

## مدلسازی سیستم قدرت ابعاد بزرگ با استفاده از مدل ARX توسعه یافته

مریم دهقانی، سید کمال الدین یادآور نیکروش

دانشگاه صنعتی امیرکبیر - دانشکده مهندسی برق

mdehghani@aut.ac.ir , nikravsh@aut.ac.ir

چکیده - در این مقاله، یک مدل  $ARX$  توسعه یافته برای هر زیرسیستم از یک سیستم ابعاد بزرگ تعریف گردیده و به شناسایی پارامترهای مدل مذکور پرداخته شده است. یک سیستم قدرت نمونه از درجه ۲۴ متشکل از ۳ زیرسیستم، جهت ارزیابی کارایی روش مذکور بکار گرفته شده است. شبیه‌سازی‌هایی در حوزه زمان انجام و نتایج ورودی - خروجی سیستم ضبط گردیده است. ورودی هر زیرسیستم، ولتاژ تحریک و خروجی‌های آن توان الکتریکی و ولتاژ ترمینال ژنراتور در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به ماهیت تک ورودی - تک خروجی مدل  $ARX$ ، یک مدل تک‌ورودی - تک‌خروجی برای ورودی به هر خروجی، در نظر گرفته شده است. نتایج اعمال روش بر روی شبکه قدرت نمونه، صحت روش را تایید می‌نماید.

کلید واژه - الگوریتم ژنتیک، سیستم قدرت ابعاد بزرگ، شناسایی، مدل  $ARX$  توسعه یافته، مدلسازی

### ۱- مقدمه

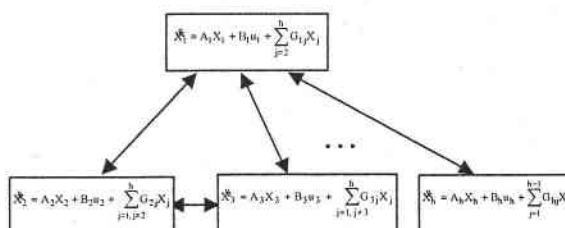
در این شکل ارتباط زیرسیستم‌ها با فلش نشان داده شده است. ارتباط زیرسیستم اول با سایرین بصورت کامل آورده شده و ارتباط سایر زیرسیستم‌ها نشان داده نشده است.

از آنجا که بسیاری از سیستم‌های عملی در زمره سیستم‌های با ابعاد بزرگ قرار می‌گیرند، مسائل شناسایی و کنترل آنها مورد توجه عده زیادی از پژوهشگران و محققان قرار گرفته است. در ادامه به اختصار به بررسی بعضی از کارهای ارائه شده در زمینه مدلسازی سیستم‌های قدرت ابعاد بزرگ پرداخته می‌شود.

در [۲] زیرسیستم‌ها بطور مجزا در نظر گرفته شده و از اثرات تداخلی آنها بر یکدیگر، صرف‌نظر شده است. ولتاژ تحریک هر ژنراتور ورودی زیرسیستم محلی و تغییرات سرعت ژنراتور و توان الکتریکی به عنوان خروجی‌های محلی اندازه‌گیری شده‌اند. سپس، با استفاده از اطلاعات محلی، مقادیر ویژه هر ژنراتور توسط روش Prony [۳] بدست می‌آید. از مقادیر ویژه جهت تشکیل فرم قطری ماتریس سیستم استفاده می‌شود.

سیستم ابعاد بزرگ سیستمی است که تعداد ورودی - خروجی و حالات آن به حدی زیاد باشد که تئوری‌های معمول مدلسازی، کنترل، آنالیز و ... نتواند پاسخ مناسب با پیچیدگی در حد معقول را ارائه دهد [۱]. با توجه به بزرگ بودن و در نتیجه پیچیده شدن مسائل سیستم‌های ابعاد بزرگ، نمی‌توان به راحتی از طریق تکنیک‌های کلاسیک و متداول، جهت حل مسائل این سیستم‌ها اقدام نمود.

در شکل ۱، یک نمونه سیستم ابعاد بزرگ که به  $h$  زیرسیستم تقسیم شده، آورده شده است.



