

P-2. Generator przebiegu liniowego i prostokątnego

Ćwiczenie polega na zaprojektowaniu, zmontowaniu i zbadaniu generatora samowzbudnego, wytwarzającego jednocześnie dwa przebiegi o zadanej częstotliwości: trójkątny o żądanej szybkości narastania i opadania napięcia oraz prostokątny. Układ powstaje przez połączenie w pętlę integratora i układu Schmitta. Do ich budowy zostanie użyty wzmacniacz operacyjny małej częstotliwości $\mu A741$ (lub odpowiednik), zabezpieczony przez producenta przed zwarcieniem na wyjściu, z wewnętrzną kompensacją częstotliwościową, o własnościach przedstawionych poniżej:

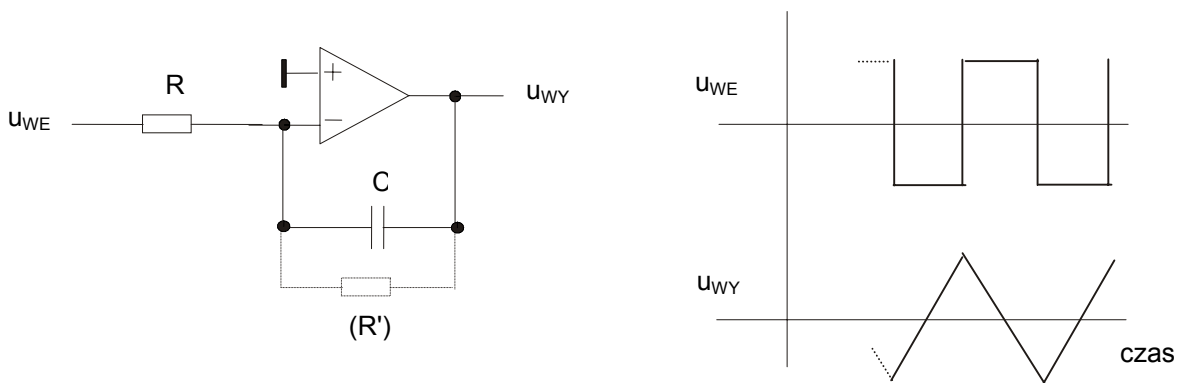
Główne parametry wzmacniacza $\mu A741$

zasilanie, V	± 5 do ± 15
pobór mocy, mW	typ. 50
bezwzględna wartość napięcia wyjściowego, V	max 15, nie więcej niż napięcie zasilania
wzmocnienie w układzie otwartym, V/V	typ. 10^5
rezystancja wejściowa, $M\Omega$	typ. 2
rezystancja wyjściowa, Ω	typ. 10^2
napięcie nasycenia przy zasilaniu $\pm U_z$, V	ok. $\pm(U_z - 1)$
częstotliwość graniczna dla 1V/V, MHz	typ. 1
odpowiedź na skok napięcia dla 1V/V, μs	typ. 0,3
prędkość zmian napięcia wyjściowego, V/ μs	typ. 0,5
napięcie offsetu, mV	typ. 2
prąd offsetu, nA	typ. 20

Bardziej szczegółowe informacje są dostępne w katalogach firmowych (np. firmy Fairchild) i literaturze przedmiotu, np. w książce Z.Kulki i M.Nadachowskiego *Liniowe układy scalone i ich zastosowanie*.

I. Opis, uwagi

1) Przebieg trójkątny, a mianowicie przebieg narastający i opadający liniowo z zadaną szybkością, uzyskać można przez scałkowanie przebiegu prostokątnego. W ćwiczeniu należy użyć w tym celu integratora odwracającego, pokazanego na rys. 6-1.



