آنالیز و شبیه‌سازی رفتار گذرای واحد تولید با توربین بخار مجهز به پیش‌گرمکن در برابر تغییرات بار

فرهاد مصری‌نژاد[۱]، مجید دهقانی*[۲،۳]، محمدرضا یوسفی[۲،۳]

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، تیران، ایران

*۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، dehghani@pel.iaun.ac.ir

۳- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۶

چکیده: هدف اصلی در این مقاله بررسی رفتار دینامیکی واحد تولید بخار به ازای تغییرات بار در سیستم است. معادلات واحد تولیدی مجهز به پیش‌گرمکن با استفاده از مدل خطی سیستم در فضای حالت تعیین می‌شود. تغییرات توان مکانیکی و انحراف سرعت واحد تولیدی به ازای تغییرات در تقاضای بار نشان داده می‌شود.همچنین رفتار گذرای دریچه بخار توربین بررسی می‌شود. مقادیر ویژه ماتریس سیستم واحدی تولیدی در دو حالت بدون پیش‌گرمکن و مجهز به پیش‌گرمکن محاسبه شده و ضریب میرایی پاسخ بررسی می‌شود و نتایج شبیه‌سازی با استفاده از آنها تحلیل می‌گردد. پارامترهای پیش‌گرمکن (احیاء حرارت) تاثیری بر پاسخ حالت دائمی ندارد ولی در پاسخ گذرای سیستم تاثیر گذار است.

واژه‌های کلیدی: واحد تولید بخار، پیش‌گرمکن، فضای حالت، مقادیر ویژه

۱- مقدمه

انرژی یک نیاز ا سا سی برای ا ستمرار تو سعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه است. از مسائل مهم می‌توان به گستردگی نیاز انسان به منابع انرژی ا شاره کرد به‌طوری‌که تلاش برای دستیابی به منابع دائمی انرژی از اهداف دیرینه انسان محسوب می‌شود [۱،۲]. وجود سیستم‌های کنترلی توان در سیستم قدرت برای قراردادن فرکانس، ولتاژ و توان‌های انتقالی خطوط در محدوده قابل قبول ضروری است [۳،۴]. قدرت تحویل داده شده توسط ژنراتور با توان مکانیکی ورودی آن بوسیله محرک‌ها از قبیل توربین بخار[۱] [۵،۶]، توربین آبی[۲] [۷،۸] و توربین گازی [۹،۱۰] یا موتور دیزلی [۱۱،۱۲] کنترل می‌شود.

تاکنون مطالعات مختلفی در مورد کاربرد پیش‌گرمکن (ری‌هیتر[۳]) انجام شده است [۱۳،۱۴]. در [۱۵] ارزیابی عملکرد ایمنی و بازده حرارتی نیروگاه زغال سنگ خورشیدی[۴] بر اساس گرم کردن مجدد بخار توربین ارائه شده است. که در آن انرژی خورشیدی برای گرم کردن مجدد بخار خروجی از توربین فشارمتوسط برای افزایش دمای بخار ورودی توربین کم‌فشار استفاده می‌کند.

چرخه ترکیب گاز به دلیل بازده حرارتی بالا، انتشار آلودگی کم و ظرفیت تنظیم عالی، به طور گسترده در تولید برق و بازیابی گاز محصول جانبی ا ستفاده می شود. یک حالت عملیاتی توربین بخار در [۱۶] برای اطمینان از عملکرد ایمن سیستم سیکل پایین پیشنهاد شده که مدل خارج از طراحی متشکل از ژنراتور بازیابی حرارت توربین بخار، کندانسور و پمپ آب در نرم افزار متلب ایجاد شده است..

آنالیز عملکرد ترمودینامیکی در یک نیروگاه بخار احیاکننده-گرم‌کننده با گرمکن‌های آب تغذیه بسته در [۱۷] ارائه شده که شاخص‌های عملکرد ترمودینامیکی ارزیابی شده عبارتند از راندمان

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022

حرارتی، خروجی شبکه، نرخ گرما، مصرف سوخت، راندمان دیگ بخار و مصرف بخار خاص. نتایج نشان می‌دهند که افزایش تعداد گرمکن‌های آب تغذیه بسته باعث کاهش مصرف سوخت، نرخ گرما، گرمای دفع شده در کندانسور و گرمای ورودی به چرخه می‌شود.

