

Sprężenie zwrotne

Sprzężenie zwrotne (*feedback*)
jest to podanie części sygnału
wyjściowego układu na jego wejście

Przypomnienie pojęcia transmitancji

Transmitancja układu jest to iloraz jego odpowiedzi i wymuszenia.

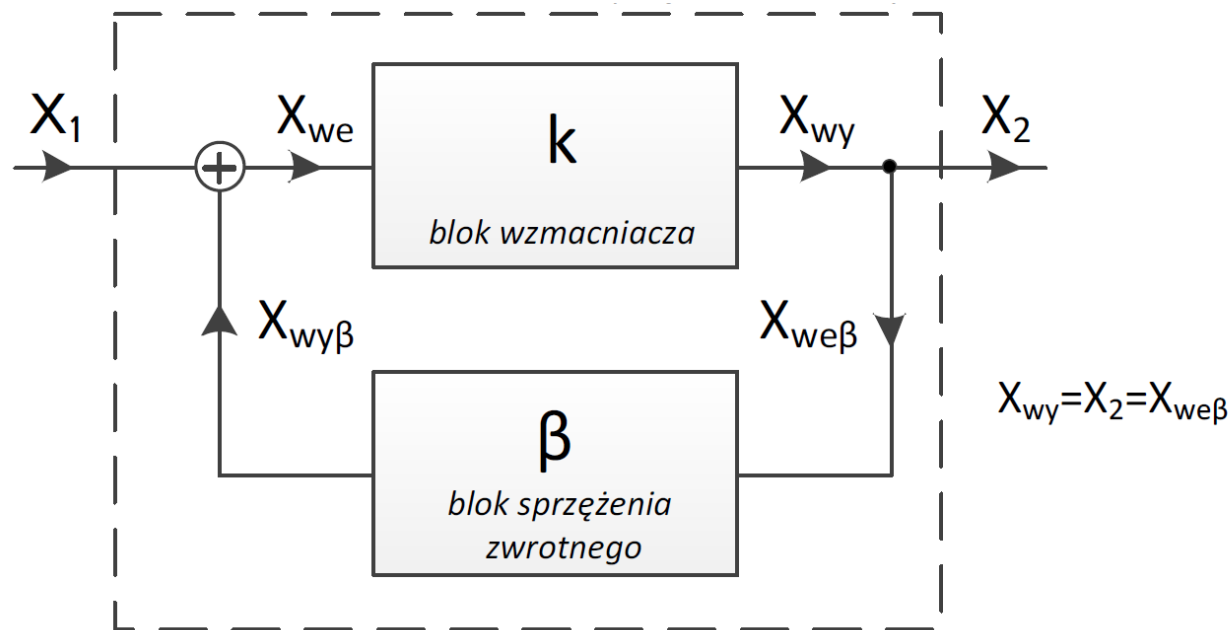
Transmitancja wiąże ze sobą w postaci ilorazu prąd lub napięcie wyjściowe (odpowiedź) z prądem lub napięciem wejściowym (wymuszenie).

Jeżeli transmitancja jest ilorazem napięcia wyjściowego wzmacniacza i jego napięcia wejściowego określa się ją jako transmitancję napięciową i jest ona zarazem wzmocnieniem napięciowym.

Jeżeli transmitancja jest ilorazem prądu wyjściowego i prądu wejściowego określa się ją jako transmitancję prądową i jest ona zarazem wzmocnieniem prądowym.

W pozostałych przypadkach mamy do czynienia z transmitancją napięciowo - prądową lub z transmitancją prądowo - napięciową.

Układ ze sprzężeniem zwrotnym



k – transmitancja wzmacniacza

$$k = \frac{X_{wy}}{X_{we}}$$

β - transmitancja sprzężenia zwrotnego

$$\beta = \frac{X_{wy}\beta}{X_{we}\beta}$$

Iloczyn transmitancji bloku wzmacniacza i bloku sprzężenia zwrotnego $k \beta$ nazywany jest *wzmocnieniem pętli sprzężenia zwrotnego*

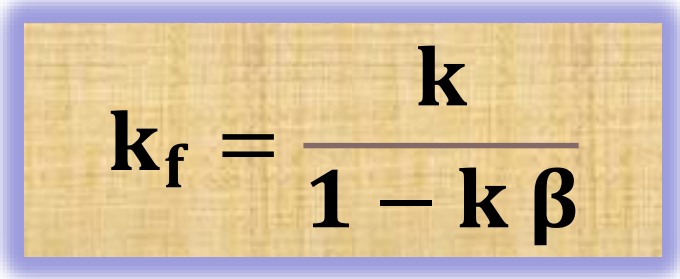
Obliczamy k_f

Transmitancja k_f jest to transmitancja całego układu ze sprzężeniem zwrotnym

(obejmuje łącznie blok wzmacniacza i blok sprzężenia zwrotnego)

$$k_f = \frac{X_2}{X_1}$$

$$k_f = \frac{X_2}{X_1} = \frac{X_2}{X_{we} - X_{wy}\beta} = \frac{X_2}{X_{we} \left(1 - \frac{X_{wy}\beta}{X_{we}}\right)} = \frac{k}{1 - k\beta}$$


