

تخمین پارامترهای دینامیکی ماشین سنکرون با استفاده از الگوریتم PSO بهبود یافته توسط تخمینگر حداقل مربعات

بهزاد صداقت
b.sedaghat@yahoo.co.uk
ابوالفضل جلیوند
ajalilvand@znu.ac.ir
دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی برق، زنجان - ایران

واژه‌های کلیدی: تخمین پارامتر، ماشین سنکرون، الگوریتم PSO، آزمایش DC-Decay، حداقل مربعات

چکیده

تخمین و تعیین پارامترهای دینامیکی ماشین‌های سنکرون با دقت کافی و با هدف کنترل بهتر و بهره برداری مناسب تر در شبکه‌های قدرت دارای اهمیت بسیار می‌باشد. در این مقاله با استفاده از روش تست DC-Decay و الگوریتم PSO، پارامترهای ژنراتور سنکرون نیروگاه بخار بیستون تخمین زده می‌شود. اطلاعات DC-Decay در حوزه زمان مورد نیاز برای آنالیز و تخمین، با استفاده از تست ایستای پاسخ پله، بر روی این ماشین برداشت شده است. با استفاده از الگوریتم PSO، به دلیل سرعت بالا و دقت لازم، و تخمینگر مینیمم مربعات، به دلیل دقت و سرعت آن در دستگاه‌های غیرخطی، پارامترهای ماشین تخمین زده می‌شود. روش جدید ارائه شده در این مقاله، بر اساس تخمین پارامترهای دینامیکی ماشین به طور مستقیم استوار است. نتایج شبیه سازی و مقایسه آن با اطلاعات اندازه گیری شده نشان دهنده دقت روش ارائه شده می‌باشد.

۱- مقدمه

ماشین‌های سنکرون، بخش اصلی تولید توان در شبکه‌های قدرت می‌باشند. به همین دلیل کنترل و بهره برداری مناسب تر از آنها باعث پایداری بهتر شبکه و در نهایت باعث بالا رفتن قابلیت اطمینان و کیفیت توان شبکه قدرت می‌باشد. تخمین و تعیین پارامترهای ماشین‌های سنکرون، هم به منظور کنترل بهتر و هم به منظور شبیه سازی ماشین برای مطالعات دینامیکی سیستم قدرت دارای اهمیت می‌باشد. به طور کلی برای تعیین پارامترهای دینامیکی ماشین دو روش خارج از خط و در خط وجود دارد. برای تعیین پارامترهای ماشین در حالت خارج از خط و ایستا نیز دو روش اصلی تحلیل زمانی و تحلیل پاسخ فرکانسی قابل اعمال است. روش ایستای پاسخ فرکانسی یکی از روش‌های مناسب و در عین حال ساده برای پیاده سازی بر روی ماشین می‌باشد. برای انجام این تست، یک منبع تولید توان الکتریکی با فرکانس بین 200Hz تا 1MHz در جریان‌های بالا، مورد نیاز می‌باشد. راهکار دیگر، که نیازی به تجهیزات پیچیده ندارد و باعث

بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق

۲- مشخصات ژنراتور نیروگاه بیستون

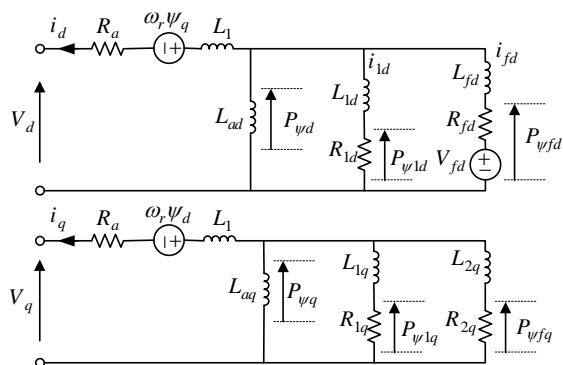
ژنراتور واحدهای بخار نیروگاه بیستون، به صورت ژنراتور سنکرون قطب صاف بوده و سیستم تحریک آن جاروبکدار می باشد. این ژنراتور ساخت شرکت آنسالدو ایتالیا بوده و مشخصات آن به صورت زیر می باشد:

جدول ۱: مشخصات ژنراتور نیروگاه بیستون

400MVA	توان ظاهری نامی
320MW	توان حقیقی نامی
20KV	ولتاژ نامی
11547A	جریان نامی
50Hz	فرکانس
2	تعداد قطب
0.8 پس فاز	ضریب قدرت نامی
3000rpm	دور نامی

۳- مدل ماشین سنکرون مورد استفاده

به دلیل شکل روتور و سرعت بالای چرخش آن، مدل انتخاب شده برای این ماشین، دارای دو سیم پیچ میراکننده در تحریک و دو سیم پیچ میراکننده در محور q می باشد [5]. مدار معادل چنین مدلی از ماشین سنکرون در شکل ۱ نشان داده شده است.



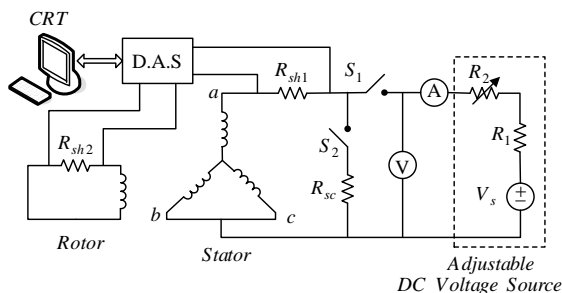
شکل ۱: مدل دو محوری مورد استفاده برای ماشین سنکرون

صرفه جویی در زمان و توان می شود، استفاده از روش DC-Decay می باشد [4]. در این روش با تزریق یک سیگنال پله ولتاژ به پایانه های ماشین، شار در محور $d-q$ روتور ایجاد می شود [2]. پس از شارژ سیم پیچ های استاتور با اتصال کوتاه نمودن پایانه های ماشین جریان افولی اندازه گیری می شود. در این مطالعه تست افول جریان در حالت ایستا بر روی ژنراتور نیروگاه بخاری بیستون انجام شده و اطلاعات جریان های افولی توسط دستگاه DAS ۱۶ بیتی ثبت و ذخیره شده است.

در روش های گذشته، تخمین پارامترهای ماشین به طور غیرمستقیم انجام شده است. در روش های غیرمستقیم ابتدا پارامترهای منحنی افولی با روش های ریاضی تخمین زده شده و سپس پارامترهای دینامیکی ماشین تعیین می شوند. مزیت این روش ها، ساده تر بودن الگوریتم و همگرایی بالا می باشد و از مشکلات آنها می توان به عدم توانایی مناسب در تخمین پارامتر اندوکتانس و خطای بالای آنها اشاره کرد.

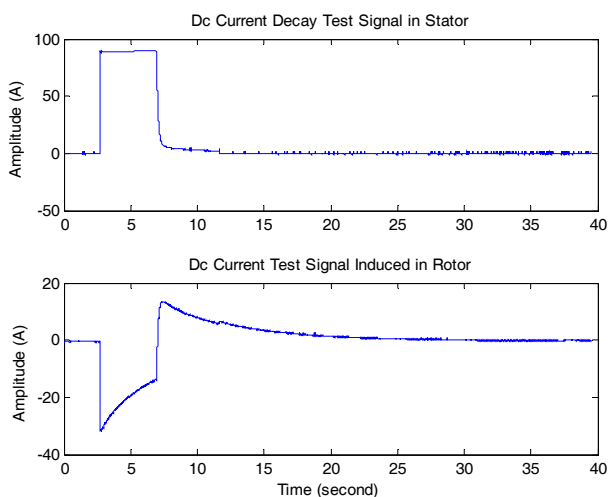
ایده اصلی مطرح شده در این مقاله، تخمین به روش مستقیم است. در این روش ابتدا پارامترهای دینامیکی ماشین تخمین زده می شوند، سپس پاسخ سیستم تخمین زده شده، به همان ورودی استفاده شده در تست جریان افولی، محاسبه شده و با پاسخ واقعی، مقایسه می شود. الگوریتم ارائه شده سعی در کاهش خطای میان این دو پاسخ دارد. این روش به دلیل حجم بالای محاسباتی که نسبت به روش های گذشته دارد، با وجود دارا بودن دقت بالا، از سرعت به نتیجه رسیدن کمتری برخوردار است. در این مقاله برای بالا بردن سرعت (تا حد امکان)، از دو تخمینگر LS به همراه الگوریتم PSO استفاده می شود. در نهایت دقت روش ارائه شده، با اعمال آن بر روی نتایج آزمایش دیگری که بر روی همان ژنراتور انجام گرفته، تعیین می شود. اطلاعات مورد استفاده برای تعیین توانایی این روش در تخمین پارامترهای ماشین، بر اساس اطلاعات برداشت شده در سال ۱۳۸۱ از ژنراتور نیروگاه بیستون می باشد [۸].

بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق



شکل ۳: نحوه اتصالات مدار برای تست DC decay

شکل ۴ منحنی جریان‌های ماشین را در حالت اتصال کوتاه برای محور d نمایش می‌دهد.



شکل ۴: نمونه ای از منحنی‌های جریان افولی آزمایشی

رفتار یک ماشین سنکرون را می‌توان توسط دو رابطه کلی برای راکتانس‌های محورهای d و q به خوبی توصیف نمود. روابط ۱ و ۲ این راکتانس‌ها را نمایش می‌دهند [3].

$$x_d(s) = x_d \frac{(1+sT'_d)(1+sT''_d)}{(1+sT'_{d0})(1+sT''_{d0})} \quad (1)$$

$$x_q(s) = x_q \frac{(1+sT'_q)(1+sT''_q)}{(1+sT'_{q0})(1+sT''_{q0})} \quad (2)$$

که در آن داریم:

T'_d : ثابت زمانی اتصال کوتاه گذرای محور d

T'_{d0} : ثابت زمانی اتصال کوتاه زیر گذرای محور d

T'_q : ثابت زمانی اتصال کوتاه گذرای محور q

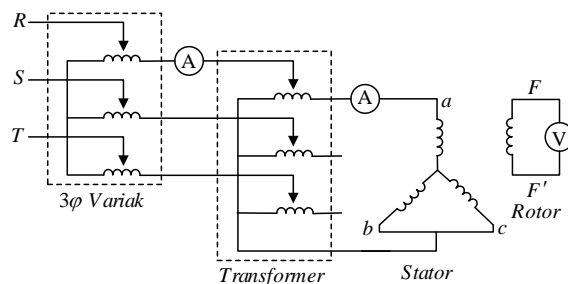
T'_{q0} : ثابت زمانی اتصال کوتاه زیر گذرای محور q

۴- روش DC-Decay

روش DC-Decay شامل اعمال یک ولتاژ پله ای به ماشین سنکرون در حالت ایستا و ثبت جریان‌های افولی ناشی از آن می‌باشد. پارامترهای ژنراتورهای سنکرون غالباً تحت تأثیر محل روتور آنها می‌باشد. برای تحصیل مقدار کافی اطلاعات، لازم است که آزمایش در دو حالت روتور اتصال کوتاه شده و مدار باز انجام شود. حالت اتصال کوتاه به طور کلی برای تعیین پارامترهای دینامیکی ماشین کافی می‌باشد. آزمایش افول جریان DC شامل دو بخش اصلی می‌باشد:

- تعیین و قراردادن روتور در محل محورهای d و q :

برای این کار باید ابتدا یک جریان سینوسی با دامنه ۳۸۰ ولت به استاتور ماشین اعمال شود و سپس ولتاژ القا شده در سیم پیچ، تحریک اندازه‌گیری شود. در این تست، جریان باید ثابت نگه داشته شود. با چرخاندن روتور با دقت بالا می‌توان محل این دو محور را به دقت مشخص نمود. مکان‌هایی که کمترین و بیشترین ولتاژ را القا می‌کنند، محور q و d می‌باشند. شکل ۲ نحوه سیم بندی مدار آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نحوه اتصالات مدار برای یافتن محل محورها

- تزریق جریان dc به استاتور و سپس اتصال کوتاه نمودن پایانه‌های استاتور:

جریان‌های افولی باید توسط سیستم DAS ثبت شده و برای مطالعات بعدی آماده شود. مدار کلی این آزمایش برای هر دو محور d و q مطابق شکل ۳ می‌باشد. برای انجام این آزمایش، منبع ولتاژ با یک مقاومت R_{sh1} به سیم پیچ استاتور متصل می‌باشد. با بسته شدن کلید S_1 مدار استاتور شارژ شده و با وصل شدن کلید S_2 ، جریان استاتور توسط مقاومت R_{sc} تلف شده و تنزل پیدا می‌کند.

بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{1}{T_d' T_d''} \\ \alpha_1 &= \frac{T_d' + T_d''}{T_d' T_d''} \\ \alpha_2 &= 1 \\ \beta_0 &= \frac{R_{total}}{L_d T_d' T_d''} \quad (V) \\ \beta_1 &= \frac{1}{T_d' T_d''} + \frac{T_{d0}' + T_{d0}''}{L_d T_{d0}' T_{d0}''} R_{total} \\ \beta_2 &= \frac{T_d' + T_d''}{T_d' T_d''} + \frac{T_{d0}' T_{d0}''}{L_d T_{d0}' T_{d0}''} R_{total} \\ \beta_3 &= 1 \end{aligned}$$

با استفاده از الگوریتم PSO مقادیر پارامترهای دینامیکی ماشین پیشنهاد می شود، پس از قرار گرفتن در روابط ۷ مقادیر پارامترهای میانی $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3)$ تعیین می شوند. پارامترهای میانی در روابط ۶ جایگزین می شوند. سپس با استفاده از تخمینگر مینیمم مربعات، دستگاه غیر خطی روابط ۶ حل شده و پاسخ ها برای تشکیل منحنی افولی تخمینی مورد استفاده قرار می گیرد [7]. به دلیل عدم وابستگی بخش B به بخش A (روابط ۶)، به جای حل یک دستگاه غیر خطی پیچیده، می توان آنرا به دو بخش ساده تر تقسیم نمود (A و B). تخمینگر مینیمم مربعات به ترتیب ابتدا دستگاه غیر خطی B و سپس بر اساس نتایج آن دستگاه A را حل می کند و به این ترتیب پارامترهای منحنی افولی $(A_1, A_2, A_3, \tau_1, \tau_2, \tau_3)$ تخمین زده می شوند. برای تعیین پارامترهای محور q روشی مشابه محور d مورد استفاده قرار می گیرد. با این تفاوت که در کلیه روابط باید به جای d ، q قرار داده شود.

در این روابط مقدار R_{total} ، مجموع مقادیر مقاومت های موازی، کنتاکت کلید، مقاومت کابل های اتصال و مقاومت معادل سیم پیچ های استاتور می باشد. در این تست مقدار این مقاومت مطابق رابطه ۸، برابر 0.0299 می باشد.

$$R_{total} = R_{sh} + R_{breaker} + R_{cable} + R_{stator} \quad (A)$$

$$\begin{aligned} T_d' : \text{ ثابت زمانی مدار باز گذرای محور } d \\ T_{d0}' : \text{ ثابت زمانی مدار باز زیر گذرای محور } d \\ T_q' : \text{ ثابت زمانی مدار باز گذرای محور } q \\ T_{q0}' : \text{ ثابت زمانی مدار باز زیر گذرای محور } q \end{aligned}$$

پس از اتصال کوتاه کردن پایانه های ماشین سنکرون، منحنی جریان باقی مانده را می توان توسط سه تابع نپر با دقت کافی توصیف نمود. رابطه ۳ شکل کلی این منحنی را بیان می کند.

$$i(t) = A_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + A_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} + A_3 e^{-\frac{t}{\tau_3}} \quad (3)$$

این رابطه در حقیقت پاسخ زمانی یک مدار $R-L$ می باشد. پاسخ فرکانسی این مدار مطابق رابطه ۴ می باشد. می توان نشان داد که جریان های i_d و i_q مطابق رابطه ۵ تعیین می شوند.

$$i_{d,q}(s) = \frac{A_1}{s + \frac{1}{\tau_1}} + \frac{A_2}{s + \frac{1}{\tau_2}} + \frac{A_3}{s + \frac{1}{\tau_3}} \quad (4)$$

$$i_d(s) = L_d \frac{(1+sT_d')(1+sT_d'')}{R_{total}(1+sT_{d0}') + sL_d(1+sT_d')(1+sT_d'')} \quad (5)$$

پس از مقایسه روابط ۴ و ۵ می توان به یک سری روابط میانی ۶ و ۷ دست یافت. این روابط نحوه ارتباط میان دو شکل نمایش ریاضی پاسخ فرکانسی را نشان می دهد [3].

