



تمرین چهارم شبیه سازی درس کنترل تطبیقی

مهدی عبدالله چالکی (۸۱۰۶۰۰۲۹۰)

دانشکده مهندسی مکانیک تهران

خرداد ۱۴۰۱

فهرست

قسمت اول.....	۴
قسمت دوم: طراحی کنترل کننده پیش‌بین با ساختار ثابت.....	۷
۱- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو:.....	۷
۱-۱- بدون نویز.....	۸
۱-۲- بررسی اثر نویز سفید.....	۹
۱-۳- بررسی اثر اغتشاش.....	۱۰
۱-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر.....	۱۱
۲- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلوی وزن‌دار شده.....	۱۲
۲-۱- بدون نویز.....	۱۴
۲-۲- بررسی اثر نویز سفید.....	۱۵
۲-۳- بررسی اثر اغتشاش.....	۱۶
۲-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر.....	۱۷
۳- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو، با استفاده از J2 (سیستم NMP).....	۱۸
۳-۱- بدون نویز.....	۱۹
۳-۲- بررسی اثر نویز سفید.....	۲۰
۳-۳- بررسی اثر اغتشاش.....	۲۱
۳-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر.....	۲۲
۴- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو با استفاده از J3.....	۲۳
۴-۱- بدون نویز.....	۲۴
۴-۲- بررسی اثر نویز سفید.....	۲۵
۴-۳- بررسی اثر اغتشاش.....	۲۶

- ۴-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر ۲۷
- ۵- طراحی کنترل کننده constant future control ۲۸
- ۵-۱- بدون نویز ۲۹
- ۵-۲- بررسی اثر نویز سفید ۳۰
- ۵-۳- بررسی اثر اغتشاش ۳۱
- ۵-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر ۳۲
- قسمت سوم: کنترل کننده پیش‌بین تطبیقی ۳۴
- ۳-۱- پیش‌بینی میزان تاخیر سیستم ۳۴
- ۳-۲- پیاده‌سازی کنترلرهای قسمت دوم به صورت تطبیقی غیرمستقیم ۳۵
- ۳-۲-۱- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو (تطبیقی) ۳۵
- ۳-۲-۲- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو وزن‌دار شده (تطبیقی) ۳۸
- ۳-۲-۳- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو وزن‌دار شده J2 (تطبیقی) - سیستم NMP ۴۰
- ۳-۲-۴- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو وزن‌دار شده J3 (تطبیقی) - سیستم NMP ۴۲
- ۳-۲-۵- کنترل کننده پیش‌بین constant future control (تطبیقی) ۴۴

قسمت اول

در این تمرین، سیستم در نظر گرفته شده دارای مشخصات زیر می باشد:

$$G(q) = \frac{B(q)}{A(q)} = \frac{q^{-3}(q - 0.4)}{(q - 0.22)(q - 0.73)}$$

با نوشتن دو جمله بر حسب اپراتورهای رو به جلو، داریم:

$$\deg A = 5$$

$$\deg B = 1$$

طراحی کنترلر STR جایای قطب:

برای این سیستم، قرار است در بخش اول کنترلر STR جایای قطب طراحی کنیم و عملکرد سیستم حلقه بسته را ارزیابی کنیم. سیستم مورد نظر را به گونه ای در نظر می گیریم که دارای زمان نشست ۳ ثانیه و بالازدگی ۱۰٪ باشد. که نتیجه می دهد مقدار $\omega_n = 2.59 \frac{rad}{s}$ و $\zeta = 0.59$ باید باشد. صفر سیستم را در ۲۰- و قطب های سوم و تا پنجم را در فاصله ای دور از محور موهومی، یعنی ۲۵-، ۲۷- و ۳۰- قرار می دهیم. بنابراین سیستم مد نظر پس از گسسته سازی با زمان نمونه برداری ۰.۰۲ ثانیه، بدین شکل در می آید:

$$G_m = \frac{B_m}{A_m} = \frac{3.514e - 05 z^4 + 0.0002777 z^3 + 3.032e - 05 z^2 - 0.0001396 z - 1.079e - 05}{z^5 - 3.676 z^4 + 5.315 z^3 - 3.779 z^2 + 1.322 z - 0.1825}$$

حال پس از مشخص شدن سیستم موجود و سیستم مد نظر، باید کنترلر طراحی شود. معادله ی دیوفانتین در حالت با حذف صفر، معادلات زیر را نتیجه می دهد:

$$B^+ = \frac{B}{b_0}$$

$$B^- = b_0$$

$$R' = 1$$

$$A_0 = 1$$

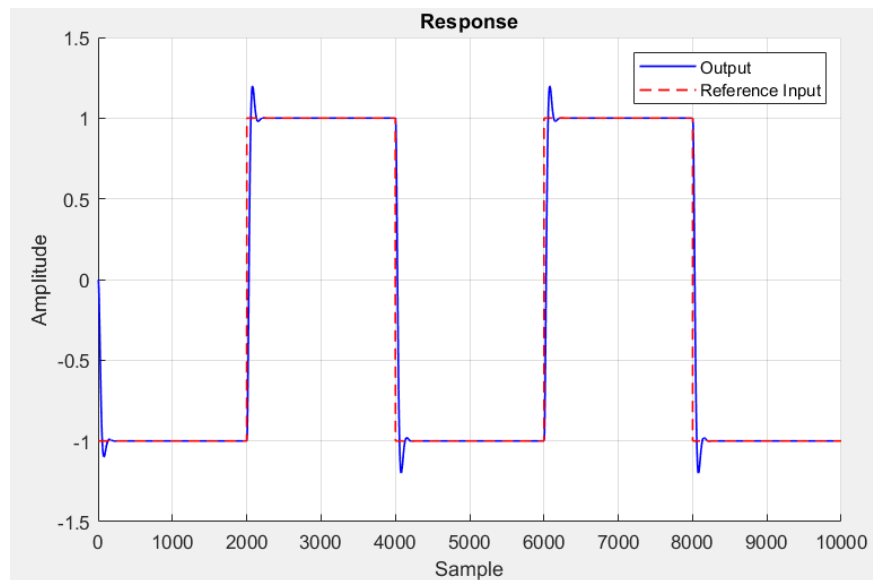
$$R = R' * B^+ = B^+$$

$$B'_m = \frac{B_m}{b_0}$$

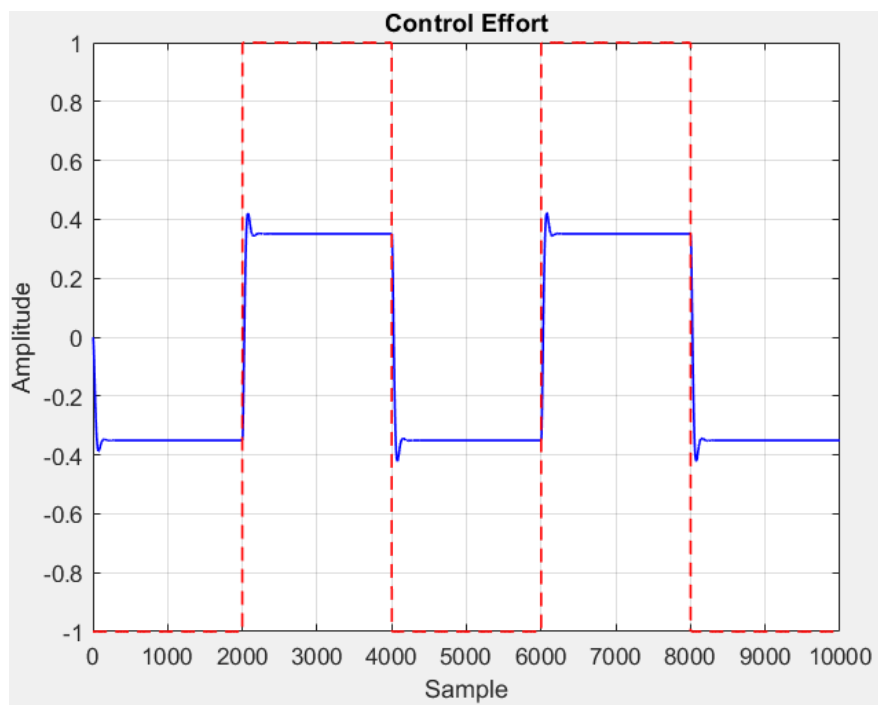
$$T = A_0 * B'_m$$

با استفاده از تابع حل گر دیوفانتین، این معادلات حل شده و مقادیر S و R و T بدست می آیند. در این حالت، نویزی در سیستم وجود ندارد و ورودی از نوع تابع پالس با دوره تناوب ۴۰۰۰ است.

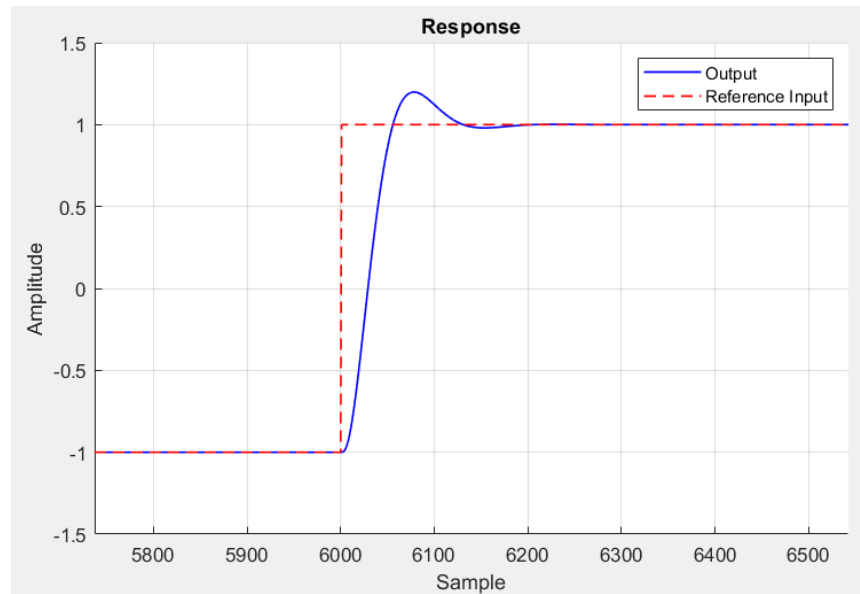
خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



برای بررسی بهتر، کمی بزرگنمایی می‌کنیم:



همان طور که دیده می شود، در حدود ۱۵۰ سمپل طول می کشد تا پاسخ به مقدار مطلوب برسد. همچنین اورشوت سیستم در حدود ۲۰ درصد است.

قسمت دوم: طراحی کنترل کننده پیش بین با ساختار ثابت

۱- کنترل کننده پیش بین یک مرحله جلو:

در این بخش، معادلات سیستم را به شکل زیر بازنویسی می کنیم:

$$Ay = Bu$$

$$(1 - 0.95 * q^{-1} + 0.1606 * q^{-2})y(t) = q^{-3}(1 - 0.4 * q^{-1})u(t)$$

بنابراین داریم:

$$\deg A = 2$$

$$\deg B' = 1$$

حال برای بدست آوردن ورودی کنترلی در هر لحظه، از معادله زیر استفاده می شود:

$$y(t+d) = \alpha(q^{-1})y(t) + \beta(q^{-1})u(t)$$

که این دو چندجمله ای برابرند با:

$$\alpha(q^{-1}) = \alpha_0 + \alpha_1 q^{-1} + \dots + \alpha_{n-1} q^{n-1} = G(q^{-1})$$

$$\beta(q^{-1}) = \beta_0 + \beta_1 q^{-1} + \dots + \beta_{n_1+d-1} q^{-(n_1+d-1)} = F(q^{-1})B'(q^{-1})$$

بنابراین لازم است تا چندجمله ای های F و G محاسبه شوند که از حل معادله دیوفانتین زیر بدست می آیند:

$$1 = F(q^{-1})A(q^{-1}) + q^{-d}G(q^{-1})$$

با توجه به درجه A و B ، چندجمله ای F از درجه $d-1$ یعنی ۲ و چندجمله ای G از درجه $n-1$ یعنی ۱ می باشد.

$$F = 1 + f_1 q^{-1} + f_2 q^{-2}$$

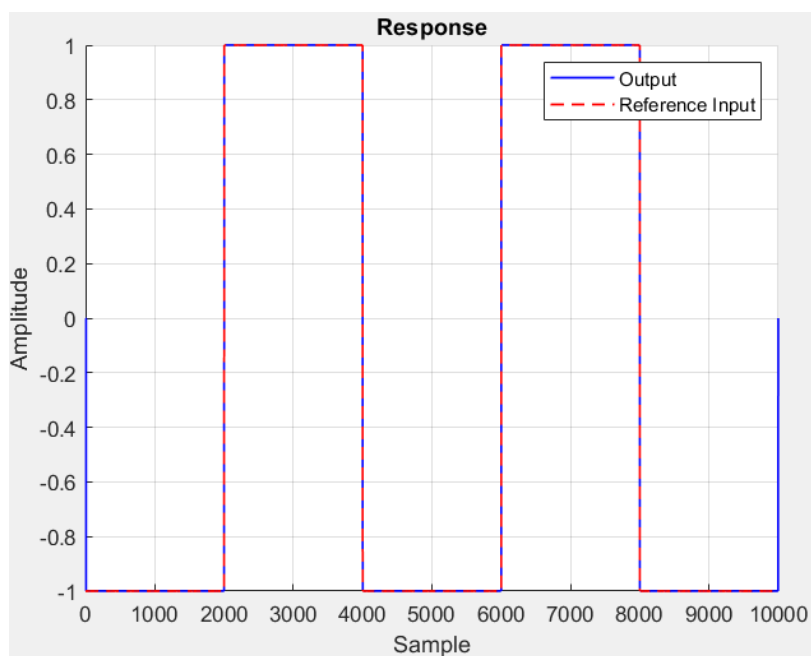
$$G = g_0 + g_1 q^{-1}$$

این معادله حل شده و با برابر قرار دادن آلفا با G و بتا با حاصل ضرب F و B ، محاسبات کامل می شود. در نهایت، خروجی مطلوب تابع پالس با دوره تناوب ۴۰۰۰ استپ در نظر گرفته می شود. ورودی کنترلی از رابطه زیر محاسبه می شود:

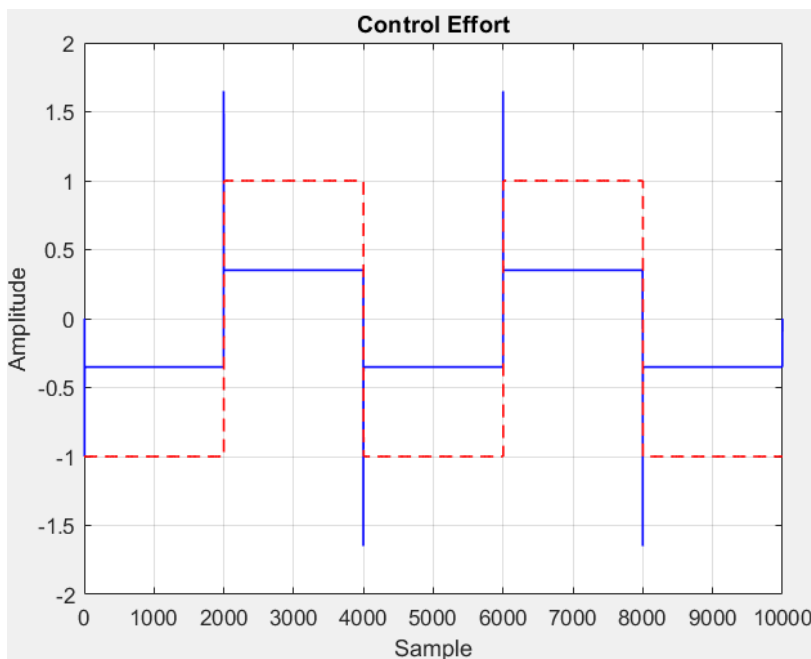
$$\beta(q^{-1})u(t) = y^*(t+d) - \alpha(q^{-1})y(t)$$

۱-۱- بدون نویز

در این حالت، سیستم نویزی ندارد. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



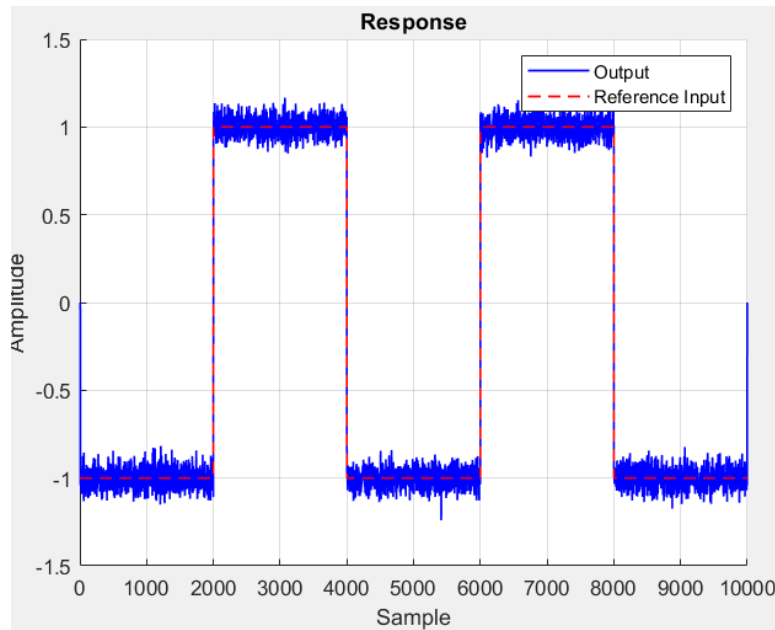
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



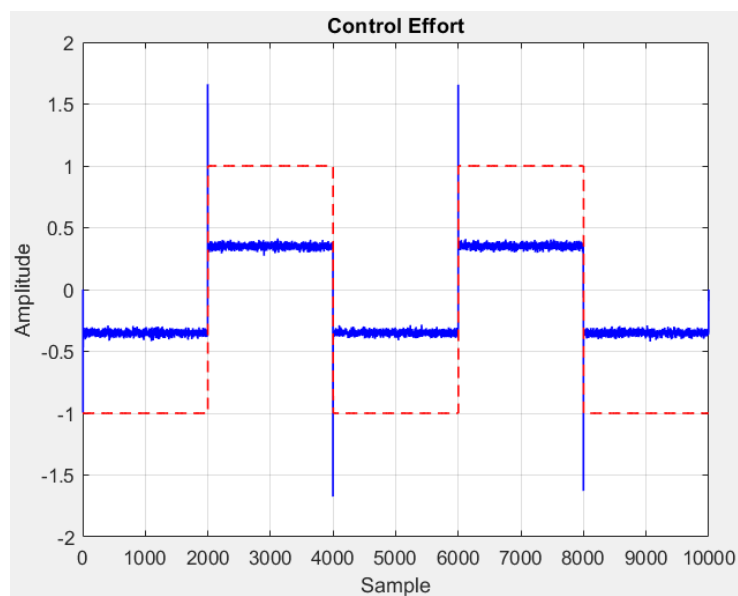
مشاهده می شود سیستم پس از چند استپ اول، در هر لحظه دقیقاً ورودی مد نظر را دنبال می کند.