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

podstawowy wzór elementarnej teorii sprzężenia zwrotnego

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

Wzór czytamy:

transmitancja układu ze sprzężeniem zwrotnym k_f jest równa transmitancji samego wzmacniacza k podzielonej przez jedność minus iloczyn transmitancji wzmacniacza i transmitancji bloku sprzężenia zwrotnego $k \beta$ lub

transmitancja układu ze sprzężeniem zwrotnym k_f jest równa transmitancji samego wzmacniacza k podzielonej przez współczynnik sprzężenia zwrotnego

Wyrażenie $1 - k\beta$ nazywane jest współczynnikiem sprzężenia zwrotnego

rodzaje sprzężeń zwrotnych

występują dwa rodzaje sprzężeń zwrotnych:
· ujemne i dodatnie

dalej rozpatrujemy przy założeniu, że transmitancja jest wzmocnieniem

Ujemne sprzężenie zwrotne ma miejsce wtedy, gdy
wzmocnienie układu maleje po zastosowaniu sprzężenia

$$|k_f| < |k|$$

Wówczas to mianownik we wzorze

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

jest większy od jedności

$$|1 - k\beta| > 1$$

inaczej:

współczynnik sprzężenia zwrotnego jest większy od jedności

Dodatnie sprzężenie zwrotne ma miejsce wtedy, gdy
wzmocnienie układu rośnie po zastosowaniu sprzężenia

$$|k_f| > |k|$$

Wówczas to mianownik we wzorze

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

jest mniejszy od jedności

$$|1 - k\beta| < 1$$

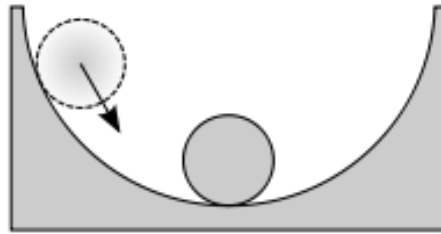
inaczej:

współczynnik sprzężenia zwrotnego jest mniejszy od jedności

Ideowe przedstawienie ujemnego sprzężenia zwrotnego równowaga trwała

- ❑ fundamentalny mechanizm samoregulacyjny;
- ❑ umożliwia utrzymanie wartości jakiegoś parametru na zadanym poziomie;
- ❑ jakiegokolwiek zaburzenia powodujące odchylenie wartości parametru od zadanej wartości w którąkolwiek stronę powodują działania prowadzące do zmiany wartości parametru w stronę przeciwną (stąd nazwa "ujemne");

materiał poglądowy



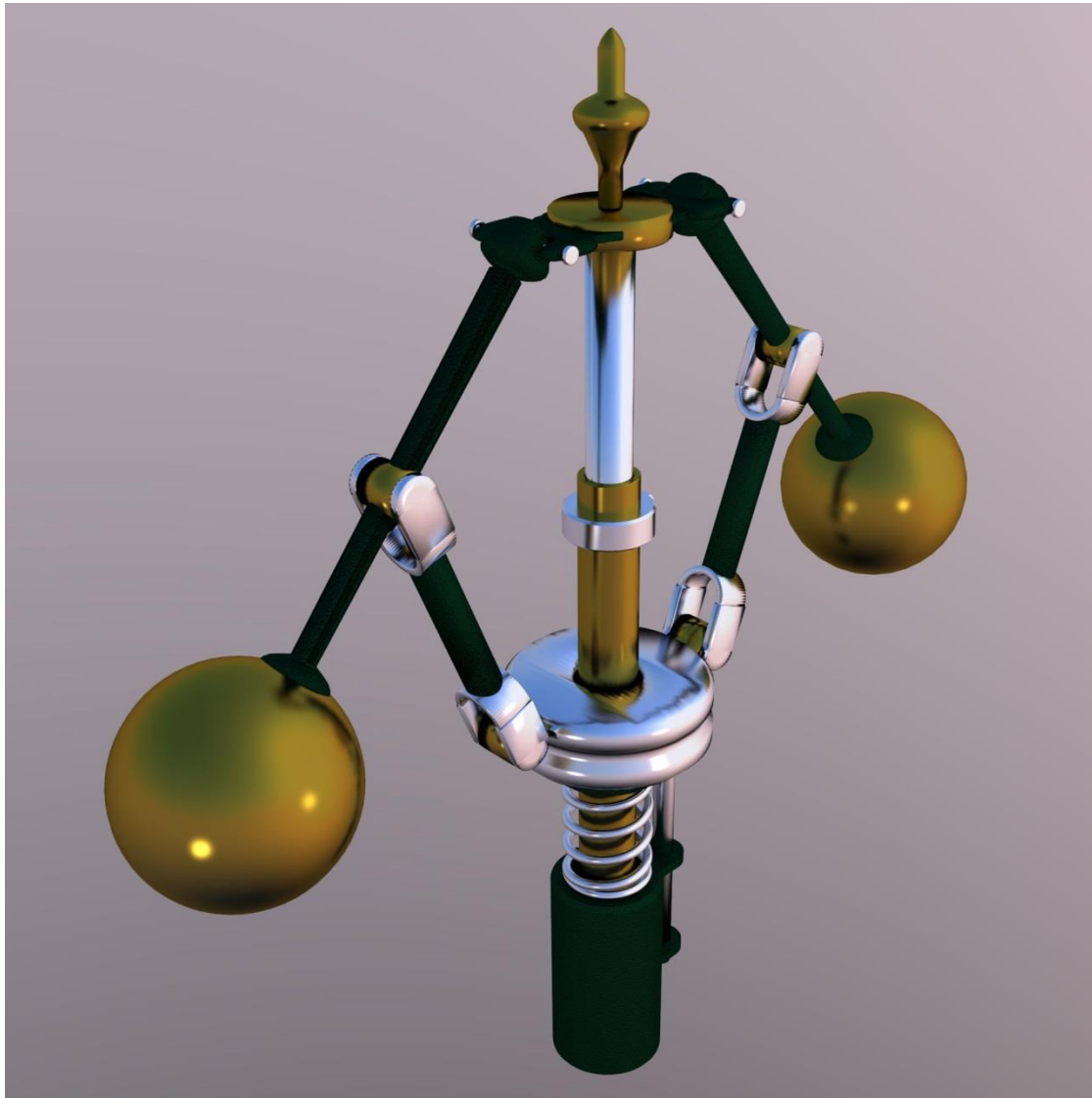
*schematyczne przedstawienie równowagi trwałej:
kulka na dnie półkulistego zagłębienia*

