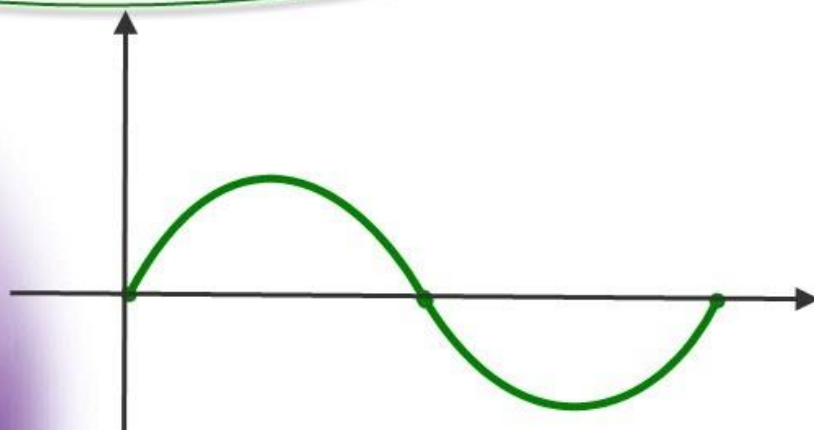


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

# کنترل بار فرکانس سیستمهای قدرت



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۳۱۳ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل اول:

### مقدمه



هدف اصلی کنترل سیستم قدرت عبارت است از تولید توان الکتریکی و یک سیستم به هم پیوسته به صورتی که تا حد امکان قابل اطمینان و اقتصادی باشد و در عین حال ولتاژها و فرکانس در درون حدود مجاز قرار گرفته باشند.

قدرت اکتیو هنگام نیاز باید تولید شود و چون مصرف بارها در ساعات مختلف شبانه‌روز تغییر می‌نماید، لذا قدرت تولیدی ژنراتورها نیز باید کنترل گردد. قدرت خروجی یک ژنراتور با تغییر دادن قدرت مکانیکی ورودی آن کنترل می‌شود. برای این کار با باز کردن یا بستن شیر بخار و یا دریچه آب، جریان بخار یا آب روی توربین تنظیم شده و باعث کنترل قدرت مکانیکی و در نتیجه قدرت اکتیو خروجی ژنراتور می‌گردد. اگر قدرت مصرفی بار افزایش یابد، باید شیر بخار و یا دریچه آب بیشتر باز شود که به همان میزان قدرت تولیدی ژنراتور افزایش داده شود، و چنانچه قدرت مصرفی بار کاهش یابد، باید

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شیر بخار و یا دریچه آب تا حدی بسته شود که بهمان میزان باعث کاهش قدرت تولیدی ژنراتور شده و در نتیجه توازن قدرت اکتیو برقرار گردد.

عدم توازن قدرت، از تأثیر آن بر سرعت ویا فرکانس ژنراتور حس می شود. در صورت کاهش بار و اضافه بودن تولید، ژنراتور تمایل به افزایش سرعت و فرکانس خود دارد. و در صورت افزایش بار و کمبود تولید، سرعت و فرکانس ژنراتور رو به کاهش می رود. انحراف فرکانس از مقدار نامی آن به عنوان سیگنالی جهت تحریک سیستم کنترل خودکار انتخاب می شود. توازن قدرت اکتیو بمنزله ثابت بودن فرکانس سیستم است که این موضوع به نوبه خود دارای اهمیت فراوانی می باشد. قدرت اکتیو، زاویه قدرت  $\delta$  و فرکانس در یک کانال کنترل می شوند که آنرا کانال کنترل  $PF^1$ ، قدرت فرکانس، و یا مگاوات- فرکانس می نامیم. سیستم کنترل مربوطه نیز به سیستم کنترل خودکار بار- فرکانس،  $LFC^2$ ، معروف است.

حلقه کنترل LFC فقط به تغییرات کم دامنه و آرام بار و فرکانس پاسخ می دهد و در شرایط

اضطراری و عدم توازن قدرت ناشی از آن قادر به کنترل نمی باشد. کنترل سیستم در شرایط اضطراری و تغییرات ناگهانی با مطالعه پایداری گذرا و حفاظت سیستمها مورد بررسی قرار می گیرد.

تغییر در توان حقیقی عمدتاً بر روی فرکانس سیستم تأثیر می گذارد در حالی که توان راکتیو حساسیت کمی به فرکانس دارد و بطور عمده به تغییرات اندازه ولتاژ وابسته است. بنابراین توان حقیقی و راکتیو به صورت جداگانه کنترل می شوند. حلقه کنترل بار فرکانس LFC، توان حقیقی و فرکانس را کنترل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

می کند و حلقه تنظیم خود کار ولتاژ<sup>۱</sup> AVR، نیز توان راکتیو و اندازه ولتاژ را تنظیم می کند. با رشد روز افزون سیستم های قدرت بهم پیوسته، کنترل بار فرکانس، اهمیت بیشتری پیدا نموده است و با بهره گیری از روش های جدید، بهره برداری از این سیستم ها را مقدور ساخته است. و هم اکنون نیز پایه بسیاری از مفاهیم پیشرفته برای کنترل سیستم های بزرگ است.

به منظور عملکرد رضایت بخش یک سیستم قدرت ثبات فرکانس امری الزامی است، چرا که کنترل نسبتا دقیق فرکانس ثبات سرعت موتورهای سنکرون و القایی را به دنبال دارد و تثبیت سرعت بارهای موتوری، به طور ویژه در عملکرد رضایت بخش واحدهای تولید اهمیت دارد زیرا این واحدها به شدت به عملکرد تمامی محرک های جنبی مربوط به سوخت، آب و سیستم های تغذیه هوای احتراق وابسته اند.

همچنین در یک شبکه ممکن است افت زیاد فرکانس منجر به ایجاد جریان های شدید مغناطیسی در موتورهای القایی و ترانسفورماتورها شود و صدمات جبران ناپذیری وارد نماید از طرفی استفاده وسیع از ساعت های الکتریکی سنکرون و استفاده از فرکانس برای سایر مصارف زمان سنجی، نیازمند نگهداری و حفظ دقیق زمان سنکرون است که با انتگرال فرکانس متناسب است در نتیجه نه تنها فرکانس، بلکه انتگرال آن نیز باید تنظیم و کنترل شود.

ثبات فرکانس یک سیستم قدرت بستگی به تعادل توان حقیقی دارد واز آنجا که فرکانس عامل مشترکی در سرتاسر سیستم است، هر تغییری در تقاضای توان حقیقی یک نقطه به شکل تغییر فرکانس

<sup>۲</sup>-Automatic Voltage Regulator

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در سرتاسر سیستم منعکس می شود. و نظر به اینکه توان مورد نیاز یک سیستم قدرت بزرگ، توسط تعداد زیادی ژنراتور تامین می شود باید تغییر توان مورد تقاضا را بین واحدها تقسیم نمود. البته تقسیم بار بین ژنراتورها و کنترل اولیه سرعت توسط گاورنرهای نصب شده بر روی ژنراتورها صورت می پذیرد، لیکن جهت تنظیم دقیق فرکانس در مقدار نامی، نیاز به یک کنترل تکمیلی می باشد که باید در یک مرکز کنترل اصلی انجام شود. مراکز مدرن کنترل انرژی<sup>۱</sup> ECC که با شبکه های رایانه ای به هنگام تجهیز شده اند، پردازش اطلاعات و کنترل را توسط اخذ داده از واحدهای دور، تحت عنوان سیستم SCADA انجام می دهند.

روش های ارائه شده برای کنترل ژنراتورهای مجزا و نهایتا کنترل سیستم های به هم پیوسته بزرگ نقش حیاتی در مراکز مدرن کنترل انرژی ایفا می نمایند. در همین راستا تاکنون تحقیقات زیادی در این خصوص صورت گرفته است.

در یک سیستم قدرت بهم پیوسته تجهیزات کنترل بار فرکانس و کنترل خودکار ولتاژ بر روی هر ژنراتور نصب می شود. شکل شماتیک حلقه کنترل بار فرکانس و حلقه تنظیم خودکار ولتاژ یک ژنراتور را نشان می دهد.

کنترل کننده ها برای کار تحت شرایط مشخصی تنظیم شده اند و در مقابل تغییرات کوچک بار، ولتاژ و فرکانس را کنترل می نمایند. تغییرات کوچک در توان حقیقی عمدتا بستگی به تغییر در زاویه روتورها و به تبع آن فرکانس دارد. توان راکتیو نیز وابسته به اندازه ولتاژ ( یا به عبارتی تحریک ژنراتور )

1-Energy Control Center

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

است. بنابراین با توجه به اینکه تزویج بین حلقه AVR و LFC ناچیز است و همچنین ثابت زمانی سیستم تحریک بسیار کوچکتر از ثابت زمانی محرک ژنراتور ( عمدتاً توربین ها) می باشد ، حالت گذرای آن بسیار سریعتر از آن است که بر روی دینامیک LFC تاثیر بگذارد.

لذا عموماً کنترل بار فرکانس و کنترل تحریک به صورت جداگانه مورد بررسی واقع می شوند. اهداف عمده کنترل بار فرکانس عبارتند از حفظ فرکانس به صورت یکنواخت، تقسیم بار سیستم بین ژنراتورها به نحو مطلوب و ترجیحاً اقتصادی و تنظیم توان مبادله شده از خطوط ارتباطی در مقادیر برنامه ریزی شده. در واقع می باید تغییر ایجاد شده در فرکانس سیستم و توان حقیقی خطوط ارتباطی توسط تغییر تولید از بین برود. سیگنالهای خط یا به عبارتی  $\Delta P, \Delta F$  تقویت شده و ترکیب می گردد و سپس به سیگنال فرمان حقیقی  $\Delta P_v$  تبدیل می شوند که باید به محرک اولیه فرستاده شود تا موجب تغییر توان ورودی به نحو مطلوب گردد. بنابراین محرک واحد نیز توان خروجی خود را به مقدار  $\Delta P_v$  تغییر خواهد داد و باعث می شود که  $\Delta P, \Delta F$  تا حد مورد نظر ناچیز شوند.

در اینجا دو نمونه از سیستمهای کنترل خودکار بار-فرکانس را مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد که طراحی سیستم کنترلی آنها بر مبنای تئوری کنترل بهینه می باشد.

برای هر سیستم کنترل معمولاً پایداری مهمترین چیزی است که باید مشخص شود. اگر سیستم خطی و مستقل از زمان باشد، معیارهای پایداری مختلفی وجود دارد، که از میان آنها می توان معیار پایداری



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نایکوییست و معیار پایداری روث را نام برد. ولی برای سیستم غیرخطی، یا خطی و متغیر با زمان این معیارها قابل اعمال نیستند.

ما در اینجا روش دوم لیاپانوف را (که روش مستقیم لیاپانوف خوانده می شود) استفاده خواهیم کرد. این روش عامترین روش تعیین پایداری سیستم‌های غیرخطی و یا متغیر با زمان است. صد البته می توان این روش را برای تحلیل پایداری سیستم‌های خطی و مستقل از زمان نیز به کار برد. همچنین در حل مسائل کنترل بهینه درجه دوم که مورد بحث ما می باشد، نیز روش دوم به کار می آید.

در ابتدا اصول اساسی کنترل بهینه درجه دو را مطرح خواهیم کرد و در ادامه به بررسی دو نمونه سیستم کنترل فرکانس-بار خواهیم پرداخت که در طراحی آنها از کنترل بهینه بهره گرفته شده است.

در این پایان نامه پس از معرفی مدل ریاضی مناسب برای هر یک از قسمتهای سیستم و استخراج معادلات حالت در فصل اول، با معرفی کنترل بهینه درجه دو و معادله ریکاتی در فصل دوم، یک کنترل کننده مقاوم بر اساس بحث رابطه ریکاتی در فصل سوم، معرفی می شود. قسمت اصلی این پروژه یک بحث کامل در مورد روش کنترل بهینه برای کنترل بار فرکانس سیستم های قدرت در فصل چهارم است. در این قسمت ابتدا، طرح LFC معمول، سپس طرح LFC پیشنهادی به وسیله کنترل کننده PID<sup>۱</sup> اصلاح یافته معرفی می شود. همچنین در پایان مشکل نوین در طرح LFC و آنالیز کنترل انرژی اضافی نیز مورد بررسی قرار می گیرد.

1-Proportional Integral Differential



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اولین مرحله در تحلیل و طراحی یک سیستم کنترل ارائه مدل ریاضی مناسب برای سیستم است. دو روش که اغلب مورد استفاده واقع می شوند عبارتند از: روش تابع انتقال و روش متغیر حالت. روش متغیر حالت می تواند هم برای سیستم های خطی وهم غیر خطی مورد استفاده قرار گیرد. جهت استفاده از تابع انتقال و معادلات حالت خطی باید معادلات سیستم حول نقطه کار خطی شوند. در این فصل ابتدا سیستم را با روش تابع انتقال مدل و مطالعه می کنیم و سپس با استفاده از آن معادلات حالت را استخراج می نمائیم.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

## فصل دوم:

### مدل سازی سیستم بار فرکانس

در این قسمت ابتدا با در نظر گرفتن فرضیات و تقریب های مناسب ژنراتور منفردی که یک ناحیه برق رسانی محلی را تغذیه می کند، مدل می کنیم و سپس بررسی خود را به چندین ژنراتور که همگی قسمتی از یک ناحیه می باشند، گسترش خواهیم داد و آن گاه اتصال نواحی قدرت به یکدیگر را نیز مطالعه خواهیم نمود.

#### ۲-۱ مدل ژنراتور:

معادله نوسان یک ماشین سنکرون، به ازای اغتشاش کوچک عبارت است از:

$$\frac{2H}{W_s} \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} = \Delta P_m - \Delta P_e \quad (2-1)$$

که در آن H ثابت اینرسی ماشین در قدرت مبنای سیستم است و از رابطه ی (۲-۲) به دست می آید.

$$(2-2)$$

و  $\Delta P_e, \Delta P_m$  به ترتیب تجهیزات توان مکانیکی ورودی و توان الکتریکی خروجی ژنراتور، وات می باشد. زاویه قدرت بر حسب رادیان الکتریکی و  $w_s$  نیز سرعت زاویه ای بر حسب رادیان الکتریکی بر ثانیه است. معادله

(۲-۱) به ازای انحراف کوچک در سرعت به صورت معادله (۲-۳) نوشته می شود:

$$\frac{d\Delta w}{dt} = \frac{w_s}{2H} (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2-3)$$

و با قرار دادن فرکانس به جای سرعت زاویه ای داریم:

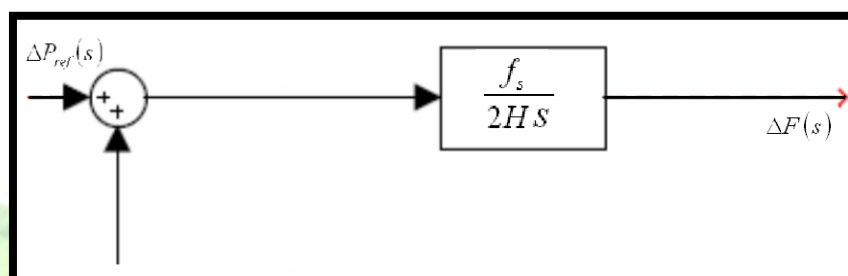
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\frac{d\Delta f}{dt} = \frac{f_s}{2H} (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2-3)$$

که در آن  $f_s$  فرکانس نامی سیستم بر حسب Hz می باشد. با گرفتن تبدیل لاپلاس از دو طرف رابطه بالا نتیجه زیر به دست می آید:

$$(2-5)$$

رابطه ی فوق در شکل ۲-۱ به صورت نمایش بلوکی نشان داده شده است [۱].



شکل ۲-۱ نمایش بلوکی ژنراتور

## ۲-۲ مدل بار

بار یک سیستم قدرت در برگیرنده طیف وسیعی از ادوات الکتریکی برای بارهای مقاومتی از قبیل بارهای روشنای و گرمایی توان الکتریکی مستقل از فرکانس می باشد. اما بارهای موتوری به تغییر در فرکانس حساس می باشند و این که چقدر به فرکانس حساسیت دارند، بستگی به ترکیب مشخصه های بار و سرعت همگی آنها دارد. مشخصه بار سرعت یک بار ترکیبی توسط رابطه زیر تقریب زده می شود:

$$(2-6)$$

که تغییرات بار غیر حساس به فرکانس است و  $D\Delta w$ ، تغییرات بار حساس به فرکانس را نشان می دهد.

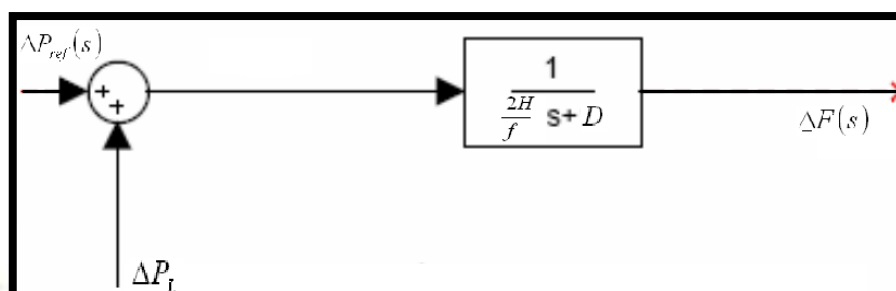
D نیز مطابق رابطه (۲-۷) تعریف می شود:

$$D = \frac{\partial P_e}{\partial f} \quad (2-7)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با فرض این که  $P_e$  نسبت به فرکانس به صورت خطی تغییر می کند،  $D$  برابر است با درصد تغییر در بار نسبت به درصد تغییر در فرکانس. برای مثال اگر بار به ازای یک درصد تغییر در فرکانس، ۱٫۶ درصد تغییر کند،  $D$  مساوی ۱٫۶ خواهد بود.

به انضمام مدل بار، به نمایش بلوکی ژنراتور و حذف شاخه ی پس خور، به نمایش بلوکی نشان داده شده در شکل ۲-۲ می رسیم [۱].



شکل ۲-۲ نمایش بلوکی بار و ژنراتور

### ۲-۳ مدل محرک:

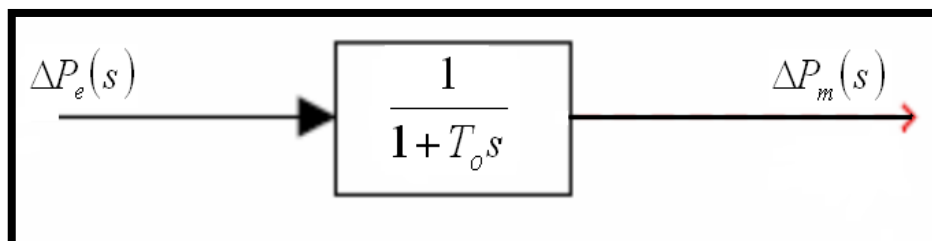
منبع توان مکانیکی که عموماً تحت عنوان محرک اولیه شناخته می شود می تواند توربینهای آبی نصب شده در آبشار ها و رودخانه ها باشد و یا توربین های بخار که انرژی آنها از طریق سوزاندن زغال گاز و یا سوخت هسته ای تامین می گردد، همچنین ممکن است از توربینهای گازی استفاده شود. مدل توربین باید تغییرات توان مکانیکی خروجی را به تغییر موقعیت شیر بخار مرتبط نماید. توربین های مختلف از نظر مشخصات بسیار متنوع اند. ساده ترین مدل محرک اولیه مدل توربین بخار بدون پیش گرمایش است که

سیستمی از درجه یک با ثابت زمانی  $T_o$  می باشد و به صورت تابع انتقال زیر نشان داده می شود.

$$G_r(s) = \frac{\Delta P_m(s)}{\Delta P_e(s)} = \frac{1}{1 + T_o s} \quad (2-8)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ثابت زمانی  $T_o$  در حدود  $0.3$  تا  $2$  S می باشد تابع تبدیل انواع دیگر توربین ها بسیار پیچیده ترند. نمایش بلوکی یک توربین ساده در شکل ۲-۳ ارائه گردیده است [۱].



