



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ

Projekt

Analiza regulatorów strojonych metodami automatycznego strojenia zaimplementowanymi w Matlab Control Toolbox dla pierwszego zestawu problemów

Analysis of regulators tuned automatically by tools implemented in Matlab Control Toolbox for the first set of problems

Autor:

Miłosz Mach

Kierunek studiów:

AiR, Komputerowe Systemy Sterowania, Robotyka

Prowadzący:

Jerzy Baranowski, dr inż.

Kraków, 2016

Spis treści

Wstęp.....	3
1. Wprowadzenie teoretyczne	4
1.1. PID Tuner	4
1.2. SISO Design Tool.....	5
1.3. Strojenie z wiersza poleceń	6
2. Rozwiążanie	7
2.1. Wstęp	7
2.2. Źródła.....	8
2.3. Analiza układu zamkniętego.....	9
3. Analiza wyników	143
Spis rysunków	151

Wstęp

Celem niniejszego projektu jest analiza regulatorów strojonych automatycznie przy wykorzystaniu narzędzi zaimplementowanych w pakiecie Matlab Control Toolbox. W pierwszej kolejności autor opisuje 3 różne podejścia do tematu automatycznego strojenia regulatorów. Następnie, po wybraniu narzędzia zapewniającego najlepszą możliwość automatyzacji procesu, przedstawia wyniki strojeń wszystkich 134 obiektów.

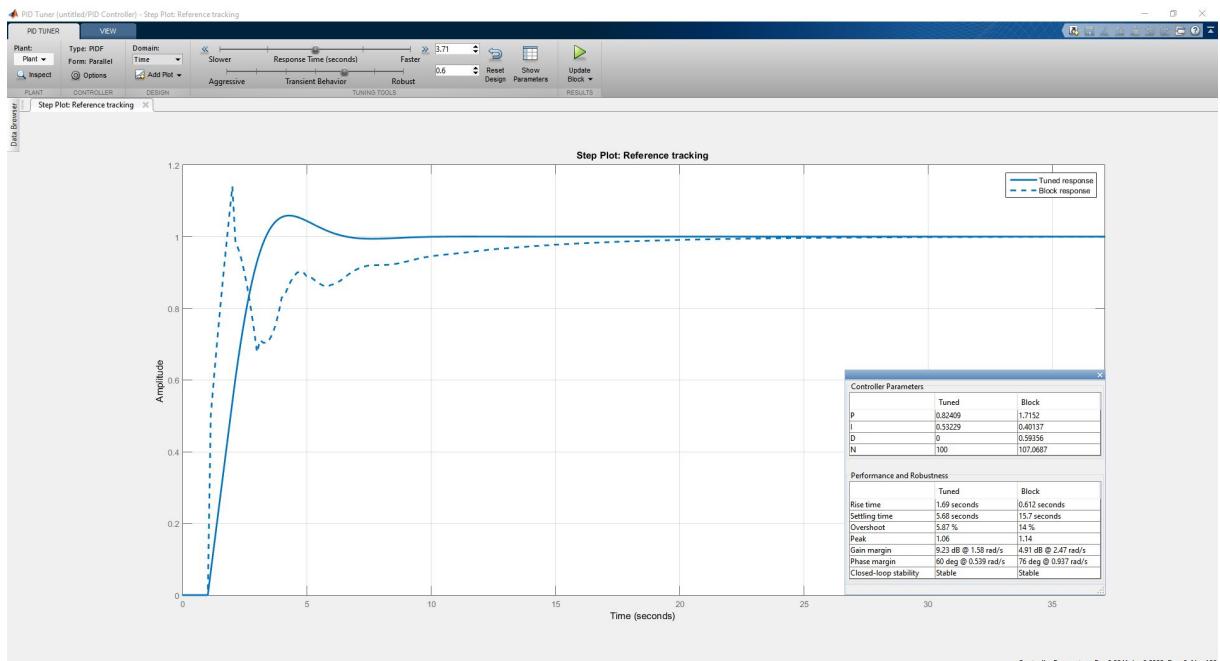
1. Wprowadzenie teoretyczne

Matlab Control Toolbox to przybornik dostarczający narzędzia i algorytmy do analizy, projektowania oraz strojenia liniowych układów regulacji. Umożliwia pracę na układach reprezentowanych przykładowo przez transmity (transfer function) oraz równania stanu (state-space). Pozwala analizować zachowanie układu w dziedzinie czasowej oraz częstotliwościowej. W szczególności, przybornik posiada zestaw narzędzi służących do strojenia regulatorów PID tak, by regulowany układ w satysfakcyjnym czasie osiągnął wartość zadaną, możliwie bez przeregulowań.

1.1. PID Tuner

Pierwszym rozwiązań jest skorzystanie z automatycznej, interaktywnej metody strojenia regulatorów PID dla systemów SISO. Dostęp do niej uzyskuje się poprzez umieszczenie w modelu Simulink bloczka PID, a następnie wybranie opcji Tune widocznej przy parametrach regulatora. Można również skorzystać z komendy

`pidTuner(sys,type).`



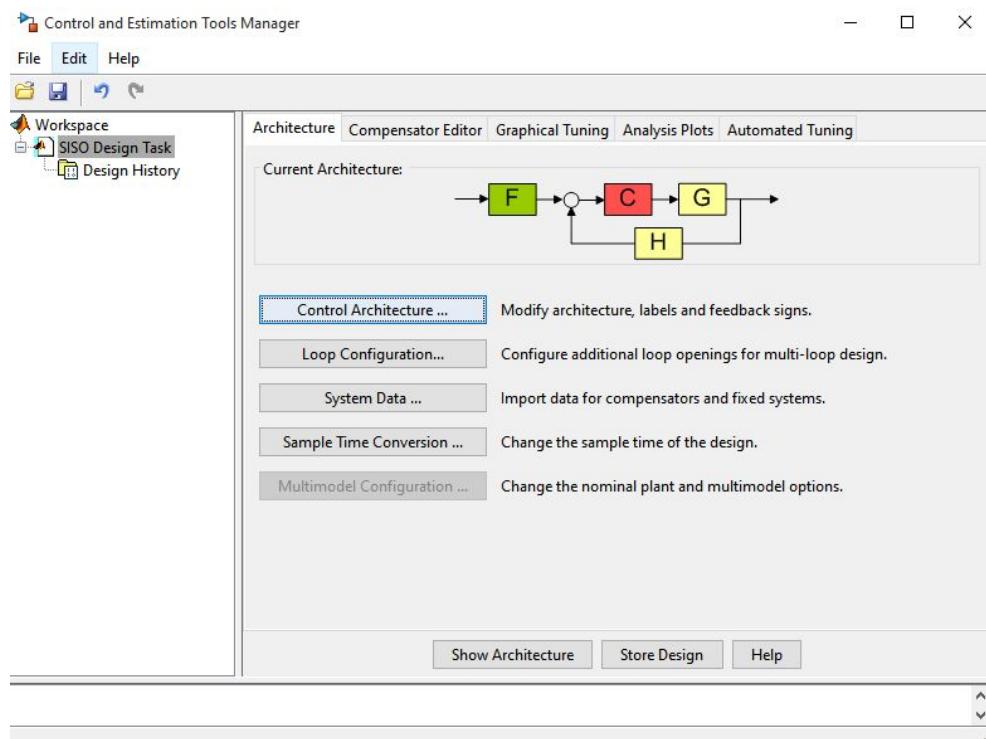
Rysunek 1.1.1: Zrzut ekranu przedstawiający narzędzie PID Tuner

Otwiera się wówczas okno, które bazując na podanym modelu wyświetla jego aktualną odpowiedź. Użytkownik jest w stanie zmienić typ regulatora, domyślnie pozostając przy PID. Korzystając z suwaków, można modyfikować czas reakcji oraz agresywność odpowiedzi. Podczas takich zmian, użytkownik na bieżąco obserwuje odpowiedź układu oraz zmieniające się parametry regulatora. Możliwe jest również wyświetlenie innych przebiegów - takich, jak odpowiedź układu otwartego, odpowiedź skokowa obiektu regulacji - w dziedzinie czasowej lub częstotliwościowej.

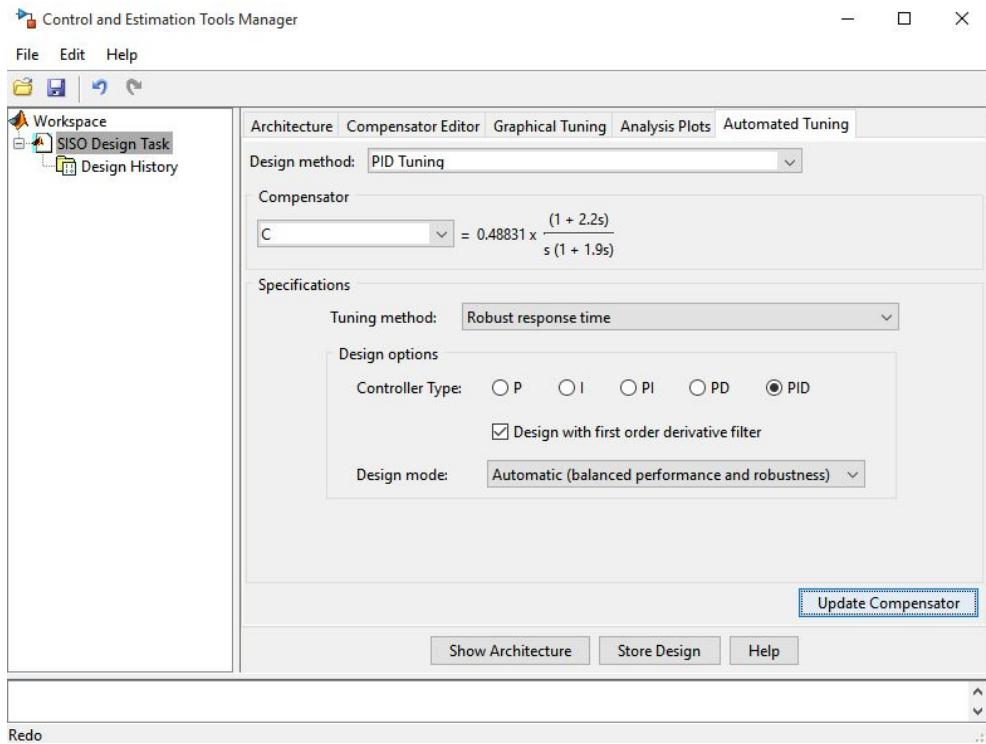
1.2. SISO Design Tool

Kolejne narzędzie do tworzenia regulatorów i filtrów wejściowych dla układów o jednym wejściu i jednym wyjściu. Program posiada wygodny interfejs umożliwiający bieżący podgląd charakterystyk czasowych i częstotliwościowych zarówno układu otwartego (dla regulatora) oraz zamkniętego (obiekt + regulator). Użytkownik definiuje układ poprzez wybór jednego ze schematów, podaje wartości obiektów (np. z Workspace'a), a następnie przechodzi do zakładki poświęconej strojeniu. Narzędzie uruchamia się poprzez wpisanie komendy

`controlSystemDesigner.`



Rysunek 1.2.2: Zrzut ekranu przedstawiający narzędzie definiowanie obiektu w SISO Design Tool



Rysunek 1.2.3: Zrzut ekranu przedstawiający proces automatycznego strojenia w SISO Design Tool

1.3. Strojenie z wiersza poleceń

Ostatnim i zarazem wykorzystanym w niniejszym projekcie sposobem jest strojenie regulatora za pomocą komendy uruchamianej w skrypcie. Umożliwiło to automatyzację działań. Polecenie

`pidTune(sys,type,opts)`.

zaprojektuje regulator typu *type* dla obiektu *sys* w pętli sprzężenia zwrotnego. Funkcja zwraca obiekt *pid* oraz informacje na temat:

- Stabilności,
- Częstotliwości crossover,
- Zapas fazy.

Komenda pozwala dodać opcje modyfikujące domyślne ustawienia strojenia. Są to:

- Zapas fazy (domyślnie 60),
- Tryb strojenia (domyślnie *balanced*),
- Ilość niestabilnych pierwiastków.

2. Rozwiązańe

2.1. Wstęp

Celem projektu jest nastrojenie regulatorów dla następujących procesów:

– $P_1(s) = \frac{e^{-s}}{1+sT}$,

gdzie $T = 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.2, 1.5, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000$

– $P_2(s) = \frac{e^{-s}}{(1+sT)^2}$,

gdzie $T = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.2, 1.5, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 50, 100, 200, 500$

– $P_3(s) = \frac{e^{-s}}{(1+s)(1+sT)^2}$,

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

– $P_4(s) = \frac{1}{(1+s)^n}$,

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

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

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

– $P_6(s) = \frac{e^{-sL}}{s(1+sT)}$,

gdzie $L = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1$ i $T + L = 1$

– $P_7(s) = \frac{Te^{-sL}}{(1+sT)(1+sT1)}$,

gdzie $T = 1, 2, 5, 10$ i $L = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1$ i $T1 + L = 1$

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

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

– $P_8(s) = \frac{1}{(s+1)((sT)^2 + 1.4sT + 1)}$,

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

Po wprowadzeniu i posegregowaniu każdej transformaty w Matlabie, utworzono przedstawiony w następnej sekcji skrypt, którego zadaniem jest zautomatyzowane obsłuszenie każdego obiektu. Obsługa ta zakłada:

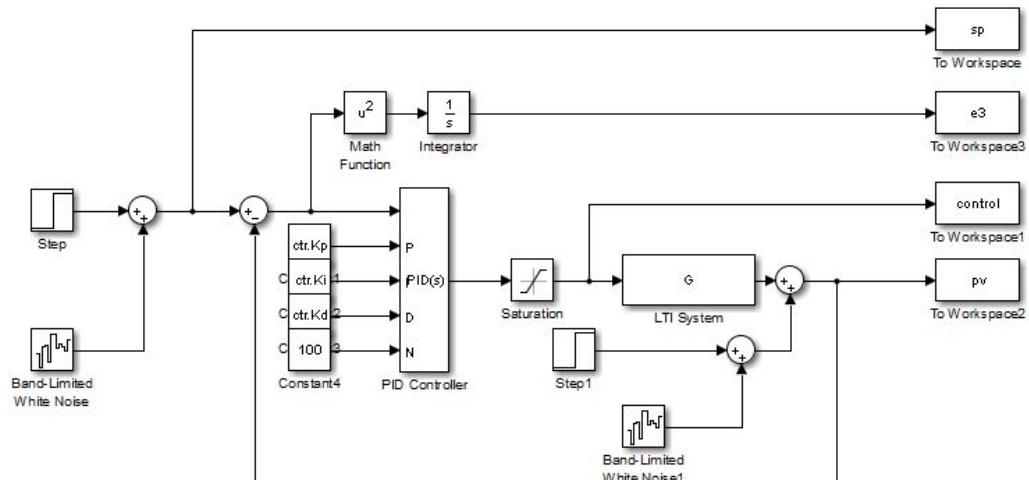
– Wyrysowanie odpowiedzi skokowej obiektu;

– Zaprojektowanie regulatora PID;

- Wyrysowanie przebiegów na podstawie modelu, który w pierwszej sekundzie symulacji zmienia wartość zadaną z 0 na 1:

- bez modyfikowanego sterowania,
- ze sterowaniem poddanym saturacji,
- ze sterowaniem poddanym saturacji oraz szumem na wartości zadanej oraz wyjściu obiektu.

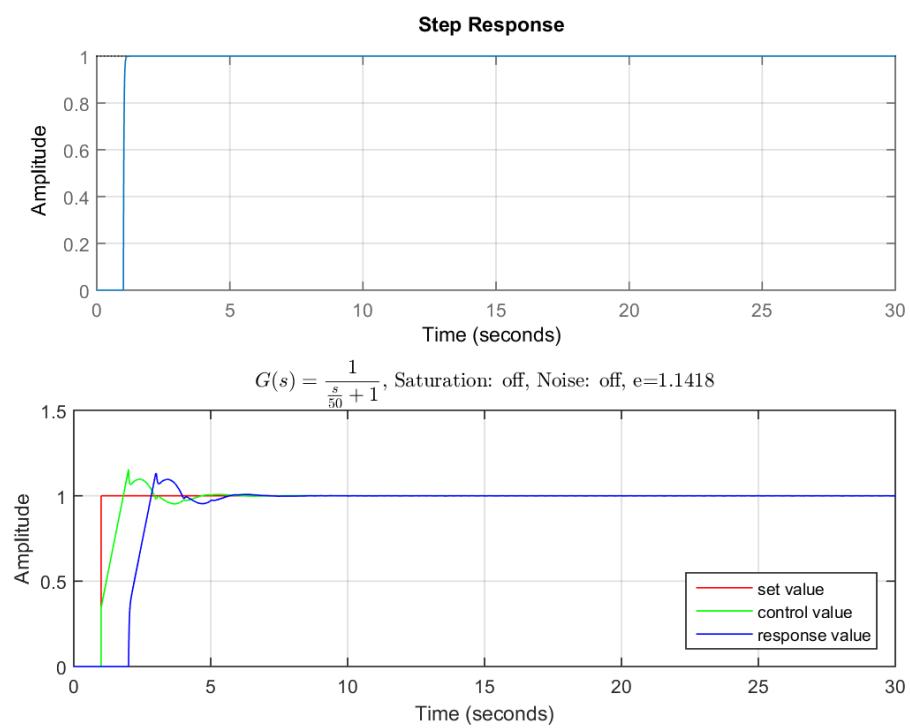
2.2. Źródła



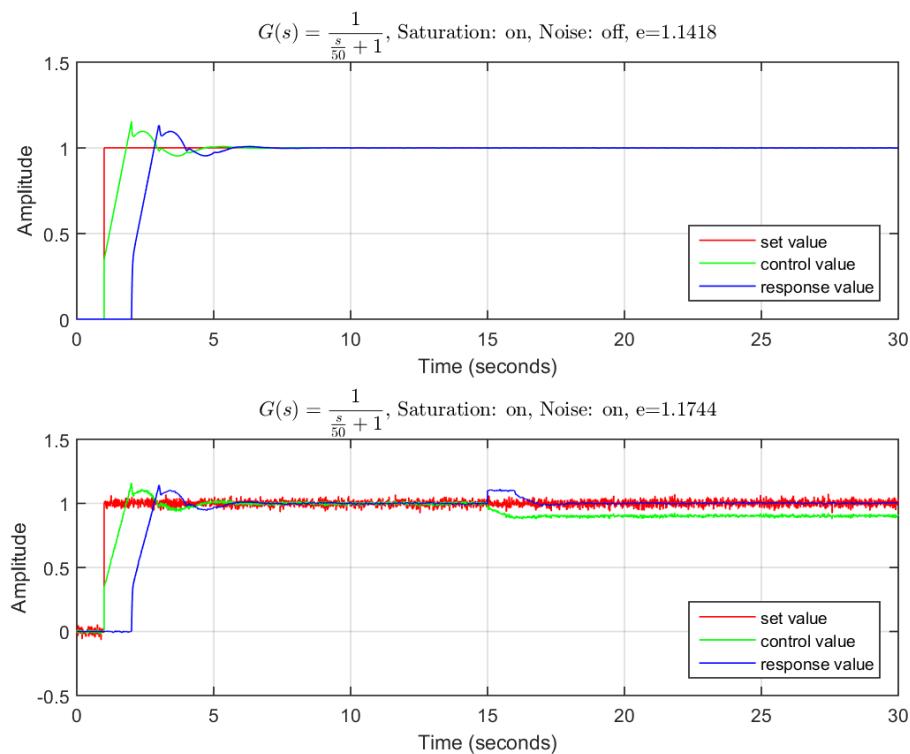
Rysunek 2.2.1: Model w Simulinku

```
a = 1; % MATLAB comment b = 2; c = a^2 + b^2;
```

