

دسترسی در سایت <http://jnrm.srbiau.ac.ir>

سال هفتم، شماره سی و چهارم، بهمن و اسفند ۱۴۰۰

شماره شاپا: ۵۸۸-۲۵۸۸X



پژوهش‌های نوین در ریاضی



دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

یک روش همزمان سازی برای یک دستگاه مختلط آشوبناک

موسی الرضا شمسیه زاهدی*

گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور، ص. پ. ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۷

چکیده

این مقاله، همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری (MFPS) در یک دستگاه آشوبناک با متغیرهای مختلط مربوط به موتور سنکرون آهنربای دائم (PMSM) با پارامترهای مجهول را ارائه می‌دهد. در این روش با تعریف یک کنترل کننده تطبیقی مناسب و سایر توابع مورد نظر و به کمک نظریه پایداری لیا پانف می‌توان پایداری مجانبی تابع خطا را اثبات کرد. این می‌تواند منجر به همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری بین دو دستگاه آشوبناک مختلط همسان با پارامترهای کاملاً مجهول شود. همچنین خطای برآورد پارامترها و مقدار قدرت تزویج با استفاده از روش ارائه شده به صورت دقیق بیان شده است. چون در روش‌های همزمان سازی تصویری اصلاح شده (MPS) و همزمان سازی تابع تصویری، (FPS) قدرت تزویج ثابت در نظر گرفته شده است در نتیجه این باعث محدود شدن دامنه کاربدهای این روش‌ها می‌شود. بنابراین MFPS، تعریف کلی‌تری از MPS و FPS است که در آنها ماتریس تابع مقیاس به ترتیب با ماتریس ثابت و تابع مقیاس انتخاب می‌شود. این روش می‌تواند بر روی سیستم‌های دینامیکی پیچیده دیگر به کار رود. شبیه‌سازی‌های عددی برای نشان دادن اثربخشی و اعتبار نتایج نظری فوق ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: دستگاه آشوبناک با متغیرهای مختلط، همزمان سازی تابع تصویری، پایداری لیا پانف.

۱- مقدمه

دستگاه‌های آشوبناک شامل متغیرهای مختلط در طول ۲۵ سال گذشته معرفی و مورد توجه پژوهشگران بسیاری واقع شده است. در سال ۱۹۸۲ معادلات مختلط لورنز توسط فاولر و همکاران پیشنهاد شد، که در واقع دستگاه‌های غیرخطی را به فضای مختلط گسترش می‌داد. پس از آن، محمود و همکاران دستگاه‌های مختلط چن و مختلط لو را معرفی کرده و جاذب‌های آشوبناک و خصوصیات پایداری نقاط ثابت آنها را نشان دادند [۲] و همچنین در مورد کنترل‌ها و همزمان‌سازی تصویری اصلاح شده [۳] بحث کردند. با افزودن یک کنترل کننده بازخورد حالت و استفاده از نیروی متناوب مختلط دستگاه جدید مختلط پرکاربرد لی [۴] ساخته شد.

در دو دهه گذشته، روشهای مختلفی برای همزمان سازی آشوب در دستگاه‌های آشوبناک مانند همزمان سازی کامل، همزمان سازی، همزمان سازی تأخیر، همزمان سازی عمومی، اسد همزمان سازی، همزمان سازی تکانشی و غیره ارائه شده است (به عنوان مثال [۵، ۶، ۷، ۸، ۹] را ببینید). همزمان سازی تصویری که برای اولین بار توسط [۱۰] در سیستم های خطی جزئی گزارش شده و توسط بسیاری از نویسندگان [۱۱، ۱۲] اصلاح شده است، از روش‌های بسیار قابل توجه‌ای بوده است. بعد از آن، یک روش همزمان سازی به نام همزمان سازی تصویری اصلاح شده (MPS) در [۱۳] پیشنهاد شد که با استفاده از آن دستگاه‌های آشوبناک می‌توانند به اندازه یک ماتریس معیاس ثابت همزمان شوند. اخیراً، مفهوم همزمان سازی تابع تصویری (FPS) توسط برخی محرمان [۱۴، ۱۵] ارائه شده است، جایی که دستگاه‌های محرکه و پاسخگو می‌توانند به اندازه یک تابع مقیاس همزمان شوند. همچنین، دو و همکاران [۱۵] نوع جدیدی از پدیده همزمان‌سازی را مورد بحث قرار دادند که

همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری (MFPS) نام دارد. در این روش دستگاه‌های محرک و پاسخگو می‌توانستند به اندازه ماتریس عملکرد مدیا اس مورد نظر همزمان شوند، ژنگ و همکاران [۱۶] همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری تطبیقی بین دو دستگاه پرکاربرد متفاوت با پارامترهای کاملاً مجهول یا تا حدودی مجهول را بررسی کرده‌اند، صابری و همکاران استراتژی‌ها و کنترل‌های همزمان سازی تصویری ترکیبی (HPS) و کنترل جریان بیبر-سال را در ابعاد دلخواه با پارامترهای مجهول ارائه کردند [۱۷، ۱۸] به ویژه MFPS تعریف کلی‌تری از MPS و FPS است که ماتریس تابع مقیاس به ترتیب با ماتریس ثابت و تابع مقیاس انتخاب می‌شود. با این حال، در منابع ذکر شده در بالا، قدرت تزویج ثابت در نظر گرفته شده است به طوری که دامنه کاربردهای آنها را محدود در سیستم درایو AC به دلیل ساختار ساده، قدرت زیاد گشتاور بالا، ضریب قدرت بالا و مقاومت منحصر بفرد، توجه گسترده‌ای به موتورهای سنکرون آهنربای دائم اعمال شده، مانند ابزارهای کنترل عددی رایانه‌ای (CNC)، ربات‌های صنعتی و سایر تنظیمات دقیق موقعیت دستگاه‌های مرور می‌شود [۱۹، ۲۰] بنابراین بررسی این دستگاه‌ها بسیار مهم و ارزشمند است. در این مقاله، بر اساس روش کنترل بازخورد تطبیقی، یک کنترل کننده تطبیقی طراحی شده و قوانین مربوط به بروز رسانی پارامترها برای آن مطرح شده است، به این طریق، MFPS برای موتورهای سنکرون آهنربای دائم با پارامترهای کاملاً مجهول حاصل می‌شود. در همین حال، پارامترهای مجهول را می‌توان شناسایی کرد و قدرت تزویج را به طور خودکار با یک ثابت مناسب سازگار کرد این مقاله به شرح زیر تنظیم شده است. بخش ۲ تعریف MFPS و توصیف رفتار دستگاه را ارائه می‌دهد. در بخش ۳ طرح‌های کلی MFPS تطبیقی برای دستگاه آشوبناک مختلط با پارامترهای

Z_1 و Z_2 به شکل مزدوج، وانگ و همکاران توانستند دستگاه مختلف یک موتور سنکرون آهنربای دائم را به صورت زیر تعریف کنند {۲۲}

$$\begin{aligned} z_1 &= a(z_2 \quad z_1) & (۳,۲) \\ z_2 &= bz_1 \quad z_2 \quad z_1 z_3 \\ z_3 &= \frac{1}{2}(z_1 \bar{z}_2 \quad \bar{z}_1 z_2) \quad z_3 \end{aligned}$$

که در آن $Z = (z_1, z_2, z_3)^T$ بردار حالت مختلط است و $\theta = (a, b)^T$ بردار پارامترها است

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1 + jx_2, z_2 = x_3 + jx_4, z_3 = \\ x_5, j &= \sqrt{-1}, \bar{z}_2, \bar{z}_1 \end{aligned}$$

مزدوج b, a, z_2, z_1 پارامترهای مجهول هستند. وانگ و همکاران در مقاله {۲۲} با جایگزینی متغیرهای مختلط در سیستم (۳,۲) با متغیرهای عددی حقیقی و موهومی، یک سیستم معادل به شرح زیر را معرفی کردند:

$$\begin{aligned} x_1 &= a(x_3 \quad x_1) & (۴,۲) \\ x_2 &= a(x_4 \quad x_5) \\ x_3 &= bx_1 \quad x_3 \quad x_1 x_5 \\ x_4 &= bx_2 \quad x_4 \quad x_2 x_5 \\ x_5 &= x_1 x_3 \quad x_2 x_4 \quad x_5 \end{aligned}$$

اگر پارامترها شرط $1 \leq a \leq 11$ و $10 \leq b \leq 20$ را برآورده کنند، آنگاه یک نمای لیاپانف مثبت، دو نمای لیاپانف صفر و دو نمای لیاپانف منفی برای دستگاه (۴,۲) وجود دارد، در نتیجه دستگاه (۴,۲) آشوبناک است. مقادیر پارامترها و مقادیر اولیه را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\begin{aligned} x_1(0) &= 1, x_2(0) = 2, x_3(0) = 3 \\ x_4(0) &= 4, x_5(0) = 5, a = 11, b = 20 \end{aligned}$$

نمودار فاز دستگاه (۴,۲) در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

کاملاً مجهول ارائه شده است. در بخش ۱۴ شبیه سازی‌های عددی برای نشان دادن اعتبار روش پیشنهادی ارائه شده است. نتیجه‌گیری نهایی در بخش ۵ آورده شده است.

۲- مدل ریاضی

معادلات حالت یک دستگاه موتور سنکرون آهنربای دائم را در یک روتور میدان گرا rotor field-oriented به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

