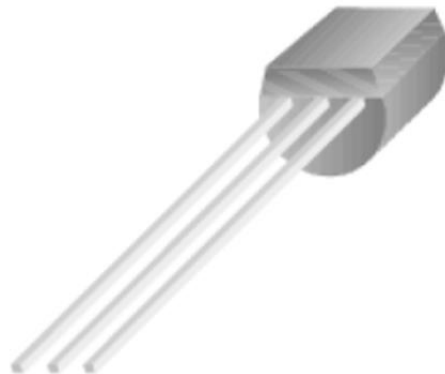


Tranzystory unipolarne



Tranzystory unipolarne (polowe) - przyrządy półprzewodnikowe w których sterowanie wielkością prądu odbywa się przy wykorzystaniu pola elektrycznego.

Tranzystor polowy różni się od tranzystora bipolarnego:

1. Działanie jego zależy wyłącznie od przepływu nośników większościowych i dlatego nazywa go się przyrządem unipolarnym, czyli wykorzystującym jeden typ nośników,
2. Jest łatwiejszy do wytwarzania i w postaci scalonej i zajmuje mniej miejsca,
3. Charakteryzuje się dużą rezystancją wejściową (kilkaset $M\Omega$ i więcej),
4. Jest przyrządem o mniejszych szumach niż tranzystor bipolarny.

Istnieją dwa typy tranzystorów polowych:

1) tranzystor polowy złączowy JFET (*Junction Field Effect Transistor*) krócej nazywany FET,

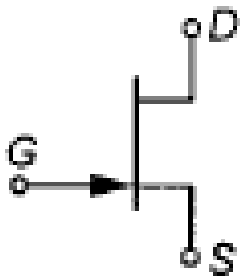
2) tranzystor polowy z izolowaną bramką MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) zwany też IGFET (*Insolated Gate Field Effect Transistor*) lub MISFET (*Metal Insolator Semiconductor FET*).

TRANZYSTOR POLOWY ZŁĄCZOWY

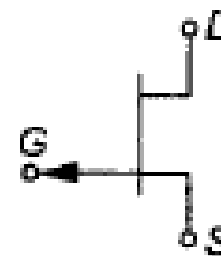
D dren (*drain*)

G bramka (*gate*)

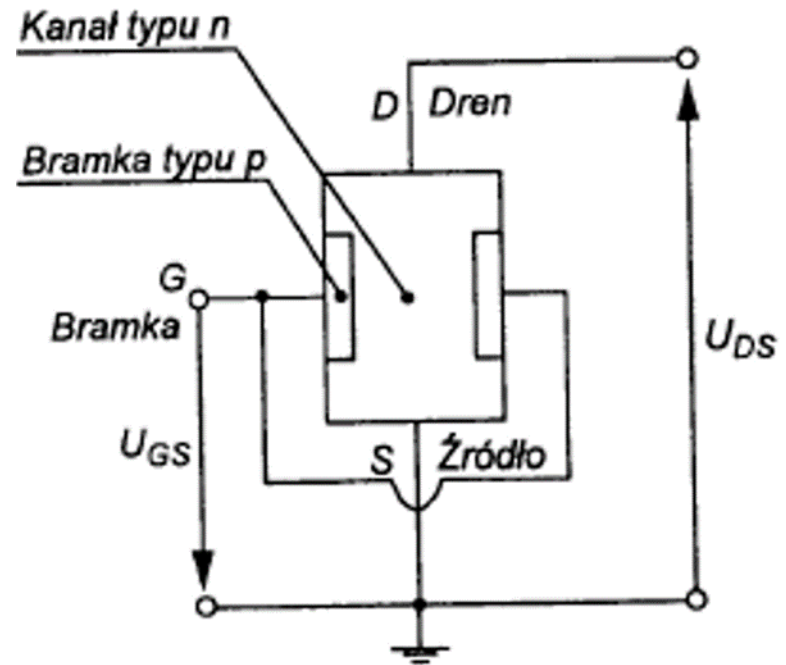
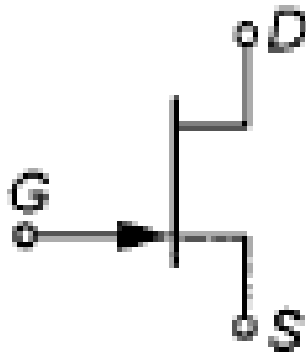
S źródło (*source*)



tranzystora JFET z kanałem typu n
symbol elektryczny stosowany
na schematach



tranzystor JFET z kanałem typu p
symbol elektryczny stosowany
na schematach



*schematyczna struktura wewnętrzna
tranzystora polowego złączowego z
kanałem typu n*

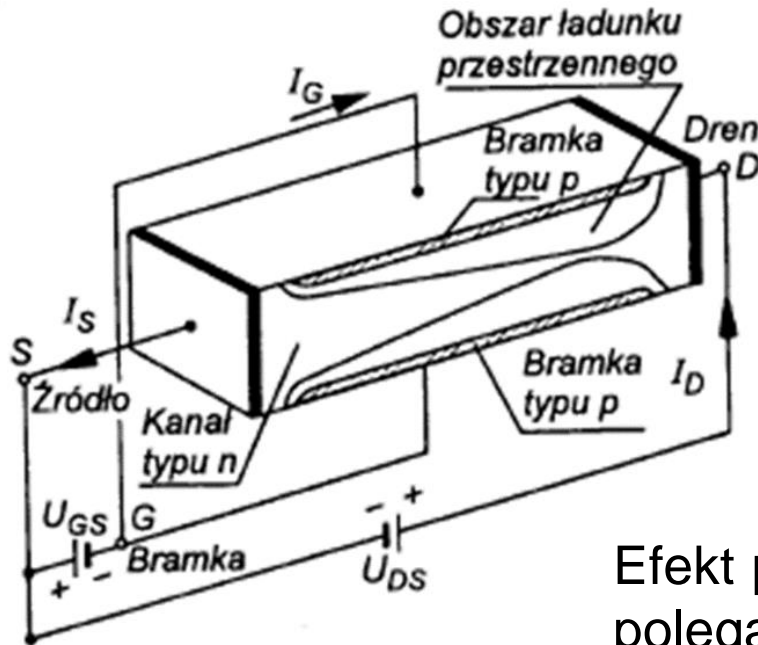
Przypomnienie z budowy złącza p-n

Po obu stronach zaporowo spolaryzowanego złącza p-n znajdują się obszary ładunku przestrzennego. Szerokość obszaru ładunku przestrzennego zwiększa się wraz ze wzrostem napięcia wstecznego.

