

KATEDRA ELEKTRONIKI AGH

LABORATORIUM
ELEMENTY ELEKTRONICZNE

ZŁĄCZOWY
TRANZYSTOR
POLOWY

REV. 2.0

1. CEL ĆWICZENIA

- Pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych tranzystora.
- Wyznaczenie podstawowych parametrów tranzystora unipolarnego takich jak:
 - o napięcie progowe,
 - o współczynnik skrócenia kanału,
 - o transkonduktancja,
 - o rezystancja wyjściowa.

2. WYKORZYSTYWANE MODELE I ELEMENTY

W trakcie ćwiczenia wykorzystane zostaną:

- płyta prototypowa NI ELVIS Prototyping Board (ELVIS) połączona z komputerem PC,
- wirtualne przyrządy pomiarowe: Virtual Instruments (VI):
 - Function Generator (FGENgen),
 - Variable Power Supplies (VPS),
 - Oscilloscope (Scope),
- aplikacja pomiarowa IV3,
- oscyloskop cyfrowy Tektronix,
- zasilacz i multimetr Agilent,
- zestaw elementów przedstawionych w Tabeli 1.

Tabela 1. Wartości elementów do wykonania ćwiczenia

Rezystory	1x100 Ω , 1x1k Ω , 1x10k Ω , 1x100k Ω , 1M Ω
Kondensatory	2x1 μ F
Tranzystory	2xBF245

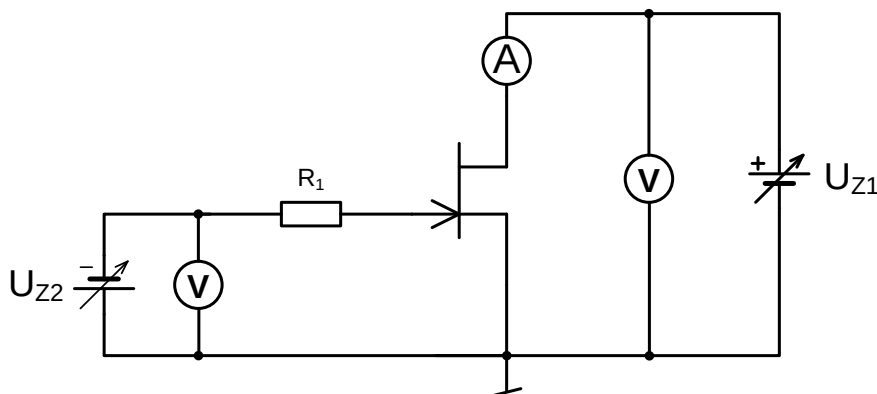
3. PRZYGOTOWANIE KONSPEKTU

- 3.1. Narysuj charakterystyki wyjściową i przejściową złączowego tranzystora unipolarnego (JFET) Przeanalizuj zasadę działania układów pomiarowych przedstawionych na Rys. 4.1, Rys. 4.3 i Rys. 4.4. Jakie są warunki poprawnego wyznaczania wartości transkonduktancji i rezystancji wyjściowej tranzystora JFET za pomocą przedstawionych układów?
- 3.2. Wykorzystując rysunek [płyty stykowej NI ELVIS](#) przygotuj rysunki montażowe dla układów pomiarowych w tym ćwiczeniu.