$A :$

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{A_1}{\tau_2 \tau_3} + \frac{A_2}{\tau_1 \tau_2} + \frac{A_3}{\tau_1 \tau_2} \\ \alpha_1 &= A_1 \left(\frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3} \right) + A_2 \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_3} \right) + A_3 \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right) \\ \alpha_2 &= A_1 + A_2 + A_3 \end{aligned}$$

(۶)

$B :$

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \frac{1}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} \\ \beta_1 &= \frac{1}{\tau_2 \tau_3} + \frac{1}{\tau_1 \tau_3} + \frac{1}{\tau_1 \tau_2} \\ \beta_2 &= \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3} \\ \beta_3 &= 1 \end{aligned}$$

بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق

۵- الگوریتم PSO

در روش مستقیم برای تخمین پارامترهای دینامیکی ماشین (ثابت‌های زمانی و رآکتانس‌ها)، ابتدا مقادیر پارامترهای ماشین توسط تخمینگر PSO، پیشنهاد می‌شود، سپس همانطور که توضیح داده شد پارامترهای منحنی افولی با استفاده از تخمینگر مینیمم مربعات تخمین زده می‌شوند. در نهایت منحنی تخمین زده شده با داده‌های تجربی مقایسه شده و مقدار خطا تعیین می‌شود.

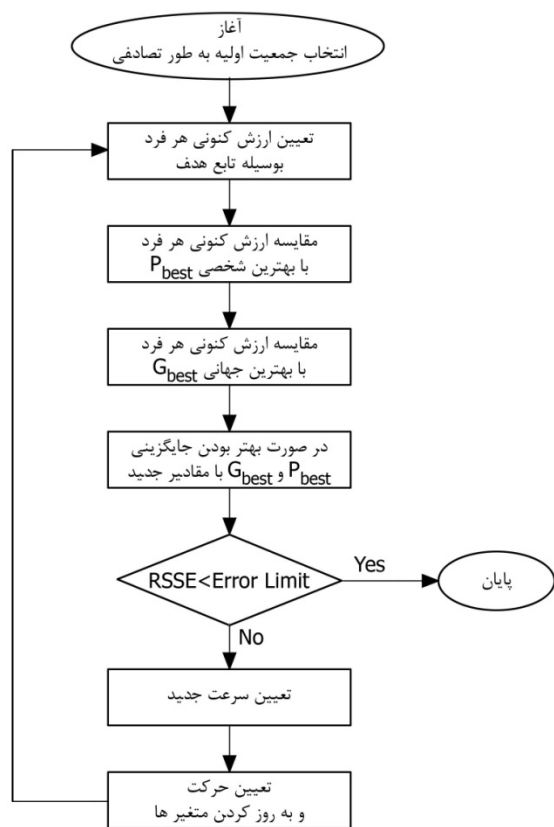
از روش‌های هوش جمعی مبتنی بر جمعیت می‌باشد. روش‌های هوش جمعی، مجموعه‌ای از روش‌ها هستند که بر پایه حرکت جمعی حشرات، پرندگان، انسان‌ها و غیره شکل گرفته است [6]. این روش به این گونه عمل می‌کند که ابتدا جمعیتی از ذرات را تولید کرده و به طور تصادفی در محیط پخش می‌کند. سپس این ذرات حرکت کرده و موقعیت جدید را بر اساس مقدار تابع هزینه جدید در مقایسه با مقدار تابع هزینه در محل قبلی؛ ارزیابی می‌کنند. تعیین حرکت بعدی هر ذره به سه عامل بستگی دارد: بهترین مقدار تابع هزینه خود هر ذره تا کنون، بهترین مقدار تابع هزینه ذرات دیگر موجود در جمعیت و شرایط قبلی خود ذره. در این الگوریتم حرکت توسط دو عامل محل قبلی ذره و سرعت حرکت ذره، مشخص می‌شود (شکل ۵). در این مقاله نحوه ارتباط ذرات، ستاره‌ای در نظر گرفته شده است. این بدان معناست که هر یک از ذرات قادرند با کلید ذرات موجود ارتباط داشته و از تجربیات آنها برای حرکت استفاده کنند.

