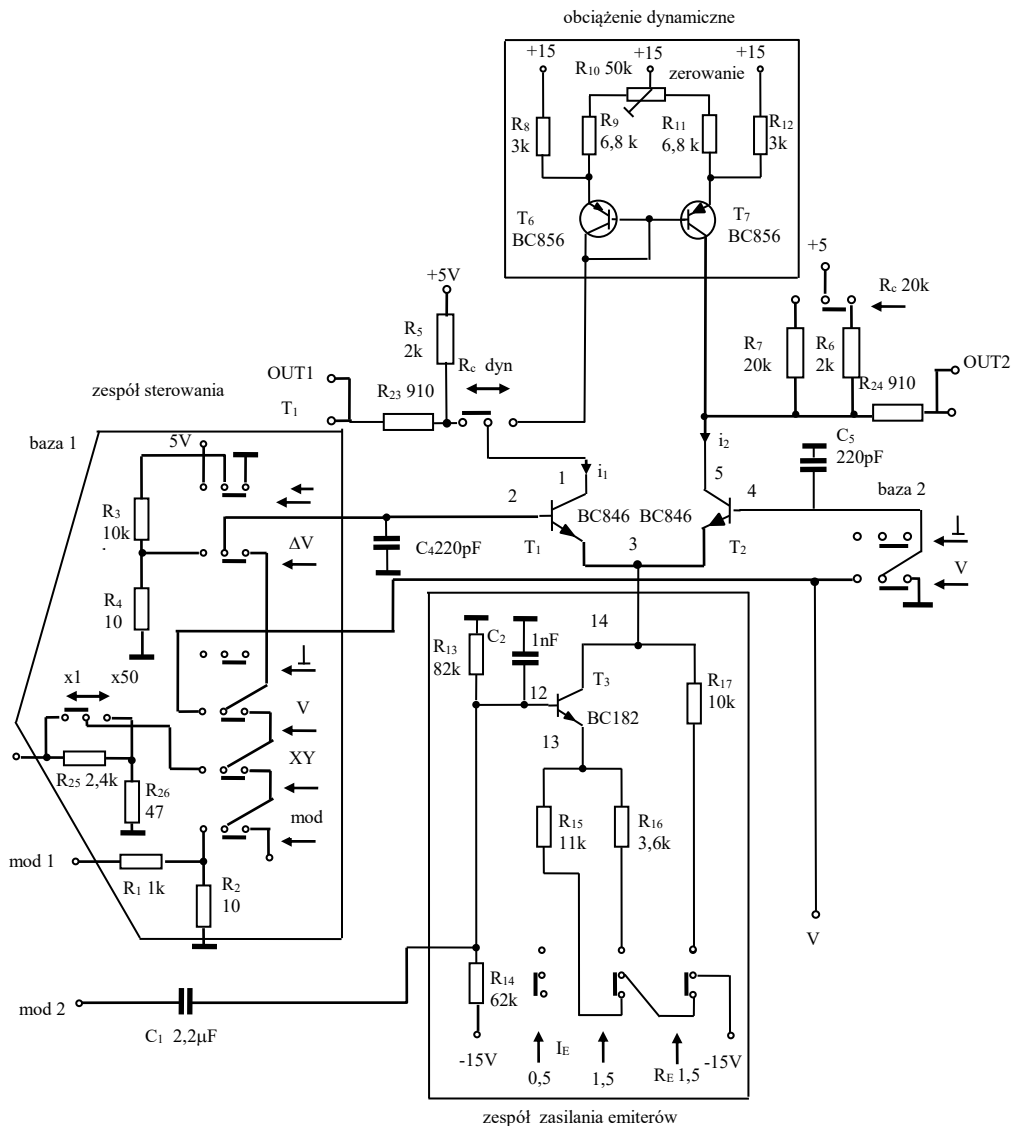


TRANZYSTOROWY UKŁAD RÓŻNICOWY (TUR)



