

ارایه مدل تحلیلی سیستم تحریک واحدهای گازی نیروگاه خیام نیشابور بر پایه آزمایش‌های حوزه زمان

غلامحسین ظفرآبادی
پژوهشگاه نیرو
تهران-ایران

حامد فراهت
پژوهشگاه نیرو
تهران-ایران

الهام امینی بروجنی
دانشگاه تربیت مدرس
تهران-ایران

واژه‌های کلیدی: حداقل مربعات خطا، سیستم تحریک نیروگاه، شناسایی حوزه زمان، مدل تحلیلی، واحد گازی نیروگاه خیام نیشابور.

چکیده

صنعت تحمیل می‌کند. در حال حاضر در شبکه برق ایران، عوامل متعددی بر روی بهره‌برداری مناسب از شبکه، تأثیر منفی گذاشته که منجر به کاهش امنیت شبکه و وقوع خاموشی‌های گسترده در سالیان اخیر شده است. از جمله این عوامل می‌توان به نزدیک شدن حدود بهره‌برداری - بر اساس نیاز مصرف - به ظرفیت‌های شبکه سراسری ایران و عدم بازبینی، به‌سازی یا تنظیم مداوم عناصر شبکه بر اساس شرایط روز اشاره کرد. همچنین در این سالیان، رویکرد تجدید ساختار و خصوصی‌سازی صنعت برق و اتصال و تبادل رو به توسعه با کشورهای همسایه اتخاذ گردیده است که با در نظر گرفتن آن لزوم تجدید نظر در شبکه برق مشخص خواهد داشت. مجموع این عوامل ضرورت مطالعه و بررسی جامع شبکه سراسری ایران، برای تشخیص کاستی‌ها و تعیین اتخاذ راهکارها و رویه‌های بهبود، بیش از پیش نمایان می‌سازد.

با توجه به اینکه سالیان متمادی از نصب تعداد زیادی از نیروگاه‌های کشور می‌گذرد و همچنین با توجه به تغییرات

در این مقاله به دنبال ارایه مدل تحلیلی سیستم تحریک واحدهای گازی نیروگاه خیام نیشابور در ایران هستیم. شناسایی انجام شده بر پایه آزمایش‌های حوزه زمان درحین کار سیستم و با استفاده از روش‌های مختلف مبتنی بر حداقل مربعات خطا انجام می‌گیرد. در پایان با اعتبارسنجی پارامترهای شناسایی شده به مقایسه مقادیر نامی پارامترها و مقادیر شناسایی شده و نتیجه اعمال این دو، بر روی داده‌های حاصل از آزمایش می‌پردازیم. با وجود درگیر بودن با مشکلات داده‌های عملی و خطای موجود، شناسایی به خوبی انجام گرفته و نتایج اعتبارسنجی تاییدی بر شناسایی صورت گرفته است.

۱- مقدمه

از مهم‌ترین دغدغه‌های مسئولین و دست‌اندرکاران صنعت برق، بهره‌برداری ایمن از شبکه برق می‌باشد که در صورت نامناسب بودن شرایط بهره‌برداری، هزینه قابل توجهی را به این

منظور شناسایی سیستم تحریک استفاده شده است. از آنجایی که هدف این مقاله، شناسایی سیستم تحریک با استفاده از آزمایش‌های درحین کار و در شرایط عادی است، مدل تحت شناسایی خطی بوده و لذا با توجه به سادگی مدل می‌توان با بهره‌گیری از روش‌های شناسایی بر پایه حداقل مربعات و ترکیب آنها به نتیجه خوبی دست یافت.

ساختار مقاله حاضر به این شکل است: در بخش ۲ معرفی مختصری از سیستم تحریک نیروگاه خیام نیشابور ارایه شده و در بخش ۳ روند انجام آزمایش‌ها معرفی شده‌اند. بخش چهارم به شناسایی پارامترها اختصاص یافته است. در آن بخش، پس از مقدمه‌ای بر روش‌های موجود برای شناسایی، نتایج حاصل از شناسایی سیستم تحریک نیروگاه خیام نیشابور ارایه شده است. به منظور اعتبار سنجی پارامترهای شناسایی شده، در بخش ۵ ضمن مقایسه مقادیر پارامترهای شناسایی شده با مقادیر نامی بلوک‌ها، که از روی المان‌های فیزیکی (مقاومت‌ها و خازن‌ها) خوانده شده است، خطای حاصل از اعمال هر دو دسته پارامتر را بر آزمایشی که در روند شناسایی استفاده نشده، استخراج شده است. در پایان، جمع‌بندی نهایی مقاله در بخش ششم ارائه شده است.

