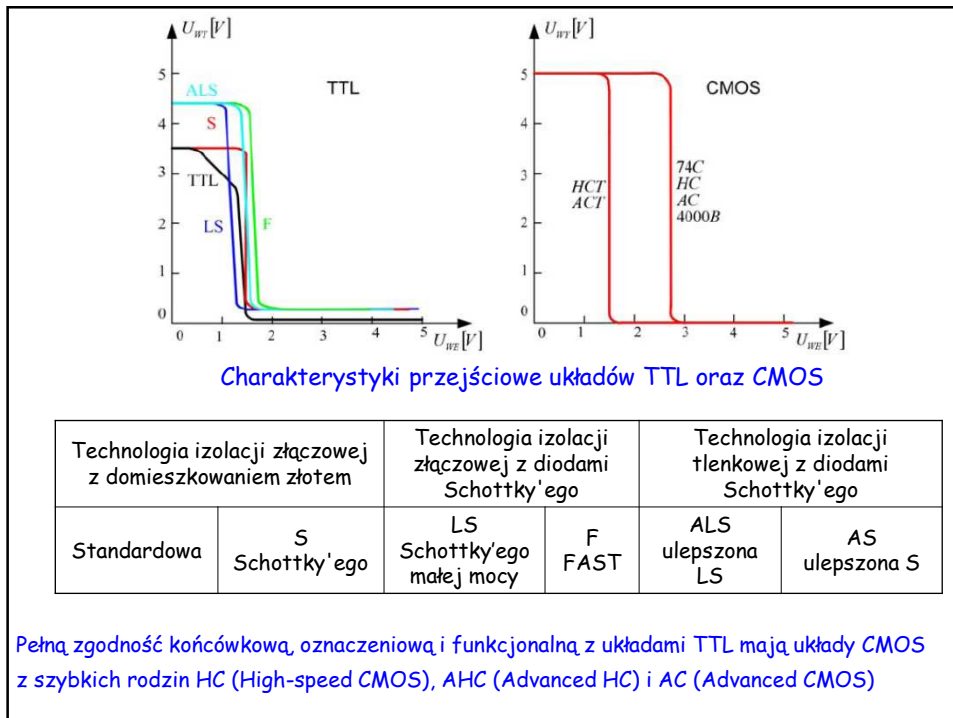


Zestawienie podstawowych parametrów rodzin TTL i CMOS.

Parametr	Rodzina TTL			Rodzina CMOS			
	LS	ALS	F	4000B 74C	HC HCT	AHC AHCT	AC ACT
Napięcie zasilające U_{cc} [V]	5±5%	5±10%	5±5%	3 - 18	2 - 6	2 - 5,5	2 - 6
Moc strat na bramkę w stanie statycznym P_{typ} [mW]	2	1	5,5	0,001	0,0025	0,0025	0,0025
Czas propagacji t_{prop} [ns] przy $C_i = 50$ pF	9	5	3,5	125	8	5,2	3
Maksymalna częstotliwość pracy f_{max} [MHz]	33	50	150	4	50	115	160
Prąd wyjściowy $I_{OH max}$ [mA] przy $U_{OH min}$	0,4	0,4	1	2,1 przy 2,5V	6 przy 4,5V	8 przy 4,5V	24 przy 3,8V
Prąd wyjściowy $I_{OL max}$ [mA] przy $U_{OL max}$	-8	-8	-20	-0,44 przy 0,4V	-6 przy 0,4V	-8 przy 0,4V	-24 przy 0,4V
Prąd wejściowy $I_{IH max}$ [μ A]	20	20	20	0,1	1	1	1
Prąd wejściowy $I_{IL max}$ [μ A]	400	200	600	0,1	1	1	1
Margines zakłóceń M_{min} [V]	0,3	0,4	0,3	0,3 U_{cc}	0,28 U_{cc} : 1,25V przy $U_{cc}=4,5V$ oraz 1,4V przy $U_{cc}=5,0V$		

Parametry układów CMOS i TTL zasilanych napięciem $U_{cc}=5V$



Wzmacniacze operacyjne

- należą do najbardziej uniwersalnych układów elektronicznych
- istnieją w postaci układów scalonych

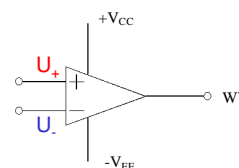
Wzmacniacz operacyjny ma dwa wejścia:

(-) - odwracające fazę (sygnał wyjściowy jest przesunięty w fazie o 180° względem wejściowego),

(+) - nieodwracające fazy

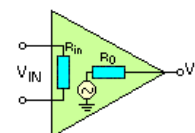
Realizuje funkcję: $U_{WY} = A \cdot (U_+ - U_-)$ gdzie A - wzmacnienie układu

- Napięcia zasilania $+V_{CC}$ i $-V_{EE}$ (z dwóch niezależnych źródeł)
- Wartości napięć U_+ , U_- i U_{WY} oraz V_{CC} i V_{EE} określone względem wspólnego poziomu odniesienia - masy



Idealny wzmacniacz operacyjny:

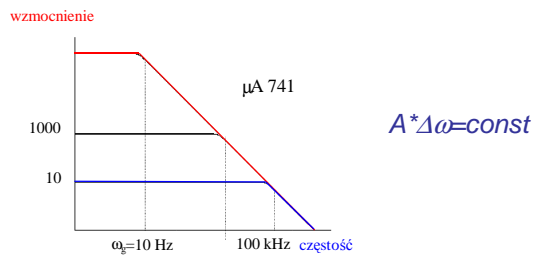
- **wzmacnienie napięciowe $A \rightarrow \infty$,**
- **rezystancje obu wejść względem masy są nieskończone,**
- **rezystancja między wejściami $R_{IN} \rightarrow \infty$ (układ nie pobiera prądu z wejść)**
- **rezystancja wyjściowa jest pomijalnie mała $R_O \rightarrow 0$,**
- **nieograniczone pasmo przenoszenia (własności częstotściowe wzmacniacza nie mają wpływu na jego pracę)**



Idealny wzmacniacz operacyjny nie istnieje!

Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne:

- Rezystancje wejściowe wynoszą : $10^4 \div 10^{12} \Omega$, wyjściowe : $1 \div 10^4 \Omega$.
- Wzmocnienie dla małych częstotliwości może sięgać 10^6
- Budując wzmacniacz o wzmocnieniu 10 możemy określić jego charakterystykę częstotściową i pasmo przenoszenia

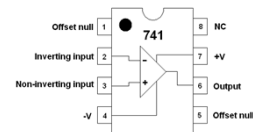
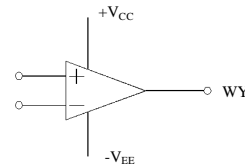
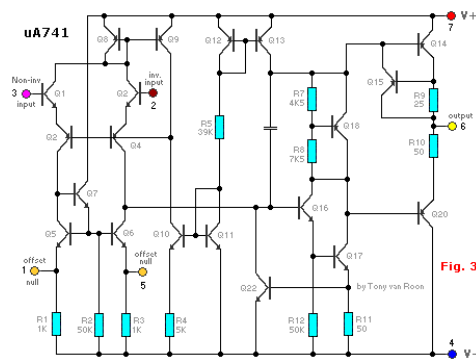


Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne dobrze spełniają założenia dla wzmacniaczy idealnych → model działania

np. LM 318: $A > 20\,000$, $R_{WE}=10^{10} \Omega$, $R_{WY}=100 \Omega$

niestety ograniczone pasmo przenoszenia ($A * \Delta\omega = \text{const}$)

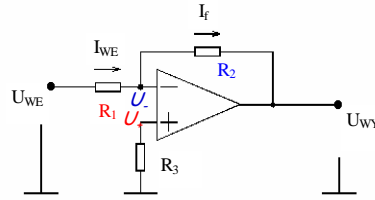
Wzmacniacz operacyjny $\mu A741$ - schemat



Parametry wzmacniacza $\mu A 741$:

- wzmocnienie przy otwartej pętli sprzężenia $k = 100\,000$
- rezystancja wejściowa $R_i = 2 \text{ M}\Omega$
- maksymalne różnicowe napięcie wejściowe = $\pm 30 \text{ V}$
- napięcie zasilania $\pm 15 \text{ V}$
- pobór mocy 45 mW

Wzmacniacz odwracający fazę - podstawowy układ ze wzmacniaczem operacyjnym



Wzmocnienie ?