4. PRZEBIEG ĆWICZENIA

4.1. Pomiar charakterystyk przejściowych i wyjściowych.

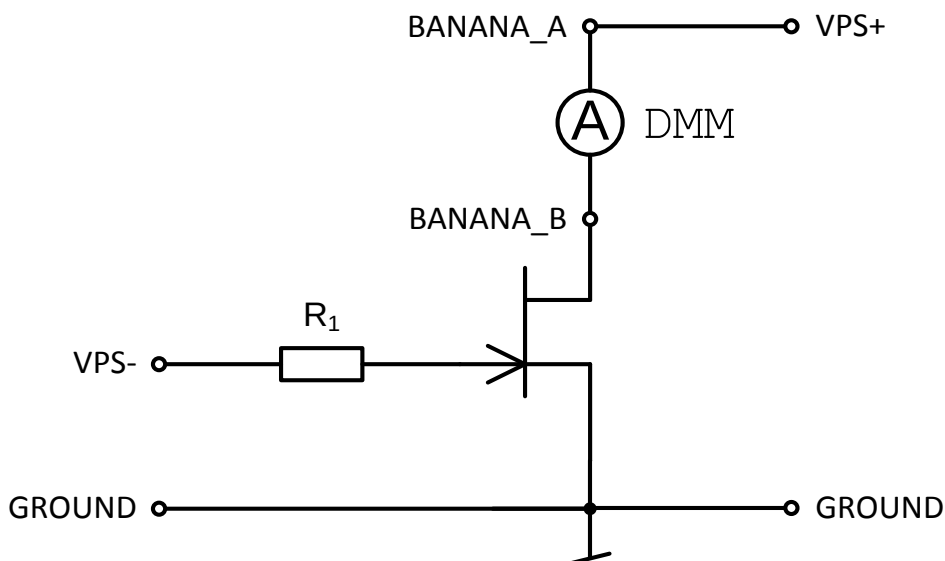
Do pomiarów charakterystyk przejściowych $I_D = f(U_{GS})$ można wykorzystać układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 4.1. Dla kilku wartości napięcia U_{DS} dostarczonego przez źródło napięcia U_{Z1} , należy zmierzyć prąd drenu zmieniając napięcie na bramce (U_{GS}), które dostarcza źródło U_{Z2} . W tym samym układzie można zrealizować pomiary charakterystyk wyjściowych $I_D = f(U_{DS})$. Tym razem dla kilku stałych wartości napięcia U_{GS} należy wykonać pomiary prądu drenu I_D zmieniając napięcie wyjściowe U_{DS} .



Rys. 4.1. Układ do pomiaru charakterystyk tranzystora złączowego JFET

Sprzęt pomiarowy, który znajduje się w laboratorium Elementów Elektronicznych KE AGH pozwala na realizację tego ćwiczenia na kilka sposobów. W tym miejscu wykorzystamy system NI ELVIS oraz specjalna [aplikację pomiarową](#) napisaną dla niego w języku Lab View. W celu realizacji zadania:

- połącz schemat pomiarowy wg rysunku 4.2: rezystor $R_1 = 1\text{ M}\Omega$, zasilanie z VPS, amperomierz to DMM systemu NI ELVIS, napięcia nie będą mierzone bezpośrednio, tylko odczytywane z ustawień zasilacza VPS,
- włącz system IN ELVIS,
- uruchom aplikację pomiarową IV3, wybierz urządzenie w "Device parameters".



Rys. 4.2. Schemat połączeń układu do pomiaru charakterystyk tranzystora złączowego JFET z zastosowaniem systemu NI ELVIS i aplikacji pomiarowej IV3

4.1.1. Pomiar charakterystyk przejściowych tranzystora złączowego

W celu wykonania pomiarów należy:

- ustawić następujące parametry w aplikacji pomiarowej:
 - Measurement control: VPS– sweep,
 - VPS– parameters: Start: 0 V, Steps: 50, End: –5 V,
 - VPS+ bias: 1 V.
- uruchomić pomiary przyciskiem START,
- po zakończeniu pomiarów zmienić wartość napięcia U_{DS} badanego tranzystora (zwiększyć VPS+ bias, np. o 1 V) i ponownie uruchomić pomiary. Wykonać pomiary do uzyskania $U_{DS} = 10$ V.

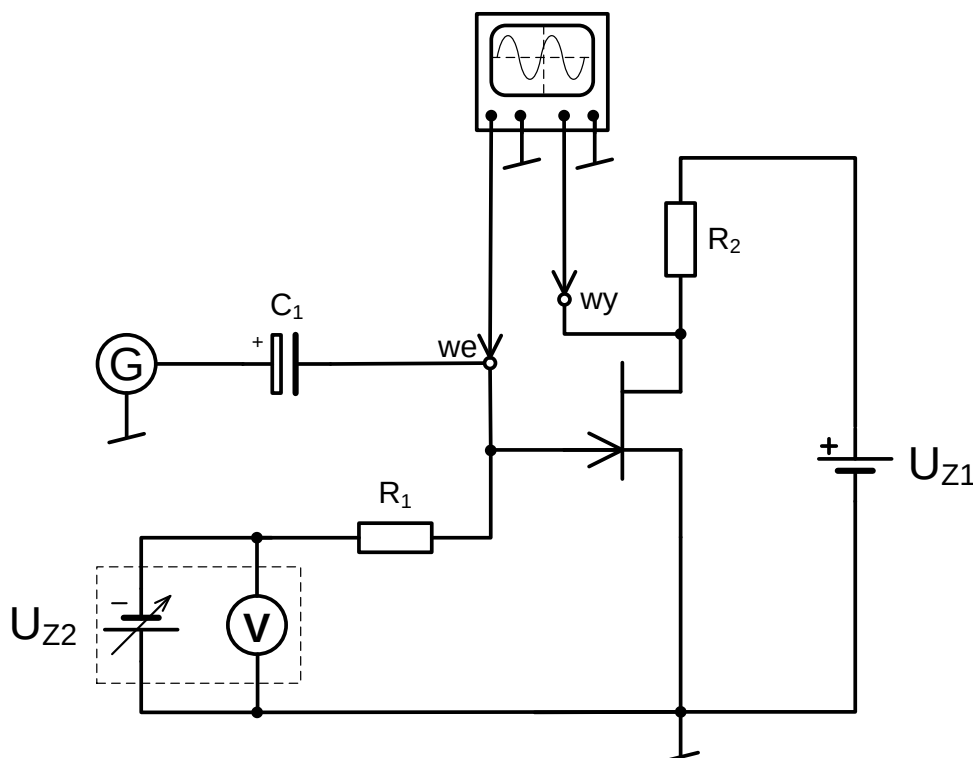
4.1.2. Pomiar charakterystyk wyjściowych tranzystora złączowego

