

بهبود عملکرد سیستم کنترل رباست چند

متغیره بویلر

به منظور دستیابی به عملکرد مناسب در سیستم بویلر- توربین یک نیروگاه حرارتی، پارامترهای فشار درام، سطح آب درام و بار خروجی باید به طور مناسب کنترل شوند. در این سیستم معمولاً از کنترل تناسبی انتگرالی چند حلقه‌ای (نامتمرکز) به خاطر مزایای پیاده سازی صنعتی آن استفاده می‌شود. این کنترلرها در شرایط نرمال سیستم دارای کارایی مناسبی می‌باشند ولی با تغییر شرایط عادی سیستم معمولاً نیاز به تنظیم های مجددی خواهند داشت. یک روش مفید برای غلبه بر این مشکلات استفاده از کنترل رباست چند متغیره می‌باشد. این روش طراحی منجر به حذف صفر و قطب میان مدل سیستم اصلی و کنترلر در مورد تمام قطب های پایدار سیستم جبران نشده می‌شود و همچنین قطب های حلقه بسته سیستم شامل تصویر آینه‌ای (نسبت به محور موهومی) تمام قطب‌های ناپایدار سیستم اصلی می‌شود. در این مقاله برای رسیدن به عملکرد و رباستنس مناسب در سیستم بویلر- توربین و غلبه بر مشکل ذکر شده از ترکیب تبدیل دو-خطی و روش سنتز H_{∞} استفاده می‌شود که در مقایسه با به کارگیری کنترل رباست چندمتغیره معمولی، پاسخ سیستم دارای زمان نشست به مراتب کمتر و میرایی بهتری می‌باشد و در کل با به کارگیری این روش عملکرد سیستم در کنترل پارامترهای مهم بهبود چشمگیری پیدا می‌کند.

مهدی پارسا^۱

کارشناس ارشد

علی وحیدیان کامیاد^۲

استاد

محمد باقر نقیبی سیستمانی^۳

استادیار

واژه های راهنما : بویلر، کنترل رباست، تبدیل دوخطی

۱- مقدمه

یکی از تجهیزات موجود در نیروگاه‌های حرارتی که نقش بسیار مهم تولید برق را بر عهده دارد، سیستم بویلر- توربین است که یک سیستم غیرخطی چند متغیره است و معمولاً در صنعت برای کنترل آن از استراتژی‌های کنترلی کلاسیک تک ورودی تک خروجی استفاده می‌شود که با به کارگیری این استراتژی‌ها در سیستم های چند متغیره متداخل مانند بویلر- توربین مشکلاتی به شرح زیر به وجود خواهد آمد:

^۱ نویسنده مسئول، کارشناس ارشدکنترل، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد pars4mpt@yahoo.com

^۲ استاد، گروه ریاضی و برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد avkamyad@yahoo.com

^۳ استادیار، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد naghib@yahoo.com

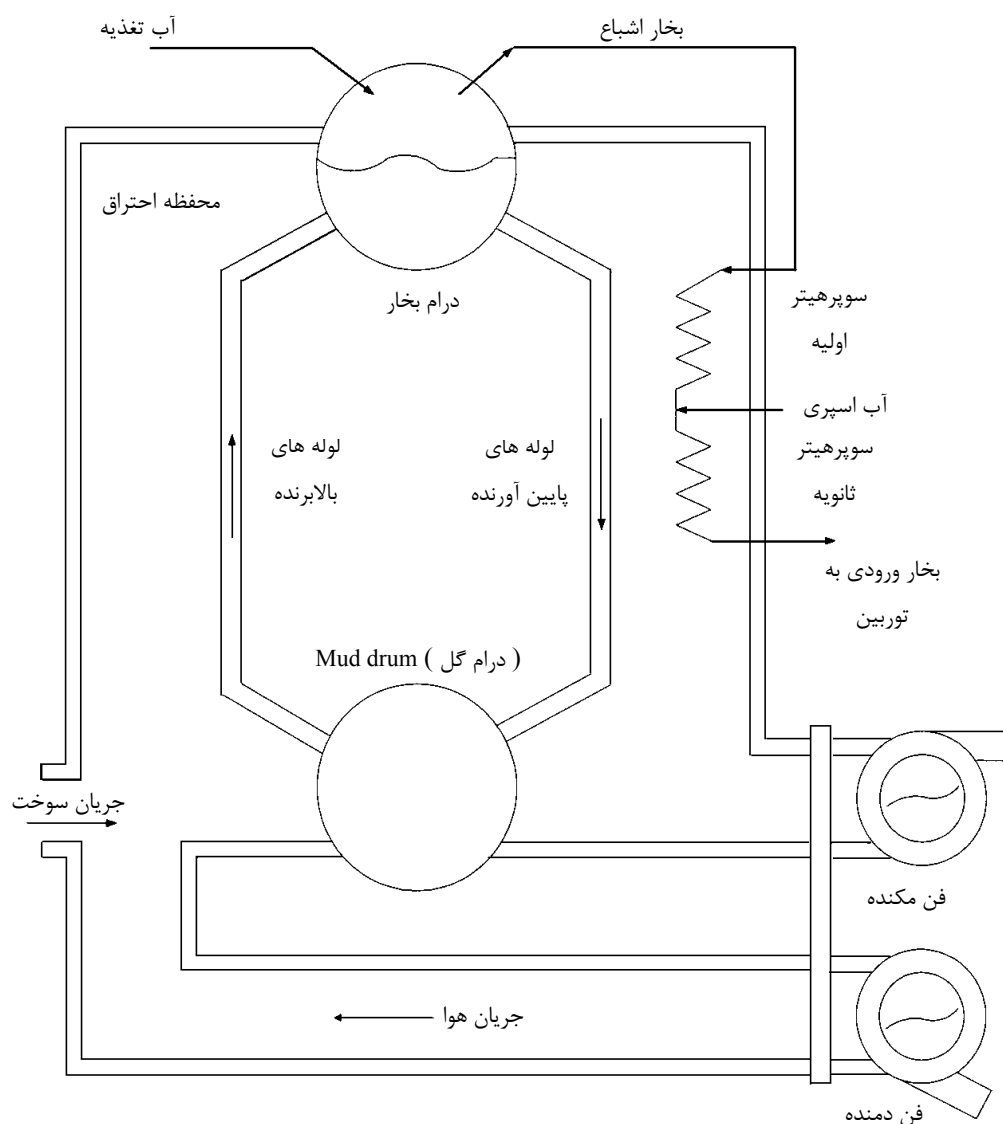
الف- تنظیم پارامترهای کنترلرهای تناسبی- انتگرالی- مشتقی (PID) برای این سیستم ها بسیار مشکل است و همچنین هیچ روش سیستماتیک و کارآمدی برای سیستم های چند ورودی چند خروجی وجود ندارد.

