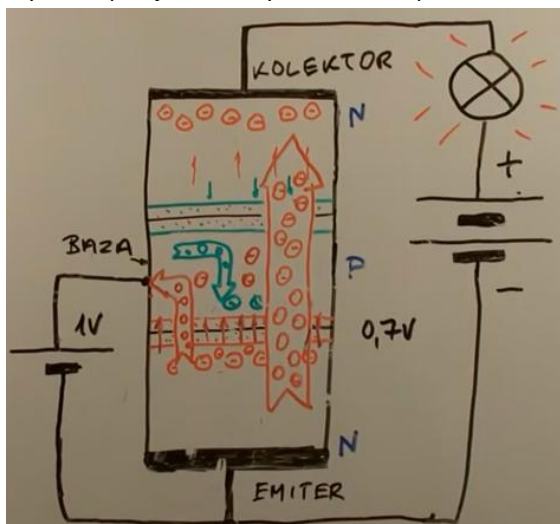


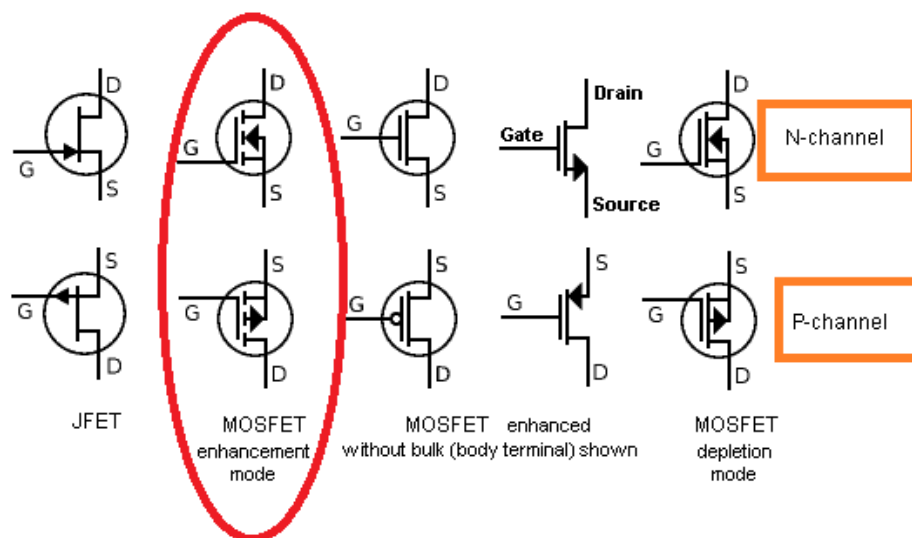
# TRANZYSTOR POLOWY – Opracowanie

## 1. Pierdolamento o tranzystorze polowym

Jak wiadomo w tranzystorze bipolarnym o przepływie prądu decydują dwa rodzaje nośników ponieważ odpowiednim manipulowaniu ich ilością, a co za tym idzie różnicą potencjałów pomiędzy obszarami półprzewodnika możemy wywołać przejście tranzystora w stan przewodzenia.



W tranzystorze polowym o przepływie prądów decyduje tylko jeden rodzaj nośników – dziury lub elektrony. Żeby w pełni opisać idee działania tranzystora MOSFET najpierw musimy wiedzieć jakie posiada on wyprowadzenia oraz jego rodzaje.



Jak widać na symbolu tranzystora na elektrodach mamy oznaczenia S, G i D:

- ➔ Źródło (Source) – oznaczone literą „S” i z tej elektrody nośniki wypływają do kanału
- ➔ Bramka (Gate) – oznaczona literą „G”, elektroda ta steruje przepływem nośników w kanale.
- ➔ Dren (Drain) – Jest to elektroda do której wpływają ładunki z kanału.