۲- سیستم تحریک نیروگاه نیشابور

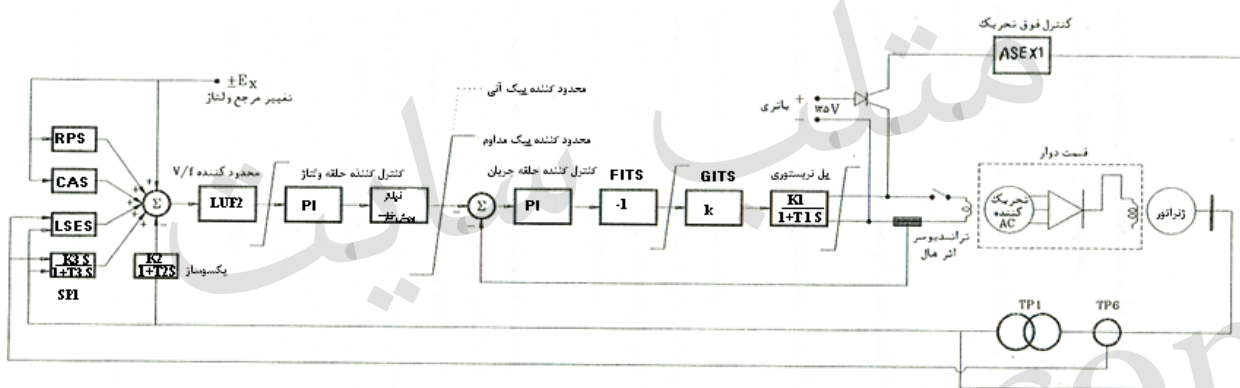
نیروگاه سیکل ترکیبی خیام نیشابور دارای شش واحد گازی هر یک با توان نامی $123/2$ [MW] می‌باشد. سیستم تحریک ژنراتور این واحدها، ساخت شرکت GEC-ALSTHOM و از نوع ژنراتور AC بدون جاروبک با دیوهای گردان است. قدرت تحریک برای روتور مولد، توسط محرک با دیوهای چرخان که در انتهای محور اصلی ژنراتور قرار دارد تامین می‌شود. همچنین، ولتاژ تحریک بوسیله پل دیودی چرخان که سیم‌پیچ‌های روتور را تغذیه می‌کند، تامین می‌شود. سیستم تحریک را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم کرد:

مدار تحریک: ترکیبی از مبدل‌های قدرت تحریک است که در حالت کارکرد عادی سیستم فعال می‌باشد. در زمان

اساسی در توپولوژی شبکه و نیز انحراف پارامترهای مدل بعضی از اجزاء نیروگاه مثل ژنراتور و توربین نسبت به زمان نصب، واضح است که تنظیمات کنترل‌کننده‌های این واحدها از حالت بهینه خارج شده است. این امر هم به صورت محلی بر روی پایداری نیروگاه مذکور اثرگذار بوده و می‌تواند حد بهره‌برداری از نیروگاه را به میزان چند مگاوات پایین بیاورد و هم به صورت کلی‌تر می‌تواند پایداری کل شبکه را تحت تأثیر خود قرار دهد. علاوه بر این، ممکن است که در زمان نصب و راه‌اندازی نیروگاه، این کنترل‌کننده‌ها به صورت بهینه تنظیم نشده باشند. همچنین در بسیاری از نیروگاه‌های دارای PSS، دلیل نامناسب بودن تنظیمات، این کنترل‌کننده از مدار خارج است. مجموعه این عوامل، لزوم انجام مطالعات دقیق پایداری دینامیکی شبکه در واحدهای برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شبکه و تنظیم مجدد کنترل‌کننده‌های واحدهای نیروگاهی کشور باتوجه به توپولوژی فعلی آن را آشکار می‌سازد. حتی اگر مدلی کامل از طرف سازنده تجهیزات ارائه شده باشد، بیش از پنج سال اعتبار نداشته و باید مجدداً ارزیابی گردد [۱].

