



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

پروژه مبانی دینامیک خودرو

چکیده :

در بخش پروژه سری یک موارد خواسته شده در صورت پروژه را بدست آوردیم و در بخش پروژه سری دوم هدف، بررسی سیستم فرماندهی خودرو به کمک نرم افزارهای کارسیم و متلب (سیمولینک) و مقایسه این دو با هم است.

نیوشا تحصیلی (۹۹۲۶۱۱۷) - علیرضا تیمورخانی (۹۹۲۶۱۱۸) - سارا رضائی (۹۹۲۶۱۲۴)	اسامی گروه
ورودی کارشناسی ۱۳۹۹ - ترم ۶ سال ۱۴۰۲	مقطع و سال تحصیلی
دکتر مهیار نراقی	استاد

فهرست

Error! Bookmark not defined. پروژه سری یک

۱ قسمت a

۳ قسمت b

۵ قسمت c

۶ پروژه سری دو

۱۹ منابع

پروژه سری یک

a. نشان دهید که معادله حالت-فضای وسیله نقلیه چهار چرخ فرمان برابر است با :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(C_{\alpha f} + C_{\alpha r})}{mu_o} & \frac{bC_{\alpha r} - aC_{\alpha f} - u_o}{mu_o} \\ \frac{bC_{\alpha r} - aC_{\alpha f}}{I_z u_o} & \frac{-(b^2 C_{\alpha r} + a^2 C_{\alpha f})}{I_z u_o} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{C_{\alpha f}}{m} & \frac{C_{\alpha r}}{m} \\ \frac{aC_{\alpha f}}{I_z} & \frac{-bC_{\alpha r}}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix}$$

با توجه به {Wong – (5-26) – (5-27)} داریم :

فرض :

$$\begin{aligned} \dot{V}_x = 0 &\rightarrow F_{x_r} = F_{x_f} = 0 \\ \sin \delta_r &= \delta_r - \cos \delta_r = 1 \end{aligned}$$

با توجه به فرض های بالا :

$$m(\dot{V}_y + V_x \Omega_z) = F_{y_r} \cos \delta_r + F_{y_f} \cos \delta_f + F_{x_f} \sin \delta_f + F_{x_r} \sin \delta_r$$

$$m(\dot{V}_y + V_x \Omega_z) = F_{y_r} + F_{y_f}$$

$$I_z \dot{\Omega}_z = aF_{y_f} \cos \delta_f - bF_{y_r} \cos \delta_r + aF_{x_f} \sin \delta_f - bF_{x_r} \sin \delta_r = aF_{y_f} \cos \delta_f - bF_{y_r} \cos \delta_r$$

$$F_{y_r} = C_{\alpha_r} \alpha_r$$

$$F_{y_f} = C_{\alpha_f} \alpha_f$$

$$\alpha_f = \delta_f - \frac{a\Omega_z + V_y}{V_x}$$

$$\alpha_r = \delta_r - \frac{b\Omega_z - V_y}{V_x}$$

$$m(\dot{V}_y + V_x \Omega_z) = C_{\alpha_r} \left(\delta_r - \frac{b\Omega_z - V_y}{V_x} \right) + C_{\alpha_f} \left(\delta_f - \frac{a\Omega_z + V_y}{V_x} \right)$$

$$m\dot{V}_y + \left(mV_x + \frac{aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r}}{V_x} \right) \Omega_z + V_y \left(\frac{C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r}}{V_x} \right) = C_{\alpha_r} \delta_r + C_{\alpha_f} \delta_f$$

$$\dot{V}_y = - \left(V_x + \frac{aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r}}{mV_x} \right) \Omega_z - V_y \left(\frac{C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r}}{mV_x} \right) + \frac{C_{\alpha_r} \delta_r}{m} + \frac{C_{\alpha_f} \delta_f}{m}$$

$$I_z \dot{\Omega}_z = aC_{\alpha_f} \left(\delta_f - \frac{a\Omega_z + V_y}{V_x} \right) - bC_{\alpha_r} \left(\delta_r - \frac{b\Omega_z - V_y}{V_x} \right)$$

$$I_z \dot{\Omega}_z + \left(\frac{a^2 C_{\alpha_f} + b^2 C_{\alpha_r}}{V_x} \right) \Omega_z + V_y \left(\frac{aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r}}{V_x} \right) = aC_{\alpha_f} \delta_f - bC_{\alpha_r} \delta_r$$

$$\dot{\Omega}_z = \dot{r} = - \left(\frac{a^2 C_{\alpha_f} + b^2 C_{\alpha_r}}{I_z V_x} \right) \Omega_z - V_y \left(\frac{aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r}}{I_z V_x} \right) + \frac{aC_{\alpha_f} \delta_f}{I_z} - \frac{bC_{\alpha_r} \delta_r}{I_z}$$

در نتیجه :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r})}{mu_o} & \frac{bC_{\alpha_r} - aC_{\alpha_f}}{mu_o} - u_o \\ \frac{bC_{\alpha_r} - aC_{\alpha_f}}{I_z u_o} & \frac{-(b^2 C_{\alpha_r} + a^2 C_{\alpha_f})}{I_z u_o} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{C_{\alpha_f}}{m} & \frac{C_{\alpha_r}}{m} \\ \frac{aC_{\alpha_f}}{I_z} & \frac{-bC_{\alpha_r}}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix}$$

b. با فرض اینکه در جاده شیبدار هستیم داریم :

- نیروی جانبی اضافه روی وسیله نقلیه که در اثر شیب جاده به دلیل مولفه گرانشی بر روی مرکز جرم ایجاد میکند، گشتاور یاو صفر ایجاد می کند.

فرض :

$$\delta_r = 0$$

$$\sin\delta_r = 0 - \cos\delta_r = 1$$

$$\sin\gamma = \gamma - \cos\gamma = 1$$

$$\sin\delta_f = \delta_f - \cos\delta_f = 1$$

$$\dot{V}_x = 0 \rightarrow F_{x_r} = F_{x_f} = 0$$

$$m(\dot{V}_y + V_x\Omega_z) = (F_{y_r} + F_{y_f})\cos\gamma + mg\sin\gamma$$

$$I_z\dot{\Omega}_z = aF_{y_f} - bF_{y_r}$$

$$F_{y_r} = C_{\alpha_r}\alpha_r$$

$$F_{y_f} = C_{\alpha_f}\alpha_f$$

$$\alpha_f = \delta_f - \frac{a\Omega_z + V_y}{V_x}$$

$$\alpha_r = \delta_r - \frac{b\Omega_z - V_y}{V_x}$$

$$m\dot{V}_y + mV_x\Omega_z = (C_{\alpha_f}\alpha_f + C_{\alpha_r}\alpha_r)\cos\gamma + mg\sin\gamma$$

$$m\dot{V}_y + mV_x\Omega_z = \left(C_{\alpha_f}\left(\delta_f - \frac{a\Omega_z + V_y}{V_x}\right) + C_{\alpha_r}\left(\frac{b\Omega_z - V_y}{V_x}\right)\right) + mg\gamma$$

$$m\dot{V}_y + \Omega_z\left(\frac{aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r}}{V_x} + mV_x\right) + \left(\frac{C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r}}{V_x}\right)V_y = C_{\alpha_f}\delta_f + mg\gamma$$

$$\dot{V}_y = -\left(V_x + \frac{aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r}}{mV_x}\right)\Omega_z - V_y\left(\frac{C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r}}{mV_x}\right) + \frac{C_{\alpha_f}\delta_f}{m} + g\gamma$$

$$I_z \dot{\Omega}_z + \left(\frac{a^2 C_{\alpha_f} + b^2 C_{\alpha_r}}{V_x} \right) \Omega_z + V_y \left(\frac{a C_{\alpha_f} - b C_{\alpha_r}}{V_x} \right) = a C_{\alpha_f} \delta_f$$

$$\dot{\Omega}_z = \dot{r} = - \left(\frac{a^2 C_{\alpha_f} + b^2 C_{\alpha_r}}{I_z V_x} \right) \Omega_z - V_y \left(\frac{a C_{\alpha_f} - b C_{\alpha_r}}{I_z V_x} \right) + \frac{a C_{\alpha_f} \delta_f}{I_z}$$

