

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej



AGH

**PROJEKT Z PROJEKTOWANIA UKŁADÓW
AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ**

Metoda Chiena, Hronesa i Reswicka

Autor: Mateusz Warzyński

Kraków 2016

Spis treści

1	Wstęp	2
2	Wprowadzenie teoretyczne	2
2.1	Regulator PID	2
2.2	Dobór nastaw regulatora PID	2
3	Metoda Chiena, Hronesa i Reswicka	3
4	Badane obiekty	3
5	Wyniki	4
5.1	Obiekty P1	5
5.2	Obiekty P2	6
5.3	Obiekty P3	6
5.4	Obiekty P4	8
5.5	Obiekty P5	9
5.6	Obiekty P6	11
5.7	Obiekty P7	13
5.8	Obiekty P8	14
5.9	Obiekty P9	15
6	Podsumowanie	16

1 Wstęp

Zasadniczym celem projektu jest analiza strojenia regulatorów PID metodą Chiena, Hronesa i Re-swicka. Wyznaczenie odpowiednich nastaw regulatorów oraz symulacje układów sterowania zostaną zrealizowane w środowisku Matlab/Simulink.

2 Wprowadzenie teoretyczne

Regulator jest niezbędną częścią każdego systemu sterowania. Jego zadanie polega na wygenerowaniu odpowiedniego sygnału sterującego, tak aby obiekt sterowany zachowywał się w pożądany sposób.

2.1 Regulator PID

Jednym z najczęściej stosowanych regulatorów w automatyce jest regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący (PID). Składa się on z członu proporcjonalnego P o wzmocnieniu K_p , całkującego I o czasie całkowania T_i oraz różniczkującego D o czasie różniczkowania T_d . Regulator PID realizuje algorytm:

$$u(t) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Transmitancja idealnego regulatora PID opisana jest wzorem:

$$u(t) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Fizycznie nie da się zrealizować idealnego różniczkowania. Transmitancja rzeczywistego regulatora PID jest opisana następująco:

$$u(t) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\frac{T_d}{K_d} s + 1} \right) \quad (3)$$

2.2 Dobór nastaw regulatora PID

Podstawowym warunkiem adekwatnego doboru regulatora i jego nastaw jest znajomość właściwości dynamicznych obiektu. Z tego powodu ważna jest identyfikacja obiektu, która ma na celu określenie uproszczonego modelu. Kolejnym krokiem w projektowaniu układu regulacji jest sformułowanie wymagań, co do jakości w stanie ustalonym i w stanach przejściowych. Najczęściej dla przebiegów przejściowych:

- Przebieg aperiodyczny z najkrótszym czasem regulacji
- Przebieg oscylacyjny z przeregulowaniem nie większym niż 20%, minimalny czas regulacji
- Przebieg z minimalną wartością całki kwadratu odchylenia regulacji

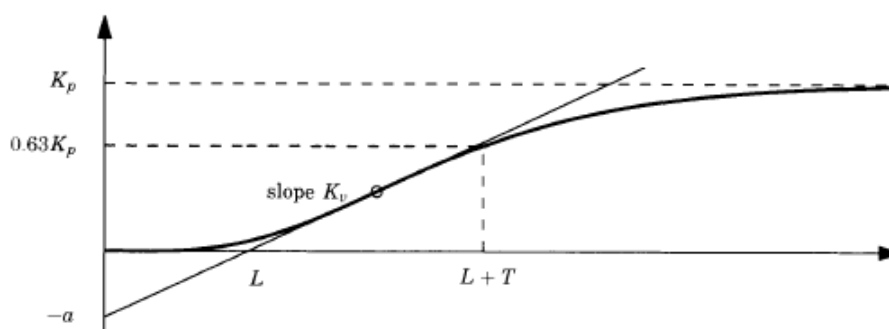
Przy wyborze typu regulatora można się wstępnie kierować ogólnymi wskaźnikami co do efektu działania układu podanymi w tabeli poniżej:

Akcja	Czas narastania t_i	Czas regulacji t_r	Przeregulowanie K%	Odchylenie statyczne
P	Mniejszy	Małe zmiany	Większe	Mniejsze
I	Mniejszy	Mniejszy	Większe	Brak odchylenia
D	Małe zmiany	Większy	Mniejsze	Małe zmiany

3 Metoda Chiena, Hronesa i Reswicka

W praktyce inżynierskiej napotyka się sytuacje, gdy transmitancja układu nie jest znana. W takim przypadku na podstawie odpowiedzi skokowej można aproksymować układ do postaci obiektu inercyjnego I-go rzędu z opóźnieniem:

$$P(s) = \frac{K_p}{1 + sT} e^{-sL} \quad (4)$$



Sposób wyznaczenia parametrów K_p, T, L, a modelu polega na wykreśleniu stycznej w punkcie przecięcia wykresu odpowiedzi skokowej układu zgodnie z powyższym wykresem. Dla wyznaczonych w ten sposób parametrów Chien, Hrones i Reswick opracowali metodę pozwalającą na obliczenie optymalnych nastaw według wzorów podanych w tabeli:

Przeregulowanie	0%			20%		
Regulator	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
P	$0.3 \frac{1}{a}$	–	–	$0.7 \frac{1}{a}$	–	–
PI	$0.35 \frac{1}{a}$	1.2T	–	$0.6 \frac{1}{a}$	T	–
PID	$0.6 \frac{1}{a}$	T	0.5L	$0.95 \frac{1}{a}$	1.4T	0.47L

4 Badane obiekty

Skuteczność metody Chiena, Hronesa i Reswicka przebadano na obiektach opisanych poniższymi transmitancjami:

$$P_1 = \frac{e^{-s}}{1 + sT} \quad (5)$$

gdzie:

$T = 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.3, 1.5, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000$

$$P_2 = \frac{e^{-s}}{1 + sT}^2 \quad (6)$$

gdzie:

$T = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.3, 1.5, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 50, 100, 200, 500$

$$P_3 = \frac{1}{(s+1)(1+sT)^2} \quad (7)$$

gdzie:

$T = 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 2, 5, 10$

$$P_4 = \frac{1}{(s+1)^n} \quad (8)$$

gdzie:

$n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$

$$P_5 = \frac{1}{(1+\alpha s)(1+\alpha^2 s)(1+\alpha^3 s)} \quad (9)$$

gdzie:

$\alpha = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$

$$P_6 = \frac{e^{-sL_1}}{s(1+sT_1)} \quad (10)$$

gdzie:

$L_1 = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1$

$T_1 + L_1 = 1$

$$P_7 = \frac{Te^{-sL_1}}{(1+sT)(1+sT_1)} \quad (11)$$

gdzie:

$T = 1, 2, 5, 10$

$L_1 = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1$

$T_1 + L_1 = 1$

$$P_8 = \frac{1-\alpha s}{(s+1)^3} \quad (12)$$

gdzie:

$\alpha = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.1$

$$P_9 = \frac{1}{(s+1)((sT)^2 + 1.4sT + 1)} \quad (13)$$

gdzie:

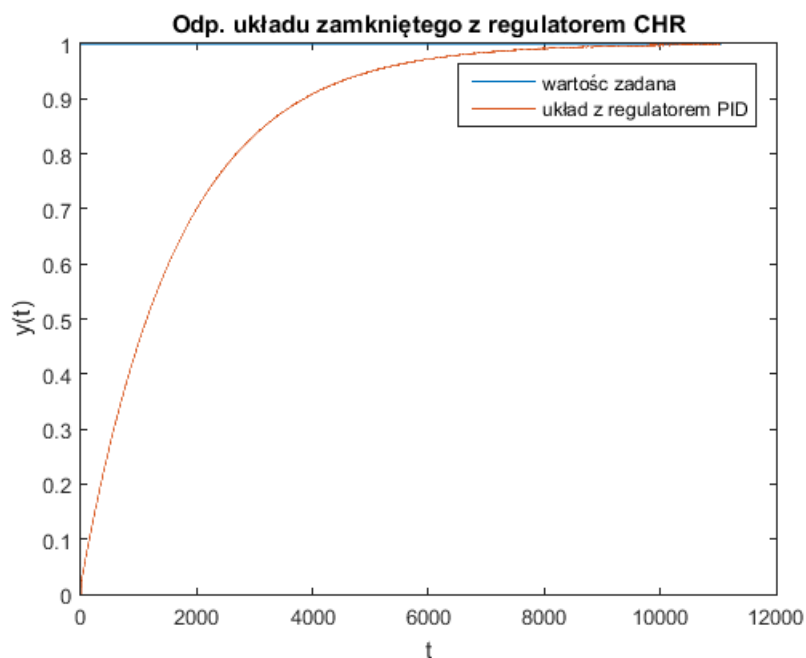
$T = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1$

5 Wyniki

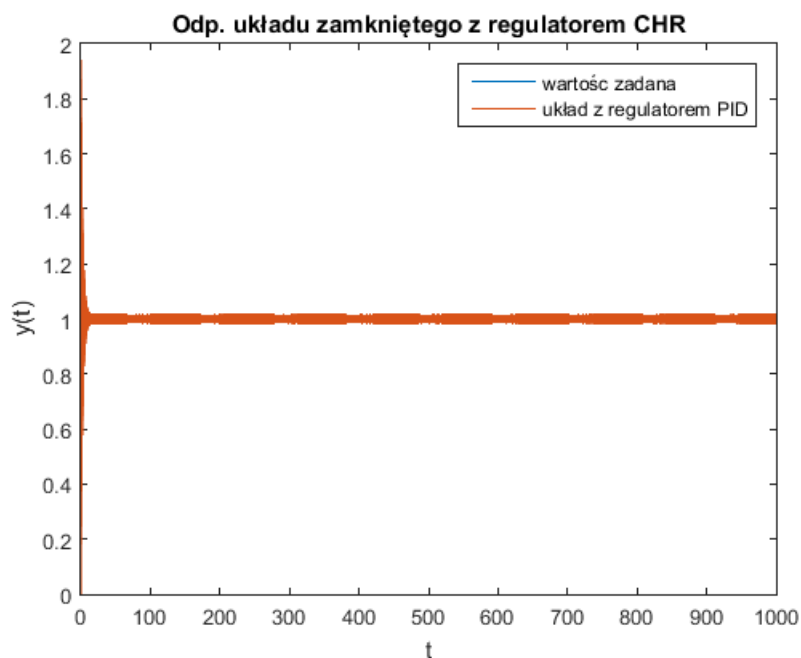
Dla obiektów opisanych w rozdziale czwartym przeprowadzono szereg symulacji. W tej części projektu zamieszczono ich wyniki w postaci odpowiednich wykresów oraz sformułowanych wniosków.

5.1 Obiekty P1

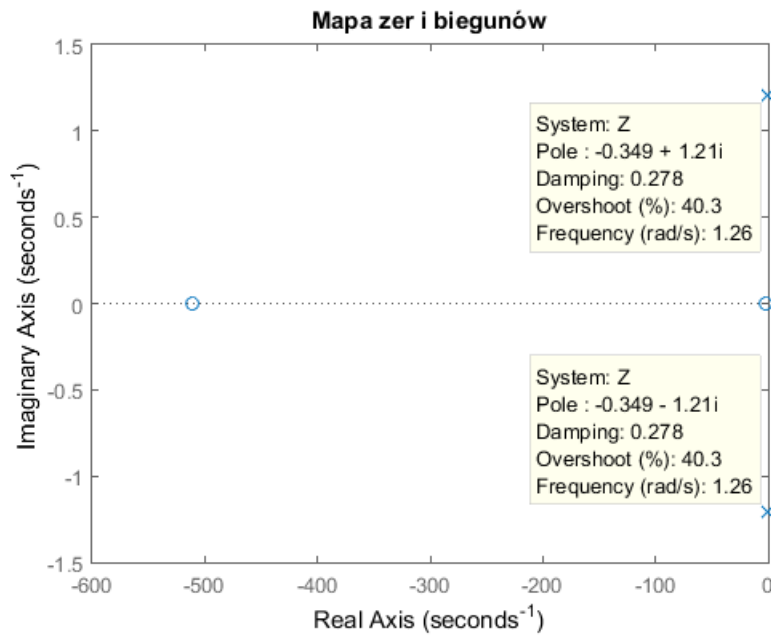
Dla wszystkich obiektów opisanych wzorem(5) metoda CHR doboru parametrów regulatora PID pozwala na osiągnięcie wartości zadanej. Układ zamknięty jest stabilny. Dla bardzo małych wartości T układ bardzo wolno osiąga wartość zadaną ($T = 0.02$):



Gdy T jest znacznie większe wyniki są dość zadowalające. Wykres dla $T = 500$:

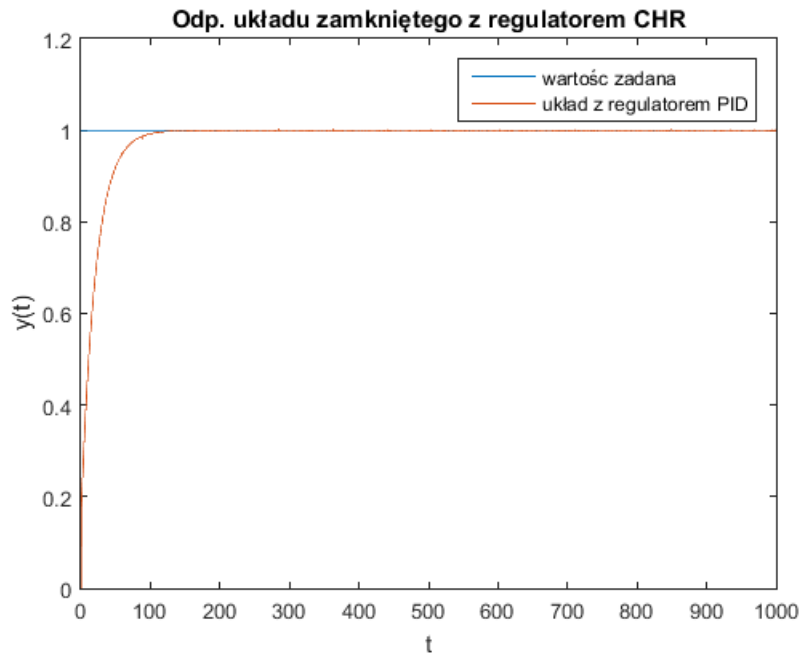


Jednak ze wzrostem T bieguny transmitancji, układu zamkniętego obiektu i regulatora z nastawami wyliczonymi zgodnie z CHR, przesuwają się w kierunku dodatniej półpłaszczyzny rzeczywistej.



