

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق - کروه مهندسی کنترل

تحقیق شماره صفر : ارتباط زمان و فرکانس
تحقیق سری صفر

سیاوش ابراهیمی کمال	نام و نام خانوادگی
۴۰۲۱۴۳۳۳	شماره دانشجویی
دکتر تقی راد	استاد درس
مهر ماه ۱۴۰۴	تاریخ

فهرست مطالب

۲	عنوان سوال اول
۲
۲
۲
۲
۲
۳	عنوان سوال سوم
۳
۳
۳
۳
۴	عنوان سوال هفتم
۵	عنوان سوال هشتم
۵
۵
۵
۵
۹	ضمیمه
۱۰	پرسش سوم - سیستم کنترل وضعیت موتور DC
۵
۵
۶	بلوک دیاگرام سیستم
۶
۶	محاسبات دستی تابع تبدیل
۶
۶	۱.۳.۱۰ حلقه باز ($K_t = 0$)
۶
۶	۲.۳.۱۰ حلقه بسته ($K_t = 1$)
۷	محاسبات با استفاده از سیمولینک و دستور linmod
۷
۷
۷
۷	خطای حالت مانندگار
۸	محدودیت K_a برای فراجهش کمتر از ۵%

۱ عنوان سوال اول

اگر سوال بخش‌بندی شده نباشد، پاسخ آن در این قسمت نوشته می‌شود.

۱.۱ عنوان بخش اول سوال اول

پاسخ بخش اول سوال در این قسمت نوشته می‌شود.

۲.۱ عنوان بخش دوم سوال اول

پاسخ بخش دوم سوال در این قسمت نوشته می‌شود.

۲ عنوان سوال دوم

در این قسمت با نحوه نوشتمن متن دارای کلمات انگلیسی آشنا می‌شوید:
تکالیف درس کنترل صنعتی می‌توانند در قالب \LaTeX (LaTeX) تحویل داده شوند.

۳ عنوان سوال سوم

در این قسمت با نحوه درج روابط و فرمول‌ها آشنا می‌شوید:
اگر می‌خواهید فرمول را درون متن بنویسید از قالبی مانند^۱ $E = mc^2$ استفاده کنید (فرمول را بین دو علامت دلار قرار دهید). اگر می‌خواهید فرمول را به صورت مجزا نشان دهید به این صورت عمل کنید:

$$E = MC^2 \tag{۱}$$

برای پاورقی فارسی^۲ و برای پاورقی انگلیسی^۲ به صورتی در فایل `main.tex` آورده شده است عمل کنید. اگر هم خواستید به صفحه جدید بروید از این دستور استفاده کنید: `\pagebreak`

^۱پاورقی فارسی

²Footnote

۴ عنوان سوال چهارم

در این قسمت با نحوه درج اشکال آشنا می شوید:



دانگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانگاه صنعتی بنی کرد و مندی کسر

شکل ۱: شکل شماره ۱

۵ عنوان سوال پنجم

در این قسمت با نحوه درج جداول آشنا می شوید:

جدول ۱: جدول شماره ۱

خانه شماره ۳	خانه شماره ۲	خانه شماره ۱
خانه شماره ۶	خانه شماره ۵	خانه شماره ۴
خانه شماره ۹	خانه شماره ۸	خانه شماره ۷

۶ عنوان سوال ششم

در این قسمت با نحوه درج انواع لیست ها آشنا می شوید:

۱.۶ عنوان بخش اول سوال ششم

• مورد اول

• مورد دوم

۲.۶ عنوان بخش دوم سوال ششم

۱. مورد شماره ۱

۲. مورد شماره ۲

۷ عنوان سوال هفتم

در این قسمت با نحوه درج برنامه‌ها آشنا می‌شوید:

Code 1: My Caption (Python)

```
# This program prints Hello, world!

print('Hello, world!')
```

Code 2: My Caption (MATLAB)

```
clc; clear all; close all;

disp('Hello world!')
```

Code 3: My Caption (C++)

```
// Your First C++ Program

#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Hello World!";
    return 0;
}
```

Code 4: My Caption (C)

