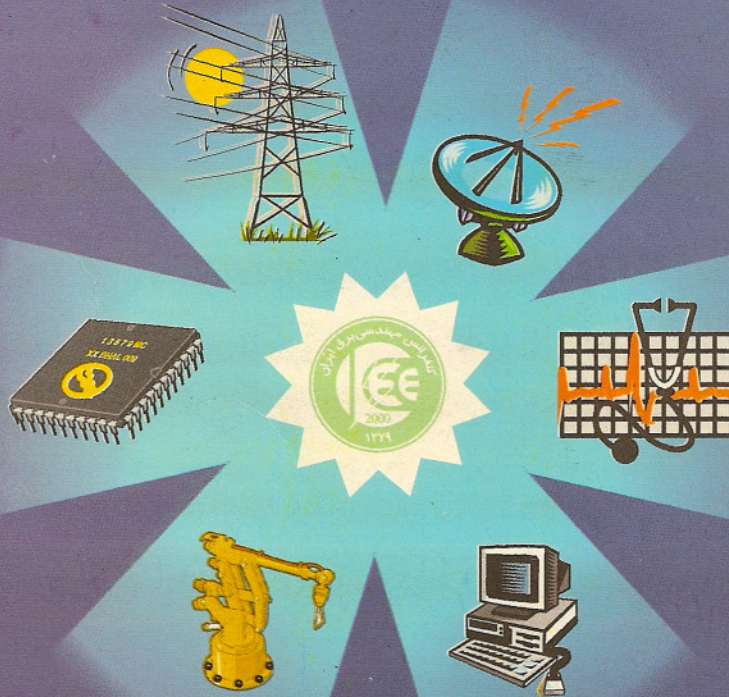




دشتمین

کنفرانس مهندسی برق ایران

۲۸ تا ۳۰ اردیبهشت ۱۳۷۹ - دانشکده برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان



مجموعه مقالات

قدرت

جلد دوم

ICEE 2000



The Eighth

Iranian Conference on Electrical Engineering

May 17-19, 2000 – ISFAHAN, IRAN



PROCEEDINGS

Power

Volume 2

ICEE 2000



کنترل گشتاور در خودروی برقی با دو محرکه الکتریکی بخش دوم: افزایش بهره در سیستم کنترل گشتاور موتور القایی با بهینه سازی شار تحریک جهت استفاده در خودروی برقی

| | | |
|---|---|---|
| رضا کاظمی مهندس ارشد دینامیک خودرو مرکز تحقیقات (R & D) شرکت ایران خودرو | شاهرخ فرهنگی استادیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی - دانشگاه تهران | ابوالفضل حلوائی نیاسر کارشناسی ارشد کنترل گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی - دانشگاه تهران |
|---|---|---|

چکیده:

هدف از این مقاله، بدست آوردن ساختار یک کنترل کننده گشتاور موتور القایی با راندمان حداکثر می باشد که می تواند در سیستم محرکه یک خودروی برقی به کار رود. جهت افزایش راندمان سیستم، روشی بر مبنای حداقل سازی تابع تلفات الکترومغناطیسی موتور، ارائه می کنیم و شار تحریکی که این تابع را مینیمم می کند بدست می آوریم. جهت مجزا سازی شار و گشتاور از یکدیگر از روش کنترل برداری استفاده می کنیم که در آن مولفه های جریان استاتور در دستگاه دوار $d-q$ ، بطور مستقل کنترل گشتاور تولید شده و شار ماشین را بعهده دارند. در نهایت عملکرد سیستم کنترل گشتاور بوسله شبیه سازی نشان داده شده است.

واژه های کلیدی:

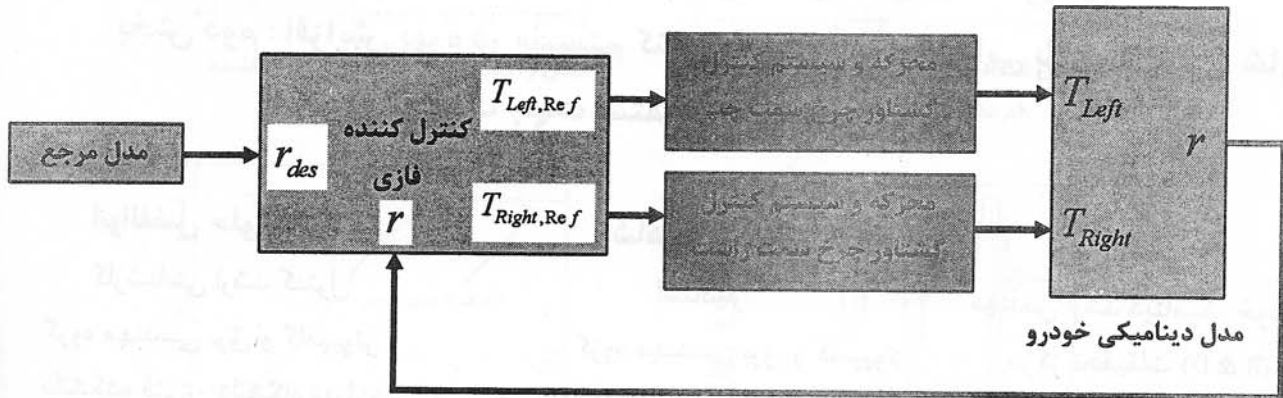
خودروی برقی، کنترل گشتاور، کنترل با صرفه جویی در انرژی (Energy saving control)، بهینه سازی شار، کنترل برداری، موتور القایی

۱- مقدمه

اولین رویکرد بشر به خودروی برقی حدود ۱۵۰ سال پیش بوده است. نخستین خودروی برقی در سال ۱۸۴۷ میلادی توسط موس فارمر در ایالات متحده آمریکا ساخته شد. این روند توسعه خودروی برقی تا دهه دوم قرن بیستم ادامه داشت بطوریکه تا سال ۱۹۱۲، حدود ۳۴۰۰۰ خودروی برقی در سرتاسر ایالات متحده، حرکت می کردند [۱]. با وجود محاسنی که خودروهای برقی در آن زمان داشتند، اما از یکطرف بدلیل گران بودن سیستم محرکه و موتور، احتیاج مداوم به شارژ باتریها، پایین بودن راندمان باتریها و از طرف دیگر دسترسی به منابع ارزان سوختهای فسیلی، خودروهای برقی جایگاه خود را به خودروهای با موتور احتراق داخلی دادند. در دو دهه گذشته، با پیشرفتهای تکنولوژی یک شگرف در عرصه الکترونیک قدرت، ریز پردازنده ها، میکروکنترلرها، موتورهای الکتریکی، توسعه روشهای کنترل و همچنین بمنظور کاهش دادن آلودگیهای محیطی - صوتی در نواحی شهری پرجمعیت، افزایش بهره بری مفید از منابع انرژی و کاهش وابستگی به منابع محدود سوخت فسیلی، خودروهای برقی مورد توجه دوباره قرار گرفته اند [۲ و ۳].

در قسمت اول این مقاله با عنوان "کنترل گشتاور یاو در خودروی برقی بروش فازی" مسأله کنترل هماهنگ گشتاور محرک چرخهای عقب یک خودروی 2WD مورد بررسی قرار گرفت و برای این منظور یک کنترل کننده فازی

طراحی شد. خروجی کنترل کننده فازی گشتاورهای مرجع چرخهای محرک می باشند که با توجه به گشتاور اعمال شده توسط راننده به خودرو از طریق پدال و فرمان چرخهای جلو (مدل مرجع)، بدست می آمدند. حال باید با طراحی یک سیستم کنترل گشتاور، گشتاور مرجع درخواستی برای موتورها را ایجاد کنیم. این نوشتار به طراحی چنین سیستمی اختصاص دارد. شکل (۱) جایگاه سیستم مورد نظر را در خودروی 2WD نشان می دهد.



شکل (۱): بلوک دیاگرام کلی سیستم خودروی برقی با دو محرکه الکتریکی

در بخش ۲، روش کنترل برداری بکار رفته در سیستم کنترل گشتاور مورد بحث قرار گرفته است. بخش ۳، به مسأله افزایش بازده سیستم کنترل پرداخته و روشی بر اساس بهینه سازی شار ارائه کرده است. در بخش ۴، سیستم کنترل گشتاور بررسی شده است. همچنین کنترل کننده های جریان، شار و گشتاور در این بخش توضیح داده شده اند. بخش ۵ به بررسی نواحی کاری موتور الکتریکی در صفحه سرعت-گشتاور اختصاص دارد. در بخش ۶، به مسأله تغییرات پارامترهای موتور و سیستم پرداخته شده است. در بخش ۷، سیستم کنترل گشتاور شبیه سازی و نتایج آن آورده شده اند.