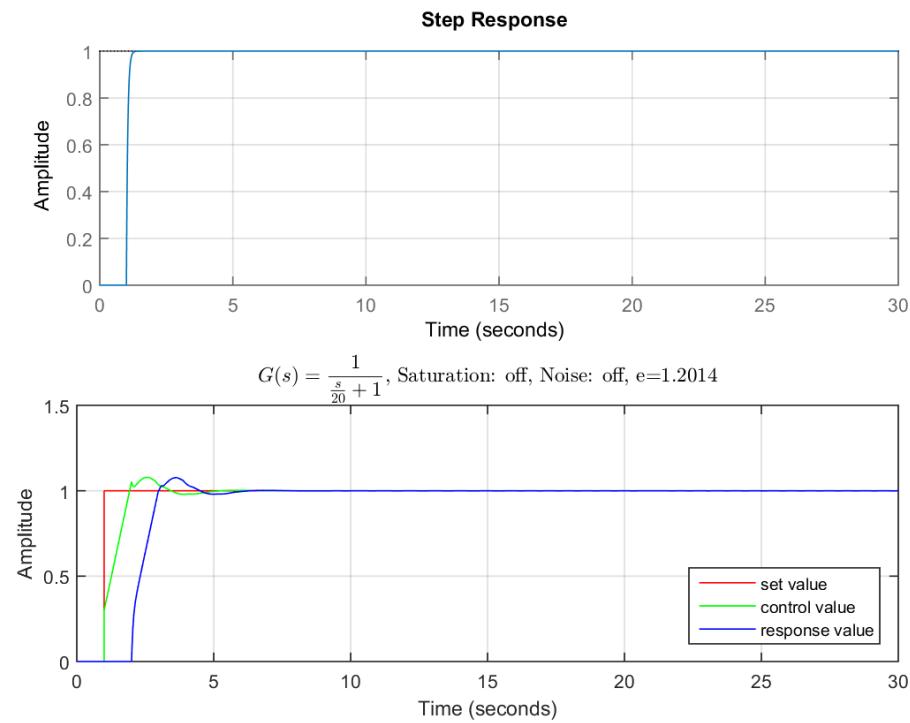
2.3. Analiza układu zamkniętego



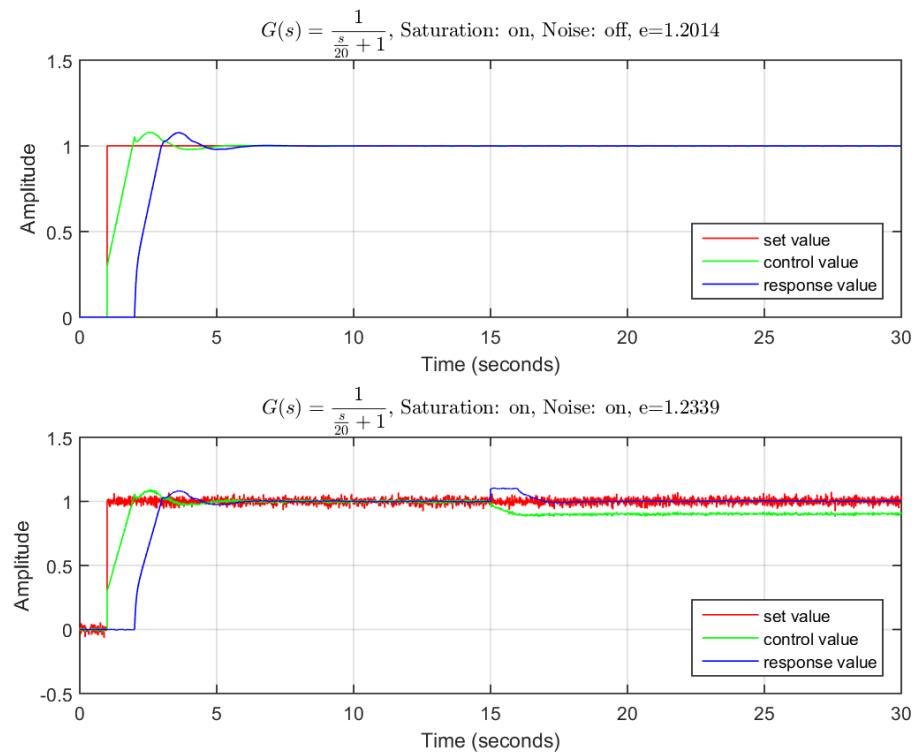
Rysunek 2.3.2: Obiekt G1-tf1a



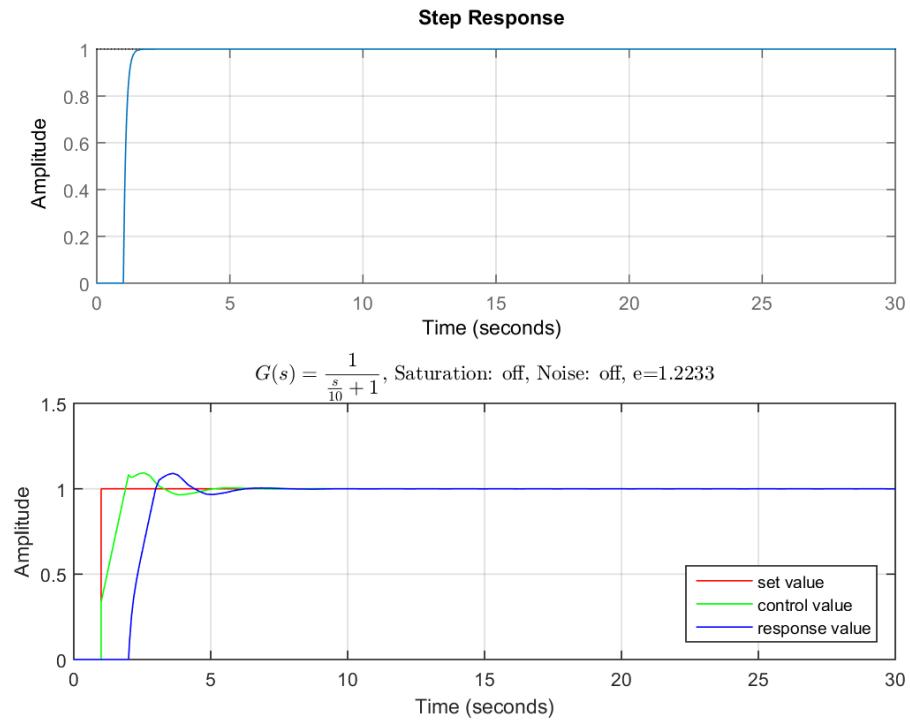
Rysunek 2.3.3: Obiekt G1-tf1b



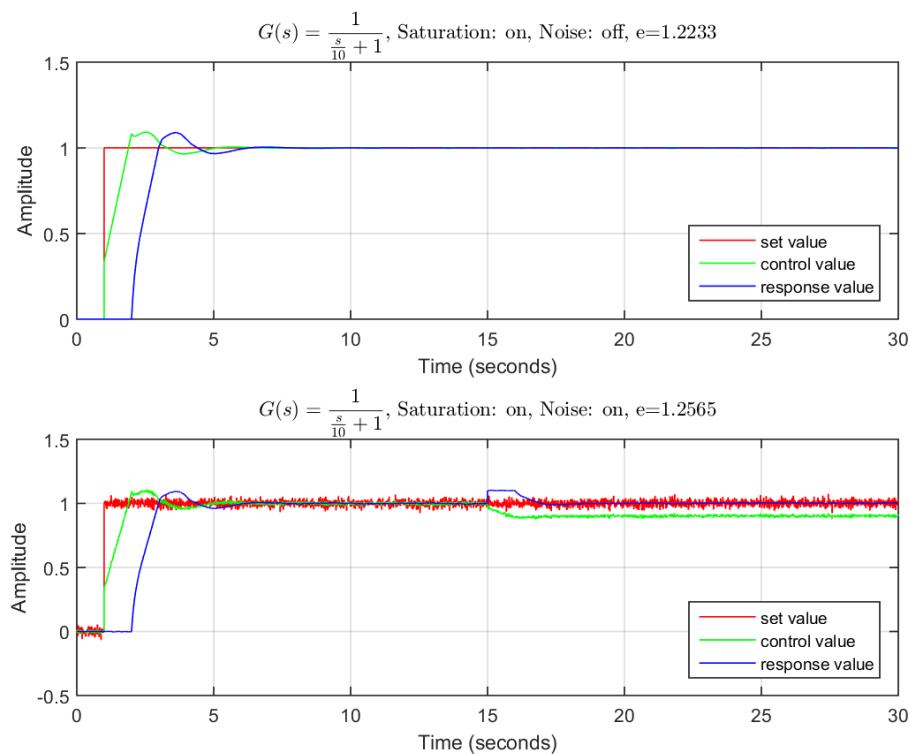
Rysunek 2.3.4: Obiekt G1-tf2a



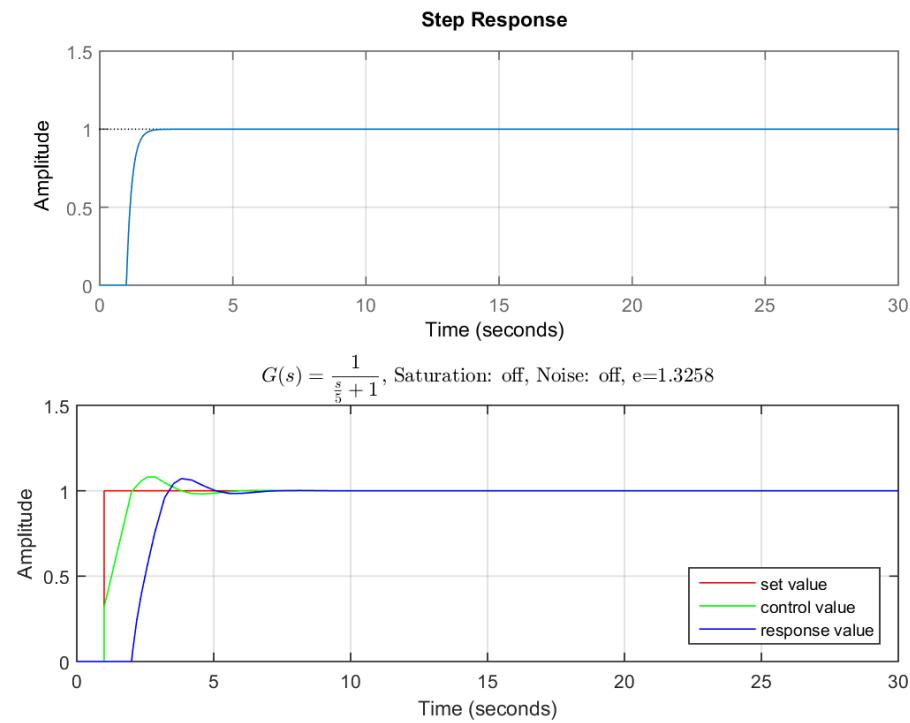
Rysunek 2.3.5: Obiekt G1-tf2b



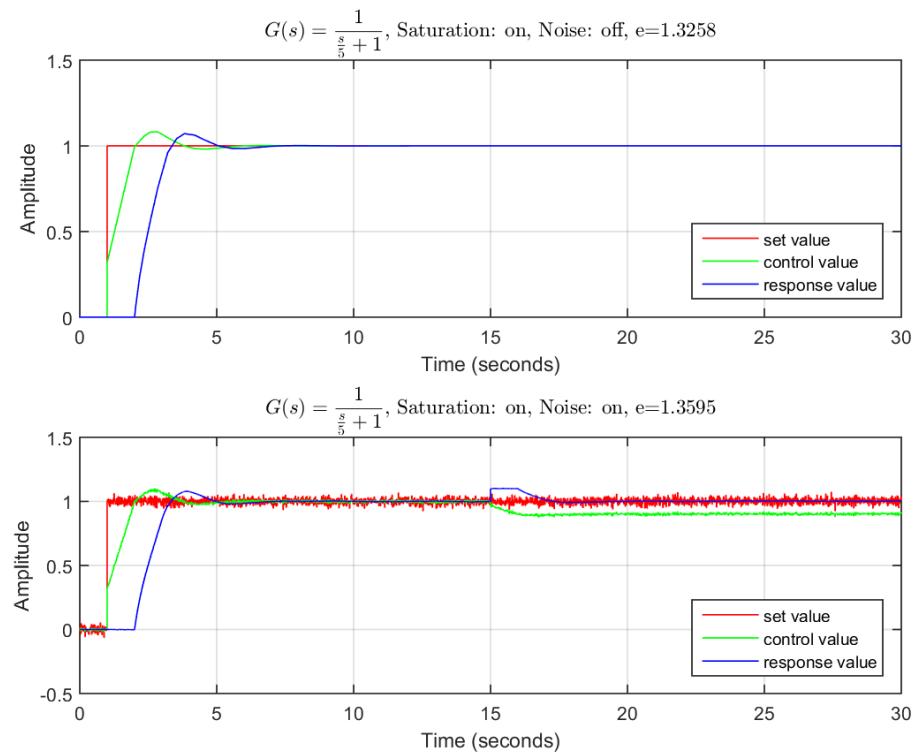
Rysunek 2.3.6: Obiekt G1-tf3a



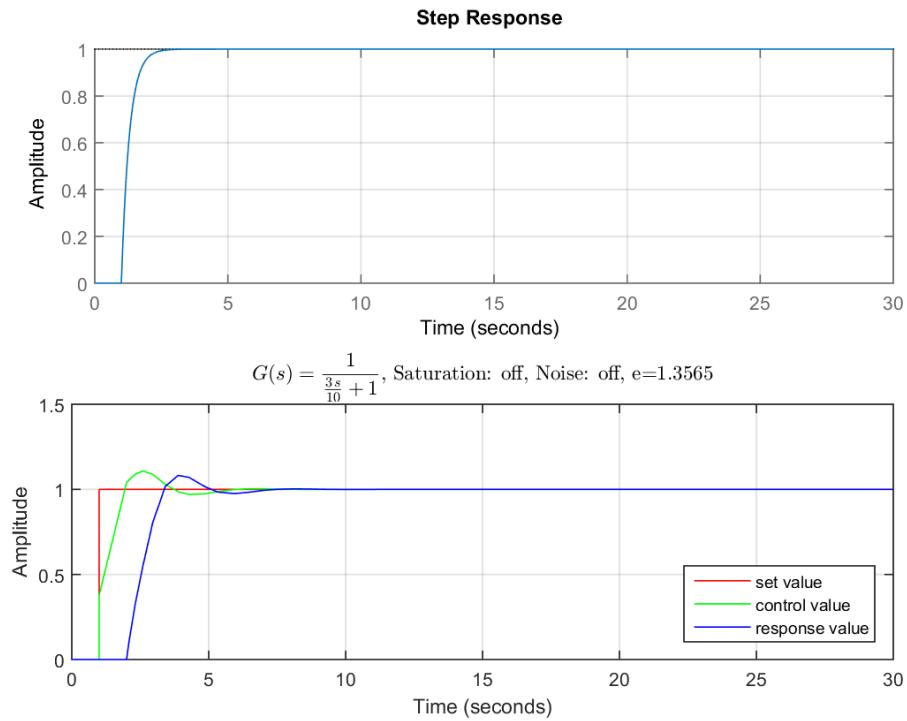
Rysunek 2.3.7: Obiekt G1-tf3b



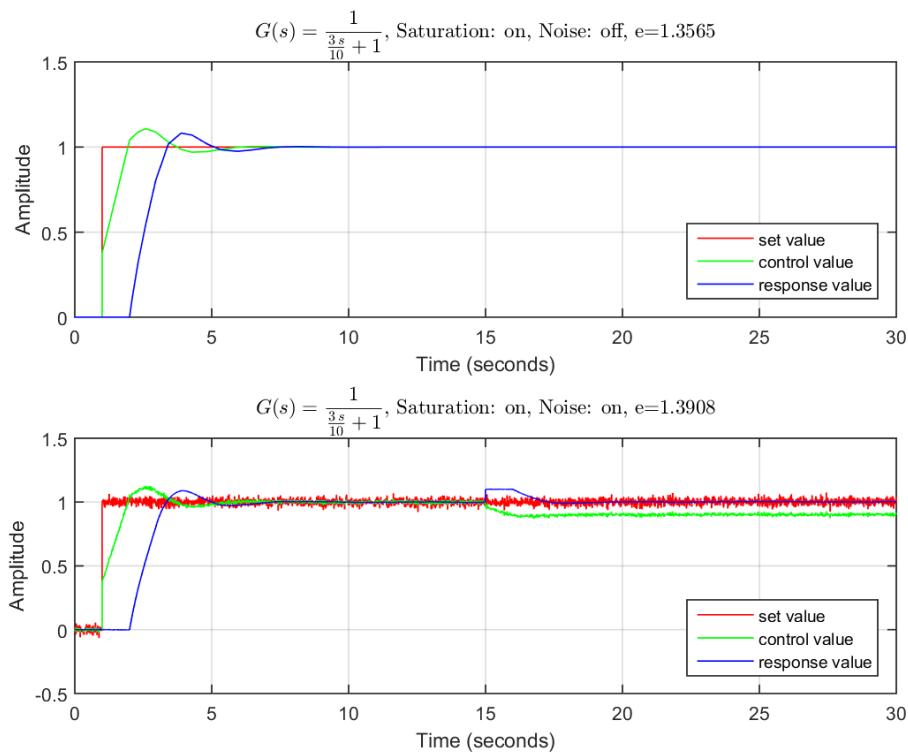
Rysunek 2.3.8: Obiekt G1-tf4a



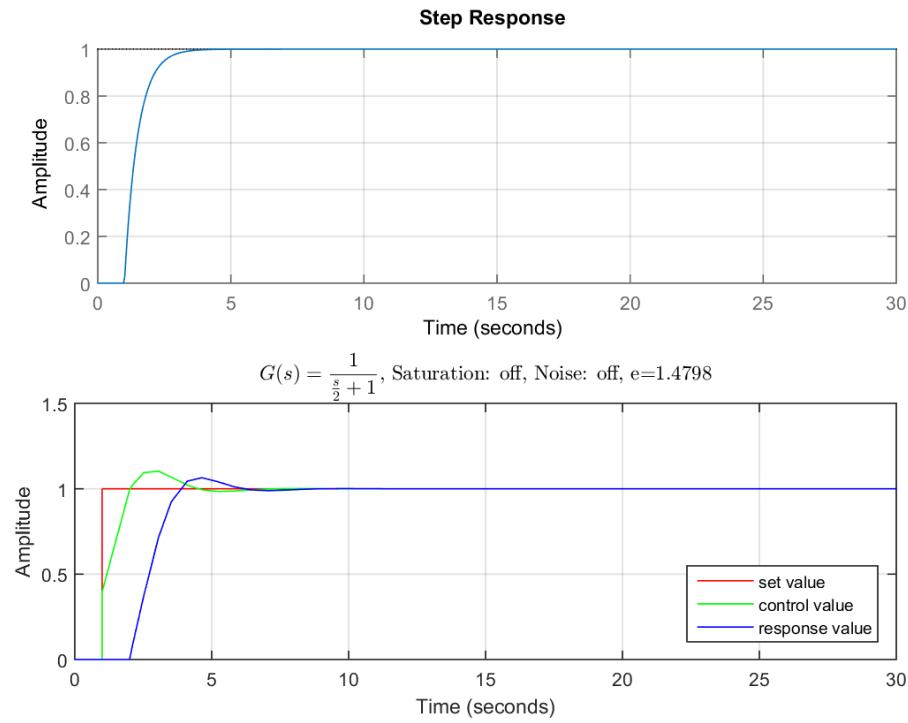
Rysunek 2.3.9: Obiekt G1-tf4b



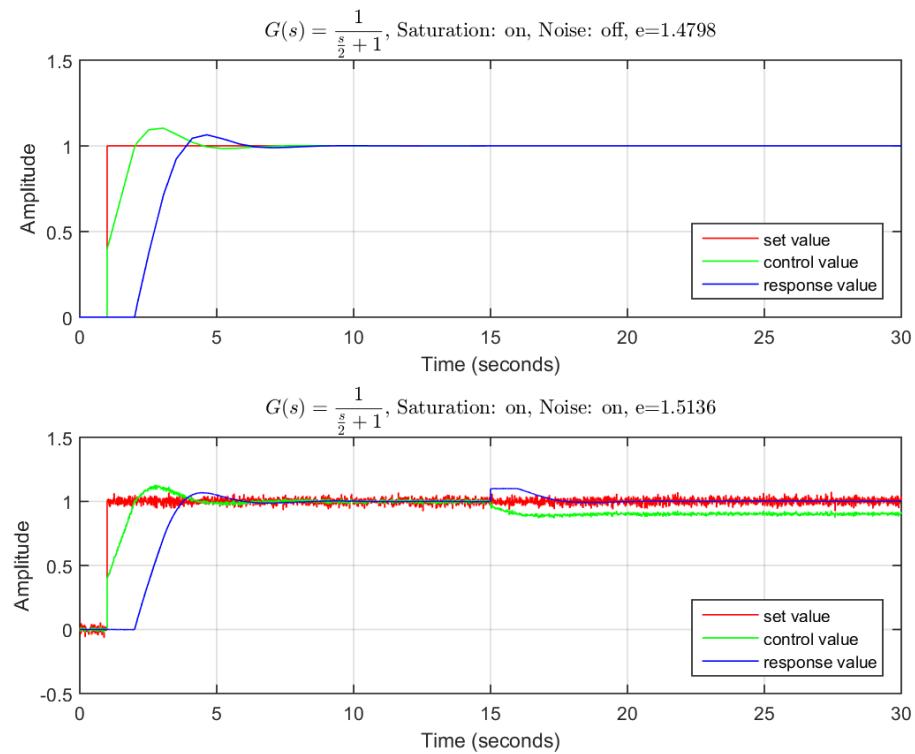
Rysunek 2.3.10: Obiekt G1-tf5a



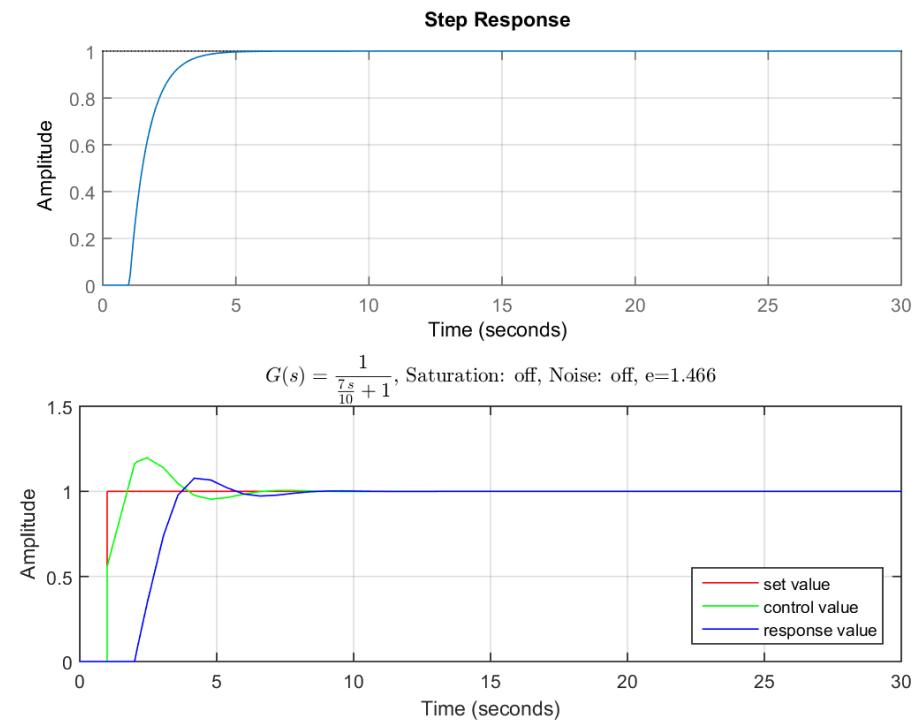
Rysunek 2.3.11: Obiekt G1-tf5b



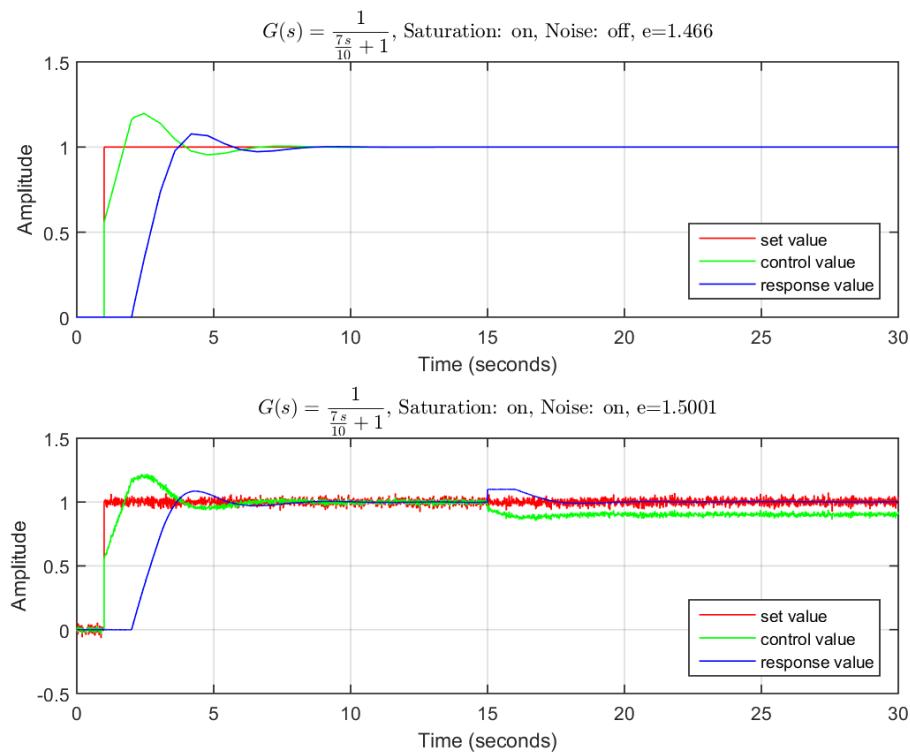
Rysunek 2.3.12: Obiekt G1-tf6a



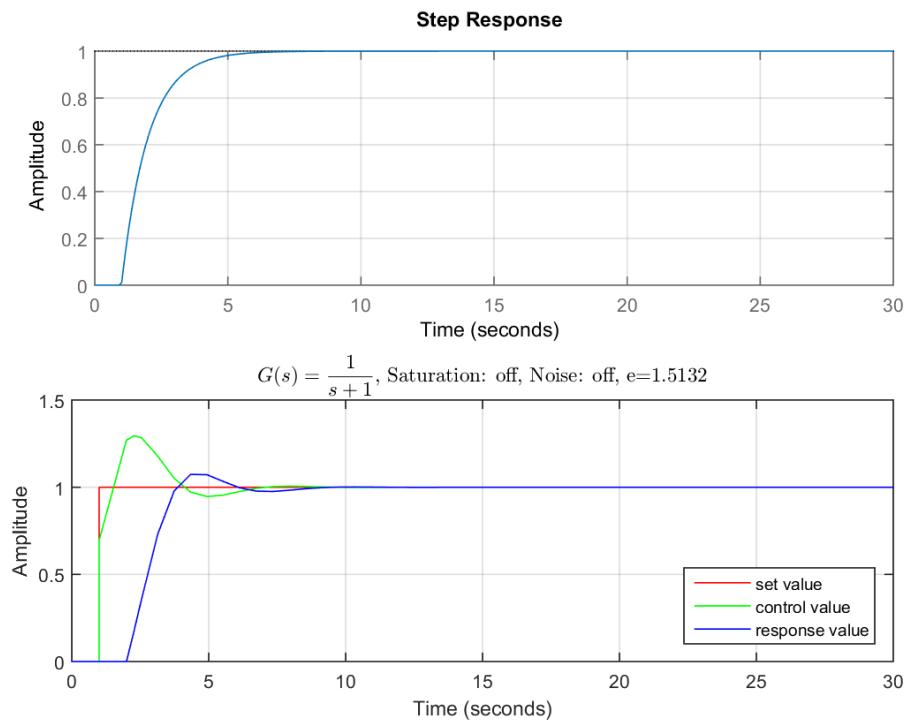
Rysunek 2.3.13: Obiekt G1-tf6b



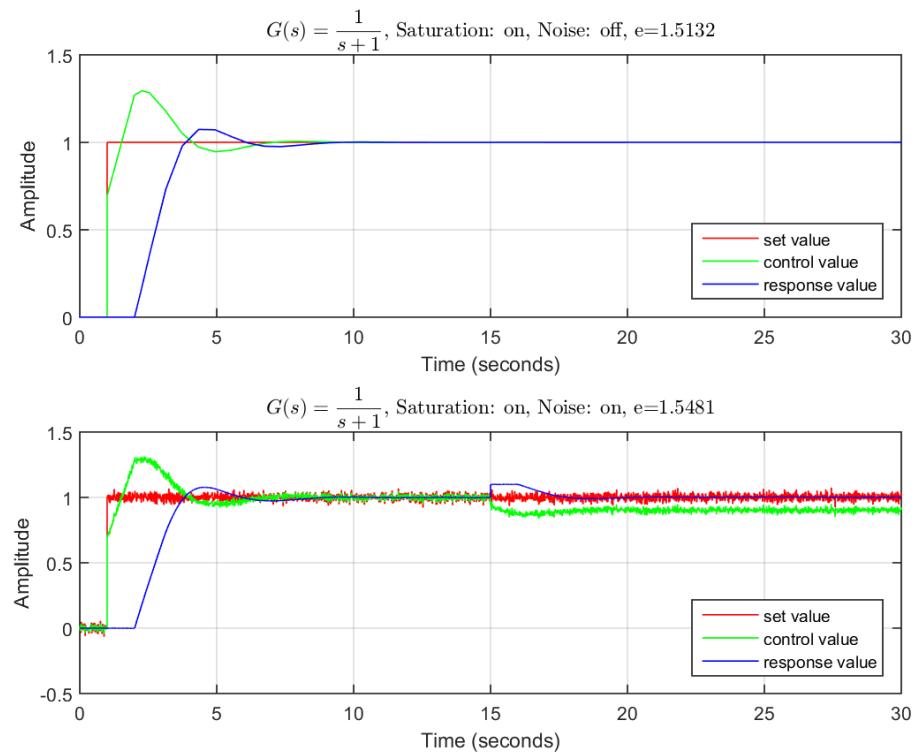
Rysunek 2.3.14: Obiekt G1-tf7a



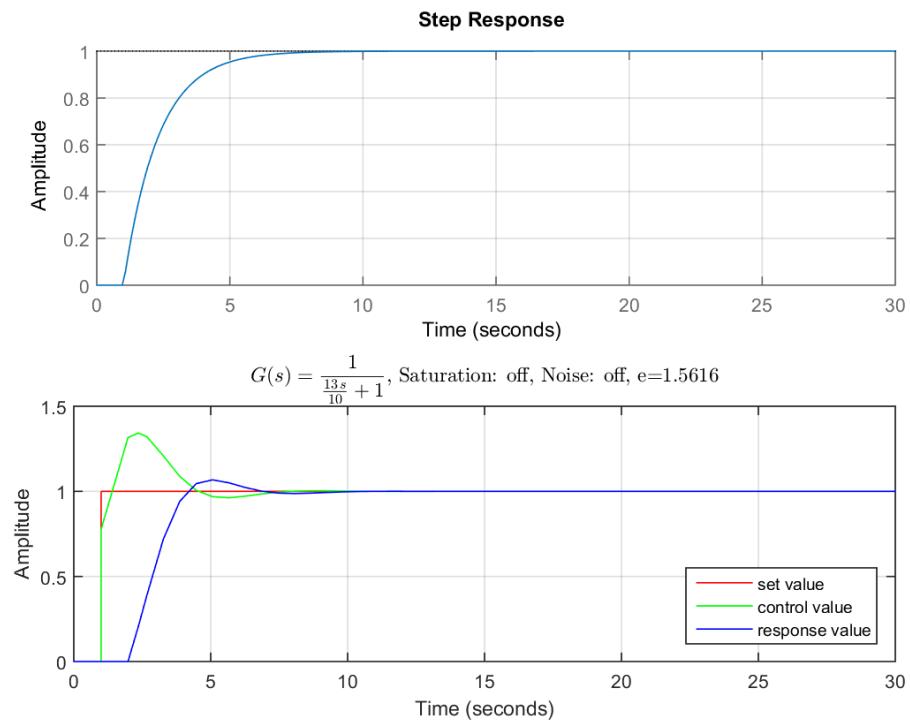
Rysunek 2.3.15: Obiekt G1-tf7b



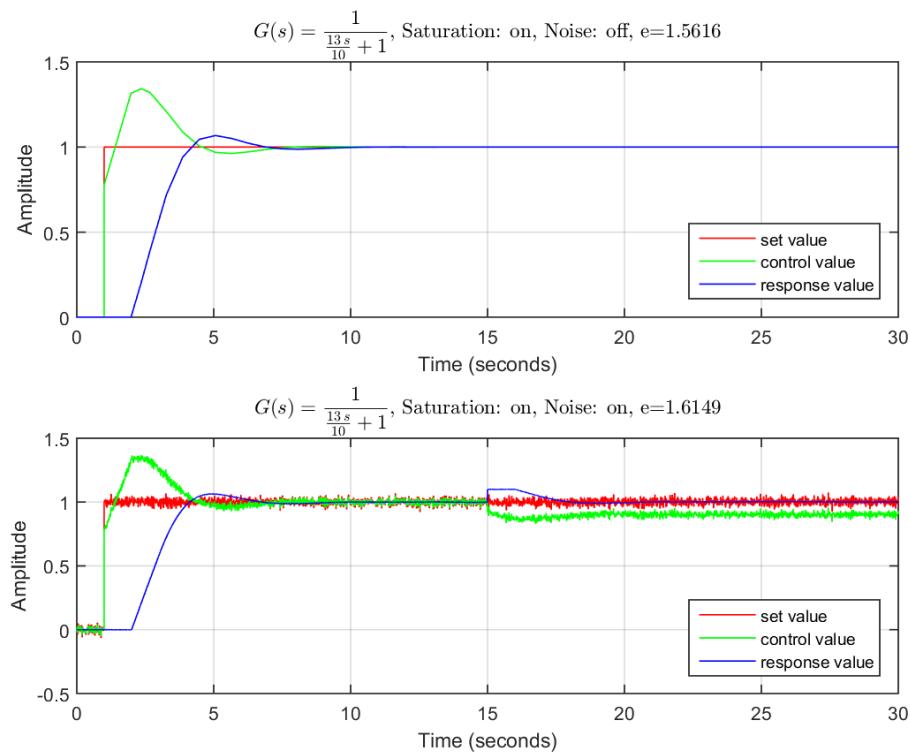
Rysunek 2.3.16: Obiekt G1-tf8a



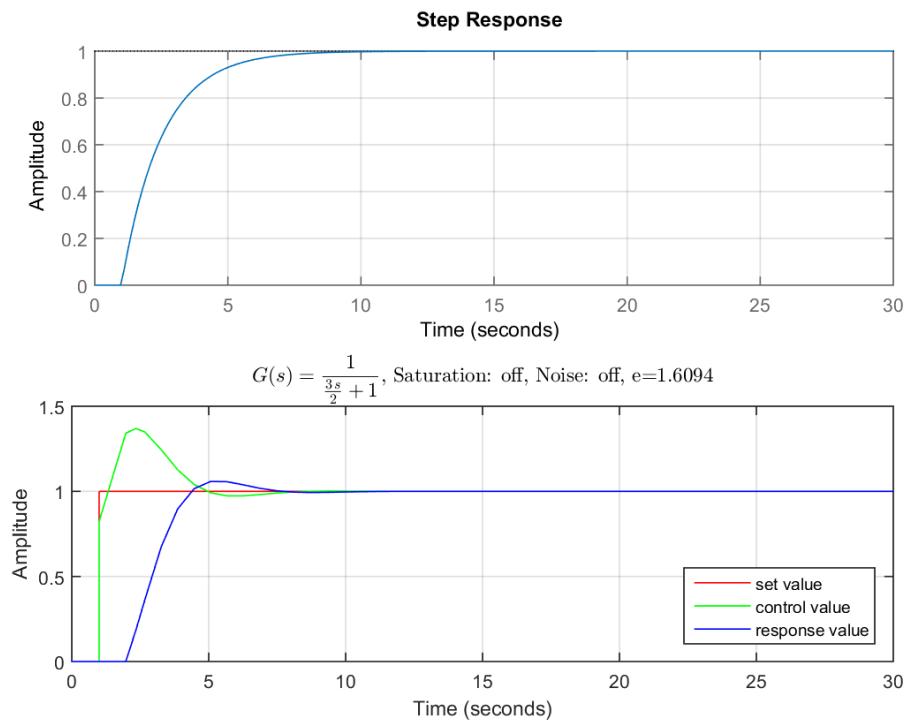
Rysunek 2.3.17: Obiekt G1-tf8b



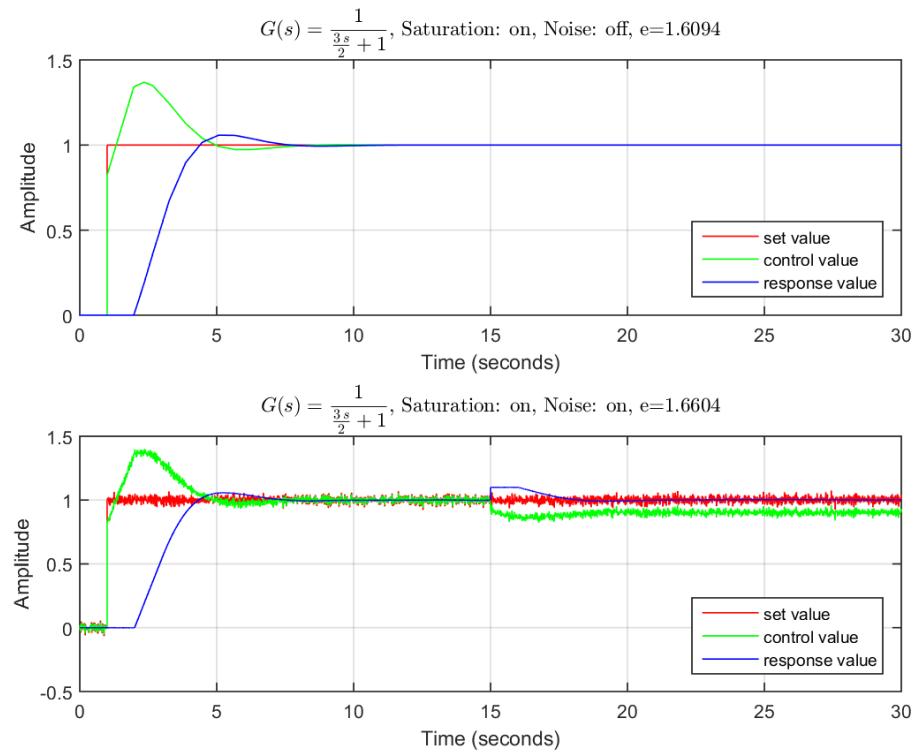
Rysunek 2.3.18: Obiekt G1-tf9a



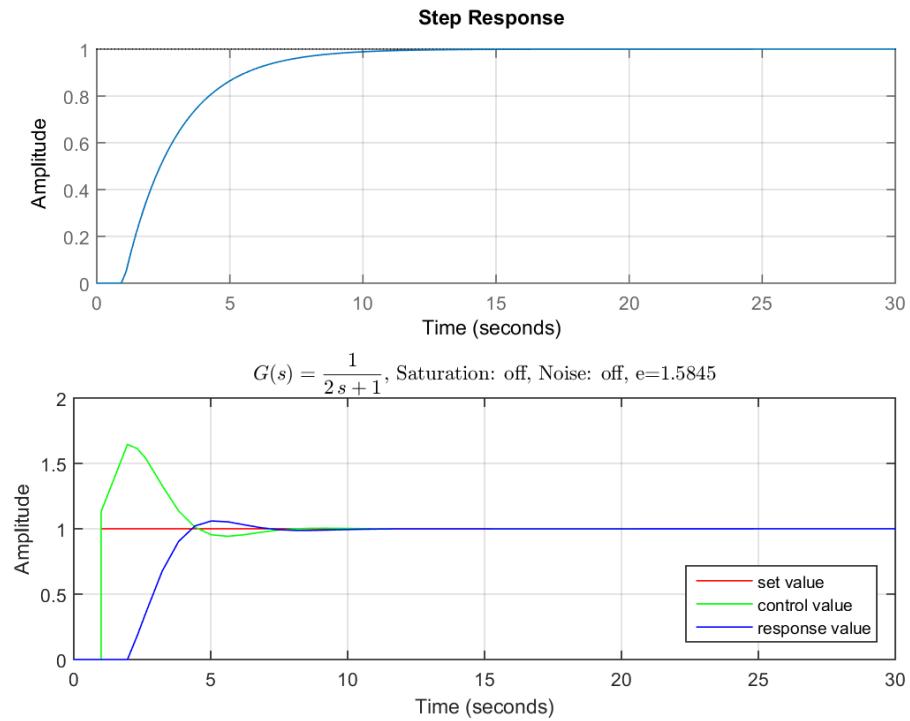
Rysunek 2.3.19: Obiekt G1-tf9b



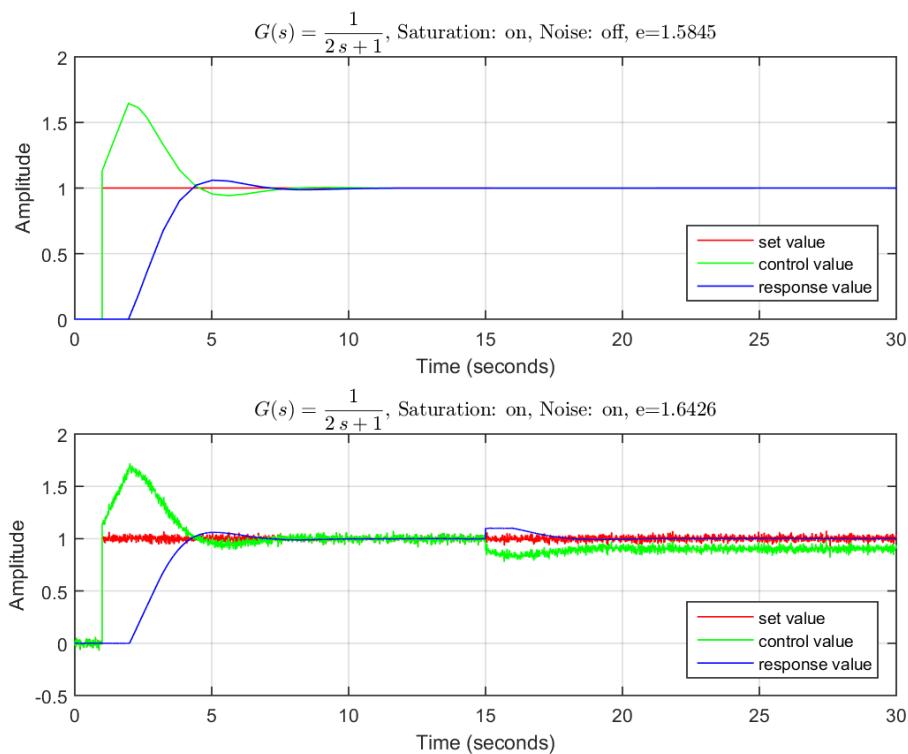
Rysunek 2.3.20: Obiekt G1-tf10a



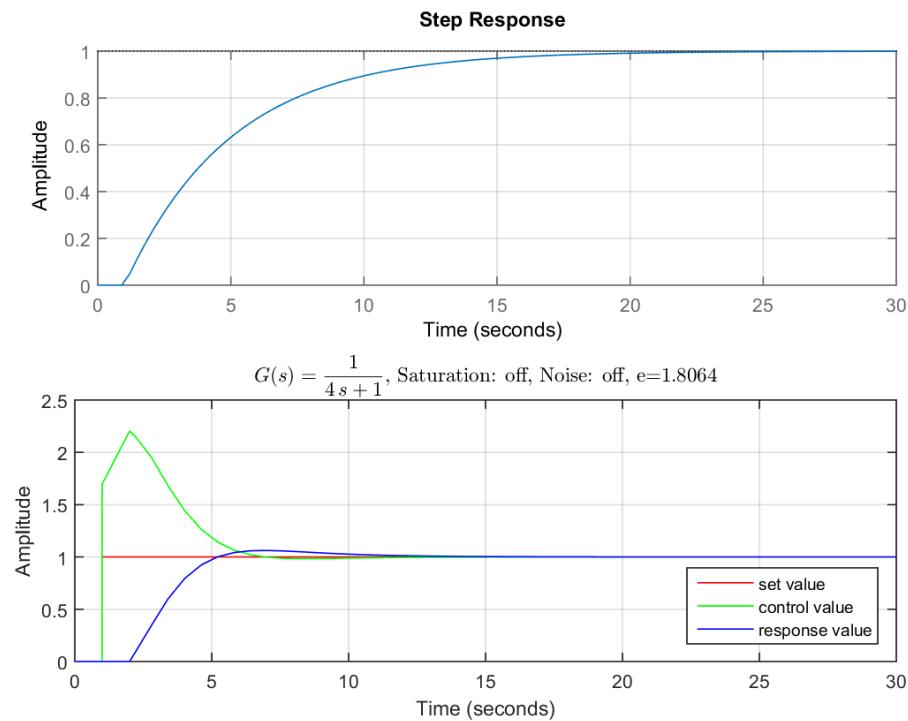
Rysunek 2.3.21: Obiekt G1-tf10b



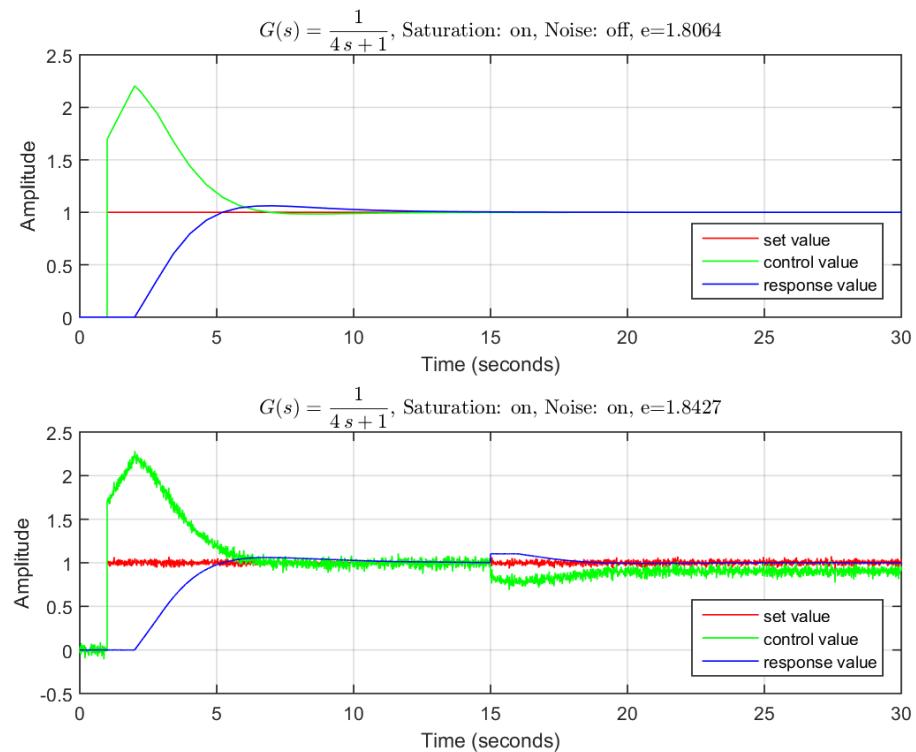
Rysunek 2.3.22: Obiekt G1-tf11a



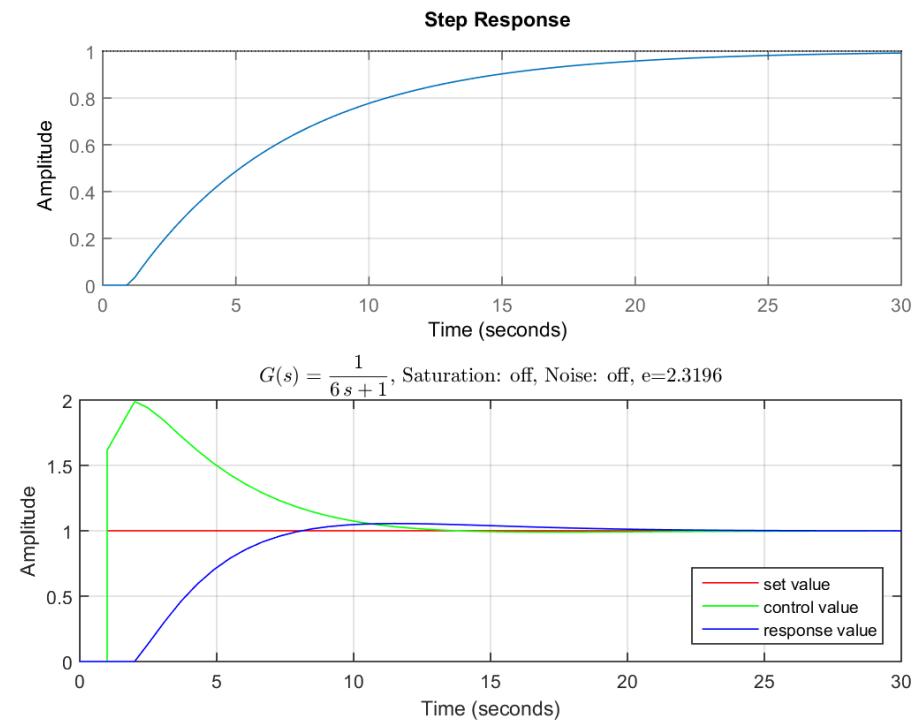
Rysunek 2.3.23: Obiekt G1-tf11b



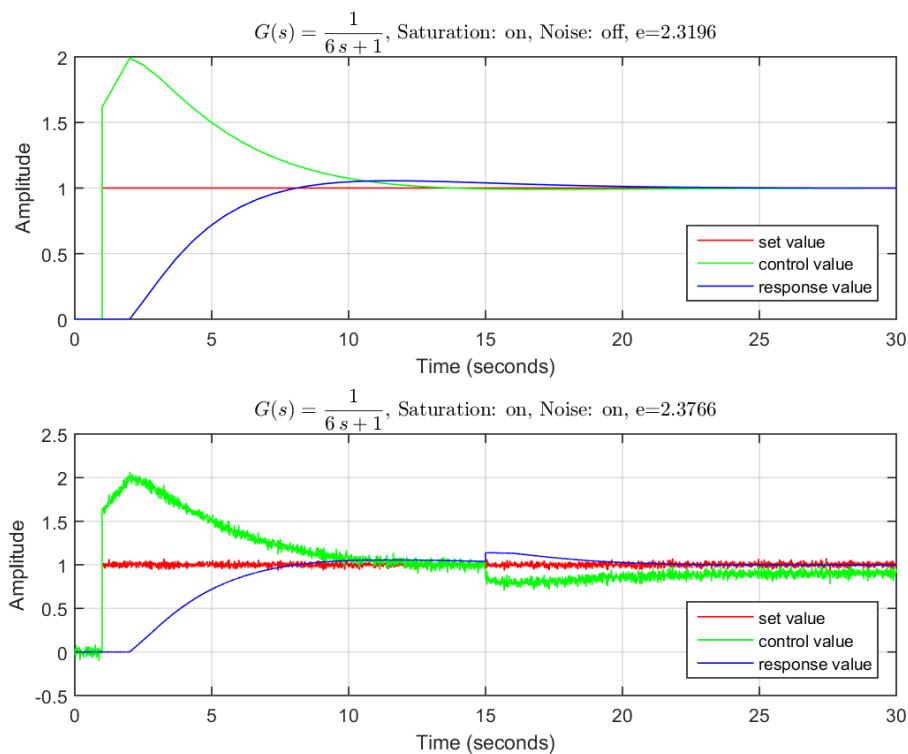
Rysunek 2.3.24: Obiekt G1-tf12a



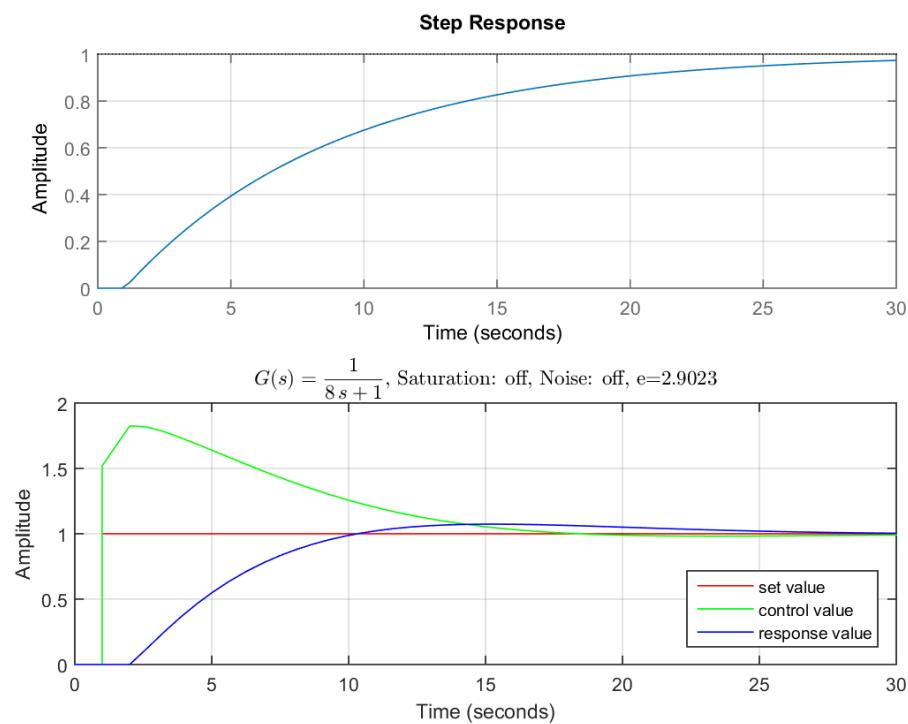
Rysunek 2.3.25: Obiekt G1-tf12b



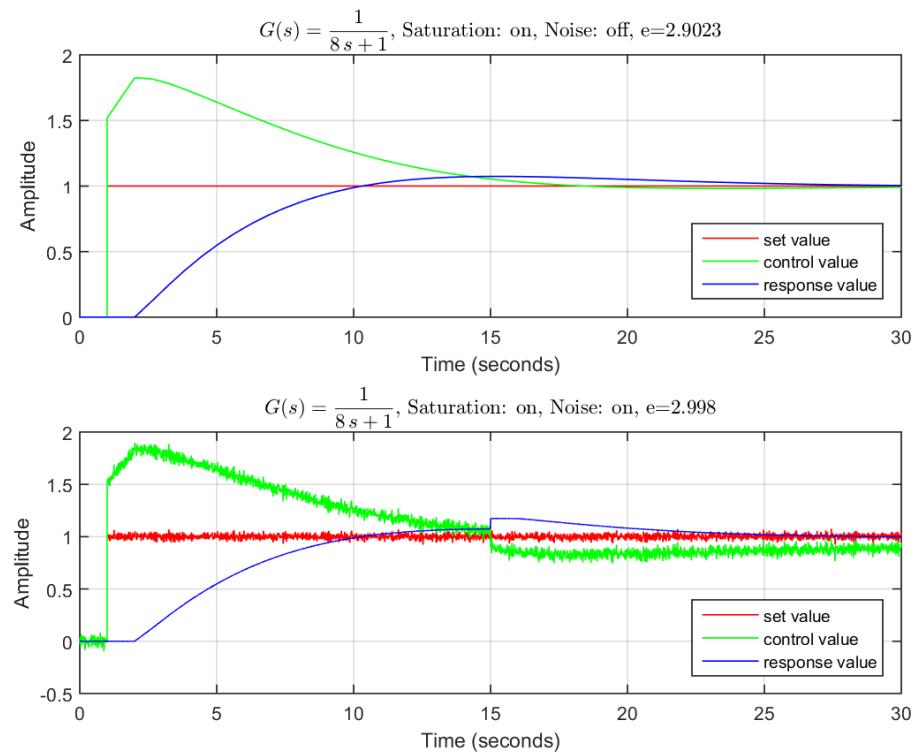
Rysunek 2.3.26: Obiekt G1-tf13a



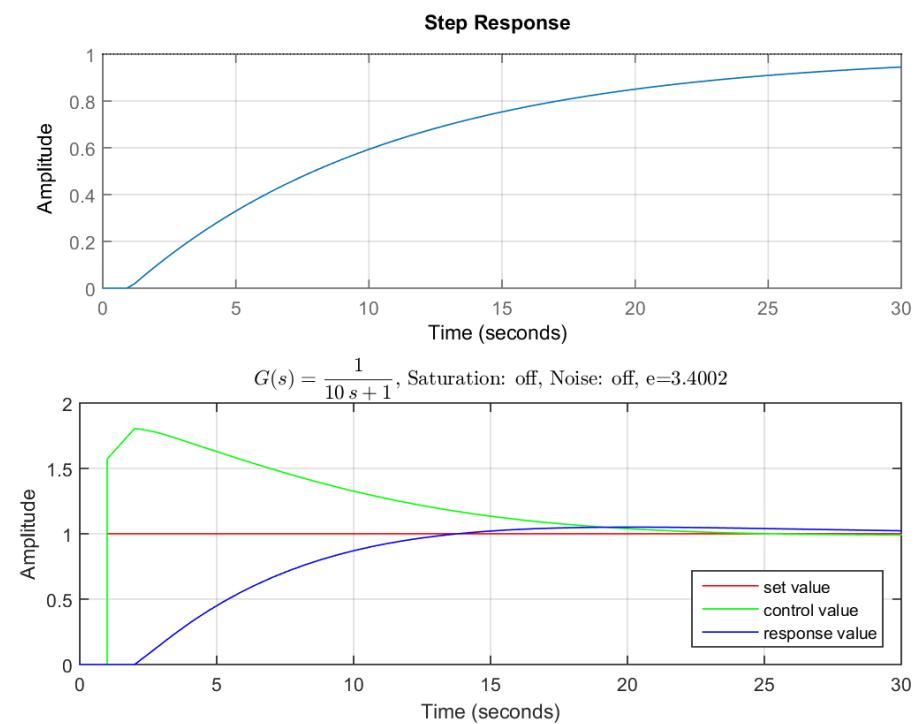
Rysunek 2.3.27: Obiekt G1-tf13b



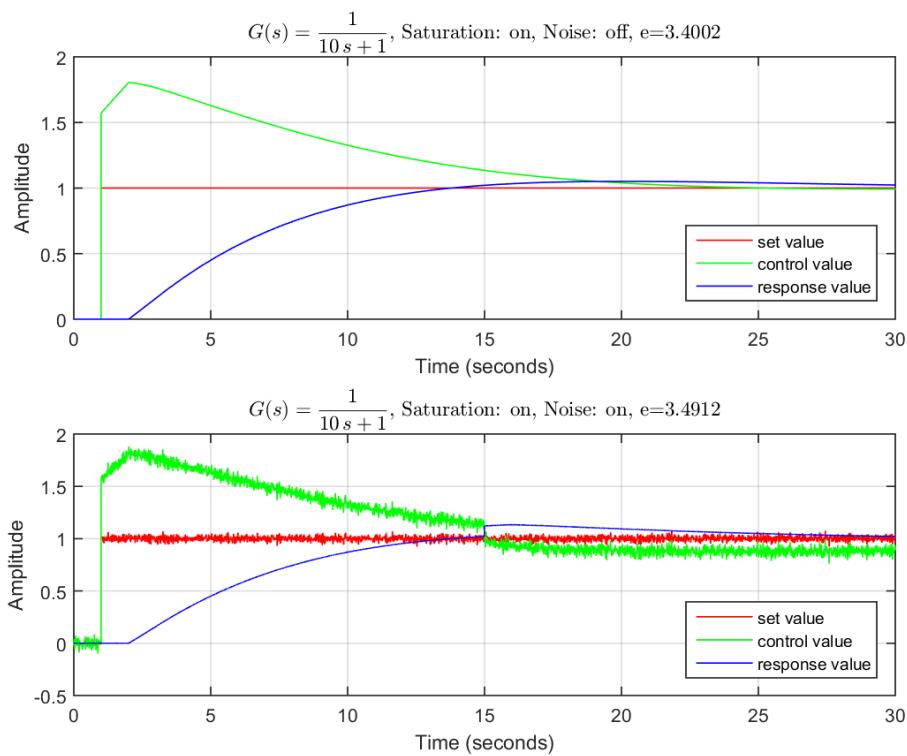
Rysunek 2.3.28: Obiekt G1-tf14a



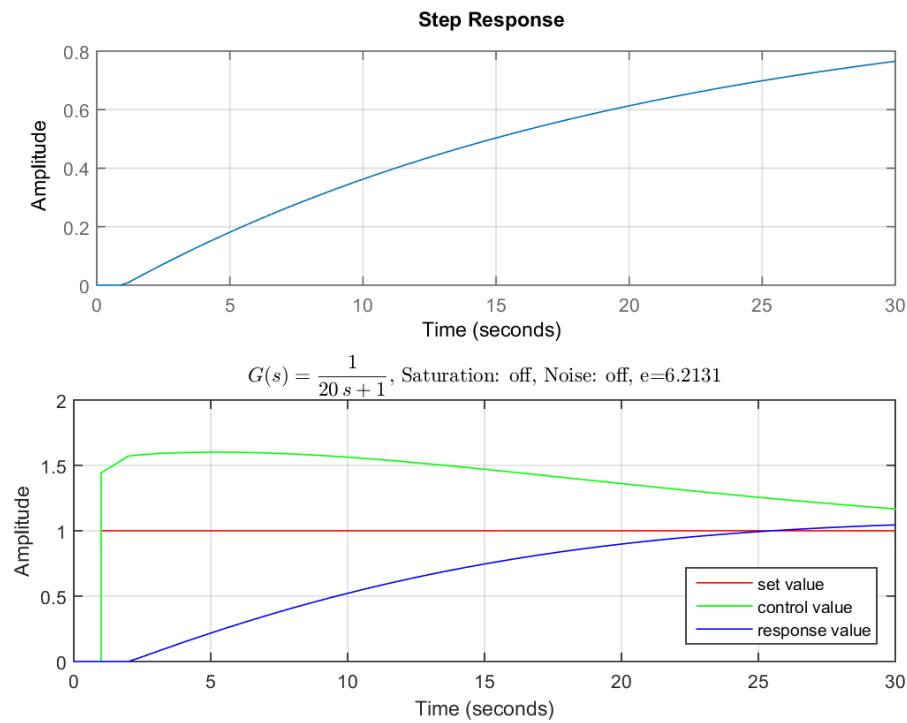
Rysunek 2.3.29: Obiekt G1-tf14b



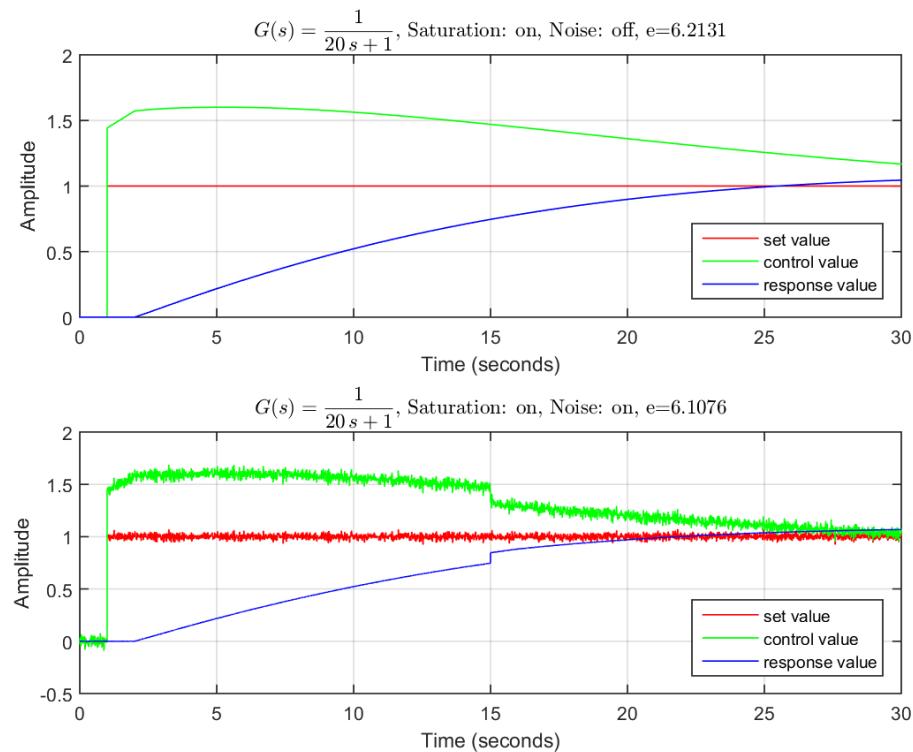
Rysunek 2.3.30: Obiekt G1-tf15a



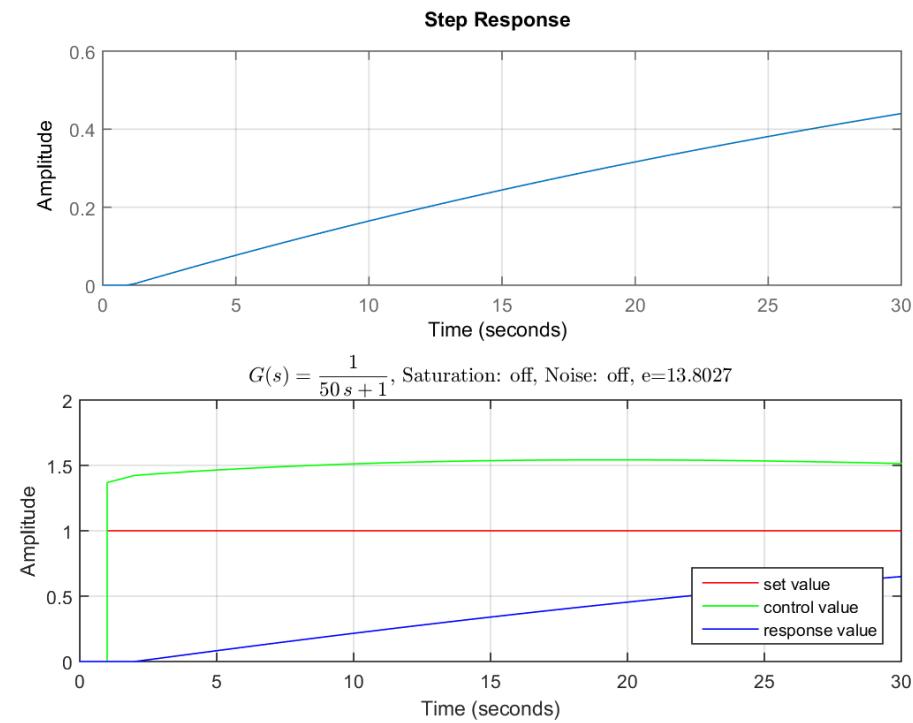
Rysunek 2.3.31: Obiekt G1-tf15b



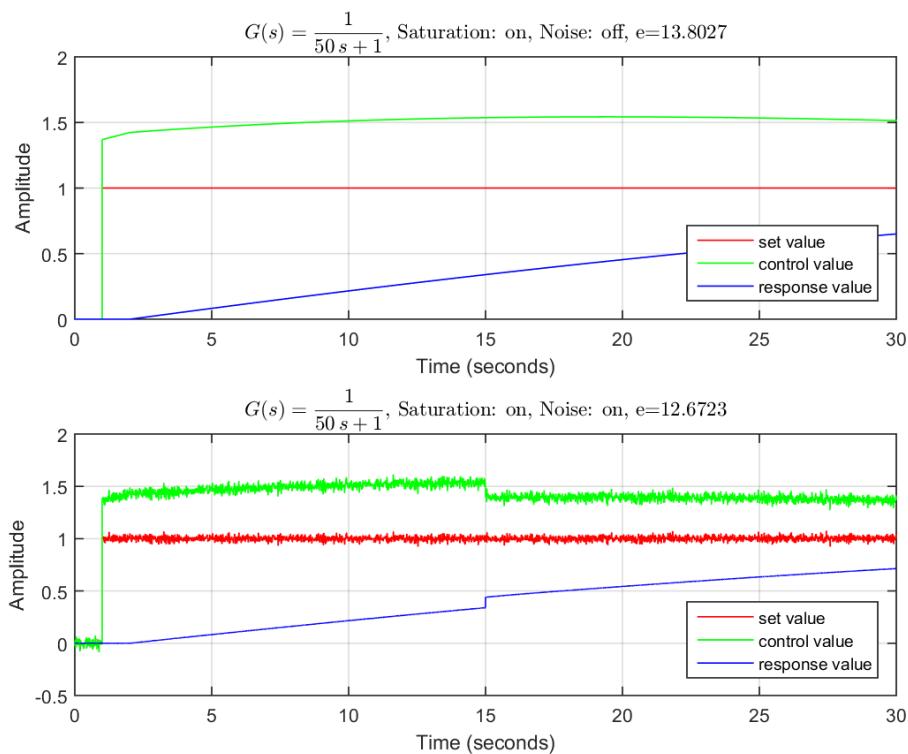
Rysunek 2.3.32: Obiekt G1-tf16a



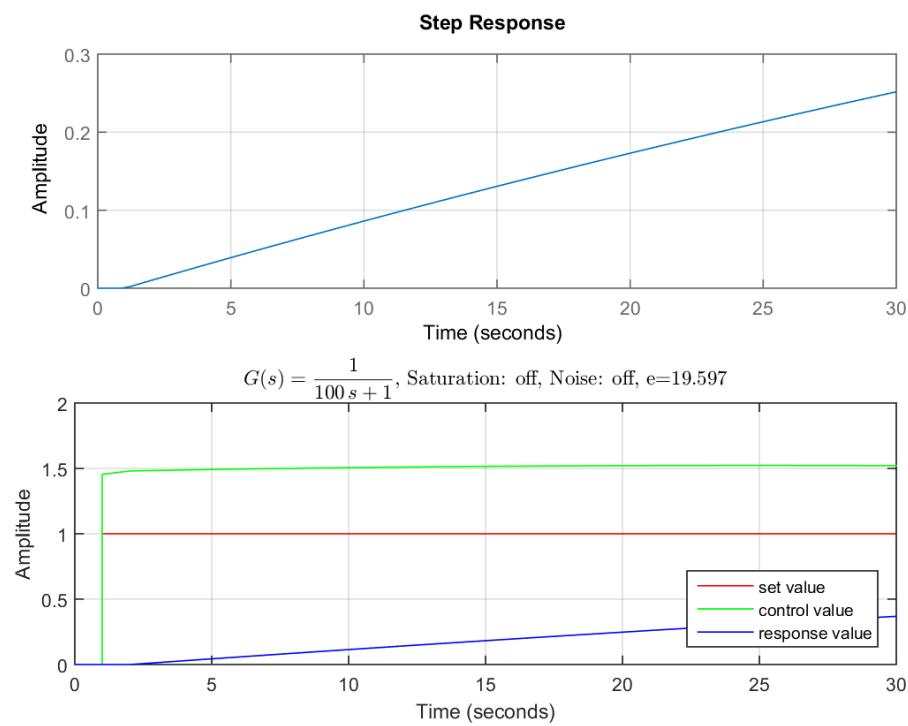
Rysunek 2.3.33: Obiekt G1-tf16b



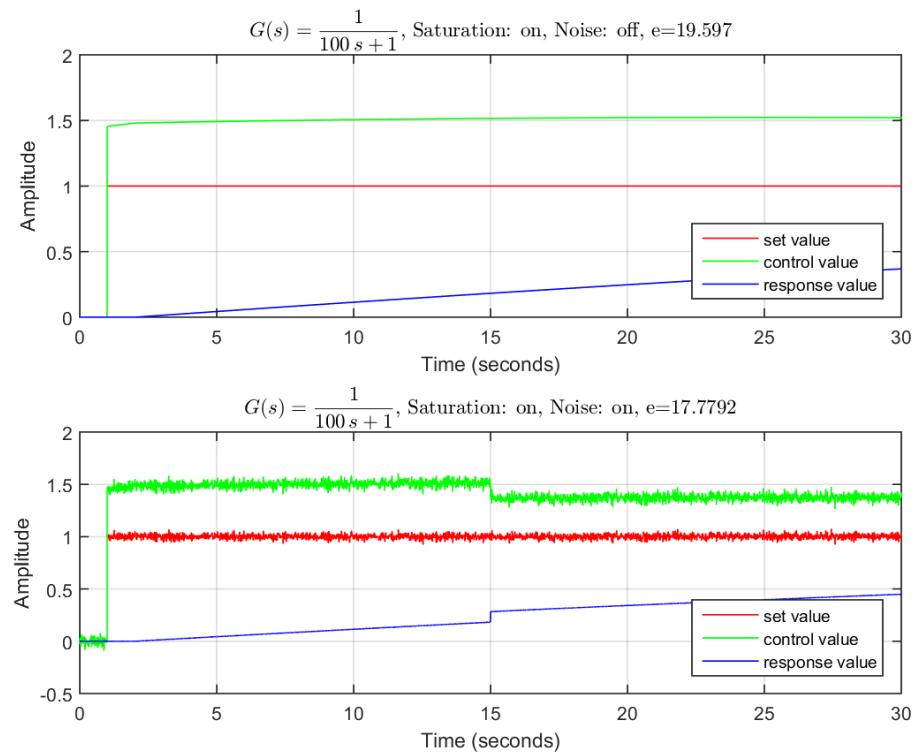
Rysunek 2.3.34: Obiekt G1-tf17a



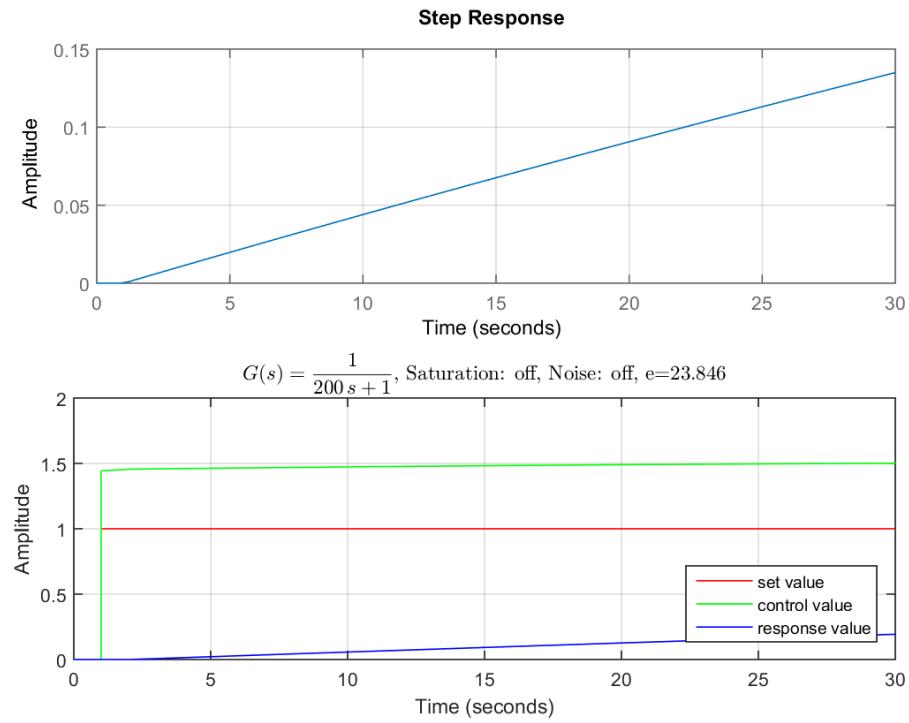
Rysunek 2.3.35: Obiekt G1-tf17b



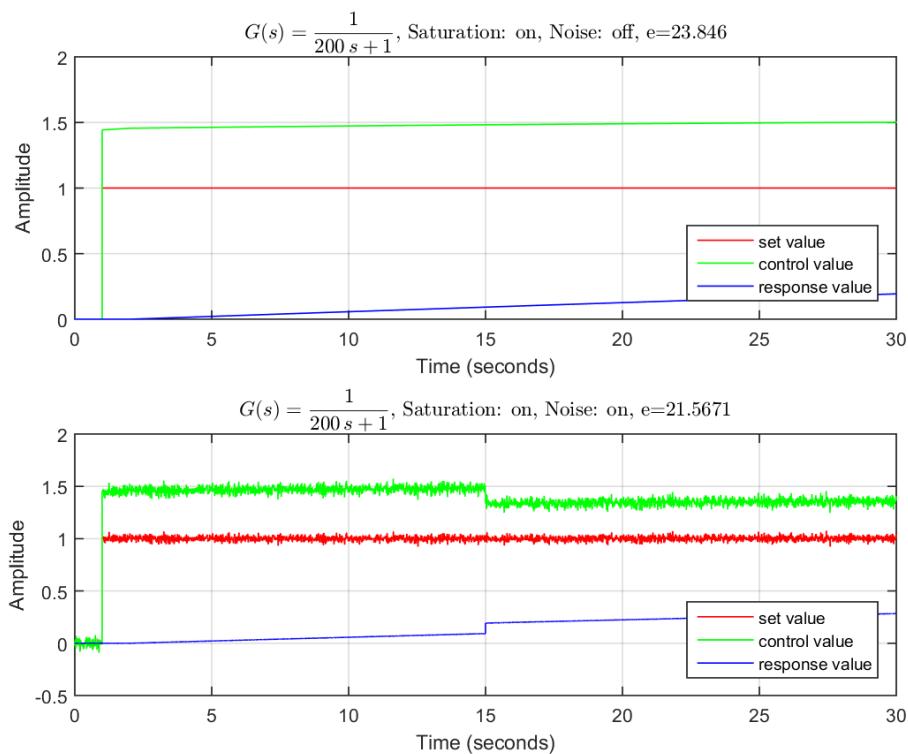
Rysunek 2.3.36: Obiekt G1-tf18a



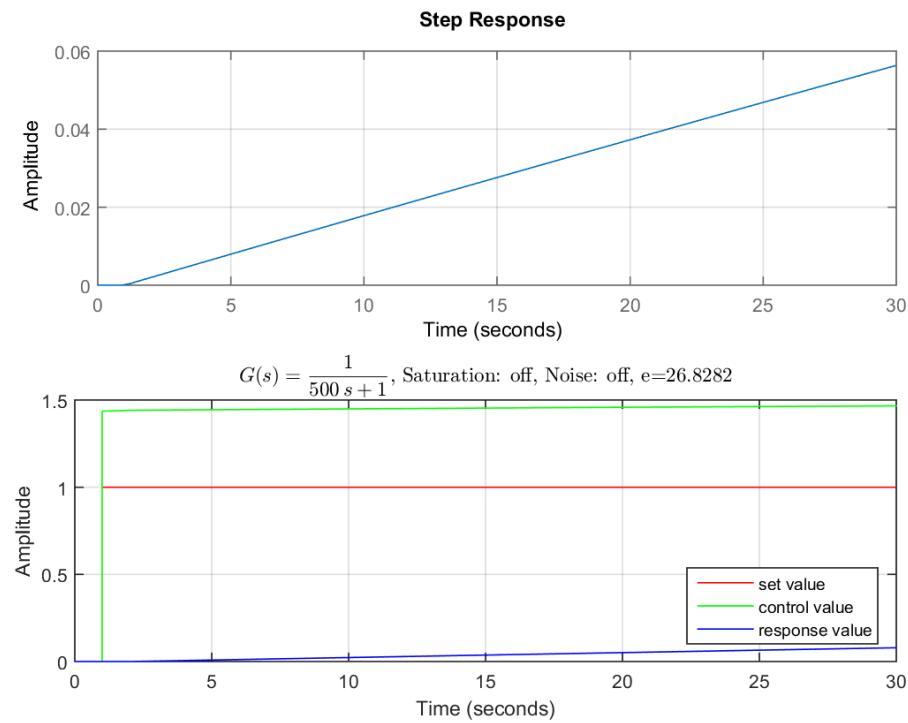
Rysunek 2.3.37: Obiekt G1-tf18b



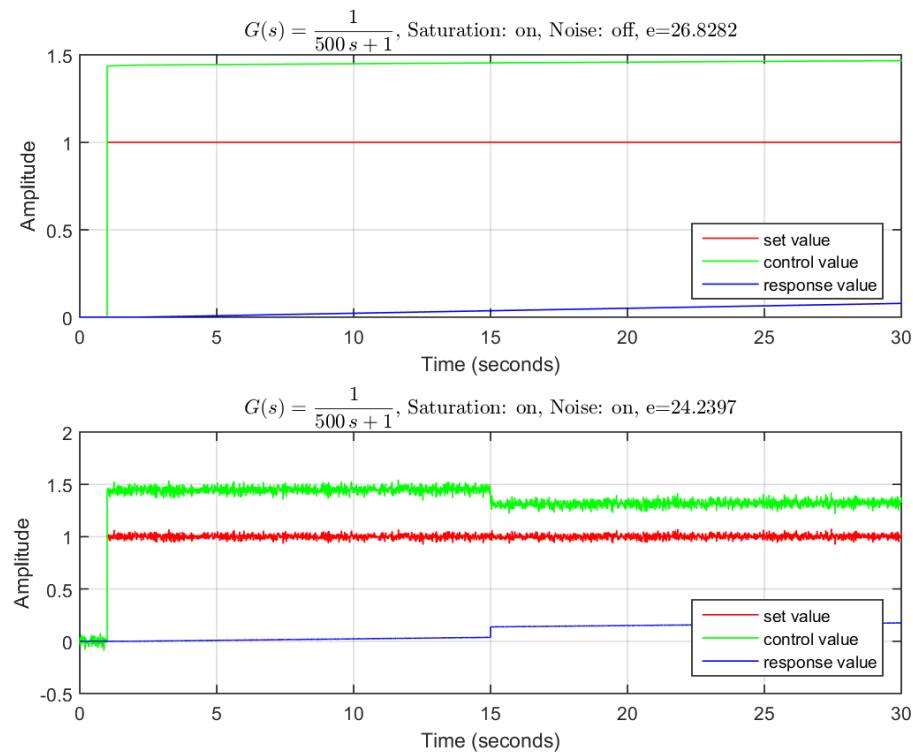
Rysunek 2.3.38: Obiekt G1-tf19a



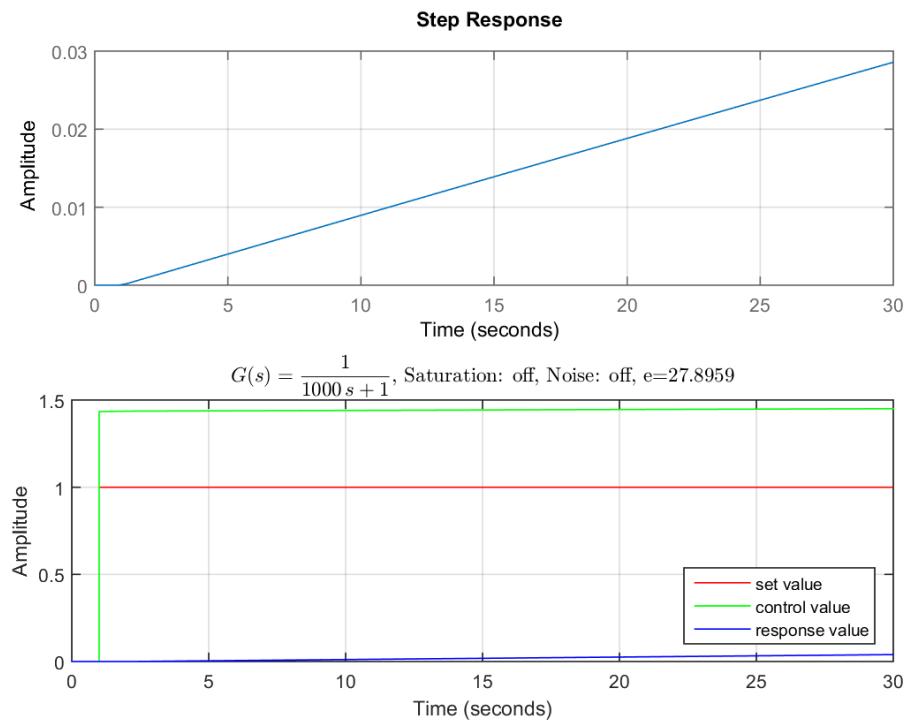
Rysunek 2.3.39: Obiekt G1-tf19b



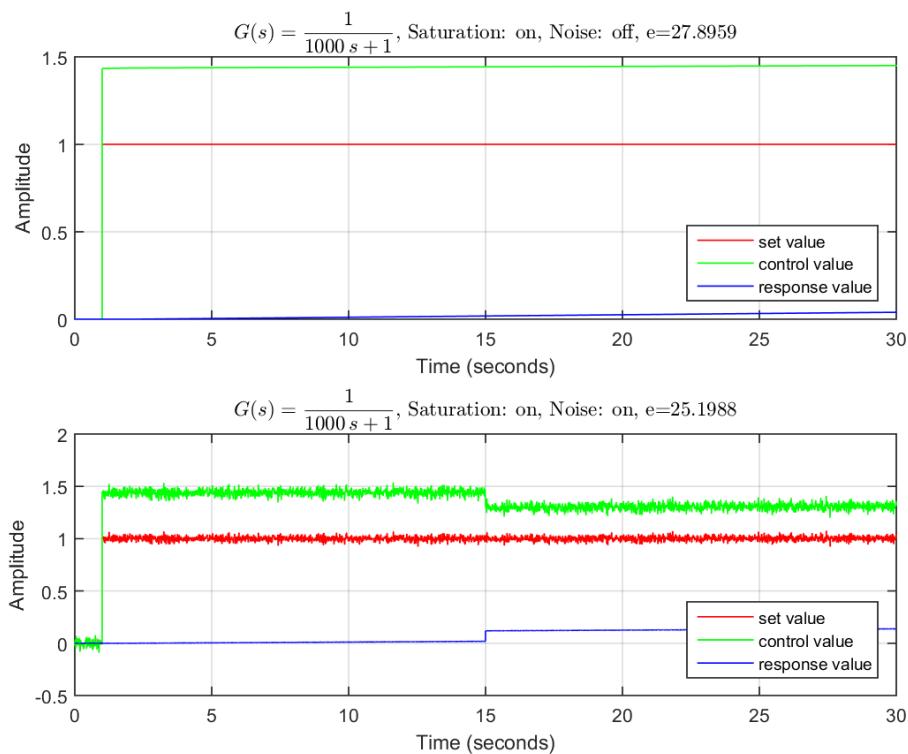
Rysunek 2.3.40: Obiekt G1-tf20a



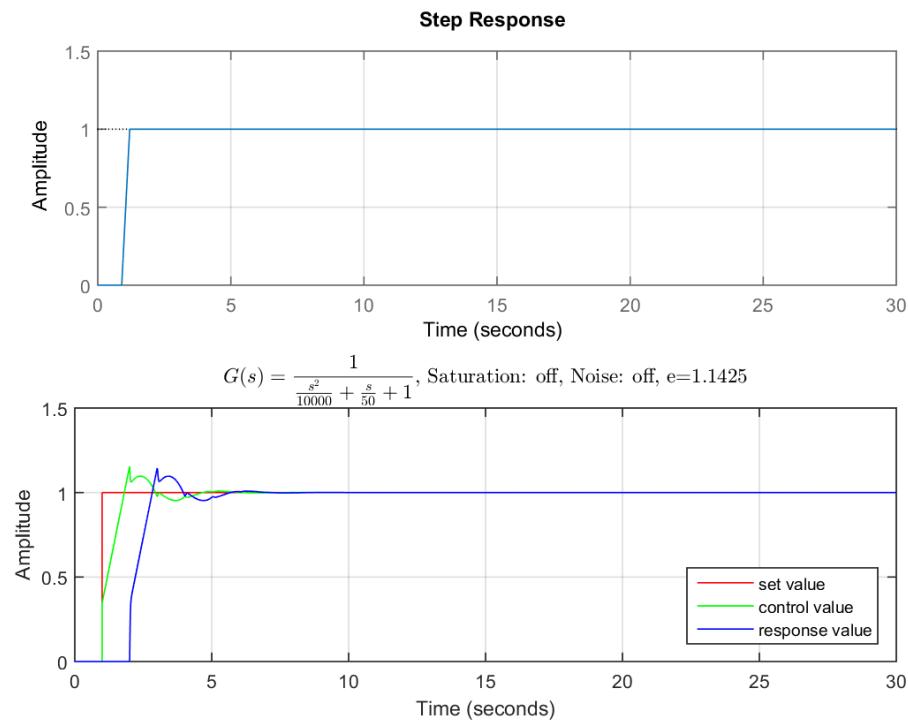
Rysunek 2.3.41: Obiekt G1-tf20b



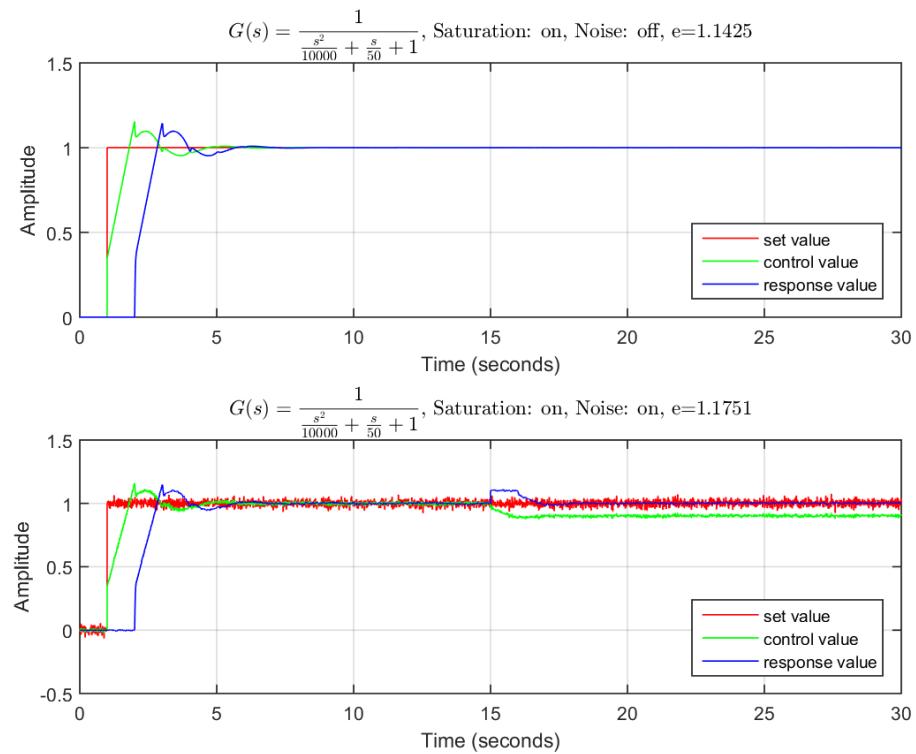
Rysunek 2.3.42: Obiekt G1-tf21a



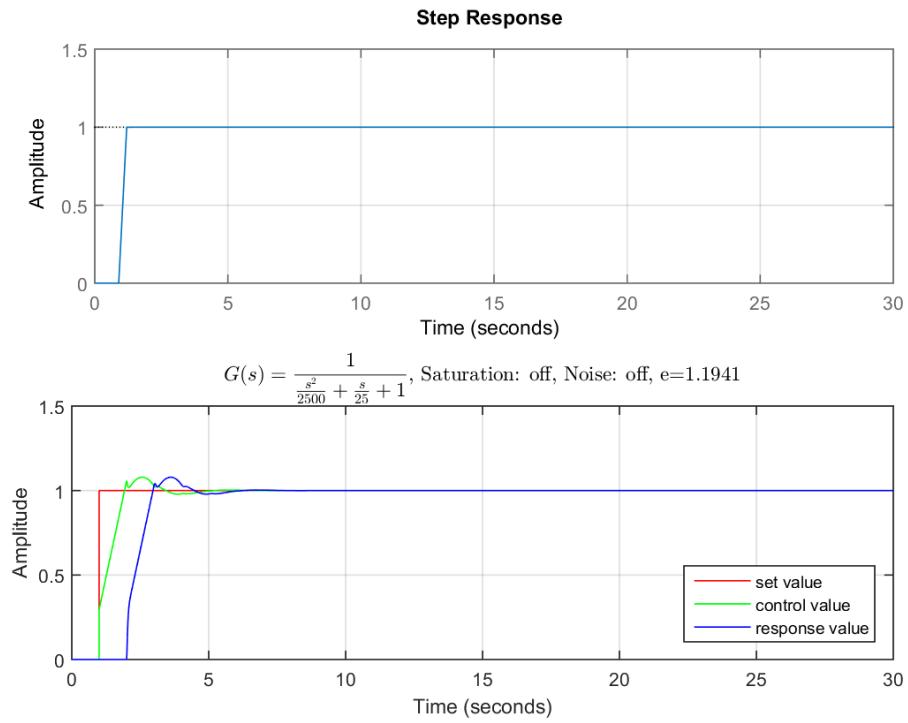
Rysunek 2.3.43: Obiekt G1-tf21b



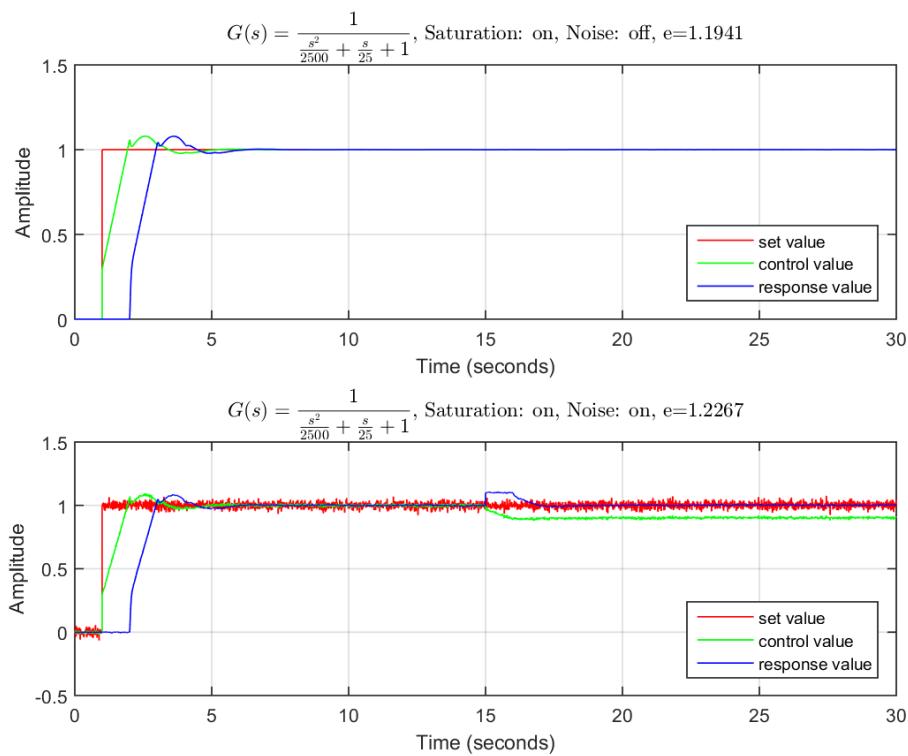
Rysunek 2.3.44: Obiekt G2-tf1a



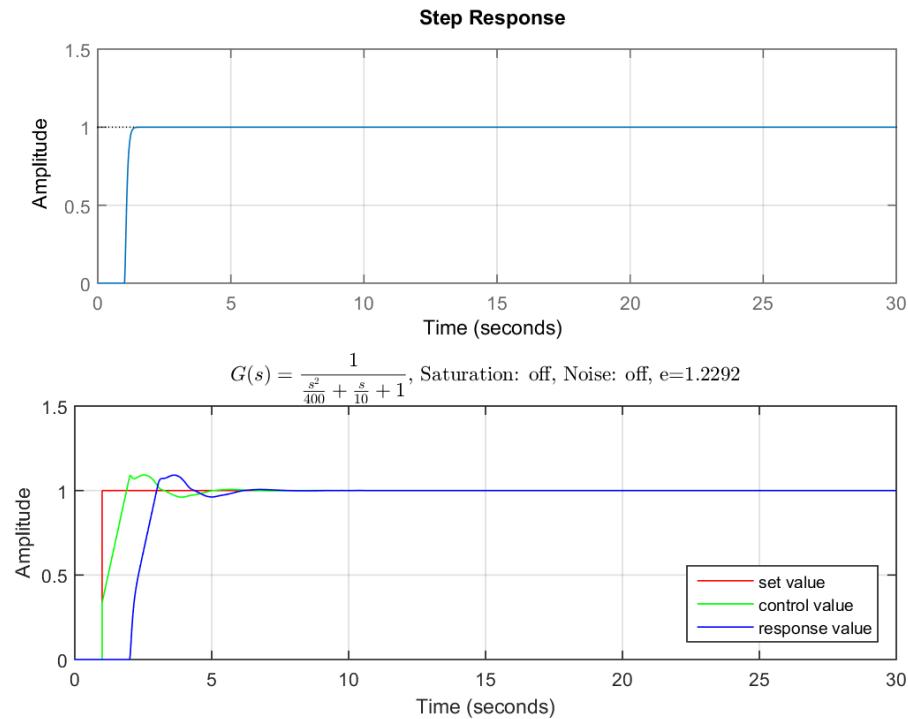
Rysunek 2.3.45: Obiekt G2-tf1b



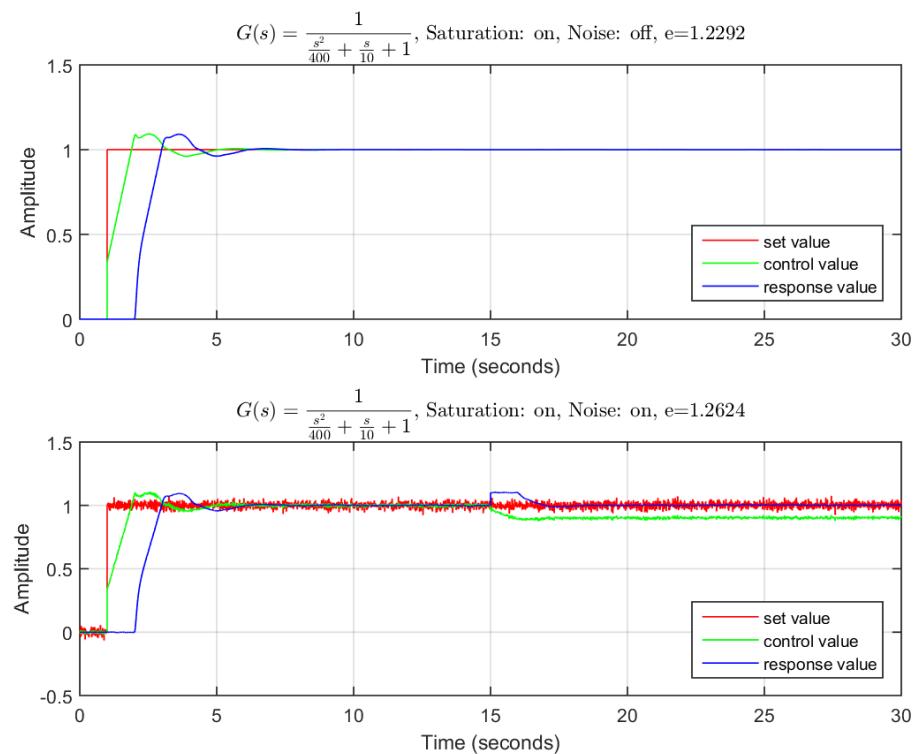
Rysunek 2.3.46: Obiekt G2-tf2a



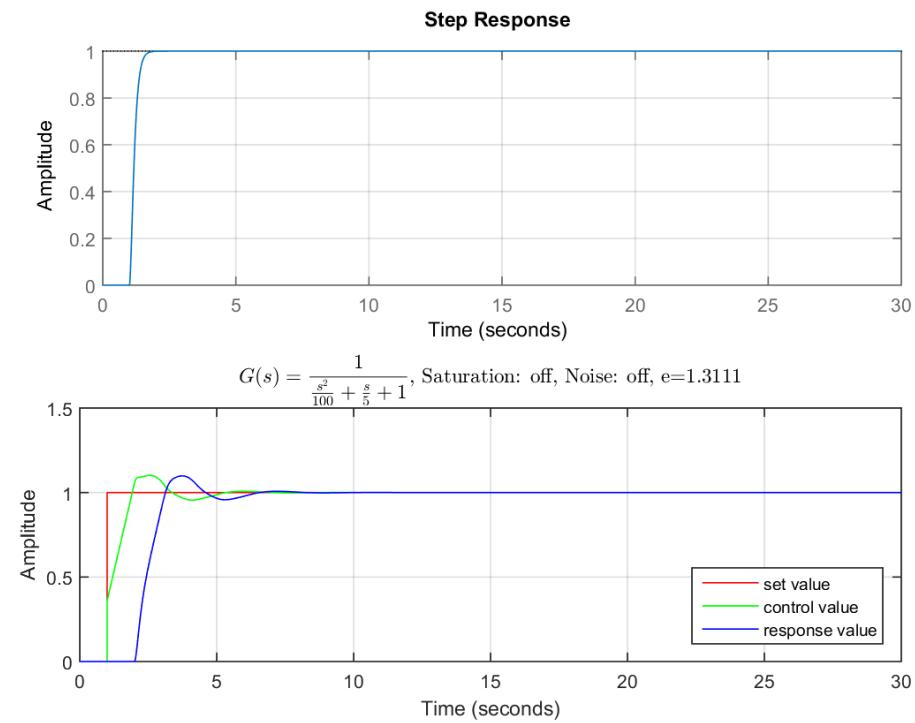
Rysunek 2.3.47: Obiekt G2-tf2b



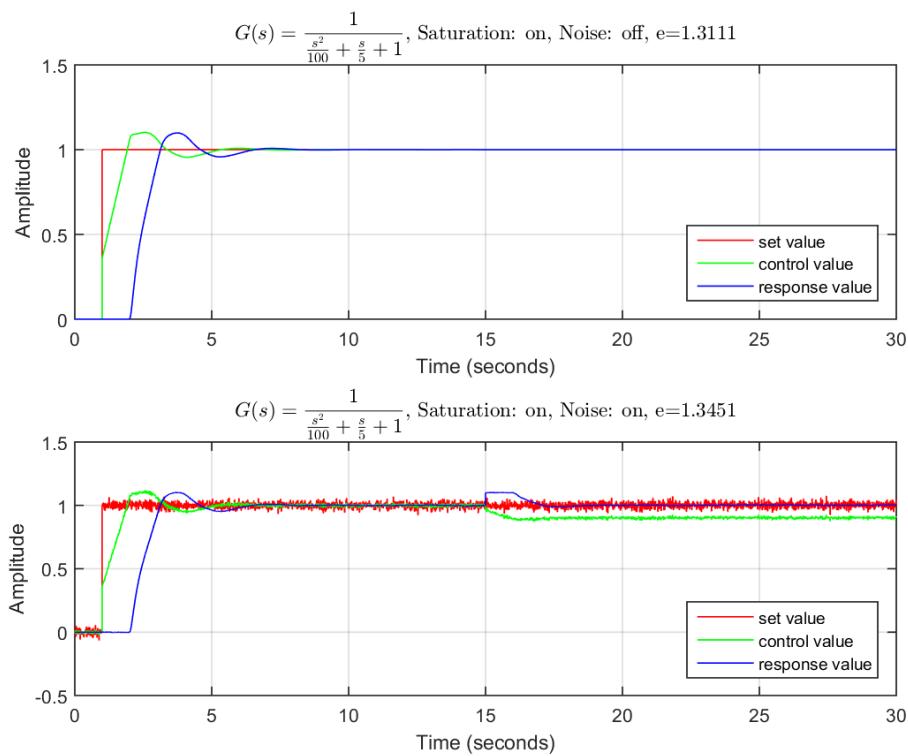
Rysunek 2.3.48: Obiekt G2-tf3a



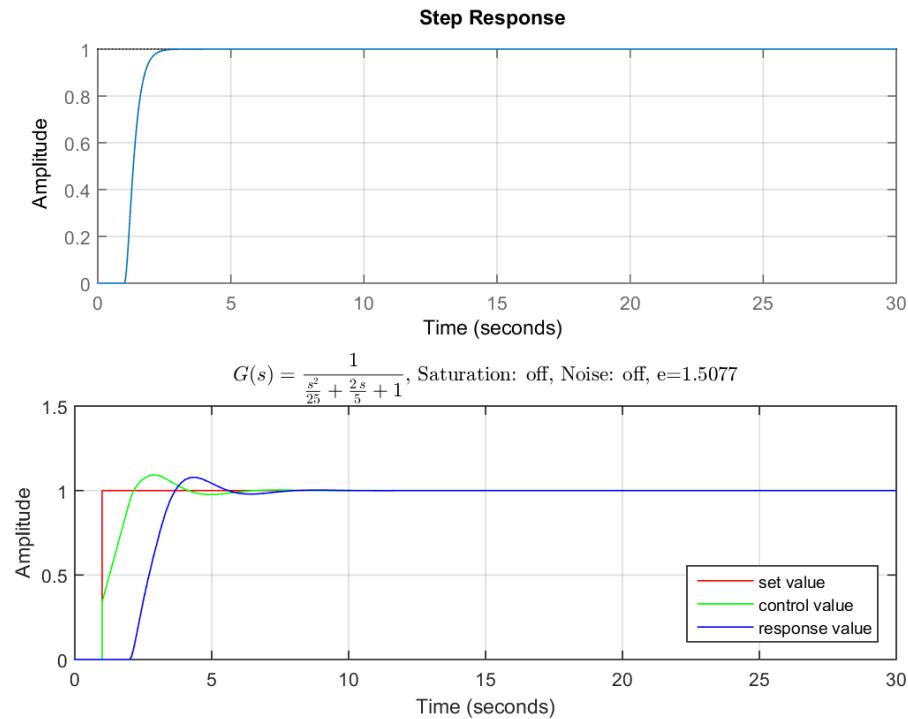
Rysunek 2.3.49: Obiekt G2-tf3b



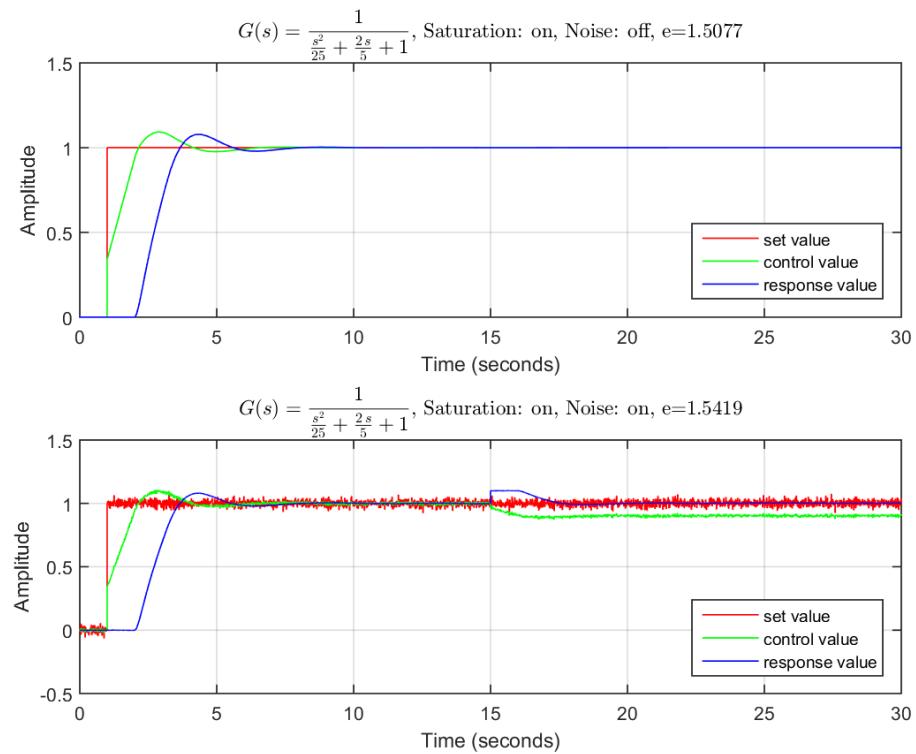
Rysunek 2.3.50: Obiekt G2-tf4a



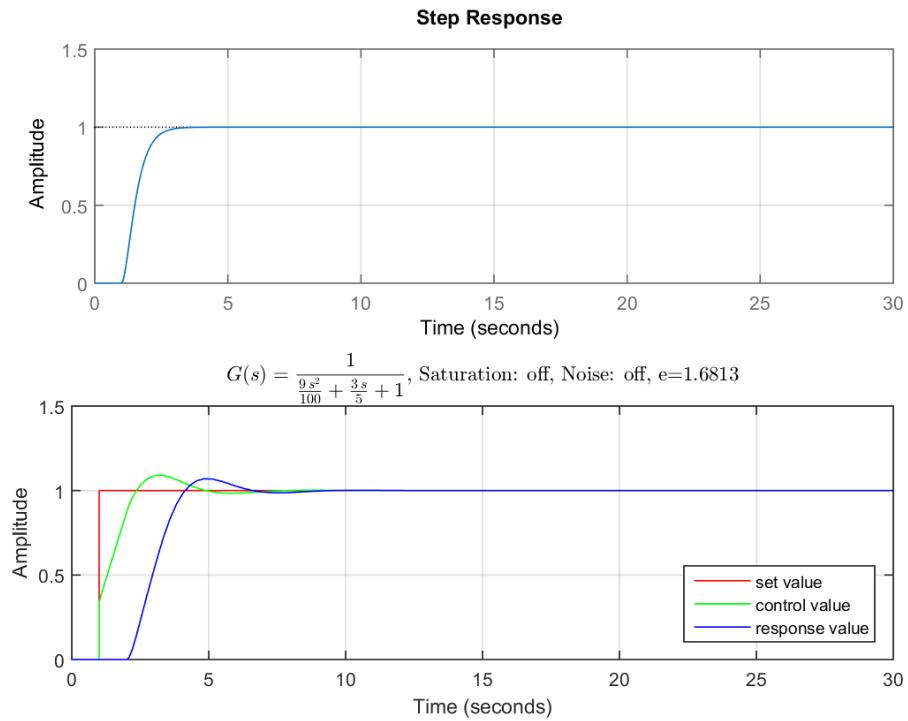
Rysunek 2.3.51: Obiekt G2-tf4b



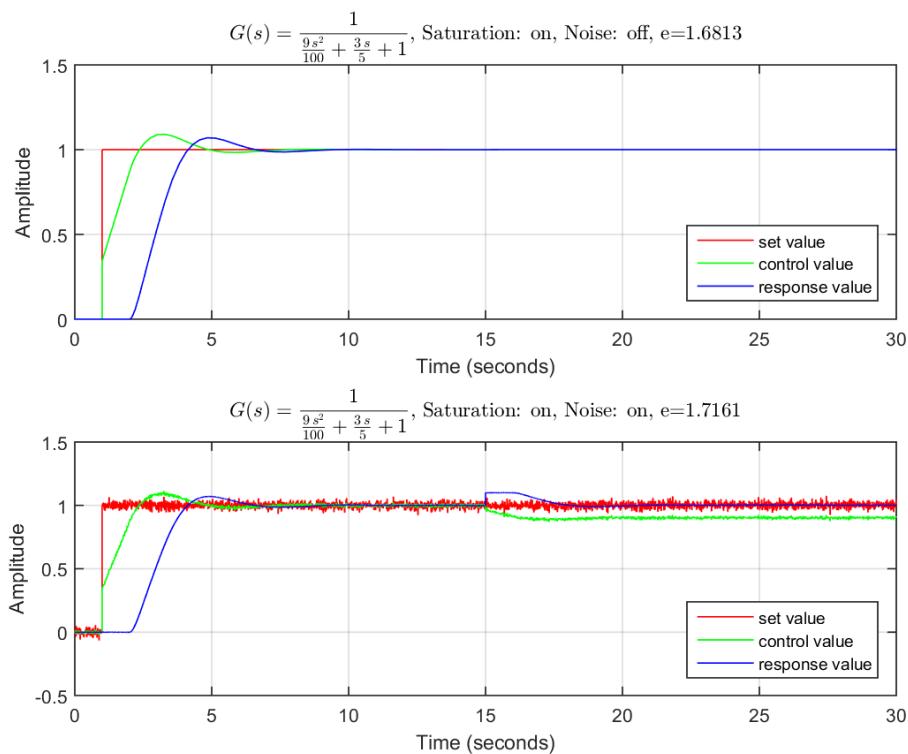
Rysunek 2.3.52: Obiekt G2-tf5a



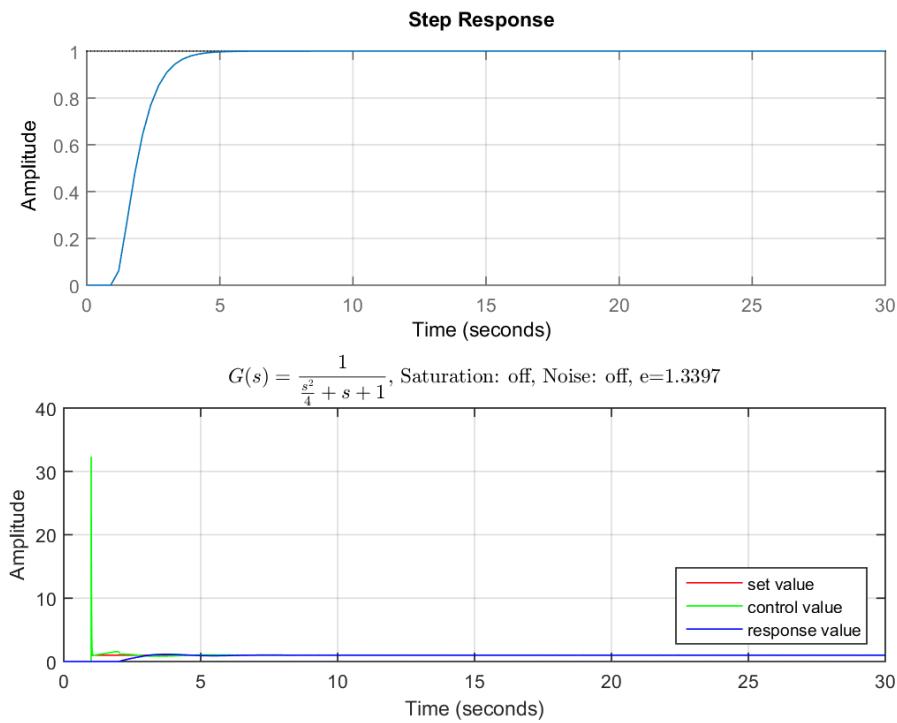
