



Elektronika przyrządów półprzewodnikowych

Laboratorium nr 11

Praca impulsowa tranzystora bipolarnego

Zagadnienia obowiązujące na kartkówce

- Symbol, zasada polaryzacji i charakterystyki statyczne tranzystora bipolarnego.
- Prosta pracy i zakresy pracy tranzystora bipolarnego.
- Przebiegi czasowe napięcia oraz prądu wejściowego i wyjściowego podczas przełączania tranzystora bipolarnego.
- Definicje czasów przełączania tranzystora bipolarnego.
- Czynniki mające wpływ na czasy przełączania tranzystora bipolarnego,
- Działanie tranzystora bipolarnego podczas pracy impulsowej.
- Definicja współczynnika przesterowania.
- Tranzystor impulsowy - budowa i parametry.
- Wpływ współczynnika przesterowania oraz składowej ujemnej sygnału sterującego na czasy przełączania tranzystora bipolarnego (uniwersalnego oraz impulsowego).
- Zadania obliczeniowe związane z programem ćwiczenia.

Literatura

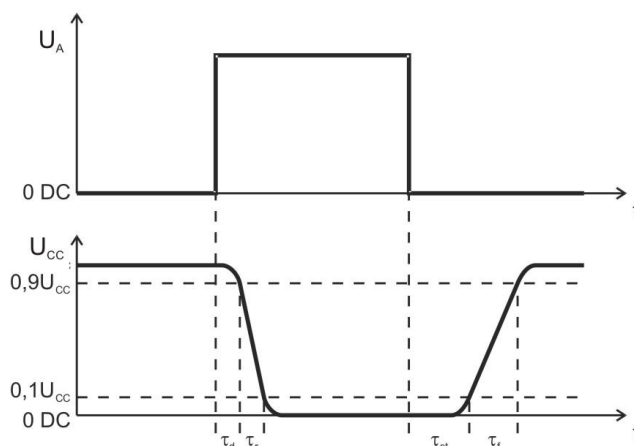
- T. Ohly, Z. Radzimski, *Elementy elektroniczne cz. I*, Wydawnictwo PWr, Wrocław 1980, podrozdział 4.4. Parametry impulsowe tranzystora,
- W. Marciniak, *Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone*, WNT, Warszawa 1987, podrozdział 5.8. Praca nieliniowa dynamiczna,
- B. Wilamowski, *Mikroelektronika: Specjalne przyrządy półprzewodnikowe*, podrozdział 3.1.2. Tranzystory impulsowe.

4. Wiadomości wstępne

Jednym z podstawowych zastosowań tranzystorów (oprócz układów wzmacniaczy) jest ich praca w układach przełączających, szczególnie dużej mocy, impulsowych, a także w układach cyfrowych, w których tranzystor pełni rolę dwustanowego przełącznika. W takich układach punkt pracy przełączanego tranzystora z reguły przemieszcza się z obszaru odcięcia do obszaru nasycenia i z powrotem. W tym czasie, polaryzacja złącz tranzystora zmienia się diametralnie i występuje zjawisko przepływu i wymiany ładunków elektrycznych w poszczególnych obszarach (przede wszystkim bazy) tranzystora, inaczej mówiąc następuje przeładowanie pojemności wewnętrznych. Każda zmiana ładunku związana jest z pewnym opóźnieniem czasowym, które wprowadza zniekształcenie sygnału pojawiającego się na wyjściu tranzystora oraz jego opóźnienie mierzone względem sygnału wejściowego, sterującego przełączaniem (patrz rys.1). Opóźnienie sygnału jest zazwyczaj zjawiskiem niepożądanym, a więc w tranzystorach impulsowych dąży się do minimalizacji czasów przełączania stosując odpowiednie modyfikacje ich konstrukcji (*patrz literatura*).

W przeprowadzanym ćwiczeniu, po pierwsze - obserwujemy na oscyloskopie opóźnienie sygnału wyjściowego i definiujemy poszczególne składowe czasy przełączania tranzystora, zgodnie z normami przyjętymi dla tranzystorów bipolarnych, po drugie – przeprowadzamy pomiary czasów przełączania tranzystora w zależności od warunków jego wysterowania, po trzecie – porównujemy wielkości czasów przełączania tranzystora wzmacniającego m.cz. lub w.cz. (BC..., BD..., BF...) oraz tranzystora impulsowego (BS...).

Na rysunku 1 pokazano typowe przebiegi napięcia na wejściu i wyjściu przełączanego tranzystora oraz zdefiniowano poszczególne czasy przełączania tranzystora: τ_d – czas opóźnienia (*delay*), τ_r – czas narostu (*rise*), τ_{st} czas magazynowania (*storage*) i τ_f – czas opadania (*fall*). Te cztery parametry czasowe składają się na definicje czasu załączania $t_{zaf} = (\tau_d + \tau_r)$ tranzystora oraz czasu wyłączania $t_{wyf.} = (\tau_{st} + \tau_f)$ tranzystora.

