شناسایی و طراحی کنترل کننده LQR برای توربین گازی زیمنس

اسحاق کارگران[1] ، احمدرضا فروزان تبار[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه ekargaran@yahoo.com

[2]گروه مهندسی برق ، واحد مرودشت ، دانشگاه آزاد اسلامی ، مرودشت ، ایران Ahmad.Foruzan@gmail.com

چکیده

همزمان با پیشرفت تکنولوژی، سیستم های مهندسی پیچیده تر شدند از آنجا که یک سیستم پیچیده از تعداد زیادی عنصر که با هم تداخل دارند تشکیل شده است، و ناحیه عملکرد وسیعی نیز دارند، بسیار مشکل است که یک مدل کلی برای این سیستم به دست بیاید که بتواند در همه نواحی رفتار آن سیستم را مدل کند. حتی اگر چنین مدلی هم یافت شود طراحی کنترل کننده برای آن ممکن است مشکل باشد مدلی از سیستم که بتواند به خوبی بیان کننده خصوصیات توربین گازی باشد می تواند ما را در رسیدن به روش های کنترلی و تجزیه و تحلیل مناسب کمک نماید ، اساسا یک مدل بر اساس اطلاعات مشاهده شده از سیستم ساخته می شود ، سیستم تحت آزمایش قرار می گیرد ، پس از شناسایی و تعیین پارامترهای مربوط به توربین گازی ، به تست و ارزیابی مدل می پردازیم . در این تحقیق ، داده ی ورودی را فلوی سوخت گاز و خروجی را توان تولیدی توربین انتخاب می کنیم. ورودی ها و خروجی های سیستم از سیستم کنترل نیروگاه نمونه برداری می گردد . بر اساس این اطلاعات و با استفاده از الگوریتم های شناسایی سیستم ، مدل کلی سیستم تعیین می گردد. سپس با استفاده از نرم افزار MATLAB مدل توربین را شناسایی و مقایسه ای بین کنترل کننده PI واقعی و کنترل کننده LQR با نرم افزار MATLAB صورت می گیرد.

کلید واژه توربین گازی ، شناسایی مدل ، نمونه برداری ، کنترل کننده LQR

مقدمه

امروزه کنترل سیستمهای مختلف نقش اساسی در پیشبرد اهداف رو به توسعه را ایفا میکند . با روند روز افزون پیشرفت در عرصه های مختلف صنعت، نیاز به کنترل دستگاه هایی که نقش مهمی در این حرکت رو به جلوی صنعت دارند، بیش از پیش احساس میشود لذا یکی از دغدغه های اصلی در بسیاری از زمینه هایی که بر هر نحوی تکنولوژی صنعتی در آنها نفوذ کرده است ، افزایش قابلیت کنترل دستگاه های موجود به بهترین نحو است. به این ترتیب، هدف اصلی در کنار رسیدن به محصول مورد نظر بهینه -سازی زمان و هزینه های مصرفی است .از مهمترین زمینه هایی که همواره با تجهیزات گرانقیمت، پیچیده و جدید همراه بوده و هستند، صنایع برق و هوافضا است که در هر دوی آنها توربین گازی نقش بسزایی را میان تجهیزات مدرن ایفا می کند. در صنعت برق از توربین گازی برای به دوران در آوردن ژنراتور مولد برق بهره برده میشود و در صنعت هوایی از آن به عنوان موتور جت استفاده می شود. با توجه به اهمیت این صنایع بحث میزان اهمیت کنترل این تجهیز پیچیده کاملاً روشن است .توربین گازی مانند بسیاری از سیستمهای عملی به علت داشتن اجزای مکانیکی مختلف، شیرها و محرکهای متنوع با پیچیدگی ها، غیرخطی گری ها و نامعینی های زیادی همراه است.

در بسیاری از روشهای مرسوم برای طراحی سیستمهای کنترلی در دست داشتن یک مدل ریاضی نسبتا دقیق از رفتار دینامیکی سیستم تحت کنترل الزامی است. در واقع اولین قدم در طراحی سیستم کنترل برای یک سیستم ، مدل سازی آن سیستم توسط معادلات ریاضی است. بنابراین بدست آوردن مدل ریاضی سیستم که نمایانگر مشخصه های آن است ، از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.

