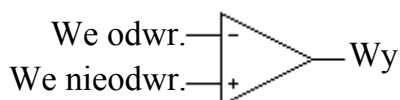


WZMACNIACZ OPERACYJNY - WZMACNIACZE: RÓŻNICZKUJĄCY I CAŁKUJĄCY

Wzmacniacze: różniczkujący i całkujący buduje się, przyłączając w odpowiedni sposób opornik i kondensator do wzmacniacza operacyjnego. Rysunek 1 przedstawia symbol wzmacniacza operacyjnego.



Rys. 1. Symbol wzmacniacza operacyjnego.

Wzmacniacz operacyjny posiada 2 wejścia (odwracające, oznaczone symbolem "-" i nieodwracające, oznaczone symbolem "+") oraz jedno wyjście. Napięcie na wyjściu wzmacniacza operacyjnego (dokładniej: potencjał wyjścia), U_{wy} , jest określone wzorem:

$$U_{wy} = K_0 (U_{we(+)} - U_{we(-)})$$

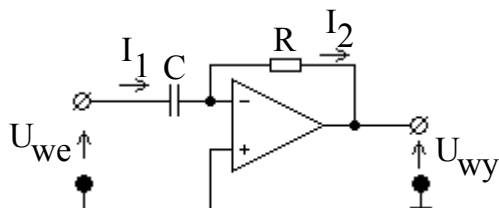
$U_{we(+)}$ i $U_{we(-)}$ oznaczają potencjały odpowiednio na wejściach: nieodwracającym i odwracającym. K_0 jest liczbą (dodatnią) i nazywa się wzmocnieniem napięciowym wzmacniacza operacyjnego lub wzmocnieniem "z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego".

Dla dokonania wyprowadzenia wzorów zakłada się, że wzmacniacz operacyjny spełnia następujące warunki: liczba K_0 posiada wartość bardzo dużą ($K_0 \gg 1$), opory wejść są nieskończenie duże, opór wyjścia - zerowy.

Produkowane wzmacniacze operacyjne posiadają wzmocnienie K_0 od kilku do kilkudziesięciu tysięcy, opory wejść rzędu wielu $M\Omega$, opory wyjścia - rzędu ułamka oma (lub kilkudziesięciu omów, jeżeli wzmacniacz posiada zabezpieczenie przed przepływem prądu o nadmiernej wartości). Układy zawierające te wzmacniacze będą dość dobrze realizować wyliczone funkcje, jeśli elementy dołączane do wzmacniaczy są odpowiednio dobrane a przetwarzane przez układ sygnały nie posiadają zbyt dużych częstotliwości.

Należy odróżniać wejście układu, zawierającego wzmacniacz operacyjny od wejść wzmacniacza operacyjnego. Podobnie, należy odróżniać wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego od wzmocnienia układu zawierającego wzmacniacz operacyjny.

Wzmacniacz różniczkujący



Rys. 2. Schemat wzmacniacza różniczkującego

Rysunek 2 przedstawia schemat wzmacniacza różniczkującego. Wzmacniacz ten składa się ze wzmacniacza operacyjnego, opornika R i kondensatora C. Kondensator doprowadza sygnał z wejścia układu do wejścia odwracającego wzmacniacza operacyjnego. Opornik, włączony pomiędzy wyjście i wejście odwracające wzmacniacza operacyjnego, stanowi gałąź ujemnego sprzężenia zwrotnego. Wejście nieodwracające jest połączone z masą układu.

Obliczmy zależność napięcia na wyjściu wzmacniacza różniczkującego od napięcia na jego wejściu.

Niech napięcie wejściowe U_{we} jakoś zmienia się w czasie. Przez kondensator będzie płynął więc prąd. Wartość (chwilową) natężenia tego prądu, I_1 , możemy wyrazić wzorem:

$$I_1 = C \frac{d(U_{we} - U_{we(-)})}{dt}.$$

Wartość natężenia prądu płynącego przez opornik, I_2 , możemy wyrazić wzorem:

$$I_2 = \frac{U_{we(-)} - U_{wy}}{R}.$$

Zaniedbując prąd płynący przez wejście odwracające wzmacniacza operacyjnego (w idealnym wzmacniaczu operacyjnym opory wejść są nieskończenie duże), możemy napisać: $I_1 = I_2$. Mamy więc równanie:

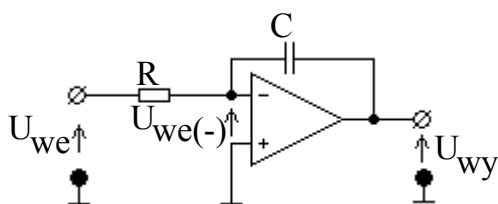
$$C \frac{d(U_{we} - U_{we(-)})}{dt} = \frac{U_{we(-)} - U_{wy}}{R}.$$

W wyrażeniu " $U_{we(-)} - U_{wy}$ " można opuścić składnik " $U_{we(-)}$ " (wartość jego jest K_0 razy mniejsza od wartości składnika " U_{wy} "). Napięcie $U_{we(-)}$, równe tutaj napięciu różnicowemu wzmacniacza operacyjnego, jest małe, także w stosunku do napięcia U_{we} . Można więc je opuścić w wyrażeniu " $U_{we} - U_{we(-)}$ ".