Obszar ładunku przestrzennego tworzą nie zneutralizowane jony domieszek akceptorowych i donorowych odpowiednio po obu stronach złącza. Nie występują w nim nośniki swobodne - jest to obszar „wymieciony” inaczej zubożony..

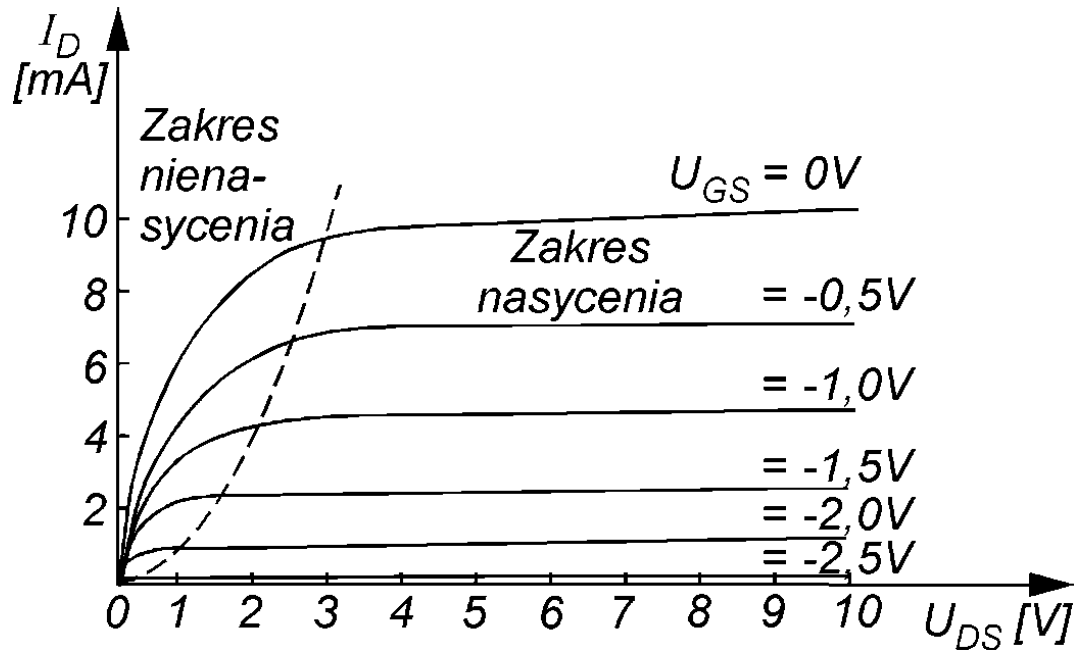
Rozszerzenie się tego obszaru w głąb kanału zmniejsza jego efektywną szerokość, a rozszerzenie to jest zależne od wielkości napięcia polaryzacji zaporowej złącza bramka - źródło.

ISTOTA DZIAŁANIA TRANZYSTORA POLOWEGO: EFEKT POLOWY



Pomiędzy bramką i źródłem przyłożone jest napięcie sterujące przy czym spełniony musi być warunek, aby złącze bramka-kanał było spolaryzowane w kierunku zaporowym

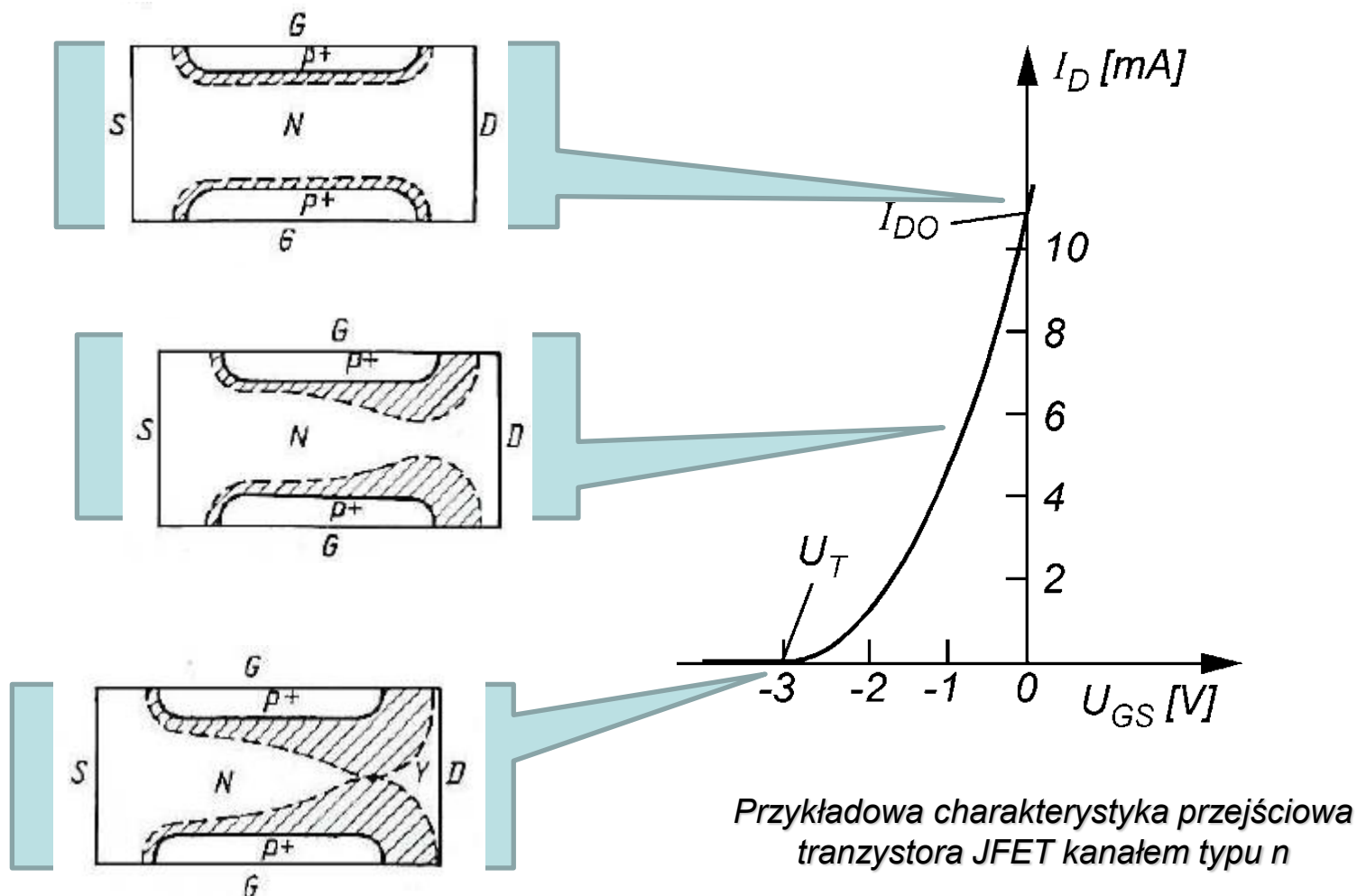
Efekt polowy występujący w tranzystorze polega na tym, że przy wzroście napięcia wstecznego następuje ekspansja obszaru ładunku przestrzennego w głąb kanału. Zmieniają się wtedy jego elektryczny przekrój i wypadkowa rezystancja kanału, na skutek tego zmienia się również prąd drenu.