شکل ۲-۳ نمایش بلوکی یک توربین بخار ساده

#### ۲-۴ مدل گاورنر سرعت:

هنگامی که بار الکتریکی ژنراتور به طور ناگهانی افزایش می یابد توان الکتریکی بیشتر از توان مکانیکی ورودی خواهد شد و این کمبود توان مکانیکی توسط انرژی جنبشی ذخیره شده در سیستم دوار رتور جبران خواهد شد، اما کاهش انرژی جنبشی منجر به کاهش سرعت توربین و به تبع آن کاهش فرکانس ژنراتور خواهد شد. تغییر سرعت توسط گاورنر توربین حس خواهد شد و گاورنر دریچه ورودی توربین را طوری تنظیم می کند که توان مکانیکی خروجی توربین به مقدار کافی افزایش پیدا نماید، تا سرعت به یک حالت دائمی جدید برسد.

ابتدایی ترین گاورنرها که به گاورنر وات معروفند سرعت ژنراتور را توسط گوی های چرخان حس می نمایند و به ازای تغییر سرعت یک جابجایی مکانیکی ایجاد می نمایند. اگر چه امروزه گاورنرهای پیشرفته که اکثرا جهت حس کردن تغییرات سرعت از ادوات الکترونیکی استفاده می کنند، موجود می باشند اما گاورنر فوق همچنان در بسیاری از سیستم های قدرت به کار برده می شود. به طور کلی یک سیستم گاورنر در برگیرنده قسمت‌های اصلی زیر می باشد:

#### ● حس کننده سرعت:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

این قسمت اساسی شامل گوی های گردانی می باشد که به صورت مستقیم یا توسط چرخ دنده به محور توربین متصلند و این مکانیزم، متناسب با تغییرات سرعت یک جابجایی مکانیکی ایجاد می نماید. ( حرکت رو به بالا در پاسخ به کاهش سرعت و رو به پایین در پاسخ به افزایش سرعت).

#### ● مکانیزم اتصال:

این مکانیزم شامل اتصالاتی جهت انتقال جابجایی ایجاد شده توسط گوی های چرخان به شیر ورودی توربین از طریق یک تقویت کننده هیدرولیک و همچنین تهیه یک پس خور از جابجایی شیر بخار توربین می باشد.

#### ● تقویت کننده هیدرولیک:

با توجه به این که جابجایی شیر بخار به نیروی مکانیکی خیلی زیادی احتیاج دارد لذا لازم است که جابجایی گاورنر با چند مرحله تقویت هیدرولیک به یک نیروی مکانیکی قوی تبدیل گردد.

#### ● تغییر دهنده سرعت:

تغییر دهنده ی سرعت شامل یک سرو سیستم است که می تواند به صورت دستی یا خودکار جهت برنامه ریزی فرکانس، عمل نماید و با تنظیم این نقطه می توان به توزیع بار دلخواه در فرکانس نامی، دست یافت. به منظور عملکرد پایدار، گاورنر ها طوری طراحی می شوند که با افزایش بار به ژنراتور اجازه افت سرعت دهند.

مکانیزم گاورنر سرعت به صورت یک مقایسه گر عمل می کند خروجی آن،  $\Delta P_g$  برابر تفاوت بین توان تنظیم شده مرجع  $\Delta R_{ref}$  و توان  $\frac{1}{R} \Delta f$  ( که توسط مشخصه گاورنر سرعت داده می شود) می باشد.

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \quad (2-9)$$

به عبارت دیگر:

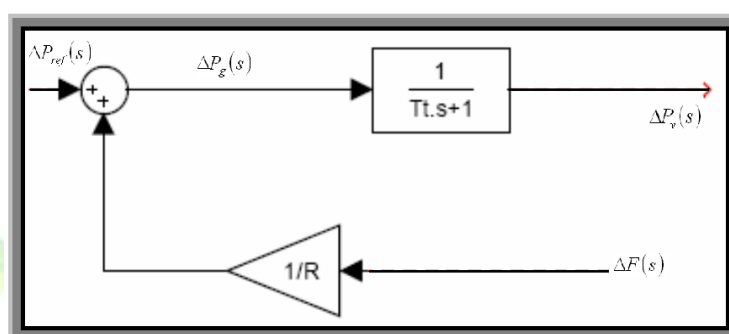
$$\Delta P_g(s) = \Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta F(s) \quad (2-10)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فرمان  $\Delta P_g$  از طریق تقویت کننده هیدرولیک به فرمان تغییر موقعیت شیر بخار تبدیل می شود. با در نظر گرفتن یک رابطه خطی و یک ثابت زمانی  $T_g$  برای تقویت کننده هیدرولیک، رابطه زیر را در حوزه لاپلاس خواهیم داشت [۱].

$$\Delta P_v(s) = \frac{1}{1 + ST_g} \Delta P_{ref}(s) \quad (2-11)$$

معادلات فوق در قالب نمایش بلوکی شکل ۲-۴ نشان داده شده است.



شکل ۲-۴ نمایش بلوکی سیستم تنظیم سرعت

## ۲-۵ مدل سیستم بار فرکانس

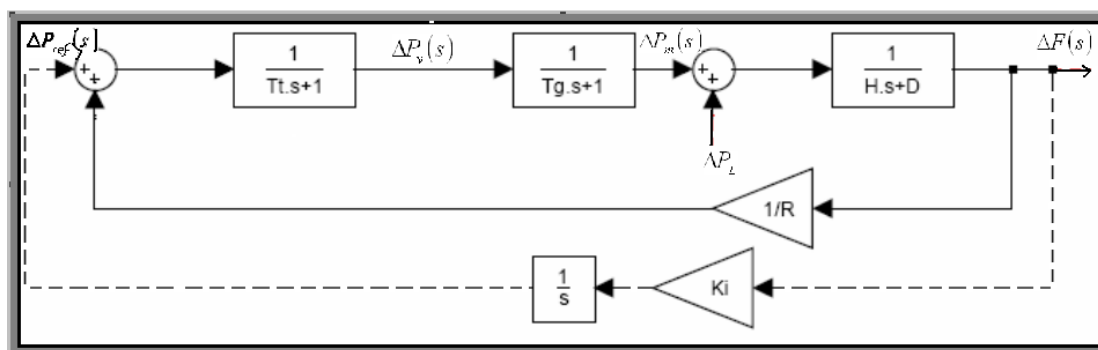
با تنظیم نمایش بلوکی اشکال ۲-۲ الی ۲-۴ و ۲-۷ و معرفی پارامترهای  $K_p, T_p$  در رابطه (۲-۱۳) به نمایش بلوکی کامل کنترل بار فرکانس یک واحد سیستم قدرت مجزا، دست پیدا می کنیم که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.

$$V_p = \frac{1}{D} (\text{Hz} / P_u.MW) \quad (2-12)$$

$$T_p = \frac{2H}{f.D} (\text{sec}) \quad (2-13)$$



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۵-۲ نمایش بلوکی کامل بار فرکانس یک سیستم مجزا

## ۲-۶ مدل سازی عناصر غیر خطی موجود در سیستم بار فرکانس

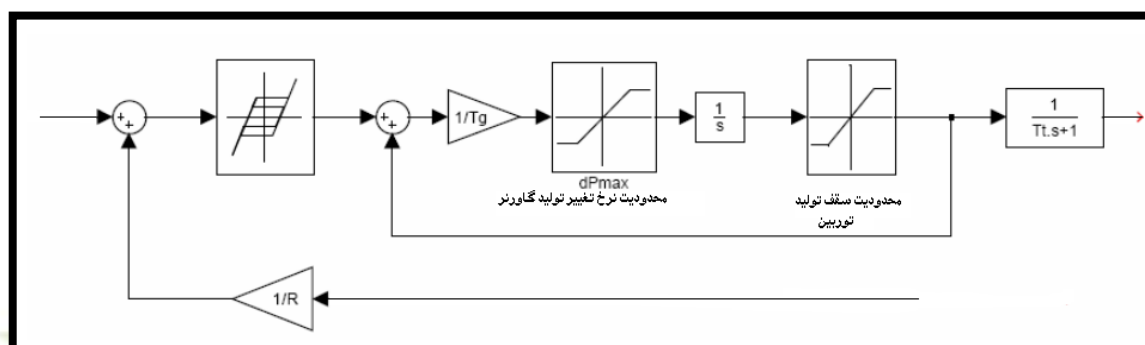
برخی از عناصر موجود در سیستم بار فرکانس به صورت غیر خطی می باشند و با توجه به اینکه این موارد در پایداری سیستم نقش مهمی ایفا می کنند، مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

یکی از مهمترین آثار غیر خطی موجود در سیستم وجود باند مرده در گاورنر ها می باشد که در اثر برخی چرخ دنده ها و تقویت کننده های هیدرولیک و اصطکاک موجود در سیستم مکانیکی ایجاد می گردد. وجود این باند مرده باعث می شود که تا هنگامی که اندازه سیگنال ورودی به یک مقدار خاص نرسد، سیستم گاورنر پاسخی در خروجی نداشته باشد و در واقع گاورنر به ازای تغییرات سرعتی که کمتر از مقدار باند مرده هستند، هیچ عکس العمل از خود نشان نمی دهد.

محدودیت افزایش تولید در واحدها یکی دیگر از جلوه های غیر خطی در سیستم بار فرکانس است. به بیان دیگر، افزایش یا کاهش تولید انرژی با توجه به سقف حداکثر و حداقل تولید واحدها، محدود می باشد. چرا که از نظر عملی، توان تولیدی، تنها می تواند با حداکثر سرعت مشخصی تغییر کند و این حدود سرعت به این جهت در نظر گرفته شده اند که از نظر انحرافات گسترده متغیرهای پروسه از قبیل دما و فشار ( جهت ایمنی سیستم ) اجتناب شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نمایش بلوکی شکل ۶-۲ مدل عناصر غیر خطی مذکور را در سیستم بار فرکانس نشان می دهد معمولا اندازه باند مرده را  $0.06\%$  در نظر می گیرند. همچنین حداکثر نرخ تولید برای توربین های بخار بدون پیش گرمایش  $10\%$  و برای توربین های با پیش گرمایش  $3\%$  است.



شکل ۶-۲: نمایش بلوکی عناصر خطی سیستم بار-فرکانس

## ۲-۷ پاسخ سیستم کنترل بار فرکانس

نظر به اینکه تغییر بار در سیستم قدرت، عموماً با قطع یا وصل مقادیر ثابت صورت می پذیرد، در مطالعه سیستم بار فرکانس جهت مدل کردن تغییرات بار از ورودی پله استفاده می شود. برای تحلیل پاسخ سیستم LFC به تغییر بار پله ای ابتدا حالتی را در نظر می گیریم که تغییر دهنده سرعت در وضعیت مشخصی قرار دارد [۲].  $(\Delta P_{ref} = 0)$ .

با توجه به شکل ۵-۲ رابطه خروجی سیستم کنترل  $\Delta F(s)$  در حالتی که  $\Delta P_c = 0$  است، به صورت زیر می باشد:

$$\Delta F(s) = \frac{K_p}{1 + ST_p} \left[ \frac{-1}{R} \Delta F(s) \frac{1}{(1 + ST_g)(1 + ST_t)} - \frac{\Delta P_L}{S} \right] \quad (2-14)$$

و باتوجه به قضیه مقدار نمایی پاسخ ماندگار سیستم عبارت است از:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\Delta F = \lim [S\Delta F(s)] = \frac{RK_p}{R + K_p} \Delta P_L = -\frac{\Delta P_L}{\beta} \quad (2-15)$$

این رابطه، تغییرات فرکانس را بر اثر تغییرات بار نشان می دهد. مخرج رابطه به عنوان مشخصه پاسخ فرکانس منطقه ( شامل ژنراتور و بار ) مطابق رابطه (۲-۱۶) تعریف می شود :

$$\beta = D + \frac{1}{R} (P_u.MW / Hz) \quad (2-16)$$

همانگونه که از رابطه (۲-۱۴) پیدا است در صورتی که  $\Delta P_{ref} = 0$  باشد تغییر ایجاد شده در فرکانس هیچ گاه صفر نخواهد شد. چرا که D از مشخصات بار است و R نیز به دلایل پایداری نمی تواند خیلی کوچک باشد.

در واقع هنگامی که بار سیستم افزایش می یابد، سرعت توربین، قبل از آنکه گاورنر بتواند بخار ورودی برای بار جدید را تنظیم کند، افت خواهد نمود و این افت سرعت که به منزله افت فرکانس سیستم است، منجر به کاهش بار خواهد شد. بنابراین بار افزوده شده به سیستم، توسط دو مولفه جبران می شود. یکی افزایش تولید و دیگری کاهش کلی بار سیستم در اثر کاهش فرکانس، لذا فرکانس سیستم به مقدار نامی بر نمی گردد.

اما اگر همزمان با تغییر پله ای بار تغییر دهنده سرعت نیز به صورت پله ای تغییر کند پاسخ سیستم

کنترل برابر است با:

$$\Delta F = -\frac{\Delta P_D - \Delta P_c}{\beta} \quad (2-17)$$

بنابراین با تغییر بار می توان تغییر دهنده سرعت را طوری کنترل کرد که  $\Delta P_c = \Delta P_L$  و در نتیجه

فرکانس نهایی سیستم به ازای تغییر بار را به مقدار نامی رساند.

۱-۷-۲ کنترل کامل سیستم بار فرکانس:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای اینکه فرکانس سیستم ثابت نگه داشته شود باید به ازای تغییر پله ای بار، انحراف فرکانس حالت دائمی یعنی  $\Delta F$  به صفر برسد و همانطور که دیده شد جهت دستیابی به این هدف باید از تغییر دهنده سرعت استفاده شود تاکنون تحقیقات بسیاری در راستای کنترل تنظیم کننده سرعت جهت نیل به هدف مذکور انجام گرفته است. لیکن روش متداول برای رساندن فرکانس به مقدار نامی، استفاده از یک انتگرال گیر به صورت حلقه پس خود دوم می باشد. زیرا واحد انتگرال خطای میانگین را برای یک دوره زمانی در نظر می گیرد و می تواند آنرا به طور کامل حذف کند [۲].

خطوط خط چین در شکل ۲-۸ نحوه استفاده از انتگرال گیر در سیستم بار فرکانس را نشان می دهد. می توان مشاهده نمود که سیگنال خطای فرکانس پس از تقویت توسط بهره انتگرالی  $K_L$  از طریق انتگرال گیر با فرمان  $\Delta P_c$  ایجاد می نماید.

$$\Delta P_{ref} = -K_L \int \Delta f dt$$

$$\Delta F(s) = -\frac{K_p}{T_p} \frac{\Delta P_L}{s^2 + \left(\frac{K_p}{T_p} / R + 1\right)s + \frac{K_I K_p}{T_p}} \quad (2-18) \text{ و } (2-19)$$

با اعمال قضیه مقدار نهایی:

$$\Delta F = s \Delta F(s) = 0$$

$$s \rightarrow 0$$

پس حلقه پس خوردوم با افزایش درجه سیستم، خطای نمایی فرکانس را صفر می کند. اما دینامیک پاسخ سیستم بستگی به ریشه های معادله درجه دو مخرج رابطه (۲-۱۹) دارد. با بررسی این معادله مشخص می شود که با افزایش مقدار  $K_I$  سرعت پاسخ بهتر شده ولیکن نوسانات افزایش می یابند (در صورت افزایش بیش از اندازه  $K_I$ ، ممکن است سیستم ناپایدار شود) و کاهش آن منجر به کند شدن پاسخ می گردد. لذا بهره انتگرالی باید طوری تنظیم شود که حالت گذاری مناسبی برای پاسخ ایجاد نماید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۲-۷-۲ کنترل خودکار تولید ( AGC )

همانگونه که قبلا ذکر شد جهت تثبیت فرکانس به دنبال تغییرات بار تولید نیز به صورت خود کار طوری تنظیم می شود که فرکانس رابه مقدار نامی برگرداند، که این روش به کنترل خودکار تولید یا AGC معروف است [۱].

در یک سیستم به هم پیوسته شامل چند ائتلاف نقش AGC عبارت است از تقسیم بار ها در میان واحد ها به گونه ای که فرکانس به صورت یکنواختی حفظ شود و بیشترین کارایی اقتصادی به دست آید. البته کاملا واضح است که سیستم در حالت پایدار فرض شده است و حالت دائمی قابل دستیابی است. در خلال اغتشاشات بزرگ و حالت اضطراری سیستم AGC ازمدار خارج می شود و سایر کنترل های اضطراری در سیستم عمل خواهند نمود.

سیستم AGC تغییرات تولید در سیستم را با فرستادن سیگنال هایی به واحد های تحت کنترل خود واقعیت می بخشد. طراحی و عملکرد یک سیستم AGC به شدت وابسته به این است که واحد ها به چنین سیگنال هایی چگونه پاسخ می دهند. مشخصات پاسخ واحد ها به طور وسیعی متغیرند و به عوامل بسیاری بستگی دارند که از جمله می توان به نوع واحد تولید، نوع سوخت مورد استفاده، نوع کنترل کننده های واحد، نقطه کار و عملکرد اپراتورها اشاره نمود.

## ۲-۸ نواحی کنترل:

در بسیاری از حالات، گروهی از ژنراتورها به صورت نزدیک به هم و محکمی (از نقطه نظر الکتریکی) به یکدیگر متصلند و به وطور هماهنگ نوسان می کنند وتوربین ژنراتورها نیز همان مشخصات را دارند. چنین گروهی از ژنراتورها اصطلاحا همنوا گفته می شود. بنابراین می توان حلقه LFC را در نظر گرفت که به یک ناحیه کنترل معروف است [۱و۲].

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در واقع یک ناحیه کنترل را می توان به صورت یک ژنراتور و یک بار در نظر گرفت که ژنراتور معادل دارای ضریب تنظیم سرعت معادل  $R$  بوده و قدرت نامی آن با جمع قدرت های نامی ژنراتورها برابر است. بار معادل نیز از مجموع بارهای منطقه تعیین می گردد.