روش‌های مختلفی برای انجام آزمایش‌های سیستم‌های قدرت وجود دارد که به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته‌ای آزمایش‌های در حین کار می‌باشد که سیستم قدرت در وضعیت عملکرد معمول قرار دارد. در این آزمایش‌ها، اعمال یک سیگنال اغتشاشی که می‌تواند بزرگ یا کوچک باشد باعث ایجاد اغتشاش در خروجی‌های سیستم می‌گردد. ایجاد اغتشاش باعث تحریک مودهای دینامیکی سیستم شده و با تحریک شدن این مودها می‌توان پارامترهای دینامیکی سیستم را شناسایی نمود. در این آزمایش‌ها، سیستم در وضعیت طبیعی عملکرد خود می‌باشد، بنابراین پارامترهای بدست آمده نیازی به تصحیح و انتقال به نقطه کار ماشین ندارند [۲ و ۳]. دسته دیگر آزمایش‌ها در شرایطی است که سیستم از شبکه جدا شده است که مورد بحث این مقاله نمی‌باشد.

از طرفی روش‌های موجود برای شناسایی نیز از تنوع زیادی برخوردارند. در مراجعی از قبیل [۴]–[۶] از روش‌های مختلفی همچون تطبیقی، شبکه عصبی و ژنتیک الگوریتم به



بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

معمولی از داده‌ها کم می‌شوند. در روش دوم، مدل نویز بیانگر وجود اغتشاش‌ها خواهد بود، مانند نویز که در روش‌های PEM، BJ، ARMAX و RELS در نظر گرفته می‌شود [۱۳، ۱۴]. علاوه بر موارد فوق، می‌توان با اصلاحی در الگوریتم تعیین پارامترهای تابع تبدیل مدل دقیق‌تری بدست آورد [۱۵].

شناسایی مدل سیستم تحریک نیروگاه خیا ن

با توجه به داده‌های اعتبار سنجی شده، پس از فیلترینگ و حذف نویز در سیگنال‌های اندازه‌گیری‌شده، به شناسایی پارامترهای بلوک‌های مختلف سیستم تحریک می‌پردازیم. معیار بهترین نتیجه، درصد خطای ایجاد شده بین خروجی شبیه سازی شده مدل، $\hat{y}_t$ ، و خروجی واقعی بلوک، y_t ،

$$SSE = \frac{\sum_{k=1}^N (y_t(k) - \hat{y}_t(k))^2}{\sum_{k=1}^N y_t^2(k)} \times 100$$

می‌باشد که با معادله

نشان داده می‌شود.

لازم به ذکر است که شناسایی‌های انجام شده در این مقاله بر اساس کمینه‌سازی مربعات خطا به روش‌های مختلف از قبیل PEM، BJ، ARMAX انجام شده است. در روش‌های مذکور نویز سفید نیز در مدل حوزه زمان لحاظ شده است. به منظور اطلاع بیشتر از روشهای ذکر شده می‌توان به مرجع [۱۴] مراجعه کرد. در نهایت نتیجه آن روشی که بهترین پاسخ را می‌دهد، به عنوان نتیجه نهایی انتخاب می‌شود. برای دستیابی به بهره فیدبک حلقه جریان با استفاده از آزمایش‌های استاتیک و با میانگین‌گیری از این مقادیر می‌توان با تقریب خوبی ادعا کرد: $k=0.031$.

نتایج شناسایی تمامی بلوک‌ها در آزمایش‌های مختلف و در نهایت بلوک پیشنهادی در جدول ۱ و ۲ آمده است.

آزمایش‌های انجام شده پارامترهای مدل شناسایی می‌شوند. به این روش شناسایی که ساختار مدل از روش تحلیلی و مقدار پارامترهای مدل به کمک آزمایش بدست می‌آیند مدلسازی ترکیبی میگویند.

پارامتری را قابل شناسایی گویند که با استفاده از اطلاعات ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده بتوان یک و فقط یک مقدار برای آن بدست آورد [۱۱]. جهت استفاده از نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها نخست سیگنال‌هایی که برای ثبت آنها از مقسم استفاده شده است را، به مقدار واقعی تبدیل می‌کنیم. داده‌های بدست آمده ممکن است چنان نباشند که به طور مستقیم برای شناسایی بکار روند، بلکه نواقصی در آنها هست که باید مدنظر قرار گیرند از جمله:

۱. اغتشاشات فرکانس بالا در داده‌های ثبت شده که غالباً بالاتر

از فرکانس‌های مورد علاقه در دینامیک سیستم هستند.

