

پدیده آشوب (Chaos) و تاثیر آن در سیستمهای Aviation

داوود رحیمی
دانشکده برق، دانشگاه هوایی
شهید ستاری،
میدان شمشیری، خیابان آزادی، تهران،
ایران.
کد پستی: ۱۳۸۴۶۶۳۱۱۳
پست الکترونیکی:
rahimi_davood@yahoo.com

امین رمضانی
دانشکده مهندسی برق، دانشگاه
صنعتی شریف تهران،
خیابان آزادی، تهران، ایران.
کد پستی: ۱۱۳۶۵۹۳۶۳
پست الکترونیکی:
aminramezani@mehr.sharif.edu
amin_rz2002@yahoo.com

چکیده: در ابتدای امر مفهوم رفتار آشوبگرانه تنها به عنوان یک مفهوم ریاضی جالب و بحث برانگیز به حساب می آمد و در سیستمهای عملی جای نداشت ولی با گذشت زمان، دینامیکهای آشوبگرانه در بسیاری از سیستمهای مکانیکی، ارتباطی، رادیویی، لیزری، شیمیایی، زیست شناسی، اقتصادی و پزشکی مشاهده شد و بصورت یک موضوع عملی مورد بررسی قرار گرفت. این مقاله شامل دو بخش است که در بخش اول به ارائه اطلاعات ضروری در مورد آشوب و چگونگی کنترل سیستمهای آشوبگرانه می پردازد و بخش دوم به کاربرد این شیوه های کنترلی در سیستمهایی می پردازد که در هواپیماها بهنگام مواجه با اشیاء پرنده ناشناس (UFO's) دچار نوعی رفتار شبه آشوبی می گردند.

کلمات کلیدی: سیستم آشوبگر، دینامیک سیستم، اشیاء پرنده ناشناس (UFO).

۱- مقدمه: سیستمهای آشوبگر

بخش حاضر اطلاعات ابتدایی مربوط به دینامیک پروسه های آشوبگر ارائه می دهد. سیستمهای آشوبگر ارائه دهنده دسته ای از مدلهای دارای عدم قطعیت و نامعین هستند که با مدلهای آماری متفاوت می باشند. در مورد مدلهای معین (Deterministic) با در دست داشتن حالات کنونی سیستم می توان مسیر حالات آینده سیستم را در یک بازه پیوسته زمانی طولانی پیش بینی کرد و در مورد مدلهای آماری (Stochastic) چنین پیش بینی را نمی توان انجام داد. در حالی که برای یک سیستم آشوبگر مسیر حالات دارای یک خطای پیش بینی شده می باشند

که بطور نحایی افزایش می یابد بنابراین برای یک محدوده زمانی کوچک و با خطای پیش بینی مشخص می توان پیش بینی انجام داد به عبارت دیگر یک مدل آشوبگر دارای نوسانهای نامنظم بوده که هم دامنه و هم اندازه آن شناور و متغیر است. باید توجه داشت که مدهای آشوبگرانه در بعضی سیستمها مفید و در بعضی سیستمها مضر می باشند و به همین دلیل در کنترل سیستمهای غیر خطی دارای مد آشوبگرانه ممکن است بدنبال کاهش یا افزایش درجه آشوبگری باشیم. عبارت کنترل آشوب عموماً " به زمینه ای در مطالعات علمی اشاره دارد که واسط بین تئوری کنترل و تئوری دینامیک سیستمها بوده و به مطالعه روش کنترل سیستمهای معین می پردازد که دارای رفتار نامنظم و آشوبگرانه باشند. مسئله کنترل آشوب از سال ۹۰ میلادی توجه بسیاری از علاقمندان را بخود جلب کرده و چندین هزار مقاله در این زمینه در دهه اخیر ارائه شده است. تعاریف ریاضی متفاوتی از آشوب بیان شده است اما همگی آنها در واقع بیشتر بیان کننده حساسیت بیش از حد (Super Sensitivity) سیستم نسبت به شرایط اولیه می باشند و می گویند که مسیرهای حالت سیستم در مسافت کوتاهی و اگر می شوند و پیش بینی رفتار دراز مدت سیستم غیر ممکن است و این در حالیکه مسیرهای حالت سیستم محدود باقی می مانند. این خاصیت با فهم ما از ناپایداری که بطور تجربی در سیستمهای خطی بدست آوریم در تناقض است.