مطالعه اقتصاد حرارتی در مورد استفاده از گرمای اتلاف یک واحد حرارت مجدد دوگانه[۵] تحت توربین بخار کوپل شده و دیگ بخار در [۱۸] انجام شده است، که نتایج نشان میدهند بار دیگ بخار، نرخ گردش مجدد گاز و دمای خروجی هوای اولیه در پیش گرمکن هوا بر اقتصاد حرارتی سیستم بازیافت گرمای زباله پیشرفته با گرم کردن مجدد مضاعف تأثیر دارد.

در این مقاله رفتار دینامیکی واحد تولید با توربین بخار به تغییرات کوچک در تقاضای بار بررسی می‌شود. مطالعه واحد تولیدی با استفاده از معادلات سیستم در فضای حالت[۶] انجام می شود. تغییرات موقعیت دریچه توربین بخار[۷]، توان مکانیکی و انحراف فرکانس در واحد تولیدی نشان داده می شود و اثر پیش‌گرمکن بر پاسخ گذرای سیستم بررسی می شود. همچنین تاثیر دو پارامتر مربوط به پیش‌گرمکن یعنی ضریب فشارقوی و ثابت زمانی آن بر روی پاسخ گذرای سیستم نشان داده می‌شود.

ساختار مقاله به این شرح است. پس از بیان مسئله در قسمت مقدمه، معادلات واحد تولید با توربین بخار مجهز به پیش‌گرمکن در فضای حالت در قسمت دوم بیان می‌شود. در قسمت سوم نتایج شبیه‌سازی پاسخ پله متغیرهای خروجی مانند انحراف فرکانس به ازای تغییرات پله‌ای تقاضای بار آمده است. در قسمت چهارم با استفاده از مدهای سیستم و نمایش پاسخ پله انحراف فرکانس سیستم تاثیر تغییرات پارامترهای پیش‌گرمکن اشاره شده است. درنهایت در قسمت پنجم، نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲- معادلات واحد تولید با توربین بخار

ساده‌ترین مدل موتور محرک و چرخاننده یک ژنراتور توربین بخاری بدون پیش‌گرم‌کن (بازحرارت‌ده) است. در این نوع توربین با باز کردن شیر کنترل، بخار بلافاصله به درون توربین نمی‌رسد و به علت وجود لوله‌ها، جریان بخار همراه با تاخیر است که با ثابت زمانی T_T که حدود ۰/۲ تا ۲ ثانیه است، در نظر گرفته می‌شود.

به علت انجام کار، انرژی بخار در خروجی توربین فشارقوی افت پیدا می‌کند. برای پیشگیری از وجود رطوبت در طبقه‌های فشار ضعیف توربین، انرژی بخارهای برگشتی از توربین فشارقوی را باید افزایش داد و سپس به سمت توربین فشارمتوسط هدایت نمود. در دیگ‌های بخار، پیش‌گرمکن‌ها با استفاده از حرارت گازهای احتراق، درجه حرارت بخار را افزایش می‌دهند و معمولاً دمای بخار را به دمای اولیه آن برمی‌گردانند.

استفاده از پیش‌گرمکن به ظرفیت بویلر و نوع طراحی نیروگاه بستگی دارد. در بویلرهای با ظرفیت کم معمولا از پیش‌گرمکن استفاده نمی‌شود ولی در بویلرهای با ظرفیت بالا برای افزایش راندمان حتما از پیش‌گرمکن استفاده می‌شود [۱۹،۲۰].

توربین با پیش‌گرمکن نسبت به مدل ساده توربین دو ضریب ثابت زمانی پیش‌گرمکن و ضریب فشار قوی را بیشتر دارد. توربین بخار دو طبقه‌ای مجهز به پیش‌گرمکن از دو طبقه فشار زیاد و فشار کم تشکیل شده که توان نامی آنها بر حسب پریونیت به ترتیب F_H و $1-F_H$ است. اندازه ضریب فشارقوی (F_H) در یک سیستم حرارتی ساده توسط شافت توربین فشارقوی افزایش می یابد ولی برای افزایش راندمان حرارتی نیروگاه مقدار کمی برای F_H انتخاب می‌کنند. در این نوع توربین، بخار پس از خروج از بخش فشارقوی به دیگ بخار باز می‌گردد و قبل از بازگشت به بخش فشار متوسط از یک پیش‌گرم‌کن می‌گذرد که این عمل باعث افزایش راندمان می‌شود.