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("Hello world!\n");
    return 0;
}
```

۸ عنوان سوال هشتم

در این قسمت با نحوه ارجاع دادن آشنا می شوید.

۱.۸ عنوان بخش اول سوال هشتم

در این قسمت با نحوه ارجاع به سایر منابع آشنا می شوید:

به صفحه درس کنترل صنعتی ارجاع داده می شود [۱]. به این کتابها ارجاع داده می شود [۲][۳]. برای وارد کردن ارجاع می توانید از انتهای فایل استفاده کنید یا با تغییر قالب مرجع نویسی، به فایل `bibliography.tex` استفاده کنید و فرمت `bib` مراجعه کرده و فرمت `bib` را وارد کنید.

۲.۸ عنوان بخش دوم سوال هشتم

اگر می خواهید به یک شکل، جدول، یا بخش ارجاع دهید می توانید به دو صورتی که در ادامه آمده عمل کنید (حالت اول توصیه می شود):

۱. مورد شماره ۱: پاسخ سوال ۱، رابطه ۱، شکل ۱، جدول ۱، برنامه ۱.

۲. مورد شماره ۲: عنوان سوال اول.

۳.۸ عنوان بخش سوم سوال هشتم

اگر می خواهید به یک پایگاه اینترنتی ارجاع دهید، می توانید از این دستور هم استفاده کنید: **گیتهاب (GitHub)**.

۹ ضمیمه

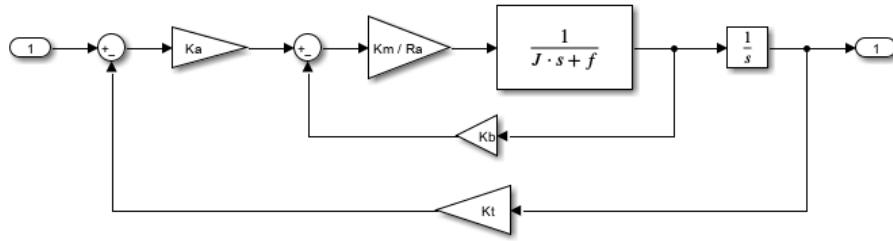
برای آشنایی بیشتر با **LATEX**، با جست و جود در اینترنت منابع مفیدی خواهید یافت.

۱۰ پرسش سوم - سیستم کنترل وضعیت موتور DC

۱.۱۰ معرفی سیستم و پارامترها

سیستم کنترل وضعیت موتور DC مطابق شکل زیر در نظر گرفته شده است. مقادیر پارامترهای سیستم برابرند با:

$$K_t = 1, \quad K_b = 0.5, \quad f = 0.2, \quad J = 1, \quad R_a = 2, \quad K_m = 0.8, \quad K_a = 0.05$$



شکل ۲: بلوک دیاگرام سیستم کنترل وضعیت موتور DC

بلوک دیاگرام سیستم ۲.۱۰

محاسبات دستی تابع تبدیل ۳.۱۰

 حلقه باز ($K_t = 0$) ۱.۳.۱۰

تابع تبدیل سیستم حلقه باز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$G_{open}(s) = K_a \cdot \frac{1}{s} \cdot 'feedback' \left(\frac{K_m}{R_a} \cdot \frac{1}{Js + f}, K_b \right) \quad (2)$$

$$G_{open}(s) = 0.05 \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{0.4 \cdot \frac{1}{s+0.2}}{1 + 0.5 \cdot 0.4 \cdot \frac{1}{s+0.2}} \quad (3)$$

$$G_{open}(s) = 0.05 \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{0.4}{s + 0.4} = \frac{0.02}{s(s + 0.4)} \quad (4)$$

 حلقه بسته ($K_t = 1$) ۲.۳.۱۰

برای سیستم حلقه بسته داریم:

$$G_{closed}(s) = \frac{G_{open}(s)}{1 + G_{open}(s) \cdot K_t} \quad (5)$$

$$G_{closed}(s) = \frac{\frac{0.02}{s(s+0.4)}}{1 + \frac{0.02}{s(s+0.4)} \cdot 1} \quad (6)$$

$$G_{closed}(s) = \frac{0.02}{s(s + 0.4) + 0.02} = \frac{0.02}{s^2 + 0.4s + 0.02} \quad (7)$$

۴.۱۰ محاسبات با استفاده از سیمولینک و دستور linmod

برای تأیید محاسبات دستی، از سیمولینک متلب و دستور linmod استفاده شد.

Code 5: My Caption (MATLAB)

```
clc; clear
s = tf('s');
Ka = 0.05;
J = 1;
f = 0.2;
Km = 0.8;
Ra = 2;
Kb = 0.5;
Kt = 1;
G = 1/(J*s + f);
Gg = 1/s;
Gop = Ka * Gg * feedback((Km/Ra) * G, Kb);
Gcl = feedback(Gop, Kt);