napięcie wyjściowe układu jest skończone, lecz wzmocnienie „idealne” $A \rightarrow \infty$, z równania $U_{WY} = A \cdot (U_+ - U_-)$ wynika, że $U_+ = U_-$, czyli, że $U_- = 0$

nieskończona rezystancja wejściowa \rightarrow prądy wpływające do wejść pomijalne

równanie prądów w układzie:
$$I_{WE} = \frac{U_{WE} - U_-}{R_1} = \frac{U_- - U_{WY}}{R_2} = I_f$$

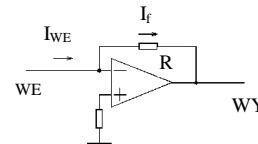
Stąd efektywne wzmocnienie układu:
$$\frac{U_{WY}}{U_{WE}} = -\frac{R_2}{R_1} = A$$

Ponieważ potencjał $U_- = 0 \rightarrow$ rezystancja wejściowa układu wynosi R_i

Konwerter prąd-napięcie

gdy rezystor R_1 nie istnieje ($R_1 \rightarrow 0$) $\rightarrow U_{WY} = I_{WE} \cdot R$

Zastosowanie: źródła prądowe, np. fotodiody, fotopowielacze itp.



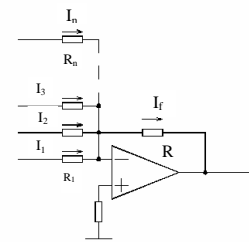
Wzmacniacz sumujący

w układzie wzmacniacza odwracającego fazę:

Suma prądów, które dopływają do wejścia odwracającego fazę jest równa prądowi sprzężenia zwrotnego:

$$\sum I_i = \sum \frac{U_{wei}}{R_i} = I_f = \frac{-U_{wy}}{R}$$

Stąd:
$$U_{wy} = -R \sum \frac{U_{wei}}{R_i}$$



napięcie wyjściowe proporcjonalne do sumy napięć wejściowych z wagami R/R_i

Jeśli wszystkie oporniki będą miały wartość oporu R , to:

$$U_{WY} = -(U_{WE1} + U_{WE2} + \dots + U_{WEN})$$

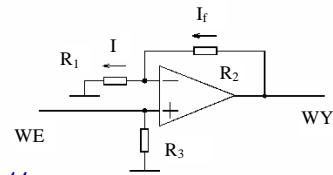
Jedno z zastosowań:

mikser akustyczny w studiach nagrań.

Przez regulację R_i ustala się wkład (głośność) każdego ze źródeł

Wzmacniacz nieodwracający fazy:

napięcie wejściowe podawane jest na wejście nieodwracające (+) wzmacniacza operacyjnego



Różnica napięć między wejściami wzmacniacza U_+ i U_- jest infinitezymalna.

→ prąd płynący w pętli sprzężenia zwrotnego: $I_f = \frac{U_{WY} - U_{WE}}{R_2} = \frac{U_{we}}{R_1} = I$

$$\text{wzmocnienie układu: } \frac{U_{WY}}{U_{WE}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = A$$

Rezystor R_3 określa rezystancję wejściową układu

Zastosowanie: współpraca z wysokooporowymi źródłami sygnału jak np. termopary

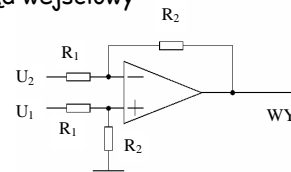
Wtórnik napięciowy:

gdy w układzie wzmacniacza $R_1 \rightarrow \infty$, $\rightarrow A=1$,

lecz prąd wyjściowy może być znacznie większy niż prąd wejściowy

Wzmacniacz różnicowy
napięcie wyjściowe:

$$U_{WY} = \frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2)$$



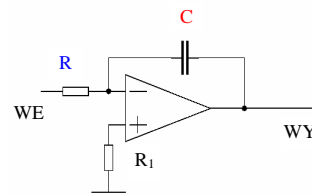
Inne operacje matematyczne na sygnałach

Wzmacniacz całkujący

Równanie prądów w układzie ma postać:

$$I_{WE} = \frac{U_{WE}}{R} = I_f = \frac{dq}{dt} = -C \frac{d}{dt} U_{WY}$$

$$\text{stad: } U_{WY} = -\frac{1}{RC} \int U_{WE} dt$$



Dla wejściowych sygnałów **harmonicznych** (sinusoida) charakterystyka częstościowa układu:

$$\left| \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \right| = \frac{1}{\omega RC}$$

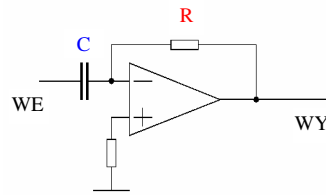
Inne operacje matematyczne na sygnałach c.d.

