

Ćwiczenie nr 8

Podstawowe czworniki aktywne i ich zastosowanie cz. 1

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobem realizacji czworników aktywnych opartym na wzmacniaczu operacyjnym $\mu A741$, ich własnościami oraz pomiarem podstawowych parametrów. Do badań zostały wybrane następujące czworniki: źródła sterowane (ZNSN, ZNSP, ZPSN, ZPSP), żyrator, konwertor ujemnoimpedancyjny (NIC).

2. Program badań

2.1 Źródła sterowane

Wyróżniane są cztery rodzaje źródeł sterowanych:

ZNSN - źródło napięcia sterowane napięciem

ZNSP - źródło napięcia sterowane prądem

ZPSN - źródło prądu sterowane napięciem

ZPSP - źródło prądu sterowane prądem

Program badań przewiduje badanie zależności wielkości wyjściowej (napięcia lub prądu) od wielkości sterującej (też napięcia lub prądu). Do wykonania poniższych pomiarów należy użyć generatora przebiegów sinusoidalnych, rezystory dekadowe oraz oscyloskop.

Należy wykonać dwie serie pomiarów: pierwszą do wyznaczenia współczynnika k w zależności od wartości napięcia sterującego, a drugą do wyznaczenia zależności k od wartości rezystancji znajdującej się w pętli sprzężenia zwrotnego.

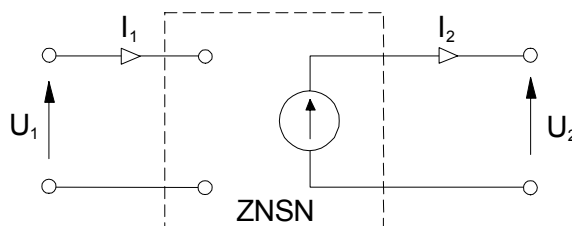
Wyniki pomiarów należy umieścić w tabelach.

Źródło napięcia sterowane napięciem (ZNSN)

Źródło napięcia sterowane napięciem (ZNSN) jest charakteryzowane przez równanie:

$$U_2 = kU_1$$

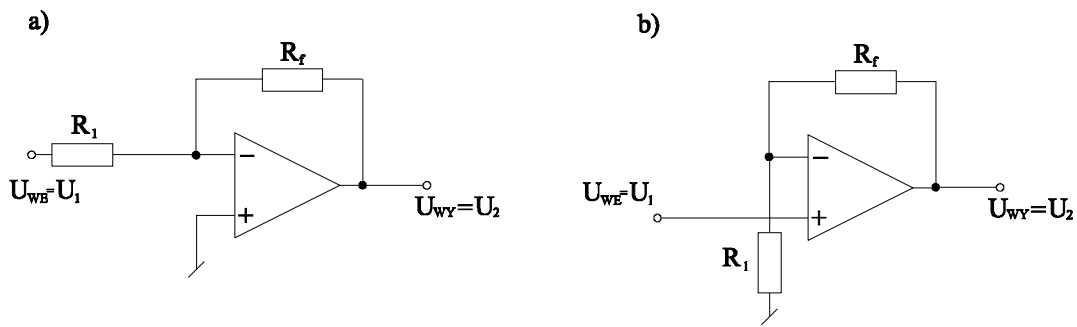
Na poniższym rys. 8.1 przedstawione zostało to źródło w sposób symboliczny.