امروزه اغلب سیستم های قدرت به نواحی مجاور خود متصل هستند و اتصال ایجاد نواحی کنترل، یک سیستم قدرت چند ناحیه ای را به وجود می آورد. در یک سیستم قدرت چند ناحیه ای هر ناحیه کنترل در شرایط عادی بارهای ناحیه خود را تامین می نماید مگر اینکه با توافق دو منطقه مجاور، قدرت مورد نیاز یک ناحیه دیگر تامین گردد. اتصال نواحی کنترل به یکدیگر علاوه بر همکاری فوق الذکر حاوی مزایای دیگری است که عبارتند از:

#### ● تغییرات فرکانس کمتر:

با اتصال نواحی کنترل به یکدیگر ابعاد سیستم قدرت افزایش می یابد و روشن است که هر چه سیستم بزرگتر باشد انرژی جنبشی آن نیز بیشتر است. در نتیجه در مواقع افزایش بار قادر به تامین انرژی لحظه ای بیشتری خواهد بود، و تغییرات فرکانس کمتری ایجاد خواهد شد.

#### ● کاهش ظرفیت نصب و ذخیره چرخان:

یک ناحیه منفرد باید جوابگوی حداکثر بار پیش بینی شده خود باشد، اما در یک سیستم همیاری شامل چند ناحیه کنترل، از آنجا که زمان پیک بار در نواحی مختلف متفاوت است لذا قدرت نصب شده کمتری مورد نیاز خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه در صورت لزوم هر ناحیه می تواند از ذخیره چرخان سایر مناطق استفاده کند، هر منطقه ذخیره چرخان کمتری لازم خواهد داشت.

### ۲-۸-۱ مدل سیستم قدرت یک ناحیه ای

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

همانگونه که توضیح داده شد، یک سیستم قدرت یک ناحیه ای را می توان با یک واحد، که کلیه بارهای منطقه را تامین می کند معادل سازی کرد. برای بررسی پاسخ فرکانس ناحیه می توان نمایش بلوکی شکل ۲-۵ را به کار گرفت. در اینجا نحوه به دست آوردن پارامترهای معادل ناحیه ارائه شده است. اگر یک ناحیه کنترل دارای  $M$  ژنراتور با قدرت های نامی  $S_1, S_2, \dots, S_m$  و ضرایب تنظیم سرعت  $R_1, R_2, R_m$  باشد و خطای فرکانس حالت ماندگار ناحیه در اثر تغییر بار پله ای  $\Delta P_L$  را با  $\Delta F$  نشان دهیم. برای هر یک از ژنراتور ما می توان نوشت:

$$R_i = -\frac{\Delta F}{\Delta P_{Gi}} \quad i = 1, \dots, m \quad (2-20)$$

البته رابطه فوق قدرت مبنا برای  $\Delta P_i$ ، همان قدرت نامی ژنراتور یعنی  $S_i$  می باشد.

در حالت ماندگار  $\Delta P_L$  بر حسب PU بر مبنای قدرت ناحیه یعنی  $\left( s = \sum_{i=1}^m s_i \right)$  برابر است با:

$$\Delta P_L = \sum_{i=1}^m \Delta P_{Gi} \quad (2-21)$$

با ترکیب دو رابطه فوق و در نظر داشتن تفاوت قدرت های مبنا خواهیم داشت:

$$\Delta P_L = -\frac{\Delta f}{S} \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{R_i} \quad (2-22)$$

و اگر قدرت مبنای ناحیه را یک فرض کنیم. ( $S=1PU$ ):

$$\Delta F = -\frac{\Delta P_L}{\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{R_i}} \quad (2-23)$$

حال اگر ضریب تنظیم سرعت معادل ناحیه را  $R$  بنامیم از مقایسه روابط (۲-۲۰) و (۲-۲۳) خواهیم

داشت:

$$R = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{R_i}} \quad (2-24)$$

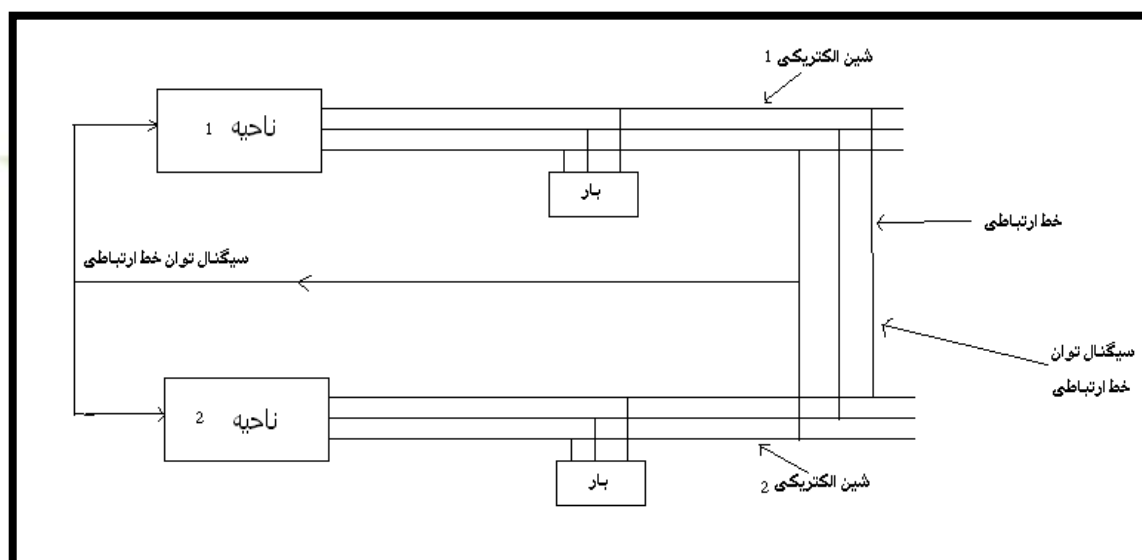
پارامتر معادل  $H$  ناحیه نیز از تعریف ثابت اینرسی به صورت زیر به دست خواهد آمد:



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$H = \frac{W}{S} = \frac{\sum_{i=1}^m w_i}{\sum_{i=1}^m S_i} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i H_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \quad (2-25)$$

## ۲-۸-۲ مدل سیستم قدرت دو ناحیه ای



شکل ۲-۷ نمایش سیستم قدرت دو ناحیه ای

کنترل بار فرکانس یک سیستم چند ناحیه ای را می توان ابتدا با مطالعه یک سیستم دو ناحیه ای آغاز نمود. دو ناحیه کنترل 1 و 2 در شکل ۲-۷ را در نظر بگیرید که توسط یک خط ارتباطی بدون تلفات و بار اکتانس  $X_{ie}$  به یکدیگر متصل شده اند. مطابق شکل ۲-۸ هر ناحیه توسط یک منبع ولتاژ و راکتانسی معادل بیان می شود. در خلال عملکرد طبیعی، توان حقیقی مبادله شده از طریق خط ارتباطی برابر است با [۲]:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$P_{12} = \frac{1E_1 1E_2 1}{X_{12}} \sin \delta_{12} \quad (۲-۲۶)$$

که در آن  $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ ,  $X_{12} = X_1 + X_{tie} + X_2$

لذا به ازای انحرافات کوچک توان انتقالی حول مقدار نامی داریم:

$$\Delta p_{12} = \left. \frac{dp_{12}}{d\delta_{12}} \right|_{\delta_{120}} \Delta \delta_{12} = T_{12} \Delta \delta_{120} \quad (۲-۲۷)$$

کمیت  $T_{12}$  شیب منحنی زاویه قدرت در نقطه کار نامی  $\delta_{120} = \delta_{10} - \Delta \delta_{20}$  می باشد و ضریب

همگام سازی توان نامیده می شود. بنابراین داریم:

$$T_{12} = \left. \frac{dp_{12}}{d\delta_{12}} \right|_{\delta_{120}} = \frac{1E_1 1E_2 1}{X_{12}} \cos \Delta \delta_{120} \quad (۲-۲۸)$$

پس انحراف توان خط ارتباطی به فرم زیر در می آید.

$$\Delta P_{12} = T_{12} (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2) \quad (۲-۲۹)$$

با جایگزینی تغییرات زاویه با تغییرات فرکانس و گرفتن تبدیل لاپلاس از دو طرف رابطه بالا خواهیم

داشت:

$$\Delta P_{12}(s) = \frac{2\pi T_{12}}{s} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] \quad (۲-۳۰)$$

با توجه به اینکه از تلفات خط ارتباطی صرف نظر شده است.  $\Delta P_{12} = -\Delta P_{21}$  و یا برحسب PU داریم:

$$\Delta P_{12} S_1 = -\Delta P_{21} S_2 \quad (۲-۳۱)$$

که  $S_2, S_1$  قدرت های نامی نواحی ۱ و ۲ بر حسب MVA می باشند.

اگر ضریب  $a_{12}$  را مطابق (۲-۳۲) تعریف کنیم داریم:

$$\Delta P_{21} = a_{12} \Delta P_{12} \quad (۲-۳۲)$$

$$a_{12} = -\frac{S_1}{S_2} \quad (۲-۳۳)$$

که با وارد کردن توان انتقالی  $\Delta P_{12}(s)$  در نمایش بلوکی منطقه ۱ خواهیم داشت:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\Delta F_1(s) = \frac{KP_1}{1+ST_{p1}} [\Delta P_{r1}(s) - \Delta P_{L1}(s) - \Delta P_{L2}(s)] \quad (2-34)$$

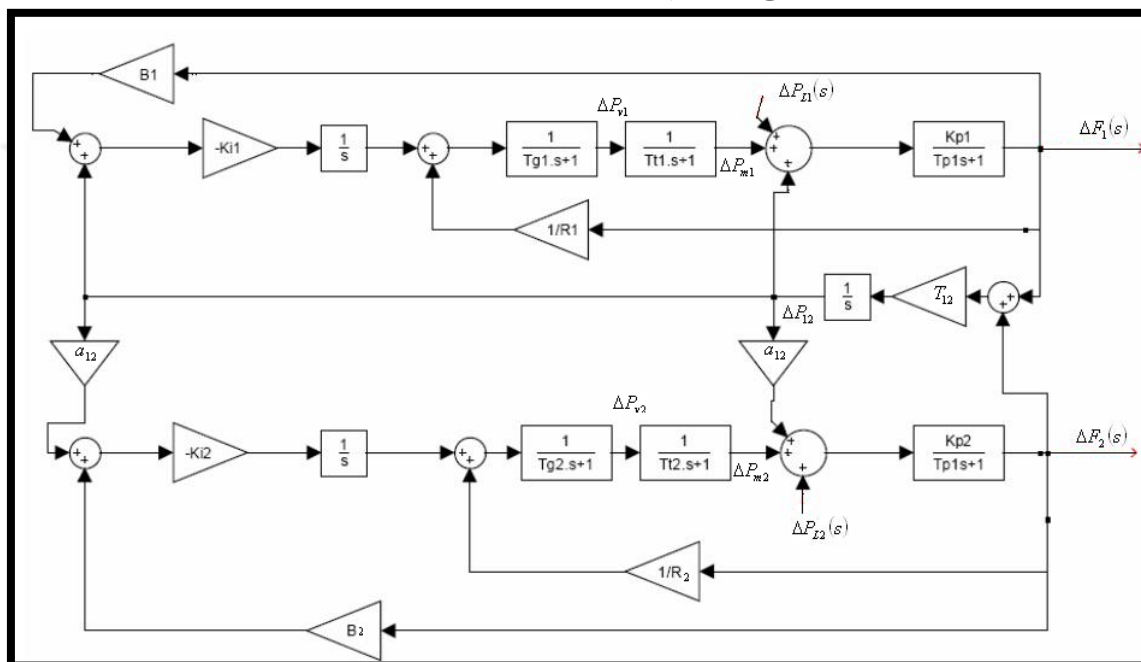
و به صورت مشابه برای تغییر فرکانس ناحیه ۲ نیز داریم:

$$\Delta F_2(s) = \frac{KP_2}{1+ST_{p2}} [\Delta P_{r2}(s) - \Delta P_{L2}(s) - a\Delta P_{L2}(s)] \quad (2-36)$$

توان جاری از خط ارتباطی به شکل افزایش بار در یک ناحیه و کاهش بار در ناحیه دیگر ظاهر می شود.

جهت توان توسط تفاوت زاویه ها تعیین می شود، یعنی اگر  $\Delta\delta_1 > \Delta\delta$  جهت توان جاری شده از ناحیه ۱

به ناحیه ۲ خواهد بود. نمایش بلوکی سیستم دو ناحیه ای در شکل ۲-۸ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۸ نمایش بلوکی کنترل بار فرکانس یک سیستم قدرت دو ناحیه ای

### ۲-۸-۳ کنترل گرایش دار فرکانس خط ارتباطی

همانند سیستم قدرت یک ناحیه ای، جهت حذف کامل خطای فرکانس لازم است که از حلقه

کنترل دوم استفاده شود لیکن همانگونه که قبلا اشاره شد در یک ائتلاف چند ناحیه ای سیستم های

قدرت، توان های انتقالی از خطوط ارتباطی در حالت دائمی، باید ثابت و برابر مقادیر از پیش تعیین شده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

باشند. لذا جهت اعمال یک کنترل کامل که هر دو هدف را برآورده سازد باید علاوه بر تغییرات فرکانس از تغییرات توان انتقالی خط ارتباطی نیز پس خور گرفت و ترکیب خطی از دو خط را به عنوان ورودی کنترل کننده در نظر گرفت. این ترکیب خطی را خطای کنترل ناحیه یا (ACE) می نامند و مطابق رابطه (۳۶-۲) در هر ناحیه تعریف می شود.

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \Delta f_1 \quad (۲-۳۶)$$

$$ACE_2 = \Delta P_{12} + B_2 \Delta f_2$$

و بنابراین در صورت استفاده از کنترل کننده انتگرالی خواهیم داشت.

$$\Delta P_{ref_1} = -K_{I1} \int ACE_1 dt \quad (۲-۳۷)$$

$$\Delta P_{ref_2} = -K_{I2} \int ACE_2 dt$$

B را ضریب بایاس فرکانس ناحیه می نامند و معمولاً مقادیر آن را برابر  $\beta$  یا مشخصه پاسخ فرکانس هر منطقه می گیرند.

#### ۲-۸-۴ سیستم های قدرت چند ناحیه ای

نتایج به دست آمده برای سیستم دو ناحیه ای به سهولت به سیستم چند ناحیه تعمیم داده می شوند.

در یک سیستم قدرت دارای چند ناحیه بار فرکانس، باید اطلاعات قدرت های انتقالی همه خطوط ارتباطی در فواصل زمانی کوتاهی به مرکز کنترل هر ناحیه ارسال شود. سپس جمع این قدرت ها با قدرت تعیین شده در قرار داد نواحی مقایسه گردد تا بتوان خطای کنترل ناحیه را به دست آورد و فرمان کنترل مناسب را به سیستم اعمال نمود تا خطای مذکور به صفر برسد.

#### ۲-۹ نمایش مدل دینامیکی سیستم بار فرکانس به شکل معادلات حالت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

همانطور که می دانیم، تمامی روش های کنترل مدل بر مبنای تحلیل سیستم ها به شکل معادلات حالت قرار دارند. لذا در این بخش دینامیک سیستم کنترل بار فرکانس را با فرض وجود کنترل کننده انتگرالی به صورت معادلات حالت استخراج می نماییم.

### ۱-۹-۲ معادلات حالت سیستم یک ناحیه ای

ابتدا متغیرهای زیر را به عنوان حالت های سیستم انتخاب می کنیم:

$$X_1 = \Delta f \quad \text{تغییرات فرکانس}$$

$$X_2 = \Delta P_m \quad \text{تغییرات توان خروجی توربین} \quad (2-38)$$

$$X_3 = \Delta P_v \quad \text{تغییرات شیر ورودی توربین}$$

$$X_4 = \Delta Pr ef \quad \text{تغییرات نقطه تنظیم سرعت}$$

با توجه به متغیرهای حالت انتخاب شده و معادلات به دست آمده برای سیستم در قسمت های

قبل خواهیم داشت:

$$X_1 = \frac{K_p}{1+ST_p} (X_2 - \Delta P_L)$$

$$X_2 = \frac{1}{1+ST_1} X_3 \quad (2-39)$$

$$X_3 = \frac{1}{ST_g} \left( -X_2 - \frac{1}{R} X_1 - X_4 + V \right)$$

$$X_4 = \frac{K_l}{S} X_1$$

و با نوشتن معادلات فوق به صورت در حوزه زمان معادلات حالت سیستم بار فرکانس یک ناحیه کنترل به

صورت زیر به دست می آید:

$$X = A_x + B_x + w\Delta p_L \quad (2-40)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$X' = [X_1 X_2 X_3 X_4], A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_p} & \frac{K_p}{T_p} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_t} & \frac{1}{T_t} & 0 \\ -\frac{1}{RT_g} & 0 & -\frac{1}{T_g} & -\frac{1}{T_g} \\ K_l & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

که در آن:

$$W' = \begin{bmatrix} \frac{K_p}{T_p} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_g} & 0 \end{bmatrix}$$

که در آن W بیانگر اغتشاش یا همان تغییر بار سیستم می باشد.

## ۲-۹-۲ معادلات حالت سیستم دو ناحیه ای

متغیرهای حالت زیر را به عنوان حالت سیستم در نظر می گیریم:

$X_1 = \Delta f_1$  تغییرات فرکانس ناحیه اول

$X_2 = \Delta P_{m1}$  تغییرات توان مکانیکی خروجی توربین ناحیه اول

$X_3 = \Delta P_{v1}$  تغییرات شیرورودی توربین ناحیه اول

$X_4 = \Delta P_{ref1}$  تغییرات نقطه تنظیم سرعت ناحیه اول

$X_5 = \Delta P_{12}$  تغییرات توان خط ارتباطی بین دو ناحیه

$X_6 = \Delta f_2$  تغییرات فرکانس ناحیه دوم

$X_7 = \Delta P_{m2}$  تغییرات توان مکانیکی خروجی توربین ناحیه دوم

$X_8 = \Delta P_{v2}$  تغییرات شیرورودی توربین ناحیه دوم

$X_9 = \Delta P_{ref2}$  تغییرات نقطه تنظیم سرعت ناحیه دوم

با استفاده از معادلات سیستم دو ناحیه ای و متغیرهای حالت تعریف شده معادلات حالت سیستم به شکل

رابطه (۲-۴۰) در می آید که در آن:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$X' = [X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9]$$

$$W' = \begin{bmatrix} -\frac{kp_1}{Tp_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{kp_2}{Tp_2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{Tp_1} & \frac{K_{p1}}{Tp_1} & 0 & 0 & -\frac{K_{p1}}{Tp_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & -\frac{1}{T_{f1}} & \frac{1}{T_{f1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{R_1 T_{g1}} & 0 & -\frac{1}{T_{g2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ K_{f1} B & 0 & 0 & 0 & K_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & -T_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{K_{p2}}{Tp_2} & \frac{1}{Tp_2} & \frac{K_{p2}}{Tp_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{f2}} & \frac{1}{T_{f2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{R_2 T_{g1}} & 0 & \frac{1}{T_{g2}} & -\frac{1}{T_{g2}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -K_2 & K_2 B_2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$E' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{Tg_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Tg_1} & 0 \end{bmatrix}$$

### ۳-۹-۲ معادلات حالت سیستم چند ناحیه ای

معادلات حالت بار فرکانس سیستم قدرت چند ناحیه ای نیز همانند سیستم دوناحیه ای به

شکل رابطه (۲-۴۰) بیان می شود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## فصل سوم:

۱,۱,۱,۱,۱,۱,۱,۱

### کنترل بهینه درجه دو

#### و معادله ریکاتی

در این قسمت طراحی سیستم‌های کنترل پایدار بر اساس شاخصهای عملکرد درجه دو را مطرح می‌کنیم. سیستمی که در اینجا در نظر می‌گیریم، می‌توان به صورت زیر تعریف کرد [۳]:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3-1)$$

که در آن:

$$x = \text{بردار } n \times 1$$

$$u = \text{بردار } r \times 1$$

$$A = \text{ماتریس ثابت } n \times n$$

$$B = \text{ماتریس ثابت } n \times r$$

در طراحی سیستم‌های کنترل علاقه‌مندیم بردار کنترلی  $u(t)$  را به نحوی برگزینیم که یک شاخص عملکرد خاص حداقل شود. می‌توان ثابت کرد که یک شاخص عملکرد درجه دو به صورت

$$J = \int_0^{\infty} L(x, u) dt \quad (2-)$$

(۳)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

که در آن  $L(x,u)$  که تابعی درجه دو از  $x$  و  $u$  است، با قواعد کنترلی خطی حداقل می‌شود. یعنی بردار کنترل به صورت زیر است:

(۳)

$$u(t) = -Kx(t)$$

(۳)

که در آن  $K$  ماتریسی  $r \times n$  به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ k_{r1} & k_{r2} & \dots & k_{rn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} - (۴) \\ (۳) \end{matrix}$$

بنابراین طراحی سیستم‌های کنترل یا تنظیم کننده بهینه بر اساس شاخص‌های عملکرد درجه دو، به تعیین درایه‌های ماتریس  $K$  می‌انجامد. یک مزیت استفاده از کنترل بهینه درجه دو این است که سیستم طرح شده، بجز در حالتی که سیستم کنترل پذیر نیست، پایدار است. در طراحی سیستم‌های کنترل بر اساس حداقل کردن شاخص‌های عملکرد درجه دو باید معادلات ریکاتی را حل کنیم. **MATLAB** دستوری بنام *lqr* دارد که حل معادله ریکاتی پیوسته در زمان را بدست داده، ماتریس بهره پس‌خور بهینه را تعیین می‌کند.