Rysunek 2.3.53: Obiekt G2-tf5b



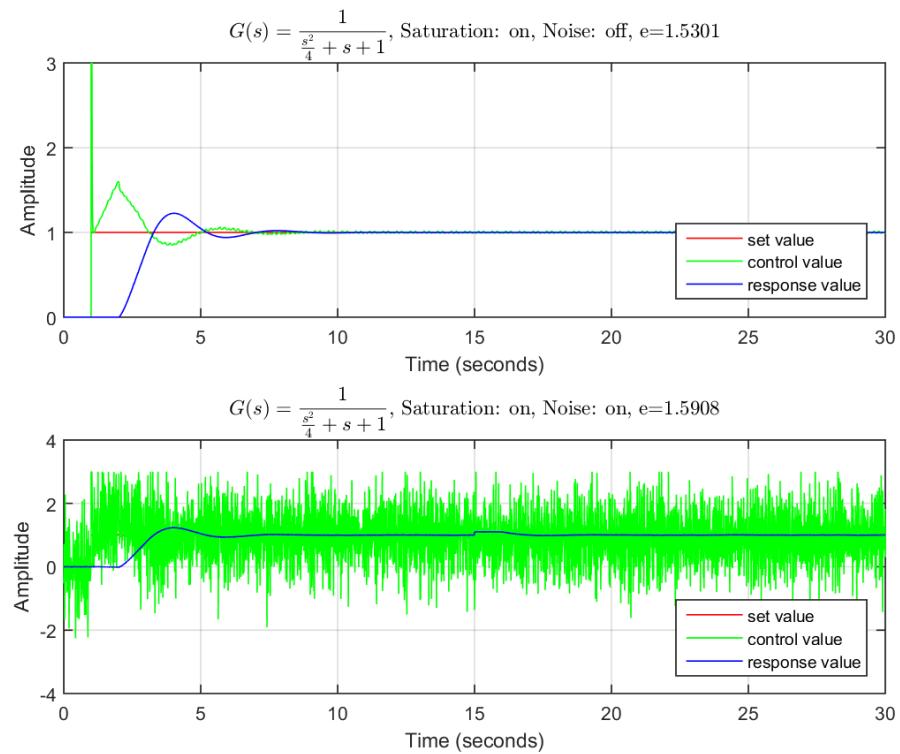
Rysunek 2.3.54: Obiekt G2-tf6a



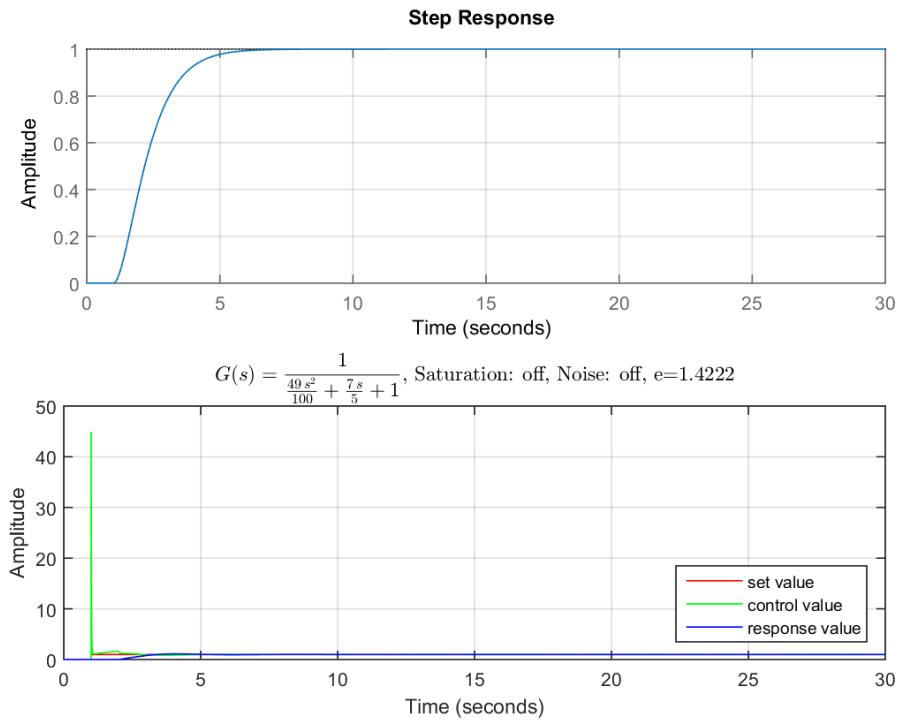
Rysunek 2.3.55: Obiekt G2-tf6b



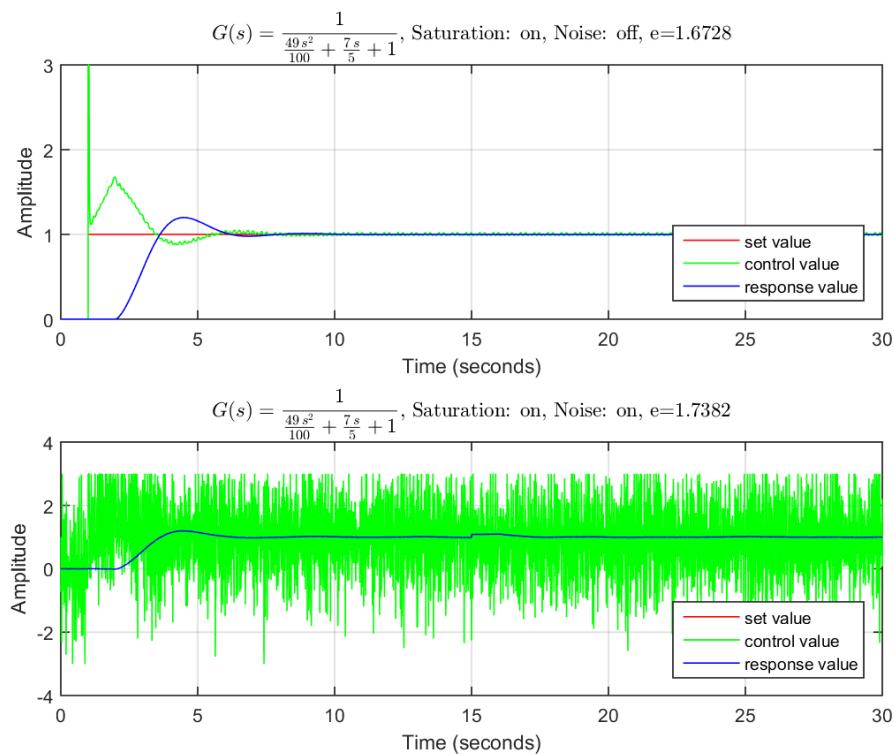
Rysunek 2.3.56: Obiekt G2-tf7a



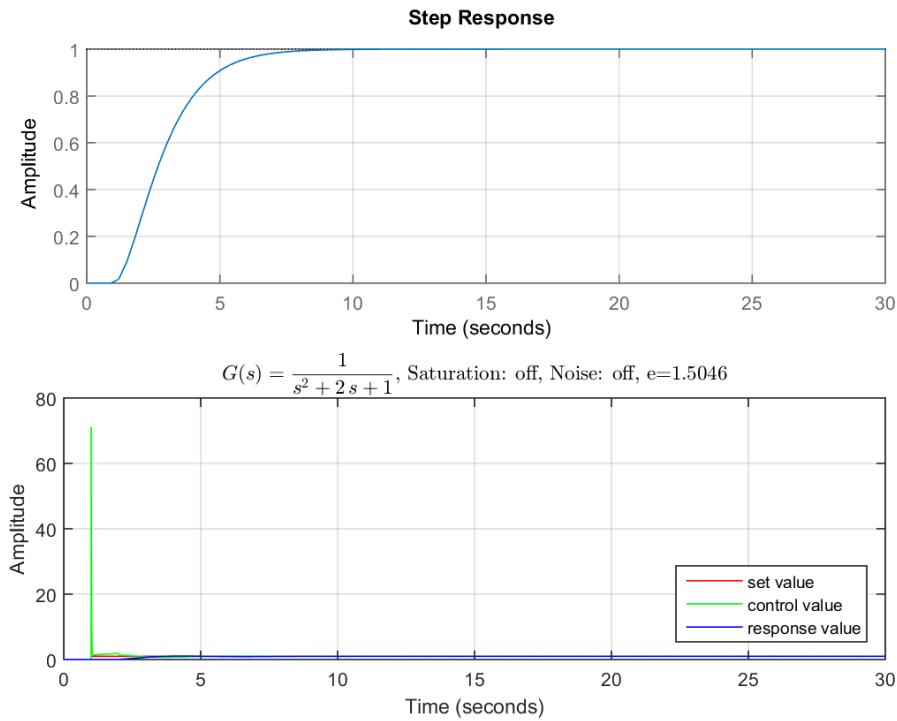
Rysunek 2.3.57: Obiekt G2-tf7b



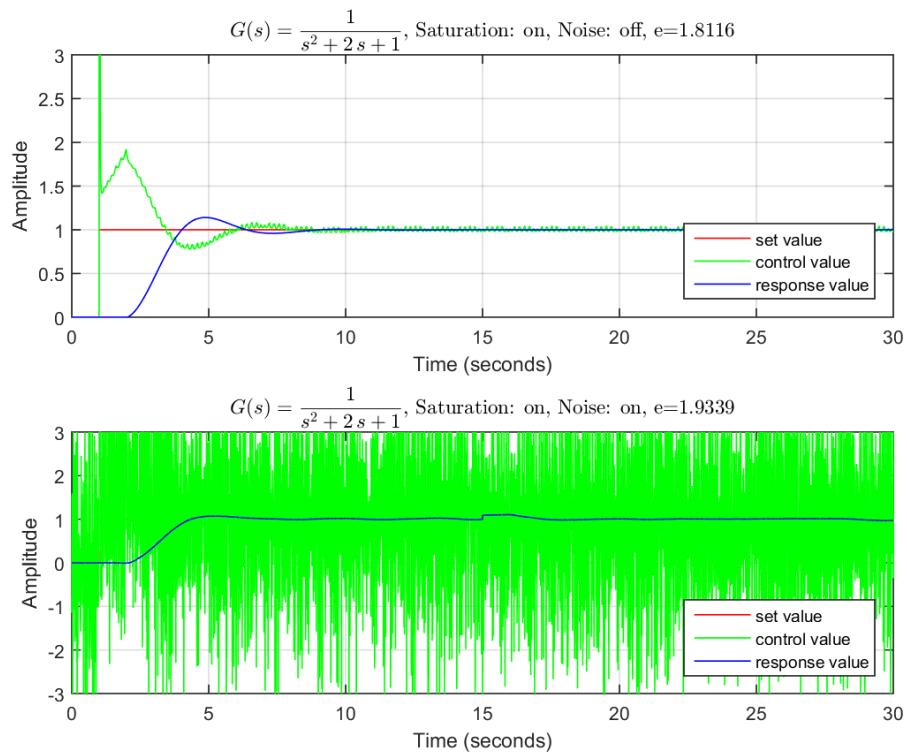
Rysunek 2.3.58: Obiekt G2-tf8a



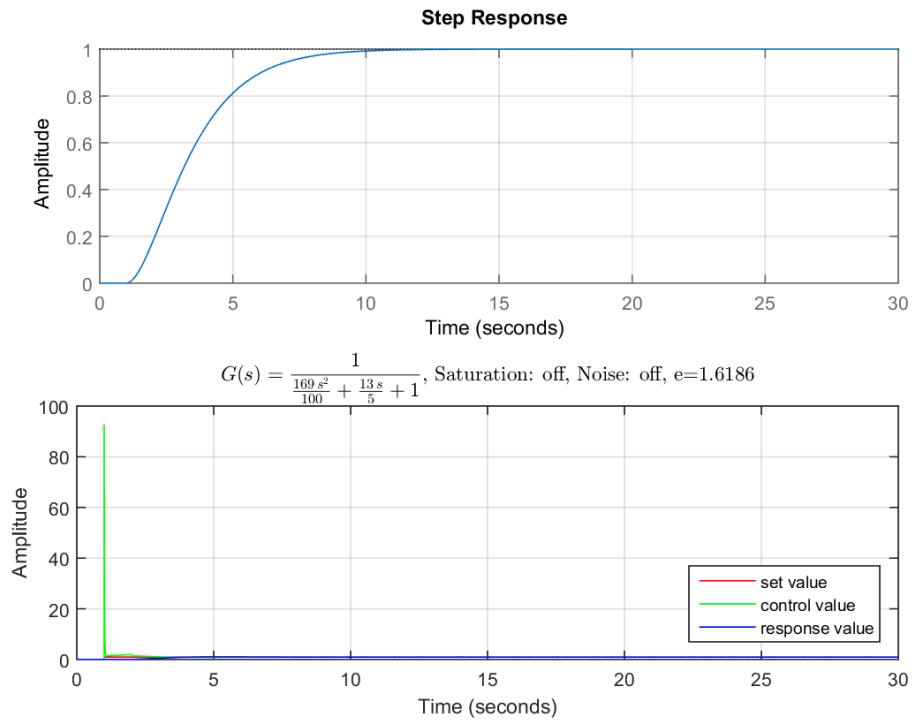
Rysunek 2.3.59: Obiekt G2-tf8b



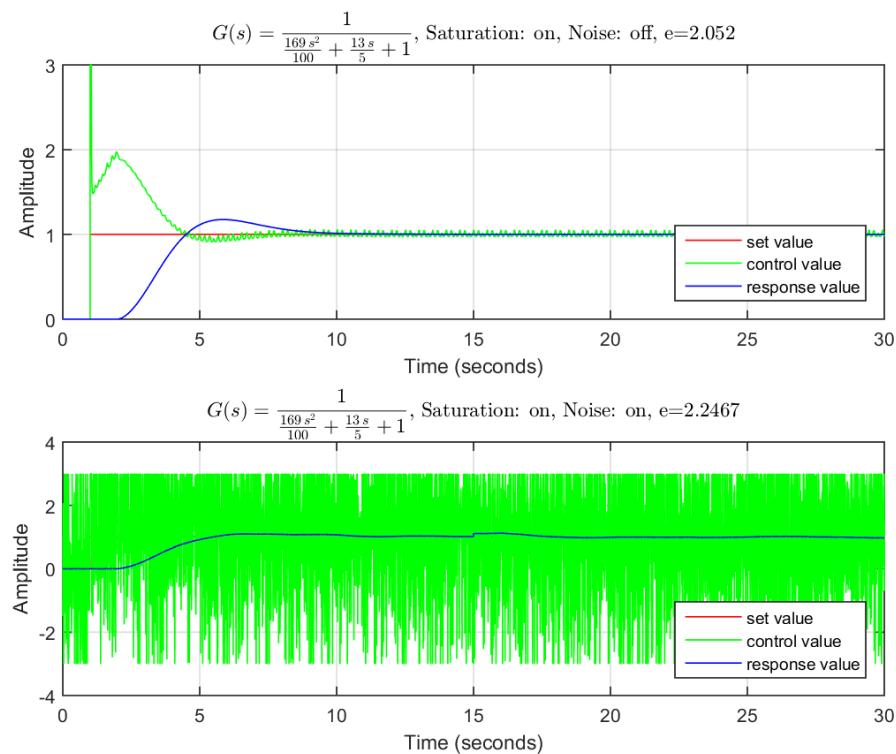
Rysunek 2.3.60: Obiekt G2-tf9a



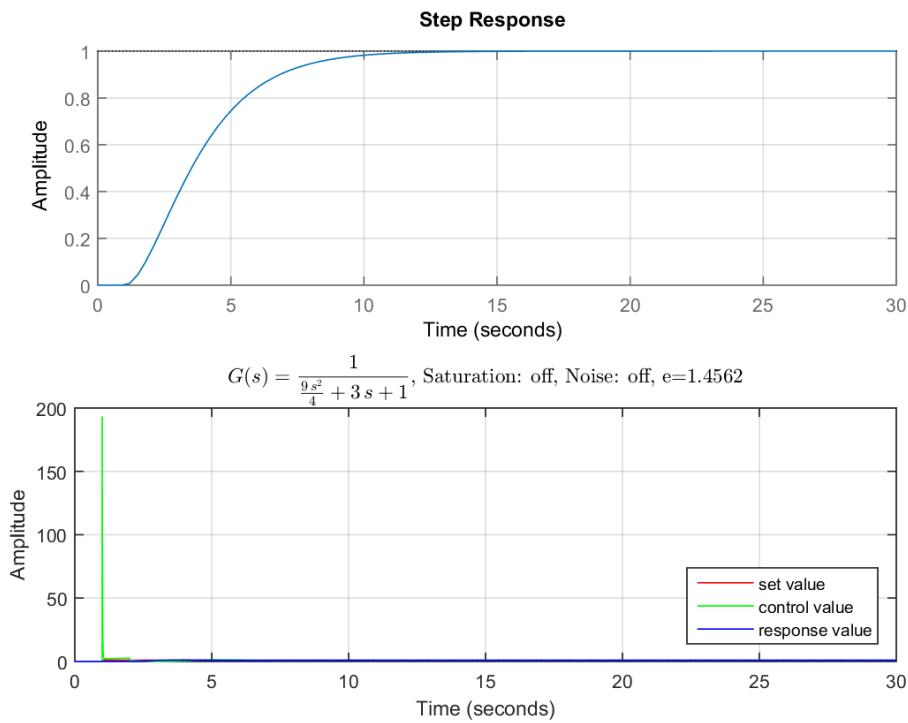
Rysunek 2.3.61: Obiekt G2-tf9b



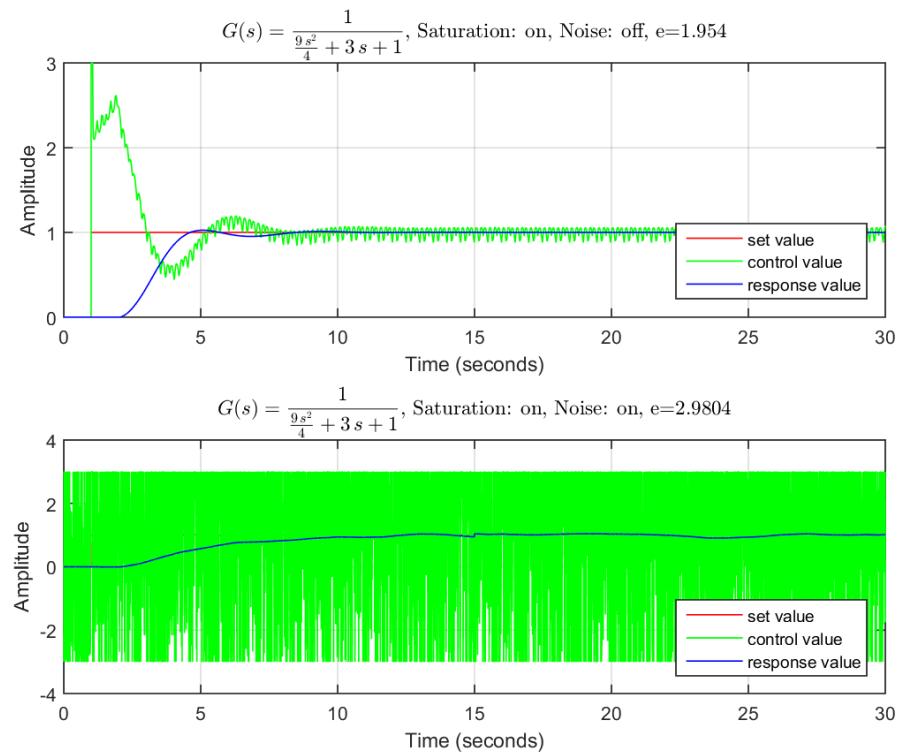
Rysunek 2.3.62: Obiekt G2-tf10a



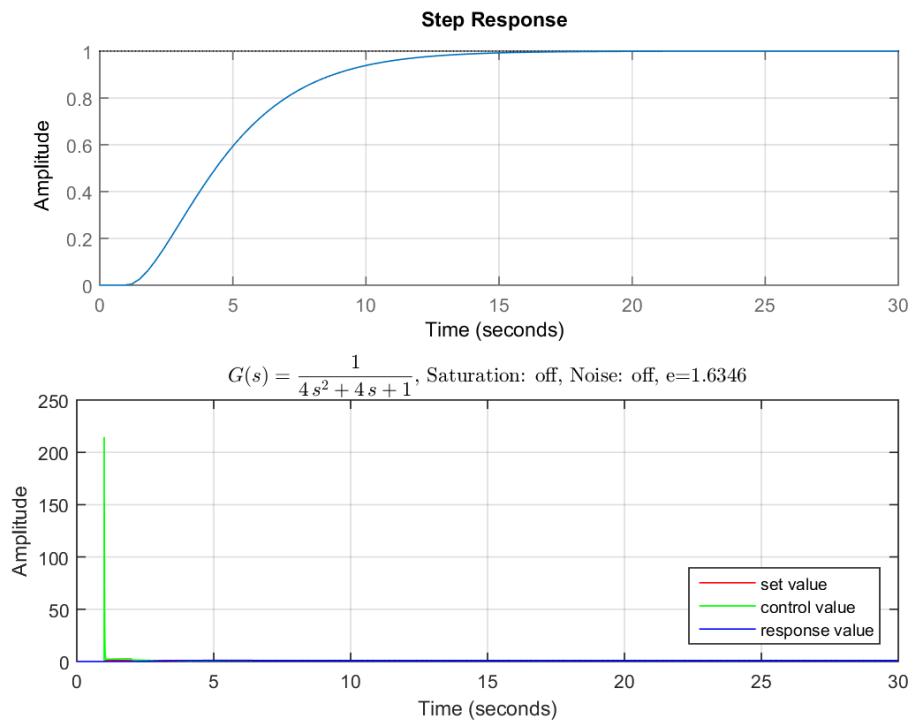
Rysunek 2.3.63: Obiekt G2-tf10b



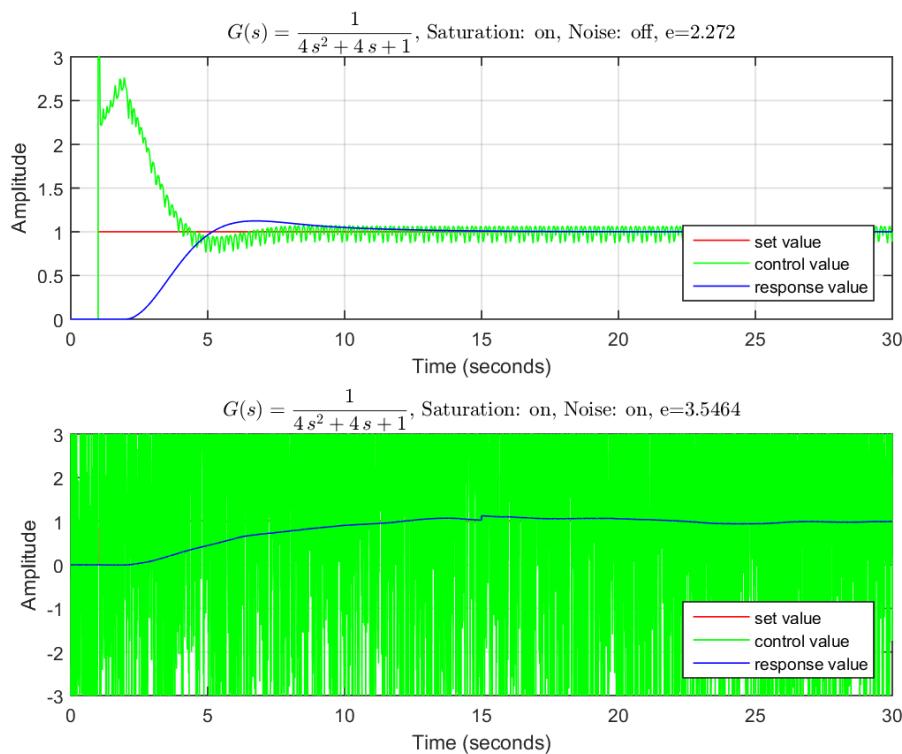
Rysunek 2.3.64: Obiekt G2-tf11a



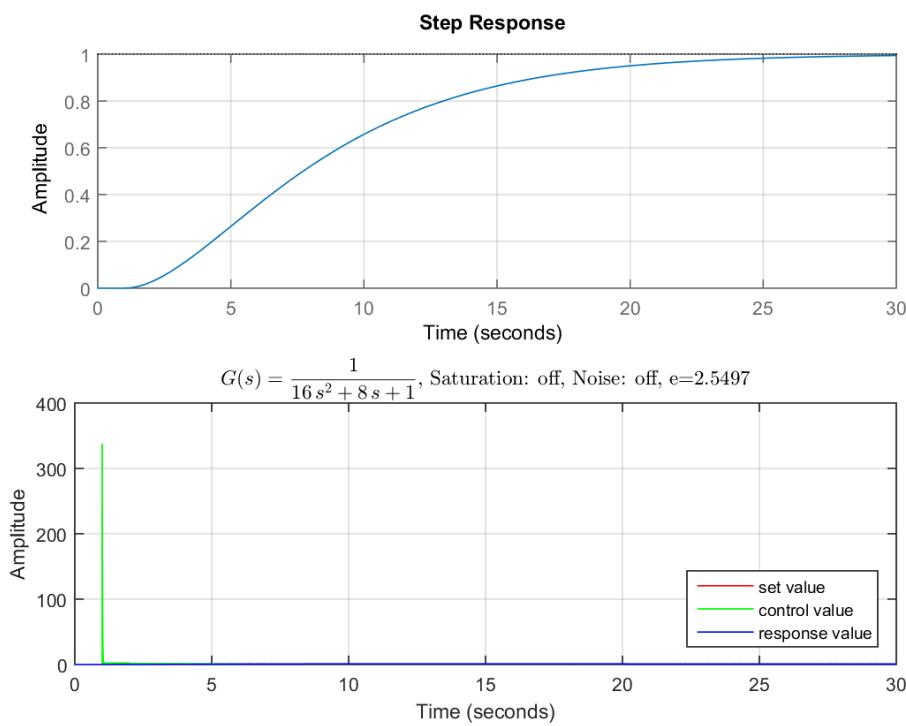
Rysunek 2.3.65: Obiekt G2-tf11b



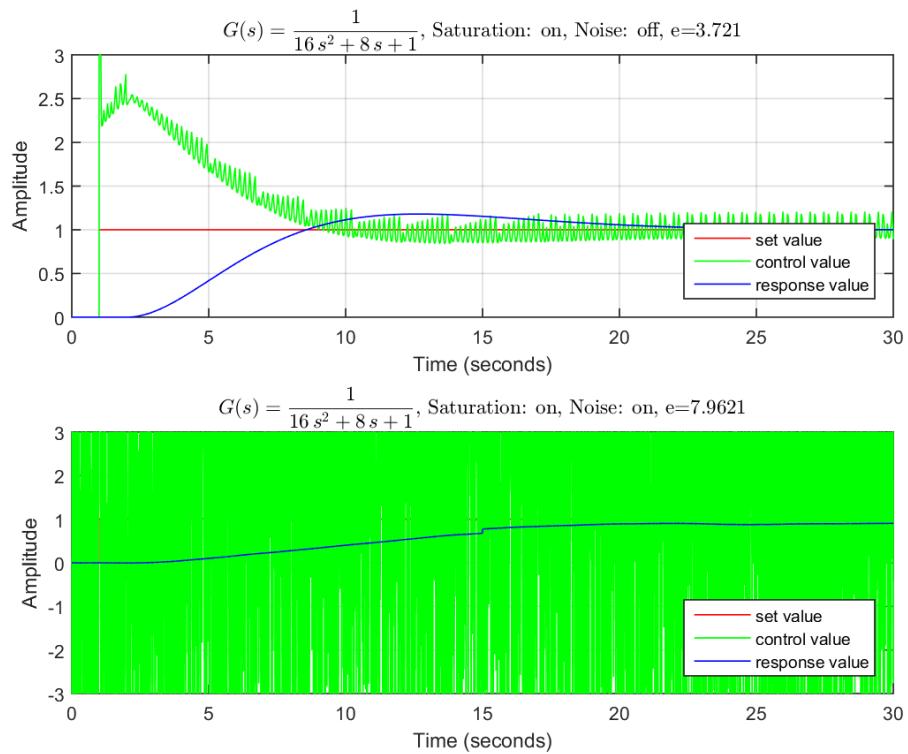
Rysunek 2.3.66: Obiekt G2-tf12a



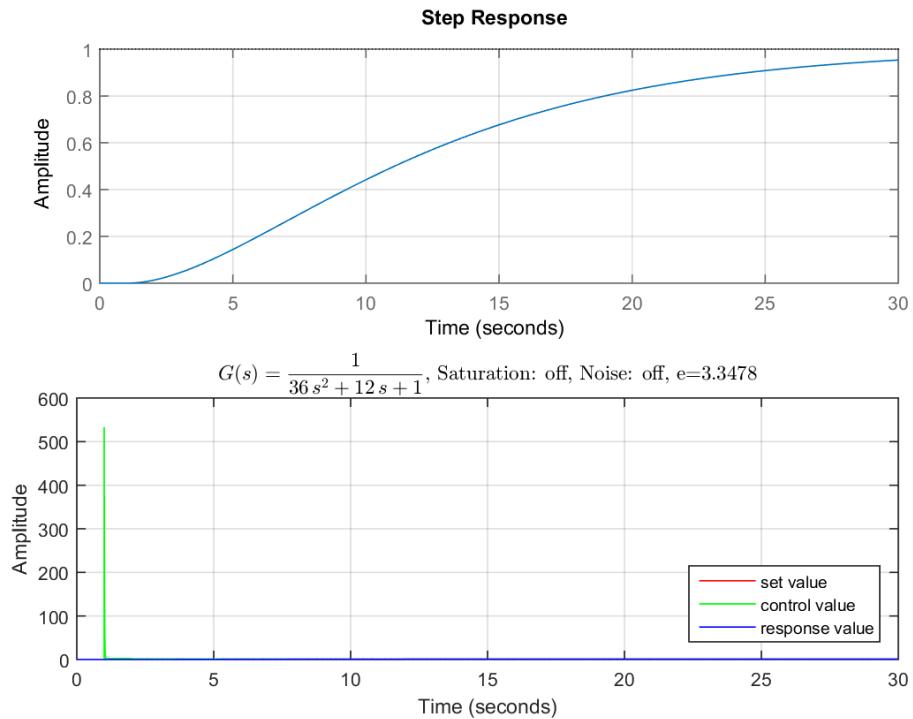
Rysunek 2.3.67: Obiekt G2-tf12b



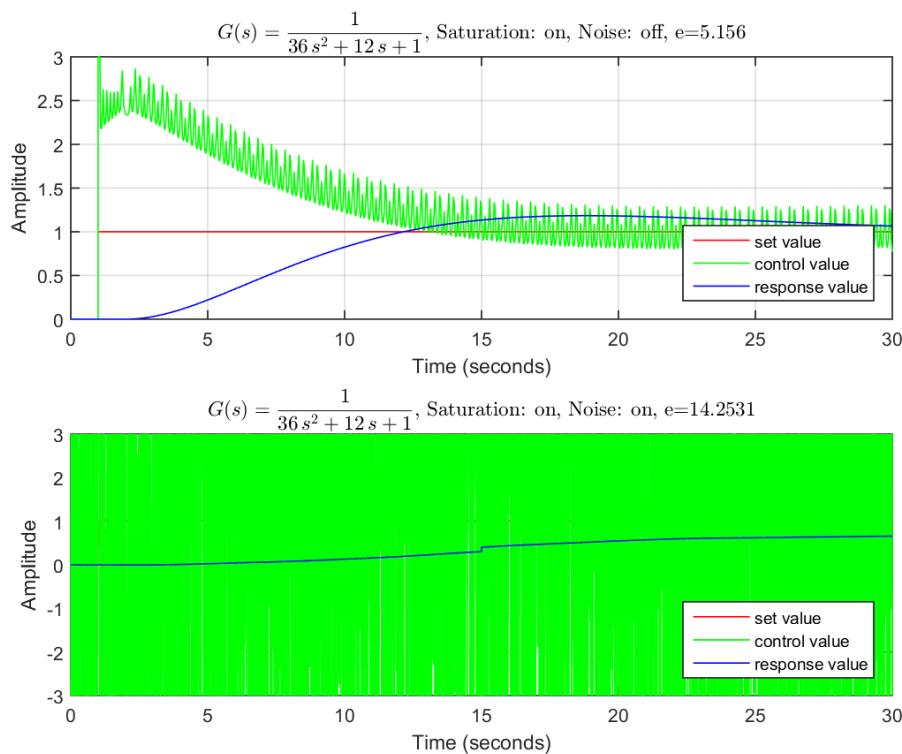
Rysunek 2.3.68: Obiekt G2-tf13a



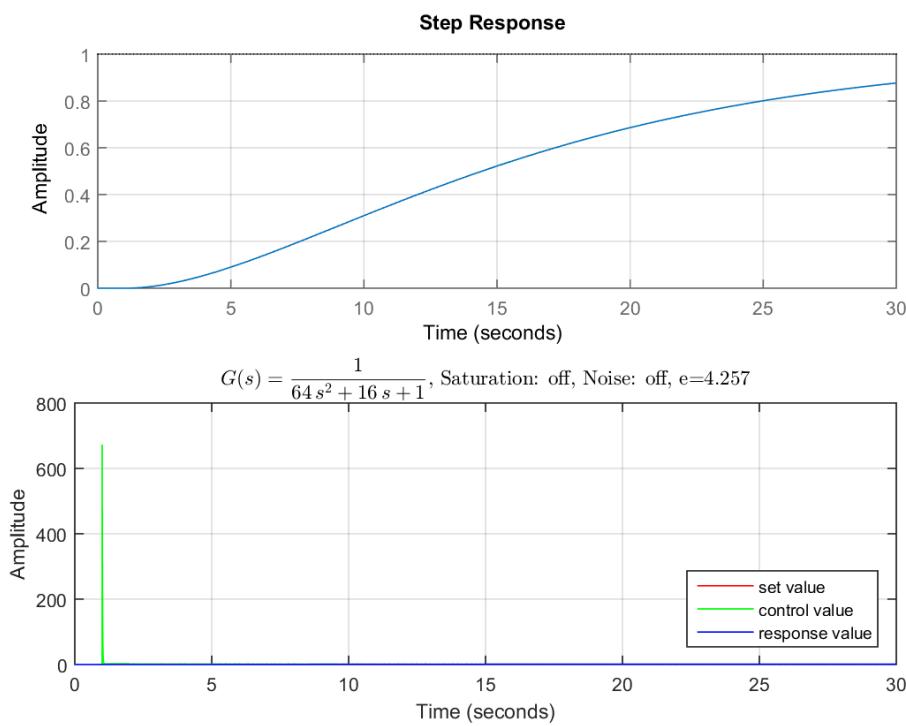
Rysunek 2.3.69: Obiekt G2-tf13b



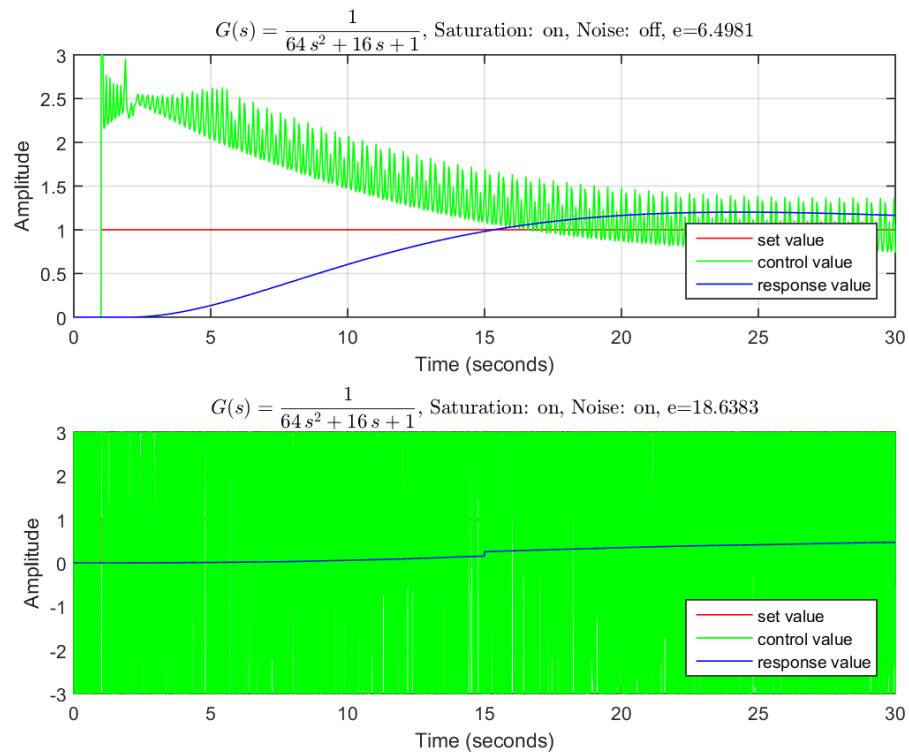
Rysunek 2.3.70: Obiekt G2-tf14a



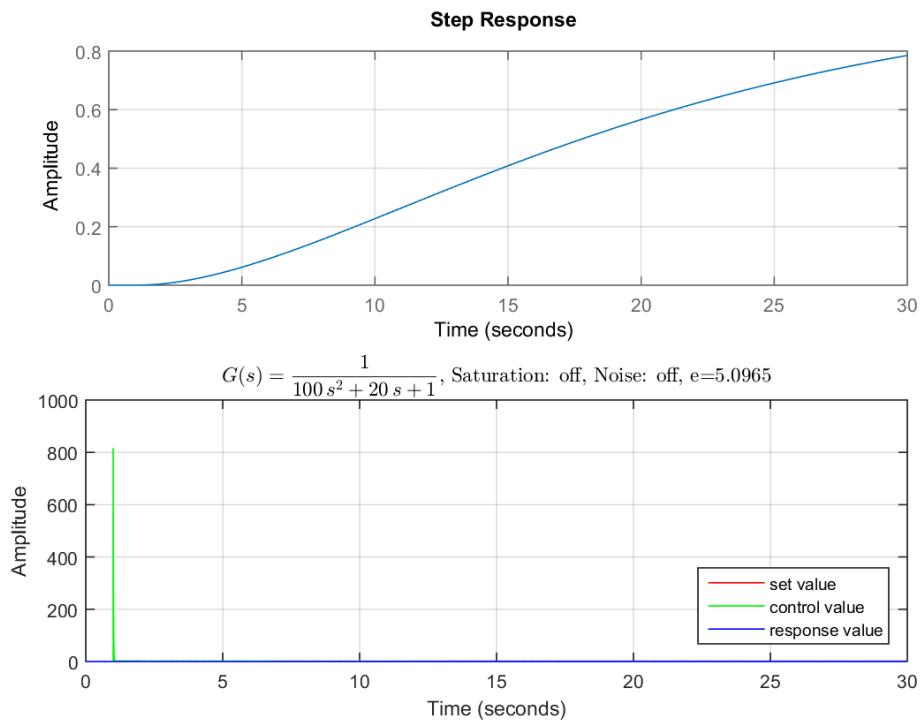
Rysunek 2.3.71: Obiekt G2-tf14b



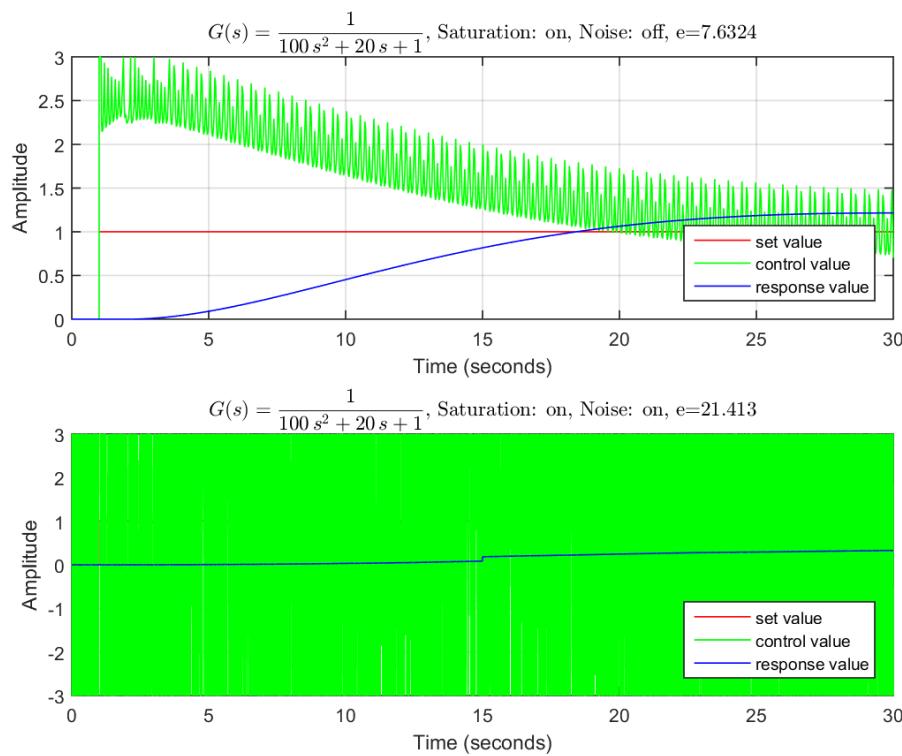
Rysunek 2.3.72: Obiekt G2-tf15a



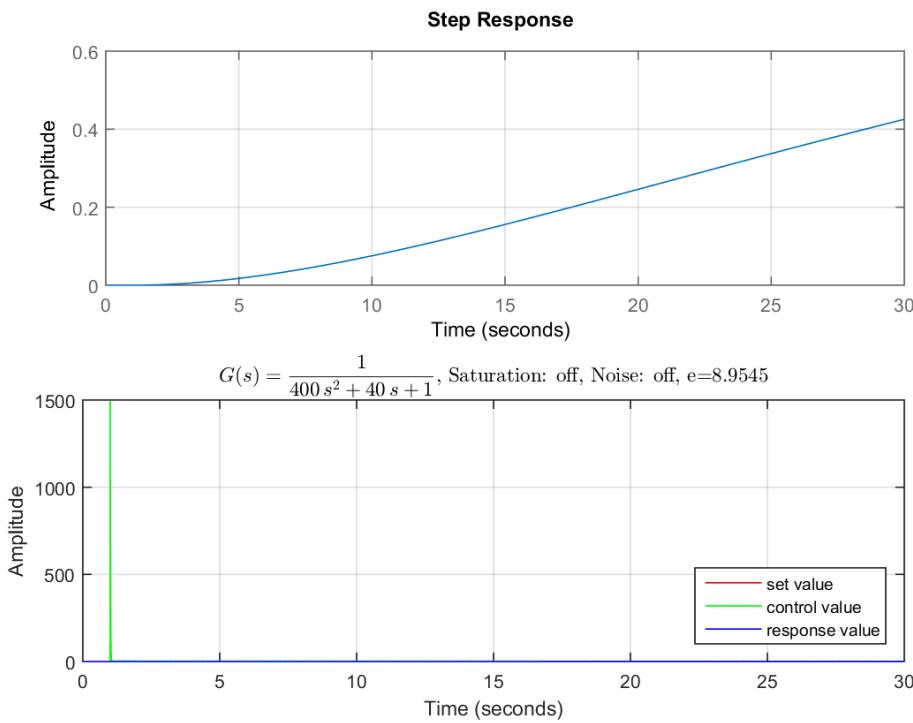
Rysunek 2.3.73: Obiekt G2-tf15b



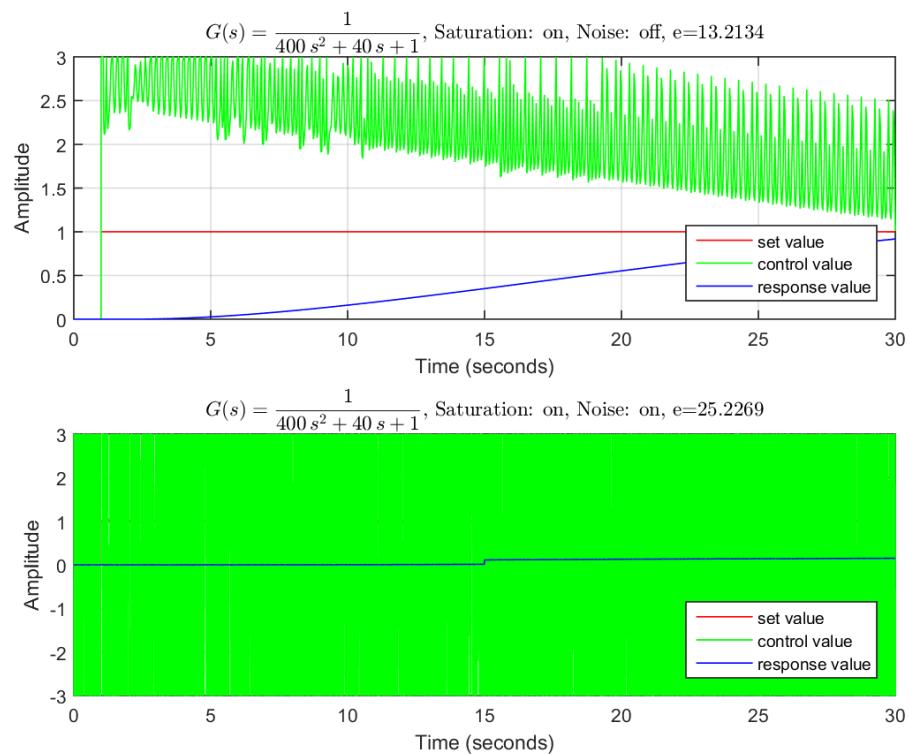
Rysunek 2.3.74: Obiekt G2-tf16a



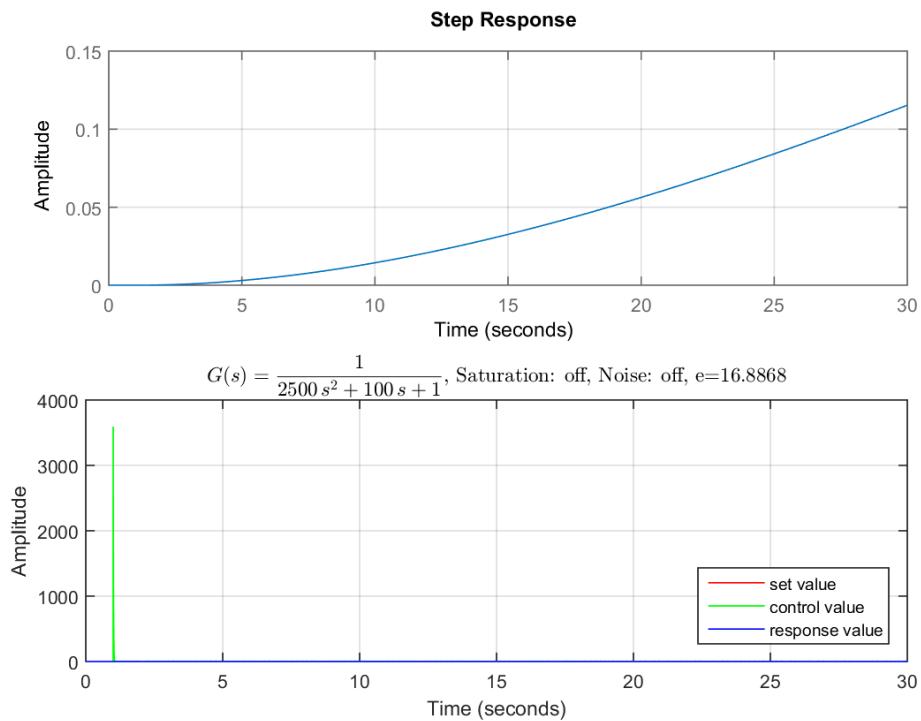
Rysunek 2.3.75: Obiekt G2-tf16b



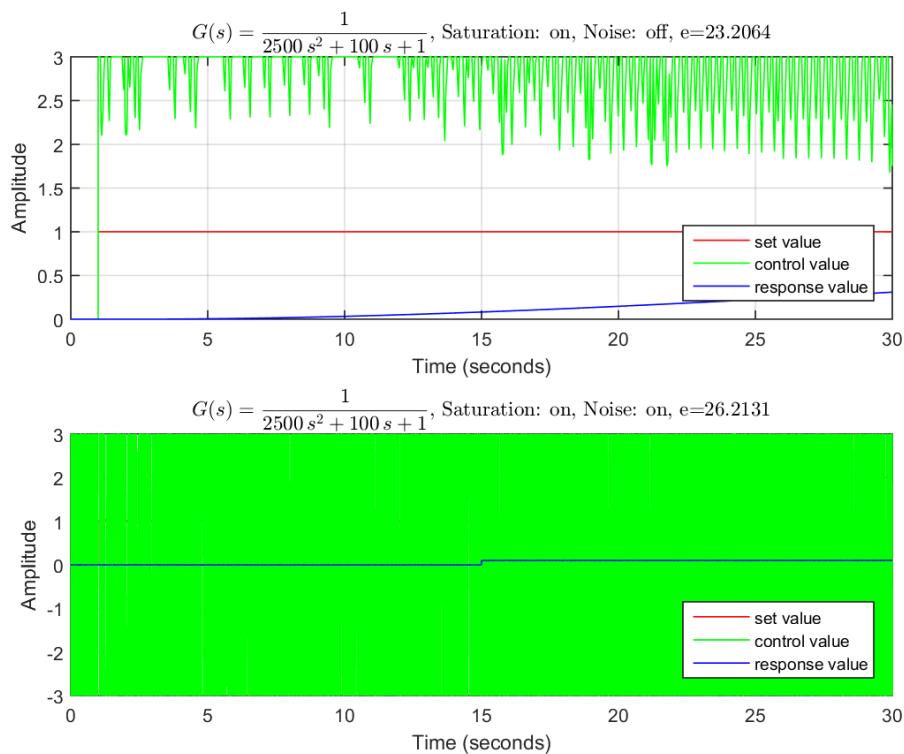
Rysunek 2.3.76: Obiekt G2-tf17a



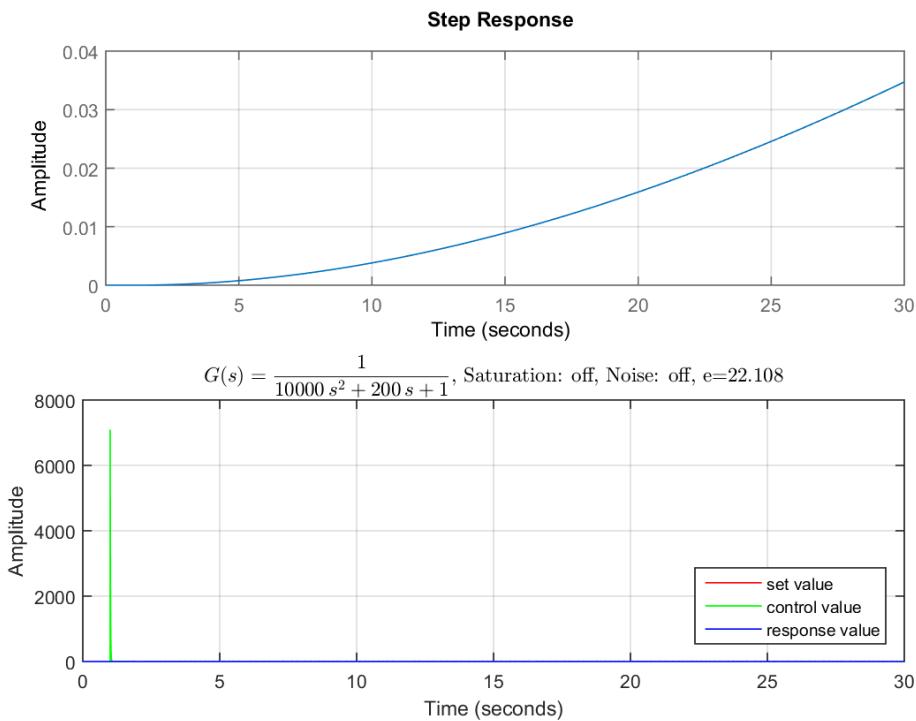
Rysunek 2.3.77: Obiekt G2-tf17b



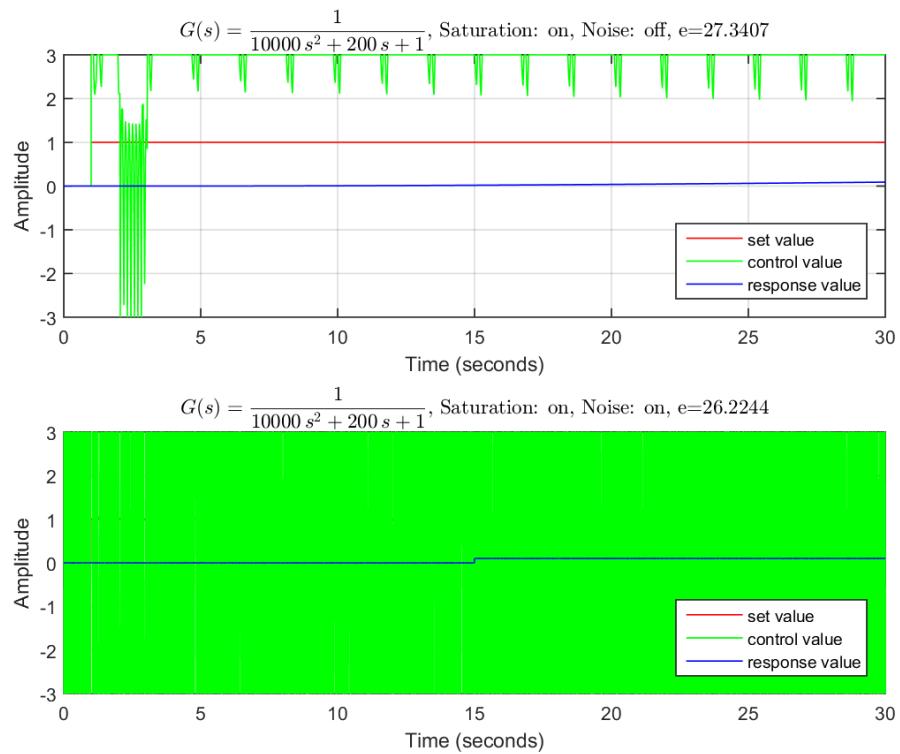
Rysunek 2.3.78: Obiekt G2-tf18a



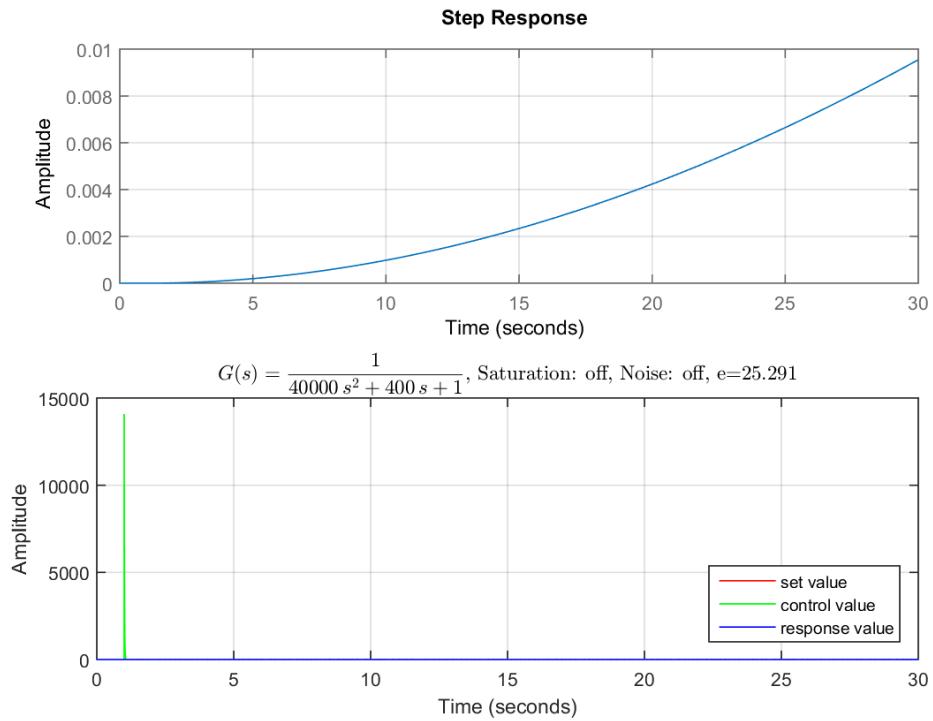
Rysunek 2.3.79: Obiekt G2-tf18b



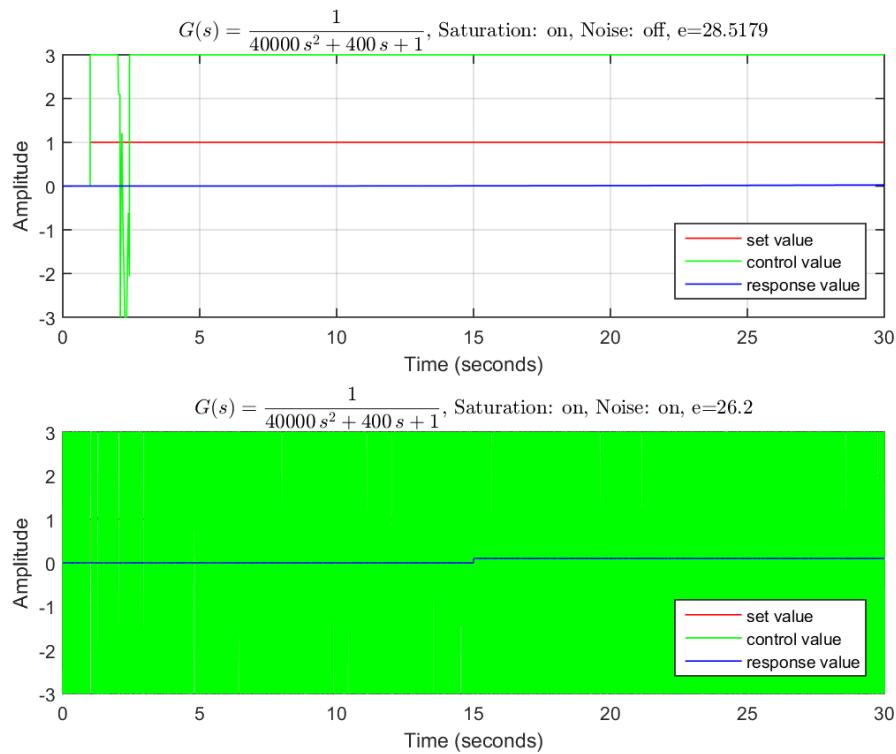
Rysunek 2.3.80: Obiekt G2-tf19a



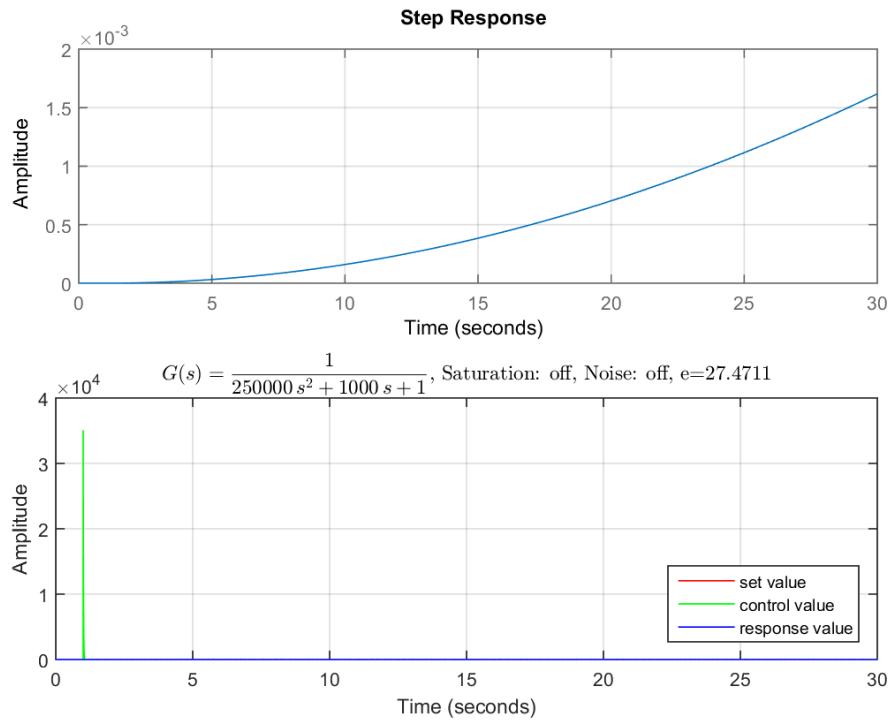
Rysunek 2.3.81: Obiekt G2-tf19b



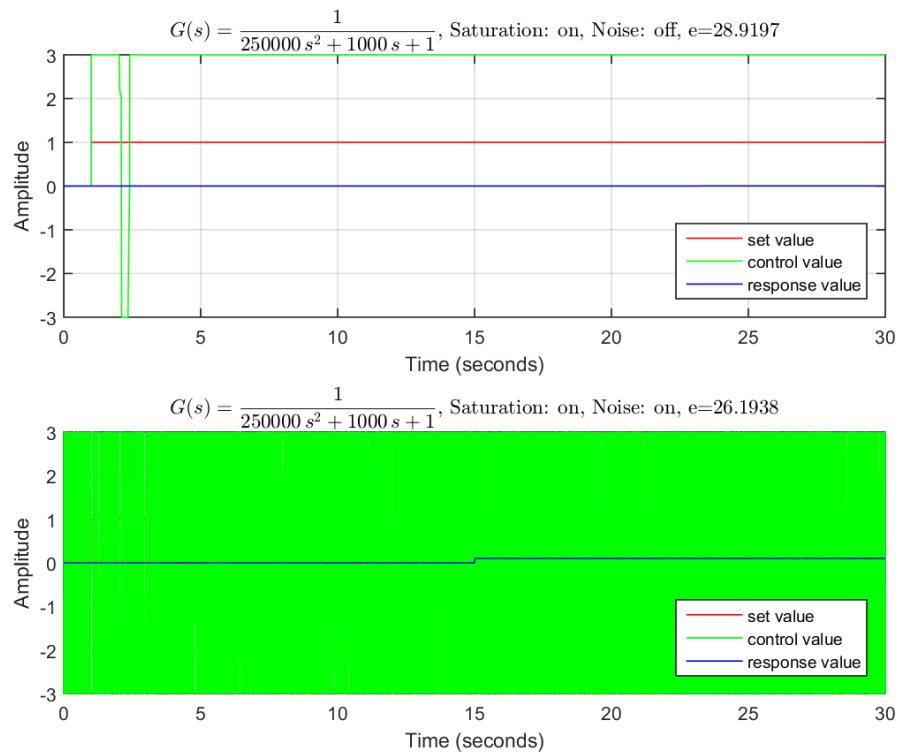
Rysunek 2.3.82: Obiekt G2-tf20a



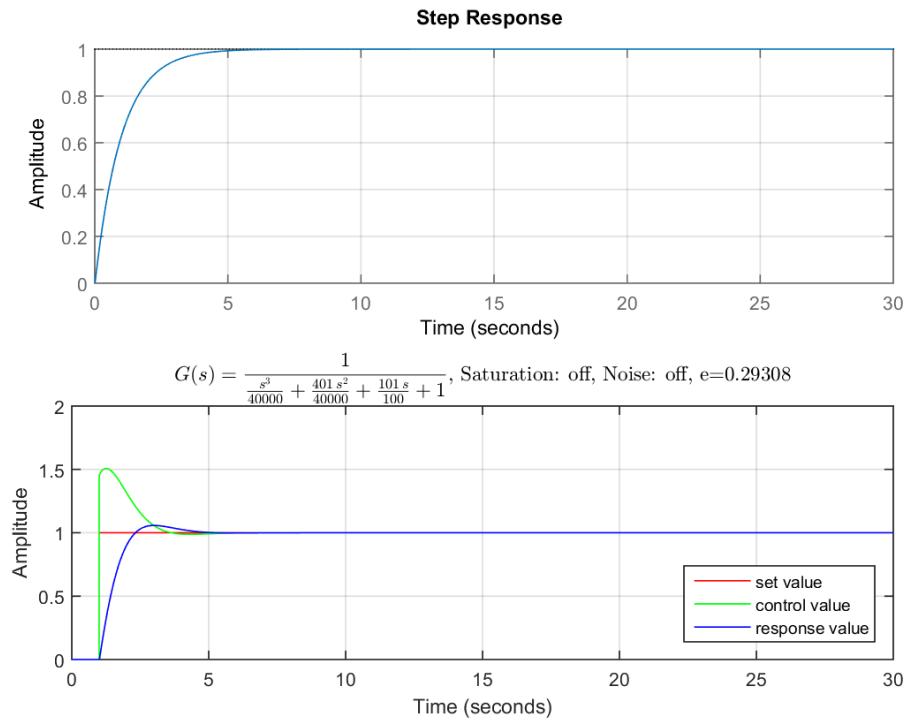
Rysunek 2.3.83: Obiekt G2-tf20b



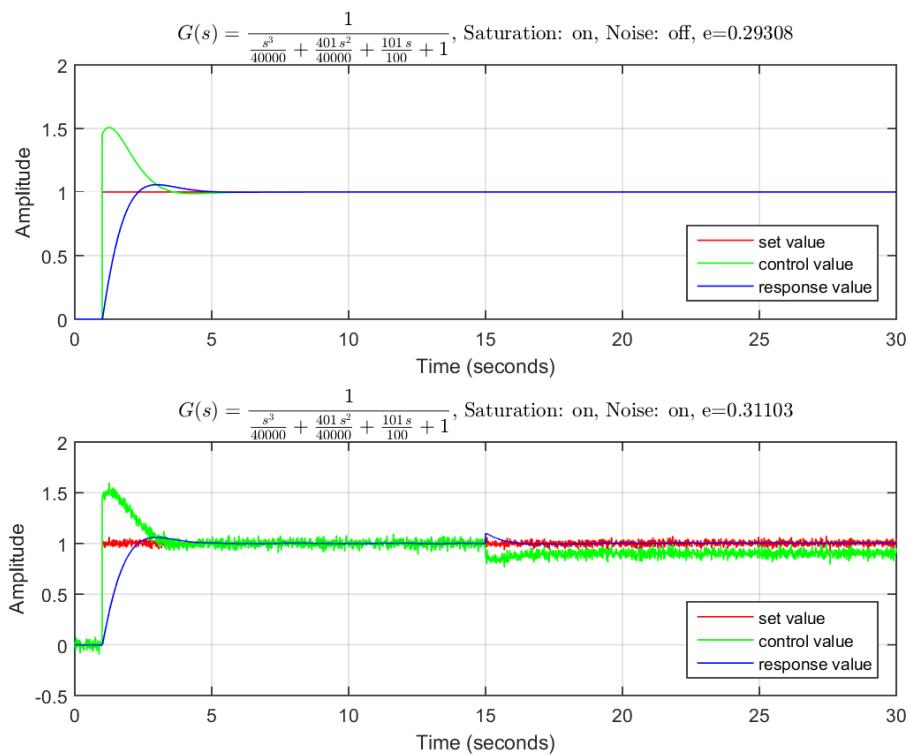
Rysunek 2.3.84: Obiekt G2-tf21a



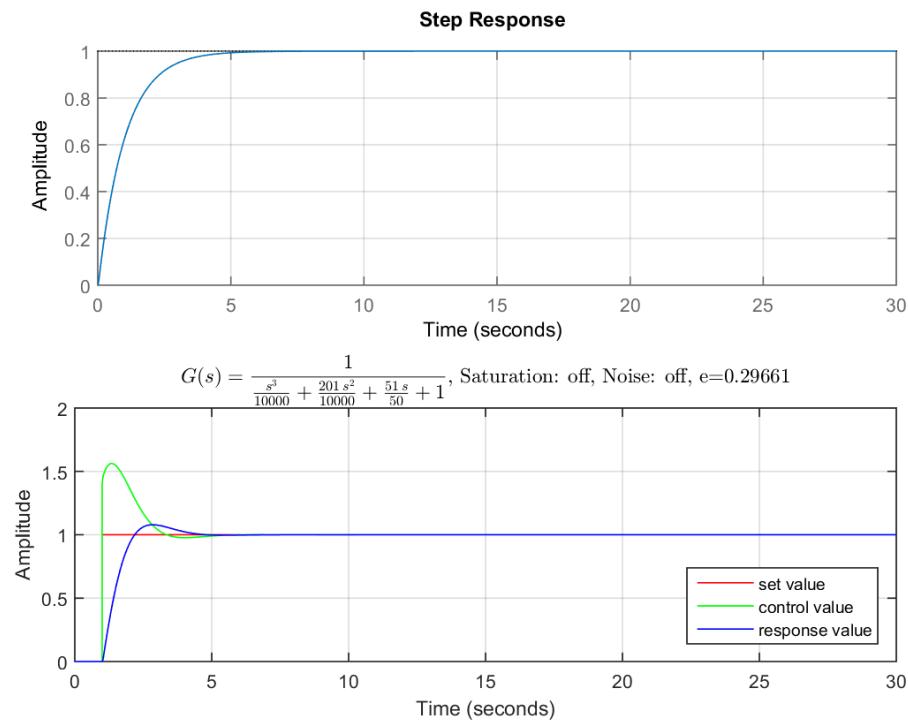
Rysunek 2.3.85: Obiekt G2-tf21b



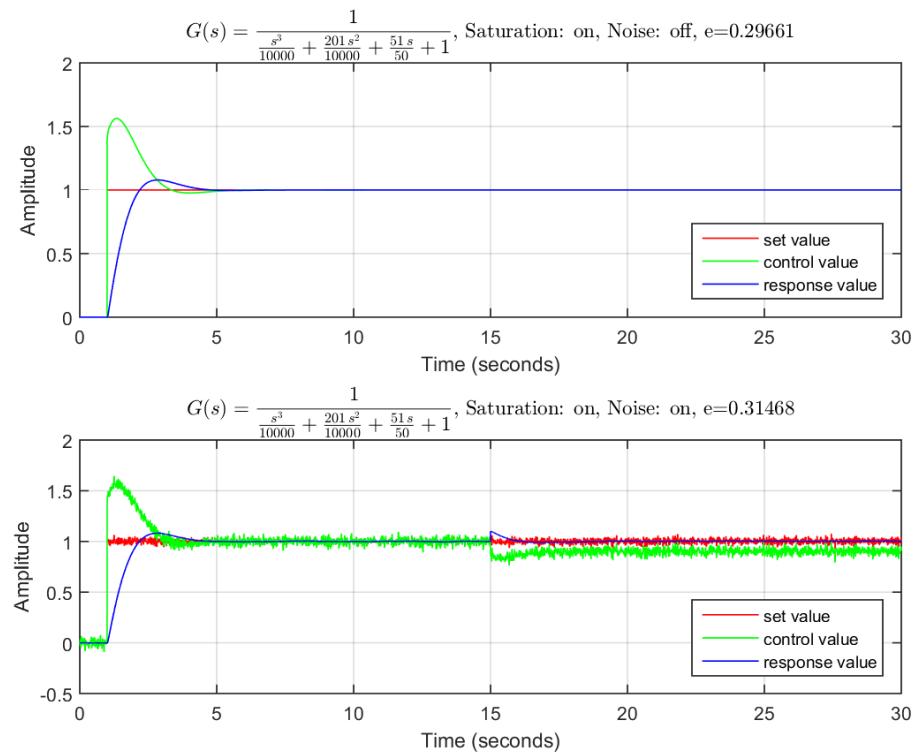
Rysunek 2.3.86: Obiekt G3-tf1a



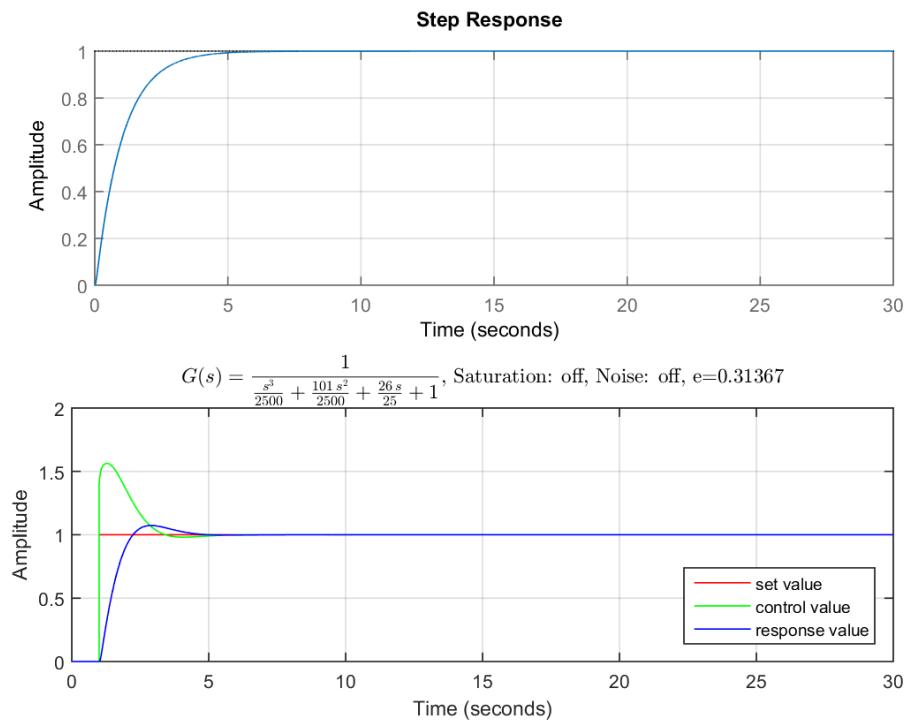
Rysunek 2.3.87: Obiekt G3-tf1b



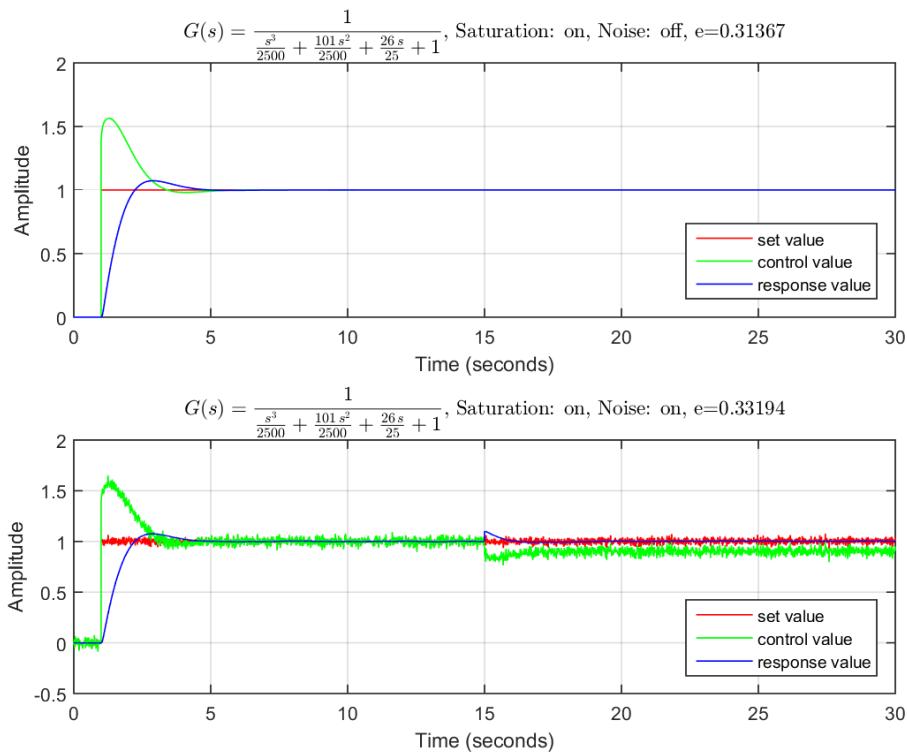
Rysunek 2.3.88: Obiekt G3-tf2a



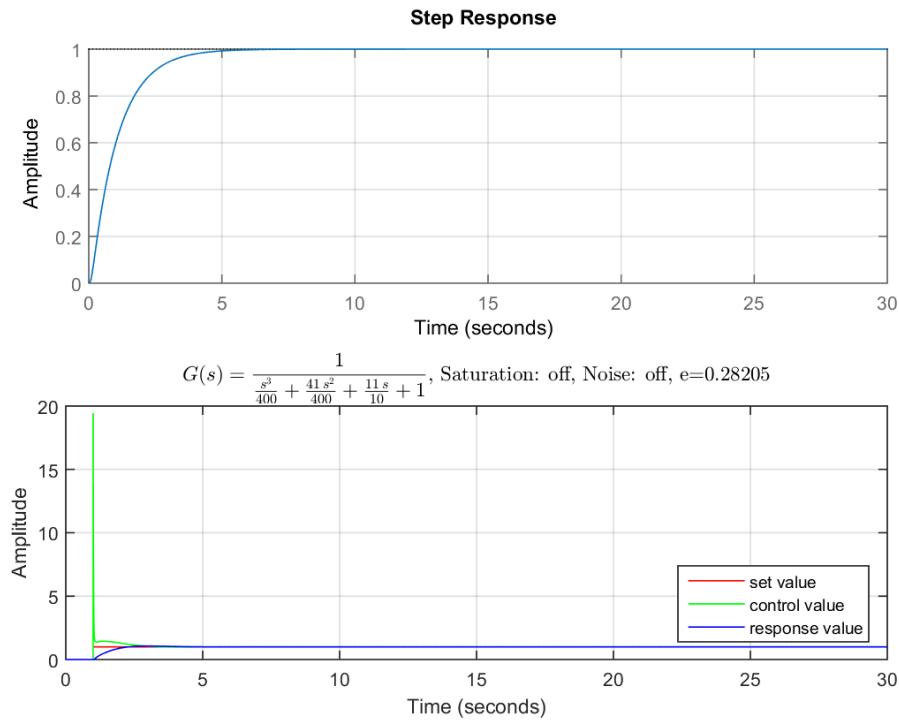
Rysunek 2.3.89: Obiekt G3-tf2b



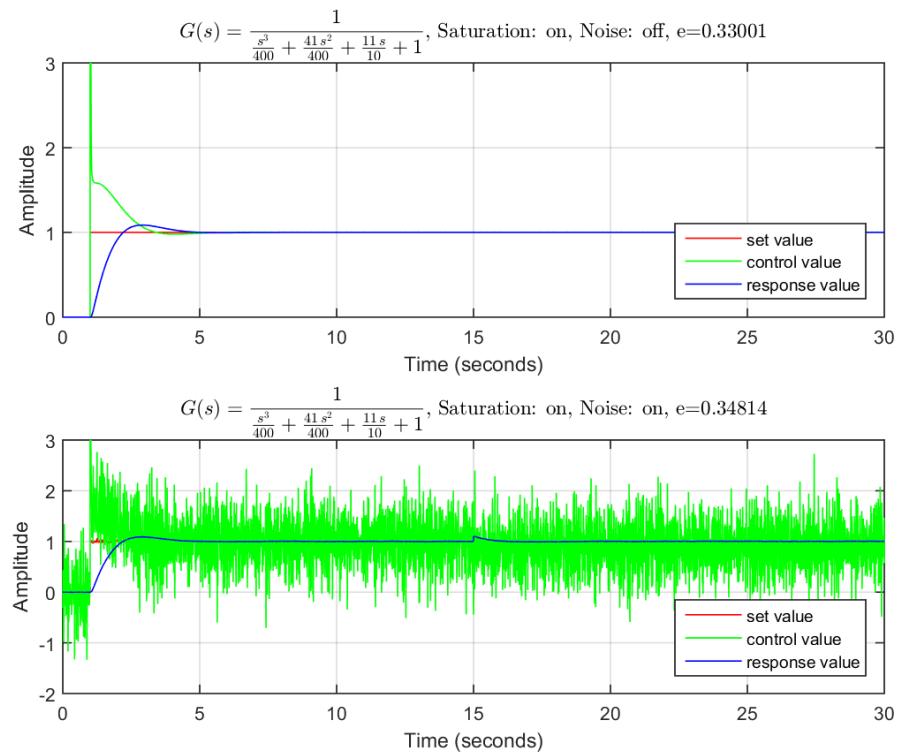
Rysunek 2.3.90: Obiekt G3-tf3a



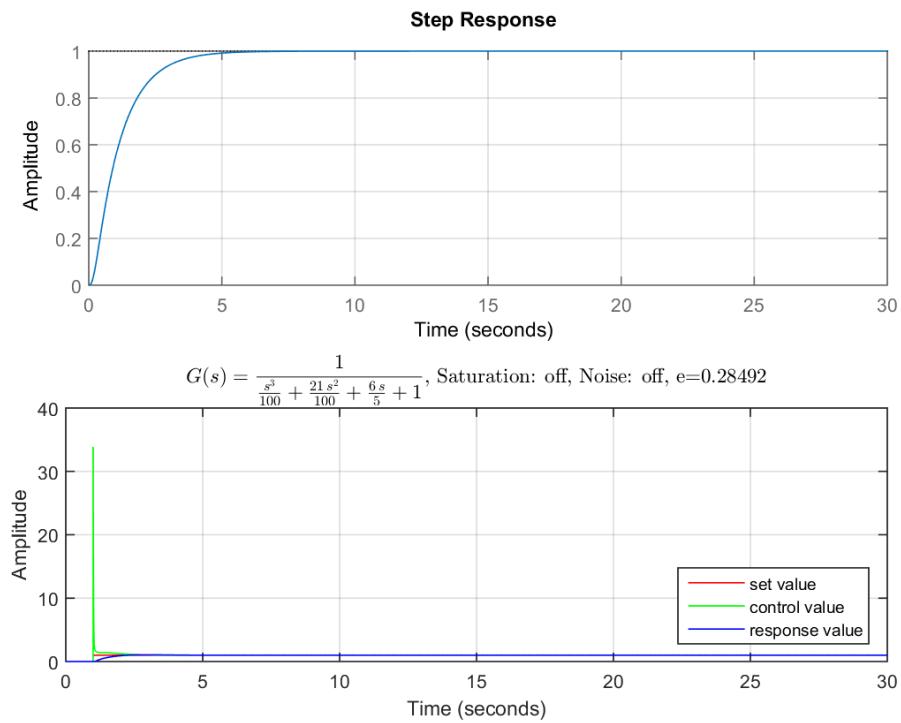
Rysunek 2.3.91: Obiekt G3-tf3b



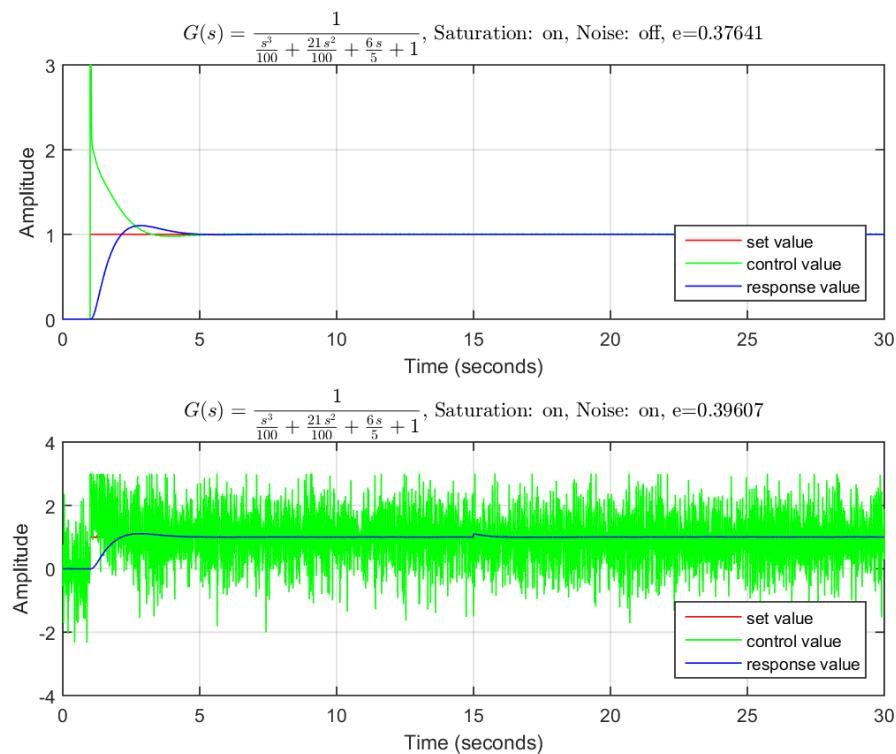
Rysunek 2.3.92: Obiekt G3-tf4a



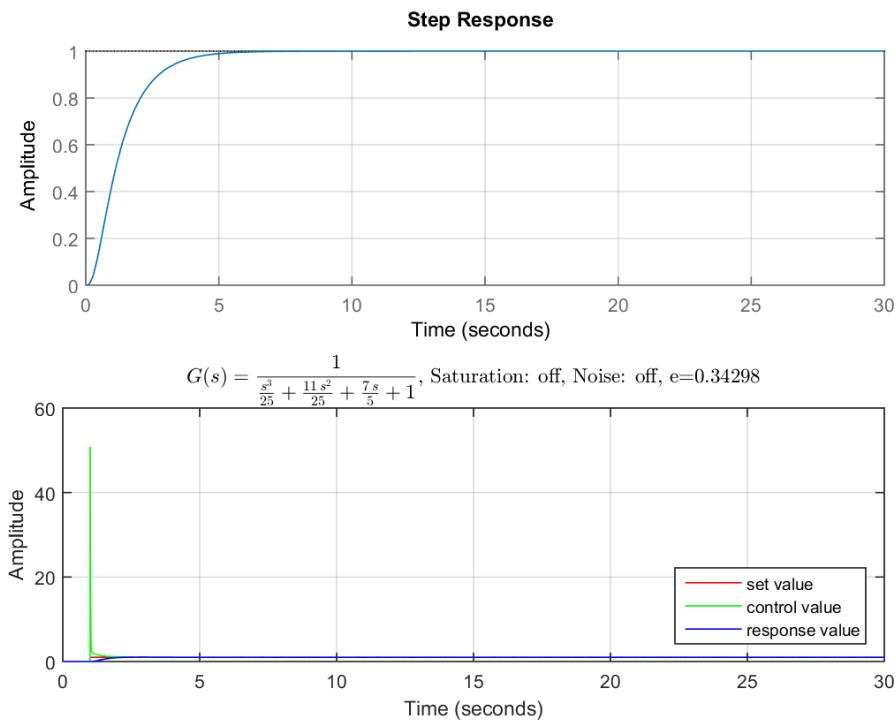
Rysunek 2.3.93: Obiekt G3-tf4b



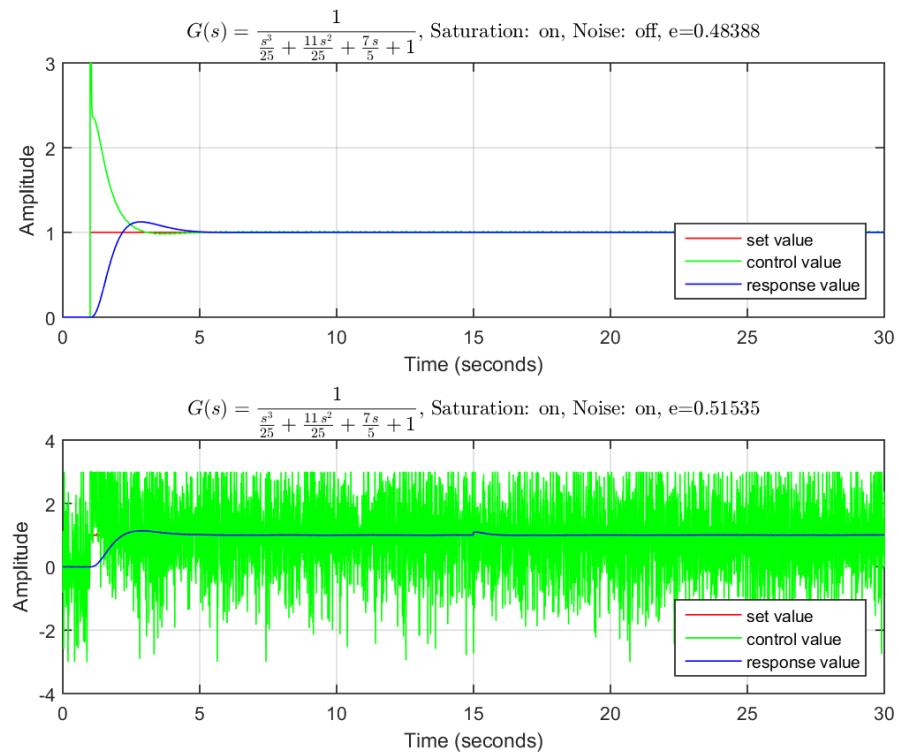
Rysunek 2.3.94: Obiekt G3-tf5a



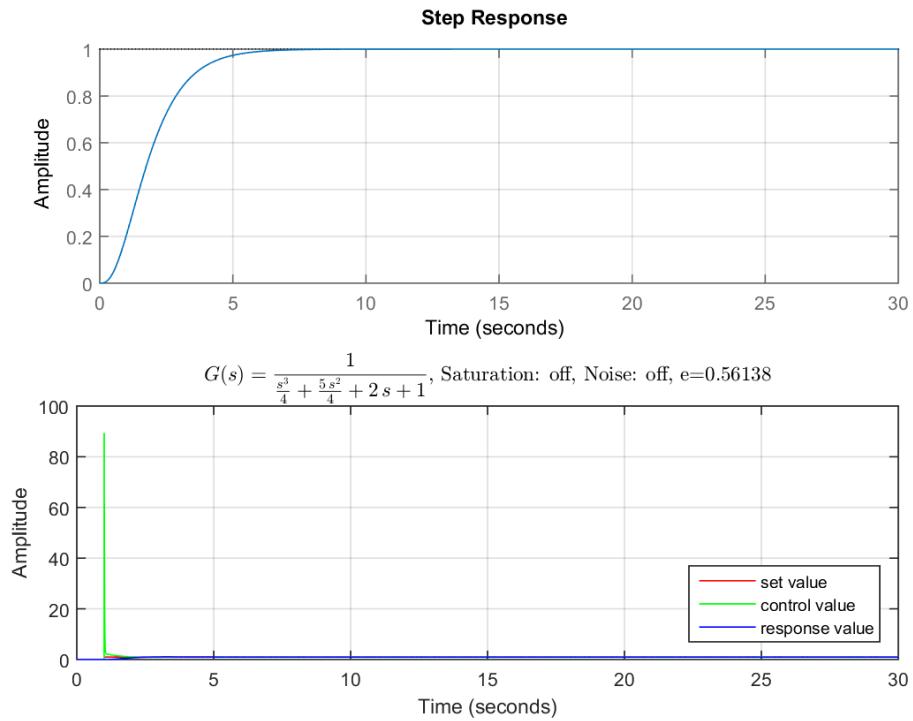
Rysunek 2.3.95: Obiekt G3-tf5b



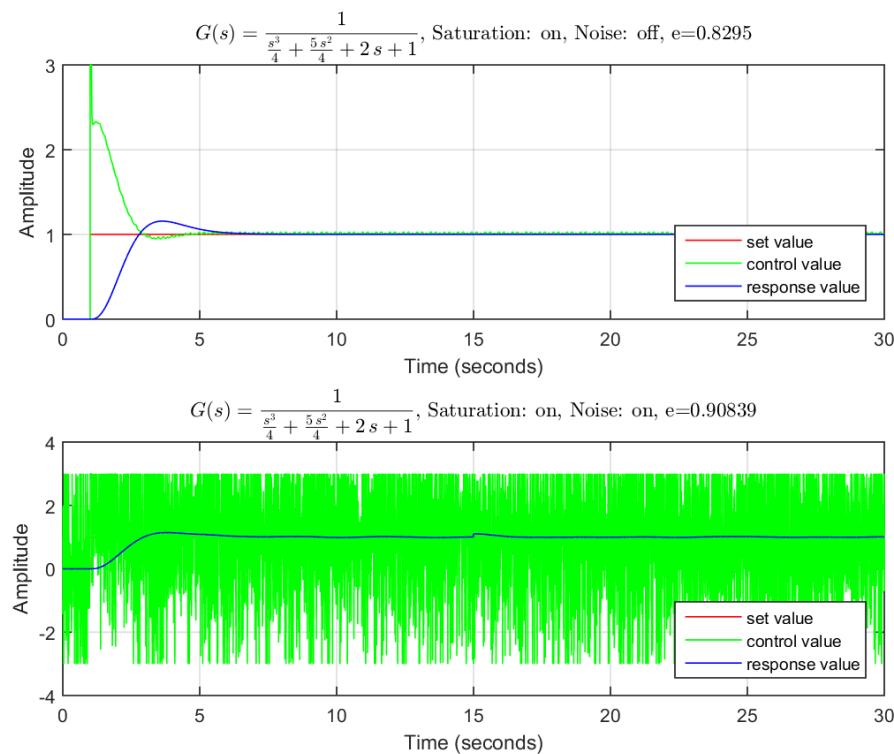
Rysunek 2.3.96: Obiekt G3-tf6a



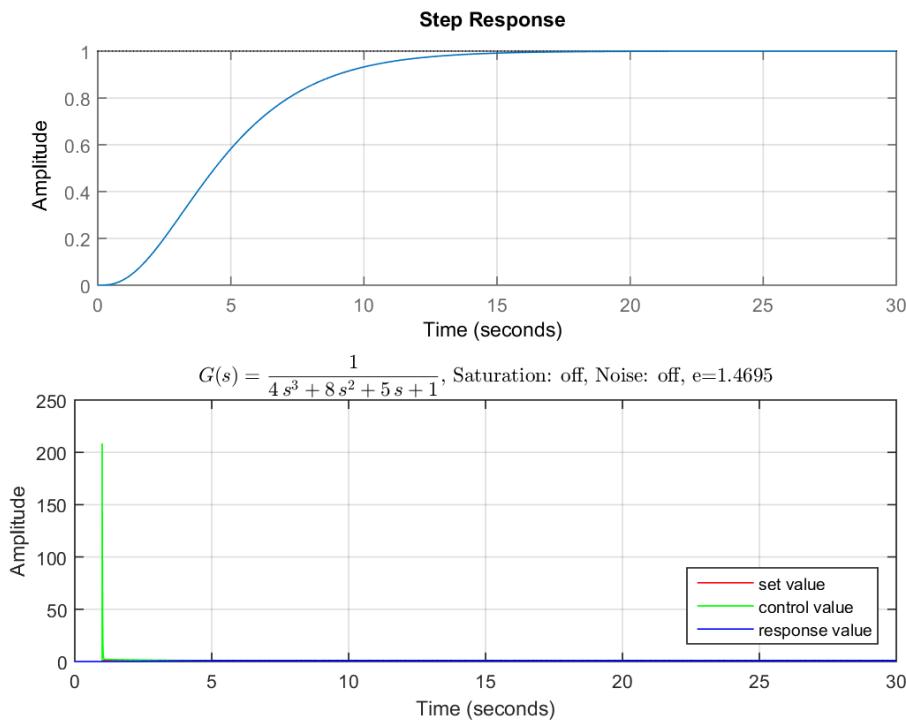
Rysunek 2.3.97: Obiekt G3-tf6b



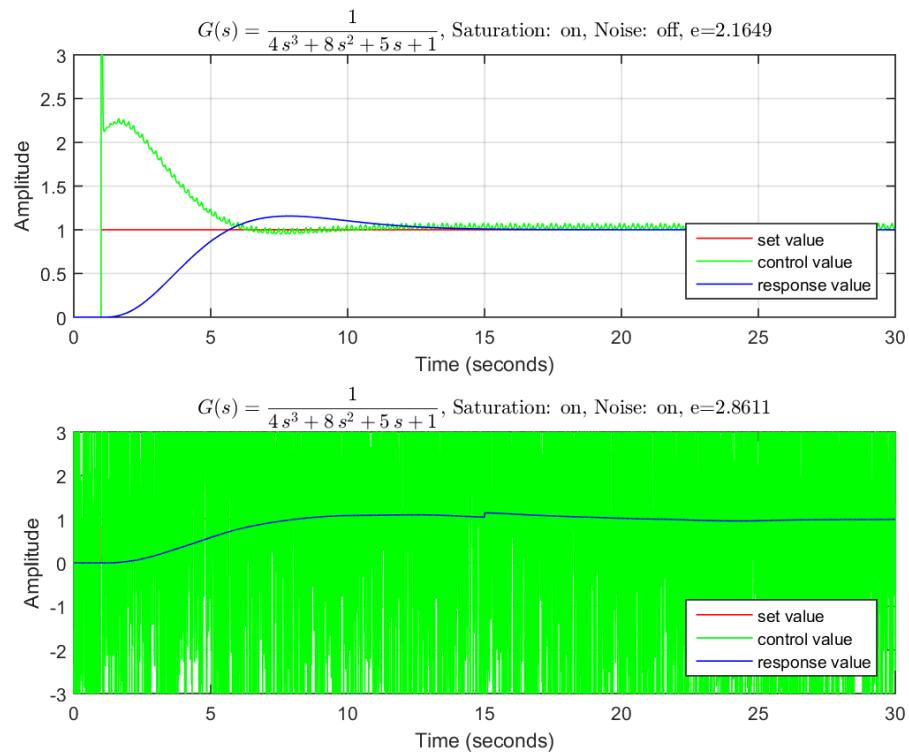
Rysunek 2.3.98: Obiekt G3-tf7a



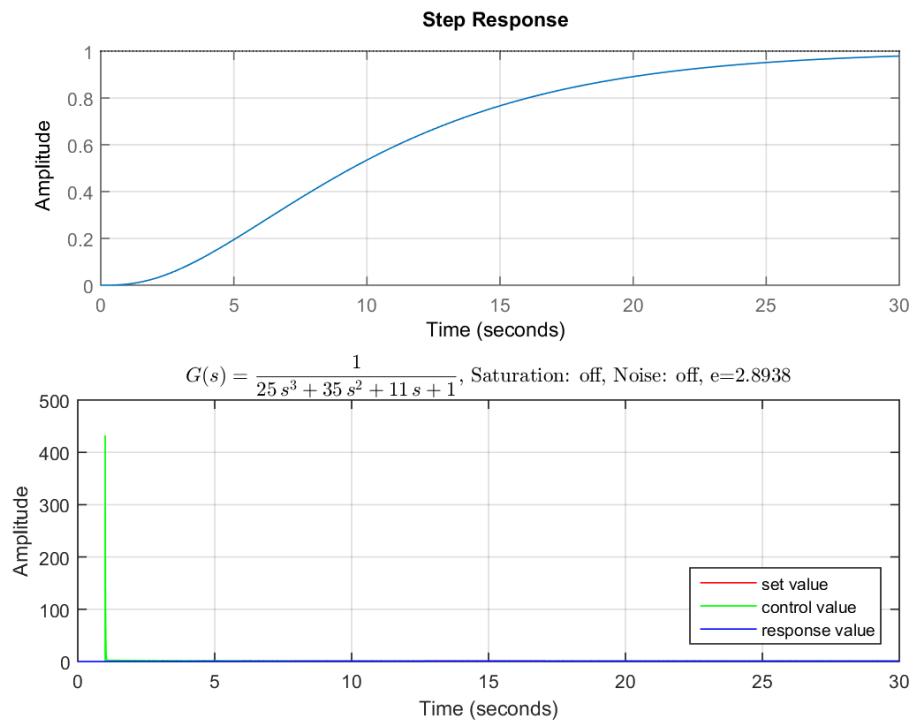
Rysunek 2.3.99: Obiekt G3-tf7b



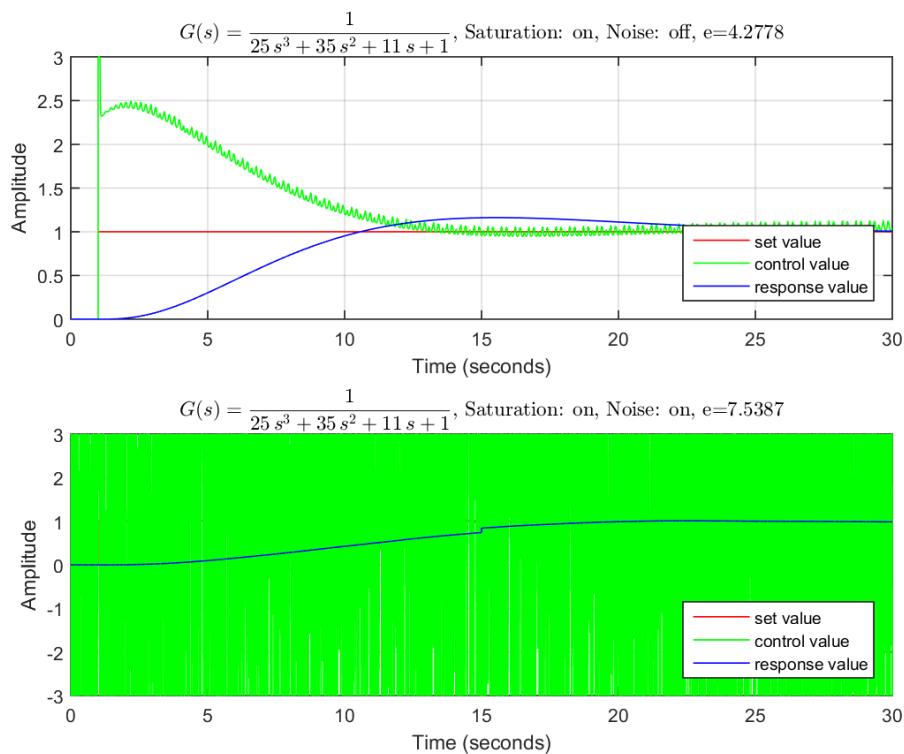
Rysunek 2.3.100: Obiekt G3-tf8a



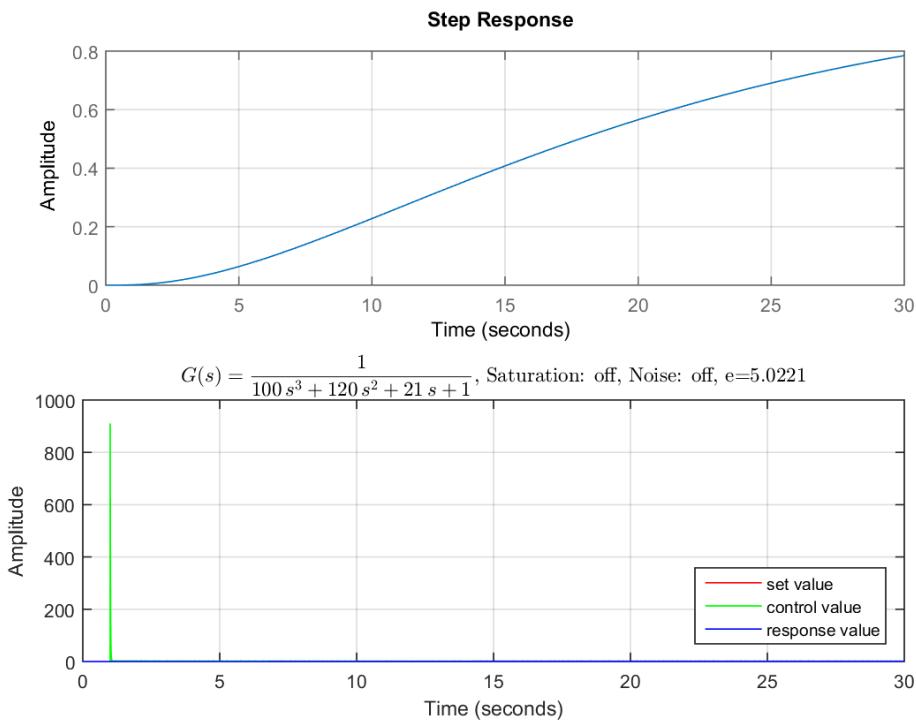
Rysunek 2.3.101: Obiekt G3-tf8b



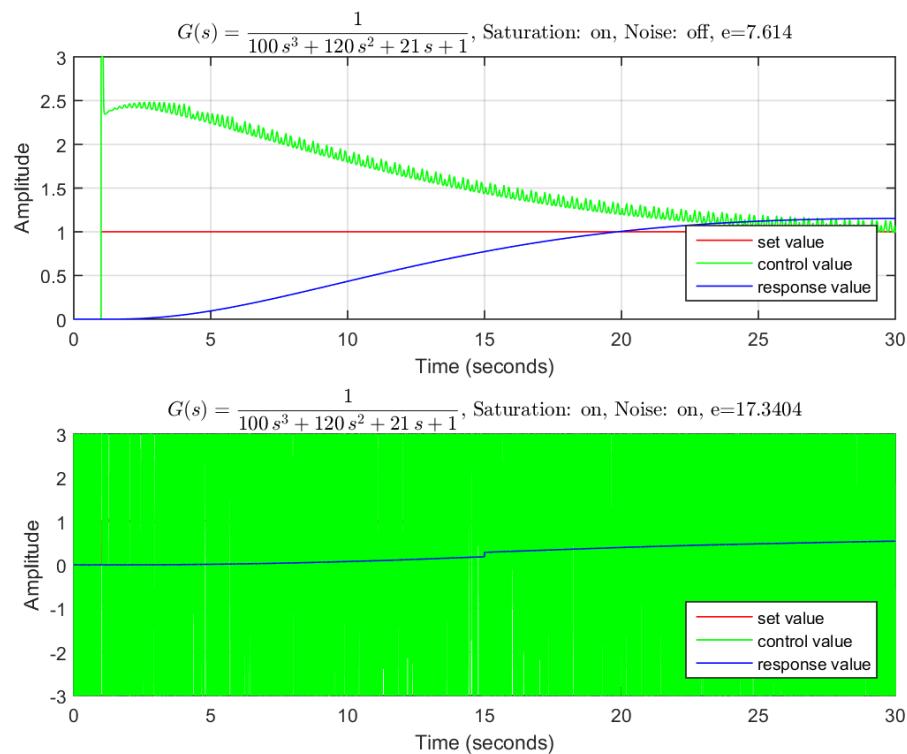
Rysunek 2.3.102: Obiekt G3-tf9a



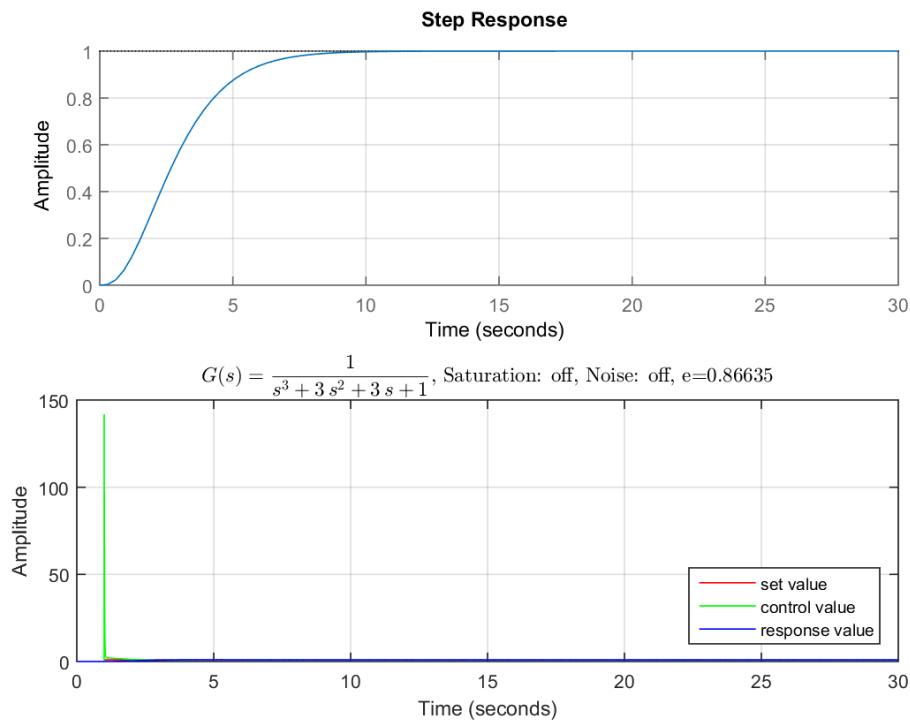
Rysunek 2.3.103: Obiekt G3-tf9b



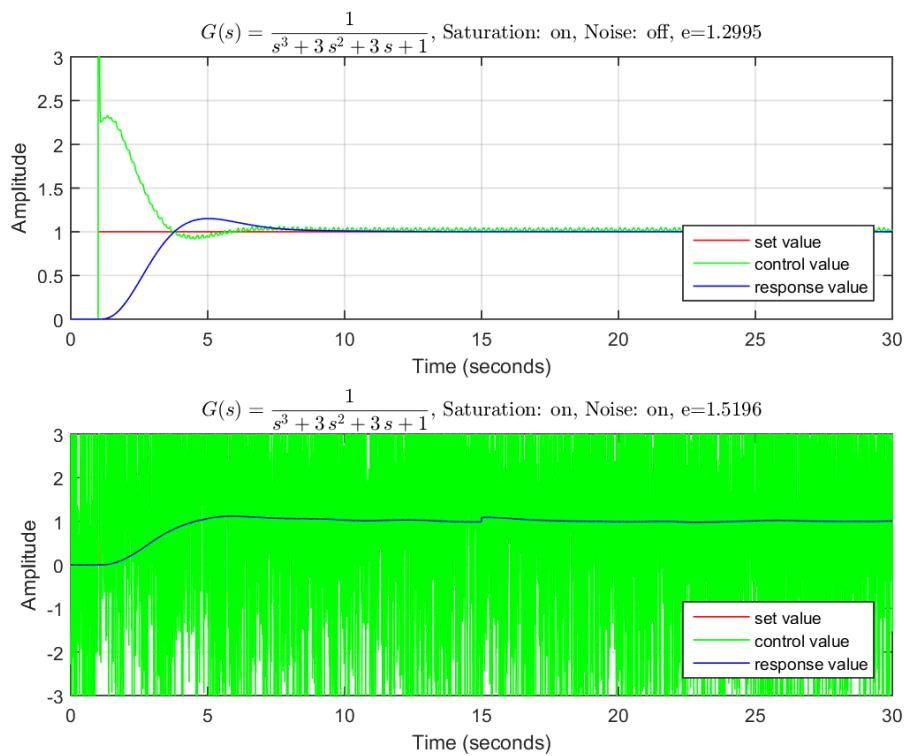
Rysunek 2.3.104: Obiekt G3-tf10a



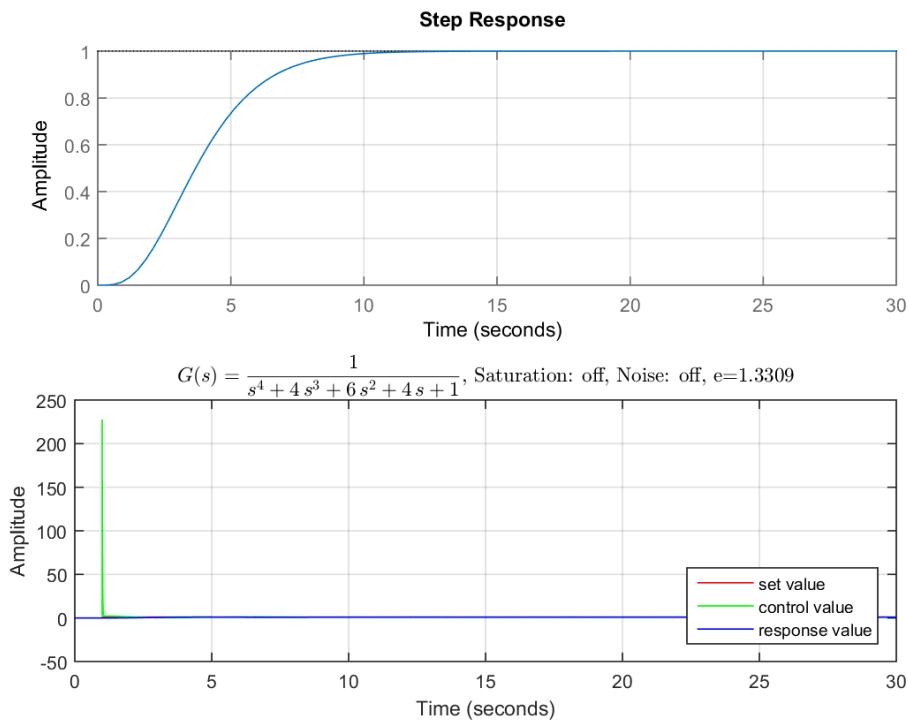
Rysunek 2.3.105: Obiekt G3-tf10b



