

# Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego nr 10

## **Temat: Charakterystyki i parametry tranzystorów MIS**

**Cel ćwiczenia.** *Celem ćwiczenia jest poznanie charakterystyk statycznych i parametrów tranzystorów MOS oraz tetrody MOS.*

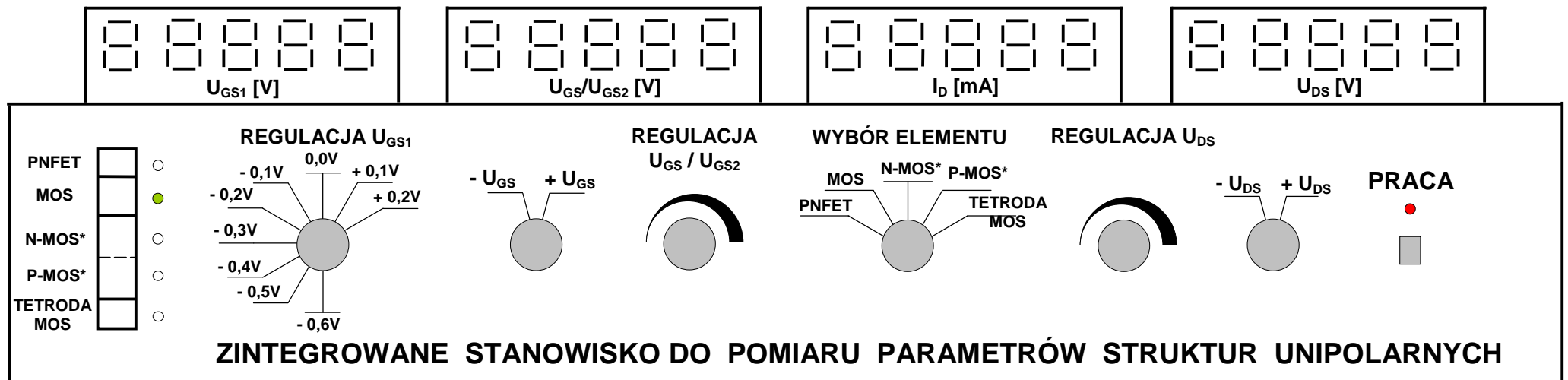
### **I. Wymagane wiadomości.**

1. Podział tranzystorów unipolarnych (kryteria podziału).
2. Istota i zalety sterowania napięciowego w tranzystorach unipolarnych.
3. Budowa, polaryzacja i zasada działania tranzystorów polowych MIS.
4. Praca statyczna tranzystorów MIS: charakterystyki przejściowe, charakterystyki wyjściowe, parametry statyczne - definicje fizyczne i techniczne (np.  $U_T$ ).
5. Parametry małosygnałowe ( $g_m$ ,  $g_{ds}$ ) - definicje oraz sposoby ich wyznaczania.
6. Budowa, polaryzacja, właściwości elektryczne pary komplementarnej CMOS.
7. Budowa, polaryzacja i zasada działania, charakterystyki i parametry tetrody MOS.
8. Środki bezpieczeństwa stosowane podczas pracy ze strukturami MIS.

### **II. Wykonanie ćwiczenia.**

#### **1. Opis stanowiska pomiarowego.**

Zintegrowane stanowisko pomiarowe przeznaczone jest do pomiarów charakterystyk statycznych tranzystorów unipolarnych typu PNFET i MOS, struktury MOS w układzie scalonym oraz tetrody MOS. Układy zasilania umożliwiające polaryzację obwodu wejściowego i wyjściowego oraz przyrządy pomiarowe służące do pomiarów wartości napięć polaryzacji i prądu stanowią integralną część stanowiska pomiarowego. Pomiary polegają na wyborze badanego elementu, ustawieniu odpowiednich polaryzacji obwodów wejściowego i wyjściowego, regulacji wartości napięć przy pomocy potencjometrów cyfrowych i odczytywaniu wskazań mierników napięć i prądu. Widok płyty czołowej stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Płyta czołowa stanowiska do pomiarów charakterystyk struktur unipolarnych.

