

## Projektowanie regulatorów z wykorzystaniem *Simulink Design Optimization*

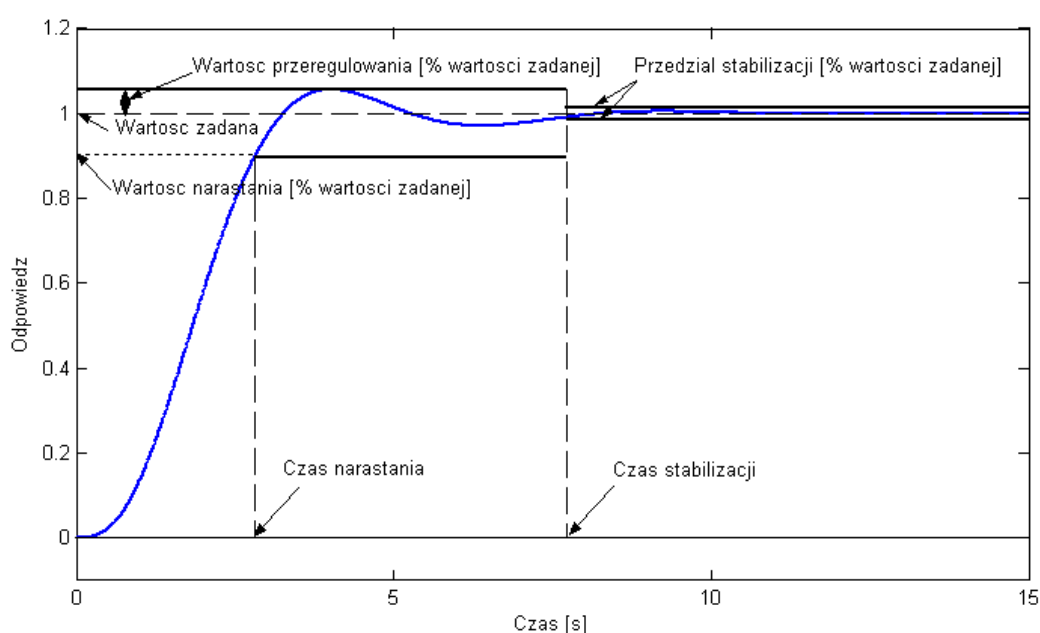
### 1. Wstęp

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem oraz wykorzystaniem narzędzia ***Simulink Design Optimization***, do projektowania układów regulacji. Narzędzie to udostępnia graficzny interfejs użytkownika pomocny przy projektowaniu układów regulacji z narzuconymi wymaganiami co do odpowiedzi czasowej układu na zadane wymuszenie.

Biorąc pod uwagę odpowiedź układu na skok jednostkowy, ograniczenia nakładamy przeważnie na następujące wielkości charakteryzujące przebieg:

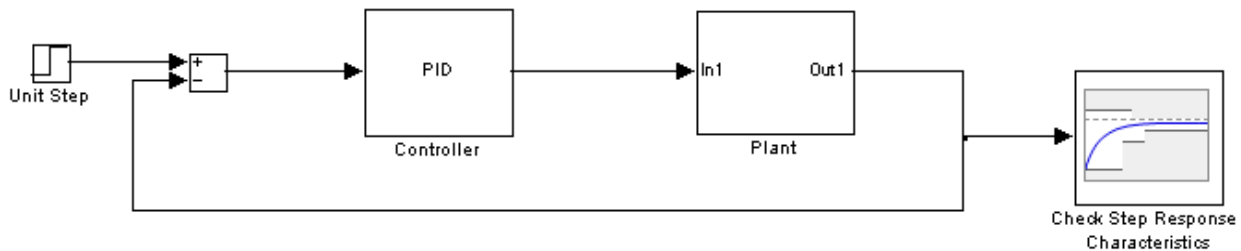
- **Czas narastania** i **Wartość narastania** – odpowiedź układu powinna po zadanym czasie (*czas narastania*) mieć wartość nie mniejszą niż żądana (*wartość narastania*)
- **Wartość przeregulowania** – określa maksymalną wartość ponad wartość zadaną jakiej nie może przekroczyć odpowiedź układu
- **Czas stabilizacji** i **Przedział stabilizacji** – odpowiedź układu powinna po zadanym czasie (*czas stabilizacji*) znaleźć się w wąskim przedziale (*przedział stabilizacji*) wokół wartości zadanej.