Rys. 1. Schemat badanego układu różnicowego

1. Opis badanego układu

Badany układ różnicowy, którego schemat przedstawiono na rys. 1, składa się z dwóch tranzystorów (T_1 , T_2). Tranzystory te, w zależności od pozycji przełącznika "zespołu zasilania emiterów", są zasilane ze źródła prądowego T_3 o wydajności 0,5 lub 1,5 mA lub przez rezystor R_{17} . W tym drugim przypadku prąd zasilania emiterów wynosi również około 1,5 mA. Układ różnicowy może być obciążony obciążeniem liniowym (rezystory R_5 i R_6) lub lustrem prądowym (T_6 , T_7). Zmiany rodzaju obciążenia dokonuje się przełącznikiem suwakowym " R_c -dyn". W przypadku obciążenia lustrem prądowym (Rys. 2) rezystor R_c służy do ograniczenia wzmocnienia różnicowego (przy bardzo dużych wartościach k_{ur} utrzymanie układu różnicowego w stanie równowagi jest bardzo trudne). Przy braku wysterowania napięcie wyjściowe równe jest $U_{CC} = 5$ V, bez względu na wartość prądu zasilania emiterów. Zakres aktywnej pracy tranzystora T_2 ograniczony jest z jednej strony jego zatknięciem (u_{WY2} wynosi wówczas $U_{CC} + I_E \cdot R_c$), z drugiej zaś - jego nasyceniem, tzn. przewodzeniem złącza B-C tranzystora T_2 . Przełącznik " R_c -20 k Ω " umożliwia zmianę wartości R_c i zaobserwowanie wynikających stąd zmian wzmocnienia.

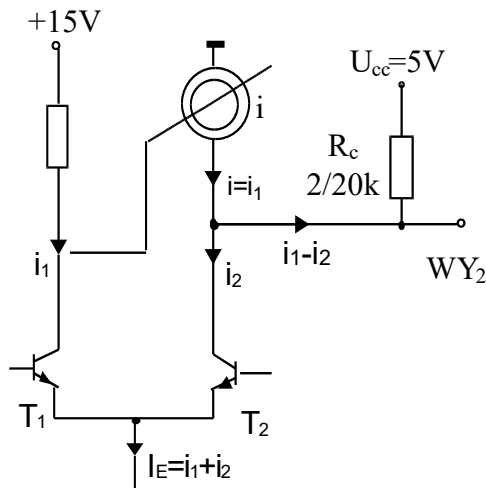
Wybór rodzaju sygnału wejściowego w różnych eksperymentach umożliwia „zespół sterowania” bazy tranzystora T_1 (BASE 1) oraz przełącznik sterowania bazy T_2 (BASE 2). Do bazy T_1 można doprowadzić:

- przyrost (skok) napięcia stałego równy 5 mV (selektor BASE 1 w pozycji ΔV i naciśnięcie przycisku ' ΔV ') – stosuje się w pomiarach wzmocnienia różnicowego;
- napięcie stałe lub zmienne z zewnętrznego źródła napięciowego/generatora (selektor BASE 1 w pozycji V), - stosuje się w pomiarach wzmocnienia sumacyjnego;

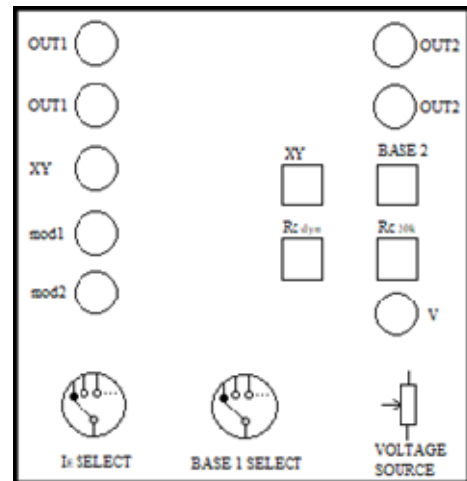
- napięcie liniowo-narastające z generatora, stosowane przy obserwacji charakterystyk przejściowych (XY);
- sygnał sinusoidalny z generatora sygnałów doprowadzany do wejścia 'mod 1'. Sygnał ten jest tłumiony przez dzielnik napięcia $R_1/(R_1+R_2)=100$, o czym należy pamiętać przy obliczaniu wzmocnienia.