ب- تنظیم پارامتر کنترلرهای PID در نقاط کاری نامی سیستم می باشد و در صورتی که این نقاط تغییر کند یا اغتشاشی به سیستم وارد شود، هیچ تضمینی برای پایداری و کارایی مناسب سیستم وجود ندارد و اغلب نیاز به تنظیم مجدد پارامترهای کنترلر می باشد.

در حقیقت به منظور رسیدن به کنترل همزمان در بویلر باید از استراتژی های چند متغیره استفاده کنیم. مقالات متعددی به کاربرد تئوری کنترل چند متغیره در سیستم بویلر پرداخته اند [۱،۲]. در این روشها معمولاً نیاز به مدل دقیق سیستم می باشد و اغلب طراحی کنترلر به صورت پیچیده است. از آنجایی که بدست آوردن یک مدل ریاضی دقیق برای سیستم بویلر در اندازه های صنعتی بسیار مشکل می باشد مقاوم بودن در برابر خطاهای مدلسازی یکی از پیش شرطهای مورد نیاز به منظور طراحی کنترلر می باشد. به همین خاطر کاربرد کنترل رباست در بویلرها مطرح می گردد. در این مقاله ابتدا یک کنترل رباست چند متغیره بر اساس روش شکل دهی حلقه H_{∞} مانند مقالات [۳-۵] طراحی شده و به سیستم بویلر اعمال می گردد. سپس با توجه به شرایط سیستم و به منظور بهبود عملکرد سیستم، یک کنترل H_{∞} بر اساس شکل دهی حلقه و تبدیل دو خطی [۶] طراحی شده و با انجام شبیه سازی ها مزایای این تبدیل در کنترلر رباست بویلر مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۱- خصوصیات سیستم مورد نظر

بویلر مورد نظر از نوع لوله آبی درام دار (watertube) است. این نمونه از بویلرها معمولاً دارای دو قسمت مجزا هستند. قسمت اول سیستم آب- بخار می باشد که به آن سیستم سمت آب نیز گفته می شود. در این سیستم آب پیش گرم شده از اكونومایزر وارد درام بخار می شود سپس در داخل لوله هایی به سمت پایین جریان پیدا می کند و به درام گل (Mud Drum) وارد می شود. درام گل آب را در لوله هایی که به سمت بالا حرکت می کند تقسیم می کند، آب در این بین حرارت داده شده تا به حالت اشباع می رود. مخلوط بخار و آب اشباع دوباره به درام بخار بر می گردد و بخار از آب جدا شده و از درام بخار خارج شده و وارد سوپر هیتر می شود. سوپر هیتر دارای دو مرحله است در سوپر هیتر ها درجه حرارت بخار تنظیم شده و در نهایت بخار وارد کلکتور و از آنجا وارد توربین می شود. سیستم دوم، سیستم سوخت- هوا- گازهای دودکش می باشد که به آن سیستم سمت سوخت بویلر نیز گفته می شود. در این سیستم هوا پس از عبور از فن دمنده با سوخت ترکیب شده و مشعل بویلر را مشتعل می کنند. نتیجه احتراق تبدیل انرژی شیمیایی سوخت به انرژی گرمایی می باشد. گازهای حاصل از احتراق پس از عبور از سوپر هیتر و لوله های بالابرنده و پایین برنده آب در درام بخار، توسط فن مکنده از دودکش بویلر خارج می شوند. یک شماتیک از این نمونه بویلر ها در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک بویلر

۲- شرح مسئله

سیستم بویلر- توربین شرح داده شده در قسمت قبل بوسیله یک مدل ریاضی 3×3 بیان می‌شود [۳، ۵]. در این سیستم متغیرهایی که باید کنترل شوند بار الکتریکی خروجی، فشار درام و سطح آب داخل درام می‌باشد و متغیرهایی تنظیم شونده عملگر تنظیم سوخت، کنترل والو مربوط به بخار خروجی و عملگر آب تغذیه می‌باشد. هدف اصلی در این سیستم دنبال کردن تغییرات بار الکتریکی خروجی سیستم با نگهداری پارامترهای فشار و سطح آب درام بویلر در حد ایمن می‌باشد.

سیستم مورد نظر یک واحد تولید برق ۱۶۰ MW با سوخت فسیلی می‌باشد. مدل این واحد به طور جامع در مرجع [۵] مورد بررسی قرار گرفته است. مدل غیر خطی سیستم با استفاده از معادلات (۱) توصیف می‌گردد که در این روابط متغیرهای x_1 ، x_2 ، x_3 به ترتیب فشار بخار درام (Kg/cm^2)، برق خروجی (MW) و

غلظت سیال سیستم (Kg/m^3) می باشند. ورودیهای کنترلی u_1, u_2, u_3 به ترتیب نشان دهنده تنظیم والو مقدار سوخت، تنظیم مقدار بخار توربین و تنظیم مقدار آب تغذیه می باشند و خروجی y_3 سطح آب داخل درام را نشان می دهد.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = -0.0018u_2x_1^{\frac{9}{8}} + 0.9u_1 - 0.015u_3 \\ \dot{x}_2 = (0.073u_2 - 0.016)x_1^{\frac{9}{8}} - 0.1x_2 \\ \dot{x}_3 = (141u_3 - (1.1u_2 - 0.19)x_1)/85 \\ y_1 = x_1 \\ y_2 = x_2 \\ y_3 = 0.05(0.1307x_3 + 100a_{cs} + \frac{q_e}{9} - 67.975) \end{array} \right. \quad (1)$$

q_e, a_{cs} فاکتورهای کیفیت بخار و شدت تبخیر جرمی (Kg/s) هستند که با استفاده از روابط (۲) بیان می گردند.

$$a_{cs} = \frac{(1 - 0.001538x_3)(0.8x_1 - 25.6)}{x_3(1.0394 - 0.0012304x_1)} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$q_e = (.854u_2 - 0.147)x_1 + 45.59u_1 - 2.51u_3 - 2.096 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) \quad (2)$$

همچنین محدودیتهایی روی سیگنالهای کنترل نرمالیزه شده به صورت $0 \leq u_i \leq 1 \quad i=1,2,3$ وجود دارد. با در نظر گرفتن نقطه کار نامی سیستم در نصف بار کامل که به صورت $x_1^0=108, x_3^0=428, u_2^0=0.69$ است می توانیم مقادیر سایر متغیرها را بدست آوریم که در نهایت نقاط کاری نامی به صورت (۳) بدست می آید:

$$x^0 = \begin{bmatrix} 108 \\ 66.65 \\ 428 \end{bmatrix}, u^0 = \begin{bmatrix} 0.34 \\ 0.69 \\ 0.436 \end{bmatrix}, y^0 = \begin{bmatrix} 108 \\ 66.65 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