Przykładowe charakterystyki wyjściowe
tranzystora JFET z kanałem typu n

złącze
bramka - źródło
polaryzowane
mniejszym lub
większym
napięciem U_{GS}
ale zawsze
w kierunku
zaporowym

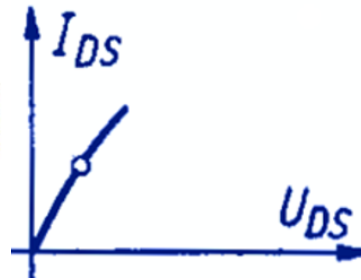
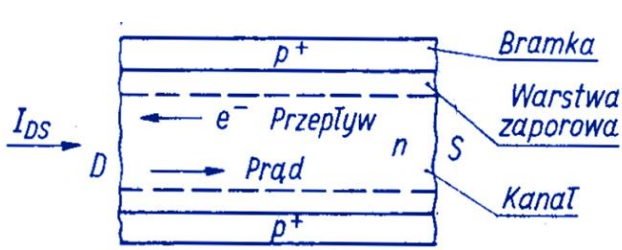
charakterystyka przejściowa i uzasadnienie jej przebiegu



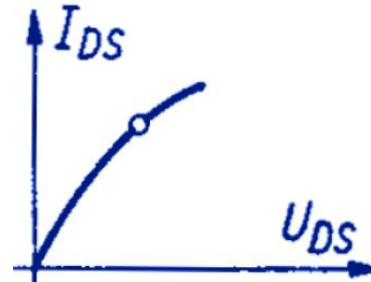
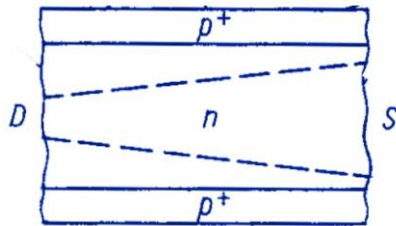
Przykładowa charakterystyka przejściowa tranzystora JFET kanałem typu n

U_T - napięcie odcięcia (*threshold voltage*) – napięcie przy którym warstwa zaporowa zajmuje całą nominalną szerokość kanału

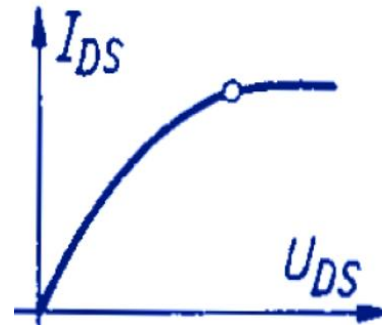
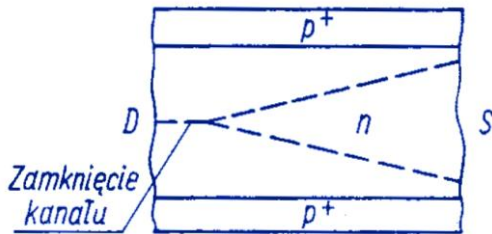
charakterystyka wyjściowa i uzasadnienie jej przebiegu $U_{GS} = 0 \text{ V}$



Przy niewielkich prądach płynących przez kanał szerokość warstw zubożonych jest praktycznie równa na całej jego długości. Charakterystyka jest w przybliżeniu liniowa.



W miarę wzrostu prądu zmienia się rozkład potencjału wzdłuż kanału i szerokość obszaru zubożonego wzrasta w stronę drenu. Efektywny przekrój kanału maleje i charakterystyka odchyła się od linii prostej.