۲. تغییرات شدید و ناگهانی

۳. سطوح ثابت، اغتشاشات فرکانس پایین که گاهی پررودیک هستند.

در صورت ملاحظه اغتشاشات نوع ۱، احتمالاً پریود نمونه‌برداری و فیلتر پیش از نمونه‌برداری درست انتخاب نشده‌اند که می‌توان با فیلتر ضدداخل دیجیتال و نمونه‌برداری مجدد از داده‌ها اثر آن را کم کرد. وجود اغتشاش‌هایی با دامنه زیاد ولی مدت زمان کم ممکن است تاثیرات اساسی در تخمین بگذارد.

بنابراین، با الگوریتم‌های شناسایی مناسب باید تاثیر داده‌های بد را کم کرد [۱۲]. اغتشاشات فرکانس پایین و وجود سطوح ثابت در داده‌ها، مساله غیرمعمولی نیست. این موارد می‌تواند از منابع خارجی که ممکن است در مدل در نظر گرفته نشده باشند، سرچشمه گیرد. دو روش متفاوت برای در نظر گرفتن چنین مواردی وجود دارد:

۱. حذف اغتشاشات با پردازشی مقدماتی بر روی داده‌ها

۲. افزودن مدل نویز جهت مدل کردن اغتشاشات

در روش نخست، سطوح ثابت و اغتشاش‌ها با تفریق

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۱: بلوک‌های شناسایی شده و پیشنهاد شناسایی سیستم تحریک نیروگاه خیام از داده‌های آزمایش‌های مختلف

کنترل کننده حلقه جریانی	SP1	اکسایتر	مدل کنترل کننده یکسوساز	گین نشان دهنده مدل تریستور و کارت GITS	آزمایش - موج اعمال شده
$0.9821 + \frac{0.625}{s}$	$\frac{-1.0335s}{1+1.009s}$	$\frac{1.3674}{1+0.18997s}$	$\frac{0.060822}{1+0.032032s}$	۱۷.۷۸۵۱	۲۰MW، موج مربعی ۷۵ mV
$0.9844 + \frac{0.625}{s}$	$\frac{-1.0443s}{1+1.015s}$	$\frac{1.3701}{1+0.17617s}$	$\frac{0.060814}{1+0.022512s}$	۱۷.۷۷۷۳	۲۰MW، موج مربعی ۱۰۰ mV
$0.9862 + \frac{0.625}{s}$	$\frac{-1.03s}{1+s}$	$\frac{1.4820}{1+0.22966s}$	$\frac{0.060871}{1+0.059369s}$	۱۶.۷۳۴۴	۵۰MW، موج مربعی ۵۰ mV
$0.9868 + \frac{1.25}{s}$	$\frac{-1.0456s}{1+1.0157s}$	$\frac{1.4817}{1+0.001s}$	$\frac{0.060856}{1+0.0053604s}$	۱۶.۶۹۱	۵۰MW، موج مربعی ۱۰۰ mV
$0.9858 + \frac{1.25}{s}$	$\frac{-1.0277s}{1+1.008s}$	$\frac{1.6266}{1+0.26631s}$	$\frac{0.060828}{1+0.050168s}$	۱۵.۴۲۰۲	۸۰MW، موج مربعی ۲۵ mV
$0.9874 + \frac{1.25}{s}$	$\frac{-1.051s}{1+1.0226s}$	$\frac{1.6312}{1+0.19762s}$	$\frac{0.06088}{1+0.013438s}$	۱۵.۳۱۶۴	۸۰MW، موج مربعی ۱۰۰ mV
$0.986 + \frac{1.2}{s}$	$\frac{-1.04s}{1+1.01s}$	$\frac{1.55}{1+0.2s}$	$\frac{0.0608}{1+0.03s}$	۱۵.۵	پیشنهاد

جدول ۲: بلوک‌های شناسایی شده و پیشنهاد شناسایی کنترل کننده حلقه ولتاژ سیستم تحریک نیروگاه خیام از داده‌های آزمایش‌های مختلف

