

Przerzutnik astabilny z wykorzystaniem układu typu "555"

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania i parametrami przerzutnika astabilnego zbudowanego w oparciu o układ scalony „555”.

2. Budowa układu

2.1. Zasada działania przerzutnika astabilnego „555”

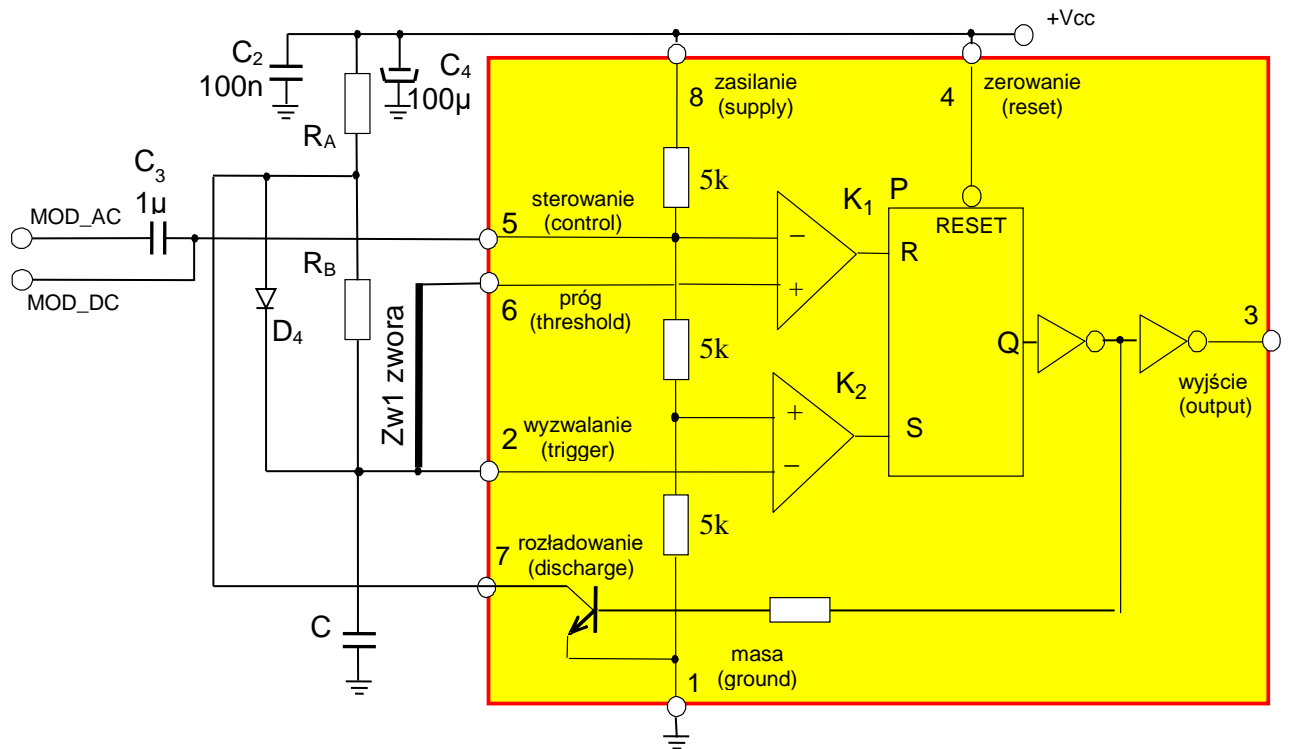
W ćwiczeniu wykorzystano układ scalony przerzutnika mono/astabilnego typu „555”. Produkowany jest on przez wielu producentów zarówno w technologii bipolarnej (np. LM555) lub unipolarnej (np. MC1555). Jego strukturę wewnętrzną pokazano na Rys.1. Układ składa się z dwóch komparatorów K_1 i K_2 , przerzutnika typu RS oraz stopni wyjściowych. Tranzystor T ma kolektor wyprowadzony na zewnątrz układu (wyprowadzenie 7 - *discharge*) i jest wykorzystywany jako klucz rozładowujący pojemność roboczą C .

