

Ćwiczenie 18

Temat: Własności tranzystora JFET i MOSFET.

Cel ćwiczenia

Poznanie budowy i zasady pracy tranzystora JFET. Pomiar charakterystyk tranzystora JFET. Czytanie schematów elektronicznych. Przestrzeganie zasad BHP.

INSTRUKCJA DO WYKONANIA ZADANIA

Przestrzegaj zasad BHP przy pomiarach elektrycznych. Zachowaj ostrożność w czasie ćwiczenia. Sprawdź stan elementów zastosowanych w ćwiczeniu oraz narzędzi.

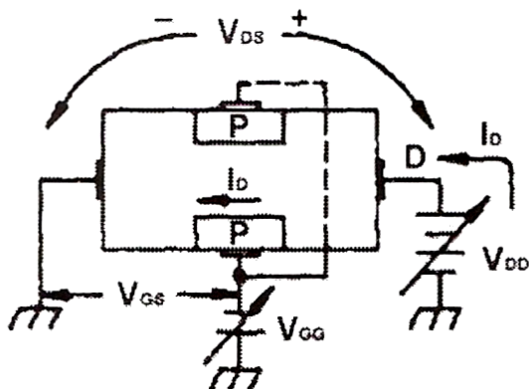
Budowa tranzystora JFET

Wewnętrzną strukturę tranzystora polowego JFET przedstawiono na rys. 8-1-1. Kanał typu n tranzystora JFET jest tworzony w wyniku dyfuzji dwóch obszarów typu p w płytce z materiału typu n. Z drugiej strony, kanał typu p wytwarza się w tranzystorze JFET przez dyfuzję dwóch obszarów typu n w płytce z materiału typu p. Aby przedstawić zasadę działania tranzystora JFET, opisano poniżej, na rys. 8-1-2, metodę polaryzowania kanału typu n tego tranzystora.



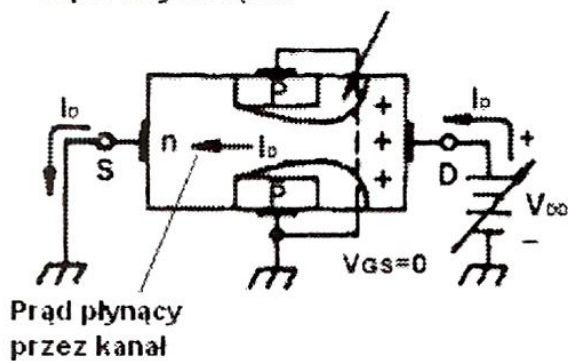
Rys. 8-1-1 Budowa tranzystora polowego JFET

Przyłożenie napięcia zasilania V_{DD} powoduje powstanie napięcia V_{DS} między drenem a źródłem tak, aby uzyskać przepływ prądu I_D w kierunku od drenu do źródła (w kanale typu n elektrony płyną w rzeczywistości od źródła do drenu, jednak według przyjętej konwencji kierunek przepływu prądu jest przeciwny do kierunku poruszania się elektronów). W tej sytuacji, prąd drenu jest tworzony przez przepływ prądu przez kanał otaczający bramki typu p. Napięcie między bramką a źródłem jest określone przez źródło napięcia V_{GG} , jak to przedstawiono na rys. 8-1-2. Ponieważ napięcie między bramką a źródłem jest napięciem przyłożonym do złącza bramka-źródło w kierunku zaporowym, zatem nie będzie wtedy wytwarzany żaden prąd. Obszar zubożony wytwarzany przez to napięcie bramki po bokach kanału zwęża się wraz ze zwiększaniem się szerokości kanału, co powoduje wzrost rezystancji między drenem a źródłem, a w konsekwencji dalsze zmniejszenie prądu drenu.



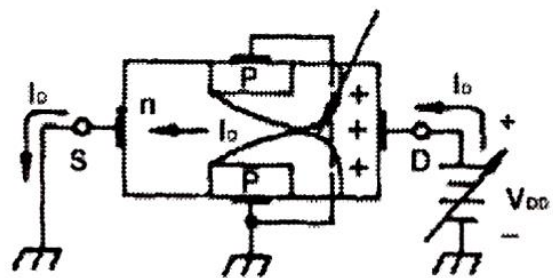
Rys. 8-1-2 Zasada działania tranzystora polowego typu JFET

Obszar zubożony przy spolaryzowaniu zaporowym złącza

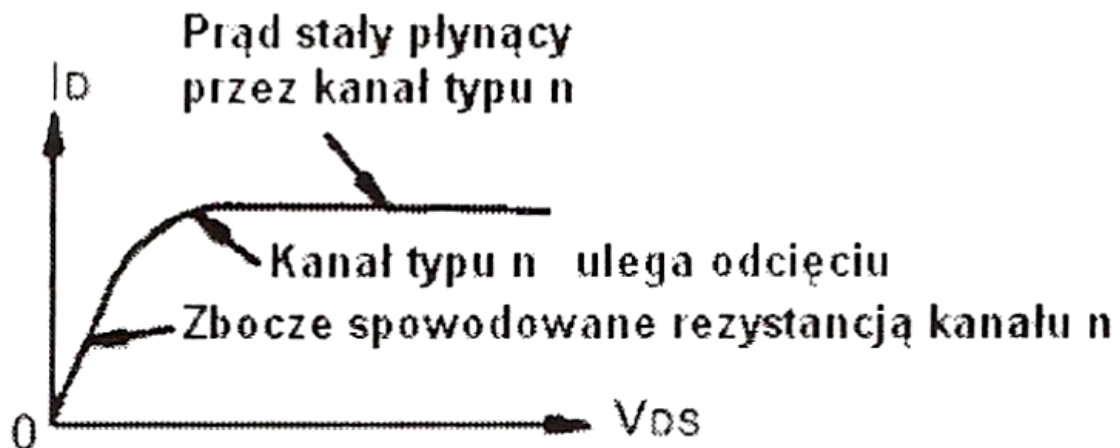


(a)

Gdy do kanału jest wprowadzany obszar zubożony, to kanał ten ulega odcięciu



(b)



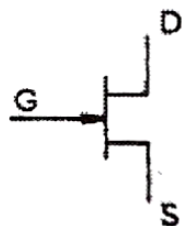
(c)