شکل ۱- یک نمونه سیستم ابعاد بزرگ

در [۱۵] جهت مدلسازی سیستم، از روش کاهش مرتبه استفاده شده است. این روش با وجود اینکه می‌تواند در بسیاری از مسائل مؤثر واقع شود؛ ولیکن با توجه به ساده‌سازی‌ها، از بسیاری از دینامیک‌های سیستم صرف‌نظر می‌کند و باعث به وجود آمدن خطاهای پیش‌بینی نشده در سیستم می‌گردد.

در این مقاله، هدف ارائه راه‌حلی جهت مدلسازی و شناسایی هر زیرسیستم از یک سیستم ابعاد بزرگ و اثرات تداخلی می‌باشد. در این صورت این اثرات، شناخته شده تلقی می‌شوند و در طراحی کنترلر می‌توان اثرات آنها را لحاظ کرد. برای شناسایی هر زیرسیستم، از یک مدل ARX استفاده شده است. پارامترهای مدل، بگونه‌ای تعیین می‌شوند که تفاوت پاسخ مدل و خروجی اندازه‌گیری شده حداقل باشد. در بخش ۲ به تعریف مساله پرداخته و در بخش ۳ سیستم تحت مطالعه معرفی گردیده است. تابع بهینه‌سازی در بخش ۴ معرفی گردیده است. در بخش‌های ۵ و ۶ به ترتیب، نتایج شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری آورده شده است.

## ۲- تعریف مساله

یک سیستم پیوسته خطی غیر متغیر با زمان را با معادله حالت زیر در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (3)$$

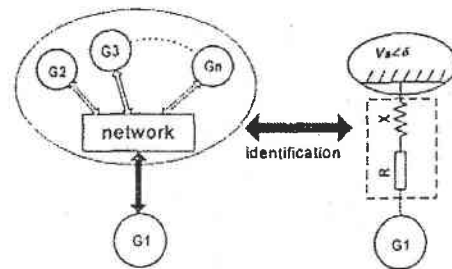
یکی از روشهای متداول مدلسازی سیستم فوق، گسسته سازی و تقریب مدل فوق با مدل ARX [۱۶] می‌باشد:

$$y_k = -\sum_{i=1}^n a_i y_{k-i} + \sum_{i=1}^m b_i u_{k-i} + e_k \quad (4)$$

در این مدل، خروجی فعلی به تعداد محدودی از مقادیر گذشته خروجی و ورودی سیستم وابسته می‌باشد.

یک سیستم ابعاد بزرگ پیوسته خطی غیر متغیر با زمان با رابطه کلی (۳) را می‌توان به زیرسیستم‌های خطی تجزیه نمود و به مجموعه روابط (۵) برای هر زیرسیستم رسید [۱۷]

در مراجع [۴-۶] هر ژنراتور به صورت سیستم تک ماشین به شین بینهایت مدل می‌شود. شبکه بینهایت با یک باس بینهایت و یک امپدانس مدل می‌شود.



شکل ۲- مدار معادل سیستم تک ماشین به شین بینهایت [۴]

در مرجع [۷] به حل مسئله شناسایی سیستم ابعاد بزرگ با  $m$  زیرسیستم به صورت زیر پرداخته شده است:

$$x_i(k+1) = A_{ii}x_i(k) + \sum_{j \neq i}^m A_{ij}x_j(k) + B_i u(k) \quad (1)$$

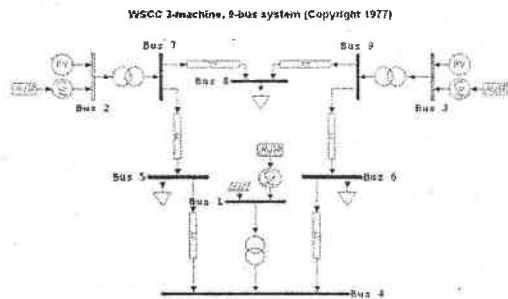
برای حل مسئله شناسایی (۱)، از یک الگوریتم تکراری با ساختار درختی (Hierarchical) استفاده شده که در آن هم حالت‌های سیستم در هر لحظه و هم پارامترهای سیستم مجهول فرض شده‌اند. زمانیکه پارامترهای سیستم تخمین زده می‌شوند، بردار حالت‌ها با تخمین تکرار قبل جایگزین می‌شوند؛ بالعکس، زمانیکه حالت‌های سیستم تخمین زده می‌شوند، پارامترهای سیستم با مقادیر تخمین زده شده در تکرار قبل جایگزین می‌شوند. با توجه به تعداد زیاد مجهول‌های سیستم، هیچگونه تضمینی برای همگرایی الگوریتم وجود ندارد. ضمناً الگوریتم شدیداً به مقادیر حدس اولیه وابسته است.