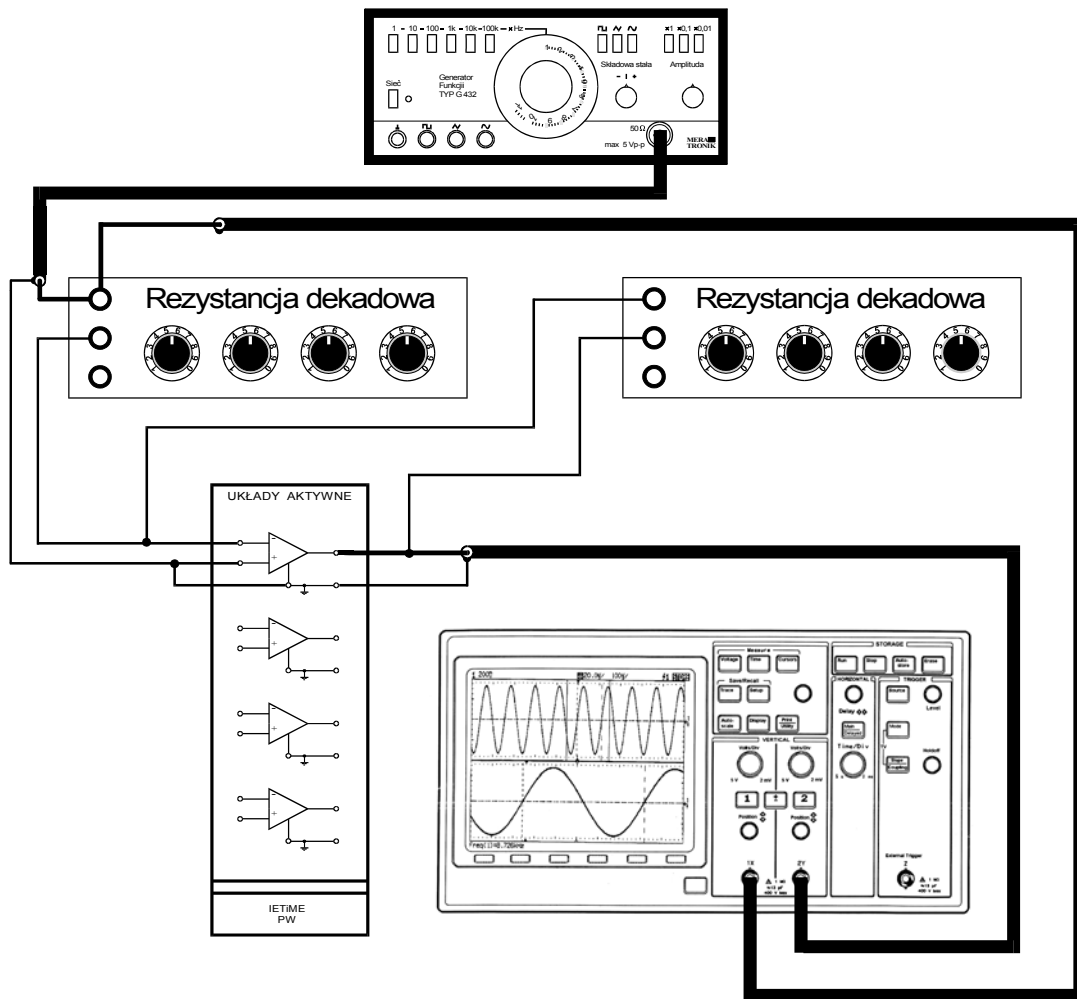
Rys. 8.1. Źródło napięcia sterowane napięciem

Na rys. 8.2a przedstawiono schemat ZNSN o współczynniku k ujemnym $k = \frac{-R_f}{R_1}$, natomiast na

rysunku 8.5b schemat ZNSN o k dodatnim, gdzie: $k = 1 + \frac{R_f}{R_1}$



Rys. 8.2. Schemat źródła napięcia sterowanego napięciem: a) o współczynniku k ujemnym, b) o współczynniku k dodatnim



Rys. 8.3. Schemat układu pomiarowego do badania źródła napięcia sterowanego napięciem (ZNSN)

Wyniki pomiarów należy umieścić w następujących tabelach:

Tabela 8.1

Tabela 8.2

$f =$ $R_1 =$ $k\Omega$ $R_f =$ $k\Omega$

$U_1 =$ V $R_1 =$ $k\Omega$

U_1	U_2	$k (-U_2/U_1)$
-------	-------	----------------

R_f	U_2	$k (-R_f/R_1)$	$k (-U_2/U_1)$
-------	-------	----------------	----------------

[V]	[V]	
Średnio k		

[kΩ]	[V]		

Do tabeli 8.1 wpisujemy wartość napięcia sterującego (wejściowego) i odpowiadającą mu wartość napięcia wyjściowego. Następnie oblicza się wzmacnienie k i średnie wzmacnienie będące średnią algebraiczną powyższych. Na podstawie tej tabeli należy wykreślić zależność U_2 od U_1 .