Rys. 8-1-3 Zjawisko odcięcia powodowane przez kanał

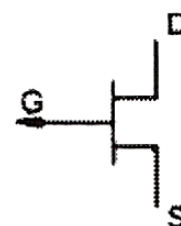
Pracę tranzystora FET przy napięciu $V_{GS} = 0$ V przedstawiono na rys. 8-1-3(a). Gdy potencjał w pobliżu złącza dren-bramka jest wyższy niż potencjał złącza źródło-bramka, to przez kanał typu n, który można wtedy traktować jako rezystor o małej rezystancji, płynie prąd wymuszany przez napięcie V_{GS} , a na rezystorze tym powstaje spadek napięcia wytworzony przez napięcie V_{DD} . Napięcie polaryzacji przyłożone do złącza p-n w kierunku zaporowym powoduje, zatem uformowanie się obszaru zubożonego przedstawionego na rys. 8-1-3(a). Gdy napięcie źródła V_{DD} zwiększa się, to odpowiednio do niego zwiększa się też prąd I_D , co powoduje jeszcze większe powiększenie się obszaru zubożonego i jeszcze większą rezystancję między drenem a źródłem. Jeśli napięcie źródła V_{DD} zwiększa się w sposób ciągły, to obszar zubożony w końcu zajmuje cały kanał, jak to przedstawiono na rys. 8-1-3(b). Od tego momentu dalsze zwiększanie napięcia V_{DD} nie powoduje już wzrostu prądu I_D ($I = V/R$, $V \uparrow$, $R \uparrow$, prąd I utrzymuje się, zatem na stałym poziomie). Na rys. 8-1-3(c) przedstawiono zależność między napięciem V_{DS} a prądem I_{DS} w sytuacji, gdy napięcie $V_{GS} = 0$. Z rysunku tego widać wyraźnie, że prąd I_D będzie wzrastać wraz ze wzrostem napięcia V_{DS} , aż do momentu poczynając, od którego będzie miał on już wartość stałą. Ta stała wartość nazywa się prądem I_{DSS} , indeks DS oznacza prąd płynący w kierunku od drenu do źródła, a ostatnia litera S indeksu oznacza stan tranzystora, a którym złącze dren-bramka jest zwarcie ($V_{GS} = 0$).

Symbole układowe i charakterystyki tranzystora polowego JFET

1. Symbole poszczególnych wyprowadzeń tranzystora JFET przedstawiono 8-1-4. Symbole D, G i S oznaczają kolejno jego: dren, bramkę i źródło.



Kanał typu N



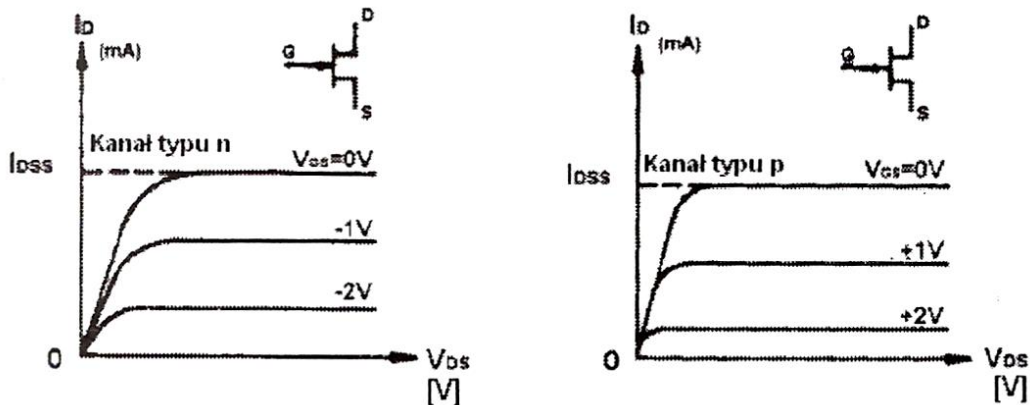
Kanał typu P

Rys. 8-1-4 Symbole układowe tranzystorów JFET

2. Charakterystyka dren-źródło

Na rys. 8-1-5 Przedstawiono charakterystykę dren-źródło tranzystorów JFET z kanałem typu p i typu n. Jeśli napięcie V_{GS} będzie zwiększać się (jest ono bardziej ujemne niż potencjał kanału n), to w kanale tym wytworzy się natychmiast obszar zubożony, co powoduje z kolei, że prąd potrzebny do odcięcia kanału zostanie zmniejszony. Na rys. 8-1-5(a) przedstawiono krzywą odpowiadającą napięciu $V_{GS} = -1\text{ V}$. Na jej podstawie można wysnuć wniosek, że napięcie bramki działa jak sterownik, który (przy danym napięciu V_{DS}) może zmniejszać prąd drenu. Gdy napięcie V_{DS} jest bardziej dodatnie niż potencjał kanału p tranzystora JFET, to prąd drenu będzie zmniejszał się poczynając od I_{DSS} jak to przedstawiono na rys. 8-1-5(b).

Jeśli napięcie V_{GS} zwiększa się w sposób ciągły, to odpowiednio zmniejsza się prąd drenu. Gdy napięcie V_{GS} osiągnie pewną wartość, to prąd drenu będzie zmniejszany do zera i będzie niezależny od wartości napięcia V_{DS} . Napięcie źródło-bramka jest w tym momencie nazywane napięciem odcięcia, które zwykle oznacza się symbolem V_p lub V_{GS} (odcięcie). Z rysunku 8-1-5 można wywnioskować, że dla tranzystora FET z kanałem typu n napięcie V_p jest ujemne, a dla tranzystora FET z kanałem typu p napięcie to jest dodatnie.



Rys. 8-1-5 Charakterystyka złącza dren-źródło tranzystora polowego JFET

3. Charakterystyka przejściowa

Następną charakterystyką tranzystora JFET jest charakterystyką przejściową. Jest to krzywa zmian prądu drenu I_D w zależności od napięcia bramka-źródło V_{GS} , podczas, gdy napięcie źródło-dren V_{DS} jest stałe. Na tej krzywej przejściowej do najważniejszych należą dwa punkty I_{DSS} i V_p . Gdy położenie tych punktów ustali się, nanosząc je na osie współrzędnych, to pozostałe punkty można otrzymać z tej charakterystyki przejściowej lub obliczając je z poniższego wzoru:

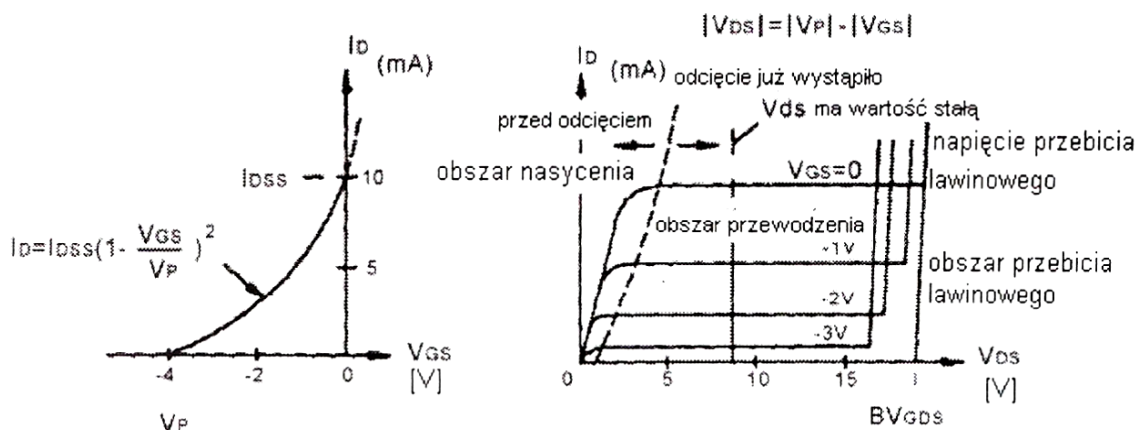
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 \quad (8-1-1)$$