W celu wykonania pomiarów, w tym samym układzie co poprzednio, należy:

- ustawić następujące parametry w aplikacji pomiarowej:
 - Measurement control: VPS+ sweep,
 - VPS+ parameters: Start: 0 V, Steps: 120, End: 12 V,
 - VPS– bias: 0 V.
- uruchomić pomiary przyciskiem START,
- po zakończeniu pomiarów zmienić wartość napięcia U_{GS} badanego tranzystora (ustawić VPS– bias, np.: –0,25 V) i ponownie uruchomić pomiary. Wykonać pomiary do uzyskania $U_{GS} = U_p$ (wartość nap. progowego oszacuj z ch-k przejściowych).

4.2. Pomiar transkonduktancji

Transkonduktancja będzie mierzona w układzie prostego wzmacniacza o wspólnym źródle (OS). Zbuduj układ pomiarowy wg schematu z Rys. 4.3. Zastosuj następujące wartości elementów: $R_1 = 1\text{ M}\Omega$, $R_2 = 100\ \Omega$, $C_1 = 1\ \mu\text{F}$ (uwaga na polaryzację). Użyj wbudowanych przyrządów: VPS, FGEN oraz SCOPE lub przyrządów zewnętrznych.



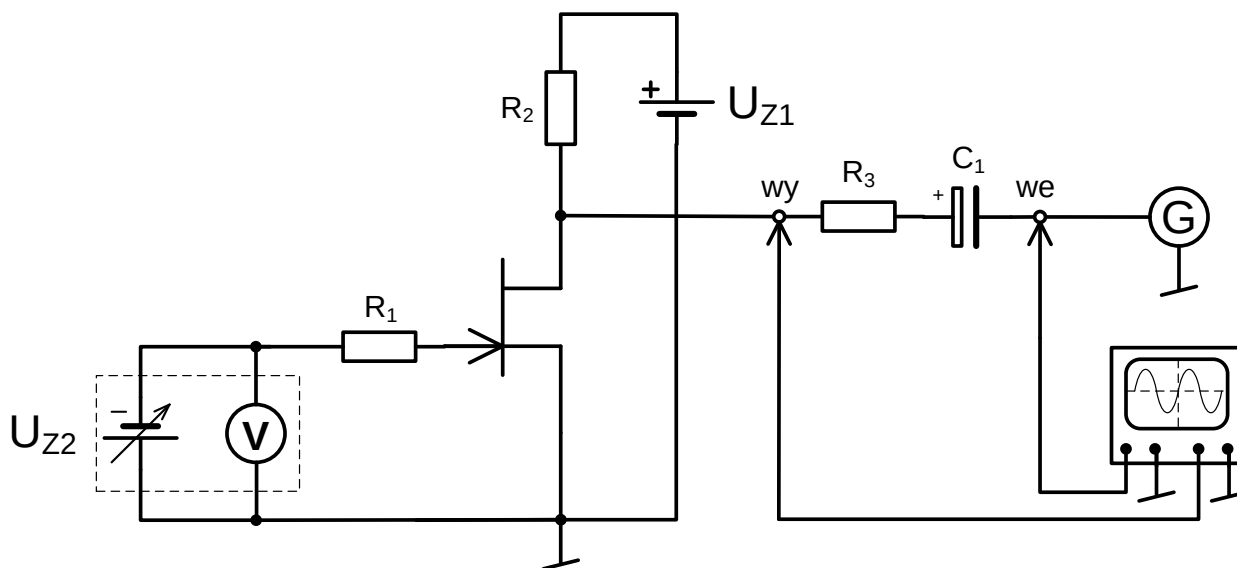
Rys. 4.3. Schemat układu do pomiaru transkonduktancji