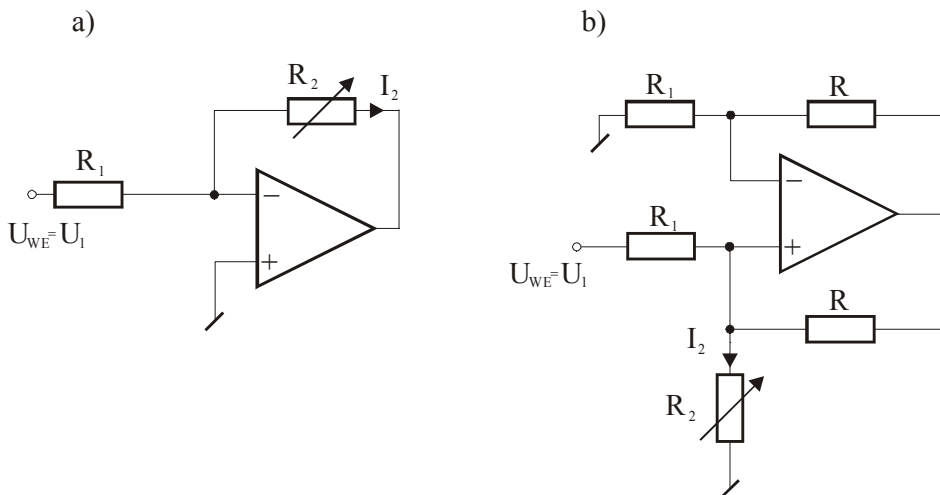
Do tabeli 8.2 wpisujemy zmiany napięcia wyjściowego w zależności od wartości rezystora R_f . Następnie wyliczamy wzmacnienie dwoma metodami używając używając:

- a) wartości rezystancji,
- b) wartości napięć.

Na podstawie tej tabeli należy wykreślić zależność $U_2 = f(U_1)$.

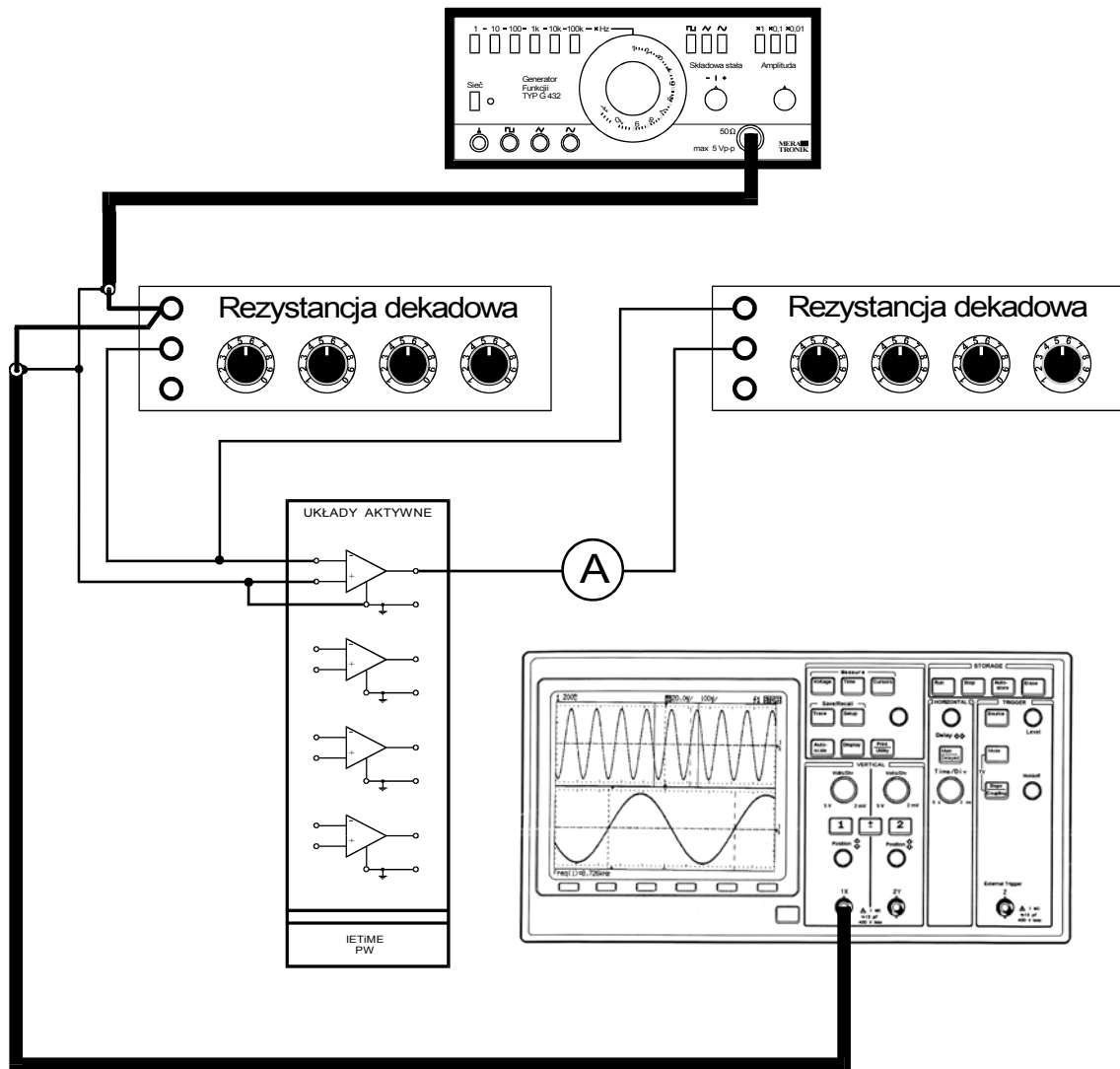
Źródło prądu sterowane napięciem (ZPSN)