در نتیجه :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r})}{m u_o} & \frac{b C_{\alpha_r} - a C_{\alpha_f}}{m u_o} - u_o \\ \frac{b C_{\alpha_r} - a C_{\alpha_f}}{I_z u_o} & \frac{-(b^2 C_{\alpha_r} + a^2 C_{\alpha_f})}{I_z u_o} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{C_{\alpha_f}}{m} & g \\ \frac{a C_{\alpha_f}}{I_z} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \gamma \end{bmatrix}$$

c. با توجه به فرمول زیر و کد متلب داریم :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(C_{\alpha f} + C_{\alpha r})}{mu_o} & \frac{bC_{\alpha r} - aC_{\alpha f}}{mu_o} - u_o \\ \frac{bC_{\alpha r} - aC_{\alpha f}}{I_z u_o} & \frac{-(b^2 C_{\alpha r} + a^2 C_{\alpha f})}{I_z u_o} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{C_{\alpha f}}{m} & g \\ \frac{aC_{\alpha f}}{I_z} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \gamma \end{bmatrix}$$

$$l = 2.54 \text{ m}$$

$$a = 1.14 \text{ m}$$

$$b = l - a = 1.40 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$u = 20.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$I_z = 1200.0 \text{ kg.m}^2$$

$$C_{\alpha f} = 2400.0 \text{ N/deg}$$

$$C_{\alpha r} = 2056.0 \text{ N/deg}$$

```
clc ;
clear;
close all;
```

```
syms C_alpha_r C_alpha_f a l m u I_z v gamma g r delta_f V_dot r_dot
```

```
% given parametrs
```

```
C_alpha_f=2400;
```

```
C_alpha_r=2056;
```

```
l = 1.4; %m
```

```
a = 1.14; %m
```

```
m = 1000; %Kg
```

```
u = 20; %m/s
```

```
I_z = 1200; %Kg/m^2
```

```
g = 9.81; %m/s^2
```

```
gamma = -5*pi/180; %rad
```

```
v=0;
```

```
r=0;
```

```

A= [(-(C_alpha_f+C_alpha_r))/m/u (1*C_alpha_r-a*C_alpha_f)/m/u
      (1*C_alpha_r-a*C_alpha_f)/I_z/u -(1^2*C_alpha_r+a^2*C_alpha_f)/I_z/u]

B=[C_alpha_f/m +g
    a*C_alpha_f/I_z 0]

c=A*[v; r]+B*[delta_f ; gamma]

eq1=[c(1)==V_dot]
eq2=[c(2)==r_dot]

V_dot=0;
r_dot=0;

eq1=[c(1)==V_dot];
eq2=[c(2)==r_dot];

delta_f_1 = vpasolve(eq1,[delta_f])
delta_f_2 = vpasolve(eq2,[delta_f])
    
```

نتیجه کد به شرح زیر می باشد :

با توجه به اینکه درایه های ماتریس c نمیتوانند همزمان صفر شوند :

$$A = 2 \times 2 \begin{bmatrix} -0.2228 & 0.0071 \\ 0.0059 & -0.2979 \end{bmatrix}$$

$$B = 2 \times 2 \begin{bmatrix} 2.4000 & 9.8100 \\ 2.2800 & 0 \end{bmatrix}$$

$$c = \begin{pmatrix} \frac{12 \delta_f}{5} - \frac{109 \pi}{400} \\ \frac{57 \delta_f}{25} \end{pmatrix}$$

$$eq1 = \frac{12 \delta_f}{5} - \frac{109 \pi}{400} = \dot{V}$$

$$eq2 = \frac{57 \delta_f}{25} = \dot{r}$$

$$\delta_{f_1} = 0.35670166587634110728377930080986$$

$$\delta_{f_2} = 0$$

با توجه به نتایج بالا اگر راننده بخواهد با تغییر زاویه فرمان از سرعت جانبی جلوگیری کند، این امر سبب ایجاد سرعت زاویه ای عمودی در خودرو شده و یا بلعکس که در هر دو حالت باعث انحراف از مسیر می شود.

پروژه سری دو

تست پایداری دینامیکی

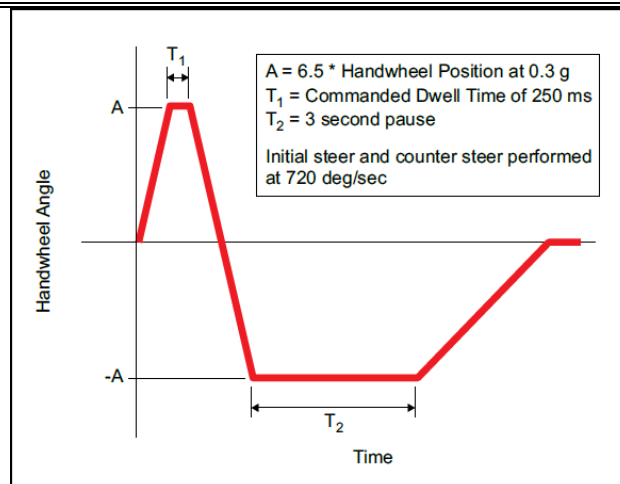
اداره ایمنی (NHTSA) (به همراه سازمان های معادل در سایر بخش های جهان) در حال بررسی مانورهای مختلف دینامیک وسیله نقلیه مفید برای ارزیابی پایداری انحراف و پایداری واژگونی (yaw stability and rollover stability) وسایل نقلیه مسافری و کامیون های سبک. این آزمایشات شامل موارد زیر هستند:

- J-Turn
- Evasive Maneuver Test (i.e., moose or elk test)
- Single and Double Lane changes
- Fishhook
- Sine with Dwell

مانور Fishhook:

همانطور که توسط NHTSA تعریف شده است، مانور Fishhook یک روش آزمایشی است که تمایل به واژگونی یک وسیله نقلیه سبک را با به حداکثر رساندن حرکت چرخش (roll motion) ارزیابی می کند. روش شامل یک مانور خصوصیات و یک مانور مقاومت در برابر غلتش است.

زاویه چرخ دستی (handwheel angle) مورد استفاده برای مانور Fishhook با گرفتن میانگین از شش آزمایش هدایت آهسته افزایشی (Slowly Increasing Steer Tests) (سه به چپ و سه به سمت راست)، سپس ضرب در اسکالر ۶,۵ محاسبه میشود.