در این نقطه کار، خطی سازی منجر به تشکیل ماتریسهای فضای حالتی به صورت رابطه (۴) خواهد شد:

$$A = \begin{bmatrix} -2.509e^{-3} & 0 & 0 \\ 6.94e^{-2} & -0.1 & 0 \\ -6.69e^{-3} & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0.9 & -0.349 & -0.15 \\ 0 & 14.155 & 0 \\ 0 & -1.398 & 1.659 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 6.34e^{-3} & 0 & 4.71e^{-3} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.235 & 0.512 & -0.14 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ماتریس تابع تبدیل $G(s)$ (با بعد 3×3) مربوط به این فضای حالت در پیوست ۱ آورده شده است. هدف طراحی یک کنترل مقاوم برای سیستم بویلر-توربین با استفاده از مدل ارائه شده می‌باشد. تکنیک‌های کنترلی متفاوتی به منظور کنترل سیستم بویلر به کار گرفته شده است که از جمله این روشها آرایه های معکوس نایکوئیست [۱]، روش مد لغزشی [۷]، تابع مخلوط وزین H_∞ [۸]، کنترل پیش بین [۹] و روش شکل دهی حلقه H_∞ [۳-۵] می باشد. در این مقاله با استفاده از روش تبدیل دو خطی مشکلات کنترلر رباست چند متغیره طراحی شده برطرف شده و تاثیر آن در بهبود عملکرد سیستم بویلر (در کاهش چشمگیر زمان نشست، زمان خیز، خطای حالت ماندگار و نوسانات سیستم) به وسیله شبیه سازی های زمانی نشان داده می شود.

۳- طراحی کنترلر

در این قسمت روش طراحی کنترلر H_∞ بر اساس شکل دهی حلقه بررسی می شود. خصوصیات ذاتی این روش به صورت زیر خلاصه می شود.

(الف) این کنترلر هر دو خصوصیت کارایی و پایداری مقاوم را با هم ترکیب می کند.

(ب) این کنترلر از لحاظ مفهومی و محاسباتی ساده است: مسئله H_∞ که در بخش بعدی معرفی می شود برای محاسبه به صورت معین است و نیازی به تکرار ندارد.

(ج) این روش ترکیب ایده کلاسیک شکل دهی حلقه و ایده کنترل رباست است و به همین خاطر چون مهندسان با تجربه که در صنعت مشغول به کار هستند بیشتر با روشهای کلاسیک طراحی کنترلر آشنا هستند این روش اهمیت بیشتری پیدا می کند.

طراحی کنترلر برای مدل سیستم بویلر-توربین (با در نظر گرفتن مدل به صورت ماتریس تابع تبدیل $G(s)$) شامل سه مرحله می باشد:

الف- شکل دهی حلقه: با استفاده از قرار دادن جبران‌سازهایی قبل و یا بعد از سیستم اصلی به صورت W_1 ، W_2 (Pre- and/or Post Compensators) مقادیر تکین سیستم اصلی G به سیستم جبران شده مطلوب $\tilde{G} = W_1 G W_2$ شکل دهی می شوند (شکل ۲-الف). فرض می شود که پیش جبران ساز و پس جبران ساز دارای هیچ مد ناپایدار مخفی نیستند. در اصل با قرار دادن این جبران‌سازها Condition Number سیستم را ارتقا می دهیم (در اصل Condition Number معیاری برای نشان دادن فاصله بین ماکزیمم و مینیمم مقدار تکین می باشد) که خصوصیات کنترلر نهایی به این توابع وابسته است.

ب- پایدارسازی مقاوم (Robust Stabilization): در این مرحله یک فیدبک کنترلی که به طور مقاوم، سیستم شکل دهی شده در مرحله قبل را پایدار می‌کند طراحی می شود. یک نمونه از این کنترلرها بر اساس

بهینه سازی H_∞ به منظور ماکزیمم کردن حاشیه پایداری می باشد. به عبارت دیگر در این روش برای سیستم شکل دهی شده $\tilde{G}$ مسئله بهینه سازی H_∞ به صورت رابطه (۵) می باشد:

$$\varepsilon_{max}^{-1} = \inf \left\| \begin{bmatrix} (I + \tilde{G}\tilde{K})^{-1} & (I + \tilde{G}\tilde{K})^{-1}\tilde{G} \\ \tilde{K}(I + \tilde{G}\tilde{K})^{-1} & \tilde{K}(I + \tilde{G}\tilde{K})^{-1}\tilde{G} \end{bmatrix} \right\|_\infty \quad (5)$$

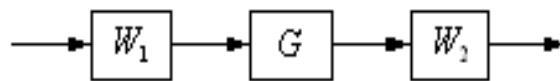
مقدار ε_{max} به عنوان یک شاخص طراحی مورد استفاده قرار می گیرد و معمولاً بین ۰/۳ و ۰/۵ می باشد. اهمیت این مینیمم سازی در این است که اگر فرض کنیم ماتریس متباین سمت چپ (Left Coprime Factorization) ماتریس تابع تبدیل به صورت $\tilde{G} = \hat{M}^{-1}\hat{N}$ باشد می توان نشان داد که کنترلر بدست آمده در رابطه (۵) پایداری هر سیستم G^* که متعلق به خانواده سیستم های G_Δ باشد را تضمین می کند که G_Δ به صورت رابطه (۶) تعریف می شود:

$$G_\Delta = \{M_\Delta^{-1}N_\Delta : \|M_\Delta - \tilde{M}, N_\Delta - \tilde{N}\|_\infty < \varepsilon_{max}\} \quad (6)$$

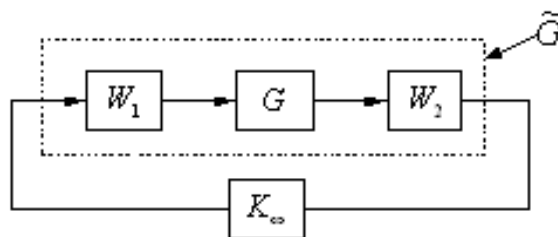
همچنین در صورتیکه ε_{max} به اندازه کافی بزرگ باشد پایداری رباست حلقه نیز تضمین می شود. (نکته قابل توجه این است که مسئله بهینه سازی H_∞ رابطه (۵) را علاوه بر روش تکرار می توان بوسیله حل دو معادله ریکاتی نیز حل کرد). (شکل ۲-ب)