Do bazy T_2 można doprowadzić (i) napięcie stałe lub zmienne z zewnętrznego źródła napięciowego/generatora (BASE2 w pozycji V) – stosuje się w pomiarach wzmocnienia sumacyjnego (ii) potencjał masy tj. 0 V (BASE2 w pozycji '⊥').

Na wyjściach układu różnicowego znajdują się dodatkowe rezystory szeregowo R_{23} , R_{24} , zabezpieczające przed wzbudzeniem się układu po obciążeniu go kablami łączącymi. Rezystory te, wobec dużej rezystancji wejściowej przyrządów pomiarowych, zazwyczaj większej niż $1\text{ M}\Omega$, praktycznie nie wprowadzają błędów pomiaru.



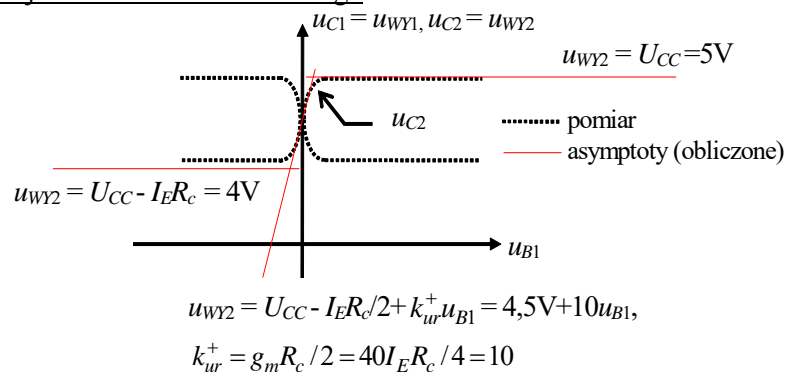
Rys.2. Schemat rozplywu prądów w przypadku obciążenia badanego układu lustrem prądowym (pozycja 'dyn' przełącznika obciążenia).



Rys. 3. Rozmieszczenie gniazd i przełączników badanego układu

2. OBSERWACJE I POMIARY

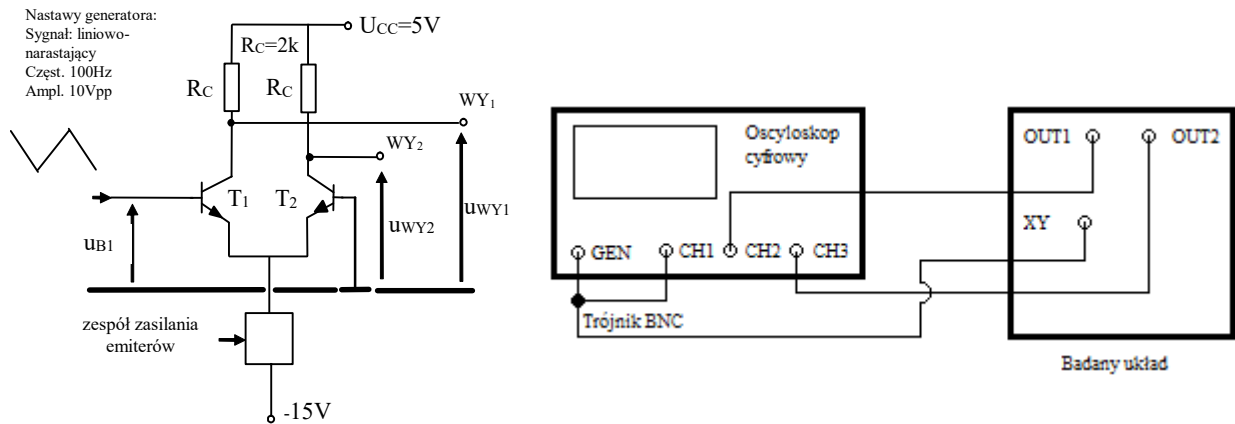
2.1. Charakterystyki przejściowe układu różnicowego



Rys. 4. Przykładowe charakterystyki przejściowe pary różnicowej: zmierzone (linie kropkowane) i obliczone (linie ciągłe).