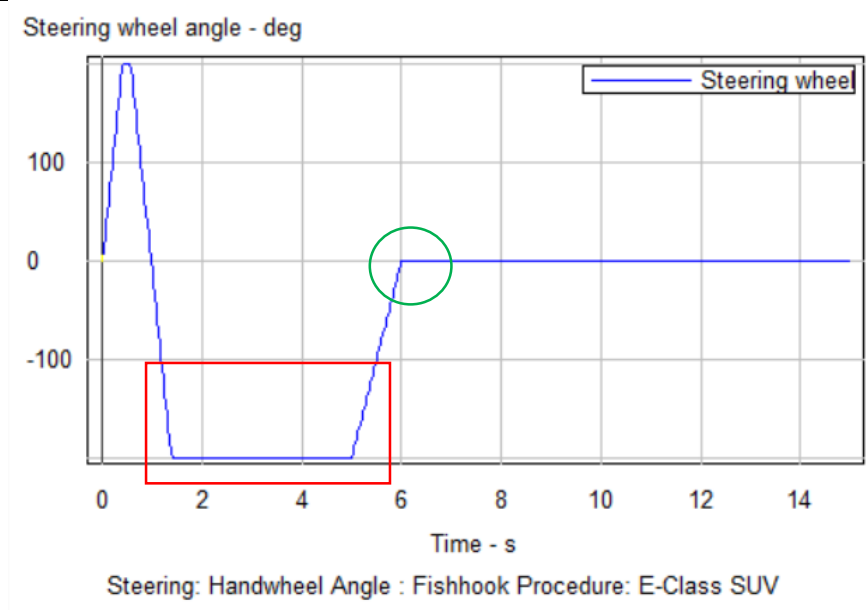
نرخ انحراف (yaw rate) نشان دهنده چرخش وسیله نقلیه از محور عمودی آن است یا اینکه وسیله نقلیه تا چه اندازه به سمت چپ یا راست از مرکز خود زاویه دارد یا اینکه خودرو چقدر از مسیر مستقیم خود منحرف شده است. رول (رول بدنه) که برای نشان دادن کج شدن وسیله نقلیه به چپ یا راست بخصوص در هنگام پیچیدن استفاده می‌شود، برای صنعت خودروسازی نیز مهم است. در بسیاری از خودروهای پیشرفته سنسورهایی برای اندازه گیری میزان انحراف وجود دارد و این اطلاعات در سیستم های کنترل پایداری استفاده می‌شود. این اندازه گیری به خودی خود کمک چندانی به سیستم کنترل پایداری وسیله نقلیه نمی‌کند، زیرا یک وسیله نقلیه ممکن است ۳۰ درجه از مسیر مستقیم خود منحرف شده باشد، اما این می‌تواند قصد راننده باشد. بنابراین چه زمانی اطلاعات برای شما و وسیله نقلیه مفید می‌شود؟ اطلاعات ارسال شده توسط سنسور میزان انحراف با زاویه فرمان و زاویه لاستیک ها مقایسه می‌شود و تنها در این صورت سیستم می‌تواند تصمیم مفیدی بگیرد. همانطور که قبلاً گفتیم یک وسیله نقلیه ممکن است ۳۰ درجه به چپ منحرف شود، اما اگر برای مثال زاویه لاستیک نشان دهد که خودرو باید ۳۰ درجه بچرخد، سیستم هیچ کاری انجام نمی‌دهد. اگر وسیله نقلیه ۳۰ درجه به چپ منحرف شود اما زاویه لاستیک نشان می‌دهد که خودرو باید ۴۵ درجه بچرخد، اختلافات به ECU ارسال می‌شود که متوجه می‌شود خودرو در حال کم فرمانی است و اقدامات لازم را برای اصلاح کم فرمانی انجام می‌دهد.

حال به بررسی نتایج در CARSIM می‌پردازیم:

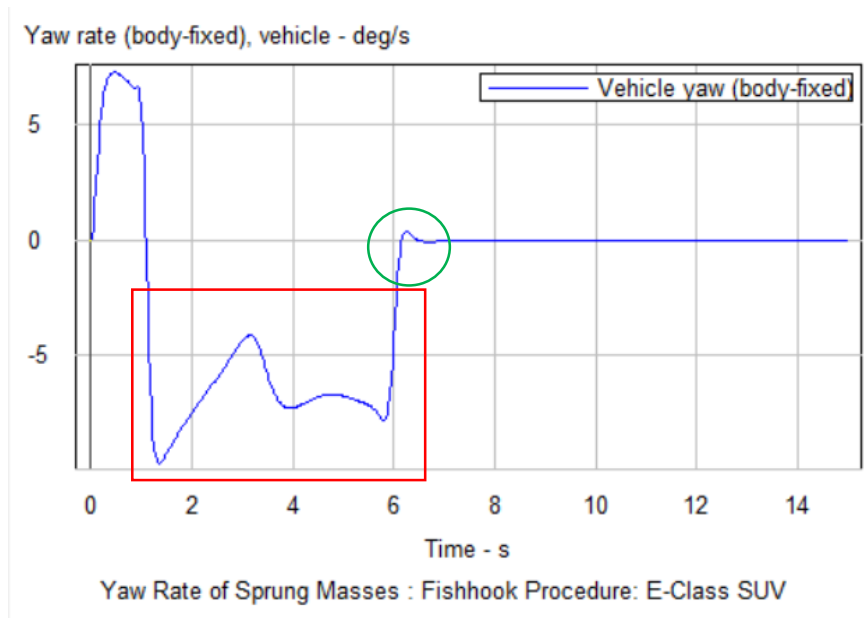
(فیلم مربوط به کارسیم در فایل ضمیمه شده است.)

در شکل زیر خودرو مورد بررسی و مانور Fishhook انتخاب شده است، همچنین از خودرو در سرعت ۶۰ km/h تست گرفته

شده.

