

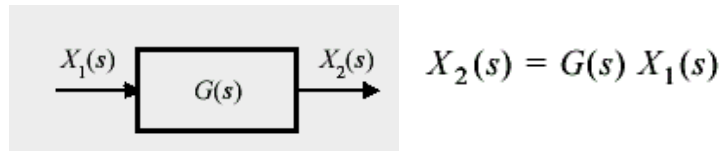
Automatyka i Robotyka

WYKŁAD
ALGEBRA SCHEMATÓW BLOKOWYCH

Edward Tertel
dr inż.

ELEMENTY SKŁADOWE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

■ BLOKI:



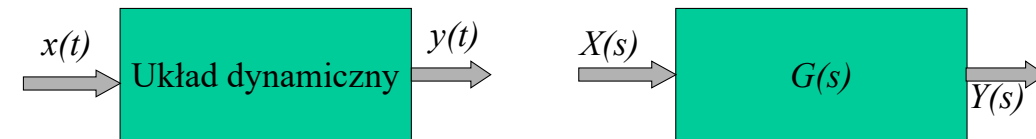
- Bloki przedstawiają symbolicznie operacje matematyczne wykonywane na sygnałach przez nie przepływających,
- Funkcją opisującą zależność pomiędzy sygnałami wchodzącymi do bloku oraz wychodzącymi z niego jest *transmitancja*.
- Bloki połączone są strzałkami oznaczającymi kierunek przepływających sygnałów, zwrot strzałki w kierunku bloku oznacza wejście, a kierunek strzałki od bloku wskazuje wyjście,

Opis elementów automatyki

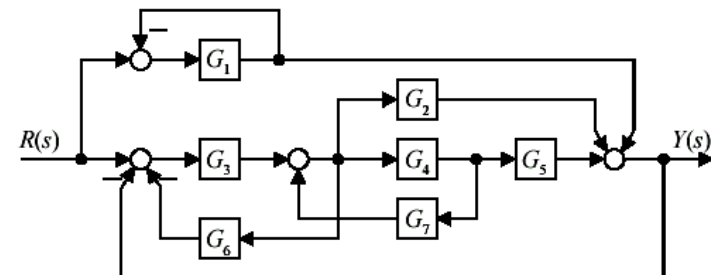
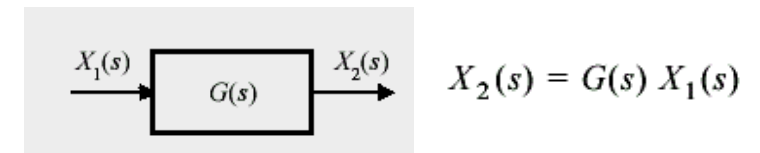
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{(b_0 + b_1 s + \dots + b_{m-1} s^{m-1} + b_m s^m)}{(a_0 + a_1 s + \dots + a_{n-1} s^{n-1} + a_n s^n)} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i s^i}{\sum_{i=0}^n a_i s^i}$$

$$X(s) = \alpha[x(t)]$$

$$Y(s) = \alpha[y(t)]$$



ELEMENTY SKŁADOWE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH



ZALETY STOSOWANIA SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

- Schemat blokowy dostarcza informacji o powiązaniach pomiędzy blokami i sygnałami, opisuje współzależności, które istnieją pomiędzy różnymi składnikami układu
- Można w łatwy sposób dodawać bloki do istniejącego schematu w celu poprawienia jakości sterowania,
- Schemat blokowy układu jest graficznym opisem funkcji wykonywanych przez każdy z jego elementów,
- Przepływy sygnałów w układzie jest przedstawiony bardziej realistycznie w porównaniu z opisem matematycznym.

CELOWOŚĆ UPRASZCZANIA SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

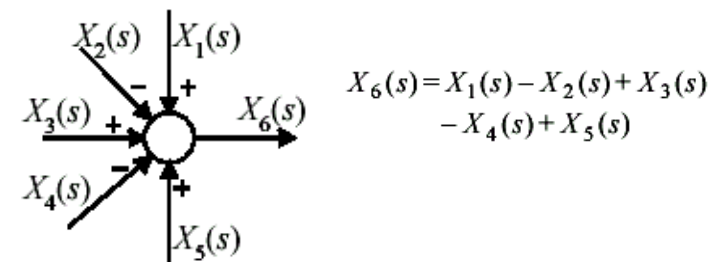
- Zmiana układu połączeń elementów schematu,
- Uproszczenie schematu, poprzez zastosowanie mniejszej liczby elementów składowych,
- Uproszczenie struktury, w celu wyznaczenia transmitancji zastępczej (wypadkowej) i zbadania własności dynamicznych układu.

METODY UPRASZCZANIA SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

- „Krok po kroku”, polegająca na kolejnym dokonywaniu elementarnych przekształceń schematu,
- Analityczne przekształcanie układów równań opisujących dany układ fizyczny,
- Metoda mnemotechniczna,
- Metoda Masona.

ELEMENTY SKŁADOWE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

- WĘZŁY SUMACYJNE:

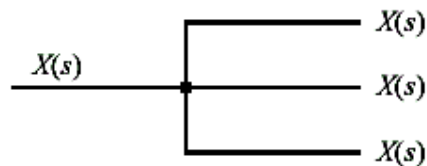


Oznaczają operację algebraicznego sumowania sygnałów, przy czym:

- znak plus lub minus przy każdej strzałce informuje o tym czy sygnał ten jest dodawany czy też odejmowany,
- węzeł sumacyjny może mieć wiele sygnałów wchodzących, ale tylko jeden wychodzący,
- dla sygnałów, które mają być odejmowane musi być zawsze zaznaczony znak minus.

ELEMENTY SKŁADOWE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

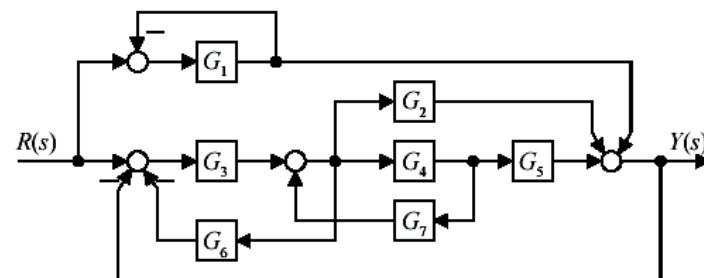
- WĘZŁY
ZACZEPOWE
(ROZGAŁĘŻNE) :



Węzeł zaczepowy (rozgałęźny) jest punktem, z którego sygnał rozchodzi się do innych bloków lub węzłów sumacyjnych a więc umożliwia podanie tego samego sygnału na więcej niż jeden blok.