تعریف مفاهیم مربوط به مدلهای آشوبگر تاکنون بطور منسجم انجام نشده است و چندین تعریف مختلف از سیستمهای آشوبگر وجود دارد که در اینجا یکی از ساده ترین آنها مطرح میگردد. به این منظور سیستم زمان پیوسته با دینامیک زیر را در نظر میگیریم.

$$\dot{X} = F(X) \quad (1)$$

$$X \in X(t) \in R^n$$

$$0 \leq t \leq \infty$$

که در آن $X=X(t)$ بردار سیستم است.

تعریف ۱: مجموعه بسته $\Omega \subset R^n$ یک جاذب (Attractor) از سیستم (۱) نامیده میشود اگر: (a) مجموعه باز Ω_0 با فرض $\Omega \subset \Omega_0$ وجود داشته باشد به قسمی که تمام مسیرهای حالت سیستم (۱) که از Ω_0 شروع می شوند برای $t \geq 0$ محدود بوده و با گذشت زمان $(t \rightarrow \infty)$ به سمت Ω گرایش یابند به عبارت دیگر:

$$\text{dist}(x(t), \Omega) \rightarrow 0$$

For $t \rightarrow \infty$

If $x(0) \in \Omega_0$

Where $\text{dist}(X, \Omega) = \inf_{Y \in \Omega} \|X - Y\|$

(b) هیچکدام از زیر مجموعه های خاص Ω دارای خاصیت (a) نباشند.

تعریف ۲: یک جاذب، آشوبگر (Chaotic) نامیده میشود اگر محدود بوده و هر مسیری که از درون آن شروع میشود یک مسیر ناپایدار لیاپانوف (Lyapounov Unstable) باشد.

تعریف ۳: یک سیستم آشوبگر نامیده میشود اگر حداقل یک جاذب آشوبگر داشته باشد. ناپایداری لیاپانوف مهمترین مشخصه آن نوسانات آشوبگرانه است. فوق حساسیت (Super sensitivity) یا وابستگی حساس (Sensitive dependence) نسبت به شرایط اولیه نیز نامیده میشود و بیانگر این مسئله است که هر دو مسیر حالت پیوسته نزدیک بهم تحت

شرایط اولیه متفاوت ناچاراً " در يك مسافت محدود از يكديگر فاصله میگیرند. در بحث كنترل سیستمهای آشوبگر نوعی دیگر از مسیرهای حالت که مسیرهای بازگشتی (Recurrence) نامیده می شوند نیز مهم می باشند: این مسیرها با گذشت زمان همواره حول يك همسایگی كوچك از حالات گذشته خود شروع به چرخش می کنند و شكلی مشابه گرداب را حول يك حالت معین در صفحه دوبعدی بوجود می آورند.

۲- كنترل پروسه های آشوبگر

فرمول بندي رياضي مسئله كنترل پروسه های آشوبگر با ارائه مدل اساسی از سیستم آشوبگر با استفاده از معادلات دیفرانسیلی حالات انجام میگیرد. Z. lin و G. chen در مقاله خود [1] نشان داد که بهترین مدل برای يك سیستم غیر خطی آشوبگر، دارای فرم زیر می باشد:

$$\dot{X} = F(X) + g(x)u$$

که در آن u ورودی سیستم و X بردار حالت سیستم است. فرض کنید در سیستم $Y(t) = h(X(t))$ خروجی اندازه گیری شده و سیستم بوده و تابعی از حالات سیستم است.