۲- کنترل برداری

این روش اولین بار توسط آقای بلاشکه در سال ۱۹۶۹ ارائه شد. در این روش که به روش کنترل میدان دوار نیز معروف است، بردار شار را طوری جهت می دهیم تا گشتاور و شار بطور مستقل قابل کنترل باشند. شار می تواند شار استاتور یا شار روتور یا ترکیبی از ایندو باشد. معادلات موتور القایی در دستگاه مختصات دوار با شار روتور در دو جهت $d-q$ بصورت زیر است:

$$T_s' \frac{di_{sd}}{dt} + i_{sd} = \frac{u_{sd}}{R_s} + \omega_{mr} T_s' i_{sq} - (T_s - T_s') \frac{d|\bar{i}_{mr}|}{dt} \quad (1-f)$$

$$T_s' \frac{di_{sq}}{dt} + i_{sq} = \frac{u_{sq}}{R_s} - \omega_{mr} T_s' i_{sd} - (T_s - T_s') \omega_{mr} |\bar{i}_{mr}| \quad (1-b)$$

$$T_r \frac{d|\bar{i}_{mr}|}{dt} + |\bar{i}_{mr}| = i_{sd} \quad (1-c)$$

$$\omega_{mr} = \omega_r + \frac{i_{sq}}{T_r |\bar{i}_{mr}|} \quad (1-d)$$

$$T_e = \frac{3}{2} Z_p \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} i_{sq} \quad (1-g)$$

در معادلات فوق با فرض ثابت بودن $|\bar{i}_{mr}|$ برای دکوپله سازی معادلات ولتاژ (۱-الف) و (۱-ب) از یکدیگر، مولفه های u_{dq} و u_{dd} را به معادلات فوق اضافه می کنیم:

$$u_{dd} = -\omega_r L_s' i_{sq} \quad (۲)$$

$$u_{dq} = \omega_{mr} L_s' i_{sd} + (L_s - L_s') \omega_{mr} |\bar{i}_{mr}|$$

لذا معادلات جدید ولتاژ عبارتند از:

$$\hat{u}_{sd} = R_s i_{sd} + L_s' \frac{di_{sd}}{dt} \quad (۳)$$

$$\hat{u}_{sq} = R_s i_{sq} + L_s' \frac{di_{sq}}{dt}$$

بنابراین i_{sd} و i_{sq} می توانند توسط \hat{u}_{sd} و \hat{u}_{sq} کنترل شوند. i_{sd} و i_{sq} نیز می توانند برای کنترل مجزای شار و گشتاور به کار روند. در بخش ۵، فرمولهای (۱) تا (۳) در سیستم کنترل استفاده خواهد شد. لازم به یادآوری است که اندازه شار و مکان آن براحتی توسط (۱-ج) و (۱-د) می توانند تخمین زده شوند.

۳- بهینه سازی شار تحریک

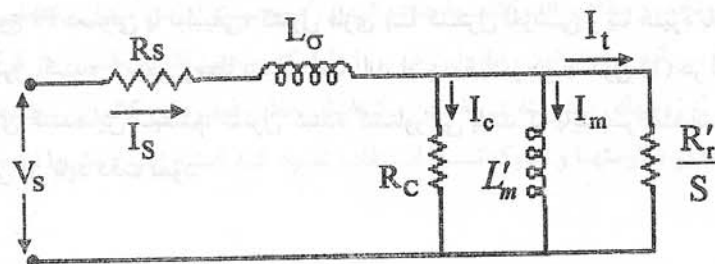
در خودروی برقی، استفاده بهینه از انرژی باتریها از اهداف اساسی کنترل می باشد. لذا باید تا آنجائیکه مقدور است، تلفات سیستم را کاهش بدهیم. تلفات توان در یک خودروی برقی عبارتست از:

$$P_{loss,tot} = P_{loss,batt} + P_{loss,conv} + P_{loss,mot} + P_{loss,Trans} \quad (۴)$$

تلفات باطری از دست طراح سیستم کنترل خارج است و بسته به طراح باطری دارد. تلفات انتقال نیز به قسمتهای مکانیکی سیستم مربوط است و مینیمم سازی آن بعهده مهندسان مکانیک است. تلفات مبدل نیز مستقل از نوع سیستم کنترل است و در واقع به توپولوژی مبدل و نوع سوئیچهای به کار رفته در آن بستگی دارد. تلفاتی را که ما بعنوان طراح سیستم کنترل گشتاور می توانیم مینیمم کنیم تلفات موتور القایی می باشد. این تلفات عبارتند از:

$$P_{loss,mot} = P_{loss,core} + P_{loss,copper} + P_{loss,friction} \quad (۵)$$

تلفات هسته و تلفات مسی که مجموعاً تلفات الکترومغناطیسی نامیده می شوند حدود ۹۰٪ تلفات موتور را تشکیل می دهند و بنحوی با انتخاب الگوریتم کنترلی مناسب قابل مینیمم شدن هستند. در یک موتور القایی راندمان ماکزیمم، با مقدار شار نامی، موقعی حاصل می شود که بار موتور در مقدار نامی خود قرار داشته باشد. لذا در سیستمهایی همانند خودروی برقی که بار موتور در بسیاری از شرایط می تواند زیر مقدار نامی باشد، در نظر گرفتن مقدار نامی شار برای موتور باعث ایجاد تلفات اضافی در سیستم شده و لذا راندمان، ماکزیمم مقدار خود را ندارد. لذا شار مرجع را طوری تنظیم می کنیم تا علاوه بر سریع بودن دینامیک سیستم، تلفات نیز مینیمم شود. در این مقاله از مدلی استفاده می کنیم که علاوه بر سادگی، بتوان خواص اصلی موتور و انواع تلفات را با آن نشان داد. شکل (۲) مدار معادل T یک موتور القایی را نشان می دهد.



شکل (۲): مدار معادل T موتور القایی

تلفات کل الکترومغناطیسی موتور مطابق شکل (۷) عبارتست از:

$$W_{loss,tot.} = 3 \left\{ \left[R_s + \frac{L_m R_m}{L_r} \right] \times i_m^2 + \left[R_s + \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2 R_m \right] \times i_t^2 + \frac{2R_s R_m}{\omega_s L_m} i_m i_t \right\} \quad (6)$$

از طرفی:

$$\Phi'_r = L'_m i_m$$

$$T_e = \frac{3}{2} Z_p \Phi'_r i_t \quad (7)$$

$$\omega_s = \frac{i_t}{\Phi'_r} R'_r$$

با جایگذاری روابط (۷) در رابطه (۶) داریم:

$$W_{loss,tot.} (\Phi'_r) = 3 \left\{ \left[R_s + \frac{L_m R_m}{L_r} \right] \times \left[\frac{L_r^2}{L_m^4} \Phi_r'^2 + \left[R_s + \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2 R_r \right] \times \frac{T_e^2}{9Z_p^2} \Phi_r'^{-2} + \left[\frac{2R_s R_m}{\omega_s L_m} \right] \frac{L_r T_e}{\frac{3}{2} Z_p L_m^2} \right\} \quad (8)$$

عبارت فوق بیانگر آنست که تلفات کل تابعی از شار روتور است. برای مینیم کردن تلفات از رابطه (۸) مشتق گرفته و $\Phi'_{r,opt}$ مینیم کننده را بدست می آوریم. لذا خواهیم داشت:

$$\Phi'_{r,opt} = K \sqrt{T_e}, \quad K = \sqrt[4]{\frac{L_r^2 R_s + L_m^2 R_r}{L_r^4 R_s + L_m L_r^3 R_m} \frac{L_m^2}{Z_p}} \quad (9)$$

لذا جریان مغناطیس کننده بهینه عبارتست از:

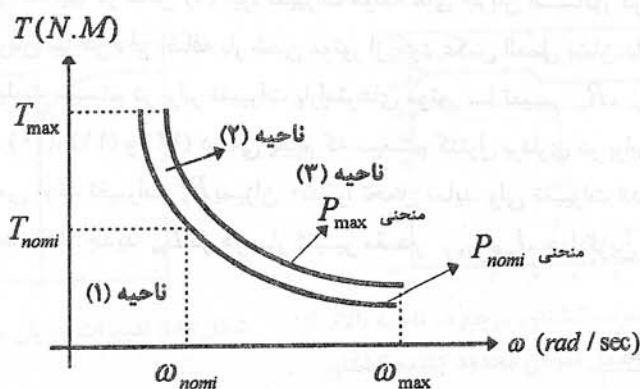
$$i_{mr,opt} = \frac{1}{L_m} \Phi'_{r,opt} = \frac{L_r}{L_m^2} K \sqrt{T_e} \quad (10)$$