Statyczne charakterystyki przejściowe u_{WY1} , $u_{WY2} = f(u_{B1})$ tranzystorowego układu różnicowego z obciążeniem liniowym R_C mają w przybliżeniu kształt przedstawiony na rys. 4. Można je wyznaczyć za pomocą oscyloskopu cyfrowego w normalnym trybie pracy rejestrując przebiegi $U_{WY2}(t)$, $U_{WY1}(t)$ i $U_{WE}(t)$ i zapisując je w formie plików tekstowych (np. *.csv) (Uwaga: tryb pracy XY nie działa w przypadku pracy z 3 kanałami). Sprzężenia we wszystkich kanałach oscyloskopu powinny być sprzężeniami DC. Pomiaru dokonać dla bazy T_2 dołączonej do masy (praca różnicowa), dla 5.

przypadków podanych w Tabeli 1 w pozycji przełącznika skali x50, oraz dodatkowo (powtórnie) dla przypadków 3 i 5 w pozycji przełącznika skali x1.



Rys. 5. Uproszczony schemat badanego układu oraz układ pomiaru statycznych charakterystyk przejściowych.

W sprawozdaniu w polu zmierzonych charakterystyk przejściowych rysować linie (asymptoty) opisujące zależności $u_{WY2} = f(u_{B1})$, $u_{WY1} = f(u_{B1})$ w różnych zakresach napięcia wejściowego obliczone dla poszczególnych układów. W polu rysunków umieścić równania tych linii tak, jak to pokazano na rys. 4. W obliczeniach przyjąć: $U_{CC} = 5\text{ V}$, $U_{EE} = -15\text{ V}$, $R_C = 2\text{ k}\Omega$, $R_E = 10\text{ k}\Omega$.

Tabela 1

Lp.	Obciążenie	Zasilanie emiterów
1.	liniowe, $R_C = 2\text{ k}\Omega$	$I_E = 0,5\text{ mA}$
2.	---	$I_E = 1,5\text{ mA}$
3.	---	R_E
4.	dynamiczne $R_C = 2\text{ k}\Omega$	$I_E = 1,5\text{ mA}$
5.	---	R_E

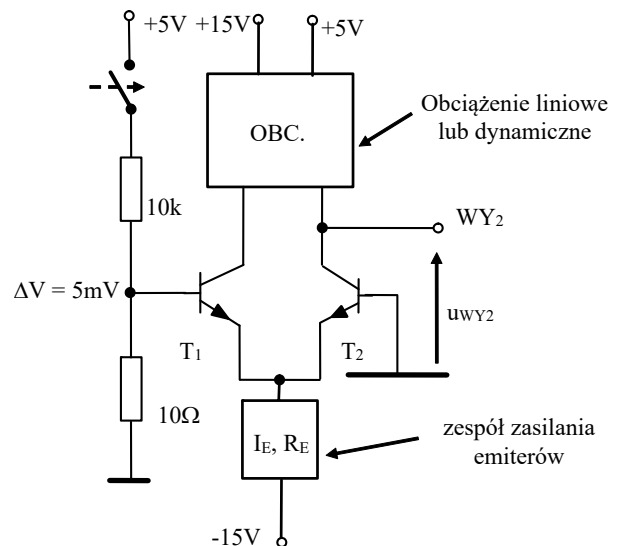
2.2. Wzmocnienie małosygnałowe układu różnicowego

2.2.1. Pomiar metodą przyrostową

Wzmocnienia różnicowe układu badanego określa się na podstawie pomiaru przyrostu napięcia na kolektorze T_1 (k_{ur}^-), T_2 (k_{ur}^+) lub napięcia pomiędzy kolektorami (k_{ur}) (patrz rys. 6a), który powstaje wskutek zwiększenia napięcia różnicowego o 5 mV. Jest to realizowane przez podanie skoku napięcia $\Delta u_{B1} = 5\text{ mV}$ przy $u_{B2} = 0$. Dokonuje się wybierając pozycję 'ΔV' selektora BASE 1 i wciskając przycisk 'ΔV' przy, przy czym baza T_2 powinna być połączona z masą za pomocą przycisku BASE 2 (pozycja '⊥'). Przyrosty napięć wyjściowych u_{WY2} i u_{WY1} mierzyć za pomocą woltomierzy dc.