Wewnętrzny dzielnik rezystancyjny, służy do uzyskania napięć o wartościach około $2/3$ i $1/3$ napięcia zasilania. Napięcia te polaryzują wejścia komparatorów K_1 i K_2 . Komparator K_1 zeruje przerzutnika P , jeżeli napięcie na wyprowadzeniu 6 (*threshold*) wzrośnie powyżej wartości $2/3V_{CC}$. Jednocześnie zostaje wysterowany tranzystor T . Komparator K_2 ustawia przerzutnik P w stan logicznej jedynki (wysokie napięcie), jeżeli napięcie na wyprowadzeniu 2 (*trigger*) zmaleje poniżej wartości $1/3V_{CC}$ – wtedy tranzystor T zostaje zatknięty. Wyprowadzenie 4 (*reset*) służy do zerowania przerzutnika niezależnie od stanu pozostałych wejść tzn. zwarcie do masy (stan niski), wymusza na wyjściu 3 układu stan niski. Jeżeli wejście 4 nie jest wykorzystane, to należy je połączyć z zasilaniem (8). Wyprowadzenie 5 (*control*) służy do doprowadzenia sygnału modulującego lub jest połączone z masą przez kondensator filtrujący o pojemności typowo 10nF.

Na Rys. 1 pokazano połączenia układu 555, pracującego w konfiguracji przerzutnika astabilnego.

W przerzutniku astabilnym wejście wyzwalające (2) połączono z kondensatorem C (i wyprowadzeniem 6). Po włączeniu zasilania zaczyna się on ładować przez rezystory R_A+R_B , (gdy jest montowana dioda D_4 , to R_3 i diodę) ponieważ niski stan (bliski 0V) na wyprowadzeniu 2 wyzwolił układ. Na wyjściu (3) pojawia się stan wysoki.

Gdy napięcie na kondensatorze C osiągnie wartość $2/3V_{CC}=V(5)$ - co jest monitorowane przez komparator K_1 (wyprowadzenie 6) - stan wyjścia (3) zmienia się na niski (ok. 0V). Jednocześnie zostaje włączony wewnętrzny tranzystor i kondensator C zaczyna się rozładowywać przez tenże tranzystor (wyprowadzenie 7) i rezystor R_B . Równocześnie maleje napięcie na wejściu wyzwalania (2) połączonym z kondensatorem C i gdy osiągnie ono poziom wyzwolenia komparatora K_2 ($1/3V_{CC}$) = $1/2V(5)$, cały cykl się powtarza. Na Rys. 3 pokazano przykładowe przebiegi generowane w układzie.



Rys.1. Przerzutnik astabilny

Czas trwania stanu wysokiego (gdymontowana jest dioda D_4 , R_B pomija się w tym wzorze) :

$$t_1 = (R_A + R_B)C \ln \left(\frac{V_{cc} - \frac{1}{2}V(5)}{V_{cc} - V(5)} \right) = (R_A + R_B)C \ln 2 \approx 0.693(R_A + R_B)C \quad (1)$$

Czas trwania stanu niskiego:

$$t_2 = R_B C \ln \left(\frac{V(5)}{\frac{1}{2}V(5)} \right) = R_B C \ln \left(\frac{\frac{2}{3}V_{cc}}{\frac{1}{3}V_{cc}} \right) \approx 0.693 R_B C \cdot \quad (2)$$

Okres przebiegu:

$$T = t_1 + t_2 = 0,693(R_A + 2R_B)C \cdot \quad (3)$$

Częstotliwość: (dla dużych częstotliwości dokładność wzoru może być mała)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C} \cdot \quad (4)$$

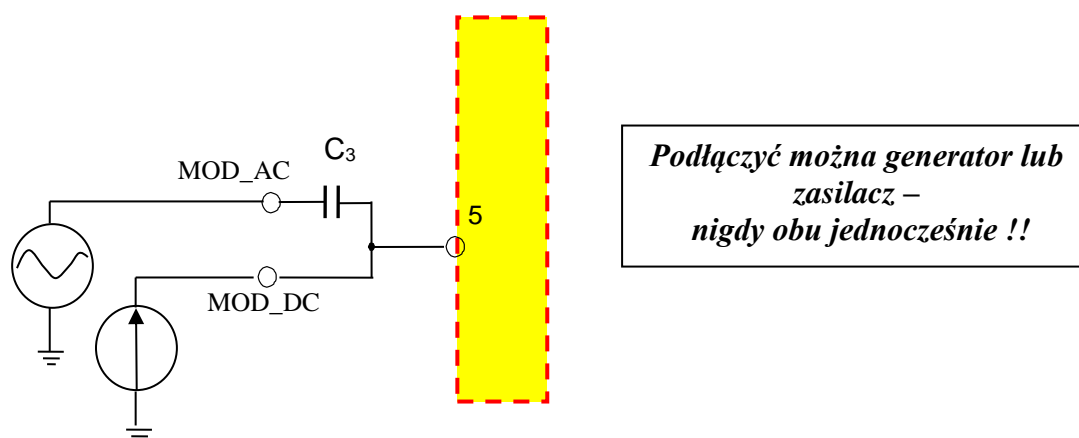
Współczynnik wypełnienia generowanego przebiegu określa zależność:

$$D = \frac{t_1}{T} = \frac{R_A}{R_A + 2R_B} \cdot \quad (5)$$

Uwaga: Gdy montowana jest dioda D_4 we wzorach (3) do (5) zamiast $2R_B$ wystąpi tylko R_B . Wtedy będzie możliwe osiągnięcie wypełnienia równego blisko 50% (dla $R_A \approx R_B$).

Doprowadzając wyprowadzenia 5 układu, przez kondensator C_3 (Rys.1) napięciowego sygnału modulującego V_{MOD_AC} z zewnętrznego generatora (wejście MOD_AC) można uzyskać efekt modulacji częstotliwości. Napięcie modulujące zmienia w czasie polaryzację wejść wewnętrznych komparatorów. W rezultacie zmienia się napięcie, do którego ładuje się (i rozładowuje) kondensator C . Przy jego zmniejszaniu, czas ładowania maleje. Przy wzroście napięcia modulującego czas ładowania kondensatora wzrasta. W ten sposób okres generowanego przebiegu T oraz częstotliwość f sygnału wyjściowego zależą od chwilowej wartości napięcia modulującego. Wejście MOD_DC służy do doprowadzenia do wyprowadzenia 5 napięcia stałego V_{MOD_DC} z regulowanego zasilacza napięcia (wejście MOD_AC jest wówczas niepodłączone), co umożliwi przestrajanie generatora, w pewnym zakresie, napięciem stałym (Voltage Controlled Oscillator – VCO).

Na Rys. 3 pokazano przykładowe przebiegi w układzie, przy sterowaniu wejścia Mod_AC .