اگر $X^*(t)$ حالت مطلوب سیستم و یا $Y^*(t)$ خروجی مطلوب سیستم باشد، در مدلهای مختلف كنترل و هدف ما آن است که تابع ورودی كنترل $U(t)$ را بصورت:

$$\begin{array}{ll} \text{يا} & U(t) = U(t, x_0) \text{ تابع كنترل حلقه باز} \\ \text{يا} & U(t) = U(x(t)) \text{ فیدبك حالت} \end{array}$$

$$U(t) = U(y(t))$$

چنان تعیین کنیم که شرط زیر برقرار گردد:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X(t) - X^*(t) = 0$$

یا

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y(t) - Y^*(t) = 0$$

در يك سیستم آشوبگر پیدا کردن چنین ورودی كنترل بعلت مسیرهای حالات آشوبگر $X^*(t)$ است نیست و باید سعی در اصلاح یا حذف جاذبههای سیستم بگونه ای داشته باشیم که بتوان چگونگی تغییرات $X^*(t)$ را پیش بینی کرد و در جهت محاسبه ورودی مناسب كنترلی گام برداشت.

۳- روشهای كنترل پروسه های آشوبگر

۱-۳- كنترل حلقه باز

اساس این شیوه همان كنترل بوسیله برنامه ریزی سیگنال است به این معنی که يك سیگنال كنترلی بصورت تابعی زمانی و با توجه به میزان پروسه كنترل شونده تولید شود. در واقع بر اساس تغییرات رفتاری سیستم غیر خطی تحت كنترل يك سیگنال ورودی $U(t)$ از پیش تعیین شده به سیستم اعمال میگردد که این سیگنال $U(t)$ يك پدیده فیزیکی مانند نیروی مکانیکی یا الکترومغناطیسی می باشد که پارامترهای سیستم تحت كنترل را تحت تأثیر قرار می دهد. این شیوه بسیار ساده می باشد زیرا بدون هیچگونه اندازه گیری و استفاده از سنسورهای صورت میگیرد که این مسئله در مورد كنترل سیستمهای آشوبگر که اندازه

گيري و پيش بيني دقيق حالات (حداقل بصورت زمان حقيقي) ميسر نيست مفيد است چنين شيوه اي مي تواند در واقعي كه سيستمهاي آشوبگر در جاذبههاي فوق حساس يا بازگشتي قرار ميگيرند مورد استفاده قرار گيرد. جهت مطالعه دقيقتر اين شيوه به مراجع [2,3] رجوع گردد.

۲-۲- خطي سازي با استفاده از نگاشت Poincare يا شيوه OGY

امكان تبديل تحركات آشوبي به حالت پريوديك بوسيله يك سيگنال كنترل خارجي بر روي سيستم توسط Tsyda و Matsumoto در [4] و Alekseev و Loskutov در [5,6,7] در اواسط دهه ۸۰ ميلادي كشف شد. در اين شيوه مسئله كنترل با دو ايده اصلي زير فرمول بندي ميگردد:

(۱) طراحي كنترل كننده بصورت مدل گسسته سيستم برپايه خطي سازي بانگاشت Poincare

(۲) استفاده از خاصيت بازگشتي بودن مسيرهاي حالت سيستم آشوبگر و بكار بردن سيگنال كنترلي ثابت در هنگام بازگشت مسيرهاي حالت به همسايگي حالت دلخواه و مدارهاي گردش داده شده. مقالات اصلي در اين زمينه تنها به بررسي سيستمهاي گسته درجه دوم و سيستمهاي پيوسته درجه سوم پرداخته اند كه تحقق اين مسئله نياز به محاسبه مقادير و بردارهاي ويژه ماتريسههاي ژاكوب و نگاشت Poincare دارد. اساس اين شيوه كه به شيوه OGY معروف است در مراجع [8,9,10] آمده است.