Z zależności (8-1-1) można obliczyć:

gdy $V_{GS} = 0$, to $I_D = I_{DSS}$,

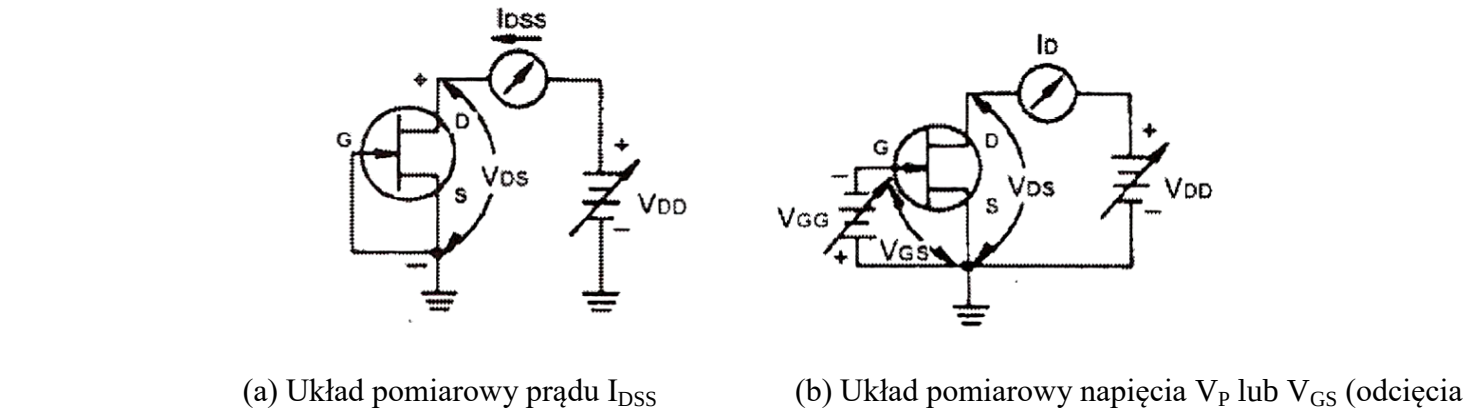
gdy $I_D = 0$, to $V_{GS} = V_p$

Tranzystor JFET polaryzuje się zwykle wybierając punkt pracy pośrodku między punktami V_p i I_{DSS} krzywej przejściowej.



Rys. 8-1-6 Charakterystyka dren-źródło oraz charakterystyka przejściowa tranzystora JFET

Dla danego prądu I_D i napięcia V_P w układzie pomiarowym przedstawionym:
 na rys. 8-1-7(a) napięcie $V_{GS} = 0$;
 na rys. 8-1-7(b) napięcie V_{GS} ma dużą wartość ujemną.



NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

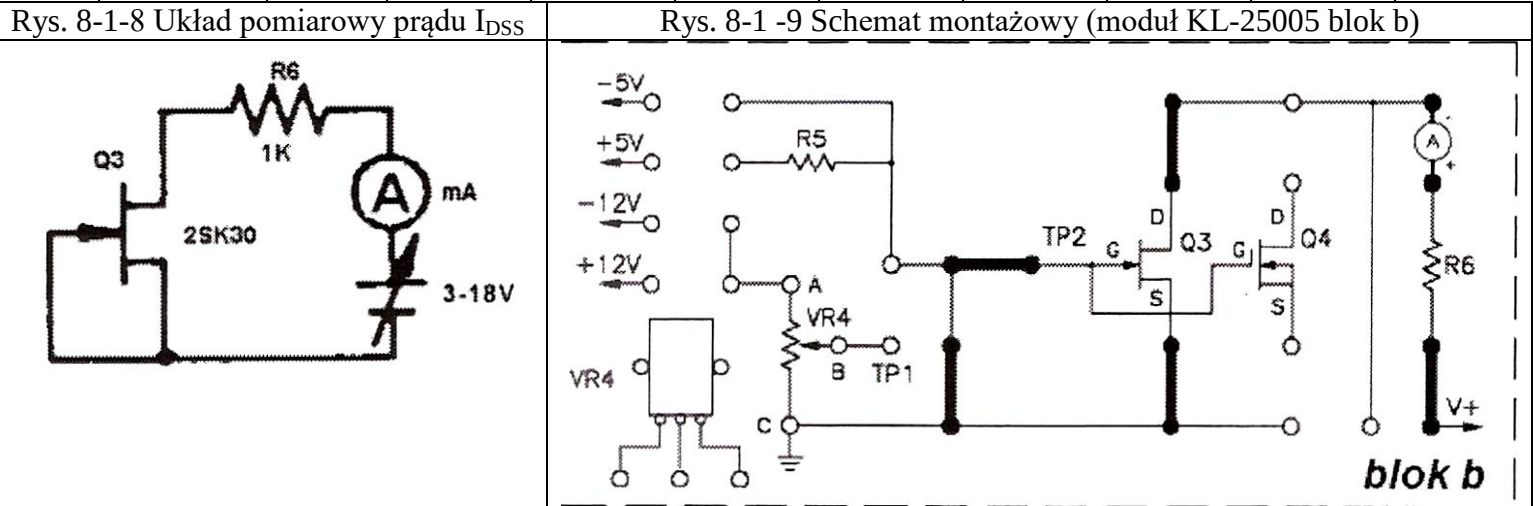
1. KL-22001 — podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25005 — moduł układu z tranzystorem FET
3. Multimetr

PROCEDURA

A. Pomiar prądu drenu I_{DSS} .

1. Ustawić moduł KL-25005 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b.
2. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-1-8 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-1-9. Połączyć punkt V+ regulowanego zasilania znajdujący się w module KL-22001 z punktem V+ modułu KL-25005 i ustawić pokrętkę regulacji napięcia na min.
3. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_{DSS} .
4. Regulując napięcie V+ (V_{DD}) od wartości 3 do 18 V, odczytywać na amperomierzu kolejne wartości prądu I_{DSS} i zapisywać je w tablicy 8-1-1.

Tablica 8-1-1								
V_{DD} (V)	3	4	5	7	9	12	15	18
I_{DSS} (mA)								



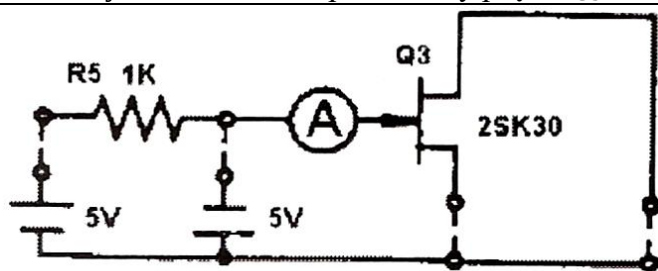
B. Pomiar prądu bramki I_{GS}

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-1-10 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-1-11 (z wyjątkiem wtyków mostkujących oznaczonych symbolami # i \$). Do modułu KL-25005 do prowadzić napięcia stałe +5 V i -5 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdującego się w module KL-22001.
 2. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_{GS} .
 3. Do punktu V_G dołączyć napięcie stałe +5 V umieszczając w układzie wtyk mostkujący oznaczony symbolem \$.
- Zmierzyć wartość napięcia V_{GS} i zapisać w tablicy 8- 1-2. Usunąć z układu wtyk mostkujący oznaczony symbolem \$.

