

کنترل سرعت بدون سنسور موتور سنکرون مغناطیس دائم با استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته

مهرداد جعفر بلند^(۱) - احسان بابایی^(۲)

(۱) دانشیار گروه برق - دانشکده برق - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(۲) کارشناسی ارشد گروه برق - دانشکده برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

تاریخ دریافت: زمستان ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۸۸

خلاصه: امروزه به دلیل سادگی ساختمان و بازده زیاد، کاربرد موتورهای سنکرون مغناطیس دائم به سرعت در حال افزایش است. از جمله کاربردهای این موتور استفاده در تجهیزات دریای است. مشکلات کنترل در دریاهای بدون سنسور و با لحاظ نویز و اختلال بیشتر است. خصوصاً در سرعت‌های خیلی زیاد، این مشکلات افزایش می‌یابد. در این مقاله با استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته مدل جدیدی برای تخمین سرعت و وضعیت ارائه شده است که دقت تخمین را بهبود داده است. نتایج برای سه نوع بار فن/پمپ، مجموعه موتور/ژنراتور و بالا برنده بررسی و ارائه شده است.

کلمات کلیدی: موتور سنکرون مغناطیس دائم، فیلتر کالمن توسعه یافته، کنترل بدون سنسور، تخمین سرعت/وضعیت.

۱- مقدمه

با توجه به اینکه موتورهای سنکرون مغناطیس دائم دارای ساختمانی ساده و بازده زیاد هستند و برای دریاهای صنعتی عملکرد قابل اعتماد و چگالی توان بالا دارند، در صنعت بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سیستم دریای موتور سنکرون مغناطیس دائم متداول کنترل سرعت به وسیله به دست آوردن اطلاعات سرعت و وضعیت موتور به وسیله سنسورهای شفت از جمله اینکدرهای نوری، سنسورهای اثر هال و غیره انجام می‌شود. استفاده زیاد سنسورها وزن و هزینه سیستم را افزایش داده و قابلیت اعتماد کل سیستم دریای را کاهش می‌دهد. هدف این مقاله کنترل بدون سنسور موتور سنکرون مغناطیس دائم می‌باشد. کنترل بدون سنسور سرعت/وضعیت سیستم‌های دریای موتور سنکرون مغناطیس دائم، نواقص بالا را برطرف کرده و قابلیت اعتماد کل سیستم و عملکرد دینامیکی را بهتر کرده است از جمله این روشها عبارتند از کنترل بدون سنسور با استفاده از رویت‌گر مد لغزشی اما این روش مقاوم نیست. روش دیگر کنترل بدون سنسور با استفاده از رویت‌گر Back-EMF است اما در سرعت کم دقت ندارد. روش دیگر کنترل بدون سنسور با استفاده از تزریق پالس است که بازده دریای آن کم است [۱، ۲، ۳]. در این مقاله برای به دست آوردن سرعت و وضعیت

روتور از ولتاژها و جریان‌های ترمینال استفاده شده است [۴، ۵]. فیلتر کالمن توسعه یافته یک رویت‌گر احتمالی بهینه است برای تخمین زدن حالت‌های دینامیکی سیستم‌های غیرخطی است. و فیلتر کردن بهینه اغتشاشات در اندازه‌گیری و داخل سیستم را فراهم می‌کند [۶، ۷، ۸]. این فیلتر قادر است اغتشاش‌های حاصل از اندازه‌گیری و یا درونی سیستم تحت کنترل را به صورت بهینه حذف نماید.

۲- مدل دینامیکی موتور سنکرون مغناطیس دائم

معادلات موتور سنکرون مغناطیس دائم قطب صاف در قاب اختیاری روتور عبارت است از [۴]:

$$\frac{dI_q}{dt} = \frac{V_q}{L} - \frac{r_s}{L} I_q - N_p \omega_r I_d - \frac{1}{L} N_p \omega_r \lambda_r \quad (1)$$

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{V_d}{L} - \frac{r_s}{L} I_d + N_p \omega_r I_q \quad (2)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{j} (T_e - T_L - D\omega_r) \quad (3)$$

$$\frac{d\theta_e}{dt} = N_p \omega_r \quad (4)$$

$$T_e = \frac{3}{2} N_p \lambda_r I_q \quad (5)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (13)$$