ثابت زمانی پیش گرمکن (T_R) معمولاً بین ۶ تا ۱۲ ثانیه است و از ثابت‌های زمانی دیگر نسبت به T_R صرفنظر می‌شود. این ثابت زمانی مهمترین نقش را در پاسخ خروجی توربین بخار دارد.

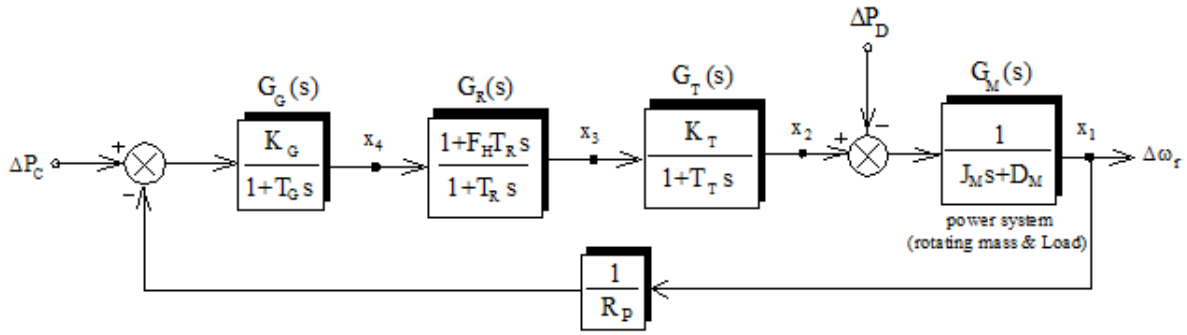
بلوک دیاگرام واحد تولید با توربین بخار مجهز به پیش‌گرمکن در شکل (۱) نشان داده شده است. با انتخاب چهار متغیر حالت، معادلات سیستم در فضای حالت مطابق رابطه (۱) بیان می شود که در آن x_1 تغییرات فرکانس و x_2 تغییرات توان مکانیکی را نشان می‌دهند. متغیر x_3 تغییرات دریچه بخار[۷] و متغیر x_3 خروجی پیش‌گرمکن را نشان می‌دهند. سیستم دارای دو ورودی u_1 و u_2 است که به ترتیب نشان دهنده تغییرات بار و تغییرات نقطه تنظیم مرجع بار هستند [۲۱،۲۲].

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-1}{T_P} & \frac{K_P}{T_P} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{T_R} & \frac{K_T F_H}{T_T} & \frac{1}{T_R} - \frac{F_H}{T_T} \\ \frac{-K_G}{R_P T_G} & 0 & \frac{-1}{T_G} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_T}{T_T} & -\frac{1}{T_T} \end{bmatrix}}_{A} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{K_P}{T_P} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_G}{T_G} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{B} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\omega_r \\ \Delta P_M \\ \Delta P_{T,LP} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -F_H \end{bmatrix}}_{C} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_{D} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (۲)$$

معادله مشخصه ماتریس سیستم (A) عبارت است از:

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022



شکل (۱): بلوک دیاگرام واحد تولید با توربین بخار مجهز به باز حرارت‌ده

$$\Delta(s) = s^4 + \left(\frac{1}{T_G}+\frac{1}{T_P}+\frac{1}{T_T}+\frac{1}{T_R}\right)s^3 + \left(\frac{1}{T_G T_T}+\frac{1}{T_G T_P}+\frac{1}{T_P T_T}+\frac{1}{T_G T_R}+\frac{1}{T_R T_T}+\frac{1}{T_P T_R}\right)s^2 + \left(\frac{T_G+T_T+T_P+T_R}{T_G T_T T_P T_R}+\frac{K_T K_P K_G F_H}{T_G T_T T_P R}\right)s + \frac{1}{T_G T_T T_P T_R}\left(1+\frac{K_T K_P K_G}{R}\right) \quad (۳)$$

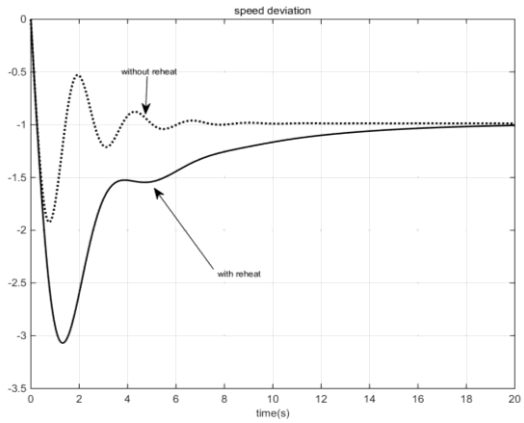
مرتبه سیستم برابر چهار بوده و دارای چهار ریشه است. ریشه‌های معادله مشخصه (مدهای سیستم) پایدار بودن یا عدم پایداری سیستم را نشان می‌دهند. خروجی توربین فشار پایین $\Delta_{PT,LP}$ است.