۳-۳- شيوه فيدبك تاخير زماني يا شيوه Pyragas

در سالهاي اخير مشاهدات نشان از گرايش به سمت شيوه اي به نام فيدبك تاخير زماني داده است. شيوه اي كه در سال ۱۹۹۲ ميلادي توسط فيزيكداني سيتوانيايي بنام K.Pyragas پيشنهاده شد [11]. در اين شيوه قانون ساده فيدبكي:

$$u(t) = K(x(t) - x(t-T))$$

$$\dot{X} = F(x) + g(x) u$$

براي سيستم غير خطي:

كه داراي مدارات دوار (orbit) با پريود T ناپايدار مي باشد پيشنهاده ميگردد كه در آن K ضريب گذار (Transmission Coefficient) و T تاخير زماني است. اين قانون فيدبكي معمولا "به روشهاي عددي اشاره شده در مراجع [12] محاسبه ميگردد ولي روش تحليلي براي محاسبه اين قانون فيدبك در سيستمهاي حلقه بسته بسيار سخت بوده و همچنان تحت عنوان كنترل كننده عمومي Pyragas مورد بحث و بررسي است. بايد توجه داشت روشهاي زيادي نظير كنترل فازي، كنترل مبتني بر شبكه هاي عصبي مصنوعي، كنترل تطبيقي و كنترل سيستمهاي گسته نيز براي كنترل سيستمهاي آشوبگر بطور پراكنده بكار رفته است. و جاي بحث جدي همچنان در مورد آنها وجود دارد.

۴- نمونه كاربردهاي كنترل آشوب

۴-۱- مهندسي هوافضا

نوسانات آشوبي مزايای حرکتی و چرخشی هواپیماها و كنترل آنها بحث برانگيزترين پديده در ساليان اخير در مهندسي هوافضا بوده است. علاوه بر مسائل كلاسيك مربوط به ناهمگوني الاستيك قطعات هواپیما مسائل ديگري نظير نوسانات پيچيده آشوبگرانه نيز از ديناميك غير خطي پيچيده آنها حاصل ميگردد. نمونه كارهايي كه در اين زمينه انجام شده بصورت زير فهرست ميگردند:

- کنترل زاویه چرخش اجسام پرنده حول محور ثابت در حالت آشوبگرانه [13, 14, 15].
- کنترل جابجایی های آشوبی محور ژیرسکوپ [16, 17, 18].
- کنترل نرخ زاویه چرخش ماهواره در حالت آشوبی [19, 20].

۲-۴- سیستمهای الکترونیکی و الکتریکی

- در سالیان اخیر پروسه های آشوبگرانه زیادی در سیستمهای الکتریکی و الکترونیکی یافت شده است و روشهای کنترلی آنها نیز متعاقباً مورد بحث و تبادل نظر واقع شده است. باید خاطر نشان ساخت که عقلانی بودن وقوع پروسه های آشوبگرانه در این سیستمها، آنالیز رفتار آشوبی و مشخصه کردن پارامترهای موثر در این گونه نوسانات براحتی قابل استنتاج است و در ضمن باید دانست که مرسومترین مولدهای نوسانات آشوبگرانه نظیر سیستمهای Matsumoto, Chua و Lorenz در سیستمهای الکتریکی یافت شده اند. نمونه کارهایی که در این زمینه انجام شده عبارتند از:
- کنترل سیستمهای Chua ببه روش تنظیم تطبیقی بهره [21].
 - کنترل مبدلهای باک (Buck Converters) در حالت آشوب [22-28].
 - کنترل سیستم BVVT (Backward Wave Tubes) [29, 30].
 - کنترل مدلهای آشوبی در موتورهای DC [31].
 - کنترل مدولاسیون پهنای باند آشوب زده [32].
 - کنترل تعلیق مغناطیسی (Levitation) [33].
 - بررسی رفتار سیستمهای الکترومکانیکی با نوسانات الکتریکی یا مکانیکی آشوبگرانه [34].
 - بررسی و کنترل افت ولتاژ ناگهانی در اثر آشوب [35].
 - هماهنگ سازی مجموع مدارات الکترونیکی دارای خواص آشوبگرانه [36].