Każde wytrącenie kulki z równowagi powoduje powtórne staczanie się w kierunku najniższego punktu, pośrodku zagłębienia.

W przypadku sprzężenia zwrotnego ujemnego wartość parametru oscyluje więc wokół wartości zadanej.

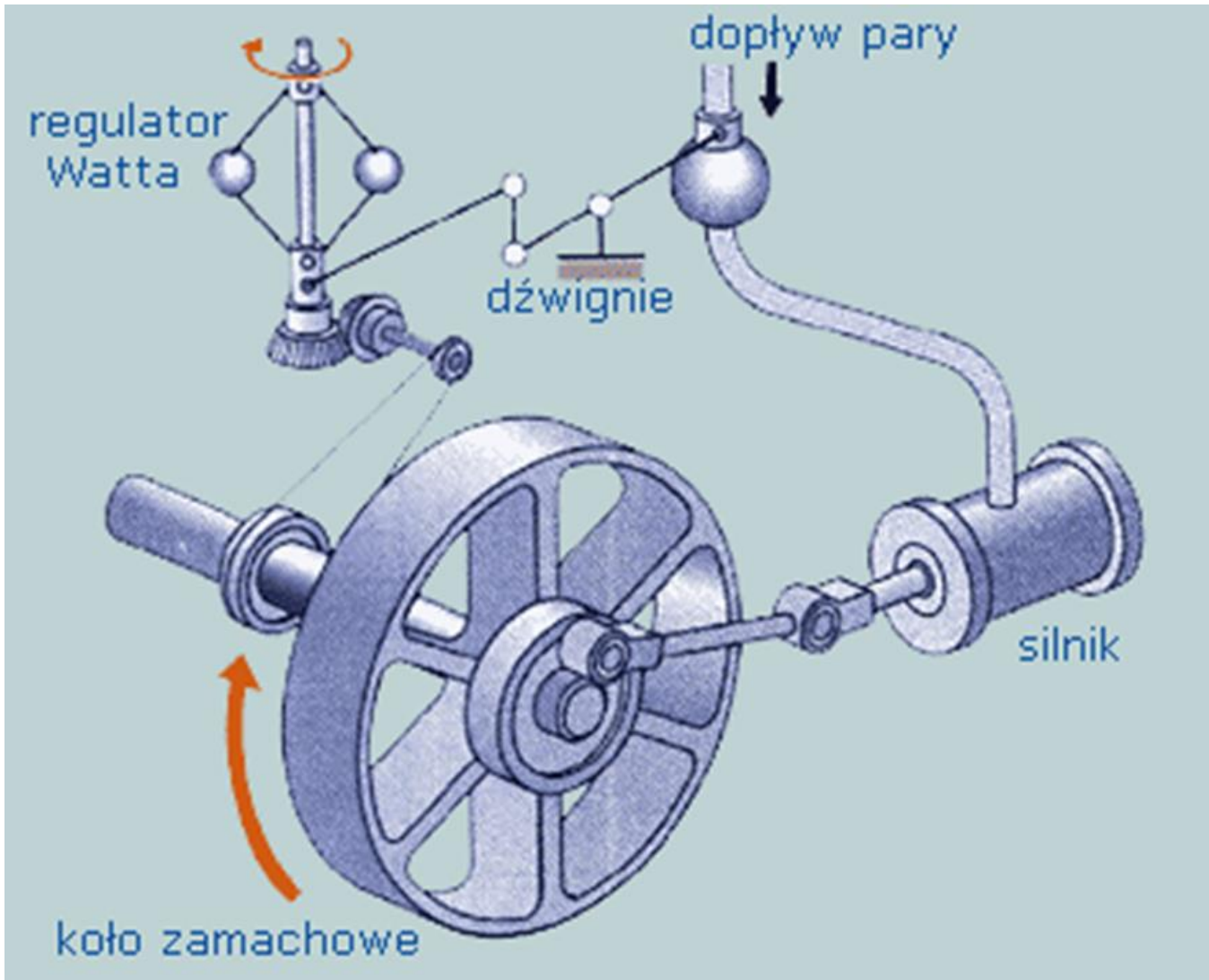
Praktyczne przedstawienie ujemnego sprzężenia zwrotnego regulator odśrodkowy Jamesa Watta (1788 rok)

materiał poglądowy



Sterowanie
przepustnicą pary
wodnej w maszynie
parowej w celu
stabilizacji obrotów.

