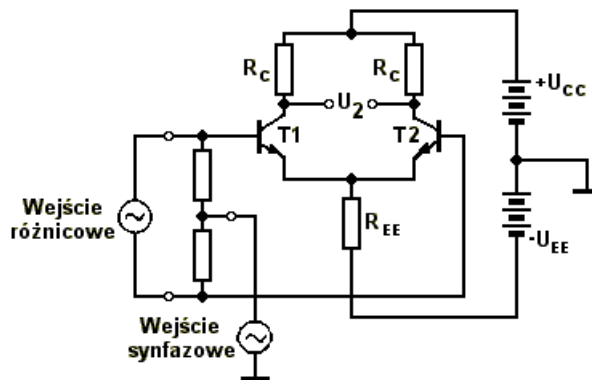


WZMACNIACZE RÓŻNICOWE

1. WSTĘP

Wzmacniacz różnicowy działa na zasadzie układu mostkowego składającego się z dwóch tranzystorów. Układ taki już od dawna znany był w technice pomiarowej. Z chwilą pojawienia się układów scalonych wzmacniacz różnicowy, ze względu na swoje zalety, znalazł zastosowanie także w elektronicznym sprzęcie powszechnego użytku w zakresie od m.cz. aż do w.cz.

Wzmacniacz różnicowy składa się z dwóch tranzystorów połączonych w układzie mostkowym (Rys.1).



Rys.1 Wzmacniacz różnicowy.

Jeżeli tranzystory mają dokładnie takie same parametry, a rezystory dokładnie takie same wartości (przy produkcji układów scalonych jest to łatwe do uzyskania), to mostek znajduje się w równowadze i napięcie wyjściowe $U_2 = 0$. Gdy do **wejścia różnicowego** przyłożony zostanie sygnał napięcia przemiennego, to w obwodach sterujących obydwu tranzystorów powstaną napięcia o takich samych amplitudach, ale przeciwnych fazach. W skutek tego prądy przepływające w obwodach kolektorów będą się zmieniać w przeciwfazie i na zaciskach wyjściowych u_2 powstanie wzmacnione napięcie z wejścia różnicowego.

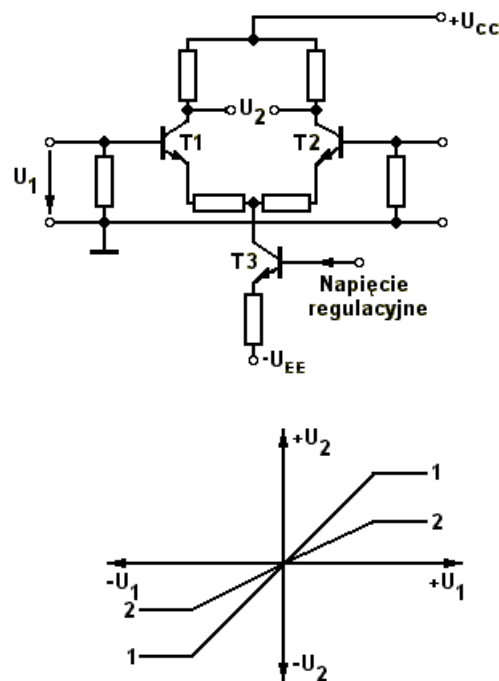
Gdy jednak do zacisków wejściowych doprowadzi się sygnały o zgodnych fazach, to obydwu tranzystory zostaną wysterowane w tym samym kierunku i napięcie u_2 na przekątnej mostka wyniesie zero. Nazywa się to tłumieniem sygnału współbieżnego (synfazowego, nieróżnicowego). Takimi sygnałami synfazowymi są np. wahania napięcia zasilania lub indukowany w przewodach zasilających przydźwięk sieci. Sygnał współbieżny powstaje także wtedy, gdy obydwu tranzystory równomiernie się nagrzewają i w związku z tym tak samo rosną ich prądy kolektora. Napięcie wyjściowe u_2 wówczas się nie zmienia zwłaszcza wtedy, gdy obydwu tranzystory, umieszczone tuż obok siebie, znajdują się w dobrym kontakcie cieplnym i zawsze mają jednakową temperaturę. Przypadek taki występuje w układach scalonych, w których wszystkie tranzystory są wykonane na jednej i tej samej płytce krzemowej. Scalony wzmacniacz różnicowy jest więc bardzo stabilny temperaturowo (ma mały dryft temperaturowy.)

