

## تکلیف شبیه سازی ۱

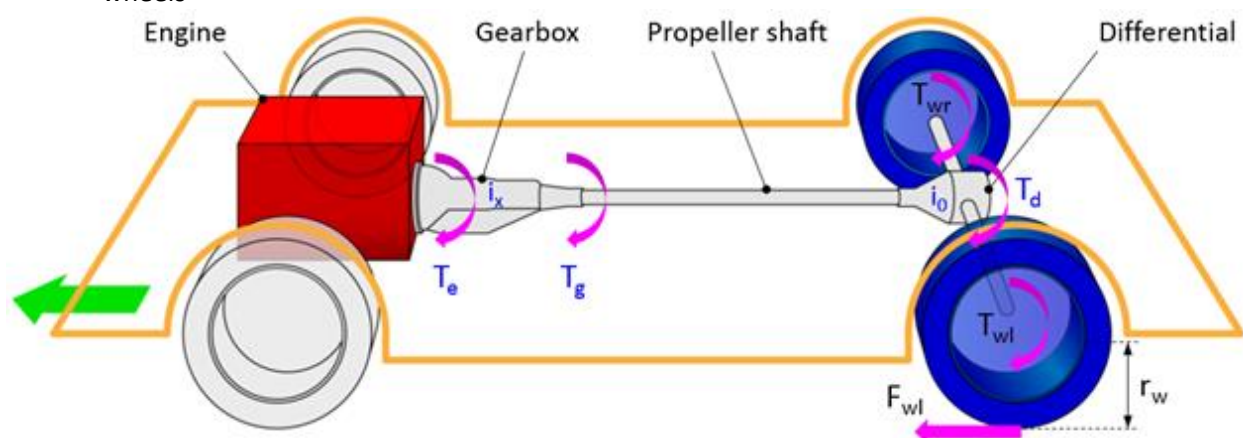
### مدل سازی و شبیه سازی شتاب و محاسبه حداکثر سرعت خودرو

در این تکلیف می خواهیم از یک مدل ریاضی ساده شده دینامیک طولی خودرو استفاده کنیم تا عملکرد شتاب خودرو (زمان صفر تا صد کیلومتر در ساعت) را ارزیابی کرده و حداکثر سرعت را تعیین کنیم.

#### ساختار خودرو

پیشراشه و سیستم انتقال قدرت یک خودرو دیفرانسیل عقب شامل اجزاء زیر است:

- engine
- torque converter (clutch)
- automatic (manual) transmission
- propeller shaft
- differential
- drive shafts
- wheels



برای سادگی فرضیات زیر را انجام می دهیم:

- موتور فقط منبع گشتاور است، بدون هیچ گونه مدل سازی ترمودینامیک یا اینرسی
  - موتور همیشه با بار کامل کار می کند
  - اثر مبدل گشتاور در نظر گرفته نشده است
  - تعویض دنده به صورت آنی انجام می شود
  - اثرات محورهای انتقال در نظر گرفته نمی شود
  - لاستیک ها شعاع ثابتی دارند و اثر لغزش در نظر گرفته نمی شود
- مدل ریاضی را بر اساس معادلات زیر در سیمولینک متلب پیاده سازی کنید.

#### معادلات ریاضی

حرکت وسیله نقلیه با معادله نیروهای طولی توصیف می شود:

$$F_t = F_i + F_s + F_r + F_a \quad (1)$$

که در آن:

$F_t$  [N] – نیروی کشش

$F_i$  [N] – نیروی مقاوم اینرسی

$F_s$  [N] – نیروی غلبه برشیب جاده

$F_r$  [N] – نیروی مقاومت غلطشی

$F_a$  [N] – نیروی مقاومت هوا

نیروی کشش به گشتاور موتور، نسبت دنده گیربکس، نسبت دنده دیفرانسیل و شعاع چرخ بستگی دارد:

$$F_t = \frac{T_e \cdot i_x \cdot i_0 \cdot \eta_d}{r_{wd}} \quad (2)$$

که در آن:

$T_e$  [Nm] – گشتاور موتور

$i_x$  [-] – نسبت دنده گیربکس

$i_0$  [-] – نسبت دنده دیفرانسیل

$\eta_d$  [-] – بازده کل سیستم انتقال قدرت

$r_{wd}$  [m] – شعاع دینامیکی چرخ

شعاع چرخ دینامیکی  $[m]$  شعاع چرخ در زمانی است که وسیله نقلیه در حال حرکت است. از شعاع چرخ استاتیک  $r_{ws}$  کوچکتر است زیرا تایر در حین حرکت خودرو کمی فشرده می‌شود.

$$r_{wd} = 0.98 \cdot r_{ws} \quad (3)$$

نیروی مقاوم اینرسی  $[N]$  از معادله زیر به دست می‌آید:

$$F_i = m_v \cdot a_v \quad (4)$$

که:

$m_v$  [kg] – جرم کل خودرو

$a_v$  [m/s<sup>2</sup>] – شتاب خودرو

جرم کل خودرو [کیلوگرم] شامل جرم خودروی، جرم راننده و یک ضریب جرم اضافی است. ضریب جرم تأثیر اجزای دوار (میل لنگ، محورهای گیربکس، میل گاردان، محورهای چرخ، چرخ‌ها و غیره) را بر اینرسی کل خودرو در نظر می‌گیرد.

$$m_v = f_m \cdot m_{cv} + m_d \quad (5)$$

که:

$f_m$  [-] – ضریب جرم

$m_{cv}$  [kg] – جرم خودروی

$m_d$  [m] – جرم راننده

نیروی مقاوم شیب جاده  $[N]$  از زیر معادله به دست می‌آید:

$$F_s = m_v \cdot g \cdot \sin(\alpha_s) \quad (6)$$

که:

$g$  [m/s<sup>2</sup>] – شتاب گرانشی

$\alpha_s$  [rad] – زاویه شیب جاده

نیروی مقاومت غلتشی [N] از معادله زیر به دست می‌آید:

$$F_r = m_v \cdot g \cdot c_r \cdot \cos(\alpha_s) \quad (7)$$

که:

$c_r$  [-] - ضریب مقاومت غلتشی

نیروی مقاومت هوا [N] از معادله زیر به دست می‌آید:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_d \cdot A \cdot v^2 \quad (8)$$

که:

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] - چگالی هوا در ۲۰ درجه سانتیگراد -

$c_d$  [-] - ضریب مقاومت هوا -

$A$  [m<sup>2</sup>] - سطح مقطع جلوی خودرو -

$v$  [m/s] - سرعت خودرو -

نیروی کشش توسط ضریب اصطکاک چرخ محدود می‌شود. حداکثر نیروی اصطکاک [N] عبارت است از:

$$F_f = m_v \cdot g \cdot \mu \cdot c_l \quad (9)$$

که:

$\mu$  [-] - ضریب اصطکاک -

$c_l$  [-] - نیروی وزن بر محور عقب -

با جایگزینی (۴) در (۱) و مرتب کردن معادله:

$$a_v = \frac{1}{m_v} [F_t - (F_s + F_r + F_a)] \quad (10)$$

با انتگرال گیری از رابطه (۱۰) سرعت خودرو [m/s] را بدست می‌آوریم:

$$v = \frac{1}{m_v} \int [F_t - (F_s + F_r + F_a)] dt \quad (11)$$

توان موتور در بار کامل از گشتاور موتور در بار کامل و دور موتور محاسبه می‌شود:

$$P_e = \frac{1.36}{1000} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot N_e \cdot T_e \quad (12)$$

که:

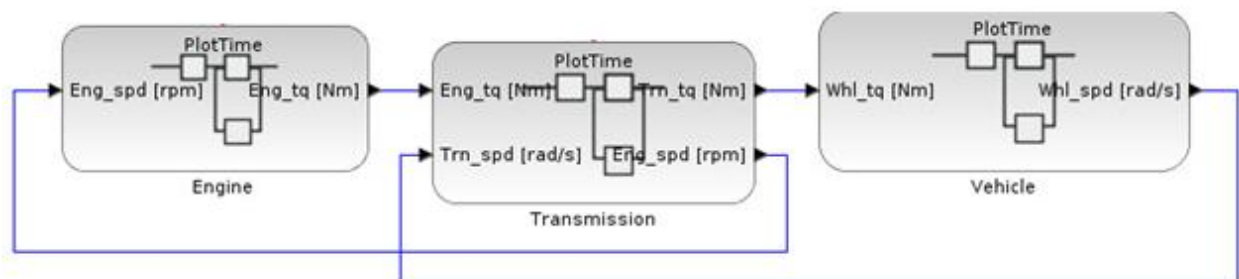
$P_e$  [HP] - توان موتور در بار کامل

$N_e$  [rpm] - دور موتور

$T_e$  [Nm] - گشتاور موتور در بار کامل

مدل سازی بلوک دیاگرامی

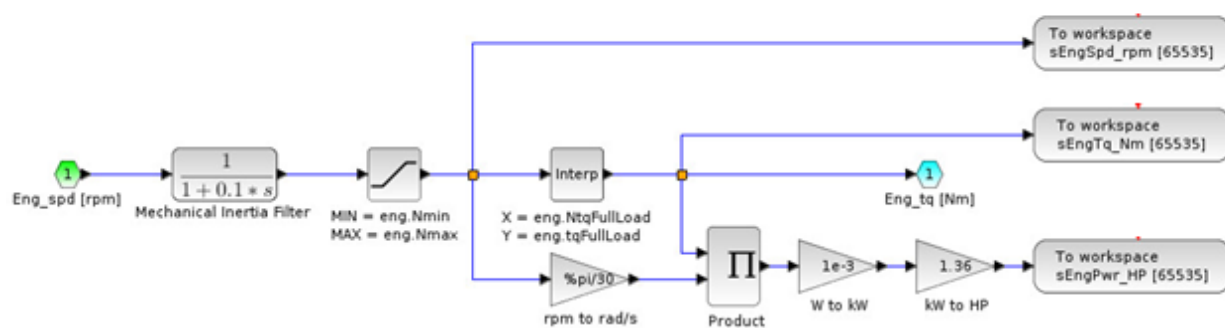
برای درک آسان تر، مدل را به ۳ زیر سیستم اصلی تقسیم می‌کنیم: Engine, Transmission و Vehicle



مدل بلوک دیگرامی کلی

خروجی مدل Engine گشتاور موتور است که به مدل Transmission داده می شود. مدل Transmission، گشتاور چرخ را تولید می کند که به مدل Vehicle وارد می شود. از روی سرعت چرخ در مدل Vehicle و نسبت دنده در مدل Transmission دور موتور در مدل Engine محاسبه می شود.