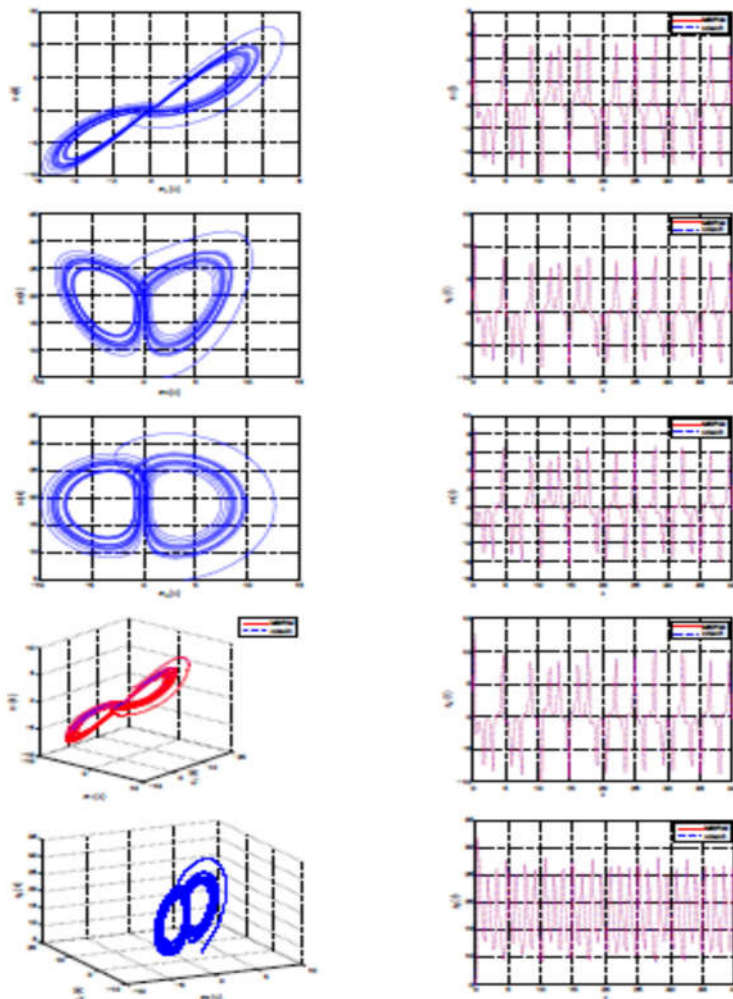
$$\begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= \frac{-R_1 i_d + \omega L_d i_q + u_d}{L_d} & (۱,۲) \\ \frac{di_q}{dt} &= \frac{R_1 i_q + \omega L_d i_d + u_q - \omega \Psi_r}{L_q} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{n_p \Psi_r i_q + n_p (L_d - L_q) i_d i_q - T_L - \beta \omega}{J} \end{aligned}$$

که در آن $\omega, \dot{i}_d, \dot{i}_q$ متغیرهای حالت هستند که به ترتیب جریان‌ها و فرکانس زاویه‌ای موتور را نشان می‌دهند. u_d, u_q به ترتیب مولفه‌های ولتاژ استاتور محور مستقیم (d) و محور متعامد (q) هستند. J ممان اینرسی قطبی، T_L گشتاور بار خارجی و β ضریب میرایی ویسکوز است. همچنین R_1 مقاومت در برابر پیچیدن استاتور L_q, L_d به ترتیب اندکتانس‌های محور مستقیم و محور متعامد استاتور هستند. Ψ_r شار مغناطیسی دائمی است و تعداد زوج قطب‌های موتور است، در این دستگاه فرض شده است که پارامترهای $\beta, L_d, L_q, J, T_L, R_1, \Psi_r$ همگی مثبت هستند.

زمانی که فاصله هوایی روتور و استاتور یکنواخت است و موتور در حالت دائمی کار می‌کند، معادلات بدون بعد آن را می‌توان به صورت زیر نوشت {۲۲}

$$\begin{aligned} z_1 &= a(z_2 \quad z_1) & (۲,۲) \\ z_2 &= bz_1 \quad z_2 \quad z_1 z_3 \\ z_3 &= z_1 z_2 \quad z_3 \end{aligned}$$

که در آن b, a مثبت هستند. اگر جریان در دستگاه (۲,۲) جمع باشد و متغیرهای Z_1 و Z_2 در دستگاه (۲,۲) اعداد مختلط باشند، با تغییر دادن جملات



شکل ۱: پاسخ‌های دستگاه موتور سنکرون آهنربای دائم

شکل ۲: نمودار فاز دستگاه موتور سنکرون آهنربای دائم

رفتار دینامیکی و خواص این دستگاه آشوبناک در مقاله {۲۲} به طور کامل بررسی شده است. هدف ما در اینجا بررسی نوع خاصی از همزمان سازی دستگاه‌های دینامیکی آشوبناک است که قبلاً برای این دستگاه مورد بررسی قرار گرفته نشده است.

که در آن $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)^T$ بردار مختلط حالت دستگاه محرک است،

$$j = \sqrt{-1}, z = z_r + jz_i$$

متغیرهای مختلط را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$z_1 = x_1 + jx_2, z_2 = x_3 + jx_4, \dots$$

$$z_{n1} = x_{2n1} + jx_{2n1}$$

بنابراین

$$z_r = (x_1, x_3, \dots, x_{2n1}, 1)^T$$

$$z_i = (x_2, x_4, \dots, x_{2n1}, 1)^T$$

۱.۲ بیان مساله، تعاریف و نمادها

در این بخش، ما دستگاه محرک را به‌عنوان یک دستگاه آشوبناک مختلط n_1 بعدی به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$z = f(z) + F(z)\theta \tag{۵.۲}$$

بودن دو دستگاه در واقع نتایج زیر را به همراه دارد:

$$n_r = n_2 \cdot f(z) = g(\omega) \cdot F(z) \theta = G(\omega) \varphi$$

بردار حالت خطا را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$e(t) = \omega(t) \quad \Lambda(t)z(t) \quad (۷.۲)$$

که در آن $\Lambda(t) \in n \times n$ تابع ماتریسی مقیاس است که عناصر آن به طور پیوسته مشتق پذیر و کراندار هستند و برای هر مقدار t ناصفر هستند. همچنین $e(t) = e_r(t) + j e_i(t)$ بردار خطا است.