تابع هدف، ارزش هر ذره را در جمعیت مشخص می‌کند. در این مطالعه، خطای نسبی بین منحنی تخمین زده شده و منحنی که از آزمایشات حاصل شده تابع هدف می‌باشد (رابطه ۹) که تخمین بهتر با مینیمم کردن این تابع حاصل می‌شود.

$$\text{Cost Function} = \text{RSSE} \%$$

$$\text{RSSE} \% = \frac{\text{SSE}}{\sum_{i=1}^n F_{\text{experimental}}^2} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{SSE} = \sum_{i=1}^n (F_{\text{estimated}} - F_{\text{experimental}})^2$$



شکل ۵: الگوریتم مورد استفاده در این مطالعه

الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه آغاز می‌شود. تعداد ستونهای ماتریس جمعیت، برابر با تعداد متغیرها (در این مطالعه ۵ متغیر) و تعداد سطرهای آن برابر با تعداد جمعیت می‌باشد (شکل ۶).

$$\begin{bmatrix} \text{ith person in population} \\ \vdots \\ \text{nth person in population} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T'_{d,i} & T''_{d,i} & T'_{d0,i} & T''_{d0,i} & L_{d,i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ T'_{d,n} & T''_{d,n} & T'_{d0,n} & T''_{d0,n} & L_{d,n} \end{bmatrix}$$

شکل ۶: شکل کلی فرد و جمعیت در الگوریتم

ارزش هر یک از اعضای جمعیت به مقدار تابع هدف بستگی دارد [6]. در هر تکرار حلقه اصلی الگوریتم، ارزش جدید هر یک از ذرات، تعیین شده و با ارزش قبلی مقایسه می‌شود.

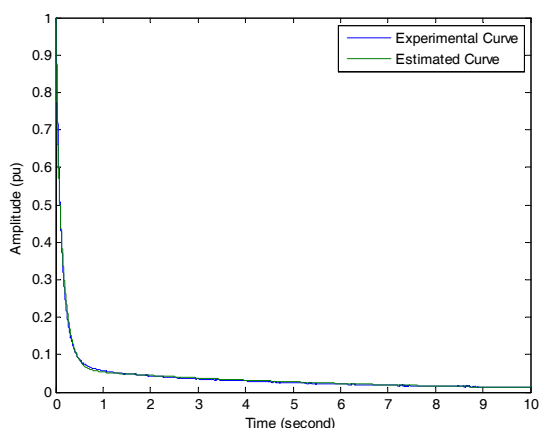
بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

در این مرحله برای محاسبه این مقادیر، پارامترهای L_d ، T_d' ، T_d'' ، T_{d0}' ، T_{d0}'' مورد نیاز می‌باشد. پس از اعمال الگوریتم ارائه شده، نتایج موجود در جدول ۲ حاصل می‌شود.

جدول ۲: مقدار تخمین زده شده برای پارامترهای محور d

T_d'	T_d''	T_{d0}'	T_{d0}''	X_d	X_d'	X_d''
1.67	0.0183	5.68	0.0312	1.99	0.58	0.34

منحنی جریان افولی تست شده و منحنی افولی ناشی از تخمین مربوط به پارامترهای محور d در شکل ۷ مقایسه و نمایش داده شده است. دقت پارامترها بستگی به کیفیت منحنی تخمینی نسبت به منحنی واقعی دارد.



شکل ۷: مقایسه منحنی‌های آزمایش شده و تخمین زده شده مربوط به پارامترهای محور d

۲-۶- محور q

برای یافتن رآکتانس‌های گذرا و زیر گذرای محور q ، همانند محور d از رابطه ۱۲ و ۱۳ استفاده می‌شود. در این مرحله برای محاسبه این مقادیر، پارامترهای L_q ، T_q' ، T_q'' ، T_{q0}' ، T_{q0}'' مورد نیاز می‌باشد. پس از اعمال الگوریتم ارائه شده، نتایج موجود در جدول ۳ حاصل می‌شود.