بلوک دیگرام مدل Engine

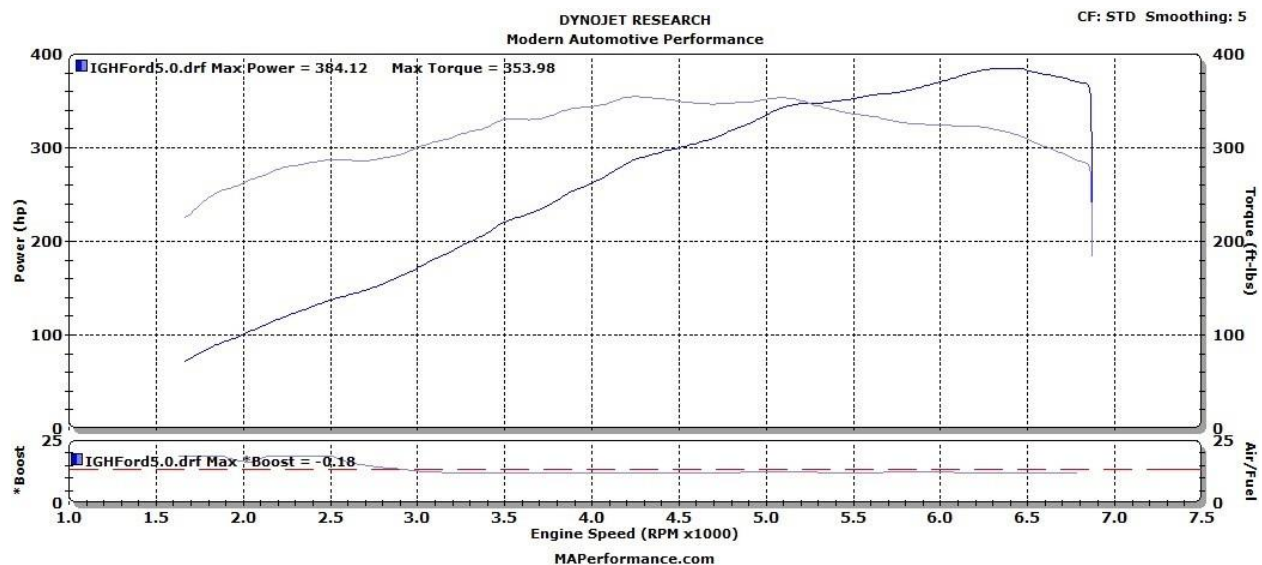


بلوک دیگرام مدل Engine

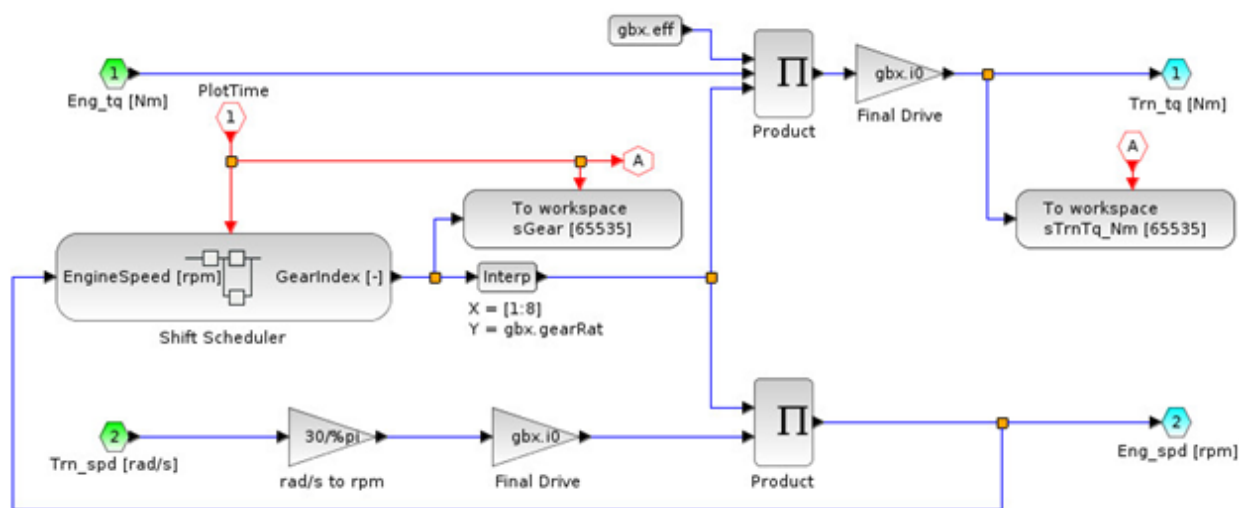
مدل موتور کاملاً ساده است. ورودی (دور موتور فعلی) فیلتر شده و به مقادیر حداقل و حداکثر محدود می شود. نقش فیلتر شبیه سازی اینرسی مکانیکی موتور است. بلوک اشباع اطمینان می دهد که دور موتور کمتر از دور بی بار (۱۰۰۰ دور در دقیقه) نمی شود و از حداکثر مقدار (۶۵۰۰ دور در دقیقه) بیشتر نمی شود. گشتاور موتور از بلوک Interp درون یابی می شود که ورودی آن دور موتور و خروجی آن گشتاور موتور در بار کامل است (برای محاسبه حداکثر شتاب خودرو فرض می شود پدال گاز همواره تا آخر فشار داده شده است). منحنی توان و گشتاور بر حسب سرعت موتور در بار کامل در شکل زیر نشان داده شده است. توجه کنید که یک ft/lb برابر 1.356 Nm است. برای انجام شبیه سازی می تواند منحنی را به صورت تکه ای خطی مدل کنید یا از برنامه های تبدیل منحنی به داده نظیر:

<http://markummitcheh.github.io/engauge-digitizer/>

استفاده کنید. در صورت نیاز به داده های خارج از بازه منحنی از برون یابی استفاده کنید.