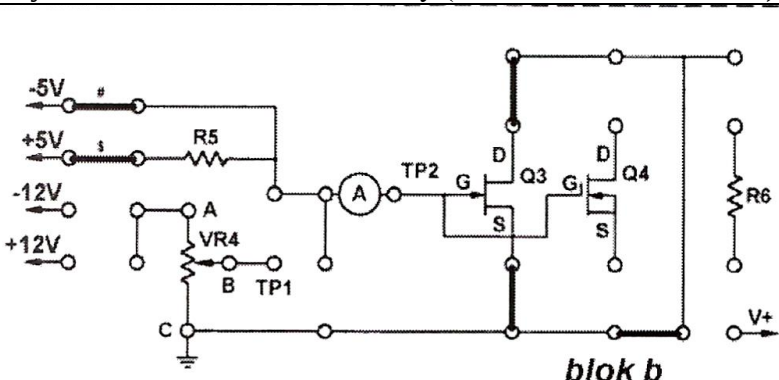
4. Do punktu V_G dołączyć napięcie stałe -5 V umieszczając w układzie wtyk mostkujący oznaczony symbolem #. Zmierzyć wartość napięcia V_{GS} i zapisać w tablicy 8-1-2.

Tablica 8-1-2	
V_{GS}	I_{GS}
$+5\text{V}$	
-5V	

Rys. 8-1-10 Układ pomiarowy prądu I_{GS}



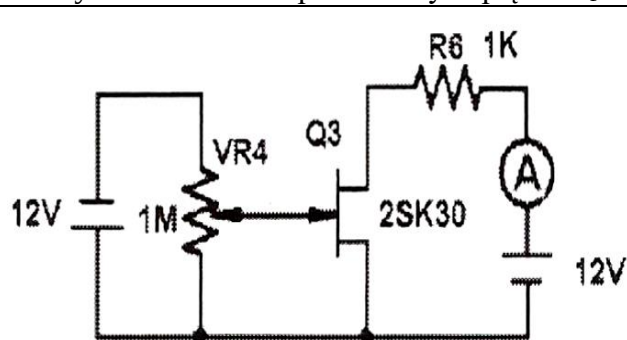
Rys. 8-1-11 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)



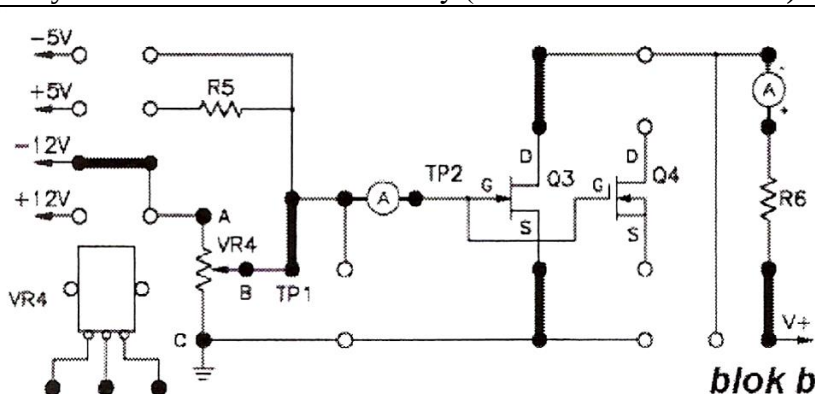
B. Pomiar napięcia odcięcia V_P

- Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-1-12 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-1-13. Dołączyć do układu potencjometr VR4 za pomocą przewodów połączeniowych. Do modułu KL-25005 doprowadzić napięcia stałe $+12\text{ V}$ i -12 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe i napięciu regulowanym znajdującego się w module KL-22001. Ustawić napięcie V_+ na 12V .
- Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_D
- Potencjometr VR4 ($1\text{ M}\Omega$) ustawić tak, aby prąd $I_D = 0$.
- Gdy prąd $I_D = 0$, zmierzyć woltomierzem napięcie $V_{GS} = V_P =$ _____

Rys. 8-1-12 Układ pomiarowy napięcia V_P .



Rys. 8-1-13 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)



PODSUMOWANIE

Jeśli napięcie $V_G = 0$ to prąd I_D rośnie, aż osiągnie stałą wartość oznaczaną I_{DSS} .

W tranzystorze JFET z kanałem typu n prąd bramki płynie, gdy napięcie V jest dodatnie a, gdy V jest ujemne, to prąd $I_{GS} = 0$. Napięcie odcięcia tranzystora JFET V_P jest równe wartości V_{GS} , gdy $I_D = 0$.

Własności tranzystora MOSFET.

Cel ćwiczenia

Poznanie budowy zasady pracy tranzystora MOSFET. Pomiar charakterystyk tranzystora MOSFET. Czytanie schematów elektronicznych, przestrzeganie zasad bhp podczas montażu elementów.

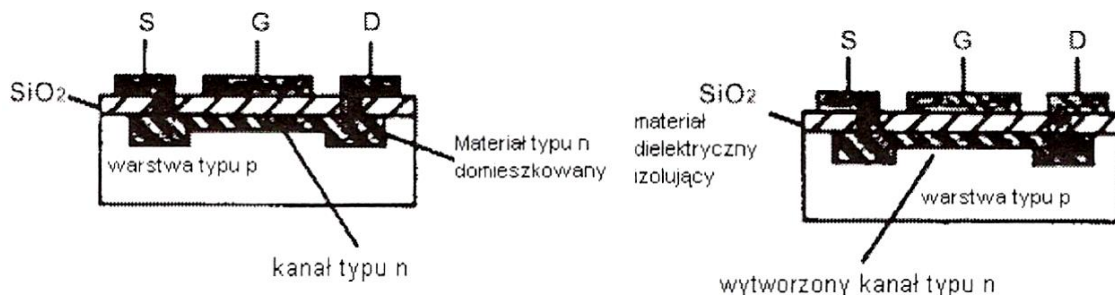
INSTRUKCJA DO WYKONANIA ZADANIA

Przestrzegaj zasad BHP przy pomiarach elektrycznych. Zachowaj ostrożność w czasie ćwiczenia. Sprawdź stan elementów zastosowanych w ćwiczeniu oraz narzędzi.

Budowa, własności i symbole układowe tranzystorów typu MOS FET

Tranzystory typu MOSFET dzieli się na: typu MOSFET z kanałem zubożonym i typu MOSFET z kanałem wzbogaconym. Budowę tych tranzystorów przedstawiono na rysunku 8-2-1(a) i odpowiednio 8-2-1(b). Ponieważ w tranzystorze MOSFET z warstwą zubożoną kanał już występuje, to prąd I_{DS} będzie wytwarzany wtedy, gdy zostanie

przyłożone napięcie V_{DS} . Ponieważ w tranzystorze MOSFET z kanałem wzbogaconym, obszar wewnętrzny nie występuje, zatem do bramki tranzystora należy przyłożyć napięcie takie, aby formując kanał wytworzyć w nim jony dodatnie (w przypadku kanału typu p) lub ujemne (w przypadku kanału typu n). Następnie, aby spowodować przepływ prądu I_{DS} , należy przyłożyć napięcie V_{DS} .