materiał poglądowy



Kulki regulatora Watta obracają się na osi napędzanej przez silnik.

Siła grawitacji przyciąga kulki pionowo w dół a siła odśrodkowa odciąga kulki na zewnątrz.

Gdy kulki rozchylają się za bardzo (na skutek wzrostu prędkości obrotowej silnika parowego) przemykany jest przepływ pary i prędkość obrotowa maleje.

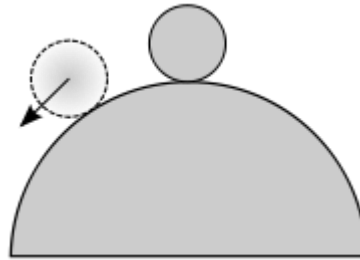
Działanie regulatora Watta- ujemne sprzężenie zwrotne

Dzieje się też odwrotnie.

Ideowe przedstawienie dodatniego sprzężenia zwrotnego równowaga chwiejna

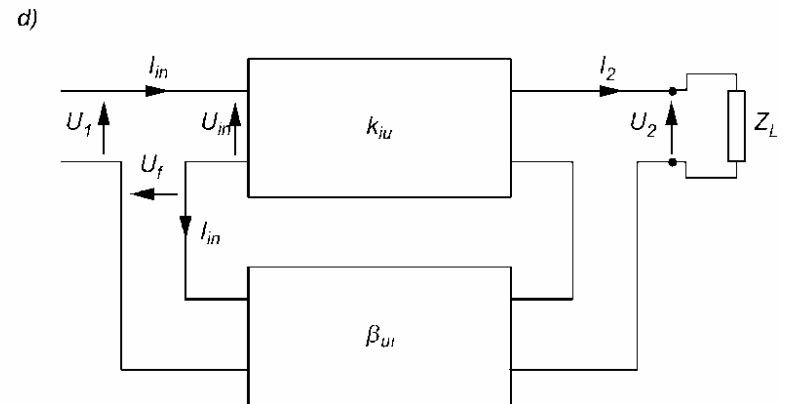
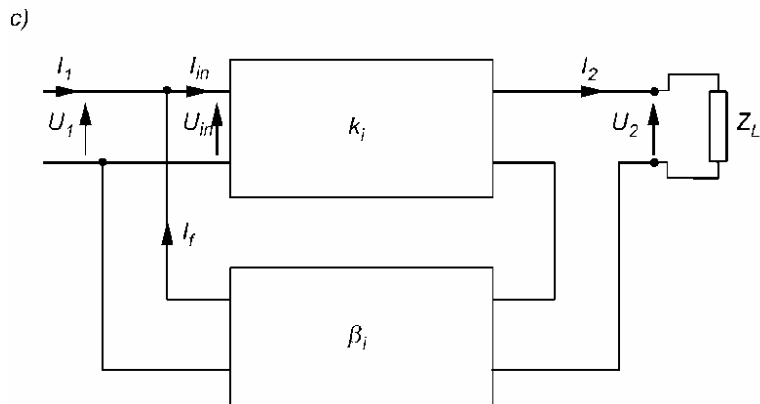
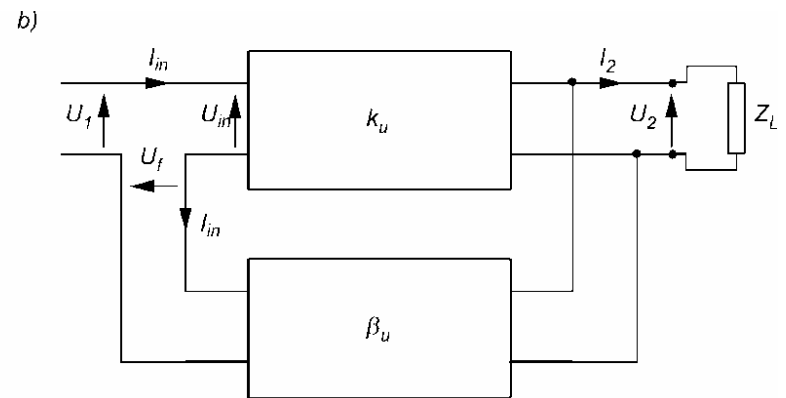
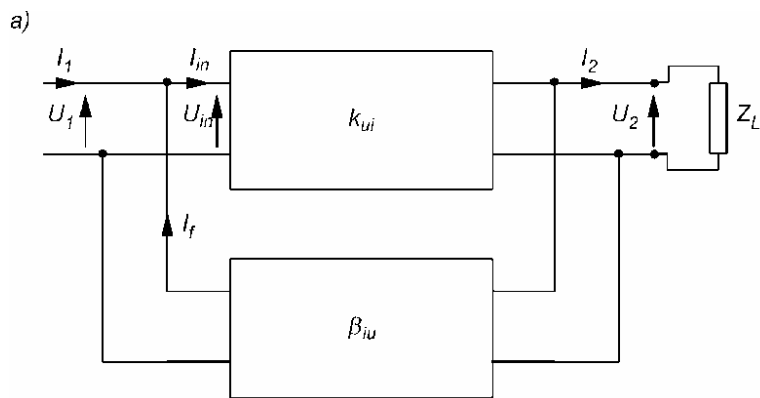
- ❑ w sytuacji zakłócenia jakiegoś parametru w układzie, układ ten dąży do zmiany wartości parametru w kierunku zgodnym (stąd - "dodatnie") z tym kierunkiem, z którym nastąpiło odchylenie;
- ❑ sprzężenie zwrotne dodatnie powoduje narastanie zapoczątkowanego odchylenia;

