

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY
KATEDRA ENERGOELEKTRYKI

KIERUNEK STUDIÓW:

ELEKTROTECHNIKA

Studia niestacjonarne (zaoczne) inżynierskie

LABORATORIUM PODSTAW AUTOMATYKI

Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych

Opracował: Janusz Staszewski

Wrocław 2018

WYKAZ ĆWICZEŃ

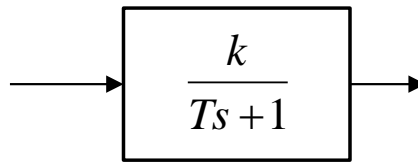
1. Metody analizy ciągłych liniowych URA [ćw. 1]
2. Korekcja analogowa liniowych układów regulacji [ćw. 2]
3. Badanie właściwości regulatorów przemysłowych..... [ćw. 3]
4. Symulacja układów sterowania z wykorzystaniem pakietu MATLAB [ćw. 4, 5]
5. Analiza i synteza kombinacyjnych i sekwencyjnych układów logicznych [ćw. 11, 12]
6. Sterowanie pracą silnika z wykorzystaniem sterowników PLC (*instrukcja stanowiskowa*)
7. Badanie liniowych impulsowych URA [ćw. 6]
8. Analiza nieliniowych URA [ćw. 9, 10]

Uwaga: Numery podane w nawiasach kwadratowych odnoszą się do numeracji ćwiczeń w skrypcie¹.

¹ Podstawy Automatyki. Ćwiczenia laboratoryjne. Praca zbiorowa pod red. A. Wiszniewskiego, Wrocław 2000

1. METODY ANALIZY CIĄGŁYCH LINIOWYCH URA

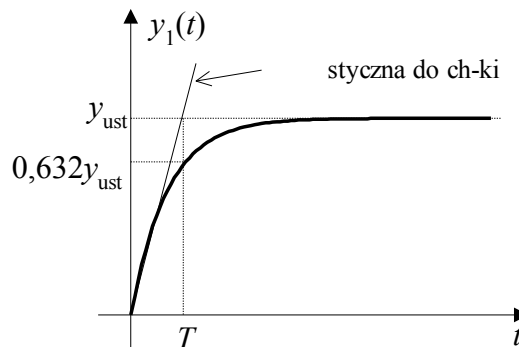
1. Dany jest element inercyjny I-rzędu o nieznanymi parametrach k, T :



Wyznaczyć parametry k, T dwoma metodami:

1a. poprzez badanie odpowiedzi na skok jednostkowy:

$$k = \frac{y_{ust}}{u_1}, \quad u_1 - \text{wartość skoku jednostkowego}, \quad T - \text{wyznaczamy z wykresu:}$$



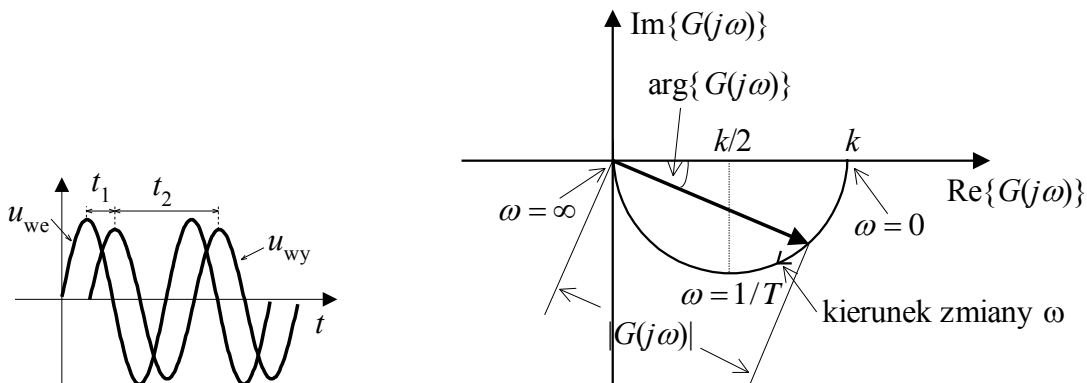
1b. poprzez wyznaczenie charakterystyki amplitudowo-fazowej

Na wejście układu podajemy sygnał sinus, poczynając od częstotliwości kilka (kilkanaście) Hz.