### WARTO WIEDZIEĆ!

Tranzystor polowy sterowany jest napięciowo, prąd bazy jest stały i praktycznie go nie ma ( $I_B \sim 0$ ). Przepływ prądu w tranzystorze odbywa się od źródła do drenu za pomocą napięcia  $U_{DS}$ . W

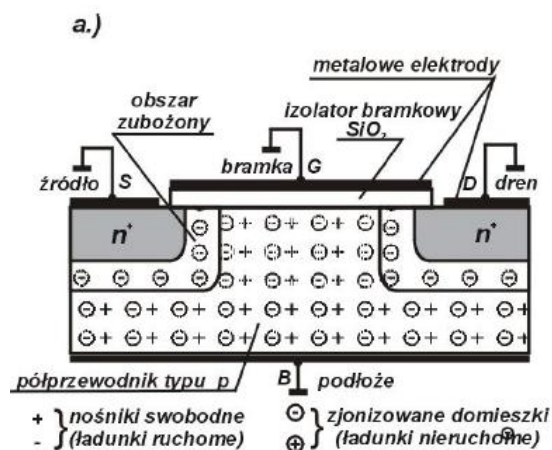
tranzystorze z kanałem typu „p” przepływają nam przez kanał dziury, a w tranzystorze typu „n” elektrony.

Mamy dwa podstawowe rodzaje tranzystorów MOSFET:

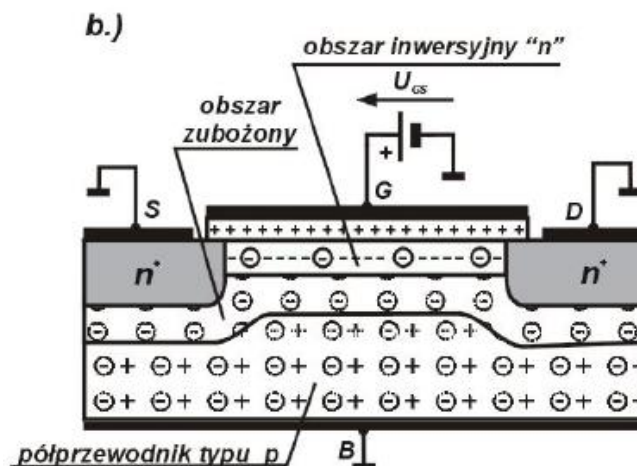
- ➔ Typu „E” – (E-MOSFET) – z kanałem wzbogacanym czyli takim, który jest załączany podczas pracy (przy określonej polaryzacji bramki). Jest to tranzystor normalnie wyłączony.
- ➔ Tranzystor typu „D” – (D-MOSFET) – z kanałem zubażanym czyli takim, który jest wyłączany podczas pracy (przy określonej polaryzacji bramki). Jest to tranzystor normalnie włączony czyli przy zerowej polaryzacji bramki prąd może płynąć przez jego kanał.

## 2. Budowa i zasada działania tranzystora polowego

**Metal Oxide Semiconductor** Field Effect Transistor- Zatem jak mówi sam skrót jest to tranzystor polowy z warstwami metal, tlenek i półprzewodnik. Bramka wykonana z metalu w takim tranzystorze jest izolowana galwanicznie od pozostałych złącz cienką warstwą  $\text{SiO}_2$ . Jest to tak zwana budowa kondensatorowa MOS i zmiany pojemności tego kondensatora będą wpływały na prąd wypływający z drenu (wyjścia). Zatem do rzeczy, poniżej mamy budowę tranzystora typu E na której pokażemy sobie zasadę działania:



- Obrazek pierwszy ukazuje nam sytuację, w której widzimy, że polaryzacja drenu i bramki jest zerowa. W takim przypadku struktura jest złożona z dwóch obszarów półprzewodnika typu n rozdzielonych obszarem półprzewodnika typu p co powoduje utworzenie złącz n-p oraz p-n. Obszar podłoża jest wspólną anodą dla złącz S-Podłoże oraz Podłoże-S. Obszar zubożony wnika bardziej w półprzewodnik o mniejszej koncentracji, a więc w podłoże. Zatem skoro jest to tranzystor E-MOSFET w takiej sytuacji jest brak przepływu ładunku.