در [۸-۱۳] کل سیستم قدرت ابعاد بزرگ بصورت یک سیستم دینامیک با معادله  $x_{k+1} = Fx_k + Gu_k$  یا مدل Arimax کاهش‌یافته مدل می‌شود و به مدلسازی زیرسیستم‌ها پرداخته نمی‌شود.

در مرجع [۱۴] کل اثرات تداخلی وارده از طرف همه زیرسیستم‌ها به یک زیرسیستم، بصورت یک جمله متغیر با زمان در نظر گرفته شده و مدل هر زیرسیستم را با رابطه (۲) بدست می‌آورد:

$$\dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i + h_i \quad (2)$$

در شبکه شکل ۳، ژنراتورها با درجه ۴ مدل شده‌اند. چهار متغیر زاویه ژنراتور، سرعت زاویه‌ای ژنراتور، ولتاژ محور  $d$  و ولتاژ محور  $q$  بعنوان حالات سیستم در نظر گرفته شده‌اند و ژنراتور با معادلات دیفرانسیل (۷) مدل شده است.



شکل ۳- دیاگرام شبکه نمونه

$$\begin{aligned} \delta &= \omega_0(\omega - 1) \\ \omega &= \frac{T_m - T_e - D(\omega - 1)}{J} \\ \dot{\delta}_q &= \frac{v_f^* - \delta_q - (x_d - x_d')i_d}{T_{do}'} \\ \dot{\delta}_d &= \frac{-e_d' - (x_q - x_q')i_q}{T_{qo}'} \end{aligned} \quad (7)$$

مدل رگولاتور ولتاژ (AVR) از درجه ۴ و بصورت زیر است.

$$\begin{aligned} \dot{v}_m &= \frac{V - v_m}{T_r} \\ \dot{v}_1 &= \frac{K_a \left( v_{ref} - v_m - v_{r2} - \frac{K_f}{T_f} v_f \right) - v_{r1}}{T_a} \\ \dot{v}_2 &= -\frac{\frac{K_f}{T_f} v_f + v_{r2}}{T_f} \\ \dot{v}_f &= -\frac{v_f(1 + S_e(v_f)) - v_r}{T_e} \end{aligned} \quad (8)$$

تابع  $S_e$  و متغیر  $v_r$  با روابط (۹-۱۰) مشخص می‌شوند:

$$v_r = \begin{cases} v_{r1} & \text{if } v_{rmin} \leq v_{r1} \leq v_{rmax} \\ v_{rmax} & \text{if } v_{r1} > v_{rmax} \\ v_{rmin} & \text{if } v_{r1} < v_{rmin} \end{cases} \quad (9)$$

$$S_e(v_f) = A_e \left( e^{B_e |v_f|} - 1 \right) \quad (10)$$

$$\dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n G_{ij} x_j \quad i=1, \Lambda, h \quad (5)$$

$$y_i = C_i x_i + D_i u_i$$

در حالت گسسته، مدل ARX توسعه یافته برای یک سیستم ابعاد بزرگ خطی تک ورودی- تک خروجی با  $h$  زیرسیستم را به صورت زیر تعریف می‌کنیم ( $i=1, \Lambda, h$ )

$$\begin{aligned} y_{l_k} &= -\sum_{i=1}^n a_{li} y_{l_{k-i}} + \sum_{i=1}^m b_{li} u_{l_{k-i}} + e_{l_k} \\ &+ \sum_{j=1}^h \sum_{i=0}^p (G_{lji} y_{j_{k-i}} + H_{lji} u_{j_{k-i}}) \end{aligned} \quad (6)$$

در سیستم فوق،  $u_{l_k}$  ورودی و خروجی زیرسیستم  $l$ -ام در لحظه  $k$  می‌باشند. مجموعه‌های  $\{a_{li}\}$  و  $\{b_{li}\}$  و  $\{G_{lji}\}$  و  $\{H_{lji}\}$  پارامترهای اسکالر ثابتی هستند که ناشناخته‌اند.  $\{a_{li}\}$  و  $\{b_{li}\}$  پارامترهای مربوط به مدل زیرسیستم  $l$ -ام می‌باشند.  $\{G_{lji}\}$  و  $\{H_{lji}\}$  بیانگر اثرات تداخلی ناشی از سایر زیرسیستم‌ها می‌باشند. سیگنال  $e_{l_k}$  نامعلوم و بیانگر خطای مدلسازی می‌باشد.  $n$  دینامیک زیرسیستم،  $m$  درجه ورودی و  $p$  درجه اثرات تداخلی سایر زیرسیستم‌هاست.