Wyznaczamy parametry:

$$|G(j\omega)| = \frac{U_{wy}}{U_{we}}, \quad \arg\{G(j\omega)\} = -\frac{t_1}{t_2} 360^\circ = -t_1 f 360^\circ$$

f - częstotliwość sygnału (można odczytać wprost z generatora).

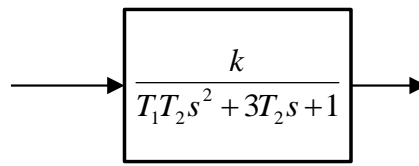


Pomiary przeprowadzamy dla różnych wartości f . Na bieżąco liczymy przede wszystkim wartość $\arg\{G(j\omega)\}$, dbając o w miarę równomierny rozkład kąta w przedziale $(0, -90^\circ)$.

Po wykreśleniu charakterystyki wyznaczamy parametry k (wprost z rysunku) oraz T (ze wzoru $\arg\{G(j\omega)\} = -\arctg(T\omega)$ dla pomiaru najmniej odbiegającego od aproksymowanej ch-ki).

Porównujemy wartości k , T obliczone (dwoma metodami) z wartościami nastawionymi na modelu.

2. Dany jest element II-rzędu o nieznanach parametrach k , T_1 , T_2 :



Wyznaczyć parametry k , T_1 , T_2 dwoma metodami:

2a. poprzez badanie odpowiedzi na skok jednostkowy:

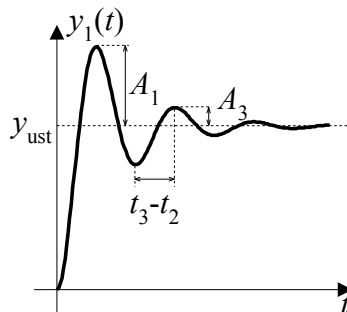
$$k = \frac{y_{ust}}{u_1}, \quad u_1 - \text{wartość skoku jednostkowego,}$$

Ponieważ, w innym, bardziej popularnym zapisie mamy: $G(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2nTs + 1}$, zatem

w pierwszym kroku obliczamy wartości n , T wg wzorów:

$$n = \frac{\ln \frac{A_1}{A_3}}{\sqrt{4\pi^2 + \left(\ln \frac{A_1}{A_3}\right)^2}}, \quad T = \frac{\sqrt{1-n^2} (t_3 - t_2)}{\pi}$$

gdzie wartości A_1 , A_2 , A_3 oraz $(t_3 - t_2)$ wyznaczamy wprost z charakterystyki odpowiedzi na skok jednostkowy.



Następnie porównując współczynniki przy poszczególnych potęgach s , w obydwu równaniach na wartość $G(s)$ (tym z makiet i tym podanym powyżej), obliczamy wartości T_1 , T_2 .

2b. poprzez wyznaczenie charakterystyki amplitudowo-fazowej

Sposób wyznaczania charakterystyki analogicznie jak w punkcie 1b. Po wykreśleniu charakterystyki wyznaczamy parametry k , T_1 , T_2 . Potrzebne wzory znajdują się w skrypcie¹.

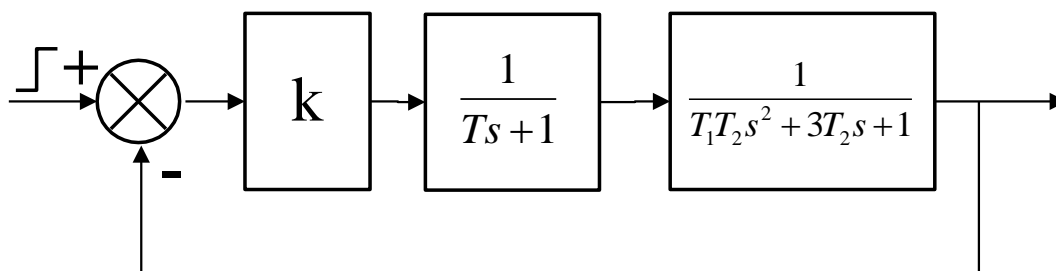
Porównujemy wartości k , T_1 , T_2 obliczone (dwoma metodami) z wartościami nastawionymi na modelu.

3. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

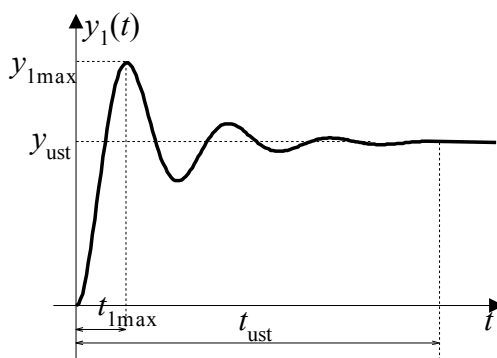
¹ Podstawy Automatyki. Ćwiczenia laboratoryjne. Praca zbiorowa pod red. A. Wiszniewskiego, Wrocław 2000

2. KOREKCJA ANALOGOWA LINIOWYCH UKŁADÓW REGULACJI

1. Zamodelować układ (rys. poniżej) dla obiektu III-rzędu o transmitancji podanej przez prowadzącego:



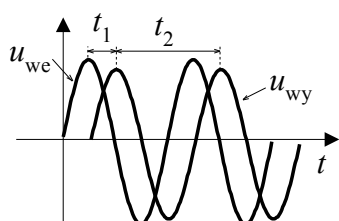
Spisać wartość amplitudy sygnału wejściowego (skoku jednostkowego). Dokonać identyfikacji obiektu. Wydrukować odpowiedź skokową oraz wyznaczyć parametry zgodnie z rys. poniżej:



Obliczyć przeregulowanie oraz błąd ustalony.

2. Wyznaczenie logarytmicznej charakterystyki amplitudowo- fazowej.

ROZPIĄĆ sprzężenie zwrotne Na wejście obiektu podać sygnał sinus, poczynając od częstotliwości kilka (kilkanaście) Hz. Wyznaczać parametry:



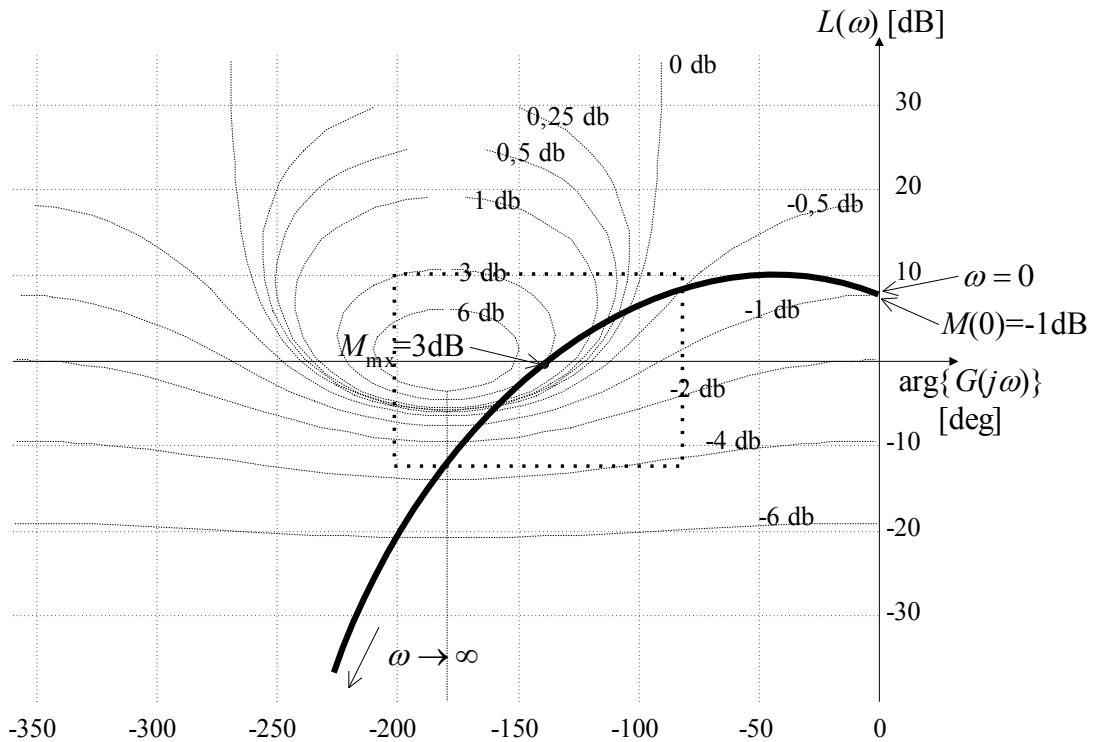
$$|G(j\omega)| = 20 \log \frac{U_{wy}}{U_{we}}, \quad (U_{we} = \text{const})$$

$$\arg\{G(j\omega)\} = -\frac{t_1}{t_2} 360^\circ = -t_1 f 360^\circ, \quad f - \text{częstotliwość sygnału}$$

(można odczytać wprost z generatora).