Ważną dla działania wzmacniacza różnicowego jest jego wspólna rezystancja R_{EE} w obwodzie emiterów. Gdy na skutek sygnału współbieżnego będzie chciał wzrosnąć prąd całkowity płynący przez rezystancję R_{EE} , to **w obydwu** tranzystorach napięcie bazy U_{BE} zmieni się w taki sposób, że ograniczy wzrost prądu. Natomiast w przypadku sygnałów

przeciwsobnych (różnicowych) na wejściu różnicowym prąd płynący przez jeden tranzystor zmniejszy się w takim samym stosunku, w jakim wzrośnie prąd w drugim tranzystorze. Prąd w obwodzie emiterów pozostanie stały nawet przy zwiększeniu wejściowych napięć przeciwsobnych. Rezystancja w tym obwodzie nie ma więc prawie wpływu na wzmocnienie różnicowe. Im większa rezystancja w obwodzie emiterów, tym bardziej stabilny prąd całkowity i tym lepiej są tłumione zakłócenia powodowane przez sygnały synfazowe (współbieżne) i zmiany temperatury. Dlatego często zamiast rezystora R_{EE} stosuje się tranzystor pracujący jako źródło prądowe (które ma dużą różniczkową rezystancję wewnętrzną, a przy tym jego rezystancja statyczna - stałoprądowa jest niewielka).

1.2 Wzmacniacz różnicowy o regulowanym wzmocnieniu

Ten sam układ, a mianowicie tranzystor zastępujący wspólną rezystancję w obwodzie emiterów, można wykorzystać także do innych celów. Gdy do tranzystora T_3 nie doprowadzi się stałego napięcia polaryzacji bazy, lecz zmienne, jak na rysunku 2, to można nim regulować prąd emitera T_3 i tym samym wielkość sumy prądów emiterów T_1 i T_2 .



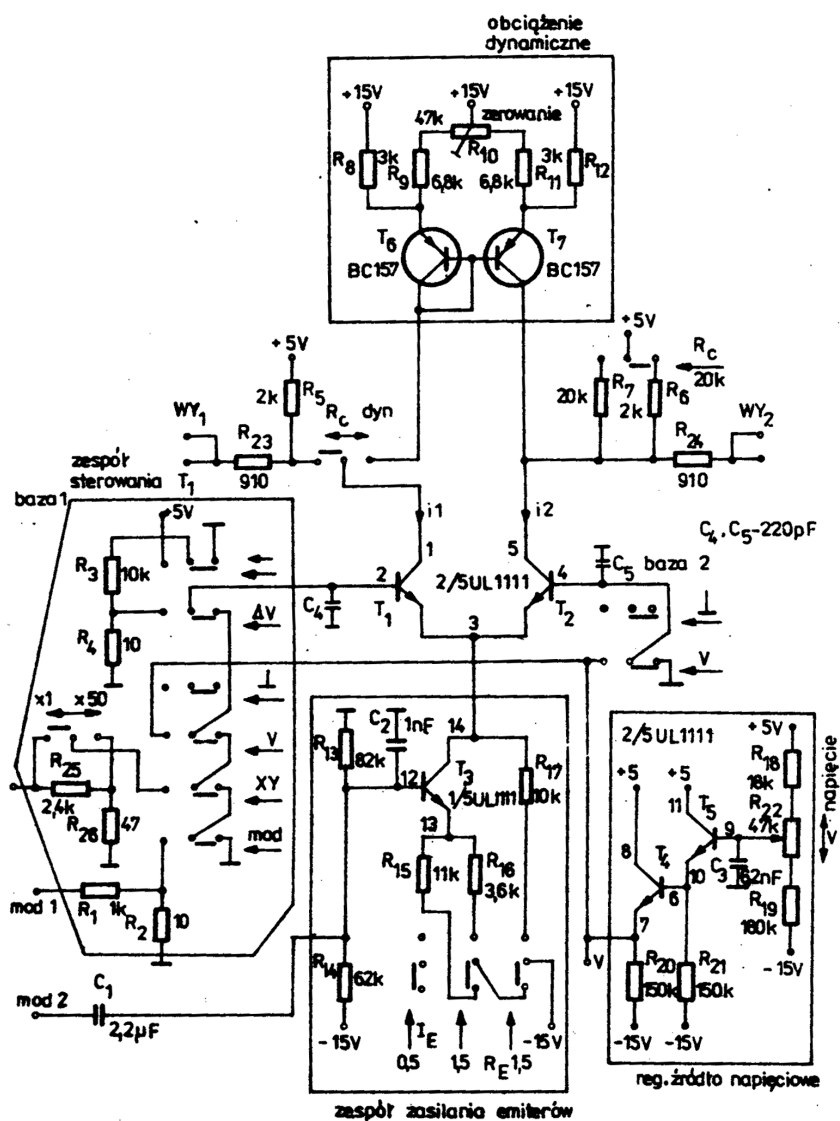
Rys. 2 Wzmacniacz różnicowy o regulowanym wzmocnieniu i jego charakterystyki przejściowe dla dwóch różnych prądów tranzystora T_3 .