۳-۴- سیستمهای ارتباطی

در بحث سیستمهای مخابراتی، برخلاف دیگر مباحث اشاره شده همواره نمیتوان با دید منفی به مسئله آشوب نگریست. قبل از معرفی موارد اجرایی بهتر است ۳ مشخصه اساسی که آشوب و انتقال اطلاعات را بهم مرتبط سازد معرفی گردند:

(۱) **گسترده طیفی وسیع (Broad Bandness):** سیگنالهای آشوبگر غیر پریودیک بوده و دارای گستره طیفی وسیعی و پیوسته ای می باشند. علاوه بر آن شخص می تواند فرم مشخصه طیفی سیگنال را تعیین کند. در سیستمهای ارتباطی سیگنال های باند وسیع برای تحلیل اعوجاج در کانال سیگنال مورد استفاده واقع میگردند. اعوجاجهایی نظیر Narrowband, Fading. بنابراین سیگنالهای آشوبگر دارای پتانسیل مناسبی برای ارتباط طیف گسترده می باشند.

(۲) **پیچیدگی (Complexity):** سیگنالهای آشوبگر دارای ساختار پیچیده ای بوده و فوق العاده غیر منظم می باشند. مولدهای یکسان سیگنال آشوبگر می توانند در پاسخ به شرایط اولیه یکسان سیگنال آشوبگر می توانند در پاسخ به شرایط اولیه یکسان سیگنالهای آشوبگر کاملاً متفاوت تولید نمایند. این امر شناسایی مولد را بسیار مشکل کرده و پیش بینی پروسه را برای مدت طولانی غیر ممکن نماید. سیگنالهای دارای فرم پیچیده و رفتار غیر قابل پیش بینی می

توانند به عنوان دسته ای خاص از سیگنالهای پنهان و مخفی برای مقاصد نظامی و امنیتی مورد استفاده قرار گیرند.

(۳) تعامد (Orthogonality): به علت درهم ریختگی سیگنالهای آشوبگر، معمولاً تابع خود همبستگی آنها به سرعت کاهش می یابد. بنابراین سیگنالهای دارای منابع مختلف می توانند بصورت سیگنالهای متعامد غیر وابسته در نظر گرفته شوند. که از این خاصیت می تواند در سیستمهای ارتباطی چند کاربره استفاده کرد. معمولاً در این سیستمها یک دافعه فرکانسی بطور همزمان توسط چند کاربر مورد استفاده قرار میگیرد. کاربرد سیگنالهای آشوبی در سیستمهای ارتباطی زمینه گسترده ای پیدا کرده است:

- هماهنگ سازی سیستمهای گیرنده - فرستنده [37-42].
 - پوشش و بازتابی پیامها و اطلاعات [43].
 - فیلتر اسیون یونز [44].
 - ذخیره و بازتابی اطلاعات [45].
 - الگوریتمهای رمز گذاری و رمز گشایی دیجیتال با استفاده از دینامیکهای آشوبگر [46-49].
- این مباحث باعث بوجود آمدن بحث های جدی نظیر رمز گذاری آشوبگرانه، کلید زنی، مد آشوبگر، کنترل اتوماتیک فاز. اختلاط سیگنال اطلاعات و سیگنال آشوبگر در سیستم های مخابراتی شده است.

۵- نتیجه گیری

سیستمهای آشوبگر در معادلات حالات خود معمولاً دارای مسیره های حالتی هستند که دارای نوسانات غیر قابل پیش بینی ولی محدود حول همسایگی های مشخص می باشند. معمولاً کنترل چنین رفتارهایی به سختی و بطور ناقص انجام میگردد. البته باید توجه داشت که همواره نسبت به پدیده آشوب نباید دید منفی داشت و در مواردی خواهان تولید یا افزایش رفتار آشوبگرانه تحت کنترل هستیم. در این مقاله سعی شده است تا معرفی اجمالی نسبت به سیستمهای آشوبگر، چگونگی کنترل آنها و مواردی که کار شده معرفی گردند که امید است این مباحث برای خوانندگان علاقمند به تئوری کنترل و کاربردهای آن مفید واقع گردد.