Na rys. 8.8a przedstawiono układ realizujący, to źródło ze współczynnikiem g ujemnym, $g = -1/R_1$, natomiast na rys. 8.8b schemat źródła o współczynniku g dodatnim, $g = 1/R_1$.



Rys. 8.4. Schemat źródła prądu sterowanego napięciem (ZPSN): a) o współczynniku ujemnym, b) o współczynniku dodatnim

Można udowodnić, obliczając wartość I_2 w obwodzie, że prąd I_2 nie zależy od obciążenia R_2 , a więc spełnia warunek źródła prądowego i jest wprost proporcjonalny do napięcia wejściowego, tj. $I_2 = U_1/R_1$ przy założeniu, że wartość tego prądu nie przekracza prądu maksymalnego wzmacniacza (około 15 mA). W podobny sposób działa układ przedstawiony na rys. 8.4b.



Rys. 8.5. Schemat układu pomiarowego do badania źródła prądu sterowanego napięciem (ZPSN)

Wyniki pomiarów należy umieścić w tabelach.

Tabela 8.3

$$R_1 = R_2 = \quad \text{k}\Omega$$

U_1	I_2	$g=I_2/U_1$
[V]	[μA]	[μS]

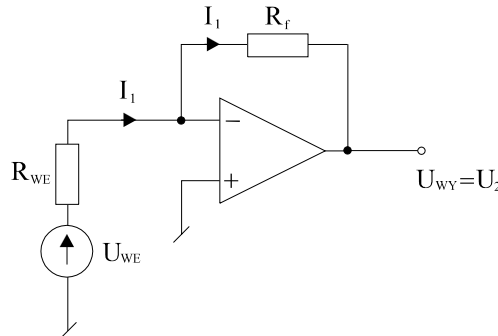
Tabela 8.4

R_2	I_2
[Ω]	[μA]

Do tabeli 8.3 wpisujemy wartości napięcia sterującego i odpowiadającą wartość prądu wyjściowego. Następnie należy obliczyć susceptancję i wykonać wykres zależności I_2 od U_1 . Do tabeli 8.4 wpisujemy wartości rezystancji i odpowiadające wartości prądu. Na podstawie tej tabeli wykonać należy wykres zależności I_2 od R_2 .

