

# Ćwiczenie 9

## Badanie wzmacniacza różnicowego.

### 1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest praktyczne zapoznanie się z podstawowymi właściwościami wzmacniacza różnicowego, a również przedstawienie najistotniejszych parametrów, pozwalających ocenić jakość badanego wzmacniacza.

### 2. Wiadomości podstawowe.

Wzmacniacz różnicowy jest jednym z wzmacniaczy prądu stałego. Wzmacniacze te odznaczają się możliwością wzmacniania napięć stałych (ich częstotliwość dolna jest równa zero). Jest to główna zaleta tych wzmacniaczy. Główną ich wadą jest dryft (niestałość napięcia wyjściowego). Wielkość dryftu przesądza o możliwości użycia danego wzmacniacza np. jeśli sygnał dryftu przeliczony na sygnał wejściowy jest taki sam jak sygnał wejściowy to błąd względny sygnału wyjściowego wyniesie 100%. Stanowi to istotny problem, ponieważ praktycznie nie możemy odróżnić części napięcia wyjściowego pochodzącego od sygnału wejściowego od części powodowanej dryftem z uwagi na ich zbliżone częstotliwości. Istnieje możliwość uniknięcia dryftu przez zastosowanie zamiany napięcia wejściowego na zmienne a następnie po wzmacnieniu jego wyprostowanie (wzmacniacze z przetwarzaniem). Jednak w tym przypadku dryft również występuje z uwagi na niestałość parametrów modulatora.

Dryft wywołany jest głównie przez niestałość termiczną punktu pracy elementów aktywnych wzmacniacza (tu tranzystorów). We wzmacniaczu różnicowym przy zachowaniu pełnej symetrii (najłatwiej w układach scalonych ponadto występuje w nich silne sprzężenie temperaturowe) można osiągnąć stosunkowo niewielki dryft. Wynika to, z kompensacji napięcia  $U_{BE}$  ( $-2,3\text{mV}/^\circ\text{C}$ ) - w równaniu obwodu wejściowego występuje różnica tych napięć, a także przy wyjściu symetrycznym z kompensacji spadków napięcia na rezystorach  $R_C$  wywołanych przepływem przez nie prądów zerowych obydwu tranzystorów (prądy zerowe rosną wykładniczo ze wzrostem temperatury). Nawet przy wyjściu niesymetrycznym wpływ prądów zerowych nie jest zbyt znaczny z uwagi na silne ujemne sprzężenie zwrotne dla sygnału wspólnego. We wzmacniaczach prądu stałego wzmacnienie definiuje się wzorem:

$$k_u = \frac{dU_{wy}}{dU_{we}} \cong \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}}$$

Jednak najczęściej w badaniach wzmacnienie przyjmuje się jako stosunek składowych zmiennych tych napięć (przyjmując, że amplitudy są równe przyrostom).

We wzmacniaczach różnicowych występują dwa wejścia i dwa wyjścia stąd, dla sygnału wejściowego określa się sygnał różnicowy (różnica obu napięć wejściowych) i sygnał sumacyjny (wartość średnia napięć wejściowych) oraz sygnał wyjściowy symetryczny (różnica napięć wyjściowych) i niesymetryczny (jedno z napięć). Dlatego w tych wzmacniaczach występuje kilka rodzajów wzmacnień będących stosunkami przyrostów (amplitud składowych zmiennych) odpowiednich sygnałów mianowicie:

- Wzmacnienie różnicowe symetryczne
- Wzmacnienie różnicowe niesymetryczne
- Wzmacnienie sumacyjne symetryczne
- Wzmacnienie sumacyjne niesymetryczne