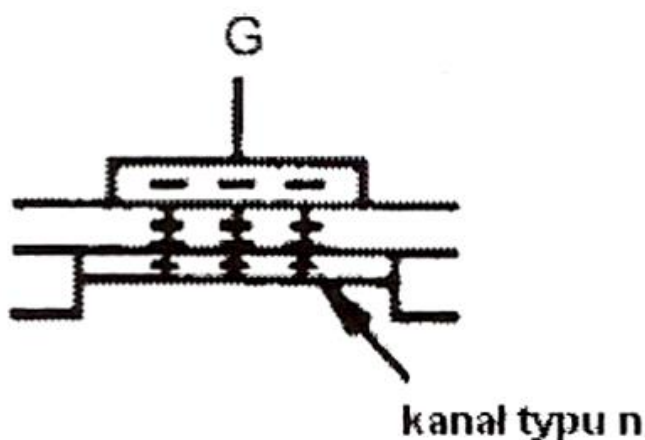


(a) tranzystor MOSFET z kanałem zubożonym (b) tranzystor MOSFET z kanałem wzbogaconym

Rys. 8-2-1 Budowa tranzystora typu MOSFET

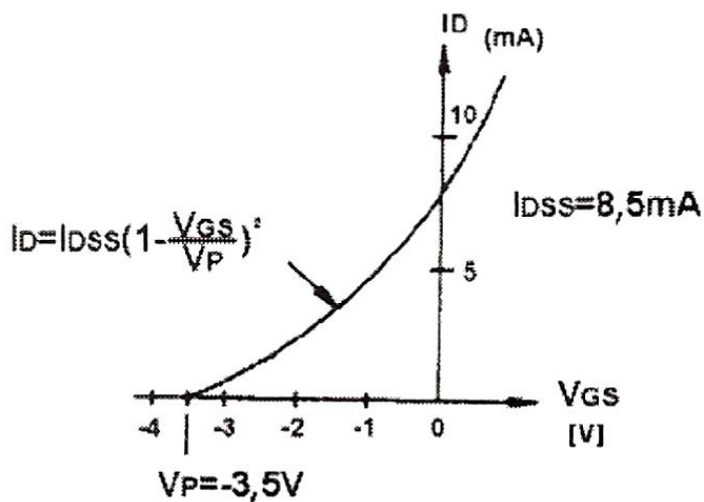
Własności tranzystora typu MOSFET z kanałem zubożonym.

Zasadę formowania się warstwy zubożonej w tranzystorze typu MOSFET z kanałem zubożonym przedstawiono na rys. 8-2-2

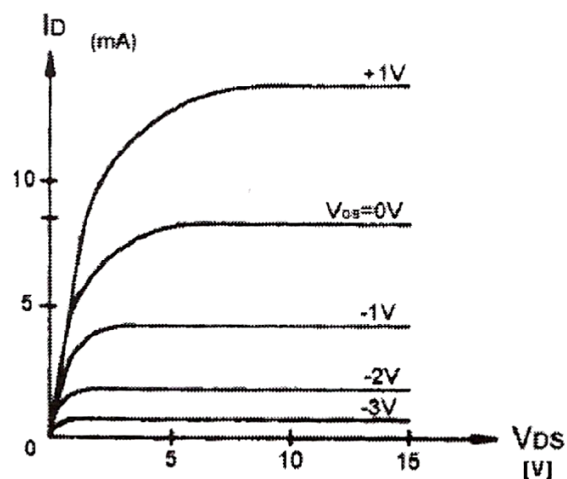


Rys. 8-2-2 Obszar zubożony w tranzystorze MOSFET z kanałem zubożonym typu n Aby powiększyć obszar warstwy zubożonej, przy ujemnym napięciu doprowadzonym do bramki G tranzystora ujemne ładunki znajdując się w kanale typu n będą łączyć się z indukowanymi w nim ładunkami dodatnimi. Z drugiej strony, jeśli przyłożą się napięcie $+V$ to będzie indukowało się więcej ładunków zwiększając przewodność kanału, co w efekcie spowoduje wzrost prądu.

charakterystyka przejściowa



(a) Charakterystyka przejściowa



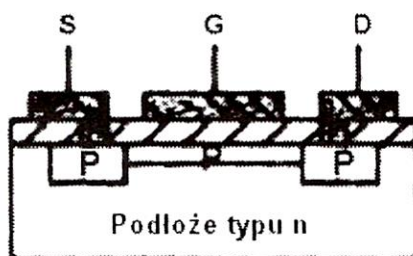
(b) Charakterystyka drenu

Rys. 8-2-3 Charakterystyki tranzystora MOSFET z kanałem zubożonym typu n

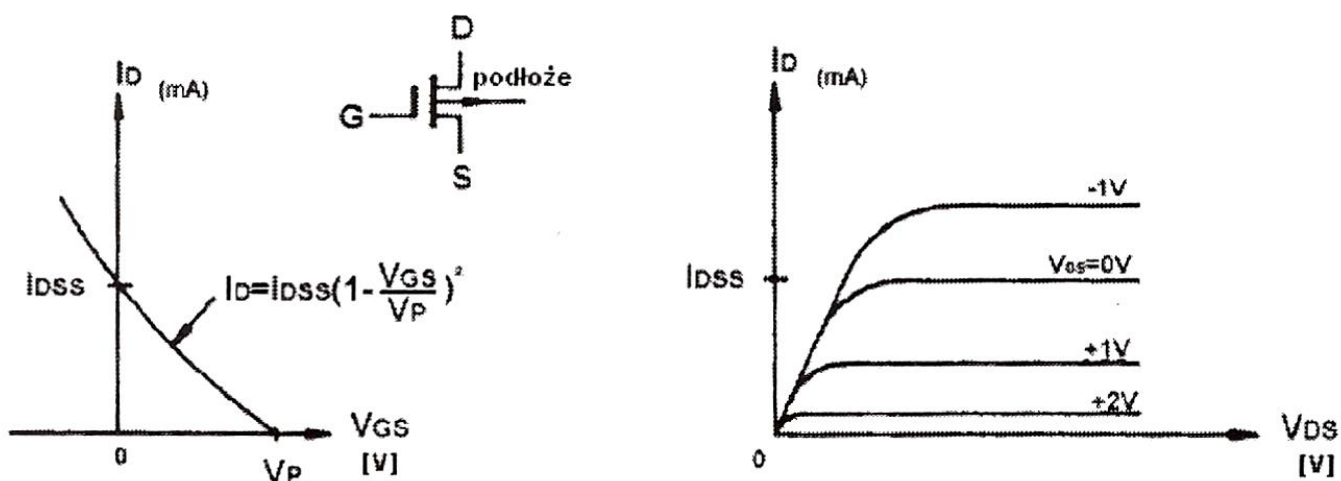
Na podstawie charakterystyki tranzystora MOSFET z kanałem zubożonym typu n przedstawionego na rys. 8-2-3 możemy ocenić, kiedy tranzystor ten może pracować przy napięciu U_{DS} dodatnim, a kiedy ujemnym. Ujemne napięcie U_{GS} powoduje zmniejszenie prądu drenu, aż do momentu, gdy zostanie wytworzony prąd odcięcia i nie będzie płynął prąd I_D . Bramka jest odizolowana od kanału i prąd I_{GS} nie jest wytwarzany, niezależnie od tego czy napięcie V_{GS} jest dodatnie czy ujemne.