Poniżej mierników znajdują się pokrętła i przełączniki, które opisano zgodnie z przeznaczeniem. Elementy mierzone umieszczone są na płycie czołowej w podstawkach montażowych. Wybranie badanego tranzystora jest sygnalizowane świeceniem diody koloru zielonego. Na tylnej płycie obudowy stanowiska pomiarowego znajduje się przełącznik zasilania 230 V i bezpiecznik.

## 2. Pomiary charakterystyk statycznych badanych elementów.

### 2.1. Czynności wstępne.

Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów należy:

1. Sprawdzić przy wyłączonym zasilaniu czy przełącznik **PRACA** jest wyłączony.
2. Włączyć stanowisko do sieci.
3. Pokrętłami regulacja  $U_{GS}$  i  $U_{DS}$  sprowadzić napięcia  $U_{GS}$  i  $U_{DS}$  do zera.
4. Dokonać wyboru badanego elementu poprzez odpowiednie ustawienie przełącznika.
5. Włączyć przełącznikami  $- U_{GS}$ ,  $+ U_{GS}$  i  $- U_{DS}$ ,  $+ U_{DS}$  odpowiednią polaryzację napięć dla badanego elementu:
  - Tranzystor MOS SMY-50 kanał typu „p”:  $- U_{GS}$ ,  $- U_{DS}$
  - Tranzystor NMOS z układu 4007 z kanałem typu „n”:  $+ U_{GS}$ ,  $+ U_{DS}$
  - Tranzystor PMOS z układu 4007 z kanałem typu „p”:  $- U_{GS}$ ,  $- U_{DS}$
  - Tetroda MOS BF-992 z kanałem typu „n”:  $U_{GS1} = 0$ ,  $+ U_{GS2}$ ,  $+ U_{DS}$

Wyboru polaryzacji  $U_{GS2}$  dokonuje się pokrętłem służącym do wyboru polaryzacji  $U_{GS}$ .

Wybór poprawnej polaryzacji obwodu wejściowego i wyjściowego sygnalizowany jest świeceniem **zielonej diody LED** umieszczonej obok badanego elementu. W przypadku włączenia nieodpowiedniej polaryzacji napięć  $U_{GS}$  i  $U_{DS}$  dla badanego tranzystora nie zostanie on włączony do układu pomiarowego.

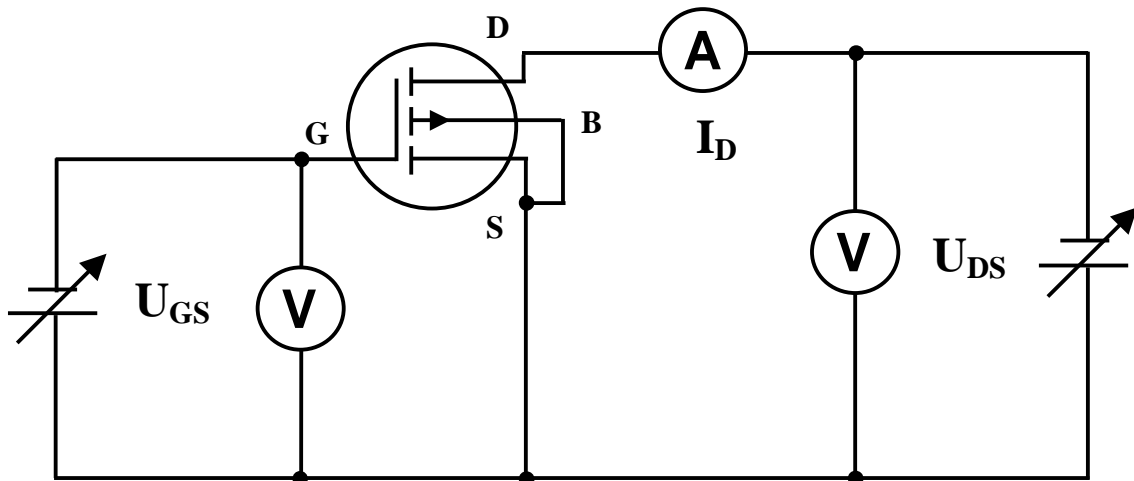
6. Włączyć przełącznik **PRACA**. Włączenie tego przełącznika powoduje załączenie napięć  $U_{GS}$  i  $U_{DS}$  do badanego elementu.
7. Przystąpić do pomiaru odpowiednich charakterystyk.

