



روش های کنترلی موتور PMDC با استفاده از سیستم فوتوولتایی - باتری - چارپ و

کنترل کننده PID

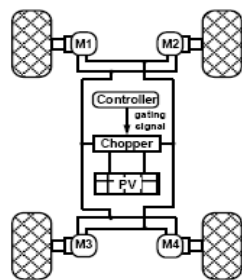
کریم حسینیلو، عباس شولایی

همچنین سرعت خروجی موتور $PMDC$ با تنظیم مناسب بهره تناسبی $(K_i - K_p - K_d)$ تابعی از تغییرات سرعت مرجع خواهد بود. [۱-۲]

۲- شبیه سازی سیستم پیشنهادی مولد خورشیدی با مدل دینامیکی موتور جریان مستقیم $PMDC$ با باتری و چارپ با

کنترل کننده PID

آلودگی زیست محیطی توسط وسائط نقلیه موتوری و به اتمام رسیدن سوخت های زیرزمینی گامی دوباره برای استفاده از وسائط نقلیه را توسط انرژی الکتریکی امکان پذیر می سازد از طرفی شارژ باتری ها طرف دیگر بحث می باشد که این ذخیره سازی توسط سیستم های فوتوولتایی انجام می شود. استفاده از سلول های خورشیدی با چهار موتور جریان مستقیم آهن ربای دایم ($PMDC$) به عنوان چهار چرخ وسیله نقلیه پیشنهادی مطرح می گردد که در شکل ۱- نشان داده شده است.



شکل ۱- مشخصات چهار چرخ وسیله نقلیه متصل شده به چهار موتور $PMDC$ استفاده از مغناطیس دایم در استاتور این موتورها بازده را بالا می برد توان الکتریکی در استاتور مصرف نمی شود و مهمتر از همه این ها، کنترل سرعت یا دور موتور در این نوع موتورهای $PMDC$ راحت تر است و این ها می توانند از مزایا باشند. [۳]

۱-۲ مولدهای خورشیدی سیستم پیشنهادی

طبق شکل ۲- منبع تغذیه توسط مولد خورشیدی و باتری و چارپ و سیستم کنترلی توسط PID انجام می گیرد. [۳]

چکیده - کنترل وسائط صنعتی بخصوص وسائط نقلیه با استفاده از چهار موتور الکتریکی آهن ربای دایم ($PMDC$) توسط PID می باشد. ورودی این کنترل کننده ها به صورت ۱- یک حلقه ای سرعت و ۲- دو حلقه ای جریان - سرعت و ۳- سه حلقه ای جریان - سرعت - قدرت خواهد بود. منبع تغذیه توسط سیستم های فوتوولتایی و باتری بوده که با مدل دینامیکی موتور و چارپ توسط برنامه مطلب-سیمولینک شبیه سازی می شود و با استفاده از ماتریس فضای حالت ورودی ها شامل ولتاژ باتری و گشتاور بار و خروجی ها سرعت و جریان آرمیچر موتور الکتریکی ($PMDC$) می باشد. طبق مقایسه نتایج بدست آمده بهترین روش کنترلی انتخاب می گردد.

کلید واژه - انرژی خورشیدی ، سیستم فوتوولتایی، چارپ، کنترل کننده PID، مدل DC-DC

۱- مقدمه

سلول های خورشیدی انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی نوع DC تبدیل می کند. ولتاژ خروجی تابعی از دما و تابش خورشید می باشد. این سلول ها از نظر هزینه گران بوده و دارای بازده کمتری می باشند و در مکان های دور دست و مصارف فضایی و وسائط صنعتی و نقلیه موتوری برای تولید توان به کار می روند. به عنوان یکی از کاربردهای سلول خورشیدی و چارپها و سیستم تغذیه و کنترلی وسیله نقلیه چهار چرخ نوع PID در برنامه نرم افزاری مطلب-سیمولینک مدل سازی و شبیه سازی خواهد شد و نتایج حاصل از اجرای برنامه های کنترل کننده یک حلقه ای سرعت و دو حلقه ای سرعت - جریان و سه حلقه ای سرعت - جریان - قدرت با هم مقایسه خواهند شد و باتوجه به ریبیل یا ضرابان خروجی های بدست آمده، روش کنترلی سه حلقه ای با PID انتخاب می گردد و

کریم حسینیلو ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه علم و صنعت، (hosseinlow@yahoo.com)

عباس شولایی ، دکتری مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت، shulaie@iust.ac.ir

a : فاکتور دیودی [۴]

مؤد خورشیدی از روی رابطه ۵- مدل سازی می شود و ضرایب درجه حرارت و تابش را در مدل لحاظ کرده و برای شبیه سازی در سیمولینک- مطلب آماده می شود. [۱-۳]

$$C_{TV} = 1 + \beta_T (T_a - T_x) \quad (۹)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_c} (T_x - T_a) \quad (۱۰)$$

C_{TV} : ضریب درجه حرارت برای ولتاژ خروجی
 C_{TI} : ضریب درجه حرارت برای جریان در اثر تابش نور خورشیدی
 S_c : نقطه کاری در اثر تابش (۱۰۰٪)
 در این مدل ثابت های $\beta_T = 0.004$ و $\gamma_T = 0.06$ و درجه حرارت محیط ۲۰ درجه سانتی گراد انتخاب می شوند. [۵-۶]

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \alpha_s (S_x - S_c) \quad (۱۱)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_c} (S_x - S_c) \quad (۱۲)$$

C_{SV} : ضریب تابش نور خورشیدی برای ولتاژ خروجی سلول
 C_{SI} : ضریب تابش نور خورشیدی برای جریان (I_{ph})
 S_x : تابش نور خورشید

و ضریب ثابت تابش نور خورشید $(\alpha_s = 0.2)$ انتخاب می شود.

$$V_{CX} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_c = V_{cell} \quad (۱۳)$$

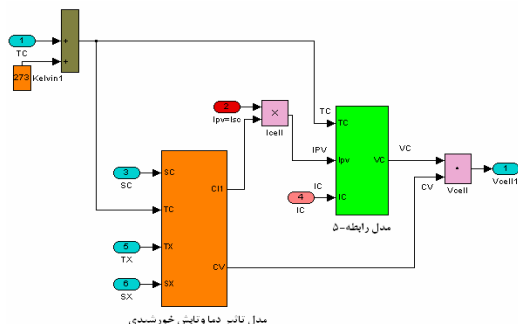
$$I_{phX} = C_{TI} \times C_{SI} \times I_{ph} = I_{cell} \quad (۱۴)$$

$$V_{PV} = V_{cell} \times N_s \quad (۱۵)$$

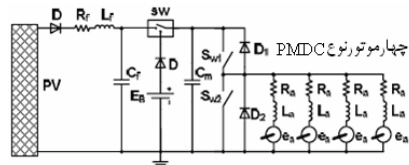
$$I_{PV} = I_{sc} \times C_{TI} \times C_{SI} \quad (۱۶)$$

$$I_{PV} = I_c \times N_p \quad (۱۷)$$

I_{SC} : جریان اتصال کوتاه سلول خورشیدی در حدود ۵ آمپر می باشد. بعد از جایگزینی مقادیر ثابت از جدول ۱- بلوک های مربوطه طراحی می شود. [۱-۳]