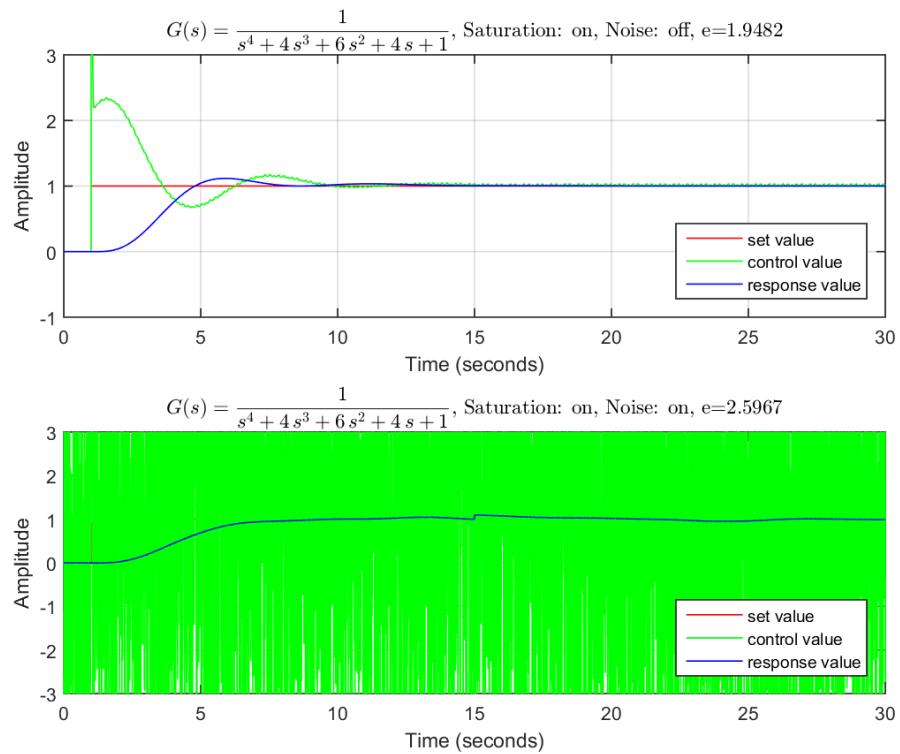
Rysunek 2.3.106: Obiekt G4-tf1a



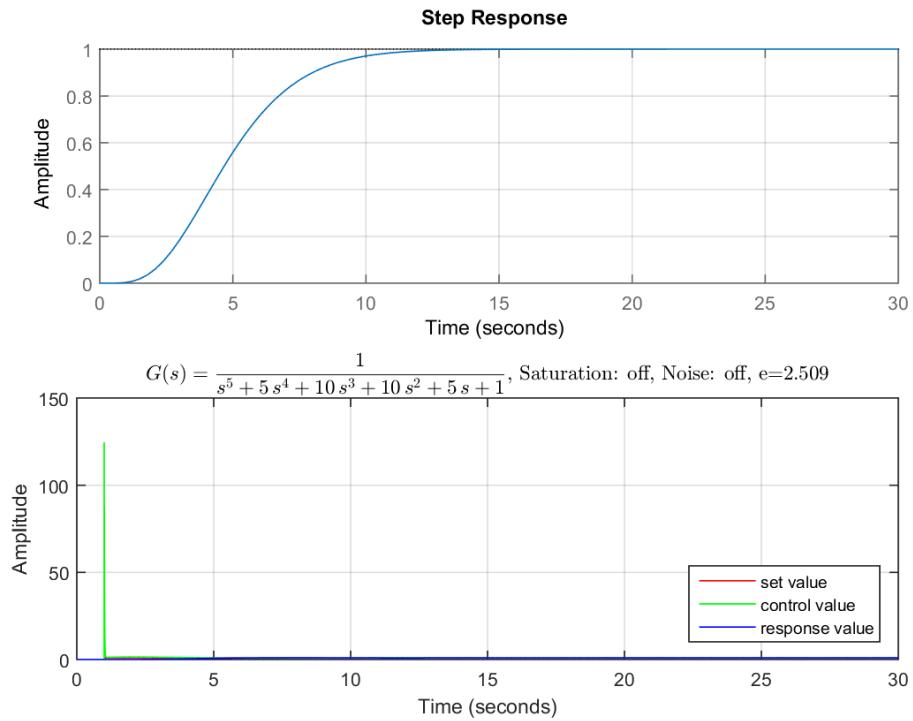
Rysunek 2.3.107: Obiekt G4-tf1b



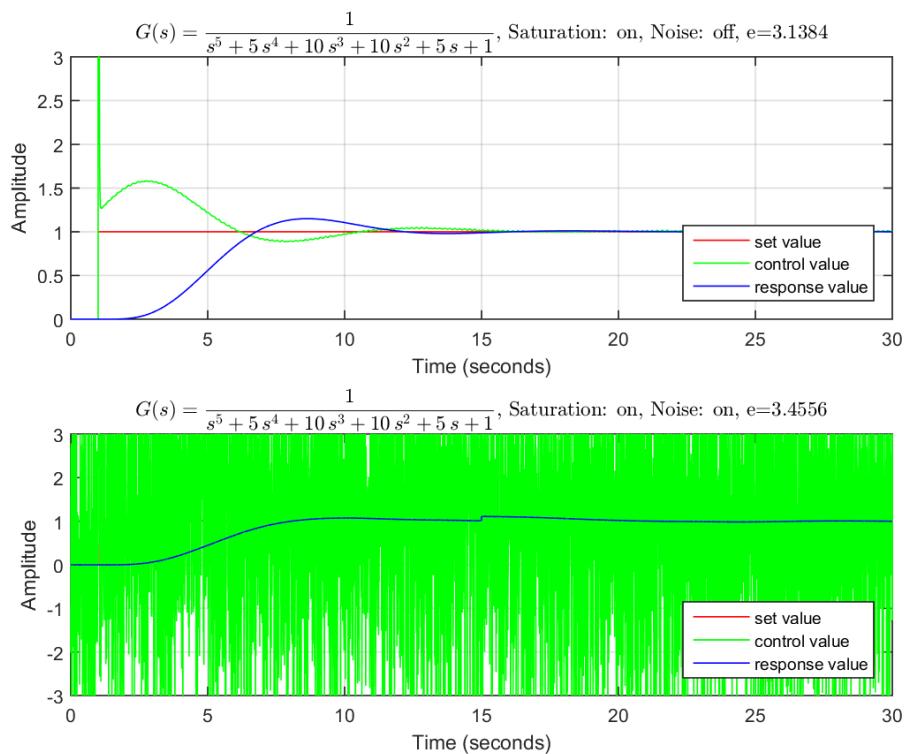
Rysunek 2.3.108: Obiekt G4-tf2a



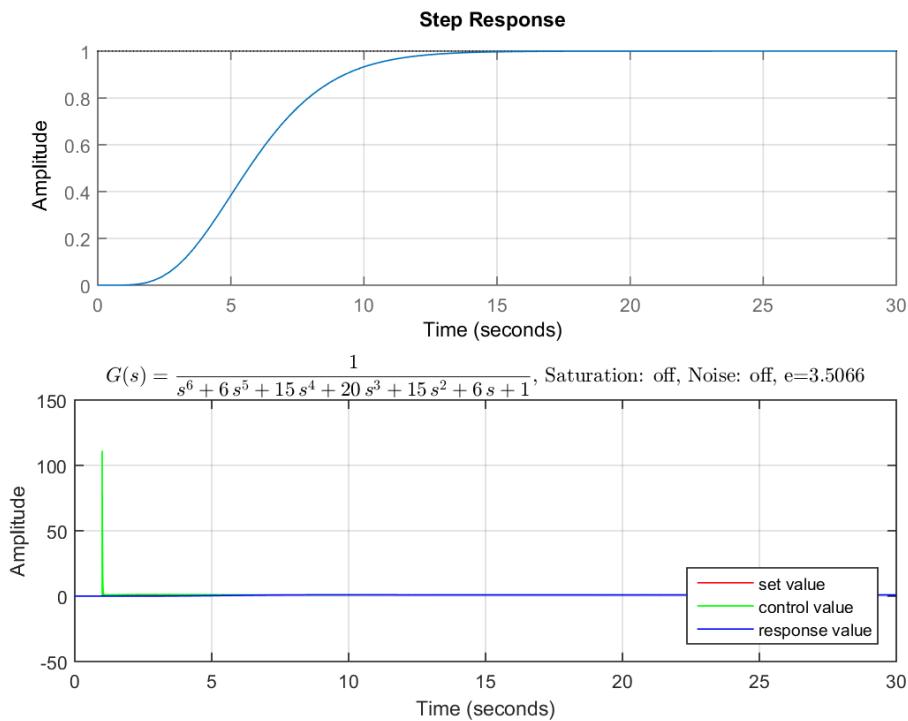
Rysunek 2.3.109: Obiekt G4-tf2b



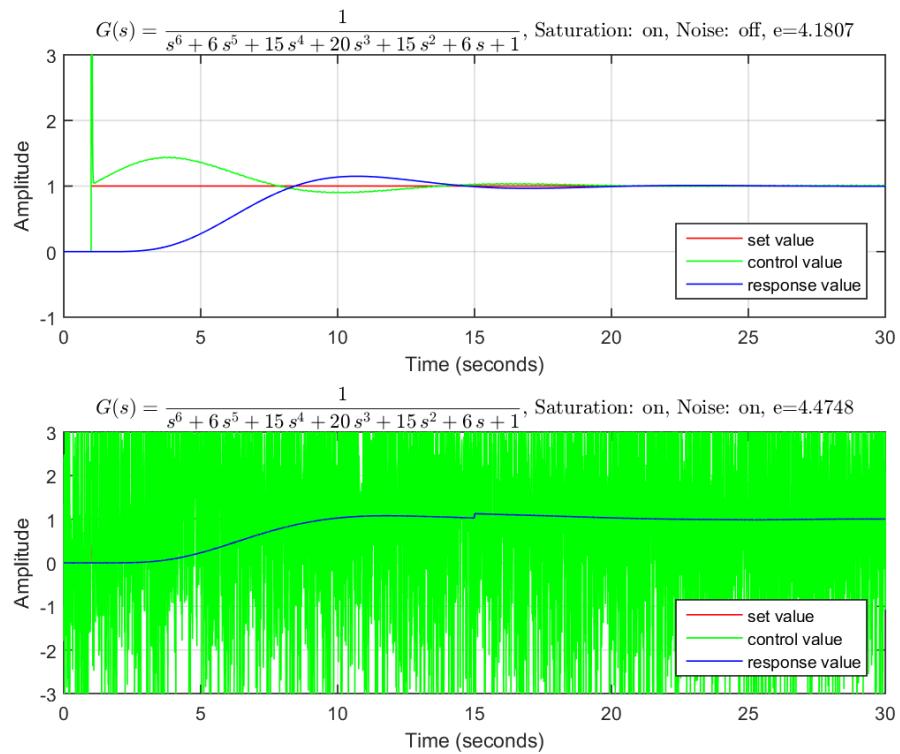
Rysunek 2.3.110: Obiekt G4-tf3a



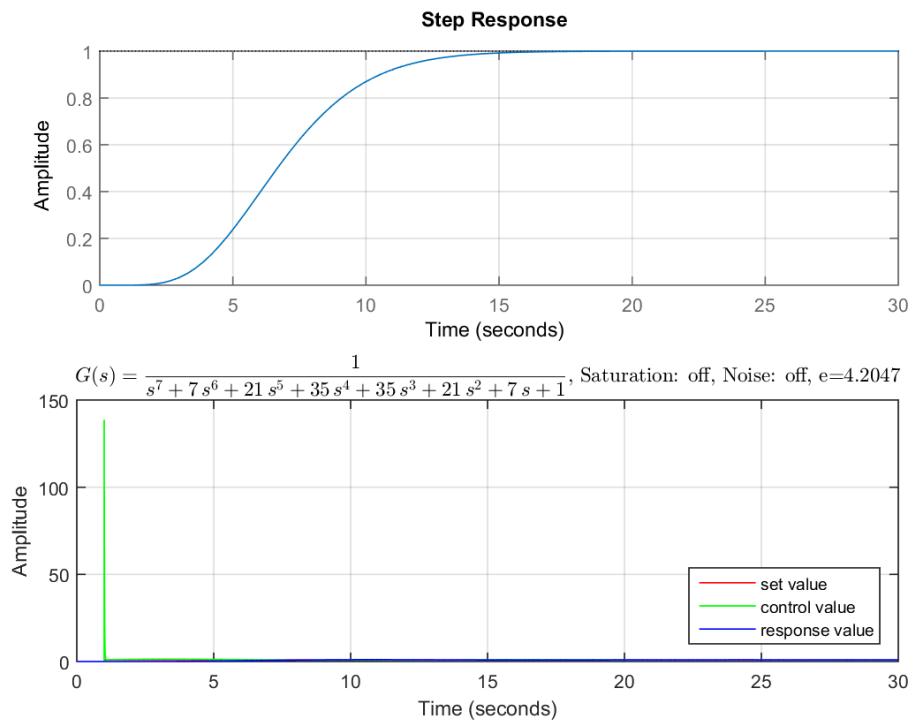
Rysunek 2.3.111: Obiekt G4-tf3b



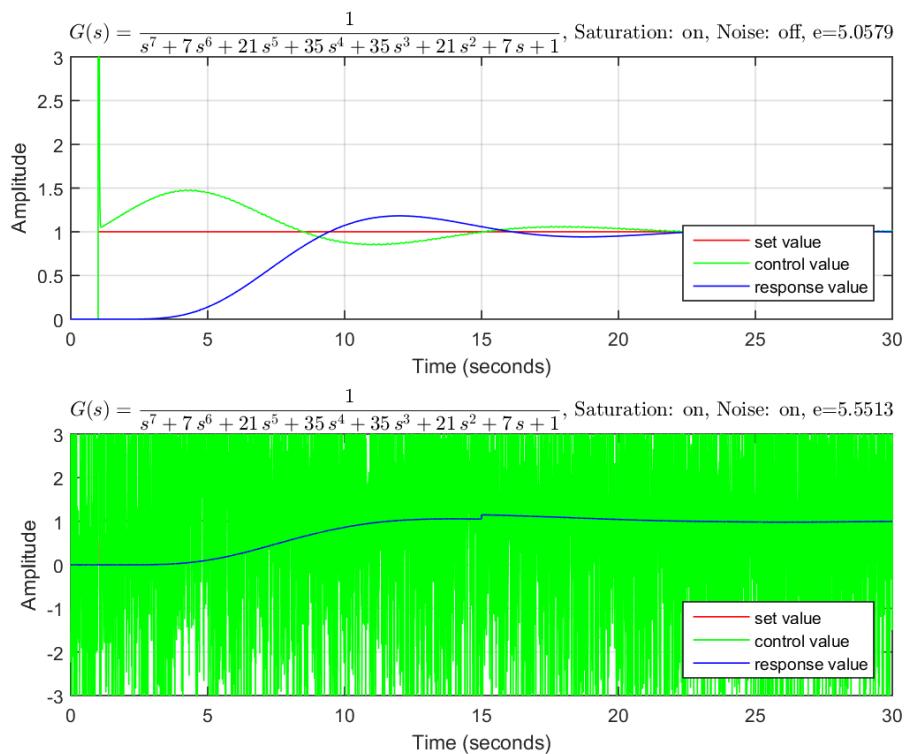
Rysunek 2.3.112: Obiekt G4-tf4a



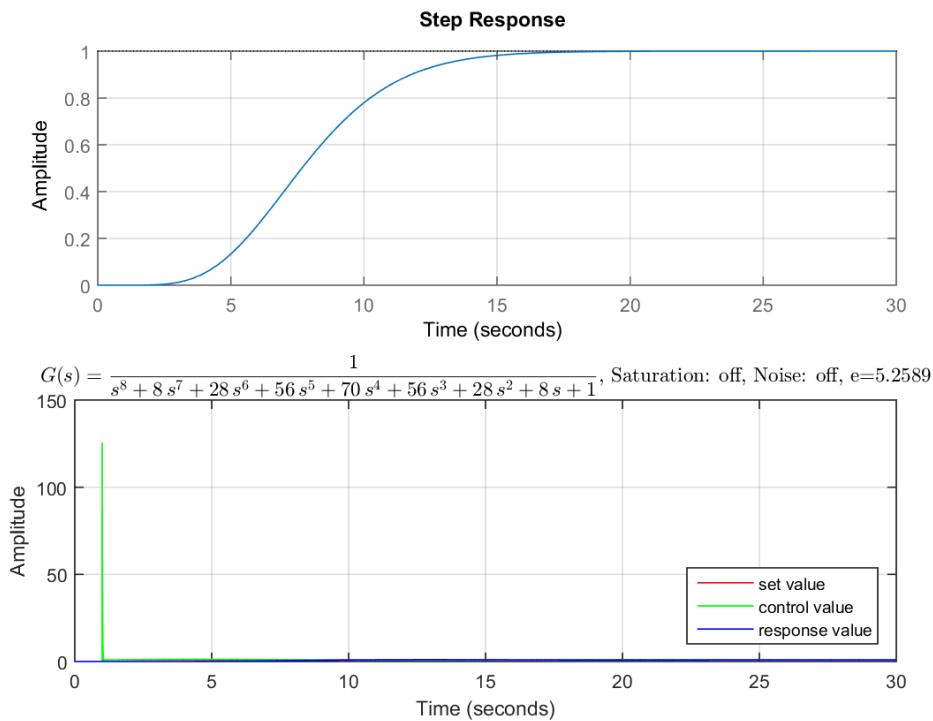
Rysunek 2.3.113: Obiekt G4-tf4b



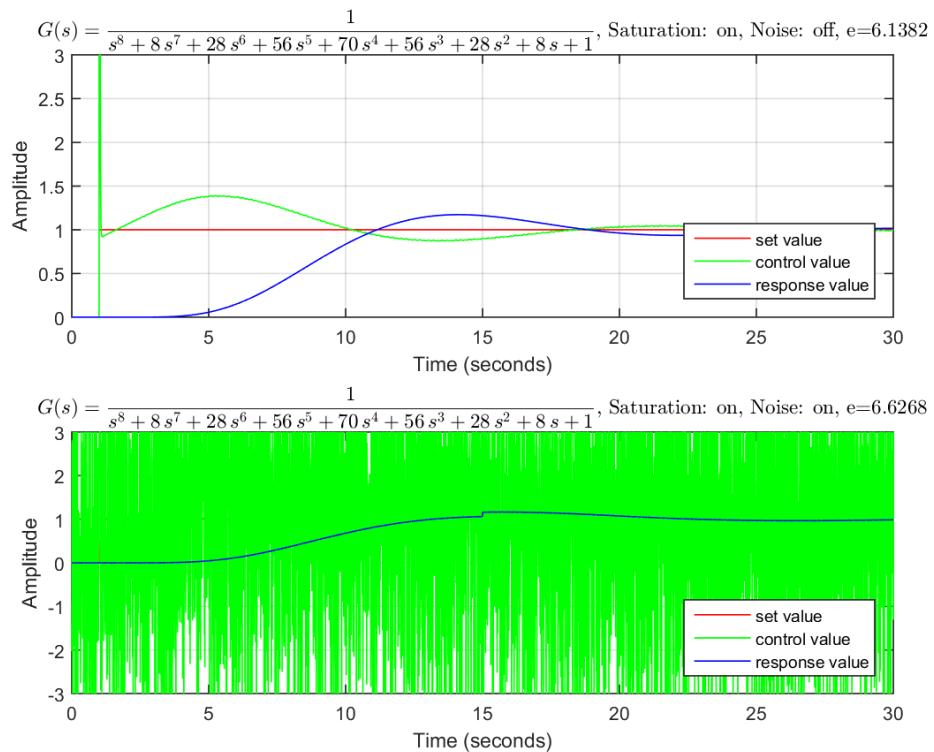
Rysunek 2.3.114: Obiekt G4-tf5a



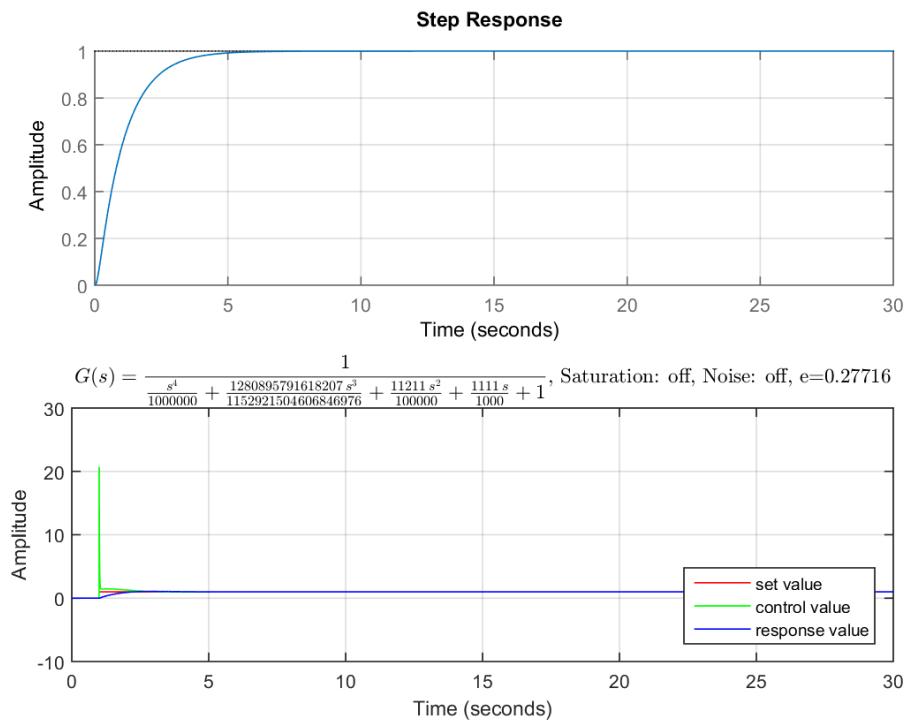
Rysunek 2.3.115: Obiekt G4-tf5b



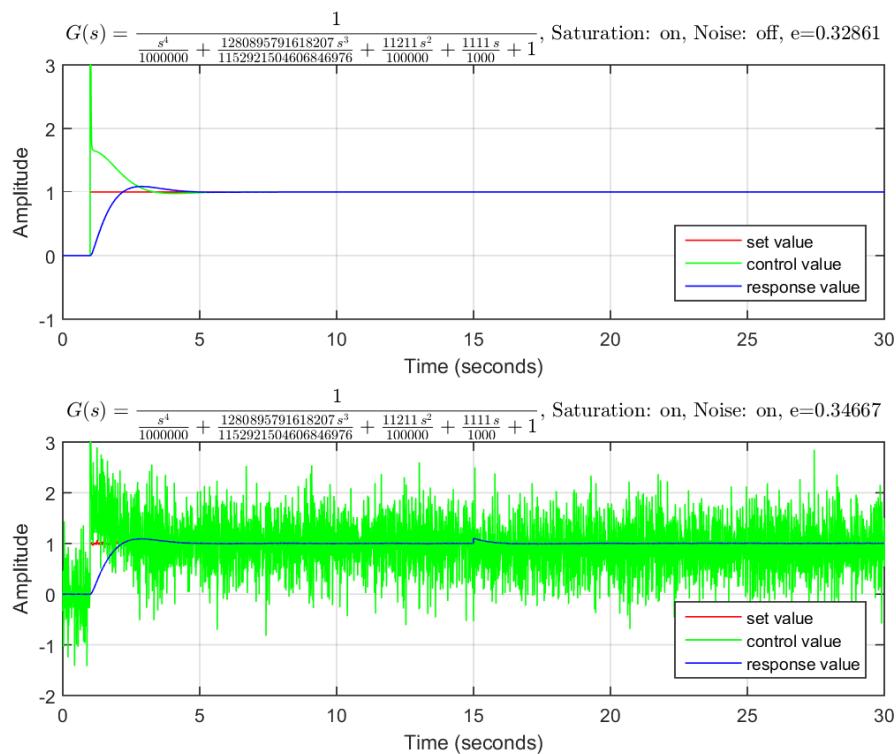
Rysunek 2.3.116: Obiekt G4-tf6a



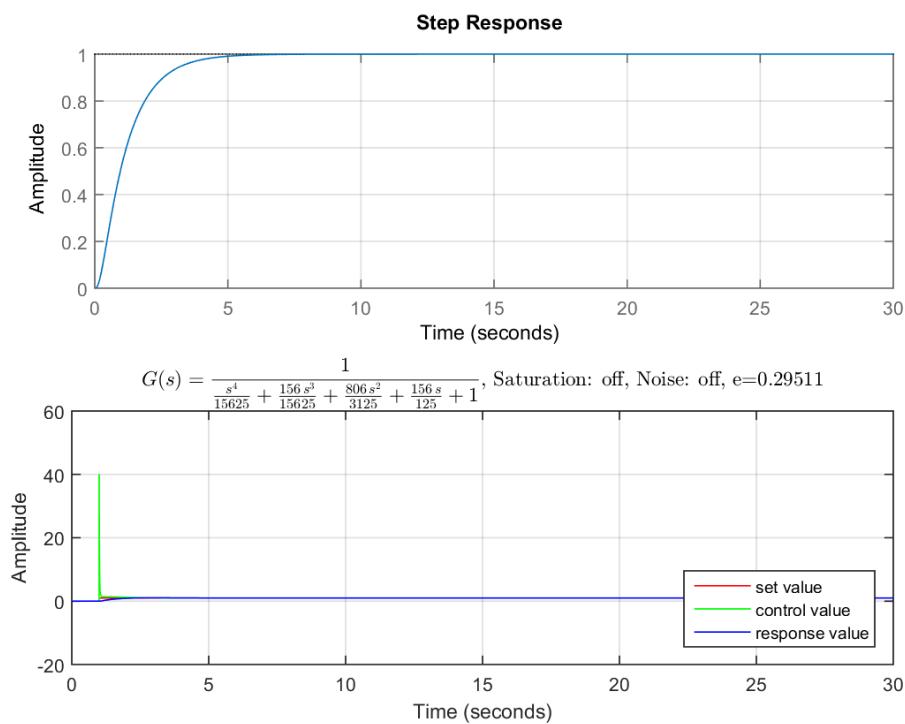
Rysunek 2.3.117: Obiekt G4-tf6b



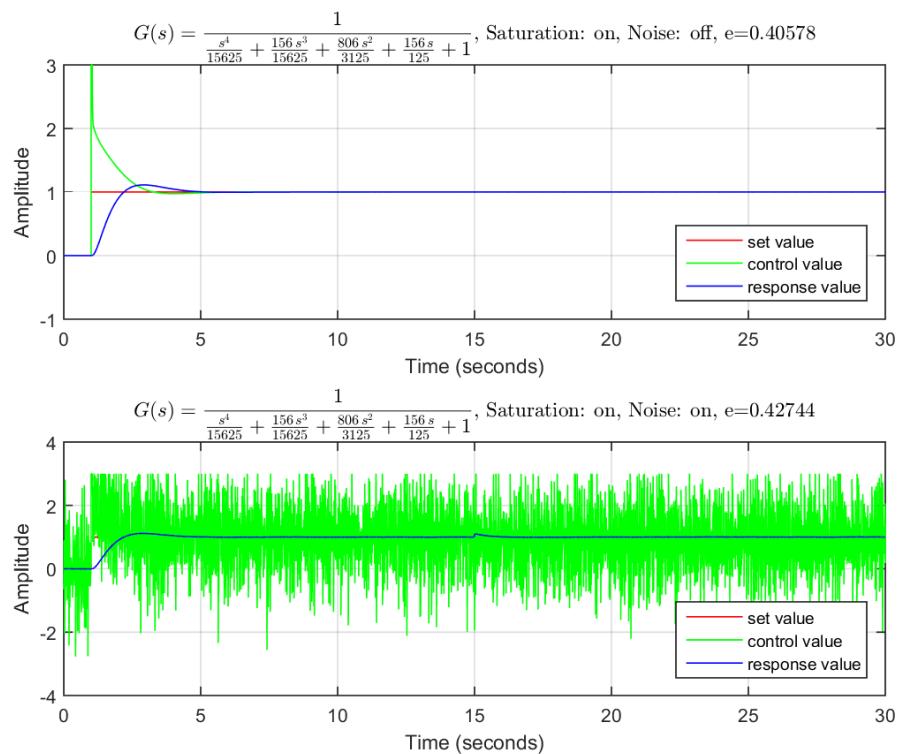
Rysunek 2.3.118: Obiekt G5-tf1a



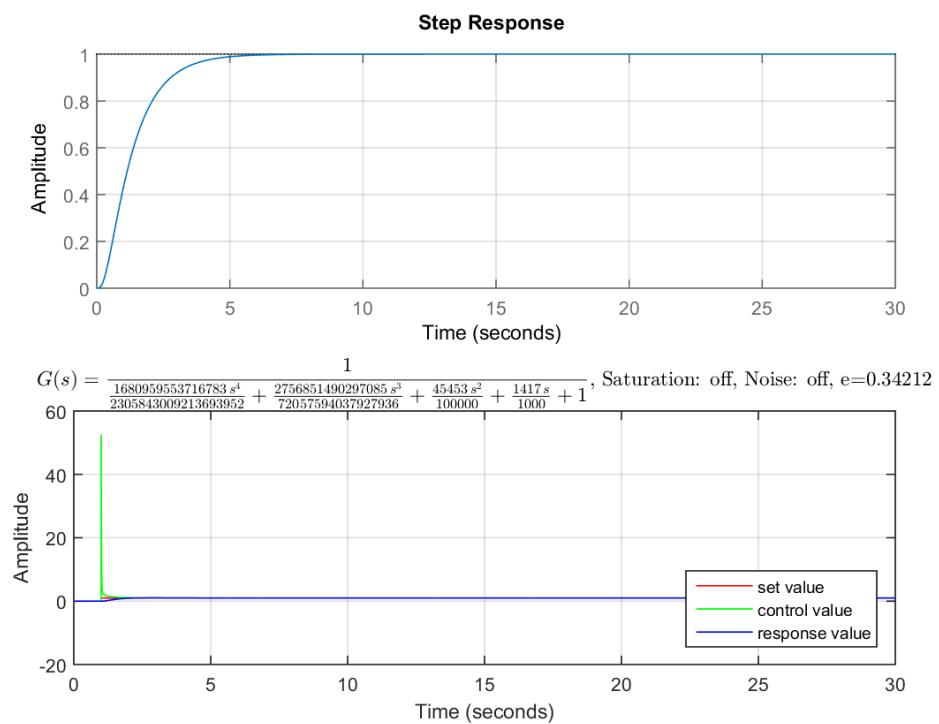
Rysunek 2.3.119: Obiekt G5-tf1b



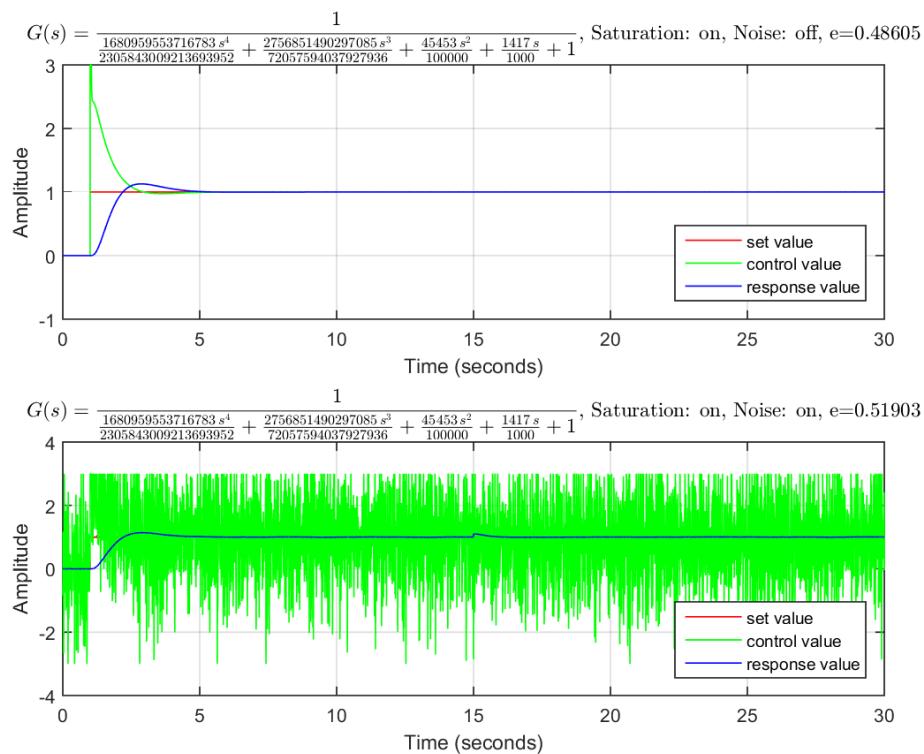
Rysunek 2.3.120: Obiekt G5-tf2a



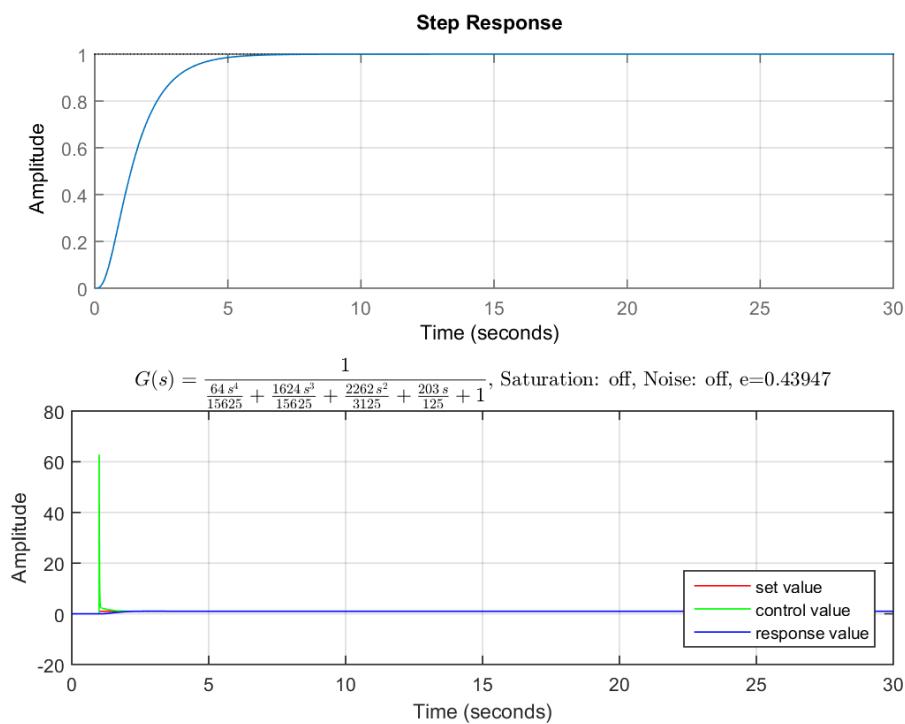
Rysunek 2.3.121: Obiekt G5-tf2b



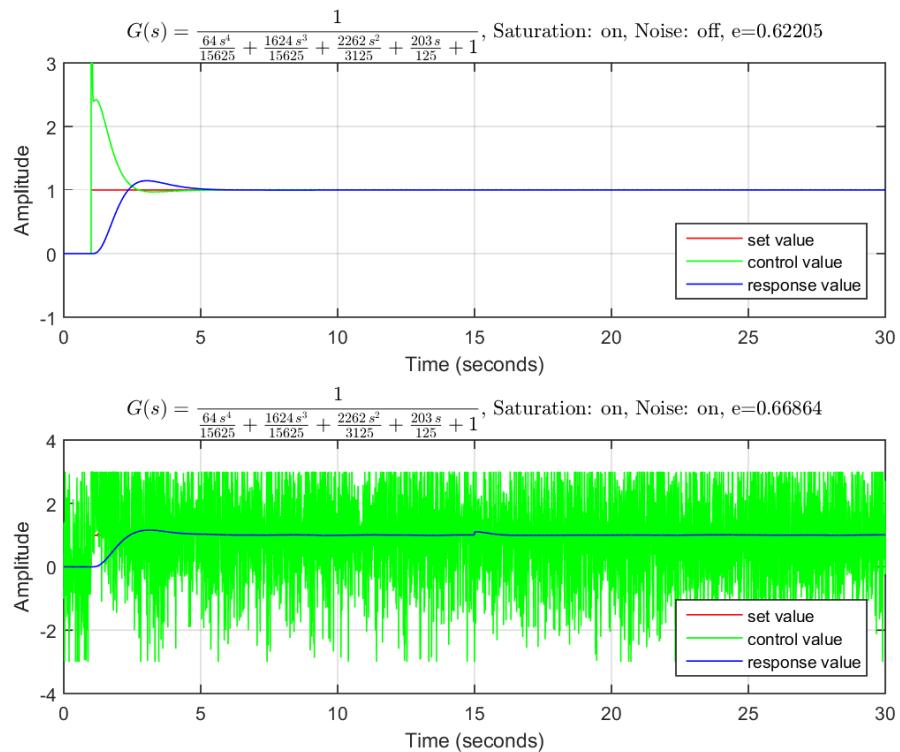
Rysunek 2.3.122: Obiekt G5-tf3a



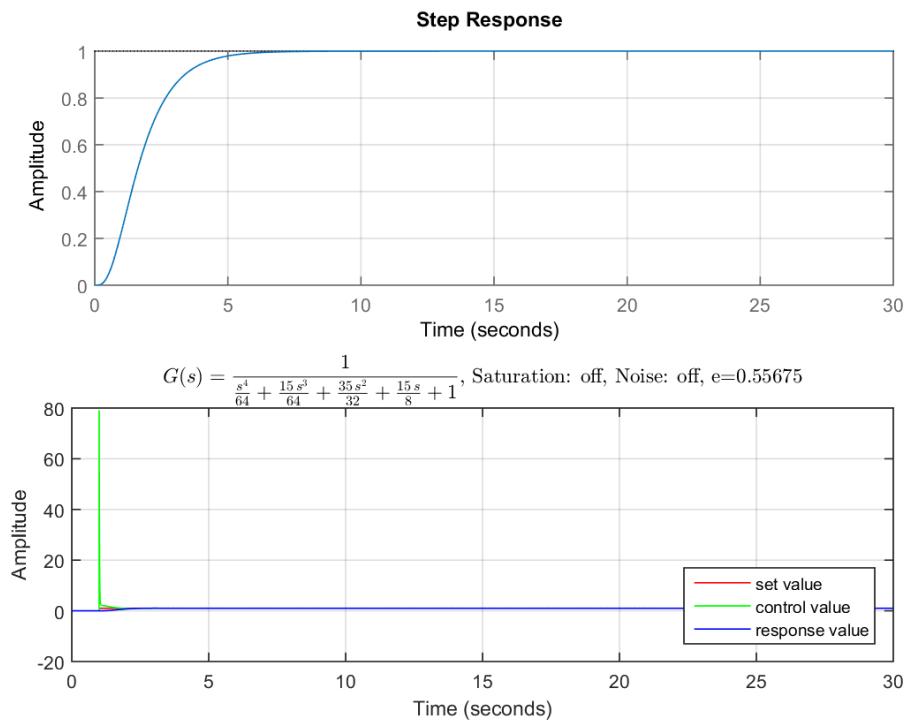
Rysunek 2.3.123: Obiekt G5-tf3b



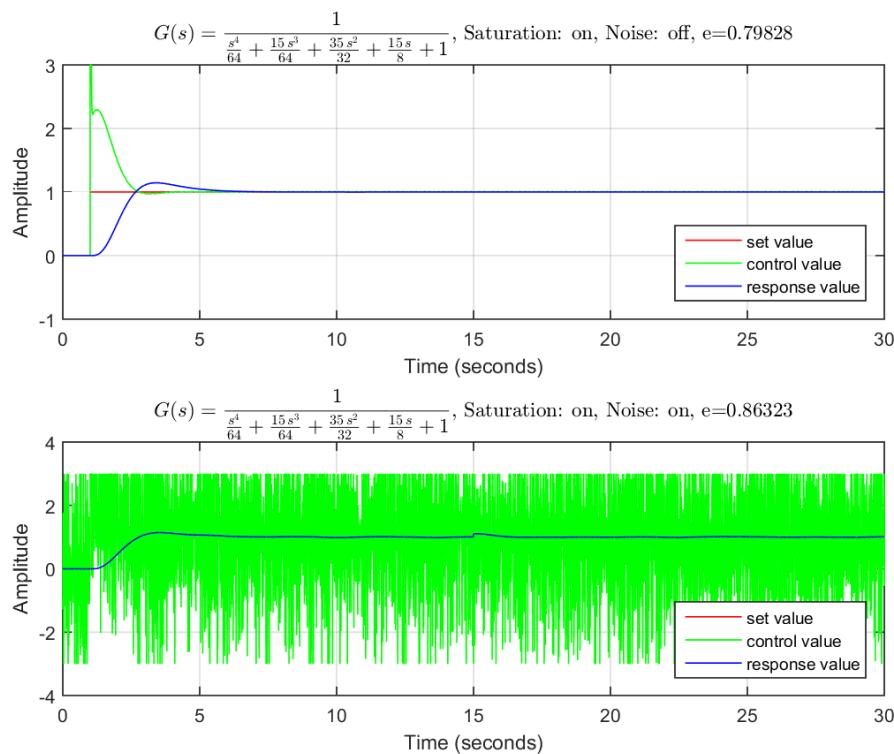
Rysunek 2.3.124: Obiekt G5-tf4a



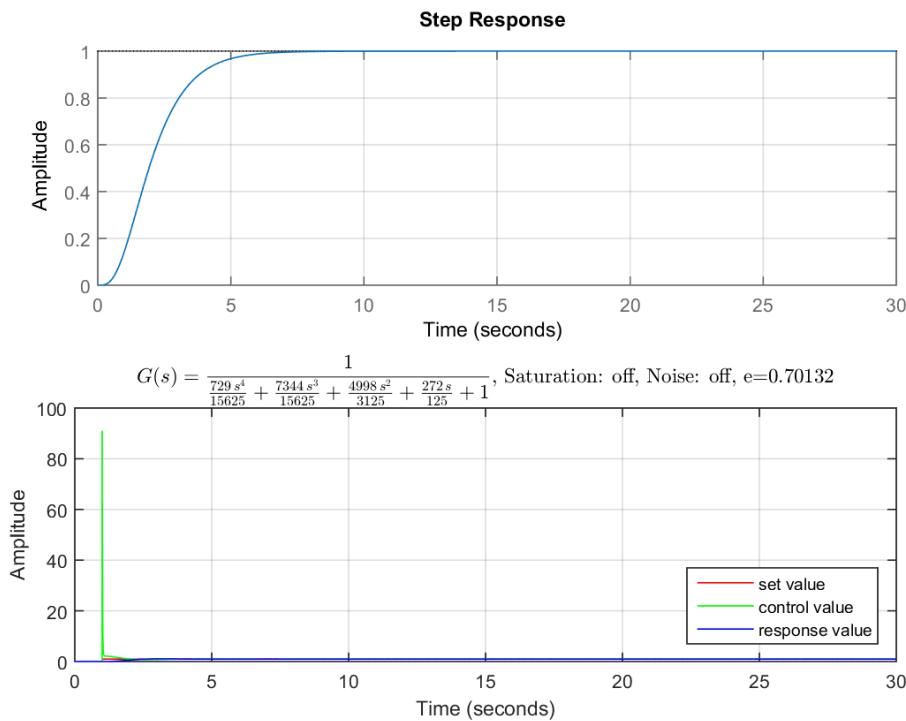
Rysunek 2.3.125: Obiekt G5-tf4b



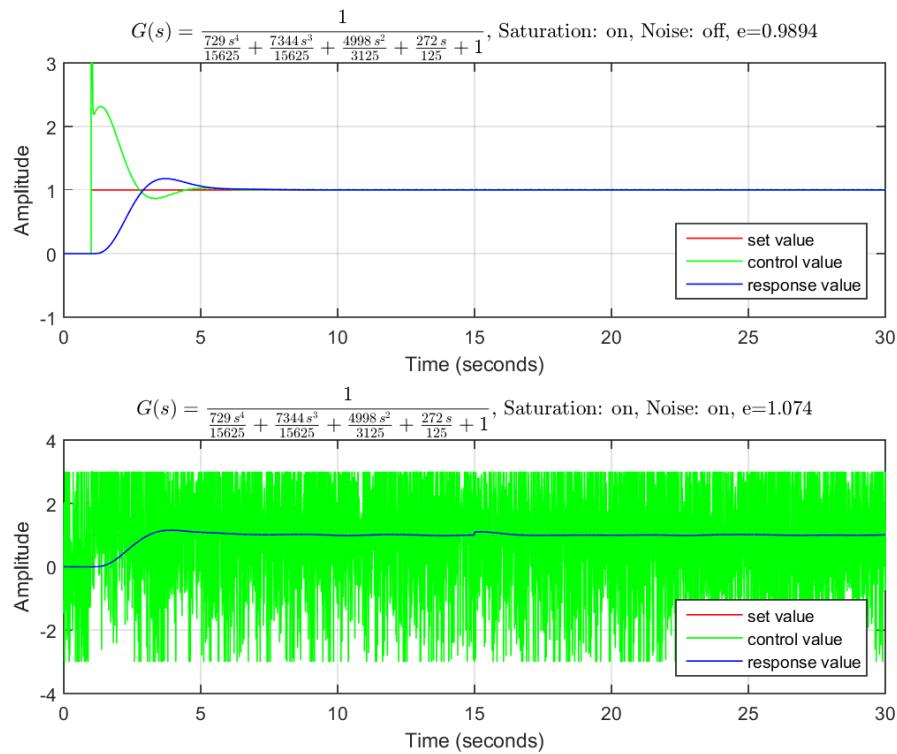
Rysunek 2.3.126: Obiekt G5-tf5a



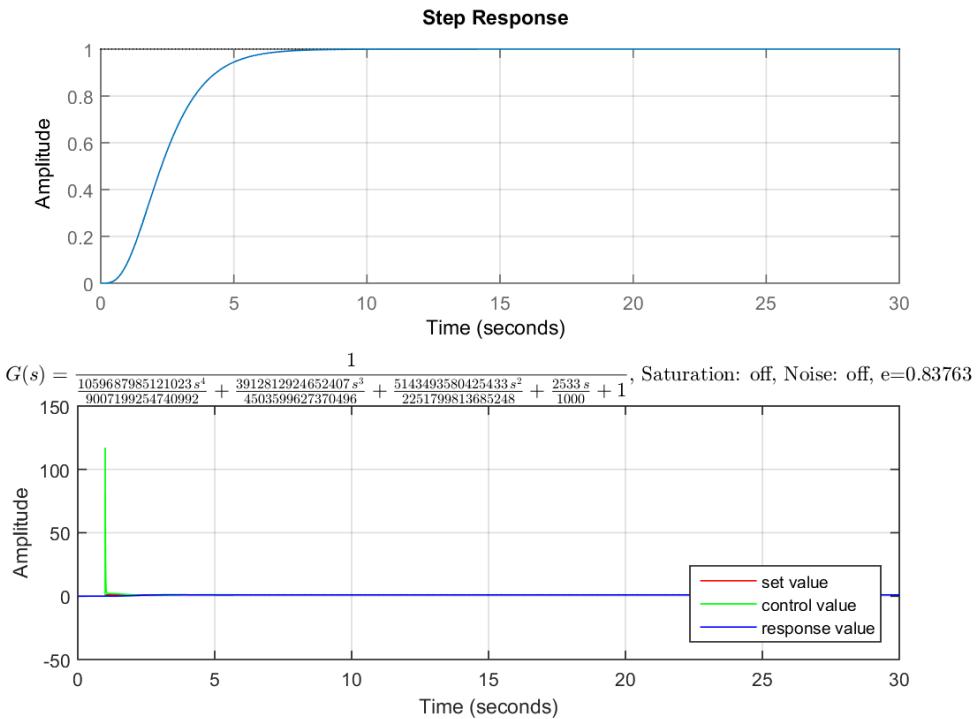
Rysunek 2.3.127: Obiekt G5-tf5b



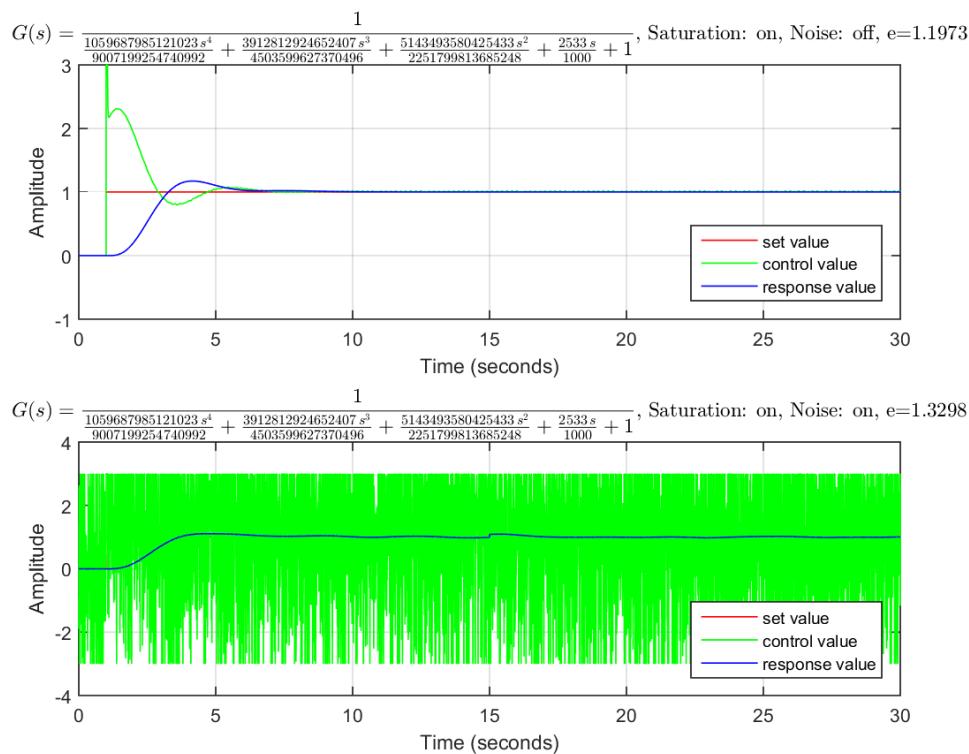
Rysunek 2.3.128: Obiekt G5-tf6a



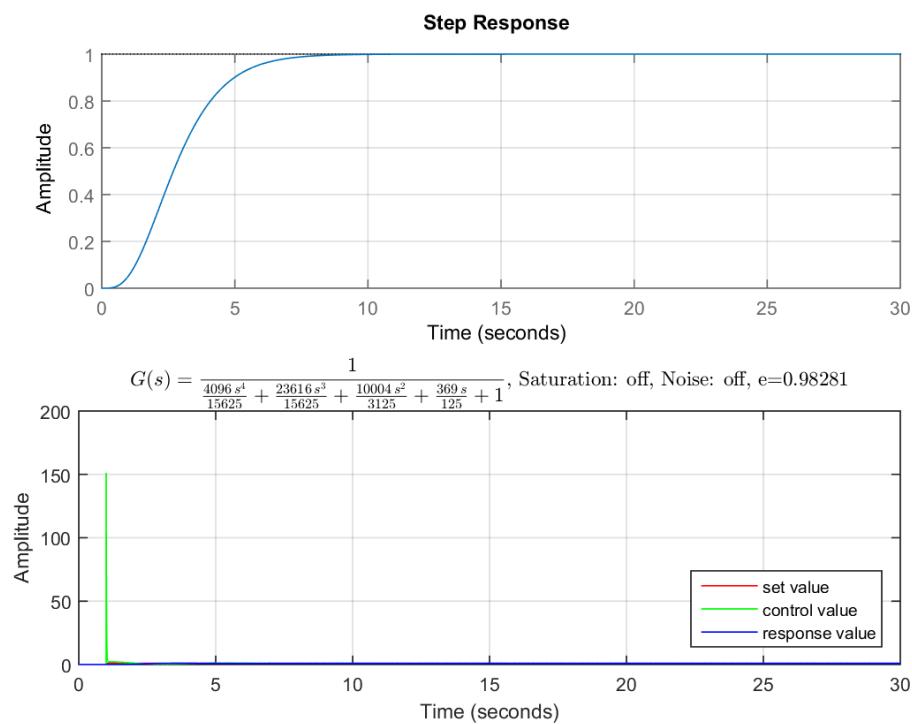
Rysunek 2.3.129: Obiekt G5-tf6b



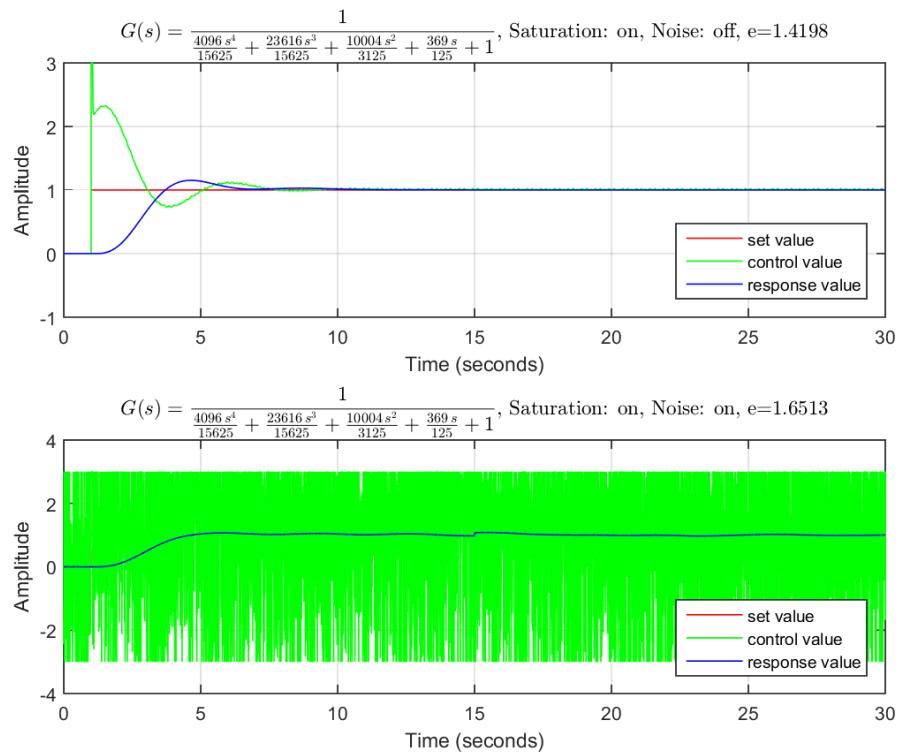
Rysunek 2.3.130: Obiekt G5-tf7a



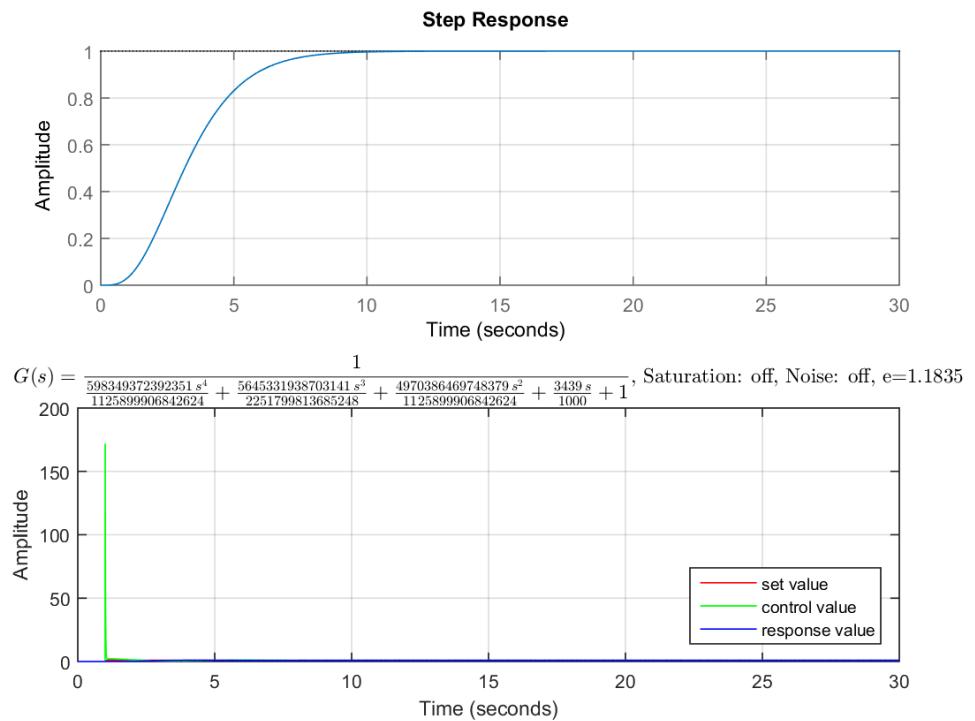
Rysunek 2.3.131: Obiekt G5-tf7b



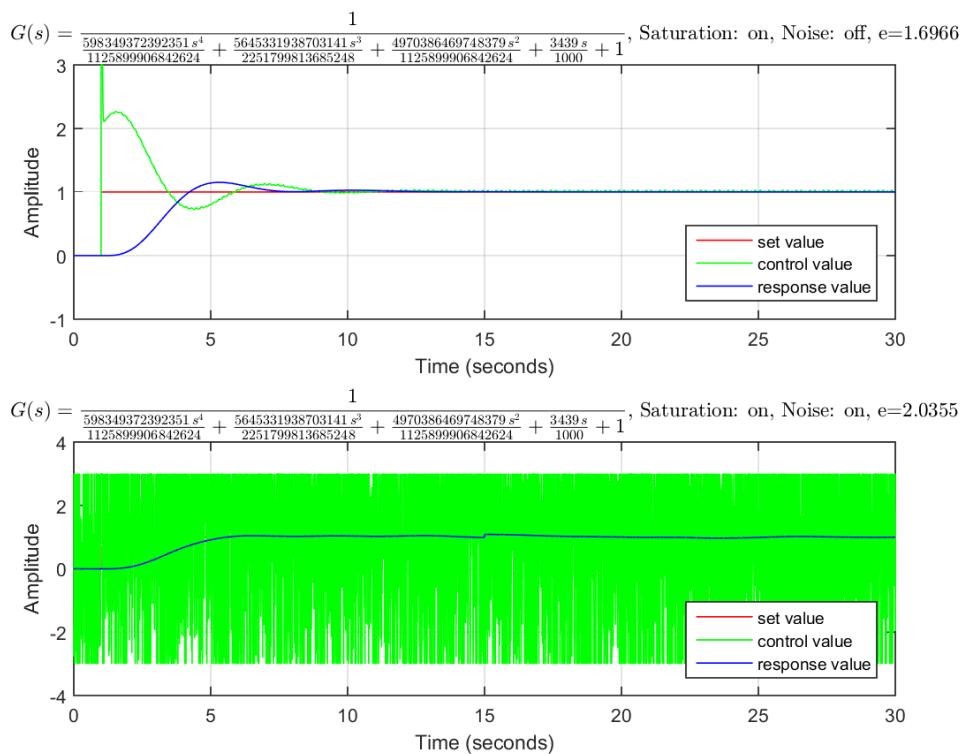
Rysunek 2.3.132: Obiekt G5-tf8a



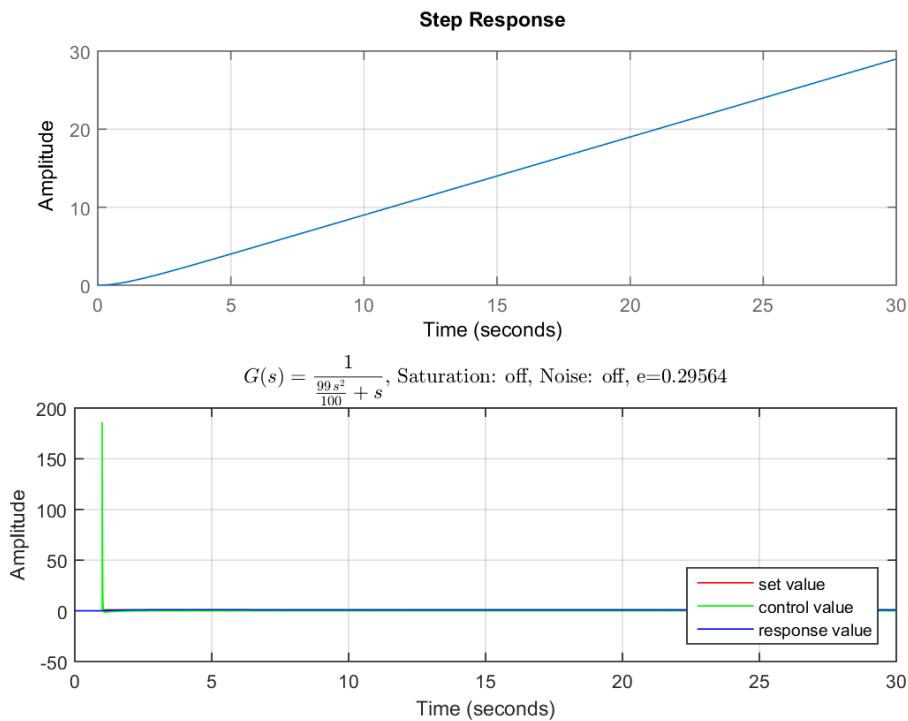
Rysunek 2.3.133: Obiekt G5-tf8b



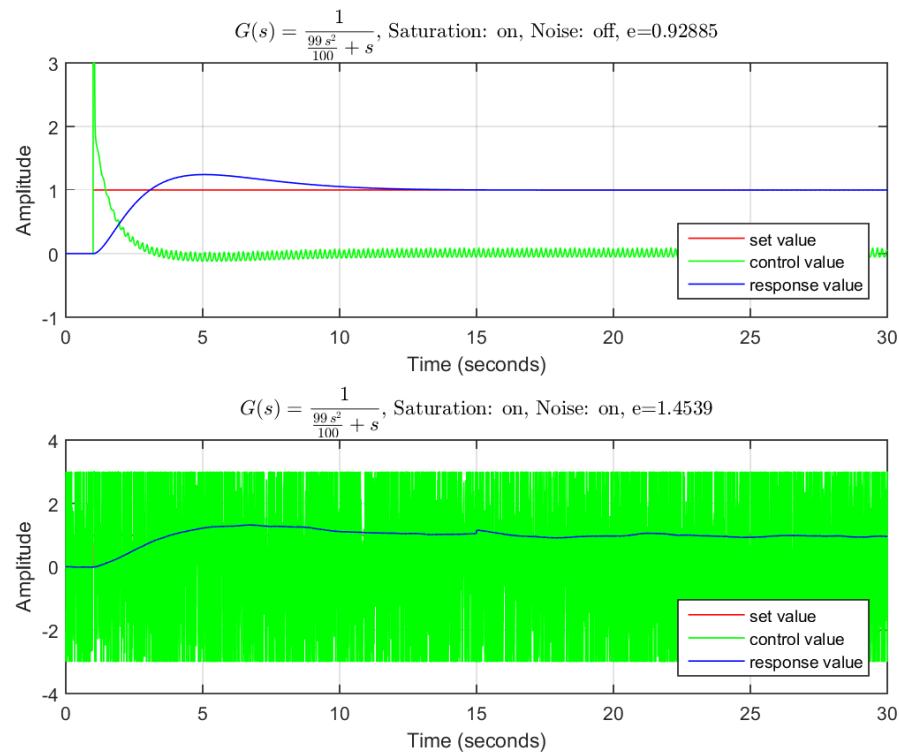
Rysunek 2.3.134: Obiekt G5-tf9a



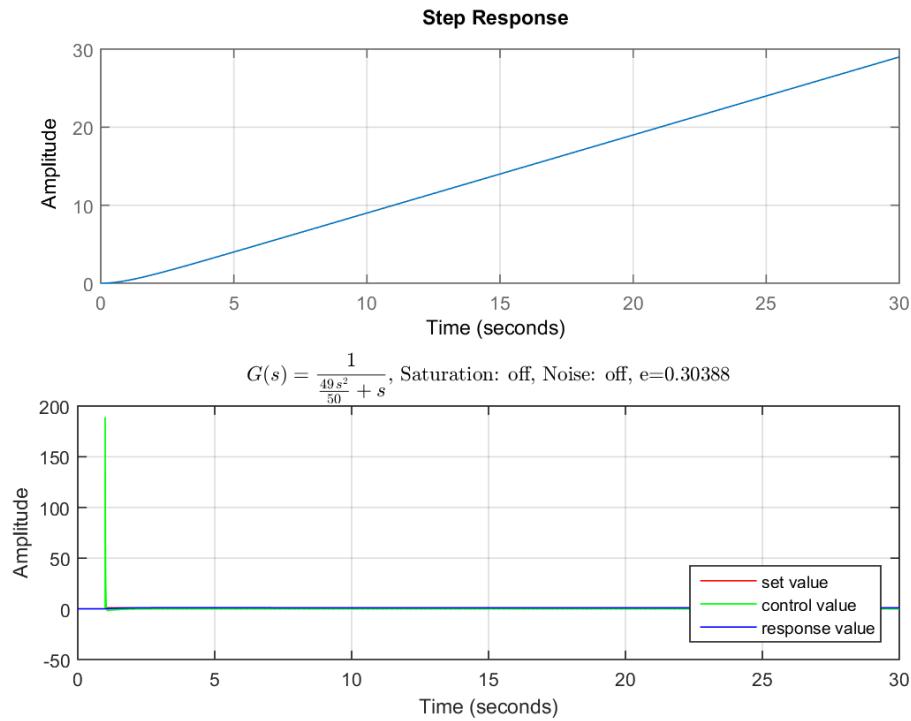
Rysunek 2.3.135: Obiekt G5-tf9b



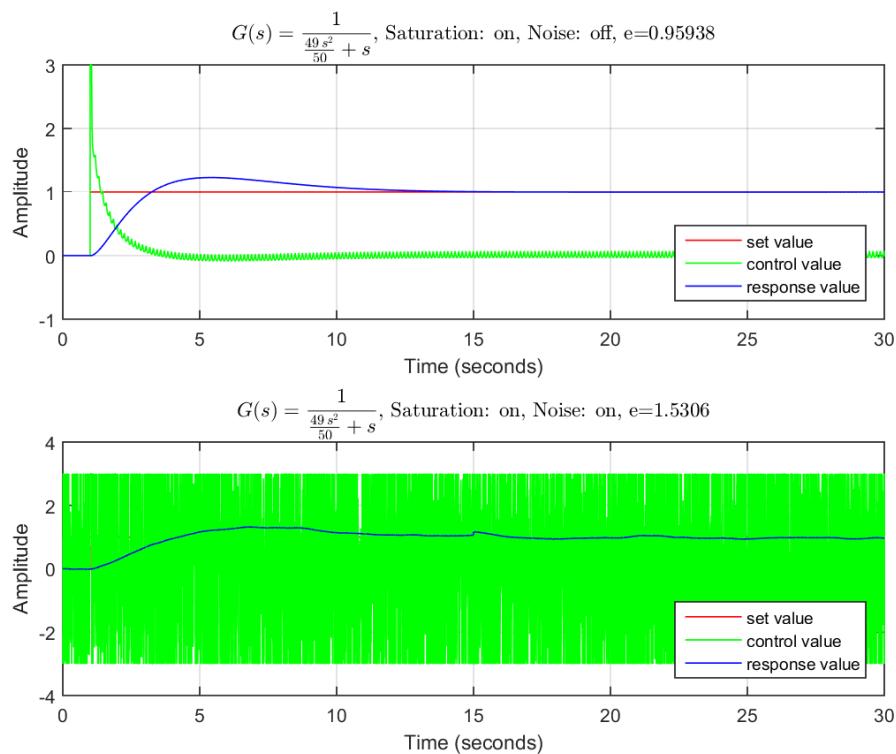
Rysunek 2.3.136: Obiekt G6-tf1a



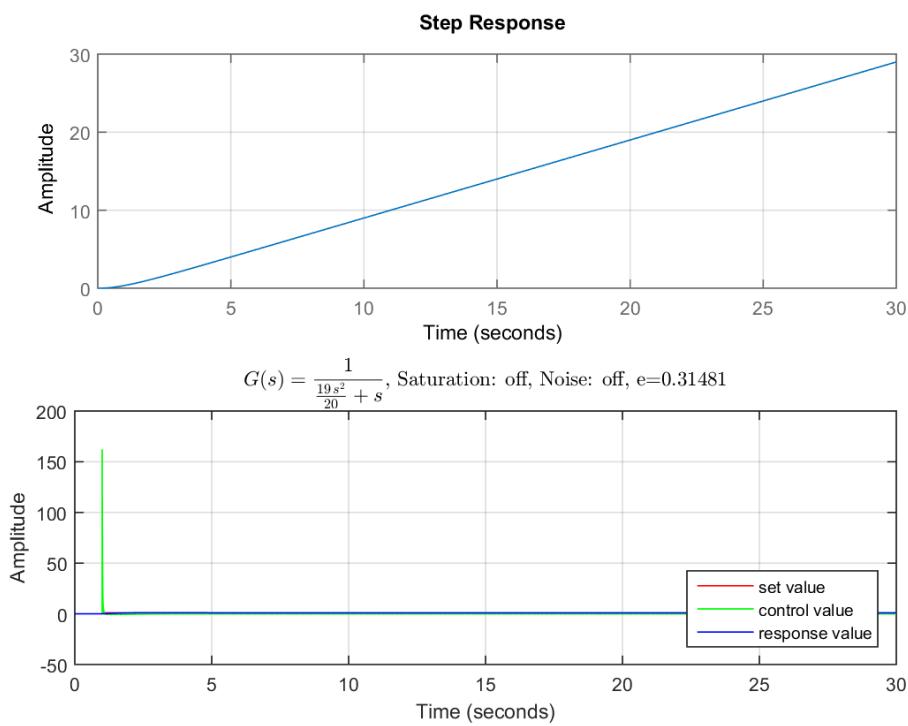
Rysunek 2.3.137: Obiekt G6-tf1b



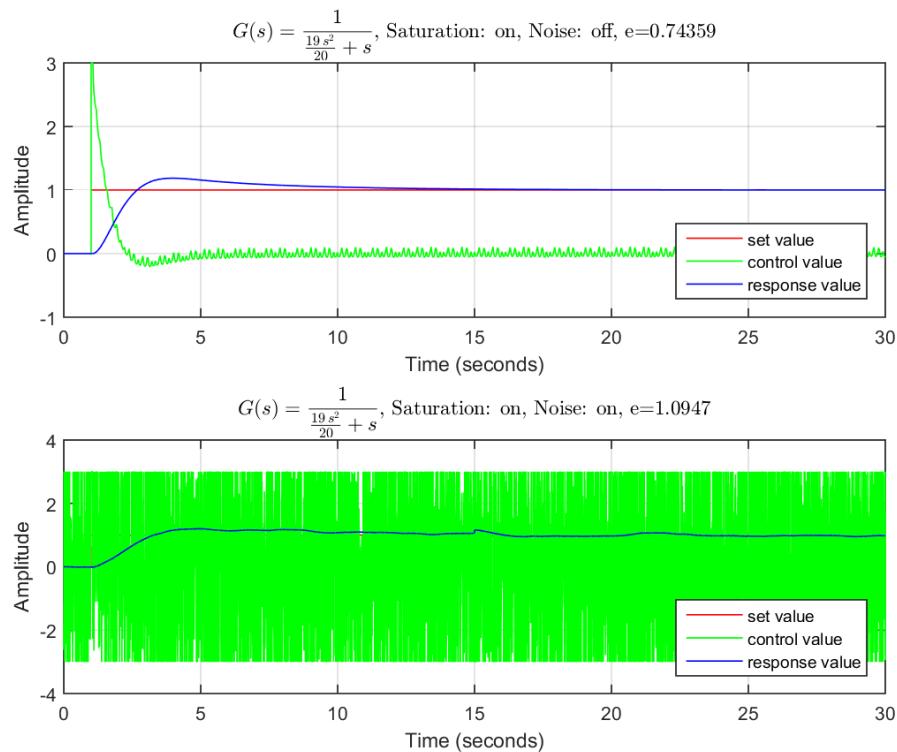
Rysunek 2.3.138: Obiekt G6-tf2a



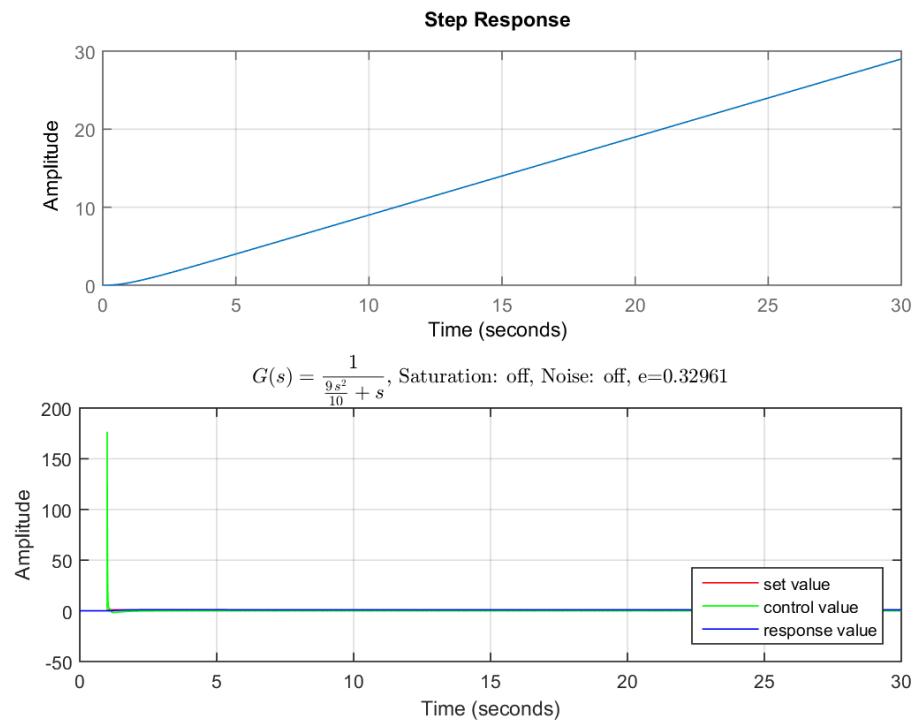
Rysunek 2.3.139: Obiekt G6-tf2b



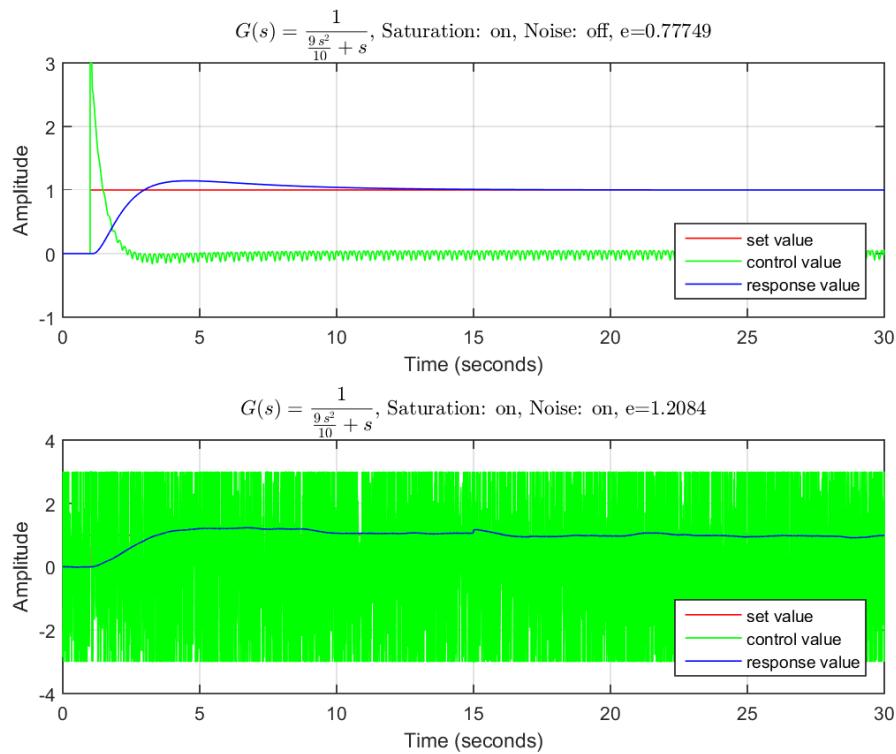
Rysunek 2.3.140: Obiekt G6-tf3a



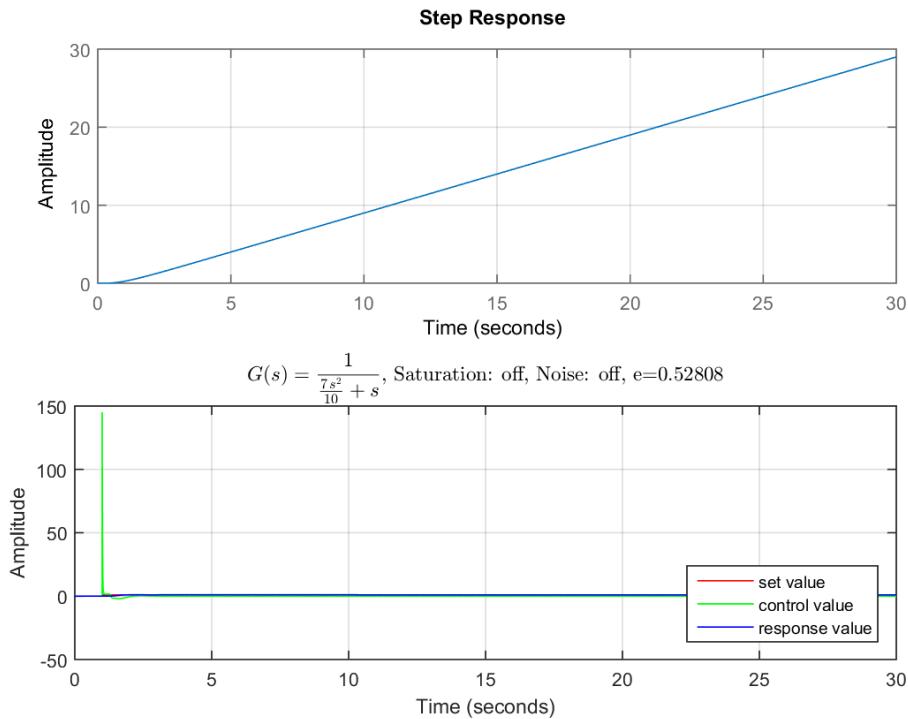
Rysunek 2.3.141: Obiekt G6-tf3b



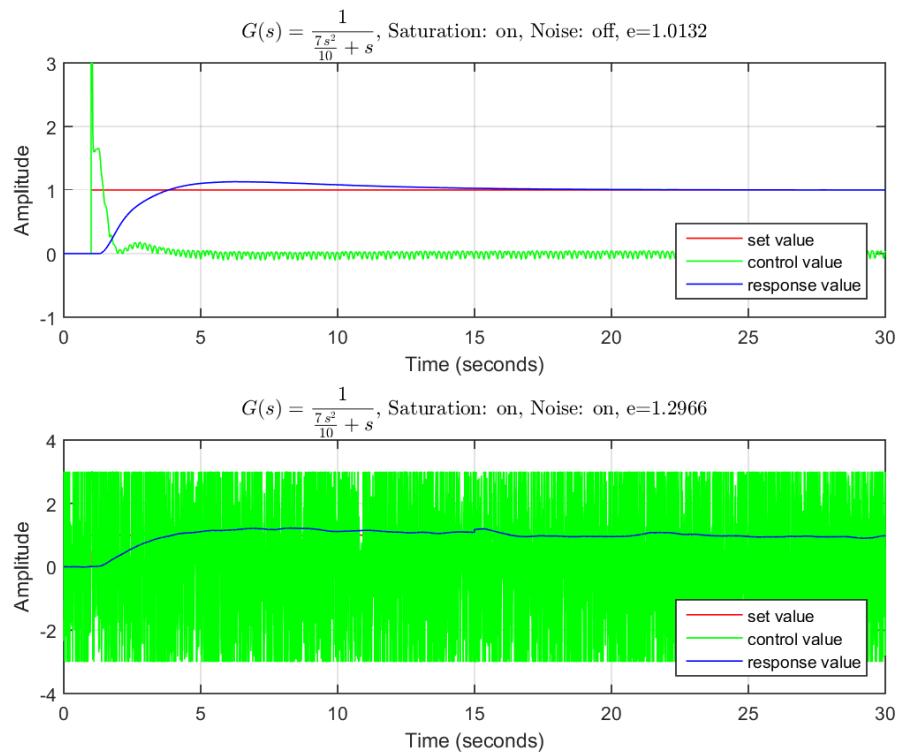
Rysunek 2.3.142: Obiekt G6-tf4a



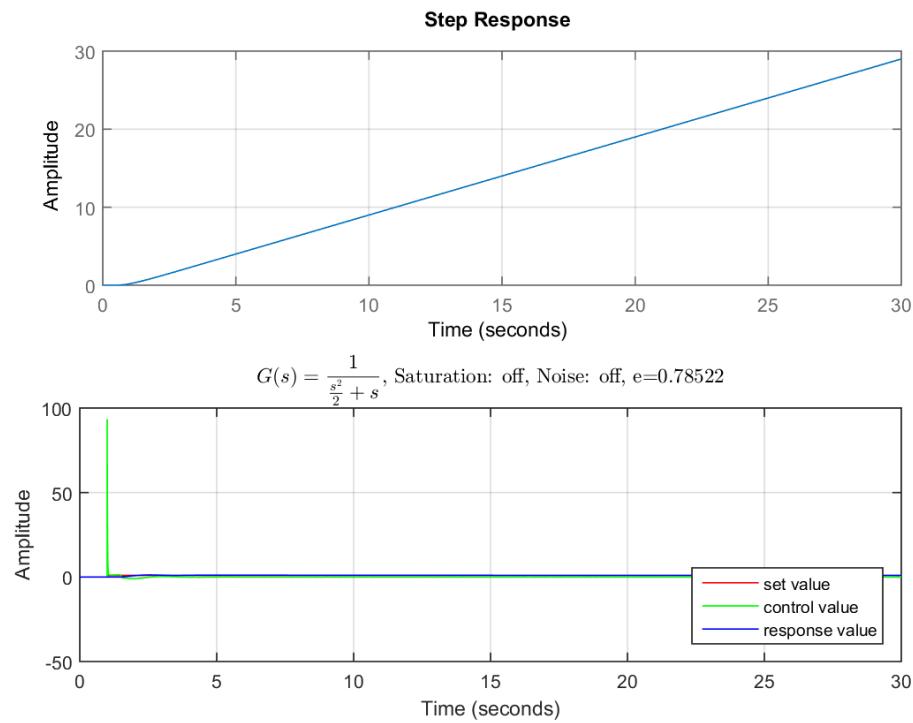
Rysunek 2.3.143: Obiekt G6-tf4b



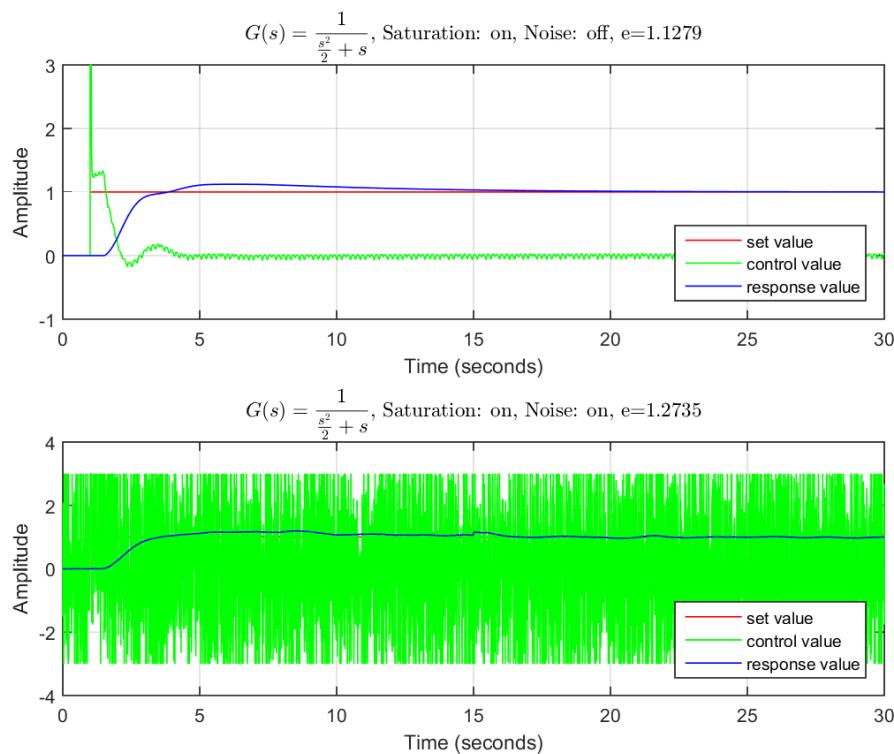
Rysunek 2.3.144: Obiekt G6-tf5a



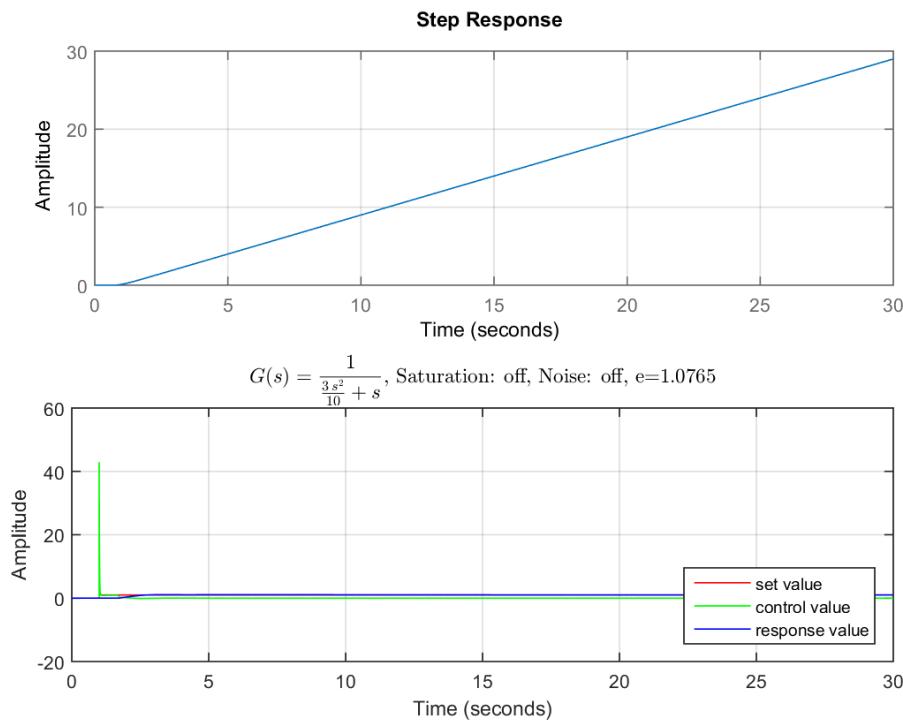
Rysunek 2.3.145: Obiekt G6-tf5b



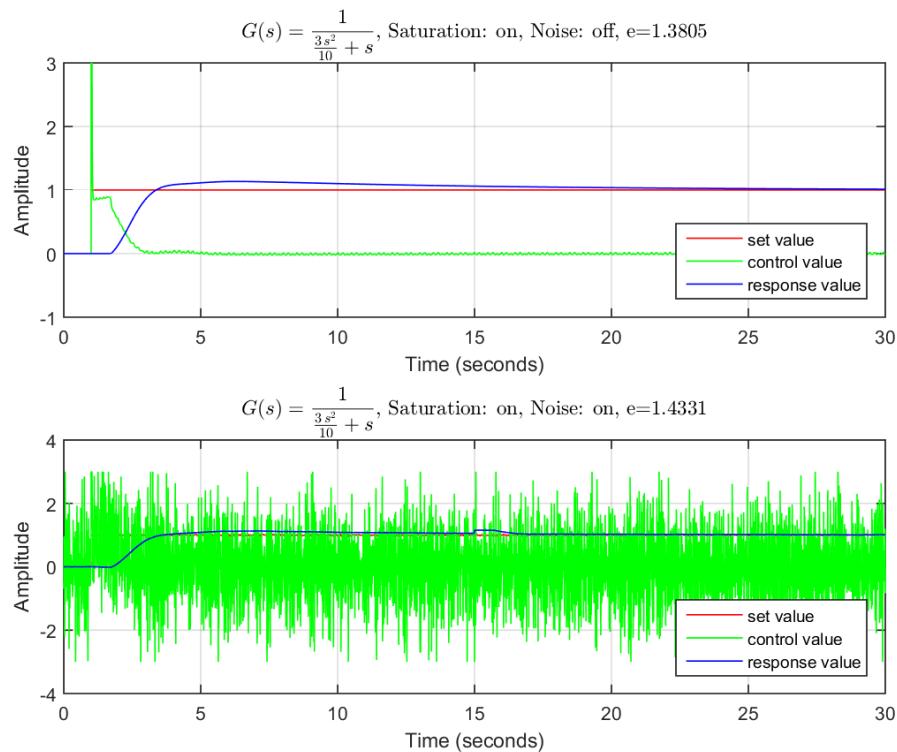
Rysunek 2.3.146: Obiekt G6-tf6a



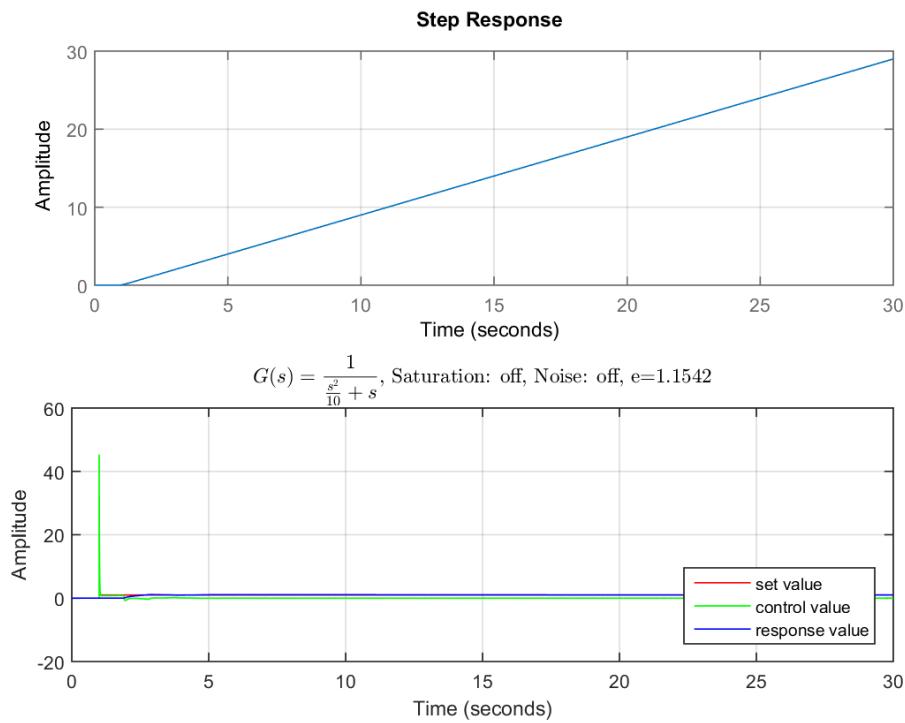
Rysunek 2.3.147: Obiekt G6-tf6b



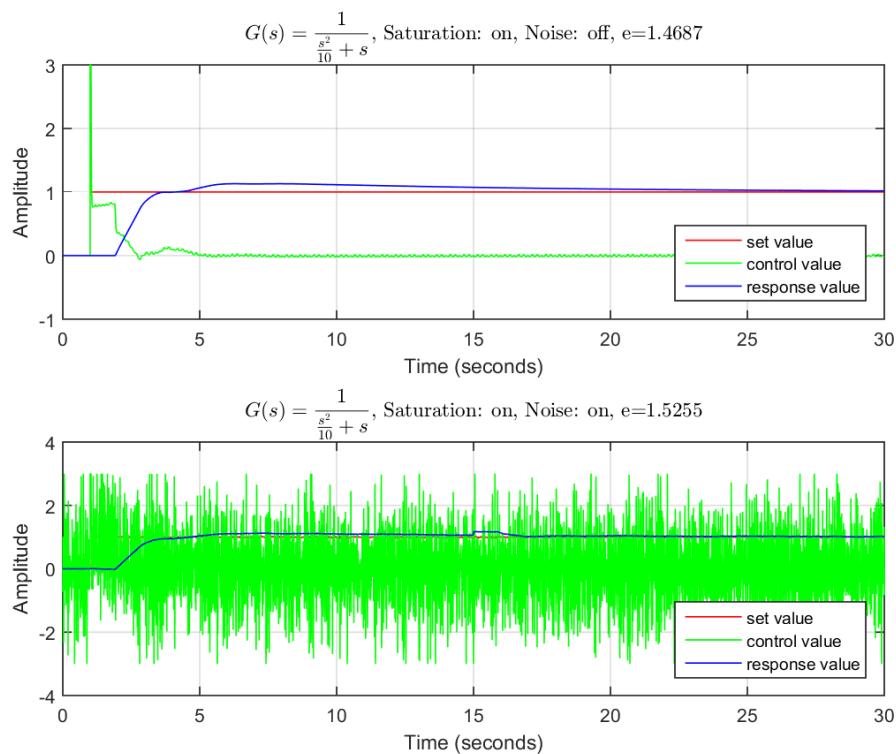
Rysunek 2.3.148: Obiekt G6-tf7a



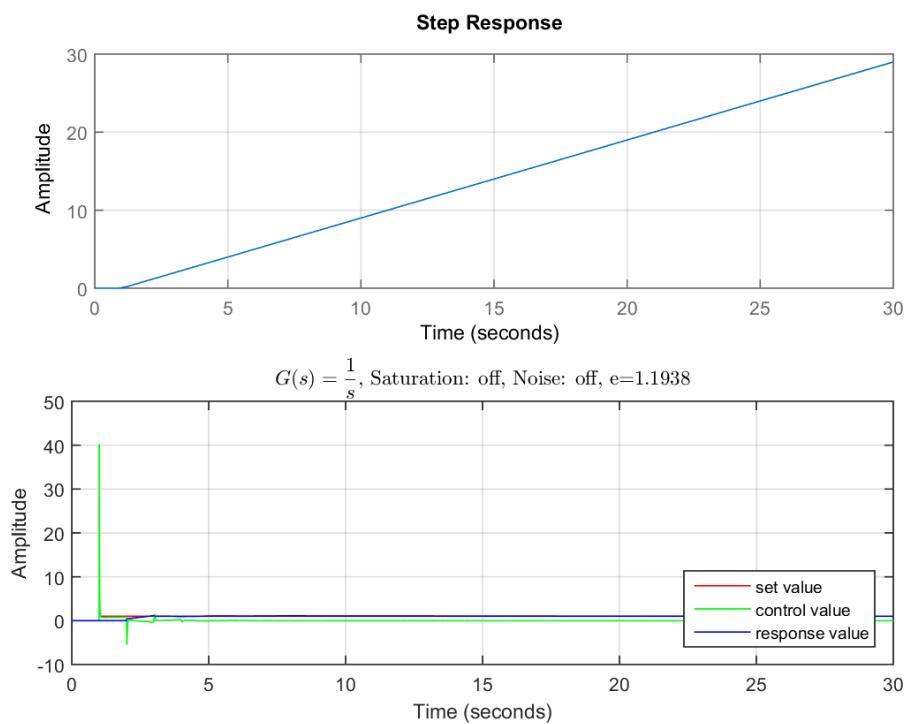
Rysunek 2.3.149: Obiekt G6-tf7b



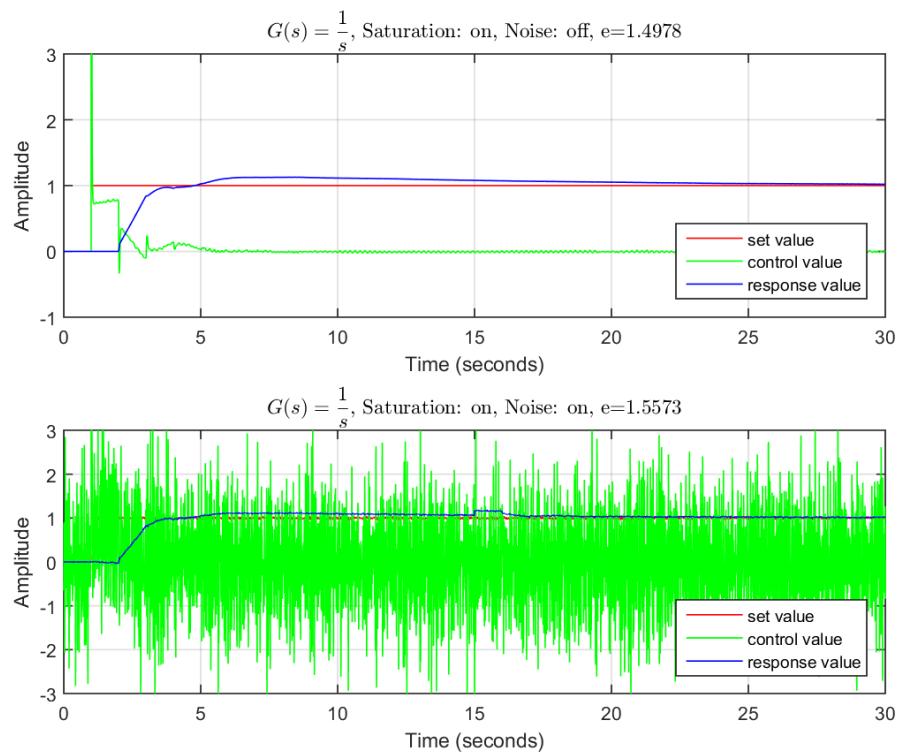
Rysunek 2.3.150: Obiekt G6-tf8a



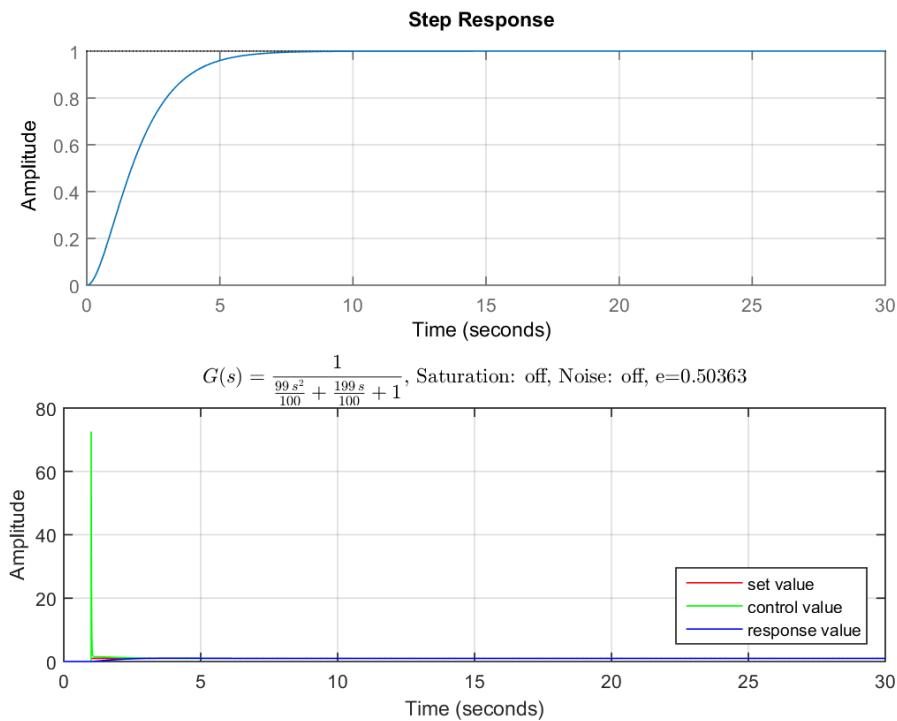
Rysunek 2.3.151: Obiekt G6-tf8b



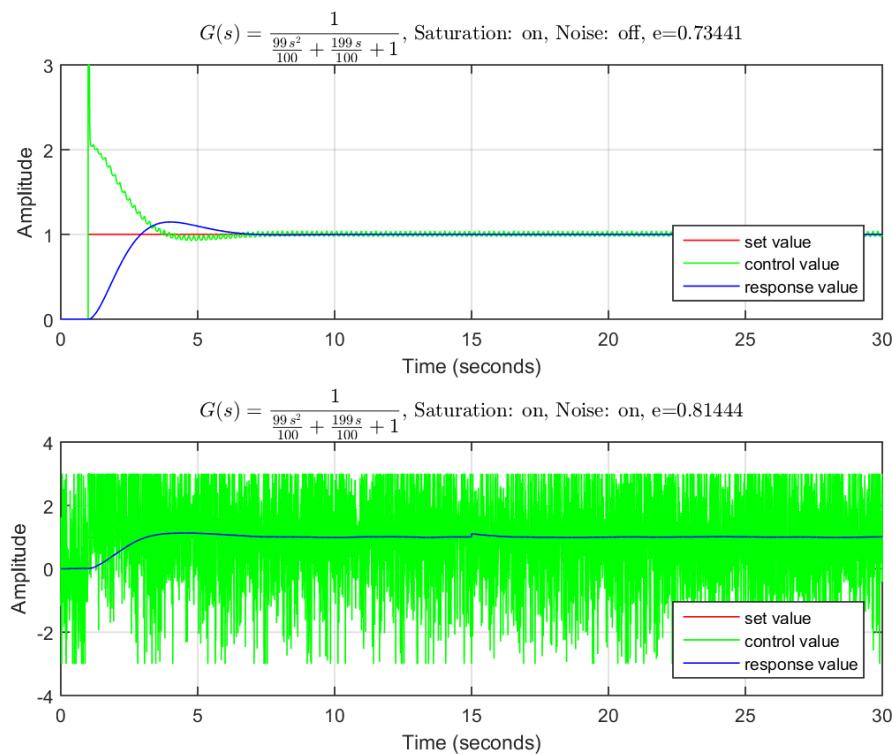
Rysunek 2.3.152: Obiekt G6-tf9a



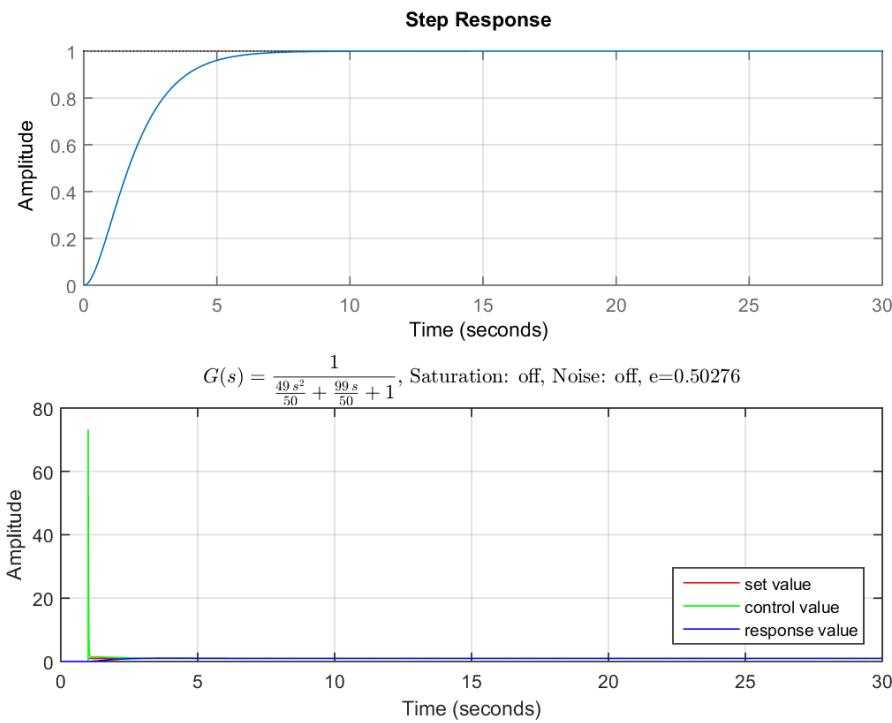
Rysunek 2.3.153: Obiekt G6-tf9b



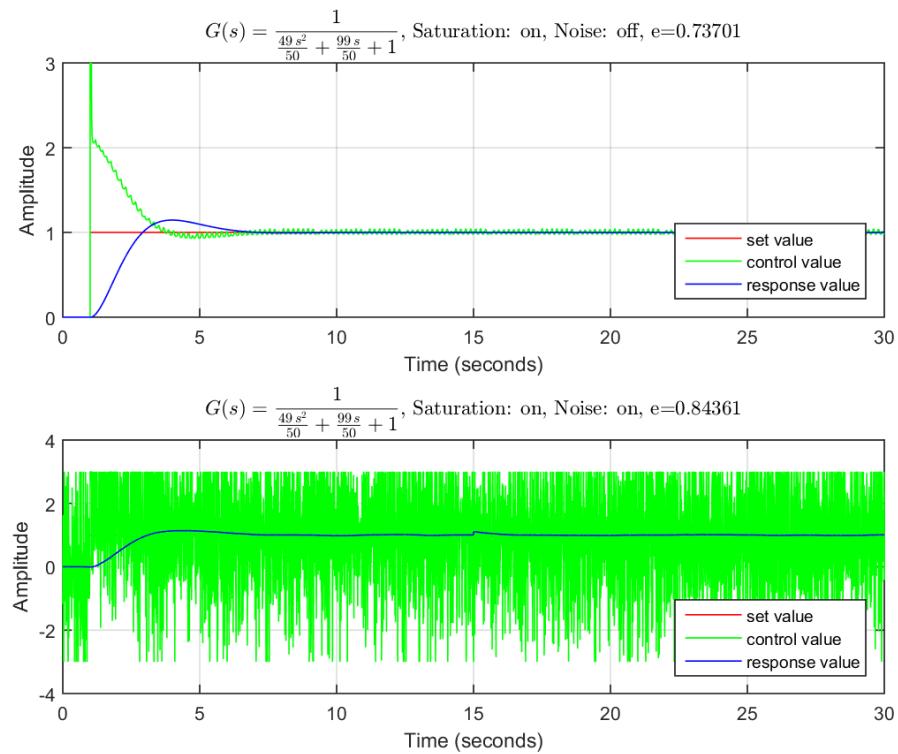
Rysunek 2.3.154: Obiekt G7-tf1a



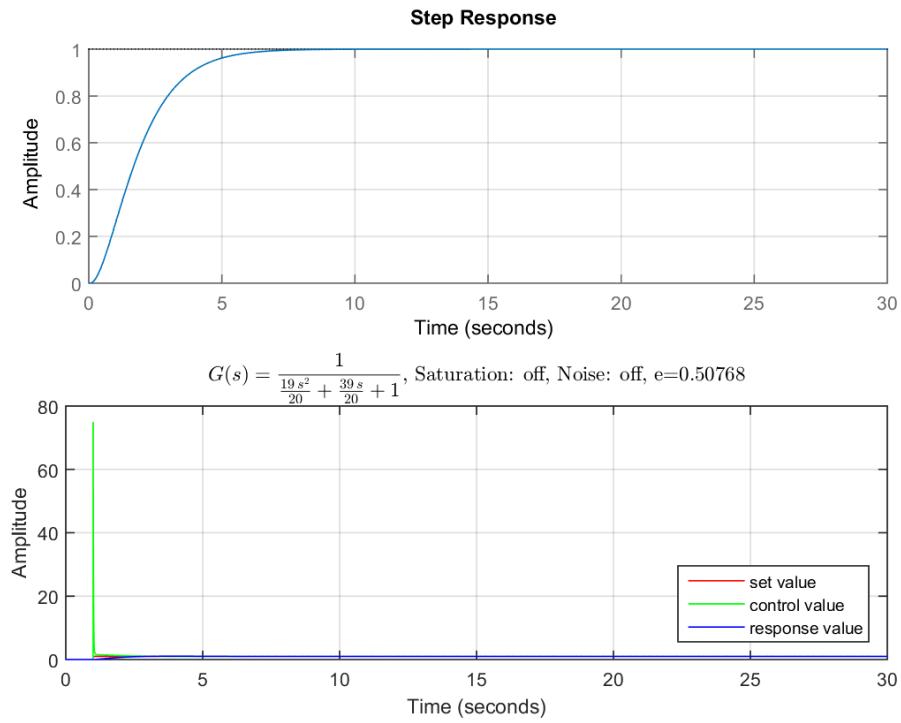
Rysunek 2.3.155: Obiekt G7-tf1b



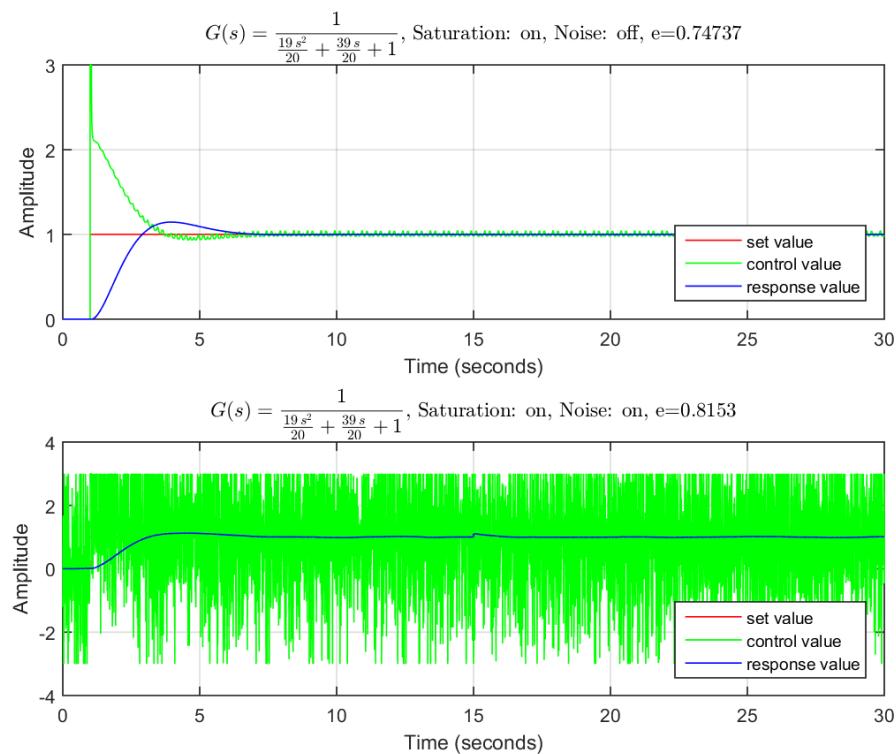
Rysunek 2.3.156: Obiekt G7-tf2a



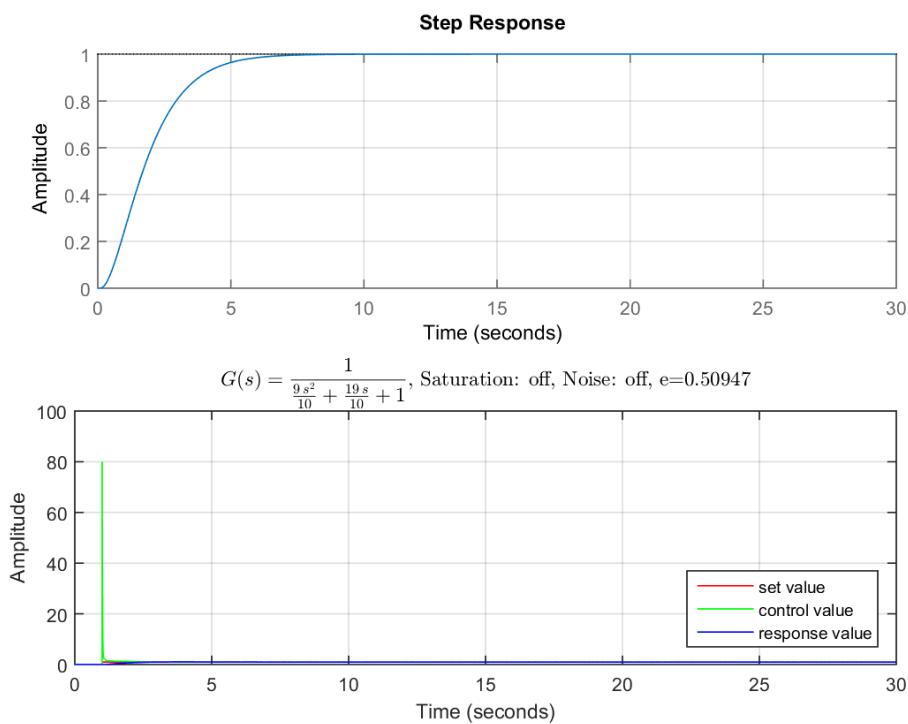
Rysunek 2.3.157: Obiekt G7-tf2b



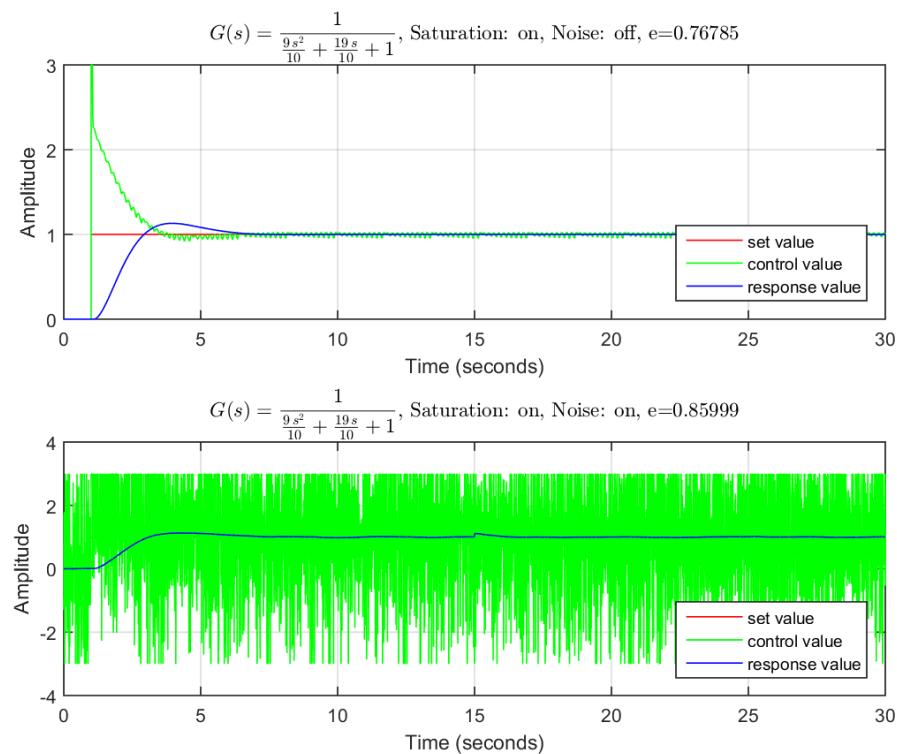