جدول ۳: مقدار تخمین زده شده برای پارامترهای محور q

T_q'	T_q''	T_{q0}'	T_{q0}''	X_q	X_q'	X_q''
0.8461	0.0343	1.306	0.147	1.83	1.18	0.27

بهترین ارزش هر ذره ثبت می‌شود. در این مرحله بهترین ارزش مجموعه کل ذرات نیز تعیین و ثبت می‌شود.

سپس سرعت جدید هر یک از ذرات با توجه به بهترین تجربه شخصی ($pbest_i$)، سرعت قبلی (v_{t-1}) و بهترین جمعیت (G_{best}) بر اساس رابطه ۱۰ تعیین می‌شود [6]. با استفاده از این سرعت و محل قبلی ذره، محل جدید ذره با استفاده از رابطه ۱۱ تعیین می‌شود.

$$v_i(t) = v_i(t-1) + \rho_1(xpbest_i - x_i(t)) + \rho_2(xpbest_i - x_i(t)) \quad (10)$$

$$x_i(t) = x_i(t-1) + v_i(t) \quad (11)$$

در این مقاله به جای ایجاد محدودیت در سرعت، از ضرائب انقباض برای تعیین سرعت استفاده شده است. ضمناً برای جلوگیری از دور شدن از مقدار بهینه جهانی، از ضریب اینرسی استفاده شده تا سرعت را هنگام نزدیک شدن به مقدار بهینه جهانی، کنترل کند به طوری که با رسیدن به نزدیکی این مقدار، سرعت کاهش یابد و باعث تمرکز در قسمت کوچکی از ناحیه جستجو گردد. شرایط همگرایی خطای نسبی کوچکتر از 0.005 می‌باشد.

۶- تخمین پارامترهای ماشین سنکرون نیروگاه بیستون

برای انجام بهتر تخمین پارامترها، ابتدا باید اطلاعات خواننده شده نرمالیزه و فیلتر شوند. به دلیل وجود پیک‌های ناخواسته ناشی از عملکرد نادرست دستگاه DAS، سیگنال ثبت شده قبل از استفاده برای فرآیند تخمین، فیلتر می‌شود.

۶-۱- محور d

برای یافتن رآکتانس‌های گذرا و زیر گذرای محور d از رابطه ۱۲ و ۱۳ استفاده می‌شود.

$$L'_{d,q} = L_{d,q} \left[\frac{T'_{d,q}}{T'_{d0,q0}} \right] \quad (12)$$

$$L''_{d,q} = L_{d,q} \left[\frac{T'_{d,q} T''_{d,q}}{T'_{d0,q0} T''_{d0,q0}} \right] \quad (13)$$

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

از سوی دیگر روابط کلی حاکم بر پارامترهای ماشین مطابق رابطه ۱۴ می‌باشد [5].

$$T'_{d0} > T'_d > T''_{d0} > T''_d \quad (14)$$

$$T'_{q0} > T'_q > T''_{q0} > T''_q$$

$$X_d \geq X_q \geq X'_q \geq X'_d \geq X''_q \geq X''_d$$

از آنجایی که مقادیر پارامترهای محور d این ژنراتور ($T'_{d0} = 5.78$, $X_d = 2$, $T''_{d0} = 0.038$) در مدارک فنی آن موجود می‌باشد، می‌توان با استفاده از این پارامترها نیز دقت کافی مدل ارائه شده را سنجید.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله روشی ارائه شد که بر اساس آن پارامترهای دینامیکی ژنراتور سنکرون نیروگاه بخار بیستون تخمین زده شد. الگوریتم PSO به همراه تخمینگر LS برای تخمین دقیق پارامترها به طور مستقیم استفاده شد و پارامترها با دقت کافی تخمین زده شد. منحنی‌های پاسخ مدل تخمین زده شده و تست شده بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشند. این مدل می‌تواند برای استفاده در مطالعات دینامیکی، پایداری سیستم قدرت و کنترل ماشین‌های سنکرون مورد استفاده قرار گیرد.