شکل ۴- قسمت اول مدل سیستم فوتولتایی



شکل ۲- سیستم پیشنهادی موتور مغناطیس دائم برای سیستم محرکه وسیله نقلیه

۲-۲- مدل سازی سیستم فوتولتایی

۱- شکل ۳- مدار معادل تک دیودی آرایه خورشیدی را

نشان می دهد که طبق قانون کیرشهف جریان

خروجی آرایه (I) است با: [۴]

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_{sh}} \quad (۱)$$

و با توجه به ولتاژ دوسر دیود V_d رابطه زیر نوشته می شود:

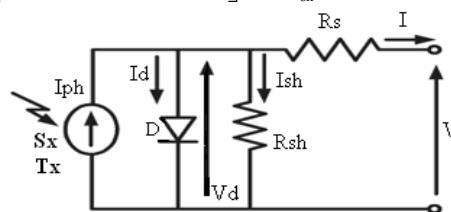
$$V_d = V + R_s I \quad (۲)$$

و جریان I دیود نیز از رابطه ۳- بدست می آید:

$$I_d = I_o \left\{ \exp\left(\frac{eV_d}{akT}\right) - 1 \right\} \quad (۳)$$

و با جایگذاری روابط ۲ و ۳ در رابطه ۱- مقدار جریان خروجی طبق رابطه - ۴ بدست می آید:

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left\{\frac{e}{akT}(V + R_s I)\right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (۴)$$



شکل ۳- مدل معادل سلول خورشیدی

از مقاومت شنت تبدیل کوچک بودن صرف نظر می کنیم و رابطه ۴- بصورت زیر نوشته می شود:

$$V = \frac{akT}{e} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_o - I}{I_o}\right) - I R_s \quad (۵)$$

در رابطه ۵-

V : ولتاژ سلول فوتولتایی [ولت]

I : جریان سلول فوتولتایی [آمپر]

I_{ph} : جریان هر سلول در اثر تابش نور خورشیدی [آمپر]

I_o : جریان معکوس اشباع هر سلول خورشیدی [آمپر]

e : شارژ الکترونی (1.6×10^{-19}) [کولن]

k : ضریب بولتزمن (1.38×10^{-23}) [ژول بر درجه کلین]

R_s : مقاومت سری هر سلول خورشیدی [اهم]

T : درجه حرارت کاری هر سلول بر حسب کلین می باشد.

از طرفی مجموع گشتاورهای موتور باید برابر صفر شود بنابراین:

$$(20)$$

$$T_e(k) - J \frac{d\omega_m(k)}{dt} - B\omega_m(k) - T_l(k) = 0$$

J : ثابت اینرسی

B : ضریب اصطکاک چرخشی یا میرایی

گشتاورالکترو مغناطیسی نسبت مستقیم با جریان عبوری از سیم پیچی آرمیچر دارد و طبق رابطه زیر نوشته می شود:

$$T_e = K_T \cdot I_a \quad (21)$$

$$K_T \cdot I_a - J \frac{d\omega_m(k)}{dt} - B\omega_m(k) - T_l(k) = 0$$

با تقسیم طرفین به J رابطه ۲۲ بدست می آید:

$$\frac{d\omega_m(k)}{dt} = \frac{K_T \cdot I_a}{J} - \frac{B\omega_m(k)}{J} - \frac{T_l(k)}{J} \quad (22)$$

گشتاور بار بوسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_L = K_0 + K_1 \cdot \omega_m + K_2 \cdot \omega_m^2 \quad (23)$$

غیرخطی بودن J و B به شکل معادلات زیر می باشد:

$$B_m = B_0 + B_1 \cdot \omega_m + B_2 \cdot \omega_m^2 \quad (24)$$

$$J_m = J_0 + J_1 \cdot \omega_m + J_2 \cdot \omega_m^2 \quad (25)$$

با نوشتن مجدد روابط ۱۹ و ۲۲ معادلات دیفرانسیل داریم:

$$\frac{dI_a(k)}{dt} = \frac{V_m(k)}{L_m} - \frac{R_m \cdot I_a(k)}{L_m} - \frac{K_T \cdot \omega_m(k)}{L_m}$$

$$\frac{d\omega_m(k)}{dt} = \frac{K_T \cdot I_a}{J} - \frac{B\omega_m(k)}{J} - \frac{T_l(k)}{J}$$

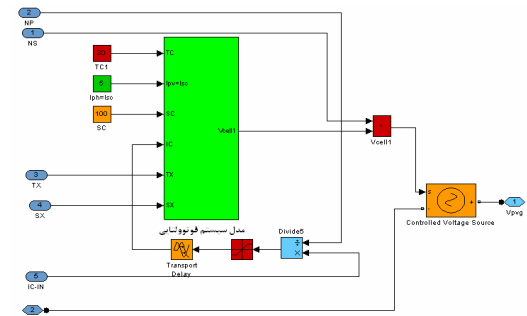
باتوجه به رابطه عمومی ماتریس فضای حالت:

$$\frac{d}{dt} [X] = [A][X] + [B][U] \quad (26)$$

دراین رابطه ماتریس $[X]$ خروجی و ماتریس $[U]$ ورودی می باشد از روی معادلات دیفرانسیل برای حالت فضای حالت برای جریان آرمیچر و سرعت زاویه ای نوشته می شود:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -\frac{R_m}{L_m} & -\frac{K_T}{L_m} \\ \frac{K_T}{J} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_m} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ T_l \end{bmatrix}$$



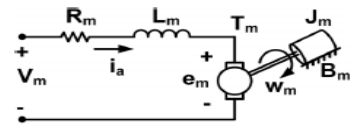
شکل ۵- قسمت دوم مدل سیستم فوتولتایی

۲-۳- مدل موتورهای الکتریکی جریان مستقیم با آهن-

رهای دایم PMDC

موتورهای الکتریکی انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند و موتورهای PMDC نوع دیگری از موتورهای جریان مستقیم می باشد که دارای جاروبک و آهن رهای دایم در استاتور می باشد زیرا که استفاده از مغناطیس دایم در استاتور، بازده و کارایی موتور جریان مستقیم را بالا برده و برای تحریک میدان مغناطیسی در استاتور استفاده می شود و به همین دلیل استاتور این نوع موتورها به مصرف توان الکتریکی نیاز نخواهند داشت. شکل ۶- مدار معادل موتور DC مغناطیس دایم را نشان می-

دهد: [۲] [۶]