Wzmocnienia sumacyjne k_{us} określa się mierząc przyrost napięć wyjściowych, wynikający z jednoczesnej zmiany napięcia na obu wejściach w zakresie np. od -2 do +2 V. W tym celu bazy tranzystorów T_1 , T_2 dołącza się równocześnie do zewnętrznego napięcia doprowadzonego do wejścia V (oba selektory tzn. BASE 1 i BASE 2 w pozycji V). Zmianę napięcia wejściowego należy mierzyć woltomierzem, przyłączonym do gniazda „V” (Rys. 6b).

Wzmocnienia różnicowe (k_{ur}^- , k_{ur}^+ , k_{ur}) i sumacyjne (k_{us}^- , k_{us}^+ , k_{us}) należy zmierzyć dla 5. przypadków podanych w Tabeli 1. Wyniki pomiarów i obliczeń umieścić w Tabelach pomiarowych 2 i 3.



Rys. 6a. Uproszczony schemat układu w czasie pomiarów wzmocnienia różnicowego

W sprawozdaniu należy:

-Pod tabelami pomiarowymi podać wzory stosowane do obliczania na podstawie pomiarów współczynników

$k_{ur}^-, k_{ur}^+, k_{ur}^-, k_{us}^+, k_{us}^-, k_{us}^+$.

-Umieścić w tabelach wartości w/w współczynników obliczone teoretycznie (w p. 2.1). W obliczeniach, tam gdzie to konieczne, przyjąć wartości parametrów tranzystorów podane w dokumentacji układu UL1111 (rys. 7).

-Wymienić możliwe przyczyny różnic między wartościami rzeczywistymi i teoretycznymi.

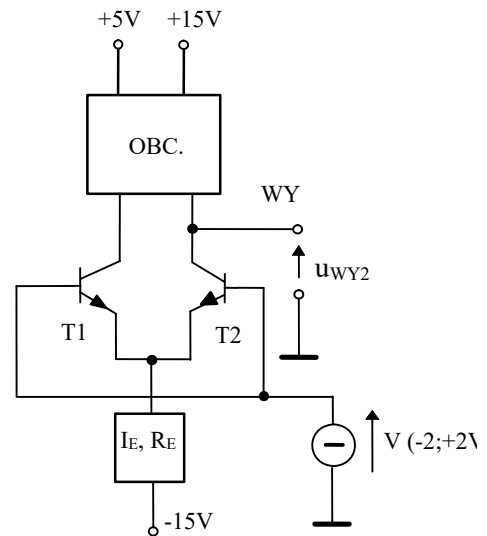
-Podać odpowiednie wzory, obliczyć i umieścić w tabeli wartości współczynników CMRR, CMRR⁺, CMRR⁻.

Odpowiedzieć na pytania:

- Jakie skutki spowodowałyby zwiększenie R_C do wartości 20 k Ω w układzie nr 2?

- Jaka jest maksymalna wartość wzmocnienia różnicowego (rezystancji R_C) w układzie nr 2?

- Jaka jest maksymalna wartość wzmocnienia różnicowego (rezystancji R_C) w układzie nr 4/5?



Rys. 6b. Uproszczony schemat układu w czasie pomiarów wzmocnienia sumacyjnego.

Tabela 2. Pomiar wzmocnienia różnicowego

Zasilanie emiterów	Obciążenie	U_r	U_{wy1}	U_{wy2}	k_{ur}^-	k_{ur}^+	k_{ur}	k_{ur}^-	k_{ur}^+	k_{ur}
		mV	V	V	pomiar			teoria		
$I_E = 0,5 \text{ mA}$	$R_C = 2 \text{ k}\Omega$	0								
		5								
$I_E = 1,5 \text{ mA}$	$R_C = 2 \text{ k}\Omega$	0								
		5								
$R_E = 10 \text{ k}\Omega$	$R_C = 2 \text{ k}\Omega$	0								
		5								
$I_E = 1,5 \text{ mA}$	dyn. $R_C = 2 \text{ k}\Omega$	0	---		---			---		
		5	---							
$R_E = 10 \text{ k}\Omega$	dyn. $R_C = 2 \text{ k}\Omega$	0	---		---			---		
		5	---							