materiał poglądowy



*schematyczne przedstawienie równowagi chwiejnej:
kulka na szczycie półkulistego wzniesienia.*

Każde wytrącenie jej z równowagi powoduje coraz szybsze staczanie się w kierunku, w którym nastąpiło wytrącenie, aż do wypadnięcia kulki poza układ (o ile nie zadziała odrębny bodziec hamujący).



Ze względu na sposób połączenia bloków (czwórników) k i β na wejściu i wyjściu układu, rozróżnia się cztery układy sprzężenia zwrotnego:

- a) sprzężenie napięciowe - równoległe
- b) sprzężenie napięciowe - szeregowe
- c) sprzężenie prądowe - równoległe
- d) sprzężenie prądowe - szeregowe

Z_L - obciążenie

Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na właściwości wzmacniacza

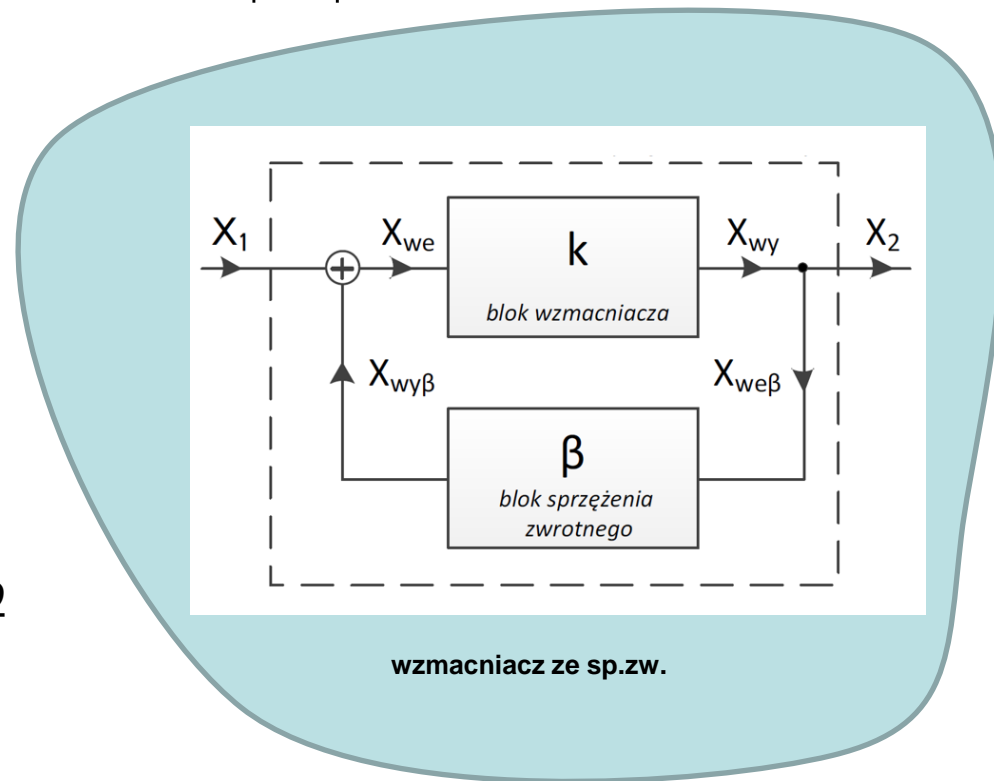
1) Uniezależnienie wzmocnienia wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym od wzmocnienia samego bloku wzmacniacza

$$k_f = \frac{k}{1 - k\beta} = -\frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{k\beta}} \approx -\frac{1}{\beta}$$

gdy $|k\beta| \gg 1$

Sytuacja w której $k\beta \gg 1$ charakteryzuje stan układu w którym zastosowano silne sprzężenie zwrotne.

Przy silnym sprzężeniu zwrotnym właściwości układu zależą jedynie od właściwości pętli sprzężenia zwrotnego (określanych przez transmitancję β) i nie zależą od właściwości wzmacniacza (określanych przez transmitancję k).