شکل ۶- مدار معادل موتور DC

سیم پیچی آرمیچر موتور DC بوسیله القاءگر L_m که سری با مقاومت آرمیچر R_m شده و تولید ولتاژ e_m یا نیروی محرکه الکتریکی در دوسرموتور می نماید که مخالف ولتاژ منبع V_m است و از طریق جاروبک به روتور چرخان وصل شده و باعث چرخیدن روتور می شود. معادلات دیفرانسیل برای مدار معادل شکل ۱۵- طبق قانون ولتاژها یا کیرشهف بدست می آید: [۲]

$$V_m(k) = R_m \cdot I_a(k) + L_m \frac{dI_a(k)}{dt} + E_m(k) \quad (18)$$

۲- با فرض $E_m(k) = K_E \cdot \omega_m(k)$ زمانیکه: $K_E = K_T^{-1}$ بود با ثابت بودن جریان معادله دیفرانسیل رابطه ۱۸- بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$V_m(k) = R_m \cdot I_a(k) + L_m \frac{dI_a(k)}{dt} + K_T \cdot \omega_m(k)$$

$$L_m \frac{dI_a(k)}{dt} = V_m(k) - R_m \cdot I_a(k) - K_T \cdot \omega_m(k)$$

با تقسیم طرفین به L_m رابطه ۱۹- بدست می آید:

$$(19)$$

$$\frac{dI_a(k)}{dt} = \frac{V_m(k)}{L_m} - \frac{R_m \cdot I_a(k)}{L_m} - \frac{K_T \cdot \omega_m(k)}{L_m}$$

حالت ولتاژ و جریان آرمیچر هر دو مثبت هستند و در حالت ترمز برگشت قدرت، چاپر در ربع دوم کار می کند به طوری که ولتاژ آرمیچر مثبت و جریان آن منفی است. در حالت کنترل قدرت، کلید SW_1 و دیود D_2 عمل می کند. وقتی کلید SW_1 روشن شود ولتاژ مولدخوشیدی ویا باتری به ترمینال های موتورها وصل می شود و موتورها شروع به کار می کنند. وقتی کلید SW_1 خاموش شود، جریان آرمیچر که از دیود هرزگرد D_2 می گذرد کاهش می یابد. در حالت کنترل ترمز برگشت قدرت، کلید SW_2 و دیود D_1 عمل می کند. وقتی کلید SW_2 روشن شود، چهار موتور $PMDC$ جریان مستقیم به صورت ژنراتور عمل کرده و جریان می یابد. وقتی کلید SW_2 خاموش شود، موتور به صورت ژنراتور عمل کرده و انرژی را از طریق دیود برگشت قدرت D_1 به منبع بر می گرداند. [۸][۵] ۲-

۲-۴- کنترل کننده PID

کنترل کننده PID بعنوان مشتق گیر و انتگرال گیر واقع می شود. کنترل کننده ها برای رفع نیاز کار کرد دستگاه ها با کارایی دقیق و برای تنظیم خودکار متغیرها جهت نگه داشتن فرآیندها با مقادیر مرجع طراحی می شوند. این کنترل کننده ها ترکیبی از کنترل کننده های PD مشتق گیر و PI انتگرال گیر می باشد عملیات کنترلی PD در ناحیه فرکانس بالا و PI در ناحیه فرکانس پایین صورت می گیرد. بنابراین از کنترل کننده های PID می توان هم حالت گذرا و هم حالت ماندگاری سیستم را بهبود بخشید و مهم ترین نکته در استفاده از کنترل کننده PID تنظیم مناسب بهره های تناسبی (K_f, K_p, K_i) می باشد که طبق جدول ۱- در بلوک شبیه سازی مطلب- سیمولینک $K_p=150$ و $K_i=5$ و $K_f=2$ انتخاب می شوند. [۲][۷]

۲-۵- کنترل کننده PID با ورودی یک حلقه ای سرعت

شکل ۹- کنترل کننده PID با ورودی یک حلقه ای سرعت را نشان می دهد. در این شکل ω_m سرعت خروجی موتور $PMDC$ و ω_{ref} سرعت مرجع و e_w خطای سرعت و e_t خطای کلی و PID نوع کنترل کننده می باشد. [۷][۷]

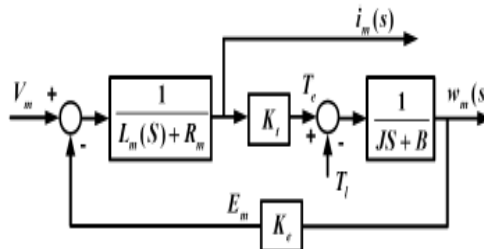


شکل ۹- کنترل کننده PID با ورودی یک حلقه ای سرعت

خروجی کنترل کننده توسط پالس های PWM برای تحریک گیت چاپرها هدایت می شود. شکل ۱۲- نتیجه شبیه سازی سرعت خروجی با کنترل کننده یک حلقه ای- سرعت با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه می باشد. با توجه به نمودار سرعت خروجی دارای ضربان یا ریبیل های تکراری در اثر کلیدزنی چاپر می باشد. و شکل ۱۳- نتیجه شبیه سازی جریان خروجی و گشتاور الکترومغناطیسی را نشان می دهد در این حالت دور موتور نوسان خواهد کرد برای رفع این عیب کنترل کننده با ورودی سه حلقه ای مناسب است. [۷]

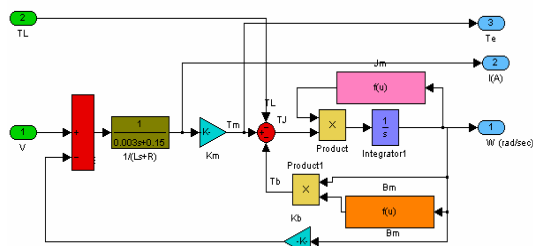
۲-۶- کنترل کننده PID با ورودی دو حلقه ای سرعت- جریان

در رابطه فوق $\begin{bmatrix} V_m \\ T_l \end{bmatrix}$ ورودی و $\begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix}$ خروجی هستند. J_1, J_2, J_0, K_1 و K_2 و B_0, B_1 و B_2 ضرایبی هستند که باید انتخاب شوند. و به صورت عددی در جدول ۱- آورده شده است. بعد از بردن هر معادله به شکل تبدیل لاپلاس، آن ها را در محل بلوک خود می گذاریم و بلوک دیاگرام یا بلوک هفرون فلیپ موتور با آن ربا می دایم را طبق شکل ۷- طراحی می شود: [۲]



شکل ۷- بلوک دیاگرام موتور با این ربا می دایم $PMDC$

طبق شکل ۷- معادلات بدست آمده جهت شبیه سازی رفتار دینامیکی موتور به حالت لاپلاس برده می شود که شکل ۸- مدل شبیه سازی موتور $PMDC$ را نشان می دهد. طبق جدول ۱- ولتاژ ورودی را برابر ۳۶ ولت و مقادیر سلف $L=3$ میلی هانری و مقاومت $R=0.15$ اهم و مقادیر ثابت J_m و B_m را با استفاده از روابط ۲۴- و ۲۵ و مقدار ورودی گشتاور بار را از رابطه- ۲۳ محاسبه کرده و در بلوک های مربوطه شبیه سازی می شوند. توضیح اینکه سرعت نسبی یا سرعت واقعی با توجه به سرعت مرجع ورودی می تواند ثابت و یا متغیر باشد که در ضمیمه ۱- نتایج شبیه سازی مشاهده خواهند شد. [۲][۷]



