

Ćwiczenie 10

Badanie przerzutników

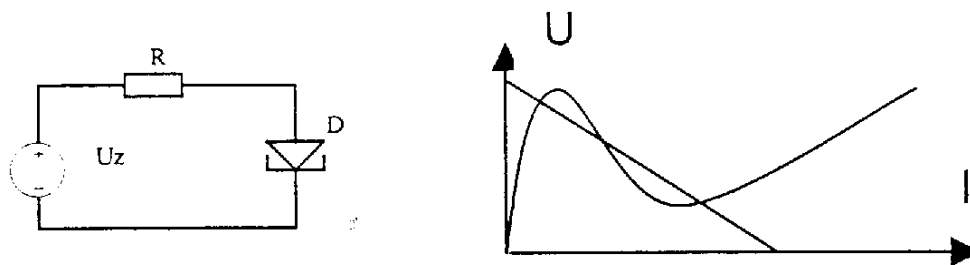
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie własności układów przerzutniowych i sposobów ich badania.

2. Wiadomości podstawowe

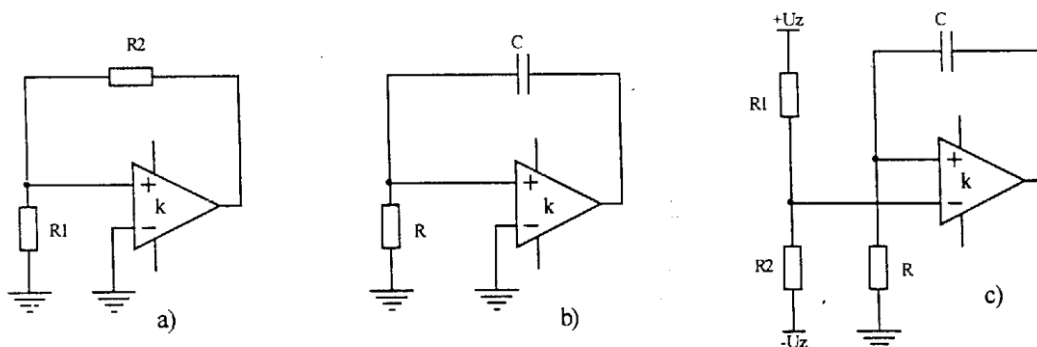
Przerzutnikami nazywamy układy, które mogą się znajdować w skończonej liczbie stanów (większej niż jeden). Stany te mogą być stabilne lub quasi stabilne (niby, prawie stabilne). Przejście od jednego do kolejnego stanu nazywamy procesem regeneracyjnym. Można powiedzieć, że istnienie tego procesu jest warunkiem istnienia przerzutnika.

Proces regeneracyjny można osiągnąć przez zastosowanie elementu o ujemnej rezystancji dynamicznej lub przez zastosowanie wzmacniacza z silnym dodatnim sprzężeniem zwrotnym. Jako silne dodatnie sprzężenie zwrotne rozumiemy tu sprzężenie, w którym wzmocnienie pętli po jej otwarciu tzw. stosunek zwrotny jest większy od jedności.



Rys. 2.1. Schemat prostego przerzutnika z elementem o ujemnej rezystancji dynamicznej i jego analiza graficzna.

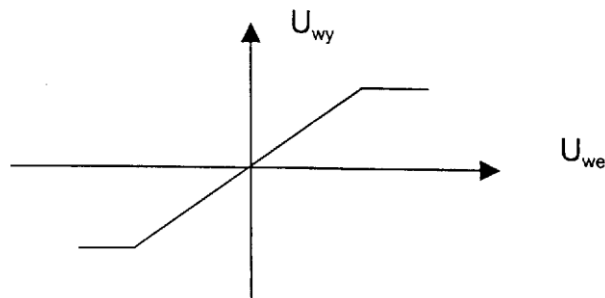
Na rys. 2.1. przedstawiono przykładowy schemat przerzutnika z elementem o ujemnej rezystancji dynamicznej - diodą tunelową. Z analizy graficznej wynika, że układ ten może mieć trzy rozwiązania (punkty przecięcia charakterystyki diody z prostą opornika). Łatwo można wykazać, że tylko dwa z nich reprezentują rozwiązania stabilne natomiast trzeci punkt (środkowy) rozwiązanie niestabilne.