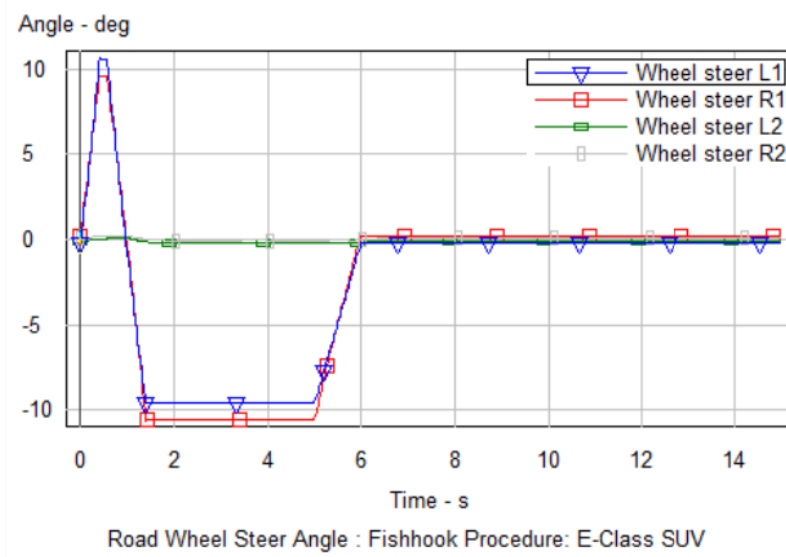


نمودار ۱



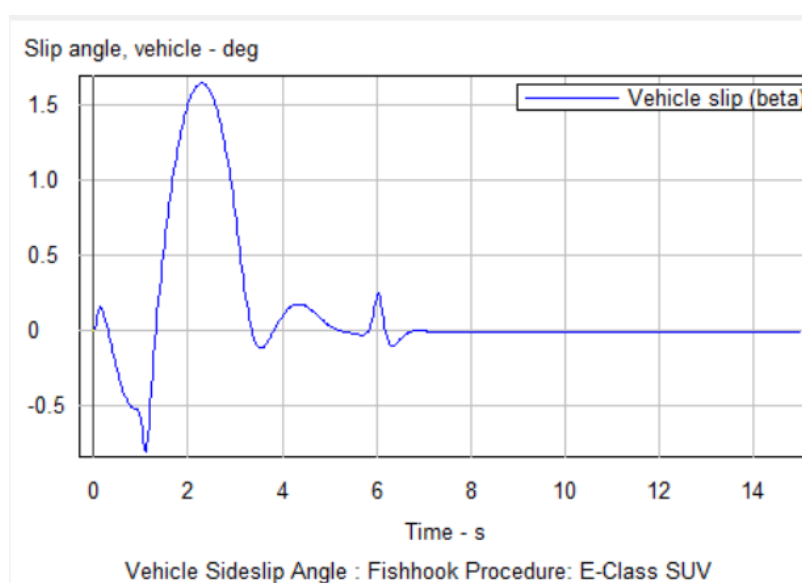
نمودار ۲

باتوجه به دو نمودار های ۱ و ۲ با ورودی برای زاویه فرمان نرخ چرخش خودرو نیز تغییر میکند و تغییرات این دو نمودار تا حد بسیار زیادی برهم منطبق اند. نرخ چرخش خودرو بین زاویه تقریباً -6 تا 6 درجه تغییر میکند و از گونش رخ نمیدهد (برای رخ دادن roll-over باید خودرو بیش از 90 درجه بچرخد). همچنین از مقایسه دو نمودار فوق میتوان دریافت که زاویه ورودی فرمان توسط راننده در بازه -200 تا 200 تغییر میکند و این مقدار زاویه دقیق به انحراف خودرو اعمال نشده (برای مثال برای زاویه فرمان 200 در مبدا زمانی نرخ چرخش خودرو تنها نزدیک به 6 درجه است). از قسمت قرمز نمایش داده شده روی دو نمودار میتوان دریافت که با کاهش زاویه فرمان تا -200 و ثابت نگه داشتن این زاویه فرمان بمدت تقریباً 3 ثانیه، انحراف خودرو در این بازه زمانی مقدار ثابتی نبوده و یک تغییر شبه سینوسی دارد در واقع با تغییر ناگهانی زاویه فرمان، خودرو فرصت کافی برای پاسخ دهی و ثابت شدن مقدار انحراف را ندارد. به طور مشابه در قسمت سبز رنگ مشخص شده در نمودار هم که تغییر ناگهانی زاویه فرمان داریم انحراف خودرو یک پیک میزند.



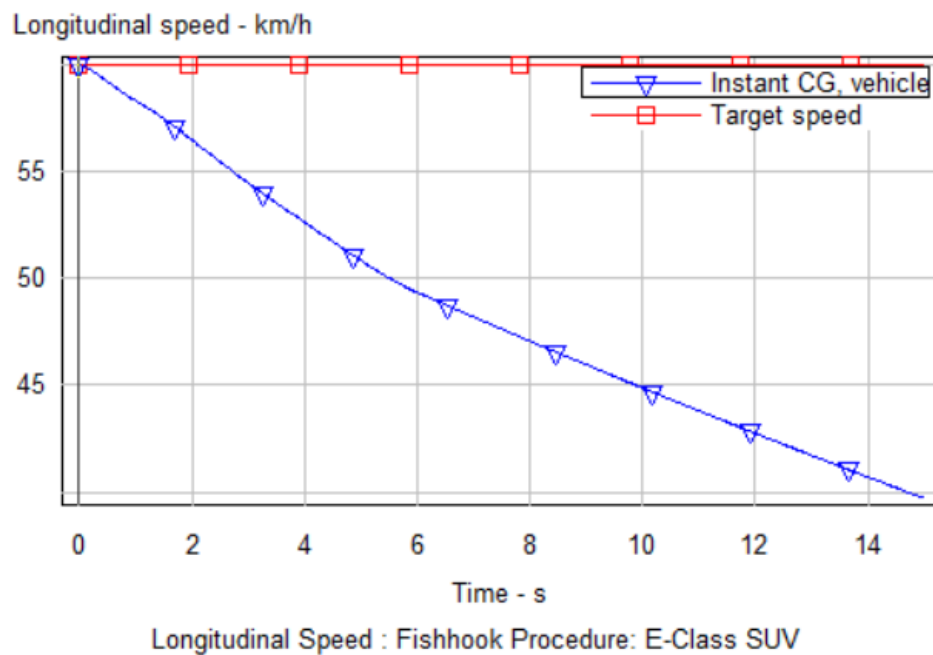
نمودار ۳

نمودار ۳ نشان دهنده تغییرات زوایای هر یک از چهار چرخ است. چرخ های جلوی راست و چپ متناسب با زاویه فرمان ورودی به خودرو است درحالیکه چرخ های عقب راست و چپ تغییر زاویه ندارند این بدلیل آن است که فرماندهی خودرو اصولاً با چرخ های جلو انجام میشود.



نمودار ۴

نمودار ۴ زاویه لغزش خودرو را نشان میدهد. با فرض حفظ چسبندگی، بدنه وسیله نقلیه تمایل دارد جهتی را که لاستیک های هدایت شده به آن نشان می دهند، دنبال کند، اما تکانه حرکت وسیله نقلیه به این معنی است که همیشه سطحی از لغزش تایر وجود خواهد داشت، هر چند این میزان حداقل باشد. لاستیک با تماس با جاده کمی تغییر شکل می دهد و این تغییر شکل نیز ممکن است نیاز به بررسی داشته باشد. این را می توان با اندازه گیری زاویه لغزش روی چرخ و زاویه واقعی فرمان محاسبه کرد، سپس زاویه لغزش را از زاویه فرمان چرخ کم کرد - نتیجه زاویه لغزش لاستیک است. این موضوع قابل توجه است که به دلیل تأثیرات فرمان آکرم، زاویه فرمان چرخ باید در هر چرخ اندازه گیری شود. در این نمودار نقاطی وجود دارد که خودرو دارای ماکزیمم زاویه لغزش است این نقاط جهت حفظ پایداری خودرو و کنترل آن حائز اهمیت است.



نمودار ۵

نمودار ۵ تغییرات سرعت طولی خودرو را نشان میدهد. خودرو با سرعت ورودی ۶۰ km/h در حین تغییر زاویه فرمان لازم است که سرعتش کمتر از مقدار ۶۰ باشد و این نرخ کاهشی سرعت بدلیل تغییرات در زاویه فرمان چرخ است.