$$\begin{aligned} e_r(t) &= \omega_r(t) \quad \Lambda(t)z_r(t) \\ e_i(t) &= \omega_i(t) \quad \Lambda(t)z_i(t) \\ e_r(t) &= (u_1 u_3 \dots u_{2n-1})^T \\ e_i &= (e_2 \cdot e_4 \dots e_{2n})^T \end{aligned}$$

تعریف ۲. ۱. برای دو دستگاه محرک (۵.۲) و دستگاه پاسخگوی (۶.۲) همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری اتفاق می‌افتد هرگاه ماتریس تابع مقیاس $\Lambda(t)$ وجود داشته باشد که

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|e(t)\| = \lim_{t \rightarrow \infty} \|\omega \quad \Lambda(t)z\| = 0$$

۳. همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری دستگاه PMSM

در این بخش می‌خواهیم همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری (MEPS) را با دستگاه آشوبناک با متغیرهای مختلط مربوط به موتور سنگرون آهنربای دائم (PMSM) با پارامترهای مجهول ارائه و مورد بررسی قرار دهیم.

اکنون فرض کنیم دستگاه (۲.۴) به عنوان محرک در نظر گرفته شود. در این صورت دستگاه زیر به عنوان پاسخگو معرفی می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_1 &= a(\omega_2 - \omega_1) + u_1 + j u_2 \quad (۱.۳) \\ \dot{\omega}_2 &= b\omega_1 - \omega_2 - \omega_1\omega_3 + u_3 + j u_4 \\ \dot{\omega}_3 &= \frac{1}{2}(\omega_1 \bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1 \omega_2) - \gamma_3 + \gamma_5 \end{aligned}$$

و نیز $f(z) = (f_1(z) \cdot f_2(z) \dots f_{n_1}(z))^T$ بردار یک تابع غیر خطی مختلط است همچنین فرض کنید $F(z)$ یک ماتریس مختلط $n_1 \times l_1$ است که در آن l_1 تعداد پارامترهای دستگاه محرک است. همچنین بردار پارامترهای دستگاه محرک و زیروندهای I, Γ به ترتیب قسمت‌های حقیقی و موهومی است.

سپس دستگاه پاسخگوی کنترل شده n_2 بعدی به صورت دستگاه مختلط آشوبناک زیر را در نظر می‌گیریم:

$$\dot{\omega} = g(\omega) + G(\omega)\varphi + u. \quad (۶.۲)$$

که در آن $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ بردار مختلط حالت دستگاه پاسخگو است $\omega = \omega_2 + j\omega_1 \cdot j = \sqrt{1}$ و تعریف می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \omega_r &= (y_1 \cdot y_3 \dots y_{2n_2-1})^T \\ \omega_i &= (y_1 \cdot y_4 \dots y_{2n_2})^T \end{aligned}$$

بنابراین

$$g(\omega) = (g_1(\omega) \cdot g_2(\omega) \dots g_{n_2}(\omega))^T$$

بردار یک تابع غیرخطی مختلط است. همچنین فرض کنید $G(\omega)$ یک ماتریس مختلط $n_2 \times l_2$ است که در آن l_2 تعداد پارامترهای دستگاه پاسخگو است. همچنین $\varphi = (b_1 \dots b_{l_2})^T$ بردار پارامترهای دستگاه پاسخگو و کنترل کننده طراحی شده به صورت $u = u_r + j u_i$ معرفی می‌شود که در آن

$$\begin{aligned} u_r &= (u_1 \cdot u_3 \dots u_{2n_2} \quad 1)^T \\ u_i &= (u_2 \cdot u_4 \dots u_{2n_2})^T \end{aligned}$$

و زیروندهای I, Γ به ترتیب برای قسمت‌های حقیقی و موهومی است.

اکنون می‌توانیم بحث درباره همزمان سازی دو دستگاه آشوبناک همسان را شروع کنیم. همسان

وقتی که قدرت تزویج به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$k = \text{diag}(k_1, k_2, \dots, k_5). \quad (۴, ۳)$$

$$k_i = \epsilon_i \epsilon_i^2, \epsilon_i > 0, i = 1, 2, \dots, 5$$

و قوانینی به روز کردن پارامترها به شکل زیر باشند:

$$\begin{aligned} \hat{a} = & -e_1(y_1 \quad y_3) + \alpha_1(t)e_1(x_1 \quad (۵, ۳) \\ & x_3) \quad e_2(y_2 \quad y_4) + \\ & \alpha_2 e_2(x_2 \quad x_4) \quad \hat{a}. \\ & e_4 \alpha_4(t) x_2 \quad \hat{b} \end{aligned}$$

که در آن a, \hat{a}, b, \hat{b} مقادیر برآورده شده پارامترهای مجهول b, a باشند، آنگاه سیستم محرک (۴,۲) و پاسخگویی (۱,۳) می‌توانند به هدف MFPS برسند.