۳- نتایج شبیه‌سازی

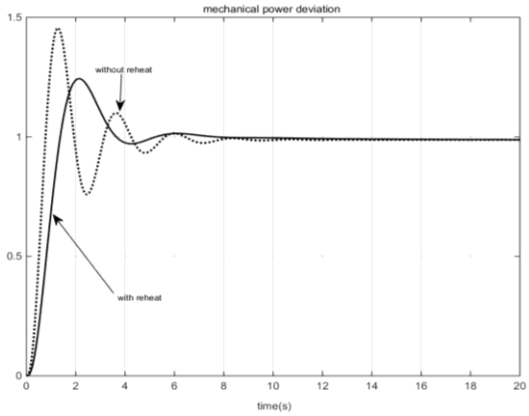
سیستم الکتریکی دارای بهره ۲۰ و ثابت زمانی ۲۰ ثانیه است. گاورنر دارای ثابت زمانی ۰/۱ ثانیه و توربین بدون پیش‌گرمکن دارای ثابت زمانی ۰/۵ ثانیه است و بهره هر دو برابر یک در نظر گرفته می‌شود.

همچنین ثابت زمانی T_R برابر ۱۲ ثانیه و ضریب فشارقوی F_H برابر ۰/۴ در نظر گرفته می‌شوند.

پاسخ‌های پله تغییرات فرکانس و تغییرات توان مکانیکی به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. پاسخ فرکانسی تابع انتقال تغییرات فرکانس به تغییرات ورودی بار در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود سیستم در دو حالت پایدار خواهد بود. همانطور که در نتایج شبیه‌سازی دیده شد پاسخ توربین با گرمکن مجدد به مراتب کندتر از توربین بدون گرمکن‌مجدد است، زیرا پیش‌گرمکن بزرگترین ثابت زمانی در کنترل جریان بخار و توان توربین را دارد. همچنین پارامتر های پیش‌گرمکن (احیاء حرارت) تاثیری بر پاسخ حالت دائمی تغییرات فرکانس و توان مکانیکی ندارد.



شکل (۲): پاسخ پله تغییرات فرکانس سیستم

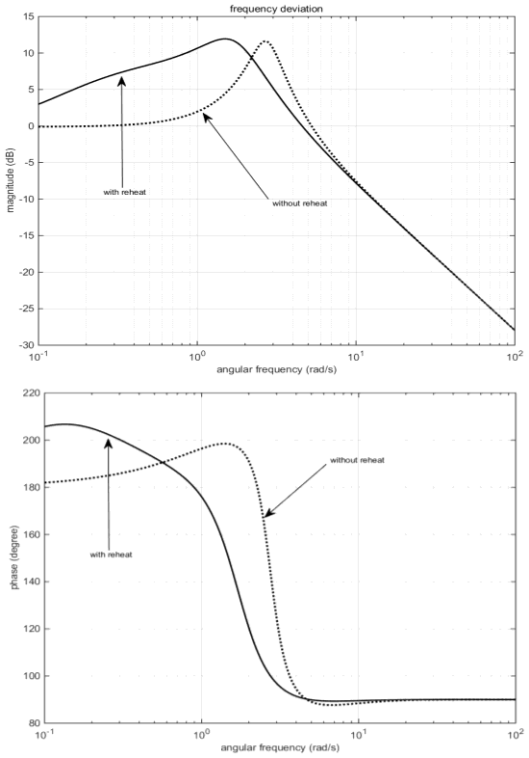


شکل (۳): پاسخ پله تغییرات توان مکانیکی

جدول (۱): پارامترهای پیش‌گرمکن برای سه حالت مختلف

پارامتر	A	B	C
T_R	8	10	12
F_H	0.2	0.3	0.4
مدهای سیستم	-10.1834 -1.1574 -0.4171±j0.8277	-10.2770 -0.4008 -0.7361±j1.1935	-10.3663 -0.2212 -0.7730±j1.5319

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022



شکل (۴): پاسخ فرکانسی تابع انتقال تغییرات فرکانس به تغییرات ووردی بار

۴- بررسی اثر پارامترهای پیش‌گرمکن

تاثیر ضریب فشارقوی و ثابت زمانی مربوط به پیش‌گرمکن برای سه حالت مطابق جدول (۱) در این قسمت بررسی شده است.