SCHEMATY STRUKTURALNE

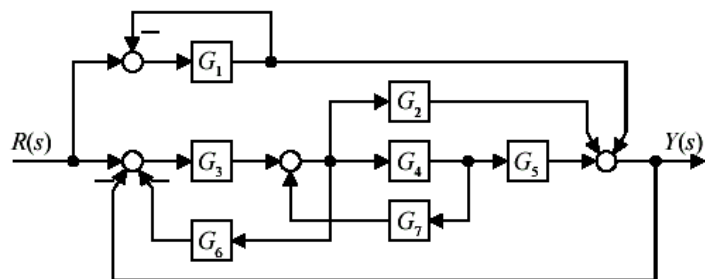
Przyjmując założenie, że każdy liniowy układ regulacji automatycznej można przedstawić (zamodelować) w postaci odpowiednio połączonych ze sobą członów elementarnych o działaniu kierunkowym, możemy zbudować złożone układy automatyki stosując takie elementy jak: BLOKI, WĘZŁY SUMACYJNE i WĘZŁY ZACZEPOWE.



SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

W złożonych układach automatyki można wyróżnić pewne podstawowe schematy połączeń elementów:

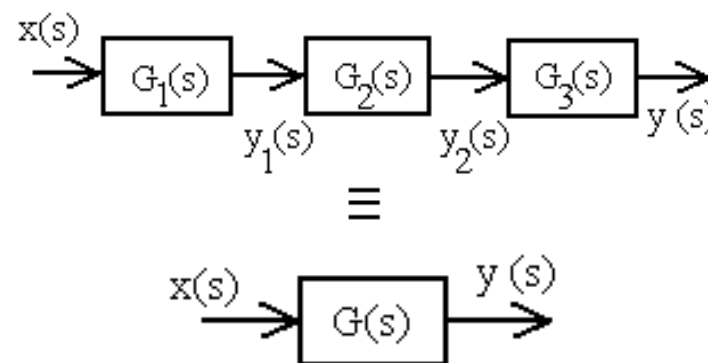
- szeregowe (kaskadowe, łańcuchowe),
- równoległe,
- ze sprzężeniem zwrotnym



SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie szeregowe (kaskadowe, łańcuchowe).

Wszystkie bloki znajdują się w jednym torze głównym, tzn. w torze w którym sygnały przepływają od wejścia do wyjścia układu:

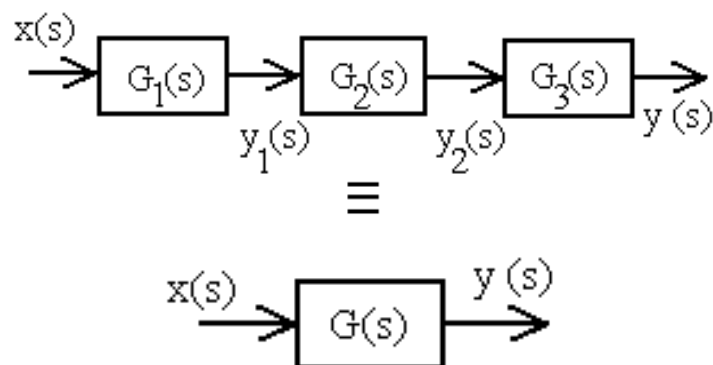


SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie szeregowe (kaskadowe, łańcuchowe).

Wszystkie bloki znajdują się w jednym torze głównym, tzn. w torze w którym sygnały przepływają od wejścia do wyjścia układu:

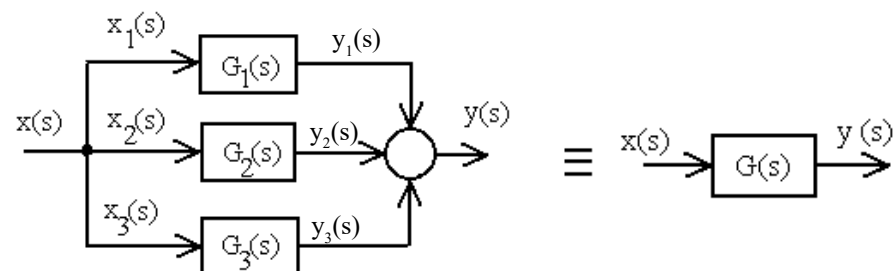
$$G(s) = G_1(s) * G_2(s) * G_3(s)$$



SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie równoległe.

Bloki znajdują się w wielu torach głównych.

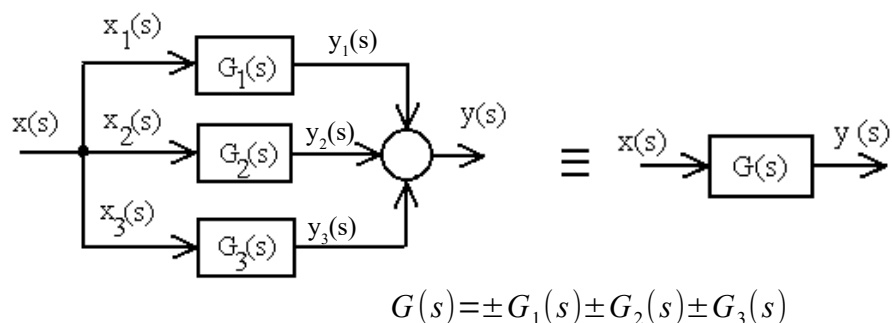


$$X_1 = X_2 = X_3 = X$$

SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie równoległe.

Bloki znajdują się w wielu torach głównych.



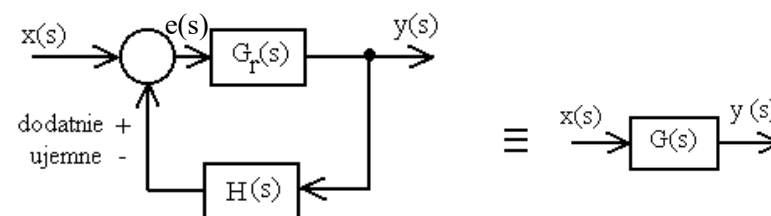
$$G(s) = \pm G_1(s) \pm G_2(s) \pm G_3(s)$$

$$X_1 = X_2 = X_3 = X$$

SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie ze sprzężeniem zwrotnym.