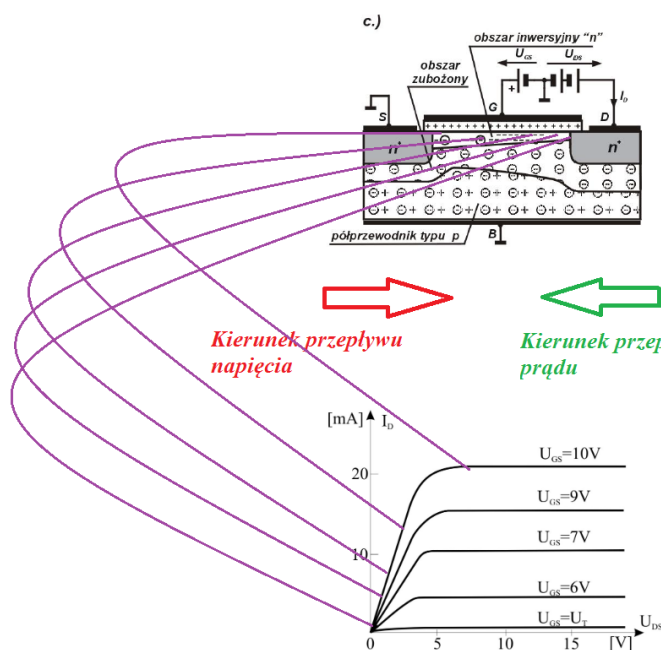


- Kolejny obrazek ukazuje nam sytuację, w której polaryzujemy bramkę naszego tranzystora odpowiednim napięciem umożliwiającym przepływ prądu drenu. Dzieje się tak, że dodatni ładunek tak spolaryzowanej bramki indukuje pod powierzchnią izolatora ( $\text{SiO}_2$ ) ładunek przestrzenny, który składa się z przyciąganych polem elektrycznym bramki elektronów (dlatego tranzystor nazywany jest polowym) i to jest właśnie tak zwana warstwa inwersyjna. Głębiej mamy warstwę ładunku przestrzennego jonów akceptorowych, z której tym samym polem elektrycznym zostały wypchnięte dziury w głąb podłoża. Dzięki utworzeniu takiej warstwy o przewodnictwie elektronowym typu n zostaje dokonane połączenie elektryczne (kanał) pomiędzy źródłem, a drenem. Wartość napięcia przy której zostaje utworzony kanał nazywa się napięciem progowym  $U_T$ .

- Trzeci obrazek został wyjaśniony obrazkowo bo to trochę pojębane jest.

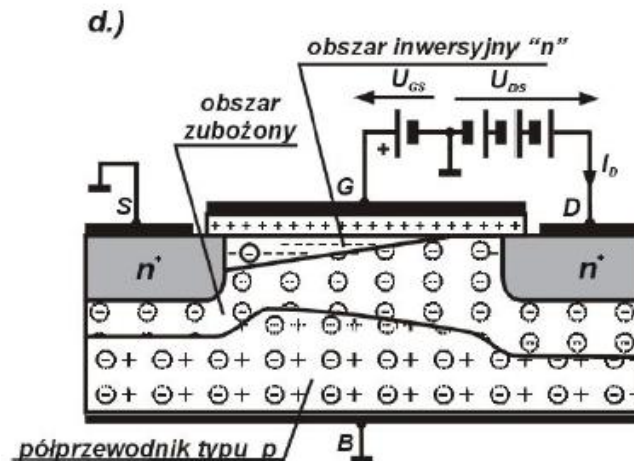
Przewodność tego połączenia elektrycznego (kanału) zależy od koncentracji elektronów w indukowanym kanale, a więc przede wszystkim od napięcia  $U_{GS}$ . Jeżeli teraz zostanie podwyższony potencjał drenu,  $U_{DS} > 0$  (tak jak pokazano na Rys.2c), to popłynie prąd drenu  $I_D$  tym większy im większe będzie napięcie  $U_{DS}$ .

Zależność prądu drenu  $I_D$  od napięcia drenu  $U_{DS}$  nie jest jednak liniowa. Jest to spowodowane tym, że spadek napięcia wzdłuż kanału, wywołany płynącym przez niego prądem, zmienia stan polaryzacji bramki wzdłuż jej długości. Im bliżej drenu tym różnica potencjałów między bramką a kanałem jest mniejsza, a kanał płytszy.

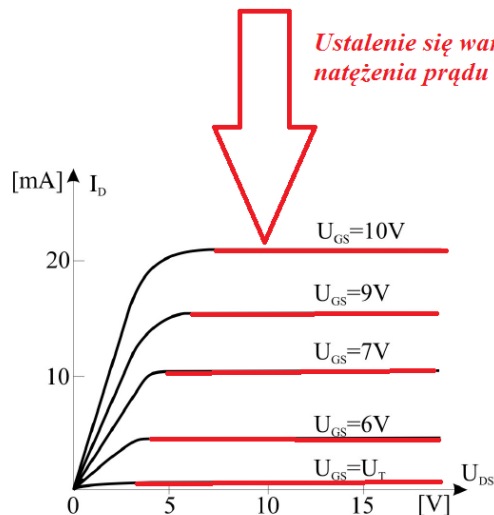


$$I_d = U_{ds}/R_k$$

Zatem im bliżej drenu tym spadek napięcia jest większy bo mamy dłuższą drogę kanału którą musi pokonać ładunek, a wiemy że im dłuższa droga tym rezystancja się zwiększa. Skoro spadek napięcia się zwiększa to samo napięcie  $U_{ds}$  nam maleje. Zatem prąd blisko drenu jest mały co wynika z powyższego wzoru, a potem rośnie (płynie w przeciwnym kierunku) bo napięcie  $U_{gs}$  jest większe.