اثبات. اگر بردار خطای حالت را به شکل $e = \omega \quad \Lambda(t)z$ دینامیکی خطا را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$e(t) = e^3(t) + je^i(t) = \omega^r(t) \quad (۶, ۳)$$

$$\begin{aligned} \Lambda(t)z^r(t) \\ \Lambda(t)z^i(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_1 = & \alpha(y_1 \quad y_3) + u_1 + \alpha_1(t)\alpha(x_1 \quad (۷, ۳) \\ & x_3) \quad \alpha_1(t)x_1 \\ e_1 = & \alpha(y_2 \quad y_4) + u_2 + \alpha_2(t)\alpha(x_2 \quad \\ & x_4) \quad \alpha_2(t)x_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_3 = & by_1 \quad y_3 \quad y_1 y_5 + u_3 \quad (۷, ۳) \\ & \alpha_3(t)bx_1 + \alpha_3(t)x_3 + \alpha_3(t)x_1 x_5 + \\ & \alpha_3(t)x_3 \\ e_4 = & by_2 \quad y_4 \quad y_2 y_5 + u_4 \\ & \alpha_4(t)bx_2 + \alpha_4(t)x_4 + \alpha_4(t)x_2 x_5 + \\ & \alpha_4(t)x_4 \\ e_5 = & y_1 y_3 + y_2 y_4 \quad y_5 + u_5 \\ & \alpha_5(t)x_1 x_3 \quad \alpha_5(t)x_2 x_4 + \alpha_5(t)x_5 + \\ & \alpha_5(t)x_5 \end{aligned}$$

با جایگزین کردن معادله (۳,۳) در معادله (۷,۳) بدست می‌آوریم:

که در آن $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)^T$ بردار مختلط حالت و $\theta = (a, b)^T$ بردار پارامتر است. هدف ما در اینجا از MFPS طراحی یک کنترل کننده به شکل $u = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)^T$ است به طوری که قادر باشد توابع حالت دستگاه‌های محرک و پاسخگو را با توجه به توابع مقیاس انتخابی متفاوت همزمان کند.

مطابق بحث‌های بالا خواهیم داشت:

$$f(z) = \begin{bmatrix} 0 \\ z_1 z_3 \\ \frac{1}{2}(z_1 \bar{z}_2 + \bar{z}_1 z_2) \end{bmatrix}, F(z) = \begin{bmatrix} z_2 & z_1 & 0 \\ 0 & & z_1 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, g(\omega) = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_1 \omega_2 \\ \frac{1}{2}(\omega_1 \bar{\omega}_2 + \bar{\omega}_1 \omega_2) \end{bmatrix}, G(\omega) = \begin{bmatrix} \omega_2 & \omega_1 & 0 \\ 0 & & \omega_1 \end{bmatrix}$$

بحث در مورد MFPS تطبیقی در سیستم‌های مختلط آشوبناک (۴,۲) و (۱,۳) می‌تواند به تجزیه و تحلیل پایداری مجانبی پاسخ صفر دستگاه خطا منجر شود. در زیر، یک کنترل کننده تطبیقی مناسب برای اطمینان از پایداری مجانبی سیستم خطا ارائه شده است.

قضیه ۱,۳. فرض کنید دستگاه محرک (۴,۲) و پاسخگویی (۱,۳) یکسان باشند و کنترل‌ها به صورت زیر طراحی شده باشند.

$$\begin{aligned} u = & u^r + ju^i = \Lambda(t)f(z) \quad g(\omega) \quad (۲, ۳) \\ & G(\omega)\hat{\theta} \\ & + \Lambda(t)F(z)\hat{\theta} + \Lambda(t)z(t) \quad ke \\ u_1 = & \hat{a}(y_1 \quad y_3) \quad \alpha_1(t)\hat{a}(x_1 \quad x_3) \\ & + \alpha_1(t)x_1 \quad k_1 e_1. \\ u_2 = & \hat{a}(y_2 \quad y_4) \quad \alpha_2(t)\hat{a}(x_2 \quad x_4) \\ & + \alpha_2(t)x_2 \quad k_2 e_2 \\ u_3 = & \hat{b}y_1 + y_3 + y_1 y_5 + \alpha_3(t)\hat{b}x_1 \\ & \alpha_3(t)x_3 \quad \alpha_3(t)x_1 x_5 + \alpha_3(t)x_3 \quad k_3 e_3. \\ u_4 = & \hat{b}y_2 + y_4 + y_2 y_5 + \alpha_4(t)\hat{b}x_2 \\ & \alpha_4(t)x_4 \quad \alpha_4(t)x_2 x_5 + \alpha_4(t)x_4 \quad k_4 e_4 \\ u_5 = & y_1 y_3 \quad y_2 y_4 + y_5 + \alpha_5(t)x_1 x_3 + \\ & \alpha_5(t)x_2 x_4 \quad \alpha_5(t)x_5 + \alpha_5(t)x_5 \quad k_5 e_5 \end{aligned}$$

بنابراین بر اساس قضیه پایداری لیاپانف، دو سیستم آشوبناک مختلط تحت کنترل‌های تطبیقی انتخاب شده خاص (۳،۳) و قوانین به روز رسانی پارامترها (۳،۵) می‌توانند به همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری دست پیدا کنند.