همانطور که دیده می شود برای سه حالت یکی از مدهای حقیقی تقریباً یکسان بوده و از محور موهومی فاصله زیادی دارد. ولی مد حقیقی دیگر تقریبا به محور موهومی نزدیک است. مد نوسانی نیز در سمت چپ محور موهومی قرار دارد و به محور موهومی نزدیک است. بنابراین بر پاسخ سیستم مدهای نوسانی تاثیر به سزایی خواهند داشت. در ادامه پاسخ پله تغییرات فرکانس سیستم به ازای تغییرات پله‌ای تقاضای بار به ازای تغییرات پارامترها نشان داده شده و تاثیر پارامترها بررسی شده است.

۴-۱- تغییر ضریب فشار قوی

توان تولیدی توربین فشارقوی F_H و توربین فشار کم $1-F_H$ است. بنابراین هرچه F_H بیشتر باشد، توان بیشتری توسط توربین فشارقوی تولید می‌شود و حجم بخار کمتری وارد سیستم پیش‌گرمکن می‌شود. شکل (۵) تاثیر تغییر ضریب فشار قوی را بر روی پاسخ پله تغییرات فرکانس نشان می‌دهد.

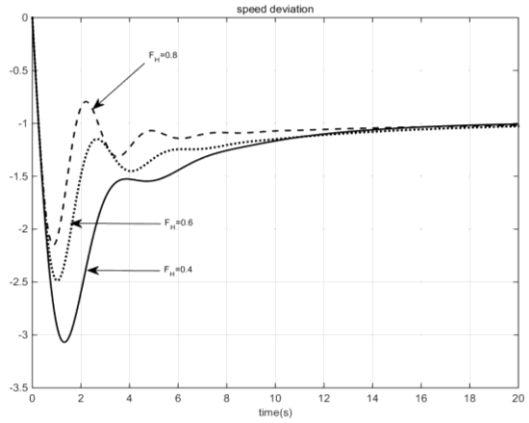
در مقادیر F_H کوچک، قطب‌های مختلط نسبت به قطب‌های حقیقی نزدیک محور موهومی هستند ولی در مقادیر بزرگتر، یکی از قطب‌های حقیقی نسبت به قطب‌های مختلط به محور موهومی نزدیکتر هستند. فرکانس طبیعی نامیرا با افزایش ضریب فشارقوی، زیاد می‌شود که مقدار آن به T_R چندان بستگی ندارد.

زمان اوج با افزایش F_H کمتر می‌شود و زمان خیز به مقدار کمی زیاد می‌شود. بنابراین هرچه ضریب F_H بیشتر باشد و به بخار کمتری گرمای مجدد داده شود، در اثر افزایش ناگهانی بار میزان افت فرکانس در حالت گذرای پاسخ فرکانس کمتر می‌شود. از نظر پاسخ گذرای سیستم انتخاب F_H بزرگ بهتر است، در این حالت بخار کمتری از سیستم ریهیت می‌شود ولی راندمان حرارتی نیروگاه کاهش می‌یابد و عمر مفید توربین کم می‌گردد. بنابراین ضریب فشارقوی کوچک باید انتخاب گردد. چون مقدار F_H بین صفر و یک است، لذا انتخاب مقدار F_H تاثیری بر روی پایداری سیستم ندارد و سیستم همیشه پایدار است.

۴-۲- تغییر ثابت زمانی پیش‌گرمکن

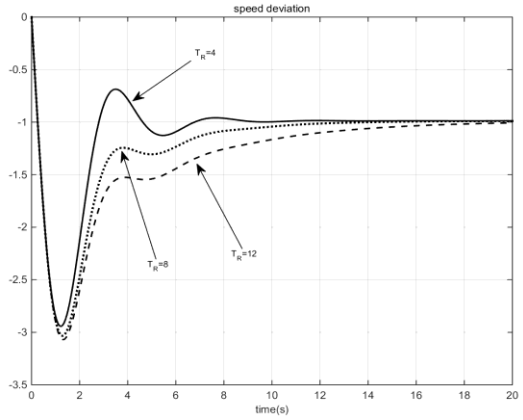
بزرگترین ثابت زمانی در کنترل جریان بخار و توان توربین، مربوط به پیش‌گرمکن است که یکی از پارامترهای مهم سیستم است. شکل (۶) تاثیر ثابت زمانی پیش‌گرمکن را بر روی پاسخ پله تغییرات فرکانس به ازای تغییرات ورودی بار نشان می‌دهد.