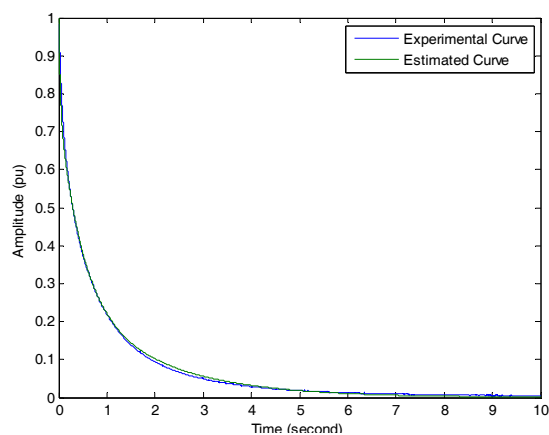
۹- سپاسگزاری

از آقای مهندس مجید اسمی به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات جمع آوری شده از نیروگاه بیستون که در سال ۱۳۸۱ توسط ایشان به انجام رسیده بود، سپاسگزاری به عمل می‌آید.

مراجع:

- [1]. V. Groza, M. Biriescu, Gh. Liuba, V. Cretu, "Experimental Determination of Synchronous Machines reactance's from DC Decay at Standstill", IEEE Trans. On Instrumentation and Measurement, May 2001.
- [2]. E.S. Boje, J.C. Balda, R.G. Harley, R.C. Beck, "Time-Domain Identification of

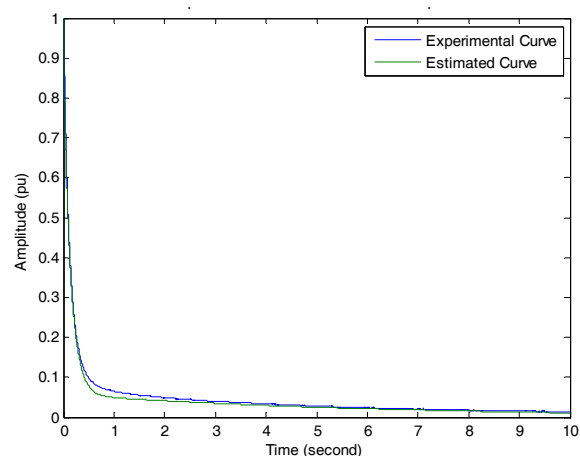
منحنی جریان افولی تست شده و منحنی افولی ناشی از تخمین مربوط به پارامترهای محور در شکل مقایسه و نمایش داده شده است. دقت پارامترها بستگی به کیفیت منحنی تخمینی نسبت به منحنی واقعی دارد.



شکل ۸: مقایسه منحنی‌های آزمایش شده و تخمین زده شده مربوط به پارامترهای محور q

۷- آزمایش اعتبار تخمین

تشخیص صحت پاسخ در هر مسئله تخمین، یکی از مهمترین بخش‌ها می‌باشد. راحت‌ترین روش برای این منظور مقایسه پاسخ (خروجی) مدل تخمین زده شده و پاسخ واقعی در یک شرایط جدید و یکسان می‌باشد. این روش برای این مطالعه انتخاب شده است به طوریکه نتایج آزمایش دیگری که برای تخمین استفاده نشده است با نتایج شبیه سازی مدل تخمین زده شده در مرحله قبل، مقایسه می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹: مقایسه منحنی‌های آزمایش شده و تخمین زده شده مربوط به پارامترهای محور q در شرایط جدید

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

Synchronous Machine Parameters from Simple Standstill Tests“, IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 5, No. 1, March 1990.

- [3]. P.J. Turner, A.B.J. Reece, “The DC-Decay test For Determining Synchronous Machine Parameters: Measurement and Simulation“, IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 4, No 4, December 1989.
- [4]. IEC Standard 34, “General Requirement for Rotating Electrical Machines“, Part 10, First Edition, 1988.
- [5]. P. Kundur, “Power System Stability and Control“, McGraw-Hill, 1998.
- [6]. J. F. Schtte, “The Particle Swarm Optimization Algorithm“, Structural Optimization Report, Fall, 2005.
- [7]. J. P. Norton, “An Introduction to Identification“, First Edition, Academic Press, 1986.

[۸]. گروه بهره‌برداری شبکه، “تعیین پارامترهای دینامیکی ژنراتور نیروگاه حرارتی بیستون“، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، بهمن ۱۳۸۱.