۲-۱- بررسی اثر نویز سفید

در این حالت، نویز سفید با واریانس 0.001 در خروجی در نظر گرفته شده است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



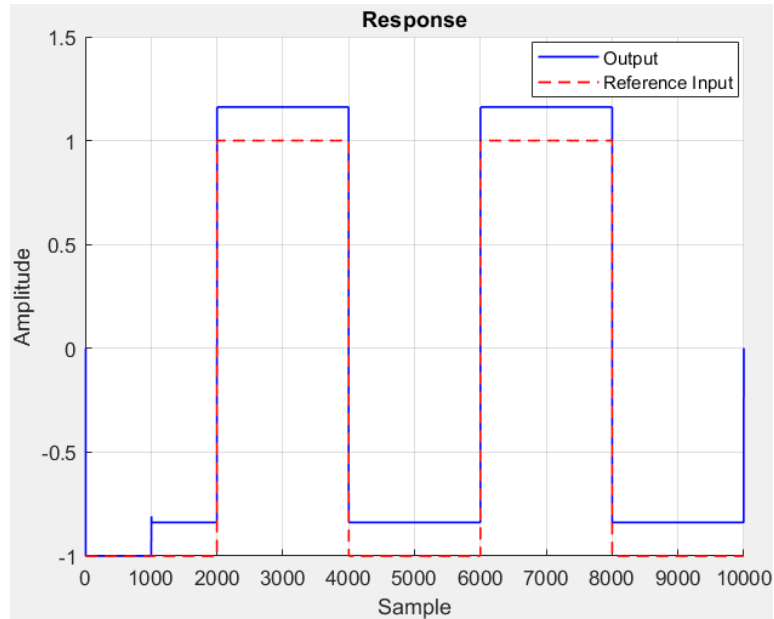
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



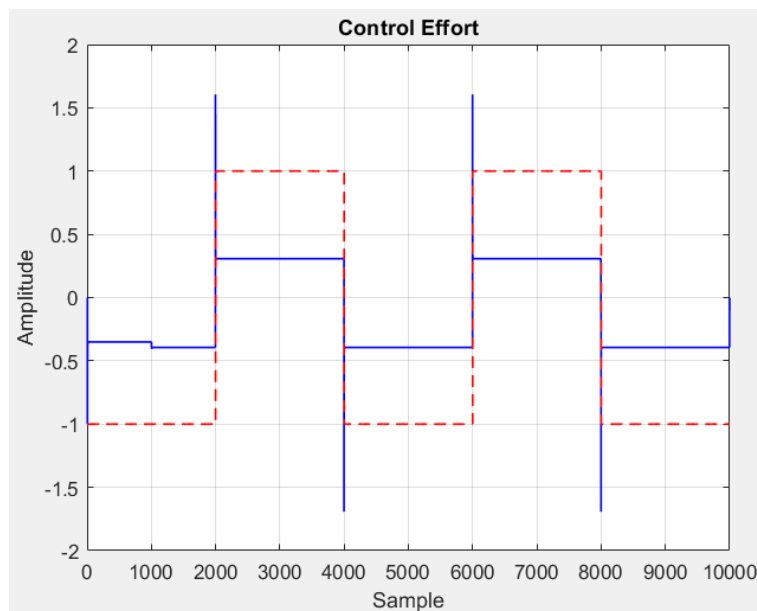
مشاهده می شود سیستم ورودی را ردیابی می کند. اما مطابق انتظار، نویزهایی در ورودی و خروجی مشاهده می شود و سیستم قادر نبوده نویز را به خوبی حذف کند. هر چند ختلال زیادی هم در کارش ایجاد نشده است.

۳-۱- بررسی اثر اغتشاش

در این حالت بعد از ورودی ۱۰۰۰، یک اغتشاش به اندازه ۰.۱ به سیستم داده شده است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



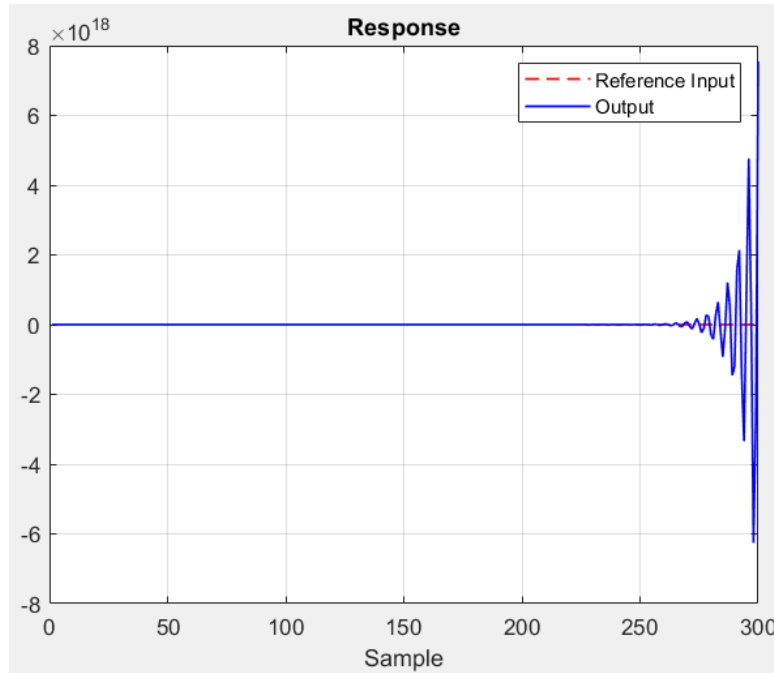
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



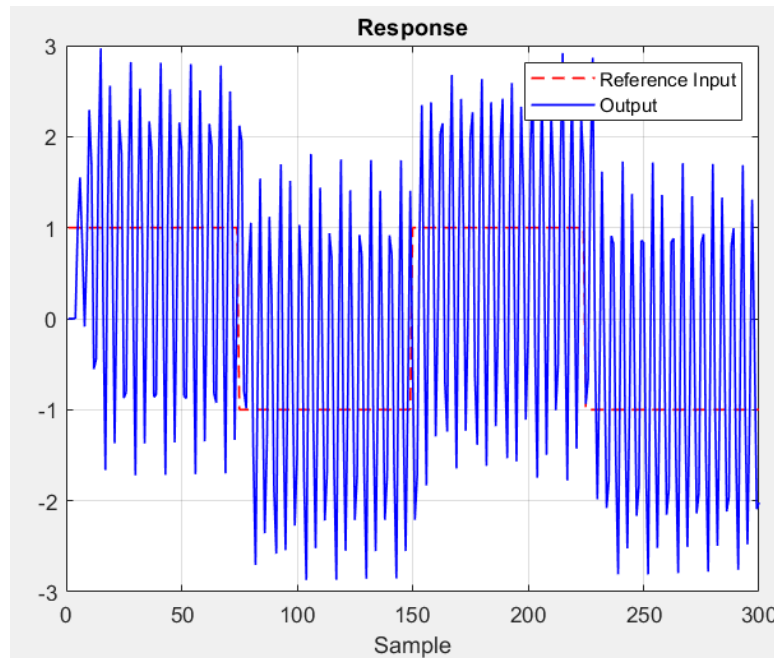
مشاهده می شود سیستم تا پیش از ورود اغتشاش، ورودی را ردیابی می کند. اما پس از اعمال اغتشاش، خروجی به اندازه همان دچار انحراف شده و عملکرد مناسبی ندارد.

۴-۱- بررسی اثر تغییر تاخیر

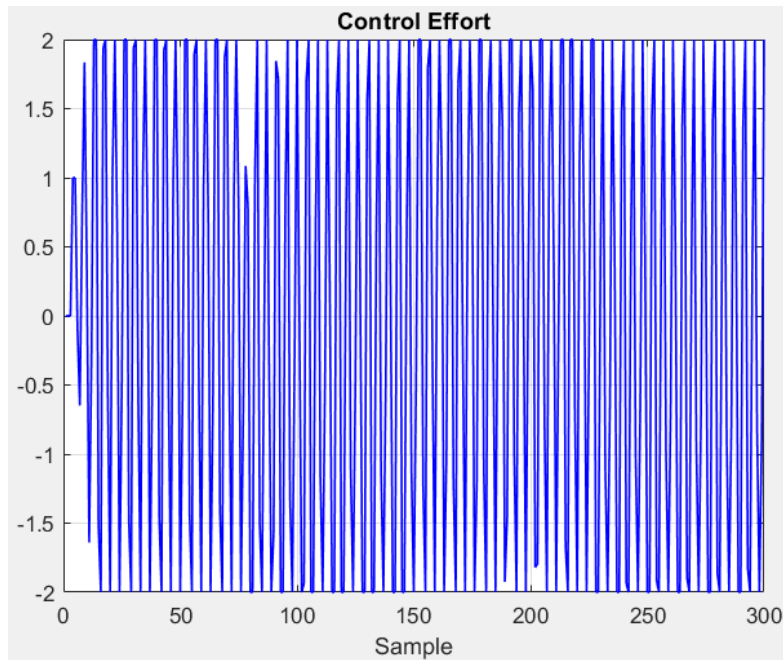
در این حالت فرض می‌شود کنترلر با همان سه درجه تاخیر طراحی شده، اما سیستم دارای ۴ مرتبه تاخیر است. خروجی سیستم به شکل زیر است:



که سیستم ناپایدار می‌شود. با قرار دادن بلوک اشباع برای عملگر، خروجی سیستم به شکل زیر می‌شود:



همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



مشاهده می‌شود سیستم به صورت مداوم تا مرز اشباع شدن پیش رفته و عملکرد مناسبی ندارد.

۲- کنترل‌کننده پیش‌بین یک مرحله جلوی وزن‌دار شده

در این بخش، یک کنترلر یک مرحله جلوی وزن‌دار شده طراحی و بررسی می‌گردد. یک تابع هدف به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود:

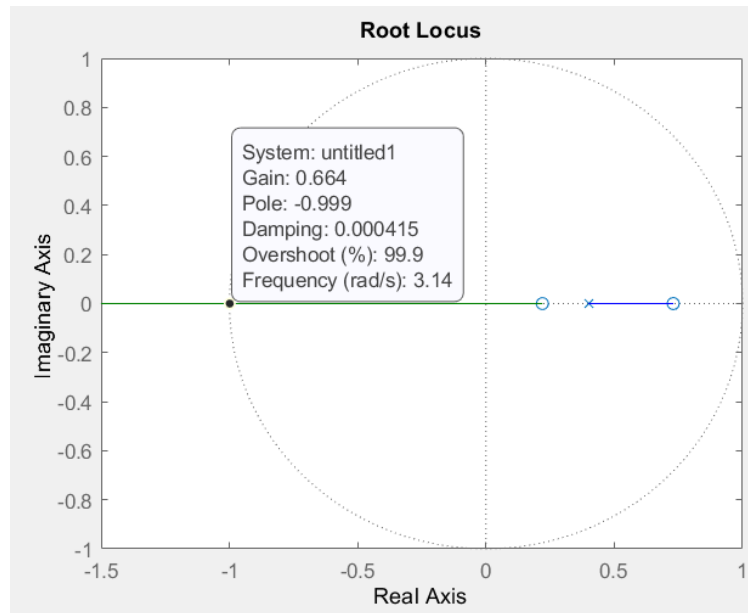
$$J_2 = \left\{ \frac{1}{2} (y(t+d) - y^*(t+d))^2 + \frac{\lambda}{2} u(t)^2 \right\}$$

در این تابع هدف برخلاف بخش قبلی، بر روی ورودی نیز یک جریمه در نظر گرفته شده که با مقدار لاندا کنترل می‌شود. این جمله باعث می‌شود ورودی مقادیر کمتری به خود بگیرد، ولی خطای خروجی نیز دیگر صفر نخواهد بود. ورودی کنترلی در این حالت به شکل زیر اعمال می‌شود:

$$u(t) = \frac{\beta_0 \{y^*(t+d) - \alpha(q^{-1})y(t) - \beta'(q^{-1})u(t-1)\}}{\beta_0^2 + \gamma}$$

$$\beta'(q^{-1}) = q[\beta(q^{-1}) - \beta_0]$$

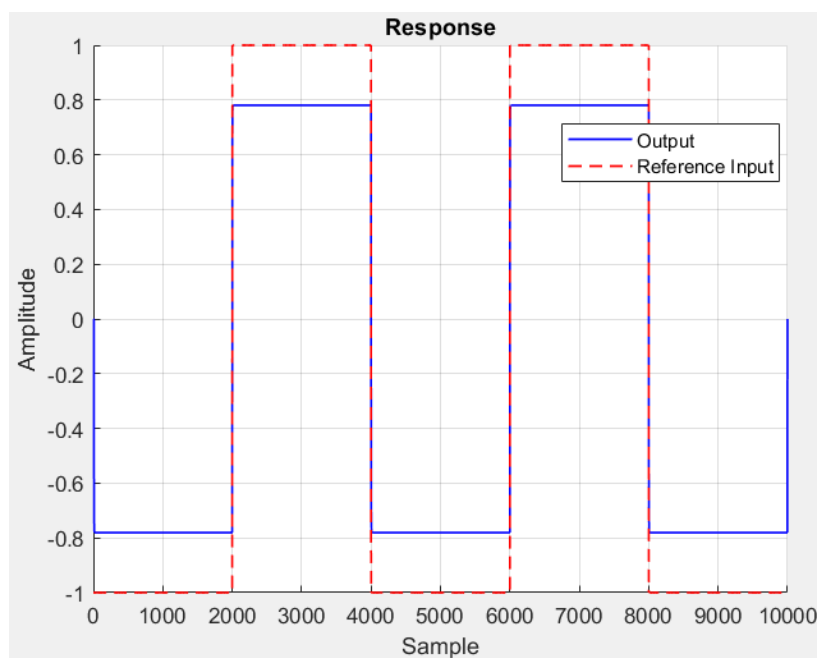
همچنین برای تعیین لاندا، روت لوکاس چندجمله‌ای مشخصه تابع حلقه بسته را رسم می‌کنیم که بدین صورت در می‌آید:



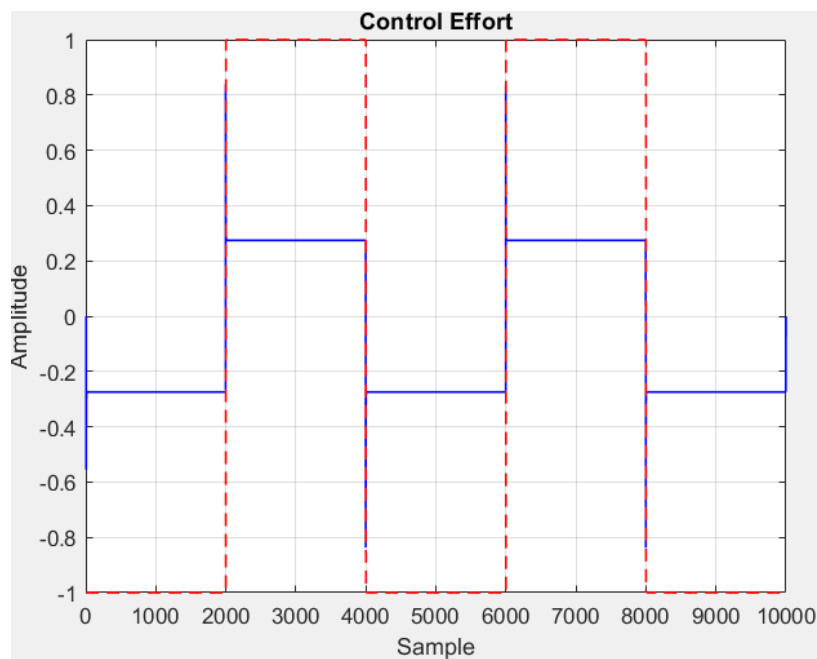
در نتیجه مقدار لاندا را ۰.۸ در نظر گرفته و شبیه‌سازی را اجرا می‌کنیم.