Rys. 1

Dla wzmacniacza idealnego zachodzi (bez uwzględnienia R'):

$$\frac{u_{WE}}{R} = -C \frac{du_{WY}}{dt}$$

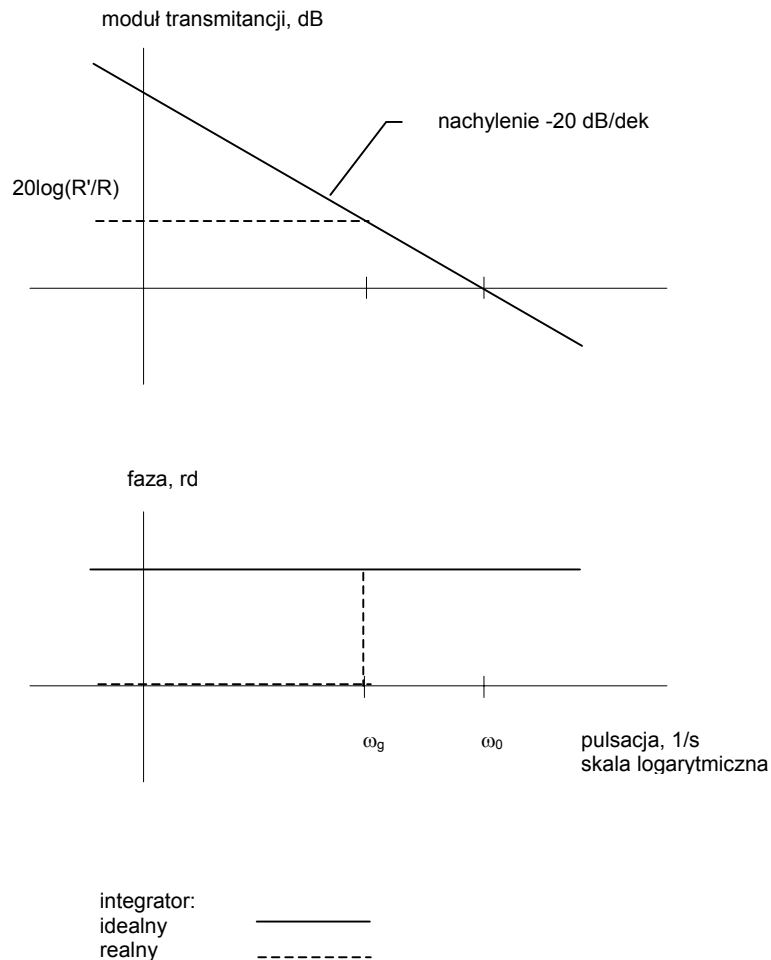
i w przypadku stałego napięcia na wejściu $u_{WE} = U = \text{const}$ będzie:

$$u_{wY} = -\frac{U}{RC}t$$

Stała czasowa $\tau=RC$ określa zatem szybkość liniowego narastania (opadania) napięcia na wyjściu dla danej wartości napięcia wejściowego.

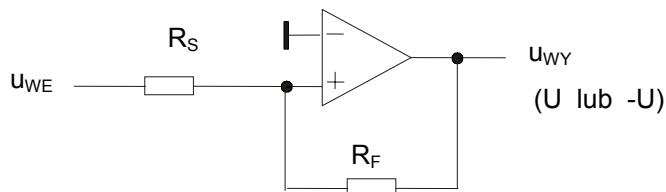
Idealny integrator ma szczególną charakterystykę częstotliwościową: moduł transmitancji widmowej zmienia się mianowicie o -20dB na dekadę częstotliwości. Odwrotność stałej czasowej $\omega_0=1/\tau$ jest pulsacją, dla której amplitudowa charakterystyka Bodego przecina poziom 0 dB ; przesunięcie fazowe wynosi $+\pi/2$ (jeśli, jak w przykładzie z rys. 6-1, zastosowano konfigurację odwracającą).