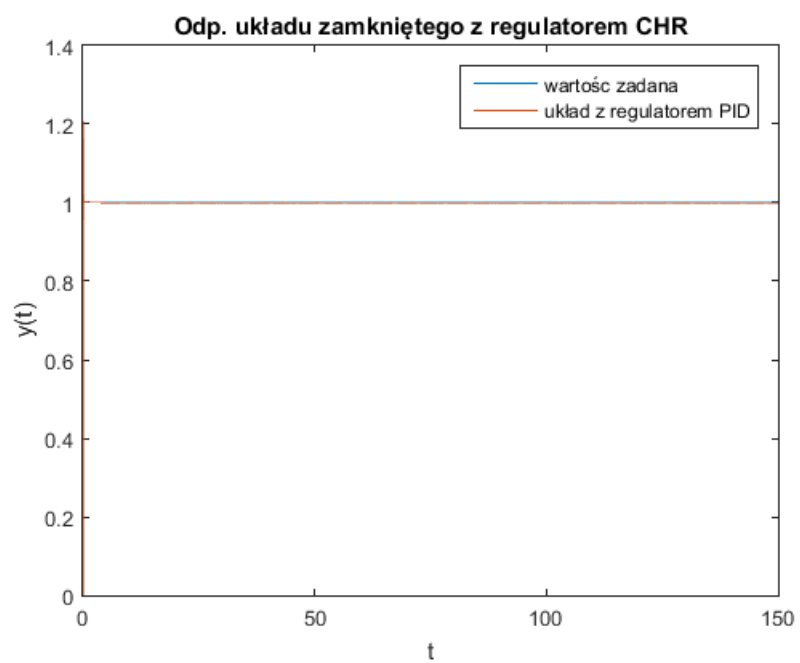
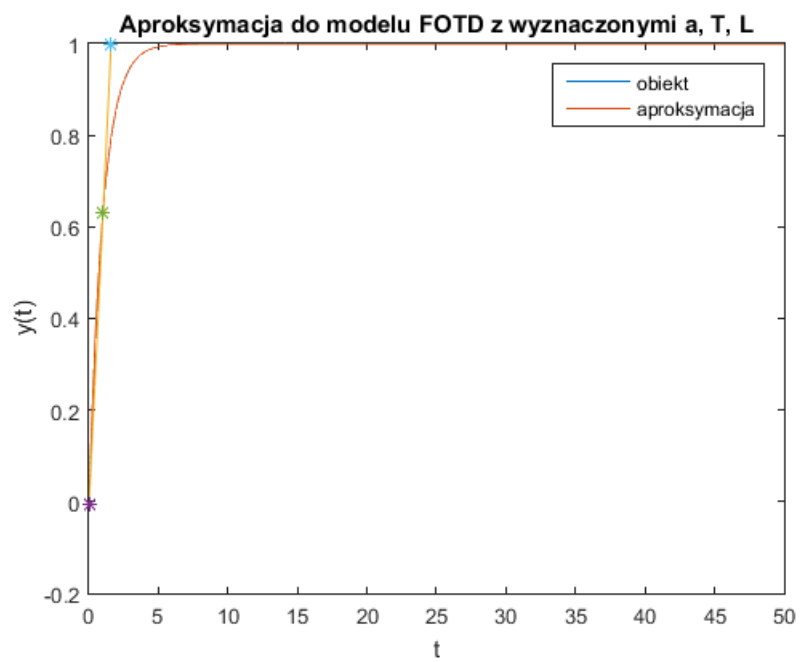
5.2 Obiekty P2

Obiekty opisane transmitancją(6) sterowano regulatorem PID. Dla $T \in [0.01; 9]$ układ osiągał wartość zadaną. Wzrost wartości T powoduje przesuwanie się biegunów transmitancji w kierunku dodatniej półpłaszczyzny rzeczywistej. Poniżej wyniki dla $T = 0.01$:

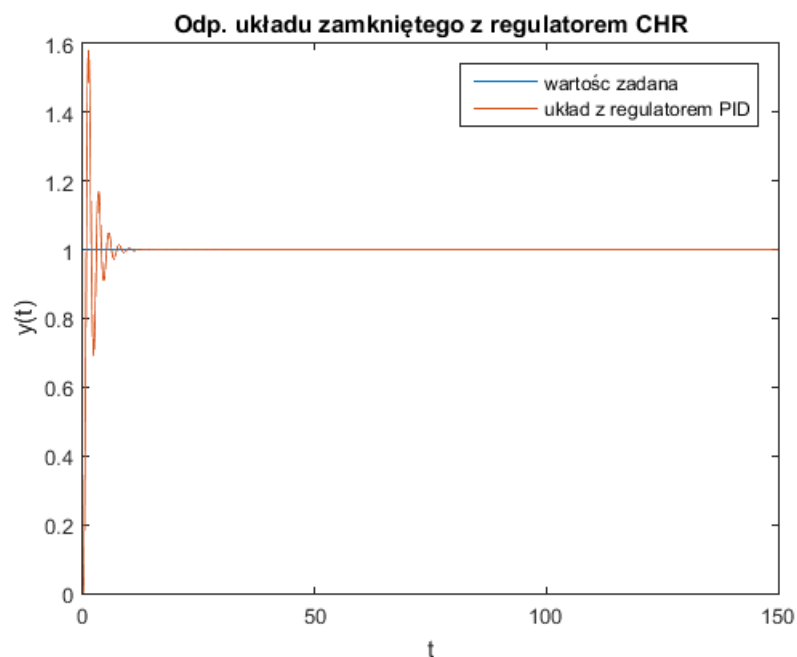


5.3 Obiekty P3

Układ z regulatorem PID działa poprawnie dla obiektów(7) w przypadku wartości $T \in [0.005; 0.2]$. Poniżej przedstawiono działanie układu, gdy $T = 0.005$:



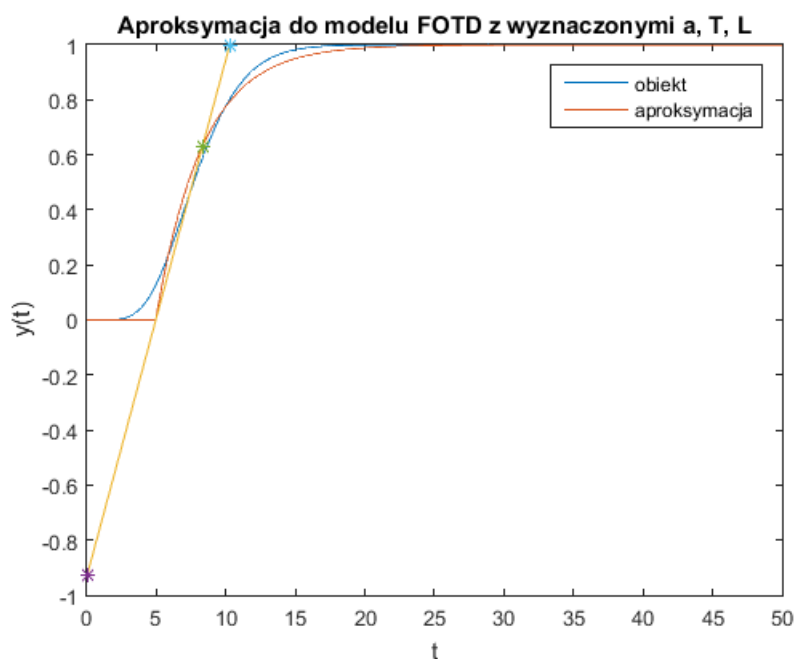
Przypadek gdy $T = 0.2$:



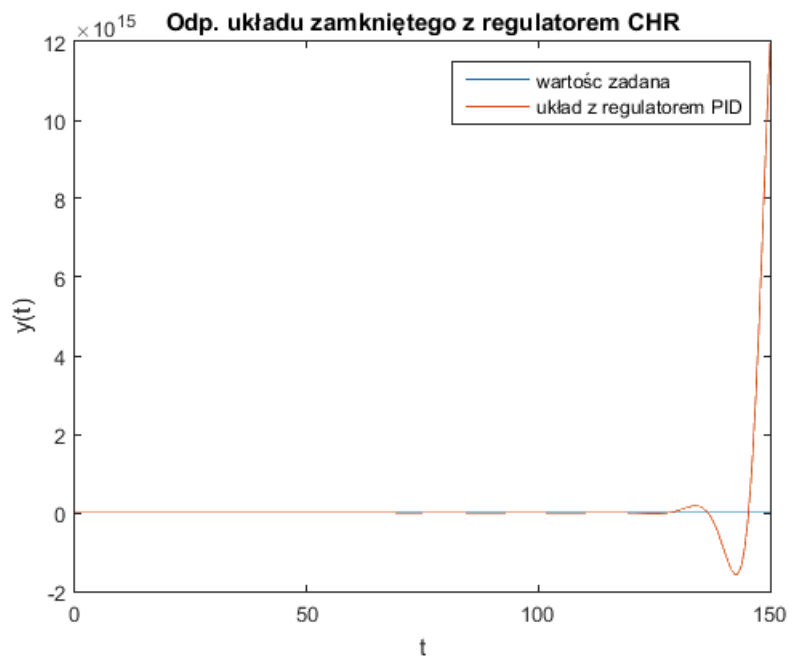
Dla układów z parametrem $T \geq 0.5$ układ jest niestabilny.

5.4 Obiekty P4

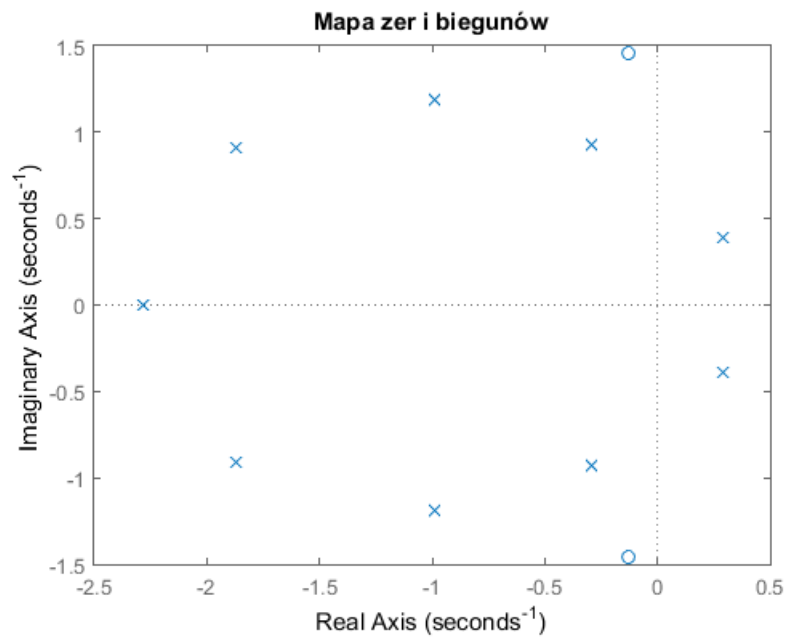
Dla grupy obiektów opisanych transmitancją(8) dobór parametrów metodą CHR nie daje pożądanych rezultatów. Przy dość dobrej aproksymacji obiektów obiektem inercyjnym pierwszego rzędu z opóźnieniem wyliczone parametry regulatora nie sprawdzają się. Układ zamknięty z tak dobranym regulatorem jest niestabilny.



Zachowanie układu dla wyznaczonych parametrów regulatora, $n = 8$:

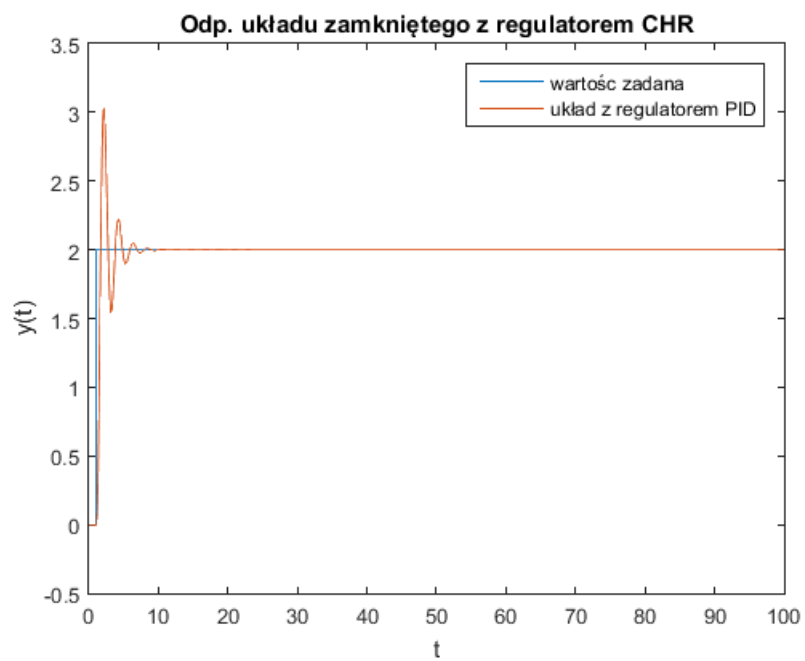
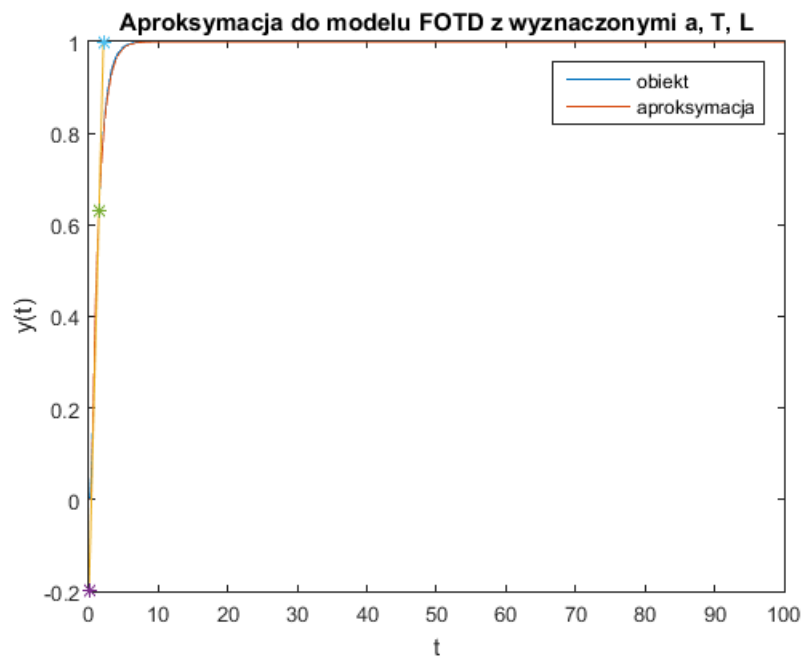