هدف از شناسایی سیستم، یافتن پارامترهای ناشناخته  $\{a_{li}\}$  و  $\{b_{li}\}$  و  $\{G_{lji}\}$  و  $\{H_{lji}\}$  می‌باشد. برای شناسایی پارامترهای سیستم، سیگنال شناخته شده و معلوم  $\{u_{l_k}\}$  به سیستم اعمال و خروجی  $\{y_{l_k}\}$  اندازه‌گیری می‌شود.

### ۳- سیستم مورد مطالعه [۱۸]

شبکه ۹ شینه WSCC با دیاگرام تک‌خطی شکل ۳، بعنوان سیستم ابعاد بزرگ نمونه انتخاب شده است. شبکه دارای سه ژنراتور است که هر یک به AVR مجهز می‌باشند. این شبکه در نرم افزار PSAT شبیه سازی شده است [۱۸].

ورودی‌های سیستم، ولتاژ تحریک هر ژنراتور و خروجی‌های سیستم، توان الکتریکی ژنراتورها و ولتاژ ترمینال آنها در نظر گرفته شده‌اند. پاسخ زمانی سیستم در ازای تغییرات ولتاژ AVR ضبط شده است.

#### ۴- فرموله کردن مساله

در این بخش، هدف برازش یک مدل ARX با داده‌های قابل اندازه‌گیری هر زیرسیستم از سیستم ابعاد بزرگ، می‌باشد.

مدل (۱۱) را برای زیرسیستم  $l$ -ام در نظر بگیرید:

$$y_k = -\sum_{i=1}^n \hat{a}_i y_{k-i} + \sum_{i=1}^m \hat{b}_i u_{k-i} + \sum_{j=1}^h \sum_{i=0}^p (\hat{G}_{lj_i} y_{j_{k-i}} + \hat{H}_{lj_i} u_{j_{k-i}}) \quad (11)$$

هدف یافتن پارامترهای  $\{\hat{a}_i\}$  و  $\{\hat{b}_i\}$  و  $\{\hat{G}_{lj_i}\}$  و  $\{\hat{H}_{lj_i}\}$  است بطوری که  $\hat{y}_k$  بتواند تخمین خوبی از  $y_k$  را بر مبنای اندازه‌گیری‌های  $\{y_i | i \in [0, k-1]\}$  و سیگنال معلوم  $\{u_k\}$  فراهم سازد.

برای شناسایی پارامترهای مدل، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. هدف از اجرای الگوریتم ژنتیک در هر زیرسیستم، مینیمم‌سازی تابع هدف (۱۲) است که تضمین می‌کند مدل تقریبی به مدل واقعی سیستم نزدیک شود.

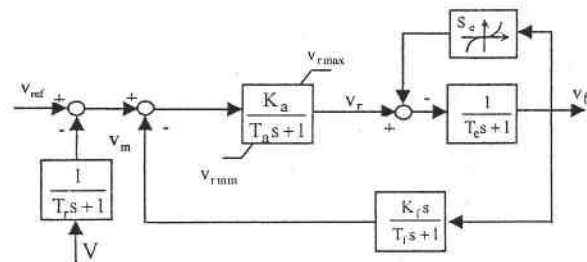
$$\underset{\hat{a}_i, \hat{b}_i, \hat{G}_{lj_i}, \hat{H}_{lj_i}}{\text{Minimize}} \left\| y_k + \sum_{i=1}^n \hat{a}_i y_{k-i} - \sum_{i=1}^m \hat{b}_i u_{k-i} - \sum_{j=1}^h \sum_{i=0}^p (\hat{G}_{lj_i} y_{j_{k-i}} + \hat{H}_{lj_i} u_{j_{k-i}}) \right\| \quad (12)$$

در رابطه فوق  $u$  و  $y$  در لحظات مختلف از اندازه‌گیری بدست می‌آیند.  $\|\cdot\|$  علامت نرم است و در این مقاله از نرم ۲ استفاده شده است.