Rys. 2.2. Schematy ideowe przerzutników zbudowanych w oparciu o wzmacniacz.

Inną zasadę pracy prezentują układy z rys. 2.2. W tych układach do uzyskania procesu regeneracyjnego zastosowano dodatnie sprzężenie zwrotne. Jako wzmacniacz często bywa użyty wzmacniacz operacyjny lub specjalizowany wzmacniacz wchodzący w skład elementu logicznego np. NAND. W układzie a) jako sprzężenia użyto dzielnika napięcia R_1, R_2 , zaś w układach b) i c) dzielnika RC . Układy te, będą istotnie przerzutnikami, gdy stosunek zwrotny (wzmocnienie pętli sprzężenia po jej

otwarciu) będzie większy od jedności. Jeżeli przyjąć, że wzmacniacze mają rezystancję wejściową nieskończenie wielką, to stosunek zwrotny dla układu a) wyniesie $R_2/(R_1+R_2)*k$ zaś w pozostałych, dla częstotliwości przy której można uznać, że impedancja kondensatora C jest mała w stosunku do rezystancji R, stosunek zwrotny wyniesie k. Dotyczy to sytuacji, w której wzmacniacz o wzmocnieniu k jest w stanie aktywnym. Typową charakterystykę przejściową wzmacniacza przedstawiono na rys. 2.3.



2. 3. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza.

Charakterystyka przejściowa wzmacniacza może być przesunięta w zależności od przyjętych potencjałów odniesienia dla napięcia wejściowego i dla napięcia wyjściowego. W stanie aktywnym wzmocnienie wzmacniacza $k=dU_{wy}/dU_{we}$ jest różne od zera, natomiast w stanie nasycenia (powodowanym pracą elementów aktywnych wzmacniacza w odcięciu lub nasyceniu) wynosi zero. Stąd proces regeneracyjny musi być zakończony z chwilą osiągnięcia przez wzmacniacz stanu nasycenia. Zwykle wzmacniacze posiadają dwa stany nasycenia, zatem zbudowane z nich przerzutniki są dwustanowe. Podobnie z uwagi na kształt charakterystyki elementów o ujemnej rezystancji dynamicznej też mamy do czynienia zwykle z przerzutnikami dwustanowymi. Wprawdzie jest możliwe użycie wzmacniaczy lub elementów z ujemną rezystancją dynamiczną o bardziej złożonych charakterystykach a przez to zbudowanie przerzutników wielostanowych, to jednak w takich przypadkach impuls pobudzający przerzutnik musi mieć kształt znormalizowany tak, aby przerzutnik wielostanowy po pobudzeniu przeszedł do kolejnego stanu a nie do innego stanu. Dlatego takie przerzutniki są zazwyczaj niestosowane, zaś przerzutnik wielostanowy jest budowany przez odpowiednie połączenie przerzutników dwustanowych. Spośród przerzutników dwustanowych wyróżniamy:

- Przerzutniki o obydwu stanach stabilnych - bistabilne (np. rys. 2. 2. a)
- Przerzutniki o jednym stanie stabilnym - monostabilne (np. rys. 2. 2. c)
- Przerzutniki bez stanów stabilnych - astabilne (np. rys. 2. 2. b)