ج- در این مرحله کنترلر نهایی به صورت رابطه (۷) تعیین می شود. (شکل ۲-ج)

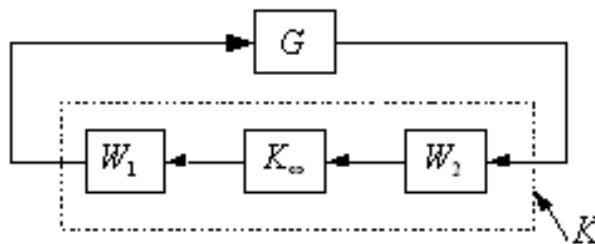
$$K = W_1 \tilde{K} W_2 \quad (7)$$



الف- سیستم شکل دهی شده



ب- جبرانساز H_∞



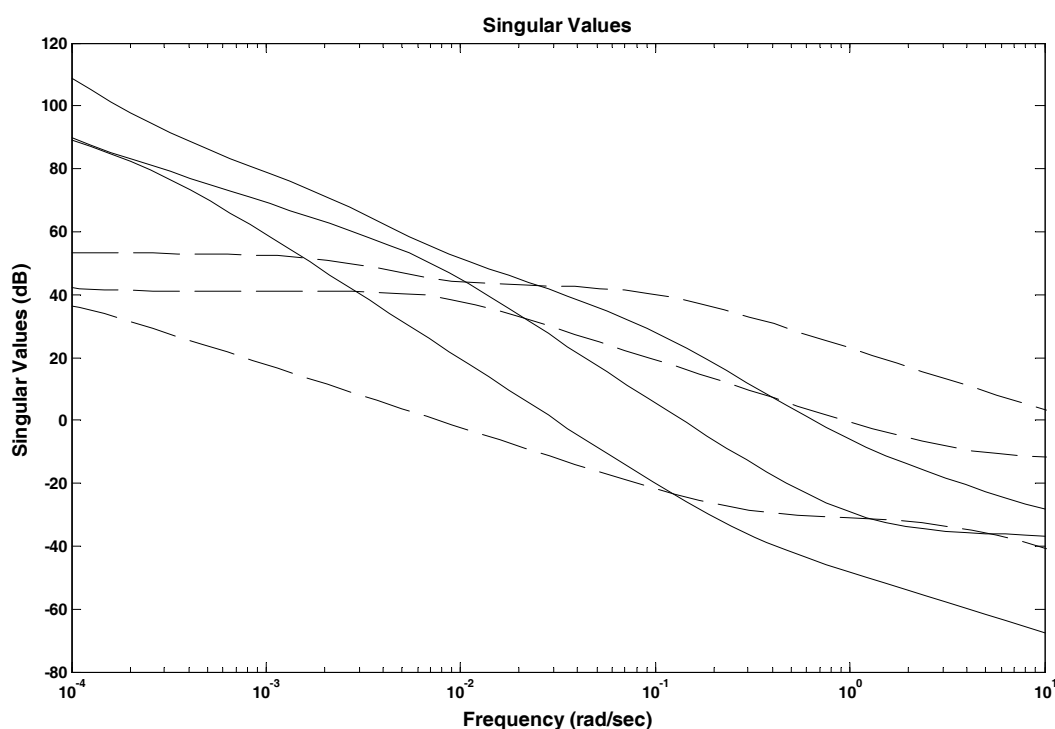
ج- کنترلر نهایی

شکل ۲- مراحل طراحی کنترلر از روش شکل دهی حلقه

اکنون به منظور طراحی کنترل رباست، مراحل ذکر شده را به مدلی که در بخش ۲ مورد بررسی قرار دادیم اعمال می کنیم. ماتریسهای W_1 , W_2 به صورت ماتریسهای رابطه (۸) انتخاب می شوند [۴]. در اصل ماتریس W_1 به صورت $W_1 = W_a W_i$ می باشد که W_a یک ماتریس جداساز (Decoupler) استاتیک است که توسط الگوریتم Align بدست می آید. الگوریتم Align شامل پیدا کردن یک ماتریس حقیقی W_a است که اگر در ماتریس اصلی ضرب شود حاصل ماتریس واحد I است. با جبران سازی مدل با ماتریسهای W_1 , W_2 مقادیر تکین سیستم بهبود می یابد که این مسئله در شکل (۳) نشان داده شده است. در این شکل مشخص است مقادیر تکین سیستم پس از جبران سازی، در فرکانسهای پایین زیاد و در فرکانسهای بالا کم شده است.

$$W_2 = I$$

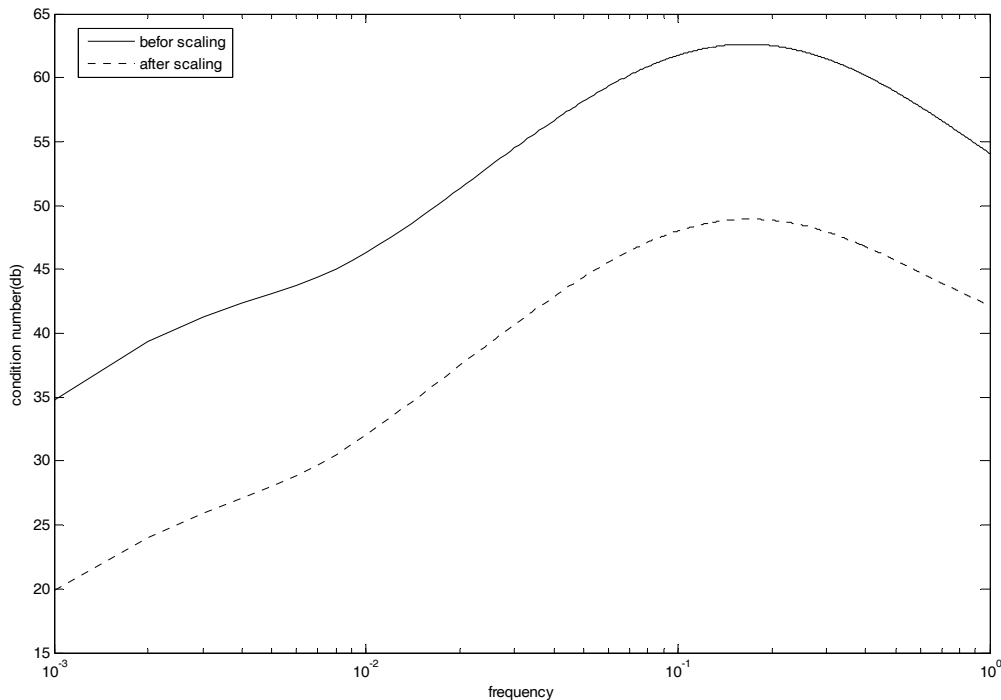
$$W_1 = \begin{bmatrix} 0.0011 & 0.0037 & 0.0271 \\ -0.0043 & 0.0071 & 0 \\ -0.0005 & 0.006 & 0.1625 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3(1+\frac{1}{s}) & 0 & 0 \\ 0 & 3(1+\frac{1}{s}) & 0 \\ 0 & 0 & 3(1+\frac{1}{s}) \end{bmatrix} \quad (۸)$$