Pomiary będą polegały na pomiarze amplitudy napięcia wejściowego i wyjściowego (zmiennego) dla różnych punktów pracy tranzystora, które będą zmieniane przez napięcie na bramce – U_{GS} . Wykonaj pomiary wg następujących punktów:

- włącz zasilacz i ustaw napięcia: $U_{DS} (U_{Z1}) = 10 \text{ V}$, $U_{GS} (U_{Z2}) = 0 \text{ V}$,
- z generatora podaj sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i napięciu 100 mV_{PP} ,
- zmierz za pomocą oscyloskopu amplitudę napięć zmiennych, wejściowego (u_{gs}) i wyjściowego (u_{ds}),
- zmień punkt pracy tranzystora (zmieniając U_{GS} np.: co $0,5 \text{ V}$ do napięcia progowego) i ponownie zmierz amplitudę napięć wejściowego i wyjściowego. Wyniki zapisz w tabeli: napięcie U_{GS} , ampl. nap. wej. (u_{gs}), ampl. nap. wy. (u_{ds}).

4.3. Badanie regulowanego tłumika sygnałów zmiennych.

Tranzystor JFET może pracować jako zmienna rezystancja regulowana za pomocą napięcia U_{GS} . Rysunek 4.4 przedstawia regulowany dzielnik napięcia zbudowany z rezystora R_3 i rezystancji między drenem a źródłem tranzystora JFET (R_{DS}). Zmiana napięcia na bramce (U_{GS}) powoduje zmianę rozmiarów kanału w tranzystorze i zmianę R_{DS} , a za tym zmianę współczynnika podziału wspomnianego dzielnika. Ponadto obserwując efekt dzielenia i znając wartość rezystora R_3 można obliczyć rezystancję dren-źródło tranzystora. Jeżeli tranzystor pracuje w liniowym zakresie pracy to tak wyznaczona rezystancja jest równa różniczkowej rezystancji wyjściowej tranzystora r_{ds} .



Rys. 4.4. Schemat układu do pomiaru rezystancji wyjściowej – r_{ds}

Zastosuj następujące wartości elementów w układzie: $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \Omega$, $C_1 = 1 \mu\text{F}$. Podobnie jak poprzednio można wykorzystać przyrządy wirtualne NI ELVIS lub zewnętrzne. Wykonaj pomiary wg następujących punktów:

- włącz zasilacz i ustaw napięcia: $U_{GS} (U_{Z2}) = 0 \text{ V}$, $U_{DS} (U_{Z1}) = 1...3 \text{ V}$ (tak, aby tranzystor pracował w zakresie liniowym),
- z generatora podaj sygnał o częstotliwości 1 kHz i napięciu 100 mV_{PP} ,
- zmierz za pomocą oscyloskopu amplitudę napięć zmiennych, wejściowego (u_{gen}) i wyjściowego (u_{ds}),
- zmień punkt pracy tranzystora (zmieniając U_{GS} np.: co $0,5 \text{ V}$ do napięcia progowego) i ponownie zmierz amplitudę napięć wejściowego i wyjściowego. Wyniki zapisz w tabeli: napięcie U_{GS} , ampl. nap. wej. (u_{gen}), ampl. nap. wy. (u_{ds}).

5. SPRAWOZDANIE

5.1. Na podstawie wyników pomiarów uzyskanych w punktach 4.1.1 i 4.1.2 w sprawozdaniu należy:

- wykreślić charakterystyki wyjściowe na jednym wykresie,
- wykreślić charakterystyki przejściowe na jednym wykresie,
- z ch-k przejściowych oszacować wartość napięcia U_P oraz prądu nasycenia drenu I_{DSS} ,
- dla wybranej wartości $U_{DS} = \text{const.}$, takiej, że tranzystor jest w nasyceniu, wykreślić charakterystykę przejściową jako funkcję: $\sqrt{I_D} = f(U_{GS})$ i na podstawie jej przebiegu oraz ekstrapolacji do punktu na osi napięciowej, w którym $\sqrt{I_D} = 0$ wyznaczyć dokładne wartości parametrów I_{DSS} i U_P . Wykorzystać wyznaczoną wartość U_P do rozdzielania zakresu liniowego i nasycenia – wrysować odpowiednią krzywą na charakterystykach wyjściowych w układzie (I_D, U_{DS}) .