به دست آوردن یک مدل کامل برای رفتار دینامیکی یک سیستم نه ممکن و نه لزوما مفید می باشد. در واقع توصیف نسبتا کامل عملکرد و رفتار یک سیستم فیزیکی پیچیده بر حسب معادلات ریاضی ، معمولا به تعداد زیادی از روابط خطی و غیر خطی منتهی می شود ، که به علت پیچیدگی بیش از اندازه برای تحلیل و طراحی سیستم های کنترلی مناسب نمی باشد. از طرفی مدل ریاضی نباید بیش از حد ساده انگارانه باشد. ساده سازی بیش اندازه موجب می شود که بعضی از مشخصه های رفتاری مهم سیستم در مدل آن آورده نشود ، بدیهی است که تحلیل انجام شده بر اساس یک مدل نامناسب ، نتایج مفید و قابل اعتمادی را به دست نخواهد داد.

امیر فیروزه و همکاران (۱۳۸۹) از مدل روئن 1 که ابتدا برای مدل سازی توربین های ساخت شرکت جنرال الکتریک مورد استفاده قرار می گرفت جهت یافتن پارامترهای دینامیکی نیروگاه گیلان استفاده گردیده است[1] .

Archive of SID

www.SID.ir

مریم علی پسندی (۱۳۹۲)از دانشگاه صنعتی امیرکبیر با استفاده از داده های جمع آوری شده از نیروگاه بعثت به کمک شبکه عصبی عملکرد نیروگاه بخار بعثت را مدل و توان تولیدی را پیش بینی کرده اند [2].

رفان و همکاران (۲۰۱۲)، در توربین گازی مدل زیمنس V94.2 با انتخاب فشار خروجی کمپرسور ، موقعیت IGV و میزان باز بودن کنترل ولو سوخت گاز بعنوان ورودی و سرعت توربین و دمای خروجی اگزوز بعنوان خروجی سیستم به شناسایی مدل با استفاده از ساختار چند لایه شبکه عصبی ، توربین گازی V94.2 را در زمان راه اندازی مدل کرده اند. این شبکه عصبی دولایه متشکل از ۱۰ نورون در لایه اول و ۵ نورون در لایه دوم می باشد [7].

در این تحقیق به بررسی مختصری از توربین گازی و مدهای بهره برداری از آن پرداخته می شود و در ادامه نیز داده های تاثیر گذار در شناسایی را انتخاب می کنیم و شناسایی مدلی از توربین گازی زیمنس V94.2 انجام می گیرد و سپس مقایسه کنترل کننده PI واقعی سیستم با کنترل کننده LQR به همراه انتگرالگیر در نرم افزار MATLAB صورت می گیرد و در انتها نیز به بحث و نتیجه گیری در خصوص مدل های شناسایی شده و کنترل کننده می پردازیم.

در این مقاله هدف شناسایی و تعیین پارامترهای مربوط به توربین گازی می باشد. ابتدا به بررسی اجمالی توربین گازی می پردازیم. در ادامه بعد از جمع آوری داده های عملی مورد نیاز برای شناسایی، مدل توربین گازی را با استفاده از نرم افزار MATLAB شناسایی می کنیم

بررسی توربین گازی

توربین گازی شامل سه جز اصلی کمپرسور ، توربین و اتاق احتراق می باشد. به دلیل مسایل اقتصادی مانند طول عمر و راندمان می بایست این نوع توربینها در شرایط مختلف کاری به بهترین شکل ممکن بهره برداری گردند. توربین های گازی به علت راه اندازی سریع آنها اغلب در ساعات پیک مصرف مورد بهره برداری قرار می گیرد که مد بهره برداری در این اوقات کنترل توان و دما می باشد. کنترلرهای توربین عبارتند از[3]:

کنترل کننده راه اندازی و سرعت:

سنسورها ، سرعت را اندازه گیری نموده و در اختیار این کنترل کننده قرار می دهند تا متناسب با سرعت ، یک ورودی مرجع یا Set point ساخته و به تا قبل از سنکرون با شبکه فعال می گرددد. لازم به ذکر است که کنترل کننده سرعت از دور ۲۸۵۰ RPM فعال می گردد[9].

کنترل کننده بار:

این کنترل کننده بعد از سنکرون واحد با شبکه سراسری فعال می گردد و سنسورها توان تولیدی را اندازه گیری و در اختیار این بخش قرار می دهند تا Set point مناسب ساخته و به عملگر اعمال گردد. در ضمن مقدارLoad خواسته شده توسط بهره بردار از طریق HMI به سیستم اعمال می گردد[3].