Źródło napięcia sterowane prądem (ZNSP)

Najprostsze rozwiązanie układowe tego źródła przedstawiono na rysunku 8.11. Prąd I_1 przepływając przez rezystancję R_{we} i R_f wytwarza napięcie wyjściowe $U_{wy} = - R_f I_1$, skąd współczynnik sterowania $r = -R_f$.



Rys. 8.6. Schemat źródła napięcia sterowanego prądem

Wyniki pomiarów należy umieścić w tabelach.

Tabela 8.5

$R_f = R_{we} = k\Omega$

I_1	U_2
[μA]	[V]

Tabela 8.6

$I_1 = \mu A$

R_f	U_2	$r = U_2/I_1$
[k Ω]	[V]	[k Ω]

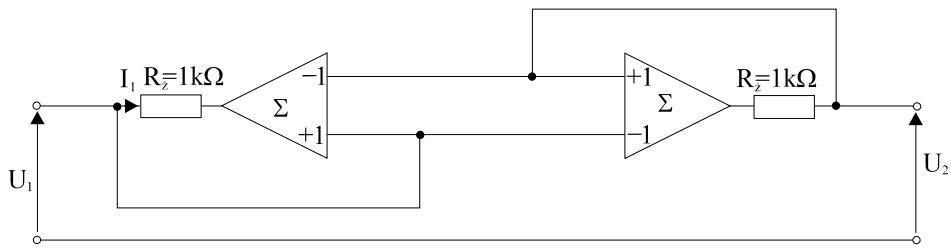
Do tabeli 8.5 wpisujemy zmianę prądu sterującego i odpowiadającą temu zmianę napięcia wyjściowego. Na podstawie tej tabeli należy wykreślić zależność $U_2=f(I_1)$. Do tabeli 8.6 należy (przy danym prądzie sterującym) wpisać poszczególne wartości rezystora R_f i odpowiadające im poszczególne napięcia wyjściowe. Na podstawie tej tabeli należy wykreślić zależność napięcia wyjściowego od wartości rezystora R_f .

3. Badanie żyrotora

Praktyczny sposób realizacji żyrotora przedstawiono na rys. 8.13. Impedancja wejściowa Z_{we} żyrotora obciążonego impedancją Z_0 jest:

$$Z_{we} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{r_1 I_2}{\frac{U_2}{r_2}} = \frac{r_1 r_2}{Z_0} = \frac{R_z^2}{Z_0} \tag{8.10}$$

gdzie $R_z = \sqrt{r_1 r_2}$ - tzw. stała żyracji.



Rys. 8.7. Schemat praktycznej realizacji żyrotora

W praktycznych zastosowaniach $r_1=r_2=R_z$. Żyrotor jest czwórnikiem nieodwracalnym, dlatego też istotne jest zaznaczenie kierunku żyracji.

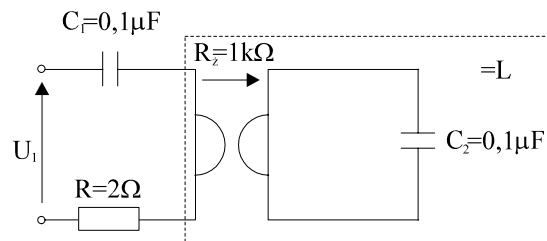
Żyrotor obciążony pojemnością C realizuje indukcyjność uziemioną widzianą z zacisków wejściowych żyrotora o impedancji:

$$Z_{we} = sCR_z^2 = sL \quad L = R_z^2 C \quad (8.12)$$

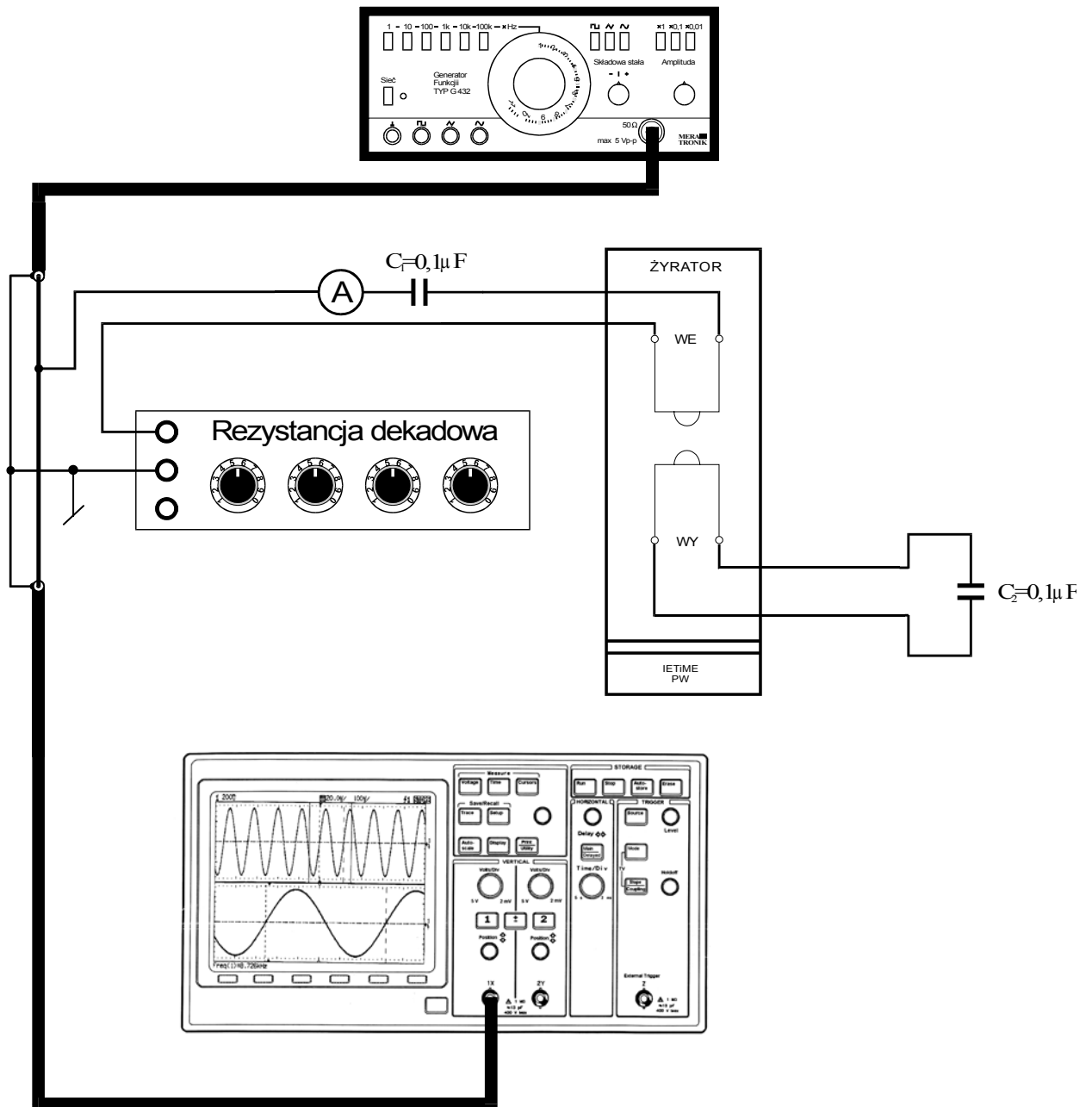
i z tego powodu znajduje zastosowanie w układach rezonansowych RC. Schemat takiego układu przedstawiono na rys. 8.13. Częstotliwość rezonansową tego obwodu wyznaczamy z zależności:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}} = \frac{1}{R_z \sqrt{C_1 C_2}} = \frac{1}{R_z C} \quad (8.13)$$

Przyjmując równe pojemności $C_1 = C_2 = C$, otrzymujemy obwód o dobroci Q .



Rys. 8.8. Obwód rezonansowy zrealizowany przy użyciu żyrotora



Rys. 8.9. Schemat układu pomiarowego do badania żyratora

Wyniki pomiarów należy umieścić w tabeli 8.7.