در زیر مسئله تعیین بردار کنترل بهینه  $u(t)$  برای سیستم توصیف شده با معادله (۳-۱) را در نظر می‌گیریم. شاخص عملکرد عبارت است از

- (۵)

$$J = \int_0^{\infty} (x^* Q x + u^* R u) dt$$

(۳)

که در آن  $Q$  یک ماتریس مثبت معین (یا نیم‌معین) هرمیتی یا حقیقی معین متقارن،  $R$  یک ماتریس مثبت معین هرمیتی یا حقیقی متقارن است، و  $u$  بدون قید فرض می‌شود. سیستم کنترل بهینه باید شاخص عملکرد را حداقل کند. حل این مسئله روش‌های مختلفی دارد، ما در اینجا روشی مبتنی بر روش دوم لیاپانوف ارائه می‌دهیم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تذکر این نکته لازم است که در بحث زیر شاخص‌های عملکرد درجه دو مختلط (شاخص‌های عملکرد هرمیتی) را برگزیده‌ایم نه شاخص‌های عملکرد درجه دو حقیقی را، زیرا دومی حالت خاصی از اولی است. برای سیستم‌های دارای بردارها و ماتریس‌های حقیقی  $\int_0^{\infty} (x^* Qx + u^* Ru) dt$  به  $\int_0^{\infty} (x^T Qx + u^T Ru) dt$  تبدیل می‌شود.

### ۳-۱- بهینه‌سازی سیستم کنترل با روش دوم لیاپانوف

در روش کلاسیک، سیستم کنترل ابتدا طرح شده، سپس پایداری اش بررسی می‌شود. روش دیگر این است که ابتدا شرایط پایداری فرمولبندی شوند و سیستم تحت این محدودیت‌ها طرح شود. اگر طراحی کنترل‌کننده بهینه بر اساس روش دوم لیاپانوف صورت بگیرد، مطمئنیم که سیستم کار می‌کند؛ یعنی خروجی سیستم به طور پیوسته به سمت مقدار مطلوب سوق می‌یابد. بنابراین سیستم طراحی شده آرایشی دارد که پایداری، ویژگی ذاتی آن است. (اگر سیستم کنترل پذیر نباشد، کنترل بهینه درجه دو قابل اعمال نیست.)

برای دسته بزرگی از سیستم‌های کنترل می‌توان نشان داد که رابطه مستقیمی بین توابع لیاپانوف و شاخص‌های عملکرد درجه دو به کار رفته در طراحی سیستم کنترل بهینه وجود دارد. روش لیاپانوف برای حل مسائل بهینه‌سازی را با حالت ساده‌ای موسوم به مسئله بهینه‌سازی پارامتر، توضیح می‌دهیم [۳].

#### ۳-۱-۱- مسئله بهینه‌سازی پارامتر به روش دوم لیاپانوف

در زیر رابطه مستقیم بین توابع لیاپانوف و شاخص‌های عملکرد درجه دو را مورد بحث قرار می‌دهیم و مسئله بهینه‌سازی پارامتر را با استفاده از این رابطه حل می‌کنیم. سیستم زیر را در نظر می‌گیریم

$$\dot{x} = Ax \quad (3-6)$$

که در آن بخش حقیقی مقادیر ویژه ماتریس  $A$  منفی‌اند، یا مبدأ  $x=0$  پایدار مجانبی است. (چنین ماتریسی را ماتریس پایدار مجانبی می‌نامیم.) فرض می‌کنیم که ماتریس  $A$  یک یا چند پارامتر قابل تنظیم دارد. می‌خواهیم شاخص عملکرد زیر را بهینه کنیم

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$J = \int_0^{\infty} x^* Q x dt \quad (7)$$

(۳)

که در آن  $Q$  یک ماتریس مثبت معین (یا نیم معین) هرمیتی یا حقیقی متقارن است. بنابراین باید مقادیر پارامترهای قابل تنظیم را به نحوی تعیین کنیم که شاخص عملکرد حداقل شود. نشان می‌دهیم که می‌توان از توابع لیاپانوف به نحوی مؤثر در حل این مسئله استفاده کرد. فرض می‌کنیم که:

$$x^* Q x = -\frac{d}{dt}(x^* P x) \quad (8)$$

(۳)

که در آن  $Q$  یک ماتریس مثبت معین است. پس بدست می‌آوریم:

$$x^* Q x = -\dot{x}^* P x - x^* P \dot{x} = -x^* A^* P x - x^* P A x = -x^* (A^* P + P A) x \quad (9)$$

-

(۳)

طبق روش دوم لیاپانوف می‌دانیم که در صورت پایدار بودن  $A$  به ازای  $Q$  داده شده یک  $P$  وجود دارد که:

$$A^* P + P A = -Q \quad (10)$$

(۳)

پس می‌توانیم به کمک این معادله درایه‌های  $P$  را تعیین کنیم.

شاخص عملکرد  $J$  را می‌توان به صورت زیر حساب کرد:

$$J = \int_0^{\infty} x^* Q x dt = -x^* P x \Big|_0^{\infty} = -x^*(\infty) P x(\infty) + x^*(0) P x(0) \quad (11)$$

(۳-)

چون بخش حقیقی تمام مقادیر ویژه  $A$  منفی است،  $x(\infty) \rightarrow 0$ . پس داریم:

$$J = x^*(0) P x(0) \quad (12)$$

(۳)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

یعنی شاخص عملکرد  $J$  را می‌توان بر حسب شرط اولیه  $x(0)$  و بدست آورد.  $P$  طبق روش دوم لیاپانوف به  $A$  و  $Q$  مرتبط می‌شود. پس اگر مثلاً بخواهیم یک پارامتر سیستم را برای حداقل کردن شاخص  $J$  تنظیم کنیم، می‌توانیم  $J = x^*(0) P x(0)$  را نسبت به پارامتر مورد نظر حداقل کنیم. چون  $x(0)$  شرط اولیه داده شده است و  $Q$  نیز داده شده،  $P$  تابعی از درایه‌های  $A$  است. پس این فرایند حداقل سازی به مقدار بهینه پارامتر قابل تنظیم منجر می‌شود. توجه به این نکته مهم است که مقدار بهینه این پارامتر در حالت کلی به شرط اولیه  $x(0)$  بستگی دارد.

## ۲-۳ کنترل بهینه درجه دو

حال این مسئله کنترل بهینه را در نظر می‌گیریم؛ سیستم زیر داده شده است [۳ و ۴]:

(۱۳-)

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

(۳)

ماتریس  $K$  را برای بردار کنترل بهینه

(۱۴)

$$u(t) = -Kx(t)$$

(۳-)

به نحوی تعیین می‌کنیم که شاخص عملکرد زیر حداقل شود:

(۱۵)

$$J = \int_0^{\infty} (x^* Q x + u^* R u) dt$$

(۳-)

$Q$  یک ماتریس مثبت معین (یا نیم‌معین) هرمیتی یا حقیقی متقارن،  $R$  نیز یک ماتریس مثبت معین هرمیتی یا حقیقی متقارن است. توجه کنید که جمله دوم سمت راست رابطه بالا مصرف انرژی سیگنال کنترل را نشان می‌دهد. ماتریس‌های  $Q$  و  $P$  اهمیت نسبی خطا و مصرف انرژی را تعیین می‌کنند. در اینجا فرض می‌کنیم سیگنال کنترل  $u(t)$  بدون قید است. چنانچه خواهیم دید قاعده کنترل خطی بیان شده با معادله  $u(t) = -Kx(t)$ ، قاعده کنترل بهینه است. بنابراین اگر درایه‌های ماتریس  $K$  به نحوی معین شوند که شاخص عملکرد حداقل شود، در این صورت  $u(t)$  به ازای هر شرط اولیه‌ای بهینه است. با گذاشتن معادله (۳-۱۴) در معادله (۳-۱۳) بدست می‌آوریم:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\dot{x} = Ax - BKx = (A - BK)x \quad (۱۶)$$

(۳)

ماتریس  $A-BK$  را پایدار فرض می کنیم، یعنی فرض می کنیم مقادیر ویژه آن دارای بخش حقیقی منفی هستند.

با جایگذاری معادله (۳-۱۴) در (۳-۱۵) بدست می آوریم:

$$J = \int_0^{\infty} (x^* Qx + x^* K^* RKx) dt \quad (۱۷)$$

$$= \int_0^{\infty} x^* (Q + K^* RK) x dt \quad (۳)$$

برای حل مسئله بهینه سازی پارامتر قرار می دهیم

$$x^* (Q + K^* RK) x = -\frac{d}{dt} (x^* Px) \quad (۱۸)$$

(۳-

که در آن  $P$  یک ماتریس مثبت معین هرمیتی یا حقیقی متقارن است. پس بدست می آوریم

$$x^* (Q + K^* RK) x = -\dot{x}^* Px - x^* P\dot{x} = -x^* [(A - BK)^* P + P(A - BK)]x \quad (۳-۱۹)$$

مقایسه دو طرف معادله بالا نشان می دهد که برای برقراری آن به ازای تمام مقادیر  $x$  باید داشته

$$(A - BK)^* P + P(A - BK) = -(Q + K^* RK) \quad (۲۰)$$

(۳

طبق روش دوم لیاپانوف اگر  $A-BK$  ماتریسی پایدار باشد، در این صورت یک ماتریس مثبت معین  $P$  وجود دارد که معادله (۳-۲۰) را ارضا کند.

پس باید درایه های  $P$  را با توجه به این معادله تعیین کنیم و ببینیم آیا مثبت معین است یا نه. (ممکن است بیش از یک  $P$  این معادله را ارضا کند. اگر سیستم پایدار باشد حتماً یک ماتریس مثبت معین وجود دارد که این معادله را ارضا کند. یعنی اگر این معادله را حل کنیم و یک ماتریس مثبت معین  $P$  بدست آوریم، سیستم پایدار است. ماتریس های  $P$  دیگری را که این معادله را ارضا می کنند ولی مثبت معین نیستند، باید کنار گذاشت. )

شاخص عملکرد  $J$  را می توان به صورت زیر محاسبه کرد [۴]:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$J = \int_0^{\infty} x^* (Q + K^* RK) x dt = -x^* Px \Big|_0^{\infty} = -x^* (\infty) Px(\infty) + x^* (0) Px(0) \quad (3-21)$$

چون بخش حقیقی تمام مقادیر ویژه  $A-BK$  منفی است، آنگاه  $x(\infty) \rightarrow 0$ ؛ پس بدست می آوریم

$$J = x^* (0) Px(0) \quad (3-22)$$

(۳)

پس شاخص عملکرد  $J$  را می توان بر حسب شرط اولیه  $x(0)$  و  $P$  به دست آورد.

برای یافتن حل مسئله کنترل بهینه درجه دو به این صورت عمل می کنیم؛ چون  $R$  را مثبت معین

هرمیتی یا حقیقی متقارن فرض کرده ایم، می توانیم بنویسیم:

$$R = T^* T \quad (3-23)$$

(۳)

که  $T$  یک ماتریس ناتکین است. پس معادله (۳-۲۰) را می توان به شکل زیر نوشت

$$(A^* - K^* B^*) P + P(A - BK) + Q + K^* T^* TK = 0 \quad (3-24)$$

(۳)

و آنرا به صورت زیر در آورد

$$A^* P + PA + [TK - (T^*)^{-1} B^* P]^* [TK - (T^*)^{-1} B^* P] - PBR^{-1} B^* P + Q = 0 \quad (3-25)$$

حداقل کردن  $J$  نسبت به  $K$  مستلزم حداقل کردن ماتریس زیر نسبت به  $K$  است:

$$x^* [TK - (T^*)^{-1} B^* P]^* [TK - (T^*)^{-1} B^* P] x \quad (3-26)$$

(۳-)

چون عبارت اخیر غیرمنفی است، حداقل آن به ازای صفر شدن آن حاصل می شود، یعنی وقتی داریم

$$TK = (T^*)^{-1} B^* P \quad (3-27)$$

پس

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$K = T^{-1}(T^*)^{-1}B^*P = R^{-1}B^*P \quad (28)$$

(۳-

معادله (۳-۲۸) ماتریس بهینه  $K$  را بدست می دهد. پس وقتی شاخص عملکرد به صورت معادله (۳-۱۵) است، قاعده کنترل بهینه برای مسئله کنترل بهینه درجه دو خطی به صورت زیر است:

$$u(t) = -Kx(t) = -R^{-1}B^*Px(t) \quad (29)$$

(۳-

ماتریس  $P$  معادله (۳-۲۸) باید معادله (۳-۲۰) یا معادله ساده شده زیر را ارضا کند:

$$A^*P + PA - PBR^{-1}B^*P + Q = 0 \quad (30)$$

(۳

معادله (۳-۳۰) را **معادله ریکاتی** ماتریس ساده شده می نامند. پس گامهای طراحی را می توان به

صورت زیر بیان کرد:

۱. با حل معادله ریکاتی، ماتریس  $P$  را بیابید. (اگر یک ماتریس  $P$  مثبت معین وجود داشته باشد

سیستم یا ماتریس  $A-BK$  پایدار است.) [۴]

۲. این ماتریس  $P$  را در معادله (۳-۲۸) قرار دهید. ماتریس  $K$  حاصل ماتریس بهینه است.

توجه کنید که در صورت پایداری ماتریس  $A-BK$  این روش همیشه جواب درست می دهد.

روش دیگری نیز برای تعیین ماتریس بهره پس خور بهینه  $K$  وجود دارد. گامهای طراحی در این

روش عبارتند از:

۱. ماتریس  $P$  ارضا کننده معادله (۳-۲۰) را به صورت تابعی از  $K$  تعیین کنید.

۲. ماتریس  $P$  را در معادله (۳-۲۲) قرار دهید. بنابراین شاخص عملکرد تابعی از  $K$  می شود.

۳. درایه های  $K$  را به نحوی تعیین کنید که شاخص عملکرد  $J$  حداقل شود. حداقل کردن  $J$  نسبت به

درایه های  $K_{ij}$  ماتریس  $K$  با برابر صفر قرار دادن  $\partial J / \partial K_{ij}$  و تعیین مقادیر بهینه  $K_{ij}$  انجام می شود.

اگر تعداد درایه های  $K_{ij}$  زیاد باشد این روش مناسب نیست.

### ۳-۳ حل مسائل کنترل بهینه درجه دو با MATLAB

دستور زیر



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$lqr(A, B, Q, R)$$

مسئله تنظیم کننده خطی پیوسته در زمان مبنی بر معادله ریگاتی را حل می کند. این دستور ماتریس بهره پس خور بهینه  $K$  را به نحوی تعیین می کند که قاعده کنترلی  $u = -Kx$  شاخص عملکرد زیر را برای سیستم تعریف شده با  $\dot{x} = Ax + Bu$  حداقل کند.

$$J = \int_0^{\infty} (x'Qx + u'Ru) dt$$

دستور

$$[K, P, E] = lqr(A, B, Q, R)$$

ماتریس  $P$ ، یعنی حل یکتای مثبت معین معادله ریگاتی ماتریس ساده شده را نیز بدست می دهد

$$0 = A^*P + PA - PBR^{-1}B^*P + Q$$

اگر ماتریس  $A-BK$  پایدار باشد، این حل مثبت معین همیشه وجود دارد. این دستور قطبهای حلقه بسته یا مقادیر ویژه  $A-BK$  را نیز به دست می دهد.

توجه به این نکته مهم است که برای بعضی سیستمها  $K$  هر چه انتخاب شود،  $A-BK$  پایدار نیست. در این موارد معادله ریگاتی جواب مثبت معین ندارد. در چنین مواردی دستورهای

$$K = lqr(A, B, Q, R)$$

$$[K, P, E] = lqr(A, B, Q, R)$$

جواب ندارند و حلی که  $MATLAB$  بدست می دهد عبارت است از:

$$K = [NaN \quad NaN]$$

هرگاه حل مسئله کنترل بهینه درجه دو وجود نداشته باشد، ماتریس  $K$  تعیین شده توسط  $MATLAB$  دارای  $NaN$  (Not A Number) خواهد بود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## فصل چهارم:



WikiPower.ir

طراحی یک کنترل کننده مقاوم

برای کنترل بار-فرکانس سیستمهای قدرت

در این قسمت یک کنترل کننده مقاوم بر اساس بحث رابطه *Riccati* برای کنترل بار-فرکانس سیستمهای قدرت پیشنهاد شده است. *LFC* پیشنهادی ساده و مؤثر است و می تواند اطمینان دهد که سیستم کلی برای تمام عدم قطعیتها در حضور محدودیت نرخ تولید (*GRC*) پایدار است.

۴-۱ معرفی

1- Generation Rate Constraint

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کنترل بار-فرکانس ( $LFC$ ) در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. میزان بارگذاری در یک سیستم قدرت ثابت نمی‌باشد، لذا برای اطمینان از کیفیت توان در سیستم قدرت، نیازمند به طراحی یک سیستم کنترل بار-فرکانس هستیم تا میزان تولید و فرکانس ژنراتور را در حد مطلوبی کنترل کند. در طول ۲۰ سال اخیر تلاش‌های زیادی انجام گرفته که سیستم  $LFC$  با عملکرد بهتری ساخته شود و استراتژی‌های کنترلی زیادی از سال ۱۹۷۰ به بعد برای آن ارائه شده‌است.