در اینجا \hat{x}_{k-1} تخمین حالت در مرحله $k-1$ و \hat{x}_k تخمین حالت در مرحله k است. P_k خطای ماتریس کوواریانس تخمین حالت در مرحله k ، P_k^- خطای ماتریس کوواریانس تخمین حالت در مرحله $k-1$ است. A_k ماتریس ژاکوبین است که مشتق جزئی f نسبت به x است و به صورت $A_{k[i,j]} = \frac{\partial f_{[i]}}{\partial x_{[j]}}(\hat{x}_{k-1}, u_k, 0)$ مشخص می‌شود.

W_k ماتریس ژاکوبین است که مشتق جزئی نسبت به f نسبت به σ است که به صورت $W_{k[i,j]} = \frac{\partial f_{[i]}}{\partial \sigma_{[j]}}(\hat{x}_{k-1}, u_k, 0)$ مشخص می‌شود.

H_k ماتریس ژاکوبین h نسبت به x است و به صورت در $H_{k[i,j]} = \frac{\partial h_{[i]}}{\partial x_{[j]}}(\tilde{x}_k, 0)$ مشخص می‌شود. V_k ماتریس ژاکوبین h

نسبت به ρ است و به صورت $V_{k[i,j]} = \frac{\partial h_{[i]}}{\partial \rho_{[j]}}(\tilde{x}_k, 0)$ مشخص

می‌شود. تخمین \tilde{x}_k حالت تقریبی مرحله k است که به صورت $\tilde{x}_k = f(\tilde{x}_{k-1}, u_k, 0)$ می‌باشد.

۴- تخمین توسط فیلتر کالمن توسعه یافته برای موتور

سنکرون مغناطیسی دائم

با استفاده از قاب انتقال معادله (۸) الی (۱) در قاب $\alpha\beta$ به صورت زیر نوشته شده است [۴، ۱۱، ۱۲].

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ \omega_r \\ \theta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-r_s}{L} & 0 & \frac{\lambda_r N_p \sin \theta_e}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-r_s}{L} & \frac{-\lambda_r N_p \cos \theta_e}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ \omega_r \\ \theta_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (14)$$

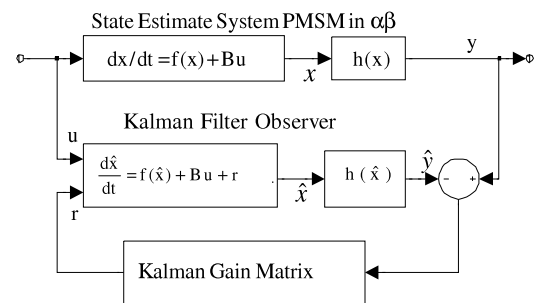
فاصله نمونه برداری گسسته تقریباً کوچک است بنابراین اینرسی روتور را می‌توان بی‌نهایت فرض کرد. در نتیجه طرف راست معادله (۳) را می‌توان به صفر کاهش داد [۲]. این بدین معنی است که سرعت موتور در مرحله پیشگویی ثابت نگه داشته شده است.

$$X = \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ \omega_r \\ \theta_e \end{bmatrix} \quad (15)$$

در اینجا V_d و I_d به ترتیب ولتاژ و جریان محور d هستند. V_q و I_q به ترتیب ولتاژ و جریان محور q می‌باشند. r_s مقاومت استاتور، N_p تعداد زوج قطب، ω_r سرعت مکانیکی زاویه‌ای روتور، D اصطکاک مربوط به سرعت روتور، θ_e ضریب گشتاور داخلی روتور، θ_e وضعیت زاویه الکتریکی روتور و λ_r شار آهنربایی روتور هستند و به ترتیب T_e و T_L گشتاورهای الکتریکی و بار هستند.