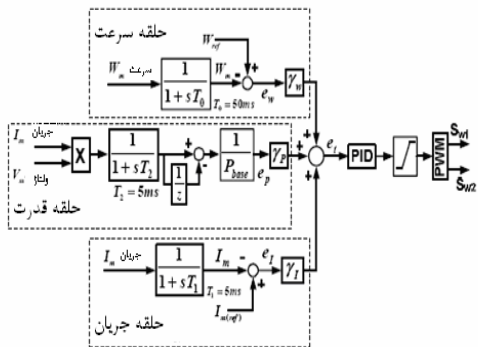
شکل ۸- مدل شبیه سازی موتور $PMDC$ با استفاده از نرم افزار مطلب- سیمولینک

۲-۴- چاپر یا مبدل DC-DC

بعد از مدل سازی و شبیه سازی موتور $PMDC$ مرحله مبدل $DC-DC$ یا چاپر است که در این سیستم پیشنهادی از چاپر دوربعی استفاده شده است این چاپر از دو کلید قدرت $IGBT$ و دو دیود D_1 و D_2 با هم یک پل راتشکیل می دهند و به صورت بلوک آماده در مطلب- سیمولینک می باشد و با تعریف هر یک از مقادیر مربوطه بخصوص گیت کنترلی آن توسط پالس PWM ، شبیه سازی این سیستم اجرا می گردد. به چاپر استفاده شده برای چهار موتور سری جریان مستقیم در شکل ۲- محرک چاپری دوربعی نیز می گویند. در مدت کنترل قدرت، چاپر در ربع اول کار می کند در این

دینامیکی موتور وارد بلوک فیلتر سرعت در حوزه لاپلاس با تابع تبدیل $\frac{1}{T_0 S + 1}$ در حلقه کنترلی سرعت می شود و $T_0 = 50$ میلی ثانیه خواهد بود از طرفی سرعت این موتور با لحاظ کردن ولتاژ ورودی برابر ۳۶ ولت و گشتاور بار و مقادیر ثابت ضریب میرایی B و ضریب اینرسی J از جدول ۱- در ۱۵۶ رادیان بر ثانیه ثابت می باشد که این سرعت با سرعت مرجع بصورت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه مقایسه شده و در صورت داشتن خطا در نمایشگر e_ω می توان مشاهده نمود:

$$\omega_{ref} - \omega_m = e_\omega \quad (29)$$



شکل ۱۱-کنترل کننده دینامیکی PID با ورودی سه حلقه‌ای سرعت- جریان - قدرت

شکل ۱۶- نتیجه شبیه‌سازی سرعت خروجی با کنترل کننده سه حلقه‌ای سرعت-جریان-قدرت موتور PMDC سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه را نشان می‌دهد. طبق نمودار سرعت خروجی نسبت به دو حالت قبلی، صاف و بدون ضربان یا ریبیل تکراری می‌باشد و شکل ۱۷- جریان خروجی و گشتاور الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد. در این حالت دور موتور نوسان نداشته و سرعت خروجی مطلوب خواهد بود. بنابراین روش کنترلی سه حلقه‌ای سرعت-جریان-قدرت از دوروش قبلی بهتر می‌باشد. در ضمیمه ۱- شبیه‌سازی‌های انجام شده، سرعت خروجی بر اساس سرعت مرجع ثابت و متغیر (شتاب دار-ثابت-ترمی) می‌باشد. [۱][۲][۶]

۲-۶- حلقه کنترل جریان

این حلقه از مجموع خروجی جریان آرمیچر مدل سازی شده (I_a) و خروجی جریان سیستم فوتوولتایی و جریان مرجع $187/8$ آمپر تشکیل شده است طبق رابطه ۳۰- جریان آرمیچر از جریان مرجع توسط تفریق کننده، کمتر شده و در نمایشگر e_i مقدار خطای جریان قابل مشاهده است:

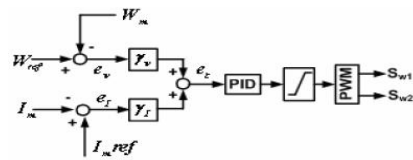
$$I_{ref} - I_a = e_i \quad (30)$$

این خطا به ضریب وزنی خطای جریان γ_i ضرب می‌شود ($e_i \cdot \gamma_i$) و قسمت دوم رابطه ۲۸- خطای کلی یا e_i را می‌سازد و به بلوک جمع کننده سه ورودی جهت جمع خطای سه حلقه سرعت-قدرت-جریان می‌رود در این شبیه‌سازی مقدار γ_i را برابر عدد ثابت ۰/۱ انتخاب می‌شود این خطا نیز به نحوی خود را در خطای کلی e_i نمایان می‌کند که نمودار آن در ضمیمه ۱- شبیه‌سازی می‌باشد. [۱][۲][۵]

شکل ۱۰- کنترل کننده PID با ورودی دو حلقه‌ای سرعت-جریان را نشان می‌دهد. در این شکل I_m جریان خروجی موتور PMDC و I_{ref} جریان مرجع و e_i خطای جریان و e_ω خطای کلی و PID نوع کنترل کننده می‌باشد و مقدار آن برابر رابطه زیر می‌باشد:

$$e_i = \gamma_w \cdot e_w + \gamma_l \cdot e_l \quad (27)$$

شکل ۱۴- نتیجه شبیه‌سازی سرعت خروجی با کنترل کننده دو حلقه‌ای- سرعت-جریان با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه می‌باشد. با توجه به نمودار سرعت خروجی دارای ضربان یا ریبیل‌های تکراری کمتری نسبت به حالت قبلی دارد و شکل ۱۵- نتیجه شبیه‌سازی جریان خروجی و گشتاور الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد در این حالت دور موتور نوسان کمتری خواهد کرد. برای رفع این نقصان از روش کنترلی سه حلقه‌ای سرعت-جریان-قدرت استفاده می‌شود. [۱][۷]



شکل ۱۰-کنترل کننده PID با ورودی دو حلقه‌ای سرعت- جریان

۲-۷- کنترل کننده PID با ورودی سه حلقه‌ای سرعت-

جریان- قدرت

مشخصات کنترل PID در شکل ۱۱- نشان داده شده است. ورودی کنترل کننده PID از سه حلقه کنترلی سرعت-جریان-قدرت تشکیل می‌شود سیستم کنترل PID شامل سه حلقه می‌باشد. کنترل کننده‌های دینامیکی جدیداً با سه حلقه تثبیت کننده به نام های ۱- سرعت موتور ۲- حلقه محدود کننده جریان ۳- حلقه قدرت موتور توسعه یافتند.