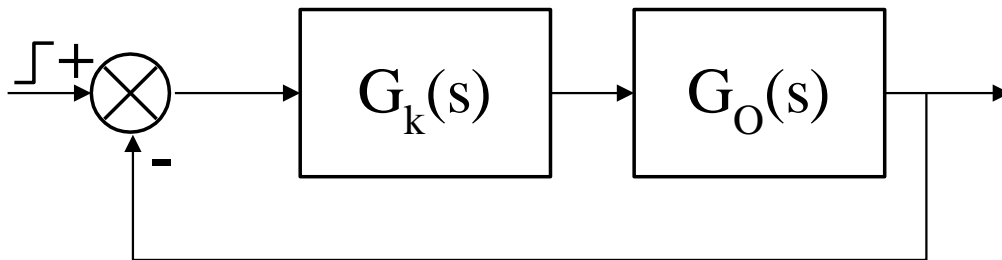
Pomiary przeprowadzić dla różnych wartości f , tak, aby wartość argumentu zmieniała się w przedziale $(0, -270^\circ)$. Na bieżąco zaznaczać punkty pomiarowe na karcie Nicholasa. Zagęścić pomiary (4-5 pomiarów) w pobliżu punktu $(-180^\circ, 0\text{dB})$, czyli w pobliżu hipotetycznego punktu M_{mx} , który w następnym punkcie będziemy wyznaczać. Na rys. poniżej obszar zaznaczony prostokątem. Poza tym obszarem wystarczy wykonać kilka pomiarów (2-3 pomiary dla argumentów

mniejszych, 1-2 pomiary dla większych).



Po wykreśleniu charakterystyki wyznaczyć punkty $M(0)$ oraz M_{\max} (patrz rysunek powyżej) oraz wyznaczyć parametry korektora postępując zgodnie z przykładem nr 2 zamieszczonym w skrypcie¹ na str. 17. Zwrócić uwagę na przypadek gdy wartości wzmocnienia korektora $A < 1$.

2. Wprowadzić do układu korektor (rys. poniżej).



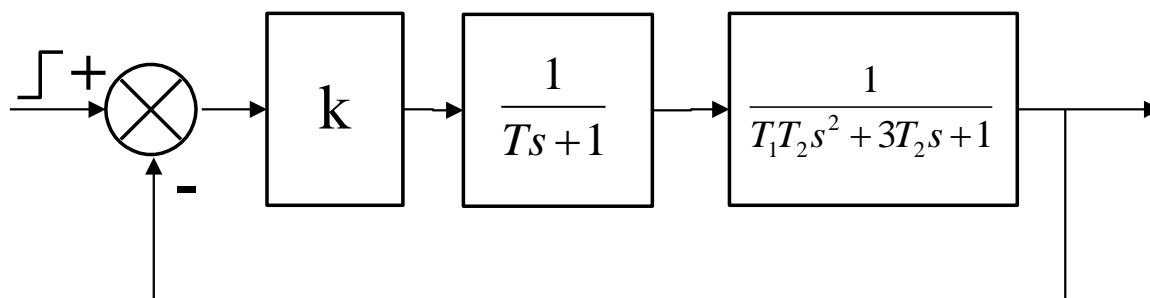
Nastawić obliczone parametry korektora. Wydrukować odpowiedź skokową oraz wyznaczyć parametry tak jak w punkcie 1. Porównać parametry odpowiedzi skokowej przed i po wprowadzeniu korektora.

3. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

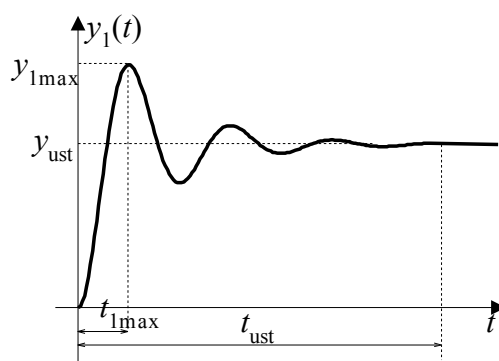
¹ Podstawy Automatyki. Ćwiczenia laboratoryjne. Praca zbiorowa pod red. A. Wiszniewskiego, Wrocław 2000

3. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI REGULATORÓW PRZEMYSŁOWYCH