2) Zmniejszenie wrażliwości (*sensitivity*) wzmacnienia

$$S = \frac{\frac{\partial k_f}{k_f}}{\frac{\partial k}{k}} = \frac{k}{k_f} \cdot \frac{\partial k_f}{\partial k} = \frac{k}{k_f} \cdot \frac{1}{(1 - k\beta)^2} = \frac{1}{1 - k\beta}$$

Wrażliwość (czułość) w ogólności określa zmianę pewnego parametru układu w reakcji na zmianę innego parametru.

Wrażliwość względna - stosunek względnych zmian pewnego parametru w stosunku do względnych zmian innego parametru.

Wprowadzenie ujemnego sprzężenia zmniejsza wrażliwość układu w takim stopniu w jakim wynosi wzmacnienie pętli sprzężenia zwrotnego $k\beta$.

Zmniejszenie wrażliwości oznacza poprawę stałości (stabilności) wzmacnienia wzmacniacza.

Przykład

Jeżeli np. $k\beta \approx -100$ to $S \approx 0,01$ to znaczy że przy 1% zmianie wzmacnienia k wzmacniacza wzmacnienie układu z pętlą sprzężenia zwrotnego k_f zmienia się o 0,01%.

3) Redukcja zniekształceń nieliniowych polepszająca liniowość wzmacniaczy

wskaźnikiem wielkości zniekształceń jest współczynnik zawartości harmonicznch

$$h = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

Stosunek wartości skutecznych napięcia (lub prądu) sygnałów o częstotliwościach harmonicznch do wartości skutecznej składowej podstawowej (oznaczonej indeksem 1)

Na skutek działania ujemnego sprzężenia zwrotnego współczynnik zawartości harmonicznch w sygnale wyjściowym zmniejsza się zgodnie z:

$$h_f \approx \frac{h}{1 - k\beta}$$

h - współczynnik zawartości harmonicznch dla samego wzmacniacza (bez pętli sprzężenia zwrotnego); h_f - z pętlą sprzężenia zwrotnego

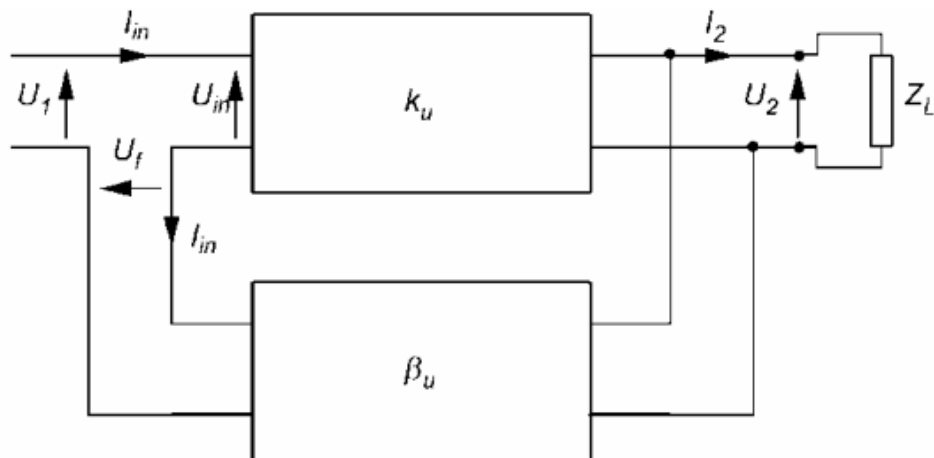
4) Ujemne sprzężenie zwrotne wpływa na impedancję wejściową, wyjściową oraz wzmacnienie.

Można te parametry kształtować stosując odpowiedni układ.

	TYP SPRZĘŻENIA			
PARAMETR	napięciowe- szeregowe	napięciowe- równoległe	prądowe- szeregowe	prądowe- równoległe
wzmacnienie napięciowe	maleje	bez zmian	maleje	bez zmian
wzmacnienie prądowe	bez zmian	maleje	bez zmian	maleje
impedancja wejściowa	wzrasta	maleje	wzrasta	maleje
impedancja wyjściowa	maleje	maleje	wzrasta	wzrasta

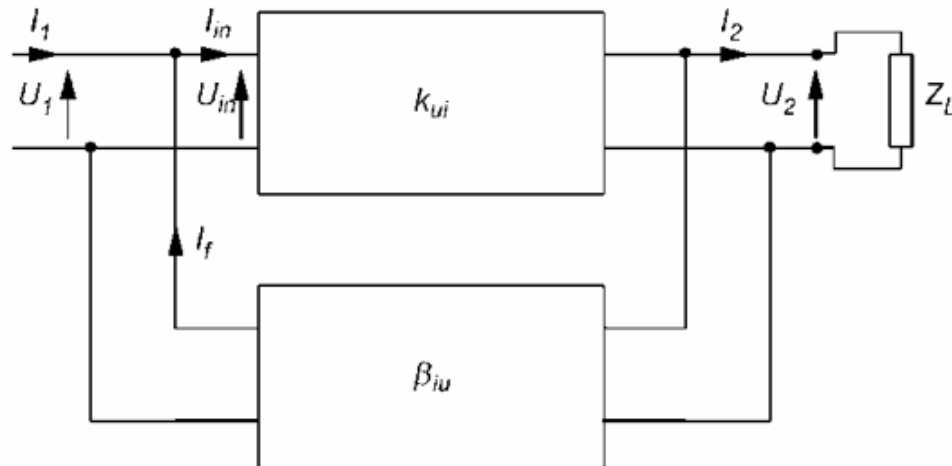
Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na impedancję wejściową, wyjściową oraz wzmacnienie