Powyższe wielkości zostały zaznaczone na zamieszczonej poniżej przykładowej odpowiedzi skokowej.



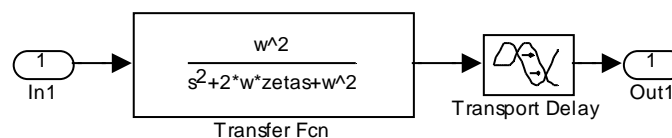
## 2. Obiekt sterowania

Zbuduj w Simulinku następujący układ regulacji ze sprzężeniem zwrotnym:



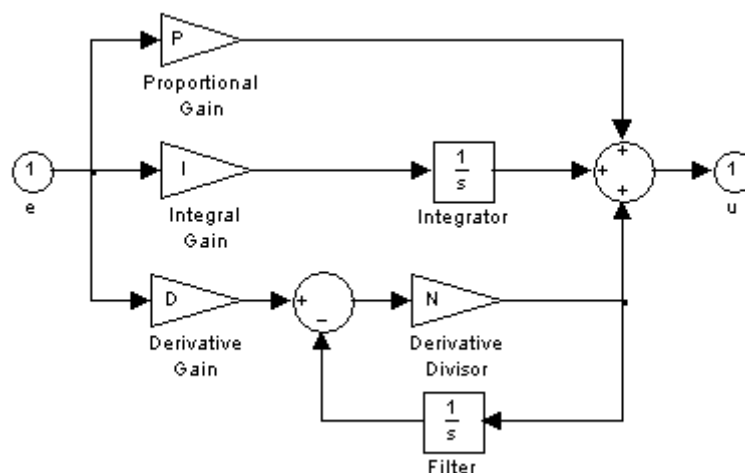
Blocek **Check Step Response Characteristics** znajduje się w bibliotece Simulink Design Optimization/Signal Constraints.

Obiekt sterowania (subsystem Plant) jest obiektem inercyjnym drugiego rzędu z opóźnieniem i powinien mieć następującą postać:



W blocku *Transport Delay* ustaw wartość opóźnienia na 1 sek. Parametry transmitancji:  $w = 0.5$ ,  $\zeta = 0.5$ .

Obiekt jest sterowany przez regulator PID (znajdujący się w bibliotece Simulink/Continuous/PID Controller) o następującej strukturze:

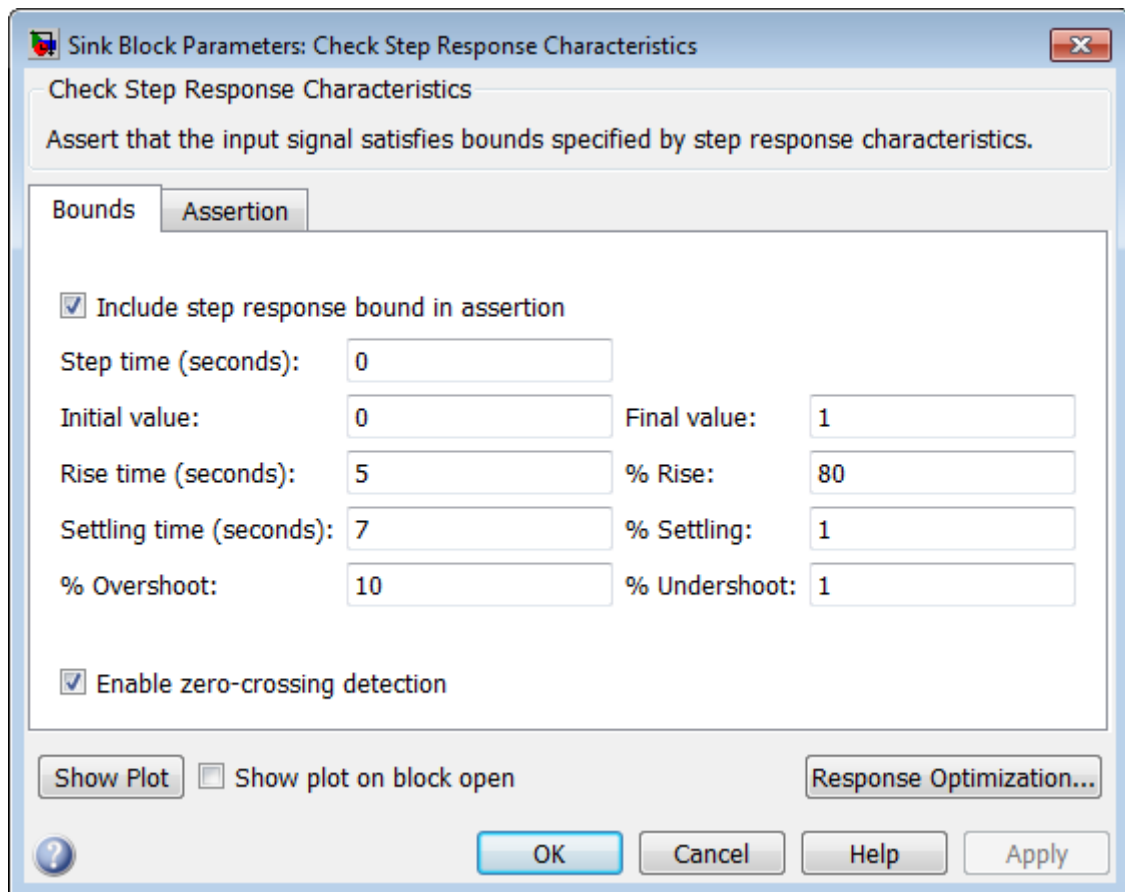


Projektowany układ regulacji powinien spełniać następujące założenia projektowe:

- **czas narastania** (*rise time*) nie większy niż **2.5** sek.
- **czas stabilizacji** (*settling time*) nie większy niż **30** sek.
- **przeregulowanie** (*overshoot*) nie większe niż **5%**.