۳- ساختار فیلتر کالمن توسعه یافته

کالمن در سال ۱۹۶۰ فیلتر کالمن را ارائه کرد [۹]. فیلتر کالمن یک مدل ریاضی برای تخمین حالت سیستم‌های خطی است. شکل (۱) ساختمان فیلتر کالمن برای رویت حالت یک سیستم واقعی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): ساختمان تخمین فیلتر کالمن

Fig. (1): The structure of estimation Kalman filter

فیلتر کالمن توسعه یافته از فیلتر کالمن برای رویت حالت سیستم‌های غیر خطی که ساختمانی شبیه فیلتر کالمن دارند، ساخته شده است [۱۰]. فرض کنید $x \in R^n$ بردار حالت یک فرایند باشد. با اندازه‌گیری $y \in R^n$ فرایند را می‌توان به وسیله معادله تفاضلی غیر خطی احتمالی ارائه کرد.

$$x_k = f(x_{k-1}, u_k, \sigma_{k-1}) \quad (6)$$

$$y_k = h(x_k, \rho_k) \quad (7)$$

در اینجا متغیرهای تصادفی σ_{k-1} و ρ_k نویزهای گوسی اندازه‌گیری شده می‌باشند. تابع غیر خطی وابسته f حالت زمان قبلی $k-1$ در زمان k است. u_k تابع محرک سیستم است. h ارتباط غیرخطی بین حالت x_k و y_k اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. تخمین حالت \hat{x} را می‌توان از دو مرحله به دست آورد:

مرحله اول: پیشگویی حالت

$$\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}, u_k, 0) \quad (8)$$

$$\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}, u_k, 0) \quad (9)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T \quad (10)$$

مرحله دوم: تخمین حالت (اصلاح حالت)

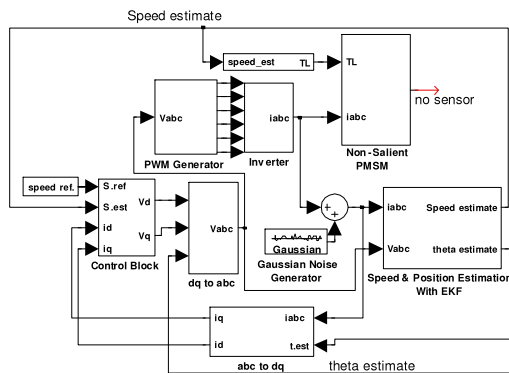
$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + V_k R V_k^T)^{-1} \quad (11)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - h(\hat{x}_k^-, 0)) \quad (12)$$

قرار گرفته‌اند [۱۳]. نوع نویز گوسی با متوسط صفر است که به جریان نمونه برداری شده اضافه شده است.

۵- کنترل بدون سنسور موتور سنکرون مغناطیس دائم با استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته

مدل موتور سنکرون مغناطیس دائم با استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته برای حالت بدون سنسور در شکل (۲) شبیه سازی شده است. در این سیستم از مدولاسیون پهنای باند استفاده شده است. همچنین از بار فن-پمپ که در آن گشتاور متناسب با مربع سرعت روتور است استفاده شده است.



شکل (۲): شبیه سازی فیلتر کالمن توسعه یافته برای تخمین سرعت / وضعیت موتور سنکرون مغناطیس دائم

Fig. (2): The simulation of the advanced Kalman filter for estimating the velocity/position of a permanent magnet synchron motor

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود از هیچ گونه سنسور جهت تخمین سرعت اوضاع استفاده نشده است و برای تخمین پارامترهای مذکور از ولتاژ و جریان‌های ترمینال به واسطه فیلتر کالمن توسعه یافته استفاده شده است. شکل (۳) نتایج کنترل سرعت موتور را در سرعت‌های خیلی زیاد (که معمولاً دقت سنسورها کم می‌باشد) را نشان می‌دهد. شکل (۴) روتور موتور، شکل (۵) روتور موتور تخمین زده شده، شکل (۶) جریان بتای واقعی و شکل (۷) جریان آلفای تخمین زده و شکل (۸) ولتاژ خط ab را نشان می‌دهد. اهمیت برنامه دقت زیاد برای تخمین در سرعت زیاد است و الا عملکرد این برنامه برای سرعت‌های کم نیز بررسی شده است. نتیجه عملکرد تخمین برای سه آزمون در سرعت کمتر 300 و 0 رادیان بر ثانیه در شکل (۹) آورده شده است.