() wielkości mierzone, () wielkości obliczane na podstawie pomiarów

Tabela 3. Pomiar wzmocnienia sumacyjnego

Zasilanie emiterów	Obciążenie	$U_s = V$	U_{wy1}	U_{wy2}	k_{us}^-	k_{us}^+	k_{us}	k_{us}^-	k_{us}^+	k_{us}
		V	V	V	pomiar			teoria		
$I_E = 0,5 \text{ mA}$	$R_C = 2 \text{ k}\Omega$									---
$I_E = 1,5 \text{ mA}$	$R_C = 2 \text{ k}\Omega$									---
$R_E = 10 \text{ k}\Omega$	$R_C = 2 \text{ k}\Omega$									---
$I_E = 1,5 \text{ mA}$	dyn. $R_C = 2 \text{ k}\Omega$		---		---			X		

$R_E = 10 \text{ k}\Omega$	dyn. $R_C = 2 \text{ k}\Omega$		---		---			X		

() wielkości mierzone, () wielkości obliczane na podstawie pomiarów

2.2.2. Pomiar metodą zmiennoprądową

1. Dla przypadków A i B w Tabeli 4 zmierzyć charakterystykę amplitudową wzmacniacza dla pracy różnicowej i wyjścia nieodwracającego (OUT2). Sygnał zmienny z generatora doprowadzić do wejścia „mod1” układu i wybrać ten rodzaj sterowania przełącznikiem BASE 1 SELECT (pozycja „mod”). Amplitudę sygnału wejściowego dobrać tak (np. 5V_{pp} - zauważ, że napięcie doprowadzone do wejścia ‘mod1’ jest 100-krotnie tłumione), aby nie wystąpiły zniekształcenia sygnału na wyjściu. Napięcia wyjściowe i wejściowe mierzyć oscyloskopem cyfrowym (funkcja „Meas”, sprzężenia kanałów AC) w funkcji częstotliwości. Pomiar przeprowadzić w zakresie $10 \text{ Hz} < f < 2 \text{ MHz}$. W obliczeniach wzmocnienia uwzględnić 100-krotnie tłumienie sygnału wejściowego. Wyznaczyć górną częstotliwość graniczną wzmacniacza. Wartość wzmocnienia k_{ur} w zakresie m.cz. porównać z wartością obliczoną w p.2.2.1.

2. Zmierzyć charakterystykę amplitudową wzmacniacza dla pracy sumacyjnej. Zewrzeć oba wejścia wzmacniacza i połączyć je z gniazdem V (wybrana pozycja „V” na selektorach BASE 1 i BASE 2), do którego należy doprowadzić sygnał zmienny (sinus) z zewnętrznego generatora. Jego amplituda nie powinna przekraczać wartości 5 V_{pp}. Pomiar przeprowadzić w zakresie $10 \text{ Hz} < f < 2 \text{ MHz}$, dla tych samych wartości częstotliwości, dla których mierzono wzmocnienie różnicowe. Wartość wzmocnienia k_{us} w zakresie m.cz. porównać z wartością obliczoną w p.2.2.1.

Tabela 4

zespół	1	2	3	4	5	6
A/B	4/5	2/3	3/5	2/4	4/5	2/3

W sprawozdaniu należy:

-Wykreślić na jednym wykresie wszystkie zmierzone charakterystyki $k_{ur}(f)$ i $k_{us}(f)$ (k_u [dB], f [Hz] skala log).

-Obliczyć i wykreślić (na jednym wykresie) w funkcji częstotliwości współczynnik CMRR (w [dB]) dla obu zmierzonych przypadków.

3. WYKAZ APARATURY POMOCNICZEJ

- oscyloskop cyfrowy
- woltomierz dc (2 szt)
- kabel dc/BNC, trójnik BNC