کنترل کننده حلقه ولتاژ	آزمایش - موج اعمال شده
$\frac{7.2(s+0.4)(0.058909s+1)}{s(1+0.037274s)}$	۲۰mV۷۵، موج مربعی MW
$\frac{7.05(s+0.4)(0.061394s+1)}{s(1+0.03251s)}$	۲۰mV۱۰۰، موج مربعی MW
$\frac{7.4(s+0.4)(0.81964s+1)}{s(1+0.8393s)}$	۵۰mV۵۰، موج مربعی MW
$\frac{7.3875(s+0.4)(0.077227s+1)}{s(1+0.048236s)}$	۵۰mV۱۰۰، موج مربعی MW
$\frac{7.503(s+0.4)(0.062637s+1)}{s(1+0.057556s)}$	۸۰mV۲۵، موج مربعی MW
$\frac{7.38(s+0.4)(0.087366s+1)}{s(1+0.065298s)}$	۸۰mV۱۰۰، موج مربعی MW
$\frac{7.35(s+0.4)(0.07s+1)}{s(0.045s+1)}$	پیشنهاد

۵- اعتبارسنجی پارامترها

گرچه در نگاهی گذرا به مراجعی از جمله [۱۶] که شناسایی پارامترهای سیستم تحریک نیروگاه رجایی را انجام داده است. خطاهای شناسایی در این شناسایی قابل قبول ترو نتایج بدست آمده منطقی تر است لیکن به منظور بررسی دقیق

تر و نشان دادن صحت نتیجه حاصله در قدم اول بلوک‌های پیشنهادی شناسایی انجام شده را با بلوک‌های نامی موجود در اسناد و مدارک [۷] که نتیجه حاصل از آن در جدول ۳ نشان داده شده است مقایسه می‌کنیم.

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

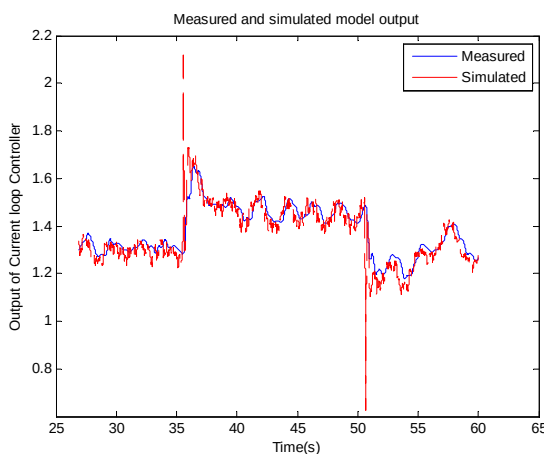
مقادیر آنها موجود است خطای مربوطه بیشتر شده است که این مسئله تاییدی است بر وجود اختلاف مقادیر شناسایی شده و نامی پارامترها که با گذشت زمان ایجاد شده است.

جدول ۴: درصد خطای ناشی از مدل پیشنهادی در آزمایش ۸۰MW،

با اعمال موج مربعی ۷۵ mV

بلوک	درصد مربعات خطا با پارامترهای شناسایی شده	درصد مربعات خطا با پارامترهای نامی
پل نیم موج تریستوری و کارت GITS	۶.۶۵۰۶	۱۳.۲۰۴۷
یکسوساز ولتاژ ترمینال	۰.۰۰۰۶۲	۰.۰۰۰۶۲
اکسایتر	۰.۲۸۱۴	۰.۲۸۳۴
SP1	۰.۰۵۷۷	۰.۰۶۷۹
کنترل کننده حلقه جریان	۰.۲۸۴۲	۰.۶۰۴۱
کنترل کننده حلقه ولتاژ	۰.۹۵۱۸	۱.۱۷۵۴

به منظور شهود بهتر شناسایی انجام شده، در شکل‌های ۲ تا ۴ خروجی اندازه‌گیری شده این آزمایش و نتایج شبیه سازی شده بلوکهای جریان، ولتاژ و پل نیم موج تریستوری که از اصلی ترین بلوک های سیستم تحریک هستند به ازای پارامترهای شناسایی شده نشان داده شده است.