۴. نتایج عددی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی عددی را بررسی می‌کنیم. پارامترهای مجهول و شرایط اولیه برای دستگاه محرک و پاسخگو را به صورت زیر انتخاب می‌کنیم:

$$\begin{aligned} a &= 11. b = 20. x_1(0) = 1. x_2(0) = \\ 2. x_3(0) &= 3. x_4(0) = 4. x_5(0) = 5 \\ y_1(0) &= 1. y_2(0) = 2. y_3(0) = \\ 3. y_4(0) &= 4. y_5(0) = 5 \end{aligned}$$

همچنین شرایط اولیه برای پارامترهای برآورد شده را به صورت $\hat{a}(0) = 12. \hat{b}(0) = 19$ انتخاب می‌کنیم. از طرفی تابع قدرت تزویج و نیز توابع مقیاس را با $k = l_{4 \times 4}$

$$\begin{aligned} \alpha_1(t) &= 0/5 + \sin t. \alpha_2(t) = 0/5 + \\ \sin 2t. \alpha_3(t) &= 0/5 + \sin 3t. \alpha_4(t) = \\ 0/5 + \sin 4t \end{aligned}$$

نشان می‌دهیم. نتایج شبیه‌سازی عددی در شکل ۳ خلاصه شده است. در واقع شکل ۳ توابع حالت (مسیرهای حالت) دستگاه‌های محرک و پاسخگو را نشان می‌دهد. دینامیک تابع خطای همزمان سازی نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. یکی از نمودارهای شکل ۵ بیانگر مقادیر برآورد شده خطا برای پارامترهای مجهول است. قدرت‌های تزویج k_i نیز در قسمت دوم شکل ۵ به نمایشی درآمده است. این نتایج نشان می‌دهند که هدف همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری دستگاه‌های مختلط موتور سنکرون آهنربای دائم با پارامترهای مجهول با این روش محقق شده است.

$$\begin{aligned} e_1 &= \tilde{\alpha}(y_1 \ y_3) \ \alpha_1(t)\tilde{\alpha}(x_1 \ x_3) \ k_1 e_1 \\ e_2 &= \tilde{\alpha}(y_2 \ y_4) \ \alpha_2(t)\tilde{\alpha}(x_2 \ x_4) \ k_2 e_2 \\ e_3 &= \tilde{b}y_1 + \alpha_3(t)\tilde{b}x_1 \ k_3 e_3 \\ e_4 &= \tilde{b}y_2 + \alpha_4(t)\tilde{b}x_2 \ k_4 e_4 \\ e_5 &= k_5 e_5 \end{aligned}$$

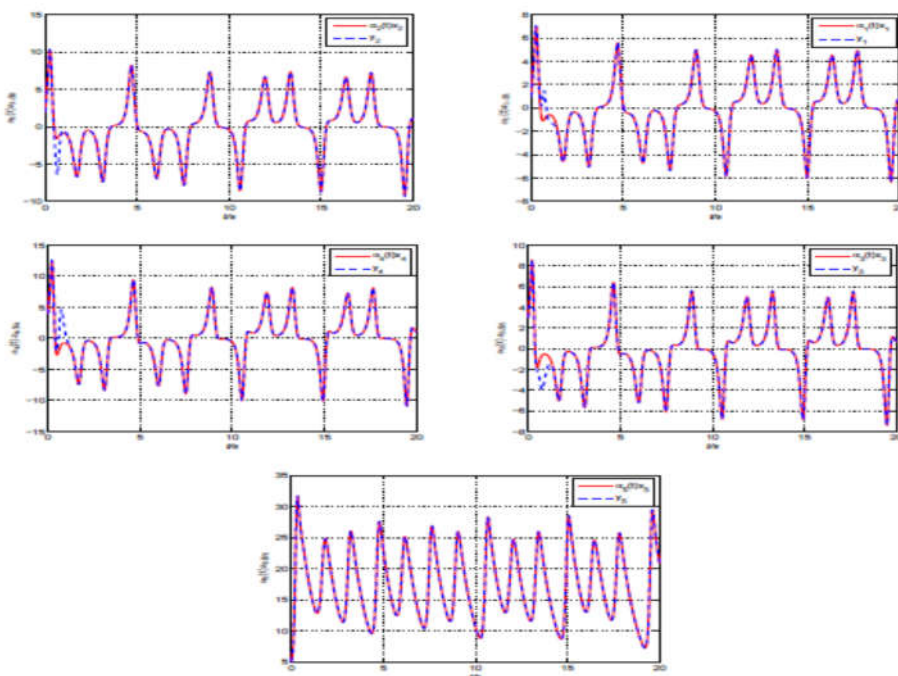
اکنون تابع لیاپانف را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\begin{aligned} V(e^r. e^i. \theta) &= \\ \frac{1}{2}[(e^r)^T e^r + (e^i)^T e^i + \tilde{\theta}^T \tilde{\theta}] &+ \\ \sum_{i=1}^5 \frac{1}{\epsilon_i} (k_i \ k)^2 &= \\ \frac{1}{2}[e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2 + e_5^2 + \tilde{\alpha}^2 + \tilde{b}^2 + & \\ \sum_{i=1}^5 \frac{1}{\epsilon_i} (k_i \ k)^2] \end{aligned}$$