با افزایش ثابت زمانی T_R ضریب میرایی زیاد و فرکانس طبیعی نامیرا کم می‌شود. به ازای T_R ثابت با مقدار F_H کمتر، قطب‌های مختلط به محور موهومی و حقیقی نزدیکتر بوده و ضریب میرایی کمتر است. زمان اوج با افزایش T_R زیاد می‌شود که در مقادیر کم F_H این افزایش بیشتر است ولی زمان خیز مقدار تقریباً ثابتی دارد که در F_H کمتر، مقداری کمتر است. قطب‌های تابع تبدیل به ازای همه مقادیر T_R در سمت چپ محور موهومی هستند و مقدار آن بر پایداری سیستم تاثیر نمی‌گذارد. تغییر ثابت زمانی پیش‌گرمکن روی میرایی سیستم تاثیر می‌گذارد ولی بر پاسخ نهایی فرکانس تاثیری ندارد.



شکل (۵): تاثیر ضریب فشار قوی بر پاسخ پله تغیرات فرکانس به ازای تغییرات ووردی بار

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022



شکل (۶): تاثیر ثابت زمانی پیش‌گرمکن بر پاسخ پله تغییرات فرکانس به ازای تغییرات ورودی بار

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مطالعه رفتار گذرای واحد تولید با توربین بخار به ازای تغییرات در تقاضای بار انجام شد. رفتار دینامیکی واحد تولید با توربین بخار در دو حالت مجهز به پیش‌گرمکن و بدون پیش‌گرمکن به ازای تغییرات پله‌ای تقاضای بار شبیه‌سازی و مقایسه گردید. نتایج شبیه سازی با ا ستفاده از مدل خطی واحد تولیدی تعیین شد. حالت ماندگار برای واحد تولیدی در دو حالت به ازای تغییرات پله‌ای بار یکسان است ولی در پاسخ گذرا دارای اختلاف هستند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد پا سخ توربین‌های مجهز به پیش‌گرم‌کن کندتر از توربین‌های بدون پیش‌گرم‌کن است، زیرا بزرگترین ثابت زمانی در کنترل بخار ورودی و توان توربین به پیش‌گرم‌کن مربوط می‌شود.

مراجع

[۱] حسینی‌موسوی سیدنعمت‌اله، براتی حسن، **"کنترل مستقیم توان همزمان در مبدل‌های سمت شبکه و سمت روتور ژنراتور القایی دو سو تغذیه در توربین‌های بادی با حذف هارمونیک‌های جریان شبکه"**، تحقیقات نوین در برق، سال: ۸، ش.: ۳، ص.: ۳۷-۵۱، ۱۳۹۸.

[2] G. Shahgholian, "*A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control*", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol. 31, no. 6, Article Number. e12885, June 2021.

[۳] بوذرجمهری سعید، براتی حسن، **"جایابی و تعیین اندازه بهینه تولیدات پراکنده تجدیدپذیر با استفاده از الگوریتم بازار بورس"**، تحقیقات نوین در برق، سال: ۵، ش.: ۱، ص.: ۱۲-۲۳، ۱۳۹۵.

[4] G. Shahgholian, K. Khani, M. Moazzami, "*The Impact of DFIG based wind turbines in power system load frequency control with hydro turbine*", Journal of Iranian Dam and Hedroelectric, Vol. 1, No. 3, pp. 38-51, Winter 2015.

[۵] خلیل‌زاده‌گنجعلی‌خانی لیلا، شیخ‌الاسلام فرید، مهدوی‌نسب همایون، **"شناسایی سیستم غیرخطی چند متغیره مولد بخار نیروگاه با به کار بردن شبکه‌های عصبی تأخیر زمانی ویولت"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۱۲، ش.: ۳، ص.: ۶۷-۷۳، ۱۳۹۱.