خطای قدرت دینامیکی $e_p(k)$ طبق رابطه زیر تعریف می‌شود: [۱][۲][۶]

$$e_p = \frac{P(k) - P(k-1)}{P_{base}} \quad (27)$$

وقتی که $P = \frac{V_m \times I_m}{(1 + ST_1)}$ متوسط قدرت لحظه ای موتور را بیان می‌کند.

کنترل سیگنال خطا (e_i) بطور عمده از جمع خطا های سه حلقه مکمل به نام های ۱- سرعت موتور ۲- جریان موتور ۳- قدرت موتور می‌باشد که مضریبی از ضرایب وزنی سه حلقه γ_w و γ_l و γ_p خواهد بود:

$$e_i = \gamma_w \cdot e_w + \gamma_l \cdot e_l + \gamma_p \cdot e_p \quad (28)$$

ضرایب وزنی حلقه γ_w و γ_l و γ_p برای عملکرد بهینه دینامیکی پایدار با پاسخ سریع طراحی می‌شوند. خطاهای عمده به بلوک کنترل کننده PID می‌روند. بعد از تجزیه و تحلیل کردن سیگنال ها در داخل بلوک، خروجی کنترل کننده PID بوسیله محدود کننده، محدود می‌شود.

۲-۵- حلقه کنترل سرعت

در این شبیه‌سازی سرعت نسبی یا واقعی موتور PMDC برابر $\omega = 156$ رادیان بر ثانیه بوده و به‌عنوان خروجی در ماتریس فضای حالت در مدل

۷-۲- حلقه کنترل توان

مجموع خروجی جریان آرمیچر مدل سازی شده (I_a) و خروجی سیستم فوتولتایی توسط ضرب کننده به ولتاژ خروجی سیستم فوتولتایی رفته و توسط یک بلوک ضرب کننده طبق رابطه ۳۱- تحت تابع تبدیل که فیلتر توان بوده ضرب می شود و توان حاصل را در نمایشگر $P(k)$ نمایش می دهد: [۲]

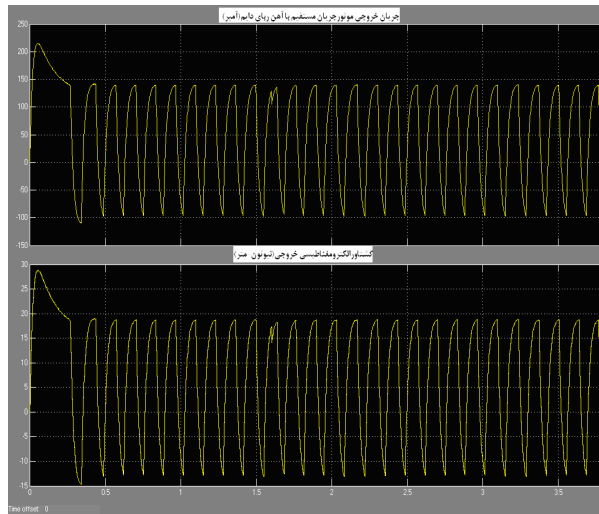
$$P = \frac{V_m \times I_m}{(1 + ST_1)} \quad (31)$$

توان مذکور به ورودی یک واحد تاخیری رفته و توان $P(k-1)$ را ایجاد می کند که توسط نمایشگر قابل مشاهده می باشد و حاصل تفاضل این دو توان به توان مبنا که در اینجا ۱۰۰۰ وات در نظر گرفته ایم تقسیم می شود و طبق رابطه ۳۲- خطای توان (ep) بدست می آید:

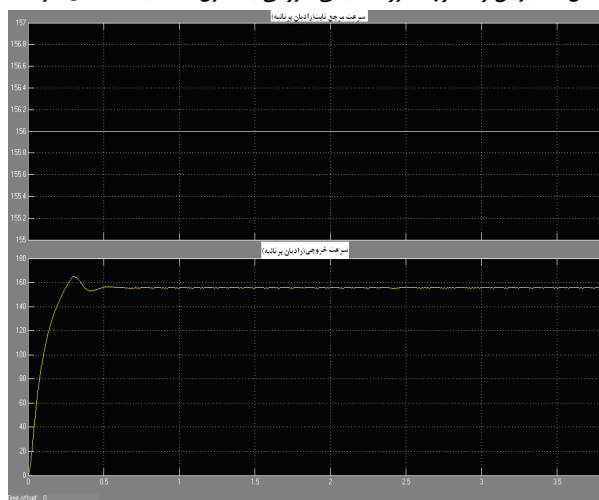
$$e_p = \frac{P(k) - P(k-1)}{P_{base}} \quad (32)$$

مقدار خطای توان (ep) در ظریب وزنی γ_p ضرب شده و به جمع کننده سه ورودی مربوط به خطای کلی (et) می رود تا قسمت سوم رابطه ۲۸- را ایجاد نماید و حلقه کنترل توان را تشکیل دهد در این شبیه سازی- مقدار γ_p طبق جدول ۱- برابر عدد ثابت ۱ فرض می شود نمودار (ep) و گراف $P(k)$ و $P(k-1)$ در ضمیمه ۱- آمده است.

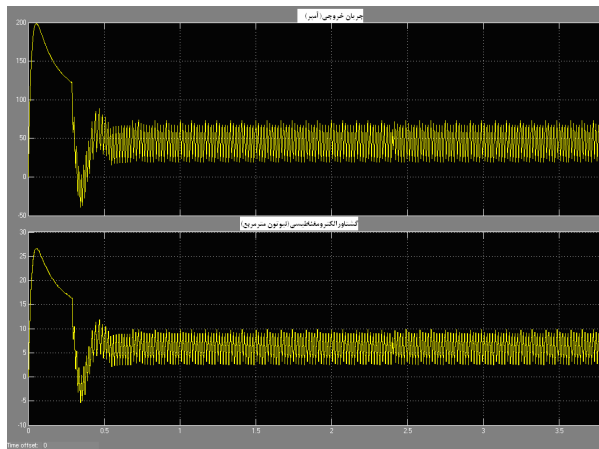
در ضمیمه ۱ شکل های ۱۹ تا ۲۲ مربوط به نتایج شبیه سازی سیستم - پیشنهادی با مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه بوده و شکل های ۲۳ تا ۲۹ مربوط به نتایج شبیه سازی سرعت مرجع متغیر به صورت شتاب دار تا ۱۵۶ رادیان بر ثانیه - ثابت - ترمزی می باشد. [۵] [۲-۱]