Po opuszczeniu " $U_{we(-)}$ " i po przekształceniu dochodzimy do wzoru:

$$U_{wy} \approx -RC \frac{dU_{we}}{dt}.$$

Zwróćmy uwagę na znak "minus" we wzorze!

Wzmacniacz całkujący

Rys. 2. Schemat wzmacniacza całkującego

Rysunek 2 przedstawia schemat wzmacniacza całkującego.

Znajdziemy wzór na wartość napięcia wyjściowego układu. Niech f będzie funkcją przedstawiającą zależność napięcia wejściowego układu od czasu: $U_{we} = f(t)$. Niech w chwili początkowej (tzn. dla $t = 0$) wartość napięcia wejściowego wynosi U_0 . Zanedbujemy prąd płynący przez wejście odwracające wzmacniacza operacyjnego. Możemy napisać równanie, obowiązujące dla dowolnej chwili:

$$\frac{U_{we} - U_{we(-)}}{R} = C \frac{d(U_{we(-)} - U_{wy})}{dt}$$

Lewa strona równania przedstawia wyrażenie na wartość natężenia prądu płynącego przez opór R , prawa - na wartość natężenia prądu płynącego przez kondensator C . Podobnie, jak to robiliśmy w obliczeniach dla wzmacniacza różniczkującego, po obu stronach równania opuszczamy składnik " $U_{we(-)}$ ". Otrzymujemy więc:

$$\frac{U_{we}}{R} \approx -C \frac{dU_{wy}}{dt}$$

Wzór na wartość napięcia wyjściowego będzie miał więc postać:

$$U_{wy} \approx -\frac{1}{RC} \int U_{we} dt + V$$

" V " jest stałą całkowania. Przechodząc do całki oznaczonej, otrzymamy:

$$U_{wy} \approx -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{we} dt + U_0$$

Tutaj także występuje znak "minus".

Plan ćwiczenia

1. Zbudować wzmacniacz różniczkujący, stosując np. $R = 10k\Omega$, $C = 20nF$. Odrysować z ekranu oscyloskopu dwukanałowego kształt sygnałów: wejściowego i wyjściowego, zachowując wzajemne położenie w czasie obu sygnałów dla:

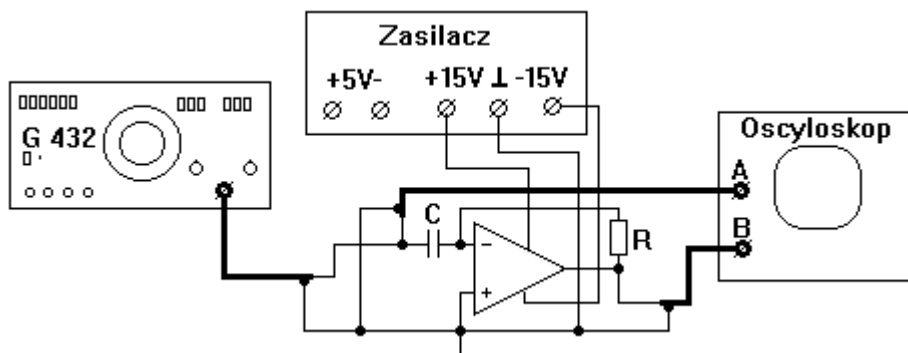
- sygnału wejściowego sinusoidalnego,
- sygnału wejściowego trójkątnego,

c) sygnału wejściowego prostokątnego.

Dla przypadku sygnału wejściowego trójkątnego należy porównać wyniki doświadczalne z teoretycznymi, biorąc za podstawę obliczeń teoretycznych szybkość narastania i opadania (w V/s) sygnału wejściowego, znaną na podstawie pomiarów na ekranie. W sygnale wyjściowym mierzymy wielkość napięcia dodatniego i ujemnego względem poziomu 0V. Poziom ten znajdujemy, wciskając na chwilę klawisz zerowania kanału oscyloskopu i - ewentualnie - przesuwając pokręteł przesuwu pionowego danego kanału linię poziomu zerowego, np. na środek ekranu. Jako źródła sygnału wejściowego używamy generatora typu G 432. W przypadku różniczkowania sygnału prostokątnego należy w generatorze wcisnąć klawisz "x0,1" i tak dobrać czułość kanału oscyloskopu dla sygnału wyjściowego, by wykres tego sygnału zmieścił się na ekranie.

2. Zbudować wzmacniacz całkujący, stosując np. $R = 10k\Omega$, $C = 1\mu F$ (nie elektrolityczny). Odrysować z ekranu oscyloskopu dla trzech różnych kształtów sygnału wejściowego - podobnie jak dla wzmacniacza różniczkującego - kształty sygnałów wejściowych i wyjściowych. Dla sygnału wejściowego prostokątnego wyniki doświadczalne porównać z wynikami teoretycznymi, biorąc za podstawę obliczeń teoretycznych wartości napięć części dodatniej i ujemnej (w V) sygnału wejściowego.