Symbol układowy tranzystora typu MOSFET z kanałem zubożonym.

Na rys. 8-2-3(a) przedstawiono symbol układowy tranzystora typu MOSFET z kanałem zubożonym.. Oprócz typowych wyprowadzeń G, D i S, symbol ten zawiera jeszcze jedno wyprowadzenie tj. podłoże, na podstawie oznaczenia, którego, można zidentyfikować ten element. Symbol podłoża jest oznaczany strzałką, której kierunek oznacza w tym przypadku, że kanał jest typu p. Na rysunku 8-2-4 przedstawiono symbol układowy, budowę i charakterystykę tranzystora MOSFET z kanałem zubożonym typu p.



(a) Budowa



Rys. 8-2-4 Budowa, symbol układowy i charakterystyki tranzystora MOSFET z kanałem zubożonym typu p

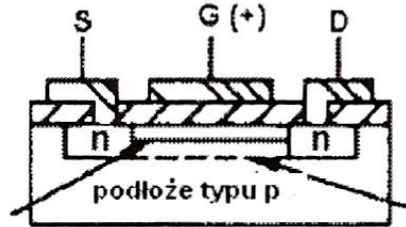
Własności tranzystora typu MOSFET z kanałem wzbogaconym

Na rys. 8-2-5 przedstawiono schemat struktury tranzystora MOSFET z kanałem wzbogaconym typu n, w którego strukturze podstawowej nie ma wewnętrznego kanału między drenem D a źródłem S. Jeśli między wyprowadzenia D i S tego tranzystora przyłożą się napięcie $+V_{GS}$ to zaindukowane ładunki ujemne uformują kanał. Charakterystykę

tego kanału przedstawiono na rys. 8-2-5(c). Z rysunku tego można wywnioskować, że gdy na pięcie V_{GS} nie przekroczy wartości, V_T (napięcie progowe), to nie będzie płynął żaden prąd. Jeśli natomiast napięcie V_{GS} przekroczy wartość progową, to prąd I_D zacznie narastać. Korzystając ze wzoru 8-2-1 można wykreślić charakterystykę przejściową.

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad (8-2-1)$$

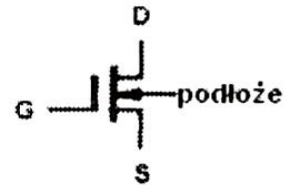
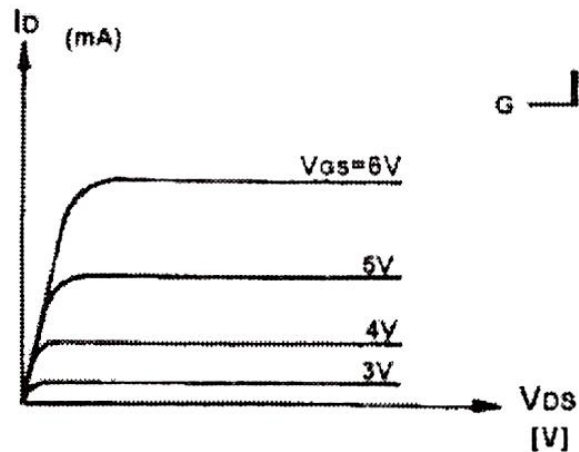
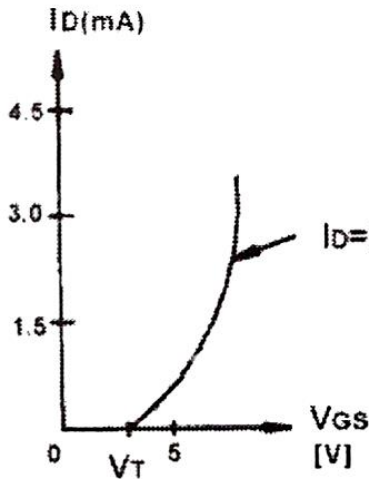
We wzorze tym K jest typowo równe $0,3 \text{ mA/V}^2$, przy czym nie występuje w nim prąd gdyż prąd ten nie płynie wtedy, gdy $V_{GS} = 0$. Chociaż tranzystor MOSFET z kanałem wzbogaconym w porównaniu z tranzystorem MOSFET z kanałem zubożonym ma więcej ograniczeń w zakresie przewodzenia, to jednak ze względu na uproszczoną strukturę i mniejsze wymiary tranzystor tego typu jest szeroko stosowany do budowy układów scalonych.



Gdy napięcie dodatnie przyłożone do bramki przekroczy V_t , to uformuje się kanał typu n

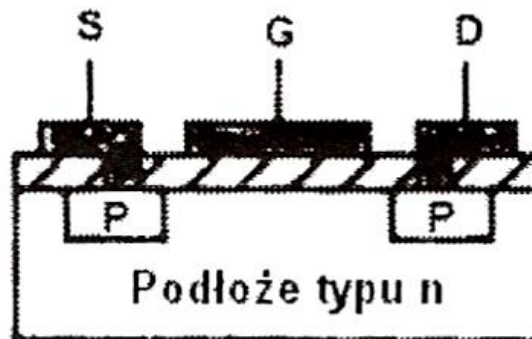
warstwa zubożona

(a) Budowa

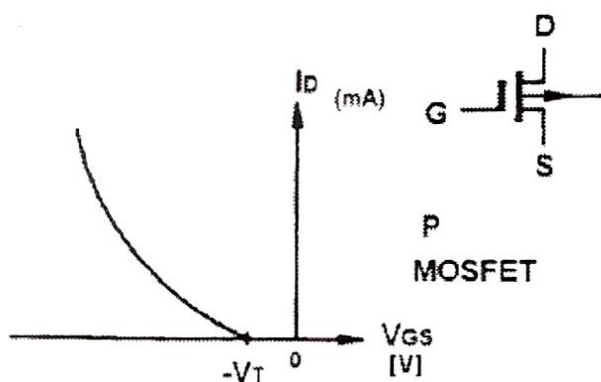


(b) Charakterystyki

Rys. 8-2-5 Budowa, symbol układowy charakterystyki tranzystora MOSFET z kanałem wzbogaconym typu n
Budowę, symbol układowy i charakterystyki tranzystora MOSFET z kanałem wzbogaconym typu p przedstawiono na rys. 8-2-6.