Gdy w doprowadzeniach emiterów tranzystorów umieścimy dodatkowo po jednym rezystorze, to uzyskamy jeszcze lepszą symetrię mostka i szerszy zakres wysterowania. Na rysunku 2 przedstawiono charakterystyki przejściowe układu.. Linia 1 dotyczy przypadku, gdy przez tranzystor regulacyjny T_3 płynie większy prąd. Napięcie U_2 jest dla małych wartości proporcjonalne do napięcia wejściowego U_1 .

2. OPIS TECHNICZNY BADANEGO UKŁADU

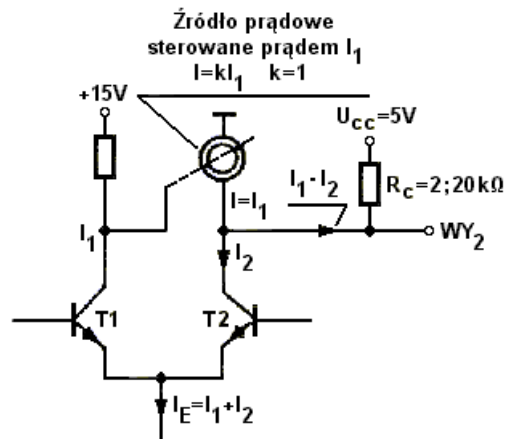
W ćwiczeniu wykorzystujemy wkładkę DUR1 (albo DN031A) zawierającą wzmacniacz różnicowy z możliwością zastosowania różnego rodzaju obciążeń jak i zasilania emiterów.

Układ różnicowy, którego schemat przedstawiano na rys. 3. składa się z dwóch tranzystorów (T_1, T_2) monolitycznego układu scalonego UL1111. Tranzystory te są polaryzowane przez przełączany układ pomocniczy, który w zależności od pozycji przełącznika może realizować prądowe zasilanie emiterów (źródło prądowe T_3 o wydajności 0,5 lub 1,5 mA) lub też - zasilanie quasiprądowe - przez rezystor R_{17} . W tym drugim przypadku prąd zasilania emiterów wynosi około 1,5 mA.



Rys.3. Schemat badanego układu różnicowego DUR1 (DN031A).

Badany układ różnicowy może współpracować z obciążeniem liniowym (rezystory R_5 i R_6) lub z obciążeniem dynamicznym sterowanym (wtórnik prądowy T_6, T_7). Zmiany rodzaju obciążenia dokonuje się przełącznikiem suwakowym "Rc - dyn". W pozycji "Rc" kolektory obu tranzystorów T_1 i T_2 dołączone są przez rezystory do napięcia zasilania +5V. Tranzystory wtórnika prądowego T_6, T_7 są wówczas zatkane. W pozycji "dyn" układ różnicowy zasilany jest w sposób pokazany na rys. 4.



Rys.4 Zasilanie kolektorów układu różnicowego za pomocą wtórnika (lustra) prądowego w pozycji "dyn" przełącznika rodzaju obciążenia.