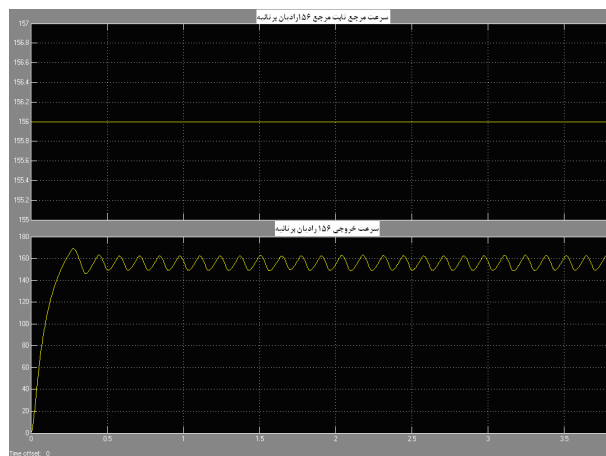
شکل ۱۳- جریان و گشتاور الکترومغناطیسی خروجی با کنترل کننده یک حلقه ای سرعت



شکل ۱۴- سرعت خروجی موتور PMDC سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه با کنترل کننده دو حلقه ای سرعت-جریان



شکل ۱۵- جریان و گشتاور الکترومغناطیسی خروجی با کنترل کننده دو حلقه ای سرعت-جریان



شکل ۱۲- سرعت مرجع ثابت و سرعت خروجی با کنترل کننده یک حلقه ای سرعت

جدول ۱- مقادیر استفاده شده در شبیه سازی موتور الکتریکی PMDC

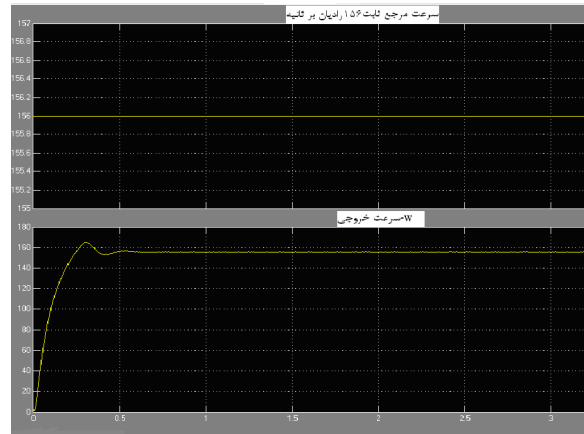
منبع ولتاژ	V_m	۳۶ ولت
اندوکتانس یا القاءگر	L_m	۳ میلی هانری
مقاومت	R_m	۰/۱۵ اهم
نیروی محرکه الکتریکی	e_m	ولت
سرعت واقعی	$\omega_{a-rated}$	۱۵۶ رادیان بر ثانیه
ثابت نیروی محرکه الکتریکی	K_e	۰/۲ ولت- ثانیه بر رادیان
گشتاور الکترومغناطیسی	T_e	نیوتن- متر
ضریب وزنی سرعت موتور	γ_{ω}	۱۰
ضریب وزنی جریان موتور	γ_i	۰/۱
ضریب وزنی قدرت موتور	γ_p	۱
ثابت نسبت	K_p	۱۵۰
ثابت انتگرالی	K_i	۵
ثابت مشتق	K_d	۲

فیلترهای ورودی:
 $R_f=۰/۰۵$ اهم و $L_f=۰/۰۵$ هانری و $C_f=۲۰ \times 10^{-6}$ فاراد
 ثابت های گشتاور بار
 $K_0=۰/۹$ و $K_1=۲/۹ \times 10^{-2}$ و $K_2=۶۶ \times 10^{-6}$
 ثابت های اصطکاک چرخشی
 $B_0=۵/۷ \times 10^{-2}$ و $B_1=۲۵ \times 10^{-6}$ و $B_2=۰/۰۴۲۲ \times 10^{-6}$
 ثابت های اینرسی موتور
 $J_0=۱۴/۴۴ \times 10^{-3}$ و $J_1=۶۲/۶ \times 10^{-6}$ و $J_2=۱/۰۶ \times 10^{-6}$

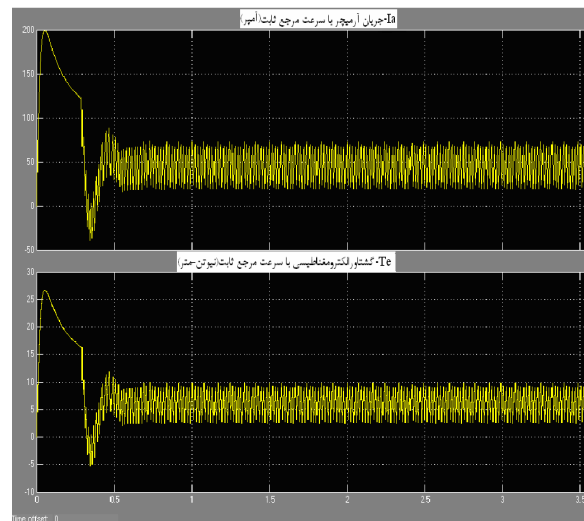
۳- نتیجه گیری

به عنوان یکی از کاربردهای سیستم های فوتوولتایی و چارپراها ، سیستم تغذیه یک وسیله نقلیه چهار چرخ با موتور جریان مستقیم آهن ربای دایم (PMDC)، سیستم پیشنهادی مورد مدل سازی و شبیه سازی قرار گرفت و نتایج روش های کنترلی یک حلقه-ای-سرعت و دو حلقه ای-سرعت-جریان و سه حلقه ای-سرعت-جریان-قدرت با کنترل کننده های PID مشاهده گردید. مطابق نمودارها کنترل کننده سه حلقه ای دارای موج صاف و بدون ریپل یا ضرابان بود که به صورت روش کنترلی خوب انتخاب می گردد. نقش چارپراها یا مبدل های DC-DC با کنترل کننده های PID جهت رفع نیاز کارکرد سیستم با کارایی دقیق و برای تنظیم خودکار متغیرها برای نگه داشتن فرایندها با مقادیر مرجع در وسائط نقلیه و کاربردهای صنعتی طراحی کرد و با تنظیم بهره های تناسبی (K_i) (K_p , K_d) می توان حالت ماندگاری و گذرای سیستم را بهبود بخشید. طبق نتایج شبیه سازی ضمیمه ۱- مربوط به سیستم پیشنهادی ملاحظه گردید که سرعت خروجی توسط سرعت مرجع قابل کنترل می باشد. با طراحی قدرت سلول های خورشیدی و ذخیره کننده- های انرژی الکتریکی (باتری ها) می توان به وسائط نقلیه بزرگتر و یا قایق های سیاحتی و بعضی کاربردهای صنعتی توسعه داد.