[6] Y. Xu, Z. Gu, K. Sun, X. Xu, "Understanding a type of forced oscillation caused by steam-turbine governors", IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 35, no. 3, pp. 1719-1722, Sept. 2020.

[7] M. Mahdavian, G. Shahgholian, M. Janghorbani, B. Soltani, N. Wattanapongsakorn, "*Load frequency control in power system with hydro turbine under various conditions*", Proceeding of the IEEE/ECTICON, pp. 1-5, Hua Hin, Thailand, June 2015.

[8] B. Visakamoorthi, P. Muthukumar, G. Rajchakit, N. Boonsatit, P. Hammachukiattikul, "Stabilization of fuzzy hydraulic turbine governing system with parametric uncertainty and membership function dependent H∞ performance", IEEE Access, vol. 10, pp. 23063-23073, 2022.

[9] S. Liu, H. Wang, J. Tang, X. Zhang, "Research on fault diagnosis of gas turbine rotor based on adversarial discriminative domain adaption transfer learning", Measurement, vol. 196, Article Number: 111174, 2022.

[10] M.R. Nayeri, B.N. Araabi, M. Yazdanpanah, B. Moshiri, "Design, implementation and evaluation of an expert system for operating regime detection in industrial gas turbine", Expert Systems with Applications, vol. 203, Article Number: 117332, 2022.

[11] A.G.M.B. Mustayen, M.G. Rasul, X. Wang, M Negnevitsky, J.M. Hamilton, "Remote areas and islands power generation: A review on diesel engine performance and emission improvement techniques", Energy Conversion and Management, vol. 260, Article Number: 115614, 2022.

[12] T. Kuwahara, K. Yoshida, T. Kuroki, K. Hanamoto, K. Sato, M. Okubo, "Pilot-scale combined reduction of accumulated particulate matter and NOx using nonthermal plasma for marine diesel engine", IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 56, no. 2, pp. 1804-1814, March/April 2020.

[13] M. Maheshwari, O. Singh, "Comparative evaluation of different combined cycle configurations having simple gas turbine, steam turbine and ammonia water turbine", Energy, vol. 168, pp. 1217-1236, 2019.

[14] N. Pathak, T.S. Bhatti, A. Verma, I. Nasiruddin, "AGC of two area power system based on different power output control strategies of thermal power generation", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 33, no. 2, pp. 2040-2052, March 2018.

[15] N. Modliński, K. Szczepanek, D. Nabagło, P. Madejski, Z. Modliński, "*Mathematical procedure for predicting tube metal temperature in the second stage reheater of the operating flexibly steam boiler*", Applied Thermal Engineering, vol. 146, pp. 854-865, 2019.

[16] Z. Zhong, Z. Huo, X. Wang, F. Liu, Y. Pan, "*New steam turbine operational mode for a gas turbine combine cycle bottoming cycle system*", Applied Thermal Engineering, vol. 198, Article Number: 117451, Nov. 2021.

[17] S.O. Oyedepo, O. Kilanko, M.A. Waheed, O.S.I. Fayomi, O.S. Ohunakin, P.O. Babalola, S.O. Ongbali, C.N. Nwaokocha, B. Mabinuori, O.O. Shopeju, "*Dataset on thermodynamics performance analysis and optimization of a reheat– regenerative steam turbine power plant with feed water heaters*", Data in Brief, vol. 32, Article Number: 106086, Oct. 2020.

[18] J. Li, Y. Xin, B. Hu, K. Zeng, Z. Wu, S. Fan, Y. Li, Y. Chen, S. Wang, J. Wang, Y. Min, J. Li, G. Flamant, "*Safety and thermal efficiency performance assessment of solar aided coal-fired power plant based on turbine steam double reheat*", Energy, vol. 226, Article Number: 120277, July 2021.

[19] G. Ma, Y. Zhang, M. Yue, Y. Shi, "*Thermal economy study on the waste heat utilization of a double reheat unit*

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022

under coupled steam turbine and boiler", Applied Thermal Engineering, vol. 175, Article Number: 115112, July 2020.

[20] H.K. Kayadelen, Y. Ust, V. Bashan, "Thermodynamic performance analysis of state of the art gas turbine cycles with inter-stage turbine reheat and steam injection", Energy, vol. 222, Article Number: 119981, 2021.

[21] G. Shahgholian, S. Yazdekhasti, P. Shafaghi, "*Dynamic analysis and stability of the load frequency control in two area power system with steam turbine*", Proceeding of the IEEE/ICCEE, pp. 40-46, Dubai, Dec. 2009.