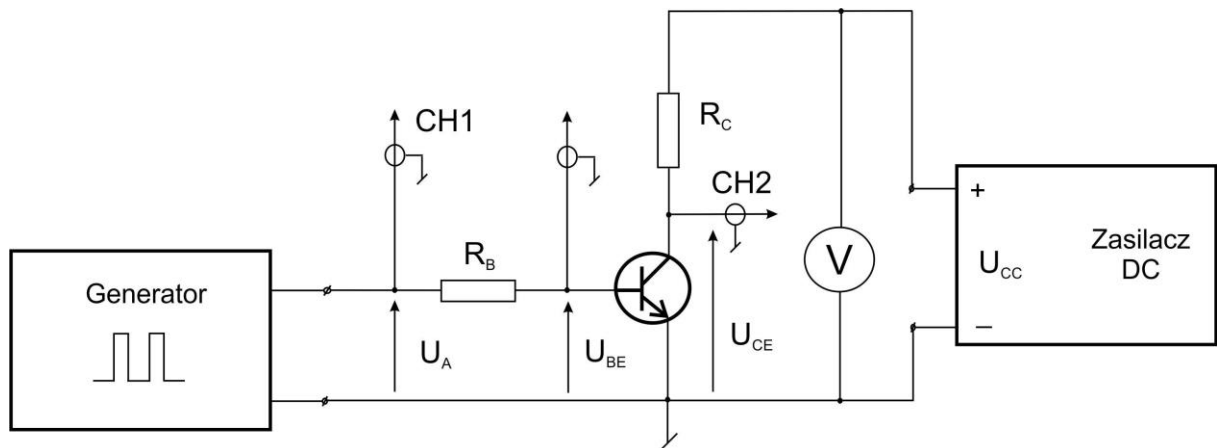


Rys.1. Przebiegi napięcia na wejściu i wyjściu tranzystora podczas przełączania i definicje czasów przełączania

5. Pomiary

Na płytce pomiarowej znajduje się kilka tranzystorów różnych typów. Należy określić ich rodzaj i zapisać podstawowe parametry katalogowe.

Pomiary rozpoczynamy od tranzystorów m.cz. typu BC.. lub BD.. , których czasy przełączania są znaczne i łatwo mierzalne. Schemat układu pomiarowego z aktualnie mierzonym tranzystorem przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego stosowanego w ćwiczeniu.

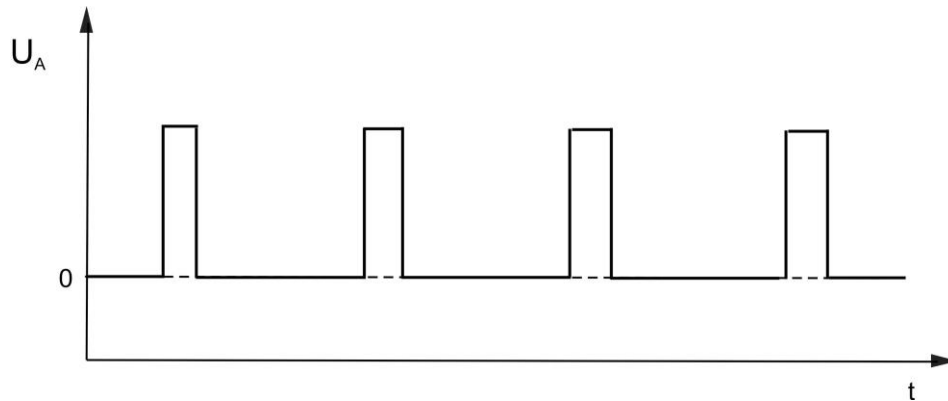
Sposób wykonania pomiarów

1. Zmontować układ pomiarowy wg schematu przedstawionego na rys. 2. Badany tranzystor oraz rezystory R_C i R_B są umieszczone na płytce. Przed montażem układu należy odczytać (lub zmierzyć) wartości R_C i R_B i zanotować.
2. W oscyloskopie oba kanały (CH1 i CH2) przełączyć na pracę DC ponieważ obserwowane przebiegi napięciowe mają składowe stałe, a ich znajomość jest konieczna.
3. Oscyloskop synchronizować sygnałem z generatora (CH1).
4. Dobrać napięcie zasilające obwód wyjściowy tranzystora (U_{CC}) tak, aby nie przekroczyć dopuszczalnych wartości napięć i prądów dla danego tranzystora ($U_{CC} < U_{CEmax}$ oraz $U_{CC}/R_C < I_{Cmax}$). Wartości I_{Cmax} oraz U_{CEmax} odczytać w katalogu.
5. Wstępnie ustawić częstotliwość generatora na około 5 kHz, współczynnik wypełnienia 0,2 oraz amplitudę ok. 1 V.
6. Uzyskać na ekranie oscyloskopu stabilny obraz napięć z generatora (CH1) (rys. 3.)
7. Zwiększając amplitudę impulsów sygnału wejściowego U_A należy uzyskać stan nasycenia badanego tranzystora. Poznać to można po tym, że napięcie U_{CE} na kolektorze (CH2) tranzystora **w stanie włączenia** zmniejsza się do ułamka wolta, a dokładniej do wartości $U_{CEsat} < 0,2V$. W tym momencie punkt pracy tranzystora przemieszcza się