$$Y = \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$U = \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$C = \begin{bmatrix} -\frac{r_s}{L} & 0 & \frac{\lambda_f N_p \sin \theta_e}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{r_s}{L} & -\frac{\lambda_f N_p \cos \theta_e}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_p & 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

معادله‌های فضای حالت را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (21)$$

$$Y = GX \quad (22)$$

به طوری که معادله‌های تقریبی گسسته عبارتند از:

$$x_k = (I + CT)x_{k-1} + BTu_{k-1} \quad (23)$$

$$y_k = Gx_k \quad (24)$$

که در آن I ماتریس واحد و T فاصله زمان نمونه برداری است. با در نظر گرفتن فرآیندها و اغتشاشات معادله‌های حالت گسسته موتور سنکرون مغناطیس دائم را در وضعیت معادله‌های (۱) و (۲) می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$h(x_k, \rho_k) = Gx_k + \rho_k \quad (25)$$

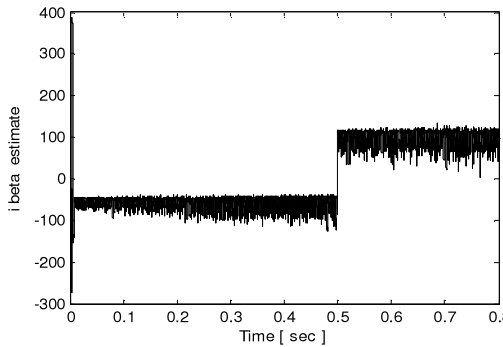
$$f(x_{k-1}, u_k, \sigma_{k-1}) = (I + CT)x_{k-1} + BTu_{k-1} + \sigma_{k-1} \quad (26)$$

بردار حالت \hat{x} را می‌توان از طریق معادلات (۱۴) الی (۱۷) تخمین زد:

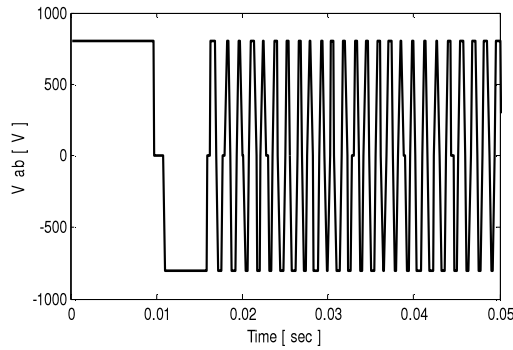
$$A_k = \begin{bmatrix} 1 - T\frac{r_s}{L} & 0 & T\frac{\lambda_f}{L}N_p \sin \theta_e & T\frac{\lambda_f}{L}\omega_r N_p \cos \theta_e \\ 0 & 1 - T\frac{r_s}{L} & -T\frac{\lambda_f}{L}N_p \cos \theta_e & T\frac{\lambda_f}{L}\omega_r N_p \sin \theta_e \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & T & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$H_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

در سیستم کنترل موتور سنکرون مغناطیس دائم ماتریس W_k و V_k ماتریس‌های واحد هستند و ماتریس‌های P_k و Q_k ثابت هستند. بنابراین $W_k Q_{k-1} W_k^T$ در معادله (۴) و $V_k R_k V_k^T$ در معادله (۵)



شکل (۷): جریان بتای تخمین زده شده
Fig. (7): The estimated β current



شکل (۸): ولتاژ خط ab
Fig. (8): The voltage waveform of ab line

۶ - بررسی عملکرد سیستم با بارهای متفاوت

برای آزمایش عملکرد کنترل کننده سرعت بدون سنسور، موتور سنکرون مغناطیس دائم بر اساس فیلتر کالمن توسعه یافته پایه ریزی شده است و از سه نوع بار مختلف استفاده می شود.