2.1. Rozpoznawanie rodzaju przerzutnika

Pierwszym krokiem analizy jest ustalenie obecności w układzie dodatniego sprzężenia zwrotnego dla dużych częstotliwości lub obecności elementu o ujemnej rezystancji dynamicznej. Następnie musimy oszacować wartość stosunku zwrotnego - $k\beta > 1$ (k – wzmocnienie; β – tłumienie czwórnik sprężenia) a przy układzie z ujemną rezystancją $du/di + R' < 0$ (R' - rezystancja dla dużej częstotliwości układu włączonego szeregowo z elementem o ujemnej rezystancji) lub zbadanie analogicznego związku przy połączeniu równoległym, lecz dotyczącego przewodności. Rozpoznanie z jakim przerzutnikiem mamy do czynienia polega na analizie układu w stanie z założenia stabilnym to jest przy zastąpieniu wszystkich pojemności przerwami i wszystkich indukcyjności zwarciami. Dla tak uproszczonego układu badamy ile jest możliwych stanów stabilnych tzn. w stanie stabilnym wzmacniacz musi być w nasyceniu lub element o ujemnej rezystancji w takim punkcie pracy, w którym jego rezystancja dynamiczna jest dodatnia. Gdy element aktywny nie jest w stanie nasycenia lub analogicznym wówczas mamy do czynienia z układem astabilnym.

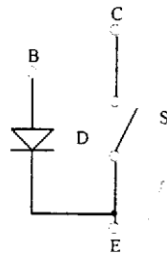
2.2. Analiza przerzutników

Zwykle analizę układów przerzutnikowych przeprowadzamy osobno dla procesu regeneracji i dla stanów quasi-ustalonych bądź ustalonych.

Analiza procesu regeneracji (przerzutu) wymaga użycia modeli tranzystorów odpowiednich dla pracy z dużymi sygnałami (nieliniowych) i dużymi częstotliwościami. Praktycznie oznacza to, z uwagi na

znaczną ilość obliczeń, konieczność przeprowadzenia tej analizy za pomocą odpowiednich programów komputerowych. Pewne ustalenia co do oszacowania czasu trwania tego procesu możemy podjąć na podstawie czasów przełączania tranzystora przy jego pracy jako klucza, lub na podstawie jego częstotliwości granicznej. Przy użyciu do budowy przerzutnika wzmacniacza operacyjnego pomocnym parametrem może być maksymalna szybkość zmiany napięcia wyjściowego (slow ratio). Możliwość przyspieszenia tego procesu sprowadza się do zwiększenia sprzężenia zwrotnego dla dużych częstotliwości (np. za pomocą pojemności przyspieszających). Jednak przesadne użycie tego sposobu, z uwagi na czas trwania stanów nieustalonych, powoduje zwłaszcza w przerzutnikach bistabilnych zwiększenie minimalnego odstępu czasu między kolejnymi impulsami pobudzającymi (zdolność rozdzielcza).

Analiza stanów quasi-stabilnych sprowadza się, do typowej analizy stanów nieustalonych z uwzględnieniem warunków brzegowych. Dla tej analizy elementy aktywne przerzutnika zastępuje się ich modelami dla stanów nieaktywnych np. w przypadku tranzystorów stanu odcięcia i stanu nasycenia. Pewną niedogodnością tej analizy jest konieczność wyznaczenia warunków początkowych na podstawie warunków końcowych z poprzedniego stanu przerzutnika.



Rys. 2.4. Najprostszy model tranzystora npr dla stanu odcięcia i nasycenia.

Na rys. 2.4. przedstawiono przykładowy model tranzystora bipolarnego dla stanu odcięcia i nasycenia. W modelu tym złożonym z diody idealnej D i wyłącznika S wyłącznik jest zamknięty, gdy płynie prąd bazy - stan nasycenia i otwarty, gdy prąd bazy nie płynie - stan odcięcia. W celu przeprowadzenia dokładniejszych analiz model ten komplikujemy wprowadzając zamiast diody idealnej model diody rzeczywistej oraz szeregowy z wyłącznikiem rezystor dla dokładniejszego odwzorowania charakterystyki nasycenia a także odpowiednio włączone źródła prądowe i rezystory dla dokładniejszego odwzorowania charakterystyki odcięcia i prądów wstecznych złącz.