مراجع:

- [1] Chen, G. and Liu, Z., On the Relationship Between Parametric Variation and State Feedback in Chaos Control, *Int. J. Bifurcat. Chaos*, 2002, vol. 12, no. 6, PP. 1411-1415.
- [2] Kapitsa, P.L., Dynamic Stability of Pendulum with Oscillating Suspension Point, *Zh. Teor. Fiz.*,
- [3] Stephenson, A., On a New Type of Dynamical Stability, *Mem. Proc. Manch. Lit. Phil. Soc.* 52, 1-10; On Onduced Stability, *Phil. Mag.*, 1908, no. 15, pp. 233-236.
- [4] Matsumoto, K. and Tsyda, I., Noise-induced Order, *J. Stat. Phys.*, 1983, vol. 31, pp. 87-106.
- [5] Alekseev, V.V. and Loskutov, A.Yu., Destocastization of a System with Strange Attractor by Parametric Action, *Ivestn. MGU*, 1985, vol. 26, no. 3, pp. 40-44.
- [6] Alekseev, V.V. and Loskutov, A.Yu., On the Possibilty of Controlling a System with a Strange Attractor, in *probemy ekologicheskogo monitoringa I modelirovaniya ekosistem* (problems in Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, vol. VIII, pp.175-189.
- [7] Alekseev, V.V. and Loskutov, A.Yu., Controlling a System with a Strange Attractor by Periodic Parametric Action, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1987, vol. 293, no. 6, PP. 1346-1348.