کنترل کننده دمای OTC:

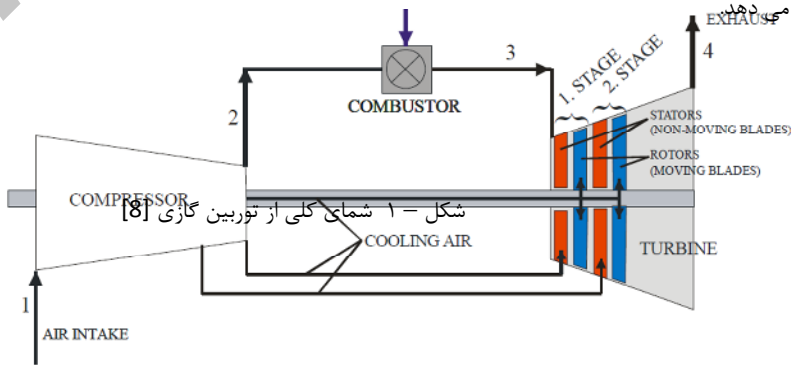
این کنترل کننده دمای خروجی توربین را در برابر افزایش حرارت ناشی از بارگیری بیشتر را محدود می کند تا تنش حرارتی توربین را کاهش دهد[3].

کنترل کننده حد بار توربین:

در این مد توربین حداکثر بار مکانیکی توربین محدود می گردد،این شرایط هنگام پایین بودن دمای هوای ورودی یا فشار بالای هوای(دبی جرمی زیاد کمپرسور) اتفاق می افتد [3].

کنترل کننده تغییرات فشار خروجی کمپرسور:

تغییرات فشار خروجی کمپرسور ، جهت جلوگیری از پدیده سرج را کنترل می کند[3]. شکل- ۱ تصویری از توربین گازی شامل کمپرسور، اتاق احتراق و توربین را نشان می دهد.



شکل – ۱ شمای کلی از توربین گازی [8]

با استفاده از شناسایی سیستم می توان یک مدل ریاضی بر مبنای داده های ورودی و خروجی اندازه گیری شده برای توصیف دینامیک یک سیستم ساخت. یکی از روش های شناسایی در مهندسی استفاده از مدلسازی بر مبنای جعبه سیاه (black box) است. بدین معنی که سیستم با یک ساختار نامشخص

Archive of SID
www.SID.ir

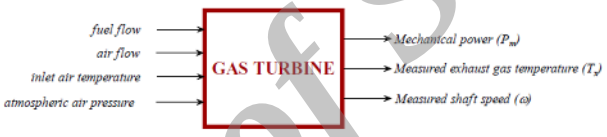
(جعبه سیاه) که فقط به ورودی و خروجی های آن دسترسی داریم در نظر گرفته می شود. لذا اندازه گیری داده های ورودی و خروجی اطلاعات مفیدی را در مورد رفتار سیستم فراهم می کند. در واقع شناسایی سیستم یک روش برای پیدا کردن بهترین مدل بر حسب اطلاعات ورودی و خروجی است[4] .
برای رسیدن به این هدف استفاده از یک مدل تخمینی برای برقراری رابطه بین متغیر های سیستم ضروری است.

شبیه سازی توربین گازی می تواند رفتار توربین را در شرایط مختلف کاری ارایه نماید و در نتیجه در تشخیص مشکلات هنگام راه اندازی و بهره برداری ما را کمک نماید. در این تحقیق یک مدل جدید از توربین گازی ارایه می گردد. برای به دستآوردن مدل از روش و تکنیکهای متعددی ازجمله شناسایی سیستم، فازی ، شبکه عصبی ،نروفازی و ... می توان استفاده کرد. پس از شناسایی مدل پروسه و تعیین پارامترهای آن، مدل ، مورد بررسی قرار می گیرد. در این تحقیق داده برداری با زمان نمونه برداری یک ثانیه از ورودیها و خروجیها انجام می شود و آن دسته از ورودیهای موثر و قوی را انتخاب نموده و بر اساس آن یک مدل از توربین گازی با توجه به الگوریتم های شناسایی ، تعریف می کنیم.

مراحل تحقیق به شرح زیر می باشد:

- جمع‌آوری اطلاعات واقعی توربین گازی با استفاده از نرم افزار IBS از سیستم کنترل SIMADYN .
- انتخاب داده های تاثیر گذار و همساز کردن آنها
- شناسایی مدل.
- اعتبار سنجی مدل شناسایی شده
- طراحی کنترل کننده LQR

۱. جمع آوری اطلاعات واقعی توربین گازی با استفاده از نرم افزار IBS از سیستم کنترل SIMADYN .