Wzmacniacz różniczkujący:

Zamiana kondensatora i opornika miejscami!

$$I_{WE} = \frac{dq}{dt} = C \frac{d}{dt} U_{WE} = I_f = -\frac{U_{WY}}{R}$$

czyli:
$$U_{WY} = -RC \frac{d}{dt} U_{WE}$$



Charakterystyka częstotściowa tego układu dla wejściowych sygnałów harmonicznych:

$$\left| \frac{U_{WY}}{U_{WE}} \right| = \omega RC$$

Zastosowanie wzmacniaczy całkujących i różniczkujących:

→ formowanie sygnałów analogowych

Inne operacje matematyczne na sygnałach c.d.

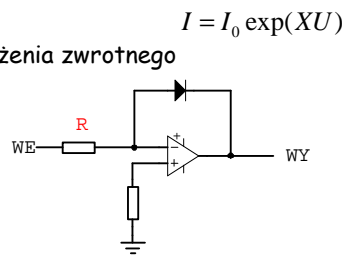
Wzmacniacz logarytmujący:

element o charakterystyce wykładniczej w pętli sprzężenia zwrotnego

$$I_{WE} = \frac{U_{WE}}{R} = I_f = I_0 \exp(-XU_{WY})$$

$$U_{WY} = -\frac{1}{X} \ln\left(\frac{U_{WE}}{RI_0}\right)$$

element nieliniowy: dioda, tranzystor bipolarny



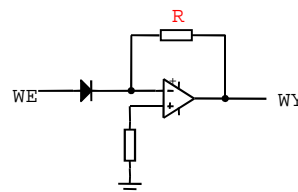
Wzmacniacze logarytmujące: przetwarzanie sygnałów o dużej dynamice zmian

Wzmacniacz antylogarytmujący:

zamiana miejscami rezystora i elementu nieliniowego

$$I_{WE} = I_0 \exp(XU_{WE}) = I_f = \frac{-U_{WY}}{R}$$

$$U_{WY} = -I_0 R \cdot \exp(XU_{WE})$$



Układy mnożące: kombinacja wzmacniaczy sumujących, odejmujących, logarytmujących i antylogarytmujących

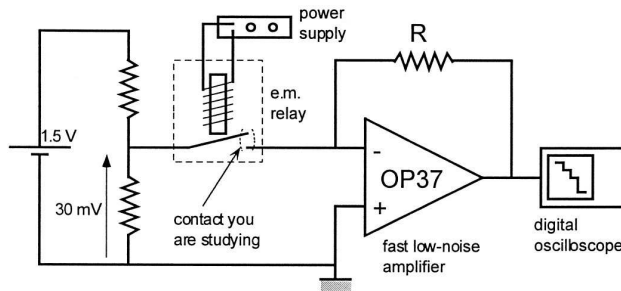
2013 Physics Problems



ipt2013.epfl.ch

16. Conductance quantum

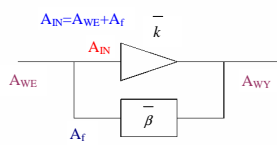
Few people know that conductance quantization can be observed in a simple electro-mechanical relay at room temperature. Obtain the experimental value of conductivity quantum. How close can it be to the theoretical value at room temperature? The possible scheme of the experimental assembly is shown in the figure.

Sprężenie zwrotne:

- oddziaływanie skutku na przyczynę
- wpływa na własności układu elektronicznego

Wzmacniacz: podstawowy układ elektroniczny ze sprzężeniem zwrotnym.

Pętla sprzężenia zwrotnego przenosi część sygnału z wyjścia na wejście „IN” umożliwiając dodawanie do sygnału wejściowego „WE”.