UWAGA: W przypadku, gdy po raz pierwszy przystępujemy do pomiarów wykonujemy wszystkie czynności wstępne. Jeżeli jest to pomiar kolejnego elementu, wykonujemy czynności od punktu 3, przy wyłączonym przełączniku **PRACA**.

## 2.2. Pomiary charakterystyk statycznych tranzystora MOS – SMY 50

W układzie, którego schemat przedstawiono na rys. 2 dokonuje się pomiarów charakterystyk przejściowych i wyjściowych tranzystora MOS z kanałem wzbogacanym typu „p”.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy wykonać czynności wstępne zgodnie z punktem 2.1.



Rys. 2. Układ do pomiaru charakterystyk statycznych tranzystora MIS.

### Ograniczenia napięciowe i prądowe dla tranzystora SMY 50

- $U_{GS \text{ max.}} = -10 \text{ V}$
- $U_{DS \text{ max.}} = -10 \text{ V}$
- $I_D \text{ max.} = 10 \text{ mA.}$

#### 2.2.1. Pomiary charakterystyk przejściowych $I_D = f(U_{GS})$ przy $U_{DS} = \text{const.}$

1. Dla podanej przez prowadzącego wartości napięcia  $U_{DS} = U_{DS(1)}$  dokonać pomiaru zależności  $I_D = f(U_{GS})$  przy  $U_{DS(1)} = \text{const.}$ , (min. 10 punktów pomiarowych).
2. Napięcie  $U_{GS}$  zmieniać od  $0 \text{ V}$  do wartości określonej ograniczeniami napięciowymi i prądowymi badanego tranzystora.
3. Pomiary powtórzyć dla podanej przez prowadzącego wartości napięcia  $U_{DS} = U_{DS(2)}$ .
4. Wyniki pomiarów umieścić w Sprawozdaniu nr 5, w tabeli 3.

#### 2.2.2. Pomiary charakterystyk wyjściowych $I_D = f(U_{DS})$ przy $U_{GS} = \text{const.}$

1. Wybrać kilka wartości napięcia  $U_{GS}$  (co najmniej trzy), przy których będzie mierzona charakterystyka wyjściowa. Wyboru należy dokonać na podstawie wcześniej zmierzonych charakterystyk przejściowych.

2. Zmieniając napięcie  $U_{DS}$  od  $0\text{ V}$  do wartości określonej ograniczeniami napięciowymi i prądowymi badanego tranzystora, dokonać pomiaru charakterystyk  $I_D = f(U_{DS})$  przy wybranych wartościach  $U_{GS} = \text{const.}$ , (min. 10 punktów pomiarowych dla każdej charakterystyk).
3. Wyniki pomiarów umieścić w Sprawozdaniu nr 5, w tabeli 4.

### **2.3. Pomiar charakterystyk statycznych pary komplementarnej tranzystorów MOS w układzie scalonym 4007**

Pomiary charakterystyk statycznych tranzystorów pary komplementarnej wykonuje się w układzie przedstawionym na rys. 2, uwzględniając konieczność doboru właściwej polaryzacji w zależności od typu kanału badanego elementu.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy wykonać czynności wstępne zgodnie z punktem 2.1.

#### **Ograniczenia napięciowe i prądowe dla pary komplementarnej z układu scalonego 4007**

- $U_{GS} \text{ max.} = \pm 5\text{ V}$
- $U_{DS} \text{ max.} = \pm 5\text{ V}$
- $I_D \text{ max.} = 10\text{ mA}$

Charakterystyki przejściowe i wyjściowe pary komplementarnej mierzone są w jednakowych warunkach z uwzględnieniem właściwej polaryzacji napięć  $U_{GS}$  i  $U_{DS}$  dla tranzystora z kanałem typu „n” i „p”. Tranzystor z kanałem typu „n” oznaczony jest na płycie czołowej jako NMOS, a z kanałem typu „p” jako PMOS.