Z uproszczonej analizy wzmacniacza różnicowego wynika, że wzmacnienie różnicowe symetryczne bez rezystorów  $R_e$  wynosi:

$$k_{u\_róż\_sym} \cong \frac{R_C h_{21}}{h_{11}}$$

Zaś po wprowadzeniu ujemnego sprzężenia zwrotnego dla sygnału różnicowego za pomocą rezystorów  $R_e$ :

$$k_{u\_r\acute{o}z\_sym} \cong \frac{R_C h_{21}}{h_{11} + R_e (h_{21} + 1)}$$

W tej zależności widać, że po wprowadzeniu sprzężenia, wzmacnienie zwłaszcza dla dużych wartości  $R_e$  niewiele zależy od  $h_{21}$ . Przez to zmniejsza się zależność wzmacnienia od temperatury. Wzmacnienie sumacyjne niesymetryczne wynosi:

$$k_{u\_sum\_niesym} \cong \frac{R_C}{2R_E}$$

Stąd w celu zmniejszenia tego wzmacnienia należy zwiększyć wartość rezystora  $R_E$ . Proste zwiększenie wartości  $R_E$  prowadzi do zmniejszenia prądów emiterowych obu tranzystorów a przez to do zwiększenia  $h_{11}$  (patrz charakterystyka wejściowa tranzystora) i dlatego znaczne zwiększenie  $R_E$  jest niekorzystne. Przez zastosowanie w miejsce rezystora  $R_E$  układu źródła prądowego można tego uniknąć, ponieważ uzyskanie rezystancji wejściowej tego źródła rzędu kilku  $M\Omega$  nie stanowi istotnej trudności. Rezystancja wyjściowa dla wyjścia symetrycznego wynosi:

$$R_{wy} \cong 2R_C$$

Rezystancja wejściowa dla sygnału różnicowego wynosi:

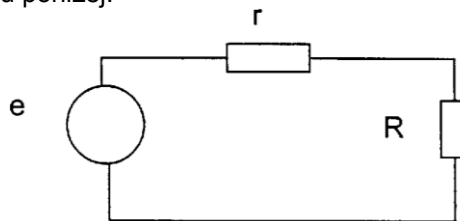
$$R_{wy} = 2[h_{11} + (h_{21} + 1)R_e]$$

Często jako parametr wzmacniacza różnicowego określa się współczynnik tłumienia sygnału sumacyjnego, który dla wyjścia niesymetrycznego wynosi:

$$S = \frac{k_{u\_sum\_niesym}}{k_{u\_r\acute{o}z\_niesym}}$$

## 2.1 Sposób pomiaru rezystancji wejściowej i wyjściowej.

Rozważmy układ jak na rysunku poniżej.



Przyjmijmy, że mierzymy napięcie na rezystorze  $R$  i wynosi ono  $U$ . Ponadto przyjmijmy, że rezystor  $r$  oraz źródło  $e$  reprezentują zastępcze parametry jakiegoś układu zgodnie z zasadą Thevenena i są nieznanne. Równanie obwodu będzie miało postać:

$$e = \frac{U}{R} r + U$$

Wyznaczenie z tego równania rezystancji  $r$  stanie się możliwe jeżeli pomiar napięcia  $U$  powtórzymy dwukrotnie dla dwu różnych wartości  $R$  (najłatwiej, gdy jedna wynosi nieskończoność). Wówczas rezystancja wyjściowa (tu  $r$ ) wyniesie:

$$r = \frac{U_{R=\infty} - U}{U} R$$

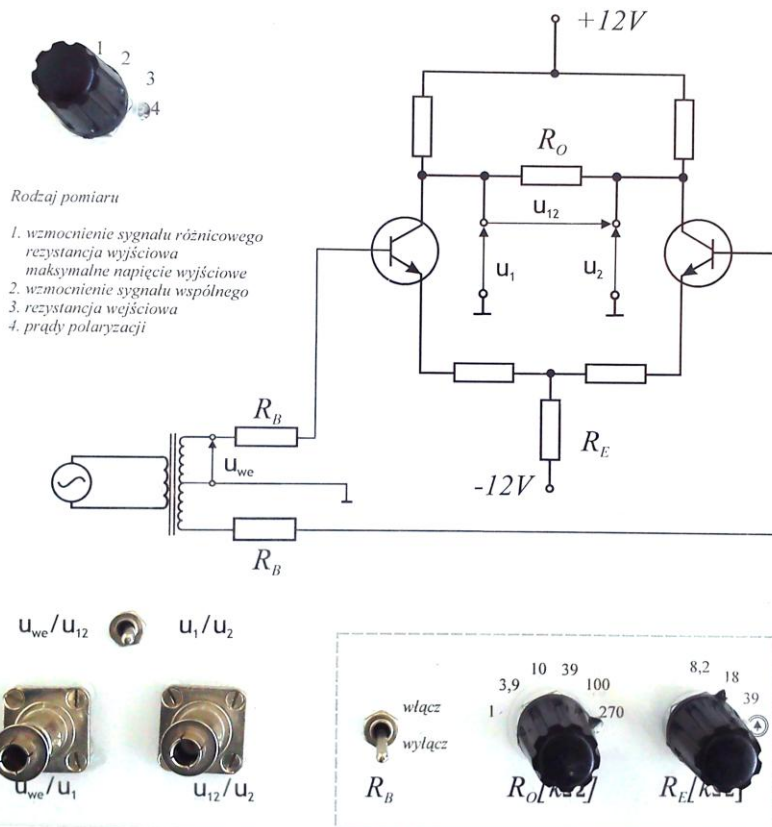
Podobnie można wyznaczyć rezystancję wejściową przyjmując tym razem, że w naszym obwodzie znamy  $r$ . Również mierząc dwukrotnie napięcie na rezystorze  $R$  (napięcie wyjściowe) dla dwu różnych wartości rezystora  $r$  (najłatwiej, gdy jedna wynosi zero). Wówczas rezystancję wejściową możemy obliczyć z zależności:

$$R = \frac{U}{U_{r=0} - U} r$$

Istotne jest zachowanie dla każdej pary napięć tego samego napięcia generatora.

## 3. Opis układu pomiarowego.

Układ pomiarowy pokazany jest na rysunku poniżej

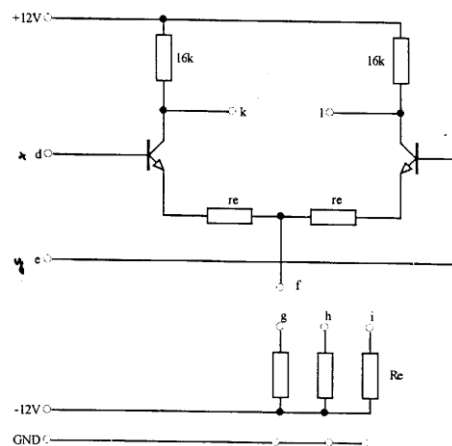


Układ pomiarowy zawiera:

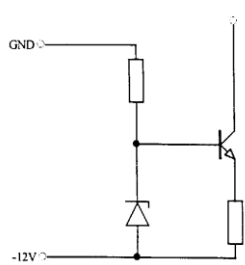
- źródło sygnału sterującego.

Przedstawiony powyżej układ umożliwia wytworzenie napięć  $U_1$  i  $U_2$  o identycznej amplitudzie i fazie przesuniętej dokładnie o  $180^\circ$ . Napięcia te wykorzystywane będą do symetrycznego sterowania wzmacniacza różnicowego.

- wzmacniacz różnicowy



- zestaw oporników do obciążania wyjść wzmacniacza
- źródło prądowe



### 3. Program ćwiczenia.

3.1. Pomiar wzmocnienia sygnału różnicowego przez wzmacniacz różnicowy. Ustawić na generatorze przebieg sinusoidalny o amplitudzie nie większej niż 10mV.