الف: بار فن/پمپ که در آن گشتاور با مربع سرعت روتور متناسب است.

$$(T_L \propto \omega_r^2)$$

ب: بار خطی که در آن گشتاور با سرعت روتور متناسب است. یک نمونه

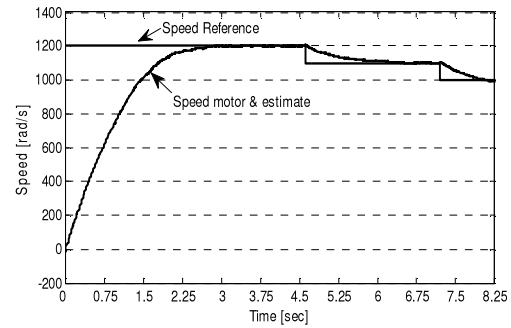
از این نوع بار، مجموعه های موتور / ژنراتور است. $(T_L \propto \omega_r)$

ج: بار با گشتاور ثابت که یک نمونه از آن بالا برنده ها هستند. مشخصات موتور سنکرون مغناطیس دائم که در مدل سازی استفاده شده در جدول (۱) آمده است.

Table (1): The specifications of permanent magnet synchron motor

جدول (۱): مشخصات موتور سنکرون مغناطیس دائم

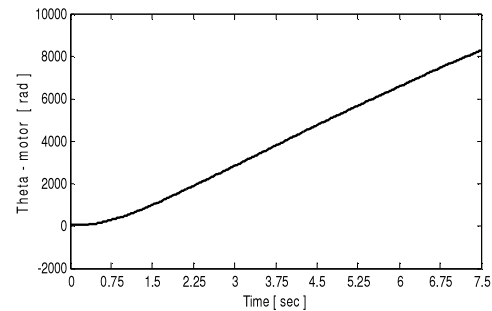
| | |
|------------------|-------------------|
| 3.97N.m | گشتاور نامی |
| 12000 Rpm | سرعت نامی |
| 2 | تعداد قطب |
| 0.08 Ohm | مقاومت استاتور |
| 1.13 m.H | اندوکتانس استاتور |
| 0.06553 V.s | شار - پیوندی |
| $N.m.s^2 0.0035$ | اینرسی روتور |



شکل (۳): سرعت مرجع، سرعت موتور و سرعت تخمین زده شده

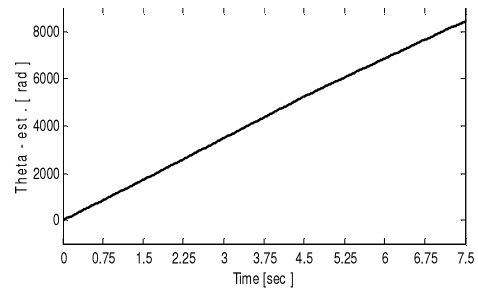
$$(T_L \propto \omega_r^2)$$

Fig. (3): The reference speed, motor speed and the estimated speed



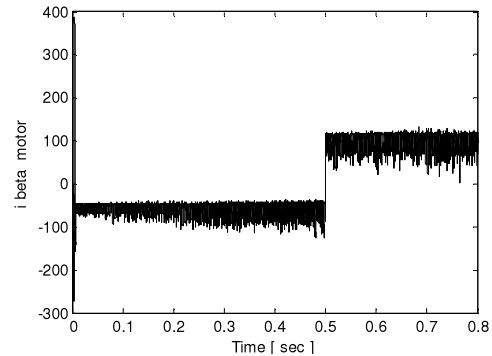
شکل (۴): وضعیت روتور موتور

Fig. (4): The position of motor rotor



شکل (۵): وضعیت روتور تخمین زده شده

Fig. (5): The estimated rotor position



شکل (۶): جریان بتای واقعی موتور

Fig. (6): The real motor β current

سه پارامتر متغیر موتور استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است.
الف: افزایش مقاومت سیم پیچی استاتور به وسیله افزایش حرارت در بدترین حالت که مقاومت دو برابر شود ($r_s \rightarrow 2r_s$).
ب: 10 درصد افزایش شار رتور و معمولاً موقعی اتفاق می افتد که موتور جدیداً ساخته شده است ($\lambda_r \rightarrow 1/1\lambda_r$).
ج: 20 درصد کاهش شار رتور، که معمولاً بعد از یک long-term ظهور می کند ($\lambda_r \rightarrow 0.8\lambda_r$)

جدول (۲) خطای تخمین و تعقیب سرعت را در حالت ماندگار در سرعت های متفاوت برای بارهای متفاوت ($T_L \propto \omega_r^2$) و ($T_L \propto \omega_r$) را نشان می دهد. در جدول (۲)، T_L گشتاور بار، ω_{act} سرعت واقعی، ω_{est} سرعت تخمین زده شده و ω_{ref} سرعت مرجع می باشد.