۲-۱- بدون نویز

در این حالت، سیستم نویزی ندارد. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



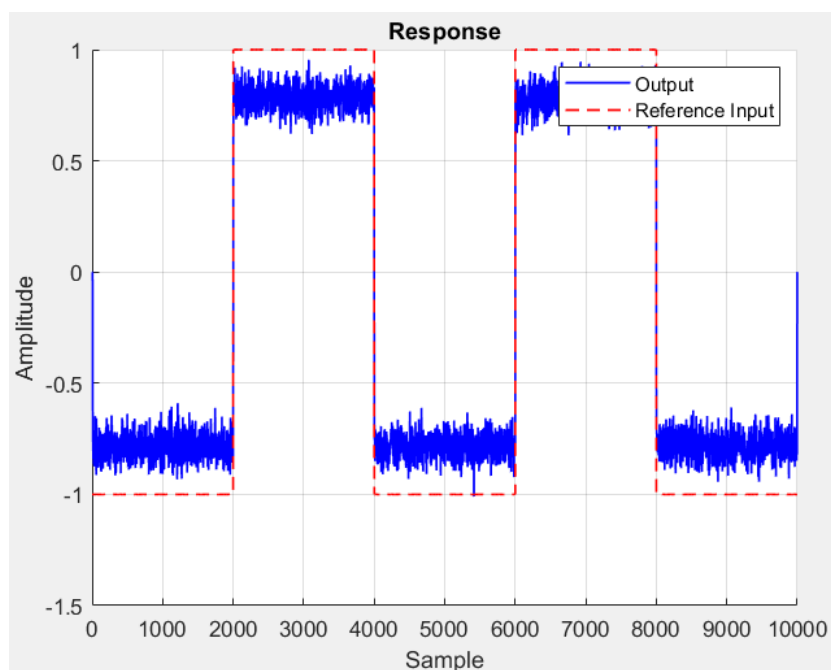
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



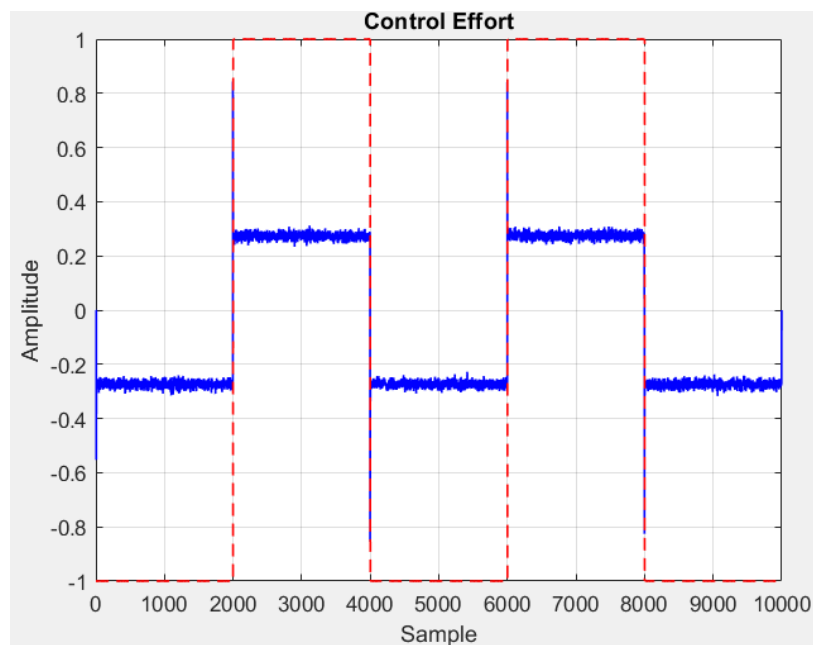
مشاهده می‌شود خطای ماندگاری در ردیابی وجود دارد. با کاهش لاندا، این مقدار کمتر خواهد شد و با افزایش آن، بیشتر می‌شود. تلاش کنترلی در این حالت نسبت به حالت غیر وزن دار، چیزی در حدود یک سوم شده‌است.

۲-۲- بررسی اثر نویز سفید

در این حالت، نویز سفید با واریانس 0.001 در نظر می‌گیریم. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



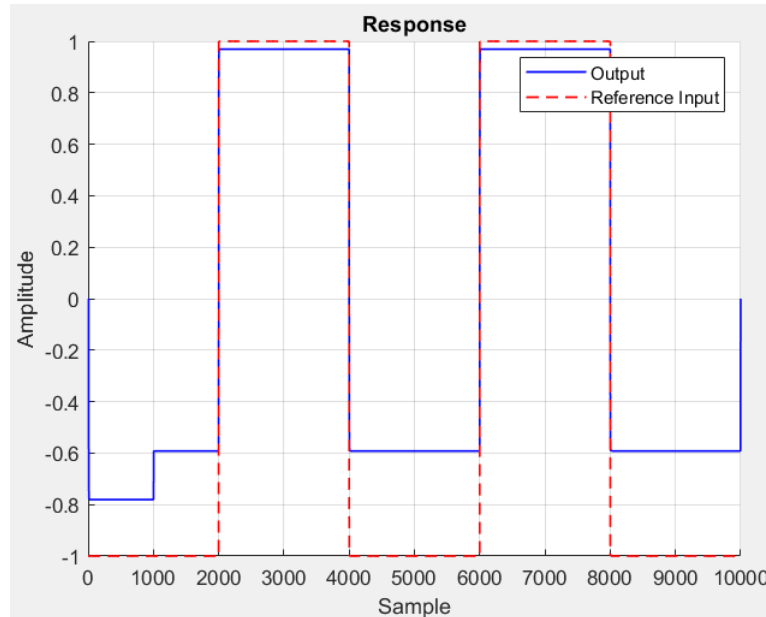
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



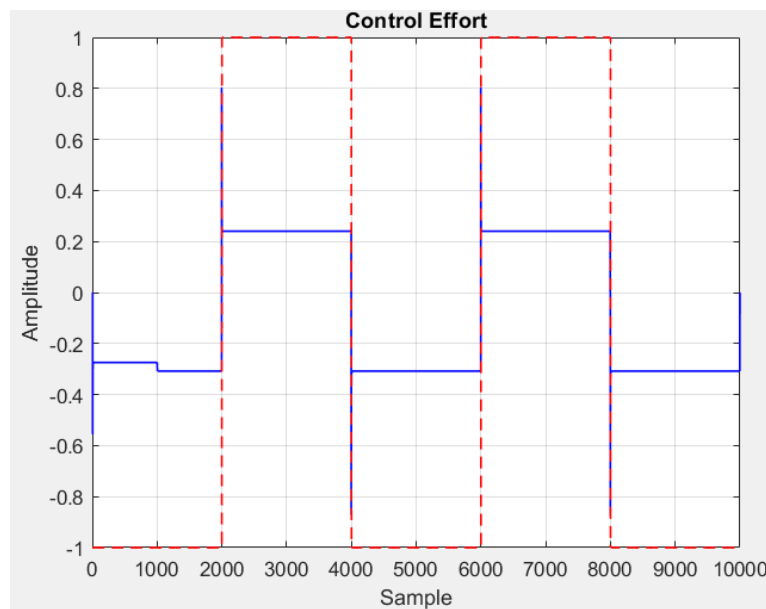
مشاهده می‌شود خطای ماندگاری در ردیابی وجود دارد. اثرات نویز در خروجی کاملاً واضح است و کنترلر نتوانسته است اثرات آن را کاهش دهد.

۳-۲- بررسی اثر اغتشاش

در این حالت بعد از ورودی ۱۰۰۰، یک اغتشاش به اندازه ۰.۱ به سیستم داده شده است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



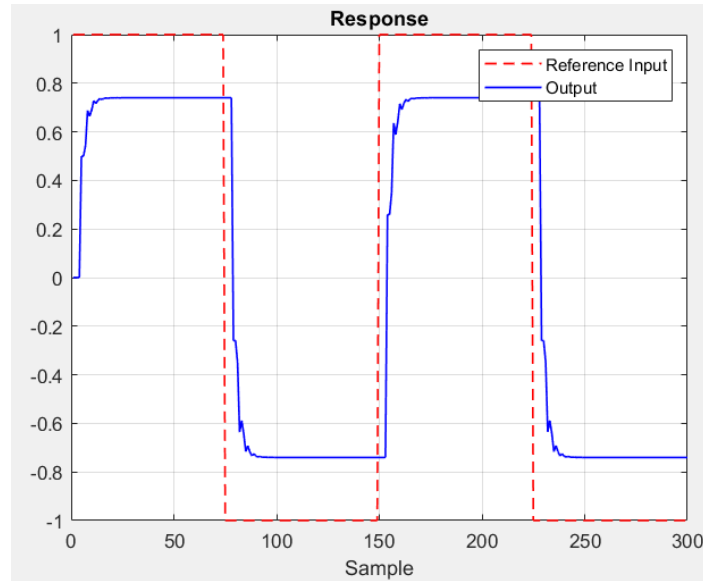
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



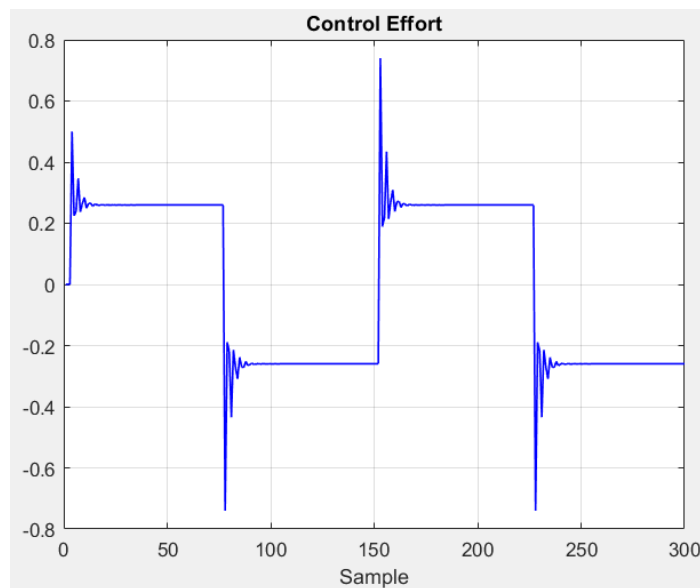
مشاهده می شود سیستم تا پیش از ورود اغتشاش، ورودی را ردیابی می کند. اما پس از اعمال اغتشاش، خروجی به اندازه همان دچار انحراف شده و عملکرد مناسبی ندارد. ورودی کنترلی نسبت به حالت غیروزن دار، کمتر است.

۴-۲- بررسی اثر تغییر تاخیر

در این حالت فرض می‌شود کنترلر با همان سه درجه تاخیر طراحی شده، اما سیستم دارای ۴ مرتبه تاخیر است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



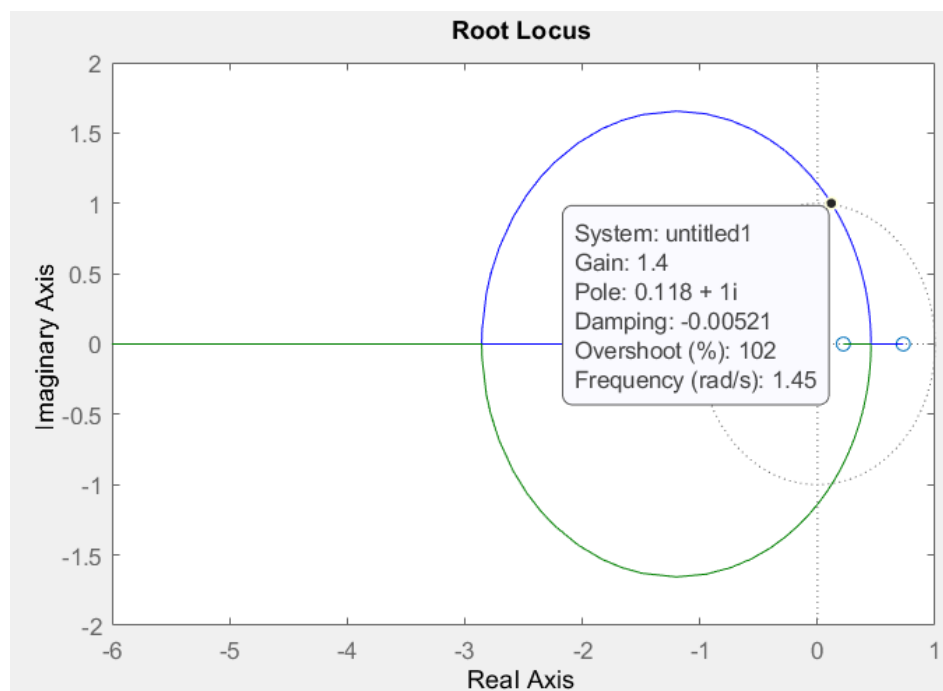
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



مشاهده می‌شود بر خلاف حالت قبل، سیستم ناپایدار نمی‌شود. اما خطای مانا در خروجی داریم و عملکرد مناسب نیست.

۳- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو، با استفاده از J2 (سیستم NMP)

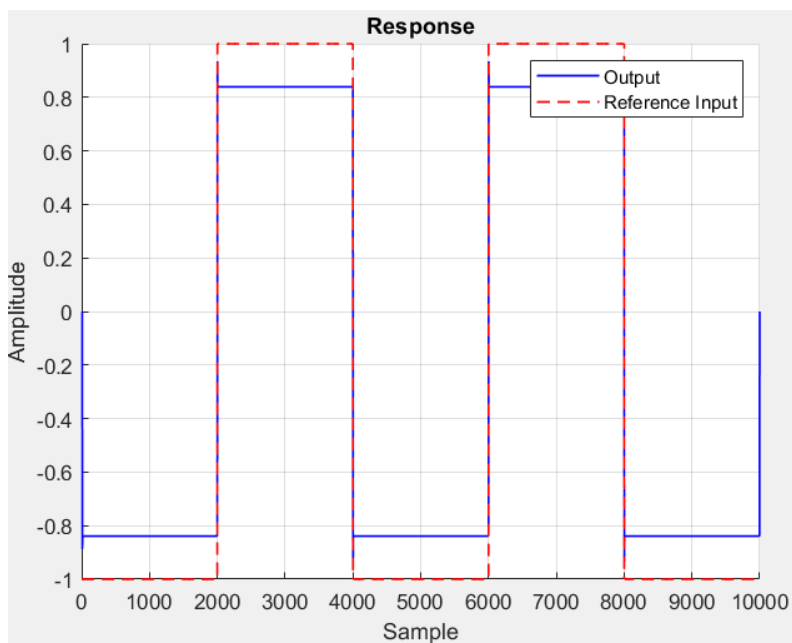
در این بخش، سیستم را به حالت غیر حداقل فاز می‌بریم و صفر آن را به جای ۰.۴، در ۱.۲- می‌گذاریم. بقیه مراحل همانند قبل است. برای تعیین لاند، روت لوکاس چندجمله‌ای مشخصه تابع حلقه بسته را رسم می‌کنیم که بدین صورت در می‌آید:



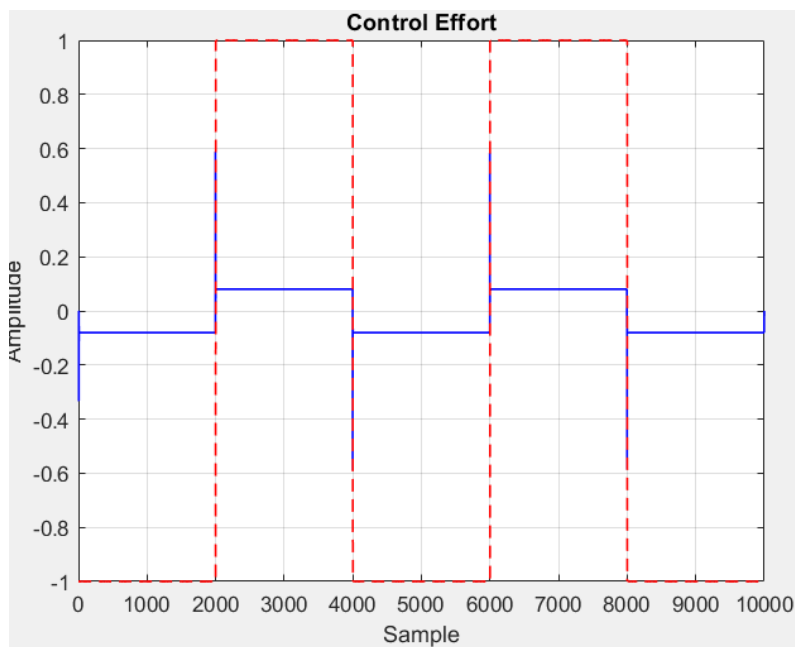
در نتیجه مقدار لاند را ۲ در نظر گرفته و شبیه‌سازی را اجرا می‌کنیم.