### بلوک دیاگرام مدل Transmission



### بلوک دیاگرام مدل Transmission

مدل Transmission دو ورودی دارد:

- گشتاور موتور (دریافتی از مدل Engine)
  - سرعت گیربکس (که از مدل Vehicle می‌آید)
- و دو خروجی را محاسبه می‌کند:
- گشتاور گیربکس (به مدل Vehicle می‌رود)
  - سرعت موتور (به مدل Engine برگشت داده می‌شود)

نسبت دنده دیفرانسیل در مدل Transmission گنجانده شده است. بنابراین گشتاور گیربکس برابر با گشتاور چرخ و سرعت آن برابر با سرعت چرخ است. گشتاور گیربکس (چرخ) [Nm] از معادله زیر محاسبه می‌شود:



## بلوک دیاگرام مدل Vehicle

مدل خودرو گشتاور چرخ (گیربکس) را از زیر سیستم Transmission دریافت می‌کند. حداکثر نیروی اصطکاک بر اساس رابطه (۹) محاسبه می‌شود. نیروی کشش چرخ [N] بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_w = \frac{T_w}{r_{wd}} \quad (15)$$

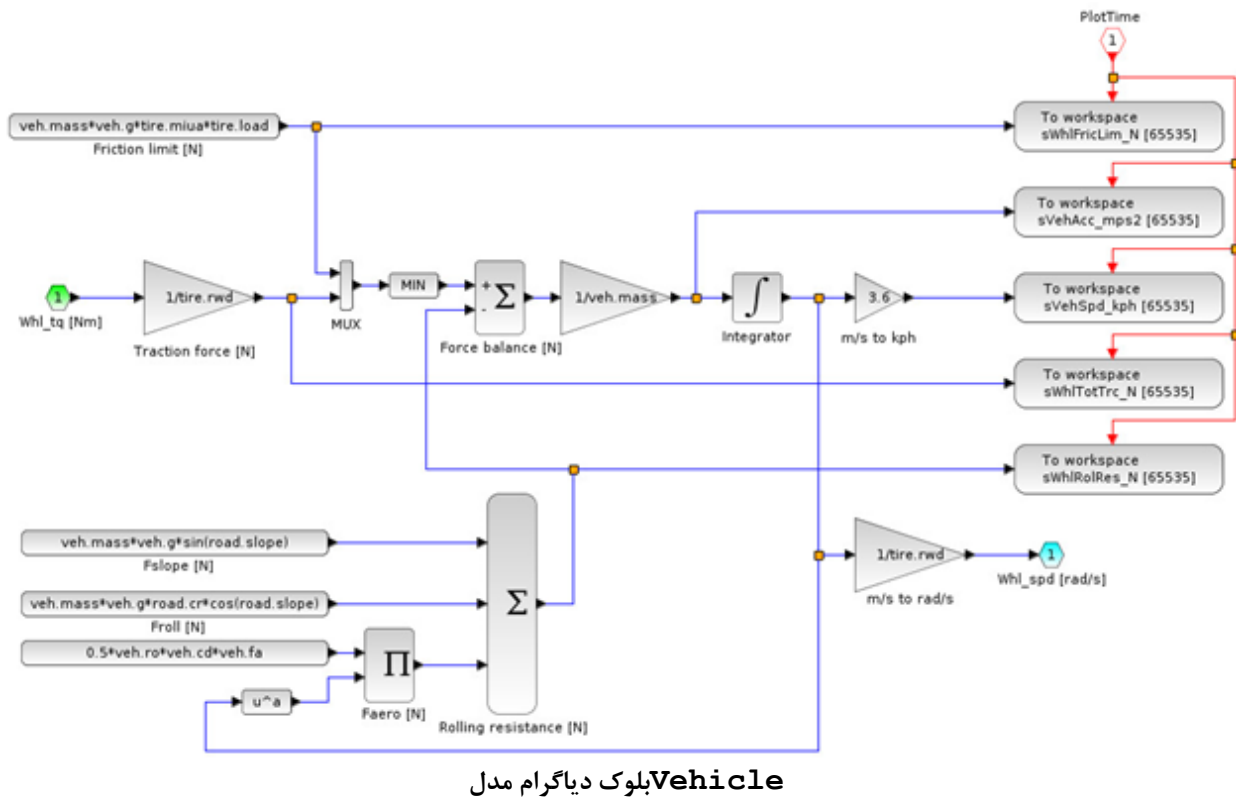
که  $T_w$  [Nm] گشتاور چرخ (برابر با گشتاور گیربکس) است.