Układy wzmacniaczy realizujemy, przyłączając opornik i kondensator do płytki zawierającej wzmacniacz operacyjny i gniazda przyłączeniowe (tzw. gniazda radiowe). Opornik, zamontowany na płytce z wtyczkami, wtykamy bezpośrednio do gniazd płytki ze wzmacniaczem. Kondensator, także zamontowany na płytce, przyłączamy przy pomocy przewodów. Rysunek 5 przedstawia cały układ pomiarowy wzmacniacza różniczkującego. Grubymi liniami zostały narysowane przewody koncentryczne. Układ wzmacniacza całkującego jest podobny, z tym że są zamienione miejscami: opornik z kondensatorem.



Rys.4. Układ wzmacniacza różniczkującego z przyłączonym zasilaczem, źródłem sygnału wejściowego i oscyloskopem.

Uwagi.

Dla wykonania ćwiczenia należy podawać na wejście wzmacniaczy sygnał o częstotliwości rzędu kilkuset Hz (100 - 500Hz). W przypadku różniczkowania sygnału prostokątnego, zwykle należy zmniejszyć czułość kanału oscyloskopu, na który podajemy sygnał wyjściowy ze wzmacniacza do wartości np. 5V/cm i, ewentualnie, zwiększyć częstotliwość sygnału wejściowego oraz szybkość podstawy czasu w celu zwiększenia jasności obrazu.

Podczas badania wzmacniacza całkującego zwykle występuje płynięcie (powolna zmiana w czasie) średniego napięcia na wyjściu wzmacniacza. Zjawisko to związane jest z całkowaniem składowej stałej napięcia wejściowego. Nawet wtedy, gdy formalnie nie podajemy na wejście wzmacniacza składowej stałej napięcia, wewnętrzne niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego dają taki efekt, jakby na wejście było podane jakies niewielkie napięcie stałe. Płynięcie to utrudnia wykonanie ćwiczenia. Radzimy sobie w ten sposób, że na wejście wzmacniacza oprócz napięcia zmiennego podajemy składową stałą napięcia, kompensującą napięcie niezrównoważenia wzmacniacza. Korzystamy z koncentrycznego wyjścia generatora G-432. Mamy tu możliwość regulacji składowej stałej sygnału wyjściowego generatora za pomocą pokrętła oznaczonego "D.C.offset" (Składowa stała). Aby wyeliminować całkowicie płynięcie napięcia na wyjściu wzmacniacza, należy do kondensatora C dołączyć równolegle opornik, który wprowadzi ujemne sprzężenie zwrotne dla składowej stałej napięcia. Opornik ten powinien posiadać dużą wartość oporu w stosunku do oporu R, tak by nie "popsuć" w zauważalnym stopniu kształtu sygnału wyjściowego. Jako opór R stosujemy opornik $5k\Omega$ albo $10k\Omega$, jako pojemność C - kondensator o pojemności $1\mu F$. Do kondensatora C dołączamy równolegle opornik o wartości $1M\Omega$.

Jeśli dokonamy takiego ustawienia, by średni potencjał sygnału wyjściowego posiadał wartość bliską 0V, to będzie można zwiększyć czułość oscyloskopu, tak by obraz składowej zmiennej napięcia wyjściowego był wystarczająco (do wykonania pomiarów) rozciągnięty w kierunku Y - bez obawy wyprowadzenia go "poza ekran" z powodu dużej składowej stałej napięcia.

Zwraca się uwagę na to, by podczas pomiarów ilościowych, położenia pokręteł płynnej regulacji czułości kanałów i szybkości podstawy czasu oscyloskopu były "kalibrowane" (lampki sygnalizujące niekalibrowanie powinny być zgaszone) oraz by klawisze zerujące (zwierające do masy wejścia kanałów) były w pozycji "1" a nie "0". W pozycji "0" ustawiamy klawisz zerujący wtedy, gdy szukamy na ekranie oscyloskopu położenia "0V" dla danego kanału. Przełącznik rodzaju pracy oscyloskopu powinien znajdować się w położeniu "Chop" (chopped, czyli siekanie). Przełączniki rodzaju wejścia Y w oscyloskopie ustawić w pozycji „stałoprądowej” (tzn. w pozycji „DC” a nie „AC”) dla obu kanałów.

Literatura:

1. Z. Kulka, M. Nadachowski "Liniowe układy scalone i ich zastosowanie".
2. Z. Kulka, M. Nadachowski "Analogowe układy scalone"
3. S. Sońta, H. Kotlewski "Układy scalone liniowe i ich zastosowanie"

Opracował mgr Roman Kazański.
Lublin, 1995r.

Ostatnia zmiana: 15 października, 1998r, skor. 27 stycznia 2004r.