2.3. Pobudzanie przerzutników

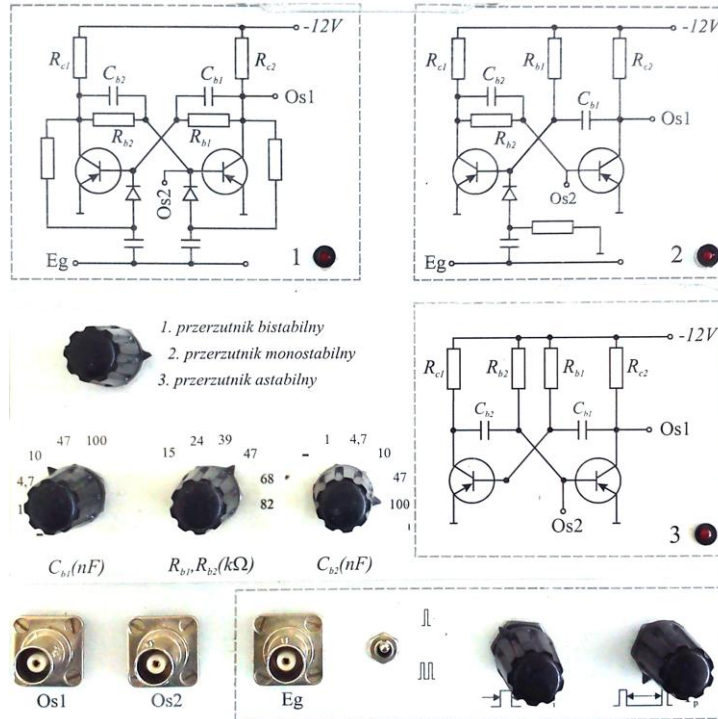
Przerzutniki bistabilne i monostabilne do swej pracy wymagają układów pobudzających. Źródłem sygnałów pobudzających jest zwykle generator napięcia prostokątnego lub inny przerzutnik. Jeżeli pomiędzy źródłem sygnału a przerzutnikiem jest układ różniczkujący, najczęściej RC, wówczas mówimy o pobudzaniu dynamicznym. W przypadku, gdy źródło steruje dodatkowymi wejściami lub dodatkowymi tranzystorami wymuszającymi określony stan, mówimy o pobudzaniu statycznym. W układach pobudzających przerzutniki bistabilne często stosowane są układy logiczne sterowane stanem przerzutnika tak, aby kolejny impuls pobudzający został skierowany na odpowiednie wejście przerzutnika i spowodował zmianę jego stanu.

2.4. Układy Eccels-Jordana

Przerzutniki w układzie Eccels-Jordana (patrz niżej schematy badanych układów) należą dziś do klasycznych układów przerzutnikowych. Do ich realizacji użyto dwóch najprostszycy wzmacniaczy odwracających fazę w układzie wspólnego emitera dawniej ich odpowiedników lampowych. Pozwoliło to na proste zrealizowanie dodatniego sprzężenia zwrotnego przez zastosowanie dzielników oporowych $R_b h_{11e}$ lub dzielników Ch_{11e} . Warunek dostatecznie silnego sprzężenia zwrotnego sprowadza się dla przerzutnika bistabilnego w przybliżeniu do $R_b/R_c < h_{21e}$ jest to równocześnie warunkiem pracy tranzystorów w nasyceniu. Warunek nasycenia dotyczy również przerzutnika monostabilnego i astabilnego zapewniając ładowanie się kondensatorów do napięcia bliskiego napięciu zasilania. Poprawna (klasyczna) praca tych ostatnich wymaga pełnego naładowania kondensatorów, co można sprowadzić do warunku $0,69R_b C > 3R_c C$.