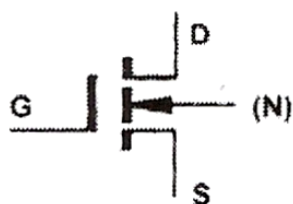


(a) Budowa

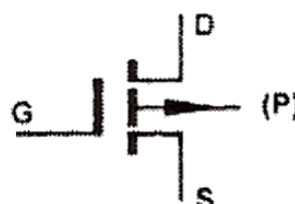


(b) Charakterystyki

Rys. 8-2-6 Budowa, symbol układowy i charakterystyki tranzystora MOSFET z kanałem wzbożonym typu p
Symbole układowe tranzystorów MOSFET z kanałem wzbożonym
Linia przerywana poprowadzona między D i S wskazuje, że pierwotnie kanał między D i S nie istnieje.
Kanał typu p



(a) „Kanał t n



(b) Kanał typu p

Rys. 8-2-7 Symbole układowe tranzystorów z kanałem wzbożonym

NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 — podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-25005 — moduł układu z tranzystorem FET
3. Multimetr

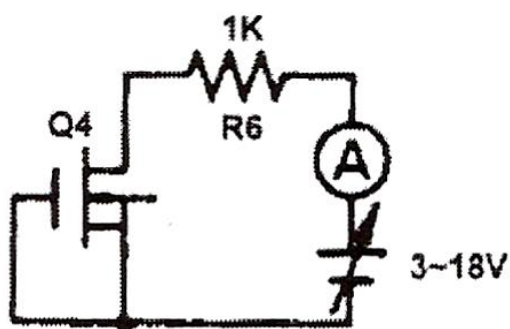
PROCEDURA

A. Pomiar prądu drenu I_{DS}

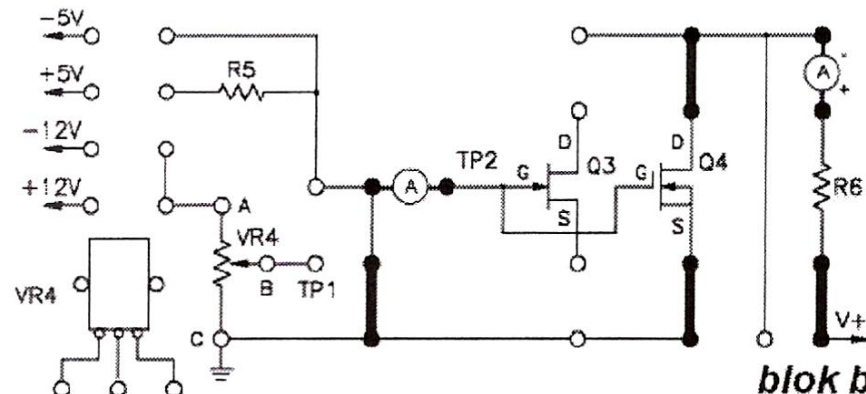
1. Ustawić moduł KL-25005 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b.
2. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-2-8 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-2-9. Doprowadzić do modułu KL-22005 napięcie V_+ regulowanego zasilania z modułu KL-22001 i ustawić pokrętkę regulacji napięcia na min.
3. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_{DSS} .
4. Regulując napięcie V_+ (V_{DD}) od wartości 3 do 18 V, odczytywać na amperomierzu kolejne wartości prądu I_{DSS} i zapisywać je w tablicy 8-2-1.

Tablica 8-2-1								
V_{DD} (V)	3	4	5	7	9	12	15	18
I_{DSS} (mA)								

Rys. 8-2-8 Układ pomiarowy prądu I_{DSS} .

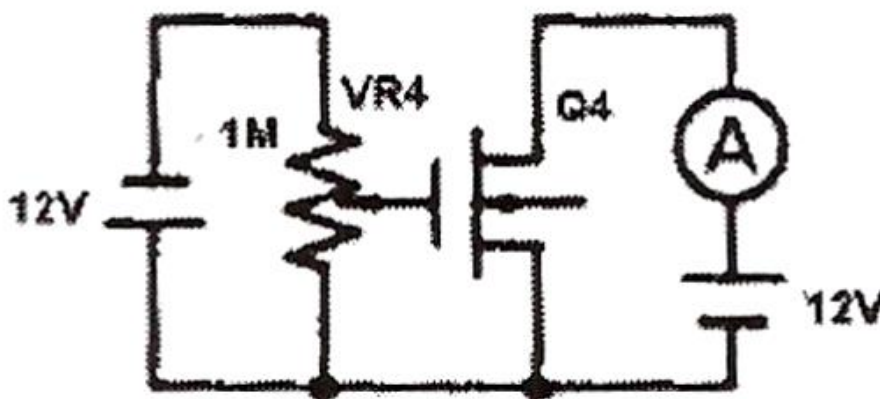


Rys. 8-2-9 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)

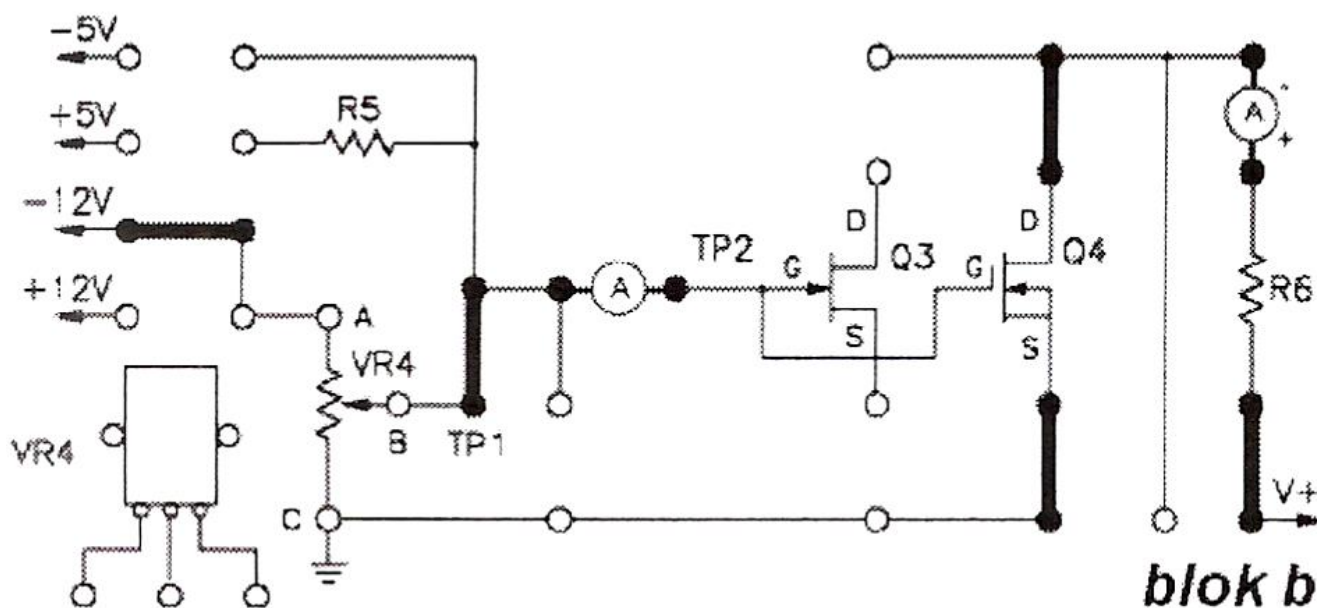


B. Pomiar napięcia odcięcia V_P .

- 1 Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-2-10 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-2-1 1. Dołączyć do układu potencjometr VR4 za pomocą przewodów połączeniowych.
 2. Do modułu KL-25005 doprowadzić napięcie stałe -12 V i napięcie V_+ z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe i napięciu regulowanym znajdującego się w module KL-22001 Ustawić napięcie V_+ na 12V.
 3. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_D .
 4. Potencjometr VR4 ($1\text{ M}\Omega$) ustawić tak, aby prąd $I_D = 0$.
 5. Gdy prąd $I_D = 0$, zmierzyć woltomierzem napięcie $V_{GS} = V_P = \underline{\hspace{2cm}}$ V.
 6. Ustawić potencjometr VR4 tak, aby napięcie $V_{GS} = 0\text{ V}$.
- Zmierzyć prąd $I_D = \underline{\hspace{2cm}}$ mA.