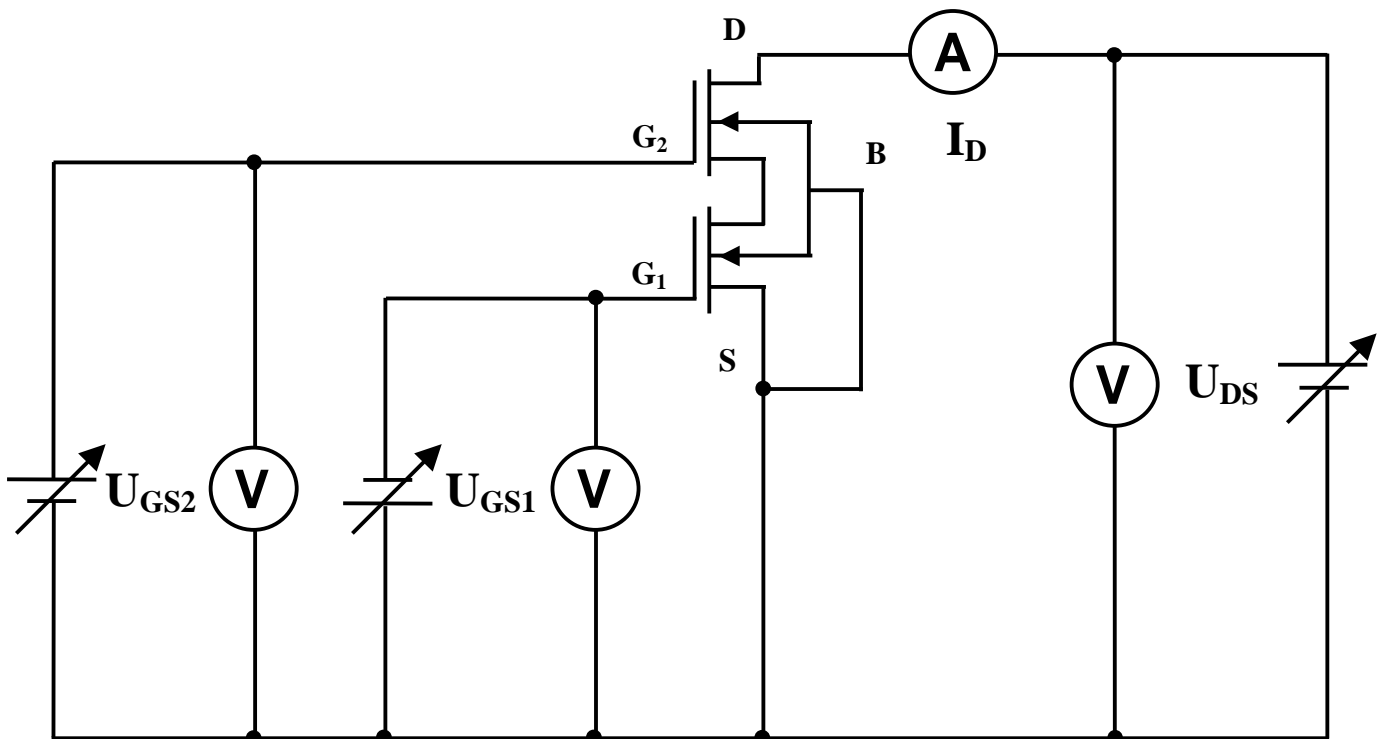
#### **2.3.1. Pomiary charakterystyk przejściowych**

1. Dla wartości napięcia  $U_{DS} = U_{DS(1)}$  dokonać pomiaru zależności  $I_D = f(U_{GS})$  przy  $U_{DS} = \text{const.}$ , (min. 10 punktów pomiarowych).
2. Napięcie  $U_{GS}$  zmieniać od  $0\text{ V}$  do wartości określonej ograniczeniami napięciowymi i prądowymi badanego tranzystora.
3. Pomiary powtórzyć dla napięcia  $U_{DS} = U_{DS(2)}$ .
4. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli (według wzoru: Tabela 3).
5. Wartości napięć  $U_{DS(1)}$  i  $U_{DS(2)}$  podaje prowadzący zajęcia.

#### **2.3.2. Pomiary charakterystyk wyjściowych**

1. Wybrać kilka wartości napięcia  $U_{GS}$  (co najmniej trzy), przy których będzie mierzona charakterystyka wyjściowa. Wyboru należy dokonać na podstawie wcześniej zmierzonych charakterystyk przejściowych.
2. Zmieniając napięcie  $U_{DS}$  od  $0\text{ V}$  do wartości określonej ograniczeniami napięciowymi i prądowymi badanego tranzystora, dokonać pomiaru charakterystyk  $I_D = f(U_{DS})$  przy wybranych wartościach napięcia  $U_{GS} = \text{const.}$ , (min. 10 punktów pomiarowych dla każdej charakterystyki).
3. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli (według wzoru: Tabela 4).