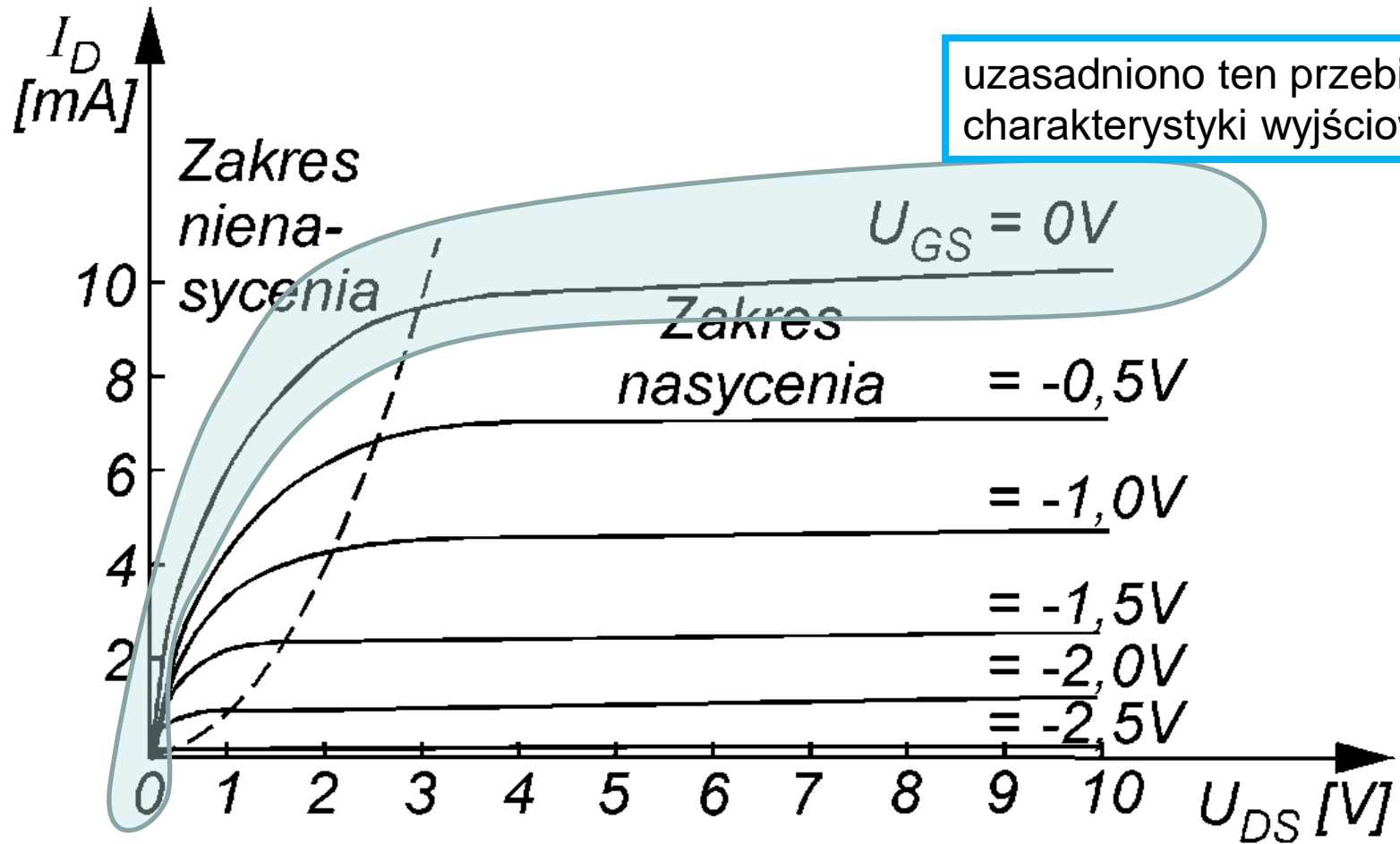


Dalszy wzrost napięcia drenu powoduje wzrost prądu a ten z kolei powoduje dalszy spadek napięcia wzdłuż kanału. Dochodzi do zetknięcia się obszarów zubożonych w sąsiedztwie drenu i zamknięcia (zaciśnięcia) kanału. W tych warunkach dalszy wzrost napięcia przestanie wywoływać wzrost prądu.

problem zamknięcia kanału - dodatkowe wyjaśnienia

Jest niemożliwe, aby kanał zamknął się całkowicie i prąd drenu zmaleł do zera. Jest to spowodowane zjawiskami towarzyszącymi zmianie ruchliwości nośników przy bardzo dużych natężeniach pola elektrycznego, co ma miejsce na krótkim odcinku zamykającego się kanału. Ruchliwość elektronów jest wtedy odwrotnie proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego. Powoduje to, że występuje pewna minimalna szerokość kanału, przez którą przepływa prąd drenu o prawie stałej wartości zwanej prądem nasycenia.

Tranzystor jest wtedy w zakresie nasycenia.



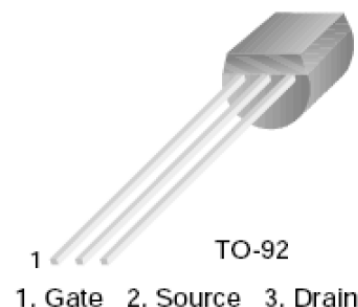
PRZYKŁADOWY TRANZYSTOR POLOWY ZŁĄCZOWY I NIEKTÓRE PARAMETRY



BF245A/BF245B/BF245C

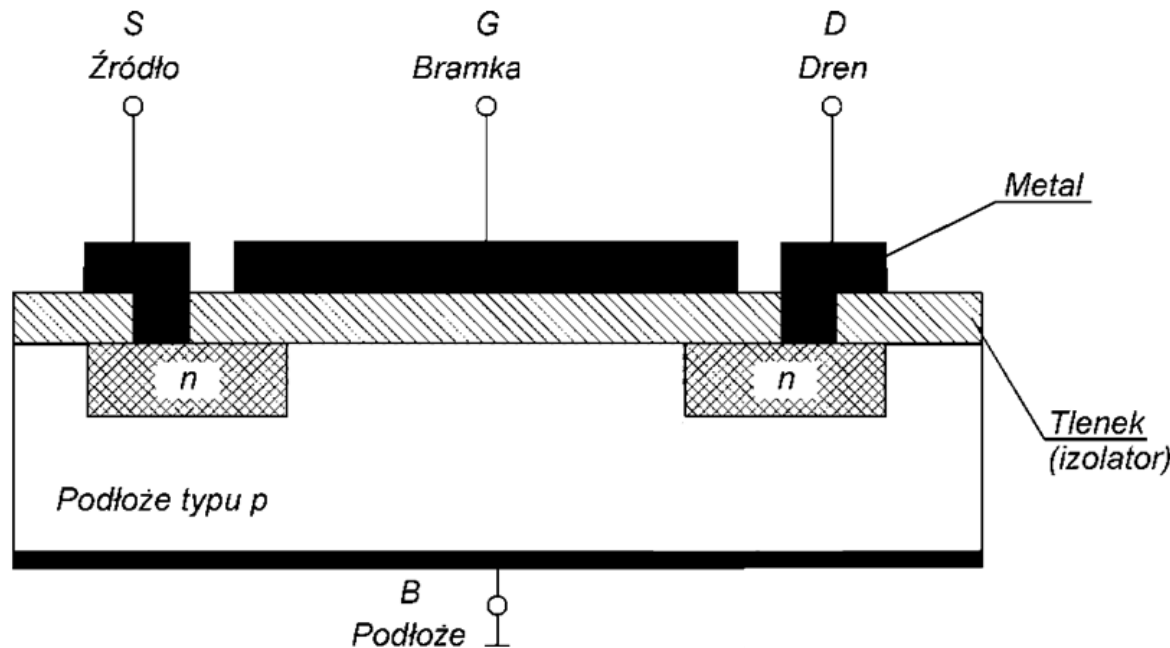
N-Channel Amplifiers

- This device is designed for VHF/UHF amplifiers.
- Sourced from process 50.