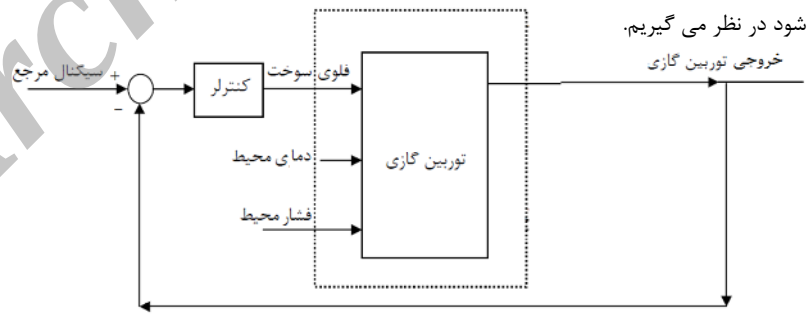


زی[6]

از جمله پارامترهای مهمی که توسط سنسورها قابل اندازه گیری هستند و وضعیت توربین را رصد می کنند شامل دمای محیط ، سرعت ، درصد کنترل ولو سوخت(دبی سوخت) ، درصد IGV (دبی هوای ورودی) ، دمای خروجی اگزوز و توان تولیدی می باشد .

۲. انتخاب داده های تاثیر گذار و همساز کردن آنها

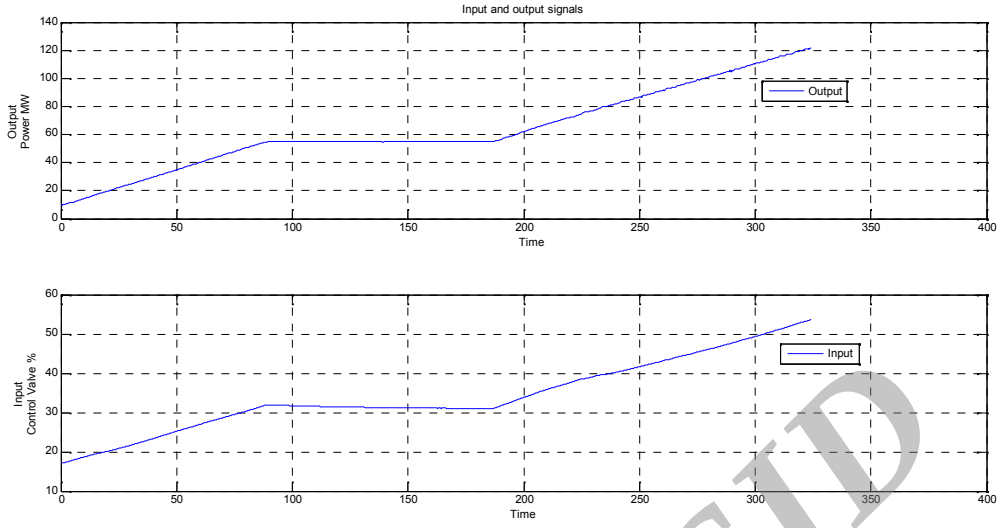
سیستم کنترل توربین زیمنس (SIMADYN) جهت کنترل توان در مد بهره برداری سیگنالهای فلوی سوخت ، دمای محیط و فشار محیط بعنوان ورودیها و توان تولیدی بعنوان خروجی توربین استفاده می کند ، با توجه به شرایط محیطی و زمان داده برداری های انجام شده ، فشار محیط و دمای محیط ثابت باقی می ماند ، لذا از آنها صرفه نظر کرده و ورودی را تنها فلوی سوخت یا میزان باز شدن کنترل ولو و خروجی سیستم را توان الکتریکی که توسط دو سنسور اندازه گیری می شود در نظر می گیریم.



شکل – ۳ سیستم کنترل توربین گازی زیمنس

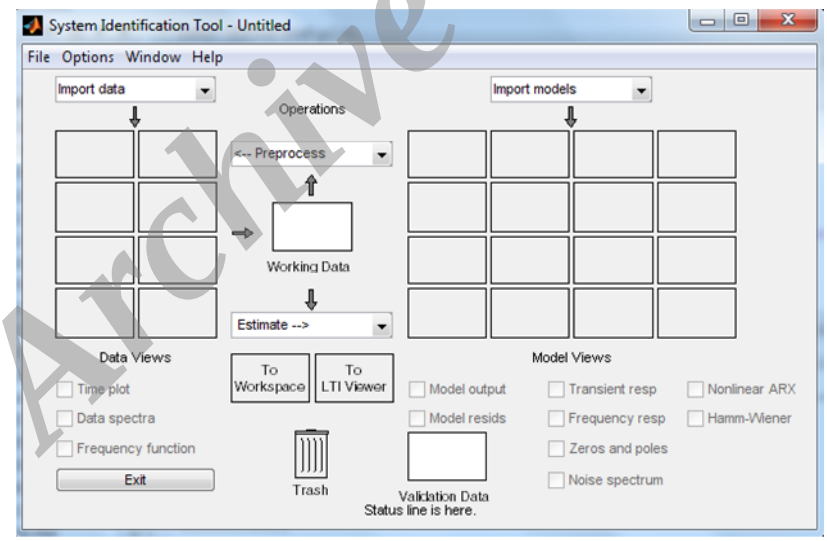
لذا سیستم یک سیستم تک ورودی تک خروجی یا SISO در نظر گرفته می شود. داده ها با استفاده از نرم افزار IBS Siemens با Sample Time 0.08 نمونه برداری کرده و از یک فیلتر عبور می دهیم. در شکل- ۴ مقادیر واقعی جهت شناسایی را رسم شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل- ۴ نمودار داده های ورودی و خروجی اندازه گیری شده