(۱) جلو چپ (i=1)

(۲) جلو راست (i=2)

(۳) عقب چپ (i=3)

(۴) عقب راست (i=4)

فرمول های مورد نیاز برای بخش سیمولینک متلب به شرح زیر است :

$$ma_x = \sum_{i=1}^4 F_{x_i}$$

$$ma_y = \sum_{i=1}^4 F_{y_i}$$

$$I_z \dot{r} = L_f (F_{y_1} + F_{y_2}) - L_r (F_{y_3} + F_{y_4}) + (F_{x_1} + F_{x_3} - F_{x_2} - F_{x_4}) \frac{T_w}{2}$$

$$a_x = \dot{V}_x - rV_y$$

$$a_y = \dot{V}_y - rV_x$$

$$F_{x_i} = F_{t_i} \cos \delta_i - F_{s_i} \sin \delta_i$$

$$F_{y_i} = F_{t_i} \sin \delta_i + F_{s_i} \cos \delta_i$$

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_f$$

$$F_{z_1} = \frac{mg}{2} \left(\frac{L_r}{L} - \left(\dot{V}_x - \frac{V_y r}{gL} \right) h \right)$$

$$F_{z_2} = \frac{mg}{2} \left(\frac{L_r}{L} - \left(\dot{V}_x - \frac{V_y r}{gL} \right) h \right)$$

$$F_{z_3} = \frac{mg}{2} \left(\frac{L_f}{L} - \left(\dot{V}_x - \frac{V_y r}{gL} \right) h \right)$$

$$F_{z_4} = \frac{mg}{2} \left(\frac{L_f}{L} - \left(\dot{V}_x - \frac{V_y r}{gL} \right) h \right)$$

$$\lambda_i = \frac{\omega_i - V_{c_{x_i}}}{V_{c_{x_i}}}$$

$$V_{c_{x_1}} = \left(V_x - \frac{rT}{2} \right) \cos \delta_1 + (V_y + rL_f) \sin \delta_1$$

$$V_{c_{x_2}} = \left(V_x - \frac{rT}{2} \right) \cos \delta_2 + (V_y + rL_f) \sin \delta_2$$

$$V_{c_{x_3}} = \left(V_x - \frac{rT}{2} \right)$$

$$V_{c_{x_4}} = \left(V_x - \frac{rT}{2} \right)$$

$$I_\omega \dot{\omega}_i = T_i - F_{t_i} R \quad ; i = 1.2.3.4$$

$$\lambda = \frac{\omega R - V_{c_x}}{V_{c_x}}$$

$$F_t = \frac{C_\lambda \lambda}{1 + \lambda} f(s)$$

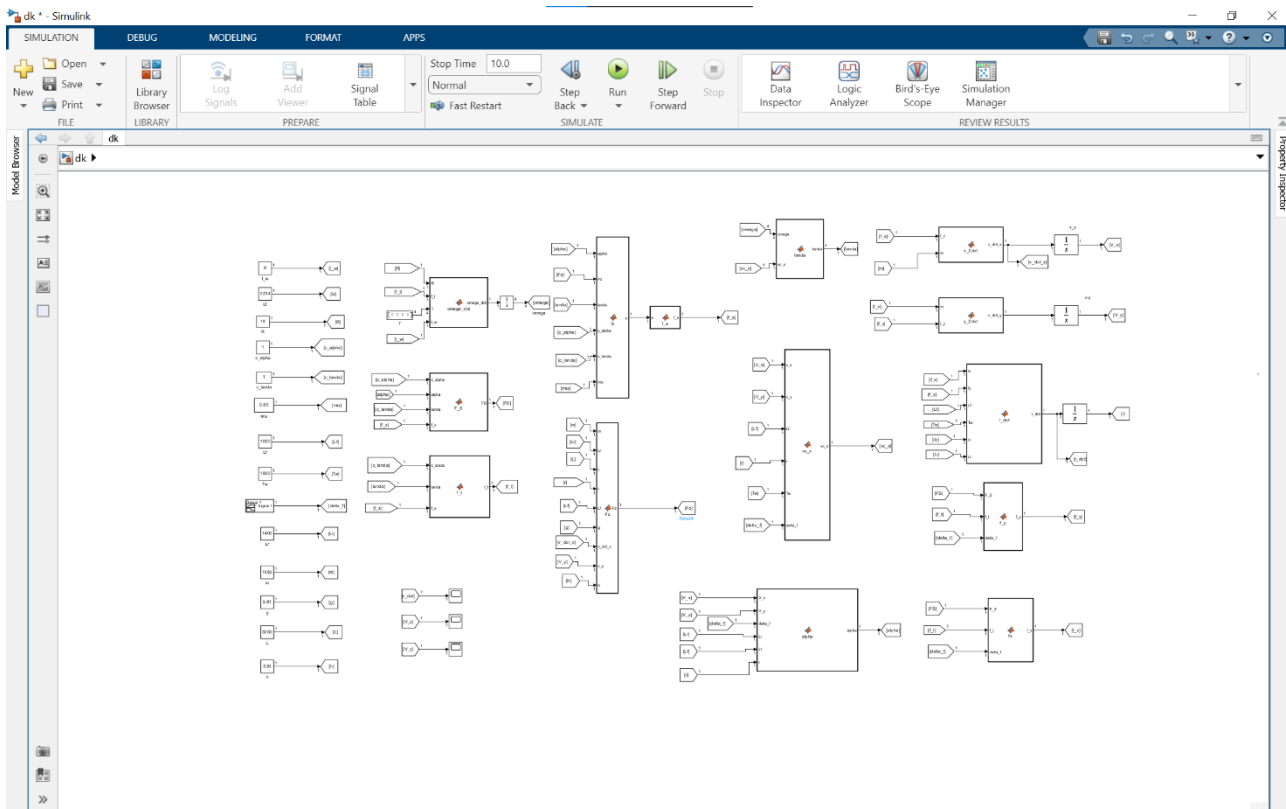
$$F_s = \frac{C_\alpha \alpha}{1 + \lambda} f(s)$$

$$s = \frac{\mu F_z (1 + \lambda)}{2 \sqrt{(C_\lambda \lambda)^2 + (C_\alpha \tan \alpha)^2}}$$

$$f(s) = \begin{cases} (2-s)s & s < 1 \\ 1 & s \geq 1 \end{cases}$$

$$I_w \dot{\omega}_i = T_i - F_{t_i} R \quad i = 1 \dots 4$$

با بررسی فرمول های بالا و تشخیص ورودی ها و خروجی ها برای بخش سیمولینک به نتایج زیر رسیدیم :



متلب فانکشن ها به صورت زیر تعریف شدند :

(جلو یا عقب بودن چرخ ها با توجه به صفحه ۱۱ در نظر گرفته شده است.)

dk/MATLAB Function8 * - Simulink

SIMULATION DEBUG MODELING APPS FUNCTION

Edit Data Go To Refactor Update Model Stop Time: 10.0 Step Back Run Step Forward Stop