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{DG}	Drain-Gate Voltage	30	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	-30	V
I_{GF}	Forward Gate Current	10	mA
P_D	Total Device Dissipation @ $T_A=25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	350 2.8	mW mW/ $^\circ\text{C}$
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

TRANZYSTOR POŁOWY Z IZOLOWANĄ BRAMKĄ MOSFET

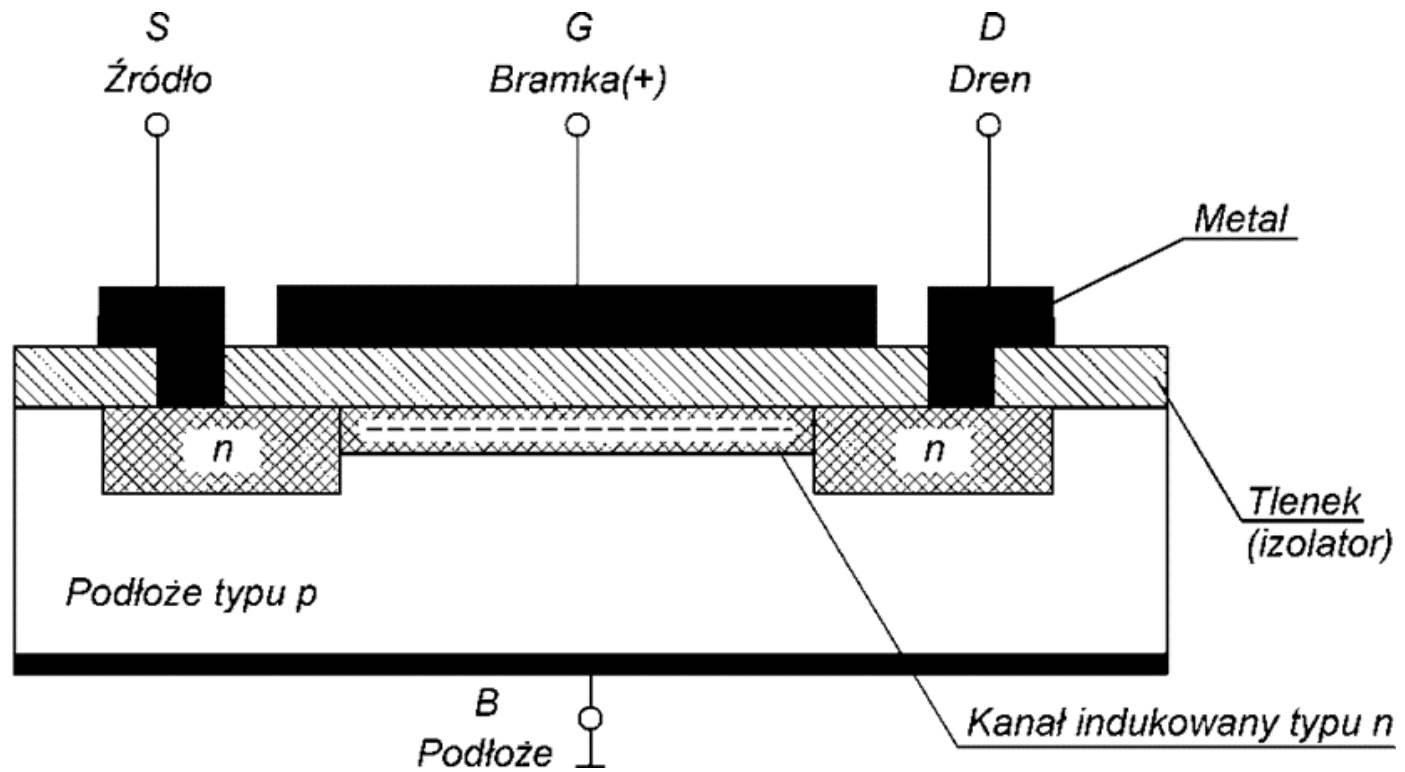


elektroda D dren (*drain*)
elektroda S źródło (*source*)
elektroda G bramka (*gate*).

dodatkowa elektroda:
podłoże B (*bulk*)

Końcówka podłoża może być połączona wewnętrznie w obudowie tranzystora z jedną elektrodą (źródłem lub drenem) albo może być wyprowadzona na zewnątrz jako czwarta elektroda tranzystora.

struktura tranzystora MOSFET z kanałem typu n



Uziemiamy podłoże, a na bramkę podamy napięcie dodatnie.