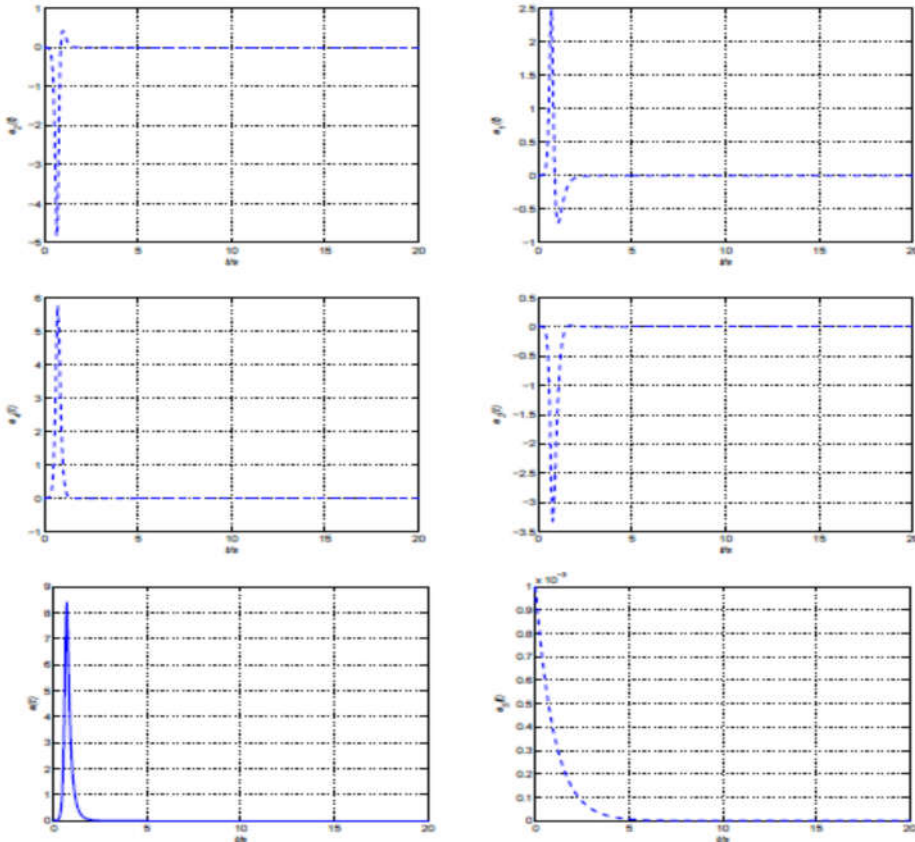
که در آن $\hat{a} = \tilde{\alpha}$ ، $\hat{b} = \tilde{b}$ یک ثابت مثبت است.

با استفاده از کنترل‌های (۳،۳) معادله (۴،۳) و قوانین به روز کردن پارامترها (۳،۵) مشتق تابع لیاپانف در راستای مسیر تابع خطاهای دستگاه (۶،۳) به صورت زیر نوشته می‌شود:

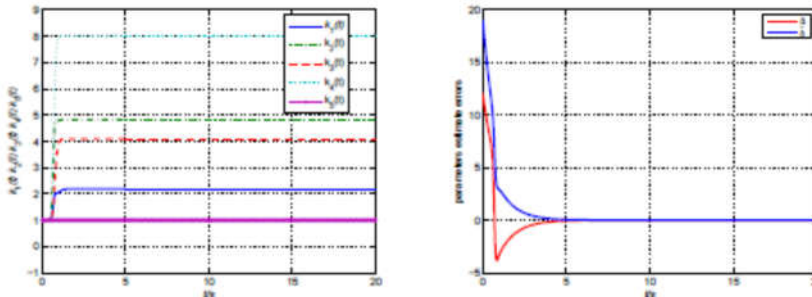
$$\begin{aligned} &= e_1 e_1 + e_2 e_2 + e_3 e_3 + e_4 e_4 + e_5 e_5 + \\ &\tilde{\alpha} \tilde{\alpha} + \tilde{b} \tilde{b} + \sum_{i=1}^5 \frac{1}{\epsilon_i} k_1 (k_i \ k) \\ &= e_1 (\tilde{\alpha} y_1 \ \tilde{\alpha} y_3 \ \alpha_1 \tilde{\alpha} x_1 + \alpha_1 \tilde{\alpha} x_3 \\ &k_1 e_1 \\ &+ e_2 (\tilde{\alpha} y_2 \ \tilde{\alpha} y_4 \ \alpha_2 \tilde{\alpha} x_2 + \alpha_2 \tilde{\alpha} x_4 \\ &k_2 e_2) \\ &+ e_3 (\tilde{b} y_1 + \alpha_3 \tilde{b} x_1 \ k_3 e_3) \\ &e_4 (\tilde{b} y_2 + \alpha_4 \tilde{b} x_2 \ k_4 e_4) \ k_5 e_5^2 \\ &+ \tilde{\alpha} (e_1 (y_1 \ y_3) + \alpha_1(t) e_1 (x_1 \ x_3) \\ &e_2 (e_1 (y_1 \ y_3) + \alpha_1(t) e_1 (x_1 \ x_3) \\ &+ \tilde{b} (e_3 y_1 \ e_3 \alpha_3(t) x_1 + e_4 y_2 \\ &e_4 \alpha_4(t) x_2 \ \tilde{b}) \\ &+ (k_1 \ k) e_1^2 + (k_2 \ k) e_2^2 + \\ &(k_3 \ k) e_3^2 + (k_4 \ k) e_4^2 + (k_5 \ k) e_5^2 \\ &= k e_1^2 \ k e_2^2 \ k e_3^2 \ k e_4^2 \ k e_5^2 \\ &\tilde{\alpha}^2 \ \tilde{b}^2 \end{aligned}$$



شکل ۳: توابع حالت دستگاه محرک (۲، ۴) و پاسخگویی (۱، ۳).