Zwykle występuje w układzie dodatkowy rezystor R' , modyfikujący przebieg zależności częstotliwościowej. Dodatkowa stała czasowa $R'C=1/\omega_g$ wyznacza granicę pasma przenoszenia: rzeczywista charakterystyka częstotliwościowa będzie bowiem płaska dla małych częstotliwości, a zakres całkowania będzie się rozciągał począwszy od $10\omega_g$ (w przybliżeniu). Dzięki temu dla powolnych zmian napięcia, na przykład dla dryfu termicznego, a w szczególności w przypadku występowania składowej stałej przebiegu wejściowego, kiedy to wartość średnia sygnału jest różna od zera, wzmocnienie układu ograniczone będzie do wartości R'/R . Polepszają się przez to warunki dla liniowej pracy układu i nie będzie wymagana kompensacja niesymetrii na wejściu wzmacniacza (tzw. nierównoważenia). Charakterystyki Bodego, amplitudowa i fazowa, w uproszczeniu sprowadzone do asymptot, przedstawione są na rys. 2.



Rys. 2

2) Przebieg prostokątny można sformować z przebiegu o innym kształcie, na przykład z przebiegu trójkątnego, przez zastosowanie komparatora analogowego pracującego w układzie nieodwracającym, z dodatnim sprzężeniem zwrotnym, czyli w tzw. układzie Schmitta. Na rys. 2 przedstawiono przykład takiego układu, zbudowanego z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego.

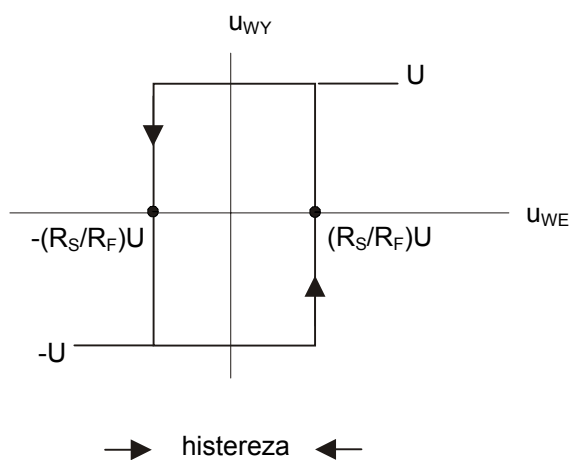


Rys. 2

Wzmacniacz operacyjny pracuje tu w nasyceniu i napięcie na jego wyjściu może przyjmować jedną z dwóch stabilnych wartości, odpowiednio poziom wysoki U lub poziom niski $-U$ (założono pełną symetrię wyjścia). Przejście z jednego stanu do drugiego następuje w momencie, gdy napięcie na dodatnim wejściu wzmacniacza operacyjnego przechodzi przez zero, tzn. gdy u_{WE} osiąga wartości progowe: $(R_S/R_F)U$ lub $-(R_S/R_F)U$, jak to pokazuje charakterystyka WY-WE (rys. 6-3). W momentach przeskoków można bowiem traktować wzmacniacz tak, jak gdyby znajdował się w liniowym trybie pracy, a więc, idealizując, $U_P=0$ i prądy płynące przez R_S i R_F są sobie równe. Wartości napięć wejściowych powodujących zmianę stanu układu - przy uziemionym wejściu odwracającym - otrzymuje się zatem z równania:

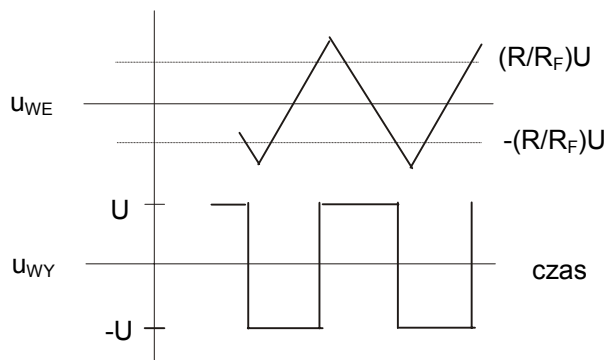
$$\frac{u_{WE}}{R_S} = \pm \frac{U}{R_F}$$

Występująca tutaj histereza i generacyjne przejścia między stanami stabilnymi są efektem działania dodatniego sprzężenia zwrotnego (wzmocnienie w pętli sprzężenia zwrotnego $|k\beta| \gg 1$). Oznacza to, że o czasie trwania przeskoku ze stanu U do stanu $-U$ i na odwrót nie decyduje szybkość, z jaką zmienia się napięcie na wejściu, ale parametry komparatora.