۳-۱- بدون نویز

در این حالت، سیستم نویزی ندارد. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



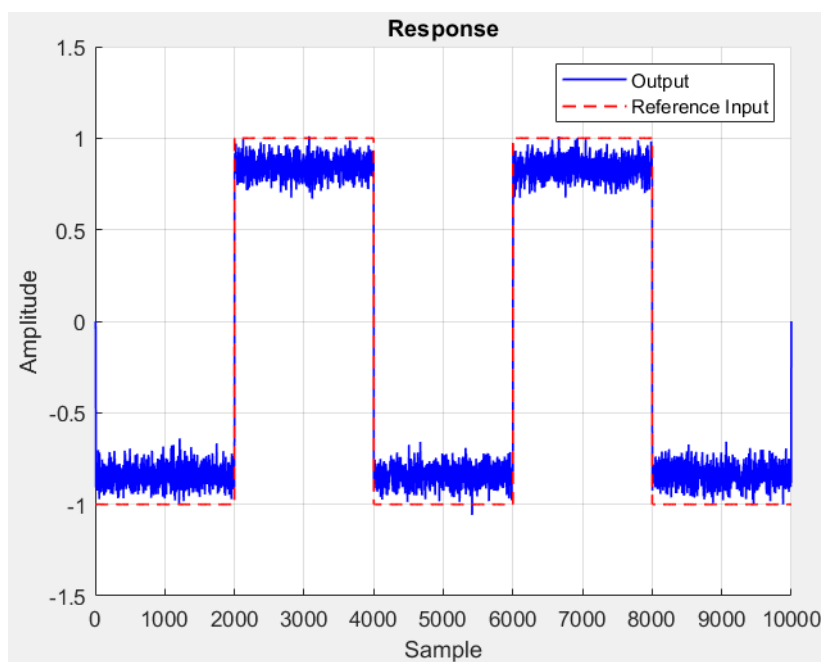
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



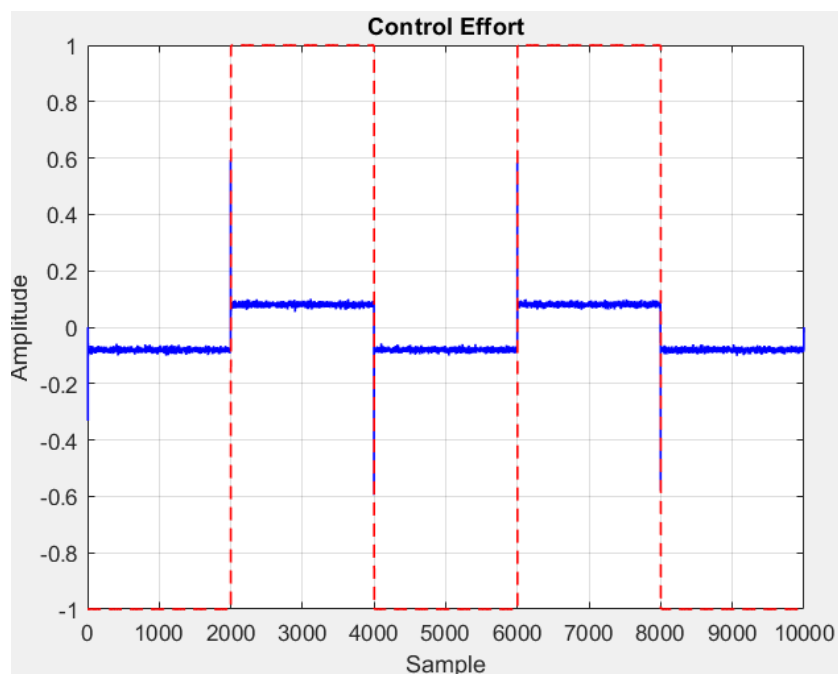
مشاهده می‌شود خطای ماندگاری در ردیابی وجود دارد. با کاهش لاندا، این مقدار کمتر خواهد شد و با افزایش آن، بیشتر می‌شود. تلاش کنترلی در این حالت نسبت به حالت غیر وزن‌دار، چیزی در حدود یک سوم شده‌است.

۳-۲- بررسی اثر نویز سفید

در این حالت، نویز سفید با واریانس 0.001 در نظر می‌گیریم. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



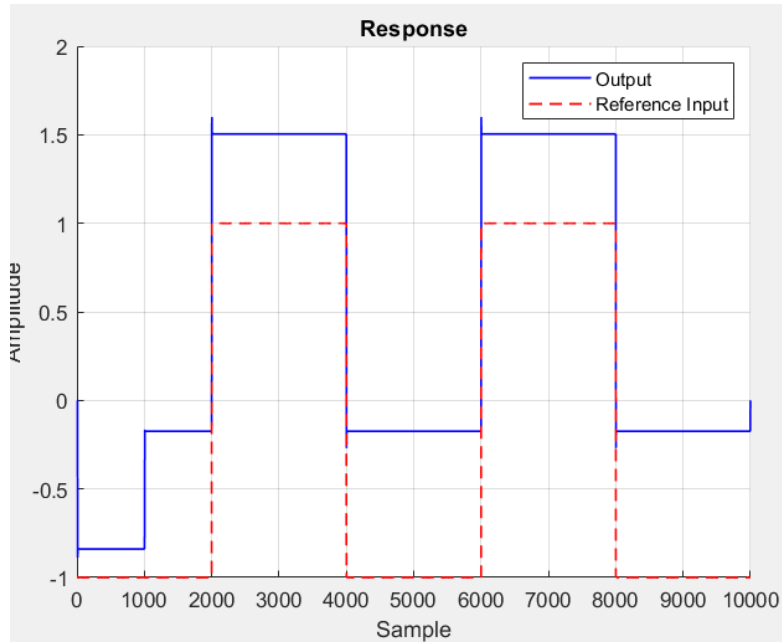
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



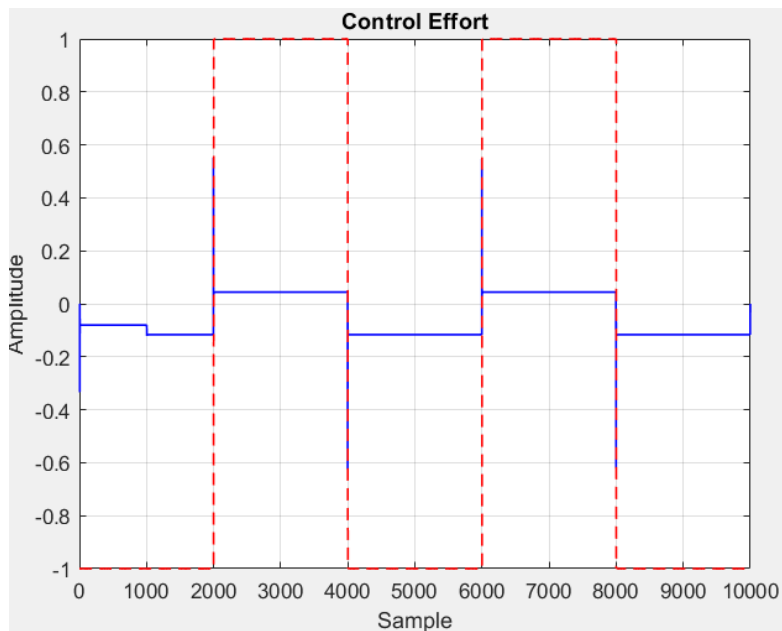
مشاهده می‌شود خطای ماندگاری در ردیابی وجود دارد. اثرات نویز در خروجی کاملاً واضح است و کنترلر نتوانسته است اثرات آن را کاهش دهد.

۳-۳- بررسی اثر اغتشاش

در این حالت بعد از ورودی ۱۰۰۰، یک اغتشاش به اندازه ۰.۱ به سیستم داده شده است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



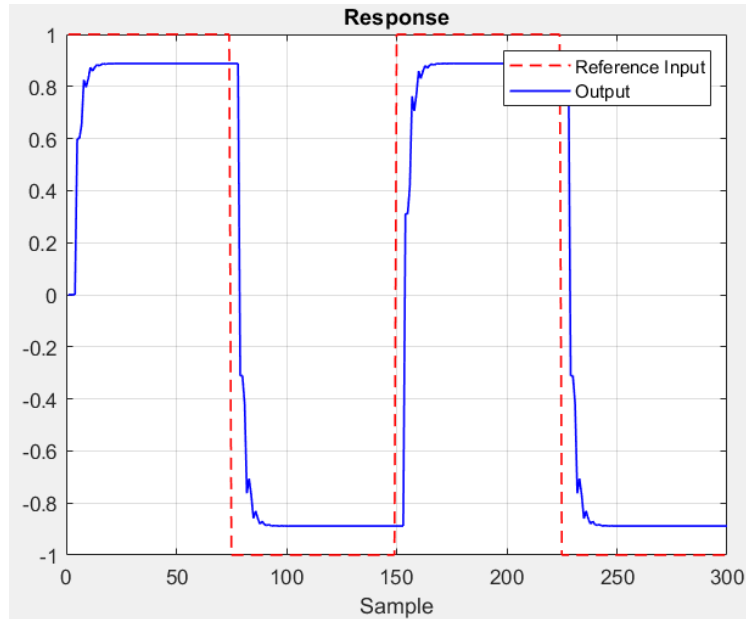
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



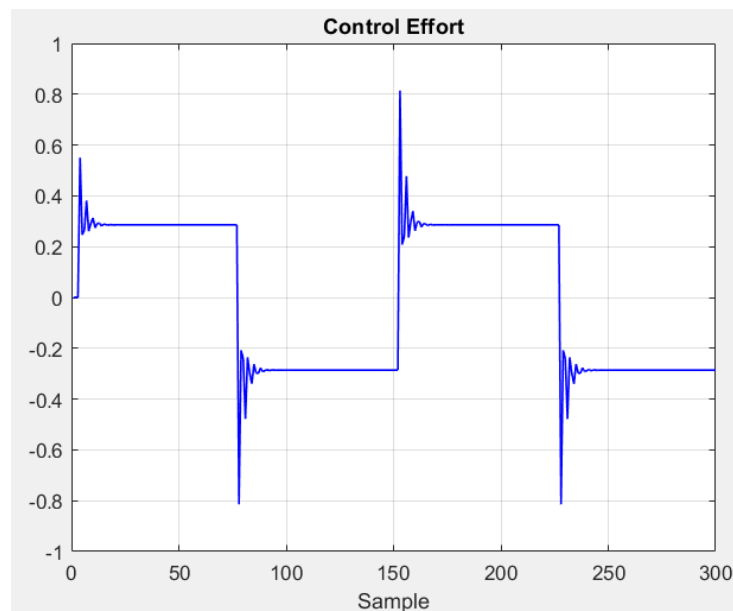
مشاهده می شود سیستم پس از اعمال اغتشاش، خروجی به اندازه تقریباً ۵ برابر سیستم مینیمم فاز دچار انحراف شده و عملکرد مناسبی ندارد. ورودی کنترلی نسبت به حالت غیروزن دار، کمتر است.

۳-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر

در این حالت فرض می‌شود کنترلر با همان سه درجه تاخیر طراحی شده، اما سیستم دارای ۴ مرتبه تاخیر است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



مشاهده می‌شود سیستم خطای مانا را نمی‌تواند حذف کند و اندکی خطا باقی می‌ماند.

۴- کنترل کننده پیشبین یک مرحله جلو با استفاده از J3

در این بخش، از تابع هزینه J3 که به صورت زیر است استفاده می‌کنیم تا ورودی کنترلی را بدست آوریم:

$$J_3(t+d) = \left\{ \frac{1}{2} (y(t+d) - y^*(t+d))^2 + \frac{\lambda}{2} \bar{u}(t)^2 \right\}$$

این تابع هزینه نسبت به تابع J2، درجه آزادی بیشتر داشته و می‌تواند برای همه‌ی سیستم‌های غیرمینیمم فاز با انتخاب پارامترهای درست، مورد استفاده قرار گیرد. در روابط بالا برای \bar{u} داریم:

$$P(q^{-1})\bar{u}(t) = R(q^{-1})u(t)$$

$$P(q^{-1}) = 1 + p_1 q^{-1} + \dots + p_l q^{-l}$$

$$R(q^{-1}) = 1 + r_1 q^{-1} + \dots + r_l q^{-l}$$

که P و R فیلترهای پایدار دلخواه هستند. در این سوال، P را ۱ و R را انتگرال گیر انتخاب کرده‌ایم. ورودی کنترلی به شکل زیر بدست می‌آید:

$$u(t) = \frac{\beta_0 \{y^*(t+d) - \alpha(q^{-1})y(t) - \beta'(q^{-1})u(t-1)\} + \lambda P'(q^{-1})\bar{u}(t-1) - \lambda R'(q^{-1})u(t-1)}{\beta_0^2 + \lambda}$$

که در آن داریم:

$$\beta'(q^{-1}) = q[\beta(q^{-1}) - \beta_0]$$

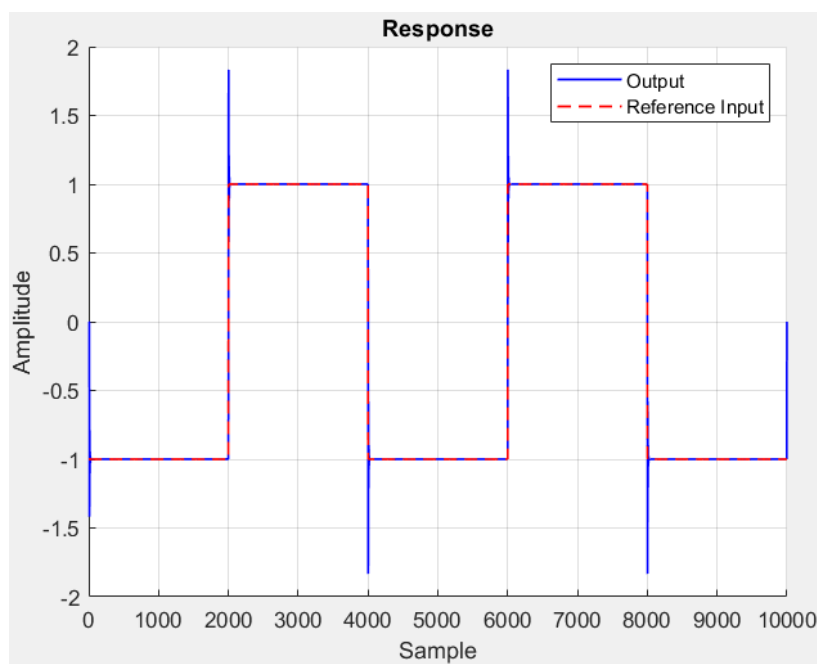
$$P'(q^{-1}) = q[P(q^{-1}) - 1]$$

$$R'(q^{-1}) = q[R(q^{-1}) - 1]$$

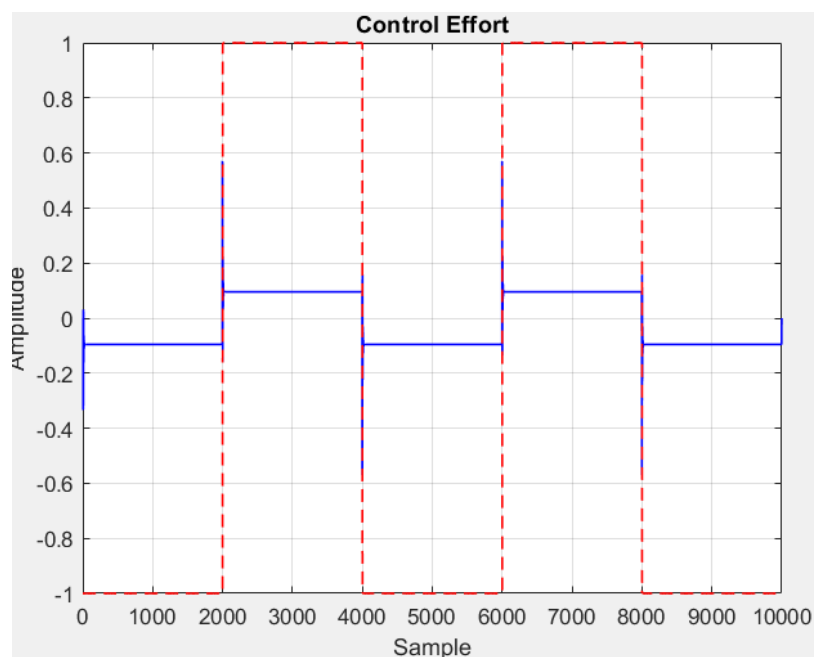
در اینجا هم مانند حالت قبل، لاندا را برابر ۲ می‌گیریم. با استفاده از روابط بالا، حالت‌های مختلف را برای این کنترلر تحلیل می‌کنیم:

۴-۱- بدون نویز

در این حالت، سیستم نویزی ندارد. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



