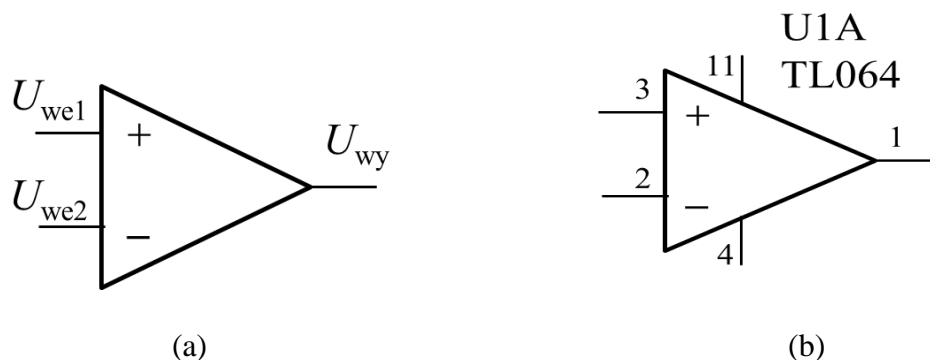


Ćw. 5. Badanie wzmacniacza operacyjnego

Wprowadzenie

Wzmacniacze operacyjne to najbardziej rozpowszechnione układy elektroniczne realizowane w postaci układów scalonych. Są układami liniowymi, które mają niemal wszystkie cechy zbliżone do idealnego wzmacniacza napięcia stałego. Dzięki różnym konfiguracjom zewnętrznych elementów rezystancyjnych i pojemnościowych, wzmacniacz może wykonywać wiele różnorodnych operacji. Oprócz wzmacniania sygnałów są stosowane w układach dopasowujących i filtrujących sygnały oraz do realizacji operacji matematycznych na sygnałach: dodawania, odejmowania, całkowania i różniczkowania.

Typowy wzmacniacz operacyjny, posiada dwa wejścia symetryczne o wysokiej impedancji i jedno wyjście asymetryczne (Rys. 1). Pierwsze z wejść jest nazywane wejściem odwracającym (inverting input) i oznacza się je symbolem minusa (-). Drugie z nich to wejście nieodwracające (non-inverting input), zaznaczone symbolem plusa (+). Po przeciwnej stronie znajduje się wyjście wzmacniacza, w tym przypadku końcówka nr 1, (patrz Rys. 1b). Aby na wejściach i wyjściu mogły występować napięcia zarówno dodatnie jak i ujemne to układ musi być zasilany napięciami dodatnim i ujemnym podawanymi na końcówki 4 i 11).



Rys. 1. Ogólny symbol graficzny wzmacniacza operacyjnego (a) oraz przykład oznaczenia na schemacie (b).

Jeżeli układ pracuje liniowo, to napięcie U_{wy} panujące na wyjściu jest różnicą napięć na wejściach U_{we1} i U_{we2} pomnożoną przez współczynnik wzmocnienia wzmacniacza, co oznacza, że wzmacniacz operacyjny jest wzmacniaczem różnicowym.

Wzmacniacz operacyjny służy podobnie jak inne wzmacniacze do wzmocnienia napięcia czy też mocy, a sposób jego działania zależy głównie od zastosowanego zewnętrznego obwodu sprzężenia zwrotnego (najczęściej silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego).

Główne parametry wzmacniacza operacyjnego przedstawione są w Tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie głównych parametrów wzmacniacza operacyjnego.

Parametry	Wzmacniacz idealny	Wzmacniacz rzeczywisty
Wzmocnienie napięciowe	∞	$10^5 \div 10^6$
Rezystancja wejściowa [Ω]	∞	$10^5 \div 10^8$
Rezystancja wyjściowa [Ω]	0	$10 \div 100$
Tłumienie składowej wspólnej sygnału	1: ∞	1: $10^3 \div 1: 10^6$ (60 \div 120 dB)
Zakres częstotliwości pracy [MHz]	$0 \div \infty$	$0 \div 500$
Napięcie wyjściowe [V]	$0 \div \pm \infty$	Ograniczone napięciami zasilania