جدول ۳: مقادیر نامی برخی از بلوک ها

بلوک	مقادیر نامی
کنترل کننده حلقه جریان	$1 + \frac{1}{s}$
کنترل کننده حلقه ولتاژ	$\frac{5.94(s + 0.33)(0.1s + 1)}{s(0.03s + 1)}$
بهره فیدبک حلقه جریان	۰.۰۲۹
SP1	$\frac{Ts}{Ts + 1}$

گرچه هم در آزمایش های انجام شده و مقادیر بدست آمده و هم در روند شناسایی پارامترها احتمال خطا وجود دارد لیکن همانطور که مشاهده میشود اختلاف بین بلوک ها در حالت نامی و نتیجه حاصل از شناسایی بسیار به هم نزدیک بوده و تفاوت موجود نیز امری طبیعی است که در اصل لازمه شناسایی انجام شده می باشد تا تاثیر مرور زمان را بر تغییرات پارامترها بدست آوریم. جهت اطمینان از وجود این تغییرات در قدم بعدی به منظور بررسی صحت نتیجه حاصله، به مقایسه خروجی واقعی و شبیه سازی شده در آزمایش ۸۰MW، با اعمال موج مربعی ۷۵ mV که در فرایند شناسایی پارامترها استفاده نشده است می پردازیم. مجموع مربعات خطا بر روی خروجی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در بلوک های مختلف به ازای پارامترهای نامی و نتیجه حاصل از شناسایی در جدول ۴ خلاصه شده است.

در شبیه سازی این داده ها سعی شده تا حتی المقدور سیستم را حلقه بسته در نظر بگیریم. از آنجاییکه کنترل کننده حلقه ولتاژ بعلا سینگنالهای اندازه گیری نامطلوب به خوبی شناسایی نشد مدار را در این قسمت باز کرده ایم. بسته بودن مدار باعث میشود تا خطا و نویز سینگنالها بر هم سوار شوند. با این وجود خطای نشان داده شده در جدول ۴ به ازای پارامترهای شناسایی شده در حد قابل قبولی است و در مواردی هم که خطا به نظر زیاد میرسد عموماً خطا ناشی از بایاس ثابت است که در داده های اندازه گیری وجود دارد و در شبیه سازی ظاهر نمی شود. از طرفی همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود با اعمال پارامترهای نامی در بلوک هایی که

بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق

همکاری مدیریت شبکه ایران انجام گرفته است. نویسندگان این مقاله از تمامی دست اندرکاران، به ویژه کارشناسان نیروگاه خیام نیشابور کمال تشکر را دارند.

مراجع

[1] G. Rogers, "Demystifying Power System Oscillations", IEEE, Computer Applications in Power, Vol. 9, No. 3, pp. 30-35, July 1996.

[۲] گروه ماشین‌های الکتریکی، "مشخصات استاندارد

ژنراتورهای سنکرون نیروگاه‌های بخاری، گازی و

آبی، پارامترهای دینامیکی ژنراتورهای سنکرون و

روش‌های تعیین آنها، پژوهشکده برق، پژوهشگاه

نیرو، ۱۳۷۹.

[۳] حسام میرعابدینی، "تشخیص خطا در ژنراتور با

استفاده از تعیین پارامترهای ژنراتور در حین کار،

گروه مطالعات دینامیک، بخش برق، مرکز تحقیقات

نیرو، شهریور ۱۳۷۷.

[4] S.Thomson, K. Rothenhagen, F.W. Fuchs, " Online Parameter Identification Methods for Doubly fed Induction generators", Power Electronics Specialists Conference(PESC2008), pp. 2735-2741, 2008.

[5] M.Rahimpour, M.A. Talebi, H.A. Shayanfar, M. R.A. Hosseini, "Online synchronous generator parameters estimation based on applying small disturbance o excitation system using ANN", Power system Conference and exposition(PSCE'09), pp. 1-4, 2009.

[6] B. Tianshu, X. Ancheng, X. Guoyi, G. Xiaolong, G. Fei, W. Zhengfeng " Online parameter identification for excitation system based on PMU data", Critical Infrastructures,Fourth International conference on(CRIS 2009), pp.1-4, 2009.

[۷] اسناد و مدارک نیروگاه گازی نیشابور: Volume 2C.

[8] IEEE Std 421.2-1990, "IEEE Guide for Identification, Testing and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems".