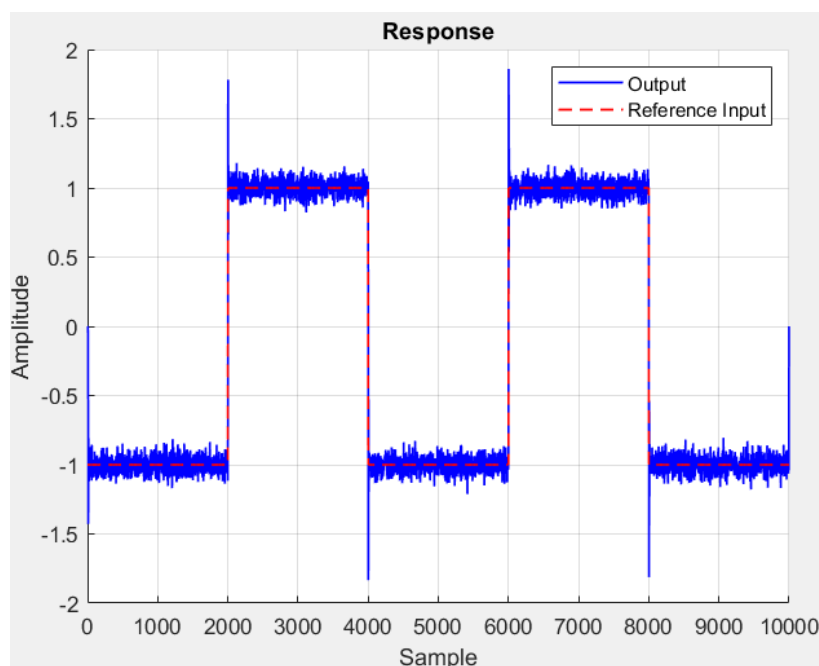
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



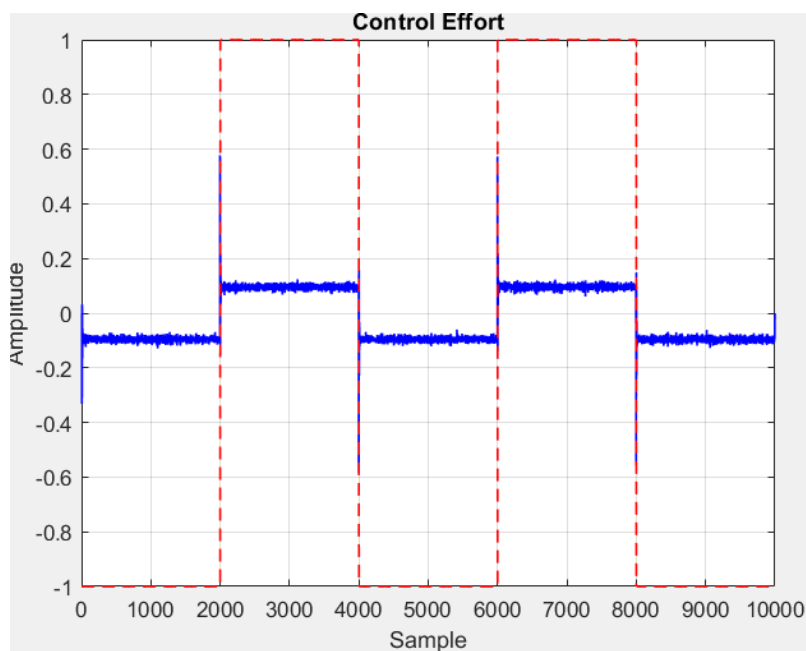
مشاهده می‌شود دیگر خطای ماندگاری در ردیابی وجود ندارد. با افزایش لاند، مقدار اورشوت کمتر می‌شود. اورشوت تلاش کنترلی در این حالت نسبت به حالت غیر وزن‌دار، چیزی در حدود یک سوم شده‌است.

۴-۲- بررسی اثر نویز سفید

در این حالت، نویز سفید با واریانس 0.001 در نظر می‌گیریم. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



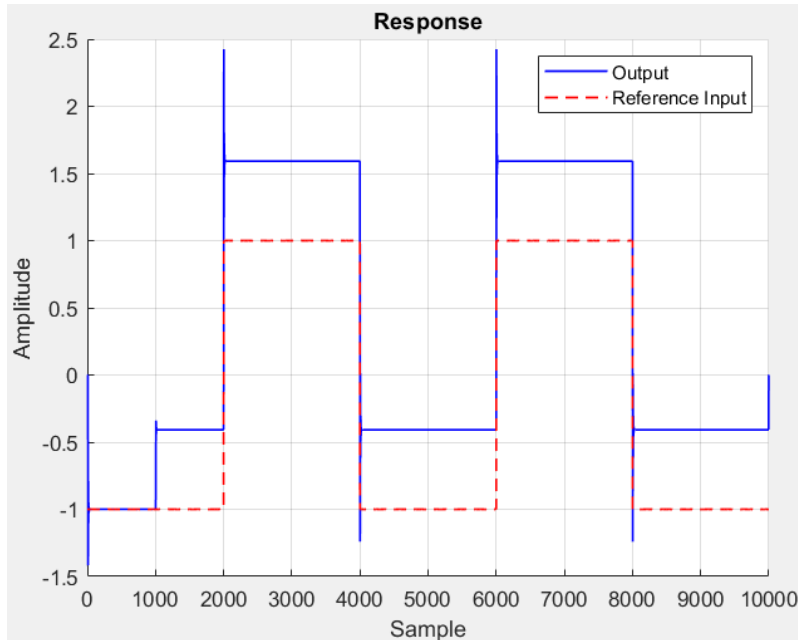
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



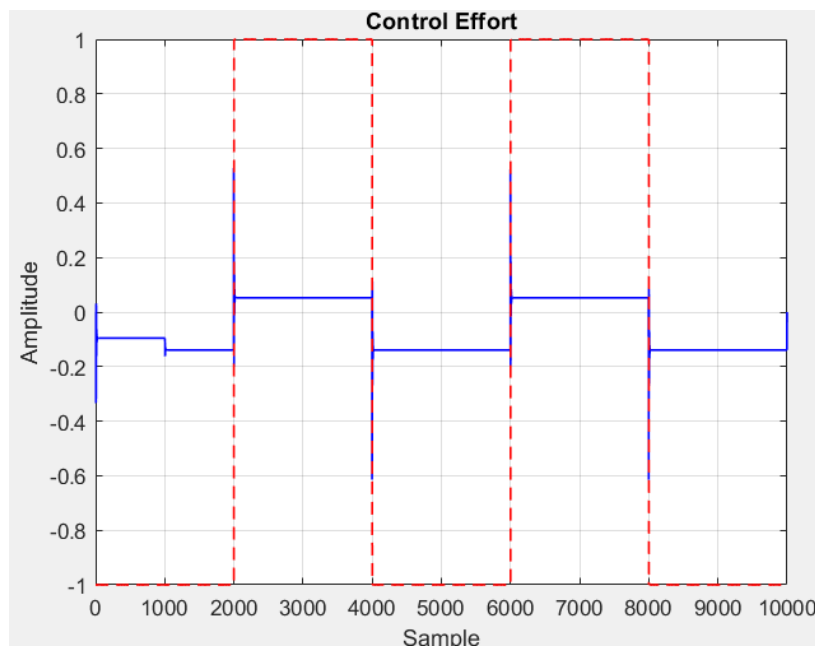
مشاهده می‌شود خطای ماندگاری در ردیابی وجود ندارد. اثرات نویز در خروجی کاملاً واضح است و کنترلر نتوانسته است اثرات آن را کاهش دهد. تلاش کنترلی نسبت به حالت غیروزن‌دار، چندین برابر کمتر است.

۴-۳- بررسی اثر اغتشاش

در این حالت بعد از ورودی ۱۰۰۰، یک اغتشاش به اندازه ۰.۱ به سیستم داده شده است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



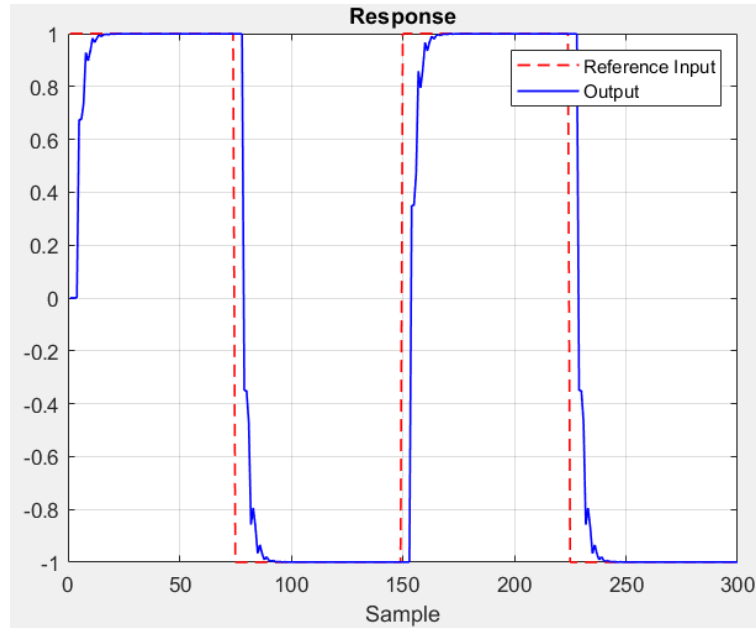
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



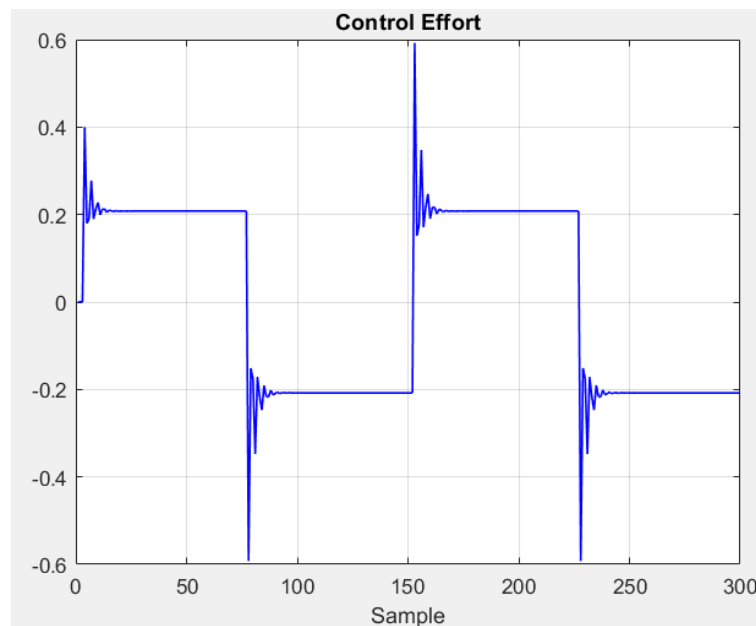
مشاهده می شود سیستم پس از اعمال اغتشاش، خروجی به اندازه تقریباً ۵ برابر سیستم مینیمم فاز دچار انحراف شده و عملکرد مناسبی ندارد. نسبت به حالت 2، اورشوت خروجی بسیار بیشتر است.

۴-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر

در این حالت فرض می‌شود کنترلر با همان سه درجه تاخیر طراحی شده، اما سیستم دارای ۴ مرتبه تاخیر است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



مشاهده می‌شود سیستم خطای مانا را حذف می‌کند و ورودی کنترلی نیز نسبت به حالت 2، در حدود ۲۰ درصد کمتر است.

۵- طراحی کنترل کننده constant future control

در این بخش، افق پیشبینی را دو برابر تاخیر سیستم در نظر می‌گیریم. یعنی این افق برابر ۶ خواهد بود. در این حالت به دلیل آنکه به خروجی‌های $d-d_0$ لحظه آینده هم نیاز پیدا می‌کنیم، فرض می‌کنیم مقادیر آنها برابر است. یعنی داریم:

$$u(t) = u(t+1) = \dots = u(t+d-d_0)$$

در نتیجه معادله سیستم به شکل زیر درمی‌آید:

$$y_m(t+d) = (R_d^*(1) + q^{-1}\bar{R}_d^*(q^{-1}))u(t) + G_d^*(q^{-1})y(t)$$

و خروجی هر لحظه نیز برابر خواهد بود با:

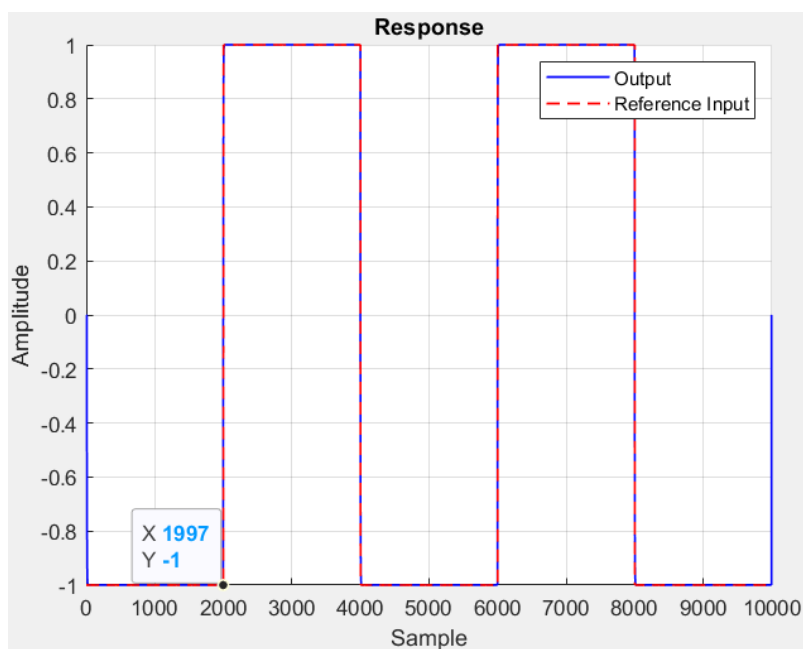
$$u(t) = \frac{y_m(t+d) - G_d^*(q^{-1})y(t)}{R_d^*(1) + \bar{R}_d^*(q^{-1})q^{-1}}$$

همچنین لازم به ذکر است که درجه F برابر با $d-1$ (یعنی ۵)، درجه G برابر با $n-1$ (یعنی ۰)، درجه R برابر با $d-d_0$ (یعنی ۳) و درجه R_bar برابر با $n-2$ (یعنی ۰) خواهد بود.

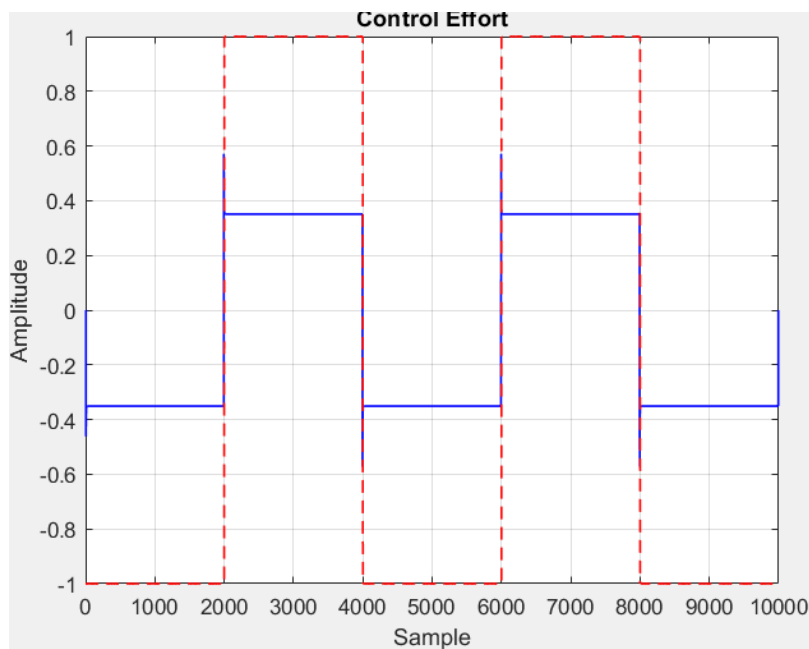
این معادلات را در متلب پیاده‌سازی کرده و نتایج را تحلیل می‌کنیم:

۵-۱- بدون نویز

در این حالت، سیستم نویزی ندارد. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



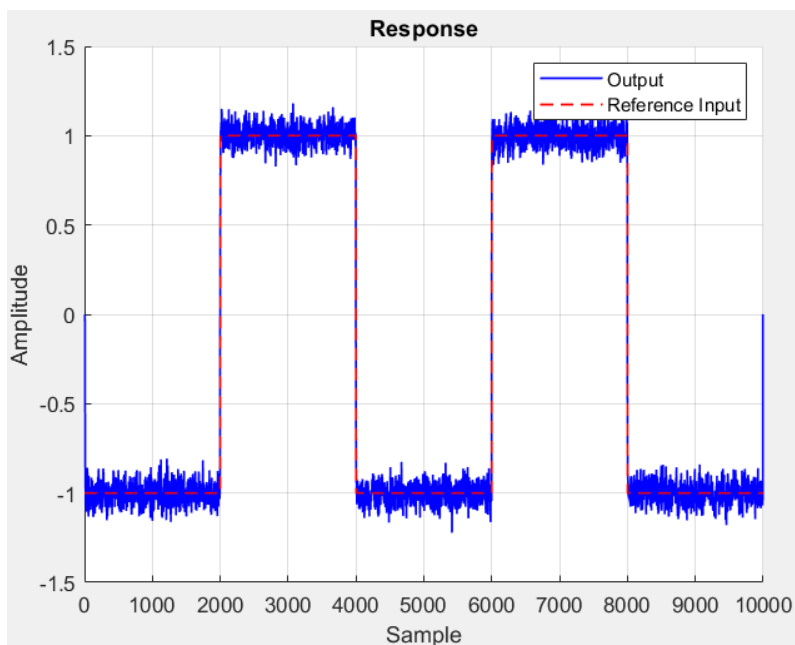
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



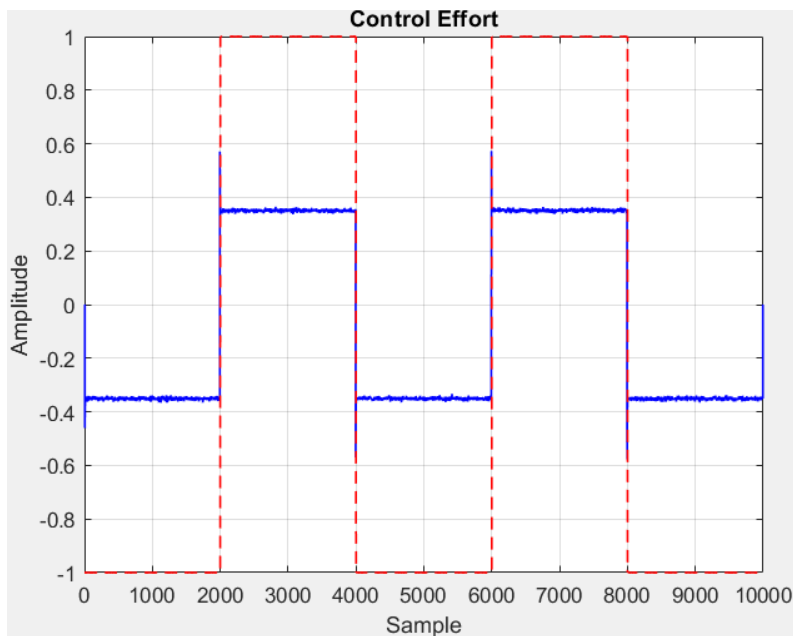
مشاهده می شود دیگر خطای ماندگاری در ردیابی وجود ندارد. خروجی اورشوت ندارد و ورودی نیز نسبت به حالت J2 و J3 مقادیر بیشتری به خود گرفته است. اما اورشوت آن کمتر است.