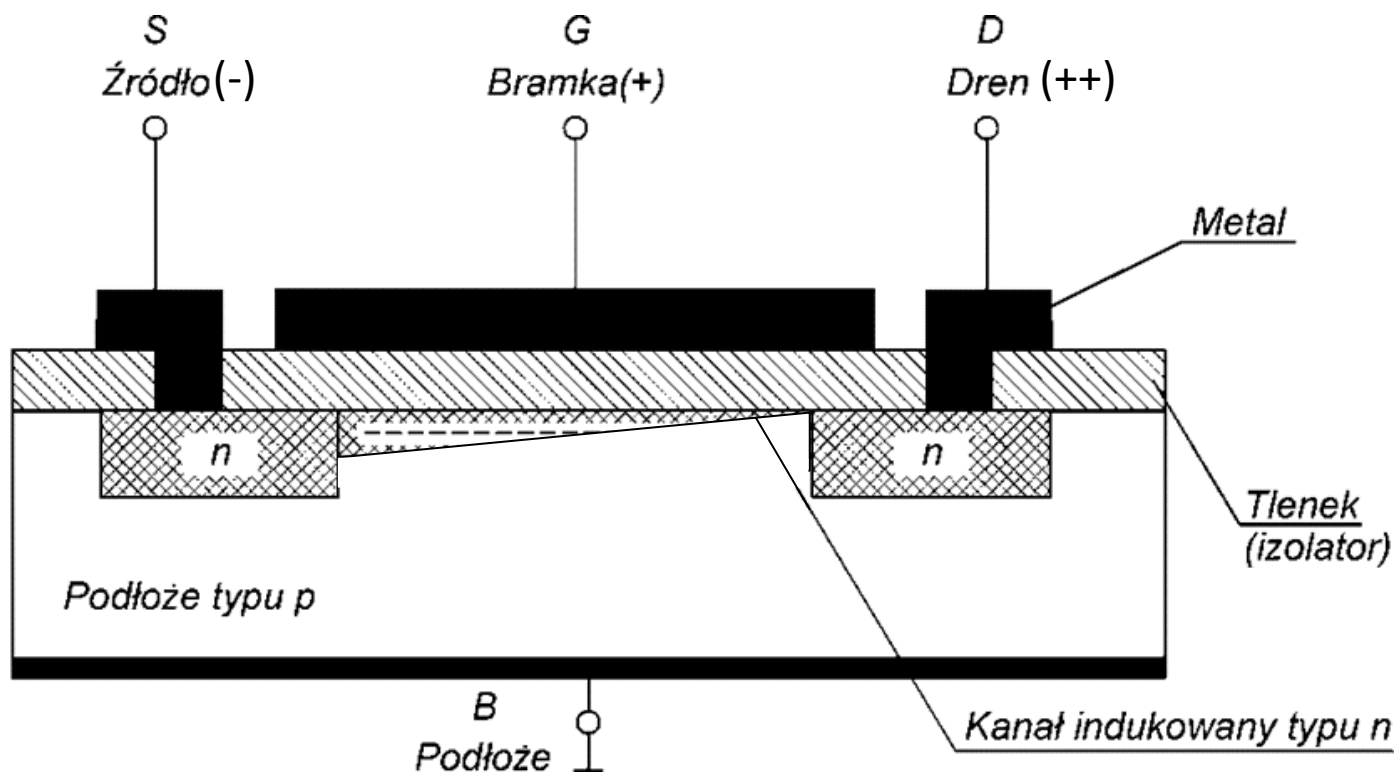
Powstanie pole elektryczne skierowane prostopadle przez warstwę izolatora.

Linie sił pola indukują w półprzewodniku ładunki ujemne, które w podłożu typu p są nośnikami mniejszościowymi.

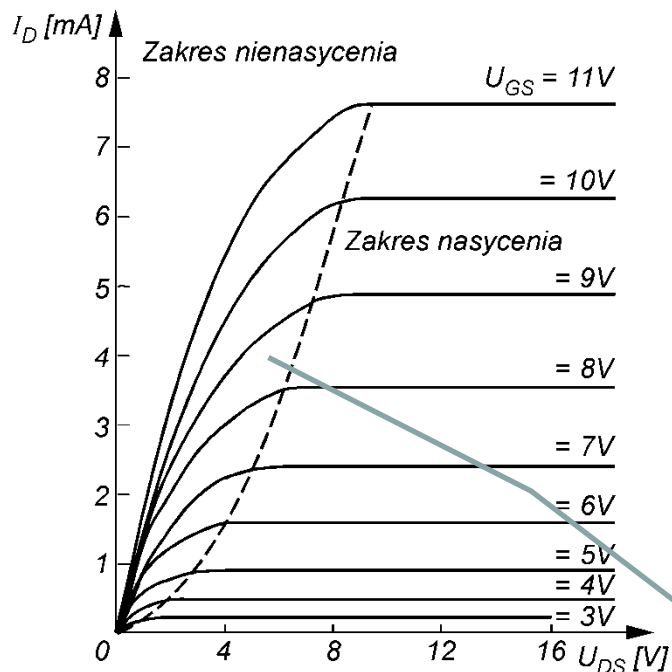
Ze wzrostem napięcia bramki zwiększa się zaindukowany ujemny ładunek elektronów zgromadzony w sąsiedztwie izolatora. Są to nośniki typu n.

Okazać się może, że jest ich tak dużo, iż nastąpiła inwersja czyli zmiana typu materiału półprzewodnikowego. W bezpośrednim sąsiedztwie izolatora koncentracja elektronów w półprzewodniku może okazać się większa od koncentracji dziur i dren ze źródłem zostaną elektrycznie połączone poprzez materiał o tym samym typie przewodnictwa, a więc typie n.

Zaczyna wtedy płynąć pomiędzy tymi elektrodami prąd, którego wielkość jest zależna od napięcia sterującego bramki, gdyż w ten sposób regulowana jest grubość zaindukowanego kanału (grubość warstwy inwersyjnej).



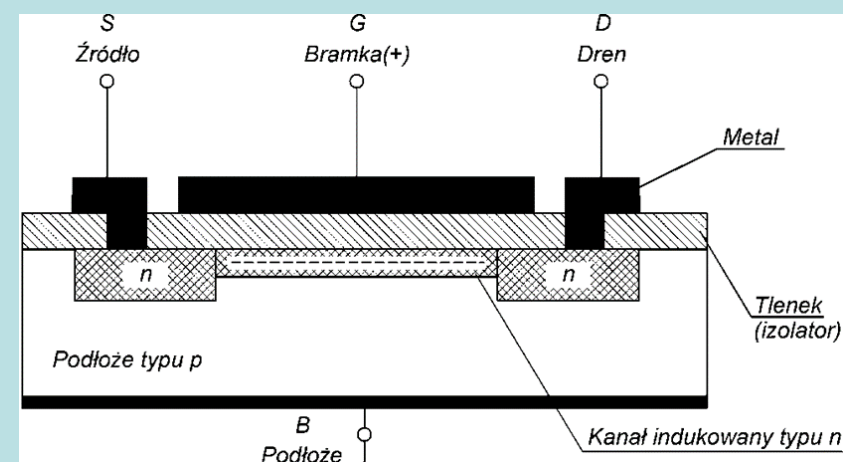
OPIS CHARAKTERYSTYKI



Przykładowa charakterystyka wyjściowa tranzystora MOSFET z kanałem typu n

W zakresie nienasylenia kanał spełnia funkcję liniowego rezystora łączącego źródło z drenem.

W tym zakresie napięcie drenu zmiany prądu I_D w funkcji napięcia U_{DS} są liniowe.