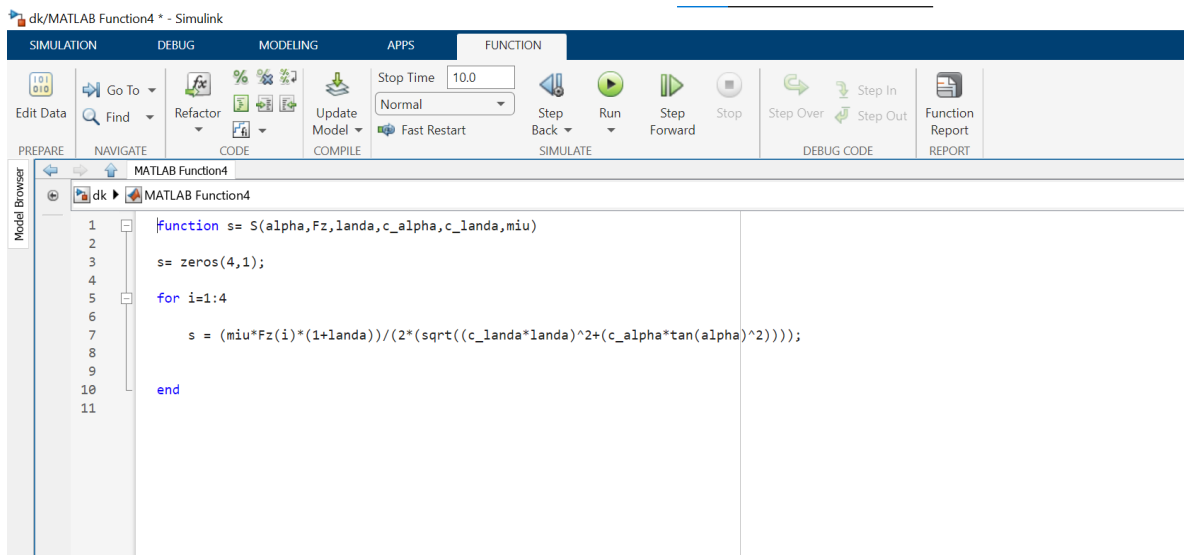
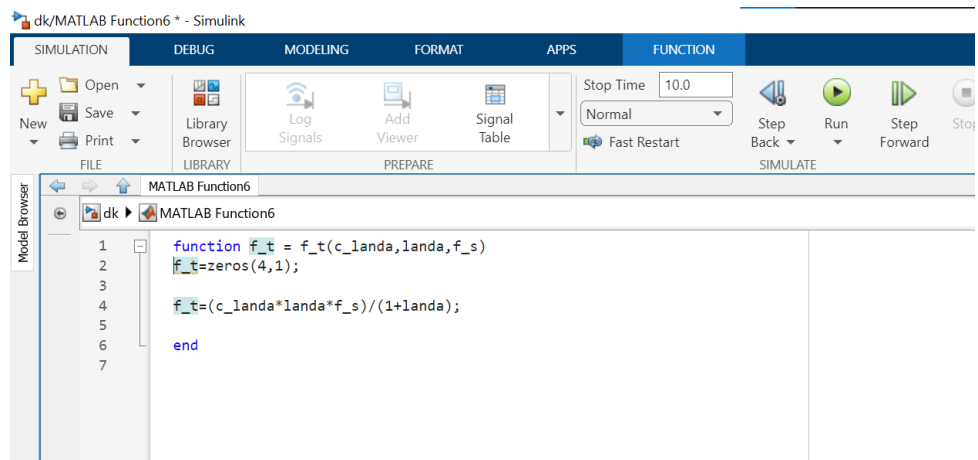
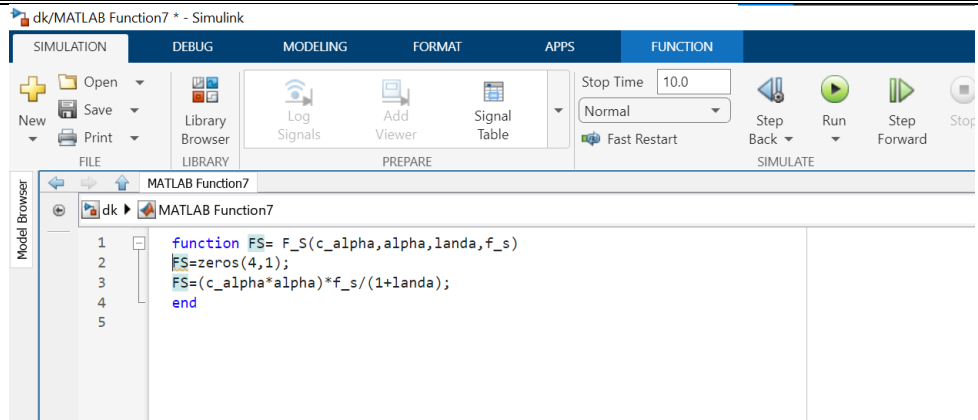
PREPARE NAVIGATE CODE COMPILE SIMULATE

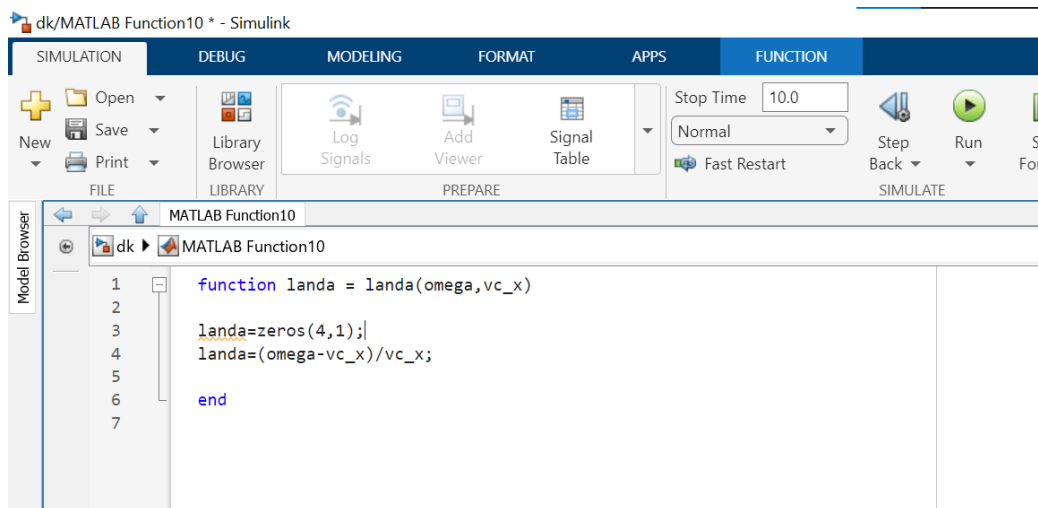
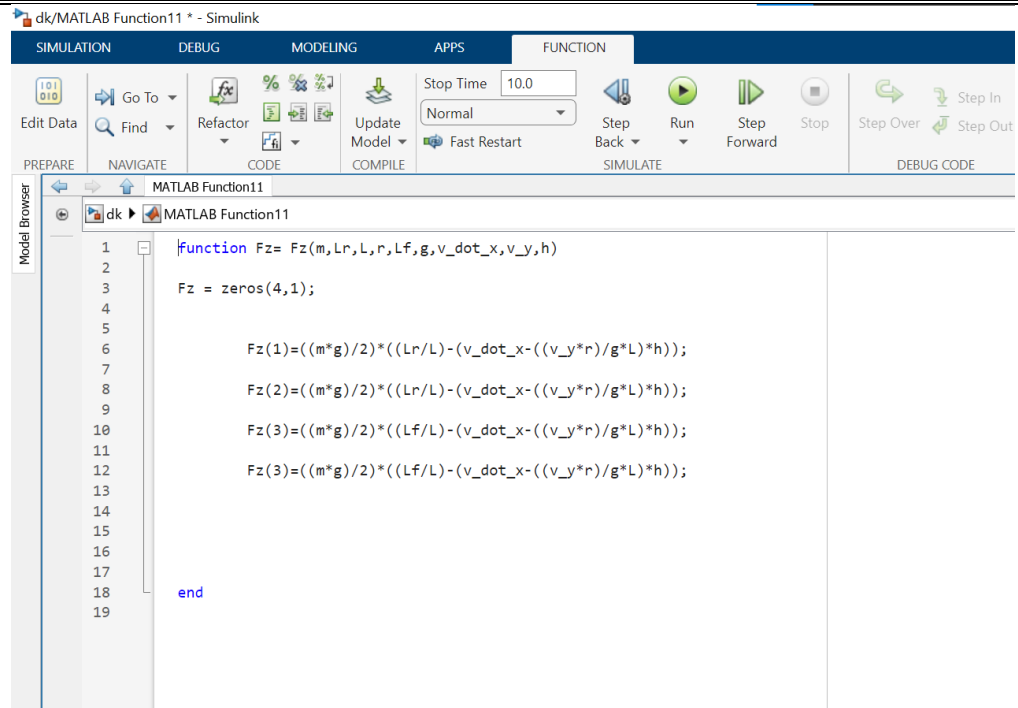
Model Browser: dk ▶ MATLAB Function8

```

1  function omega_dot= omega_dot(R,f_t,T,I_w)
2
3  omega_dot= zeros(4,1);
4  omega_dot=(T-(f_t*R))/I_w;
5
6  end
7