برای اینکار از دادههای ورودی و خروجی مقادیر حالت ماندگارشان را کم میکنیم به این ترتیب تنها سیگنال تحریک به عنوان ورودی و پاسخ توربین گازی به این سیگنال تحریک به عنوان خروجی در اختیار است و می توان شناسایی دقیقتری از ماهیت دینامیکی سیستم مورد مطالعه بدست آورد .
بعد از مشخص شدن ورودی و خروجی با استفاده از رابط گرافیکی IDENT در MATLAB به شناسایی می پردازیم.

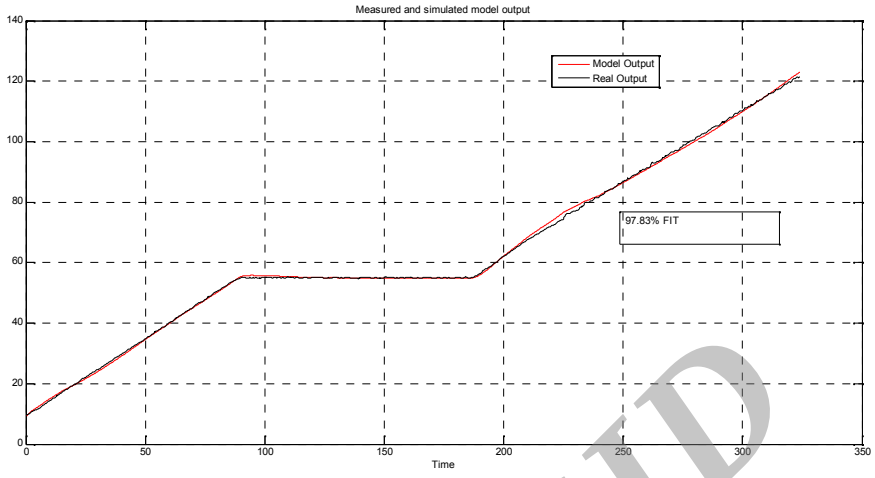


شکل – ۵ محیط رابط گرافیکی IDENT در نرم افزار MATLAB

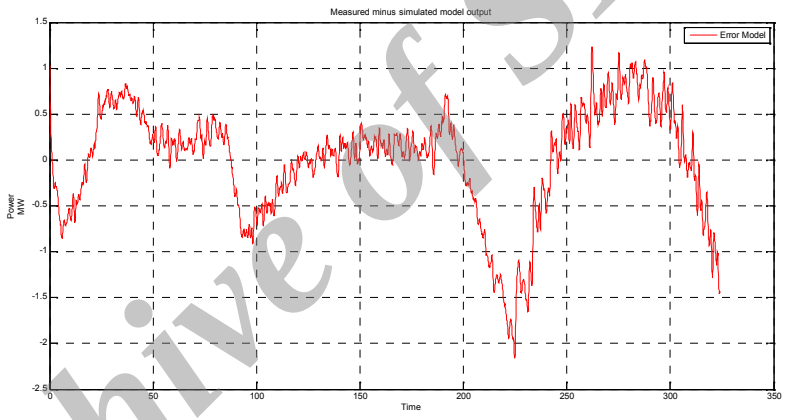
۳. شناسایی مدل

با مشخص شدن ورودی و خروجی و استفاده از رابط گرافیکی Ident درمحیط MATLAB به شناسایی می پردازیم.
در این تحقیق مدلهای درجه دو و درجه سه شناسایی شدند که با توجه به اینکه مدل درجه سه ، حدود ۳/ . درصد مدل را بهبود می دهد لذا با توجه به اینکه مدل درجه دو تمام خصوصیات مدنظر را برآورده می کند و نیز مدل نیز ساده تر می باشد لذا مدل درجه دو بعنوان مدل شناسایی شده توربین گازی انتخاب می گردد. با در نظر گرفتن مدل توربین گازی بصورت یک تابع تبدیل درجه دو ، تطبیق مدل ٪ ۹۷.۸۳ می باشد. در شکل- ۶ مدل شناسایی شده و در شکل – ۷ خطای مدل را رسم می کنیم