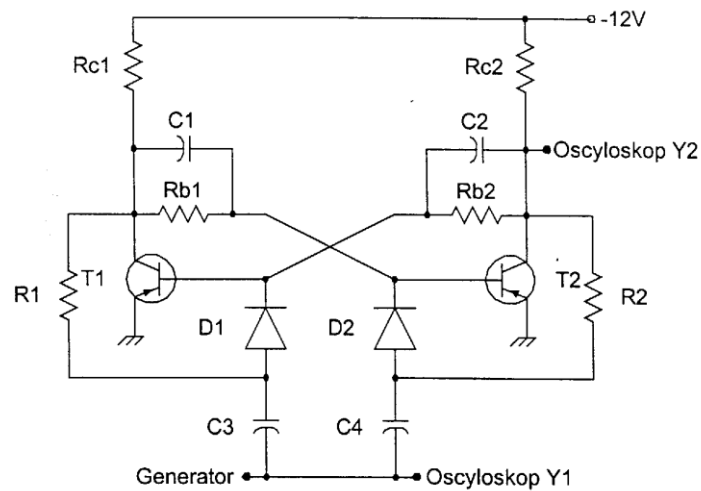
Osobliwością tych układów jest, że dwa wzmacniacze mają cztery stany nasycenia i w związku z tym przerzutnik powinien w każdym swoim stanie zapewnić pracę jednego tranzystora w stanie nasycenia zaś drugiego w stanie odcięcia. Czasem powoduje to trudność uruchomienia przerzutnika astabilnego, bowiem po włączeniu zasilania obydwaj tranzystory przerzutnika mogą znaleźć się w stanie nasycenia i tym samym przerzutnik nie rozpocznie generować.

3. Badanie przerzutników



Rys. 3.1 Schemat płytki pomiarowej

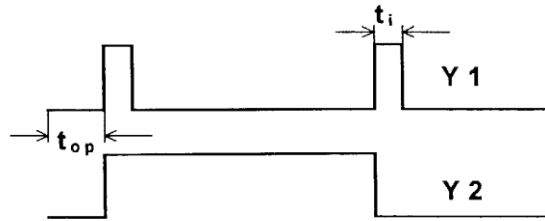
3.1. Badanie przerzutników bistabilnych.



Rys. 3.2 Przerzutnik bistabilny.

3.2.1. Uruchomienie przerzutnika bistabilnego

Wykorzystany jest układ jak na rysunku 3.2. Rezystory R_{b1} i R_{b2} oraz pojemności C_1 i C_2 wybrać najmniejsze z dostępnych na płycie tak, aby zachować symetrię układu ($R_{b1}=R_{b2}$ i $C_1=C_2$). Uruchomić układ po uzyskaniu zgody prowadzącego zajęcia.



Rys. 3.3 Idealizowane przebiegi napięcia generatora (Y1) i napięcia wyjściowego przerzutnika (Y2).

3.2.2. Badanie czułości wyzwalania przerzutnika bistabilnego

Zmniejszając szerokość impulsu wyznaczyć najmniejszą jej wartość gwarantującą przerzut. Minimalną szerokość impulsu pomierzyć oscyloskopem odpowiednio zwiększając szybkość generatora podstawy czasu. Zwiększyć wartość rezystorów R_{b1} , i R_{b2} (zmniejszając tym samym stosunek zwrotny) i ponownie wyznaczyć najmniejszą szerokość impulsu generatora. Powtarzać pomiary aż do największej wartości rezystorów zgodnie z punktem 3.1.1. lub zwiększenia najmniejszej szerokości impulsu. Wyniki zapisać. Ponownie wyznaczyć najmniejszą szerokość impulsu pobudzającego, lecz tym razem zachowując wartość rezystorów R_{b1} i R_{b2} na poziomie odpowiadającym najmniejszej szerokości impulsu, zmieniać wartości pojemności C_1 i C_2 . Ostatecznie uzyskamy wartości R_b i C optymalne z punktu widzenia czułości przerzutnika.