```





dk/MATLAB Function9 * - Simulink

SIMULATION DEBUG MODELING FORMAT APPS FUNCTION

Open Save Print Library Browser Log Signals Add Viewer Signal Table Stop Time 10.0 Normal Step Back Run Step Forward Stop Data Inspector Logic Analyzer Bird's-Eye Scope Simulation Manager

FILE LIBRARY PREPARE SIMULATE REVIEW R

Model Browser

dk MATLAB Function9

```

1 function vc_x= vc_x(v_x,v_y,Lf,r,Tw,delta_f)
2
3 vc_x = zeros(4,1);
4 vc_x(1)=((v_x-((r*Tw)/2))*cos(delta_f))+((v_y)+r*Lf)*sin(delta_f);
5 vc_x(2)=((v_x-((r*Tw)/2))*cos(delta_f))+((v_y)+r*Lf)*sin(delta_f);
6 vc_x(3)=v_x-(r*Tw)/2;
7 vc_x(4)=v_x-(r*Tw)/2;
8
9 end
10

```

dk/MATLAB Function3 * - Simulink

SIMULATION DEBUG MODELING FORMAT APPS FUNCTION

Open Save Print Library Browser Log Signals Add Viewer Signal Table Stop Time 10.0 Normal Step Back Run Step Forward Stop Data Inspector Logic Analyzer

FILE LIBRARY PREPARE SIMULATE

Model Browser

dk MATLAB Function3

```

1 function alpha = alpha(V_x,V_y,delta_f,Lr,Lf,r)
2
3 | alpha = zeros(4,1);
4
5 alpha(1) = delta_f - atan((Lf*r+V_y)/V_x);
6
7 alpha(2) = delta_f - atan((Lf*r+V_y)/V_x);
8
9 alpha(3) = -1*atan((Lr*r+V_y)/V_x);
10
11 alpha(4) = -1*atan((Lr*r+V_y)/V_x);
12
13 end
14

```

dk/MATLAB Function * - Simulink

SIMULATION DEBUG MODELING FORMAT APPS FUNCTION

Open Save Print Library Browser Log Signals Add Viewer Signal Table Stop Time 10.0 Normal Step Back Run Step Forward Stop

FILE LIBRARY PREPARE SIMULATE

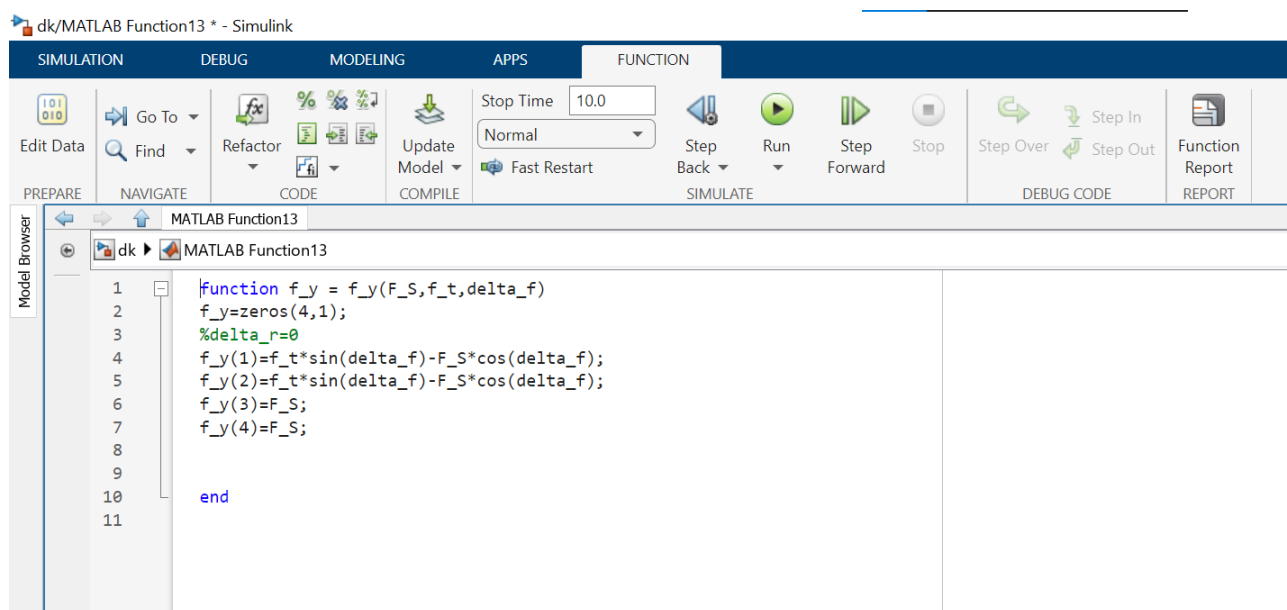
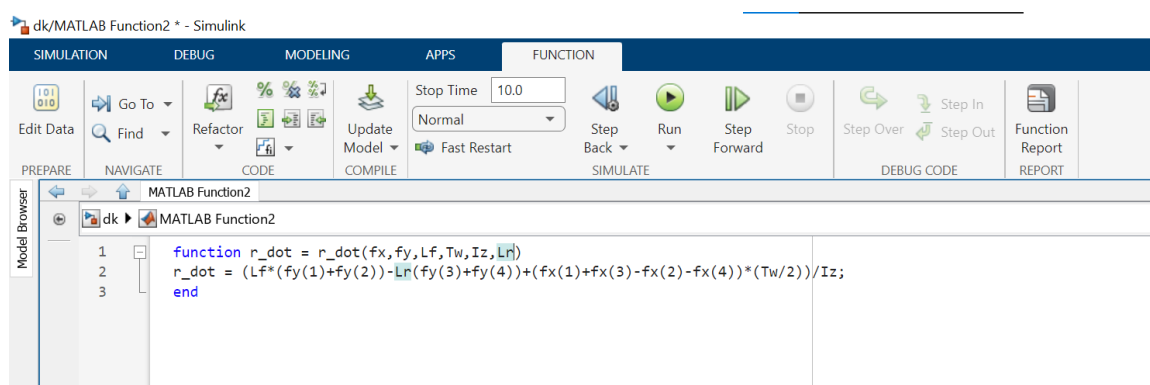
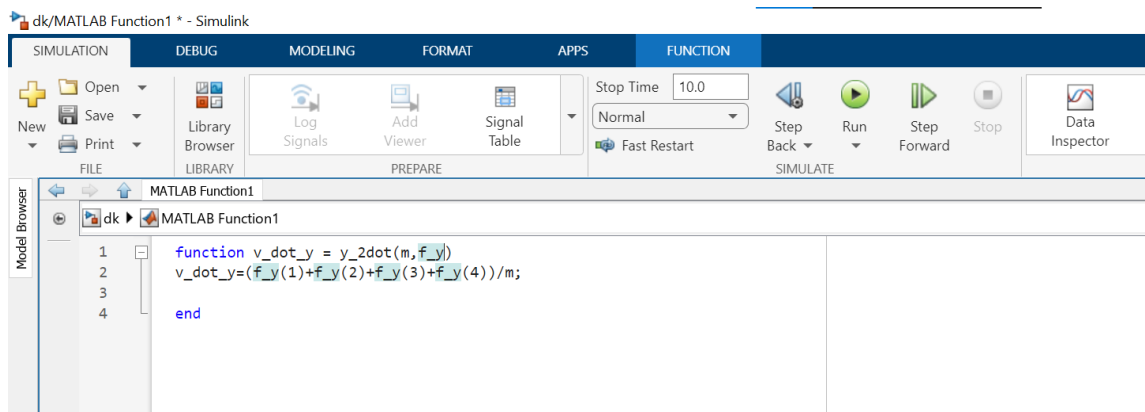
Model Browser