شکل ۳- مقادیر تکین سیستم (نمودار خط ممتد : بعد از جبران سازی، نمودار خط چین : قبل از جبران سازی)

در شکل (۴) Condition Number ماتریسهای پاسخ فرکانسی سیستم قبل و بعد جبران سازی با ماتریسهای W_1 , W_2 رسم شده است. همانطوریکه از روی این شکل مشخص است Condition Number سیستم بهبود

یافته است (در حدود ۱۵ دسی بل در همه فرکانس ها). که این امر تاثیر زیادی در دفع اغتشاش سیستم دارد زیرا هر چقدر Condition Number کوچکتر باشد فاصله بین بزرگترین و کوچکترین مقدار تکین سیستم کمتر می شود. در نهایت برای سیستم مورد نظر با توضیحات ارائه شده، شاخص طراحی برابر $\varepsilon_{max} = 0.3963$ بدست می آید.



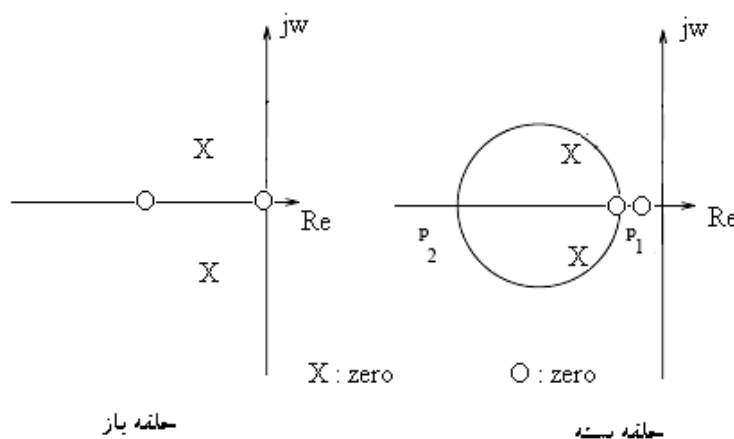
شکل ۴- condition number ماتریس پاسخ فرکانسی (نمودار خط ممتد : قبل از جبران سازی، نمودار خط چین : بعد از جبران سازی)

۴- تبدیل دو خطی (Bilinear Transform)

می توان گفت که کنترل بهینه H_∞ سعی می کند تا دینامیک های نامطلوب را توسط معکوس کردن قسمت پایدار سیستم اصلی حلقه باز حذف کند، در حالیکه تصویر قسمت ناپایدار این سیستم را معکوس می سازد، بنابراین اثر صفرهای حلقه باز از بین می رود. کاستی کنترل ربات در این است که سعی می کند پاسخ دائمی (شامل ردیابی، دفع اغتشاش و ...) را اصلاح کند، ولی مشکل حذف صفر و قطب در پاسخ گذرا ظاهر می شود و همچنین اگر سیستم روی محور $j\omega$ صفرها یا قطبهایی داشته باشد طراحی کنترلر مشکل خواهد شد. از اینرو چندین روش برای غلبه بر این مشکلات وجود دارد که ما در اینجا از روش تبدیل دو خطی برای رفع مشکل استفاده می کنیم [۶]. در این روش یک صفحه مختلط جدید $\bar{s}$ را در نظر می گیریم که رابطه انتقال آن به صورت رابطه (۹) است:

$$S = \frac{(\bar{S} + P_1)}{(1 + \frac{\bar{S}}{P_2})} \quad (9)$$

که $P_1 < 0, P_2 < 0$ نقاط انتهایی قطر دایره ای در سمت چپ محور $j\omega$ می باشند. قطبهای حلقه بسته سیستم در درون این دایره قرار خواهند گرفت (شکل ۵). با استفاده از تبدیل دو خطی صفرها و قطبهای سیستم را از محور $j\omega$ دور می کنیم بعد از طراحی کنترلر با استفاده از تبدیل دو خطی معکوس کنترلر را به صفحه مختلط S اصلی باز می گردانیم. که این کنترلر طراحی شده یک کنترلر زیر بهینه برای سیستم واقعی می باشد و باعث جلوگیری از حذف صفر و قطب شده و میرایی سیستم را بهبود می بخشد.



شکل ۵- تبدیل دو خطی (bilinear transform)

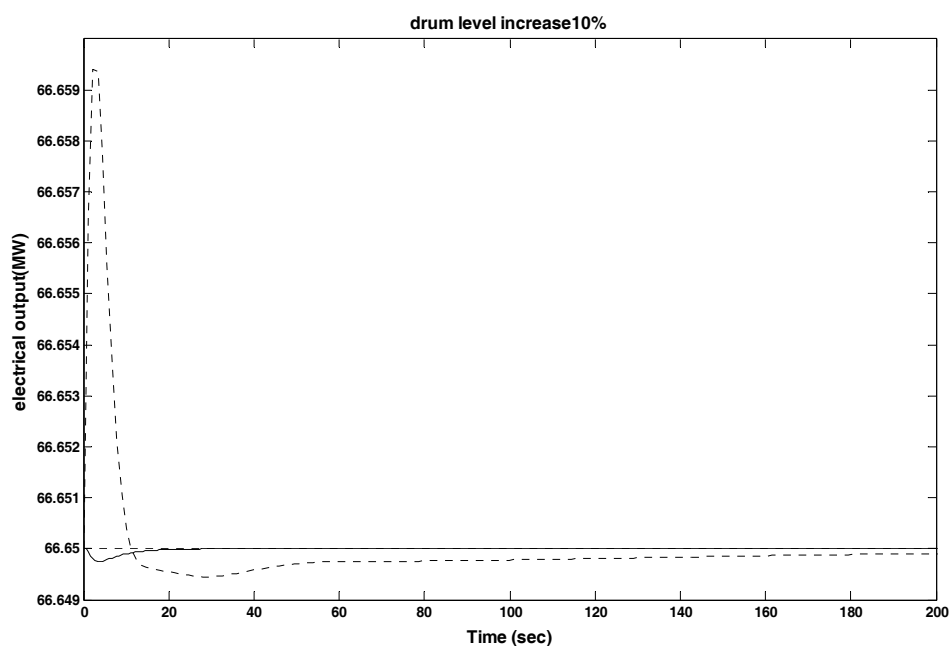
۵ - شبیه سازی ها

در این قسمت بر اساس مدل توضیح داده شده و کنترلر طراحی شده در قسمت قبل شبیه سازی ها انجام می شود و اثر تغییر پارامترهای مهم سطح درام و بار خروجی را بر پارامترهای فشار درام، سطح درام و بار خروجی در دو حالت بررسی می کنیم که یک حالت با کنترلر رباست و حالت دوم بعد از استفاده از روش تبدیل دو خطی می باشد و در نهایت با مقایسه این دو حالت مزایای استفاده از روش تبدیل دو خطی را مشاهده می کنیم.