Jak widać na rysunku, ten sposób zasilania umożliwia uzyskanie dużych wartości napięciowego wzmocnienia różnicowego (przy $R_E \rightarrow \infty$) oraz eliminację sygnału wspólnego (do obciążenia płynie różnica prądów kolektorów). co - po pierwsze - prowadzi do radykalnego zmniejszenia wzmocnienia sumacyjnego k_{US} , zaś po drugie - do uzyskania różnicowego sygnału na wyjściu niesymetrycznym. Rezystor R_C w przypadku obciążenia dynamicznego służy do ograniczenia wzmocnienia różnicowego, bowiem przy bardzo dużych wartościach k_{UR} utrzymanie układu różnicowego w stanie równowagi jest bardzo trudne, np. ze względu na różnice charakterystyk tranzystorów T_1 i T_2 lub niesymetrię wtórnika prądowego T_6, T_7 . Płyty czołowe modułów DUR1 oraz DN031A przedstawiono na rys.11.

3. WYKAZ APARATURY POMOCNICZEJ

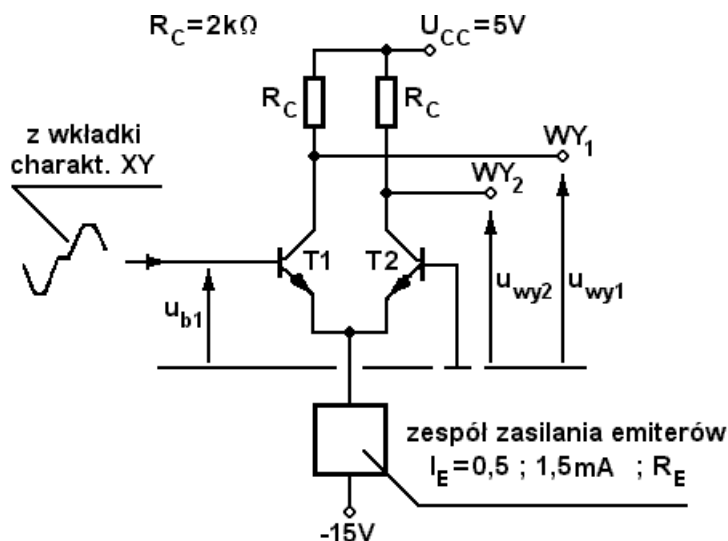
- wkładka charakterograficzna 2 - kanałowa SCH1 (SN7212)
- przełącznik 4 - kanałowy (2 - kanałowy) "dc" SP2, SP4 (SA4011)
- generator sygnałów synfazowych SGS3 (SN3112)

4. OBSERWACJE I POMIARY

4.1 Obserwacja statycznych charakterystyk przejściowych układu różnicowego

Ideę obserwacji charakterystyk przejściowych przedstawia rys. 5. Charakterystyki przejściowe obu części układu mogą być obserwowane jednocześnie za pomocą wkładki charakterograficznej dwukanałowej SCH1 (SN7212). Po połączeniu układu zgodnie z rys.6, we wzmacniaczu należy ustawić tryb pracy XY i uziemić bazę tranzystora T_2 poprzez wciśnięcie odpowiednich przycisków.

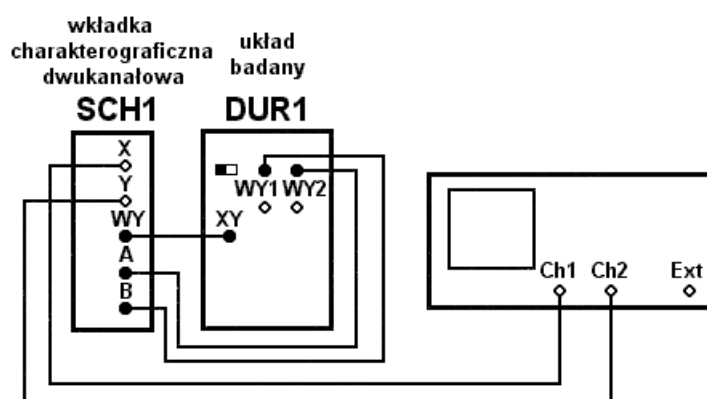
Na ekranie oscyloskopu należy obejrzeć i przerysować do protokołu charakterystyki układu współpracującego z różnymi obciążeniami i dla różnych warunków zasilania emiterów. W szczególności dla symetrycznego obciążenia liniowego $R_C = 2k\Omega$ i prądu $I_E = 0,5[mA]$, trzeba określić przyporządkowanie tranzystorów do charakterystyk i ustalić który tranzystor jest odwracający ze względu na sygnał wejściowy. Zmierzyć szerokość zakresu



Rys.5 Uproszczony schemat układu badanego przy obserwacji statycznych charakterystyk przejściowych.

roboczego napięcia wejściowego. Na przebiegach napięć wyjściowych, zidentyfikować przypuszczalne stany pracy tranzystorów - aktywny, odcięcia prądu kolektora, nasycenia.