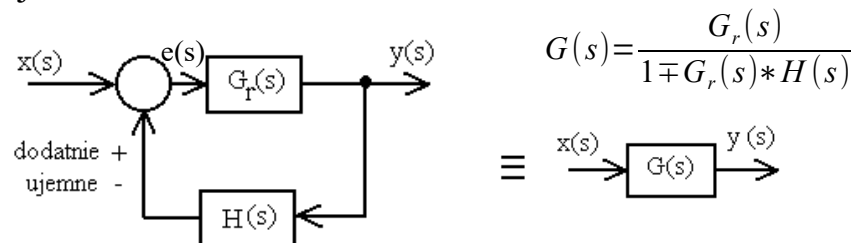
W układzie, oprócz toru głównego, można także wyróżnić tor sprzężenia zwrotnego, w którym sygnał płynie od wyjścia do wejścia układu.



SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie ze sprzężeniem zwrotnym.

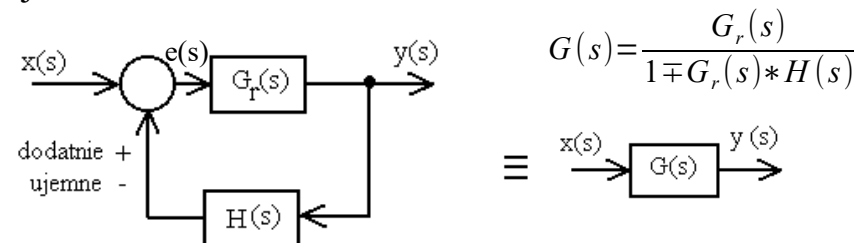
W układzie, oprócz toru głównego, można także wyróżnić tor sprzężenia zwrotnego, w którym sygnał płynie od wyjścia do wejścia układu.



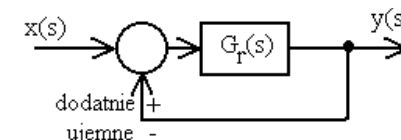
SCHEMATY POŁĄCZEŃ PODSTAWOWYCH

Połączenie ze sprzężeniem zwrotnym.

W układzie, oprócz toru głównego, można także wyróżnić tor sprzężenia zwrotnego, w którym sygnał płynie od wyjścia do wejścia układu.

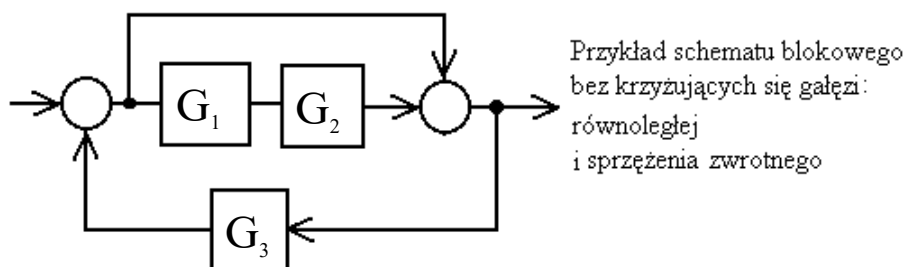


Jeśli sprzężenie zwrotne jest tzw. bezpośrednim, pełnym i jednostkowym sprzężeniem zwrotnym, to $H(s)=1$,



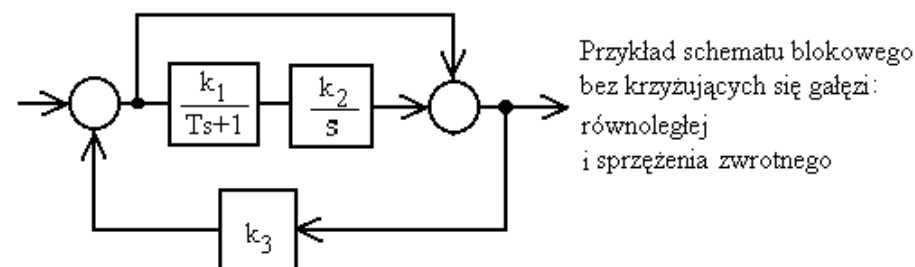
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

Wcześniej opisane zależności podstawowe pozwalają na analizę schematów i wyznaczanie transmitancji zastępczej w przypadkach, gdy schemat blokowy układu **nie zawiera** krzyżujących się pętli sprzężenia zwrotnego i gałęzi równoległych.



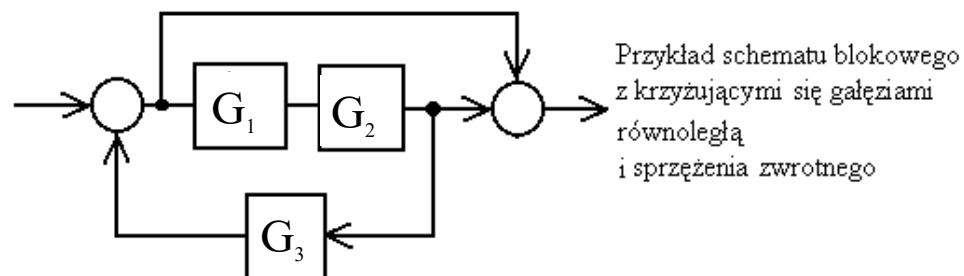
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

Wcześniej opisane zależności podstawowe pozwalają na analizę schematów i wyznaczanie transmitancji zastępczej w przypadkach, gdy schemat blokowy układu **nie zawiera** krzyżujących się pętli sprzężenia zwrotnego i gałęzi równoległych.