۴- سیستم کنترل گشتاور

در شکل (۴) بلوک دیاگرام سیستم کنترل گشتاور آورده شده است. راننده از طریق پدال گاز یا ترمز، فرمان گشتاور را به سیستم اعمال می کند. بلوک کنترل کننده جریان، با توجه به جریانهای i_{sd} و i_{sq} واقعی و مرجع، مقدار ولتاژ مرجع را برای موتور می سازد. اینورتر از نوع $VSI - PWM$ می باشد. بلوک شار و گشتاور مقادیر شار و گشتاور را با توجه به روابط (۱) محاسبه و در حلقه های شار و گشتاور بکار می برد. بلوک بهینه سازی شار، مقدار شار مرجع را براساس بهینه سازی راندمان محاسبه می کند. کنترل کننده شار باید از سرعت کافی برخوردار بوده و از طرفی نباید شار موتور وارد ناحیه غیر خطی خود بشود. کنترل کننده گشتاور، خطای گشتاور مرجع و گشتاور تولیدی را صفر می کند و می تواند از نوع PI معمولی یا تطبیقی، کنترل فازی یا کنترل لغزشی و یا غیره باشد. مقادیر ضرایب k_p و k_i هر چهار کنترل کننده با سعی و خطا بدست آمده اند. این مقادیر در جدول (۱) در انتهای مقاله لیست شده اند. مهمترین کنترل کننده این سیستم، کنترل کننده گشتاور می باشد که باید بر اغتشاشات وارد به سیستم غلبه کند و لذا در طراحی آن باید دقت نمود.

۵ - محدود کننده گشتاور

در کاربردهای معمولی درایو مانند کنترل سرعت، گشتاور ماشین را برابر مقدار نامی آن قرار می دهند و در ناحیه کاهش میدان، برای ثابت ماندن توان تولیدی ماشین، گشتاور را به نسبت عکس سرعت کاهش می دهند. اما در خودروی برقی بار جاده بسیار متغیر است. مرجع گشتاور نیز در دست راننده است و متناسب با شرایط جاده تصمیم می گیرد. بنابراین کار محدود کننده گشتاور پیچیده تر می شود. شکل (۴) نواحی مختلف کاری موتور را نشان می دهد. در ناحیه (۱) که ناحیه مجاز کاری موتور نامیده می شود، نقاط کار زیر منحنی توان نامی موتور می باشند و موتور اجازه تولید گشتاور دلخواه و مجاز در این ناحیه را دارد. در ناحیه کاهش میدان هم، مسائل درایوهای ساده برقرار است. در ناحیه (۲) یا ناحیه مجاز زمانی، نقاط کار بین دو منحنی توان نامی و توان ماکزیمم موتور قرار دارند و موتور در یک مدت زمان محدود و مجازی مثل T_{mojaz} می تواند در این ناحیه باشد و این زمان به نوع موتور، توان تلفاتی مجاز و سیستم خنک کننده آن بستگی دارد. در ناحیه (۳) که بالای منحنی توان ماکزیمم قرار دارد و ناحیه غیر مجاز نام دارد موتور نباید به هیچ عنوان قرار گیرد.



شکل (۳): نواحی مختلف کاری موتور

۶- تغییرات پارامترها

در یک سیستم کنترل گشتاور با استفاده از کنترل برداری، تغییرات پارامترهای موتور از جمله تغییرات مقاومتها و اندوکتانسهای موتور، تأثیر بسزایی در عملکرد سیستم کنترل دارند و سبب ایجاد اختلال در کنترل می شوند. تغییرات پارامترها باعث ایجاد خطا در تخمین شار و سرعت و گشتاور می شوند. از طرفی، با ایجاد تلفات در موتور، دمای موتور تغییر کرده و مقادیر مقاومتها تغییر می کنند. همچنین با تغییرات مداوم شار جهت بهینه سازی راندمان یا برای کار در ناحیه کاهش میدان، اندوکتانسهای ماشین تغییر می کنند. لذا جبران سازی این تغییرات در روش کنترل برداری یک ضرورت می باشد. در مورد مقاومتها روشهای متفاوتی وجود دارد. می توان از مدل حرارتی ماشین برای تخمین دمای روتور و استاتور و در نتیجه یافتن مقادیر مقاومتها استفاده نمود. البته یافتن مدل دقیق حرارت برای ماشین کار ساده ای نیست. ز روشهای مبتنی بر شبکه های عصبی نیز میتوان بهره گرفت که در عین سادگی از دقت کافی برخوردارند. برای تخمین مقادیر اندوکتانسها، ساده ترین راه، بدست آوردن مدل مغناطیسی ماشین است که بوسیله آزمایش بدست می آید و البته این روش این عیب را دارد که منحنی اشباع ماشین در فرکانسهای تغذیه مختلف ماشین ثابت نمی ماند. از روشهای پیشرفته تر تخمین و شناسایی نظیر فیلترهای کالمن، رؤیتگرهای لیونبرگر، و ... نیز می توان در تخمین مقادیر مقاومتها و اندوکتانسها استفاده نمود که البته این روشها از حجم محاسبات بالایی برخوردارند.