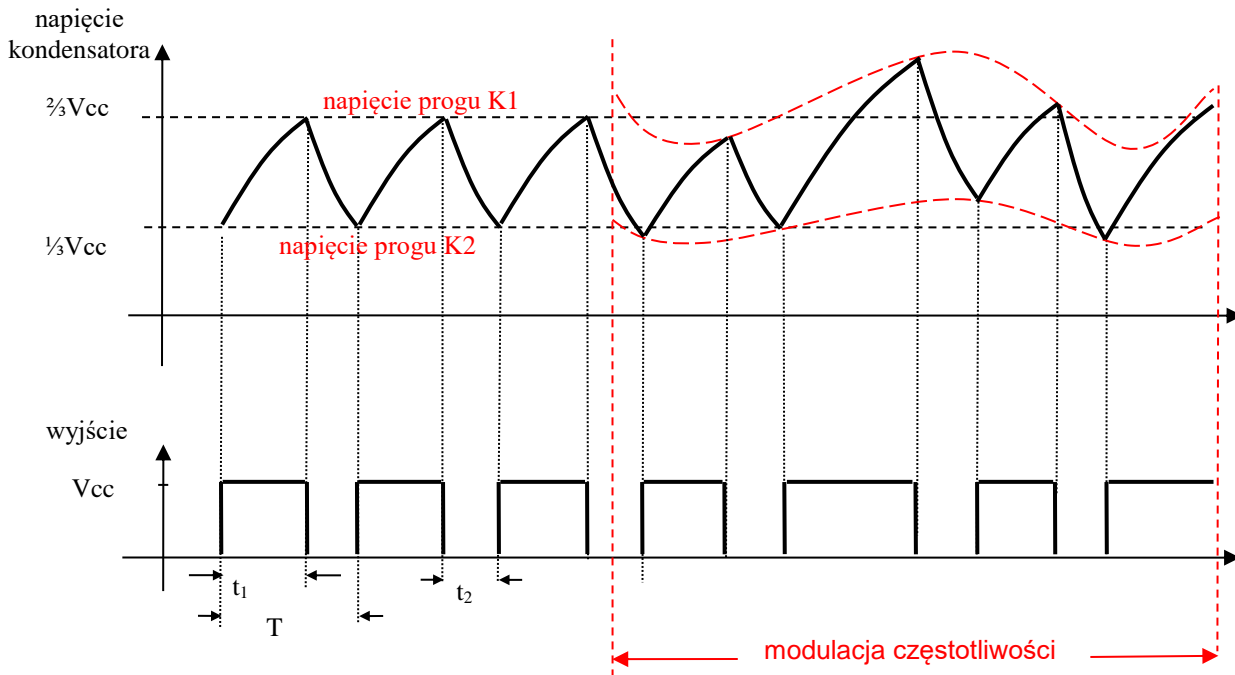


Rys. 2. Sposób podłączania sygnału modulującego.

Chwilowy okres przebiegu zmodulowanego obliczyć można ze wzoru:

$$\frac{1}{f} = T = t_1 + t_2 = (R_A + R_B)C \ln \left(\frac{V_{CC} - \frac{1}{2}V(5)}{V_{CC} - V(5)} \right) + R_B C \ln 2, \quad (6)$$

gdzie $V(5)$ jest chwilowym napięciem na wyprowadzeniu 5 układu (gdzie stosuje się D_4 , to w pierwszym składniku pomijamy R_B).



Rys. 3. Przebiegi w układzie przerzutnika astabilnego bez i z modulacją.

2.2. Budowa układu laboratoryjnego

Pełny schemat połączeń w układzie laboratoryjnym pokazano na Rys.4, a na Rys.5 pokazano schematy montażowe badanych układów.

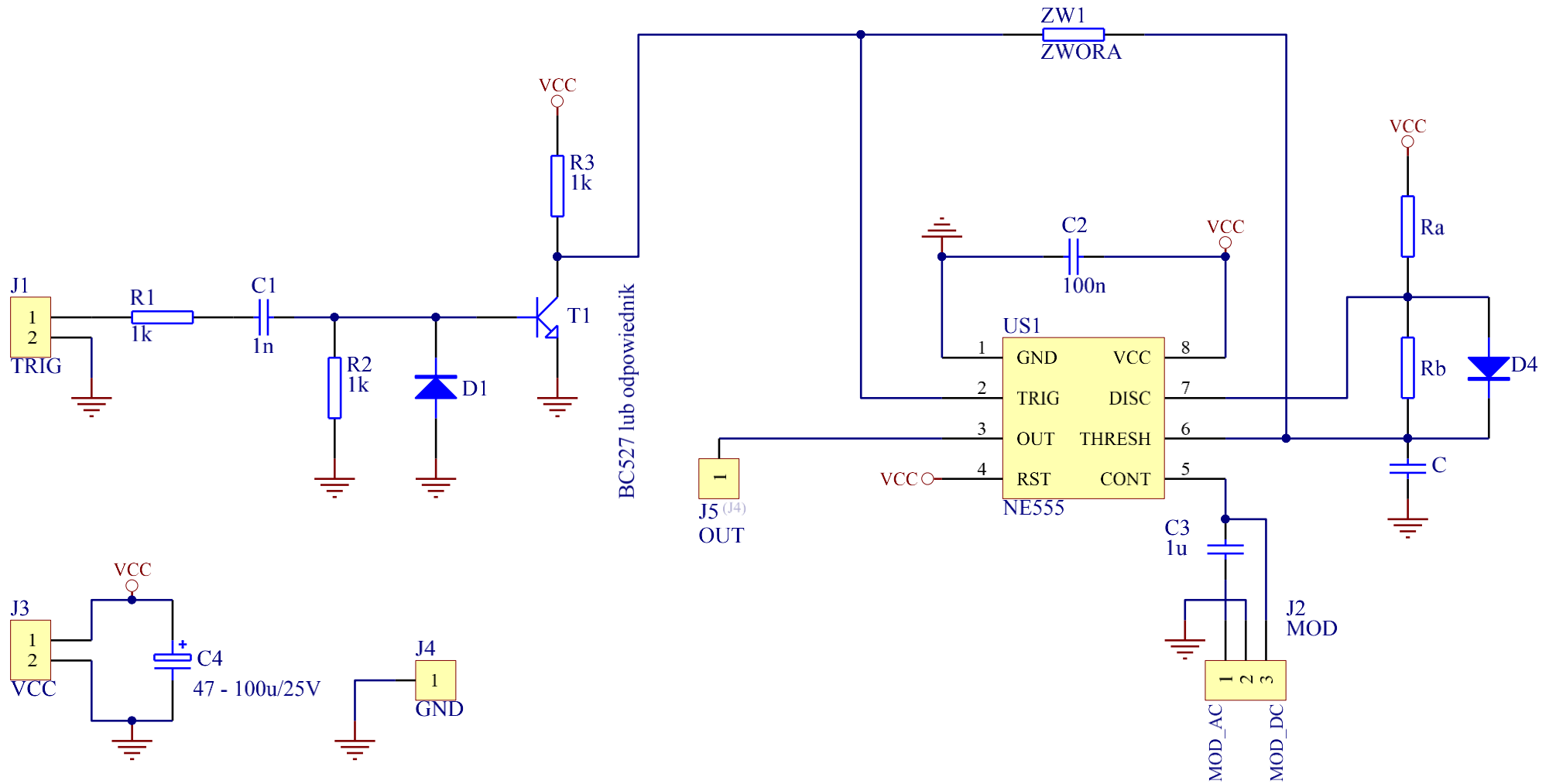
Podstawowymi elementami układu mającymi wpływ na pracę układu są rezystory R_A , R_B i kondensatora C . Ich znaczenie opisano w poprzednich punktach.