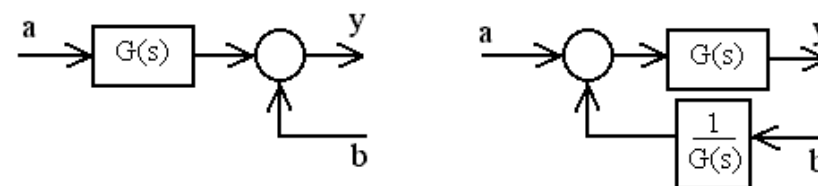
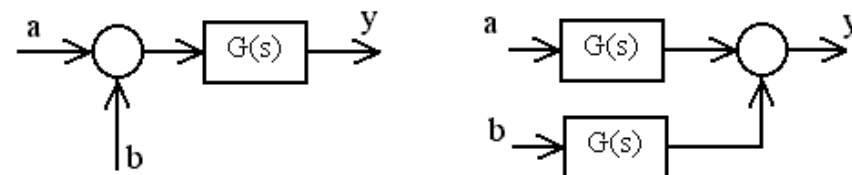
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUTURALNYCH

W przypadkach, gdy pętle sprzężeń zwrotnych i gałęzie równoległe krzyżują się, to do analizy schematów blokowych stosuje się przenoszenie węzłów sumacyjnych i/lub zaczepowych.

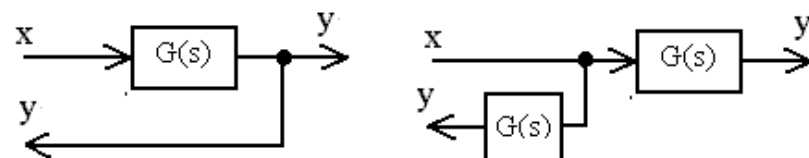
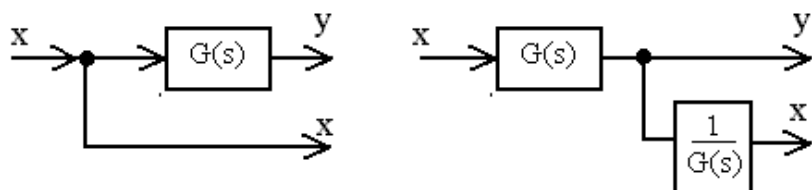


Gdy dokonuje się przenoszenia węzłów sumacyjnych i zaczepowych, to zmiana położenia węzłów może się odbywać przy zachowaniu warunku że układ musi zachować te same własności przed i po przeniesieniu węzłów.

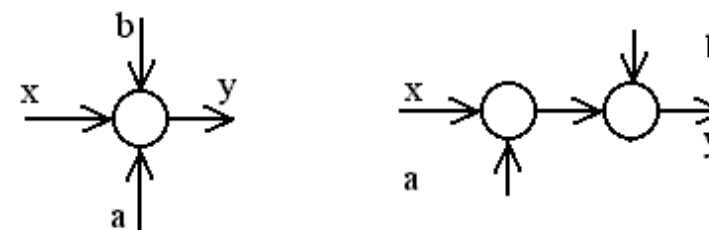
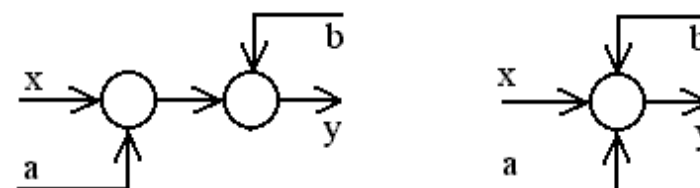
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH



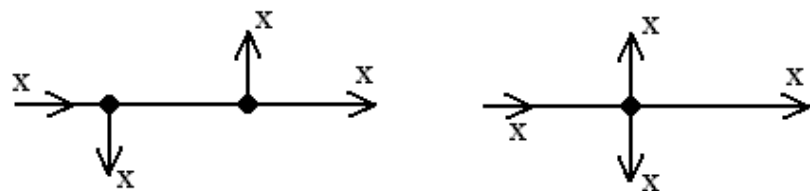
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH



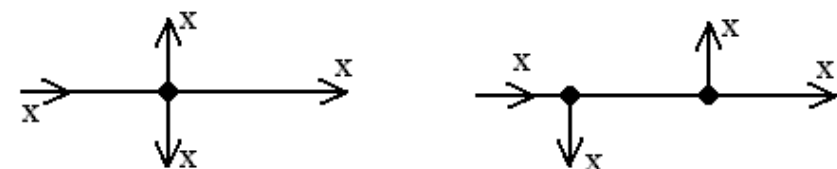
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH



PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

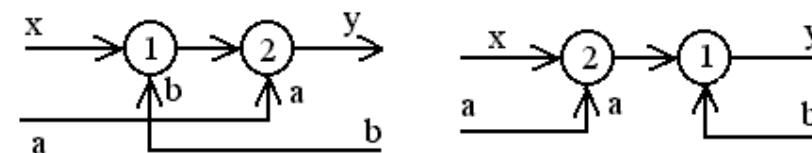


Łączenie węzłów zaczepowych

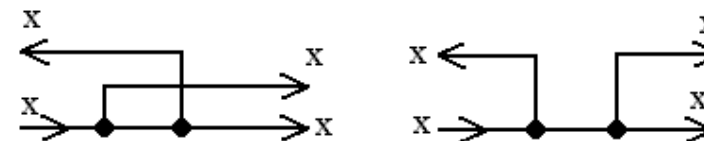


Rozdzielanie węzłów zaczepowych

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH



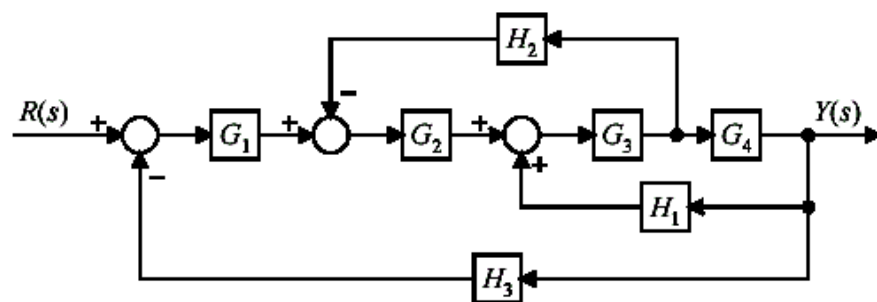
Zmiana położenia węzłów sumujących



Zmiana położenia węzłów zaczepowych

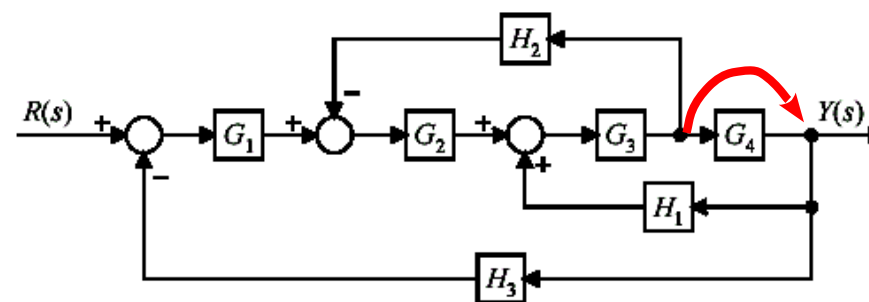
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:

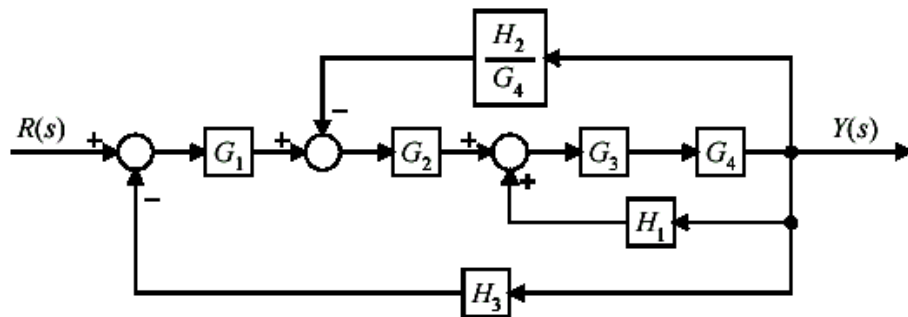


PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

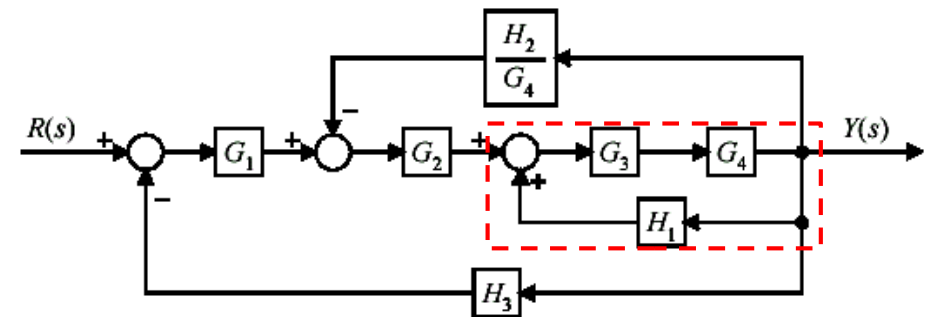
Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



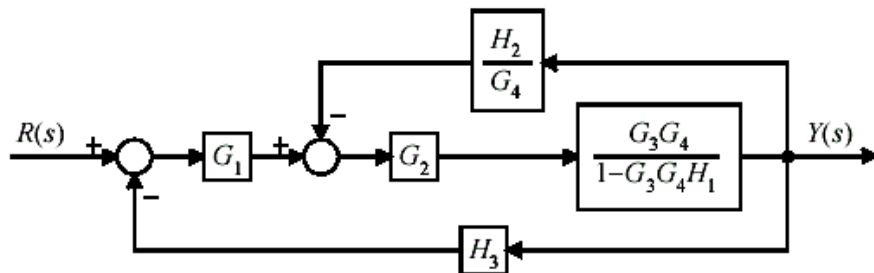
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład



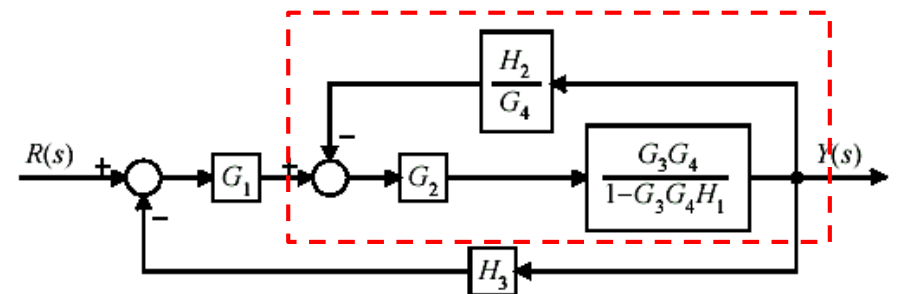
PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

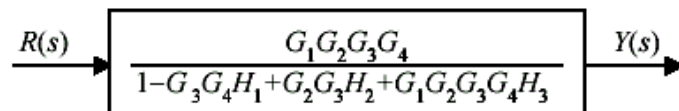
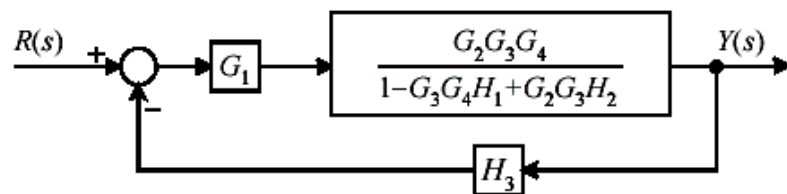


PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład



PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład





PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

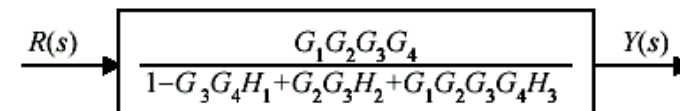
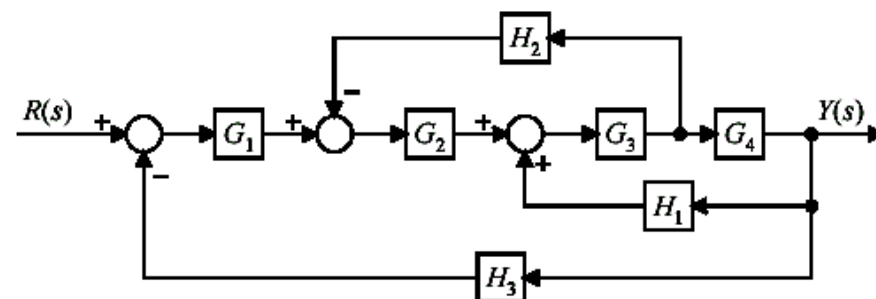
Metoda Masona:

Reguła ta, zaczerpnięta z teorii grafów i zaadaptowana dla schematów blokowych pozwala na wyznaczenie transmitancji wypadkowej schematu blokowego.