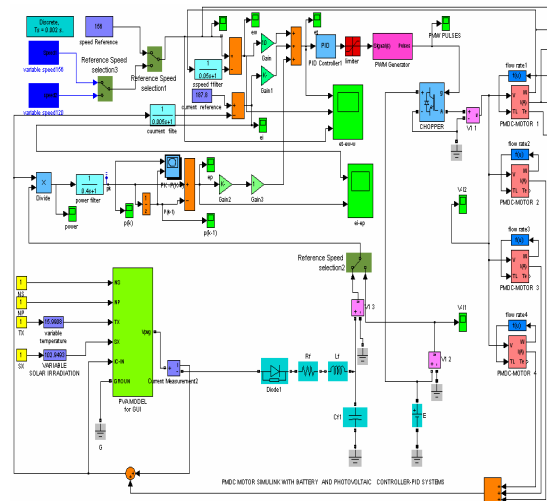
مراجع



شکل ۱۶- سرعت خروجی موتور PMDC سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه با کنترل کننده سه حلقه ای-سرعت-جریان-قدرت

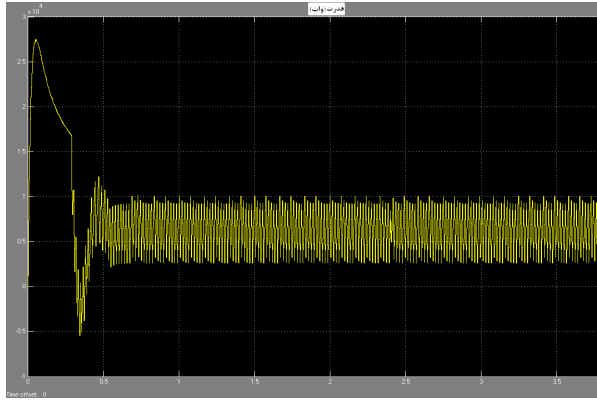


شکل ۱۷- جریان و گشتاور الکترومغناطیسی خروجی با کنترل کننده سه حلقه ای-سرعت-جریان-قدرت

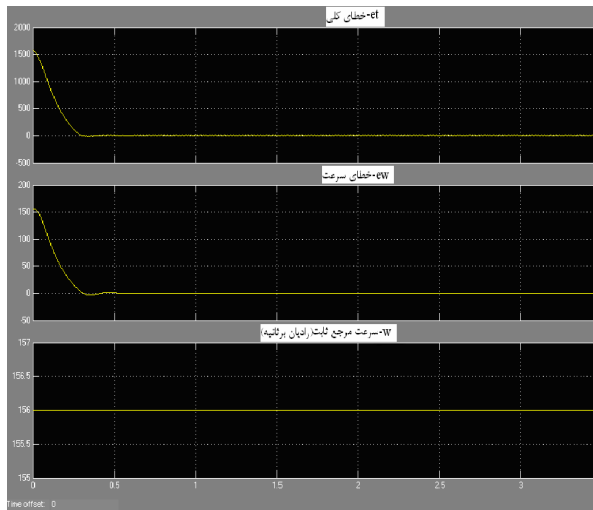


شکل ۱۸- سیستم پیشنهادی شبیه سازی شده در مطلب-سیمولینک

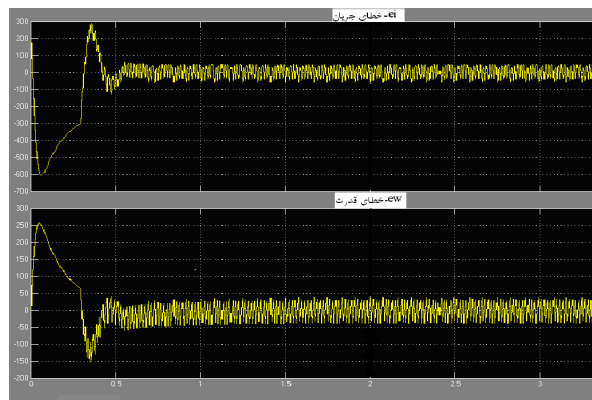
ضمیمه ۱- نتایج شبیه سازی با کنترل کننده سه حلقه ای.



شکل ۱۹- نتایج شبیه سازی قدرت موتور PMDC سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه



شکل ۲۰- نتایج شبیه سازی خطای کلی و خطای سرعت موتور PMDC سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه



شکل ۲۱- نتایج شبیه سازی خطای جریان و خطای قدرت موتور PMDC سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه

[۱] کریم حسینلو- "مبدل های DC-DC در انرژی خورشیدی" - پروژه کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران- آبان ۸۸

[2] A.M.Sharaf, E.ozkop, I.H. Altas, "A Hybrid Photovoltaic PV Array-Battery Powered EV-PMDC Drive Schem" Electrical Power Conference, 2007, IEEE Canada Volume, issue, 25-26 Oct. 2007.

[3] I.H.Altas and A.M.Sharaf, "A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-simulink GUI Environment", the international Conference on Clean Electrical Power, ICCEP, 0, May 21- 23, 2007, Capri, Italy

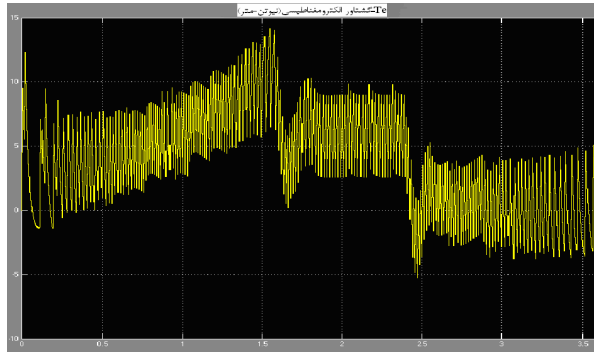
[4] Tokuhisa Mishina, Hajime Kawamura, "A study of the Automatic analysis for the V-I curves of Photovoltaic Subarray", IEEE, PP. 1631-1633, 2002

[5] Mohan, Undeland, Robbins, "Power Electronics converters, Applications, and Design" second edition, John Wiley & Sons, INC, 1995

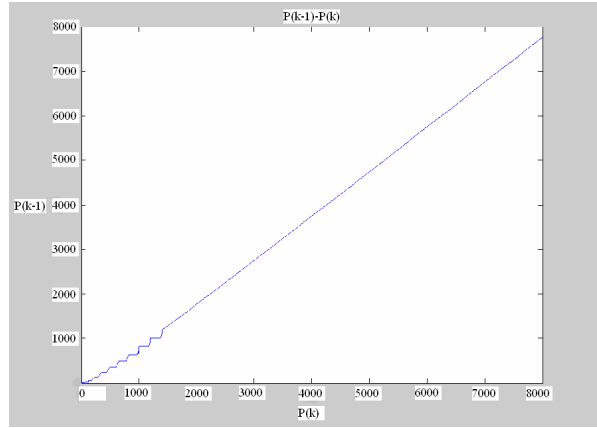
[6] A.I. Maswood, A.M.Sharaf, "A spice based fuzzy logic speed controller for PMDC motor drives," IEEE Intelligent Vehicles'94 Symposium, pp 423-428, 1994

[7] A.M.Sharaf, I.H.Altas, "Novel Control Strategies For Photovoltaic Powered PMDC Motor drives," Electrical Power Conference, 2007, IEEE Canada.