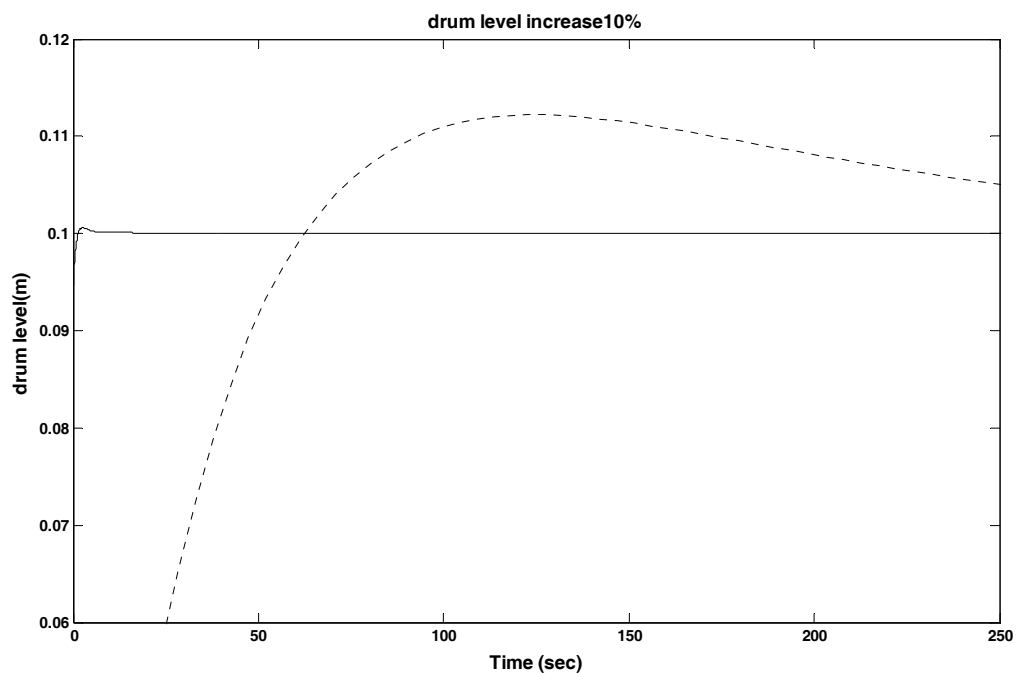
۱-۲- پاسخ بویلر به افزایش ۱۰ درصدی سطح درام

در این شبیه سازی تغییرات ناشی از افزایش ۱۰ درصدی سطح درام (از صفر به ۰,۱ متر) با هر دو کنترلر طراحی شده (کنترلر رباست و ارتقا یافته آن با تبدیل دو خطی) را در شکل های ۶ تا ۸ مشاهده می کنیم. همانطوریکه مشخص است پاسخ سیستم با کنترلر بدست آمده با استفاده از روش تبدیل دو خطی بسیار بهتر است (از لحاظ میرایی و زمان نشست). در این شکل ها به ازای افزایش ۱۰ درصدی سطح درام تغییرات پارامترهای بار خروجی (شکل ۶)، فشار درام (شکل ۷) و سطح درام (شکل ۸) نشان داده شده است. در شکل ۷ به منظور مقایسه بهتر دو پاسخ قسمتی از نمودار بزرگنمایی شده است تا هر دو پاسخ بهتر مشاهده شوند

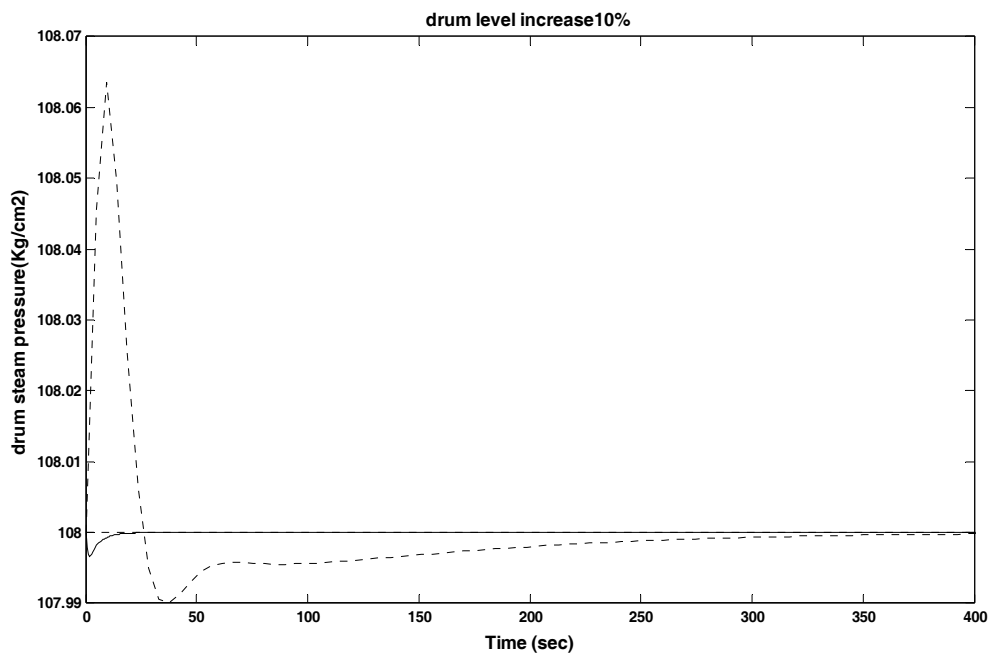
(چون پاسخ سیستم ارتقا یافته دارای بالازدگی و زمان نشست به مراتبی کمتری نسبت به کنترل رباست اصلی است).