Zmienić prąd zasilania emiterów na 1,5[mA], jakie zmiany nastąpiły w przebiegach; określić te zmiany jakościowo i ilościowo. Jak wielkie jest teraz wzmacnienie różnicowe ?.



Rys.6 Schemat blokowy połączenia przyrządów pomiarowych do obserwacji statycznych charakterystyk przejściowych układu różnicowego DUR1 (DN031A).

Zaproponować alternatywne sposoby powiększania wzmacnienia układu. Zmierzyć wzmacnienie napięciowe na wyjściach asymetrycznych (kolektor – masa) dla obciążenia dynamicznego i porównać z adekwatnym przypadkiem obciążenia statycznego.

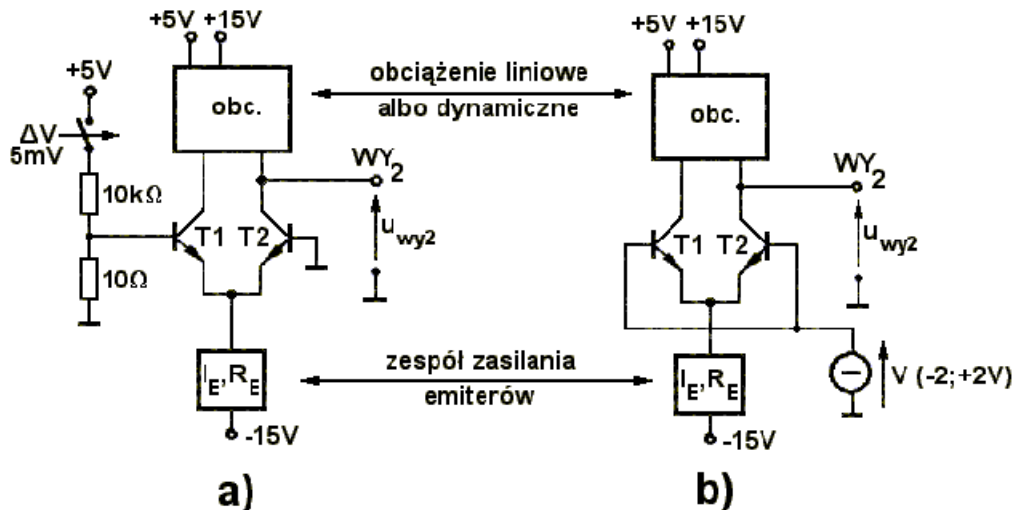
Zaobserwować zmiany w charakterystykach układu dla prądu emiterów $I_E = 1,5[mA]$ w przypadku źródła prądowego oraz rezystora emiterowego R_E . W obu tych przypadkach obciążenie tranzystorów powinno być statyczne $R_C = 2k\Omega$. Wyjaśnić dlaczego napięcie wyjściowe z kolektora tranzystora T_1 od pewnych wartości napięcia wejściowego zaczyna wzrastać. Ile wynosi wtedy wzmacnienie ?.

Należy także zbadać wpływ zmian napięcia bazy T_2 (włączyć $U_{b2} = V$) na położenie obu charakterystyk przejściowych w kilku z badanych poprzednio przypadków.

Na zakończenie zaobserwować dokładny przebieg charakterystyk przejściowych w zakresie przełączania prądu zwiększając 50-krotnie czułość odchylenia we wkładce DUR1 (DNO31A). Baza T_2 winna być wtedy ponownie zwarta do masy.

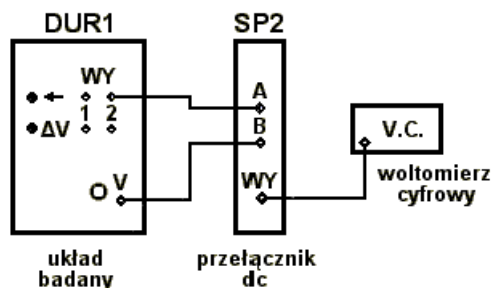
4.2. Pomiary wzmocnienia różnicowego układu

W tej części ćwiczenia badany układ będzie traktowany jako wzmacniacz różnicowy, którego wejściem nieodwracającym jest baza T_1 , odwracającym - baza T_2 , zaś wyjściem - kolektor T_2 . Ideę pomiaru przedstawiono na rys. 8a.