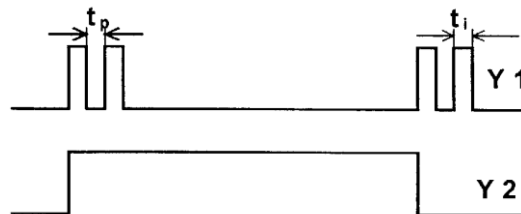
3.2.3. Badanie zdolności rozdzielczej

Zmniejszyć szerokość impulsów t_i generatora do minimum gwarantującego przerzut. Przełączyć układ na pracę z impulsami podwójnymi. Pokrętkiem „opóźnienie” zmienić odstęp między impulsami w parze t_p tak, aby każdy impuls z generowanej pary impulsów powodował zmianę stanu przerzutnika (rys.3.4.). Następnie zmniejszając odstęp między parą impulsów uzyskać stan, w którym przerzutnik będzie zachowywać się tak, jakby na jego wejściu pojawiał się pojedynczy impuls (rys.3.5.). Opisana wyżej metoda pomiaru w literaturze nosi nazwę badania czułości i zdolności rozdzielczej. Powtarzać pomiary dla innych wartości R_{b1} , R_{b2} , C_1 i C_2 aż do uzyskania minimalnego odstępu między impulsami w parze.



Rys. 3.4. Idealizowany przebieg napięcia generatora (Y1) i napięcia wyjściowego przerzutnika przy sterowaniu impulsami podwójnymi, gdy przerzutnik jest w stanie odróżniać impulsy.

Uwaga: Przy krótkich podwójnych impulsach w stosunku do czasu ich repetycji na ekranie oscyloskopu impulsy mogą być widoczne tylko jako pionowe kreski.

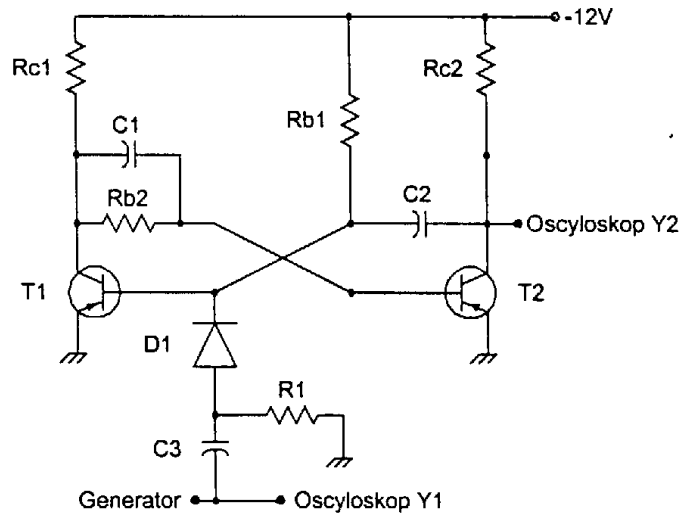


Rys. 3.5. Idealizowany przebieg napięcia generatora (Y1) i napięcia wyjściowego przerzutnika, gdy przerzutnik nie jest w stanie rozróżnić pary impulsów.

3.2.5. W sprawozdaniu zamieścić:

- schemat badanego układu,
- charakterystyczne oscylogramy,
- tabelę wyników pomiarów z podkreśleniem najlepszego wyniku,

3.3. Badanie przerzutników monostabilnych.

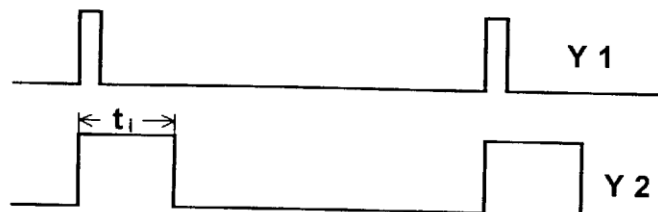


Rys. 3.6. Przerzutnik monostabilny.

3.5 Wykorzystać układ jak na rys. 3.6. Rezystor R_{b2} i kondensator C_1 wybrać optymalnie jak dla przerzutnika bistabilnego.

3.3.2. Zmniejszyć czas trwania impulsu generatora tak, aby zachować pewność wyzwalania przerzutnika oraz w razie potrzeby (np.: gdy czas trwania impulsu wyjściowego jest większy od czasu repetycji impulsów generatora) skorygować jego częstotliwość. Zmierzyć czas trwania impulsu wyjściowego przerzutnika. Porównać uzyskany wynik pomiaru z obliczonym z zależności $t_i = 0,69R_{b1}C_2$. Pomiar powtórzyć dla innych wartości R_{b1} i C_2 .