یک کارخانه صنعتی از قبیل یک نیروگاه قدرت همیشه شامل پارامترهای نامعلوم است که در طراحی کنترل کننده باید مدنظر قرار گیرند. در غیر این صورت، اگر نیروگاه واقعی نسبت به آن چیزی که فرض شده تغییر یابد کنترل کننده طراحی شده توسط روش طراحی کلاسیک ممکن است نتواند پایداری کل سیستم را اطمینان دهد.

اخیراً نویسندگان زیادی به مبحث سیستم‌های با ساختار متغیر ( $VSS$ ) برای طراحی  $LFC$  روی آورده‌اند. کنترل کننده  $VSS$  ساختار سیستم را با توجه به بعضی قوانین تغییر ساختاری عوض می‌کند که عملکرد دینامیکی سیستم را بهبود می‌بخشد و کنترل کننده را نسبت به تغییرات پارامترها غیر حساس می‌کند در اینجا یک کنترل کننده فیدبک خطی ثابت مقاوم برای سیستم‌های قدرت طراحی شده که از مبحث رابطه  $Riccati$  استفاده شده‌است.

کنترل کننده مقاوم پیشنهادی می‌تواند پایداری کلی سیستم را برای تمام عدم قطعیت‌های قابل قبول نوید دهد، حتی در حضور محدودیت نرخ تولید ( $GRC$ ) عملکرد خوبی را از کنترل کننده پیشنهادی شاهد خواهیم بود.

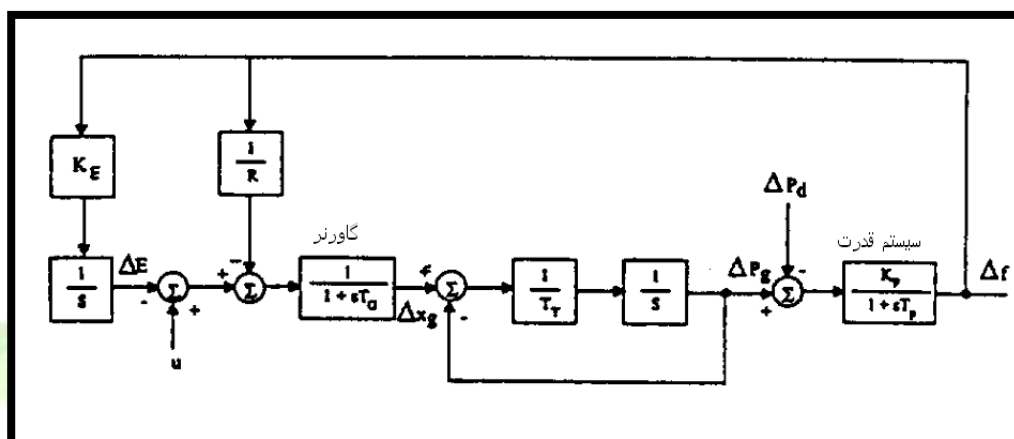
## ۲-۴ مدل نیروگاه

سیستم‌های قدرت دارای مدل دینامیکی غیرخطی پیچیده‌ای می‌باشند، ولی از آنجایی که سیستم قدرت در طی عملکرد معمولی خود فقط تحت تغییرات کوچک بار قرار می‌گیرد مدل خطی‌سازی شده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و برای نمایش رفتار دینامیکی سیستم قدرت حول نقطه کار کافی خواهد بود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازم

مبحث طراحی معمول برای LFC از تئوری کنترل خطی برای توسعه قوانین کنترل بر اساس مدل خطی استفاده میکند. با وجود این از آنجا که پارامترهای سیستم به طور کلی نامعلوم هستند کنترل کننده طراحی شده بر اساس یک مدل با پارامترهای ثابت برای نیروگاه حقیقی ممکن است درست کار نکند لذا برای اینکه این پارامترها مدنظر قرار گیرند در این مقاله ما از رابطه Riccati برای طراحی یک LFC مقاوم استفاده می‌کنیم.

نمایش بلوکی مدل خطی شده نیروگاه در شکل زیر آورده شده است :



شکل ۱-۴: نمایش بلوکی سیستم قدرت نمونه

مدلی که ما در اینجا مورد توجه قرار داده‌ایم می‌تواند اینگونه نوشته شود:

$$\Delta \dot{f} = -\frac{1}{T_p} \Delta f(t) + \frac{K_p}{T_p} \Delta P_g(t) - \frac{K_p}{T_p} \Delta P_d(t) \quad (4-1)$$

$$\Delta \dot{P}_g(t) = -\frac{1}{T_T} \Delta P_g(t) + \frac{1}{T_T} \Delta X_g(t) \quad (4-2)$$

$$\Delta \dot{X}_g(t) = -\frac{1}{RT_G} \Delta f(t) - \frac{1}{T_G} \Delta X_g(t) - \frac{1}{T_G} \Delta E(t) + \frac{1}{T_G} u(t) \quad (4-3)$$

که:

$\Delta f(t)$ : تغییرات افزایشی فرکانس به هرتز؛

$\Delta P_g(t)$ : تغییرات افزایشی خروجی ژنراتور به MW.p.u.؛

$\Delta X_g(t)$ : تغییرات افزایشی موقعیت شیر گاورنر؛

$\Delta E(t)$ : تغییرات افزایشی در کنترل انتگرال؛

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$\Delta P_d(t)$ : اغتشاش بار به  $p.u. MW$ ؛

$T_G$ : ثابت زمانی گاورنر به ثانیه؛

$T_T$ : ثابت زمانی توربین به ثانیه؛

$T_P$ : ثابت زمانی مدل نیروگاه به ثانیه؛

$K_P$ : بهره نیروگاه؛

$R$ : تنظیم سرعت به  $Hz p.u. MW^{-1}$ ؛

سیگنال کنترل انتگرالی  $\Delta f(t)$ ، به صورت زیر می باشد:

$$\Delta E(t) = K_E \int_0^t \Delta f(\tau) . d\tau \quad (۴)$$

$$\Delta \dot{E}(t) = K_E \Delta f(t) \quad -$$

(۴)

که  $K_E$  بهره کنترل انتگرالی است.

می توان مدل مذکور را بر اساس معادلات فضای حالت به صورت زیر بازنویسی کرد:

(۴-۵)

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + F \Delta P_d(t)$$

که:

$$x(t) = [\Delta f(t) \quad \Delta P_g(t) \quad \Delta X_g(t) \quad \Delta E(t)]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_P} & \frac{K_P}{T_P} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_T} & \frac{1}{T_T} & 0 \\ -\frac{1}{RT_G} & 0 & -\frac{1}{T_G} & -\frac{1}{T_G} \\ K_E & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B^T = [0 \quad 0 \quad \frac{1}{T_G} \quad 0]$$

$$F^T = [-\frac{K_P}{T_P} \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

محدوده تغییر پارامترهای سیستم به صورت زیر می باشد:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\frac{1}{T_p} \in [a_1 \quad \bar{a}_1] \quad \frac{K_p}{T_p} \in [a_2 \quad \bar{a}_2] \quad \frac{1}{T_r} \in [a_3 \quad \bar{a}_3]$$

$$\frac{1}{T_G} \in [a_4 \quad \bar{a}_4] \quad \frac{1}{RT_G} \in [a_5 \quad \bar{a}_5]$$

که  $a_i \quad \bar{a}_i$  ( $i=1, \dots, 5$ ) ثابتهای معلوم می‌باشند.

### ۴-۳ طراحی کنترل کننده

در مدل نیروگاه بیان شده با رابطه (۴-۵) مقدار  $\Delta P_d(t)=0$  را قرار دهید. از آنجایی که پارامترهای سیستم دقیقاً مشخص نیستند، لذا مدل زیر را که عدم قطعیت را نیز در بر دارد، مورد استفاده قرار می‌دهیم:

$$\dot{x}(t) = (\bar{A} + \Delta A)x(t) + (\bar{B} + \Delta B)u(t) \quad (4-6)$$

ماتریسهای  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$ ، ماتریسهای ثابت نامی هستند. از ساختار مدل سیستم واضح است که ماتریس  $\Delta A$ ، عدم قطعیت از بعد یکم می‌باشد. یعنی:

$$\Delta A = \sum_{i=1}^3 A_i r_i(t)$$

$A_i$  ها ماتریسهای ثابت هستند،  $\Delta B = \alpha(t)\bar{B}$ ،  $|r_i(t)| \leq \bar{r}$  و  $|\alpha(t)| \leq \alpha$ . ثابتهای  $\alpha$  و  $\bar{r}$  نیز معلوم‌اند.

ما می‌خواهیم کنترل کننده فیدبک خطی  $u(t) = -Kx(t)$  را به گونه‌ای طراحی کنیم که برای تمام عدم قطعیت‌های قابل قبول سیستم حلقه بسته کلی به طور مجانبی پایدار باشد.

به دلیل اینکه  $rank$  عدم قطعیت‌ها برابر ۱ است، می‌توان  $A_i$  ها را بصورت زیر نوشت:

$$A_i = d_i e_i^T \quad (7)$$

(۴)

که  $d_i$  و  $e_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) بردارهای ثابت و معلوم می‌باشند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در ادامه مباحث مطرح شده در مراجع [۶و۵]، تعاریف زیر را انجام می دهیم:

$$T = \bar{r} \sum_{i=1}^3 d_i d_i^T \quad (4-8)$$

$$U = \bar{r} \sum_{i=1}^3 e_i e_i^T \quad (4-9)$$

روش حل مسئله طراحی یک کنترل کننده بار-فرکانس مقاوم برای سیستم قدرت شامل حل کردن رابطه جبری معادله ریکاتی زیر است:

$$P\bar{A} + \bar{A}^T P - P\left\{\frac{2}{\varepsilon}(1-\alpha)\bar{B}R_\varepsilon^{-1}\bar{B}^T - \frac{1}{\varepsilon_1}T\right\}P + \varepsilon_1 U + \varepsilon Q = 0 \quad (4-10)$$

که  $\varepsilon > 0$  و  $\varepsilon_1$  و ماتریسهای  $Q$  و  $P$  ماتریسهای مثبت معین هستند که توسط طراح انتخاب می شوند. روش پیشنهادی برای حل رابطه بالا در مراجع [۷و۶] موجود است، که نتایج زیر از آن قابل حصول اند:

• اگر برای برخی از  $\varepsilon, \varepsilon_1 > 0$  ها، یک جواب مثبت معین برای  $P$  در رابطه (۴-۱۰) موجود باشد آنگاه سیستم برای تمامی مقادیر عدم قطعیت های قابل قبول به طور مجانبی پایدار خواهد بود و روابط (۴-۷) تا (۴-۹) را توسط قانون فیدبک خطی زیر ارضا می کند:

$$u(t) = -\frac{1}{\varepsilon} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T P x(t) \quad (4-11)$$

برای اثبات فرض می کنیم که تابع لیپانوف به صورت  $V(x) = x^T P x$  باشد، آنگاه مشتق  $V(x)$  برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= x^T P \bar{A} x + x^T \bar{A}^T P x + 2x^T P \left( \sum_{i=1}^3 A_i f_i \right) x \\ &\quad - \frac{2}{\varepsilon} x^T P \bar{B} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T P x - \frac{2}{\varepsilon} \alpha(t) x^T P \bar{B} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T P x \end{aligned}$$

حال

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$2x^T P \left( \sum_{i=1}^3 A_i r_i \right) x = 2x^T P \left( \sum_{i=1}^3 d_i e_i^T r_i \right) x$$

$$\leq \bar{r} \frac{1}{\varepsilon_1} x^T P \left( \sum_{i=1}^3 d_i d_i^T \right) P x + \bar{r} \varepsilon_1 x^T \left( \sum_{i=1}^3 e_i e_i^T \right) x$$

$$= \frac{1}{\varepsilon_1} x^T P T P x + \varepsilon_1 x^T U x$$

که  $\varepsilon_1 > 0$ .

با استفاده از نا مساوی فوق داریم:

$$\dot{V} \leq x^T [P\bar{A} + \bar{A}^T P - P \left\{ \frac{2}{\varepsilon} (1-\alpha) \bar{B} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T + \frac{1}{\varepsilon_1} T \right\} P + \varepsilon_1 U] x$$

اگر رابطه (۴-۱۰) برقرار باشد، داریم:

$$\dot{V} \leq -\varepsilon x^T Q x \leq 0$$

توجه کنید که وقتی پارامترهای سیستم مقادیر نرمال را دارند، بهترین عملکرد سیستم توسط قانون کنترل (۴-۱۱) قابل بهره‌گیری است.

$$u(t) = -\frac{1}{\varepsilon} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T P x(t)$$

سیستم قدرت (۴-۶) به طور مجانبی برای تمام مقادیر عدم قطعیت مجاز پایدار است و خواهیم

داشت:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta f(t) = 0$$

در ادامه روش طراحی کنترل کننده پیشنهادی را توضیح خواهیم داد و پاسخ سیستم به تغییر بار

$\Delta P_d(t) = 0.01$  را مورد مطالعه قرار خواهیم داد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

سیستم مدل شده با معادلات (۴-۱) تا (۴-۴) را در نظر می گیریم. فرم کلی معادلات حالت به شکل

زیر است:

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + F \Delta P_d(t)$$

که  $A = (\bar{A} + \Delta A)$ ,  $B = (\bar{B} + \Delta B)$  و  $F = (\bar{F} + \Delta F)$ . اکنون مقادیر نامی پارامترها را مطابق زیر انتخاب

می کنیم:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} -0.0665 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & -3.663 & 3.663 & 0 \\ -6.86 & 0 & -13.736 & -13.736 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{B} = [0 \ 0 \ 13.736 \ 0]^T$$

$$\bar{F} = [-8 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

بازه تغییرات پارامترهای سیستم هم در محدوده‌های زیر می باشد:

$$\frac{1}{T_p} \in [0.033 \ 0.1] \quad \frac{K_p}{T_p} \in [4 \ 12] \quad \frac{1}{T_r} \in [2.564 \ 4.762]$$

$$\frac{1}{T_G} \in [9.615 \ 17.857] \quad \frac{1}{RT_G} \in [3.081 \ 10.639]$$

به خاطر عدم قطعیت‌های از مرتبه ۱، خواهیم داشت:

$$\Delta A = \sum_{i=1}^3 A_i r_i(t)$$

که

$$A_1 = d_1 e_1^T = [2 \ 0 \ 0 \ 0]^T [-0.01675 \ 2 \ 0 \ 0]$$

$$A_2 = d_2 e_2^T = [0 \ 2 \ 0 \ 0]^T [0 \ -0.5495 \ 0.5495 \ 0]$$

$$A_3 = d_3 e_3^T = [0 \ 0 \ 10 \ 0]^T [-0.3779 \ 0 \ -0.4121 \ 0.4121]$$

$$|r_i(t)| \leq \bar{r} \leq 1$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$T = \sum_{i=1}^3 d_i d_i^T = \text{diag}\{4 \ 4 \ 100 \ 0\}$$

$$U = \sum_{i=1}^3 e_i e_i^T = \begin{bmatrix} 0.1431 & -0.0335 & 0.1557 & 0.1557 \\ -0.0335 & 4.302 & -0.302 & 0 \\ 0.1557 & -0.302 & 0.4718 & 0.1698 \\ 0.1557 & 0 & 0.1698 & 0.1698 \end{bmatrix}$$

و  $\Delta B = \alpha(t)\bar{B}$  ؛  $\Delta F = \beta(t)\bar{F}$  ( که  $|\alpha(t)| \leq \alpha = 0.3$  ،  $|\beta(t)| \leq \beta = 0.5$  )

با انتخاب  $\varepsilon_1=5$ ،  $Q=I$ ،  $\varepsilon=1$  و  $R=1$ ، حل معادله ریکاتی نتیجه زیر را بدست می‌دهد:

$$u(t) = -Kx(t) = -\frac{1}{\varepsilon} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T P x(t)$$

$$K = -\frac{1}{\varepsilon} R_\varepsilon^{-1} \bar{B}^T P$$

$$= [k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4] = [1.893_1 \ 4.762 \ 1.516 \ 1.658]$$

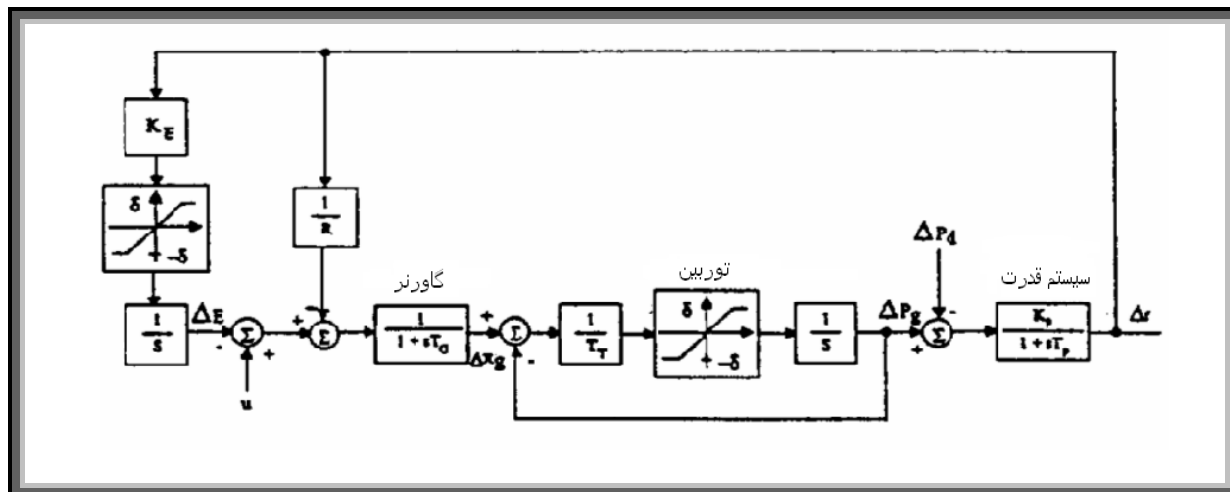
در طراحی و تحلیل بالا، محدودیت نرخ تولید (GRC) مورد توجه قرار نگرفته است. در یک سیستم قدرت واقعی برای ماکزیمم نرخ تغییر تولید توان، یک محدودیتی وجود دارد. نتایج ذکر شده در مراجع [۹۸]. به این نکته اشاره دارند که GRC بطور قابل ملاحظه‌ای پاسخ سیستم قدرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سیستمی که GRC در آن لحاظ شده باشد در قیاس با موردی که GRC در نظر گرفته نشده است، دارای، فرا جهش و *setting time* بزرگتری خواهد بود. بعلاوه از آنجایی که پارامترهای سیستم دقیقاً شناخته شده نیستند، سیستم کلی ممکن است در حضور اغتشاش بار، ناپایدار شود. در این بخش کارایی کنترل کننده بار-فرکانس پیشنهادی را در یک سیستم قدرت با در نظر گرفتن GRC ارزیابی می‌کنیم. اندازه GRC،  $0.1 \text{ p.u.}$  در دقیقه در نظر گرفته شده است. یعنی:

$$\Delta \dot{P}_g \leq \delta = 0.0017 \text{ p.u. MW/sec}$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

GRC با اضافه کردن یک محدود کننده به بلوک توربین مدل می‌شود. نمایش بلوکی مدل نیروگاه با GRC

در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲-۴: نمایش بلوکی سیستم قدرت با در نظر گرفتن GRC

تغییرات بار را  $0.01 p.u.$  فرض کنید، یعنی  $\Delta P_d(t) = 0.01$ .