Dioda D_4 umożliwia szybsze ładowanie się kondensatora C (z pominięciem R_B), wpływając na wypełnienie przebiegu generatora astabilnego (we wzorze (2) można pominąć R_B). Możliwe jest wówczas otrzymanie przebiegu współczynnika wypełnienia ok. 50%.

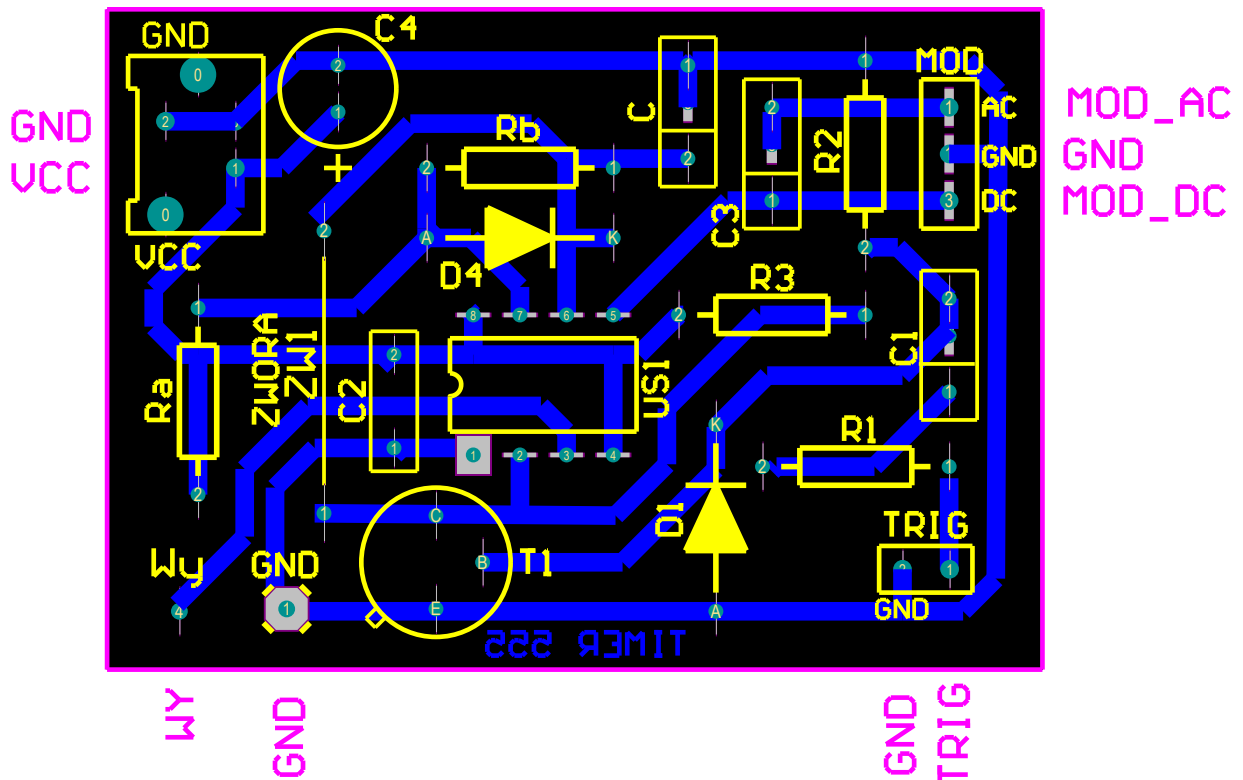
Doprowadzenie sygnału modulującego przez wejście MOD_AC z generatora zewnętrznego umożliwia badanie układów modulatorów w warunkach dynamicznych (modulacja napięciowym sygnałem zmiennym). Podłączenie natomiast regulowanego zasilacza do wejścia MOD_DC umożliwia badanie układów modulatorów w warunkach statycznych (modulacja napięciem stałym).