شکل ۶- تغییرات بار خروجی سیستم به ازای افزایش ۱۰ درصد سطح درام (نمودار خط چین: کنترلر رباست، نمودار ممتد: کنترلر رباست و تبدیل دو خطی)

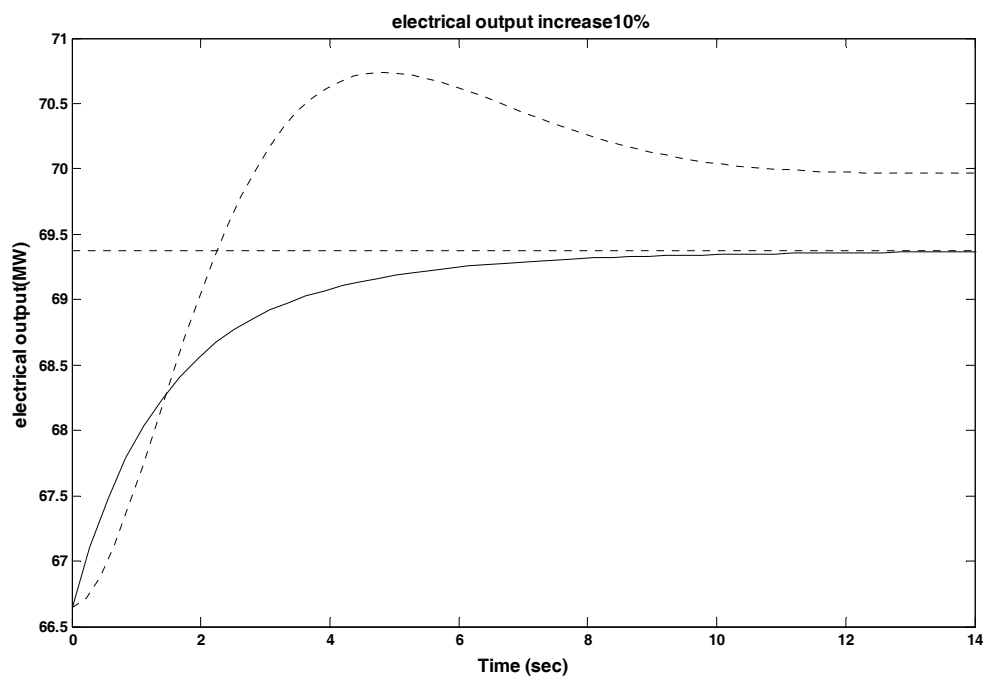


شکل ۷- تغییرات سطح درام به ازای افزایش ۱۰ درصد سطح درام (نمودار خط چین: کنترلر رباست، نمودار ممتد: کنترلر رباست و تبدیل دو خطی)



ج) تغییرات فشار درام

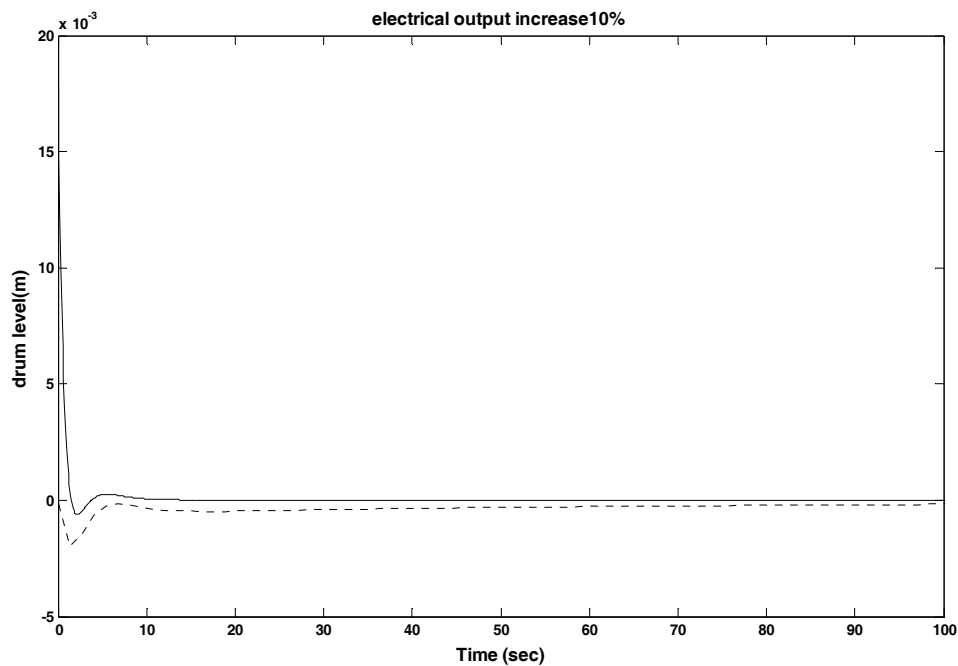
شکل ۸- تغییرات فشار درام به ازای افزایش ۱۰ درصد سطح درام (نمودار خط چین: کنترلر رباست، نمودار ممتد: کنترلر رباست و تبدیل دو خطی)



شکل ۹- تغییرات بار خروجی سیستم به ازای افزایش ۵ درصدی بار خروجی (نمودار خط چین: کنترلر رباست، نمودار ممتد: کنترلر رباست و تبدیل دو خطی)

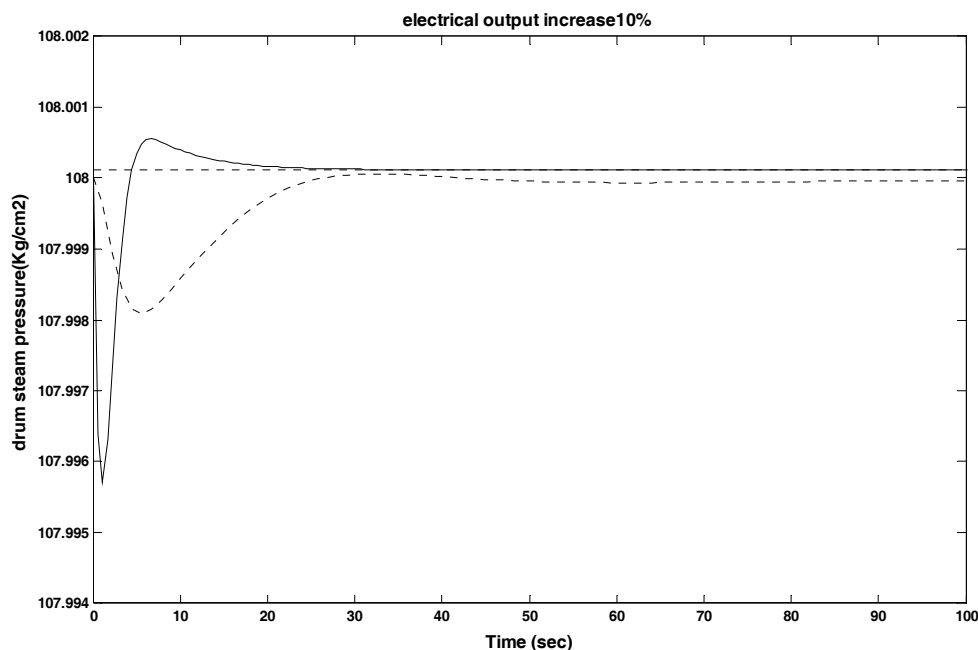
۱-۳- پاسخ بویلر به افزایش ۴ درصدی بار خروجی