Zbadano położenie biegunów transmitancji układu zamkniętego z regulatorem PID. Jak widać na poniższym wykresie dwa bieguny transmitancji mają części rzeczywiste dodatnie.

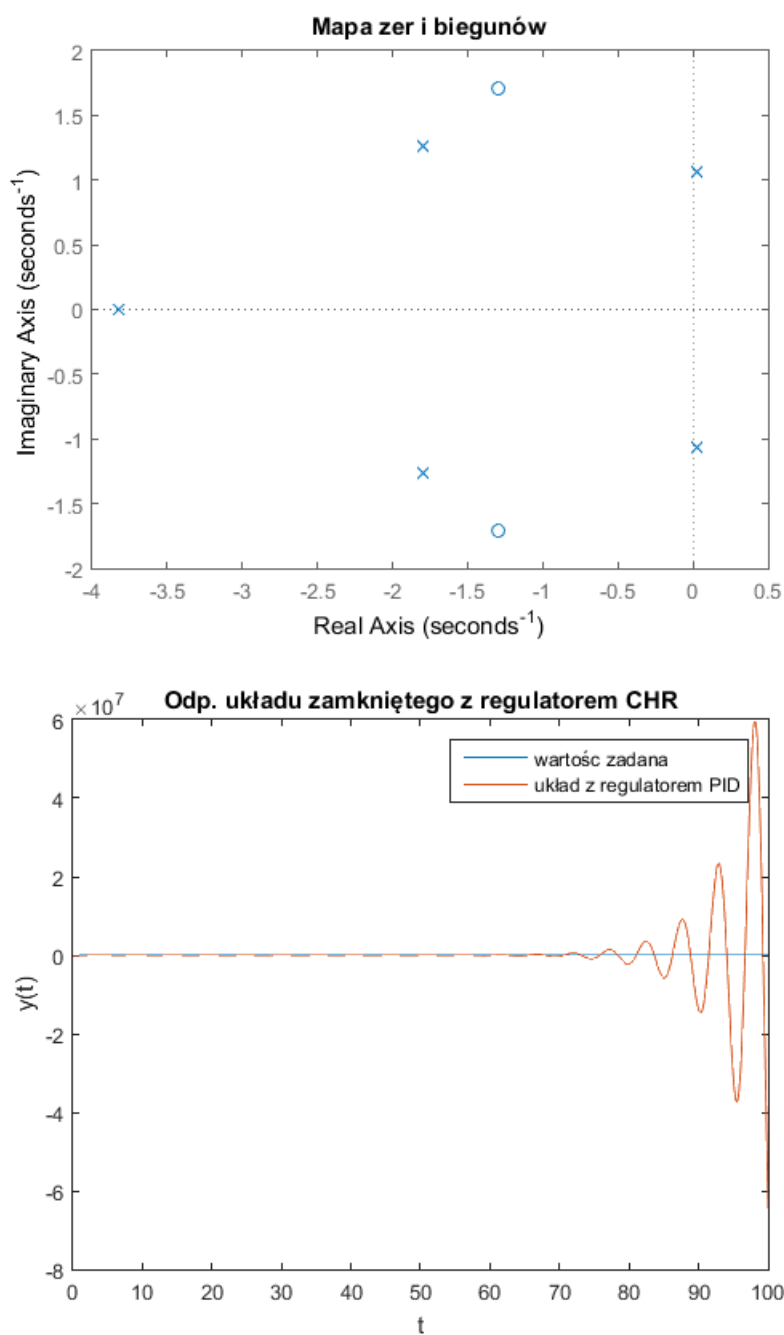


5.5 Obiekty P5

Układ z regulatorem PID działa poprawnie dla obiektów(9) w przypadku wartości $\alpha \in [0.1; 0.6]$. Na wykresie poniżej przedstawiono wynik działania układu dla wartości $\alpha = 3$. W odpowiedzi układu pojawiają się przez krótki okres przeregulowania:

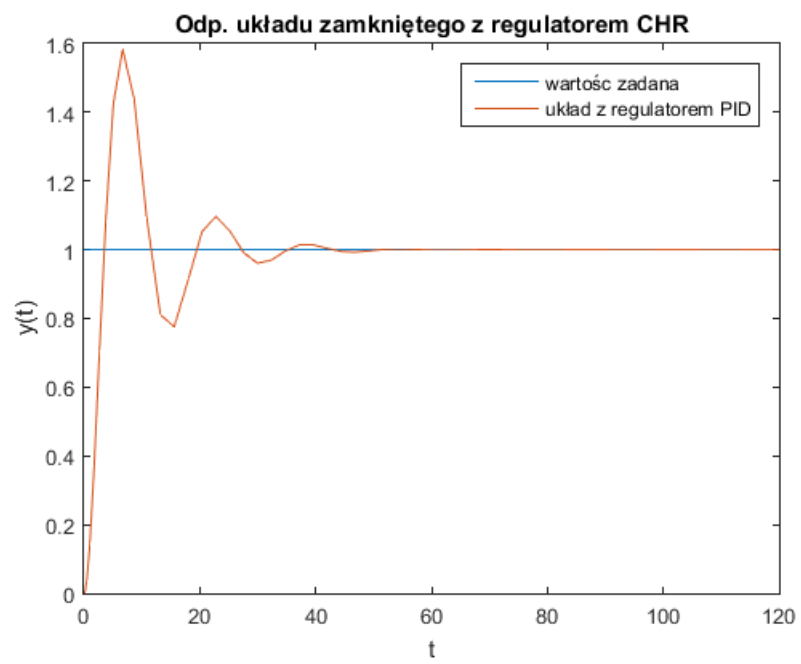
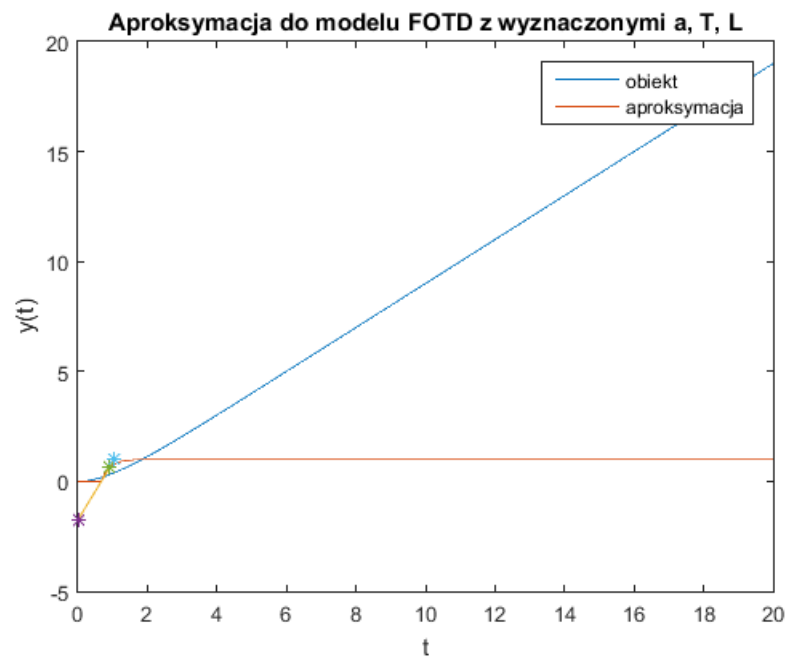