با مقایسه رابطه (۱۲) و (۶)، می‌توان نتیجه گرفت که بهینه‌سازی فوق معادل با مینیمم‌سازی نرم ۲ خطای مدل می‌باشد.

$A_e$  و  $B_e$  پارامترهایی هستند که جهت مشخص شدن تابع اشباع، توسط کاربر مشخص می‌شوند.

در شکل ۴ بلوک دیاگرام رگولاتور ولتاژ آورده شده است.

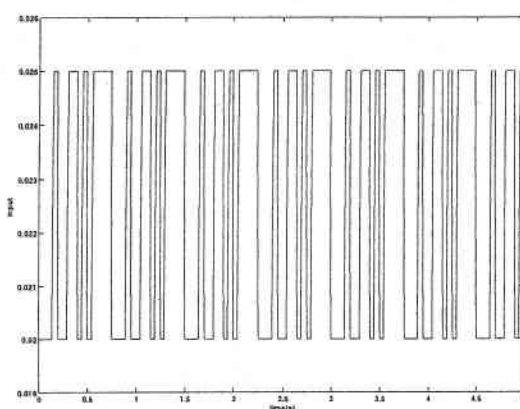


شکل ۴- بلوک دیاگرام AVR

در نهایت، هر ژنراتور و AVR مربوطه، جمعاً از درجه ۸ و کل سیستم از درجه ۲۴ می‌باشد.

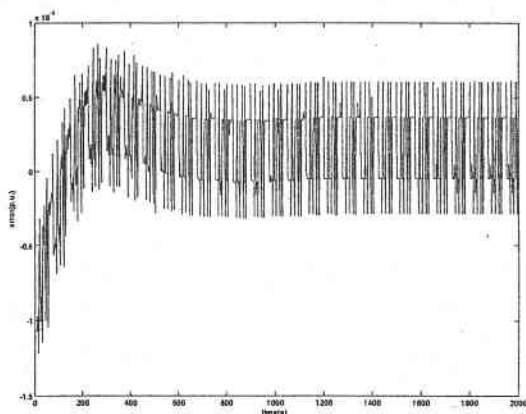
یک اصل اساسی در شناسایی سیستم، اعمال ورودی مناسب به سیستم است [۱۶]. ورودی مناسب ورودی است که اولاً به اندازه درجه سیستم فرکانس داشته باشد و دوماً بایستی سمج باشد (persistently Excited). بهترین انتخاب برای ورودی سیستم، نویز سفید می‌باشد. ساخت و اعمال نویز سفید در آزمایشگاه مشکل است. یک جایگزین مناسب برای نویز سفید در بحث شناسایی، سیگنال PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) است که مقدار صفر و یک را در لحظات مختلف بصورت شبه تصادفی به خود می‌گیرد.

فرض می‌شود به ورودی AVR ژنراتور سنکرون ۱، سیگنال شکل ۵ اعمال شود.



شکل ۵- سیگنال PRBS

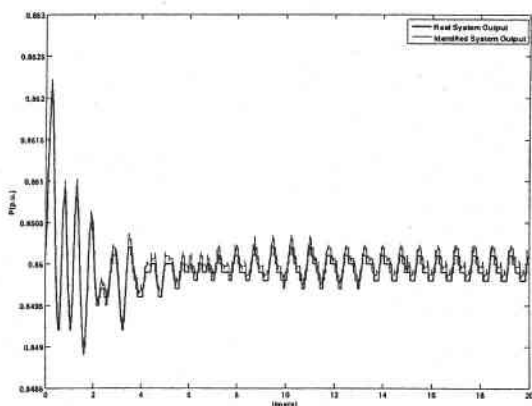
دیده می‌شود که خطای شناسایی در حد هزارم پریونیت و قابل صرفنظر کردن است. مدل مذکور به خوبی توانسته مسیر خروجی را دنبال کند ولیکن حاوی نویز شدیدی است که ناشی از نویز اندازه‌گیری است. در صورت استفاده از یک فیلتر پائین‌گذر، نویز مذکور تا حدود زیادی حذف می‌گردد.