Dla schematu blokowego z N kaskadami bezpośrednio łączącymi wejście z wyjściem oraz L pętłami sprzężeń zwrotnych, transmitancja wypadkowa określona jest przez następującą zależność:

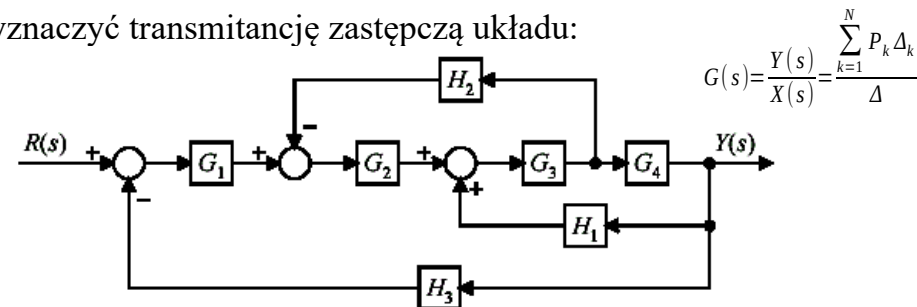
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta}$$

N – całkowita liczba kaskadowych połączeń bezpośrednio łączących wejście z wyjściem,
 P_k – transmit. k-tego połączenia kaskadowego bezpośrednio łączącego wejście z wyjściem
 $\Delta = 1 -$ (suma transmitancji wszystkich pojedynczych pętli) + (suma iloczynów transmitancji wszystkich możliwych kombinacji po dwie nie stykające się pętli) – (suma iloczynów transmitancji wszystkich możliwych kombinacji po trzy nie stykające się pętli) + ... itd.
 $\Delta_k = \Delta$, wyznaczana dla tej części schematu, która nie styka się z k-tą kaskadą bezpośrednią.



PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta}$$

Transmitancja kaskady bezpośredniej ($N=1$): $P_1 = G_1 G_2 G_3 G_4$

Transmitancje pętli: $L_1 = -G_1 G_2 G_3 G_4 H_3$, $L_2 = G_3 G_4 H_1$, $L_3 = -G_2 G_3 H_2$.

Wszystkie te pętli mają wspólne elementy, dlatego też:

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3) = 1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2$$

Wszystkie pętli mają wspólne elementy z kaskadą bezpośrednią, dlatego też: $\Delta_1 = 1$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Transmitancja wypadkowa układu jest następująca

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta} = \frac{P_1}{\Delta} = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2}$$

Transmitancja kaskady bezpośrednio: $P_1 = G_1 G_2 G_3 G_4$

Transmitancje pętli: $L_1 = -G_1 G_2 G_3 G_4 H_3$, $L_2 = G_3 G_4 H_1$, $L_3 = -G_2 G_3 H_2$.

Wszystkie te pętle mają wspólne elementy, dlatego też:

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3) = 1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2$$

Wszystkie pętle mają wspólne elementy z kaskadą bezpośrednią, dlatego też: $\Delta_1 = 1$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

Metoda Mnemotechniczna:

Ograniczeniem stosowania tej metody są układy, w których jest tylko jeden tor główny, a więc nie występują połączenia równoległe.

1. Należy określić wszystkie możliwe drogi przejścia od wyjścia do wejścia układu, przy czym w torze głównym kierunek przejścia powinien być przeciwny do kierunku przepływu sygnału, zaś w torach sprzężeń zwrotnych, zgodny z kierunkiem przepływu sygnału.

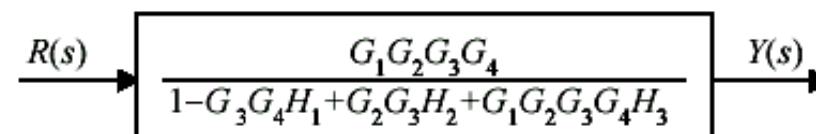
2. Dla każdej drogi należy zapisać ułamek, w którym w liczniku należy umieścić iloczyn transmitancji elementów z toru sprzężenia zwrotnego, zaś w mianowniku iloczyn transmitancji elementów z toru głównego.

3. Odwrotność transmitancji zastępczej układu jest algebraiczną sumą otrzymanych ułamków, przy czym znak przy danym ułamku jest przeciwny do znaku odpowiedniego sprzężenia zwrotnego.

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Transmitancja wypadkowa układu jest następująca

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta} = \frac{P_1}{\Delta} = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2}$$



PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

Metoda Mnemotechniczna:

Ograniczeniem stosowania tej metody są układy, w których jest tylko jeden tor główny, a więc nie występują połączenia równoległe.

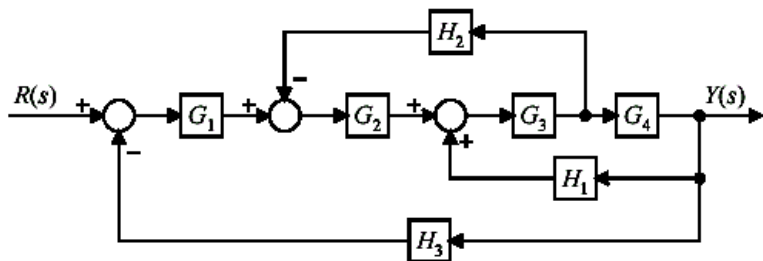
1. Należy określić wszystkie możliwe drogi przejścia od wyjścia do wejścia układu, przy czym w torze głównym kierunek przejścia powinien być przeciwny do kierunku przepływu sygnału, zaś w torach sprzężeń zwrotnych, zgodny z kierunkiem przepływu sygnału.

2. Dla każdej drogi należy zapisać ułamek, w którym w liczniku należy umieścić iloczyn transmitancji elementów z toru sprzężenia zwrotnego, zaś w mianowniku iloczyn transmitancji elementów z toru głównego.

3. Odwrotność transmitancji zastępczej układu jest algebraiczną sumą otrzymanych ułamków, przy czym znak przy danym ułamku jest przeciwny do znaku odpowiedniego sprzężenia zwrotnego.