Rys.8 Uproszczone schematy ideowe układu badanego przy pomiarach wzmocnienia różnicowego a) i sumacyjnego b).

Do pomiarów wzmocnienia różnicowego k_{UR} trzeba zatem włączyć tryb " ΔV " bazy T_1 i uziemić bazę T_2 . Przełącznik SP4 albo SP2 (SA4011) powinien być w pozycji "A" (pomiar napięcia U_{wy2}). Poszukiwane wzmocnienie różnicowe jest ilorazem chwilowego przyrostu napięcia kolektora tranzystora T_2 (WY_2) i wzrostu napięcia wejściowego o 5[mV] podczas naciskania klawisza " \leftarrow ". Schemat blokowy połączenia aparatury do pomiarów wzmocnień przedstawia rysunek 7. Pomiary należy przeprowadzić dla 6 kombinacji układowych zamieszczonych w Tabeli 1.



Rys 7. Schemat blokowy układu do pomiarów wzmocnienia różnicowego i sumacyjnego.

4.3. Pomiary wzmocnienia sumacyjnego

Wzmocnienie sumacyjne k_{US} układu określa się na podstawie pomiaru zmiany napięcia kolektora T_2 (WY_2), która powstaje w wyniku zmiany napięcia między połączonymi

równolegle bazami tranzystorów T_1 i T_2 , a masą układu, patrz rys. 8b. Zgodnie z tą ideą, trzeba obie bazy przełączyć w tryb "V". Napięcie wejściowe - "V", mierzone w położeniu "B" przełącznika SP4 albo SP2 (SA4011), należy zmieniać od jednej skrajnej jego wartości do drugiej. Dla każdej z tych wartości napięcia "V" odnotować odpowiadające im wartości napięcia wyjściowego u_{wy2} (pomiar w położeniu "A" przełącznika). Zatem w każdym z 6 przypadków Tabeli 1 dysponować się będzie parą wartości napięcia wejściowego i odpowiadającymi im dwoma wartościami napięcia wyjściowego.

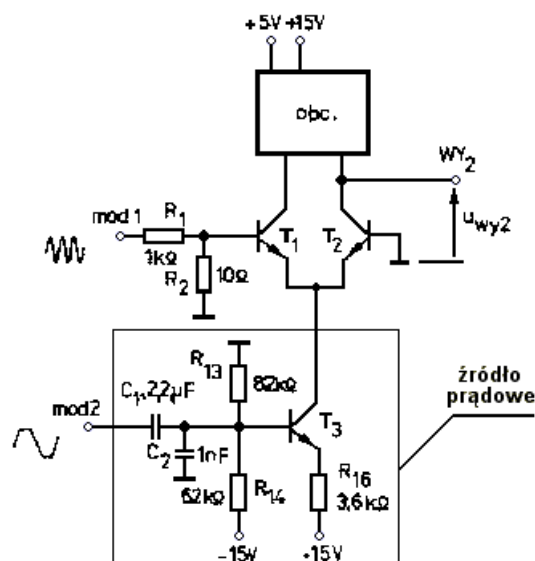
Tabela 1
Warunki pomiaru wzmocnienia k_{UR} i k_{US} badanego układu różnicowego

Lp.	Obciążenie	Zasilanie emiterów
1	liniowe, $R_C = 2\text{ k}\Omega$	$I_E = 0,5\text{ mA}$
2	liniowe, $R_C = 2\text{ k}\Omega$	$I_E = 1,5\text{ mA}$
3	liniowe, $R_C = 2\text{ k}\Omega$	R_E
4	Dynamiczne, $R_C = 2\text{ k}\Omega$	$I_E = 1,5\text{ mA}$
5	Dynamiczne, $R_C = 20\text{ k}\Omega$	$I_E = 1,5\text{ mA}$
6	Dynamiczne, $R_C = 2\text{ k}\Omega$	R_E

Jako opracowanie wyników z pkt. 4.2 i 4.3, dla każdego mierzonego przypadku, należy obliczyć współczynnik tłumienia składowej sumacyjnej CMRR (WTSS) - to jest iloraz wzmocnień k_{UR} i k_{US} .