PRZYKŁADOWY TRANZYSTOR MOSFET z kanałem typu n i NIEKTÓRE PARAMETRY

Supertex inc.**2N7002**

N-Channel Enhancement-Mode Vertical DMOS FETs

Pin Configuration



TO-236AB (SOT-23)

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

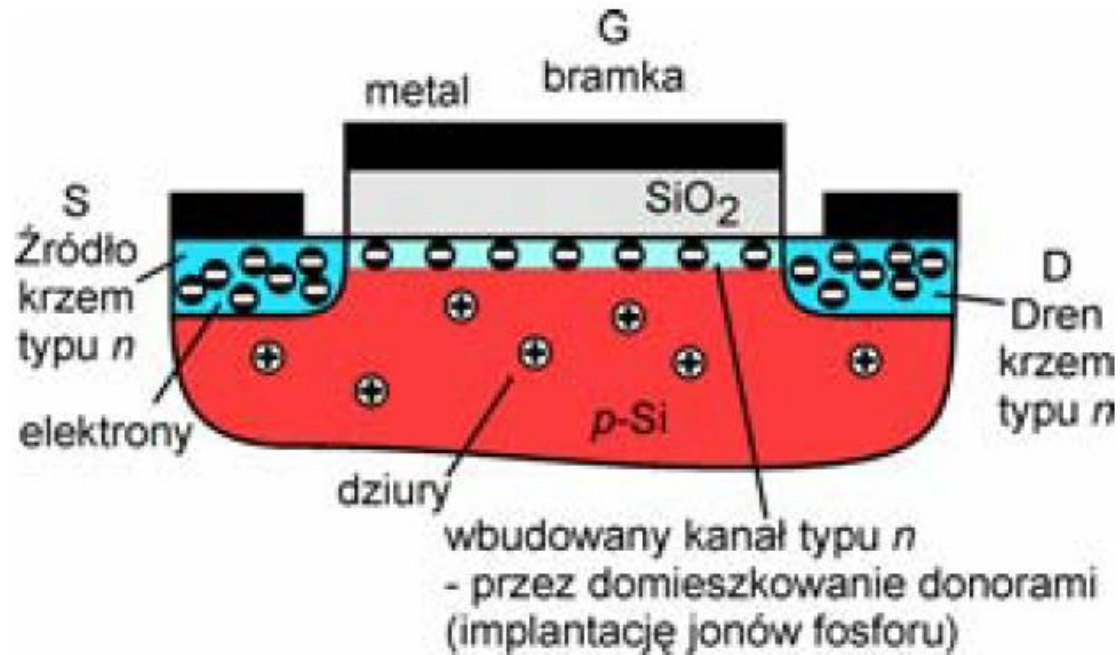
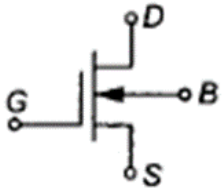
Sym	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Conditions
BV_{DSS}	Drain-to-Source breakdown voltage	60	-	-	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 10\mu A$
$V_{GS(th)}$	Gate threshold voltage	1.0	-	2.5	V	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{GS(th)}$	Change in $V_{GS(th)}$ with temperature	-	-	-5.5	mV/°C	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$
I_{GSS}	Gate body leakage current	-	-	±100	nA	$V_{GS} = \pm 20V, V_{DS} = 0V$
I_{DSS}	Zero Gate voltage drain current	-	-	1.0	μA	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = \text{Max rating}$
		-	-	500		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0.8\text{Max rating}, T_A = 125^\circ\text{C}$
$I_{D(ON)}$	On-state Drain current	500	-	-	mA	$V_{GS} = 10V, V_{DS} = 25V$
$R_{DS(ON)}$	Static Drain-to-Source on-state resistance	-	-	7.5	Ω	$V_{GS} = 5.0V, I_D = 50mA$
		-	-	7.5		$V_{GS} = 10V, I_D = 500mA$

Ze względu na typ przewodnictwa kanału wyróżnia się tranzystory polowe z izolowaną bramką z kanałem typu n i p.

Natomiast ze względu na różnice w sposobie uzyskiwania właściwości sterujących kanału wyróżnia się:

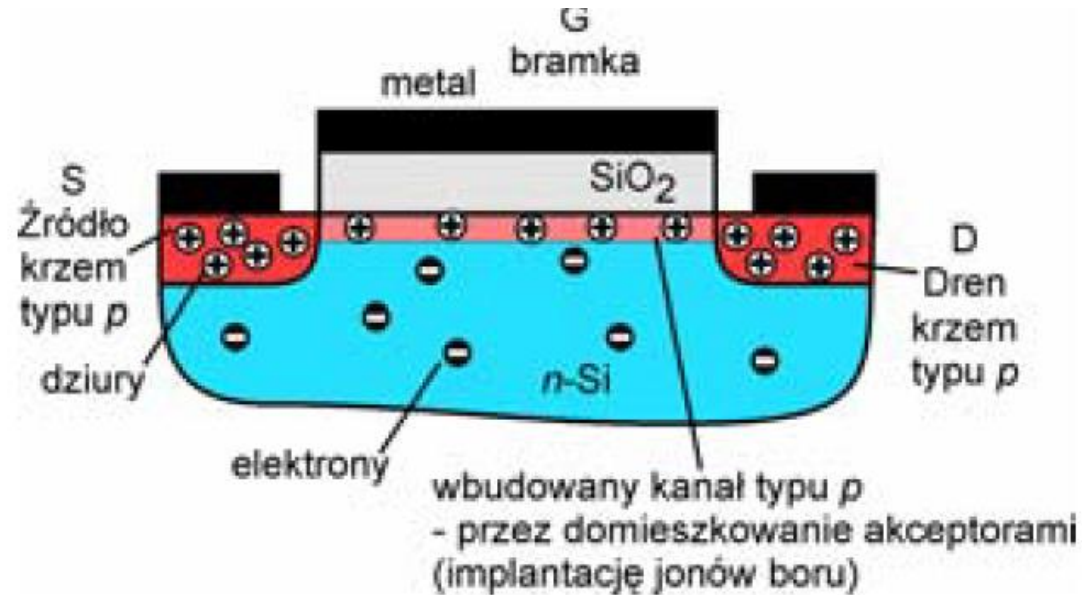
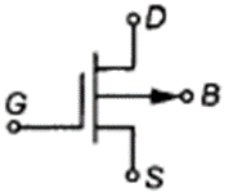
- tranzystory normalnie wyłączone (normally off) inaczej z kanałem wzbogacanym,
- tranzystory normalnie włączone (normally on) inaczej z kanałem zubożanym.