Wzmocnienie wzmacniacza: $\bar{k} = A_{wy} / A_{in}$

Stopień sprzężenia zwrotnego: $\bar{\beta} = A_f / A_{wy}$

ponieważ: $A_{in} = A_{we} + A_f$

> wypadkowe wzmocnienie układu ze sprzężeniem:

$$k_f = \frac{A_{wy}}{A_{we}} = \frac{A_{wy}}{A_{in} - A_f} = \frac{\bar{k}}{1 - \bar{\beta}\bar{k}}$$

Wzmacniacz i układ sprzężenia zwrotnego **przesuwają fazę:**

$$\bar{k} = k \exp(j\phi) \quad \text{oraz} \quad \bar{\beta} = \beta \exp(j\psi)$$

Stąd, wzmocnienie wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym: $k_f = \frac{k(\cos\phi + j\sin\phi)}{1 - k\beta[\cos(\phi + \psi) + j\sin(\phi + \psi)]}$

Szczególne przypadki:dodatnie sprzężenie zwrotne $\phi+\psi=2n\pi$

$$k_f = \frac{\bar{k}}{1 - k\beta}$$

zwiększenie efektywnego wzmocnienia wzmacniaczaujemne sprzężenie zwrotne $\phi+\psi=(2n+1)\pi$

$$k_f = \frac{\bar{k}}{1 + k\beta}$$

zmniejszenie efektywnego wzmocnienia wzmacniaczaRodzaj sprzężenia zwrotnego wpływa na własności urządzeń elektronicznych**Stabilność wzmocnienia:** stabilność bezwzględna := $\gamma = dk_f/dk$

$$\text{wrażliwość względna} := \gamma_r = \frac{dk_f/k_f}{dk/k}$$

Dla dodatniego sprzężenia zwrotnego

$$\gamma = \frac{1}{(1 - \beta k)^2} \quad \gamma_r = \frac{1}{1 - \beta k} > 1$$

czyli stabilność wzmacniacza pogarsza się

Dla ujemnego sprzężenia zwrotnego:

$$\gamma = \frac{1}{(1 + \beta k)^2} \quad \gamma_r = \frac{1}{1 + \beta k} < 1$$

czyli ujemne sprzężenie zwrotne poprawia stabilność układuJeśli duże wzmocnienia ($k \rightarrow \infty$) i ujemne sprzężenie, to $k_f \rightarrow 1/\beta$

Parametry układu są wyznaczone tylko przez parametry układu sprzężenia zwrotnego, które mogą być bardzo stabilne (elementy bierne)

Sprzężenie zwrotne ustala pasmo transmisji układów elektronicznych

Charakterystyka wzmacniacza podobna jak dla filtra dolnoprzepustowego

$$\bar{k}(\omega) = \frac{\bar{k}_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}$$

Wzmocnienie układu ze sprzężeniem zwrotnym β :

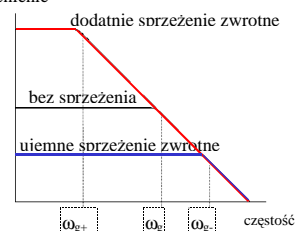
$$\bar{k}_f(\omega) = \frac{\bar{k}(\omega)}{1 - k\beta(\omega)} = \frac{\frac{\bar{k}_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}}{1 - \frac{\beta \bar{k}_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}}$$

$$\text{Oznaczając: } \omega_{fg} = \omega_g (1 - \beta \bar{k}_0) \quad k_{f0} = \bar{k}_0 / (1 - \beta \bar{k}_0)$$

otrzymujemy wzmocnienie układu ze sprzężeniem:

$$\bar{k}_f(\omega) = \frac{\bar{k}_{f0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_{fg}}}$$

wzmocnienie

**Ujemne sprzężenie zwrotne:**

- zmniejszenie maks. wzmocnienia
- zwiększenie częstotliwości granicznej

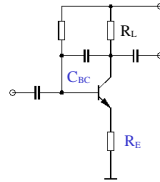
Dodatnie sprzężenie zwrotne:

- zwiększenie maks. wzmocnienia
- ograniczenie pasma przenoszenia

Ujemne sprzężenie - korzystna modyfikacja własności układu elektronicznego

- zwiększenie stabilności,
- redukcja współczynnika szumów,
- poszerzenie pasmo częstotliwości

Zmniejszenie efektywnego współczynnika wzmocnienia nie jest ograniczeniem!



Ujemne sprzężenie zwrotne stosuje się w układach tranzystorowych do **stabilizacji punktu pracy** - za pomocą rezystora R_E umieszczanego w emiterze

Występuje w postaci **efektu Millera**, (pojemność C_{BC}) powodującego ograniczenie wzmocnienia dla wysokich częstotliwości

Dodatnie sprzężenie zwrotne oddziałuje niekorzystnie na układ i w urządzeniach elektronicznych jest w zasadzie stosowane **tylko w generatorach**