Rysunek 2.3.158: Obiekt G7-tf3a



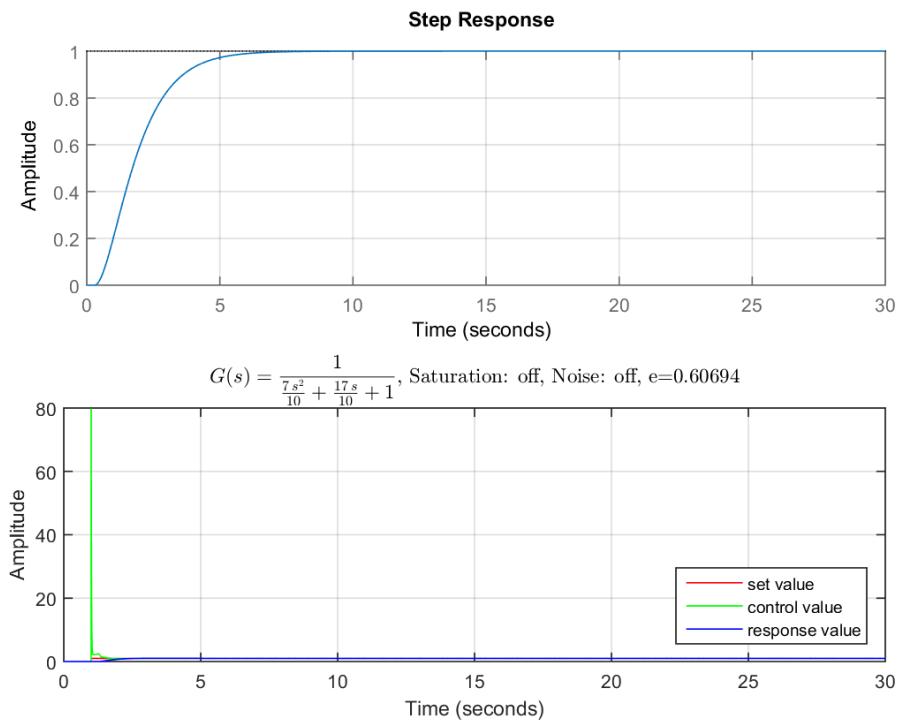
Rysunek 2.3.159: Obiekt G7-tf3b



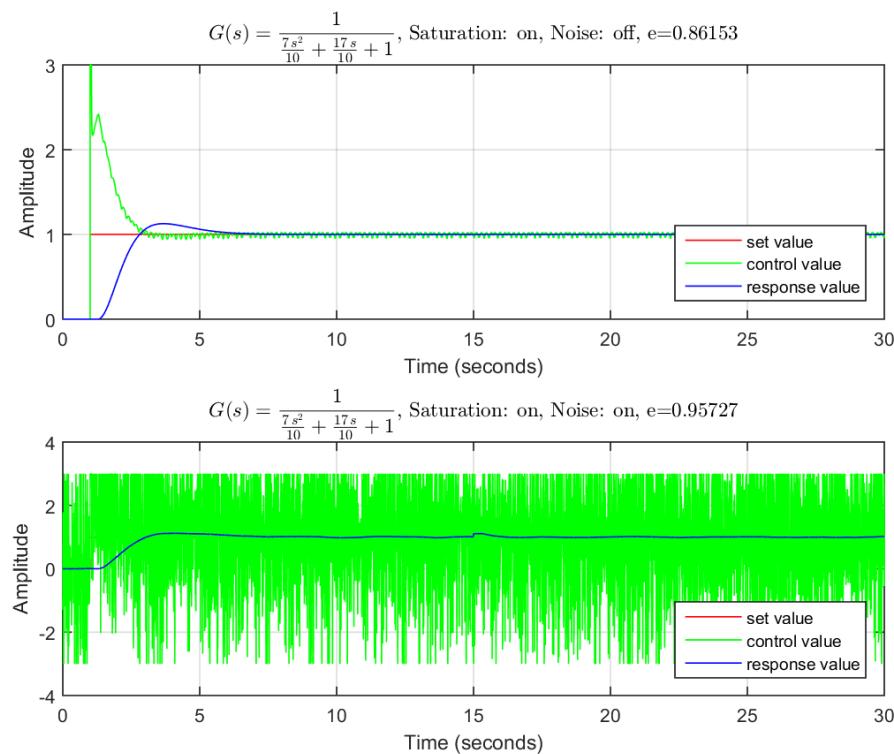
Rysunek 2.3.160: Obiekt G7-tf4a



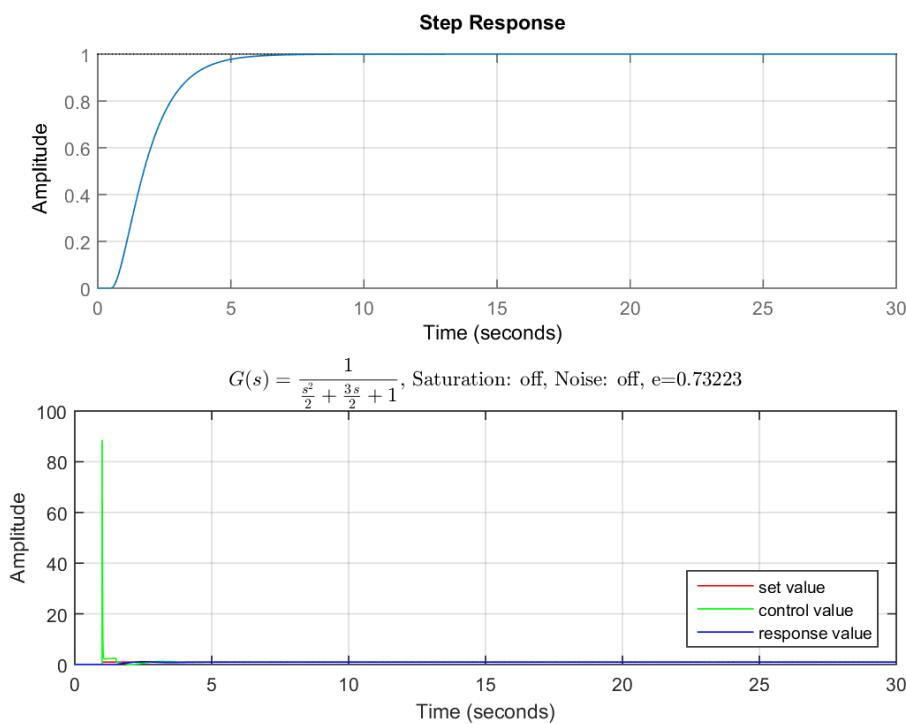
Rysunek 2.3.161: Obiekt G7-tf4b



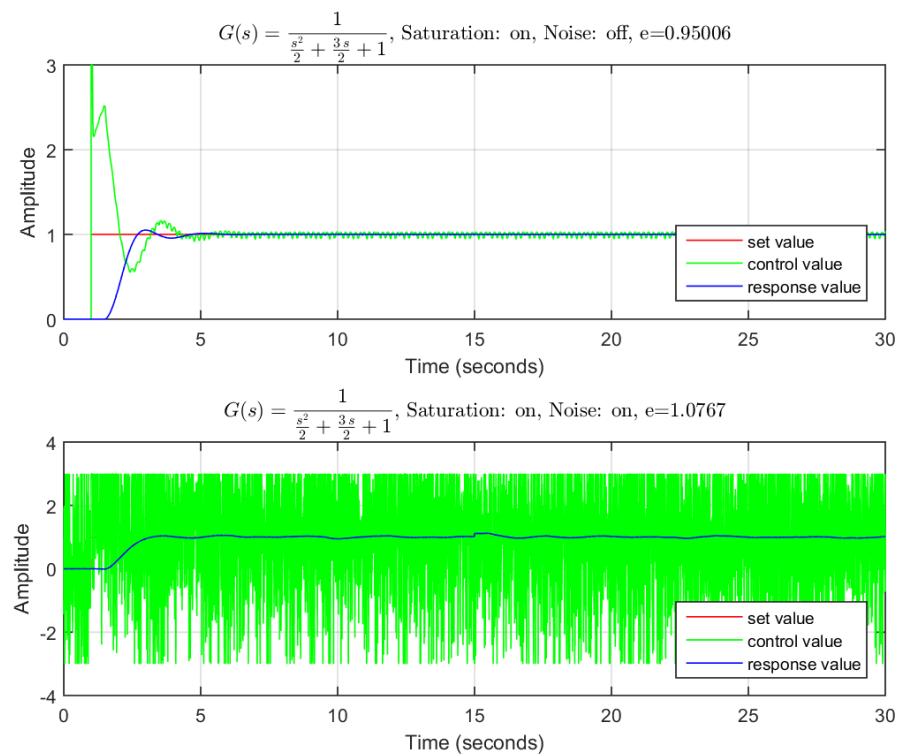
Rysunek 2.3.162: Obiekt G7-tf5a



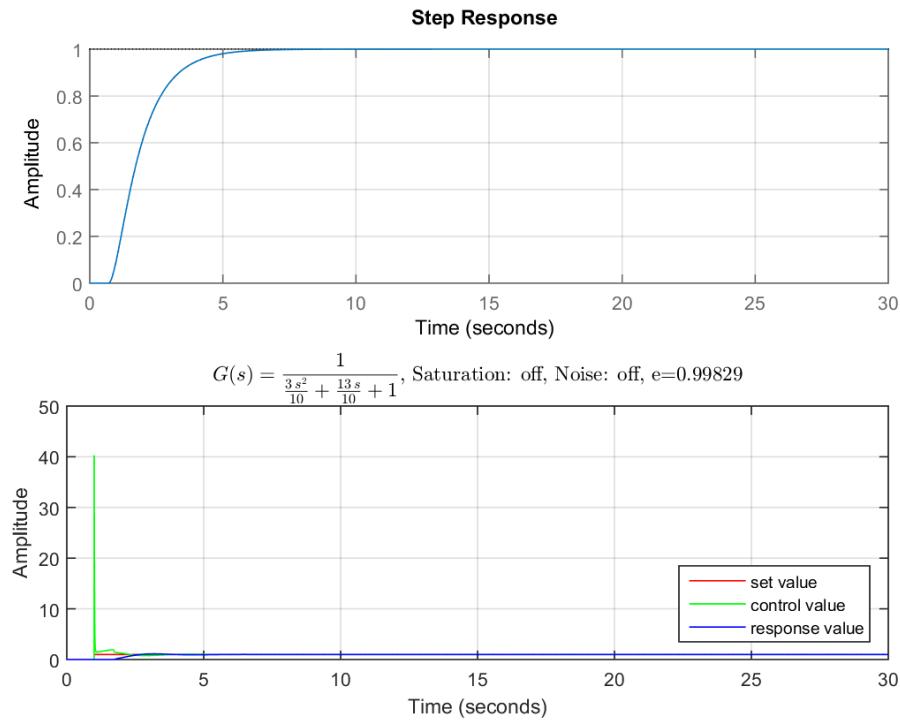
Rysunek 2.3.163: Obiekt G7-tf5b



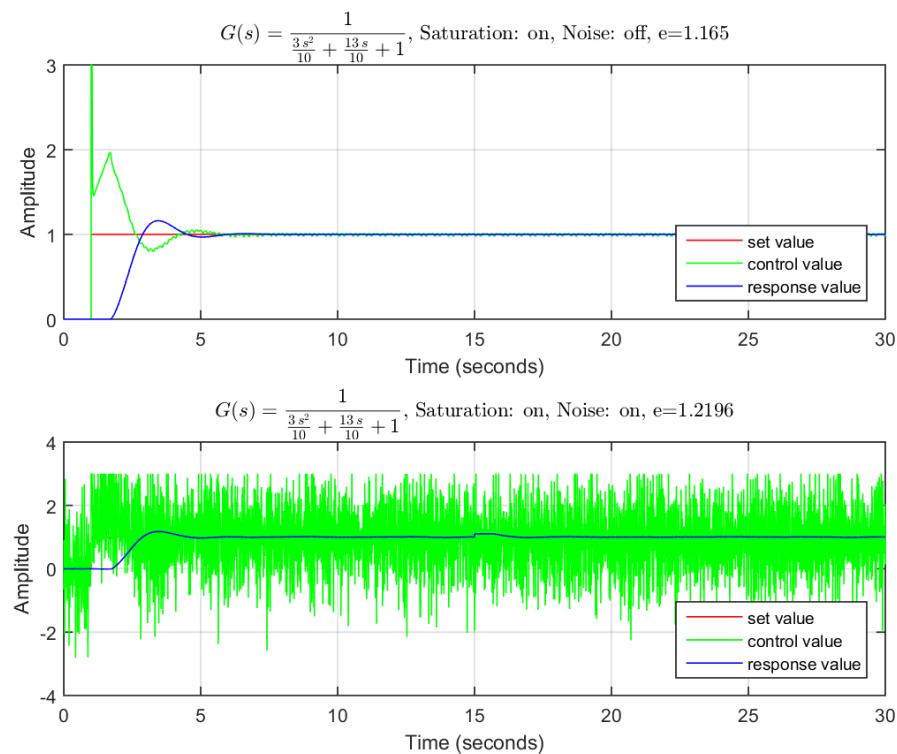
Rysunek 2.3.164: Obiekt G7-tf6a



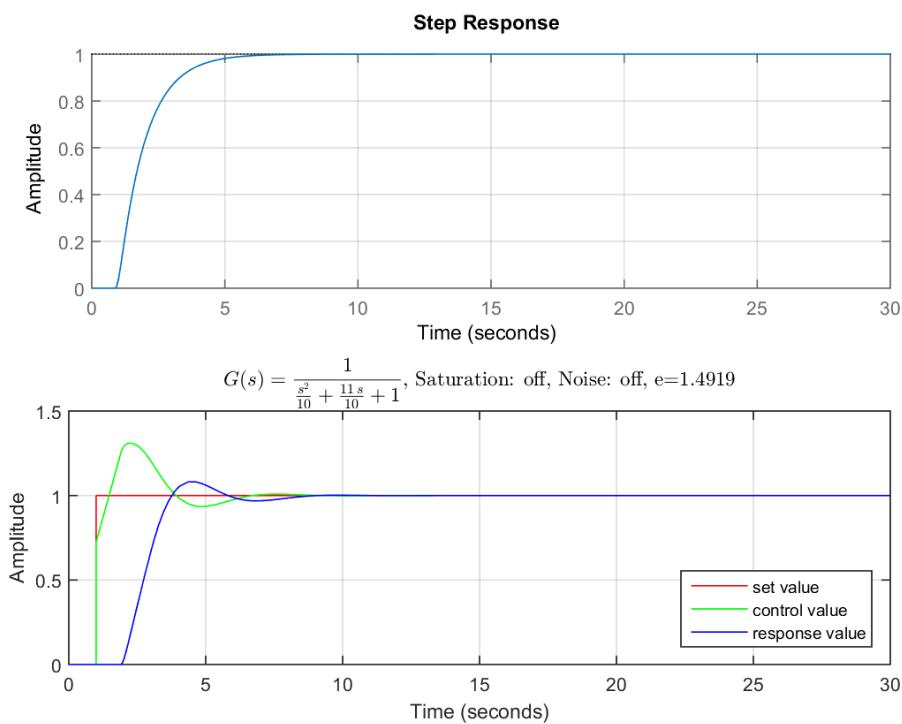
Rysunek 2.3.165: Obiekt G7-tf6b



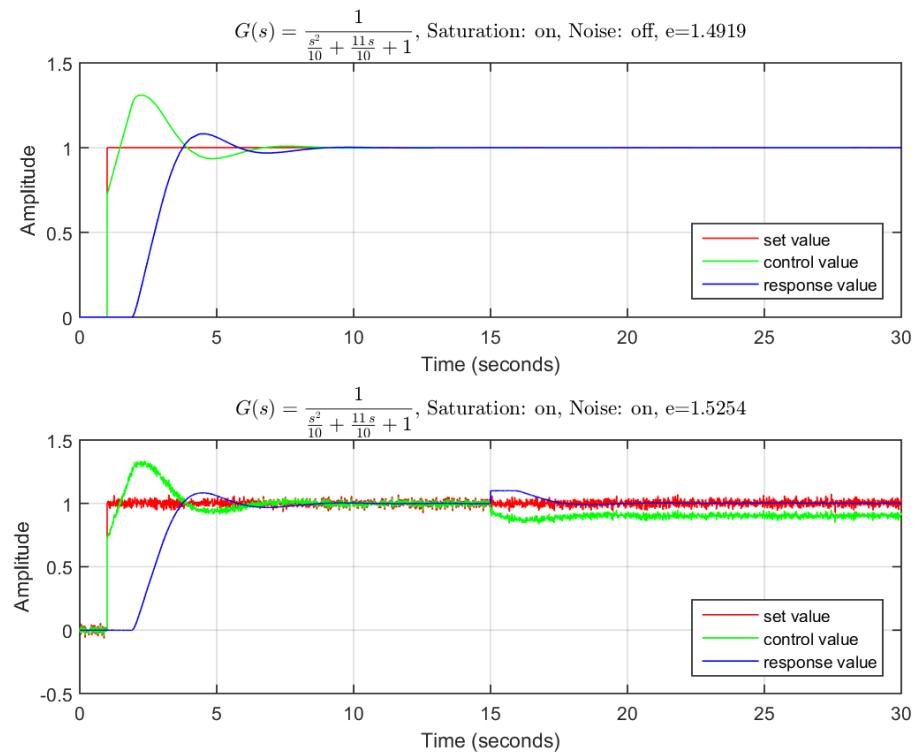
Rysunek 2.3.166: Obiekt G7-tf7a



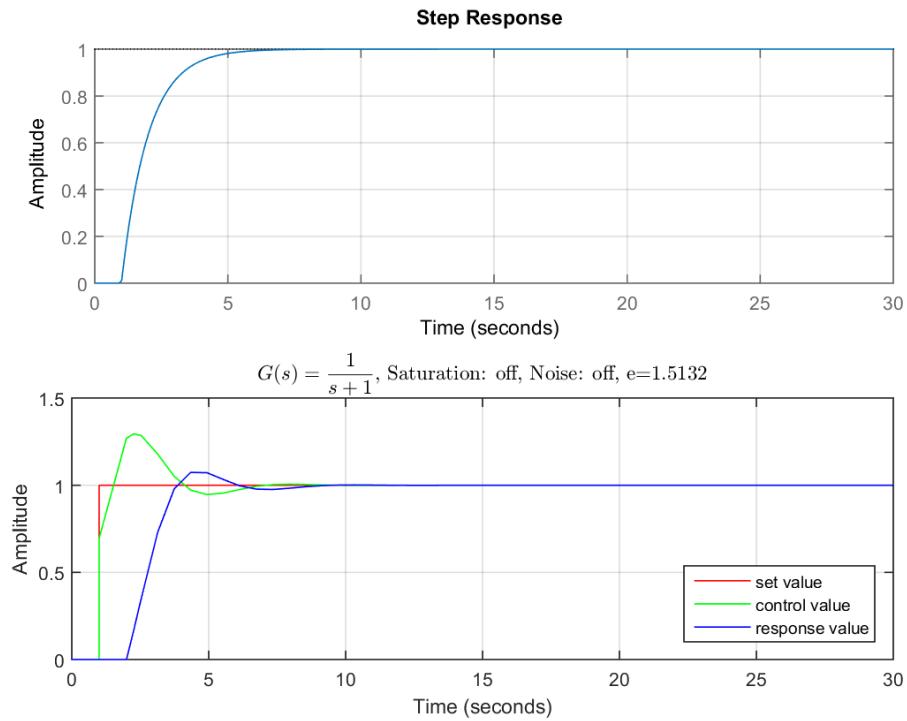
Rysunek 2.3.167: Obiekt G7-tf7b



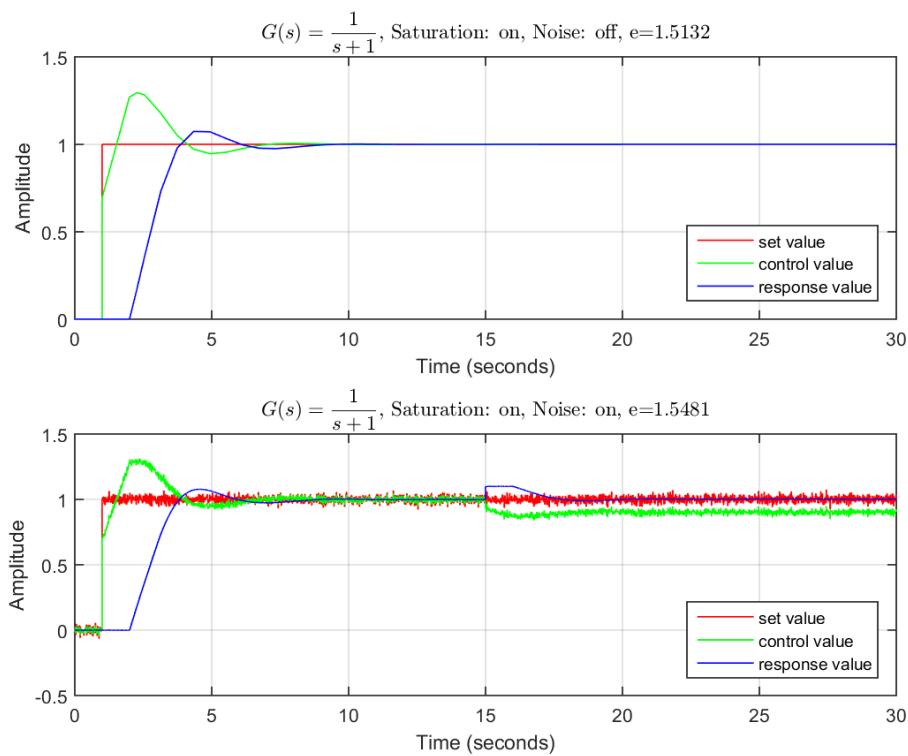
Rysunek 2.3.168: Obiekt G7-tf8a



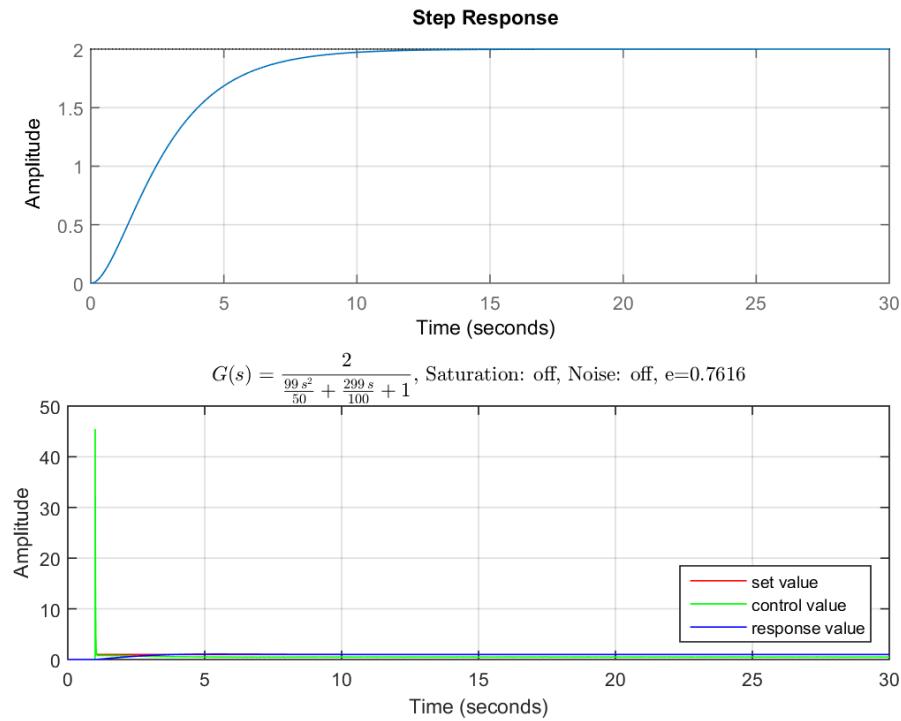
Rysunek 2.3.169: Obiekt G7-tf8b



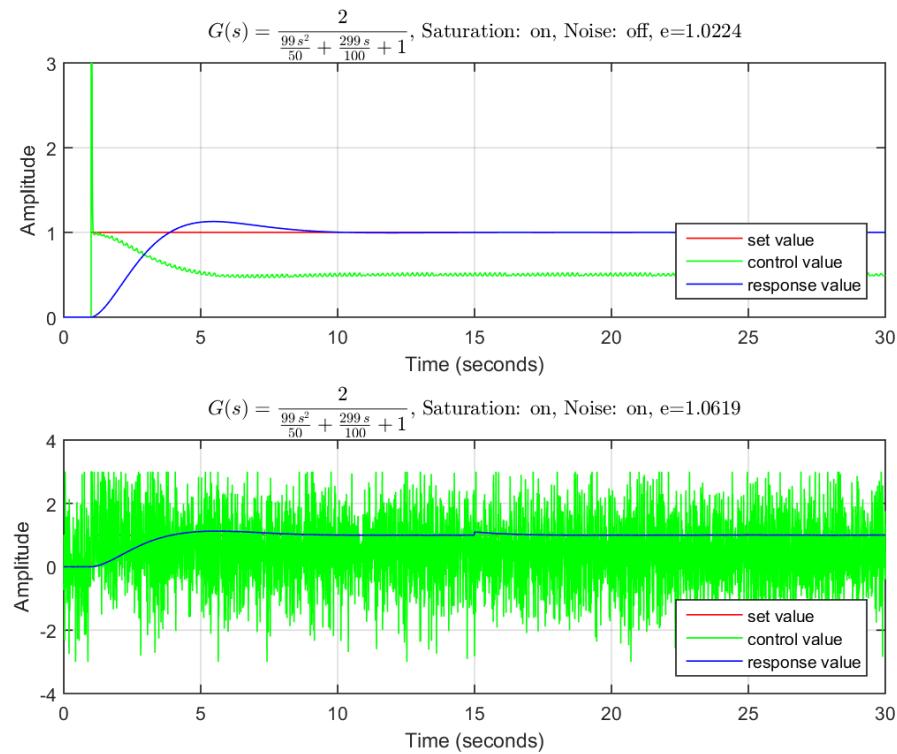
Rysunek 2.3.170: Obiekt G7-tf9a



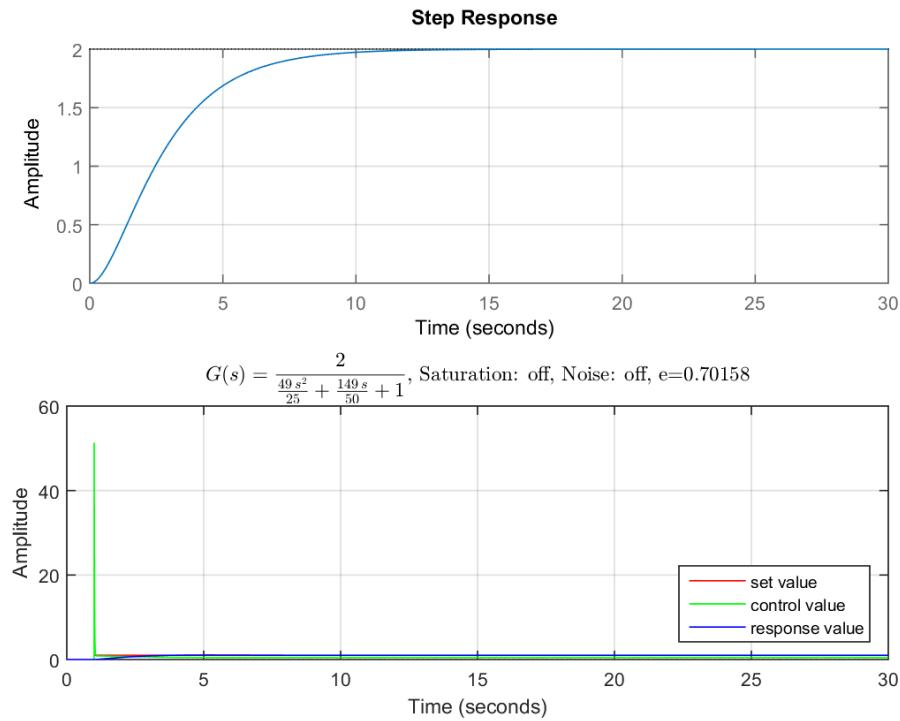
Rysunek 2.3.171: Obiekt G7-tf9b



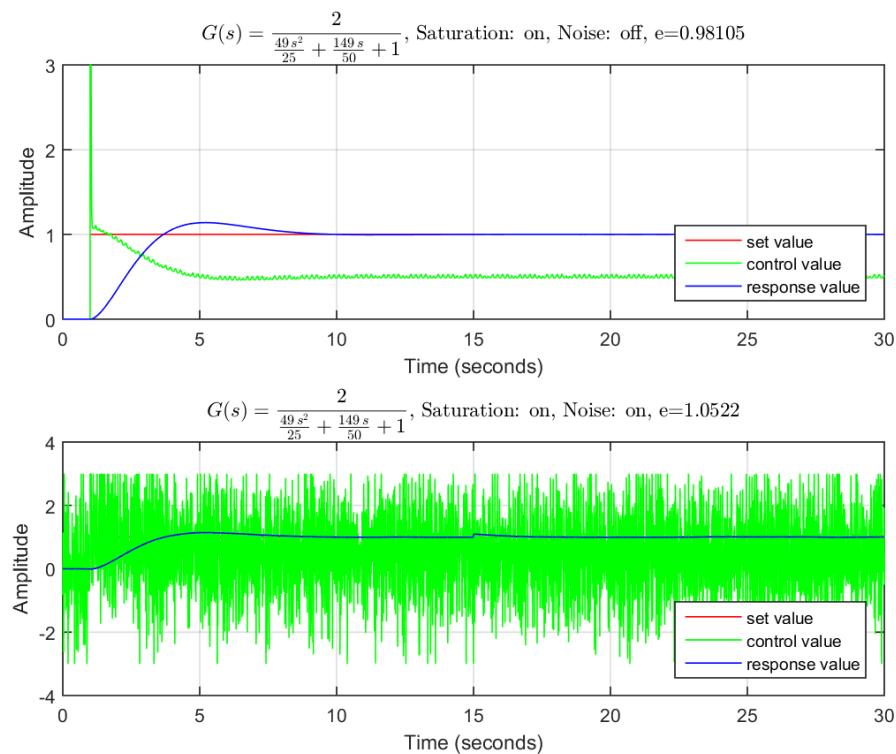
Rysunek 2.3.172: Obiekt G7-tf10a



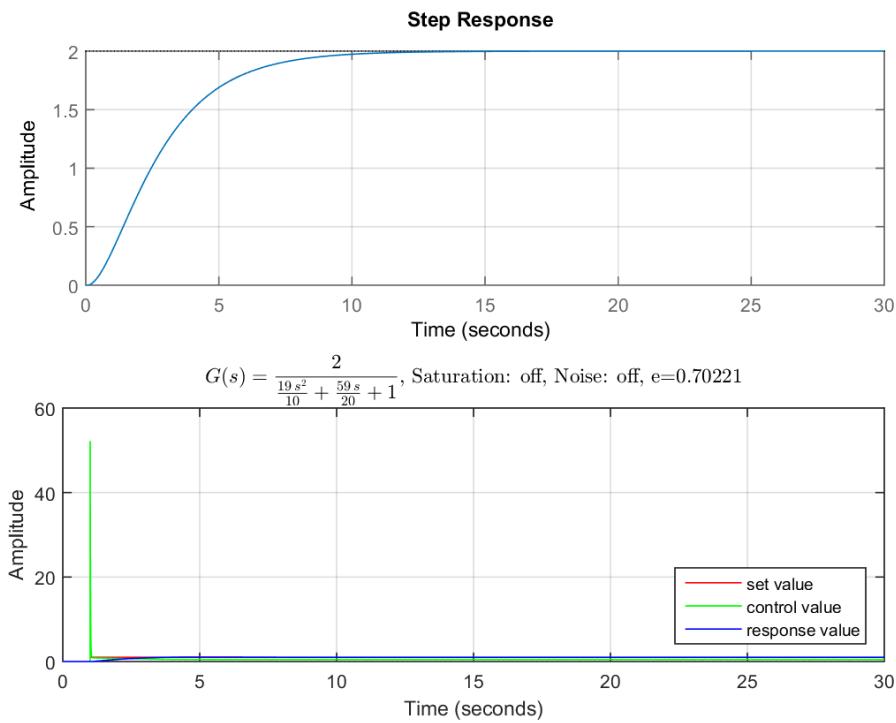
Rysunek 2.3.173: Obiekt G7-tf10b



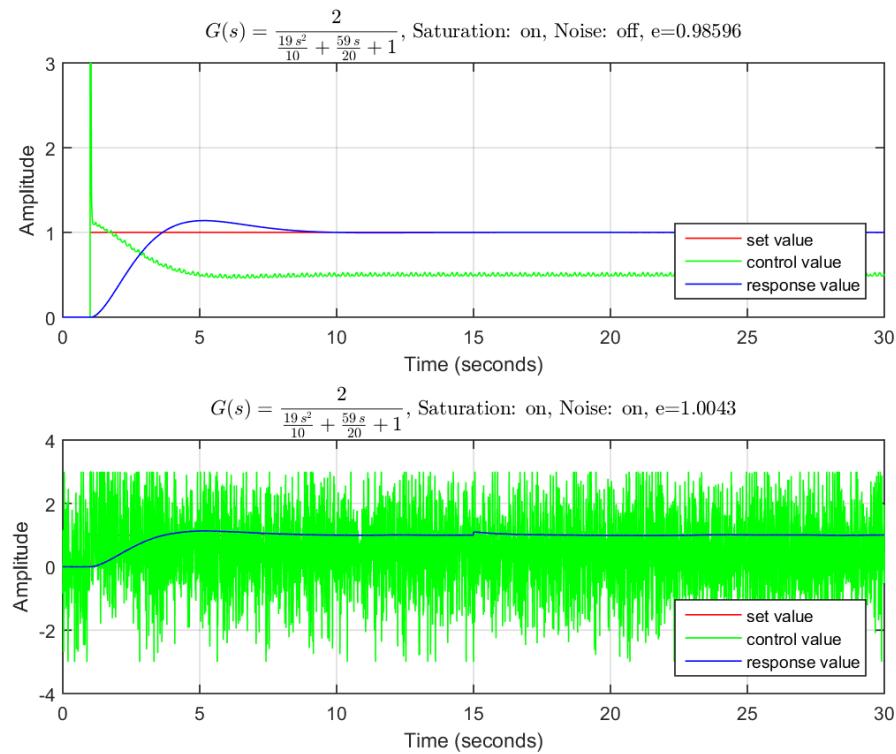
Rysunek 2.3.174: Obiekt G7-tf11a



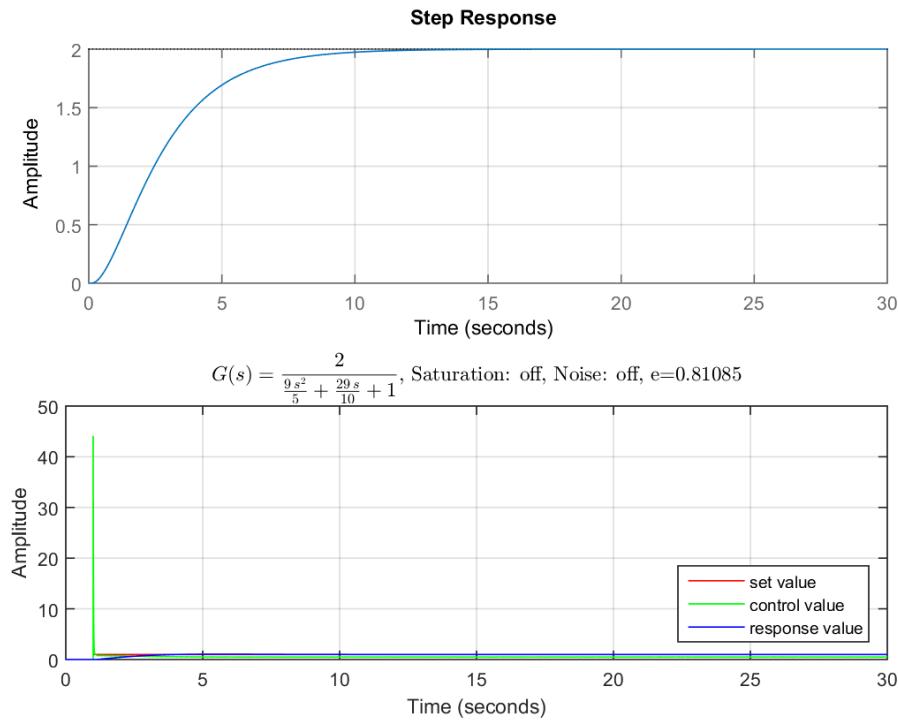
Rysunek 2.3.175: Obiekt G7-tf11b



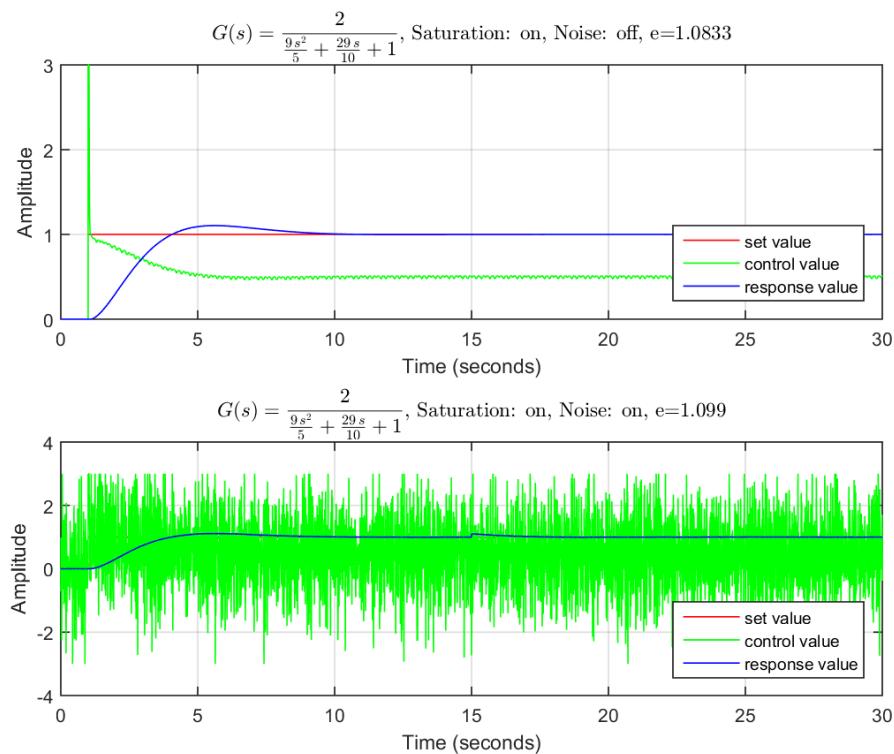
Rysunek 2.3.176: Obiekt G7-tf12a



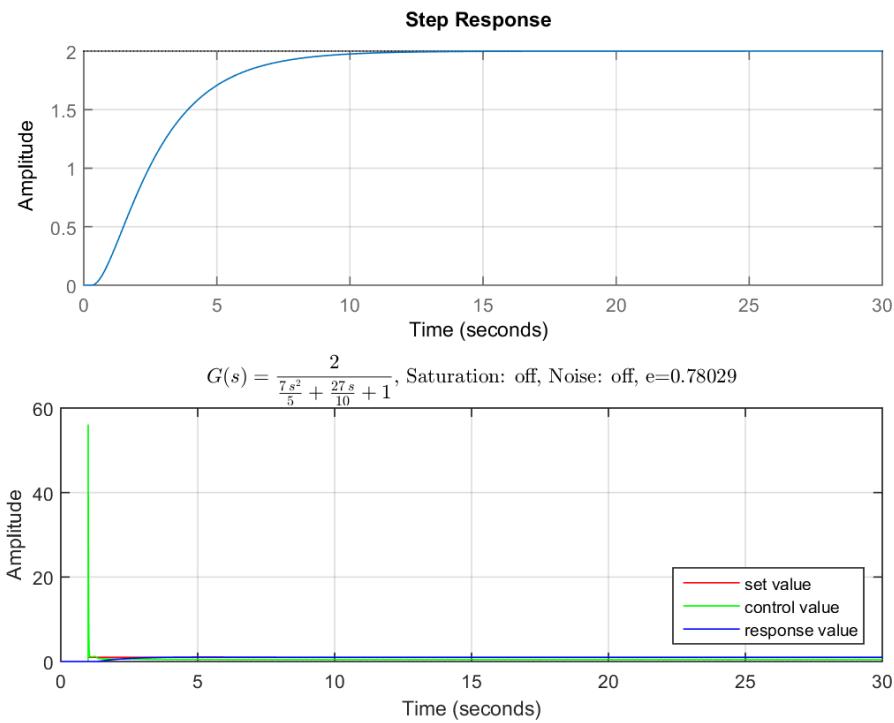
Rysunek 2.3.177: Obiekt G7-tf12b



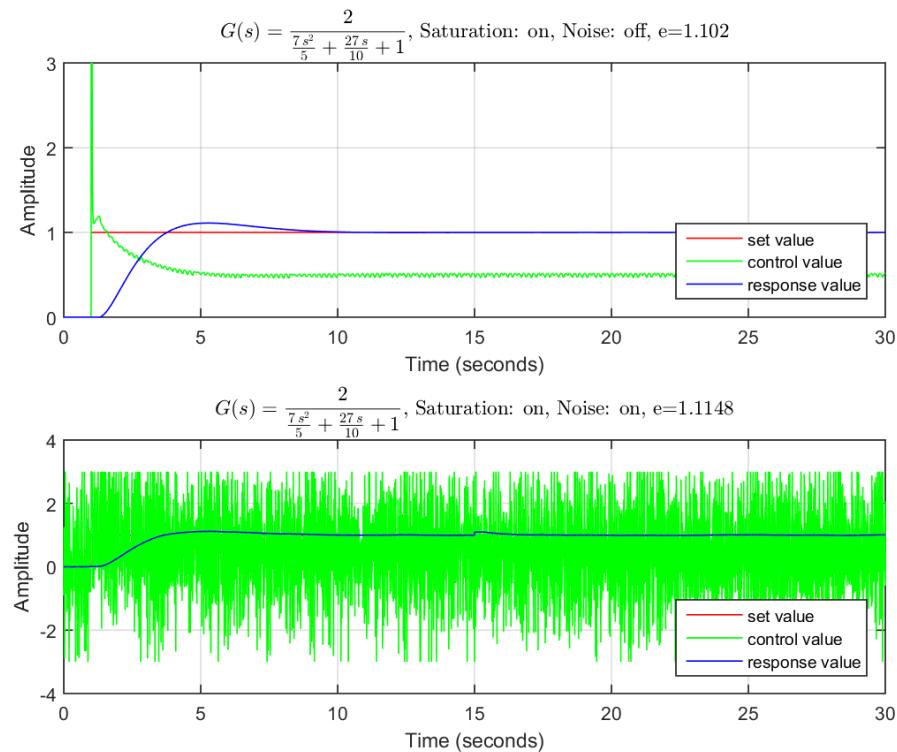
Rysunek 2.3.178: Obiekt G7-tf13a



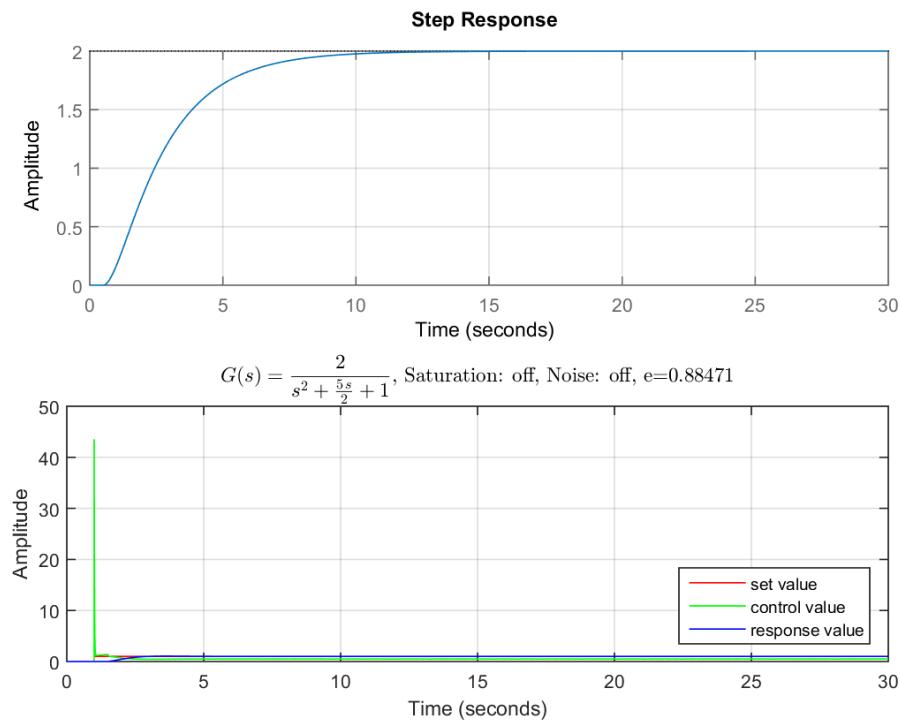
Rysunek 2.3.179: Obiekt G7-tf13b



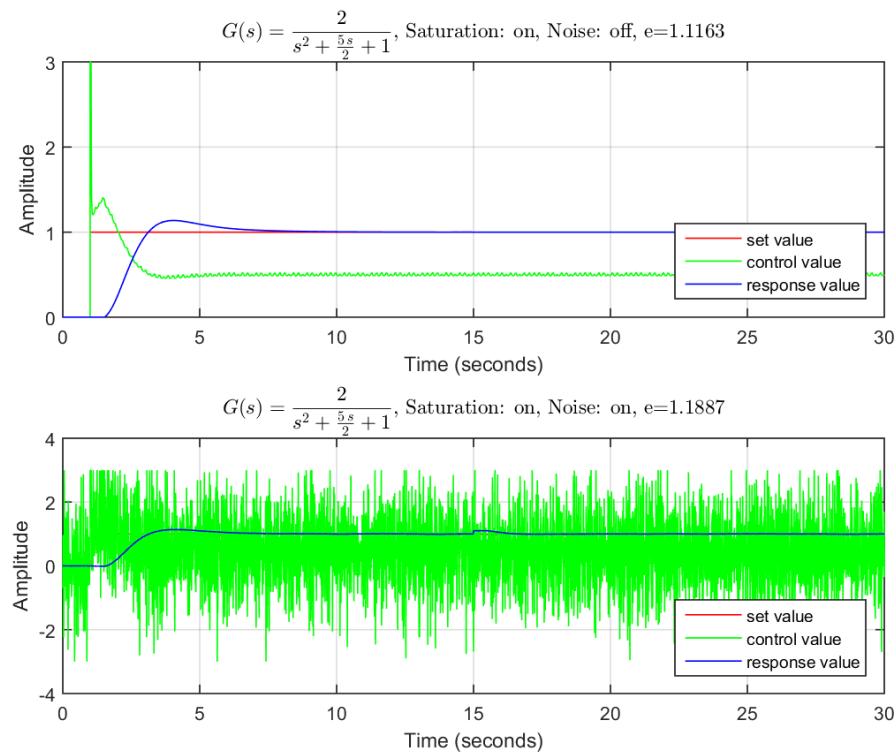
Rysunek 2.3.180: Obiekt G7-tf14a



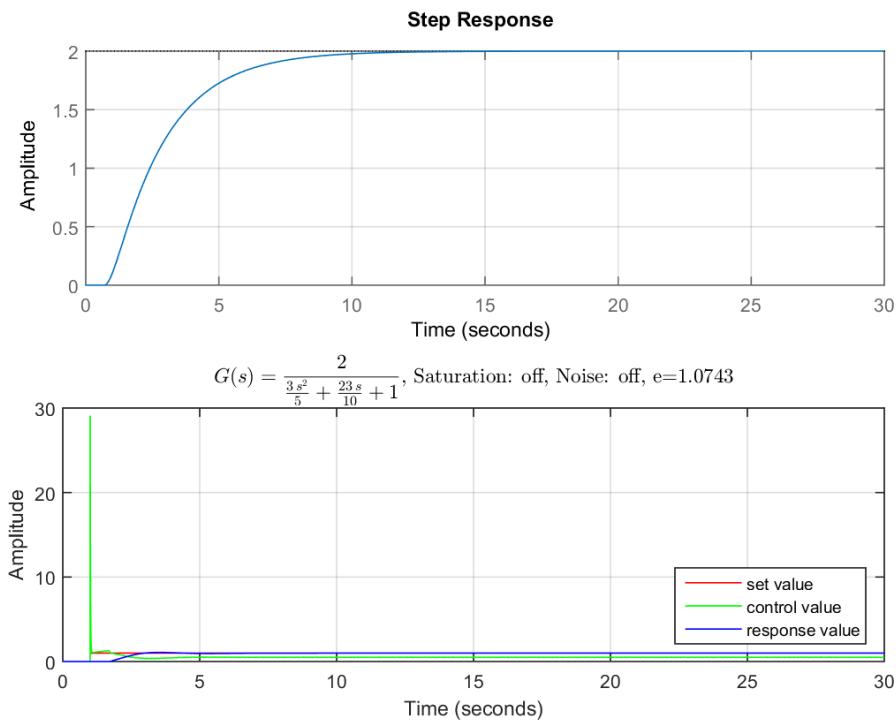
Rysunek 2.3.181: Obiekt G7-tf14b



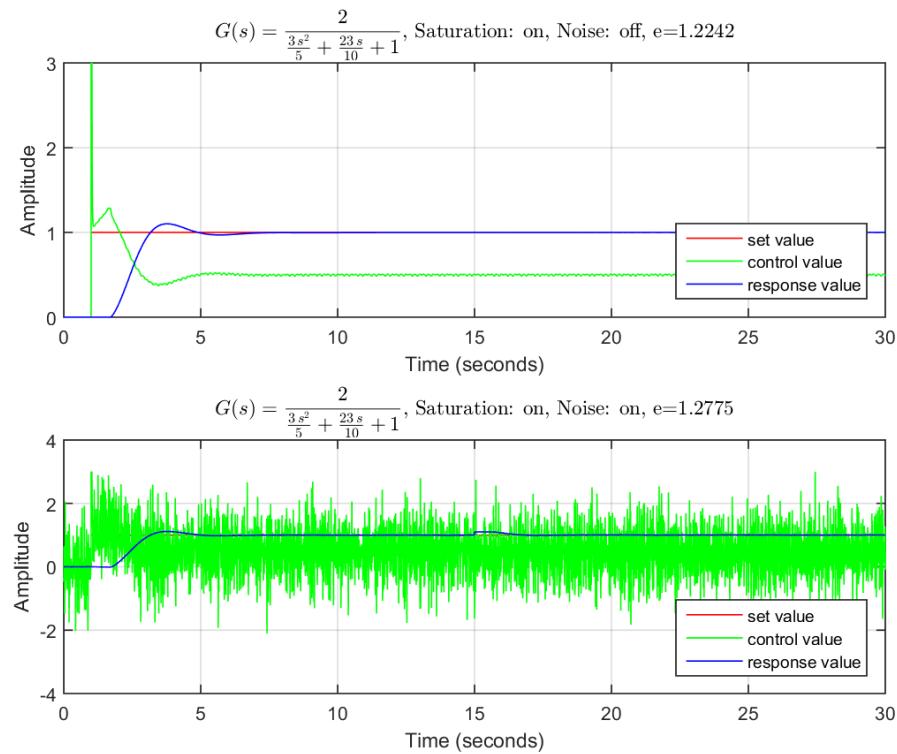
Rysunek 2.3.182: Obiekt G7-tf15a



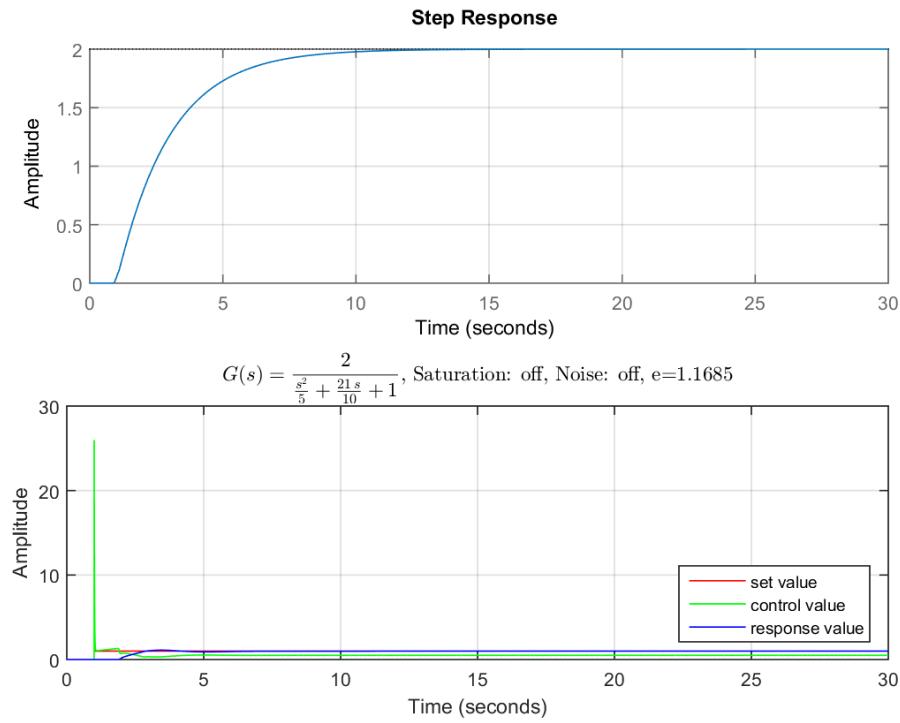
Rysunek 2.3.183: Obiekt G7-tf15b



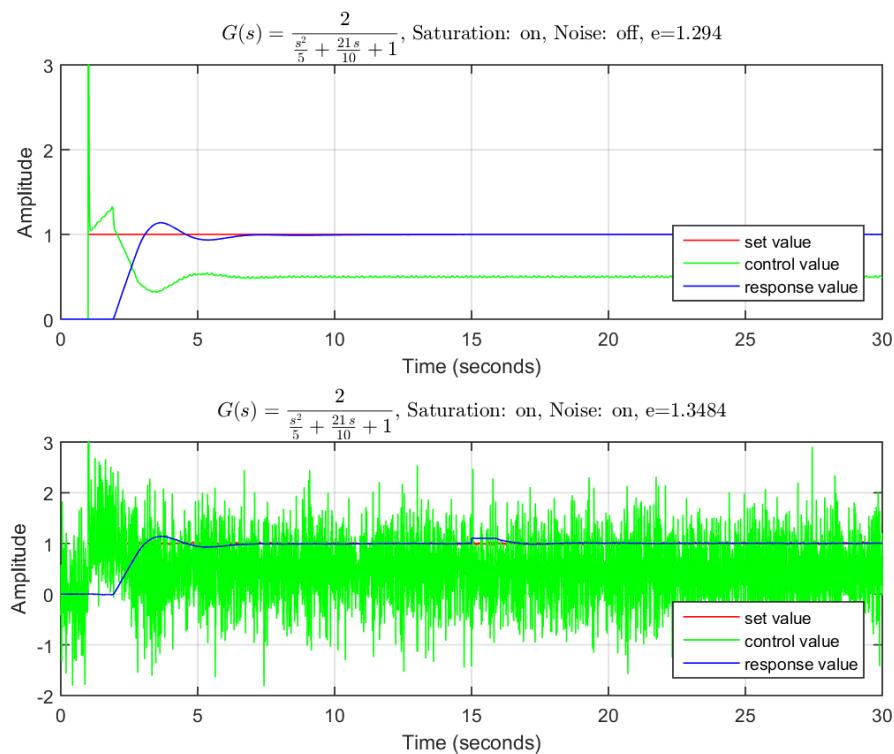
Rysunek 2.3.184: Obiekt G7-tf16a



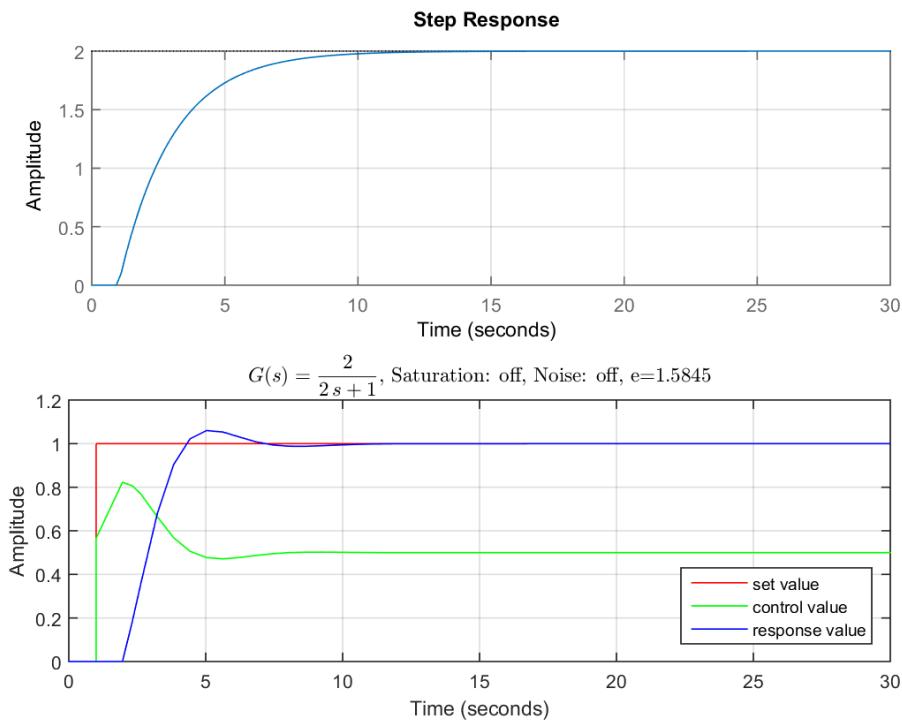
Rysunek 2.3.185: Obiekt G7-tf16b



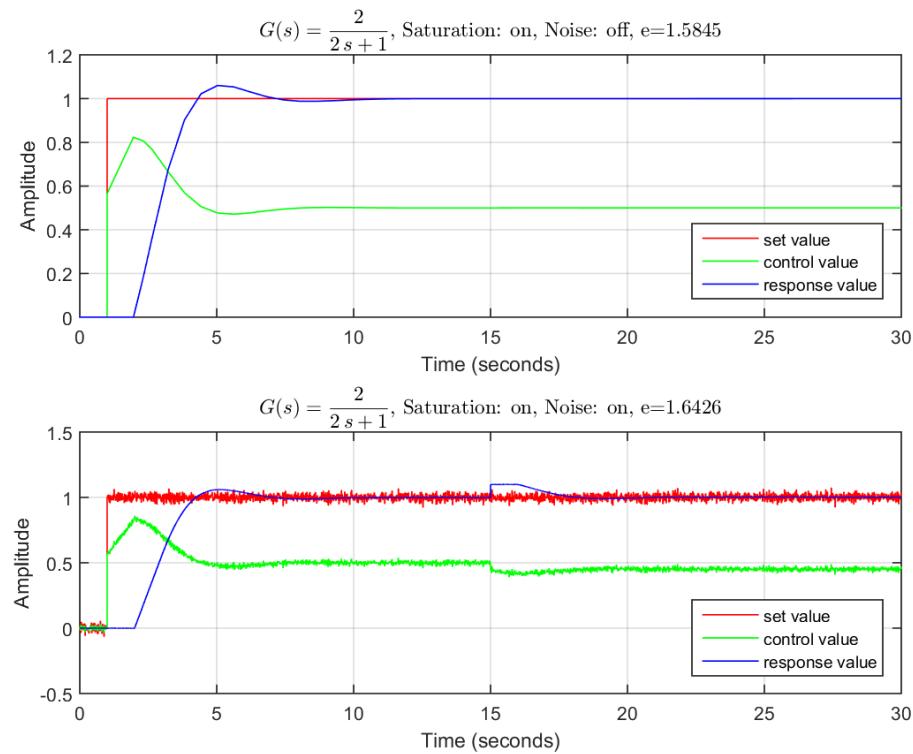
Rysunek 2.3.186: Obiekt G7-tf17a



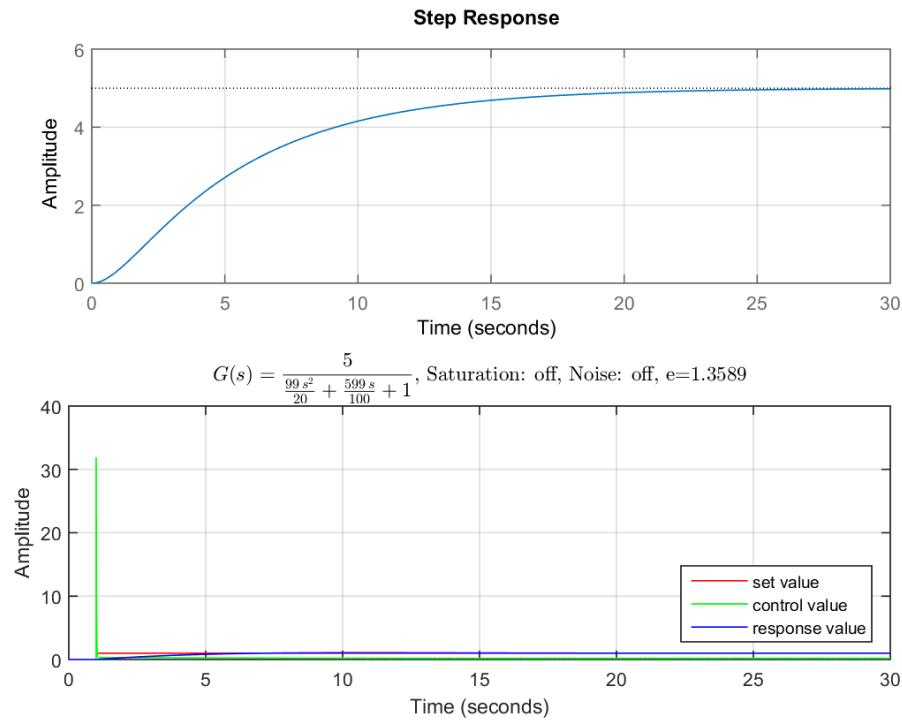
Rysunek 2.3.187: Obiekt G7-tf17b



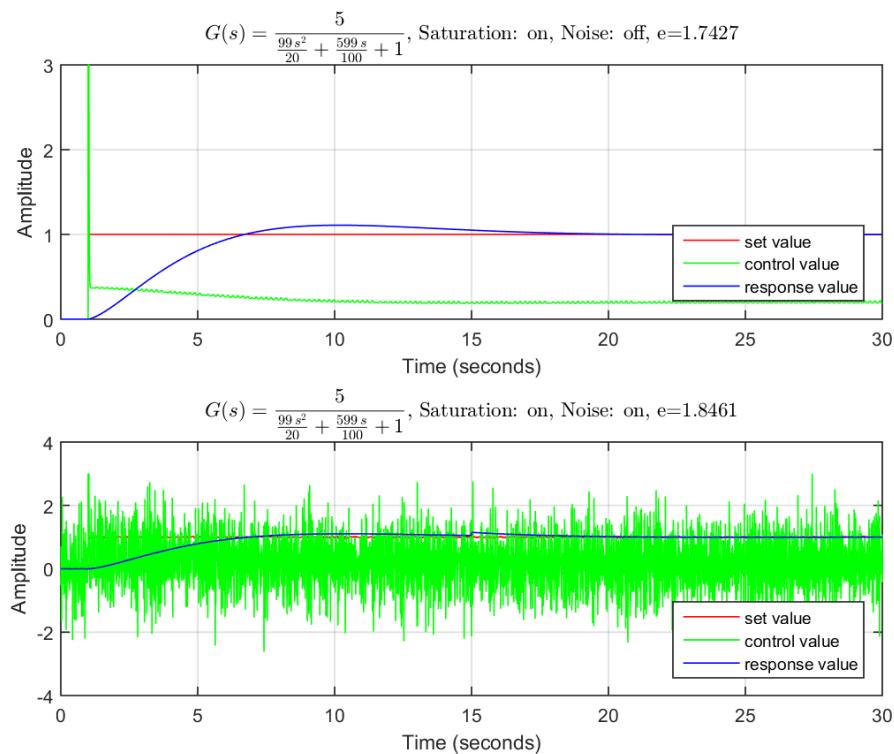
Rysunek 2.3.188: Obiekt G7-tf18a



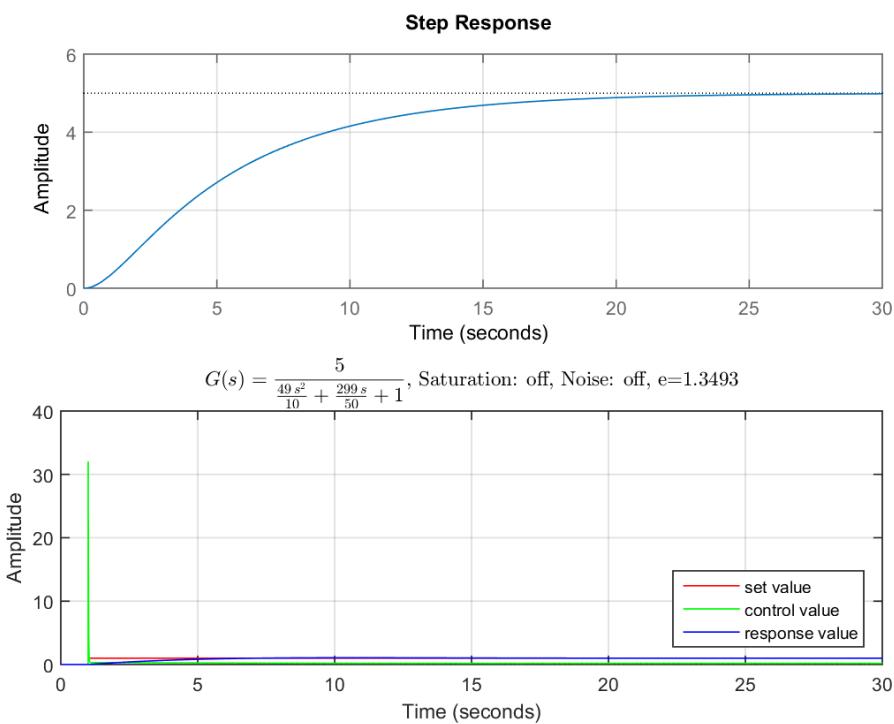
Rysunek 2.3.189: Obiekt G7-tf18b



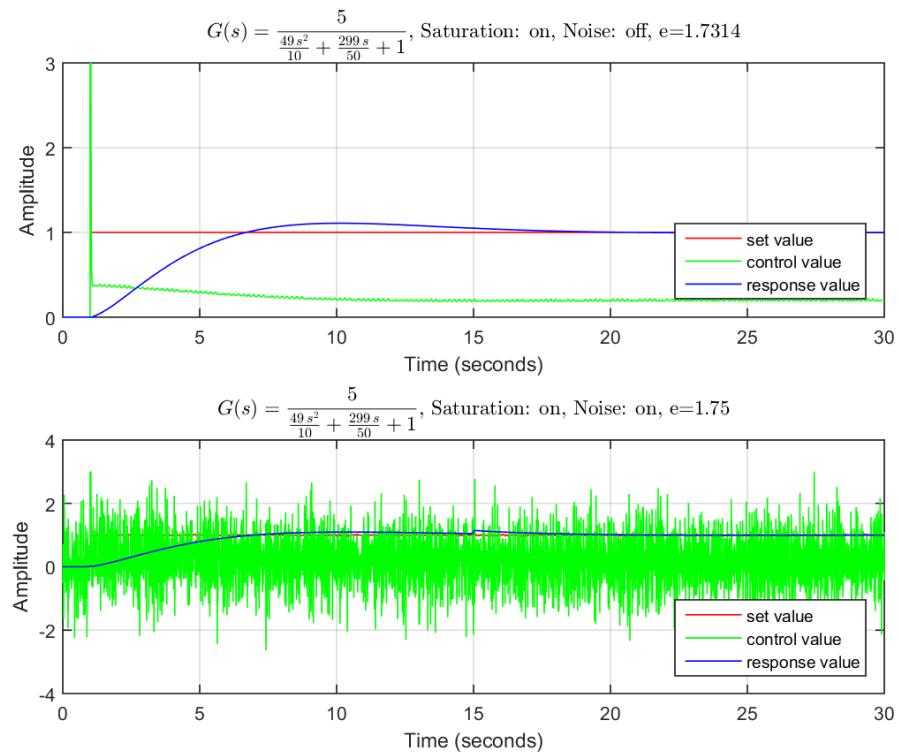
Rysunek 2.3.190: Obiekt G7-tf19a



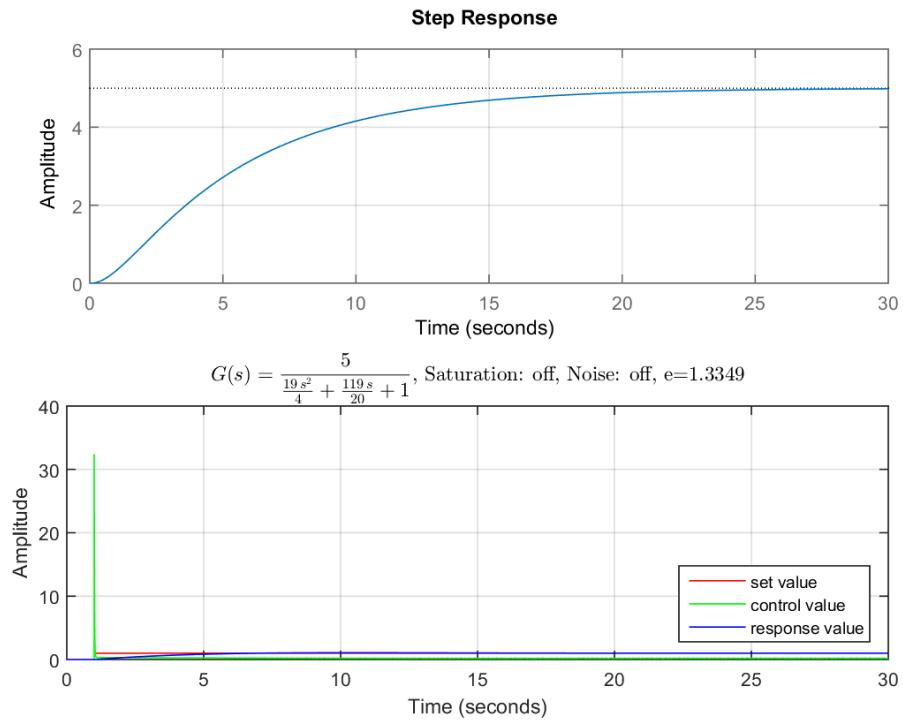
Rysunek 2.3.191: Obiekt G7-tf19b



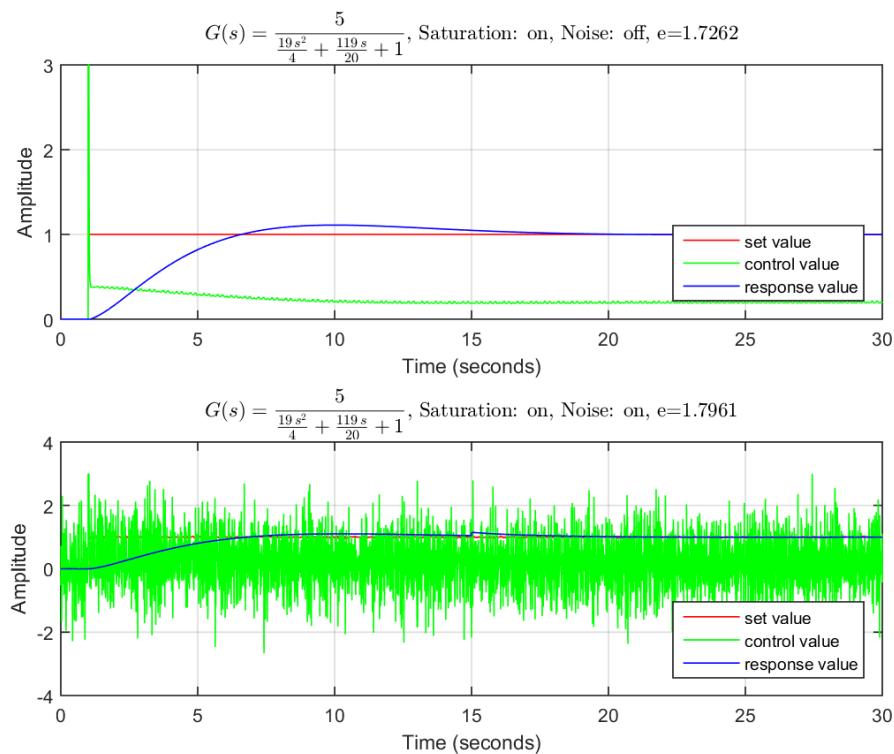
Rysunek 2.3.192: Obiekt G7-tf20a



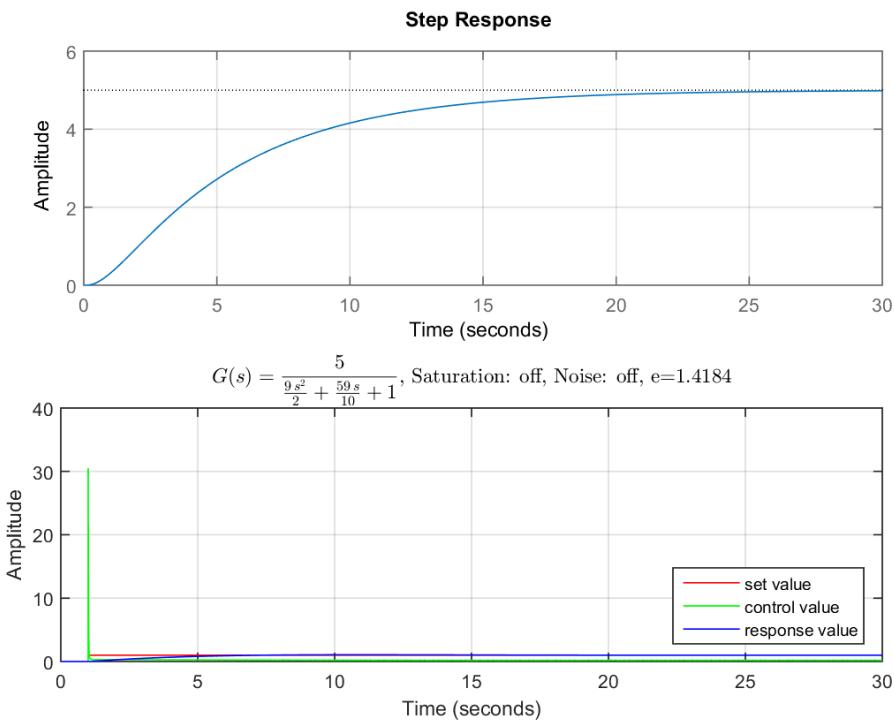
Rysunek 2.3.193: Obiekt G7-tf20b



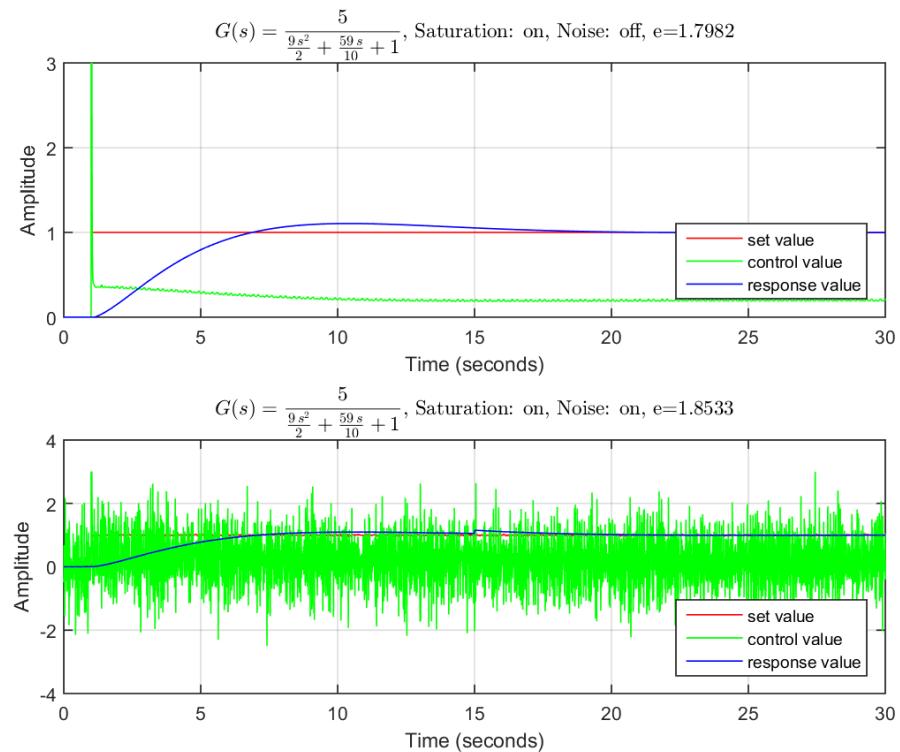
Rysunek 2.3.194: Obiekt G7-tf21a



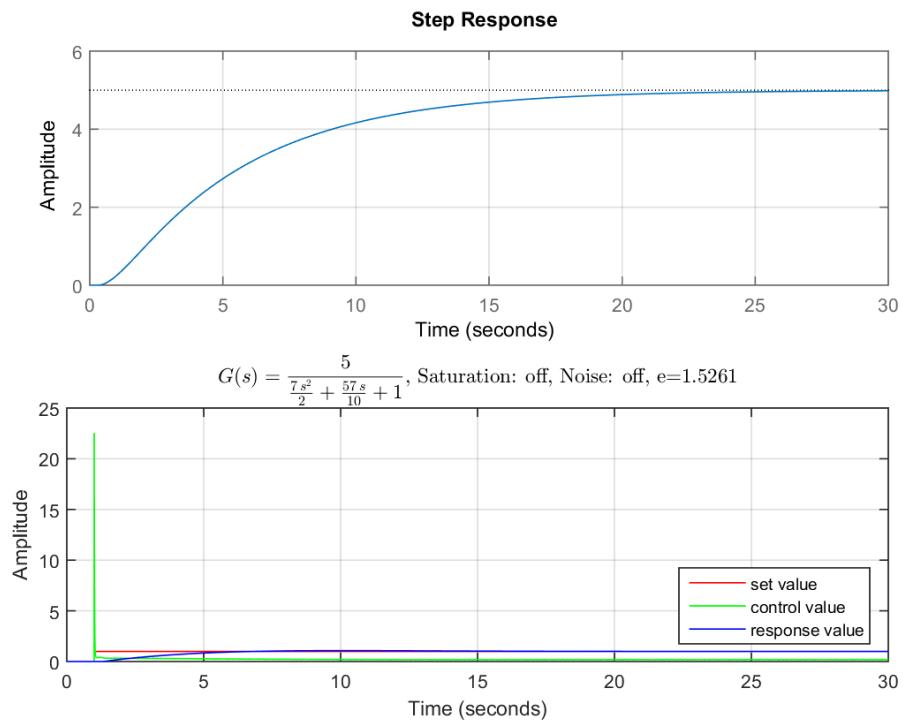
Rysunek 2.3.195: Obiekt G7-tf21b



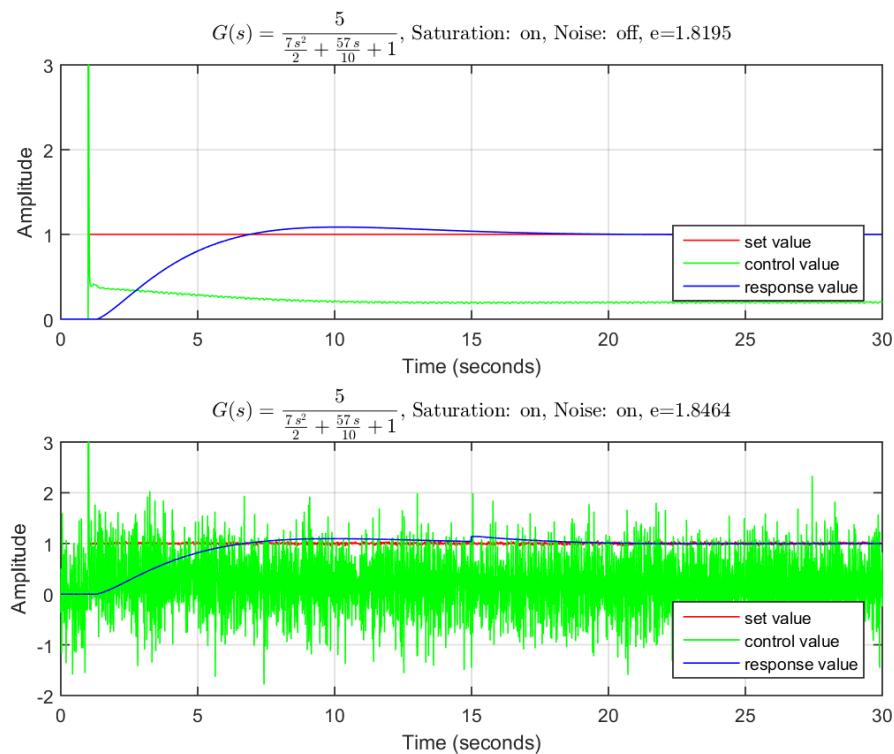
Rysunek 2.3.196: Obiekt G7-tf22a



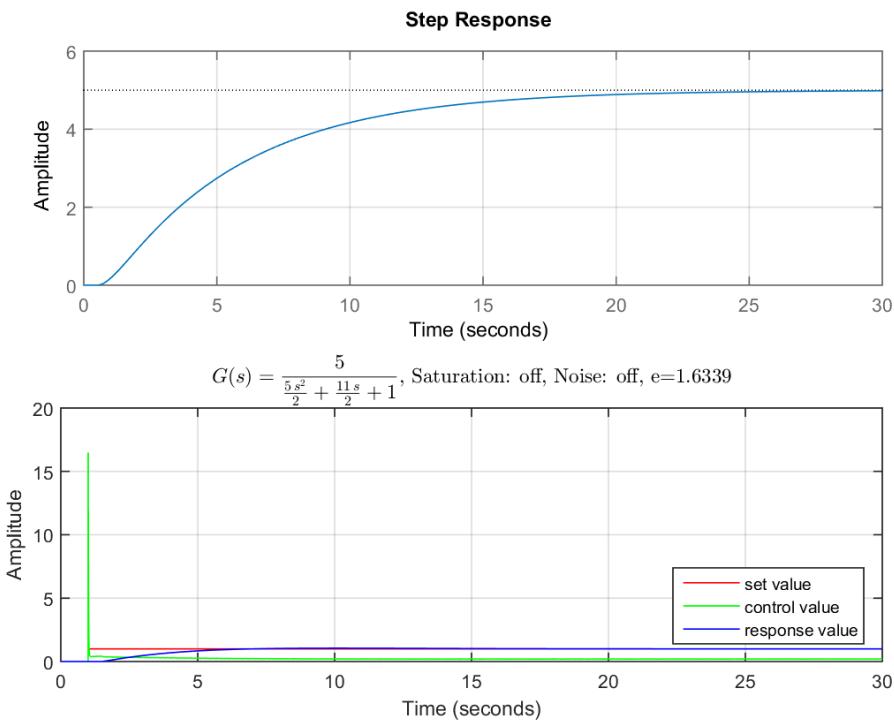
Rysunek 2.3.197: Obiekt G7-tf22b



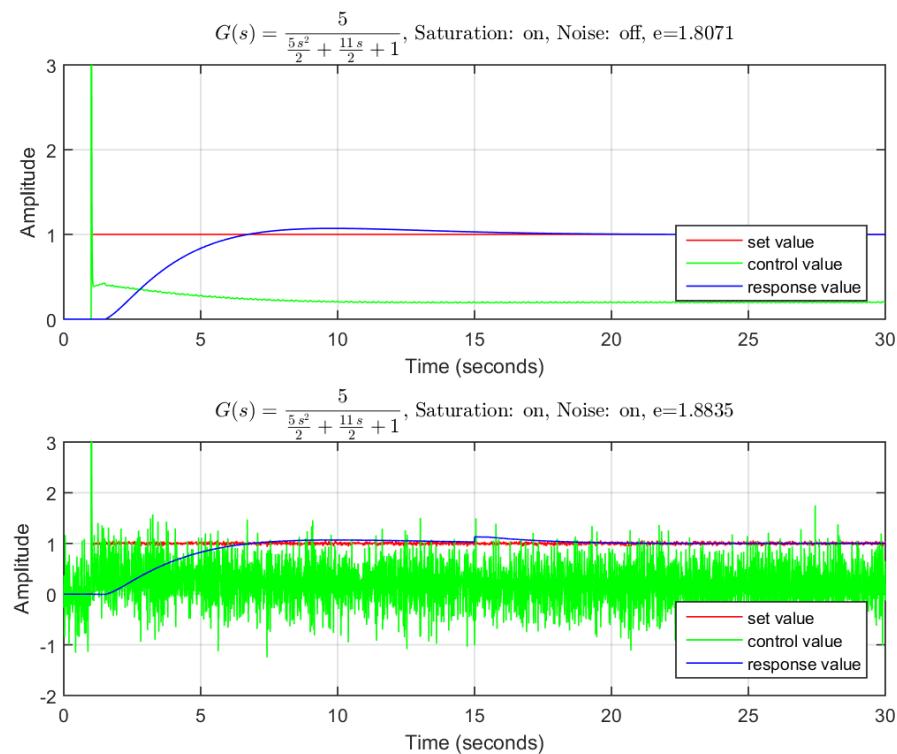
Rysunek 2.3.198: Obiekt G7-tf23a



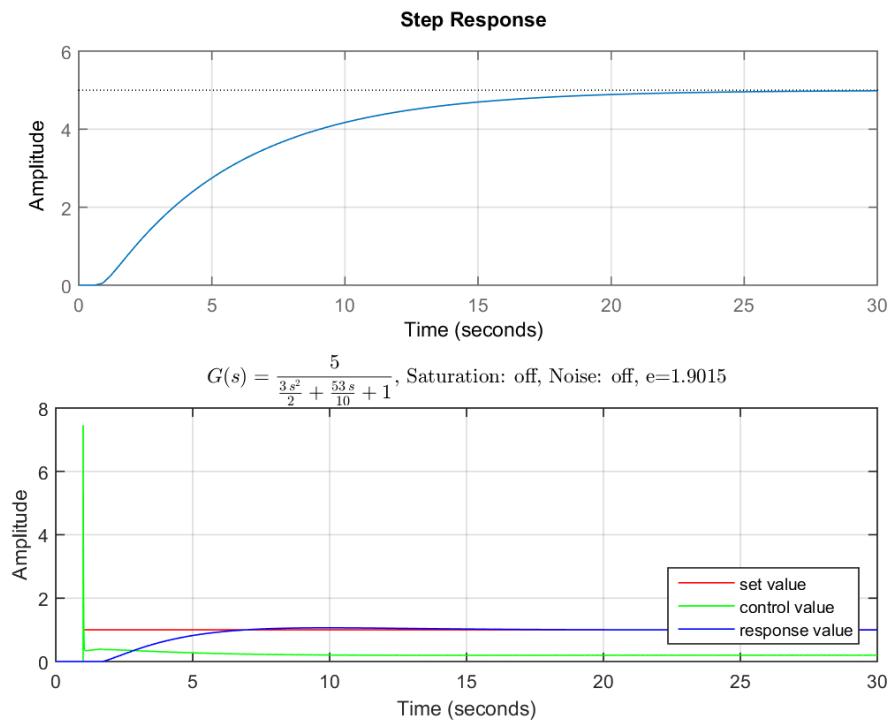
Rysunek 2.3.199: Obiekt G7-tf23b



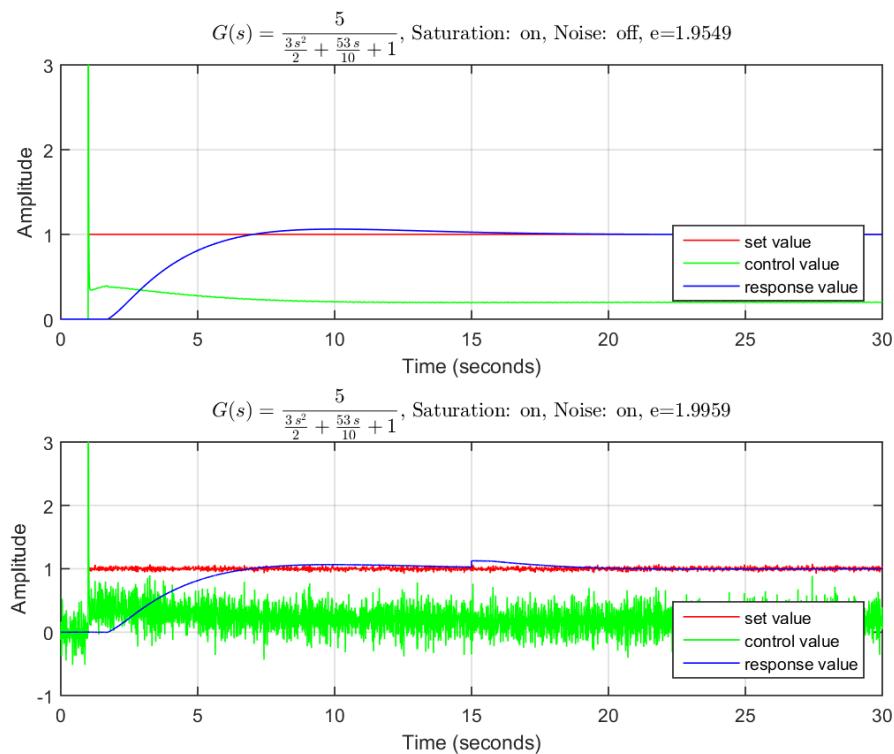
Rysunek 2.3.200: Obiekt G7-tf24a



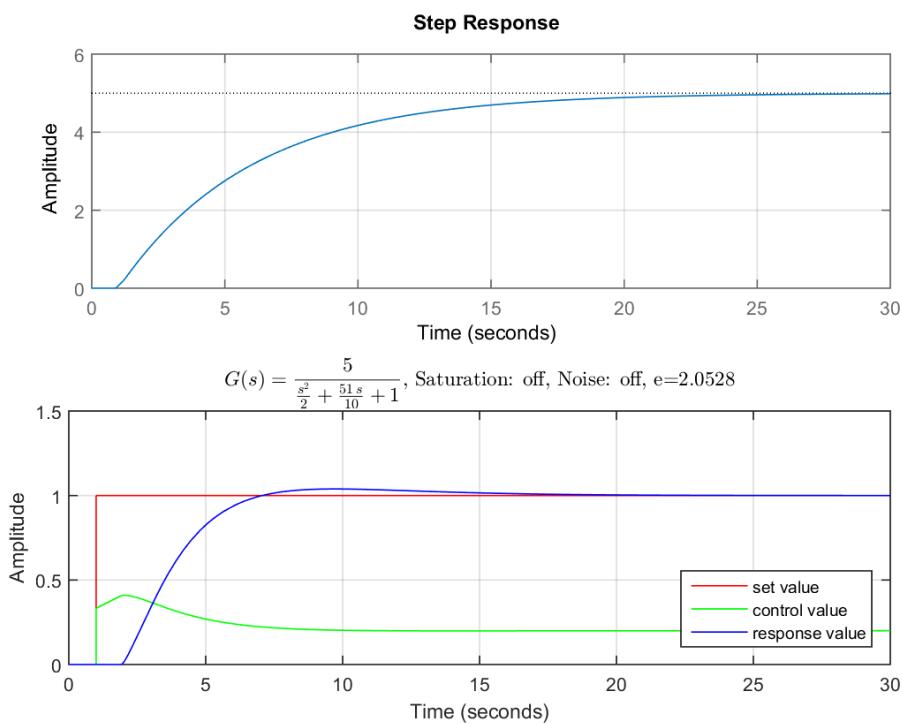
Rysunek 2.3.201: Obiekt G7-tf24b



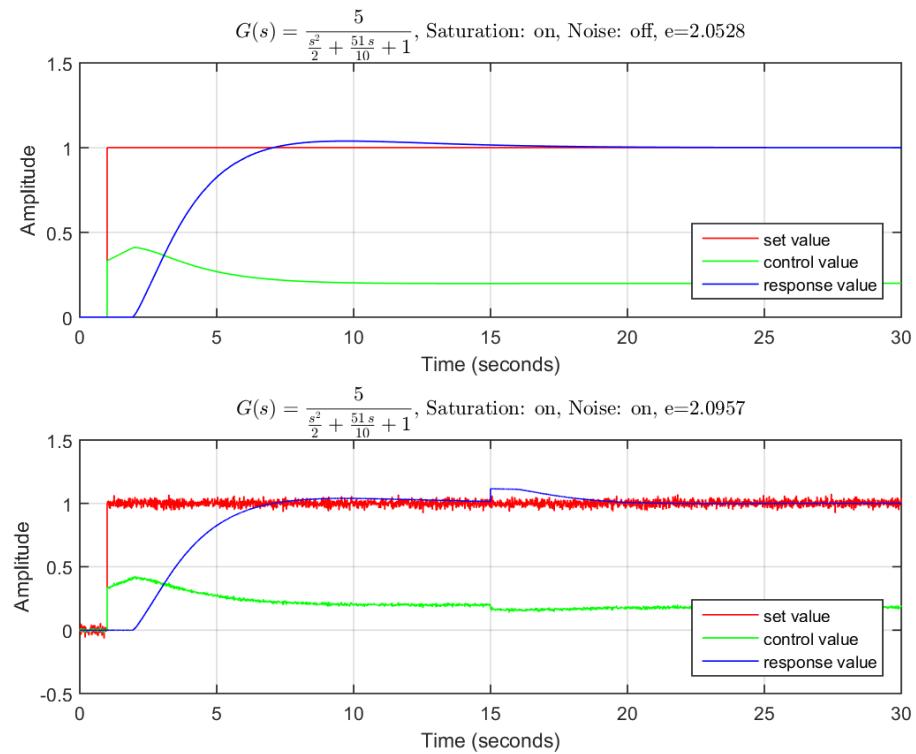
Rysunek 2.3.202: Obiekt G7-tf25a



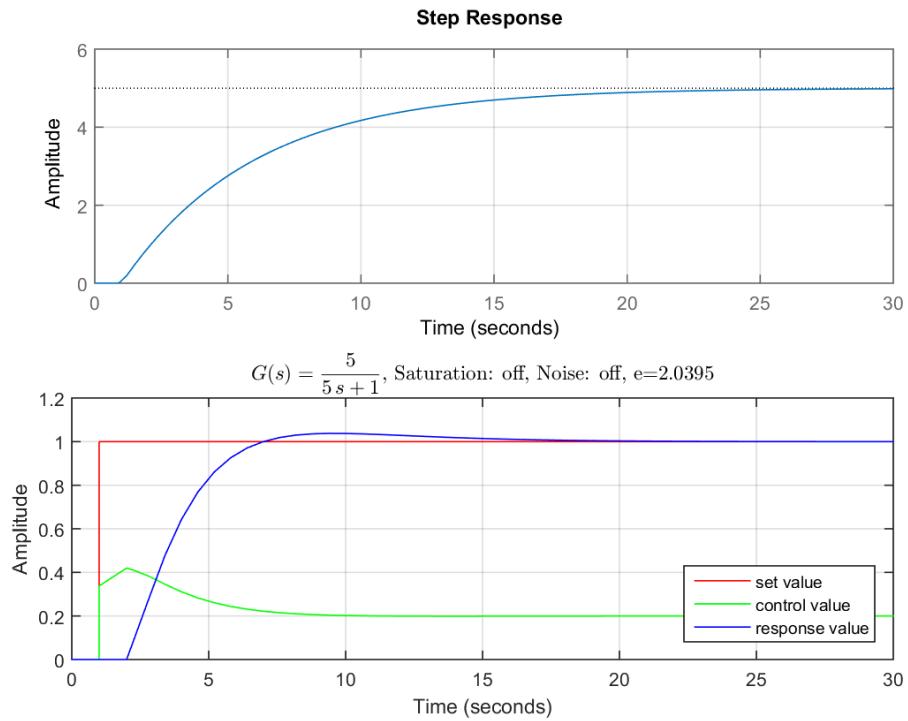
Rysunek 2.3.203: Obiekt G7-tf25b



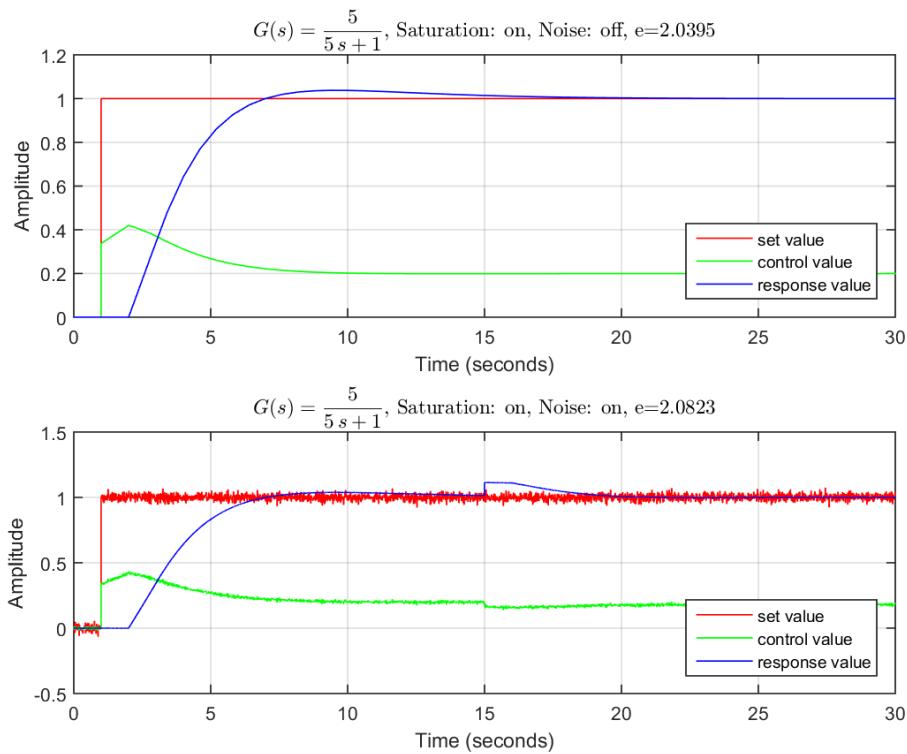
Rysunek 2.3.204: Obiekt G7-tf26a



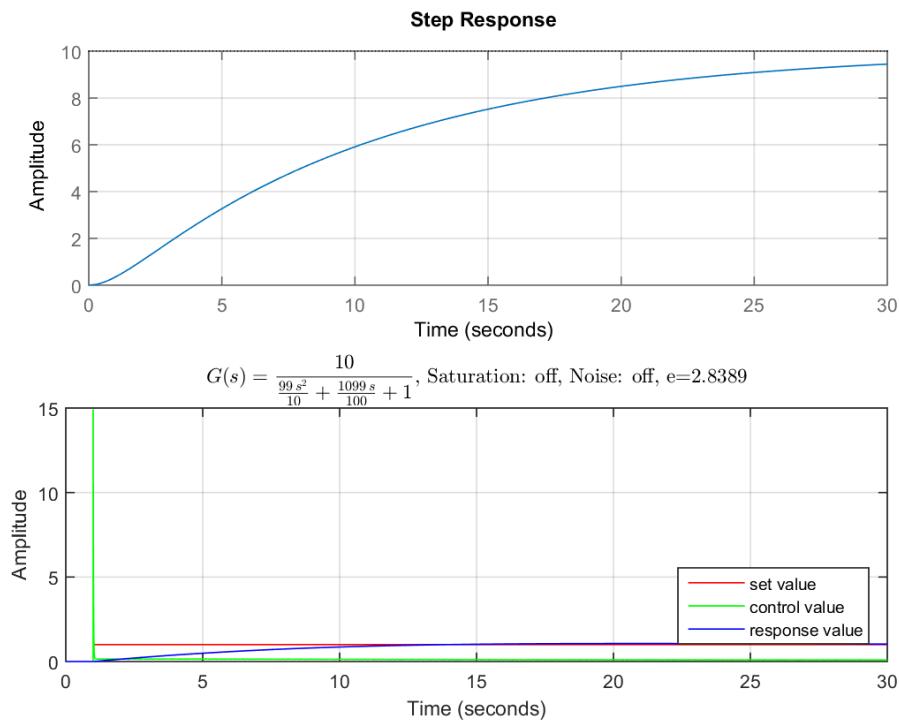
Rysunek 2.3.205: Obiekt G7-tf26b



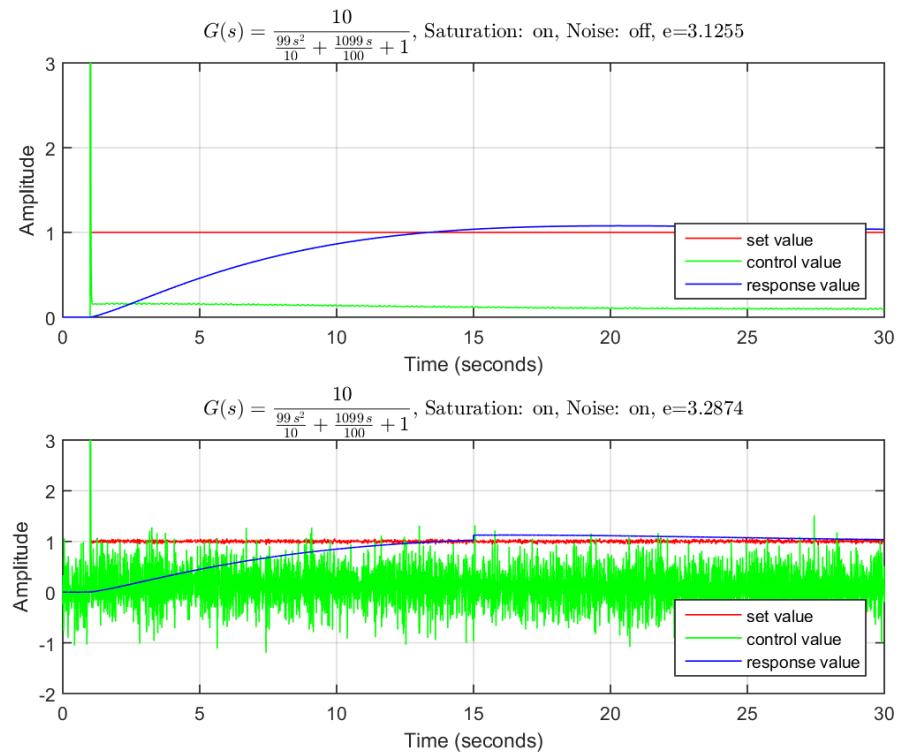
Rysunek 2.3.206: Obiekt G7-tf27a



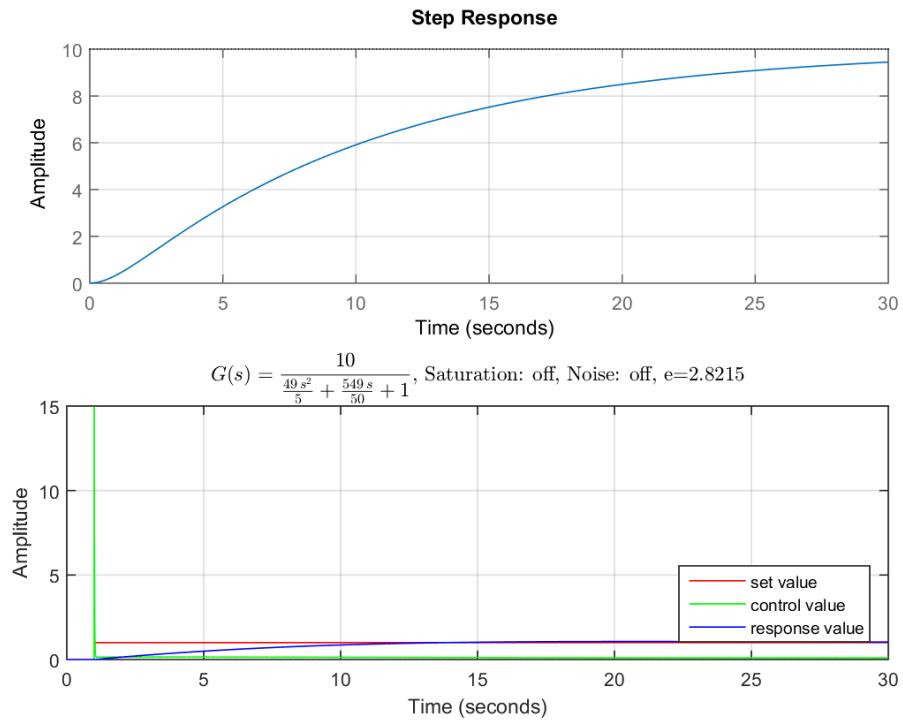
Rysunek 2.3.207: Obiekt G7-tf27b



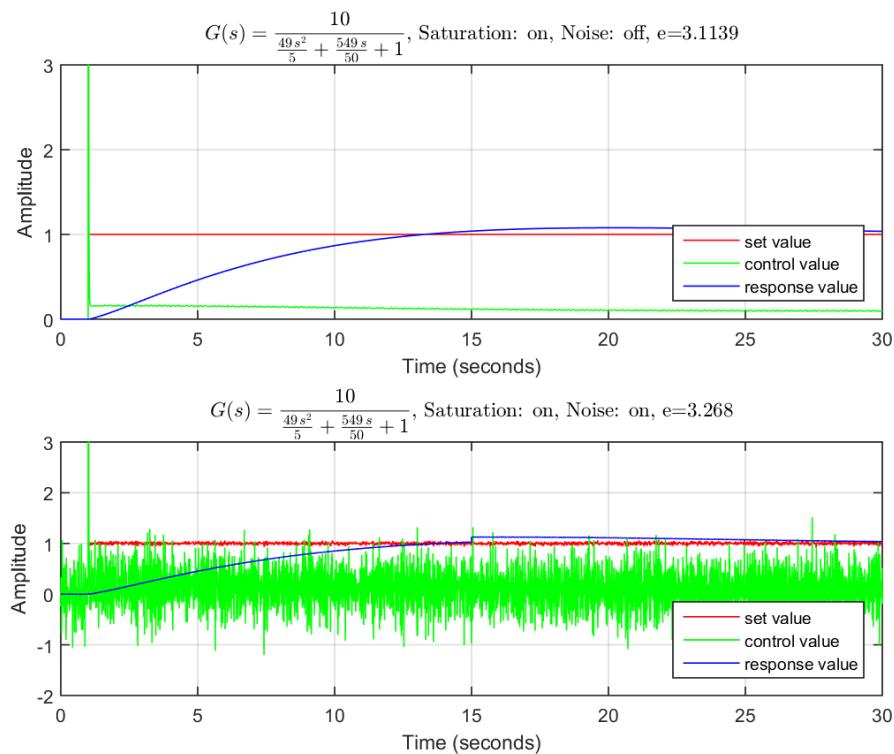
Rysunek 2.3.208: Obiekt G7-tf28a



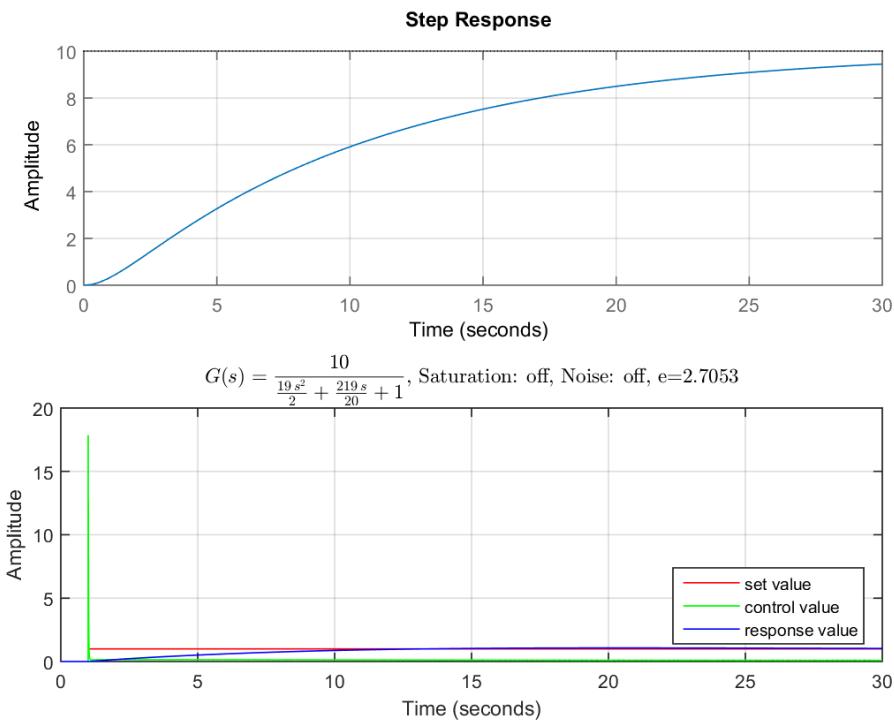
Rysunek 2.3.209: Obiekt G7-tf28b