شکل ۷ - سیگنال خطای شکل ۶

روش مذکور برای بدست آوردن مدل ARX ورودی-خروجی برای توان الکتریکی ژنراتور سوم نیز استفاده شده و نتایج در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است.

دیده می‌شود که مدل پیشنهادی می‌تواند تقریب خوبی از مدل زیرسیستم را بدست دهد. از آنجا که مدل مذکور، بسیار ساده است و بدست آوردن آن نیز راحت است، می‌تواند جهت طراحی کنترلر نامتمرکز در هر زیرسیستم با در نظر گرفتن اثرات تداخلی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۸ - خروجی سیستم واقعی و خروجی مدل برای توان الکتریکی ژنراتور سوم

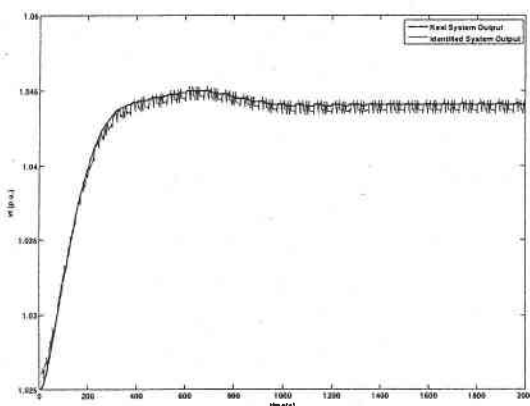
در عمل، در یک سیستم ابعاد بزرگ کلیه زیرسیستم‌ها با یکدیگر اثر متقابل ندارند. در سیستم قدرت، می‌توان مجموعه یک ژنراتور و تجهیزات محلی مربوطه‌اش را یک زیرسیستم در نظر گرفت. بدین ترتیب خطوط انتقال ارتباطی، عامل ایجاد تقابل خواهند بود و مشخص می‌شود که هر زیرسیستم با چه زیرسیستم‌های دیگری تقابل دارد.

## ۵- نتایج شبیه‌سازی

فرض کنید هدف برازش مدل (۱۱) به زیرسیستم سوم باشد. از نظر ظاهری زیرسیستم سوم با هر دو زیرسیستم دیگر اثر متقابل دارد. با اجرای الگوریتم ژنتیک به روش فوق، مدل زیر برای ولتاژ ترمینال ژنراتور سوم بدست آمد.

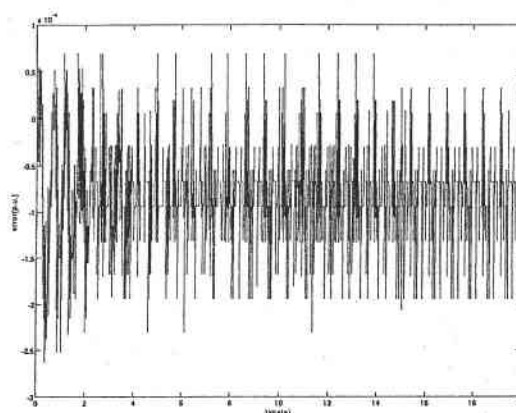
$$\begin{aligned} vt_3 = & -0.5893vt_3_{k-1} - 0.0326vt_3_{k-2} - 0.3328vt_3_{k-3} \\ & + 0.0478u_{1k-1} - 0.0654u_{1k-2} - 0.6578u_{1k-3} \\ & + 0.0807vt_1_{k-1} + 0.0754vt_1_{k-2} + 0.00568vt_1_{k-3} \\ & - 0.4768vt_2_{k-1} + 0.0082vt_2_{k-2} + 0.3525vt_2_{k-3} \end{aligned} \quad (13)$$

با توجه به مدل فوق، ولتاژ ترمینال ژنراتور ۳ تابعی با دینامیک مرتبه ۳ است. این متغیر به مقادیر قبلی خود، مقادیر گذشته ورودی و مقادیر گذشته اثرات تداخلی (ولتاژ ترمینال ژنراتور ۱ و ۲) وابسته است. تفاوت پاسخ این مدل و خروجی سیستم در شکل ۶ آورده شده است. سیگنال خطا در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۹ - خروجی سیستم واقعی و خروجی مدل برای ولتاژ ترمینال ژنراتور سوم