Archive of SID
www.SID.ir



شکل- ۶ تطبیق مدل شناسایی شده



شکل- ۷ خطای مدل شناسایی شده

Process model with transfer function

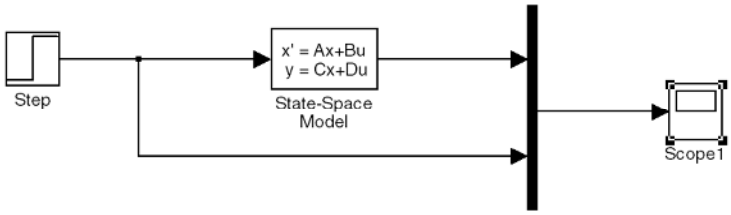
$$G1(S) = \frac{0.04345\,s + 0.01599}{s\text{^}2 + 0.4754\,s + 0.005165}$$

معادله- ۱

Loss function 0.363014 and FPE 0.363731

۴. اعتبار سنجی مدل شناسایی شده

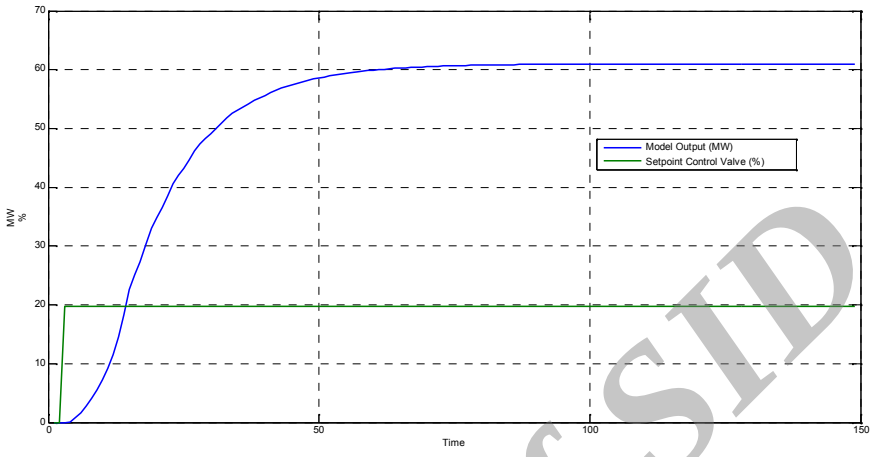
حال به بررسی مدل در نرم افزار سیمولینک MATLAB می پردازیم. شکل- ۸ را رسم می کنیم



شکل- ۸ مدار مدل در سیمولینک MATLAB

Archive of SID
www.SID.ir

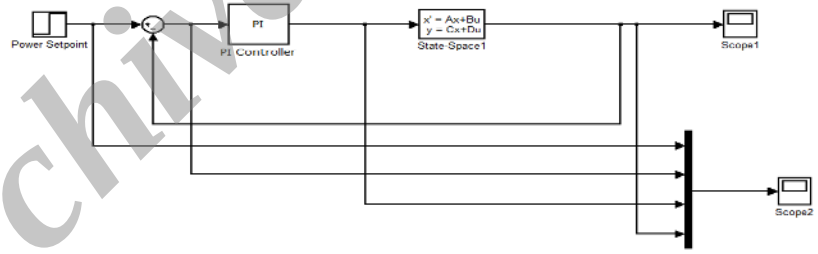
در اینجا برای مشخص شدن بهتر عملکرد مدل یک سیگنال پله به مدل می دهیم و خروجی ها را مشاهده می کنیم. خروجی مدل مطابق شکل- ۹ می گردد . در سیستم واقعی نیز با تغییر درصد کنترل ولو به میزان ٪ ۲۰.۸۸ مقدار توان تولیدی برابر ۶۲.۱۱ مگاوات می باشد که این خود بیانگر تایید مدل شناسایی شده با مقدار واقعی می باشد. لازم به ذکر است که چون داده ها واقعی می باشند و عملکرد مدل با عملکرد توربین گازی مقایسه گردیده و رفتار هر دو یکسان بوده ، عملا تاثیر نویز نیز در نظر گرفته شده است.