Tabela 8.7

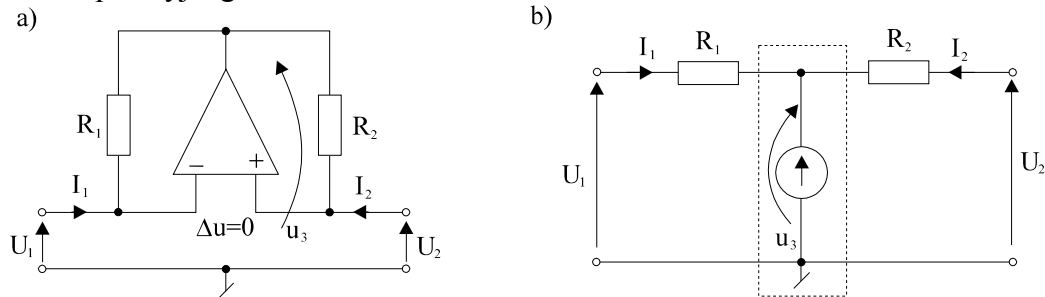
f	U_1	I_1	Z_{we}	R_z	$L=R_z^2 C$
[Hz]	[V]	[mA]	[Ω]	[Ω]	[H]

Do tabeli 8.7 należy wpisywać częstotliwość (proponujemy zrobić to za pomocą oscyloskopu - gwarantuje to niezłą dokładność), napięcie wejściowe (wartość skuteczną) i wartość skuteczną

prądu wejściowego. Następnie należy wykonać obliczenia i wpisać do tabeli. Na podstawie tabeli należy wykreślić następujące zależności $U_1 = f(I_1)$, $R_z = f(Z_{we})$ i L w funkcji częstotliwości.

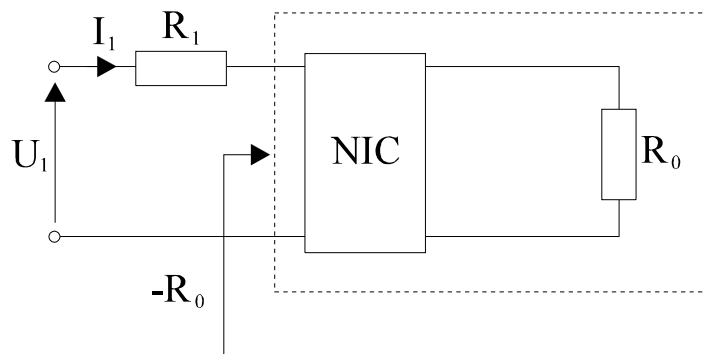
4. Konwerter ujemnoimpedancyjny (NIC)

NIC można zrealizować w sposób pokazany na rys. 8.10 za pomocą dwóch rezystorów i wzmacniacza operacyjnego.



Rys. 8.16. Realizacja konwertera NIC: a) schemat realizacji praktycznej, b) schemat zastępczy