➤ ابتدا گروه‌های مختلفی از پارامترهای سیستم را انتخاب می‌کنیم.

A: با مقادیر پارامترهای نامی

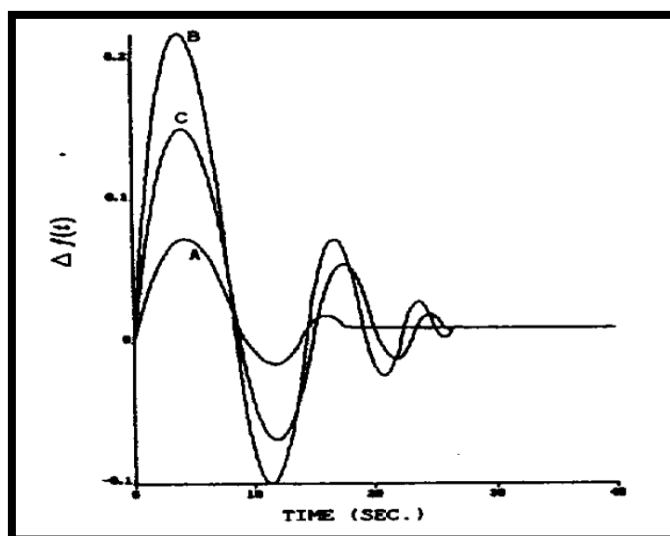
$$B: \frac{1}{RT_G} = 10.639, \frac{1}{T_G} = 17.857, \frac{1}{T_T} = 4.762, \frac{K_P}{T_P} = 12, \frac{1}{T_P} = 0.1$$

$$C: \frac{1}{RT_G} = 3.081, \frac{1}{T_G} = 9.615, \frac{1}{T_T} = 2.564, \frac{K_P}{T_P} = 4, \frac{1}{T_P} = 0.033$$

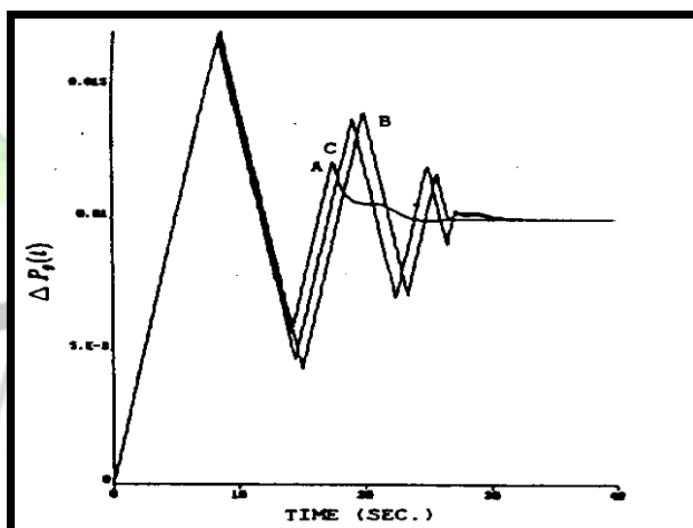
نتایج شبیه‌سازی توسط مؤلف  $\Delta f(t)$ ،  $\Delta P_g(t)$  و  $\Delta X_g(t)$  برای کنترل‌کننده پیشنهادی در شکل‌های

۳-۴ تا ۵-۴ نشان داده شده‌اند. در این شبیه‌سازی‌ها GRC برابر است با  $\delta = 0.0017$ .

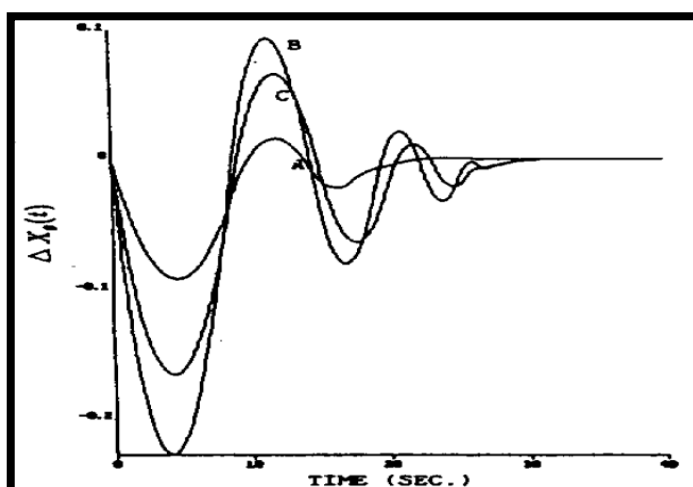
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۳-۴: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای پارامترهای متفاوت



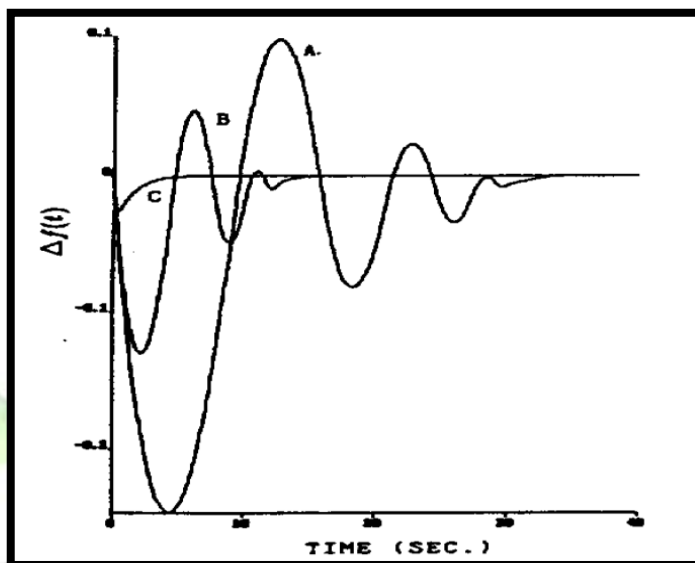
شکل ۴-۴: پاسخ  $\Delta P_g(t)$  برای پارامترهای متفاوت



شکل ۴-۵: پاسخ  $\Delta X_g(t)$  برای پارامترهای متفاوت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- حال سیستم با پارامترهای نامی را در نظر بگیرید. شکل ۴-۶ پاسخ  $\Delta f(t)$  را در حالت با GRC
- و بدون آن نشان می دهد.
- A : با GRC ،  $\delta=0.0017$  ؛
- B : با GRC ،  $\delta=0.0034$  ؛
- C : بدون GRC ؛



شکل ۴-۶: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای GRC های متفاوت

- پارامترهای سیستم را بصورت زیر در نظر بگیرید:

$$A: \quad \frac{1}{RT_G} = 6.86, \frac{1}{T_G} = 13.736, \frac{1}{T_T} = 3.663, \frac{K_P}{T_P} = 12, \frac{1}{T_P} = 0.0665$$

یعنی همه پارامترهای سیستم مقادیر نامی باشند بجز  $K_P$  که اندازه آن برابر است با  $K_P=180$  ؛

B : با پارامترهای نامی ؛

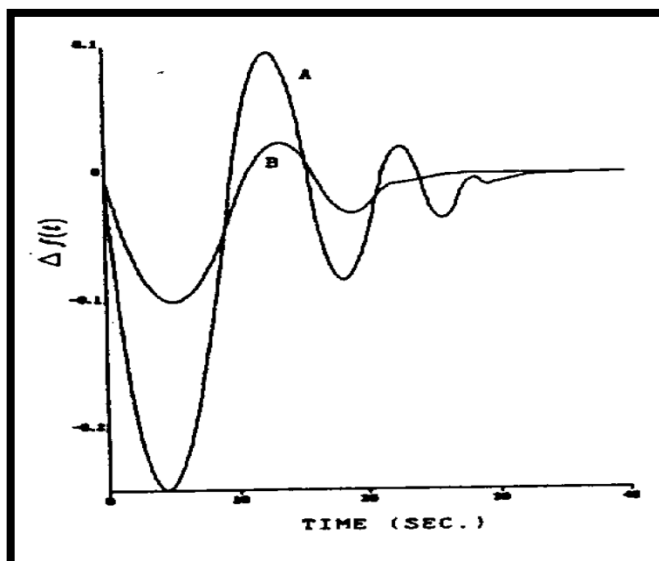
شکل ۴-۷ پاسخ  $\Delta f(t)$  را با GRC  $\delta=0.0017$  برای دو حالت A و B نشان می دهد.

بررسی نتایج این شبیه سازی ها نشان می دهد کنترل کننده پیشنهادی، سیستم قدرت را برای تمام عدم قطعیت های قابل قبول و با در نظر گرفتن GRC ، بطور مجانبی پایدار می سازد. یعنی:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta f(t) = 0$$

نتایج شبیه سازی در شکل ۴-۷ نشان می دهد که پاسخ نیروگاه به بهره نیروگاه  $K_P$  ، نسبت به سایر پارامترها، بسیار حساس تر است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



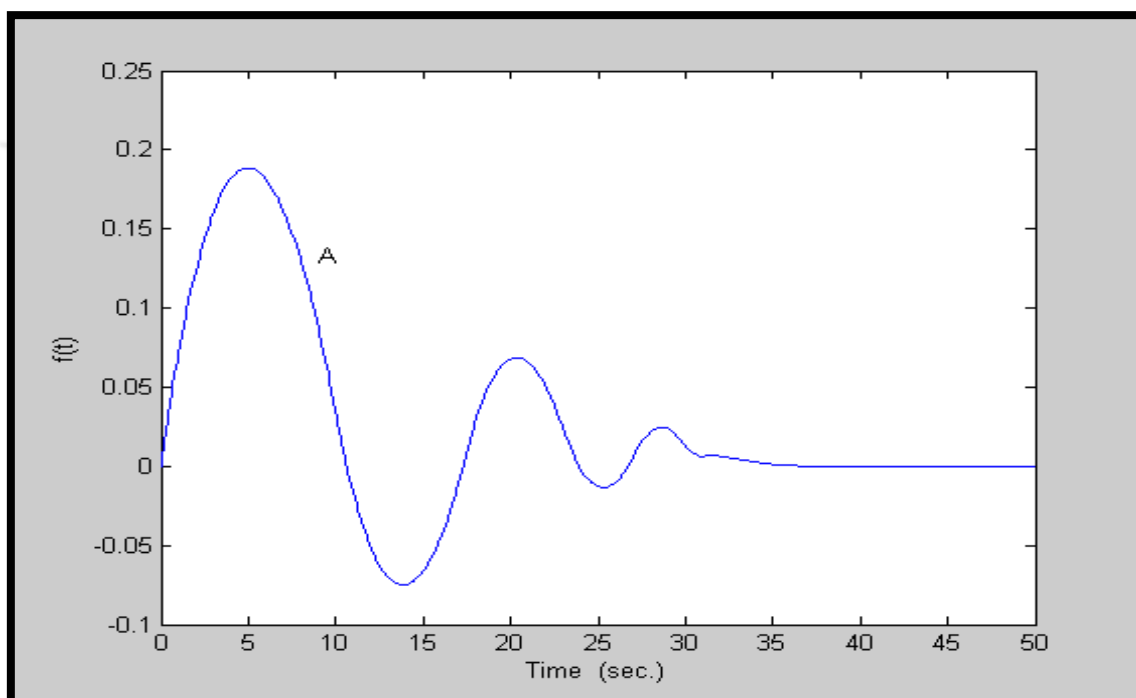
شکل ۷-۴: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای  $K_p$  های متفاوت

این شبیه‌سازی‌ها همچنین این نکته را تأیید می‌کنند که موقعی که  $GRC$  لحاظ شده باشد سیستم، فرا جهش و  $setting\ time$  بزرگتری را در مقایسه با موردی که  $GRC$  در نظر گرفته نشده باشد، خواهد داشت.

WikiPower.ir

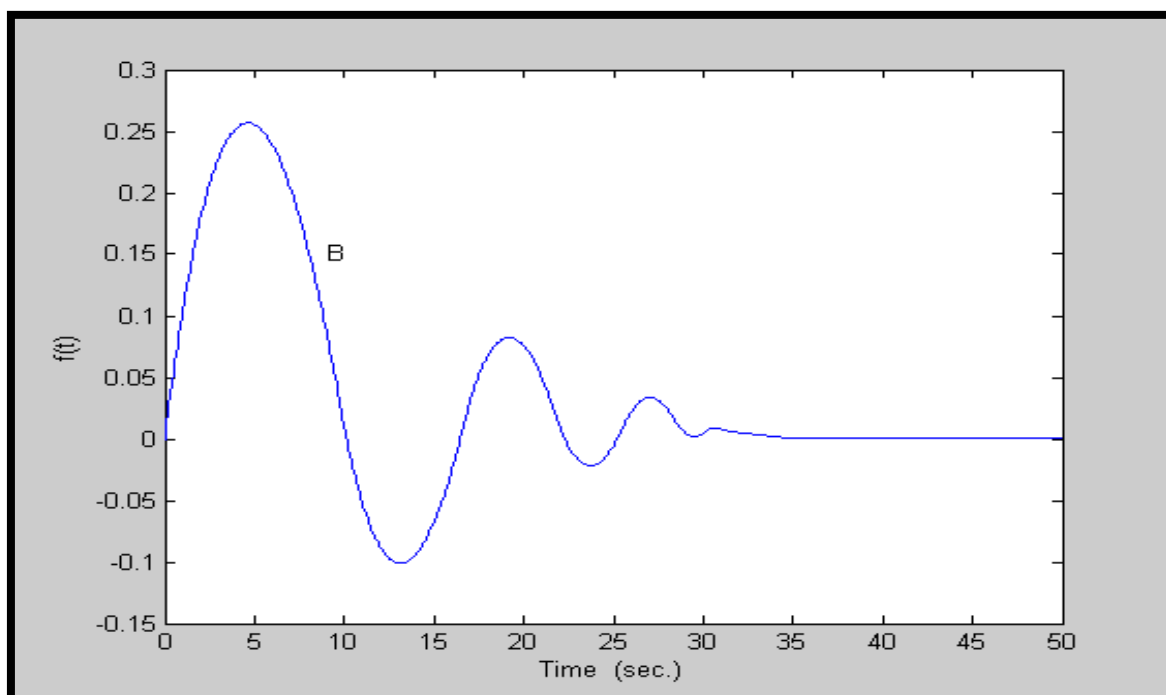
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۴ نتایج بدست آمده از شبیه سازی توسط Simulink :

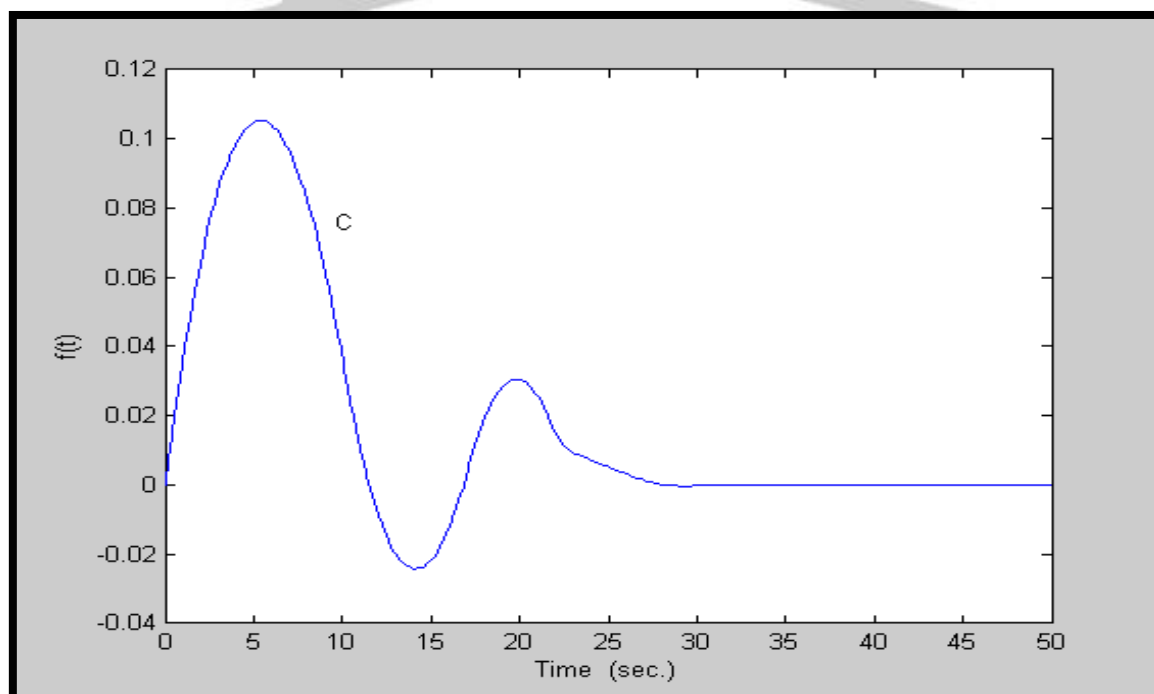


شکل ۴-۸: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای سیستم با پارامترهای نامی (گروه A)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



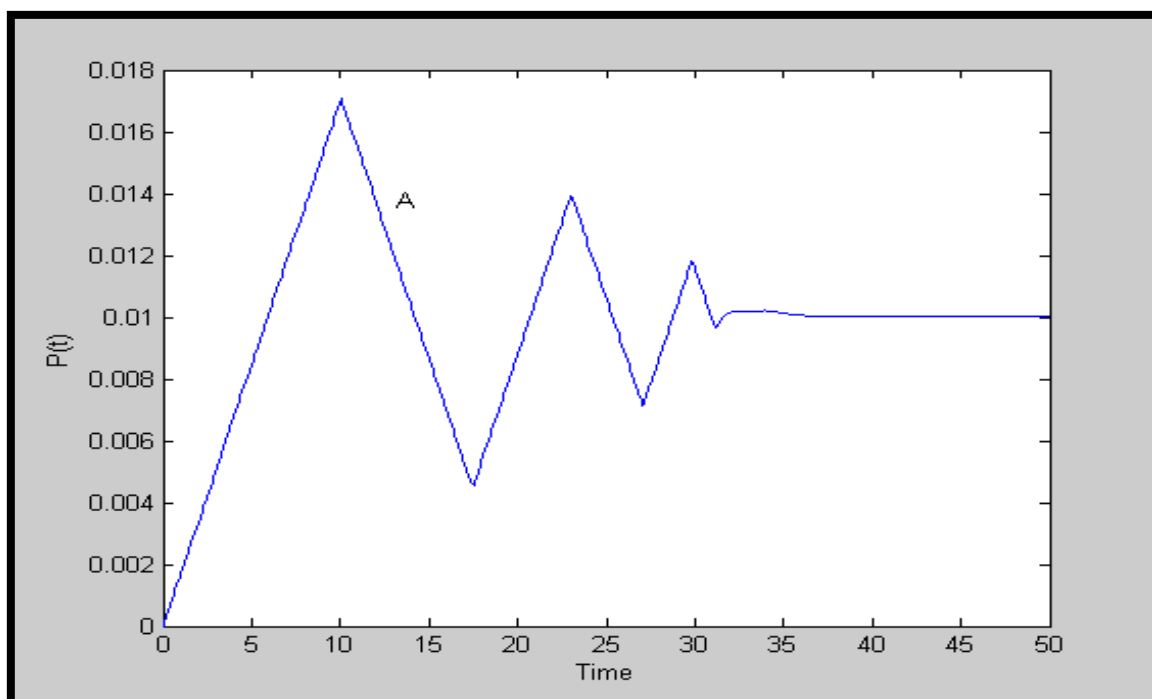
شکل ۹-۴: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای سیستم با پارامترهای گروه دوم (گروه B)