شکل ۴: نمودار خطای همزمان سازی و قدرت تزویج تطبیقی



نمودار خطای برآور پارامترها و قدرت تزویج

نتیجه گیری

در این مقاله ما یک روش کنترل تطبیقی برای همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری دستگاه‌های مختلط موتور سنکرون آهنربای دائم با پارامترهای مجهول را ارائه دادیم. براساس نظریه پایداری لیا پان و کنترل تطبیقی، روش عمومی برای همزمان سازی اصلاح شده تابع تصویری دو

سیستم آشوبناک مختلط یکسان معرفی شد. به علاوه، سازگاری خودکار قدرت تزویج یا یک بابت مناسب نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه سازیهای عددی کارایی و موثر بودن طرح همزمان سازی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

فهرست منابع

- [9] G.A. Leonov, Lyapunov functions in the attractors dimension theory. *J. Appl. Math. Mech.* 76 (2012), 129-141.
- [10] R. Mainieri, J. Rehacek, Projective synchronization in three-dimensioned chaotic systems. *Phys Rev Lett.* 82 (1999), 3042-3045.
- [11] W. L. Guo, M. Z. Mao. Projective lag synchronization and parameter identification of a new hyperchaotic system. *International Journal of Automation and Computing*, 10(3) (2013), 256-259.
- [12] D.L. Xu, W.L. Ong, Z.G. Li, Criteria for the occurrence of projective synchronization in chaotic systems of arbitrary dimension. *Phys Lett A.* 305 (2002), 167-172.
- [13] G.H. Li, Modified projective synchronization of chaotic system. *Chaos Solitons Fractals.* 32 (2007), 1786-1790.
- [14] H.Y. Du, Q.S. Zeng, C.H. Wang, Function projective synchronization of different chaotic systems with uncertain parameters. *Phys Lett A.* 372 (2008), 5402-5410.
- [15] H.Y. Du, Q.S. Zeng, C.H. Wang, Modified function projective synchronization of chaotic system. *Chaos Solitons Fractals.* 42(4) (2009), 2399-2404.
- [16] S. Zheng, G. Dong, Q. Bi, Adaptive modified function projective synchronization of hyperchaotic systems with unknown parameters. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat.* 15 (2010), 3547-3556.
- [17] H. Saberi Nik, J. Saberi-Nadjafi, S. Effati, R.A. Van Gorder, Hybrid
- [1] A.C. Fowler, J.D. Gibbon, M.J. McGuinness, The complex Lorenz equations. *Physica D.* 4(2)(1982), 139-163.
- [2] G.M. Mahmoud, T. Bountis, E.E. Mahmoud, Active control and global synchronization for complex Chen and Lu systems. *Int. J. Bifurc. Chaos.* 17 (2007), 4295-4308.
- [3] G.M. Mahmoud, M.E. Ahmed, Modified projective synchronization and control of complex Chen and Lu systems. *J. Vib. Control.* 17 (2010), 1184-1194 .
- [4] G.M. Mahmoud, E.E. Mahmoud, M.E. Ahmed, On the hyperchaotic complex Lu system. *Nonlinear Dyn.* 58 (2009), 725-738.
- [5] H.Y. Sun, N. Li, D.P. Zhao, Q.L. Zhang, Synchronization of Complex Networks with Coupling Delays via Adaptive Pinning Intermittent Control, *International Journal of Automation and Computing.* 10 (4) (2013), 312-318.
- [6] Y. Dai, Y. Z. Cai, X. M. Xu. Synchronization and exponential estimates of complex networks with mixed time-varying coupling delays. *International Journal of Automation and Computing*, 6(3) (2009), 301-307.
- [7] C.K. Ahn, An answer to the open problem of synchronization for time-delayed chaotic systems. *Eur. Phys. J. Plus* 127(2) (2012), 1-9.
- [8] G.A. Leonov, V.B. Smirnova, Mathematical problems of synchronization Theory. *St. Petersburg: Nauka*, 2000.

projective synchronization and control of the Baier-Sahle hyperchaotic flow in arbitrary dimensions with unknown parameters, *Appl Math comput.* 248 (2014), 55-69.

[18] H. Saberi Nik, R.A. Van Gorder, Competitive modes for the Baier-Sahle hyperchaotic flow in arbitrary dimensions, *Nonlinear Dyn.* 74 (2013) 581-590.

[19] M. Karabacak, H.I. Eskikurt, Speed and current regulation of a permanent magnet synchronous motor via nonlinear and adaptive backstepping control. *Math. Comput. Model.* 53 (2011), 2015-2030.

[20] S.X. Jing, Design and simulation of PMSM feedback linearization control system. *TELKOMNIKA.* 11(3), (2013), 1245-1250.

[21] Z. Jing, C. Yu, G. Chen, Complex dynamics in a permanent-magnet synchronous motor model. *Chaos Solitons Fractals.* 22 (2004), 831-848.

[22] X. Wang, H. Zhang, Backstepping-based lag synchronization of a complex permanent magnet synchronous motor system. *Chin. Phys. B.* 22(4), (2013), 048902.