1. Zamodelować układ (rys. poniżej) dla obiektu III-rzędu o transmitancji podanej przez prowadzącego:

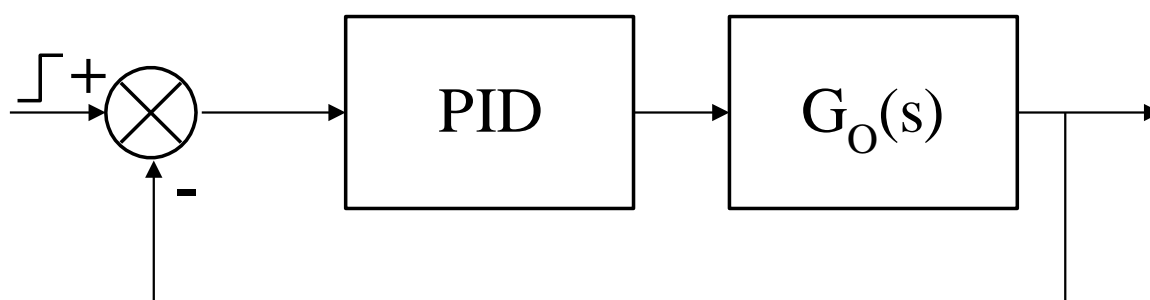


Sygnal wejściowy (skok jednostkowy) powinien mieć amplitudę nie większą niż 0,5V. Spisać wartość tej amplitudy. Dokonać identyfikacji obiektu. Wydrukować odpowiedź skokową oraz wyznaczyć parametry zgodnie z rys. poniżej:



Obliczyć przeregulowanie oraz błąd ustalony.

2. Wprowadzić do układu regulator PID (rys. poniżej).



Dobrać parametry regulatora zgodnie z regułą Zieglera-Nicholsa:

- pozostawić tylko człon P ($K_p=1$). Człony I oraz D odłączyć,
- zwiększając wzmocnienie K_p doprowadzić układ do granicy stabilności.

UWAGA: wychwycić pierwszy moment pojawienia się odpowiedzi na granicy stabilności!

- c. spisać wartość $K_{pgr} = K_p$ oraz wyznaczyć okres oscylacji T_{osc} ,
- d. policzyć wartości nastaw regulatora według wzorów:
- P $K_p = 0,50K_{pgr}$
- PI $K_p = 0,45K_{pgr}$ $T_i = 0,85T_{osc}$
- PID $K_p = 0,60K_{pgr}$ $T_i = 0,50T_{osc}$ $T_d = 0,12T_{osc}$
- e. wprowadzić nastawy regulatorów (3 przypadki: P, PI oraz PID). Wydrukować odpowiedzi skokowe oraz wyznaczyć parametry tak jak w punkcie 1,
- f. porównać parametry odpowiedzi skokowej przed i po wprowadzeniu 3 rodzajów regulatorów.
3. Zapoznać się z działaniem poszczególnych członów PID dokonując zmian i obserwacji zgodnie z tabelką:

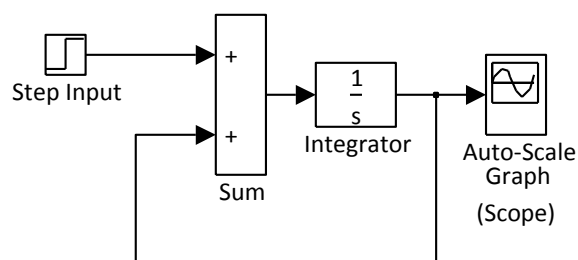
wartości stałe	wartość zmieniana	kierunek zmiany	y_{ust}	t_{ust}	y_{1max}	uwagi
K_p T_i	T_d	↗				
		↘				
K_p T_d	T_i	↗				
		↘				
T_d T_i	K_p	↗				
		↘				
T_d T_i - brak	K_p	↗				
		↘				

Jako wartości stałe przyjmujemy wartości z obliczeń. Wartości zmieniane, regulujemy odpowiednio zwiększając (↗) lub zmniejszając (↘) na tyle, żeby była wyraźnie widoczna zmiana w odpowiedzi skokowej. Do tabelki NIE wpisujemy wartości parametrów obserwowanych lecz tendencje zmian (np.: rośnie, szybko rośnie, maleje, szybko maleje, bez zmian)

4. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

4. SYMULACJA UKŁADÓW STEROWANIA Z WYKORZYSTANIEM PAKIETU MATLAB

1. Korzystając z nakładki Simulink programu Matlab zamodelować układ jak na rys. poniżej.



Zwrócić uwagę na fakt występowania sprzężenia dodatniego. Następnie zmienić sprzężenie na ujemne i powtórnie dokonać symulacji. W kolejnym kroku zmienić warunek początkowy na integratorze na niezerowy. Sprawdzić odpowiedź na skok jednostkowy.

2. Zamodelować w Simulink'u obiekt dany transmitancją II rzędu podaną przez prowadzącego (licznik - $k=1$, mianownik – równanie kwadratowe, $\Delta > 0$). Korzystać tylko z bloków sumatora (*Sum*), integratora (*Integrator*) oraz wzmacniacza (*Gain*). Sprawdzić odpowiedź na skok jednostkowy. Przykład – patrz skrypt¹, ćwiczy 4. str. 37, rys. 4.1

3. Korzystając z bloku sumatora (*Sum*) i bloku opisującego transmitancję (*Transfer Fcn*), zamodelować układ sterowania w obwodzie zamkniętym dla obiektu III-rzędu. Parametry obiektu dobrać tak, aby otrzymać odpowiedź stabilną o charakterze oscylacyjnym. Przyjąć $k=1$.

3. W programie Matlab, zdefiniować licznik i mianownik transmitancji z poprzedniego punktu. Np.

dla $G(s) = \frac{1}{4s^3 + 3s^2 + 2s + 1}$, licznik i mianownik definiujemy odpowiednio:

$l=1$;

$m=[4 \ 3 \ 2 \ 1]$;

Sprawdzić stabilność układu otwartego korzystając z najbardziej ogólnej definicji stabilności (o położeniu biegunów transmitancji). Wykorzystać komendę *roots(m)* do wyznaczenia biegunów transmitancji.

3. Sprawdzić i zaobserwować efekt działania funkcji *step(l,m)* i innych opisanych na stronie 61 (poniżej rysunku 5.4) w skrypcie¹. Szczególnie zwrócić uwagę na funkcje *nyquist(l,m)*, *nichols(l,m)* (łącznie z *ngrid*) oraz *margin(l,m)* pod kątem badania stabilności układu zamkniętego na podstawie analizy układu otwartego.

4. Zwiększając wzmocnienie obiektu, badać stabilność układu zamkniętego za pomocą 3-ch funkcji wymienionych w punkcie poprzednim. Doprowadzić do utraty stabilności.

5. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

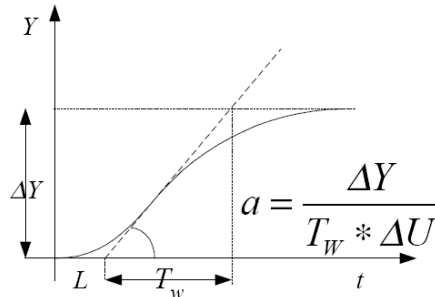
¹ Podstawy Automatyki. Ćwiczenia laboratoryjne. Praca zbiorowa pod red. A. Wiszniewskiego, Wrocław 2000

5. ANALIZA I SYNTEZA KOMBINACYJNYCH I SEKWENCYJNYCH UKŁADÓW LOGICZNYCH

1. Korzystając z tablicy Karnough zminimalizować funkcję czterech zmiennych (układ kombinacyjny) $y=f(x_3, x_2, x_1, x_0)$ podaną przez prowadzącego. W tablicy zastosować grupowanie „jedynek” logicznych. Po uzyskaniu wzoru końcowego zastosować prawa de Morgana tak, aby we wzorze występowały tylko funkcje iloczynu logicznego (nie mogą występować sumy!). Narysować schemat połączeń korzystając tylko z bramek NAND. Połączyć układ zgodnie z otrzymanym schematem (makieta z bramkami logicznymi). Sprawdzić działanie układu dla wszystkich kombinacji wejść.
2. Korzystając z tablicy kolejności łączy zrealizować minimalizację funkcji $y_1=f(x_1, x_2, y_1, y_2)$, $y_2=f(x_1, x_2, y_1, y_2)$ podanych przez prowadzącego (układ sekwencyjny). Po minimalizacji narysować schemat połączeń korzystając z przełączników. Połączyć układ zgodnie z otrzymanym schematem (makieta z przełącznikami). Sprawdzić działanie układu.
3. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

6. STEROWANIE PRACĄ SILNIKA Z WYKORZYSTANIEM STEROWNIKÓW PLC

1. Wydrukować odpowiedź na skok jednostkowy dla silnika prądu stałego. Na podstawie odpowiedzi wyznaczyć parametr α (patrz rys. poniżej). Przyjąć $L=0,5s$.