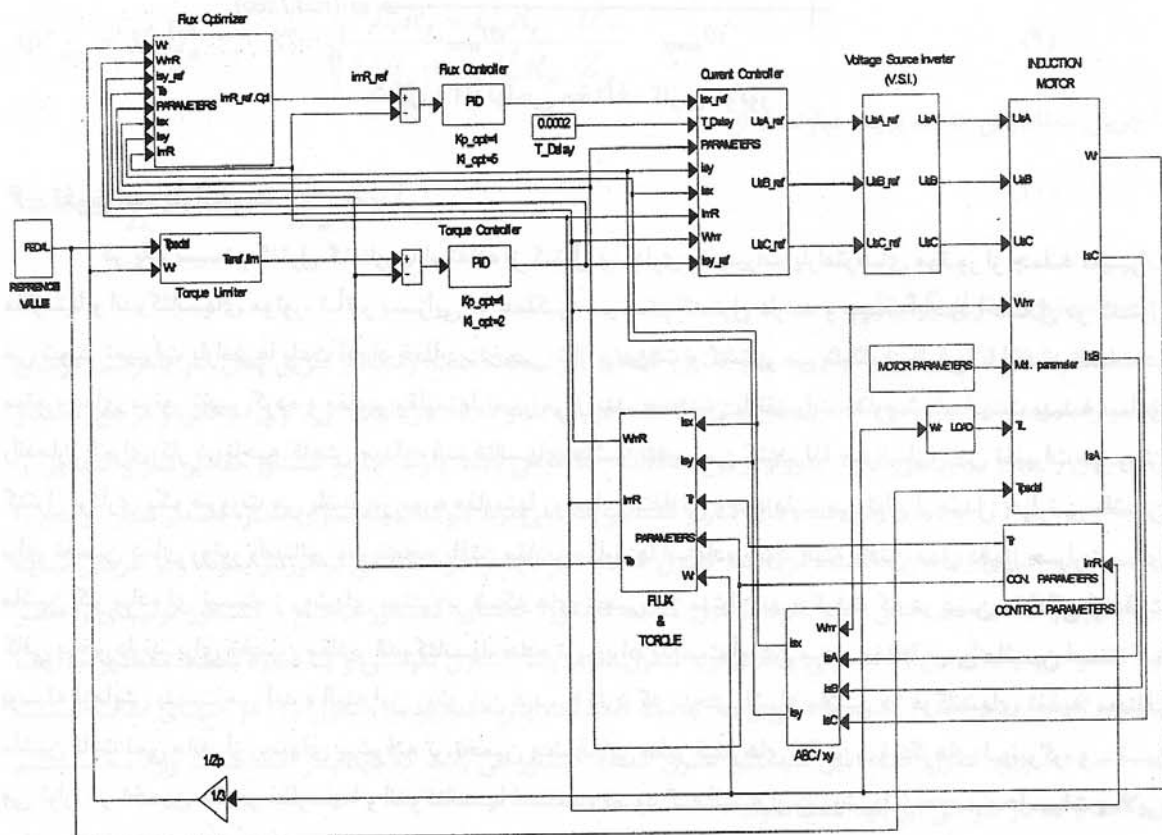
۷ - شبیه سازی

سیستم شکل (۴)، در سه آزمایش متفاوت، شبیه سازی شده است. مقادیر پارامترهای موتور القایی در انتهای مقاله لیست شده اند.

در آزمایش اول، گشتاور مرجع (یا گشتاور پدال)، بطور متوالی از مقدار نامی خود (150 N.M) به طور متوالی کاهش می یابد. گشتاور الکترومغناطیسی تولید شده توسط موتور مقدار تعیین شده برای آنرا، با سرعت مشخصی دنبال می نماید. سرعت روتور نیز مادامیکه T_{Load} به T_e نرسیده است در حال افزایش می باشد. شکل (۵)، تغییرات T_{Pedal} (یا T_{e_ref})، T_e و ω_r را نمایش می دهد. در شکل (۶)، تغییرات جریان مغناطیس کنندگی مرجع را بازی تغییرات گشتاور پدال (و نهایتاً تغییرات گشتاور بار) نمایش می دهد. جریان مغناطیس کنندگی واقعی موتور نیز بنحو مطلوبی آنرا دنبال می کند.