Przez obserwację odpowiednich oscylogramów pomierzyć wzmocnienie sygnału różnicowego, dla wyjścia symetrycznego, dla oporności obciążenia równej nieskończoności i czterech wartości  $R_E$  (najmniejszej i największej - tzn. źródła prądowego).

**Uwaga 1:** Podczas pomiarów napięcie wyjściowe generatora utrzymywać na możliwie dużej wartości tak, aby sygnał wyjściowy nie był zniekształcony. Pozwoli to na względne zmniejszenie sygnałów zakłócających.

3.2. Pomiar wzmocnienia sygnału wspólnego przez wzmacniacz różnicowy.

Przełączyć się w tryb pomiaru sygnału wspólnego. Ustawić na generatorze przebieg sinusoidalny o amplitudzie około 1V. Pomierzyć wzmocnienie sygnału wspólnego, dla wyjścia niesymetrycznego, dla wszystkich wartości  $R_E$  i źródła prądowego dla  $R_E = \infty$ . Dla najmniejszej wartości  $R_E$  spróbować określić wzmocnienie dla wyjścia symetrycznego.

3.3. Wyznaczyć współczynnik tłumienia sygnału wspólnego  $S$  i określić jego zależność od wartości  $R_E$

3.3. Określenie oporności wejściowej wzmacniacza różnicowego w warunkach sterowania symetrycznego.

Pomiar należy wykonać metodą pośrednią poprzez obserwację zmiany napięcia wyjściowego wzmacniacza przy sterowaniu baz tranzystorów przez oporniki  $R_B$  oraz przy zwartym oporniku. Powtórzyć pomiar dla innej wartości opornika  $R_E$ .

3.4. Określenie oporności wyjściowej dla wyjścia symetrycznego.

Pomiar wykonać poprzez obserwację napięcia wyjściowego dla dwu wartości rezystancji obciążenia. Powtórzyć pomiar dla innej wartości opornika  $R_E$ .

3.5. Pomiar maksymalnego nieznieskształconego napięcia wyjściowego.

Pomierzyć maksymalną wartość nieznieskształconego napięcia wyjściowego w funkcji  $R_E$ .

3.6. Pomiar prądów polaryzacji.

Zmniejszyć sygnał z generatora do zera. Pozwoli to zaciski  $x$  i  $y$  zewrzeć do masy  $c$  (rezystancję uzwojenia wtórnego transformatora można uznać za zwarcie dla składowej stałej). Włączyć bazy tranzystorów tak, aby prąd polaryzacji pozostawił spadki napięcia na rezystorach  $R_B$ . Przy pomocy wbudowanego miernika panelowego pomierzyć wartości prądów polaryzujących obydwu wejścia wzmacniacza różnicowego.

### 4. Wykonanie sprawozdania.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- wyniki pomiarów w postaci tabelki i wynikające z nich czytelne wykresy,
- własne wnioski.

### 5. Zagadnienia do kolokwium.

- porównać dryft termiczny punktu pracy wzmacniacza różnicowego z jedno-tranzystorowym wzmacniaczem w układzie OE,
- omówić parametry charakteryzujące stabilność punktu pracy wzmacniacza różnicowego,
- omówić wpływ symetrii układu na wrażliwość termiczną wzmacniacza różnicowego,

- porównać oporność wejściową niesymetrycznie sterowanego wzmacniacza różnicowego z opornością wejściową pojedynczego stopnia OE,
- omówić cel stosowania oporników  $r_e$  i ich wpływ na wzmocnienie sygnału różnicowego,
- omówić mechanizm tłumienia sygnału wspólnego,
- omówić wpływ wartości oporności  $R_E$  na uzyskiwany współczynnik tłumienia sygnału wspólnego w zależności od stopnia symetrii wzmacniacza.

#### **6. Literatura.**

1. J. Pawłowski - Wzmacniacze i generatory .
2. J. Jaczewski - Podstawy elektroniki i energoelektroniki
3. Notatki z wykładów.