ΔY =obroty odczytane ustalone (po skoku) [obr/min] minus obroty odczytane ustalone (przed skokiem) [obr/min]

ΔU =(obroty zadane (po skoku) [p.u.] minus obroty zadane (przed skokiem) [p.u.])*1800 obr/min

2. Zgodnie ze wzorem (5) zewnętrznej instrukcji stanowiskowej wyznaczyć okres próbkowania. Obliczyć błąd pomiaru prędkości obrotowej silnika (patrz wzór w Dodatku zewnętrznej instrukcji stanowiskowej) Przed przystąpieniem do realizacji dalszej części ćwiczenia obowiązkowo skonsultować wyniki z prowadzącym. Skorygować wartość okresu próbkowania zgodnie z sugestiami prowadzącego.
3. Korzystając z tab. 2 i wzorów (7) zewnętrznej instrukcji stanowiskowej wyznaczyć parametry regulatorów P, PI i PID. Otrzymane czasy przeliczyć na minuty.
4. Wprowadzić obliczone parametry regulatorów (pomocna będzie tab. 1 zewnętrznej instrukcji stanowiskowej). Zadać skok jednostkowy, wydrukować odpowiedź.
UWAGA: jako wartość początkową (przed skokiem) przyjąć obroty w zakresie od 300 do 600 obr/min, jako wartość końcową (po skoku) przyjąć obroty w zakresie od 900 do 1300 obr/min.
5. Porównać i zinterpretować wszystkie otrzymane wyniki.
6. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

7. BADANIE LINIOWYCH IMPULSOWYCH URA

1. Badanie impulsatora.

Na wejście sterujące podajemy częstotliwość próbkowania f_p (na początek 10kHz). Na wejście impulsatora podajemy sygnał 900Hz (sinus). Oscyloskop podłączamy na wejście i wyjście układu. Obserwujemy wyjście układu dla różnych f_p (tw. Shannona!). Drukujemy tylko dla $f_p = 10kHz$.

2. Badanie ekstrapolatora zerowego rzędu i liniowego. Łączymy szeregowo impulsator i ekstrapolator. Reszta jak wyżej.

3. Wyznaczanie charakterystyk błędów układu impulsator - ekstrapolator:

a. $\delta = f(f_p) \Big|_{f_{we} = const}$

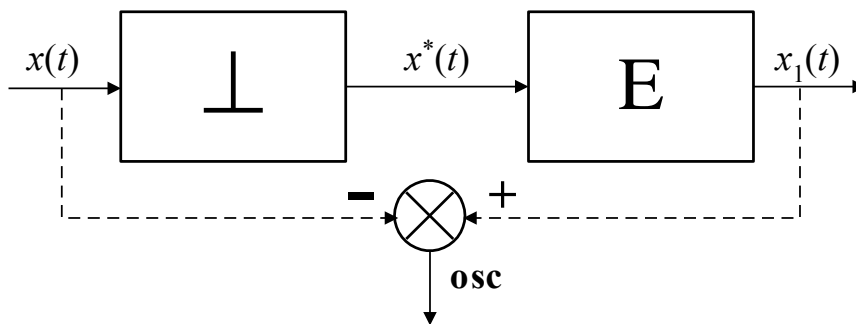
b. $\delta = f(f_{we}) \Big|_{f_p = 10kHz}$, $f_{we} = 1; 1,5; 2; 2,5; 3 \text{ kHz}$

oddzielnie dla ekstrapolatora 0-go rzędu i liniowego według wzoru:

$$\delta = \frac{|\max(x_1 - x)|}{2A_x} 100\%$$

gdzie A_x - amplituda sygnału wejściowego

Układ pomiarowy:

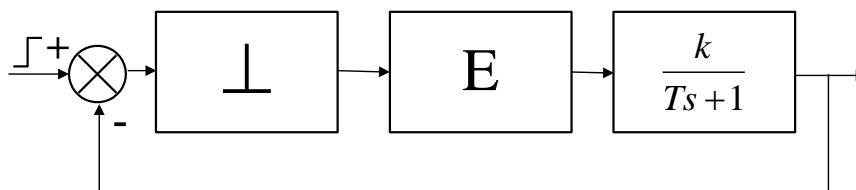


4. Badanie stabilności układu zamkniętego transmitancji I-rzędu w połączeniu z impulsatorem i ekstrapolatorem:

a. dla różnych k przy $T_p/T = const$,

b. dla różnych T_p przy $k = const$.