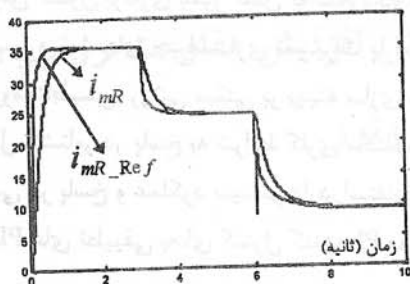
در آزمایش دوم، گشتاور پدال از مقدار نامی آن بیشتر شده و لذا محدود کننده گشتاور عمل نموده و مقدار گشتاور مرجع برای سیستم را با توجه به توان موتور و ظرفیت گرمایی آن، کاهش می دهد. شکل‌های (۷) و (۸)، تغییرات متغیرها را مشاهده می نمایم. در شکل (۹) نیز، تغییرات مؤلفه های جریان استاتور در آزمایش دوم بررسی شده اند. محدودکننده های جریان نیز در برابر اضافه بار شدن موتور از خود عکس العمل نشان داده اند.

در آزمایش سوم، قابلیت سیستم در برابر تغییرات پارامترهای موتور با تغییر R_s ، R_r و L_m شبیه سازی شده است. با مشاهده شکل‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) در می یابیم که سیستم کنترل برداری در برابر تغییرات R_s کاملاً مقاوم است. سیستم همچنین می تواند تغییرات R_r بمیزان ۵۰٪ را تحمل نماید. ولی تغییرات اندوکتانس L_m بر رفتار سیستم تأثیر بسزایی دارد و باید مقدار جدید L_m در هر بار تغییر مقدار i_{mR_Ref} جایگزین شود که روش آن در بخش پیش شرح داده شد.

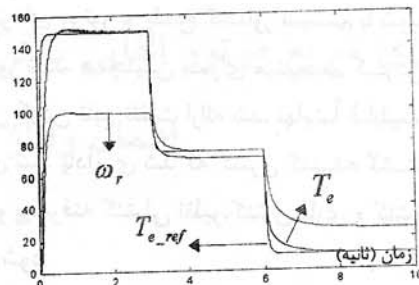


شکل (۴): بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل گشتاور موتور القایی بروش کنترل برداری بر مبنای بهینه سازی شار تحریک و با استفاده از اینورتر منبع ولتاژ کنترل شده با ولتاژ

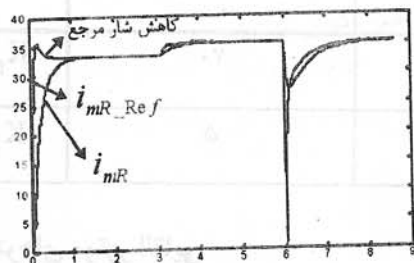
۸- شکلها و نمودارها



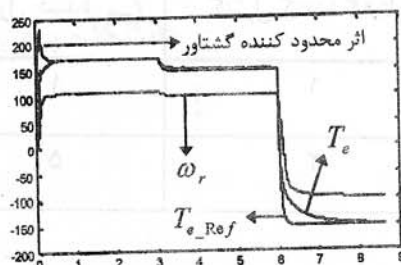
شکل (۶): تغییرات جریان مغناطیس کنندگی مرجع و واقعی



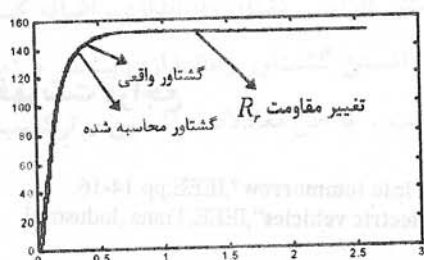
شکل (۵): پاسخ به تغییرات گشتاور مرجع در محدوده نامی



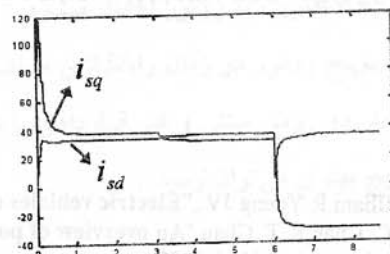
شکل (۸): تغییرات جریان مغناطیس کنندگی مرجع و واقعی



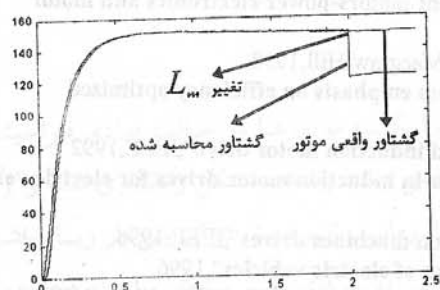
شکل (۷): پاسخ به تغییرات گشتاور مرجع در ناحیه بالاتر از گشتاور نامی موتور و عمل نمودن محدود کننده گشتاور