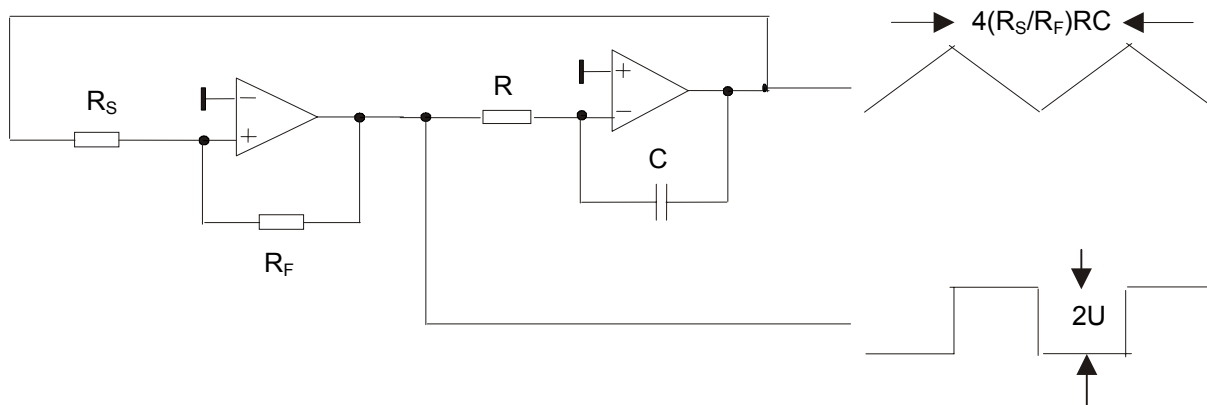
Rys. 3

Jeżeli więc steruje się komparator Schmitta bipolarnym przebiegiem trójkątnym o amplitudzie przekraczającej napięcia progowe, to na wyjściu pojawi się bipolarny przebieg prostokątny, jak to widać na rys. 4.



Rys. 4

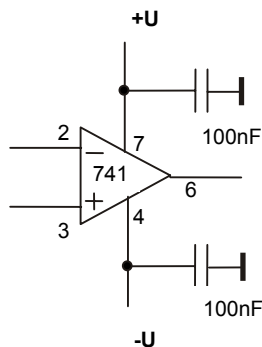
3) Zamykając w pętlę układ Schmitta i integratora otrzymuje układ samowzbudny, mianowicie generator przebiegu prostokątnego (wyjście komparatora) i trójkątnego (wyjście integratora). Narastające napięcie na wyjściu integratora przerzuci bowiem układ Schmitta do stanu wysokiego w momencie osiągnięcia progu $(R_S/R_F)U$, to zaś spowoduje zmianę nachylenia przebiegu liniowego. Z kolei opadający sygnał integratora po osiągnięciu progu $-(R_S/R_F)U$ przerzuci komparator do stanu $-U$, napięcie na wyjściu integratora zacznie więc narastać i rozpocznie się kolejny cykl pracy. Układ generatora jest przedstawiony na rys. 5. Amplituda przebiegu prostokątnego będzie U , zaś trójkątnego $U(R_S/R_F)$. W ciągu $1/4$ okresu napięcie wyjściowe integratora zmieni się zatem o $U(R_S/R_F)$, z czego wynika, że przy szybkości narastania (opadania) równej U/RC częstotliwość przebiegów wyniesie $R_F/(4R_S RC)$.



Rys. 5

Wybór wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$ oznacza oczywiście, że wymagania częstotliwościowe są niskie i nie oczekuje się krótkich zboczy sygnału prostokątnego. Poniżej przedstawiono rozmieszczenie

wyprowadzeń tego wzmacniacza w obudowie prostokątnej ośmionóżkowej; występujące na rys. 6 kondensatory pełnią rolę filtrów zmniejszających zakłócenia w obwodach zasilania.