در این قسمت نتایج شبیه سازی های سیستم به ازای افزایش ۴ درصدی بار خروجی (از ۶۶,۵۶ MW به ۶۹,۵۶ MW) در شکل‌های (۹) تا (۱۱) نشان داده شده است. همانطوریکه از روی نتایج شبیه سازیها مشخص است با اعمال روش تبدیل دو خطی کنترلر دارای پاسخ مناسبتری می باشد و در اکثر موارد باعث کاهش نوسانات پاسخ شده و میرایی سیستم را بهبود می دهد.



شکل ۱۰- تغییرات سطح درام به ازای افزایش ۵ درصدی بار خروجی (نمودار خط چین: کنترلر رباست، نمودار ممتد: کنترلر رباست و تبدیل دو خطی)

در شکل های (۱۰) و (۱۱) پاسخ سیستم با کنترلر بدست آمده از تبدیل دو خطی دارای نوسان با دامنه بیشتری در اولین پیک می باشد ولی دامنه این پیک ها بسیار ناچیز است ولی در عوض سیستم دارای زمان نشست کمتری است.



شکل ۱۱- تغییرات فشار درام سیستم به ازای افزایش ۵ درصدی بار خروجی (نمودار خط چین: کنترلر رباست، نمودار ممتد: کنترلر رباست و تبدیل دو خطی)

۶- نتیجه گیری

در این مقاله برای رسیدن به عملکرد و رباستنس مناسب در سیستم بویلر و غلبه بر پدیده حذف صفر و قطب میان سیستم اصلی و کنترلر در طراحی کنترلر رباست چند متغیره، از ترکیب تبدیل دو خطی و روش سنتز H_{∞} استفاده می‌شود. کنترلر نهایی بدست آمده از این روش نسبت به کنترلر رباست چند متغیره معمولی، دارای عملکرد مناسبی در کاهش زمان نشست و زمان خیز و افزایش میرایی پاسخ سیستم خواهد داشت.

مراجع

- [1] Johanson, L., and Koivo, H. N., "Inverse Nyquist Array Technique in the Design of a Multivariable Controller for a Solid-fuel Boiler", Int. J. Contr, Vol. 40, pp. 1077-1088, (1984).
- [2] Cori, R., and Maffezzoni, C., "Practical Optimal Control of a Drum Boiler Power Plant", Automatica, Vol. 20, pp. 163-173, (1984).
- [3] Hu, Z., Fan, H., and He, Y., "Robust Controller Design for Boiler System", Int. IEEE Conf. Intelligent Computation Techno, pp. 445-449, Hunan, China, (2008).
- [4] Tan, W., Marquez, H., and Chen, T., "Multivariable Robust Controller Design for a Boiler System", IEEE Trans Control Syst. Techno, Vol. 10, No. 5, pp. 735-742, (2002).

- [5] Tan, W., Niu, Y., and Liu, J., "H Control for a Boiler-turbine Unit", Proc. IEEE. Conf. Contr. pp. 910-914, Kohala Coast, USA, (1999).
- [6] Johanson, L., and Koivo, H.N., "Design of H-PSS using Numarator-denamarotor Uncertainty Representation", IEEE Trans Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, pp. 45-50, (1997).
- [7] Gharib, M.R., Dabzadeh, I., Mousavi, S.A.S., and Kamelian, S., "Robust Controller Design with QFT and Sliding Mode for Boiler Pressure", Int. IEEE Conf. Modeling, Identifaction and Control, pp. 412-417, Okayama, Japan, (2010).
- [8] Pellegrinetti, G., and Bentsman, J., "H Controller Design for Boilers", Int. J. Robust Nonlinear Contr. Vol. 4, pp. 645-671, (1994).
- [9] Hogg, B.M., and Rabaie, N.M.E., "Multivariable Generalized Predictive Control of a Boiler System", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 6, pp. 282-288, (1991).

فهرست نمادهای انگلیسی

a_{cs} : شدت تبخیر جرمی

MW: توان خروجی نیروگاه (مگاوات)

PID: کنترلرهای تناسبی-انتگرالی-مشتقی

q_e : کیفیت بخار

$J(\omega)$: محور موهومی در دستگاه مختلط

$\varepsilon_{\max}$: شاخص طراحی

پیوست ۱

ماتریس تابع تبدیل سیستم بویلر - توربین

$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.9}{s + 0.002509} & \frac{-0.349}{s + 0.002509} & \frac{-0.15}{s + 0.002509} \\ \frac{0.06246}{s^2 + 0.1025s + 0.0002509} & \frac{14.15s + 0.01129}{s^2 + 0.1025s + 0.0002509} & \frac{-0.01041}{s^2 + 0.1025s + 0.0002509} \\ \frac{0.253s^2 + 0.006341s - 0.000002836}{s^2 + 0.002509s} & \frac{0.512s^2 - 0.007513s - 0.00005524}{s^2 + 0.002509s} & \frac{-0.014s^2 + 0.006828s + 0.00024433}{s^2 + 0.002509s} \end{bmatrix}$$

Abstract

Optimal operation of an industrial boiler-turbine system is obtained with properly control of drum pressure, drum water level and the output load (MW) parameters. In boiler system, multi loop (decentralized) proportional-integral (PI) control is used because of its implementational advantages. PI controller under normal conditions of boiler has suitable performance but by changing this normal conditions, retuning is required. An useful method to overcome this problems is using multivariable robust control. This method of designing, causes to pole zero cancelation between plant and controller at all the stable poles of the uncompensated plant, and any unstable open-loop poles reappear in the closed-loop reflected in the imaginary axis. In this paper for reaching to proper performance and robustness in boiler control system and overcome mentioned problem; bilinear transformation and H_∞ Synthesis is used that in comparison by using common multivariable robust control, settling and rise time and damping of system is improved. In fact by using bilinear transformation, the performance of system in significant parameter control improves remarkably.