Jeżeli układ pracuje w konfiguracji przerzutnika niemodulowanego monostabilnego wówczas wejście MOD_AC powinno być zwarte do masy.

Diody świecące D_2 i D_3 sygnalizują stany wyjścia układu. Dioda D_2 świeci, gdy napięcie wyjściowe przyjmuje niski poziom. Dioda D_3 świeci, gdy napięcie wyjściowe przyjmuje poziom wysoki. Montaż tych diod ma sens jedynie w przypadku projektów o bardzo małej częstotliwości pracy – do kilkunastu herców.



Rys. 4. Schemat ideowy płytki badanego układu.
 UWAGA: **Schemat zawiera elementy układu astabilnego i monostabilnego.**



Rys.5. Schemat montażowy przerzutnika „555” - widok od strony elementów.
Płytkę zawiera elementy do przerzutnika astabilnego i monostabilnego.

3. Przygotowanie do zajęć.

Czas przygotowanie do zajęć może wynosić od 2 do 4 godzin.

2.3. Materiały źródłowe

- [1] Materiały Laboratorium i Wykładów Zespołu Układów Elektronicznych.
- [2] K. Górski: Timer 555 w przykładach, Wyd. BTC, Warszawa, 2004.
- [3] U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa, 2008,
- [4] P. Horowitz, W. Hill, Sztuka elektroniki, 2018, WKŁ

2.4. Pytania kontrolne

1. Co oznaczają i jak się mierzy: czas narastania, czas opadania, zwis, okres, współczynnik wypełnienia impulsu ?
2. Jakie są podstawowe układy przerzutników tranzystorowych - schematy i zasady działania ?
3. Analiza przerzutników z układem typu „555” (zasada działania, przebiegi czasowe i zależności je opisujące).
4. Jakie są przykładowe zastosowania przerzutników monostabilnych i astabilnych na przykładzie układu typu „555” ?
5. Na czym polega modulacja szerokości impulsów: parametry, właściwości, przykładowe zastosowania ?
6. Na czym polega modulacja częstotliwości: parametry, właściwości, przykładowe zastosowania ?

3.2. Projekt układu

Przed wykonaniem ćwiczenia studenci otrzymują od Prowadzącego wymaganą częstotliwość pracy oraz wypełnienie przebiegu wyjściowego (układ z diodą D4 lub bez niej) oraz napięcie zasilania.

Układ przerzutnika należy zaprojektować, tzn. przyjąć wartość niektórych elementów i obliczyć wartości pozostałych (najlepiej przyjąć wartości pojemności i obliczyć rezystancje). Wartości niektórych parametrów może zasugerować Prowadzący. Obliczone wartości należy nanieść na wydrukowany schemat z Rys.4 (elementy niemontowane należy przekreślić).

Zaprojektowany układ należy zasymulować w programie do analizy układów elektronicznych (np. Psice) oraz wydrukować przebiegi wyjściowy i przebiegi napięcia na kondensatorze (końcówka 6 układu scalonego).

Symulacje przeprowadzić tak, aby odpowiadały pomiarom opisanym w punkcie 4.3.