3.3.3. Zaobserwować zachowanie się przerzutnika przy zmniejszaniu czasu repetycji impulsów generatora. Przerysować charakterystyczne przebiegi napięć wyjściowych generatora i przerzutnika.

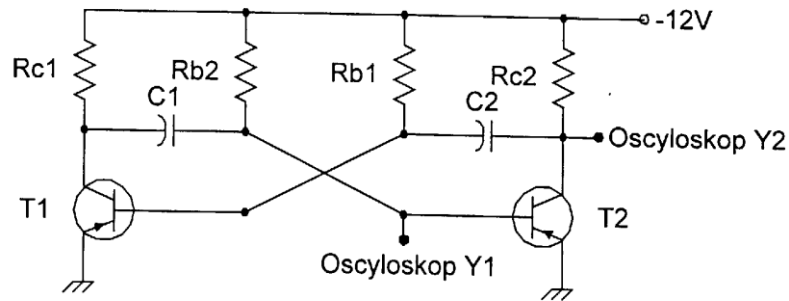


Rys. 3.5 Idealizowany przebieg napięcia generatora (Y1) i napięcia wyjściowego przerzutnika (Y2)

3.3.4. W sprawozdaniu zamieścić:

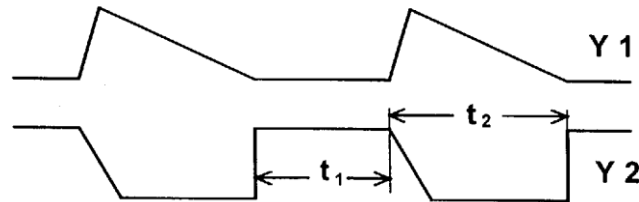
- schemat badanego układu,
- charakterystyczne oscylogramy,
- tabelę wyników pomiarów i obliczeń,
- uwagi dotyczące rozbieżności między wynikami pomiarów i obliczeń, zwłaszcza dotyczące błędów powodowanych uproszczeniami przyjętymi w analizie,

3.4. Badanie przerzutnika astabilnego.



Rys. 3.7. Przerzutnik astabilny.

3.4.1. Wykorzystać układ jak na rys.3.7 Oscyloskop ustawić na pracę z wyzwalaniem impulsami dodatnimi z wejścia Y1 (praca z wyzwalaniem wewnętrznym). Rezystory R_{b1} i R_{b2} oraz pojemności C_1 i C_2 wybrać z dostępnych na dodatkowej płytce tak, aby zachować symetrię układu.



Rys. 3.8 Uproszczone przebiegi napięcia na bazie (Y1) i kolektorze (Y2) tranzystora T2. Na rysunku linie ukośne zastępują krzywe wykładnicze.

3.4.2. W przypadku nie wystartowania układu należy na chwilę zewrzeć bazę tranzystora T1 lub T2 do masy. Przy pomocy oscyloskopu zmierzyć czas wyłączenia t_1 i czas załączenia t_2 tranzystora T2. Porównać uzyskany wynik pomiaru z obliczonym z zależności $t_1 = 0,69R_{b1}C_2$, $t_2 = 0,69R_{b2}C_1$. Powtórzyć pomiary dla innych wartości R_{b1} , R_{b2} , C_1 i C_2 zachowując symetrię. Zmieniając wartości R_{b1} i C_2 , zbadać jaka jest możliwa niesymetria układu przy zachowaniu wartości R_{b2} i C_1 .

3.4.3. W sprawozdaniu umieścić:

- schemat badanego układu,
- charakterystyczne oscylogramy,
- tabele wyników pomiarów i obliczeń,
- uwagi dotyczące rozbieżności między wynikami pomiarów i obliczeń,
- wyjaśnienie dlaczego nie można w tym układzie osiągnąć dużej asymetrii.

4. Literatura.

- Baranowski - Tranzystorowe układy impulsowe.
- Baranowski - Półprzewodnikowe elementy układów impulsowych.
- Filipkowski - Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe.
- Notatki z wykładów „Podstawy elektroniki”