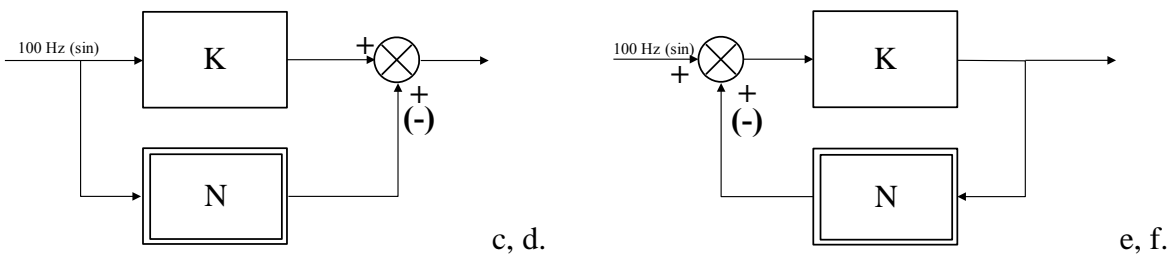
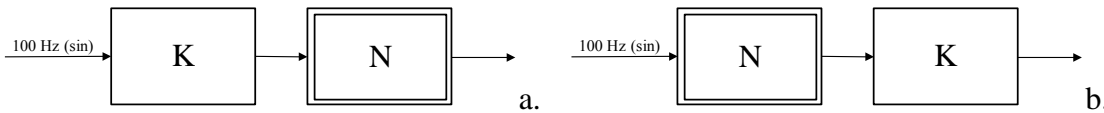
Układ pomiarowy:



5. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

8. ANALIZA NIELINIOWYCH URA

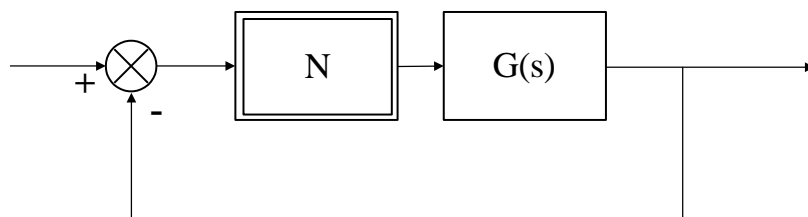
1. Podać na wejście elementu nieliniowego sygnał sinusoidę 100 Hz. Oscyloskop dokładnie wyzerować i nastawić jednakowe wzmocnienia w obydwu kanałach. Następnie podłączyć go na wejście i wyjście układu. Zmieniać parametry elementu nieliniowego i obserwować zarówno na 2 kanałach (tryb Yt) jak i w trybie XY. Wydrukować po jednym najciekawszym przypadku (takim, aby żaden z parametrów nie był wyzerowany, ani maksymalny). Po wydrukowaniu nie zmieniać nastaw elementu nieliniowego.
2. Powtórzyć powyższe dla drugiego elementu nieliniowego.
3. Analogicznie jak w punkcie 1 podłączyć tylko element liniowy o transmitancji $k=2$. obserwować w trybie XY dla różnych wartości k . Zrobić wydruk dla $k=2$.
4. Połączyć następujące układy według poniższych schematów (dla 1-go elementu nieliniowego):



Obserwować zachowanie się wyjścia układu w trybie XY dla różnych wartości k (na co ma wpływ zmiana k ?). Wydrukować każdy przypadek tylko dla $k=2$.

W domu graficznie wyznaczyć wypadkowe połączenie elementów (jeden dla przykładu a lub b oraz drugi dla przykładu c lub d. Dokładny opis wyznaczania charakterystyk znajduje się w skrypcie¹ na stronach 116 i 117)

5. Podłączyć układ według schematu poniżej (transmitancja II-rzędu, przekaźnik trójpołożeniowy z histerezą). Nic nie podawać na wejście układu. Zaobserwować pojawienie się drgań w układzie. Odczytać ich amplitudę i okres.



6. Opracować wnioski i uwagi do ćwiczenia.

¹ Podstawy Automatyki. Ćwiczenia laboratoryjne. Praca zbiorowa pod red. A. Wiszniewskiego, Wrocław 2000