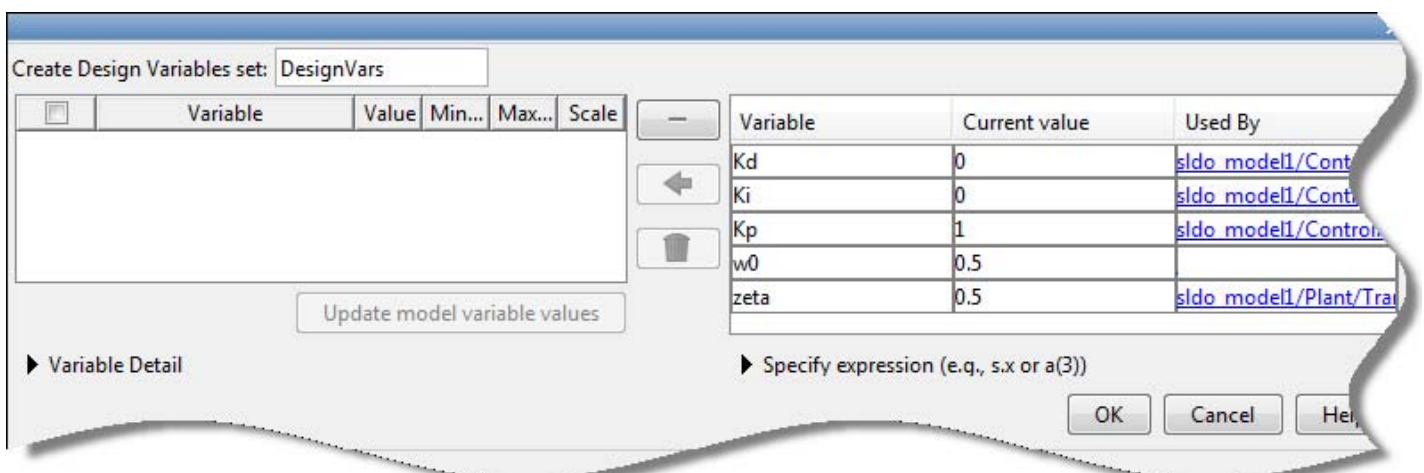
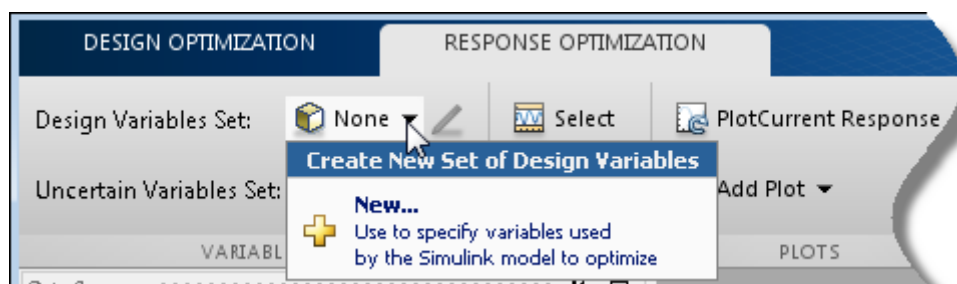
## 3. Optymalizacja nastaw regulatora

Dwukrotne kliknięcie bločku *Check Step Response Characteristics* otworzy okno *Sink Block Parameters*.



Domyślne wartości parametrów widoczne w tym oknie zastąp wartościami z naszych założeń projektowych.

Aby otworzyć narzędzie do optymalizacji nastaw regulatora, w oknie modelu Simulinka wybierz **Tools -> Response Optimization**. Ustaw nowy zestaw zmiennych projektowych za pomocą menu **New** w sekcji **Design Variables Set**, jak poniżej:



Zmiennymi projektowymi, które chcemy optymalizować są  $K_d$ ,  $K_i$  and  $K_p$ , czyli parametry regulatora PID. Zaznacz je i dodaj do zestawu zmiennych projektowych (*design variables set*) za pomocą przycisku strzałki



uzyskując taki efekt:

Create Design Variables set:

<input checked="" type="checkbox"/>	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
<input checked="" type="checkbox"/>	$K_d$	0	0	Inf	1
<input checked="" type="checkbox"/>	$K_i$	0	0	Inf	1
<input checked="" type="checkbox"/>	$K_p$	1	0	Inf	1

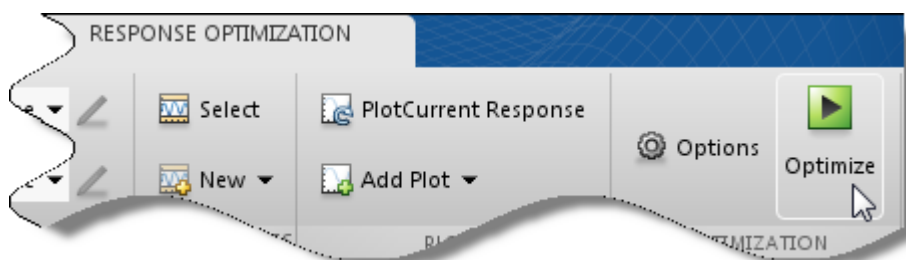
Każda zmienna w zestawie charakteryzuje się następującymi parametrami:

- **Variable** — nazwa zmiennej
- **Value** — aktualna wartość zmiennej
- **Minimum** and **Maximum** — ograniczenia (dolne i górne)
- **Scale** — współczynnik skali

Ustaw wartości czasu całkowania ( $K_i$ ) i różniczkowania ( $K_d$ ) oraz dolne ograniczenia na 0, a wzmacnienie ( $K_p$ ) na 1. To będzie punkt startowy z którego rozpoczniemy optymalizację.