#### 2.4. Pomiary charakterystyk statycznych tetrody MOS - BF 992



Rys. 3. Układ do pomiaru charakterystyk statycznych tetrody MOS.

Pomiary charakterystyk przejściowych i wyjściowych tetrody MOS z kanałem zubożanym typu „n” wykonuje się w układzie przedstawionym na rys. 3.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy wykonać czynności wstępne zgodnie z p.2.1.

## Ograniczenia napięciowe i prądowe dla tetrody MOS - BF 992

- $U_{GS1} \text{ max.} = + 0,2 + - 0,6 \text{ V}$
- $U_{GS2} \text{ max.} = + 5 \text{ V}$
- $U_{DS} \text{ max.} = + 10 \text{ V}$
- $I_D \text{ max.} = 10 \text{ mA}$

### 2.4.1. Pomiar charakterystyk przejściowych

1. Dla wartości napięcia  $U_{GS2} = 0 \text{ V}$ , przy wskazanej przez prowadzącego wartości  $U_{DS} = \text{const.}$ , dokonać pomiaru zależności  $I_D = f(U_{GS1})$ . Napięcie  $U_{GS1}$  zmieniać w zakresie wartości określonej ograniczeniami napięciowymi i prądowymi badanej tetrody MOS.
2. Pomiar powtórzyć dla kolejnych wskazanych przez prowadzącego wartości napięcia  $U_{GS2}$  przy wartości  $U_{DS} = \text{const.}$  określonej wyżej, w p.1.
3. Wyniki pomiarów umieścić w Sprawozdaniu nr 5, w tabeli 5.

### 2.4.2. Pomiar charakterystyk wyjściowych

1. Dla ustalonej wartości napięcia bramki drugiej  $U_{GS2} = 0 \text{ V}$ , przy ustalonej wartości napięcia bramki pierwszej  $U_{GS1} = 0 \text{ V}$  dokonać pomiaru charakterystyk  $I_D = f(U_{DS})$ . Wartości napięcia  $U_{DS}$  zmieniać w zakresie wartości określonych ograniczeniami napięciowymi i prądowymi.
2. Dla ustalonej wartości napięcia bramki drugiej  $U_{GS2} = 0 \text{ V}$ , przy ustalonej dodatniej wartości napięcia bramki  $G_1$ , przykładowo:  $U_{GS1} = + 0,1 \text{ V}$ , dokonać pomiaru charakterystyk  $I_D = f(U_{DS})$ . Wartości napięcia  $U_{DS}$  zmieniać w zakresie wartości określonych ograniczeniami napięciowymi i prądowymi.
3. Dla ustalonej wartości napięcia bramki drugiej  $U_{GS2} = 0 \text{ V}$ , przy ustalonej ujemnej wartości napięcia bramki  $G_1$ , przykładowo:  $U_{GS1} = - 0,1 \text{ V}$ , dokonać pomiaru charakterystyk  $I_D = f(U_{DS})$ . Wartości napięcia  $U_{DS}$  zmieniać w zakresie wartości określonych ograniczeniami napięciowymi i prądowymi.
4. Powtórzyć czynności określone w pp. 1-3 dla wskazanych przez prowadzącego kolejnych wartości napięcia bramki drugiej  $G_2$ , przykładowo:  $U_{GS2} = 2 \text{ V}$ ;  $U_{GS2} = 4 \text{ V}$ .
5. Wyniki pomiarów umieścić w Sprawozdaniu 5, w tabeli 6.

### III. Opracowanie wyników.

1. Wykreślić pomierzone charakterystyki przejściowe i wyjściowe badanych tranzystorów.
2. W oparciu o charakterystyki przejściowe określić wartości napięć  $U_T$ .
3. Na podstawie wykonanych charakterystyk obliczyć w wybranych punktach (min. trzech) parametry dynamiczne  $g_m$ ,  $g_{ds}$ .
4. Sporządzone wykresy, wyniki obliczeń i pomiarów oraz wnioski zamieścić w sprawozdaniu.