Rys. 8-2-10 Układ pomiarowy napięcia odcięcia V_P .



Rys. 8-2-11 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)

PODSUMOWANIE

Zmierzono wartości prądu I_{DSS} i napięcia V_P tranzystora MOSFET z kanałem zubożonym typu n. Jeśli napięcie $V_{GS} = 0$, to prąd I_D rośnie wraz V_{DS} aż do momentu, gdy ustali się na wartości nazywanej I_{DSS} . Gdy napięcie ujemne V_{GS} maleje, to maleje też prąd drenu I_D . Gdy $I_D = 0$, to wartość napięcia V_{GS} jest napięciem odcięcia V_P . Tranzystory MOSFET są stosowane szeroko w układach scalonych wysokiej skali integracji. Ponieważ w związku z wysoką impedancją wejściową tych tranzystorów indukuje się w nich łatwo ładunek elektryczny, nie należy, zatem dotykać ich wyprowadzeń i składować w specjalnej folii nieelektryzującej się, aby uchronić je w ten sposób przed uszkodzeniem.

Zespół Szkół Mechanicznych w Namysłowie Pomiary elektryczne i elektroniczne	Imię i nazwisko			
Temat ćwiczenia: Własności tranzystora JFET MOSFET.	Nr ćw 18	Klasa 2TZ	Grupa	Zespół
	Data wykonania	OCENY		
		Samoocena	Wykonanie	Ogólna

CEL ĆWICZENIA;

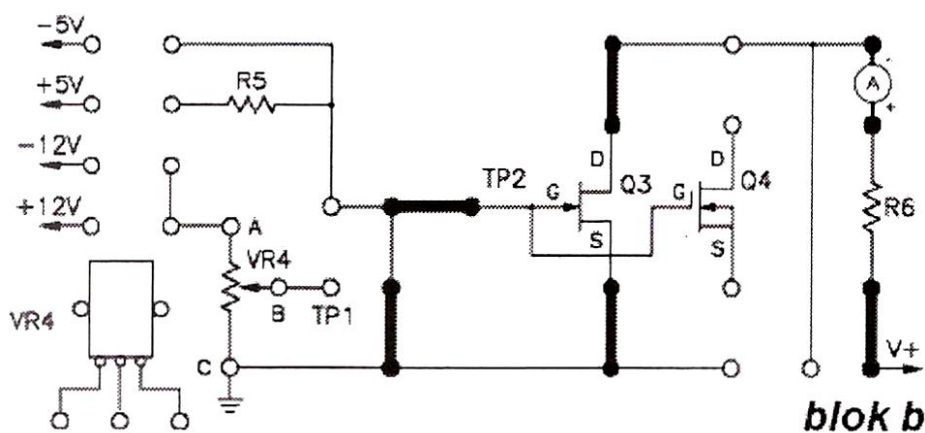
Własności tranzystora JFET A. Pomiar prądu drenu I_{DSS} .

1. Ustawić moduł KL-25005 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b.
2. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-1-8 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-1-9. Połączyć punkt V+ regulowanego zasilania znajdujący się w module KL-22001 z punktem V+ modułu KL-25005 i ustawić pokrętkę regulacji napięcia na min.
3. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_{DSS} .
4. Regulując napięcie V+ (V_{DD}) od wartości 3 do 18 V, odczytywać na amperomierzu kolejne wartości prądu I_{DSS} i zapisywać je w tablicy 8-1-1.

Tablica 8-1-1								
V_{DD} (V)	3	4	5	7	9	12	15	18
I_{DSS} (mA)								

Narysować schemat potrzebny do wykonania zadania

Rys. 8-1 -9 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)



B. Pomiar prądu bramki I_{GS}

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-1-10 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-1-11 (z wyjątkiem wtyków mostkujących oznaczonych symbolami # i \$). Do modułu KL-25005 doprzewodnić napięcia stałe +5 V i -5 V z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe znajdujące się w module KL-22001.
2. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_{GS} .
3. Do punktu V_G dołączyć napięcie stałe +5 V umieszczając w układzie wtyk mostkujący oznaczony symbolem \$. Zmierzyć wartość napięcia V_{GS} i zapisać w tablicy 8- 1-2. Usunąć z układu wtyk mostkujący oznaczony symbolem \$.
4. Do punktu V_G dołączyć napięcie stałe -5 V umieszczając w układzie wtyk mostkujący oznaczony symbolem #. Zmierzyć wartość napięcia V_{GS} i zapisać w tablicy 8-1-2.

Tablica 8-1-2	
V_{GS}	I_{GS}
+5V	
-5V	

Narysować schemat potrzebny do wykonania zadania	Rys. 8-2-9 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)

B. Pomiar napięcia odcięcia V_P .

1. Wykonać połączenia posługując się układem pomiarowym przedstawionym na rys. 8-2-10 i schematem montażowym przedstawionym na rysunku 8-2-1 1. Dołączyć do układu potencjometr VR4 za pomocą przewodów połączeniowych.
2. Do modułu KL-25005 doprowadzić napięcie stałe -12 V i napięcie V^+ z zasilacza o napięciu ustawionym na stałe i napięciu regulowanym znajdującego się w module KL-22001 Ustawić napięcie V^+ na 12V.
3. Dołączyć amperomierz mierzący prąd I_D .
4. Potencjometr VR4 (1 M Ω) ustawić tak, aby prąd $I_D = 0$.
5. Gdy prąd $I_D = 0$, zmierzyć woltomierzem napięcie $V_{GS} = V_P = \rule{1.5cm}{0.4pt}$ V.
6. Ustawić potencjometr VR4 tak, aby napięcie $V_{GS} = 0$ V.
Zmierzyć prąd $I_D = \rule{1.5cm}{0.4pt}$ mA.

Narysować schemat potrzebny do wykonania zadania	Rys. 8-2-11 Schemat montażowy (moduł KL-25005 blok b)
	The diagram illustrates a circuit for module KL-25005, block b. It features a power supply section with four rails: -5V, +5V, -12V, and +12V. A resistor R5 is connected between the +5V rail and a common ground. A variable resistor VR4 is connected between the -12V rail and a common ground. A transistor Q3 is connected between the +12V rail and a common ground. A transistor Q4 is connected between the +12V rail and a common ground. A load resistor R6 is connected between the +12V rail and a common ground. A voltmeter V+ is connected across R6. A current meter A is connected in series with the load. The circuit is labeled 'blok b'.

WNIOSKI I SPOSTRZEŻENIA

Wykaz materiałów