- [8] Boccaletti, S., Grebogi, C., Lai, Y.C., *et al.*, The Control of Chaos: Theory and Applications, *Phys. Reports*, 2000, vol. 329, pp. 103-197.
- [9] Grebogi, C., Lai, Y.C., and Hayes, S., Control and Applications of Chaos, *int. J. Bifurcat. Chaos*, 1997, vol. 7, pp. 2175-2197.
- [10] Grebogi, C., Lai, Y.C., Controlling Chaotic Dynamical Systems, *Syst. Control Lett.*, 1997, vol. 31, no. 3, pp.307-312.
- [11] Pyragas, K., Continuous Control of Chaos by Self-controlling Feedback, *Phys. Lett. A*, 1992, vol. 170, pp. 421-428.
- [12] Socolar, J.E.S., Sukow, D.W., and Gauthier, D.J., Stabilizing Unstable Periodic Orbits in Fast Dynamical System, *phys. Rev. E*, 1994, vol. 50, pp.3245-3248.
- [13] Fradkov, A.L., and Andrievskii, B.R., Damping of Spacecraft Oscillations by Smallpoer Control, *Tez. X SPb. Mezhd. Knof. Po integrirovannym navigatsionnym sistemam.* (Proc. X St. Petersburg Int. Conf. On Integrated Navigation Systems), St. Petersburg: GNCRF-CNIElektropribor", 2003.
- [14] Meehan, P.A., and Asokanthan, S.F., Control of Chaotic Instabilities in a Spinning Spacecraft with Dissipation Using Lyapunov Method, *Chaos, Solitons, Fractals*, 2002, vol. 13, pp. 1857-1869.
- [15] Meehan, P.A. and Asokanthan, S.F., Control of Chaotic Motion in a Dual-Spin Spacecraft with Nutational Damping, *J. Guid., Control Dynam.*, 2002, vol. 25, no. 2, pp. 209-214.
- [16] Ge, Z.-M. and Lin, T.-N., Chaos, Chaos Control and Synchronization of Electro-Mechanical Gyrostat System, *J. Sound Vibr.*, 2003, vol. 259, no. 3, pp. 585-603.
- [17] Inarrea, M. and Lanchares, V., Chaos in the Reorientation Process of a Dual-Spin Spacecraft with Time-Dependent Moments of Inertia, *Int. J. Bifurcat. Chaos*, 2002, vol. 10, no. 5, pp. 997-1018.
- [18] Lanchares, V., Inarrea, M., and Salas, J.P., Spin Rotor Stabilization of a Dual-Spin Spacecraft with Time-Dependent Moments of Inertia, *Int. J. Bifurcat. Chaos*, 1998, vol. 8, no. 3, pp. 609-617.
- [19] Ge, Z.M. and Shiue, J.S., Non-linear Dynamics and Control of Chaos for a Tachometer, *J. Sound Vibr.*, 2002, vol. 253.
- [20] Chen, Li- Qun and Liu Yan-Zhu, Chaotic Attitude Motion of a Magnetic Rigid Spacecraft and Its Control, *int. J. Non-Linear Memchanics*, 2002, vol. 37, pp. 493-504.
- [21] Torres, L.A.B. and Aguirre, L.A., Extended Chaos Control Method Applied to Chua Circuit, *Electr. Lett.*, 1999, vol. 35, no. 10, pp. 768-770.
- [22] Battle, C., Fossas, E., and Olivar, G., Stabilization of Periodic Orbits of the Buck Converter by Time-Delayed Feedback, *Int. J. Circ. Theory Appl.*, 1999, vol. 27, pp. 617-631.
- [23] Chen, J.H., Chau, K.T., Siu, S.M., and Chan, C.C., Experimental Stabilization of Chaos in a Voltage-Mode Dc Drive System, *IEEE Trans. Circ. Syst. I*, 2000, no. 47, pp. 1093-1095.
- [24] Habel, R., and Beige, H., Ferroelectric Systems with Controlled Chaos, *Int. J. Bifurcat. Chaos*, 1997, 7, pp. 199-204.
- [25] Koumou, Y.C. and Wofo, P., Stability and Chaos Control in Electrostatic Transducers, *Physica Scripta*, 2000, vol. 62, pp. 255-260.
- [26] Fang, C.C. and Abed, E.H., Robust Feedback Stabilization of Limit Cycles in Pwm Dc-Dc Converters, *Nonlin. Dynam.*, 2002, vol. 27, pp. 295-309.
- [27] Lai, Y.M., Tse, C.K., and Chow, M.H.L., Control of Bifurcation in Current-Programmed DC/DC Converters: An Alternative Viewpoint of Ramp Compensation, *Circuits Syst. Signal Process.*, 2001, vol. 20, pp. 695-707.
- [28] Poddar, G., Chakrabarty, K., and Banejee, S., Control of Chaos in DC-DC Converters, *IEEE Trans. Circ. Syst. I*, 1998, vol. 45, pp-672-676.
- [29] Dolov, A.M. and Kuznetsov, S.P., Application of Idea of Chaos Control to Stabilization of Stationary Generation in BackWard-Wave Oscillator, in *Proc. 2003 Int. Conf. \Physics and Control"*, Fradkov, A.L. and Churilov, A.N., Eds., St. Petersburg, Russia, 2003, PP. 507-509.
- [30] Ginzburg, N.S., Zaitsev, N.I., Il'akov, E.V., *et al.*, Chaotic Generation in the Megawatt Backward-wave Tubes, *Zh. Teor. Fiz.*, 2001, vol. 71, no. 11, pp. 73-80.
- [31] Chen, J.H., Chau, K.T., Siu, S.M., and Chan, C.C., Experimental Stabilization of Chaos in a Voltage-Mode Dc Drive System, *IEEE Trans. Circ. Syst. I*, 2002, no. 47, pp. 1093-1095.
- [32] Lee, S.T.S., Chung, H.S.H., Chen, G., and Hui, S.Y.R., Use of Chaotic Switching in Electronic Ballasts, *PAPER Special Section on Nonlinear Theory and Its Applications*.