z obszaru aktywnego, w którym obowiązuje znana relacja pomiędzy prądami na wejściu i wyjściu tranzystora:

$$\beta_o = \frac{I_C}{I_B}$$

do obszaru nasycenia, gdzie powyższa zależność przestaje obowiązywać. Dla tej polaryzacji napięcie na wejściu $U_A = U_{Amin}$, a wejściowy prąd bazy oznaczamy I_{Bmin} . Określenie *min.* oznacza minimalną wartość I_B wymaganą do nasycenia tranzystora.



Rys.3. Impuls z generatora podawany na bazę tranzystora (współczynnik wypełnienia równy 0,2)

8. Na tej podstawie można oszacować współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora β_o

$$\beta_o \approx \frac{I_C}{I_{Bmin}} = \frac{U_{CC} / R_C}{(U_{Amin} - U_{BE}) / R_B}$$

napięcie U_{BE} należy zmierzyć oscyloskopem przełączając wejście CH2 oscyloskopu do bazy tranzystora (lub założyć $U_{BE} = 0,7V$ - typowa wartość dla krzemowego złącza p-n). Wartość I_{Bmin} jest minimalnym prądem bazy wymaganym do uzyskania nasycenia tranzystora.

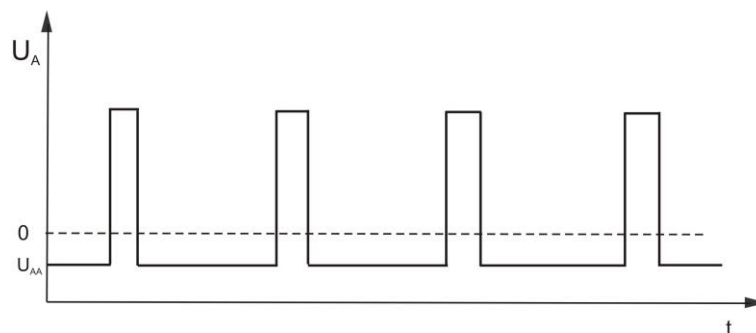
9. Wykonać pomiar charakterystycznych czasów przełączania ustalając wyzwalanie sygnału (trigger menu) raz na zboczu narastającym impulsu, a raz na zboczu opadającym impulsu. Skorzystać z narzędzi pomiarowych oscyloskopu.
10. Przygotować tabelę wyników pomiaru. Wyliczyć wartość współczynnika przesterowania $k = I_B / I_{Bmin}$ dla kolejnych wartości $U_A > U_{Amin}$ tak, by uzyskać przynajmniej cztery wartości tego współczynnika w zakresie $1 < k < 3$. Dla każdej wartości U_A prąd bazy

I_B wyznaczamy ze wzoru

$$I_B = \frac{U_A - U_{BE}}{R_B}$$

U_A	I_B	k	τ_d	τ_r	$\tau_{zał}$	τ_{st}	τ_f	$\tau_{wył}$
[...V]	[...A]		[...s]	[...s]	[...s]	[...s]	[...s]	[...s]
$U_{A\ min}$	$I_{B\ min}$	1						

11. Dla obliczonych wartości k , zadając przyjęte wartości U_A zmierzyc czasy przełączania τ_d , τ_r , τ_{st} , τ_f . Wyniki przedstawić na wykresie w postaci zależności czasów przełączania od współczynnika przesterowania k :
12. Określić wpływ sterowania bazy napięciem ujemnym na czasy przełączania tranzystora. W tym celu dla wybranej wartości współczynnika k (np. $k \approx 1,5$) zachowując dodatnią wartość amplitudy ustawić wartość ujemnej amplitudy impulsu np. $U_{AA} = -1\text{ V}$ jak pokazano na rys.4. Nie przekraczać wartości dopuszczalnej dla złącza emiterowego używanego tranzystora (typowo $U_{EB\ max} = -5\text{ V} \div -7\text{ V}$).



Rys.4. Impuls z generatora podawany na bazę tranzystora z ujemną składową stałą.

13. Wykonać pomiary analogicznie jak w p. 7 – 12 dla tranzystora impulsowego typu BS... Porównać uzyskane wyniki.

6. Podsumowanie

Wykonać czytelne wykresy zależności $\tau = f(k)$, czyli poszczególnych zmierzonych czasów przełączania (τ_d , τ_r , τ_{st} , τ_f) oraz czasu załączania i czasu wyłączenia od współczynnika przesterowania k (jeden zbiorczy wykres we wspólnym układzie współrzędnych). Zamieścić zależności dla całkowitego czasu załączania ($\tau_d + \tau_r$) i całkowitego czasu wyłączenia ($\tau_{st} + \tau_f$). Wykres opatrzyć odpowiednią legendą. Omówić wynikające z wykresu zależności.