[۹] "گزارش فاز مطالعاتی تعیین پارامترهای دینامیکی

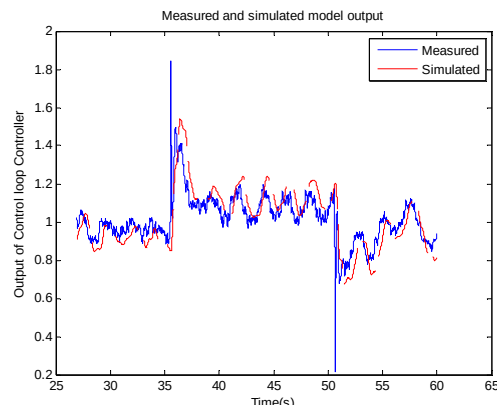
سیستم تحریک"، متن، ۱۳۷۳.

[۱۰] "گزارش تخمین پارامترهای دینامیکی سیستم

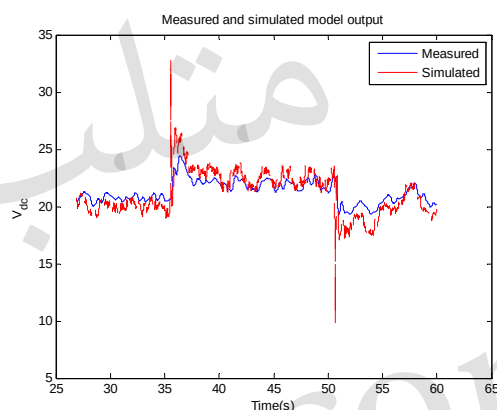
تحریک و کنترل اتوماتیک ولتاژ نیروگاه شهید

رجائی"، متن، ۱۳۷۵.

شکل (۲): خروجی واقعی و شبیه سازی شده کنترل کننده حلقه جریان



شکل (۳): خروجی واقعی و شبیه سازی شده کنترل کننده حلقه ولتاژ



شکل (۴): خروجی واقعی و شبیه سازی شده پل نیم موج تریستوری و

کارت GITS

۶- نتیجه گیری

در این مقاله به دنبال ارایه مدل تحلیلی سیستم تحریک واحدهای گازی نیروگاه خیام بر پایه آزمایش‌های شناسایی در حوزه زمان هستیم. در ادامه شناسایی انجام شده به اعتبار سنجی پارامترها پرداخته ایم. همانگونه که از مقایسه نتایج شناسایی و مقادیر نامی پارامترها مشاهده می شود اختلاف جزئی ای وجود دارد که با گذشت زمان و انحراف پارامترها ایجاد شده و این اختلاف پدیده ای طبیعی است. خطای کوچک موجود در شناسایی و نتایج شبیه سازی تاییدی بر پارامترهای شناسایی شده می باشد.

سپاسگزاری

این پروژه بخشی از پروژه ای با کد PEMMS02 می باشد که توسط گروه ماشینهای الکتریکی پژوهشگاه نیرو و با

- [۱۱] دکتر مهدی کراری، "جزوه درس شناسایی سیستم‌ها"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۷.
- [۱۲] مهدی کراری، «گزارش تعیین پارامترهای دینامیکی سیستم تحریک نیروگاه گازی شهید رجایی واحد شماره ۲»، شرکت متن، ۱۳۷۹.
- [۱۳] "گزارش تعیین پارامترهای دینامیکی گاورنر"، متن، ۱۳۷۴.
- [14] L.Ljung, "System Identification, Theory for User", Prentice Hall, 1987.
- [۱۵] "گزارش تعیین پارامترهای دینامیکی ژنراتور سنکرون"، متن، ۱۳۷۴.
- [16] M. Rasouli, M. Karrari, " Nonlinear Identification of a Brushless Excitation System Via Field Tests", IEEE Trans on energy Conversion, Vol. 19, No. 4, pp. 733-740, 2004.
- [17] M. Harunur-Rashid, "Power Electronics, Circuits, Devices and Applications", Prentice Hall, 1988.
- [۱۸] پرابها شانکار کندور، "پایداری و کنترل سیستم‌های قدرت"، ترجمه حسین سیفی، علی خاکی صدیق، انتشارات تربیت مدرس، ۱۳۷۶.
- [19] S. G. Dukelow, "The Control of Boilers", Second Edition, ISA, 1991.