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

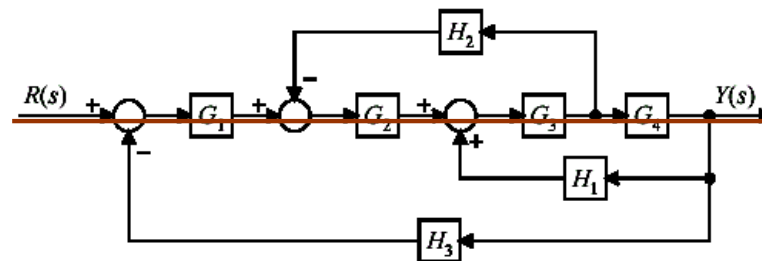
Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

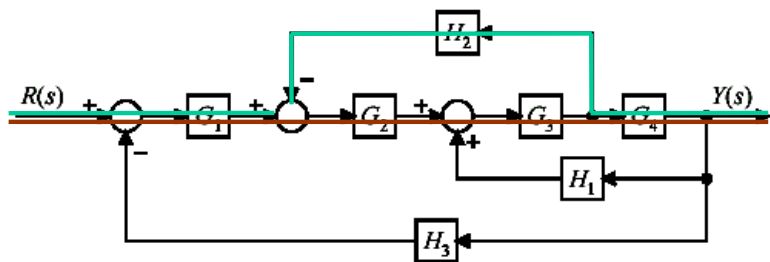
Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

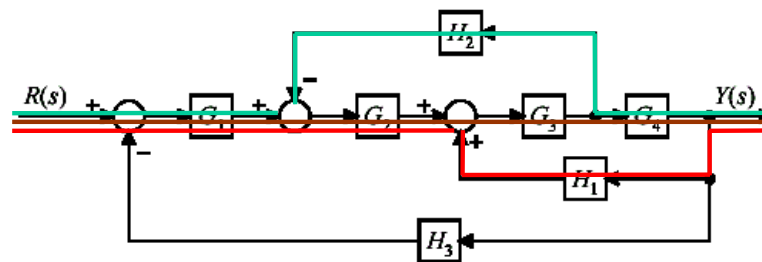
Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

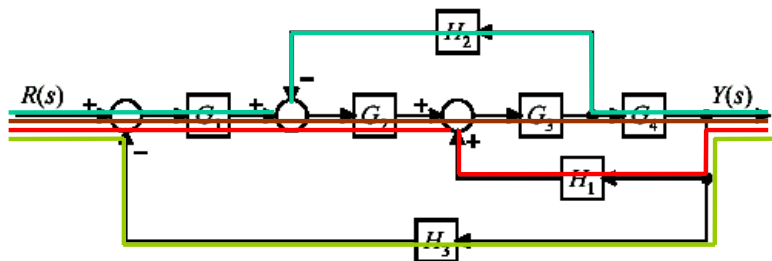
Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

Metoda Mnemotechniczna:

Ograniczeniem stosowania tej metody są układy, w których jest tylko jeden tor główny, a więc nie występują połączenia równoległe.

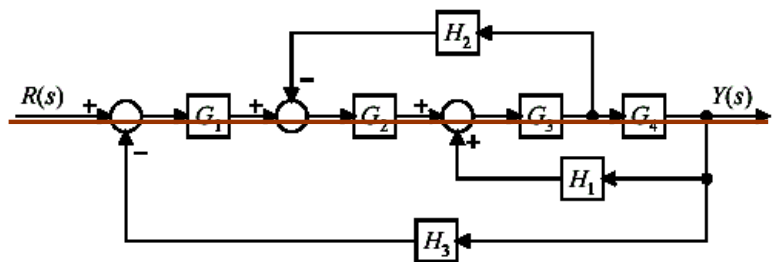
1. Należy określić wszystkie możliwe drogi przejścia od wyjścia do wejścia układu, przy czym w torze głównym kierunek przejścia powinien być przeciwny do kierunku przepływu sygnału, zaś w torach sprzężeń zwrotnych, zgodny z kierunkiem przepływu sygnału.

2. Dla każdej drogi należy zapisać ułamek, w którym w liczniku należy umieścić iloczyn transmitancji elementów z toru sprzężenia zwrotnego, zaś w mianowniku iloczyn transmitancji elementów z toru głównego.

3. Odwrotność transmitancji zastępczej układu jest algebraiczną sumą otrzymanych ułamków, przy czym znak przy danym ułamku jest przeciwny do znaku odpowiedniego sprzężenia zwrotnego.

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:

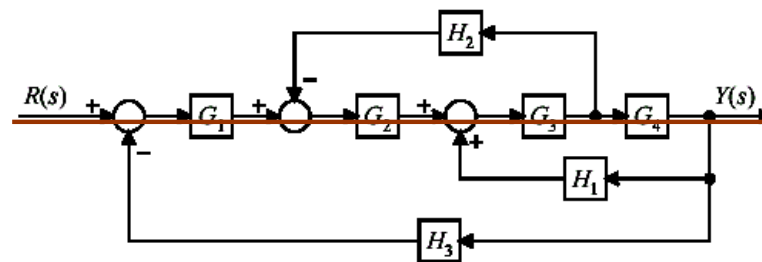


Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



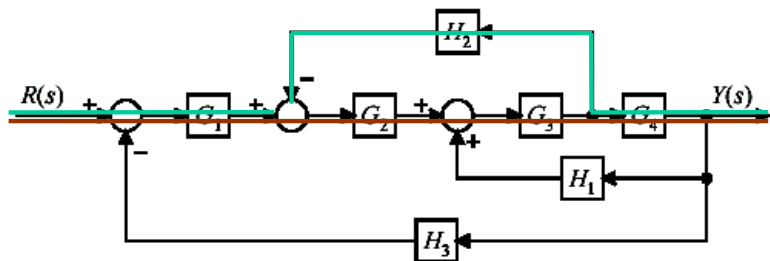
Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



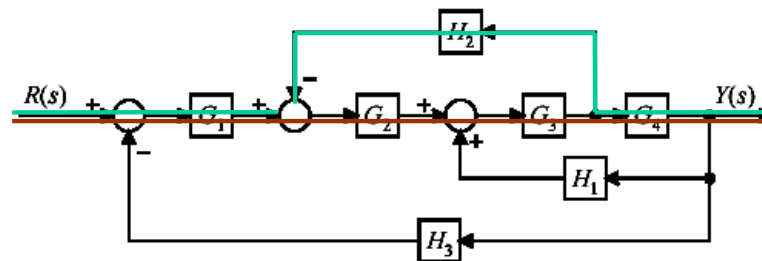
Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