PARAMETR	typ sprzężenia
PARAMETR	napięciowe-szeregowe
wzmacnienie napięciowe	maleje
wzmacnienie prądowe	bez zmian
impedancja wejściowa	wzrasta
impedancja wyjściowa	maleje



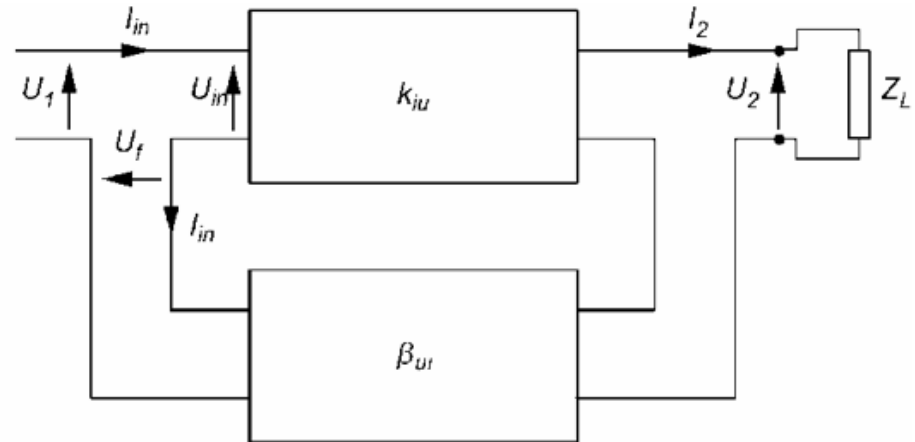
Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na impedancję wejściową, wyjściową oraz wzmacnienie

	typ sprzężenia
PARAMETR	napięciowe-równoległe
wzmacnienie napięciowe	bez zmian
wzmacnienie prądowe	maleje
impedancja wejściowa	maleje
impedancja wyjściowa	maleje



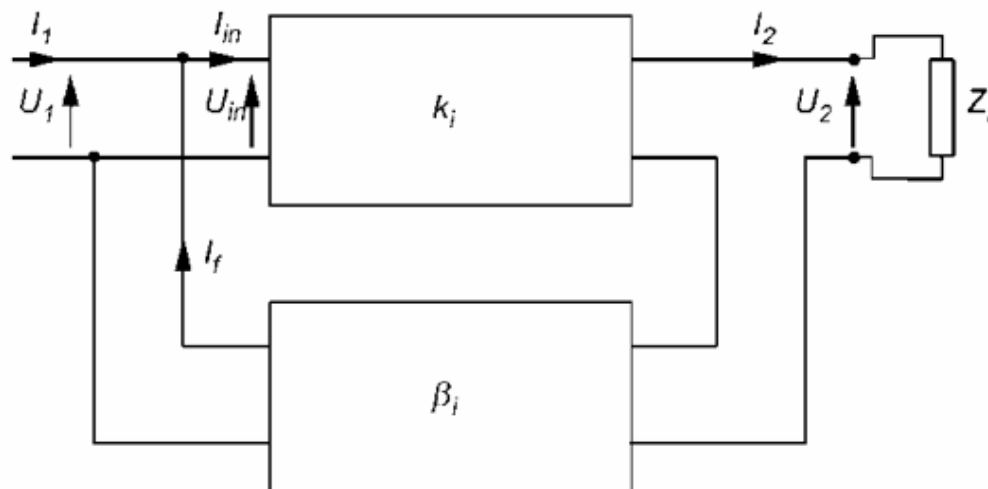
Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na impedancję wejściową, wyjściową oraz wzmacnienie

	typ sprzężenia
PARAMETR	prądowe-szeregowe
wzmacnienie napięciowe	maleje
wzmacnienie prądowe	bez zmian
impedancja wejściowa	wzrasta
impedancja wyjściowa	wzrasta



Wpływ ujemnego sprzężenia zwrotnego na impedancję wejściową, wyjściową oraz wzmacnienie