۵-۲- بررسی اثر نویز سفید

در این حالت، نویز سفید با واریانس 0.001 در نظر می‌گیریم. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



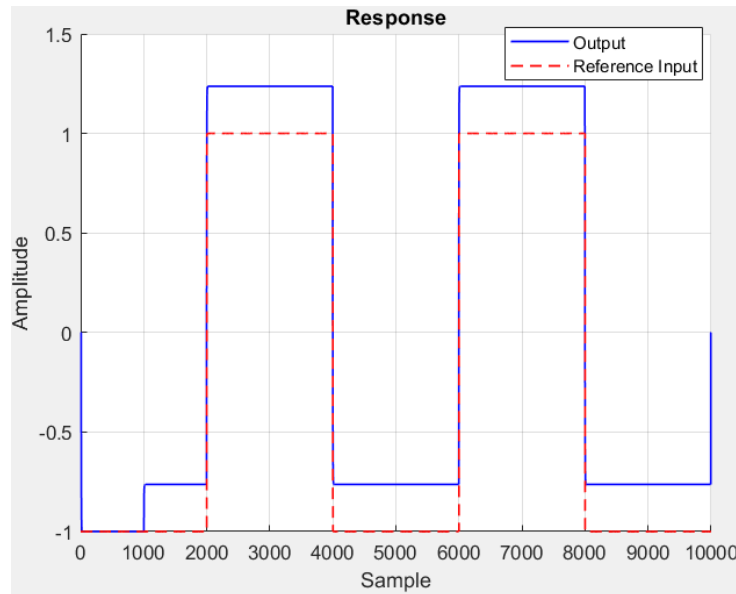
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



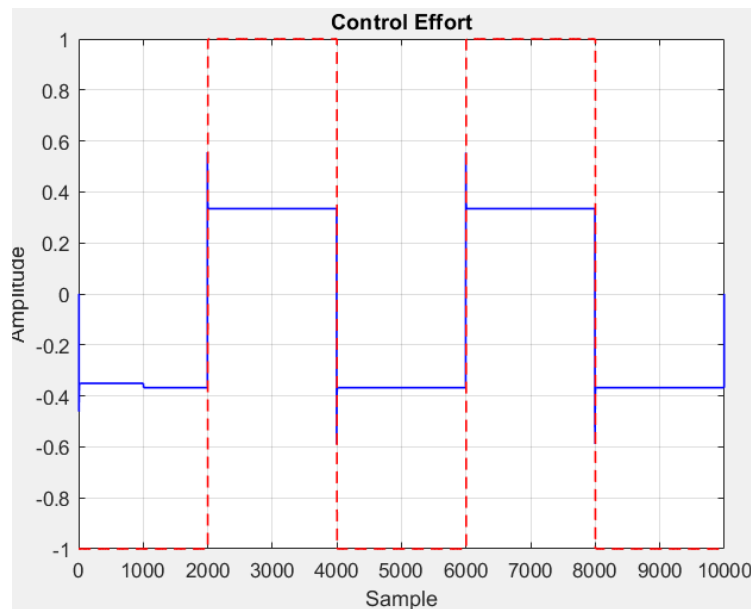
اثرات نویز در خروجی کاملاً واضح است و کنترلر نتوانسته است اثرات آن را کاهش دهد. تلاش کنترلی نسبت به حالات وزن‌دار، بیشتر است اما اورشوت آن کمتر است. ورودی نویز کمتری نسبت به حالات وزن‌دار دارد.

۵-۳- بررسی اثر اغتشاش

در این حالت بعد از ورودی ۱۰۰۰، یک اغتشاش به اندازه ۰.۱ به سیستم داده شده است. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



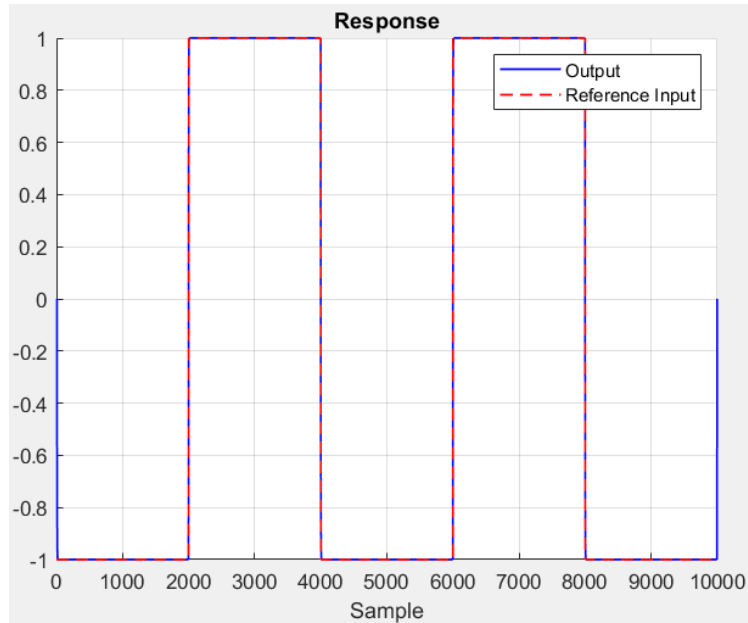
همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



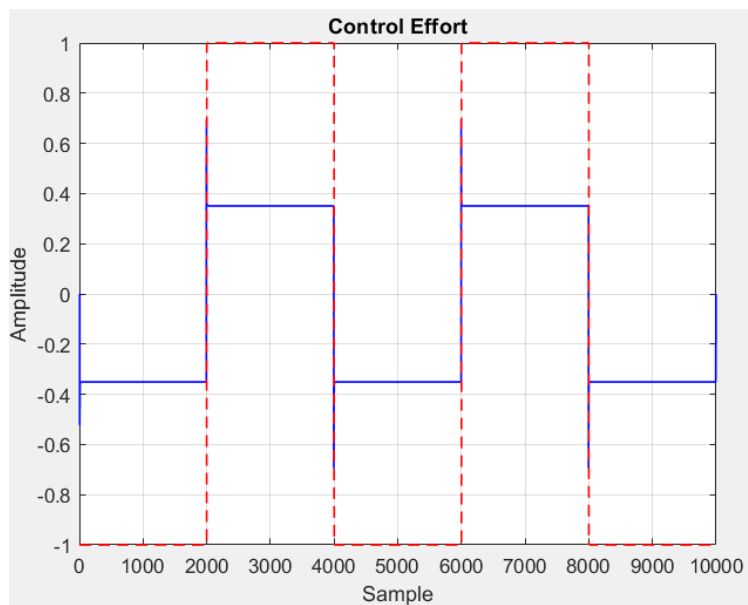
مشاهده می شود سیستم پس از اعمال اغتشاش، خروجی به اندازه تقریباً ۲ برابر سیستم مینیمم فاز دچار انحراف شده و عملکرد مناسبی ندارد. نسبت به حالات وزن دار، خروجی اورشوت ندارد اما تلاش ورودی بزرگتر است.

۵-۴- بررسی اثر تغییر تاخیر

در این حالت فرض می‌شود کنترلر دارای افق ۵ و سیستم دارای تاخیر ۳ باشد. خروجی سیستم به شکل زیر خواهد بود:



همچنین خروجی کنترلر مطابق زیر است:



مشاهده می‌شود سیستم توانسته‌است با وجود تغییر افق پیشبینی، به خوبی ورودی را ردیابی کند.

مقایسه:

کنترلر	بدون نویز	نویز سفید	اغتشاش	تغییر تاخیر
یک مرحله جلو	ردیابی مناسب	ردیابی مناسب بدون اثر روی نویز	خطای مانا به اندازه اغتشاش	ناپایدار
وزن دار J2	خطای مانا تلاش کمتر از قبلی	خطای مانا بدون اثر روی نویز	خطای مانا بیشتر از اندازه اغتشاش	خطای مانا
وزن دار J2 - NMP	خطای مانا	خطای مانا بدون اثر روی نویز	خطای مانا بیشتر از حالت قبلی	خطای مانا
وزن دار J3 - NMP	ردیابی مناسب دارای اورشوت	ردیابی مناسب بدون اثر روی نویز	خطای مانا بیشتر از اندازه اغتشاش	ردیابی مناسب، دارای اورشوت
Constant future control	ردیابی مناسب ورودی بیشتر از وزن دارها	ردیابی مناسب بدون اثر روی نویز	خطای مانا کمی بیشتر از اندازه اغتشاش	ردیابی مناسب

قسمت سوم: کنترل کننده پیش‌بین تطبیقی

۳-۱- پیش‌بینی میزان تاخیر سیستم

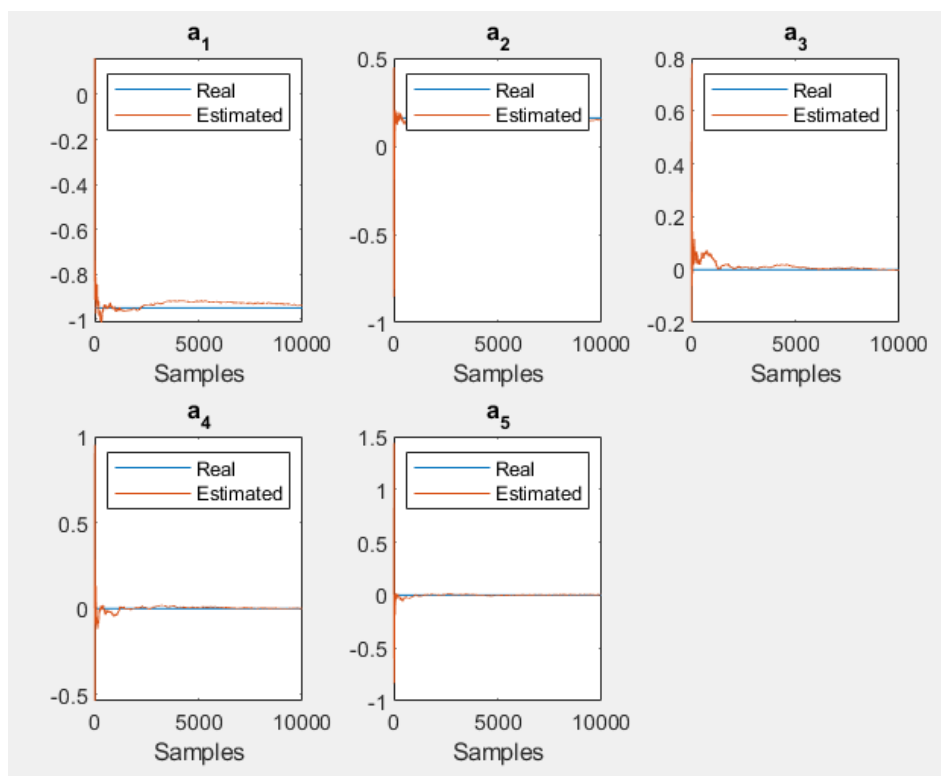
در این بخش، به کمک روش RLS میزان تاخیر سیستم را پیش‌بینی می‌کنیم. فرض می‌کنیم درجه‌ی صورت یکی از مخرج کمتر باشد و ضریب بزرگترین توان مخرج نیز ۱ باشد. (این شرط به عمومیت مساله ضربه‌ای نمی‌زند). پس داریم:

$$\theta = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ b_0 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5]$$

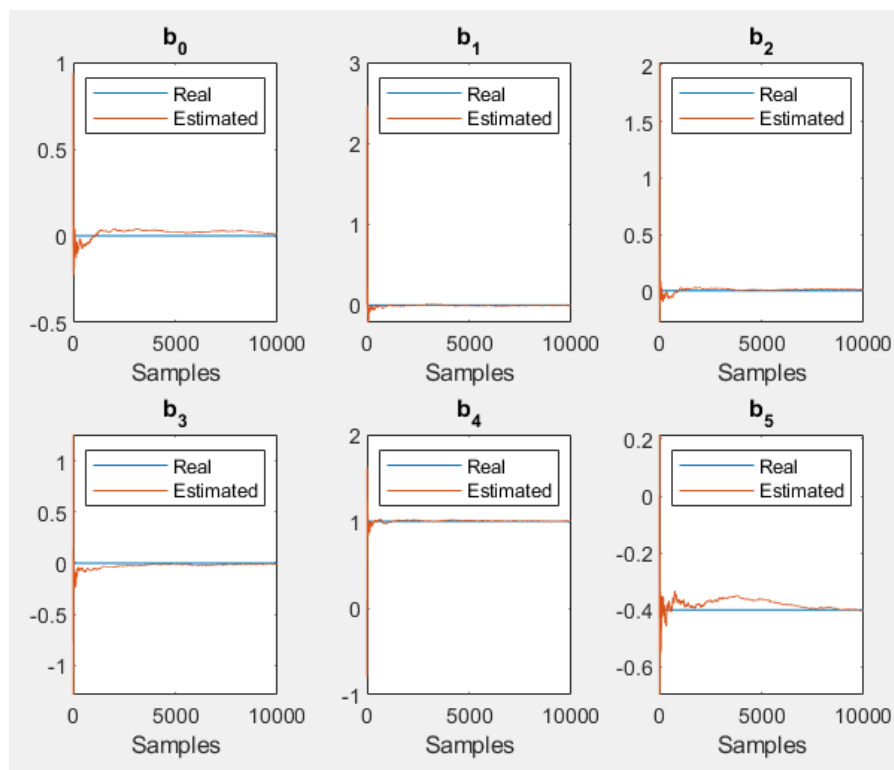
$$\phi = [-y(k-1), \dots, -y(k-5), u(k), \dots, u(k-5)]$$

بدین ترتیب، با اعمال ورودی نویز سفید به سیستم، به شناسایی این پارامترها می‌پردازیم. با توجه به اینکه درجه صورت یکی کمتر است، b_0 در مقادیر بالا را حساب نکرده و به دنبال تعداد صفرها از جمله b_1 به بعد می‌گردیم. مقدار مرزی را ۰.۰۱ در نظر می‌گیریم و اگر الگوریتم به عددی پایین‌تر تخمین زد، احتمالا مقدار آن برابر با ۰ بوده است.

مقادیر تخمین خورده مخرج به شکل زیر هستند:



مقادیر تخمین خورده صورت به شکل زیر هستند:



مشاهده می‌شود که تنها دو مقدار نهایی b غیر صفر هستند و با توجه به توضیح داده‌شده، مقادیر b_1 تا b_3 صفر اند و درجه تاخیر سیستم همین مقدار است.