نیروهای مقاوم بر اساس معادلات (۶)، (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند. بلوک انتگرالگیر معادله (۱۱) را نشان می‌دهد و خروجی آن سرعت خودرو است  $v$  [m/s]. خروجی انتگرالگیر از پائین به سرعت صفر محدود می‌شود. سرعت چرخ [rad/s] بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega_w = \frac{v}{r_{wd}} \quad (16)$$

که:

$v$  [m/s] – سرعت خودرو



## پارامترهای ورودی

پارامترهای خودرو از خودرو جگوار F-Type 16MY دیفرانسیل عقب (RWD) گرفته شده‌اند. در شبیه‌سازی از نامگذاری و مقادیر زیر برای پارامترهای خودرو استفاده کنید:

## Engine

eng.NmaxTq = 3500; [rpm] دور موتور برای حداکثر گشتاور

eng.NmaxPwr = 6500; [rpm] دور موتور برای حداکثر توان

eng.tqFullLoad = [306 385 439 450 450 367]; [Nm] منحنی گشتاور موتور در بار کامل

```
eng.NtqFullLoad = [1000 2020 2990 3500 5000 6500]; [rpm] محور دور موتور  
eng.Nmax = 6500; [rpm] حداکثر دور موتور  
eng.Nmin = 1000; [rpm] حداقل دور موتور
```

#### Transmission

```
gbx.gearMin = 1; پایین ترین دنده  
gbx.gearMax = 8; بالاترین دنده  
gbx.gearRat = [4.7 3.1 2.1 1.7 1.3 1.00 0.84 0.67]; نسبت دنده گیربکس  
gbx.i0 = 3.3; نسبت دنده دیفرانسیل  
gbx.eff = 0.85; بازده سیستم انتقال قدرت
```

#### Tires:

```
tire.W = 0.3; عرض لاستیک [m]  
tire.D = 20 * 0.0254; قطر رینگ [m]  
tire.H = 30*tire.W/100; ارتفاع تایر [m]  
tire.rws = tire.D/2 + tire.H; شعاع استاتیک چرخ [m]  
tire.rwd = 0.98 * tire.rws; شعاع دینامیک چرخ [m]  
tire.miua = 1.1; ضریب اصطکاک چرخ (لاستیک)  
tire.load = 0.6; نسبت بار (وزن) بر محور عقب
```

#### Vehicle

```
veh.mass_curb = 1400; جرم خودرو [kg]  
veh.mass_driver = 80; جرم راننده [kg]  
veh.mass_fm = 1.05; ضریب جرم  
veh.g = 9.81; شتاب گرانشی [m/s2]  
veh.cd = 0.3; ضریب مقاومت هوا  
veh.fa = 2.0; سطح مقطع [m2]  
veh.ro = 1.2; چگالی هوا [kg/m3]  
road.slope = 0; زاویه شیب جاده [rad]  
road.cr = 0.01; ضریب مقاومت غلتشی
```

### سوالات

شبیه سازی را برای ۵۰ ثانیه با شتاب در بار کامل انجام دهید:

الف) متغیرهای زیر را بر حسب زمان رسم کنید و در مورد نتایج بحث کنید:

سرعت موتور، گشتاور موتور، گشتاور چرخ، نیروی کشش، سرعت خودرو

ب) حداکثر سرعت خودرو و زمان شتاب ۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت را بیابید.