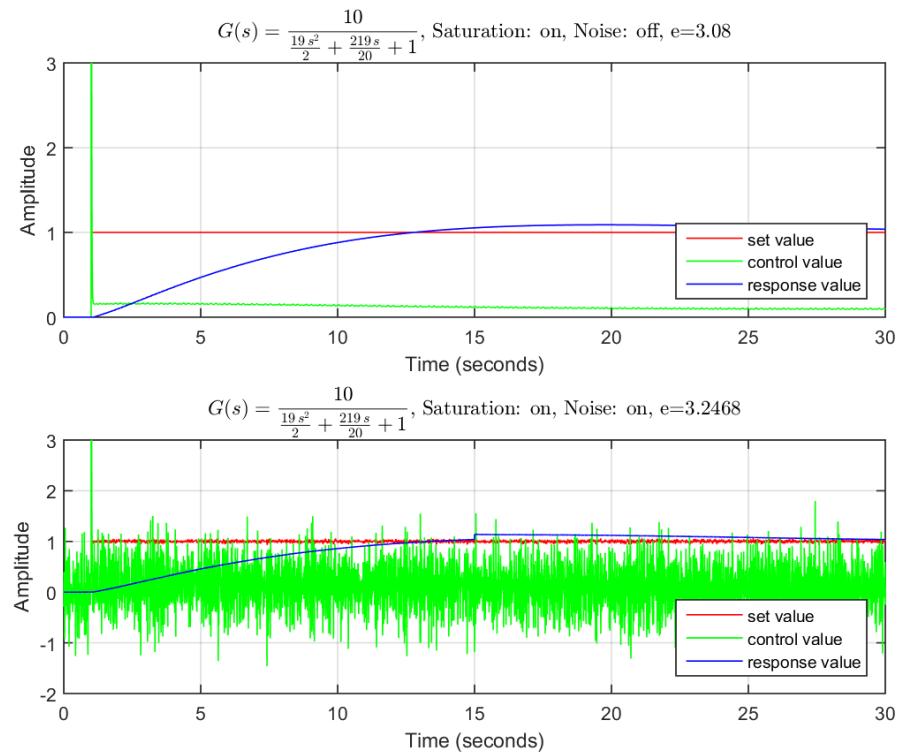
Rysunek 2.3.210: Obiekt G7-tf29a



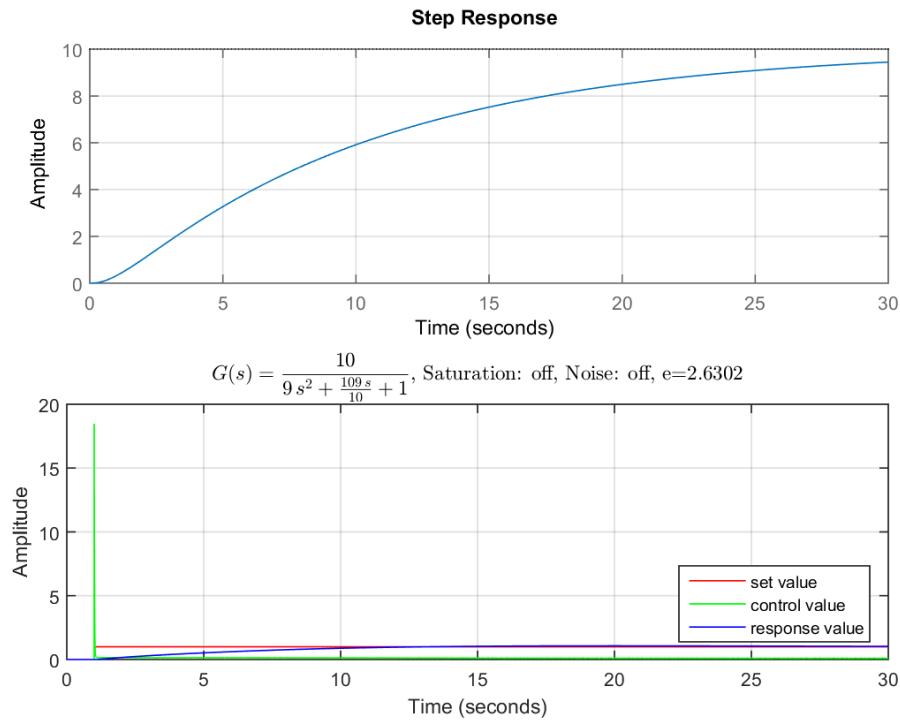
Rysunek 2.3.211: Obiekt G7-tf29b



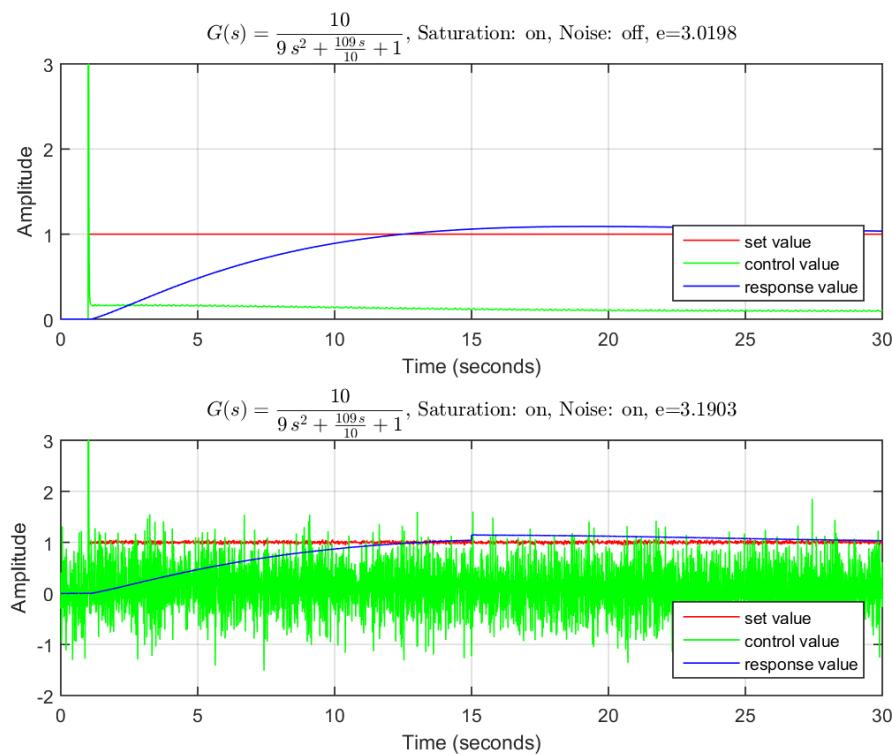
Rysunek 2.3.212: Obiekt G7-tf30a



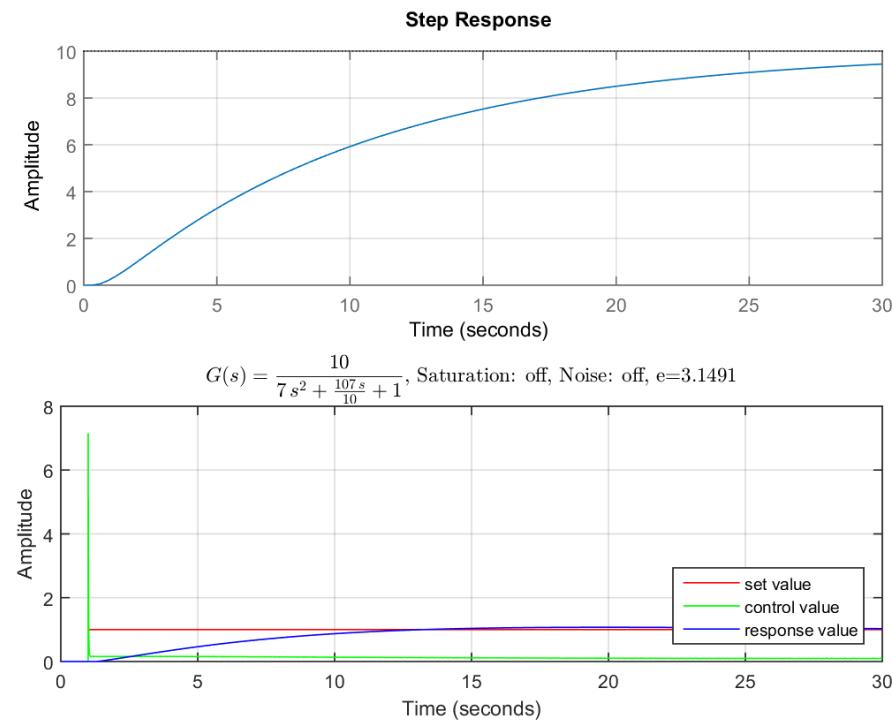
Rysunek 2.3.213: Obiekt G7-tf30b



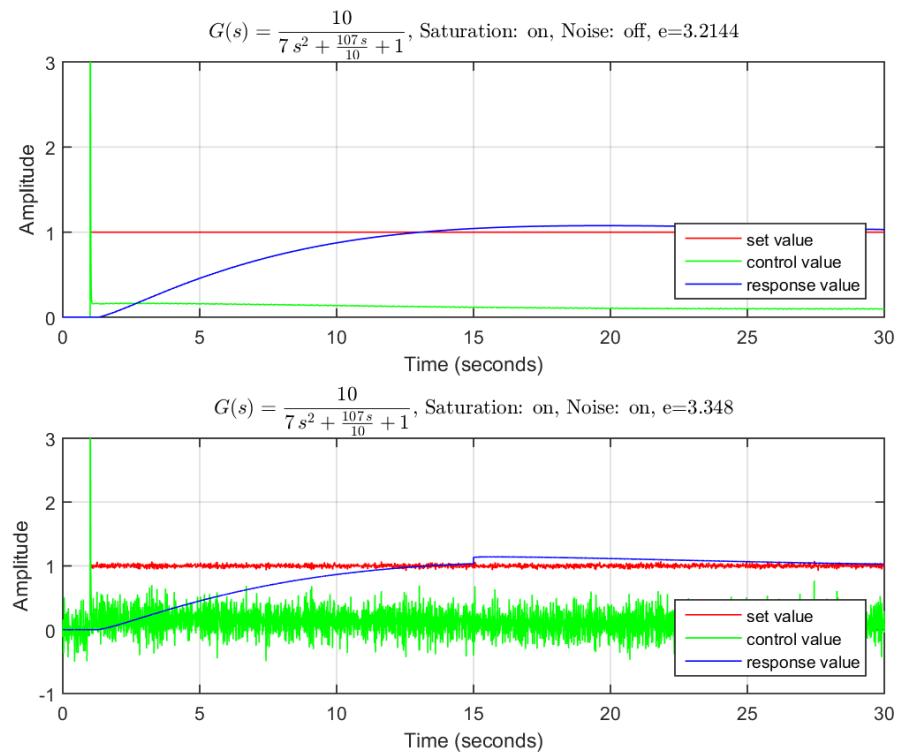
Rysunek 2.3.214: Obiekt G7-tf31a



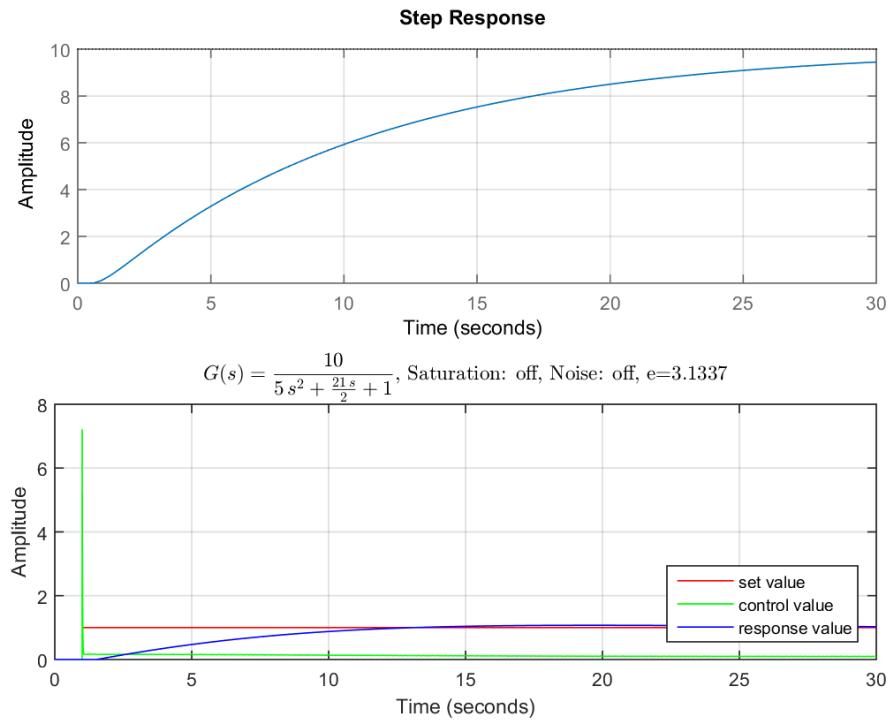
Rysunek 2.3.215: Obiekt G7-tf31b



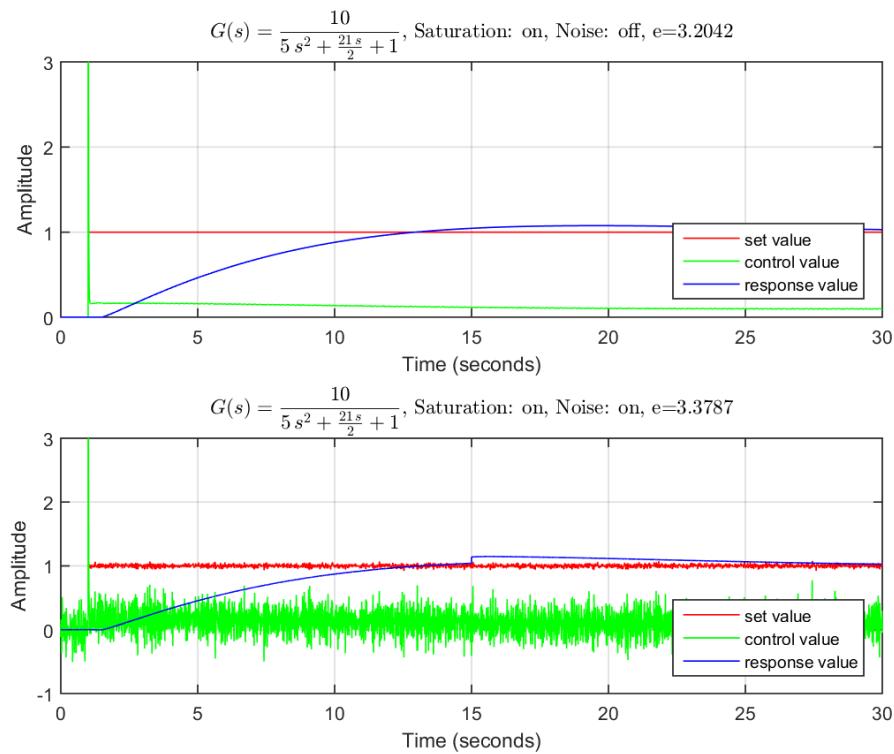
Rysunek 2.3.216: Obiekt G7-tf32a



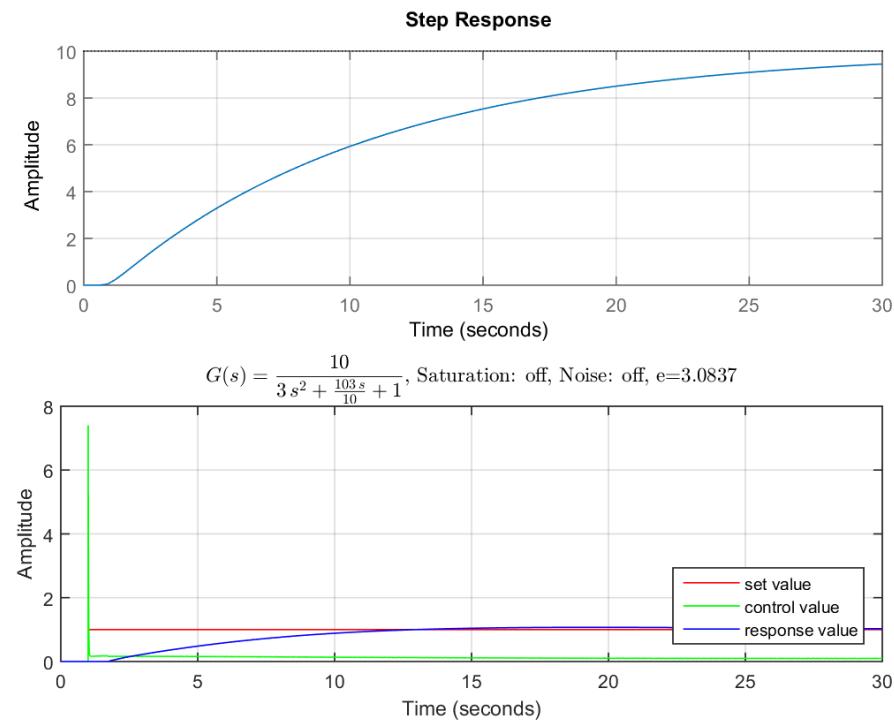
Rysunek 2.3.217: Obiekt G7-tf32b



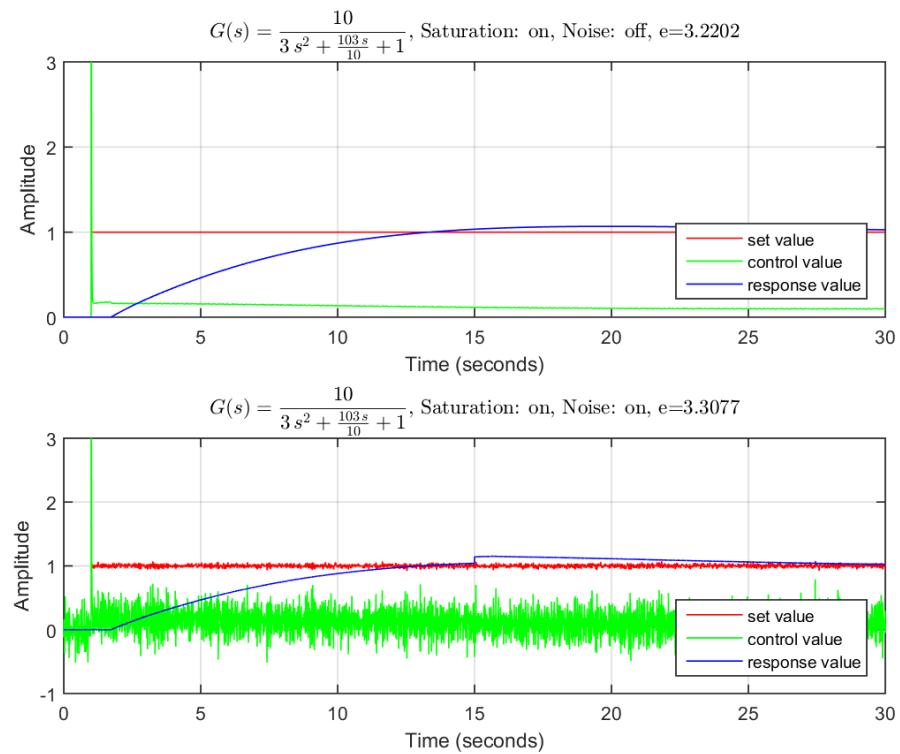
Rysunek 2.3.218: Obiekt G7-tf33a



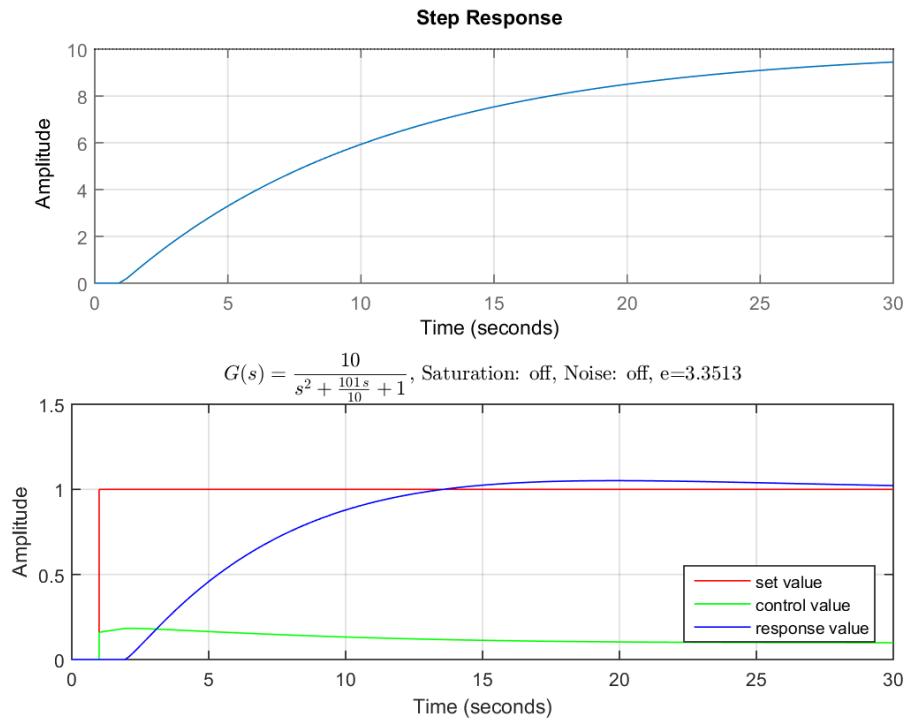
Rysunek 2.3.219: Obiekt G7-tf33b



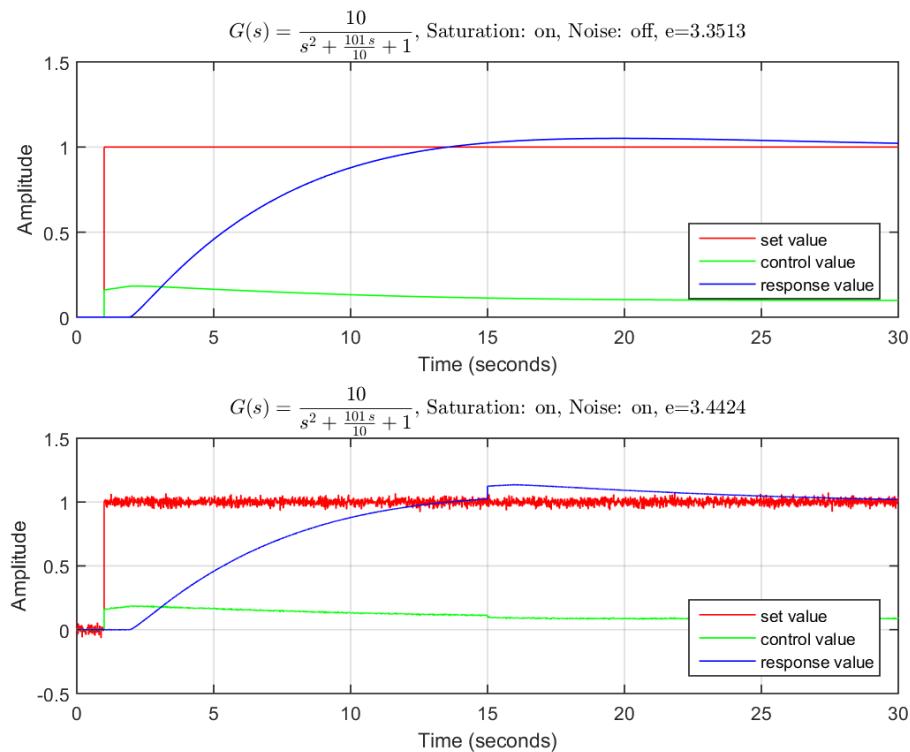
Rysunek 2.3.220: Obiekt G7-tf34a



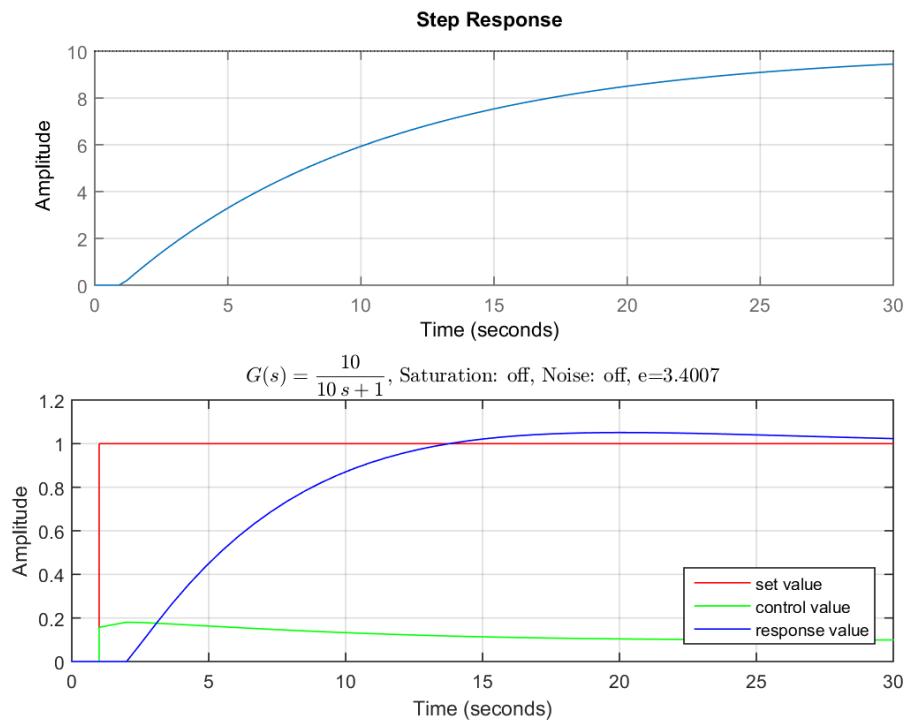
Rysunek 2.3.221: Obiekt G7-tf34b



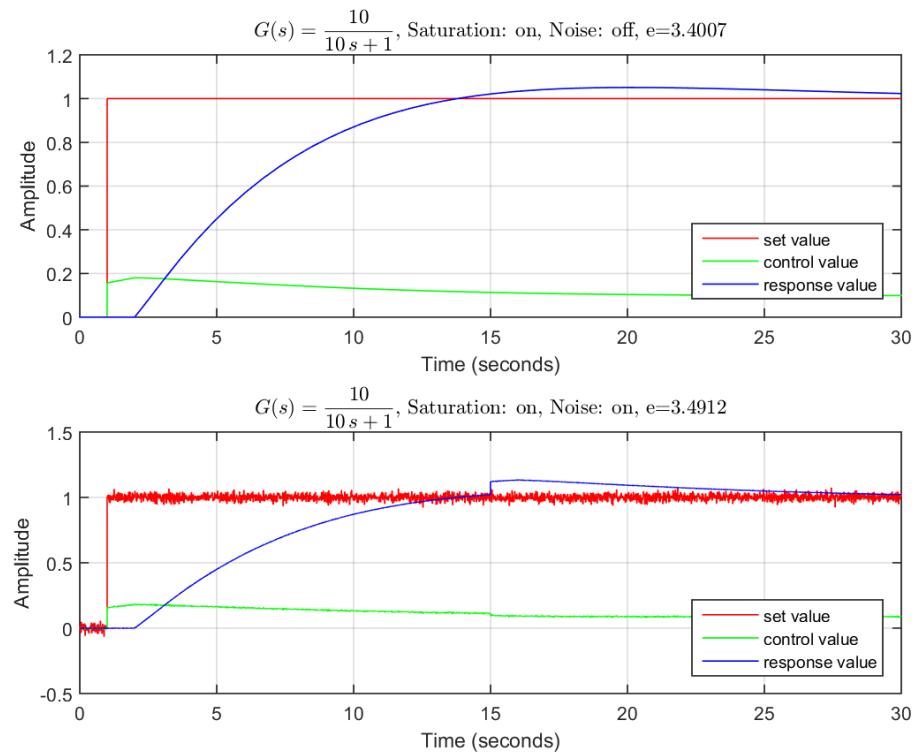
Rysunek 2.3.222: Obiekt G7-tf35a



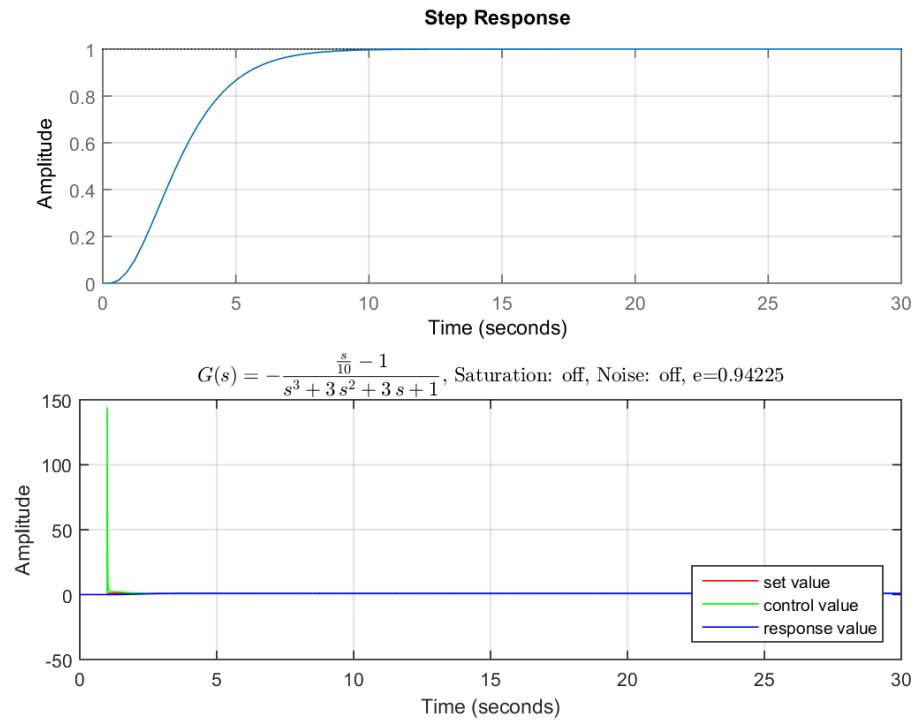
Rysunek 2.3.223: Obiekt G7-tf35b



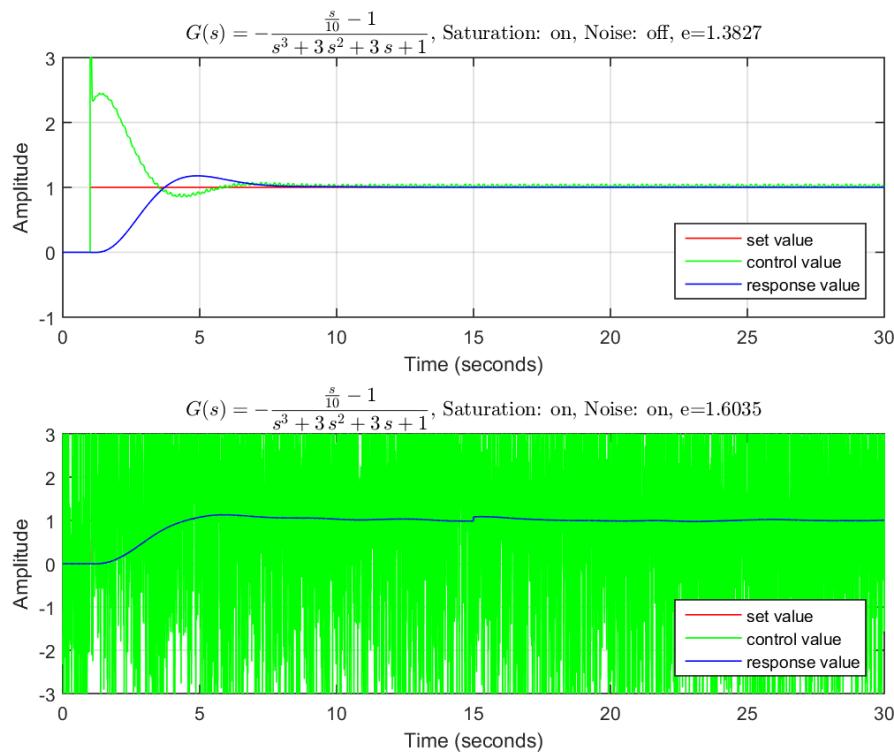
Rysunek 2.3.224: Obiekt G7-tf36a



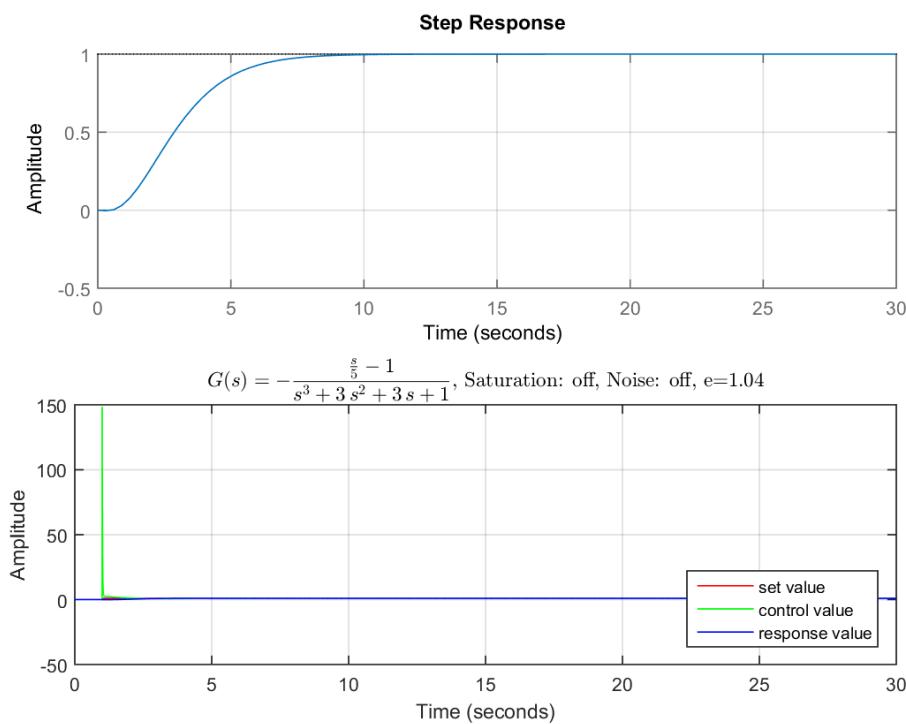
Rysunek 2.3.225: Obiekt G7-tf36b



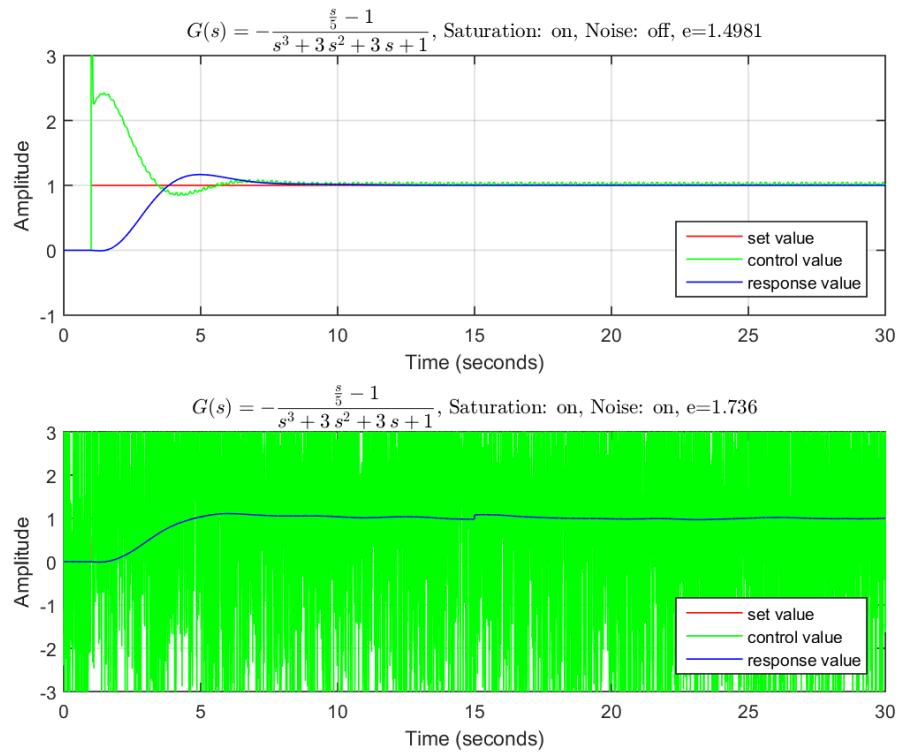
Rysunek 2.3.226: Obiekt G8-tf1a



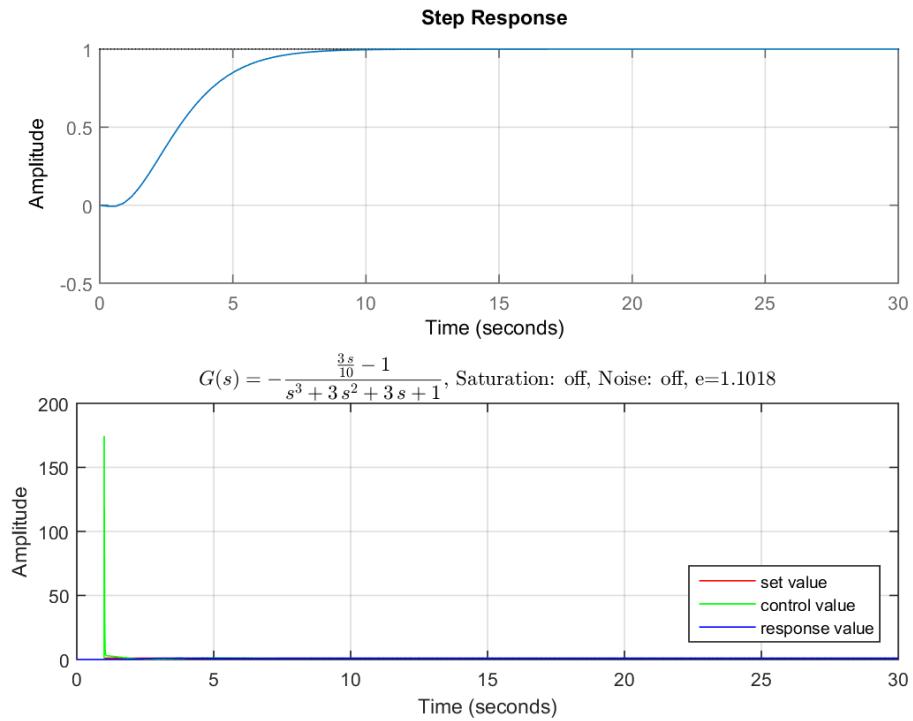
Rysunek 2.3.227: Obiekt G8-tf1b



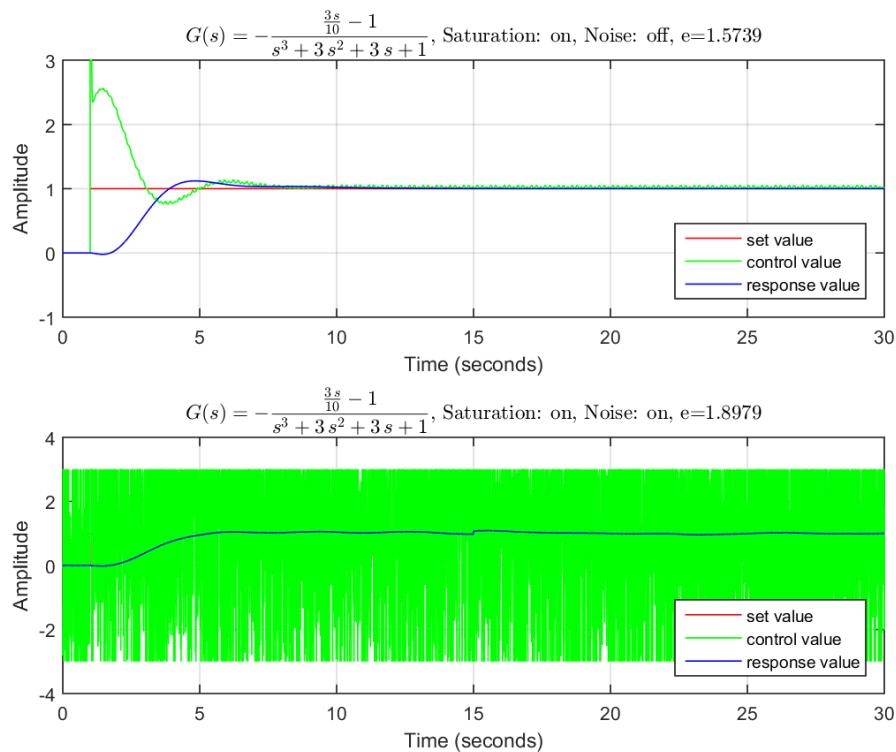
Rysunek 2.3.228: Obiekt G8-tf2a



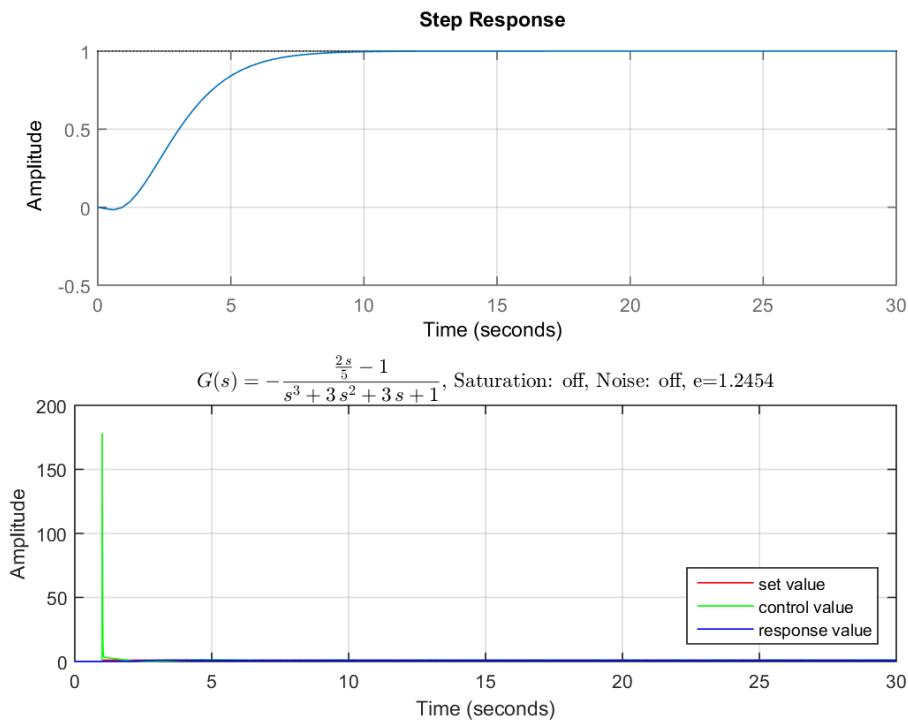
Rysunek 2.3.229: Obiekt G8-tf2b



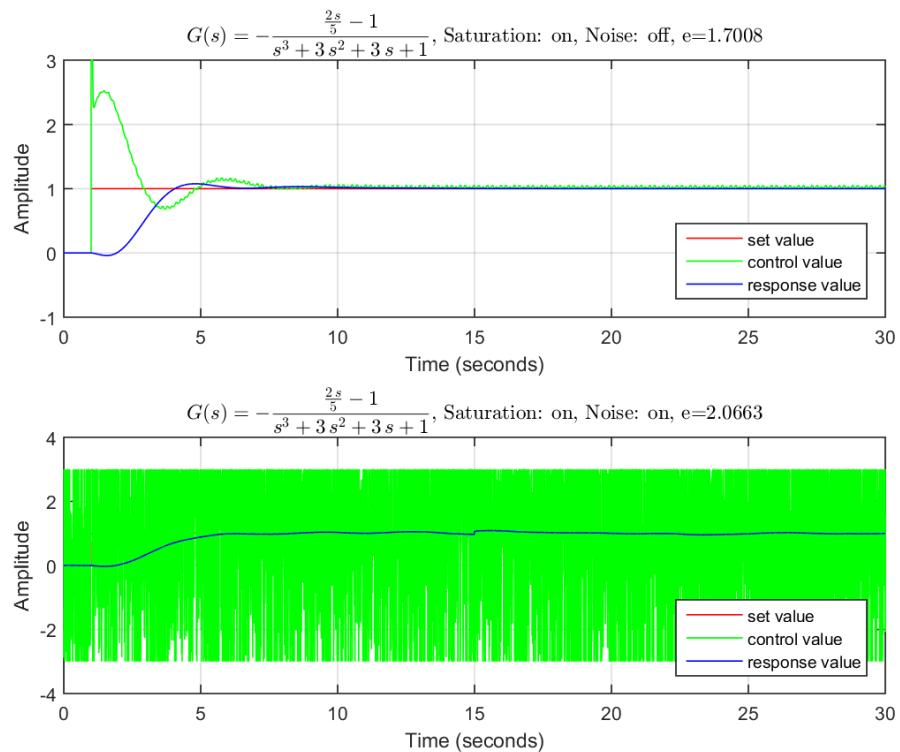
Rysunek 2.3.230: Obiekt G8-tf3a



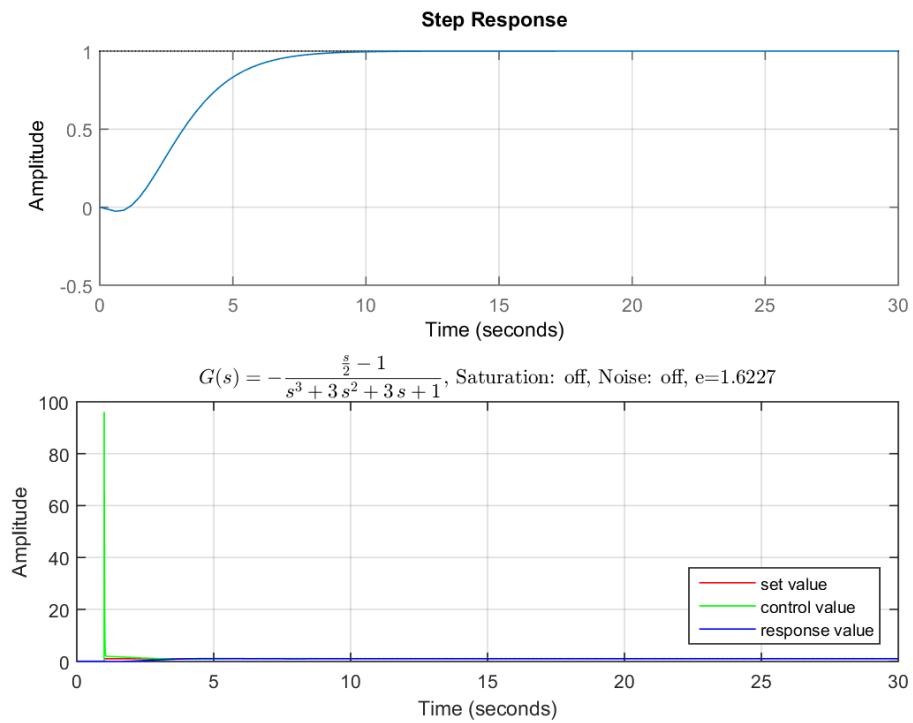
Rysunek 2.3.231: Obiekt G8-tf3b



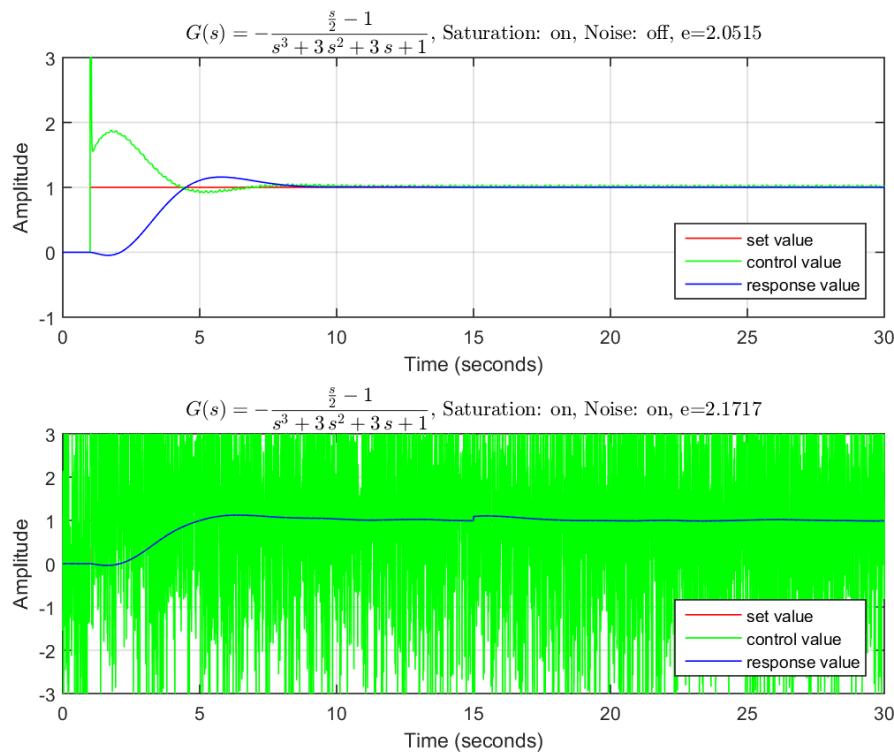
Rysunek 2.3.232: Obiekt G8-tf4a



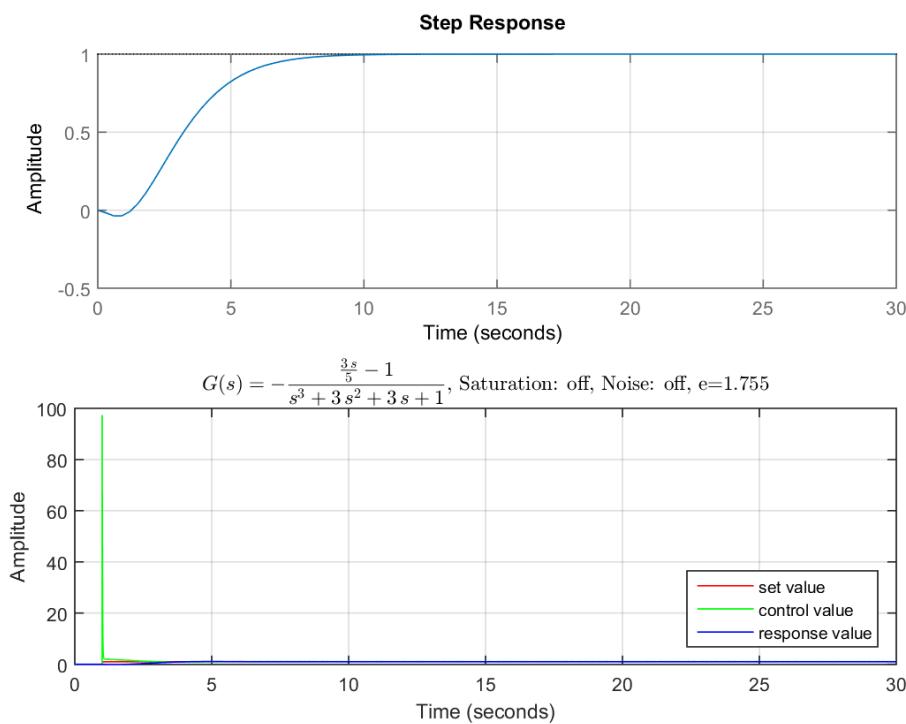
Rysunek 2.3.233: Obiekt G8-tf4b



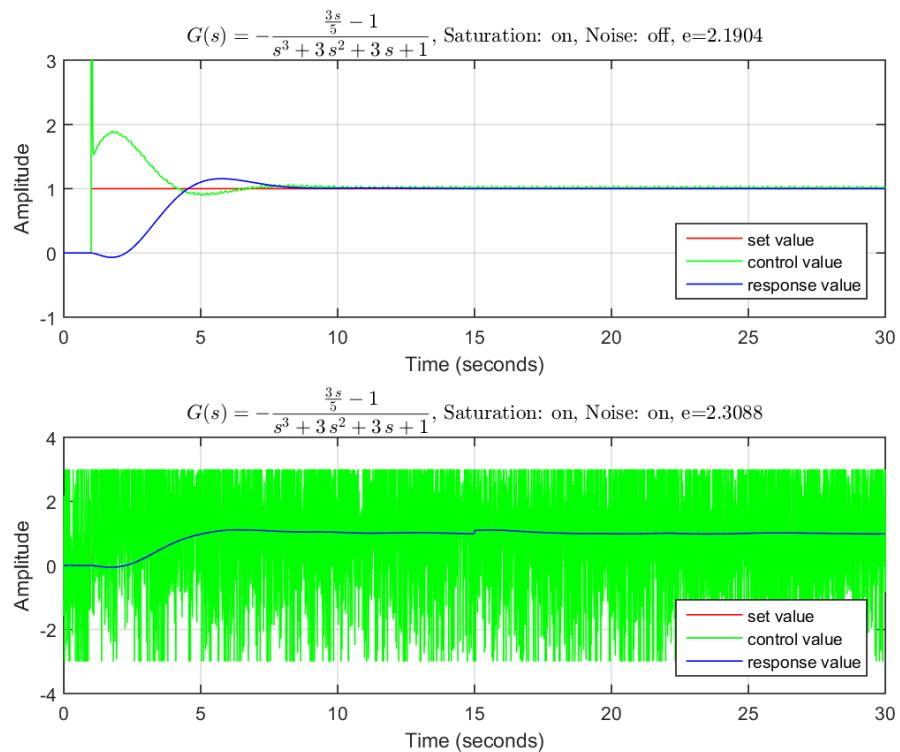
Rysunek 2.3.234: Obiekt G8-tf5a



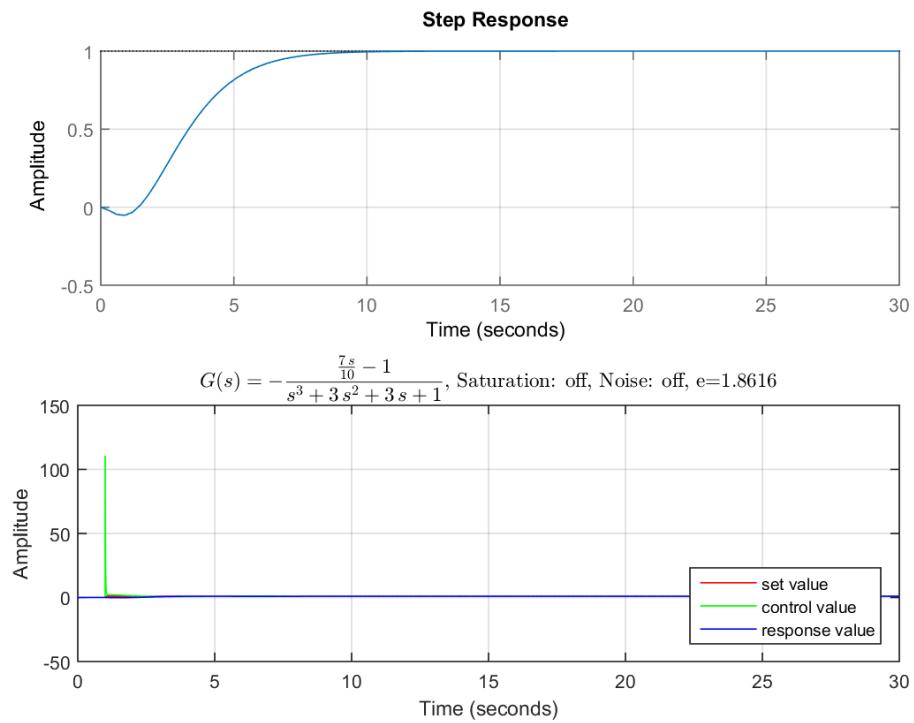
Rysunek 2.3.235: Obiekt G8-tf5b



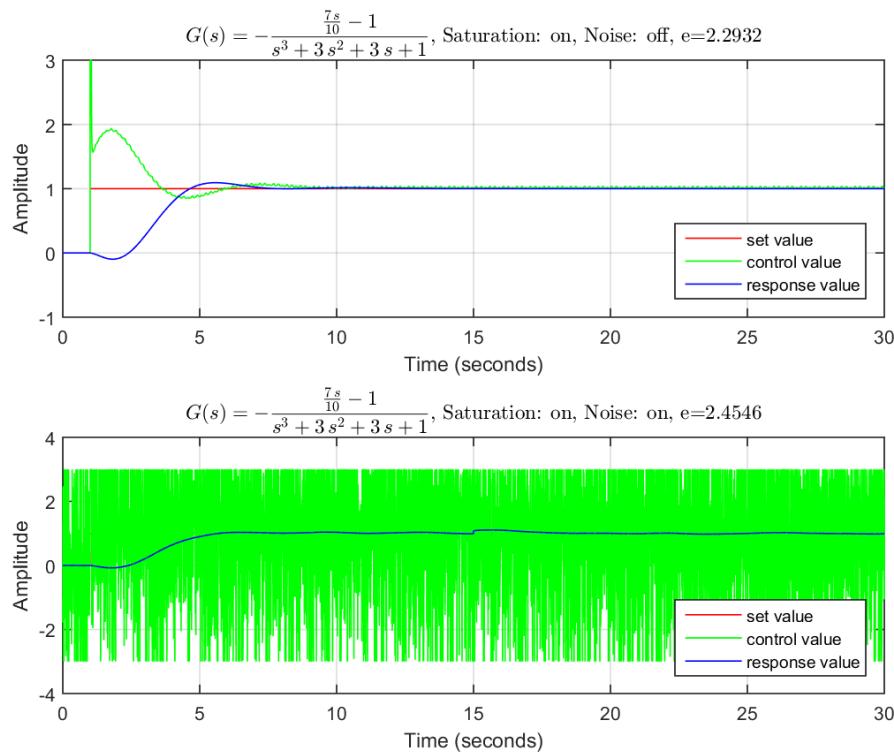
Rysunek 2.3.236: Obiekt G8-tf6a



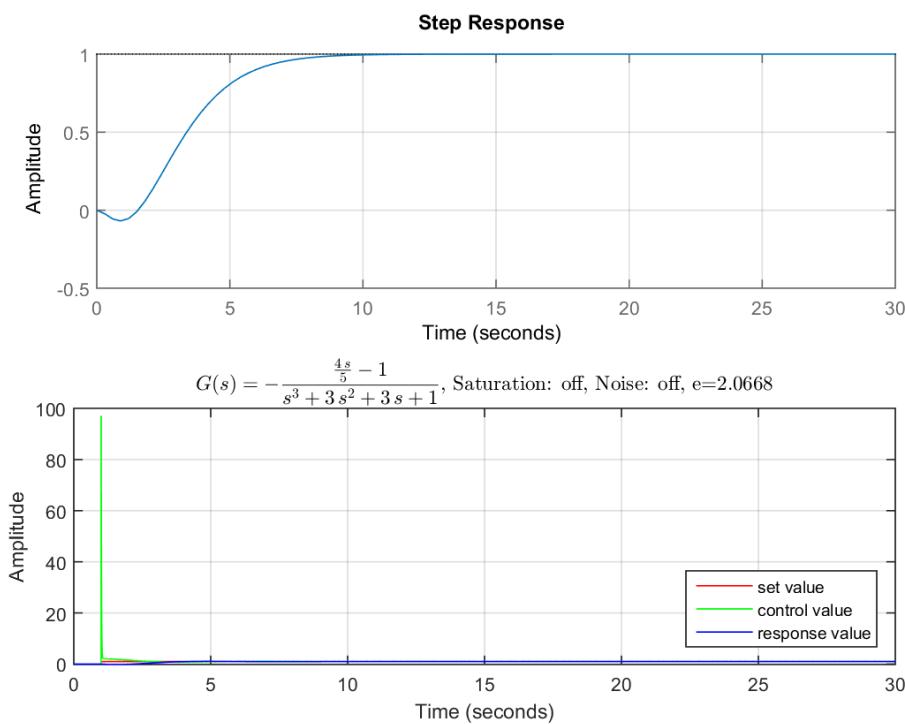
Rysunek 2.3.237: Obiekt G8-tf6b



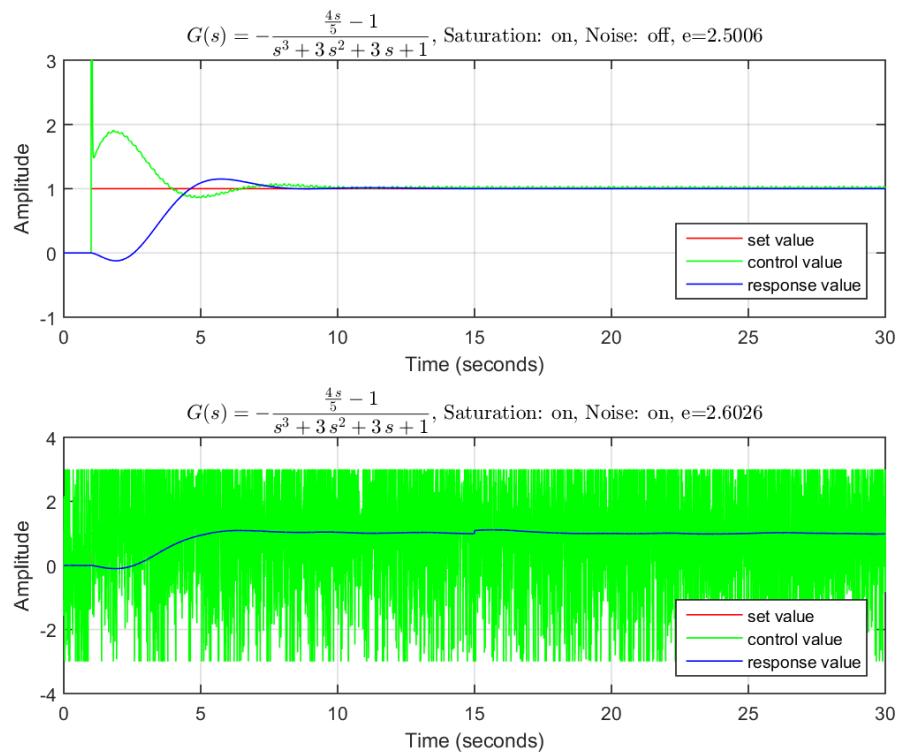
Rysunek 2.3.238: Obiekt G8-tf7a



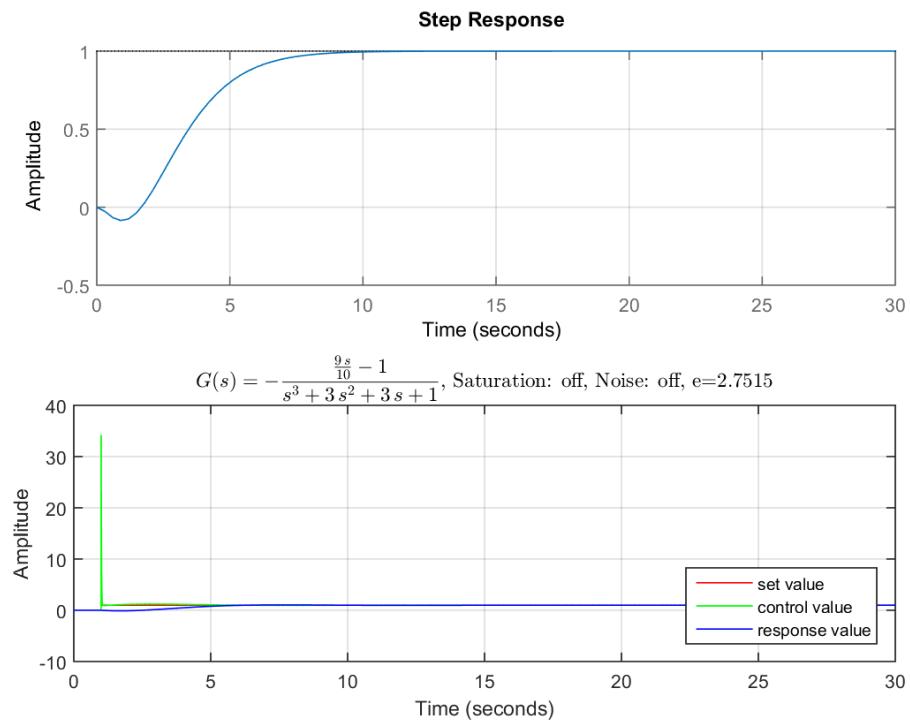
Rysunek 2.3.239: Obiekt G8-tf7b



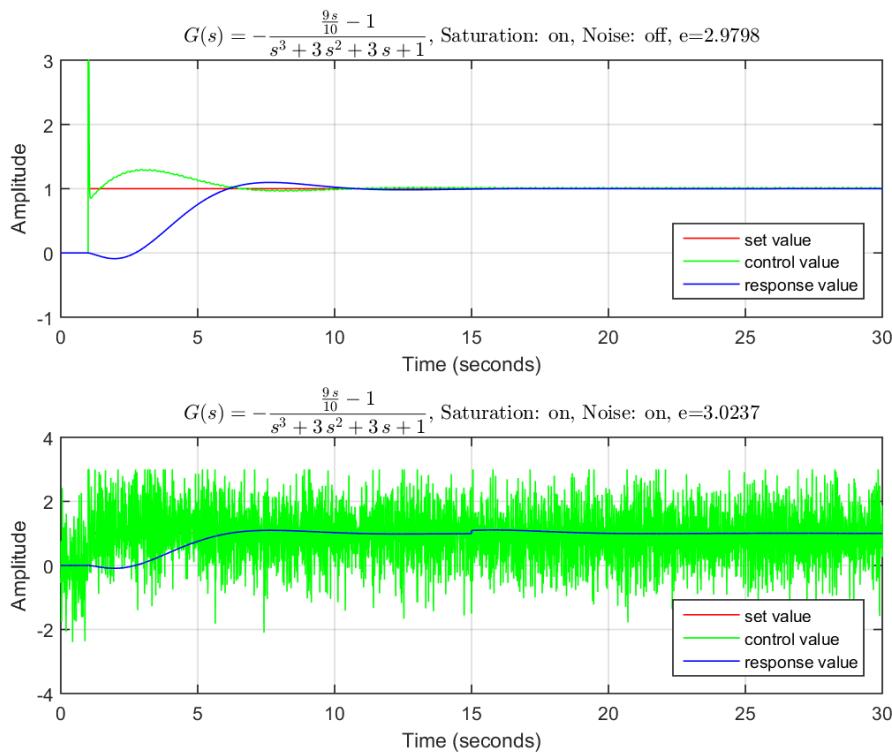
Rysunek 2.3.240: Obiekt G8-tf8a



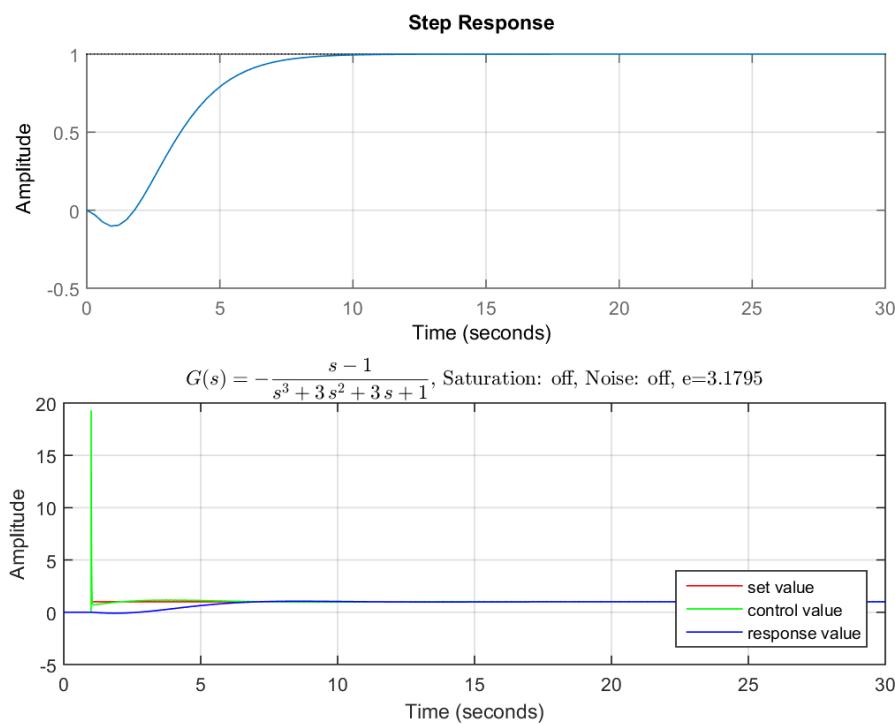
Rysunek 2.3.241: Obiekt G8-tf8b



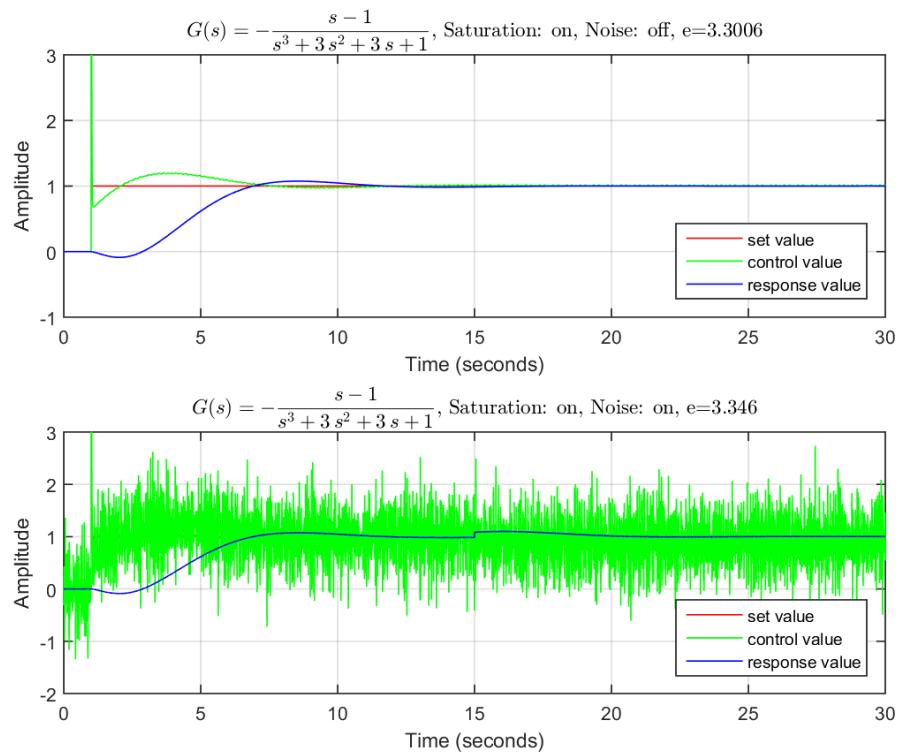
Rysunek 2.3.242: Obiekt G8-tf9a



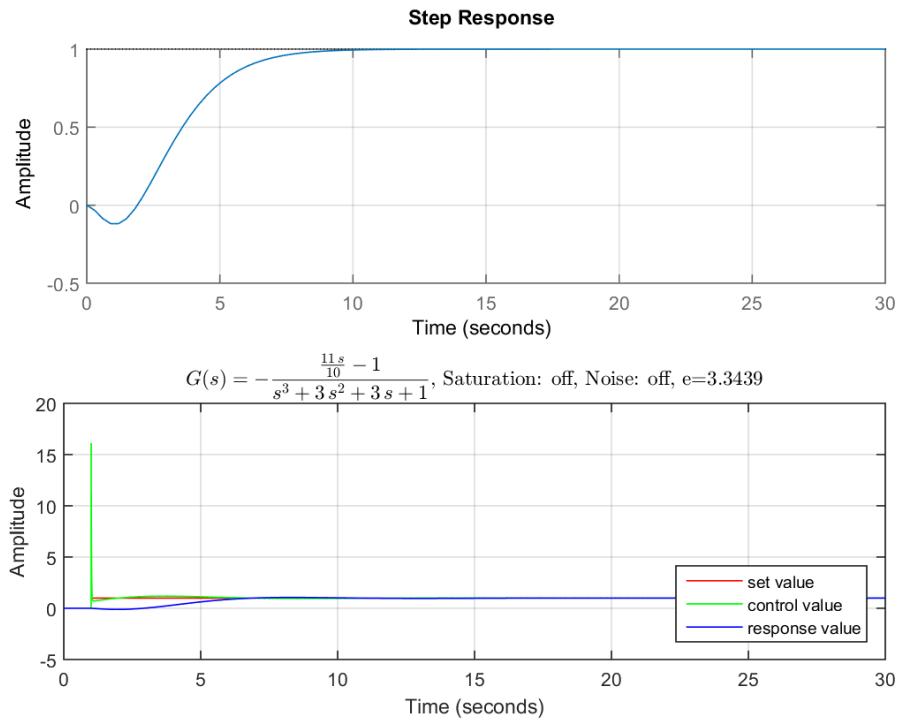
Rysunek 2.3.243: Obiekt G8-tf9b



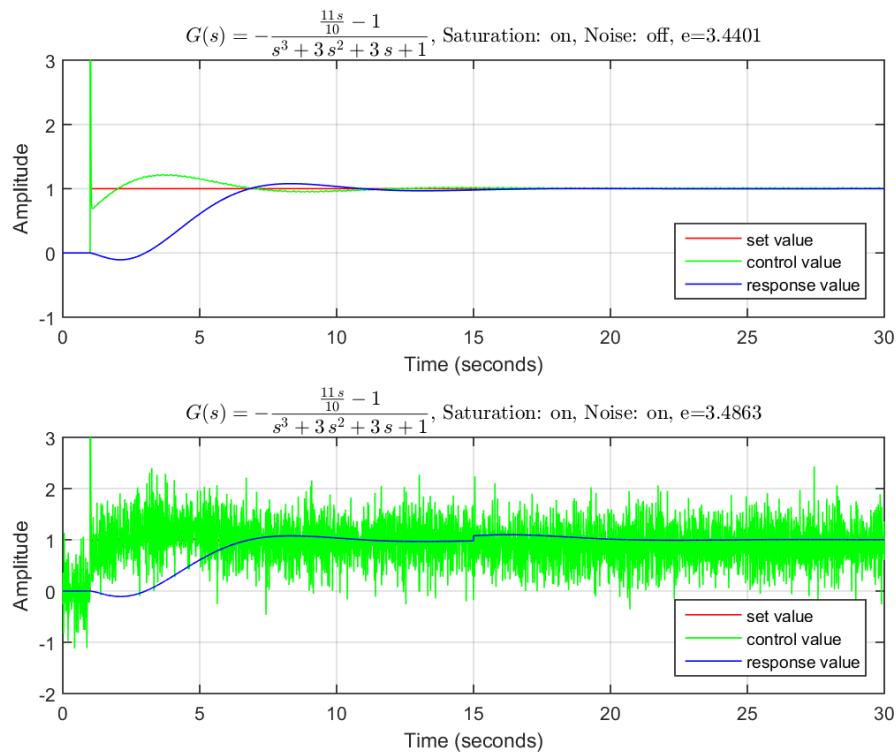
Rysunek 2.3.244: Obiekt G8-tf10a



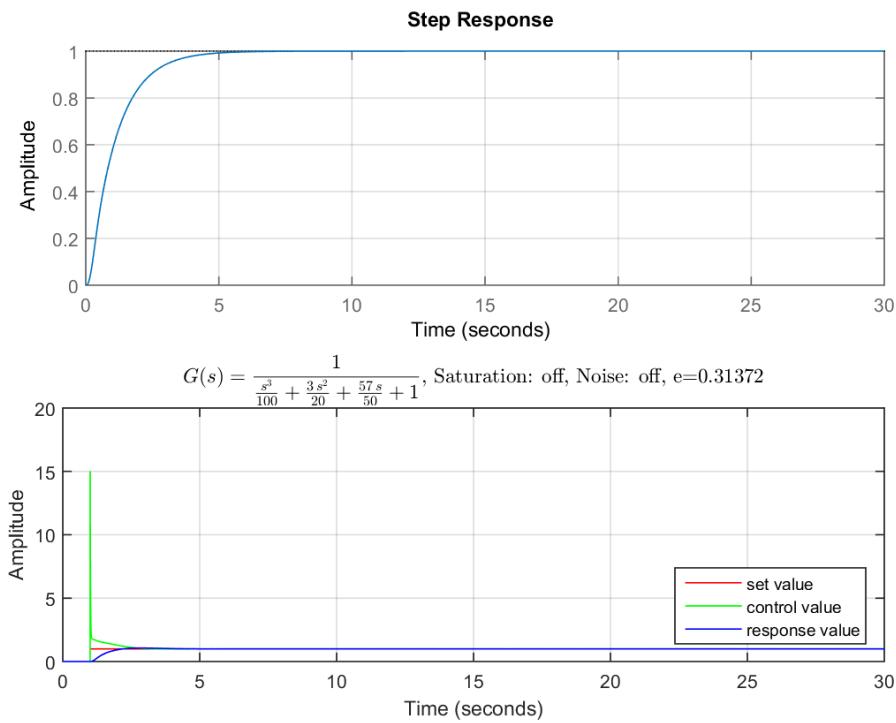
Rysunek 2.3.245: Obiekt G8-tf10b



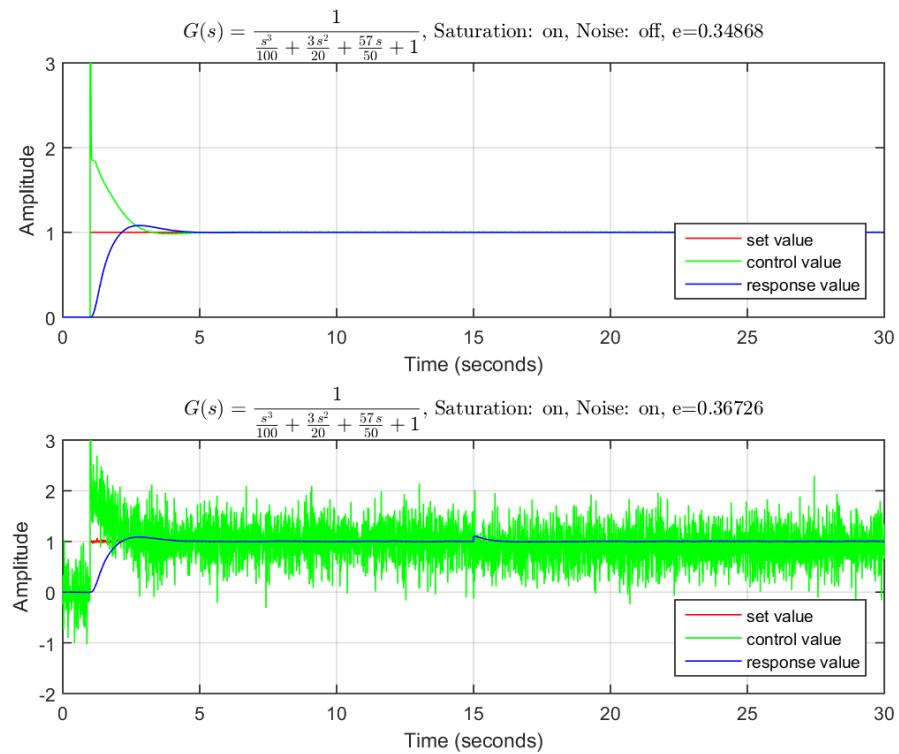
Rysunek 2.3.246: Obiekt G8-tf11a



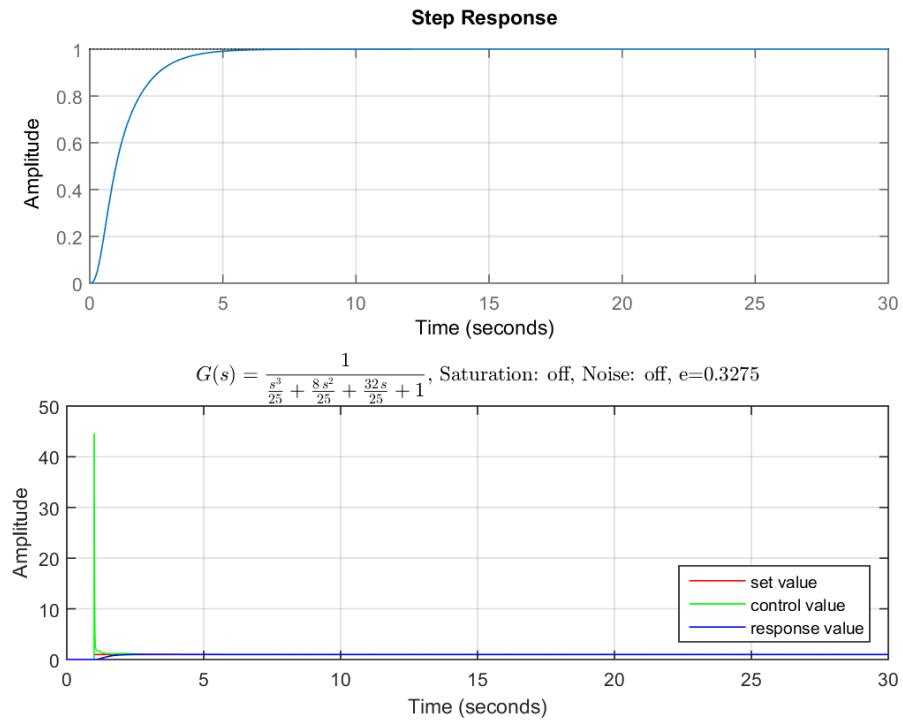
Rysunek 2.3.247: Obiekt G8-tf11b



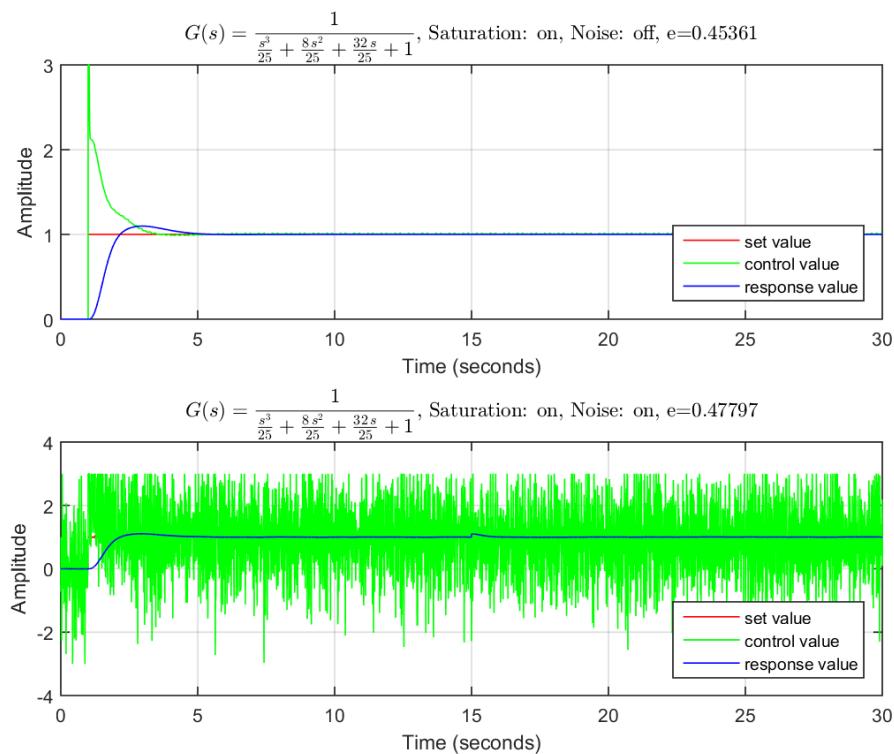
Rysunek 2.3.248: Obiekt G9-tf1a



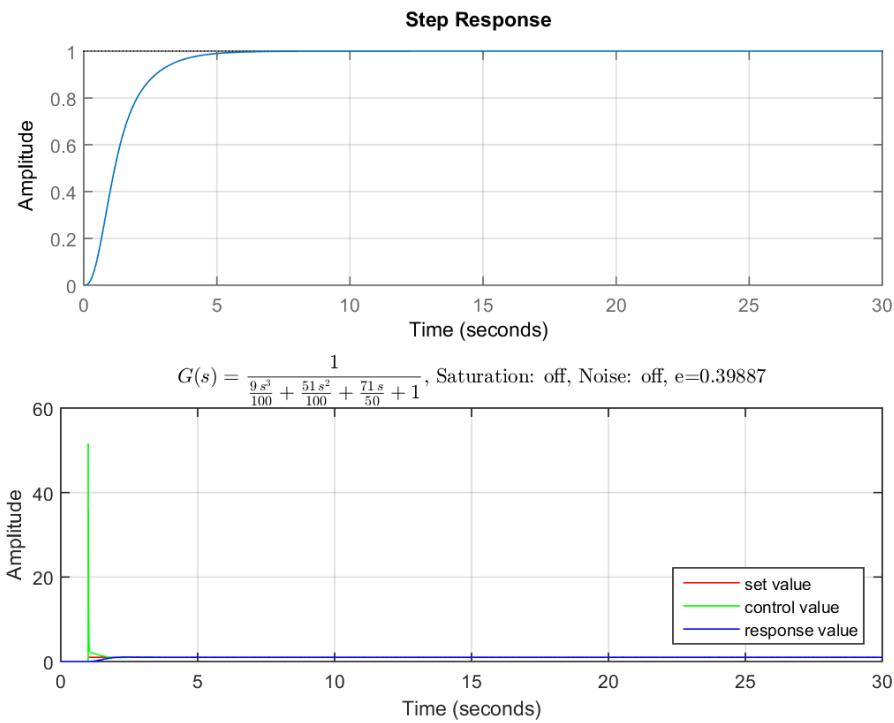
Rysunek 2.3.249: Obiekt G9-tf1b



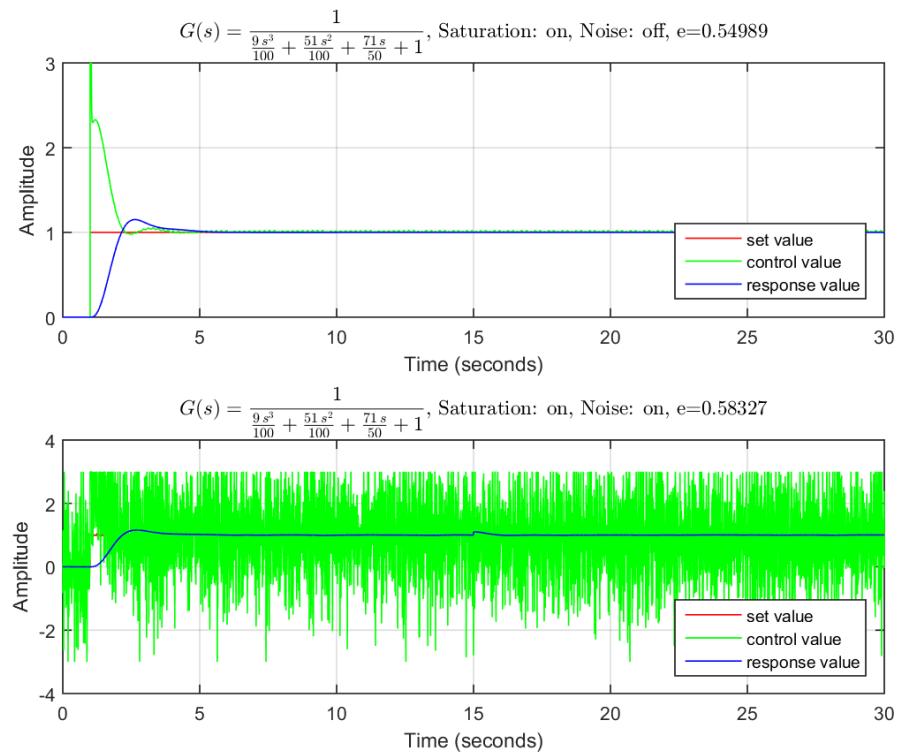
Rysunek 2.3.250: Obiekt G9-tf2a



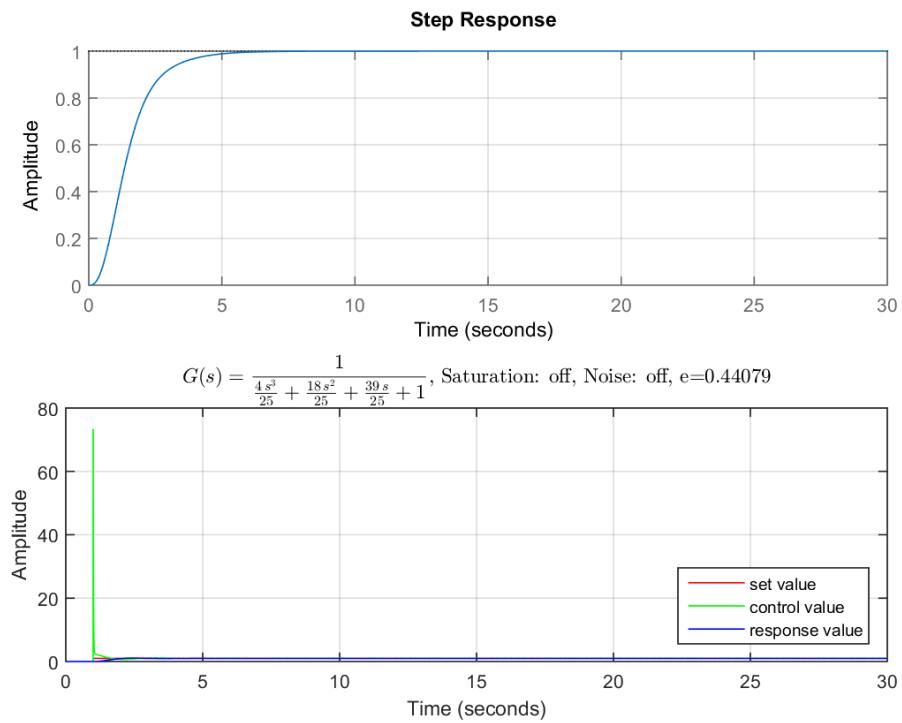
Rysunek 2.3.251: Obiekt G9-tf2b



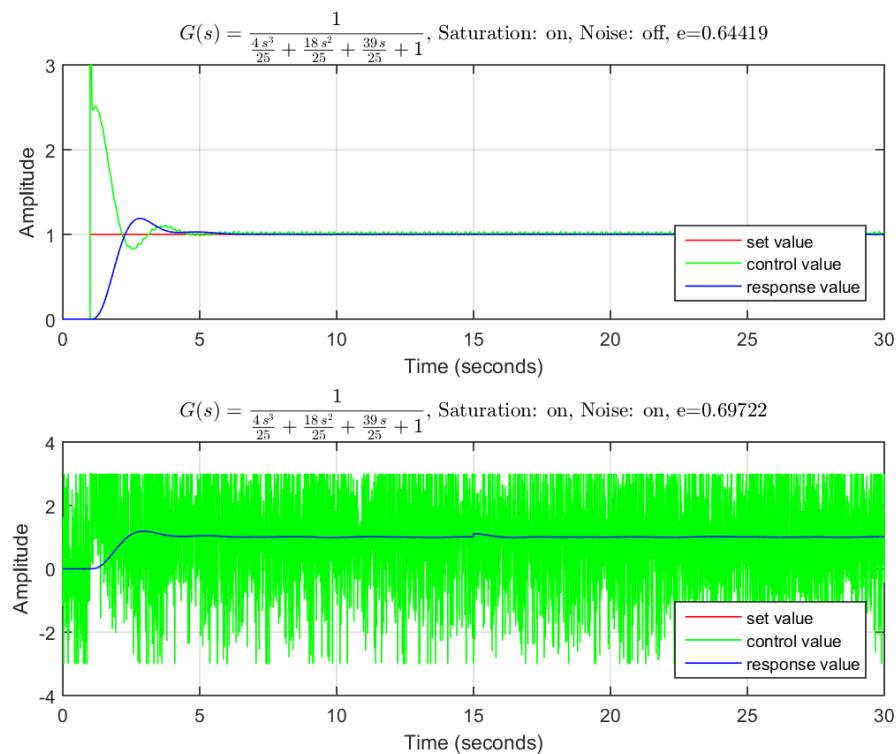
Rysunek 2.3.252: Obiekt G9-tf3a



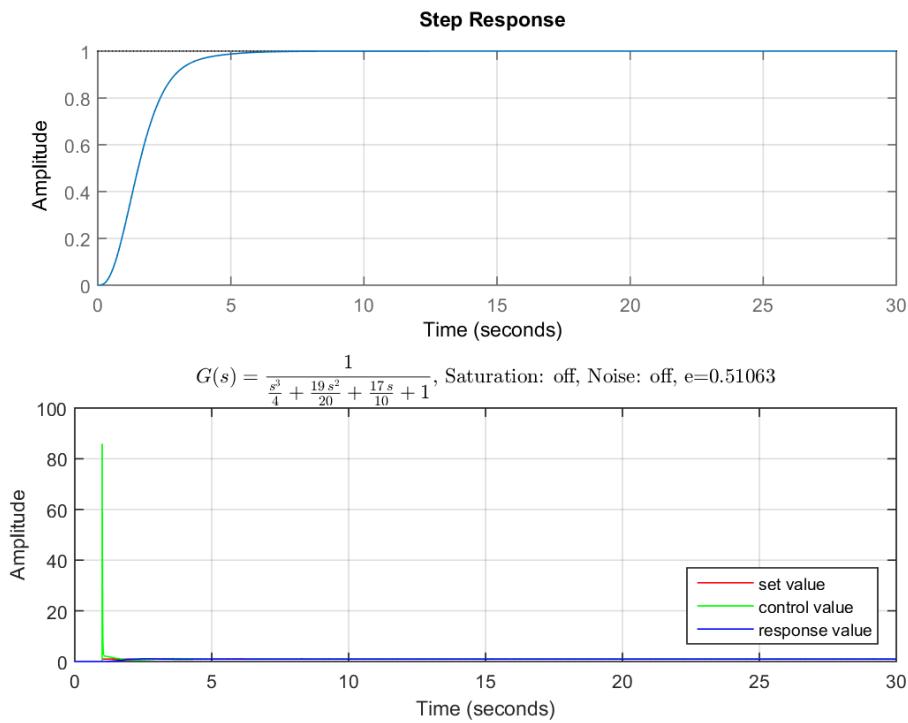
Rysunek 2.3.253: Obiekt G9-tf3b



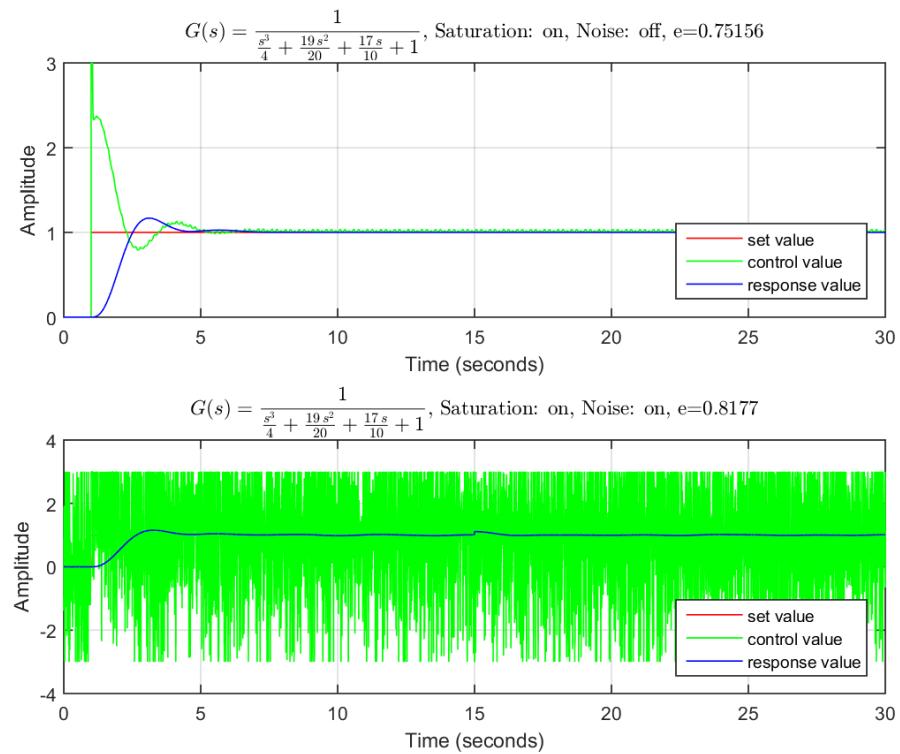
Rysunek 2.3.254: Obiekt G9-tf4a



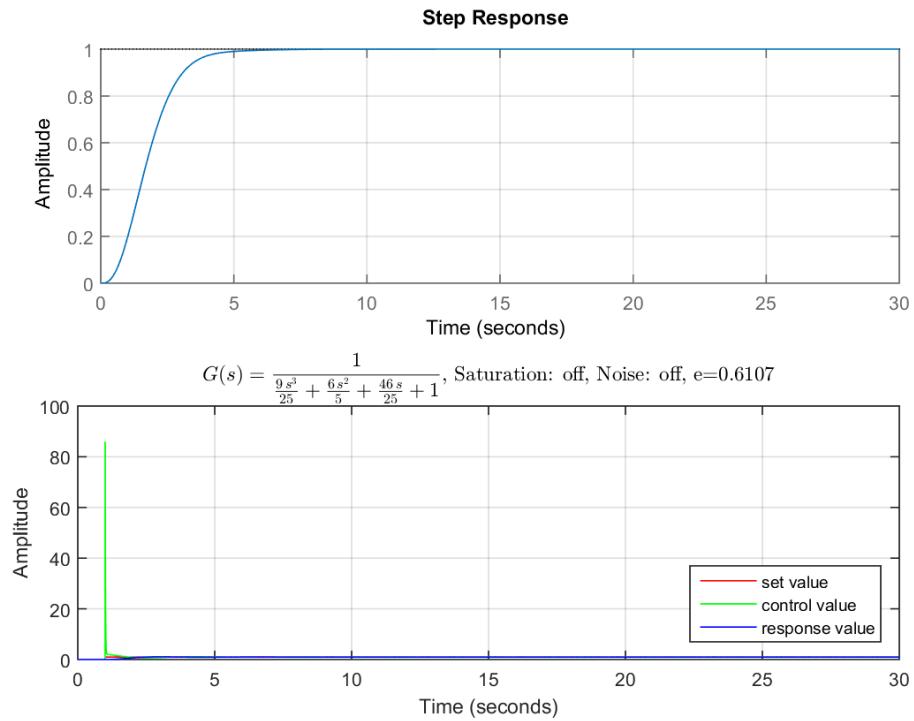
Rysunek 2.3.255: Obiekt G9-tf4b



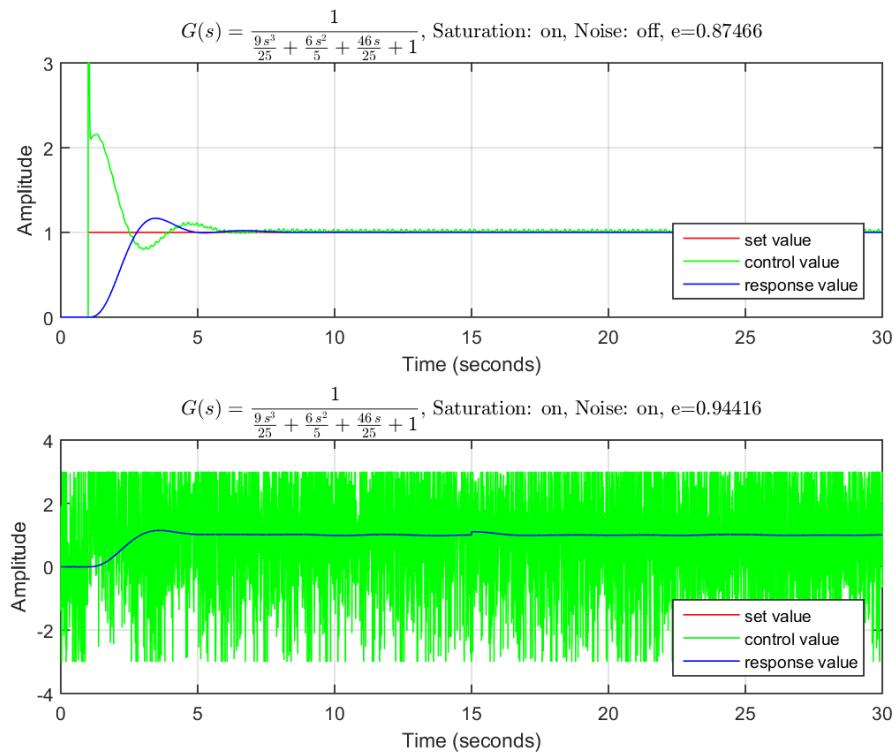
Rysunek 2.3.256: Obiekt G9-tf5a



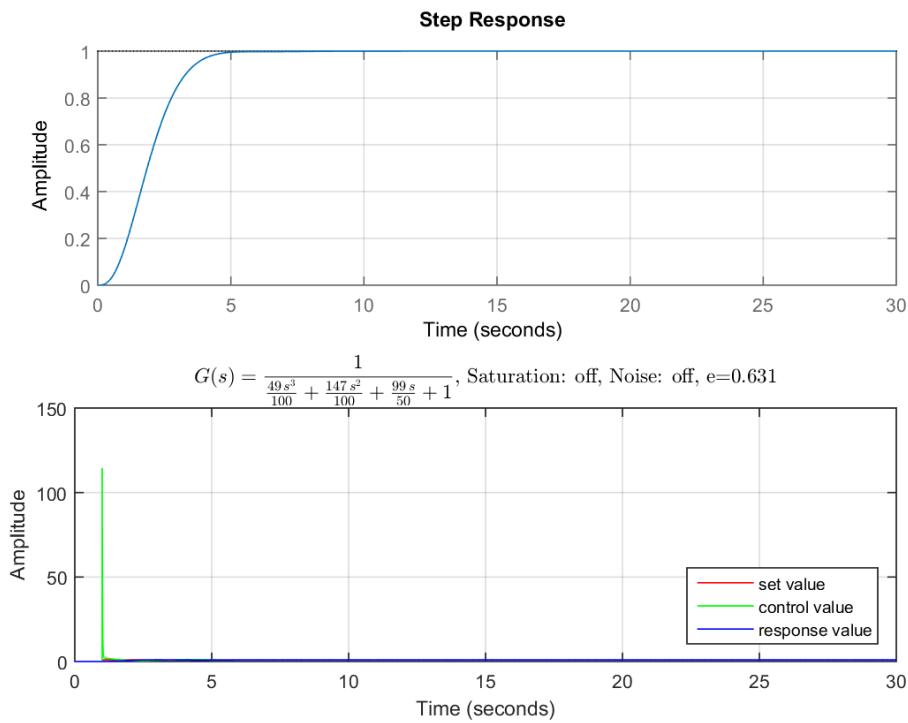
Rysunek 2.3.257: Obiekt G9-tf5b



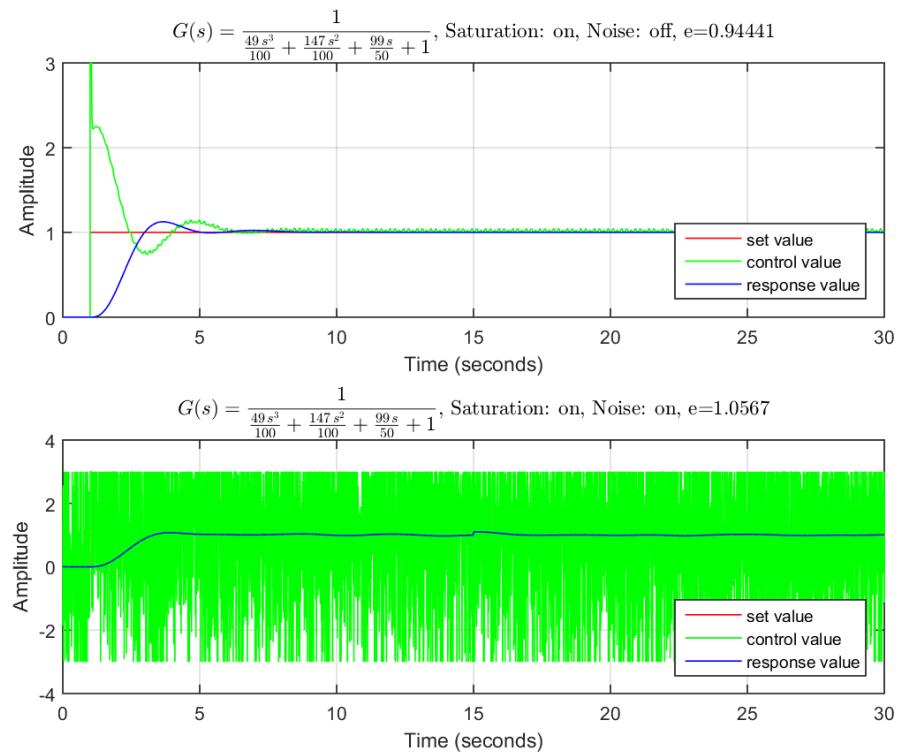
Rysunek 2.3.258: Obiekt G9-tf6a



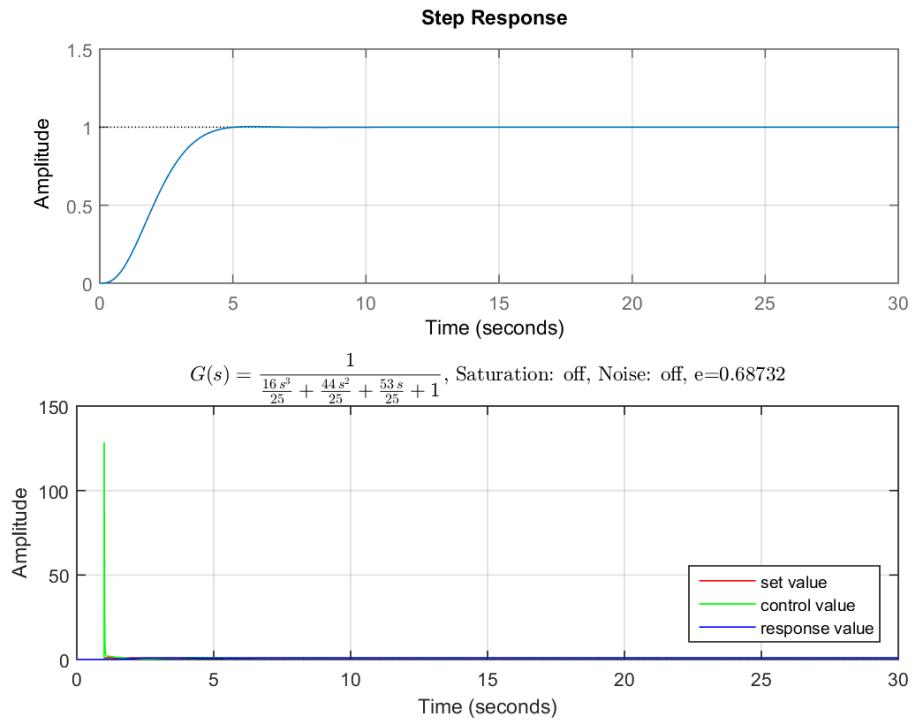
Rysunek 2.3.259: Obiekt G9-tf6b



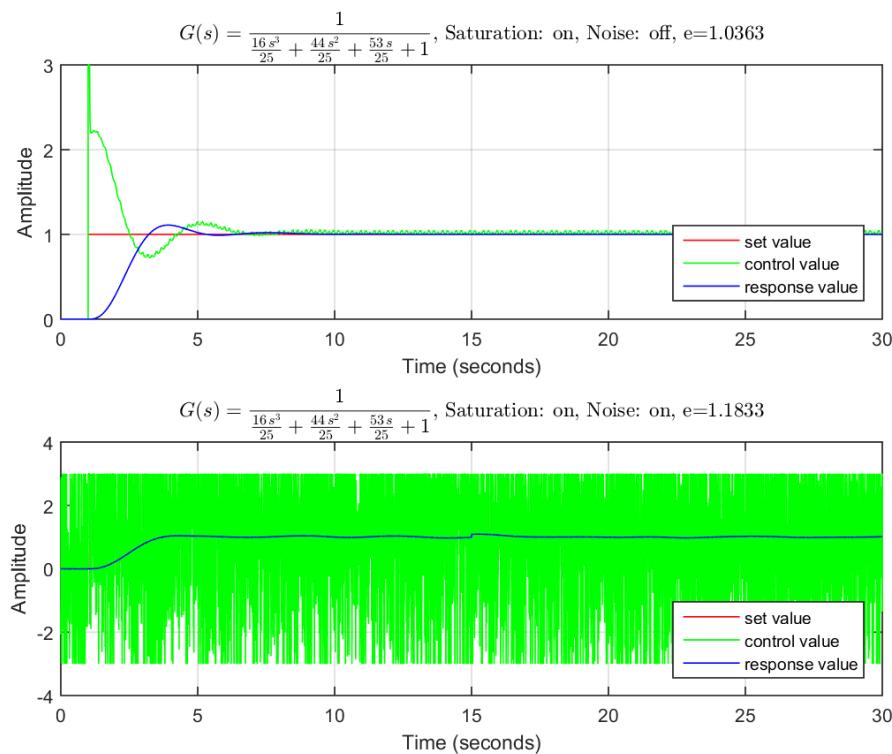
Rysunek 2.3.260: Obiekt G9-tf7a



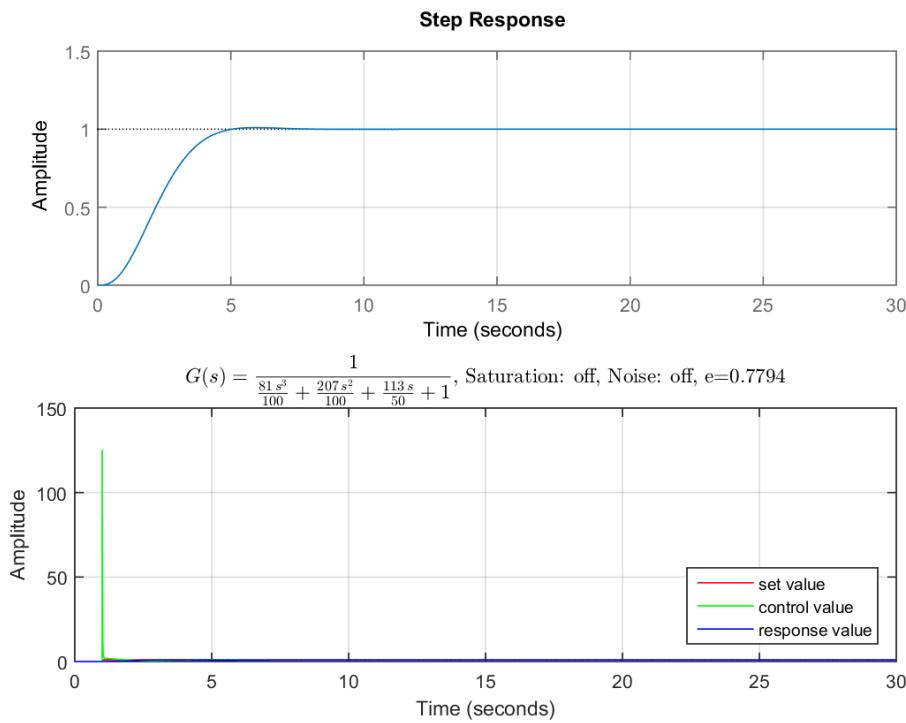
Rysunek 2.3.261: Obiekt G9-tf7b