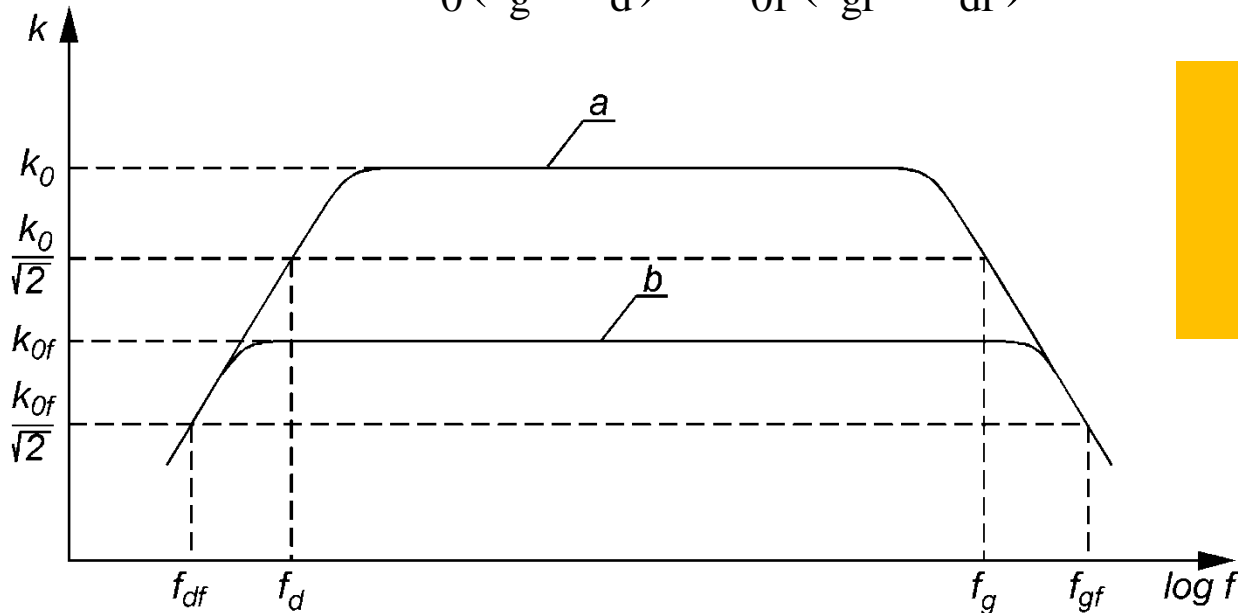
PARAMETR	typ sprzężenia prądowe- równoległe
wzmacnienie napięciowe	bez zmian
wzmacnienie prądowe	maleje
impedancja wejściowa	maleje
impedancja wyjściowa	wzrasta



5) Ujemne sprzężenie zwrotne wpływa na kształtowanie charakterystyk częstotliwościowych wzmacniaczy – poszerza pasmo $\Delta f = f_g - f_d$

pole wzmocnienia GB (*gain-bandwidth product*) pozostaje wartością stałą

$$GB = k_0(f_g - f_d) = k_{of}(f_{gf} - f_{df}) = \text{const}$$



**ma tu miejsce
zamiana
wzmocnienia na
pasmo**

$$f_{df} = \frac{f_d}{(1 - \beta_0 k_0)}$$

$$f_{gf} = f_g(1 - \beta_0 k_0)$$

Ilustracja zachowania pola wzmocnienia wzmacniacza:

a) wzmacniacz bez sprzężenia zwrotnego,

b) wzmacniacz ze sprzężeniem zwrotnym ujemnym

Wpływ dodatniego sprzężenia zwrotnego na właściwości wzmacniaczy

W układach analogowych stosowane rzadko.

Przede wszystkim w generatorach dla podtrzymania wytwarzanych przebiegów harmoniczných.

W ograniczonym zakresie w układach wzmacniaczy, głównie w celu uzyskania dużej impedancji wyjściowej.

W układach impulsowych i logicznych wykorzystywane są właściwości forsujące dodatnich sprzężeń zwrotnych. Oznacza to, że stany elementów tych układów muszą maksymalnie szybko zmieniać się z jednego stanu krańcowego do drugiego. Pokonywany jest w międzyczasie stan przejściowy, w którym obecność układu z punktu widzenia zastosowania jest niepożądana, ale konieczna z powodów czysto fizycznych.

HOMEOSTAZA

zdolność organizmu żywego do utrzymywania względnej równowagi wewnętrznej pomimo zmian zachodzących w środowisku zewnętrznym

Homeostaza utrzymywana jest dzięki mechanizmom regulującym procesy życiowe działającym na zasadzie sprzężeń zwrotnych

Homeostaza regulowana jest przez:

- mechanizmy behawioralne – zachowania homeostatyczne mający na celu podtrzymanie funkcji życiowych np. pobieranie odpowiedniej ilości pokarmu, odpowiedni ubiór zabezpieczający przed wychłodzeniem, ogrzewanie ciała - przykład człowiek i ognisko (do omówienia);
- mechanizmy fizjologiczne homeostazy oparte głównie na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego;

Homeostaza organizmu związana jest ze stałą kontrolą podstawowych parametrów życiowych jak tętniczne ciśnienie krwi, temperatura ciała, objętość płynów ustrojowych, pH krwi, ciśnienie osmotyczne, ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla i tlenu we krwi.

Kontrola tych parametrów możliwa jest za pomocą receptorów, które z kolei przekazują informacje do interpretatorów, mieszczących się w ośrodkowym układzie nerwowym. Jeżeli informacja zawiera odchylenie od normy, interpretatory wysyłają sygnał do efektorów, by te zareagowały i skorygowały wartość parametru w zależności od potrzeby.

Sprzężenie zwrotne

KONIEC