- [33] Kaplan, B.Z., Horen, Y., Cohen, G., and Helleman, Y., Magnetic Levitation by Chaotic Oscillation: A New Method, *IEEE Trans, Magnetics*, 2002, vol. 38, no. 5, pp. 3475-3481.
- [34] Yamapi, R., Chabi Orou, J.B., and Wofo, P., Harmonic Oscillations, Stability and Chaos Control in a Non-Linear Electromechanical System. *J., Sound Vibr.*, 2003, vol. 259, no. 5, pp. 1253-1264.
- [35] Harb. A.M. and Abdel-Jabbar, No., Controlling Hopf Bifurcation and Chaos in a Small Power System, *Chaos, Solitons, Fractals*, 2003, vol. 18, pp. 1055-1063.
- [36] Ashhab, M., Salapaka, M.V., Dahleh, M., and dMezic, I., Dynamical Analysis and Control of Microcantilevers, *Automatica*, 1999, vol. 35, pp. 1663-1670.
- [37] Volkovskii, A.R. and Rul'kov, N.F., *Lett. Zh. Teor. Fiz.*, 1993, no. 19, p. 3.
- [38] Dmitriev, A.S. and Kuz'min, L.V., Information Transmission Using Synchronous Chaotic Response in the Presence of Filtering Communication Channel, *Lett. Zh. Teor. Fiz.*, 1999, vol. 25, no. 16, pp. 71-77.
- [39] Cuomo, K.M., Oppenheim, A.V., and Strogatz., S.H., Synchronization of Lorenz-based Chaotic Circuits with Application to Communications, *IEEE Trans. Circ. Syst. \II*, 1993, vol. 40, no. 10, pp.626-633.
- [40] Cuomo, K.M. and Oppenheim, A.V., Circuit Implementation of Synchronized Chaos with Applications to Communications, *Phys. Rev. Lett.*, 1993, vol. 41, no. 1, pp. 65-68.
- [41] Kimiaghalam, B., Homaifar, A., and Bikdash, M., Pendulation Suppression of a Shipboard Crane Using Fuzzy Controller, *Proc. 1 Am. Control Conf. (ACC'99)*, San Diego, Diego, California, 24 June 1999, pp. 586-590.
- [42] Pecora, L.M., Carroll, T.L., Johnson, G.A., and Mar, D.J., Fundamentals of Synchronization in Chaotic Systems, Concepts and Applications, *Chaos*, 1997, vol. 7, no. 4, pp.520-543.
- [43] Baptista, M.S., Cryptography with Chaos, *Phys. Lett. A*, 1998, vol. 240, pp. 50-54.
- [44] Rosa, E., Jr., Hayes, S., and Grebogi, C., Noise Filtering in Communication with Chaos, *Phys. Rev. Lett.*, 1997, vol. 78, no. 7, pp. 1247-1250.
- [45] Marion, I.P., Rosa, E., Jr., and Grebogi, C., Exploiting the Natural Redundance of Chaotic Signals in Communication Systems, *phys. Rev. Lett.*, 2000, vol. 85, no. 12, pp. 2629-2632.
- [46] Baptista, M.S., Cryptography with Chaos, *Phys. Lett. A*, 1998, vol. 240, pp. 50-54.
- [47] *Chaos and Non-Linear Models in Economics. Theory and Applications*, Greedy, J. and Martin, V.L., Eds., Melbourne: Edward Elgar, 1994.
- [48] Marino, I.P., Rosa, E., Jr., and Grebogi, C., Exploiting the Natural Redundancy of Chaotic Signals in Communication Systems, *Phys. Rev. Lett.*, 2000, vol. 85, no. 12, pp. 2629-2632.
- [49] Marino, I.P., Lopez, L., and Sanjuan, M.A.F., Channel Coding in Communications Using Chaos, *Physics Letters A*, 2002, vol. 295, pp. 185-191.