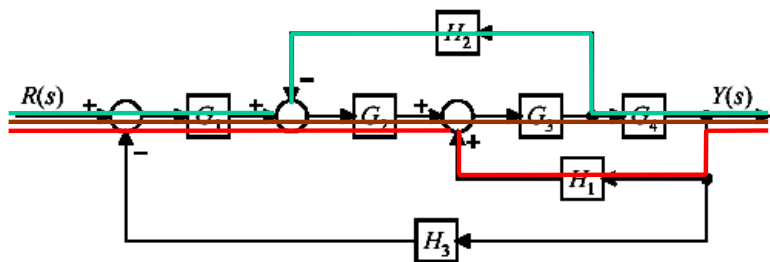
Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4} \quad \frac{H_2}{G_1 G_4}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



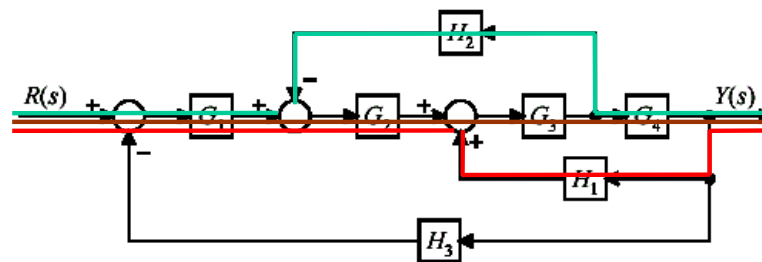
Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4} \quad \frac{H_2}{G_1 G_4}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



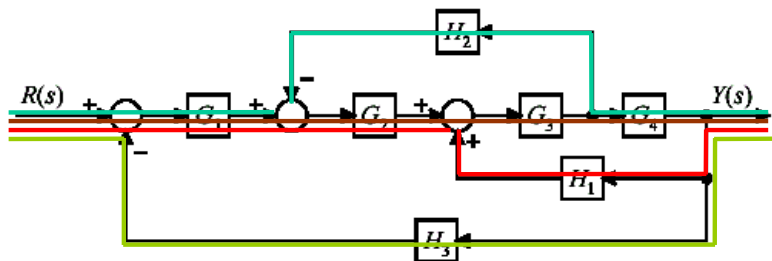
Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4} \quad \frac{H_2}{G_1 G_4} \quad \frac{-H_1}{G_1 G_2}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



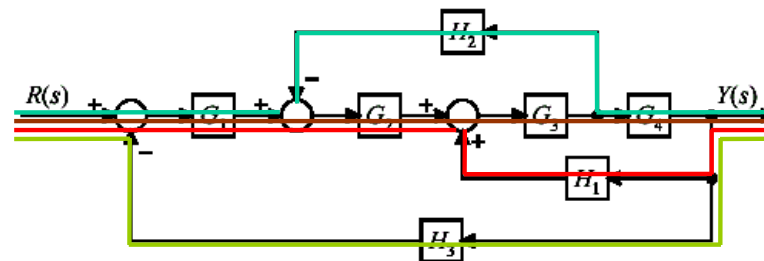
Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4} \quad \frac{H_2}{G_1 G_4} \quad \frac{-H_1}{G_1 G_3}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4} \quad \frac{H_2}{G_1 G_4} \quad \frac{-H_1}{G_1 G_3} \quad H_3$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH

Metoda Mnemotechniczna:

Ograniczeniem stosowania tej metody są układy, w których jest tylko jeden tor główny, a więc nie występują połączenia równoległe.

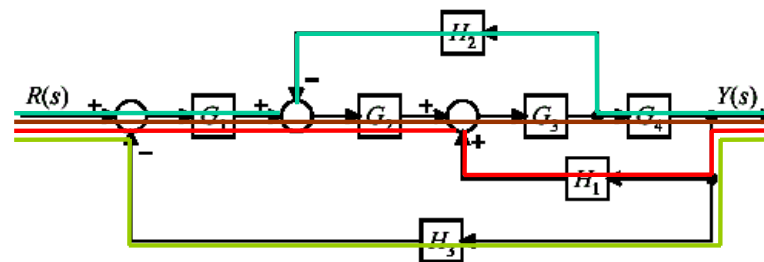
1. Należy określić wszystkie możliwe drogi przejścia od wyjścia do wejścia układu, przy czym w torze głównym kierunek przejścia powinien być przeciwny do kierunku przepływu sygnału, zaś w torach sprzężeń zwrotnych, zgodny z kierunkiem przepływu sygnału.

2. Dla każdej drogi należy zapisać ułamek, w którym w liczniku należy umieścić iloczyn transmitancji elementów z toru sprzężenia zwrotnego, zaś w mianowniku iloczyn transmitancji elementów z toru głównego.

3. Odwrotność transmitancji zastępczej układu jest algebraiczną sumą otrzymanych ułamków, przy czym znak przy danym ułamku jest przeciwny do znaku odpowiedniego sprzężenia zwrotnego.

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Wyznaczyć transmitancję zastępczą układu:



Ilość możliwych dróg przejścia od wyjścia do wejścia = 4

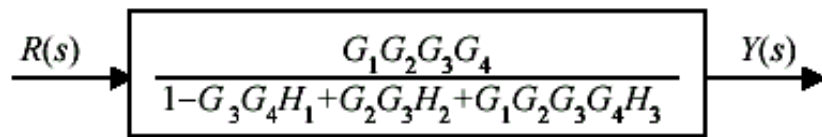
Ułamki dla poszczególnych dróg:

$$\frac{1}{G_1 G_2 G_3 G_4} \quad \frac{H_2}{G_1 G_4} \quad \frac{-H_1}{G_1 G_3} \quad H_3$$

$$G(s) = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2}$$

PRZEKSZTAŁCANIE SCHEMATÓW STRUKTURALNYCH - przykład

Transmitancja wypadkowa układu jest następująca



$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \Delta_k}{\Delta} = \frac{P_1}{\Delta} = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2}$$

$$G(s) = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3 - G_3 G_4 H_1 + G_2 G_3 H_2}$$

Zadania:

