

# Podstawy automatyki

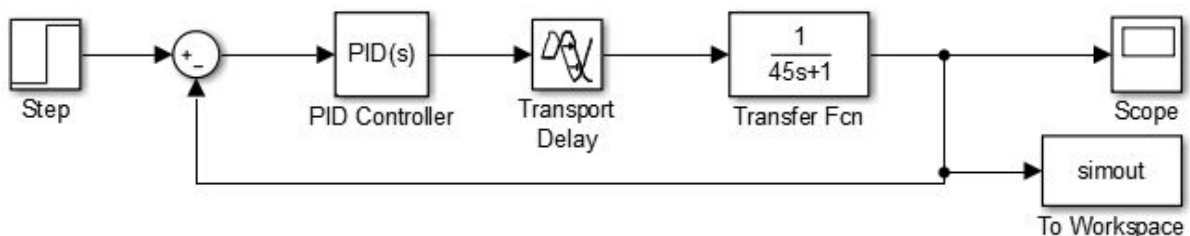
## Dobór nastaw regulatorów przemysłowych

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z metodami doboru nastaw regulatorów przemysłowych. Zastosowane miały być dwie grupy metod: metoda Zieglera-Nicholsa wraz z modyfikacjami oraz metody oparte o parametry odpowiedzi skokowej obiektu.

### Przebieg ćwiczenia

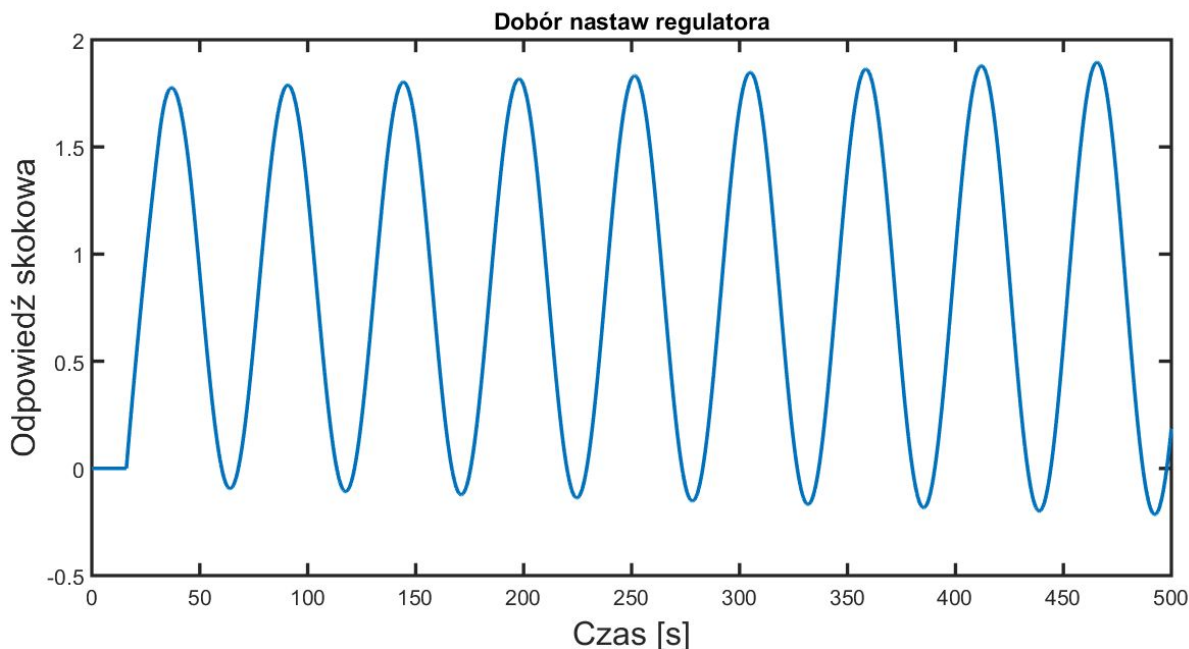
Obiektem regulacji był obiekt inercyjny pierwszego rzędu z opóźnieniem, o parametrach  $k = 1$ ,  $\tau = 15$  [s],  $T = 45$  [s]. Układ regulacji zbudowaliśmy w Simulinku zgodnie ze schematem na rysunku 1. W trakcie ćwiczenia symulowaliśmy zachowanie układu dla różnych nastaw regulatora PID.



Rys. 1. Schemat układu regulacji w Simulinku

Pierwszym krokiem metody Zieglera-Nicholsa było wyznaczenie wzmocnienia krytycznego oraz okresu drgań własnych obiektu. W tym celu ustawiliśmy regulator na pracę czysto proporcjonalną ( $I = 1e+15$ , w praktyce  $\infty$  oraz  $D = 0$ ). Następnie zmienialiśmy wzmocnienie regulatora, obserwując jednocześnie odpowiedź skokową obiektu.

Po kilku próbach, dla wzmocnienia  $k = 5.4$  obiekt znalazł się bardzo blisko granicy stabilności i to wzmocnienie uznaliśmy za wzmocnienie krytyczne. Poniżej przedstawiono uzyskaną odpowiedź skokową.



Rys. 2. Odpowiedź skokowa obiektu dla wzmocnienia  $k = 5.4$

Na podstawie powyższego przebiegu wyznaczyliśmy okres drgań własnych układu przy użyciu funkcji matlaba `ginput`. Uzyskany dokładny wynik to  $T_{osc} = 53,8306$  s.

Po wyznaczeniu tych dwóch parametrów układu, mogliśmy przystąpić do właściwej części doboru nastaw metodą Zieglera-Nicholsa. W trakcie symulacji mieliśmy problem z takim doбором solvera, aby część różniczkująca regulatora działała prawidłowo. W związku z tym, niektóre uzyskane przez nas odpowiedzi skokowe są niezgodne z rzeczywistym zachowaniem układu. Mimo to, staraliśmy się wyciągnąć z tych odpowiedzi pewne wnioski.

## Podstawowe nastawy wg Zieglera-Nicholsa

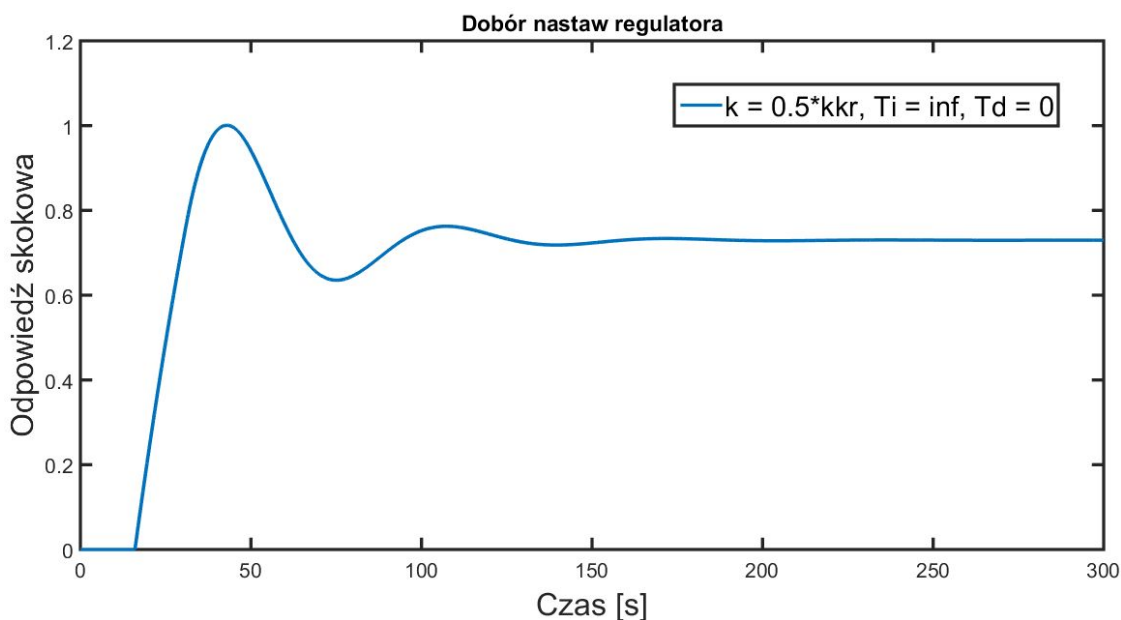
### Regulator P

Nastawę regulatora P wg Zieglera-Nicholsa dobieramy w następujący sposób:

$$k = 0,5 * k_{kr}$$

$$k = 2,7$$

Poniżej przedstawiono uzyskaną odpowiedź skokową.



*Rys. 3. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora P,  $k = 2,7$*

Układ cechuje się zerowym lub bliskim zeru przeregulowaniem. Posiada on jednak dosyć spory uchyb ustalony, wynoszący ponad 20% wartości zadanej. Jest on cechą charakterystyczną układu z regulatorem P.

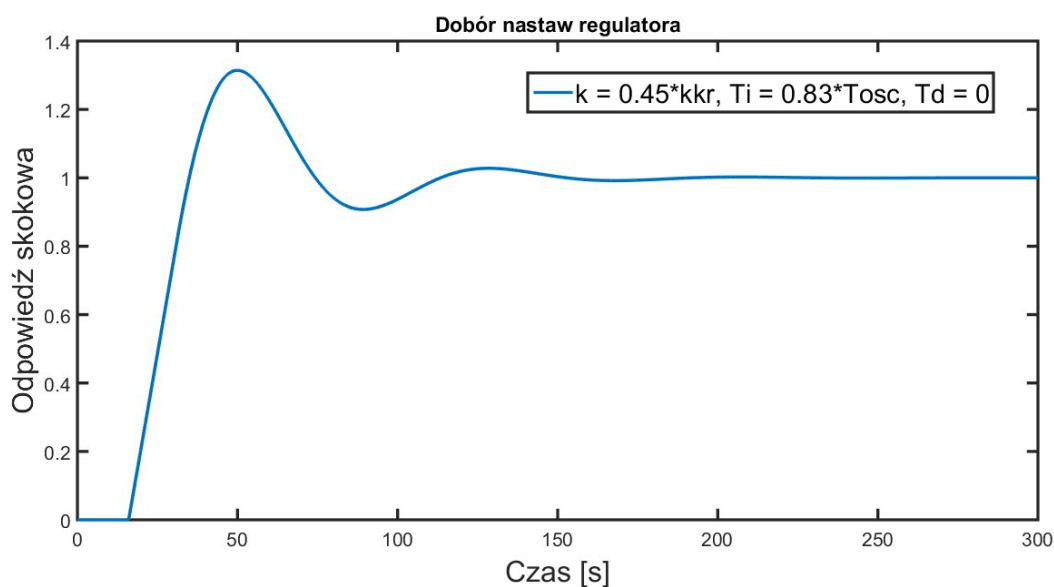
## Regulator PI

Nastawy regulatora PI wyliczyliśmy następująco:

$$k = 0,45 * k_{kr} = 2,43$$

$$T_i = 0,83 * T_{osc} = 44,68.$$

Na rysunku 4 przedstawiono odpowiedź skokową układu.



*Rys. 4. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PI;  $k = 2,43$ ,  $T_i = 44,68$*

Po dodaniu części całkującej pojawiło się przeregulowanie na poziomie 30-kilku procent wartości zadanej, wyeliminowany został natomiast uchyb ustalony. Człon całkujący jest więc stosowany wszędzie tam, gdzie konieczne jest zredukowanie uchybu ustalonego.

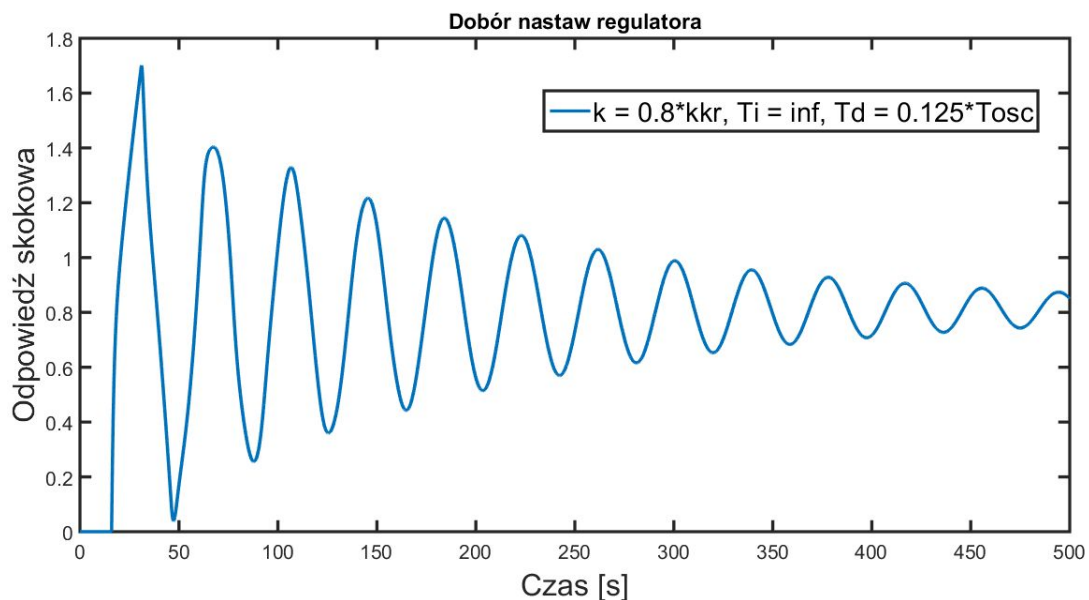
## Regulator PD

Nastawy regulatora PD dobraliśmy w następujący sposób:

$$k = 0,8 * k_{kr} = 4,32$$

$$T_d = 0,125 * T_{osc} = 6,73$$

Poniżej przedstawiono uzyskaną odpowiedź skokową.



Rys. 5. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PD;  $k = 4,32$ ,  $T_d = 6,73$

Na wykresie widzimy oscylacje gasnące o dużej początkowej amplitudzie. Wzmocnienie regulatora jest bliskie wartości krytycznej, stąd tak silne oscylacje. Obecność członu różniczkującego wpływa jednak stabilizująco na układ i prawdopodobnie wzmacnia tłumienie tych oscylacji. Czas regulacji jest bardzo długi, nawet po 500 s nie udaje się osiągnąć wartości ustalonej. Dostrzec można uchyb ustalony na poziomie ok. 20% wartości zadanej.

## Regulator PID

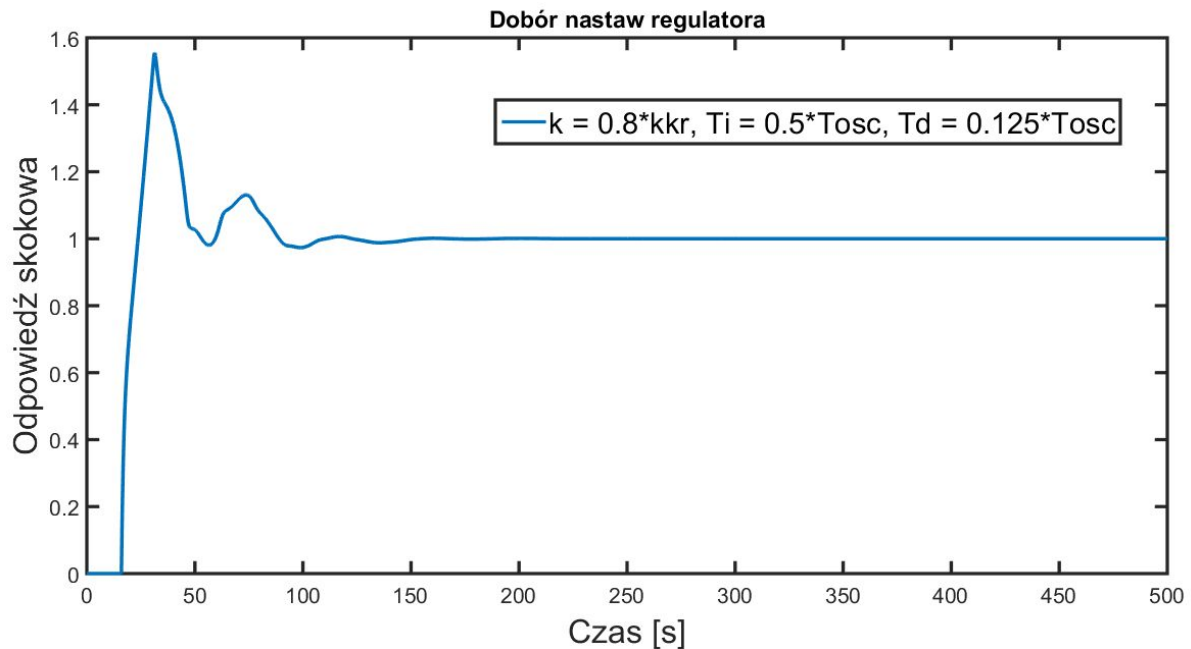
Nastawy regulatora PID dobraliśmy zgodnie ze wzorami

$$k = 0,6 * k_{kr} = 3,24$$

$$T_i = 0,5 * T_{osc} = 26,92$$

$$T_d = 0,125 * T_{osc} = 6,73$$

Poniżej przedstawiono odpowiedź skokową.



Rys. 6. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PID;  $k = 3,24$ ,  $T_i = 26,92$ ,  $T_d = 6,73$

Ze względu na obecność członu różniczkującego, solver ponownie niezbyt dobrze poradził sobie z wyliczeniem odpowiedzi skokowej. Początkowa część charakterystyki może odbiegać dość znacząco od rzeczywistego przebiegu. Regulator PID łączy w sobie natomiast cechy poprzednich regulatorów - człon proporcjonalny dąży do uzyskania wartości zadanej, człon całkujący eliminuje uchyb ustalony, a człon różniczkujący reagować ma na gwałtowne zmiany sygnału wejściowego.

## Modyfikacja Z-N (małe przeregulowania)

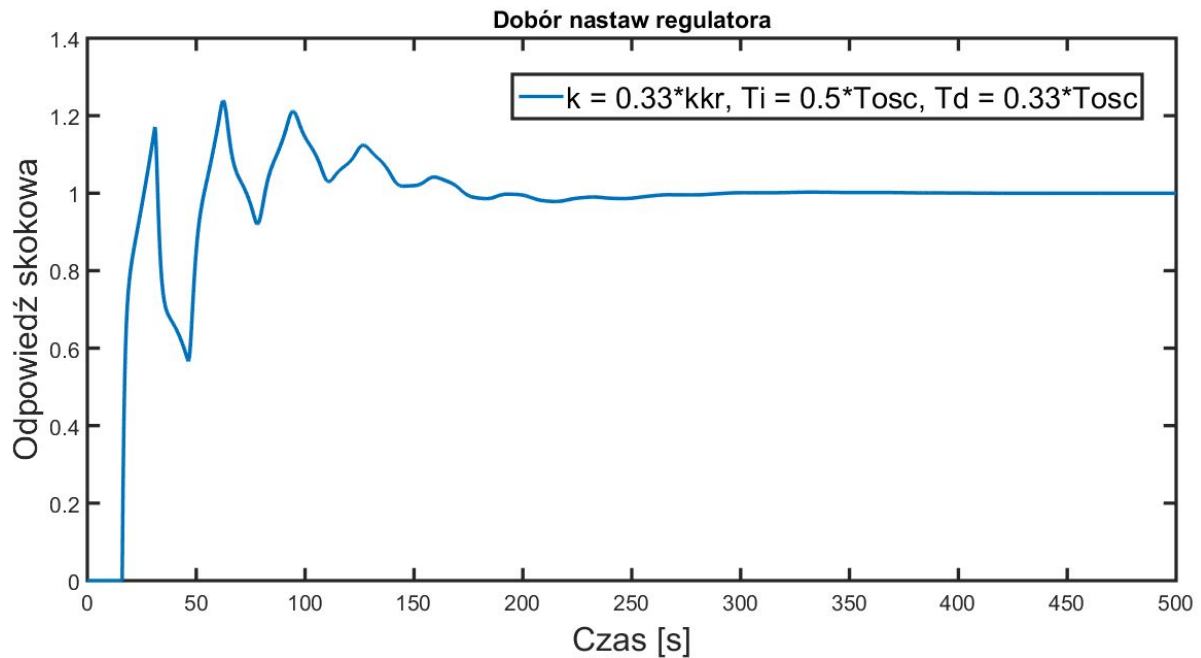
### Regulator PID

Nastawy regulatora PID z małymi przeregulowaniami wyliczyliśmy następująco:

$$k = 0,33 * k_{kr} = 1,78$$

$$T_i = 0,5 * T_{osc} = 26,92$$

$$T_d = 0,33 * T_{osc} = 17,76$$



Rys. 7. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PID;  $k = 1,78$ ,  $T_i = 26,92$ ,  $T_d = 17,76$

Początkowa część charakterystyki ponownie jest zupełnie niezgodna z rzeczywistością. Obserwując natomiast górne wierzchołki przebiegu w czasie oscylacji można dostrzec kształt, jaki powinien uzyskać przebieg w rzeczywistości. Zauważyć można, że przeregulowanie dosyć znacznie zmniejszyło się w stosunku do tego z poprzedniej odpowiedzi skokowej. Nastawy te można więc z powodzeniem stosować w sytuacji, gdy zależy nam na niewielkich przeregulowaniach przy zachowaniu zadowalającego czasu regulacji.

## Modyfikacja Z-N (bez przeregulowań)

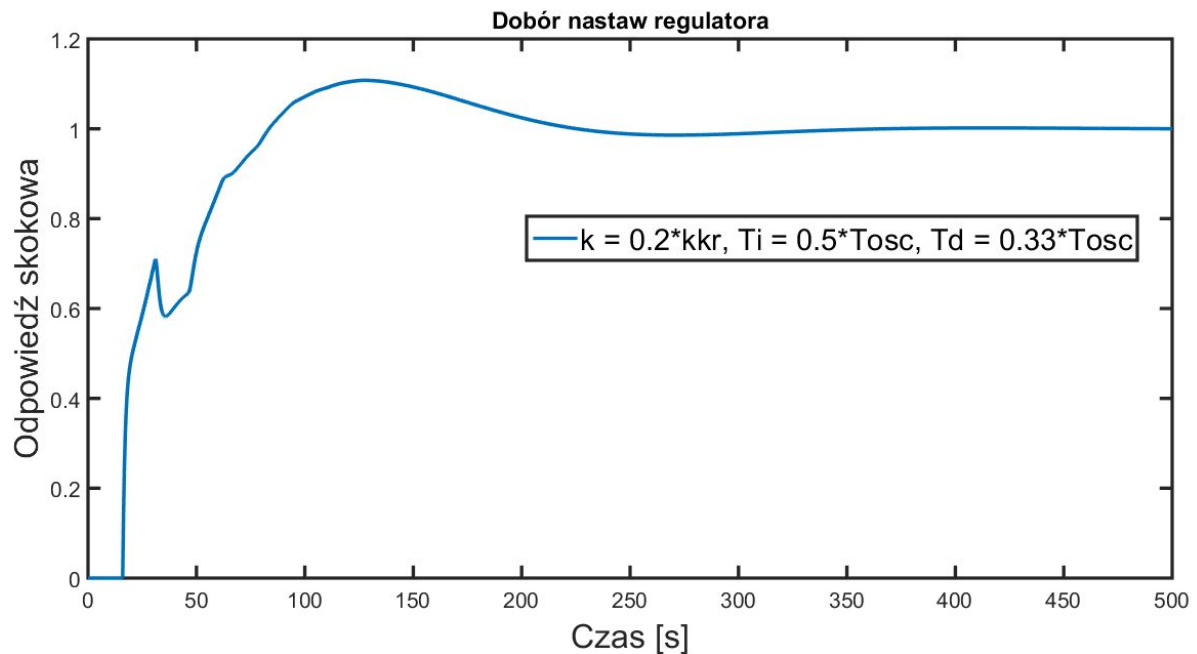
### Regulator PID

Nastawy regulatora PID bez przeregulowań wyliczyliśmy z poniższych wzorów.

$$k = 0,2 * k_{kr} = 1,08$$

$$T_i = 0,5 * T_{osc} = 26,92$$

$$T_d = 0,33 * T_{osc} = 17,76$$



Rys. 8. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PID;  $k = 1,08$ ,  $T_i = 26,92$ ,  $T_d = 17,76$

W tym przypadku przeregulowanie jest niewielkie, w okolicach 10% wartości zadanej. Możliwe, że gdyby nie problemy solvera, to przeregulowanie byłoby zerowe. Zauważyć natomiast można, że czas regulacji wydłużył się w stosunku do tego dla poprzednich nastaw regulatora.

## Passen integral rule

### Regulator PID

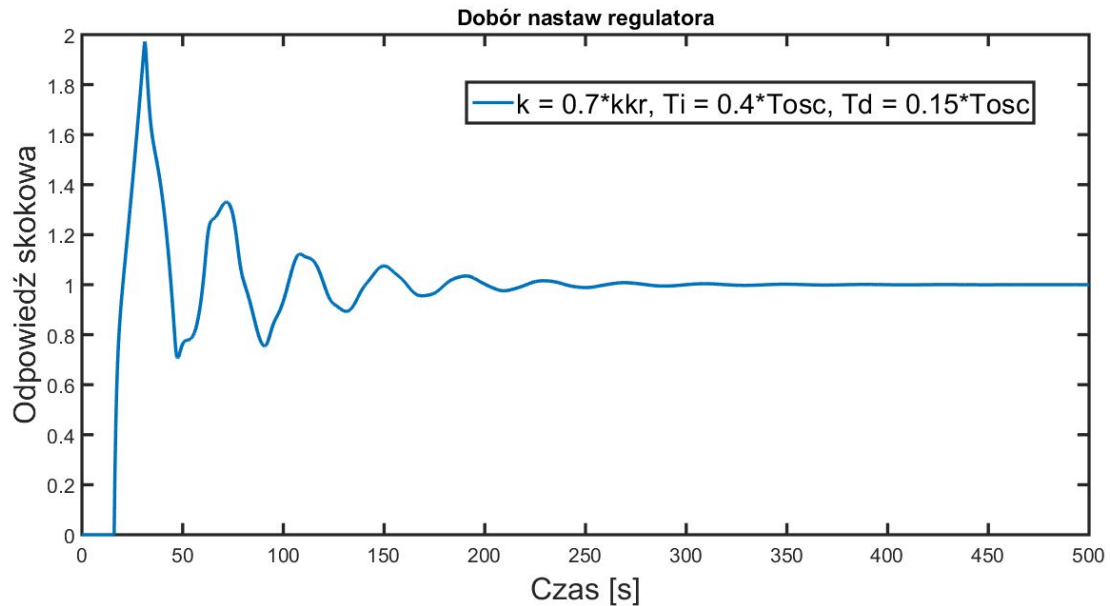
W tym przypadku nastawy są następujące:

$$k = 0,7 * k_{kr} = 3,78$$

$$T_i = 0,4 * T_{osc} = 21,53$$

$$T_d = 0,15 * T_{osc} = 8,07$$

Uzyskaną odpowiedź dla tych nastaw przedstawiono poniżej.



Rys. 9. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PID;  $k = 3,78$ ,  $T_i = 21,53$ ,  $T_d = 8,07$

W przypadku tych nastaw dostrzec można bardzo duże początkowe przeregulowanie, wynikające z dużej wartości wzmocnienia, niewiele odległej od wzmocnienia krytycznego. Naszym zdaniem, nastawy te można stosować w sytuacji, gdy chcemy bardzo szybko osiągnąć wartość zadaną, a przeregulowanie nie ma znaczenia.

## Tyresus-Luyben

### Regulator PI

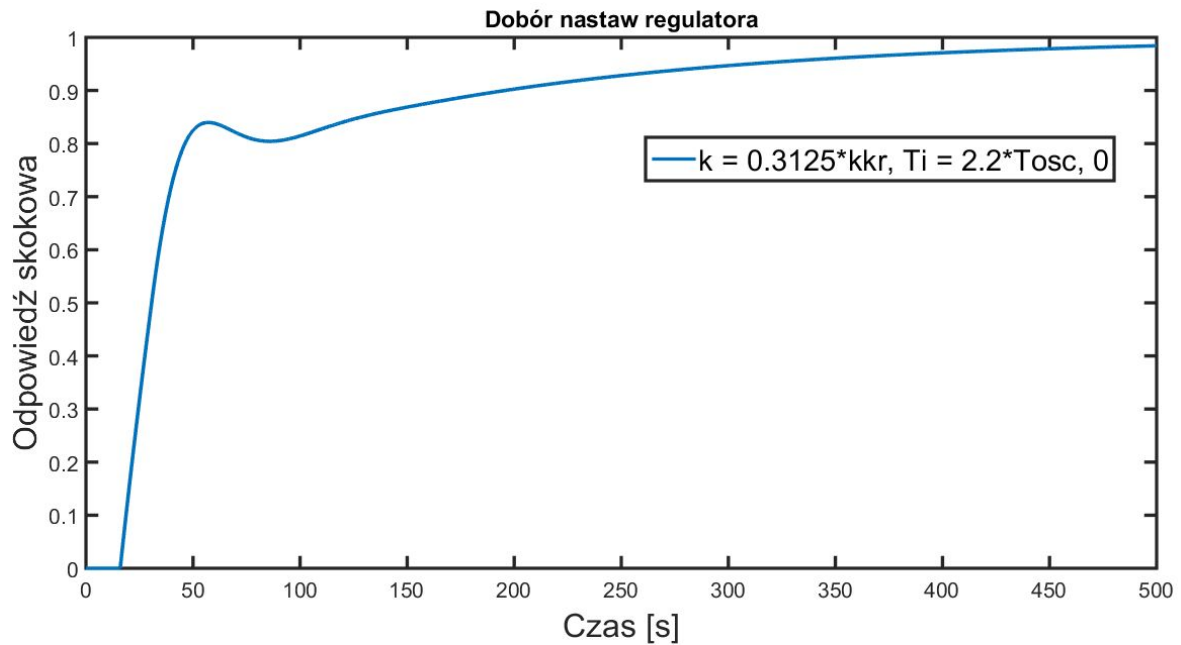
Nastawy regulatora PI wg Tyreusa-Luybena są następujące:

$$k = 0,3125 * k_{kr} = 3,78$$

$$T_i = 2,2 * T_{osc} = 118,43$$

Poniżej przedstawiono odpowiedź skokową układu dla tych nastaw.





Rys. 10. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PI;  $k = 3,78$ ,  $T_i = 118,43$

Nastawy Tyreusa-Luybena cechują się niewielkim wzmocnieniem i bardzo dużym czasem zdwojenia. W związku z tym, odpowiedź skokowa cechuje się brakiem przeregulowania, ale za to bardzo długim czasem regulacji.

## Regulator PID

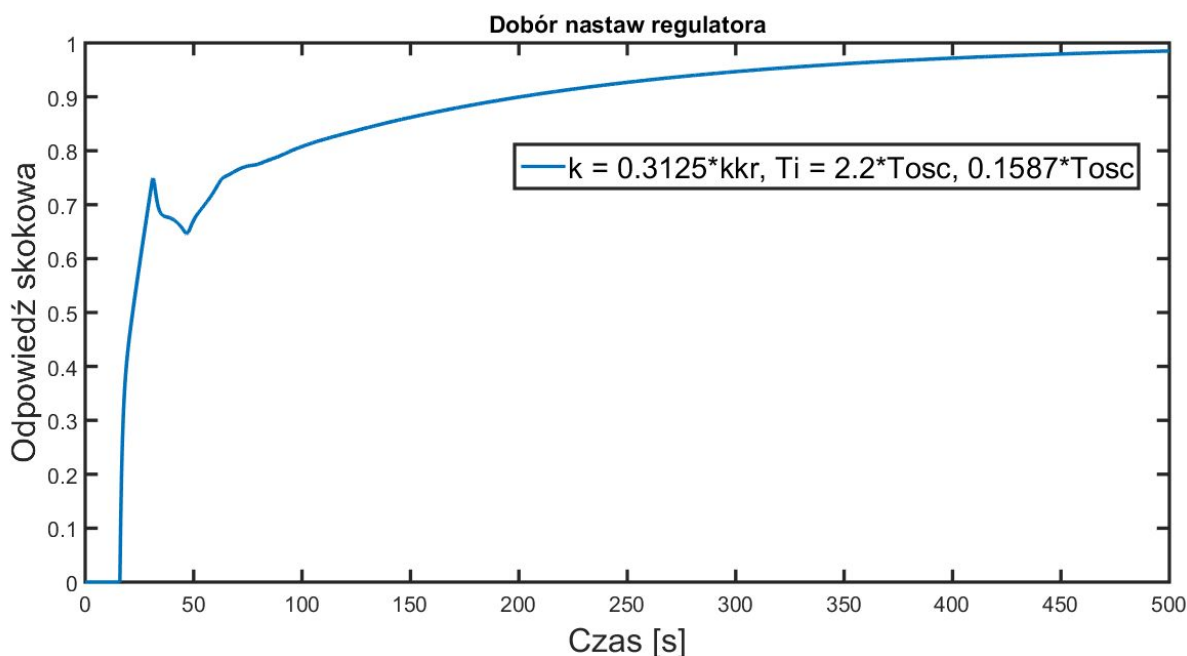
Regulator PID z kolei ma następujące nastawy:

$$k = 0,3125 * k_{kr} = 3,78$$

$$T_i = 2,2 * T_{osc} = 118,43$$

$$T_d = 0,1587 * T_{osc} = 8,54$$

Na rysunku 11 zaprezentowano uzyskaną odpowiedź skokową.



Rys. 11. Odpowiedź skokowa obiektu dla regulatora PID;  $k = 3,78$ ,  $T_i = 118,43$ ,  $T_d = 8,54$

Trudno wyciągnąć wnioski z powyższej odpowiedzi skokowej, gdyż wydaje się być ona taka sama lub gorsza pod względem jakości sterowania od poprzedniej, gdzie zastosowano regulator PI. Wynika to ponownie z problemów solvera; przebieg tej charakterystyki powinien być prawdopodobnie inny. Ponownie dostrzec można brak przeregulowania i bardzo długi czas regulacji; trudno ocenić natomiast wpływ części różniczkującej na proces regulacji.

Ogólnie zauważyć można, że opłaca się stosować nastawy Tyreusa-Luybena w sytuacji, gdy nie możemy sobie pozwolić na jakiekolwiek przeregulowanie, a czas regulacji nie jest tak istotny i może być bardzo długi.

## Metody oparte o parametry odp. skokowej obiektu

Na koniec zajęliśmy się wyznaczaniem nastaw regulatora przy użyciu metod opartych o znajomość parametrów odpowiedzi skokowej obiektu. W tych metodach zakładamy, że obiekt opisany jest transmitancją pierwszego rzędu z opóźnieniem. W naszym ćwiczeniu parametry obiektu dane były następujące:

$$\begin{aligned} k &= 1 \\ T &= 45 \text{ [s]} \\ \tau &= 15 \text{ [s]} \end{aligned}$$

Pierwsze nastawy zakładają przeregulowanie ok. 20% przy minimalnym czasie regulacji i dane są następującymi wzorami:

$$k_r = 0,95 * T/k/\tau$$

$$T_i = 2,4 * \tau$$

$$T_d = 0,4 * \tau$$

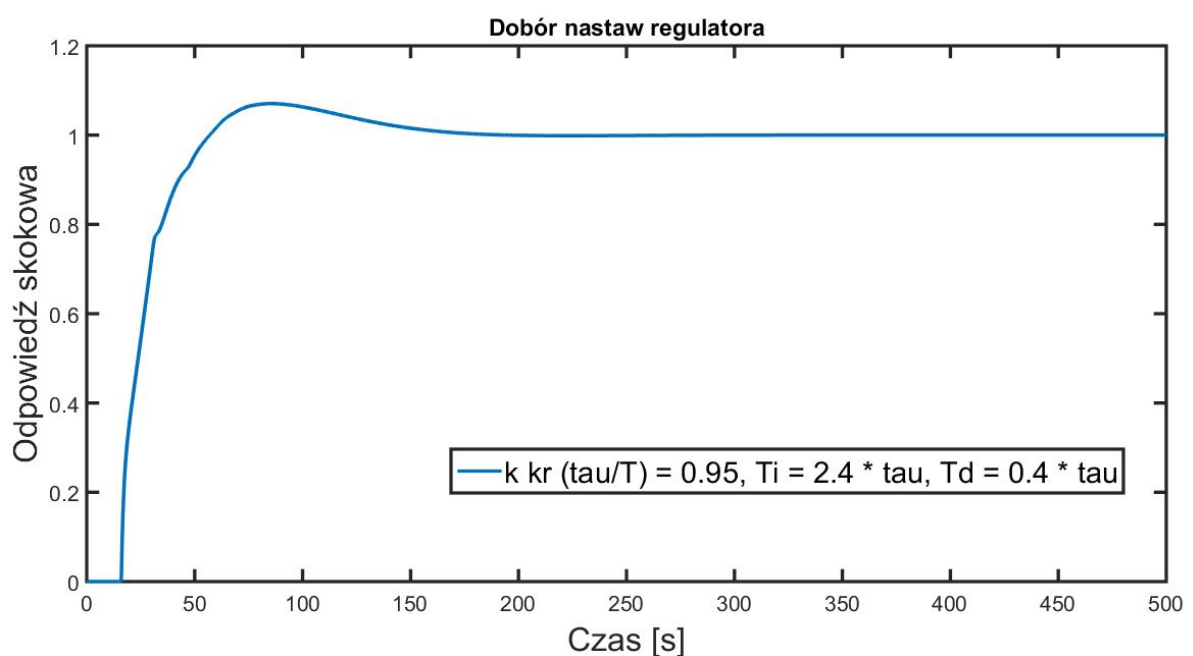
Na podstawie tych wzorów wyliczyliśmy nastawy regulatora:

$$k_r = 2,85$$

$$T_i = 36$$

$$T_d = 6$$

Poniżej przedstawiono uzyskaną odpowiedź skokową.



Rys. 12. Odpowiedź skokowa obiektu dla  $k = 2,85$ ,  $T_i = 36$ ,  $T_d = 6$

Jak widać, regulator przy tych nastawach spełnia założone zadanie. Przeregulowanie wynosi niecałe 10%, a jednocześnie czas regulacji jest niewielki. Drugi zestaw nastaw zakłada minimalizację całki z kwadratu uchybu; wyliczyć je można w następujący sposób:

$$k_r = 1,4 * T/k/\tau$$

$$T_i = 1,3 * \tau$$

$$T_d = 0,5 * \tau$$

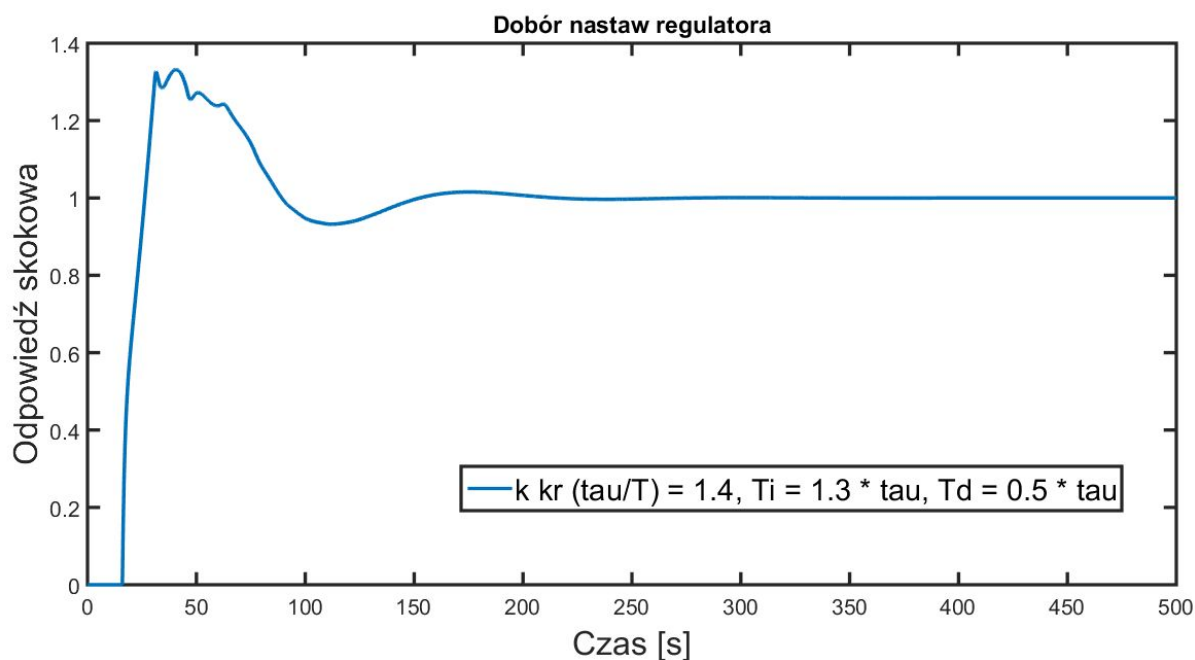
Po podstawieniu parametrów naszego obiektu mamy

$$k_r = 4,2$$

$$T_i = 19,5$$

$$T_d = 7,5$$

Uzyskaną odpowiedź skokową przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Odpowiedź skokowa obiektu dla  $k = 4,2$ ,  $T_i = 19,5$ ,  $T_d = 7,5$

W tym wypadku przeregulowanie jest większe, przekraczające 30%. Czas regulacji jest zbliżony do tego dla poprzednich nastaw. Nie wydaje się ponadto, by całka z kwadratu uchybu rzeczywiście była minimalna. Wynikać to może ponownie z problemów solvera z uwagi na obecność członu różniczkującego.

## Wnioski

W trakcie ćwiczenia zapoznaliśmy się z dwiema grupami metod doboru nastaw regulatora - metodą Zieglera-Nicholsa wraz z modyfikacjami oraz metodami opartymi o znajomość odpowiedzi skokowej obiektu i parametrów jego transmitancji zastępczej. Dużym problemem podczas wyznaczania charakterystyk skokowych układu okazało się zachowanie solvera w przypadku istnienia niezerowego członu różniczkującego i niemożność wyznaczenia poprawnych odpowiedzi skokowych.

Ćwiczenie pokazało nam, że istnieje wiele różnych nastaw regulatora, przeznaczonych do różnych celów. Jedne ograniczają bądź całkowicie eliminują przeregulowania, inne minimalizują czas regulacji, a jeszcze inne zapewniają minimalną wartość całki z kwadratu uchybu. Nastawy regulatora należy więc dobierać zależnie od potrzeb oraz efektu, jaki chcemy osiągnąć.

Analizując zachowanie poszczególnych typów regulatorów dla kolejnych nastaw można wywnioskować, że człon proporcjonalny odpowiada za dążenie odpowiedzi do wartości zadanej, człon całkujący za eliminację uchybu ustalonego, a człon różniczkujący z kolei za stabilizację układu i reagowanie na gwałtowne zmiany błędu regulacji.