۷- بررسی عملکرد مقاوم بودن کنترل کننده

بررسی عملکرد تخمین زن در تغییر پارامترهای موتور مورد بررسی قرار گرفته است. برای مقاوم بودن فیلتر در تغییر پارامترهای موتور از تغییر

Table (2): The estimated and follow up of relative speed in the steady state in different speeds for ($T_L \propto \omega_r^2$), ($T_L \propto \omega_r$) and $T_L = 3.97 \text{ N.m}$

جدول (۲): خطای تخمین و تعقیب نسبی سرعت در حالت ماندگار در سرعت های متفاوت برای بارهای ($T_L \propto \omega_r^2$), ($T_L \propto \omega_r$) و $T_L = 3.97 \text{ N.m}$

| $T_L = 3.97 \text{ N.m}$ | | | $(T_L \propto \omega_r)$ | | | $(T_L \propto \omega_r^2)$ | | | سرعت مرجع (rad /s) |
|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|------|----------------------------|-------|-------|---|
| 1000 | 1100 | 1200 | 1000 | 1100 | 1200 | 1000 | 1100 | 1200 | |
| -0.78 | -0.82 | -0.94 | -0.59 | -0.64 | -0.7 | -0.14 | -0.19 | -0.24 | خطای تخمین نسبی سرعت در حالت ماندگار $\frac{\omega_{act} - \omega_{est}}{\omega_{ref}} \times 100(\%)$ |
| 0.62 | 0.72 | 0.84 | 0.58 | 0.53 | 0.52 | 0.5 | 0.48 | 0.4 | خطای تعقیب نسبی سرعت در حالت ماندگار $\frac{\omega_{act} - \omega_{ref}}{\omega_{ref}} \times 100(\%)$ |

و وضعیت موتور را بدون استفاده از سنسور با دقت کافی تخمین زد به نحوی که سرعت واقعی موتور با دقت زیادی سرعت مطلوب را تعقیب نماید. نتایج شبیه سازی نشان داد که فیلتر کالمن توسعه یافته یک روش ایده آل برای تخمین سرعت و وضعیت موتور سنکرون مغناطیس دائم می باشد. همچنین عملکرد کنترل بدون سنسور برای سه نوع بار فن / پمپ، مجموعه موتور/ ژنراتور و بالابرنده ارائه شد. نتایج نشان داد که می توان از فیلتر کالمن توسعه یافته به عنوان یک روش مطمئن برای انواع بارهای متفاوت دینامیکی استفاده نمود. همچنین از دقت تخمین و تعقیب نسبی سرعت به واسطه فیلتر کالمن توسعه یافته، می توان نتیجه گرفت که در سرعت های خیلی زیاد (که معمولاً دقت سنسورها کم می باشد)، استفاده از سنسور برای کنترل سرعت و وضعیت موتور سنکرون مغناطیس دائم مناسب نمی باشد.

Table (3): The effect of parameters variations on the estimation of speed

جدول (۳): اثر تغییر پارامترهای موتور در خطای تخمین سرعت

| سرعت مرجع [rad/s] | 1200 | 1000 | 1100 |
|---|-------|-------|-------|
| خطای سرعت در حالت ماندگار $r_s \rightarrow 2r_s$ | -1.3 | -1.19 | -1.1 |
| خطای سرعت در حالت ماندگار $\lambda_r \rightarrow 1/1\lambda_r$ | -1.9 | -1.64 | -1.6 |
| خطای سرعت در حالت ماندگار $\lambda_r \rightarrow 0.8\lambda_r$ | -2.01 | -1.99 | -1.94 |

۸- نتیجه گیری

ملاحظه شد اگر مدل دینامیکی موتور سنکرون مغناطیس دائم همراه با تخمین زن فیلتر کالمن توسعه یافته شبیه سازی شود، می توان سرعت

References

- [1] L.A. Chretien, "Position sensorless control of non-salient permanent magnet synchronous machines", A Thesis presented to the graduate faculty of the University of Akron, May 2006.
- [2] V. Anathan, C. Kettle, P. Moynihan, F. Lehman, "0Highly flexible motor control possible for the appliance market", In EPE, lausanne, Switzerland, 1999.
- [3] S. Bolognani, M. Zigliotto, M. Zordan, "Extended range PMSM sensorless speed drive based on stochastic filtering", IEEE Trans. on pow. Elec., Vol.16, No.1, jan. 2001.