Rys. 6

II Projekt, program ćwiczenia

1) Zaprojektować generator o zadanej częstotliwości, zadanej amplitudzie przebiegu trójkątnego i zadanej amplitudzie przebiegu prostokątnego, na przykład, odpowiednio, 25Hz, 5V, 10V. Dokładności lepsze niż 20% nie są wymagane i żadnych elementów do dostrajania parametrów się nie przewiduje. Należy sporządzić schemat pokazujący połączenia podzespołów o podanych numerach i wartościach, w przypadku układów scalonych podać standardowe oznaczenia i numery wyprowadzeń.

Oczywiście, nie można wszystkich parametrów układu określić z przytoczonych wyżej formuł. Niektóre wielkości trzeba przyjmować arbitralnie, kierując się zdrowym rozsądkiem, i biorąc pod uwagę np.:

- że rezystancje zewnętrzne powinny być znacznie mniejsze od rezystancji wejściowej wzmacniacza operacyjnego, a jednocześnie znacznie większe od rezystancji wyjściowej, aby te rezystancje wzmacniacza nie musiały być uwzględniane;
- że obwody zewnętrzne wzmacniacza operacyjnego, służące do określenia funkcji układu, powinny pobierać jedynie mały ułamek dopuszczalnej mocy, aby nie ograniczać niepotrzebnie możliwości obciążania generatora przez układy, które mogą być do niego przyłączane podczas eksploatacji;
- że pasożytnicze stałe czasowe, w tym szczególnie te, które są wprowadzane podczas uruchamiania układu przez przyrządy pomiarowe, mogą znacznie wpływać na jego parametry, jeśli nie są znacznie mniejsze od stosowanych celowo (np. podpięcie oscyloskopu oznacza przyłożenie do danego punktu pojemności rzędu 10^{-10} F).

2) Zmontować układ Schmitta oraz integrator osobno i czytelnie, zachowując, na ile to możliwe, geometrię jak na schemacie. Dla ułatwienia zaleca się, aby części składowe generatora były uruchamiane osobno i osobno zbadane za pomocą laboratoryjnego generatora funkcyjnego odpowiednio przebiegiem trójkątnym i prostokątnym (niezbędne jest zastosowanie w integratorze rezystora ograniczającego R' , równego np. 10R). Po takim oddzielnym sprawdzeniu oba układy należy połączyć w pętlę, t.j. w układ samowzbudny. Teraz rezystor R' nie będzie już potrzebny: niesymetryczności objawią się przez automatyczną zmianę wypełnienia przebiegu prostokątnego, taką mianowicie, aby wartość średnia napięcia pozostała równa zeru. Przed załączeniem napięć zasilających należy sprawdzić starannie obwody zasilania oraz nastawienie zasilaczy. Aby zminimalizować prawdopodobieństwo kosztownej pomyłki przewody w obwodzie zasilania powinny mieć różne kolory, najlepiej według jakiegoś wygodnego standardu (np. masa - czarny, napięcie dodatnie względem masy - czerwony lub żółty, napięcie ujemne względem masy - niebieski lub zielony).

3) Uruchomić zaprojektowany generator samowzbudny i zmierzyć jego parametry, a mianowicie:

- częstotliwość generowanych przebiegów,
- amplitudy przebiegów,
- szybkość narastania i opadania napięcia na wyjściu integratora,
- czasy narastania i opadania oraz wypełnienie przebiegu prostokątnego,

- położenie obu przebiegów względem linii zerowej.

4) Parametry rzeczywistego układu podać w sprawozdaniu razem z komentarzem co do ewentualnych rozbieżności z projektem. Działanie układu Schmitta i integratora oraz generatora samowzbudnego zilustrować charakterystykami i przebiegami czasowymi.

LITERATURA

Kulka Z., Nadachowski M., *Liniowe układy scalone i ich zastosowanie*
Tietze U., Schenk C., *Układy półprzewodnikowe*
Horowitz P., Hill W., *Sztuka elektroniki*, t.I