[A, B, C, D] = linmod('dsds');
sys_linmod = ss(A, B, C, D);
display(tf(sys_linmod));
```

۵.۱۰ نتایج و مقایسه

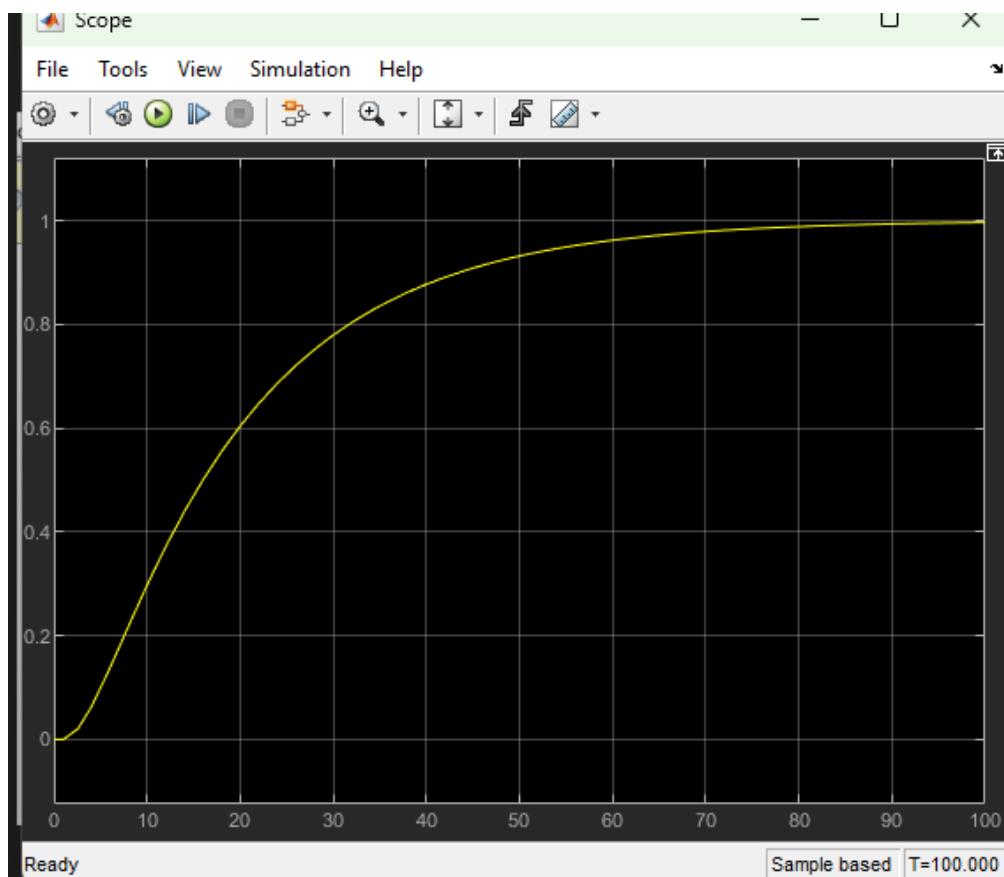
نتایج به دست آمده از محاسبات دستی و شبیه‌سازی سیمولینک کاملاً همخوانی داشتند.

۶.۱۰ پاسخ پله سیستم

پاسخ پله سیستم برای دو مقدار $K_a = 0.05$ و $K_a = 0.1$ در دو حالت حلقه باز و حلقه بسته رسم شد.

۷.۱۰ خطای حالت ماندگار

برای سیستم حلقه بسته با ورودی پله واحد:



شکل ۳: پاسخ پله سیستم برای مقادیر مختلف K_a

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + G_{open}(s)K_t} = \frac{1}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} G_{open}(s)K_t} \quad (۸)$$

۸.۱۰ محدودیت K_a برای فراجهش کمتر از ۵%

برای تعیین محدودیت K_a به گونه‌ای که فراجهش کمتر از ۵% باشد، از رابطه فراجهش سیستم مرتبه دوم استفاده شد:

$$M_p = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \leq 0.05 \quad (۹)$$

منابع

- [۱] صفحه درس تشخیص و شناسایی خطا.
- [۲] Steven X. Ding, “Data-driven Design of Fault Diagnosis and Fault-tolerant Control System”, Springer, 2014.



[3] S. Theodoridis and K. Koutroumbas, "Pattern recognition", Fourth Edition, Academic Press, 2009.