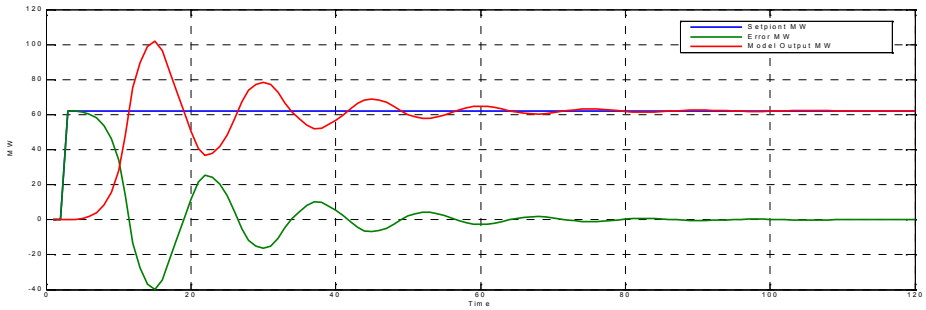
شکل- ۹ خروجی مدل به ازای ورودی پله کنترل ولو

۵. طراحی کنترل کننده LQR به همراه انتگرالگیر

شکل- ۹ بیانگر آن است که با افزایش Set Point کنترل ولو برای تغییر در میزان فلوی ورودی سوخت توان تولیدی نیز افزایش می یابد . مطابق مدارک نیروگاه کنترل کننده در نظر گرفته شده در این ناحیه کاری از نوع PI می باشد که ضرائب آن بصورت زیر می باشد K_P=0/1 و $T_N = 1$ $PI = K_P(1 + \frac{1}{T_N s})$ که جهت تحلیل ، کنترل کننده را مطابق شکل- ۱۰ به مدلهای شناسایی شده درجه دو اعمال و تاثیر آن را بررسی می کنیم. [9]



شکل- ۱۰ مدار مدل با کنترل کننده PI واقعی



شکل- ۱۱ رفتار مدل با PI واقعی

Archive of SID
www.SID.ir

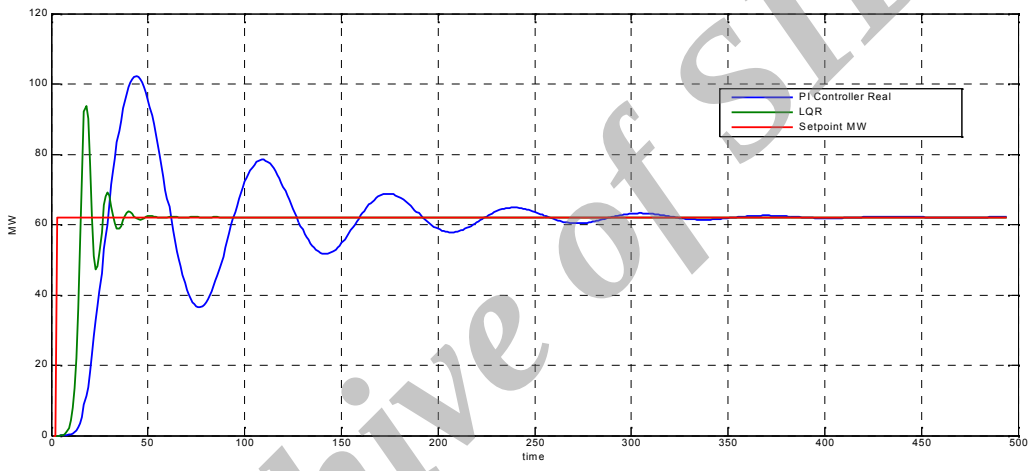
پس از شناسایی سیستم و تعیین پارامترهای مربوطه نوبت به طراحی کنترل کننده می رسد. روشهای متعدی جهت طراحی کنترل کننده وجود دارد که یکی از این روشها جهت طراحی کنترل کننده روش LQR می باشد

عبارت LQR در واقع خلاصه ترم معرفی کننده تنظیم کننده خطی بهینه با شاخص عملکردی مربعی می باشد. روش خطی – مربعی شاید مهمترین نتیجه کنترل مدرن در طراحی کنترل کننده های فیدبک حالت باشد. بسیاری از از مسائل مهندسی توسط این روش حل گشته و روشهای گوناگون عددی برای حل مساله ابداع شده است. علیرغم روش جابجایی قطب که معیار و مشخصه خاصی را برای جایابی قطبها بهینه نمی کنیم در این روش یک معیار با مشخصه ای بصورت معادله (۲) را تعریف و آن را مینیمم می کنیم.[۵]