W przypadkach, gdy α układ zamknięty z regulatorem PID jest niestabilny. Pokazano to na poniższym wykresie . Wynik dla $\alpha = 0.7$:

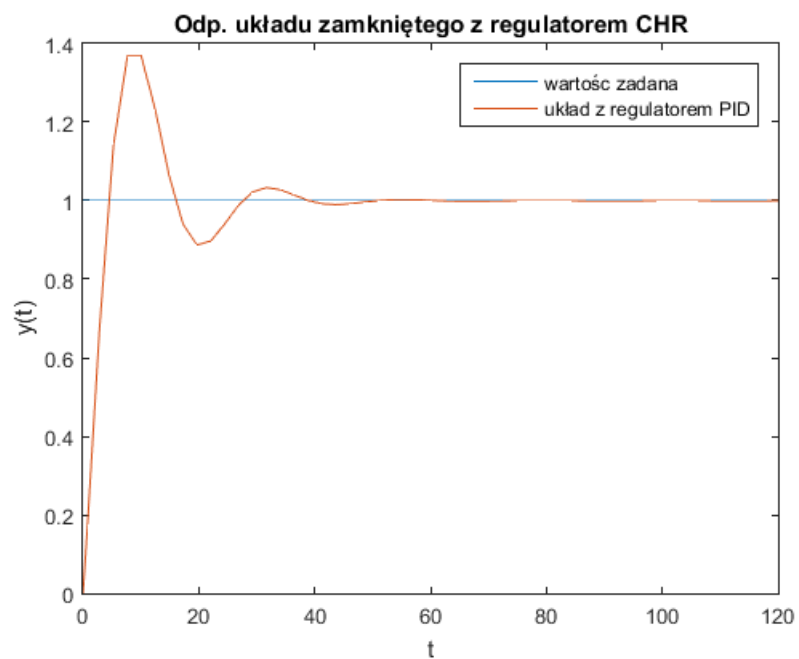


5.6 Obiekty P6

Parametry regulatora PID dobrane metodą CHR pozwalają na osiągnięcie wartości zadanej dla układu z obiektem opisanym postacią(10). Dla wszystkich badanych sytuacji występują krótko znaczne przeregulowania. Poniżej wyniki dla $L_1 = 0.01$:

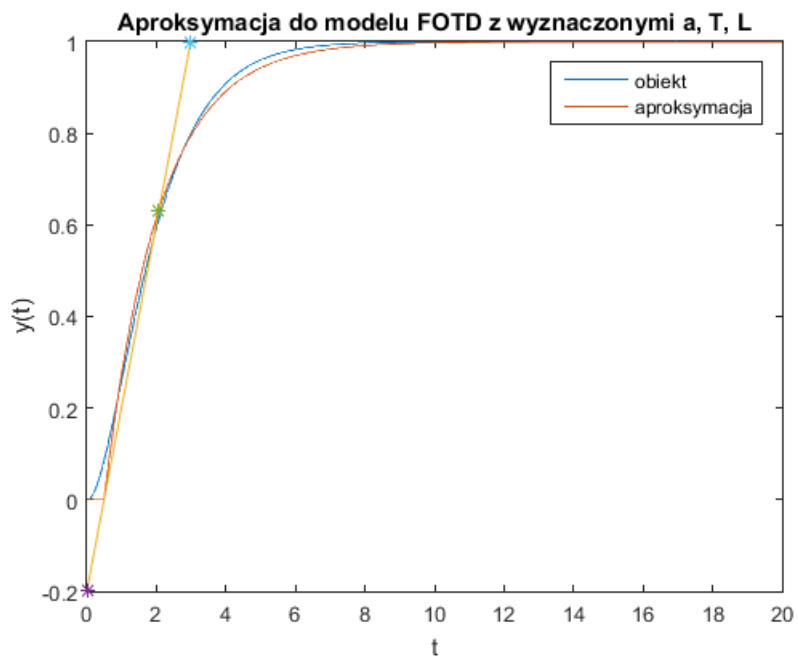


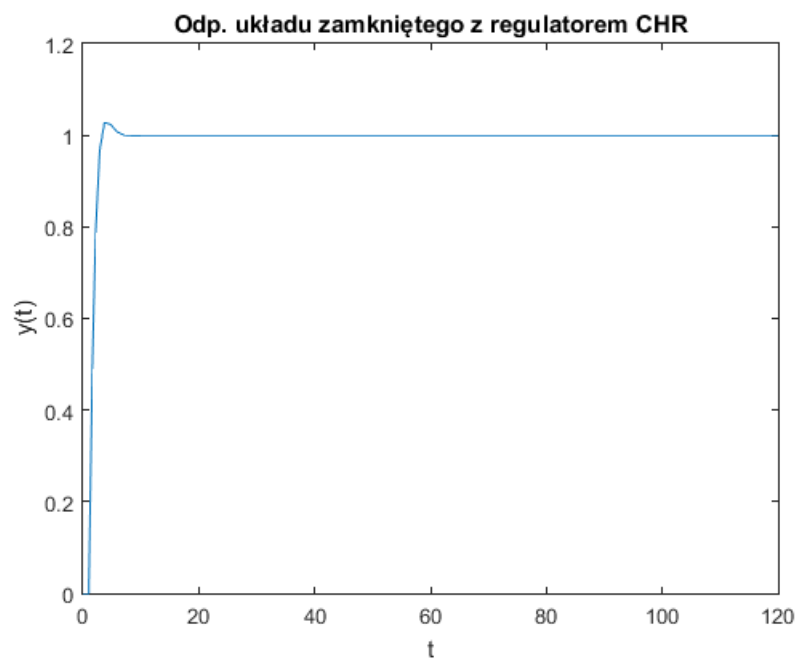
Przypadek gdy $L_1 = 1$:



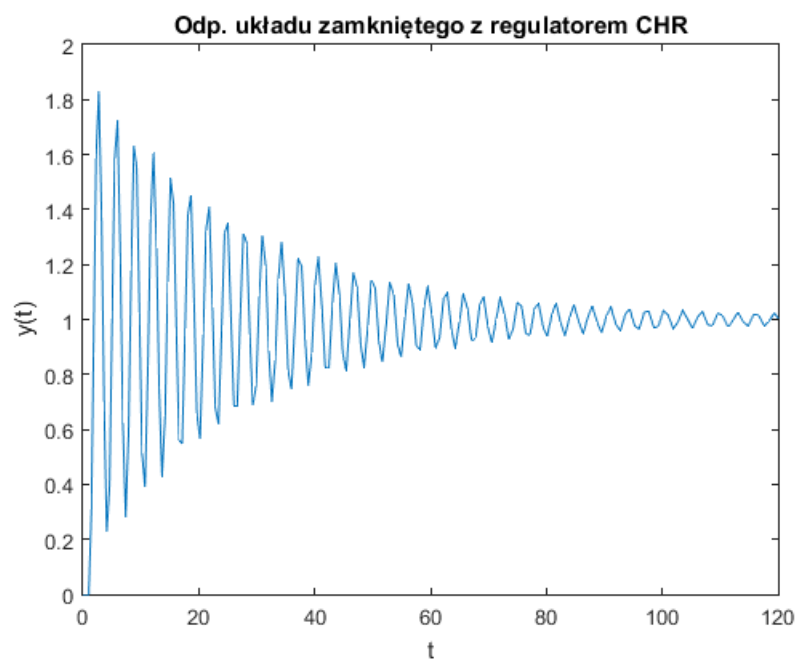
5.7 Obiekty P7

Metoda CHR działa poprawnie dla wszystkich obiektów postaci(11). Dla większości przypadków wartość zadana jest osiągana szybko z bardzo małymi przeregulowaniami:



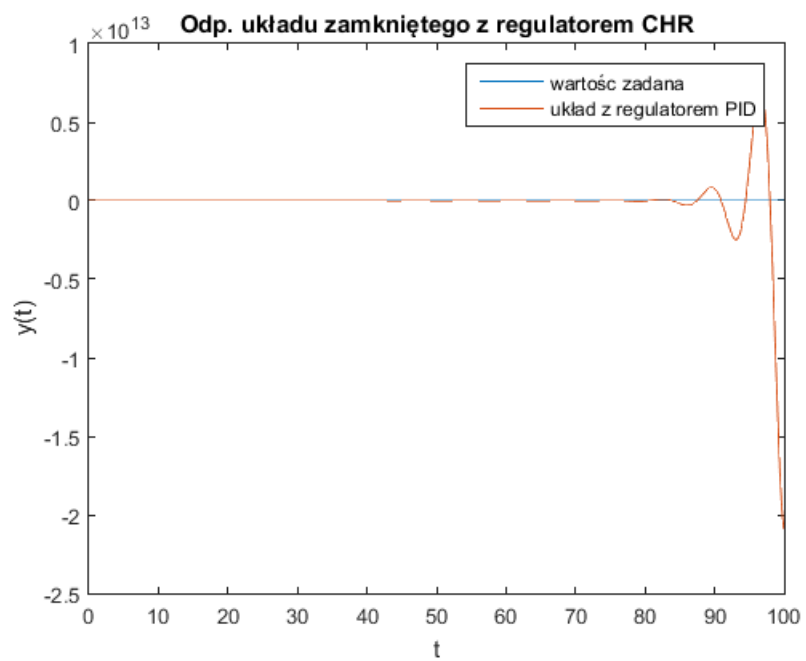
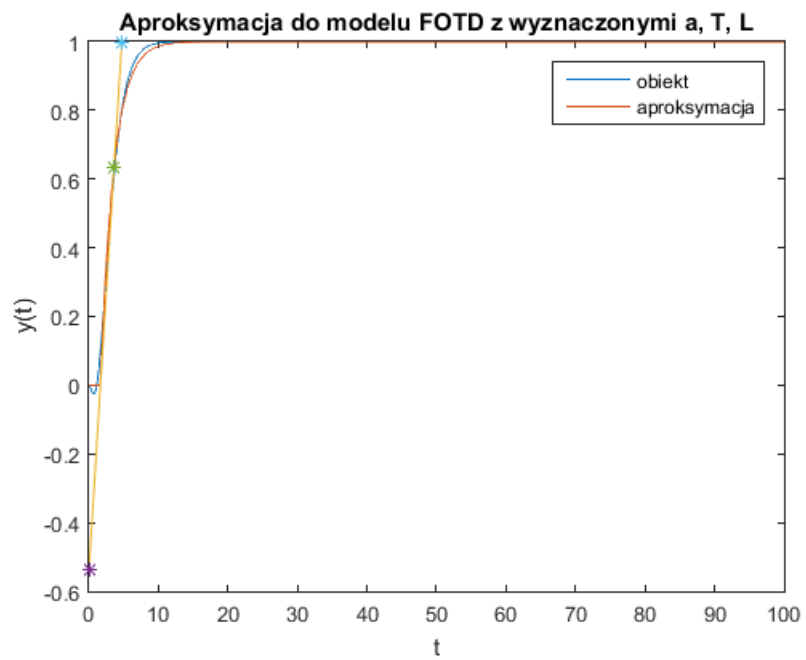


W przypadku gdy L_1 jest bardzo małe występują gasnące oscylacje wokół wartości zadanej:

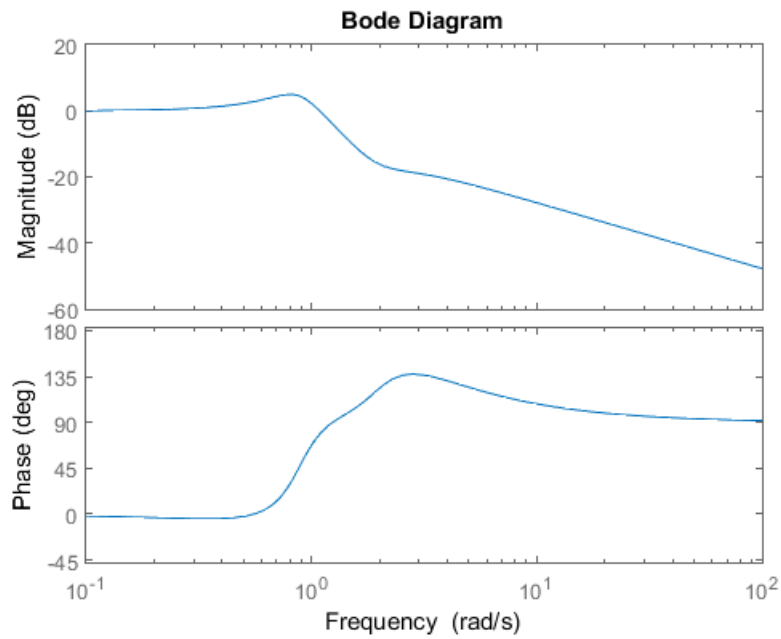
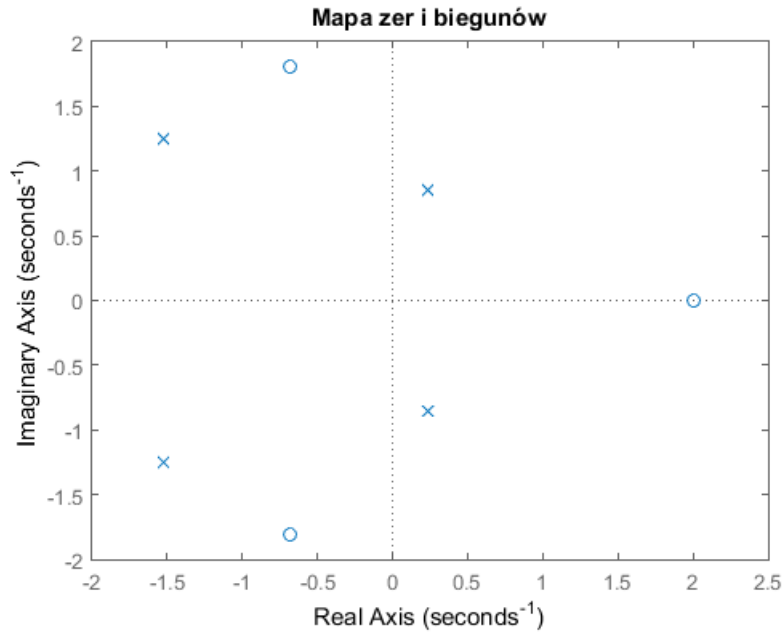


5.8 Obiekty P8

Dla obiektów minimalnofazowych(12) użyto regulatora PID ze wzmocnieniem zgodnym z kryterium CHR. Układ nie jest stabilny, jednak nie osiąga wartości zadanej. Dla otrzymanych parametrów regulatorów PI Poniżej zamieszczono wyniki dla przypadku gdy $\alpha = 0.5$ z regulatorem PID:

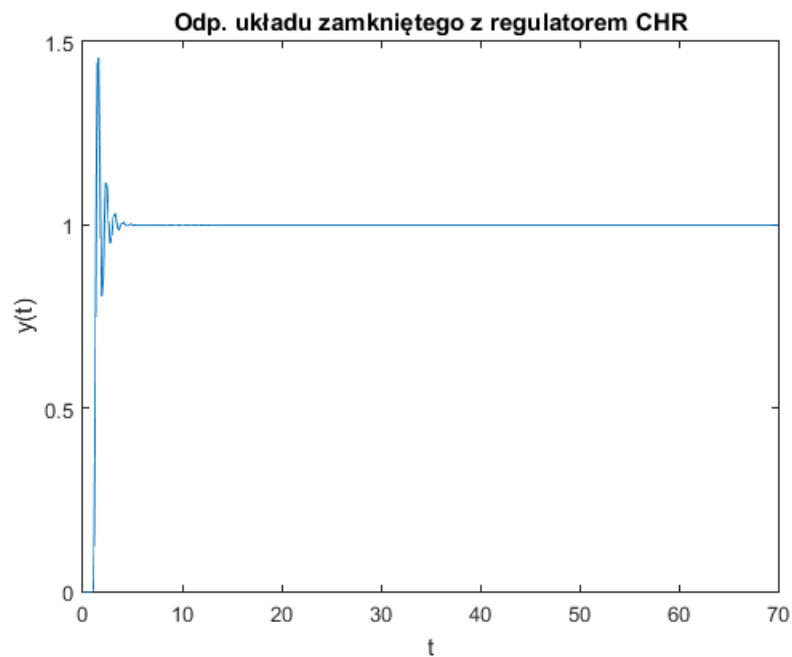


Na poniższym wykresie pokazano rozlokowanie pierwiastków układu. Widać, że 2 mają dodatnie części rzeczywiste.

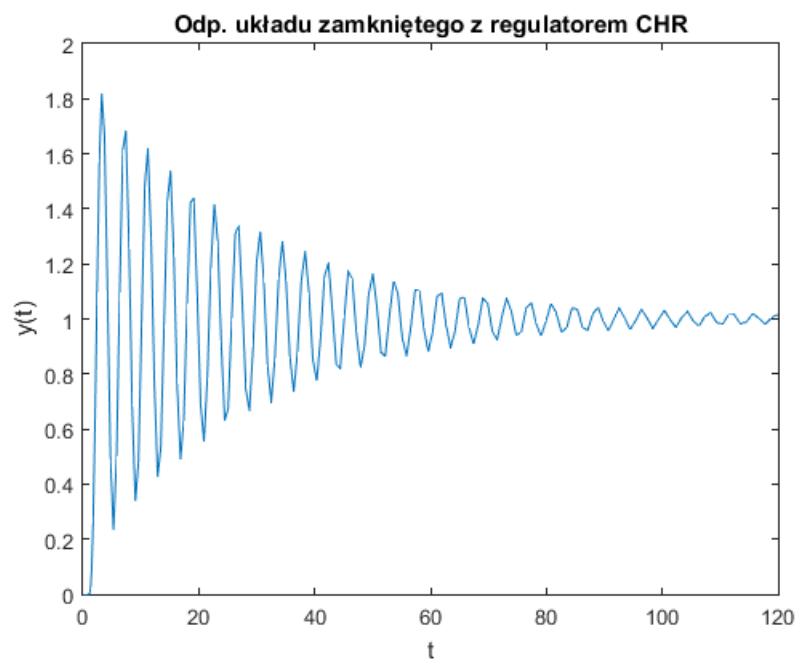


5.9 Obiekty P9

Obiekty opisane transmitancją(13) sterowano regulatorem PID. Dla $T \in [0.1; 0.5]$ układ osiągał wartość zadaną. Jednak ze wzrostem wartości T w układzie pojawiają się większe oscylacje, ponieważ bieguny transmitancji przesuwają się w kierunku dodatniej półpłaszczyzny rzeczywistej. Dla $T \geq 0.6$ układ jest niestabilny. Wykres dla $T = 0.1$:



Wykres dla $T = 0.5$:



6 Podsumowanie

Metoda Chiena, Hronesa i Reswicka pozwala wyznaczyć nastawy regulatora w oparciu o znajomość charakterystyki skokowej układu. W taki sposób dobrany regulator dla większości testowanych obiektów osiągał wartość zadaną. Czasem występowały krótkie przeregulowania. Dla pewnej grupy obiektów dobrany w ten sposób regulator mocno wpływał na stabilność układu, niekiedy powodując jej utratę. Dla obiektów wyższych rzędów niż 2 przy dużych stałych czasowych na podstawie tej metoda nie udało się wyznaczyć dobrego regulatora.