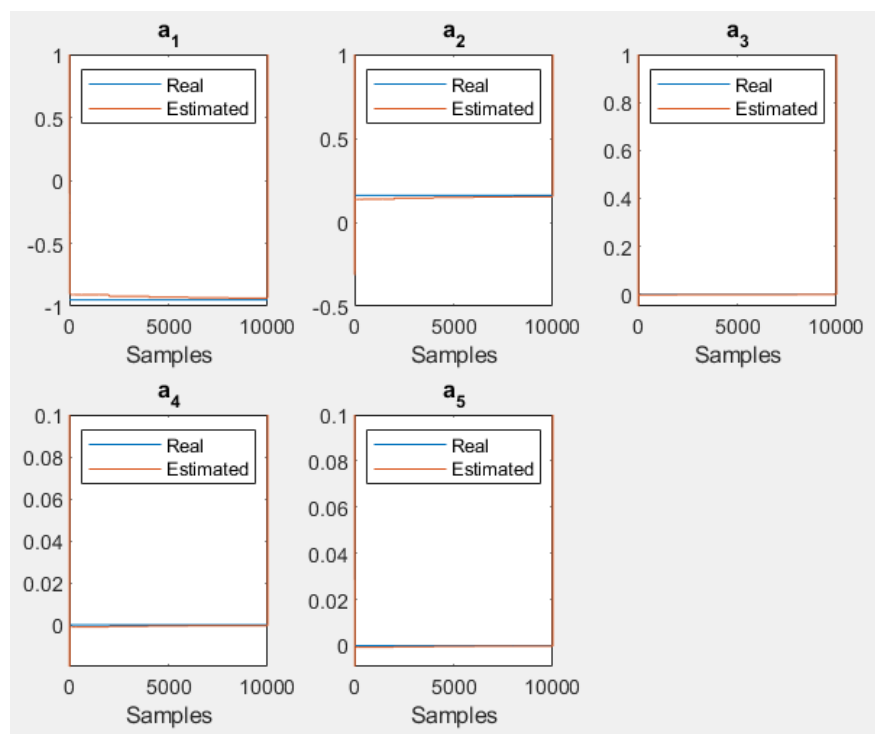
۳-۲- پیاده‌سازی کنترلرهای قسمت دوم به صورت تطبیقی غیرمستقیم

در این بخش، به کمک روش RLS به تخمین پارامترهای سیستم پرداخته و کنترلرهای بخش قبلی را پیاده‌سازی می‌کنیم. تاثیر نویز و اغتشاش و تغییر درجه همانند حالت قبلی بوده و مجددا بررسی نمی‌گردد. تنها حالت بدون نویز بررسی می‌شود.

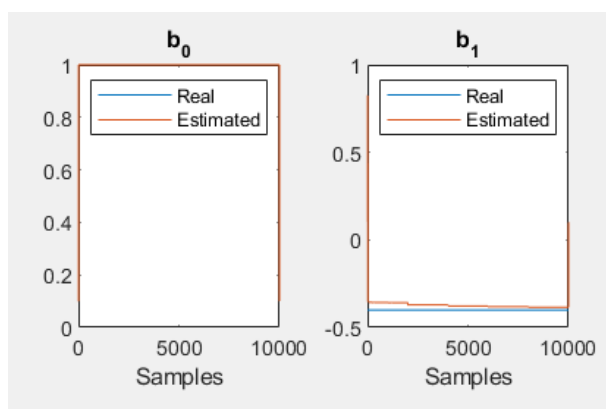
۳-۲-۱- کنترل‌کننده پیش‌بین یک مرحله جلو (تطبیقی)

در این بخش، پارامترهای صورت و مخرج در ابتدا تخمین می‌خورند تا A_{hat} و B_{hat} بدست آیند. سپس با استفاده از A_{hat} ، معادله دیوفانتین حل شده و پارامترهای F و G بدست می‌آیند. در نهایت آلفا و بتا با استفاده از این مقادیر محاسبه شده و الگوریتم کنترل‌کننده پیش‌بین یک مرحله جلو (همانند بخش اول قسمت دوم) اعمال می‌گردد. برای جلوگیری از اشباع عملگر، حد بین -2 تا 2 را مجاز می‌دانیم.

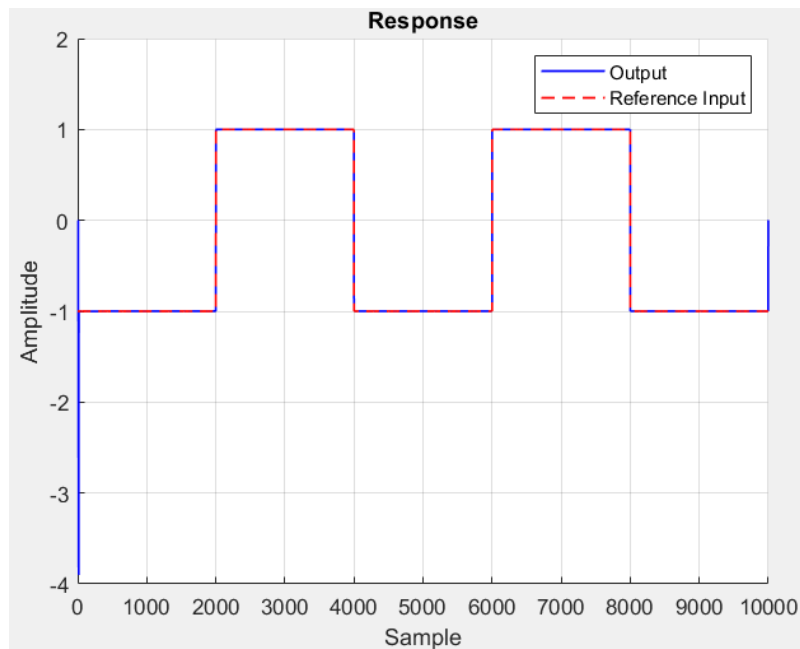
تخمین پارامترهای مخرج به شکل زیر هستند:



تخمین پارامترهای صورت به شکل زیر هستند:

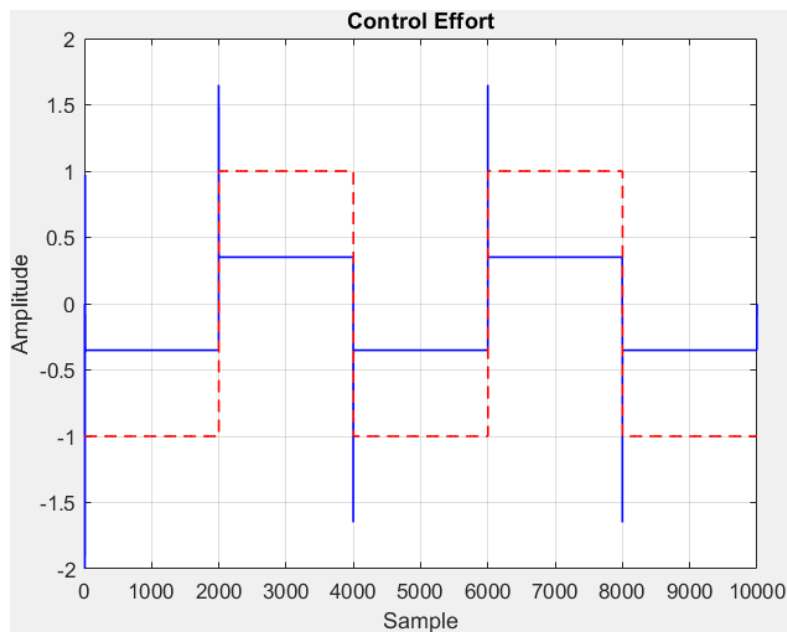


همچنین خروجی این سیستم به شکل زیر است:



در ابتدا که پارامترها به درستی تخمین نخورده‌اند، خروجی آندرشوت زیادی داشته ولی پس از آن، به خوبی ورودی را دنبال می‌کند.

ورودی کنترلی نیز بدین شکل است:

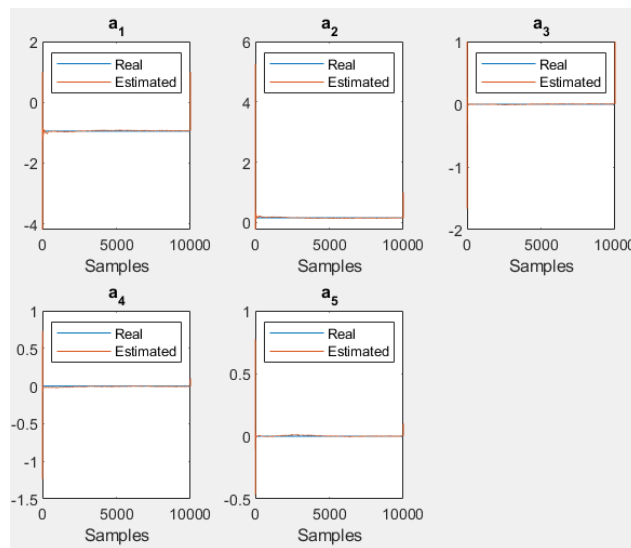


همان‌طور که دیده می‌شود با قرار دادن بلوک اشباع، مقادیر بین -2 تا 2 باقی‌مانده‌اند و تنها در ابتدای هر تغییر ورودی، یک اورشوت یا آندرشوت در محدوده مجاز داریم.

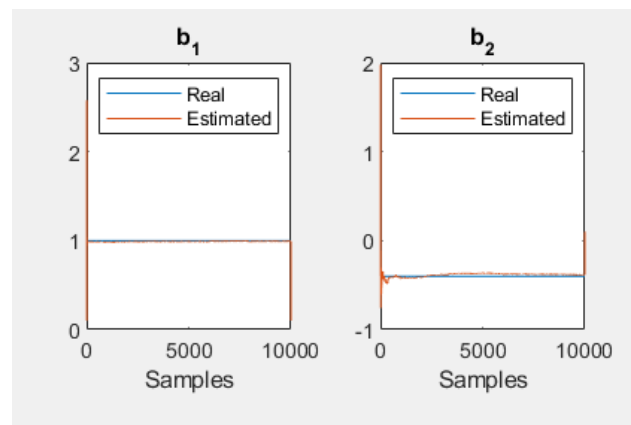
۳-۲-۲- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو وزن‌دار شده (تطبیقی)

در این بخش، پارامترهای صورت و مخرج در ابتدا تخمین می‌خورند تا A_{hat} و B_{hat} بدست آیند. سپس با استفاده از A_{hat} ، معادله دیوفانتین حل شده و پارامترهای F و G بدست می‌آیند. در نهایت آلفا و بتا با استفاده از این مقادیر محاسبه شده و الگوریتم کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلوی وزن‌دار شده (همانند بخش دوم قسمت دوم) اعمال می‌گردد. برای جلوگیری از اشباع عملگر، حد بین -۲ تا ۲ را مجاز می‌دانیم.

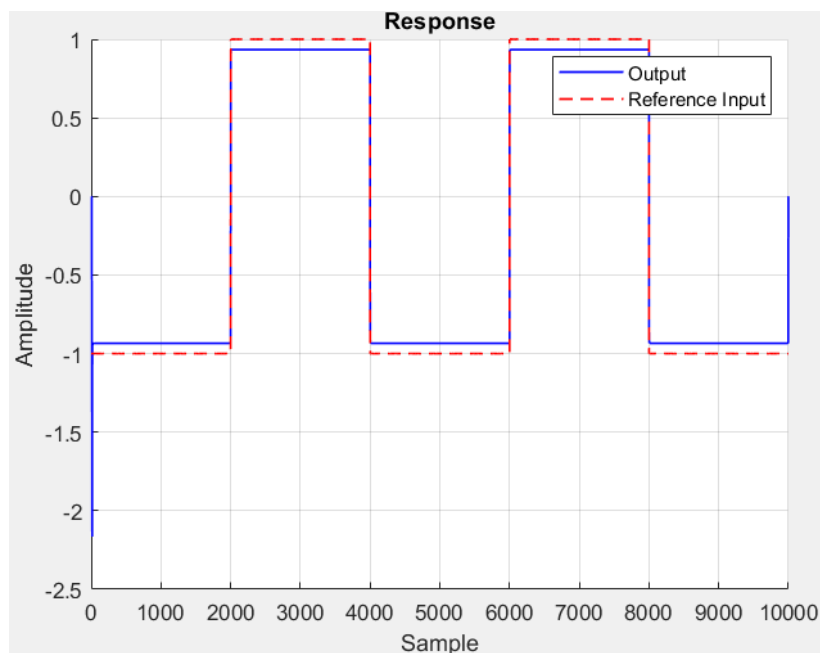
تخمین پارامترهای مخرج به شکل زیر هستند:



تخمین پارامترهای صورت به شکل زیر هستند:

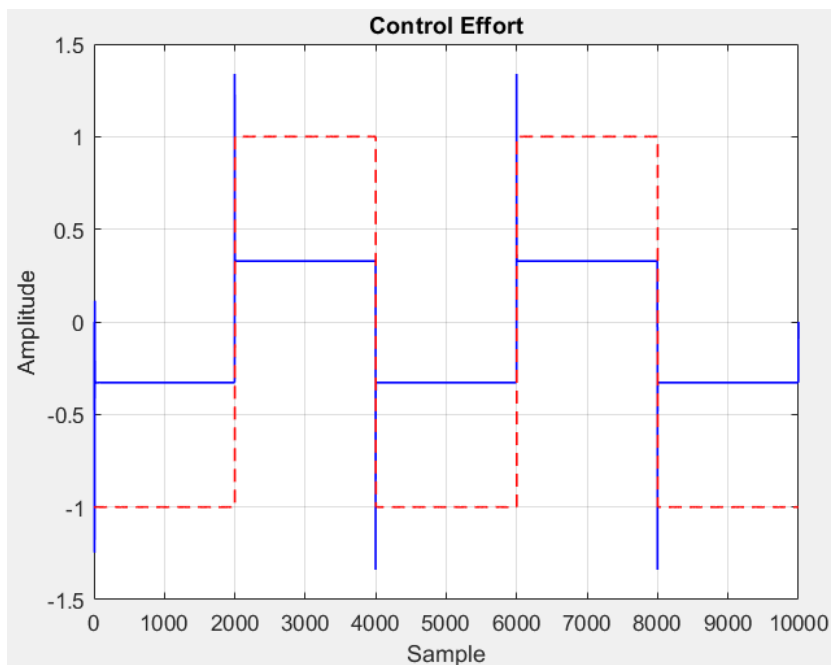


همچنین خروجی این سیستم به شکل زیر است:



در ابتدا که پارامترها به درستی تخمین نخورده‌اند، خروجی آندرشوت زیادی داشته است. بعد از آن هم همانند حالت غیر تطبیقی، خطای مانا داریم که میزان آن با لاندا رابطه عکس دارد.

ورودی کنترلی نیز بدین شکل است:

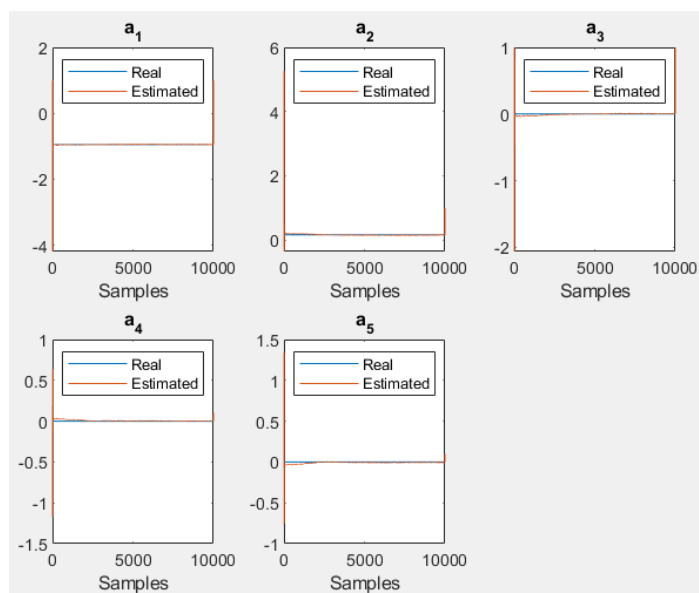


همان‌طور که دیده می‌شود با قرار دادن بلوک اشباع، مقادیر بین ۲- تا ۲ باقی‌مانده‌اند. همچنین نسبت به حالت غیروزن‌دار، مقادیر تلاش کنترلی کمتر است.

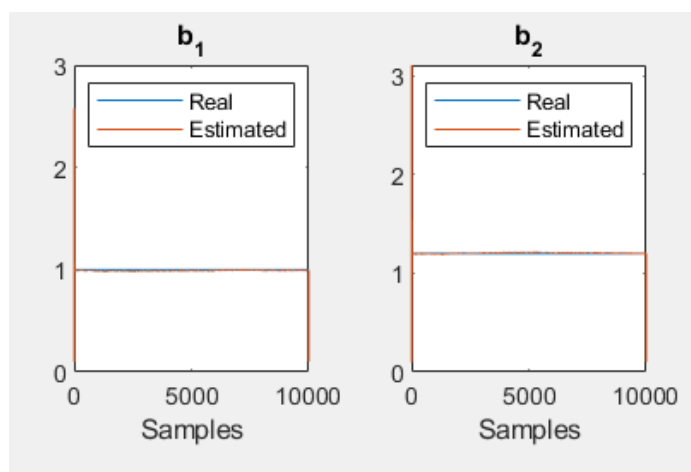
۳-۲-۳- کنترل کننده پیش بین یک مرحله جلو وزن دار شده J2 (تطبیقی) - سیستم NMP

در این بخش، صفر سیستم به ۱.۲- منتقل شده است و مجدداً مانند بخش قبلی، پارامترهای A و B تخمین خورده و از روی آنها، مقادیر آلفا و بتا محاسبه می‌شوند. برای جلوگیری از اشباع عملگر، حد بین ۲- تا ۲ را مجاز می‌دانیم. مقدار لاندا برابر ۰.۸ فرض شده است.