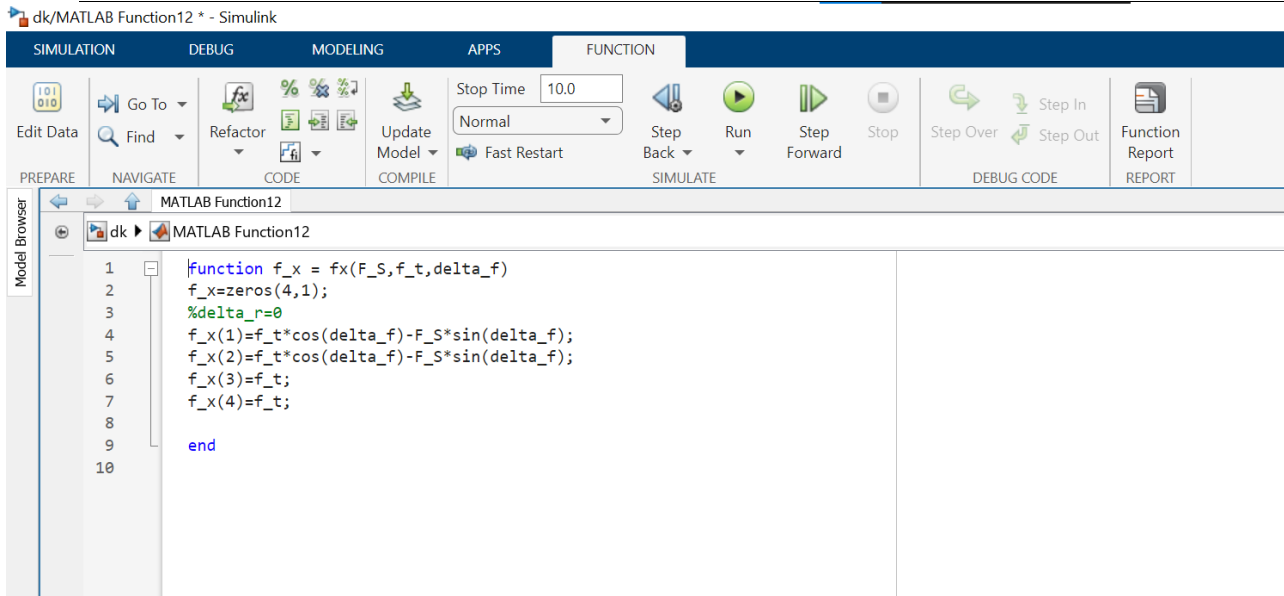
dk MATLAB Function

```

1 function v_dot_x = x_2dot(f_x,m)
2 v_dot_x=(f_x(1)+f_x(2)+f_x(3)+f_x(4))/m;
3
4
5
6
7 end

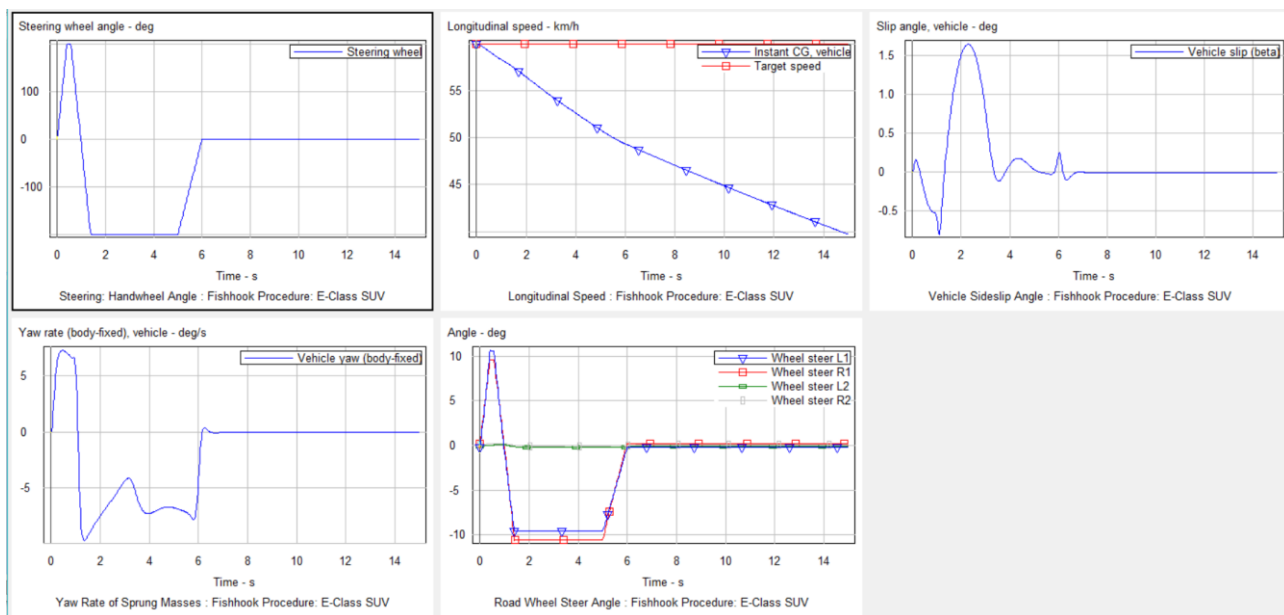
```





در بخش سیمولینک خیلی تلاش شد و تا آخرین فرصت ها سعی در رفع ارور ها داشتیم اما در آخر تنها یک ارور باقی ماند که مربوط به yaw rate بود که خطای دایمنشن میداد، در صورتی که ما طبق فرمول زیر باید به یک عدد میرسیدیم و نه یک بردار.

$$I_z \dot{r} = L_f (F_{y_1} + F_{y_2}) - L_r (F_{y_3} + F_{y_4}) + (F_{x_1} + F_{x_3} - F_{x_2} - F_{x_4}) \frac{T_w}{2}$$



منابع

Wong J. Y Theory of Ground Vehicles (۱)

جزوات دکتر مهیار نراقی (۲)

Thomas D. Gillespie (۳)