5.2. Na podstawie wyników pomiarów uzyskanych w punkcie 4.3 w sprawozdaniu należy:

- obliczyć wartości transkonduktancji dynamicznej badanego tranzystora od wartości napięcia polaryzującego bramkę (U_{GS}) i przedstawić na wykresie,

UWAGA: $g_m = \delta I_{wyj} / \delta U_{wej}$ (dla U_{DS} i $U_{GS} = \text{const.}$) jest w przybliżeniu równe $\Delta I_D / \Delta U_{GS}$, gdy zmiany napięć i prądów są małe – sygnały zmienne mierzone są na tle napięć i prądów stałych (ustalających punkt pracy tranzystora, a zadanych przez wartości U_{DS} i U_{GS}). Przyrosty prądu ΔI_D wyznaczamy z wartości napięcia zmiennego na rezystorze R_2 w obwodzie drenu, a ΔU_{GS} jako amplitudę sygnału z generatora. Dla składowej zmiennej możemy przyjąć, że u_{R2} jest równe u_{ds} . Zatem składowa zmienna $i_d = u_{ds} / R_2$.

- na wspólnym wykresie wykreślić zależności $g_m = f(U_{GS})$ uzyskane z pomiarów statycznych i dynamicznych. Na tym samym wykresie wrysować przebieg zależności $g_m = f(U_{GS})$ obliczony według zależności: $I_D = G_0 \left(1 - \sqrt{\frac{\psi_0 - U_{GS}}{\psi_0 + U_P}} \right) U_{DS}$.
- skomentować otrzymane wyniki.

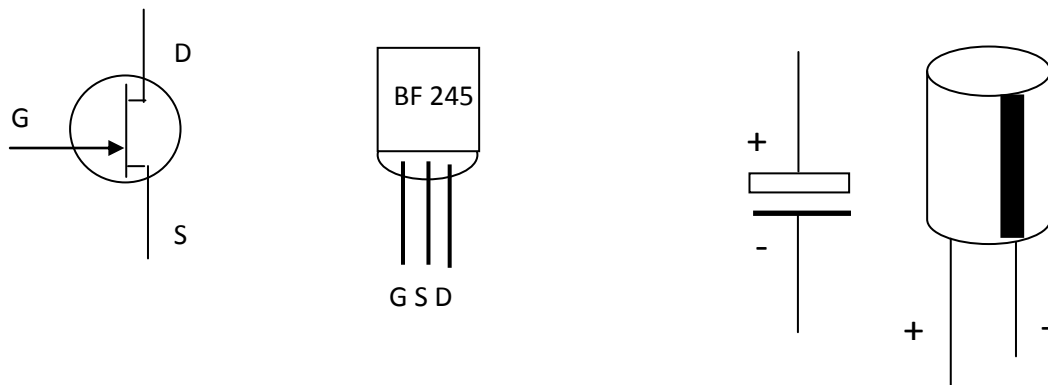
5.3. Na podstawie wyników pomiarów uzyskanych w punkcie 4.4 w sprawozdaniu należy:

- obliczyć wartości r_{ds} dla poszczególnych punktów pracy (U_{GS}),
- na podstawie ch-k wyjściowych również obliczyć wartości r_{ds} dla takich samych warunków, jak w punkcie poprzednim (to samo napięcie U_{GS}),
- wyniki obliczeń z obu powyższych punktów umieścić we wspólnej tabeli, porównać i skomentować.

UWAGA

- Należy wykonać jedno sprawozdanie na zespół i oddać osobie prowadzącej zajęcia na następnych ćwiczeniach.
- Po uzgodnieniu z osobą prowadzącą zajęcia można sprawozdanie przesłać pocztą elektroniczną na jej adres wpisując w temacie listu: **EE_cw4_Nazwisko1_Nazwisko2**.

Wyprowadzenia elementów:



Uwaga: Kondensatory elektrolityczne tantalowe (żółta kropłowa obudowa) mają wyróżnione wyprowadzenie DODATNIEJ elektrody.

6. LITERATURA

- [1] Wykład (I. Brzozowski, P. Dziurdzia)
- [2] J. Koprowski „Podstawowe przyrządy półprzewodnikowe”, Skrypt uczelniany SU 1711, AGH, Kraków 2009
- [3] W. Marciniak „Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone ”, Warszawa, WNT, 1987