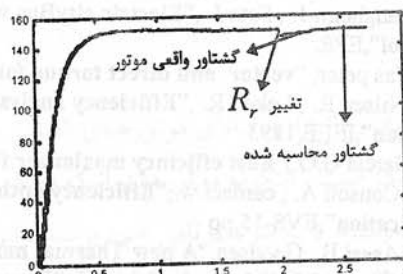
شکل (۱۰): اثر افزایش مقدار مقاومت استاتور R_s به میزان ۱۰۰٪ در پاسخ گشتاور نامی سیستم



شکل (۹): تغییرات مؤلفه های جریان استاتور در آزمایش دوم



شکل (۱۲): اثر کاهش اندوکتانس مغناطیس کنندگی L_m به میزان ۱۰٪ در پاسخ گشتاور نامی سیستم



شکل (۱۱): اثر افزایش مقاومت روتور R_r به میزان ۵۰٪ در پاسخ گشتاور نامی سیستم

۹- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا اجزای یک خودروی برقی بررسی و سپس سیستم کنترل گشتاور خودروی برقی با استفاده از روش کنترل برداری بطور کامل توضیح داده شد. اثر تغییر پارامترهای موتور بر پلسخ گشتاور سیستم با شبیه سازی بررسی و روشهای جبران سازی تغییرات پارامترهای موتور مرور شد. همچنین برای مینیمم کردن تلفات الکترومغناطیسی، روشی مبتنی بر بهینه سازی شار بر اساس حداقل کردن تابع تلفات ارائه شد. نهایتاً قابلیت سیستم کنترل گشتاور در پاسخ به شرایط کاری مختلف خودرو شبیه سازی شد. یادآوری شد که کنترل کننده گشتاور نقش اساسی در پاسخ و عملکرد سیستم دارد. استفاده از روشهای مقاوم و پیشرفته کنترلی نظیر کنترل فازی و کنترل لغزشی یا PID های تطبیقی بجای کنترل کننده PI معمولی، پیشنهاد می شود.

جدول (۱): ضرایب کنترل کننده های PI سیستم کنترل گشتاور موتور القایی

| کنترل کننده گشتاور | کنترل کننده i_{mR} | کنترل کننده i_{sy} | کنترل کننده i_{sx} | |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
| ۱ | ۱ | ۲ | ۲۰ | K_p |
| ۲ | ۵ | ۵ | ۵ | K_I |

پارامترهای موتور القایی

$$L_s = 34.3 \text{ e-}3 \text{ H}, L_r = 34.1 \text{ e-}3 \text{ H}, L_m = 32.2 \text{ e-}3 \text{ H}, f_n = 50 \text{ Hz}, J_{nomi} = 0.1$$

$$Z_p = 3, U_n = 380 \text{ volt}, R_s = 0.324 \Omega, R_r = 0.023 \Omega, P_n = 15 \text{ Kw}$$

۱۰- فهرست مراجع

- [1]. William R. Young JV., "Electric vehicles of yesterday carry us into tommorrow", IEEE, pp.14-16.
- [2]. C.C. Chan, K.T. Chau, "An overview of power Electronics in Electric vehicles", IEEE, Trans., Industrial Electronics, Vol.44, No.1, 1997.
- [3]. C.C. Chan, K.T. Chau, "An overview of Electric vehicles-challenges and opportunities", IEEE, pp.1-6.
- [4]. H. Suzuki, H. Koga, K. Natori, "An overview of the control system A.C. induction motor for Electric Vehicles (Evs)", 11'th Electric Vehicles Symposium, pp.1-12, Italy, Florence, 1992.
- [5]. Wall simon, "Vector control: A practical Approach to Electric vehicles", IEEE, pp.511-517.
- [6]. Langheim J., Fetz J., "Electric cityBus with two independent motors-power electronics and motor control", EPE.
- [7]. Vas peter, "vector and direct torque for electric drives", Macgraw-Hill, 1998.
- [8]. Nilsen R., Loken R., "Efficiency analysis of electric vehicles emphasis on efficiency optimized excitation", IEEE, 1993.
- [9]. Garcia G.O., "Fast efficiency maximizer for adjustable speed induction motor drive", IEEE, 1992.
- [10]. Consoli A., cardaci w., "Efficiency optimization techniques in induction motor drives for electric vehicle application", EVS-15, pp
- [11]. Assai B., Goodsen, "A new Thermal model for EV induction machines drives", IEEE, 1996.
- [12]. Ehsani M., Rahman k., Tolyat H., "Propulsion system design of electric vehicles", 1996.
- [13]. Harson A., Mellor P.H., "Design consideration for induction machine for electric vehicles", IEE, Proceedings of electrical machines and drives", pp16-10, 1995