Zobacz jak wygląda odpowiedź układu w tym punkcie klikając *Plot Current Response*. Jak można się było spodziewać, odpowiedź w najmniejszym stopniu nie spełnia założeń projektowych.

Uruchom optymalizację za pomocą przycisku **Optimize**:



Obserwuj kolejne iteracje procesu optymalizacji. Wyświetlenie się komunikatu *Optimization converged* oznacza znalezienie rozwiązania spełniającego założenia projektowe w ramach zadanych ograniczeń. Więcej informacji na temat samego procesu optymalizacji można znaleźć w dokumentacji: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/optim/ug/f12687.html>

Wyświetl obliczone wartości optymalne klikając *DesignVars* w oknie *Design Optimization Workspace*. Oglądnij odpowiedź układu dla optymalnych parametrów regulatora i sprawdź czy spełnia założenia projektowe.

Jeżeli rozwiązanie optymalne nie zostało znalezione (wyświetla się komunikat *Optimization failed to converge*), można spróbować rozluźnić nieco założenia projektowe. Przykładowo, można zwiększyć czas narastania do 5 sek. i wykonać optymalizację jeszcze raz. Po znalezieniu punktu optymalnego, należy powrócić do oryginalnych założeń projektowych i ponownie wykonać optymalizację. Taka procedura często pomaga wydostać się z minimum lokalnego lub innego impasu.

Uwaga:

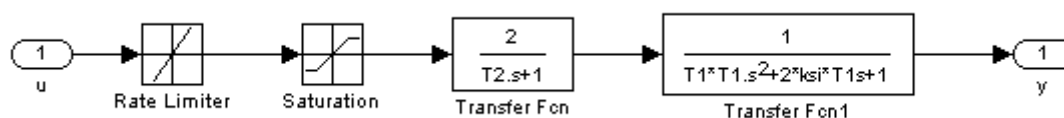
Po zmianie parametrów odpowiedzi skokowej, należy w zakładce **Plot** (w oknie *Design Optimization*) kliknąć *Refresh Requirements*.

#### 4. Zadanie do samodzielnego wykonania

Dany jest obiekt nieliniowy, który można przedstawić jako połączenie nasycenia, ograniczenia szybkości zmiany sygnału oraz części liniowej opisanej transmitancją

$$G_o(s) = \frac{2}{(T_2 s + 1)(T_i^2 s^2 + 2\xi T_1 s + 1)}$$

Obiekt ten należy zamodelować w Simulinku tak jak poniżej:



Zadanie polega na dobraniu parametrów regulatora PID aby odpowiedź układu na skok jednostkowy spełniała następujące założenia:

- Czas narastania: 3.5 s
- Wartość narastania: 90%
- Wartość przeregulowania: 20%
- Czas stabilizacji: 8s
- Przedział stabilizacji: 2%

Parametry obiektu:

- Ograniczenie na szybkość zmiany sygnału =  $\pm 0.8$
- Nasycenie =  $\pm 1.5$
- $T_1 = 1, T_2 = 2, \xi = 0.8$

Uwaga:

Jeżeli pojawi się błąd optymalizacji, polegający na przekroczeniu dopuszczalnej liczby przejść przez zero (*zero crossing*), można spróbować włączyć tryb adaptacyjny wykrywania przejść przez zero. Obrazują to poniższe zrzuty ekranowe.