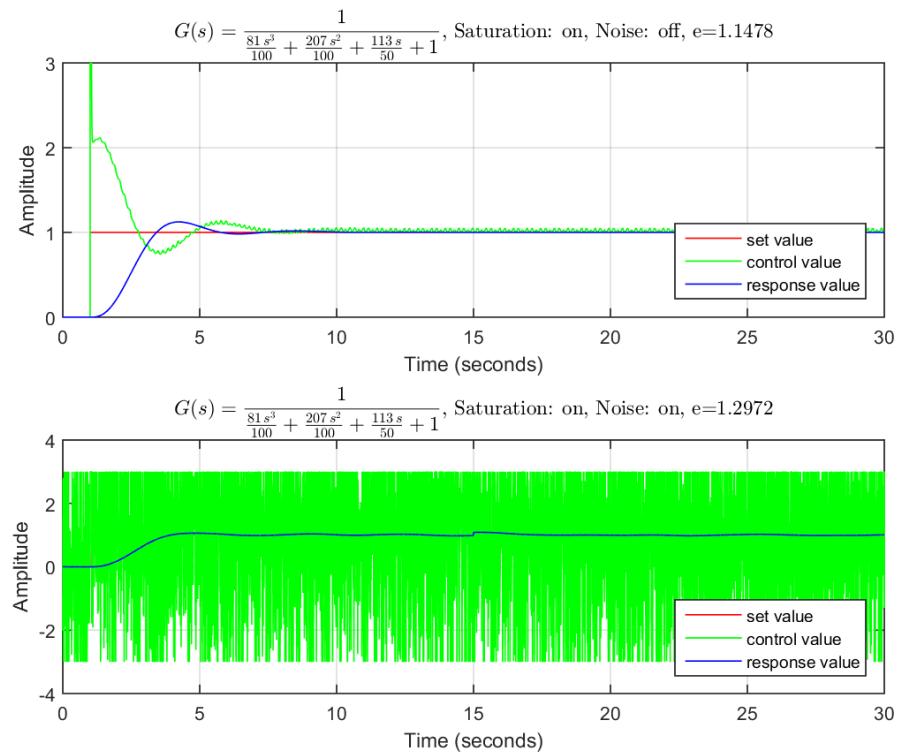
Rysunek 2.3.262: Obiekt G9-tf8a



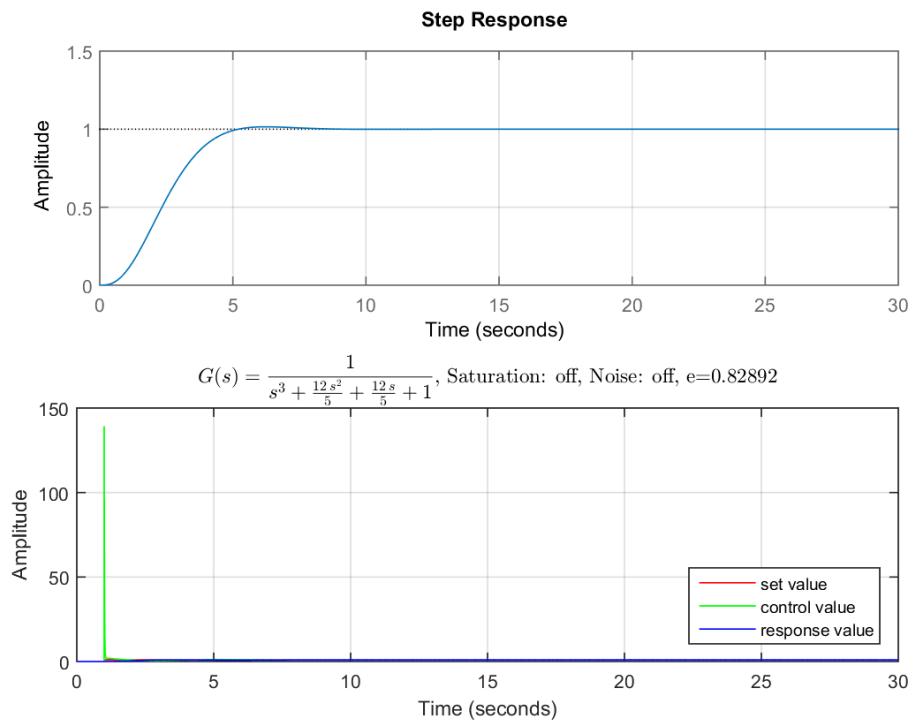
Rysunek 2.3.263: Obiekt G9-tf8b



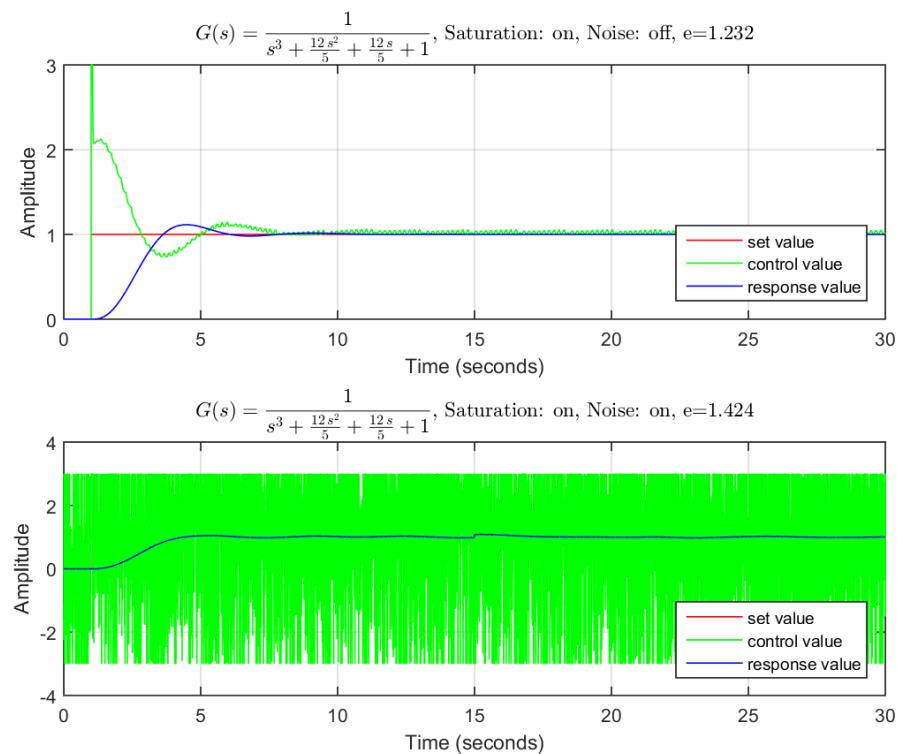
Rysunek 2.3.264: Obiekt G9-tf9a



Rysunek 2.3.265: Obiekt G9-tf9b



Rysunek 2.3.266: Obiekt G9-tf10a



Rysunek 2.3.267: Obiekt G9-tf10b

3. Analiza wyników

Powyżej przedstawiono wykresy stworzone w oparciu o sterowane obiekty. Należy zwrócić uwagę, że przy niektórych transmitancjach konieczne staje się zastosowanie saturacji - sterowanie przekracza dotychczasowe poziomy o rzędy wielkości. Co więcej, wpływ zakłócenia 0.1 w 15 sekundzie i szumów o mocy 0.000005 dodatkowo podnosi

Spis rysunków

1.1.1	Zrzut ekranu przedstawiający narzędzie PID Tuner	4
1.2.2	Zrzut ekranu przedstawiający narzędzie definiowanie obiektu w SISO Design Tool	5
1.2.3	Zrzut ekranu przedstawiający proces automatycznego strojenia w SISO Design Tool	6
2.2.1	Model w Simulinku	8
2.3.2	Obiekt G1-tf1a	9
2.3.3	Obiekt G1-tf1b	10
2.3.4	Obiekt G1-tf2a	10
2.3.5	Obiekt G1-tf2b	11
2.3.6	Obiekt G1-tf3a	11
2.3.7	Obiekt G1-tf3b	12
2.3.8	Obiekt G1-tf4a	12
2.3.9	Obiekt G1-tf4b	13
2.3.10	Obiekt G1-tf5a	13
2.3.11	Obiekt G1-tf5b	14
2.3.12	Obiekt G1-tf6a	14
2.3.13	Obiekt G1-tf6b	15
2.3.14	Obiekt G1-tf7a	15
2.3.15	Obiekt G1-tf7b	16
2.3.16	Obiekt G1-tf8a	16
2.3.17	Obiekt G1-tf8b	17
2.3.18	Obiekt G1-tf9a	17
2.3.19	Obiekt G1-tf9b	18
2.3.20	Obiekt G1-tf10a	18
2.3.21	Obiekt G1-tf10b	19
2.3.22	Obiekt G1-tf11a	19
2.3.23	Obiekt G1-tf11b	20
2.3.24	Obiekt G1-tf12a	20
2.3.25	Obiekt G1-tf12b	21
2.3.26	Obiekt G1-tf13a	21
2.3.27	Obiekt G1-tf13b	22
2.3.28	Obiekt G1-tf14a	22

2.3.29 Obiekt G1-tf14b	23
2.3.30 Obiekt G1-tf15a	23
2.3.31 Obiekt G1-tf15b	24
2.3.32 Obiekt G1-tf16a	24
2.3.33 Obiekt G1-tf16b	25
2.3.34 Obiekt G1-tf17a	25
2.3.35 Obiekt G1-tf17b	26
2.3.36 Obiekt G1-tf18a	26
2.3.37 Obiekt G1-tf18b	27
2.3.38 Obiekt G1-tf19a	27
2.3.39 Obiekt G1-tf19b	28
2.3.40 Obiekt G1-tf20a	28
2.3.41 Obiekt G1-tf20b	29
2.3.42 Obiekt G1-tf21a	29
2.3.43 Obiekt G1-tf21b	30
2.3.44 Obiekt G2-tf1a	30
2.3.45 Obiekt G2-tf1b	31
2.3.46 Obiekt G2-tf2a	31
2.3.47 Obiekt G2-tf2b	32
2.3.48 Obiekt G2-tf3a	32
2.3.49 Obiekt G2-tf3b	33
2.3.50 Obiekt G2-tf4a	33
2.3.51 Obiekt G2-tf4b	34
2.3.52 Obiekt G2-tf5a	34
2.3.53 Obiekt G2-tf5b	35
2.3.54 Obiekt G2-tf6a	35
2.3.55 Obiekt G2-tf6b	36
2.3.56 Obiekt G2-tf7a	36
2.3.57 Obiekt G2-tf7b	37
2.3.58 Obiekt G2-tf8a	37
2.3.59 Obiekt G2-tf8b	38
2.3.60 Obiekt G2-tf9a	38
2.3.61 Obiekt G2-tf9b	39
2.3.62 Obiekt G2-tf10a	39
2.3.63 Obiekt G2-tf10b	40
2.3.64 Obiekt G2-tf11a	40
2.3.65 Obiekt G2-tf11b	41
2.3.66 Obiekt G2-tf12a	41

2.3.67 Obiekt G2-tf12b	42
2.3.68 Obiekt G2-tf13a	42
2.3.69 Obiekt G2-tf13b	43
2.3.70 Obiekt G2-tf14a	43
2.3.71 Obiekt G2-tf14b	44
2.3.72 Obiekt G2-tf15a	44
2.3.73 Obiekt G2-tf15b	45
2.3.74 Obiekt G2-tf16a	45
2.3.75 Obiekt G2-tf16b	46
2.3.76 Obiekt G2-tf17a	46
2.3.77 Obiekt G2-tf17b	47
2.3.78 Obiekt G2-tf18a	47
2.3.79 Obiekt G2-tf18b	48
2.3.80 Obiekt G2-tf19a	48
2.3.81 Obiekt G2-tf19b	49
2.3.82 Obiekt G2-tf20a	49
2.3.83 Obiekt G2-tf20b	50
2.3.84 Obiekt G2-tf21a	50
2.3.85 Obiekt G2-tf21b	51
2.3.86 Obiekt G3-tf1a	51
2.3.87 Obiekt G3-tf1b	52
2.3.88 Obiekt G3-tf2a	52
2.3.89 Obiekt G3-tf2b	53
2.3.90 Obiekt G3-tf3a	53
2.3.91 Obiekt G3-tf3b	54
2.3.92 Obiekt G3-tf4a	54
2.3.93 Obiekt G3-tf4b	55
2.3.94 Obiekt G3-tf5a	55
2.3.95 Obiekt G3-tf5b	56
2.3.96 Obiekt G3-tf6a	56
2.3.97 Obiekt G3-tf6b	57
2.3.98 Obiekt G3-tf7a	57
2.3.99 Obiekt G3-tf7b	58
2.3.100 Obiekt G3-tf8a	58
2.3.101 Obiekt G3-tf8b	59
2.3.102 Obiekt G3-tf9a	59
2.3.103 Obiekt G3-tf9b	60
2.3.104 Obiekt G3-tf10a	60

2.3.105 Obiekt G3-tf10b	61
2.3.106 Obiekt G4-tf1a	61
2.3.107 Obiekt G4-tf1b	62
2.3.108 Obiekt G4-tf2a	62
2.3.109 Obiekt G4-tf2b	63
2.3.110 Obiekt G4-tf3a	63
2.3.111 Obiekt G4-tf3b	64
2.3.112 Obiekt G4-tf4a	64
2.3.113 Obiekt G4-tf4b	65
2.3.114 Obiekt G4-tf5a	65
2.3.115 Obiekt G4-tf5b	66
2.3.116 Obiekt G4-tf6a	66
2.3.117 Obiekt G4-tf6b	67
2.3.118 Obiekt G5-tf1a	67
2.3.119 Obiekt G5-tf1b	68
2.3.120 Obiekt G5-tf2a	68