Definicje podstawowych parametrów wzmacniacza operacyjnego

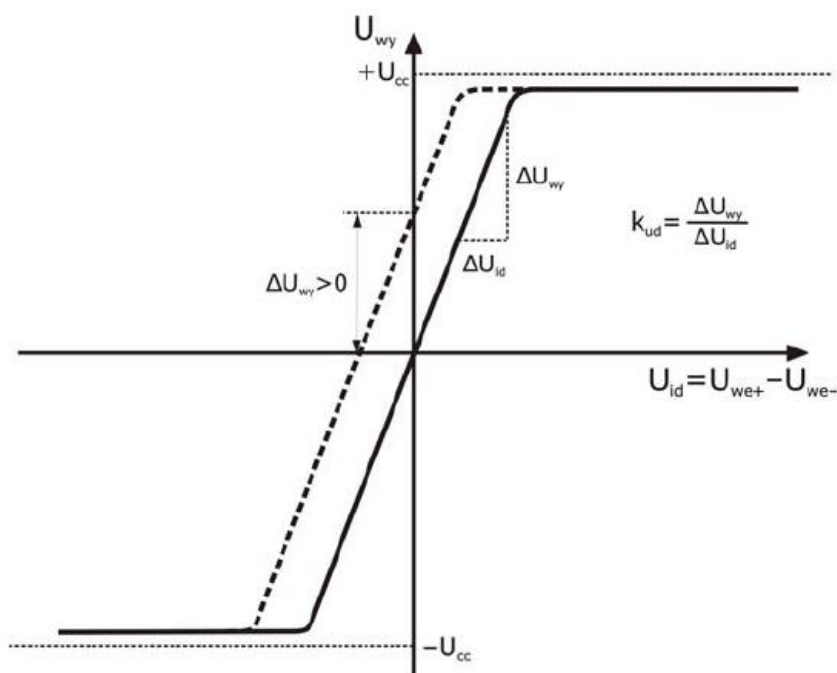
1. Wzmocnienie napięciowe różnicowe wzmacniacza z otwartą pętlą

Wzmocnienie napięciowe różnicowe wzmacniacza z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego k_{ud} definiowane jako stosunek zmiany napięcia wyjściowego ΔU_{wy} do wywołującej ją zmiany różnicowego napięcia wejściowego ΔU_{id} :

$$k_{ud} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{id}} \quad (1)$$

Składowa różnicowa $U_{id} = U_{we+} - U_{we-}$ odpowiada różnicy chwilowych wartości napięć wejściowych, odpowiednio między wejściem odwracającym i nieodwracającym. Wzmocnienie k_{ud} jest nazywane różnicowym wzmocnieniem napięciowym, a wyrażane jako wartość bezwzględna w [V/V] lub [dB]. Wzmocnienie to jest zawsze określane przy ustalonych wartościach napięcia zasilającego i temperatury, gdyż silnie zależy od tych czynników. W rzeczywistych układach przyjmuje wartości $10^4 \div 10^6$ V/V (ok. 80 \div 130 dB).

Na rys. 2 przedstawiono typową charakterystykę przejściową wzmacniacza operacyjnego czyli przebieg zależności napięcia wyjściowego od różnicowego. Na tej charakterystyce można wyróżnić trzy zakresy pracy wzmacniacza: zakres pracy liniowej i dwa zakresy nasycenia. W zakresie pracy liniowej, napięcie wyjściowe jest określone wzorem (1). Z kolei w zakresie nasycenia napięcie wyjściowe przyjmuje ujemną lub dodatnią wartość ograniczoną napięciem zasilania $\pm U_{cc}$.



Rys. 2. Charakterystyka przejściowa wzmacniacza operacyjnego przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego.

2. *Rezystancja wyjściowa* (R_0) jest mierzona we wzmacniaczu z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego przy napięciach U_{we+} oraz U_{we-} równych zero. Ze względu na nieliniowość charakterystyki wyjściowej jest definiowana przyrost napięcia na wyjściu do przyrostu prądu wyjściowego

$$R_0 = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} \quad (2)$$

3. *Rezystancja wejściowa*

(a) Rezystancję określaną dla sygnału różnicowego), tj. rezystancja „widziana” między wejściami wzmacniacza (odwracającym i nieodwracającym) z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego, definiowana jako:

$$R_{id} = \frac{\Delta U_{id}}{\Delta I_{ib1}} \text{ lub } R_{id} = \frac{\Delta U_{id}}{\Delta I_{ib2}}$$

Prądu I_{b1} i I_{b2} są wejściowymi prądami polaryzacji wzmacniacza.

(b) Rezystancję określaną dla sygnału sumacyjnego tj. rezystancja „widziana” między jednym z wejść wzmacniacza a masą, definiowana jako:

$$R_{id} = \frac{\Delta U_{ic}}{\Delta(I_{ib1} + I_{ib2})}$$

Gdzie $U_{ic} = U_{we+} + U_{we-}$

Zagadnienia do kolokwium:

1. Budowa i działanie złącza npn i pnp.
2. Podstawowe układy pracy tranzystorów.
3. Podstawowe parametry tranzystorów.

Literatura:

W. Pietrzyk (red), *Laboratorium z elektrotechniki*, Wydawnictwa Uczelniane PL, 2003