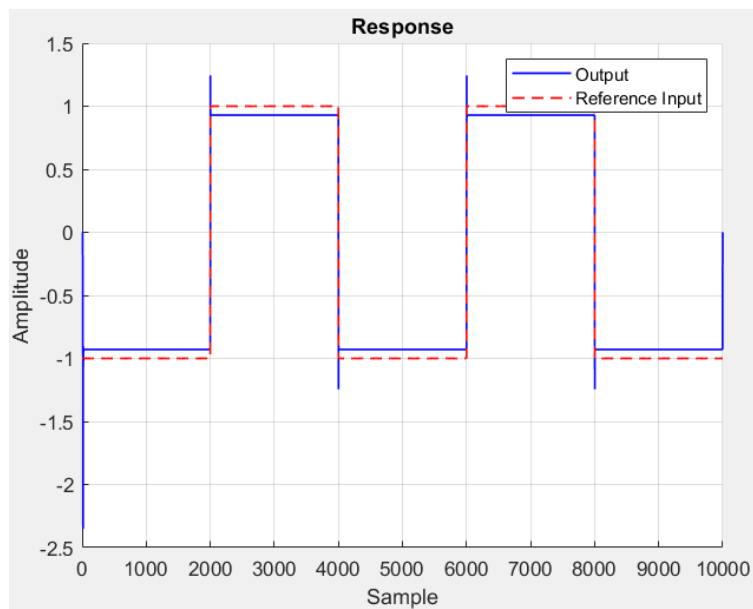
تخمین پارامترهای مخرج به شکل زیر هستند:



تخمین پارامترهای صورت به شکل زیر هستند:

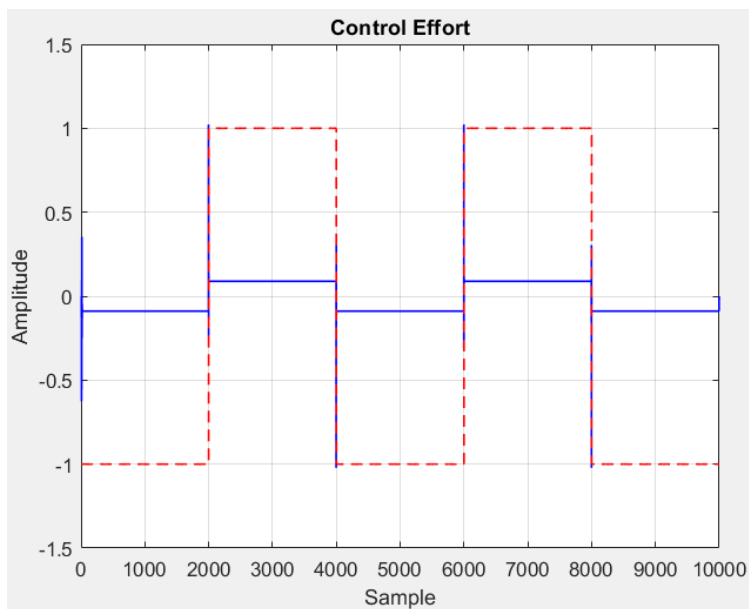


همچنین خروجی این سیستم به شکل زیر است:



در ابتدا که پارامترها به درستی تخمین نخورده‌اند، خروجی آندرشوت زیادی داشته است. بعد از آن هم همانند حالت غیر تطبیقی، خطای مانا داریم که میزان آن با لاندا رابطه عکس دارد. نسبت به حالت قبلی، در هر تغییر ورودی مقداری اورشوت داریم.

ورودی کنترلی نیز بدین شکل است:

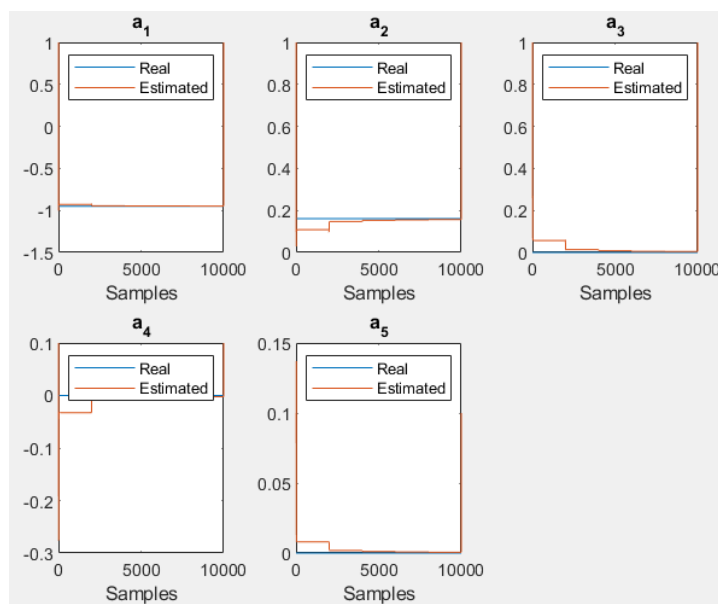


همان‌طور که دیده می‌شود با قرار دادن بلوک اشباع، مقادیر بین -2 تا 2 باقی‌مانده‌اند. همچنین نسبت به حالت غیروزن‌دار، مقادیر تلاش کنترلی کمتر است. نسبت به حالت مینیمم فاز، اورشوت‌های بیشتری وجود دارد. اما مقادیر ورودی کمتر هستند.

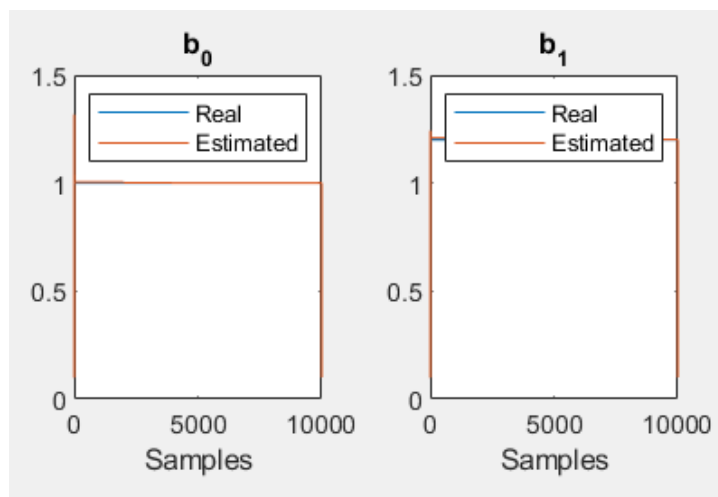
۳-۲-۴- کنترل کننده پیش‌بین یک مرحله جلو وزن دار شده J3 (تطبیقی) - سیستم NMP

در این بخش، صفر سیستم به ۱.۲- منتقل شده است و مجدداً مانند بخش قبلی، پارامترهای A و B تخمین خورده و از روی آن‌ها، مقادیر آلفا و بتا محاسبه می‌شوند. برای جلوگیری از اشباع عملگر، حد بین ۲- تا ۲ را مجاز می‌دانیم. مقدار لاندا برابر ۲۰ فرض شده است.

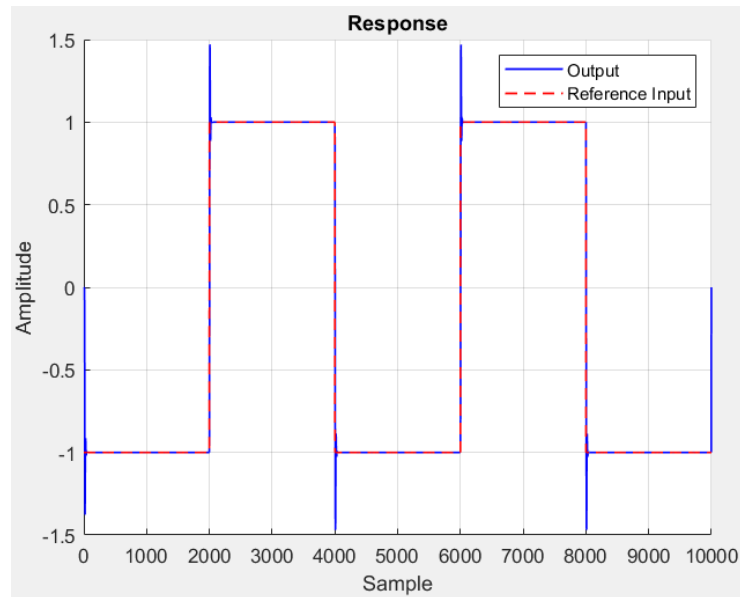
تخمین پارامترهای مخرج به شکل زیر هستند:



تخمین پارامترهای صورت به شکل زیر هستند:

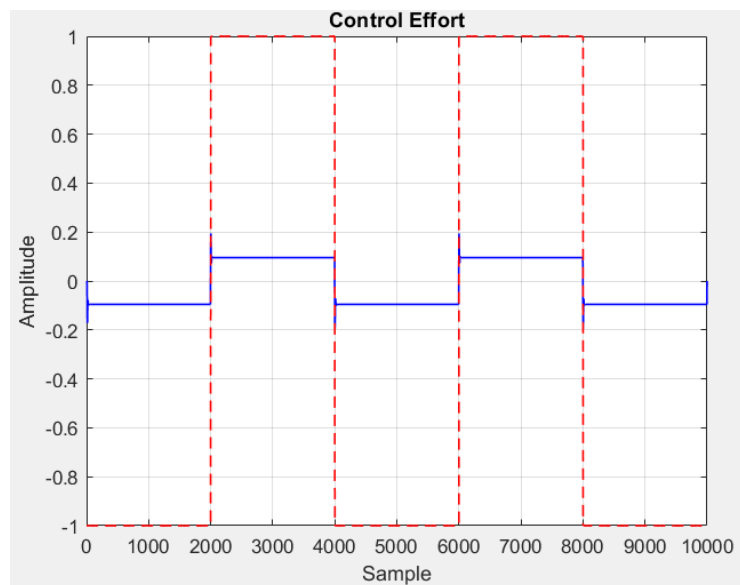


همچنین خروجی این سیستم به شکل زیر است:



در ابتدا که پارامترها به درستی تخمین نخورده‌اند، خروجی تفاوت زیادی داشته است. بعد از آن اما در ابتدای هر تغییر ورودی، به میزان تقریباً ۵۰ درصد اورشوت داشته‌ایم اما دیگر خطای مانا نداریم. با افزایش لاندا می‌توان مقدار اورشوت را کاهش داد.

ورودی کنترلی نیز بدین شکل است:

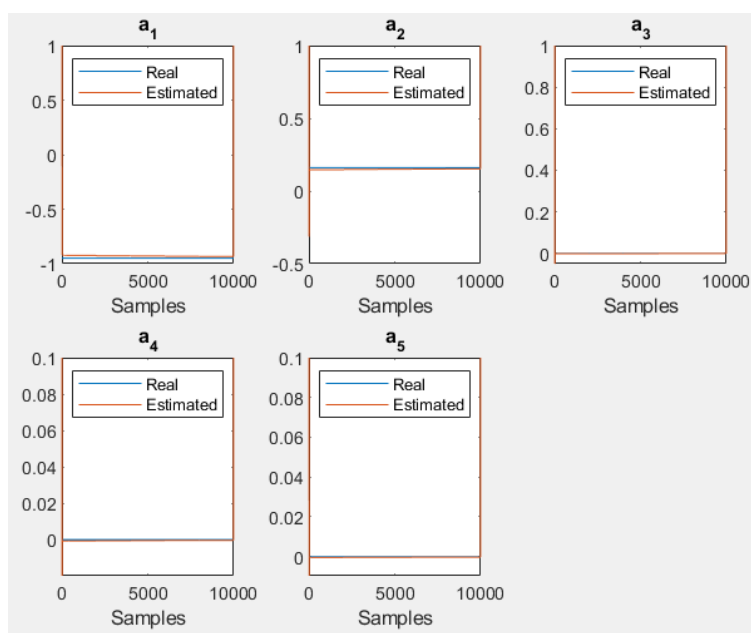


همان‌طور که دیده می‌شود با قرار دادن بلوک اشباع، مقادیر بین -۲ تا ۲ باقی‌مانده‌اند. همچنین نسبت به حالت غیروزن‌دار، مقادیر تلاش کنترلی کمتر است. نسبت به حالت H_2 اورشوت‌های کمتری وجود دارد. اما مقادیر ورودی تقریباً برابر اند.

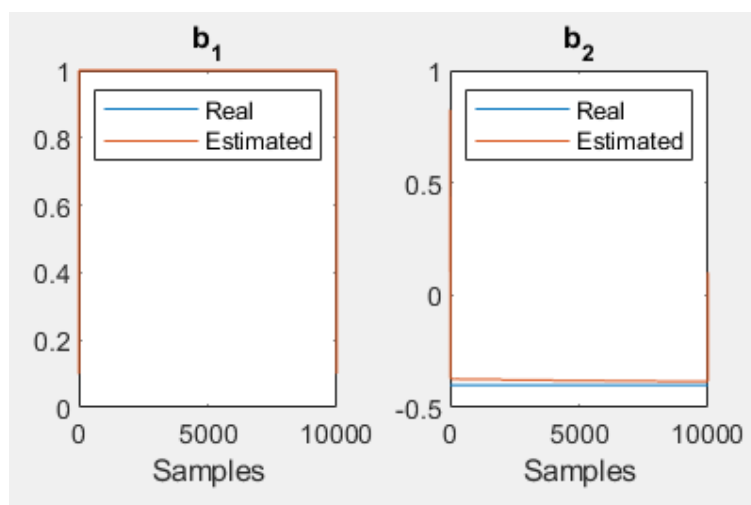
۳-۲-۵- کنترل کننده پیش بین constant future control (تطبیقی)

در این بخش مجدداً مانند بخش‌های قبلی، پارامترهای A و B تخمین خورده و از روی آن‌ها، مقادیر α و β را محاسبه می‌شوند. برای جلوگیری از اشباع عملگر، حد بین -2 تا 2 را مجاز می‌دانیم. افق پیش‌بینی برابر 6 فرض شده است.

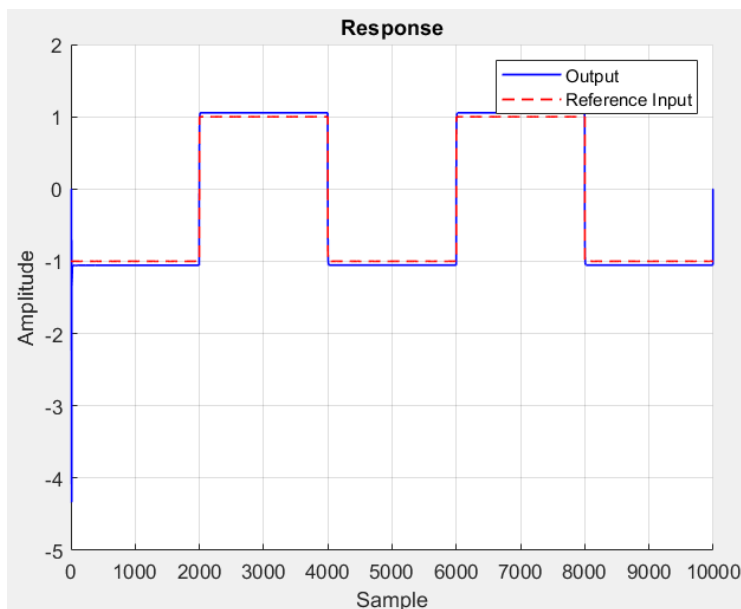
تخمین پارامترهای مخرج به شکل زیر هستند:



تخمین پارامترهای صورت به شکل زیر هستند:

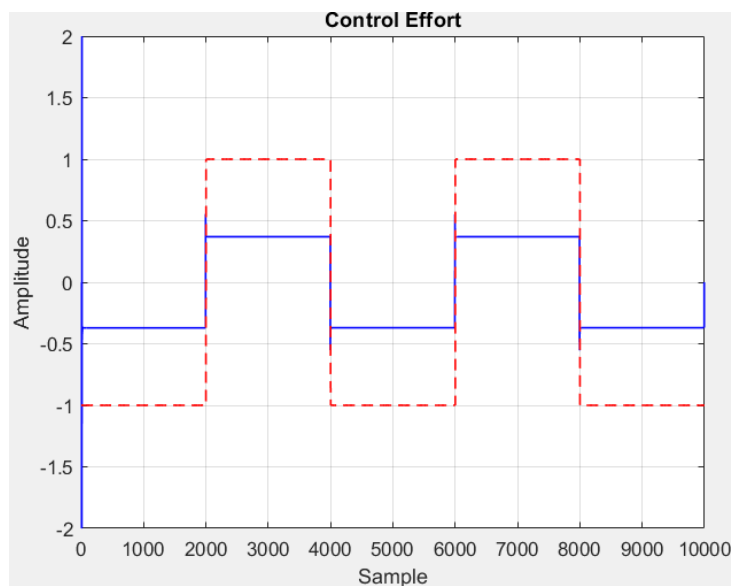


همچنین خروجی این سیستم به شکل زیر است:



در ابتدا که پارامترها به درستی تخمین نخورده‌اند، خروجی تفاوت زیادی داشته است. بعد از آن اما با اندکی خطای مانا، ورودی رهگیری شده است. علی‌رغم اینکه پارامترهای A و B تقریباً با دقت خوبی تخمین می‌خورند، اما معادله دیوفانتین حساس بوده و F و G خیلی نزدیک به مقادیر اصلی خود نیستند و عامل این خطا است.

ورودی کنترلی نیز بدین شکل است:



همان‌طور که دیده می‌شود با قرار دادن بلوک اشباع، مقادیر بین -۲ تا ۲ باقی‌مانده‌اند. همچنین نسبت به حالت وزن‌دار، مقادیر تلاش کنترلی بیشتر است.