[22] G. Shahgholian, P. Shafaghi, H. Mahdavi-Nasab, "*A comparative analysis and simulation of ALFC in single area power system for different turbines*", Proceeding of the IEEE/ICECTECH, pp. 50-54, Kuala Lumpur, Malaysia, May 2010.

رزومه

فرهاد مصری‌نژاد در اصفهان متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق الکترونیک (۱۳۷۲) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق مخابرات (۱۳۷۶) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد و دکتری مهندسی برق مخابرات از دانشگاه UPM مالزی (۱۳۹۱) اخذ نموده است. فعالیتهای پژوهشی و علاقمندی های ایشان در زمینه شبکه های مخابراتی مبتنی بر IP و شبکه‌های بی سیم، پردازش سیگنال، اینترنت اشیاء و نسل پنجم شبکه‌های مخابراتی و همچنین شبکه‌های مخابراتی بدن انسان است. وی در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهین شهر است.

مجید دهقانی در نجف‌آباد متولد شده است (۱۳۵۱). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت (۱۳۷۳)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق-قدرت (۱۳۷۵) و دکترای مهندسی برق-قدرت (۱۳۸۸) در دانشگاه صنعتی اصفهان سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقمندی ایشان در زمینه الکترونیک قدرت، ماشین‌های الکتریکی و انرژی‌های تجدیدپذیر است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد است.

محمدرضا یوسفی در سال ۱۳۵۹ در شهر نجف‌آباد متولد شد. ایشان فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی برق قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد در سال ۱۳۸۰ و مقطع کارشناسی‌ارشد بیوالکتریک از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در سال ۱۳۸۳ است. از سال ۱۳۸۴ به عضویت هیئات علمی دانشگاه آزاد واحد نجفآباد در آمد و در سال ۱۳۸۸ با کار بر روی سیستم‌های مقطع نگاری القای مغناطیسی دوره دکتری تخصصی خود را در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی آغاز و در سال ۱۳۹۳ به پایان رساند. ایشان در تمامی دوره‌ها به عنوان دانشجوی برتر معرفی شد. از ایشان تاکنون نزدیک به ۷۰ مقاله علمی در کنفرانس‌ها و نشریات معتبر داخلی و خارجی و یک جلد کتاب به چاپ رسیده است. ایشان همچنین تا کنون آزمایشگاه‌های تجهیزات پزشکی، ابزاردقیق بیومدیکال و کیفیت توان را در دامشگاه ازاد اسلامی واحد نجف‌آباد تاسیس نموده است و تاکنون ۳ مورد ثبت اختراع و در بیش از ۱۰ طرح صنعتی مجری یا همکار بوده است. زمینه تخصصی مورد علاقه ایشان سیستم‌های تصویرگر پزشکی، ثبت سیگنال‌های حیاتی، روش اجزای محدود و سیستم‌های هوشمند است. ایشان ایده شبکه‌های عصبی ساختار متغیر را در سال ۱۳۸۳ مطرح نمودند.

زیرنویس‌ها

1. Steam turbine
2. Hydraulic turbine
3. Reheater
4. Solar coal power plant
5. Double reheat unit
6. State space
7. Steam turbine valve position changes

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022

Analysis and Simulation of Transient Behavior of the Generating Unit with Reheat Steam Turbine Against Load Changes

Farhad Mesrinejad[1], Majid Dehghani[2,3], , Mohammad Reza Yousefi[2,3]

1- Assistant Professor- Department of Electrical Engineering, Tiran Branch, Islamic Azad University, Tiran, Iran
2- Assistant Professor- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
3- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract: The main purpose of this paper is to investigate the dynamic behavior of the steam generating unit in exchange for load changes in the system. The equations of the production unit equipped with preheater are determined using the linear model of the system in the state space. Changes in mechanical power and speed deviations of the generating unit are shown in exchange for changes in load demand. The transient behavior of the turbine steam valve is also investigated. The eigenvalues of the system matrix are calculated in two modes without preheater and equipped with preheater and the response attenuation coefficient is investigated and the simulation results are analyzed using them. Preheater parameters (heat reduction) have no effect on the steady state response but on the transient response of the system.

Keywords: Steam generation unit, reheater, mode space, special values

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.2.1.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 2- Summer 2022