2.3.121 Obiekt G5-tf2b	69
2.3.122 Obiekt G5-tf3a	69
2.3.123 Obiekt G5-tf3b	70
2.3.124 Obiekt G5-tf4a	70
2.3.125 Obiekt G5-tf4b	71
2.3.126 Obiekt G5-tf5a	71
2.3.127 Obiekt G5-tf5b	72
2.3.128 Obiekt G5-tf6a	72
2.3.129 Obiekt G5-tf6b	73
2.3.130 Obiekt G5-tf7a	73
2.3.131 Obiekt G5-tf7b	74
2.3.132 Obiekt G5-tf8a	74
2.3.133 Obiekt G5-tf8b	75
2.3.134 Obiekt G5-tf9a	75
2.3.135 Obiekt G5-tf9b	76
2.3.136 Obiekt G6-tf1a	76
2.3.137 Obiekt G6-tf1b	77
2.3.138 Obiekt G6-tf2a	77
2.3.139 Obiekt G6-tf2b	78
2.3.140 Obiekt G6-tf3a	78
2.3.141 Obiekt G6-tf3b	79
2.3.142 Obiekt G6-tf4a	79

2.3.143 Obiekt G6-tf4b	80
2.3.144 Obiekt G6-tf5a	80
2.3.145 Obiekt G6-tf5b	81
2.3.146 Obiekt G6-tf6a	81
2.3.147 Obiekt G6-tf6b	82
2.3.148 Obiekt G6-tf7a	82
2.3.149 Obiekt G6-tf7b	83
2.3.150 Obiekt G6-tf8a	83
2.3.151 Obiekt G6-tf8b	84
2.3.152 Obiekt G6-tf9a	84
2.3.153 Obiekt G6-tf9b	85
2.3.154 Obiekt G7-tf1a	85
2.3.155 Obiekt G7-tf1b	86
2.3.156 Obiekt G7-tf2a	86
2.3.157 Obiekt G7-tf2b	87
2.3.158 Obiekt G7-tf3a	87
2.3.159 Obiekt G7-tf3b	88
2.3.160 Obiekt G7-tf4a	88
2.3.161 Obiekt G7-tf4b	89
2.3.162 Obiekt G7-tf5a	89
2.3.163 Obiekt G7-tf5b	90
2.3.164 Obiekt G7-tf6a	90
2.3.165 Obiekt G7-tf6b	91
2.3.166 Obiekt G7-tf7a	91
2.3.167 Obiekt G7-tf7b	92
2.3.168 Obiekt G7-tf8a	92
2.3.169 Obiekt G7-tf8b	93
2.3.170 Obiekt G7-tf9a	93
2.3.171 Obiekt G7-tf9b	94
2.3.172 Obiekt G7-tf10a	94
2.3.173 Obiekt G7-tf10b	95
2.3.174 Obiekt G7-tf11a	95
2.3.175 Obiekt G7-tf11b	96
2.3.176 Obiekt G7-tf12a	96
2.3.177 Obiekt G7-tf12b	97
2.3.178 Obiekt G7-tf13a	97
2.3.179 Obiekt G7-tf13b	98
2.3.180 Obiekt G7-tf14a	98

2.3.181 Obiekt G7-tf14b	99
2.3.182 Obiekt G7-tf15a	99
2.3.183 Obiekt G7-tf15b	100
2.3.184 Obiekt G7-tf16a	100
2.3.185 Obiekt G7-tf16b	101
2.3.186 Obiekt G7-tf17a	101
2.3.187 Obiekt G7-tf17b	102
2.3.188 Obiekt G7-tf18a	102
2.3.189 Obiekt G7-tf18b	103
2.3.190 Obiekt G7-tf19a	103
2.3.191 Obiekt G7-tf19b	104
2.3.192 Obiekt G7-tf20a	104
2.3.193 Obiekt G7-tf20b	105
2.3.194 Obiekt G7-tf21a	105
2.3.195 Obiekt G7-tf21b	106
2.3.196 Obiekt G7-tf22a	106
2.3.197 Obiekt G7-tf22b	107
2.3.198 Obiekt G7-tf23a	107
2.3.199 Obiekt G7-tf23b	108
2.3.200 Obiekt G7-tf24a	108
2.3.201 Obiekt G7-tf24b	109
2.3.202 Obiekt G7-tf25a	109
2.3.203 Obiekt G7-tf25b	110
2.3.204 Obiekt G7-tf26a	110
2.3.205 Obiekt G7-tf26b	111
2.3.206 Obiekt G7-tf27a	111
2.3.207 Obiekt G7-tf27b	112
2.3.208 Obiekt G7-tf28a	112
2.3.209 Obiekt G7-tf28b	113
2.3.210 Obiekt G7-tf29a	113
2.3.211 Obiekt G7-tf29b	114
2.3.212 Obiekt G7-tf30a	114
2.3.213 Obiekt G7-tf30b	115
2.3.214 Obiekt G7-tf31a	115
2.3.215 Obiekt G7-tf31b	116
2.3.216 Obiekt G7-tf32a	116
2.3.217 Obiekt G7-tf32b	117
2.3.218 Obiekt G7-tf33a	117

2.3.219 Obiekt G7-tf33b	118
2.3.220 Obiekt G7-tf34a	118
2.3.221 Obiekt G7-tf34b	119
2.3.222 Obiekt G7-tf35a	119
2.3.223 Obiekt G7-tf35b	120
2.3.224 Obiekt G7-tf36a	120
2.3.225 Obiekt G7-tf36b	121
2.3.226 Obiekt G8-tf1a	121
2.3.227 Obiekt G8-tf1b	122
2.3.228 Obiekt G8-tf2a	122
2.3.229 Obiekt G8-tf2b	123
2.3.230 Obiekt G8-tf3a	123
2.3.231 Obiekt G8-tf3b	124
2.3.232 Obiekt G8-tf4a	124
2.3.233 Obiekt G8-tf4b	125
2.3.234 Obiekt G8-tf5a	125
2.3.235 Obiekt G8-tf5b	126
2.3.236 Obiekt G8-tf6a	126
2.3.237 Obiekt G8-tf6b	127
2.3.238 Obiekt G8-tf7a	127
2.3.239 Obiekt G8-tf7b	128
2.3.240 Obiekt G8-tf8a	128
2.3.241 Obiekt G8-tf8b	129
2.3.242 Obiekt G8-tf9a	129
2.3.243 Obiekt G8-tf9b	130
2.3.244 Obiekt G8-tf10a	130
2.3.245 Obiekt G8-tf10b	131
2.3.246 Obiekt G8-tf11a	131
2.3.247 Obiekt G8-tf11b	132
2.3.248 Obiekt G9-tf1a	132
2.3.249 Obiekt G9-tf1b	133
2.3.250 Obiekt G9-tf2a	133
2.3.251 Obiekt G9-tf2b	134
2.3.252 Obiekt G9-tf3a	134
2.3.253 Obiekt G9-tf3b	135
2.3.254 Obiekt G9-tf4a	135
2.3.255 Obiekt G9-tf4b	136
2.3.256 Obiekt G9-tf5a	136

2.3.257 Obiekt G9-tf5b	137
2.3.258 Obiekt G9-tf6a	137
2.3.259 Obiekt G9-tf6b	138
2.3.260 Obiekt G9-tf7a	138
2.3.261 Obiekt G9-tf7b	139
2.3.262 Obiekt G9-tf8a	139
2.3.263 Obiekt G9-tf8b	140
2.3.264 Obiekt G9-tf9a	140
2.3.265 Obiekt G9-tf9b	141
2.3.266 Obiekt G9-tf10a	141
2.3.267 Obiekt G9-tf10b	142