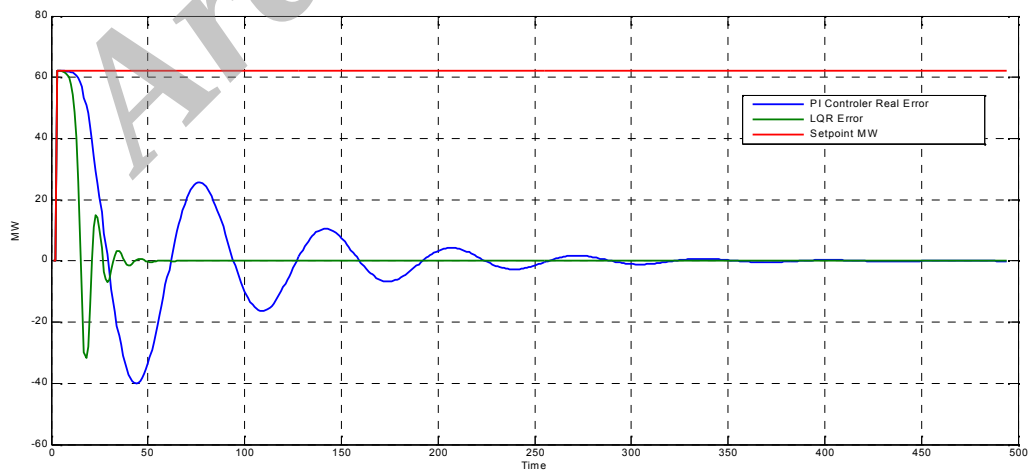
معادله- ۲ $$j = \int_0^\infty (\dot{x}Qx + u\dot{R}u)dt$$

معادله- ۳ $$u(t) = -Kx(t)$$

Q یک ماتریس مثبت معین (یا مثبت نیمه معین) هرمیتی یا یک ماتریس حقیقی متقارن و R مثبت معین است. توجه کنید که جمله دوم سمت راست معادله (۲) مصرف انرژی توسط سیگنالهای کنترل را نشان می دهد. ماتریس های Q و R اهمیت نسبی خطا و مصرف انرژی را تعیین می کنند. [۵]



شکل- ۱۲ مقایسه بین کنترل کننده PI Controller واقعی و LQR به همراه انتگرالگیر



شکل- ۱۳ مقایسه بین خطای کنترل کننده PI Controller واقعی و LQR به همراه انتگرالگیر

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه گیری

در این مقاله سعی شده که یک مدل ساده با کارایی خوب برای توربین گازی زیمنس ارایه گردد. نمونه برداریها از ورودی ها و خروجی از یک سیستم واقعی صورت گرفته و با استفاده از نرم افزار MATLAB و رابط گرافیکی Ident شبیه سازی و اعتبارسنجی گردیده است. این شناسایی خطی از توربین گازی که بیانگر ارتباط بین مقدار فلوی سوخت گاز ، توان تولیدی می باشد را در اختیار قرار می دهد . اعتبار سنجی انجام شده نشان می دهد که مدل واقعی و مدل شناسایی شده بسیار به هم نزدیک هستند

کنترل کننده LQR طراحی شده ، از لحاظ سرعت پاسخ دهی نسبت به PI واقعی بهتر عمل کرده است و نیز این کنترل کننده ها از لحاظ میزان خطا مقایسه شده اند .

لذا می توان این نتیجه گیری را انجام داد که کنترل کننده LQR برای مدل شناسایی شده ، از لحاظ سرعت ، میزان خطا ، Over Shoot و زمان نشت عملکرد بهتری دارد.

سپاسگذاری:
با سپاس از شرکت مدیریت تولید برق فارس که شرایط لازم برای انجام تست فراهم نمودند.

منابع مورد استفاده:

۱. فیروزه،ا .، آقایاری،ج .، نصیری ، م .، 1389 شناسایی توربین گاز نیروگاه گیلان با استفاده از مدارک نیروگاه ، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق
۲. علی پسندی ، م .، محمدی اردهالی، م .، 1392 ، پیش بینی عملکرد نیروگاه بخار از طریق شبکه عصبی
۳. دوره‌ی آموزشی توربین گاز V94.2 تهیه‌ی شده در مهندسی توربین گاز مپنا ، ۱۳۸۵
۴. مهدی کراری ، ۱۳۹۰ ، شناسایی سیستم ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران ، چاپ دوم ، ۳۷۷ صفحه
۵. اوگاتا ، کاتسوهیگو ، ۱۳۸۳ ، مهندسی کنترل ، چاپ اول ، مترجم محمود دیانی ، انتشارات نص ، تهران ، ایران
6. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 70, Iss. 4, 2008 , GAS TURBINE MODELING FOR LOAD-FREQUENCYCONTROL
7. Refan, M.H. ; Taghavi, S.H. ; Afshar, A. Identification of heavy duty gas turbine startup mode by neural networks Thermal Power Plants (CTPP), 2012 4th Conference on ,IEEE 978-1-4673-4844
8. A.A.Safavi,M.Mastali "***An Easy to Interpret Fault Detection Approach to Multivariable Statistical Process Monitoring***" , 16th Iranian Conference on Electric Engineering , 1387
9. LOGIC DIAGRAM GAS TURBINEV94.2 CONTROLLER UNDER LICENSE OF SIEMENS

Archive of SID
www.SID.ir