Przygotować również należy szablony tabel i siatki pod ewentualne wykresy .

4. Przebieg ćwiczenia

4.1. Montaż układu.

Przed zmontowaniem układu należy zmierzyć wartości elementów (rezystorów i kondensatorów), a ich wartości wpisać na przygotowanym schemacie obok wartości obliczonych. Układ należy zmontować zgodnie ze schematem montażowym pokazanym na Rys.5.

Uwaga:

- schemat z Rys.4 i płytką z Rys.5 zawierają elementy zarówno do układu przerzutnika astabilnego i monostabilnego;
- montować należy tylko elementy widoczne na schemacie z Rys. 1;
- diodę D4 montujemy, jeśli wymagał tego projekt, a D2, D3, R4 i R5, jeśli częstotliwość pracy układu ma być mniejsza od 15Hz;
- jeśli na płytce zmontowany został układ kształtowania impulsów wyzwalających dla układu przerzutnika monostabilnego, to nie będzie to miało wpływu na pracę przerzutnika astabilnego i nie należy rozmontowywać tego układu; konieczne jest jednak wylutowanie rezystora R₃.

4.2. Uruchomienie układu

- Ustawić napięcie zasilające z przedziału 5-15V (typowo $V_{CC} = 5V$), wyłączyć zasilacz i podłączyć przewody zasilające.
- Do wyjścia układu dołączyć pierwszy kanał oscyloskopu, a drugi do kondensatora C (nóżka 6 układu).
- Włączyć zasilanie.
- Jeżeli wszystko działa prawidłowo, na ekranie oscyloskopu powinny pojawić się przebiegi, jakie pokazano na Rys. 3.

- W przeciwnym razie wyłączyć zasilanie i sprawdzić układ.

4.3. Pomiary.

1. Zaobserwować i wydrukować zrzuty ekranu oscyloskopu cyfrowego przebiegu wyjściowego oraz napięcia na kondensatorze C (tak jak na Rys.3 – bez modulacji). Porównać wyniki z obliczonymi i uzyskanymi w symulacji, a w szczególności odczytać napięcia progowe komparatorów.
2. Zmieniając napięcie zasilania V_{CC} od 0V do 15V zmierzyć za pomocą oscyloskopu częstotliwość przebiegu wyjściowego $f=f(V_{CC})$ oraz amplitudy impulsu wyjściowego $V_{Wyamp}=V_{Wyamp}(V_{CC})$ (wyniki umieścić w tabeli wg wzoru 4.4.1i sporządzić wykresy). Określić minimalne napięcie pracy układu. Zmierzone parametry przebiegów porównać z obliczonymi oraz z wynikami symulacji.

4.3.1. Badanie układu modulatora częstotliwości.

3. Do wejścia MOD_AC badanego układu podłączyć generator funkcyjny (kształt sygnału: trójkątny lub sinusoidalny, wartość międzyszczytowa napięcia około $\frac{1}{4}$ napięcia zasilanie przerzutnika, częstotliwość 10 do 20 razy mniejsza niż częstotliwość pracy układu). Jeżeli wszystko działa prawidłowo, na ekranie oscyloskopu zaobserwować można przebiegi, jakie pokazano na Rys. 3 (dla modulacji). Jeśli przebiegi nie są zsynchronizowane, to obraz na oscyloskopie cyfrowym można zatrzymać. Przebieg należy wydrukować. Określić zakres napięć sygnału modulującego V_{MOD_AC} , przy którym układ działa prawidłowo bez widocznych zniekształceń.
4. Odłączyć generator sygnału modulującego od wejścia MOD_AC. Do wejścia MOD_DC dołączyć zasilacz napięcia stałego o wstępnie ustawionym napięciu $\frac{1}{2}$ napięcia zasilania przerzutnika. Zmieniając napięcie V_{MOD_DC} w zakresie 20% do 80% napięcia zasilania (V_{CC}) zmierzyć oscyloskopem częstotliwość f sygnału wyjściowego (wyprowadzenie 3). Wyniki pomiarów umieścić w tabeli 4.4.2. oraz naszkicować wykres $f=f(V_{MOD_DC})$. Parametry przebiegu porównać z wynikami symulacji.

5. Wnioski.

Należy sformułować odpowiedzi na problemy postawione w punktach 1 do 4 w rozdziale Pomiary (4.3).