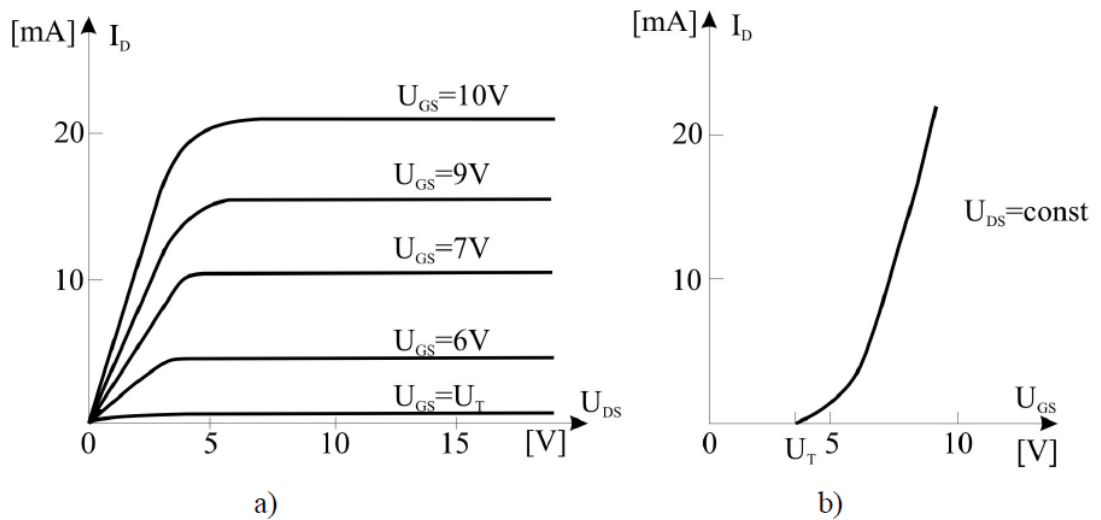


- No i idąc dalej z tą analizą możemy się dowiedzieć, że wraz ze wzrostem wartości napięcia  $U_{DS}$  całkowita rezystancja kanału rośnie (przesuwamy się w lewo S  $\rightarrow$  D) kanał w pobliżu drenu przestaje istnieć (w rzeczywistości ma zajębiście mały przekrój) i prąd drenu ulegnie nasyceniu czyli się ustali co widać na charakterystyce wyjściowej:

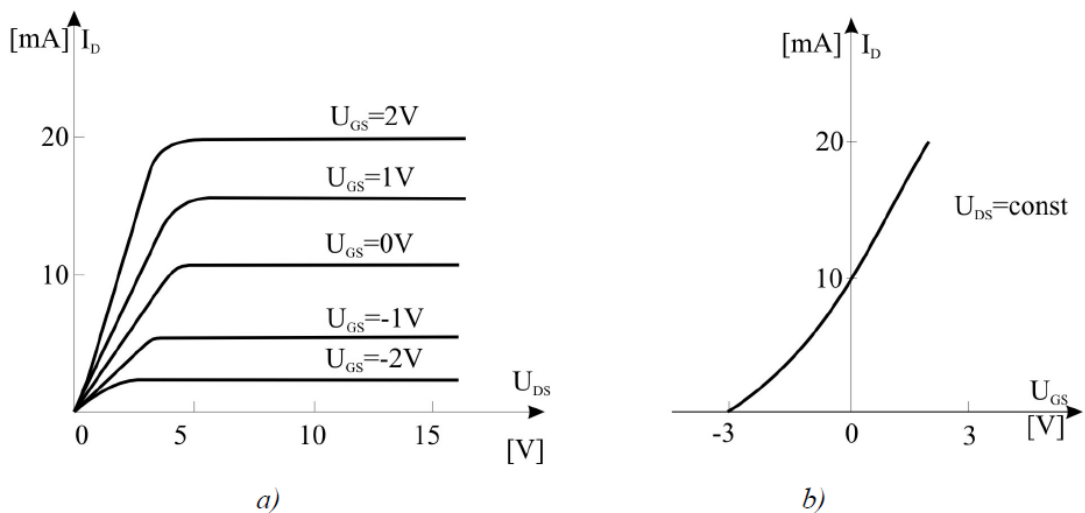


Jak widzimy przy wzroście potencjału na drenie punkt zamknięcia kanału czyli początek stabilizacji prądu na wykresie będzie przesunął się bliżej źródła. Oczywiście możemy powodować wyższe wartości prądu ustalenia zwiększając koncentrację nośników w kanale za pomocą prądu bramki, ale działanie to jest ograniczone ryzykiem spalenia tranzystora.

### 3. Charakterystyki



Rys.3 Charakterystyki: a) wyjściowe i b) przejściowa tranzystora unipolarnego z izolowaną bramką i kanałem wzbożanym typu n.



Rys.4 Charakterystyki: a) wyjściowe i b) przejściowa tranzystora unipolarnego z izolowaną bramką i kanałem zubażanym typu n

Charakterystyki tranzystorów możemy podzielić na dwa obszary:

- ➔ Obszar nasycenia – tranzystor po prostu zachowuje się jak bardzo dobry element transkonduktacyjny to znaczy taki dla którego prąd jest praktycznie stały dla różnych wartości napięć  $U_{DS}$ .
- ➔ Obszar nienasycenia, w którym prąd drenu jest proporcjonalny do  $U_{DS}$ . Wykres prądu rozciąga się od  $U_{DS} = 0V$  do  $U_{DS} = U_{STATYCZNE}$ . Na prawo od  $U_{STATYCZNE}$  charakterystyki prądowe biegną już prawie poziomo. W obszarze liniowym nachylenie charakterystyki jest proporcjonalne do  $(U_{GS} - U_T)$ , a napięcie dren źródło dla którego następuje przejście do obszaru nasycenia jest równe  $U_{DSstat} = (U_{GS} - U_T)$  co w rezultacie daje nam proporcjonalność prądu nasycenia drenu  $I_{D(STAT)}$  do  $(U_{GS} - U_T)^2$  czyli KWADRATOWĄ ZALEŻNOŚĆ PRĄDU DRENU OD NAPIĘCIA STERUJĄCEGO.

Oczywiście dla obu obszarów prąd drenu  $I_D$  jest funkcją napięcia bramka-źródło  $U_{GS}$ , a ściślej rzecz biorąc jest funkcją różnicy  $(U_{GS} - U_T)$ .

(To można kojarzyć ale wątpię żeby takie wzory się pojawiły)

Bardziej ogólne równania prądu drenu tranzystora polowego można przedstawić przy pomocy poniższych wzorów:

- dla obszaru liniowego:  $I_D = \beta \left[ (U_{GS} - U_T) \cdot U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right]$

- dla obszaru nasycenia:

$$I_D = \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_T)^2$$

gdzie:  $\beta$  – współczynnik materiałowo – konstrukcyjnym, decyduje o wzmacnieniu

$U_T$  - napięcie progowe bramka-źródło ( $U_{GS}$ ), przy którym zaczyna powstawać kanał, a w rzeczywistości napięcie katalogowe, przy którym prąd drenu osiąga określoną normatywnie wartość, np. 10μA.

#### 4. Parametry małosygnałowe tranzystora

Tranzystor polowy podobnie jak tranzystor bipolarny można potraktować jako czwórnik nieliniowy, którego właściwości statyczne są opisane rodzinami charakterystyk wejściowych i przejściowych. W przypadku pracy z przebiegami o małej amplitudzie można traktować jako czwórnik liniowy i opisać go różniczkowymi parametrami małosygnałowymi OKREŚLONYMI DLA DANEGO PUNKTU PRACY. Stanowią one elementy małosygnałowego schematu zastępczego tranzystora. W zakresie małych częstotliwości najistotniejszymi parametrami są transkonduktancja brami  $g_m$  i konduktancja wyjściowa kanału  $g_d$ . Są one zdefiniowane wzorami:

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \Big|_{U_{DS} = \text{const}}$$
$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \Big|_{U_{GS} = \text{const}}$$

Te wzory to po prostu pochodne cząstkowe stosunku prądów i napięć w danym punkcie pracy (metrologia semestr pierwszy).