W tranzystorach normalnie włączonych kanał już istnieje przy braku polaryzacji bramki (przy $U_{GS}=0$) i może płynąć duży prąd drenu. Tranzystory te mają bowiem kanał specjalnie wbudowany lub trwale zaindukowany ładunkiem powierzchniowym zgromadzonym w izolatorze przy granicy z podłożem. Działając napięciem bramki można zmniejszyć konduktancję kanału, tj. zubożyć go w sensie zmniejszania liczby nośników.



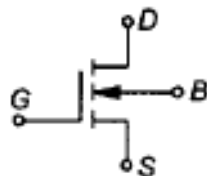
MOSFET z kanałem zubażanym typu *n*

normalnie włączony

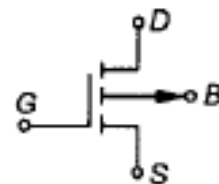


MOSFET z kanałem zubażanym typu p

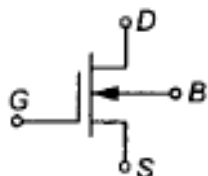
normalnie włączony

tranzystory normalnie wyłączone (normally off) - inaczej z kanałem wzbogacającym

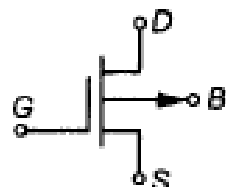
z kanałem typu n



z kanałem typu p

tranzystory normalnie włączone (normally on) - inaczej z kanałem zubożającym

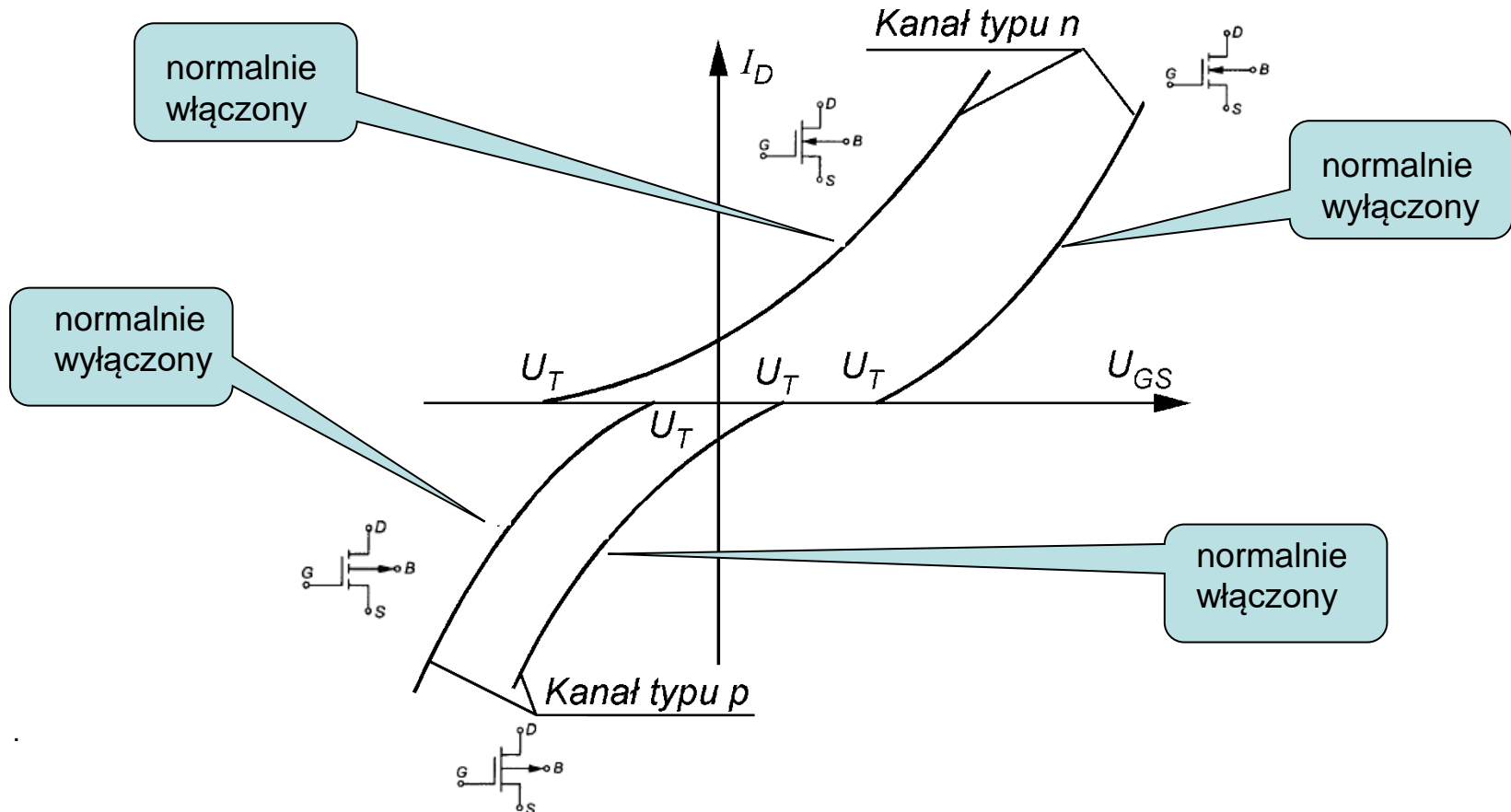
z kanałem typu n



z kanałem typu p

Tranzystory te mają kanał trwale zaindukowany ładunkiem powierzchniowym zgromadzonym w izolatorze przy granicy z podłożem.

Działając napięciem bramki można zmniejszyć konduktancję kanału tj. zubożyć go w sensie zmniejszenia liczby nośników.



Charakterystyki przejściowe dla czterech rodzajów tranzystorów polowych MOSFET

Tranzystory polowe					
złączowe		z izolowaną bramką			
		normalnie włączony		normalnie wyłączony	
z kanałem typu <i>n</i>	z kanałem typu <i>p</i>	z kanałem typu <i>n</i>	z kanałem typu <i>p</i>	z kanałem typu <i>n</i>	z kanałem typu <i>p</i>

Tranzystory unipolarne

KONIEC