- [5] M. Karrari and O.P. Malik, "Identification of Physical Parameters of a Synchronous Generator From Online Measurements", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 19(2), June 2004, pp. 407-415.
- [6] T. Noda, A. semlyen and R. Iravani, "Reduced-Order Realization of a Nonlinear Power Network Using Companion-Form State Equations with Periodic Coefficients", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18(4), Oct. 2003, pp. 1478-1488.
- [7] F. Ding and T. Chen, "Hierarchical Identification of Lifted State-Space Models for General Dual-Rate Systems", IEEE Trans. on Circuits and Systems-I, Vol. 52(6), June 2005, pp. 1179-1187.
- [8] H. Saitoh, K. Miura, O. Ishioka, H. Sato and J. Toyoda, "On-Line Modal Analysis Based on Synchronized Measurement Technology", Proc. Of International Conf. on Power System Technology, Vol. 2, Oct. 2002, pp. 817-822.
- [9] I. Kamwa and L. Gerin-Lajoie, "State-Space System Identification-Toward MIMO Models for Modal Analysis and Optimization of Bulk Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15(1), Feb. 2000, pp. 326-335.
- [10] I. Kamwa, G. Trudel and L. Gerin-Lajoie, "Low-Order Black-Box Models for Control System Design in Large Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11(1), Feb. 1996, pp. 303-311.
- [11] J. J. Sanchez-Gasca, "Identification of Power System Low order Linear Models Using the ERA/OBS Method", Proc. Of IEEE/PES Power System Conference and Exhibition 2004, Vol. 1, Oct. 2004, pp. 1-6.
- [12] I. Kamwa, "Using MIMO System Identification for Modal Analysis and Global Stabilization of Large Power Systems", Proc. Of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, July 2000, pp. 817-822.
- [13] D. Jones, "Estimation of Power System Parameters", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19(4), Nov. 2004, pp. 1980-1989.
- [14] محمد حسین کاظمی، کنترل تطبیقی مقاوم نامتمرکز در سیستم‌های با ابعاد بزرگ با استفاده از شناسایی اثرات تداخلی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده برق، ۱۳۸۰.
- [15] M. Dehghani, M. J. Yazdanpanah, "Model Reduction Based on the Frequency Weighted Hankel-Norm Using Genetic Algorithm and Its Application to the Power Systems", Proceedings of the 2005 IEEE Conf. on Control Applications, Toronto, Canada, August 2005, pp. 245-250.
- [16] O. Nelles, "Nonlinear System Identification", Springer-verlag, 2004.
- [17] D. D. Siljak, Decentralized Control of Complex Systems, Academic Press, 1991.
- [18] F. Milano, "Power System Analysis Toolbox", 2004.



شکل ۹ - سیگنال خطای شکل ۸

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به ارائه یک مدل ARX توسعه یافته برای مدلسازی هر زیرسیستم از یک سیستم ابعاد بزرگ، پرداخته شده است. جهت شناسایی پارامترهای مدل مذکور، یک تابع بهینه سازی تعریف گردیده که تضمین می‌کند نرم تفاضل خروجی مدل و خروجی اندازه گیری شده، حداقل شود. یک شبکه قدرت نمونه متشکل از سه زیرسیستم، جهت ارزیابی مدل استفاده گردید. نتایج شبیه سازی صحت مدل را تایید می‌نماید.

## ۷- مراجع

- [1] M. Jamshidi, Large-Scale Systems: Modeling, Control and Fuzzy Logic, Prentice Hall, 1997.
- [2] A. Hasanovic, A. Feliachi, A. Hasanovic, N.B. Bhatt and A.G. DeGroff, "Practical Robust PSS Design Through Identification of Low-Order Transfer Functions", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19(3), Aug. 2004, pp. 1492-1500.
- [3] مریم دهقانی و مهدی کراری، "تعیین پایداری دینامیکی سیستم‌های قدرت بدون نیاز به مدل سیستم و پارامترهای آن با استفاده از تحلیل پرونی و اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای"، بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق، PSC2005، تهران، ایران.
- [4] H. Ukai, Y. Takagi, J. Fujita, H. Kando, K. Nakamura and H. Fujita, "Stabilizing Control of Multi-Machine Power Systems by Using Gain Scheduling Control and Parameter Identification", Proc. Of IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002, Asia Pacific, Vol. 13, Oct. 2002, pp. 1568-1572.