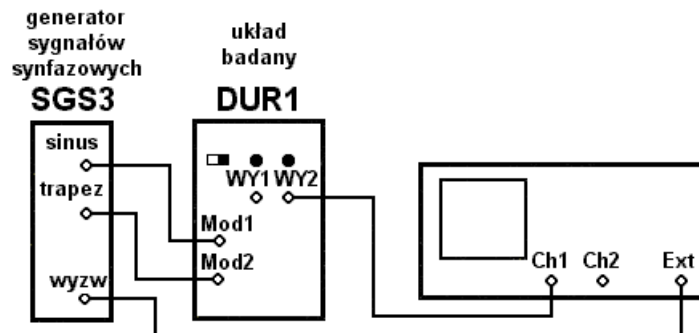
4.4. Badanie wzmacniacza różnicowego jako układu analogowego mnożenia sygnałów

Wykorzystując zależność wzmocnienia k_{UR} , od prądu zasilającego emiterzy tranzystorów układu różnicowego, można zrealizować w tym układzie operację mnożenia analogowego. W szczególnym przypadku właściwość ta może być wykorzystana do modulacji amplitudowej. Ideę takiej pracy przedstawiono na rysunku 9.



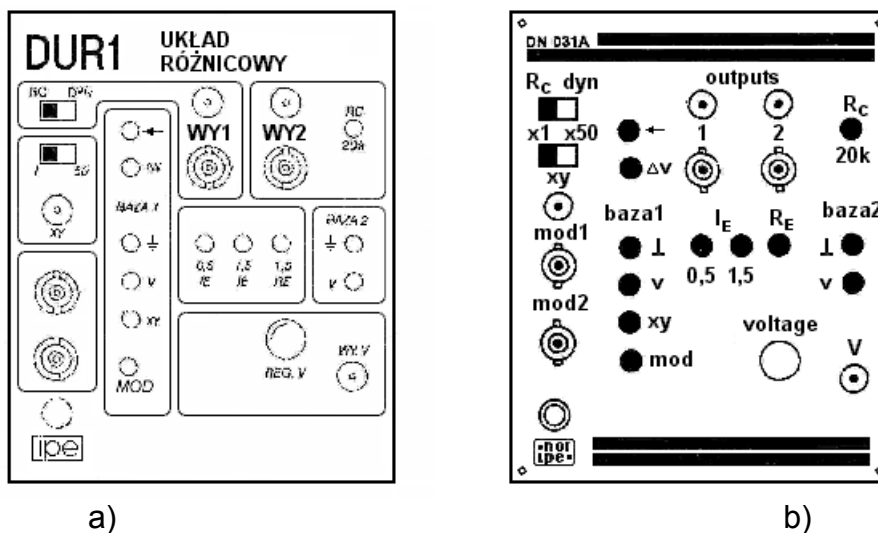
Rys.9. Uproszczony schemat układu badanego pracującego jako modulator amplitudy.

Do sterowania tego układu należy wykorzystać generator sygnałów synfazowych SGS3 (SN3112), odpowiedni schemat blokowy układu pomiarowego przedstawia rysunek 10.



Rys.10. Schemat blokowy do badania układu różnicowego pracującego jako analogowy układ mnożący.

Tryb pracy bazy tranzystora T_1 należy ustawić na "MOD", baza T_2 ma być uziemiona. Układ różnicowy powinien współpracować z obciążeniem dynamicznym przy $R_c=2\text{ k}\Omega$ oraz $I_E=1,5\text{ [mA]}$. Należy pamiętać o synchronizacji oscyloskopu z generatora SGS3 (SN3112). Z pomocą prowadzącego tak ustawić amplitudy sygnałów wejściowych tak aby uzyskać 50% modulację amplitudy. Przebieg napięcia wyjściowego przerysować do protokołu z zachowaniem skali obu osi współrzędnych. Następnie przełączyć obciążenie dynamiczne na liniowe i ponownie przerysować obserwowany przebieg do protokołu.



Rys. 11. Płyty czołowe wkładek DUR1 - a) oraz DN31A - b).