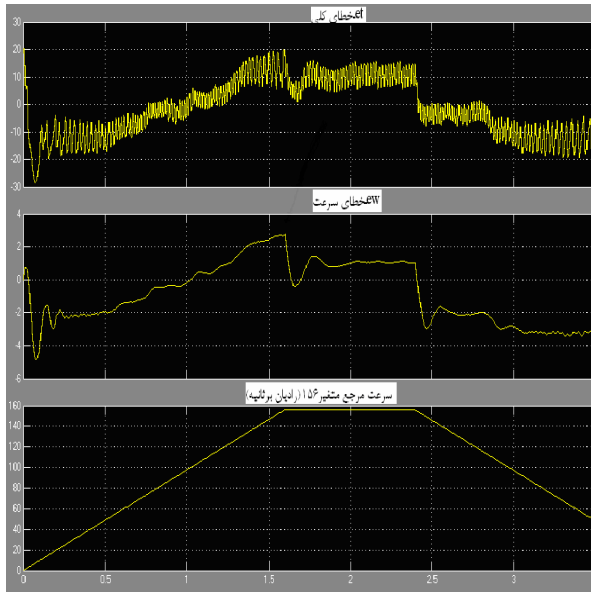
[8] Erik Stjernholm Pal Andreassen "DC-DC-converter for photovoltaic panel charge controller" Norwegian University of Science and Technology O.S.Bragstads pl.2 7049 troheim Norway.



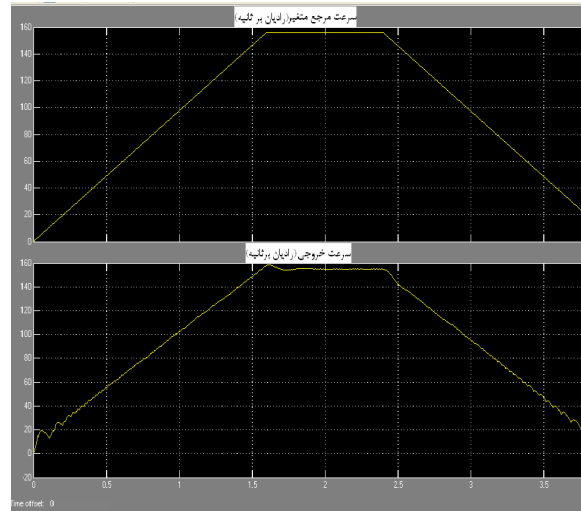
شکل ۲۵- نتایج شبیه سازی گشتاورالکترومغناطیسی موتور $PMDC$ سیستم پیشنهادی با سرعت متغیر(تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)



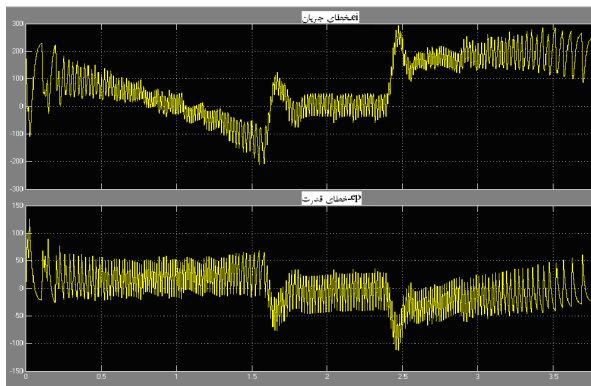
شکل ۲۲- نتایج شبیه سازی قدرت $P(K)$ و قدرت $P(K-1)$ سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع ثابت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه



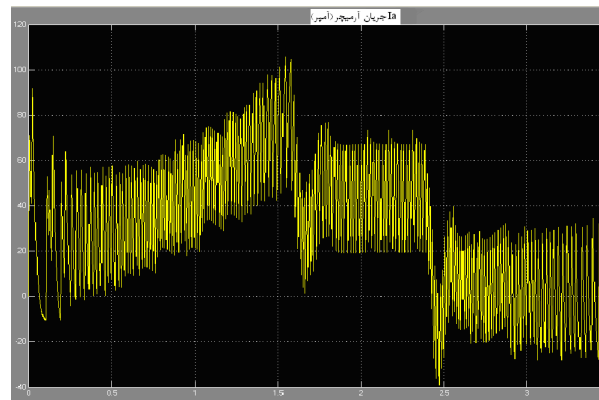
شکل ۲۶- نتایج شبیه سازی خطای کلی و خطای سرعت موتور $PMDC$ سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع متغیر(تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)



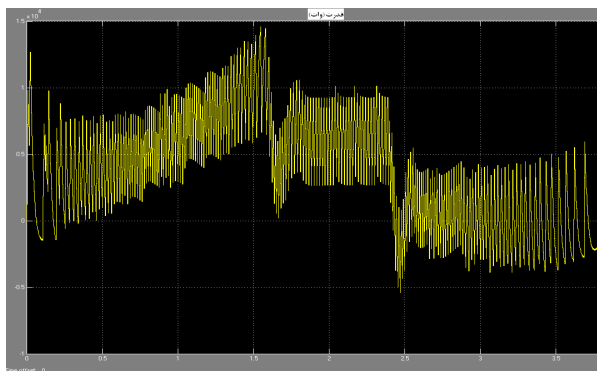
شکل ۲۳- نتایج شبیه سازی سرعت موتور $PMDC$ سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع متغیر(تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)



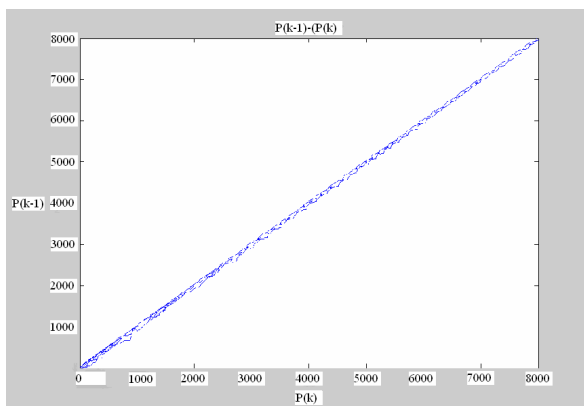
شکل ۲۷- نتایج شبیه سازی خطای جریان و خطای قدرت موتور $PMDC$ سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع متغیر(تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)



شکل ۲۴- نتایج شبیه سازی جریان آرمیچر موتور $PMDC$ سیستم پیشنهادی با سرعت متغیر(تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)



شکل ۲۸- نتایج شبیه سازی قدرت موتور $PMDC$ سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع متغیر (تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)



شکل ۲۹- نتایج شبیه سازی قدرت $P(K)$ و قدرت $P(K-1)$ سیستم پیشنهادی با سرعت مرجع متغیر (تا سرعت ۱۵۶ رادیان بر ثانیه سرعت شتابدار)