- [4] A. Qiu, B. wu, H. kojori, "Sensorless control of permanent magnet synchronous motor using extended kalman filter", Canadian Conf. on Elec. and Comp. Engi., Vol.3, pp.1157-1562, may 2004 .
- [5] K.L. Shi, H. Kojori, B. wu, "High- performance sensorless PMSM drive with extended kalman filter", Sae. Pow. Sys. Conf., Florida, October 2002 .
- [6] G. Welch, G. Bishop, "An introduction to the kalman filter", TR95-041 Department of Computer Science University of North Carolina Hill Chapel hill, NC 27599-3175, July 2006.
- [7] S. Bolognani, L. Tubiana, M. Zigliotto, "Extended kalman filter tuning in sensorless PMSM drives", IEEE Trans. Indu. App., Vol.39, No.6, pp.1741-1747, November /Desember 2003.
- [8] S. Bolognani, R. Oboe, "Sensorless full-digital PMSM drive with EKF estimation of speed and rotor position", IEEE Trans. on Indu. Elec., Vol.46. No.1, pp.1-8, Feb. 1999.
- [9] R.E. Kalman, "A new approach to linear filtering and Prediction Problems", Trans. of the ASME – Jou. of Bas. Engi., pp.35-45, March 1960.
- [10] S.J. Julier, J.K. Uhlmann, H.F. Durrant-Whyte, "A new approach for filtering nonlinear systems", Proc. of the Amer. Cont. Conf., Seattle, Washington, pp.1628-1632, 1995.
- [11] Z. Peroutka, "Design considerations for sensorless control of PMSM drive based of extended kalman filter", University of west bohemia,plzen, Czech republic, pp.10, ISBN :90-75815-09-3,INSPEC Accession number :9035996,posted on line, 2006.
- [12] R. Dhaouadi, N. Mohan, L. Norum, "Design and implementation of an extended Kalman filter for the state estimation of a permanent magnet synchronous motor", Pow. Elec., IEEE Trans., Vol.6, Issue 3, pp.491- 497, July 1991.
- [13] A. Germano, F. Parasiliti, M. Tursini, "Sensor less speed control a PM synchronous motor drive by Kalman filter", Proc. of Inte. Conf. on Elec. Mach. (ICEM), Vol.2, pp.540-544, Paris, Sep. 1994.

رزومه



مهرداد جعفربلند به سال ۱۳۴۵ در اصفهان متولد شد. مدارک لیسانس و فوق لیسانس رشته قدرت را به ترتیب در سالهای ۱۳۶۸ و ۱۳۷۱ از دانشگاه‌های علم و صنعت و تربیت مدرس اخذ نمود. و مدرک دکتری برق را در سال ۱۳۸۱ از واحد علوم و تحقیقات اخذ نمود و تا اکنون استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر است. وی از سال ۱۳۶۶ تا کنون در مرکز تحقیقات دریایی اصفهان و از سال ۱۳۷۷ با مرکز تحقیقات فضایی همکاری دارد. زمینه پژوهشهای ایشان عبارتند از: کنترل سیستم‌های با ابعاد بزرگ، کنترل سیستم‌های غیرخطی الکترونیک قدرت و طراحی تجهیزات الکتریکی زیردریایی و ماهواره.



احسان بابایی در شهریور ۱۳۶۰ در یزد متولد شد. وی مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته قدرت را در سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۸۷ به ترتیب از دانشگاه‌های یزد و آزاد نجف‌آباد اخذ نمود و از سال ۱۳۸۴ تاکنون در صنایع فولاد فعالیت دارد. زمینه‌های پژوهشی ایشان عبارتند از: ماشینهای الکتریکی و کنترل سیستم‌های بدون سنسور.