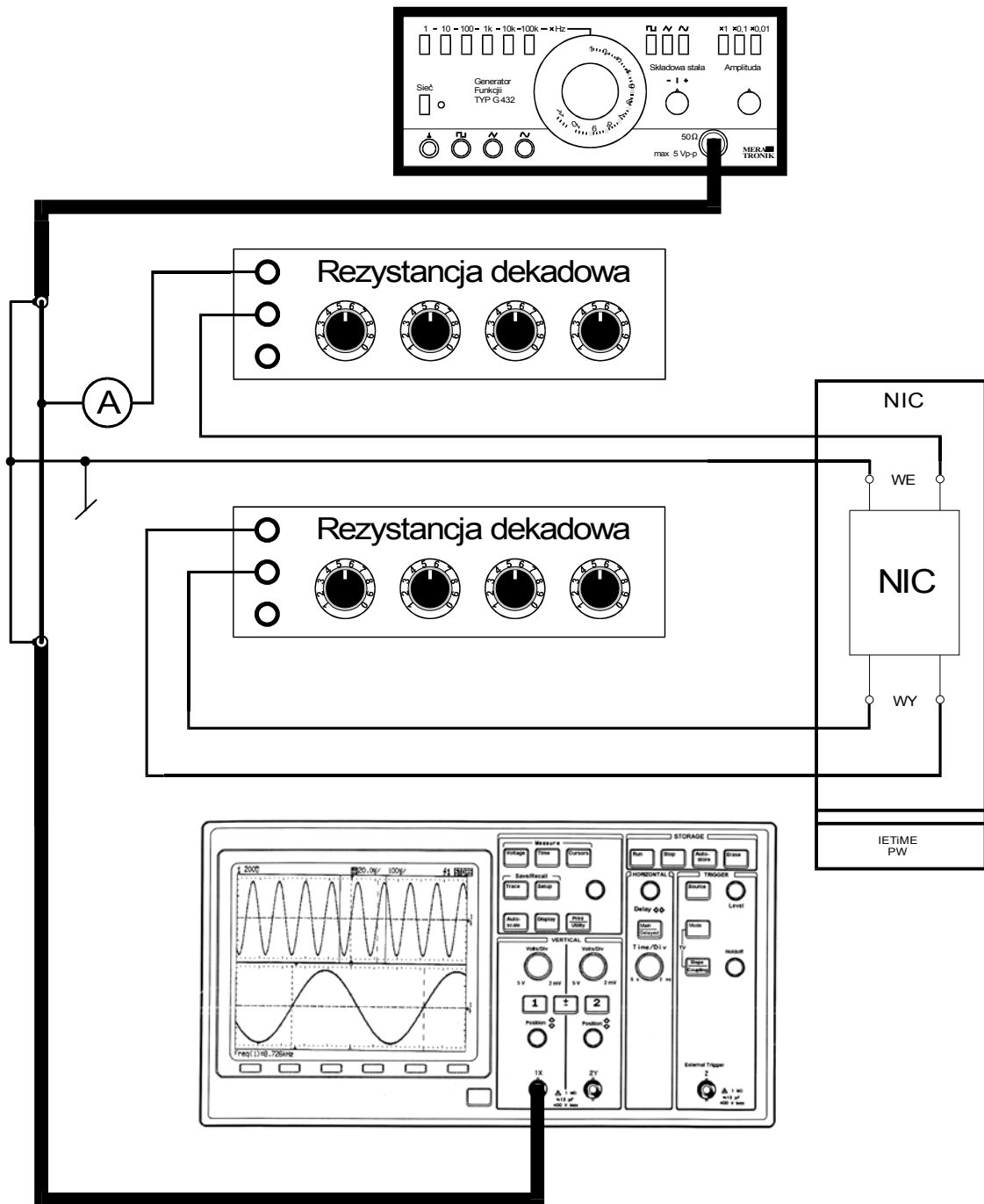
Praktyczna realizacja NIC na wzmacniaczu operacyjnym spełnia równanie (8.17) z pewnym przybliżeniem w ograniczonym zakresie częstotliwości i wartości rezystorów R_1 R_2 . Jest to spowodowane głównie skończoną wartością wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego zależną od częstotliwości. Za pomocą NIC można realizować ujemne wartości elementów: $-C$, $-L$ i $-R$. Układ pokazany na rys. 8.11 pozwala zmierzyć stałą konwersji k .



Rys. 8.11. Układ do pomiaru stałej konwersji i realizacji rezystancji ujemnej

Obciążenie R_0 musi spełniać warunek $kR_0 < R_1$. Taki układ przedstawia sobą dwójnik rezystancyjny o rezystancji $R = R_1 - kR_0$. Przez pomiar napięć i prądów znajdujemy wartość R i na tej podstawie, znając R_0 i R_1 , wyznaczamy stałą konwersji k .

Najprościej jest zasilić badany układ napięciem sinusoidalnym o amplitudzie 1V i przykładowej częstotliwości 1kHz. Rezystancję R_0 przyjąć 1 k Ω zaś $R_1 = 2$ k Ω , badany układ będzie reprezentował sobą rezystancję 1 k Ω , co dowodzi prawidłowej pracy konwertera NIC.



Rys. 8.12. Schemat pomiarowy do badania konwertera ujemno impedancyjnego (NIC)

3. Opracowanie wyników pomiarów

Uzyskane wyniki pomiarowe z badania źródeł sterowanych przestawić w postaci wykresów porównując z danymi teoretycznymi. Przy badaniu żyratora określić stałą żyracji i zrealizowaną indukcyjność. Dla inwertora ujemno impedancyjnego określić stałą konwersji.