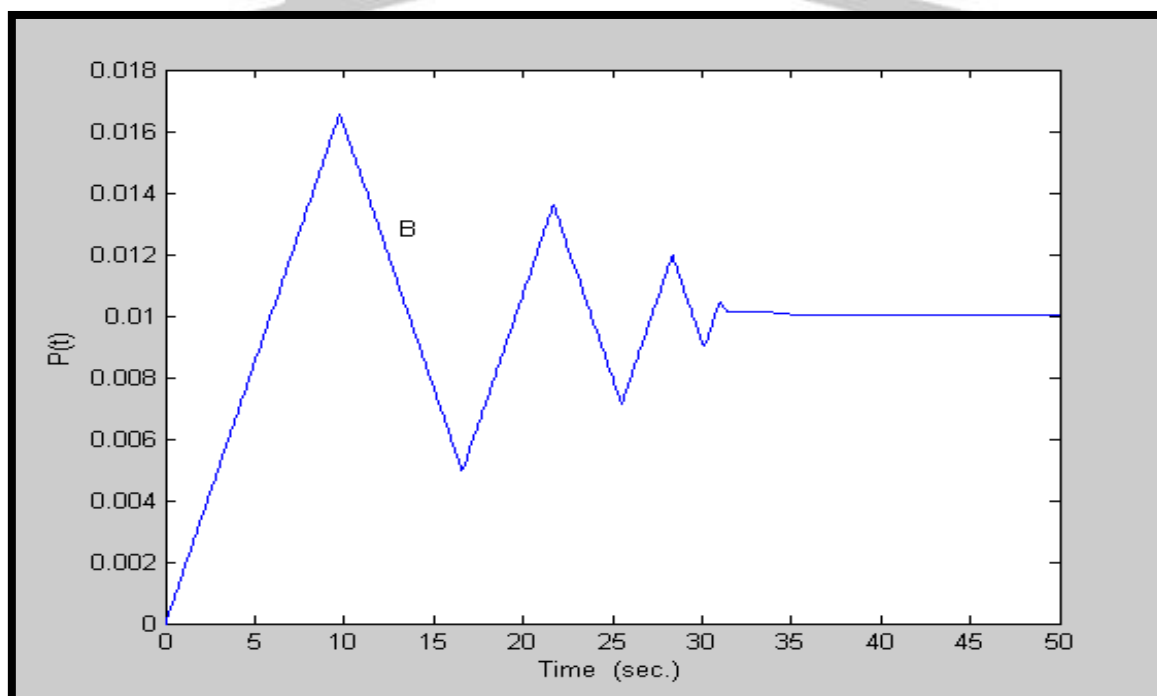
شکل ۱۰-۴: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای سیستم با پارامترهای گروه سوم (گروه C)



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

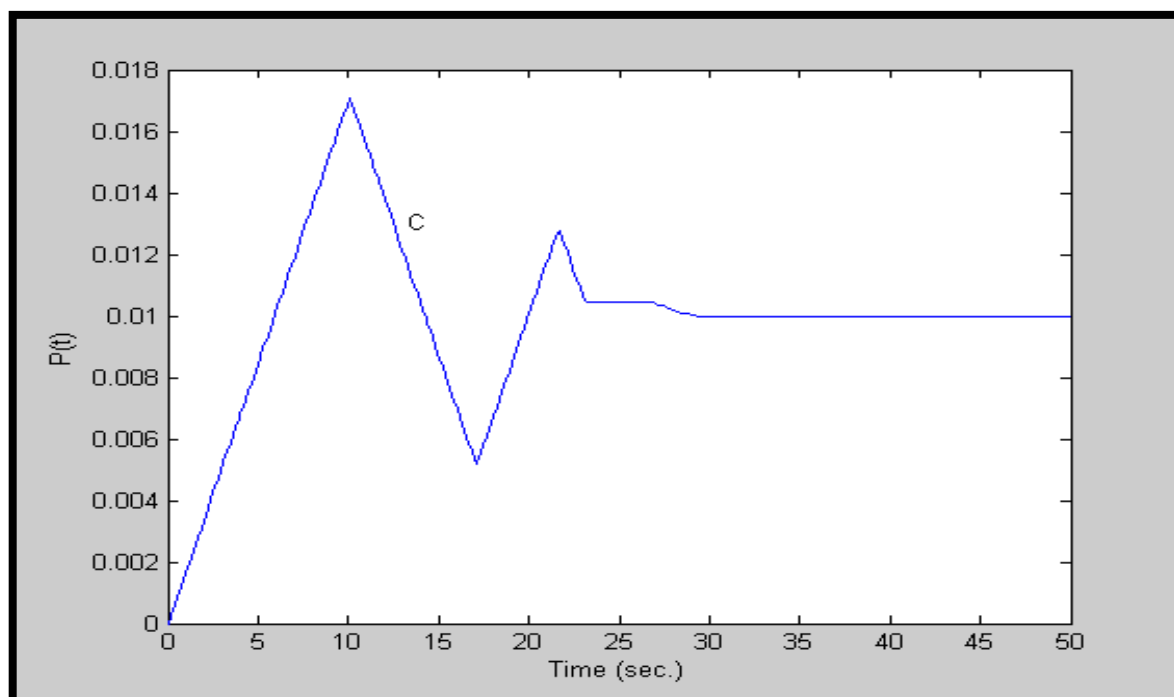


شکل ۴-۱۱: پاسخ  $\Delta P_g(t)$  برای سیستم با پارامترهای نامی (گروه A)

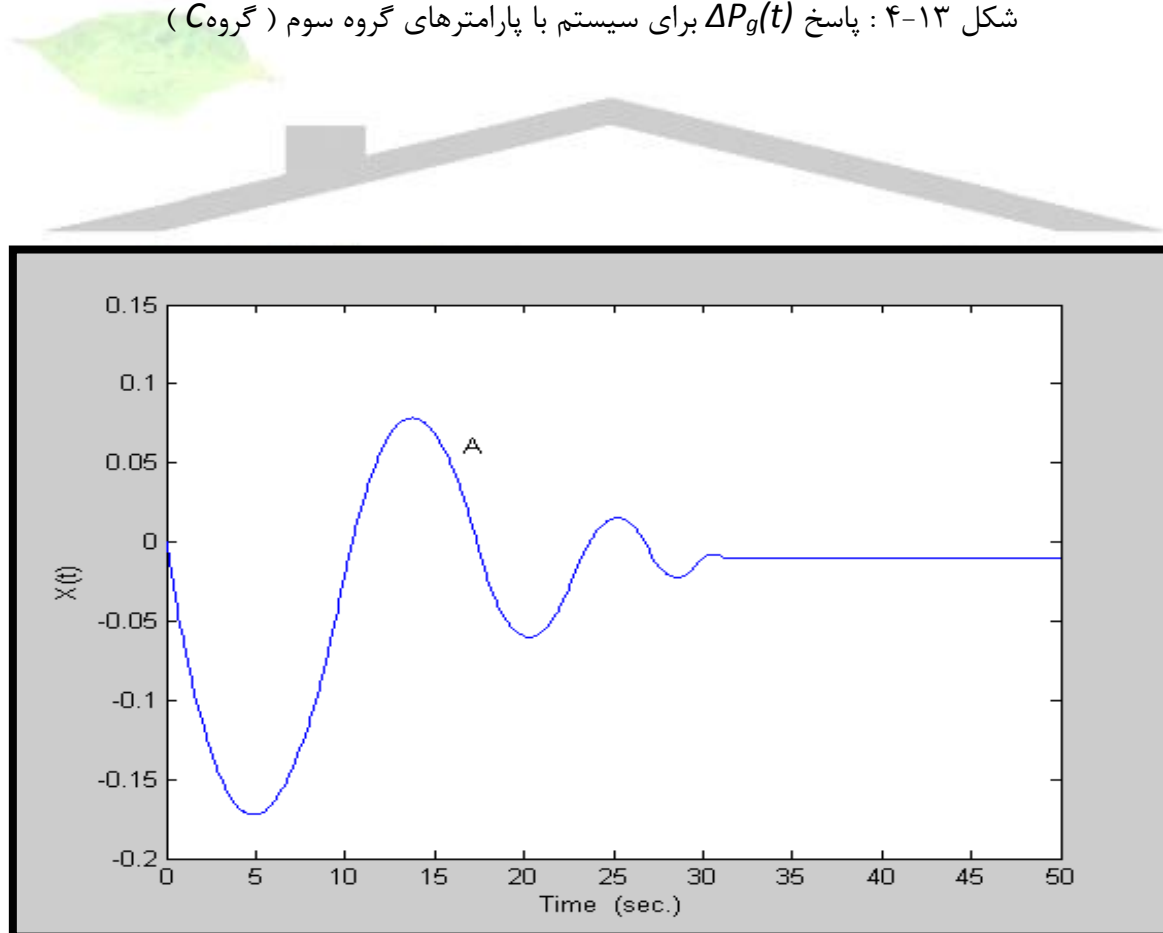


شکل ۴-۱۲: پاسخ  $\Delta P_g(t)$  برای سیستم با پارامترهای گروه دوم (گروه B)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

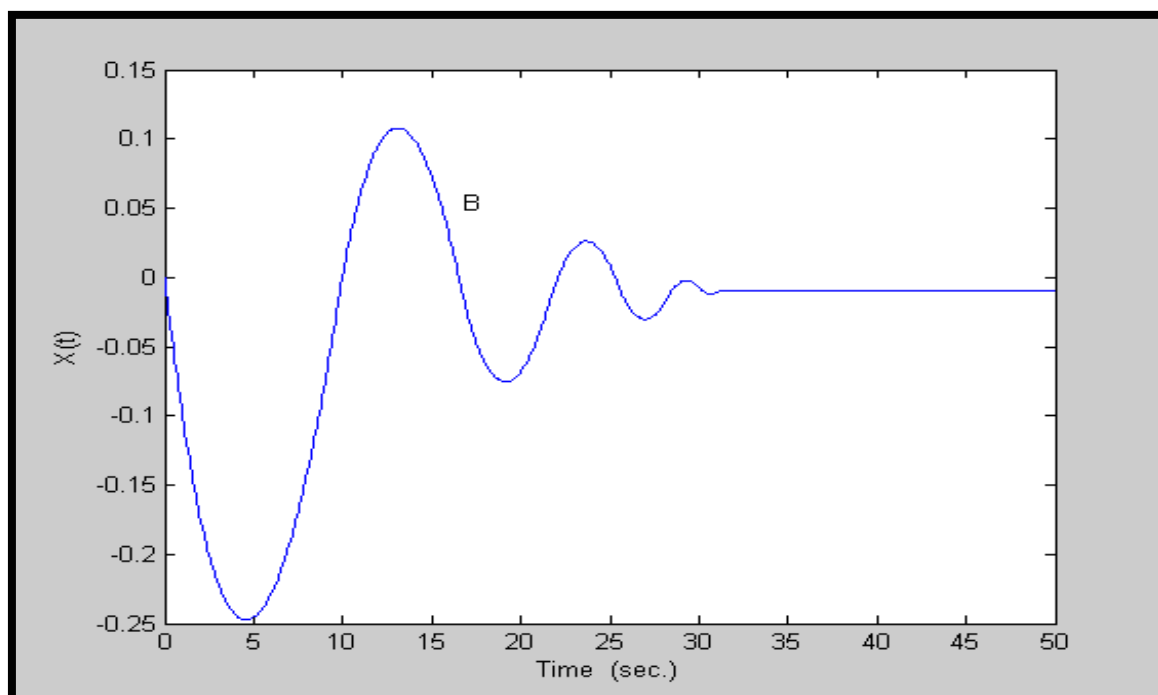


شکل ۴-۱۳: پاسخ  $\Delta P_g(t)$  برای سیستم با پارامترهای گروه سوم (گروه C)

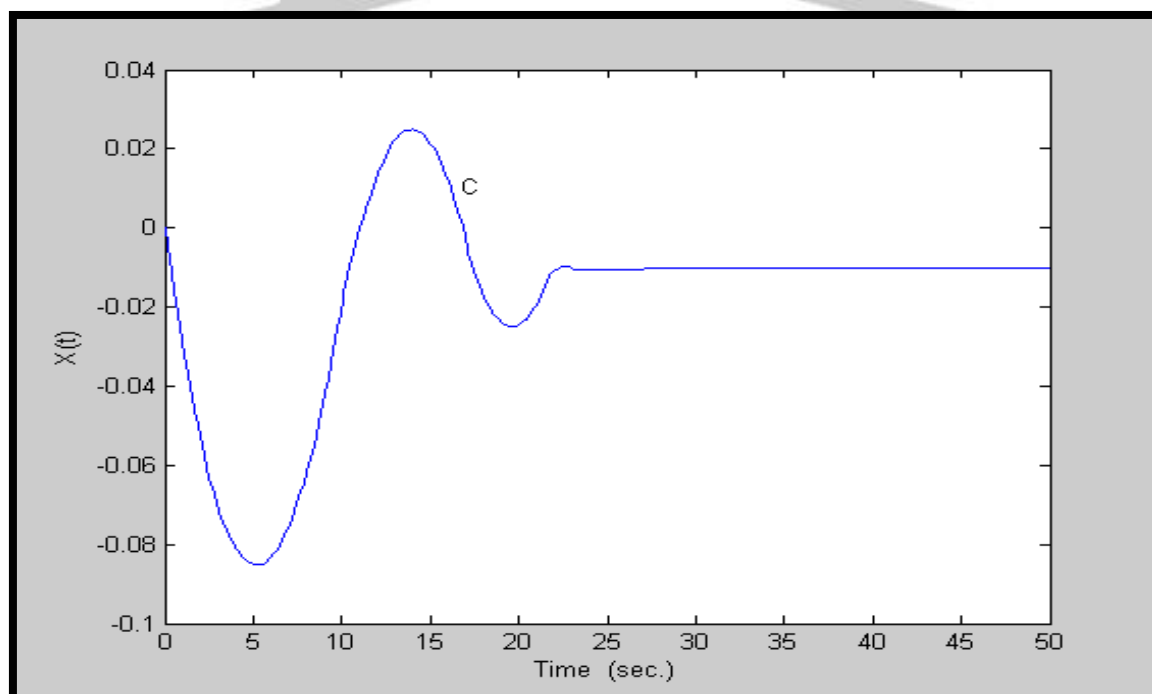


شکل ۴-۱۴: پاسخ  $\Delta X_g(t)$  برای سیستم با پارامترهای نامی (گروه A)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



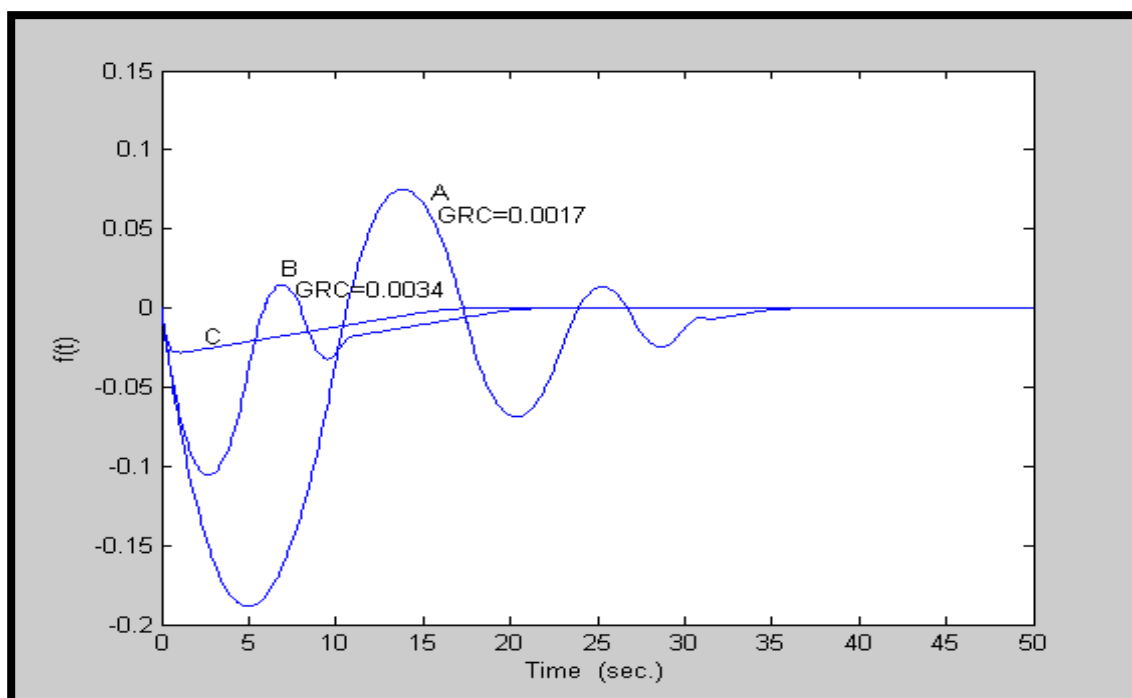
شکل ۴-۱۵: پاسخ  $\Delta X_g(t)$  برای سیستم با پارامترهای گروه دوم (گروه B)



شکل ۴-۱۶: پاسخ  $\Delta X_g(t)$  برای سیستم با پارامترهای گروه سوم (گروه C)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

و برای سیستم با پارامترهای نامی و  $GRC$  های مختلف نتایج زیر از شبیه‌سازی حاصل شده است:

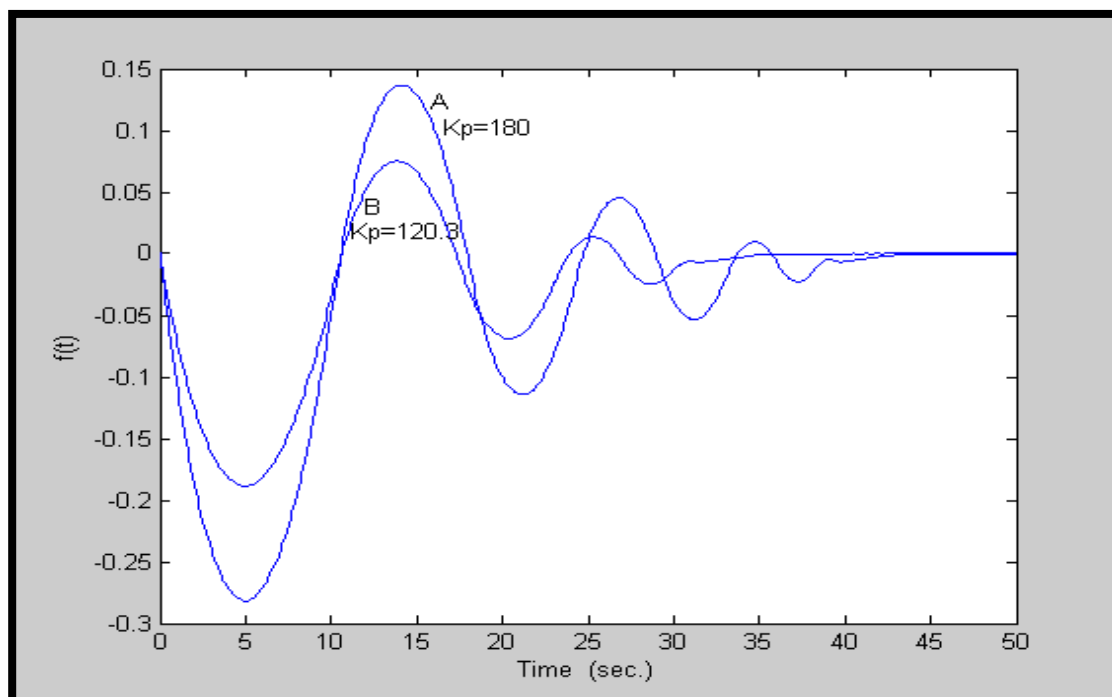


شکل ۱۷-۴: پاسخ برای سیستم‌های با  $GRC$  های متفاوت، و سیستم بدون  $GRC$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سیستم با پارامترهای نامی و  $K_p$  های مختلف، یکی مقدار نامی  $K_p=120.3$  و دیگری  $K_p=180$  نتایج

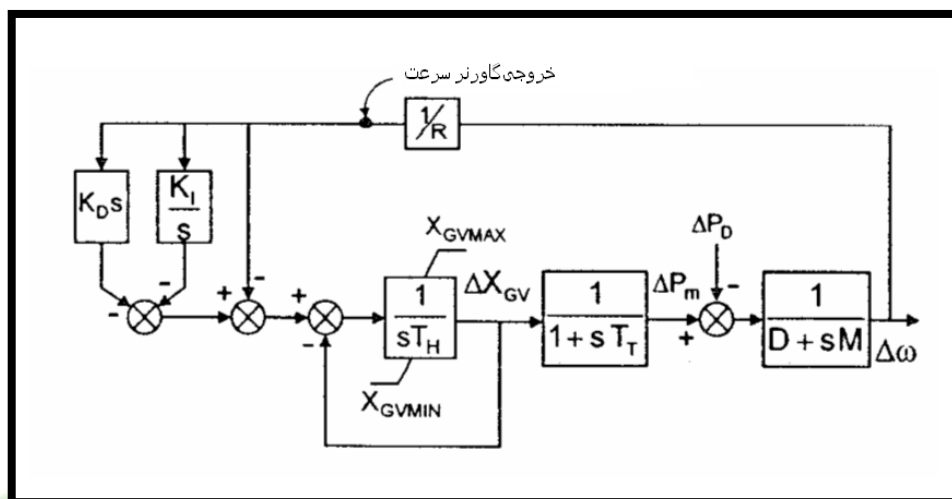
زیر را بدست داده‌است:



شکل ۴-۱۸: پاسخ  $\Delta f(t)$  برای سیستم‌های با  $K_p$  های متفاوت، و پارامترهای نامی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

## فصل پنجم:



شکل ۳-۵: نمایش بلوکی طرح LFC پیشنهادی

حالت ۱: بدون حلقه کنترلی انتگرالی ( $K_L = 0$ )

در این حالت تابع انتقال حلقه باز بوسیله رابط زیر داده می شود.

$$G_1(s)H_1(s) = \frac{1}{R} \cdot \frac{(1 + sK_D)}{(1 + sT_H)(1 + sT_T)(D + sM)} \quad (5-4)$$

مکان هندسی ریشه ها رفتار تساوی بالا با مادیر مختلف  $K_D$  با استفاده از پارامتر های ژنراتور داده

شده در جدول آزمایش می شود.

وقتی ( $K_D = 0/4$ )، زاویه های خطوط مجانب، نقاط برخورد آنها با محور آنها با محور اعداد حقیقی و

نقاط جدایی روی مکان هندسی ریشه ها به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$\sigma_A = \frac{(\sum \text{poles} - \sum \text{zeros})}{N_p - N_z} = -5.50$$

زاویه های خطوط مجانب

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\theta_0 = \pi/2, \theta_1 = 3\pi/2 \quad \text{نقاط برخورد} \quad (5-5)$$

$$\sigma_C = -6.072 \quad \text{نقاط جدایی}$$

مکان هندسی ریشه های مربوطه در شکل ۴-۵ الف نمایش داده شده است.

وقتی  $K_D = 0.3$ ، زاویه های خطوط مجانب نقاط برخورد آنها با محور اعداد حقیقی و نقاط جدایی

روی مکان هندسی ریشه های به صورت زیر محاسبه می شوند.

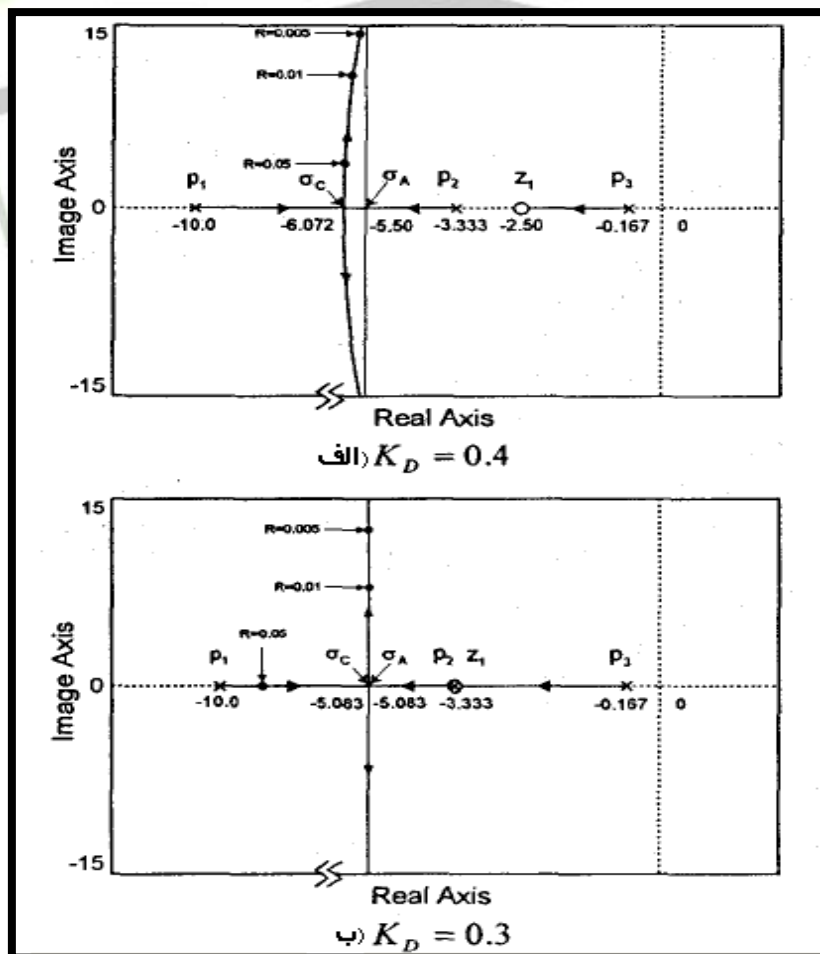
$$\theta_0 = \pi/2, \theta_1 = 3\pi/2 \quad \text{زاویه های خطوط مجانب}$$

$$\sigma_A = -5.083 \quad \text{نقاط برخورد} \quad (5-6)$$

$$\sigma_C = -6.072 \quad \text{نقاط جدایی}$$

مکان هندسی ریشه های مربوطه در شکل ۴-۵ ب نمایش داده شده است.

در اینجا باید توجه شود که در حالت بخصوص قطب  $P_2$  با صفر  $Z_1$  کنسل شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۴-۵: مکان هندسی ریشه های برای LFC پیشنهادی بدون حلقه انتگرالی الف:  $(K_D = 0/4)$  ب:  $(K_D = 0.3)$

$$(K_D = 0.3)$$

همانطور که شکل ۴-۵ نشان داده شده است مجانب ها به نقاط برخوردشان در سمت چپ صفحه S عمود هستند.

از مکان هندسی ریشه های بالا دریافت می شود که افزایش حلقه پس خور مشتقی دارای اثری است که از حرکت منحنی مکان هندسی ریشه هایب سمت نیمه راست صفحه S ممانعت به عمل می آورد (با منحنی طرح کنترلی ساده پس خوری در شکل ۲-۵ مقایسه شود)، مکان هندسی ریشه های بالا نشان می دهد طرح کنترلی پیشنهاد شده رنج تثبیت تنظیم فرکاتس R را منسبط می کند. در اینجا باید توجه شود که انتخاب بهره مشتقی  $K_D$  مجانب عمومی به سمت راست حرکت می کند. اگر بهره مشتقی  $K_D$  تا مقدار بحرانی خویش کاهش یابد مجانب عمومی روی محور موهومی قرار می گیرد. مقدار بحرانی بهره مشتقی  $K_{D,crit}$  بصورت زیر بدست می آید.

$$\sigma_A = \frac{1}{2} \left( -\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_T} - \frac{D}{M} + \frac{1}{K_{D,crit}} \right) = 0 \quad (5-7)$$

$$K_{D,crit} = 0.074$$

بنابراین پایداری سیستم تا زمانی که  $K_D$  بیشتر از مقدار بحرانی خود انتخاب شود کاملاً تضمین می شود [۱۰ و ۹].

حالت II: با وجود حلقه کنترلی انتگرالی ( $K_L \neq 0$ )

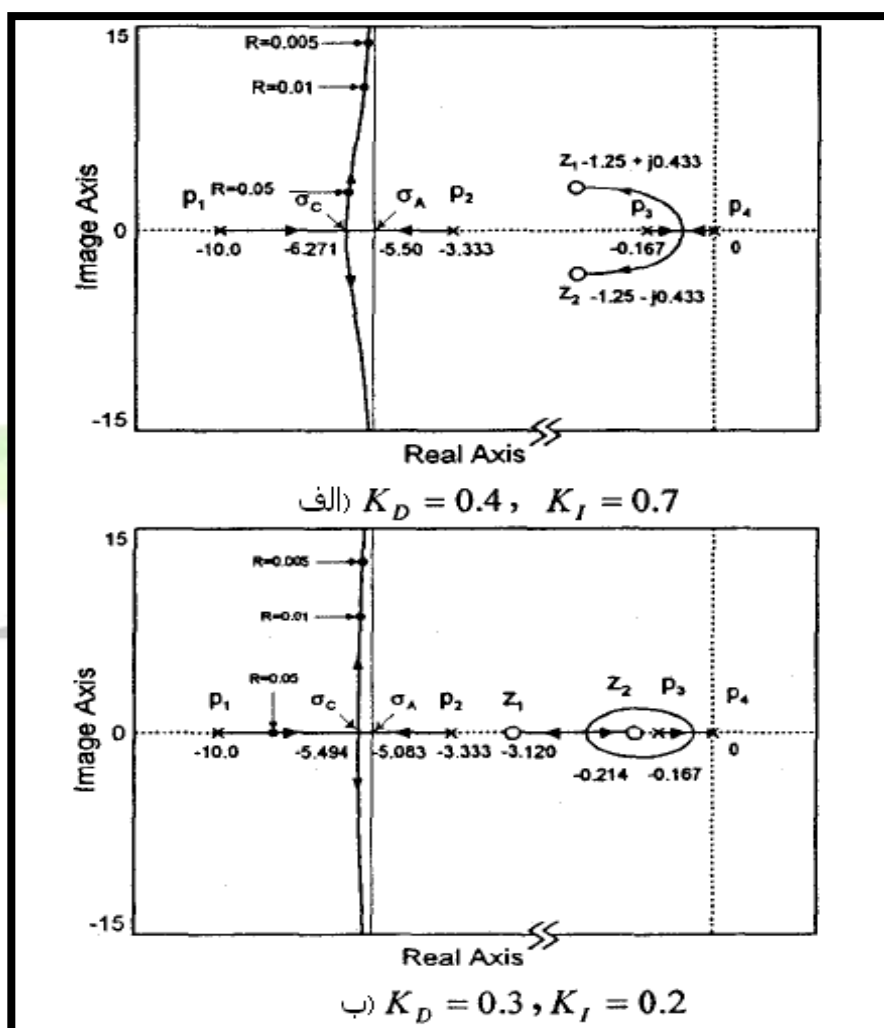
در این حالت تابع انتقال حلقه باز برای سیستم در شکل ۳-۵ به صورت زیر داده می شود.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$G(s)H(s) = \frac{1}{R} \cdot \frac{(K_I + s + s^2 K_D)}{s(1 + sT_H)(1 + sT_T)(D + sM)} \quad (5-8)$$

شکل ۵-۵ مکان هندسی ریشه های حاصل از  $G(s)H(s)$  را برای انواع مقادیر  $K_D, K_I$  با استفاده از پارامترهای دیگر سیستم داده شده در جدول ۵-۱ را نشان می دهد.



شکل ۵-۵: مکان هندسی ریشه های برای LFC پیشنهادی با حلقه انتگرالی الف)  $K_D = 0.4, K_I = 0.7$

ب)  $K_D = 0.3, K_I = 0.2$

مکان هندسی ریشه های شکل ۵-۵ با استفاده از ابزار مکان هندسی ریشه های

MATLAB بدست آمد در این حالت حلقه های انتگرالی و مشتق پس خور، یک قطب و دو صفر

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

به سیستم پس خور نسبی ساده اضافه کرده اند که از هر گونه حرکت سیستم به نیمه راست صفحه S ممانعت به عمل می آورد.

همانطور که در حالت I مشاهده شد، رفتار سیستم حلقه بسته شدیداً به مقدار بهره مشتقی  $K_D$  وابسته است و به محض کم تر شدن  $K_D$ ، مجانب عمودی به سمت راست حرکت کرد، این بدان معنی است که سیستم حلقه بسته می تواند ناپایدار باشد.

برای تضمین پایداری به ازای هر مقدار مثبت R، بهره دیفرانسیلی  $K_D$  باید از مقدار بحرانی خود  $K_{D,crit}$  بزرگتر باشد. مقدار بحرانی بهره مشتقی  $K_{D,crit}$  را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\sigma_A = \frac{1}{2} \left( -\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_T} - \frac{D}{M} + \frac{1 - \sqrt{1 - 4K_{D,crit}K_I}}{2K_{D,crit}} + \frac{1 + \sqrt{1 - 4K_{D,crit}K_I}}{2K_{D,crit}} \right) = 0 \quad (5-9)$$

که مقدار  $K_{D,crit} = 0.074$  به دست می آید.

همچنین باید توجه شود که رفتار پایداری سیستم حلقه بسته به بهره انتگرالی  $K_L$  نیز بستگی دارد. برای بهره انتگرالی بالا مثل  $K_L = 10.0$ ، مکان هندسی ریشه های ممکن است از نیمه راست صفحه عبور کند (شکل ۶-۵) برای تضمین پایداری سیستم به ازای تمام مقادیر R بهره انتگرالی  $K_L$  باید کمتر از مقدار بحرانی خود  $K_{D,crit}$  انتخاب گردد. مقدار بحرانی بهره انتگرالی  $K_{D,crit}$  می تواند بوسیله ضابطه روث هورویتز<sup>۱</sup> به صورت زیر محاسبه شود.

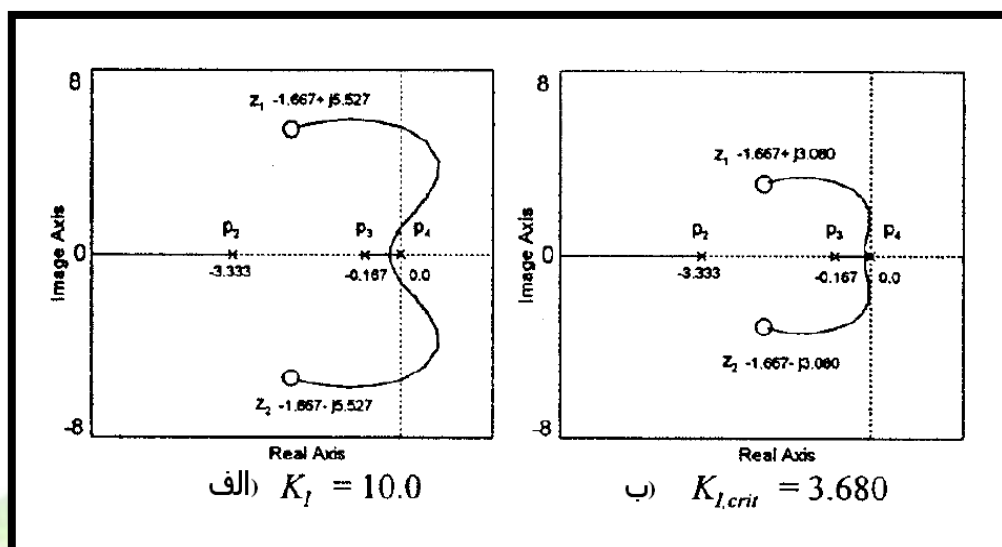
$$K_{L,crit} = 3.680$$

نتیجتاً، طرح LFC پیشنهاد شده شامل حلقه انتگرالی پس خور نیز پایداری سیستم را گارانتی می کند به شرط اینکه بهره مشتقی  $K_D$  از مقدار بحرانی خود  $K_{D,crit}$  بیشتر و بهره انتگرالی  $K_L$  از مقدار بحرانی خود  $K_{L,crit}$  کمتر باشد.

۱- Routh - Hurwitz

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در اینجا بیان این نکته ضروری است که طرح کنترلی پیشنهاد شده می تواند اثرات میرایی را با استفاده از مشتق سیگنال فرکانسی به عنوان پس خور ورودی خود به خوبی بهبود بخشد.



شکل ۵-۶: مکان هندسی ریشه ها برای دو بهره انتگرالی (الف)  $K_I = 10.0$  (ب)  $K_{I,crit} = 3.680$

### ۵-۳ مدل سازی پیلوت هیدرولیکی با توجه به محدودیت های وضعیت سوپاپ:

با سیاست نامنظم سازی، سیستم قدرت با احتمال زیادی در معرض اغتشاشات شدید قرار می گیرد که موجب می شود سیستم نوسان های زیاد و طولانی فرکانسی را متحمل شود. در چنین اختلال شدیدی سوپاپ بخار جهش های بزرگتری زیر حالت های گذرا تجربه می کند. بنابراین لازم است محدودیت هایی برای موقعیت سوپاپ بخار در نظر گرفته شود.

برای کنترل بار فرکانس اختلال کوچک اهمیت زیادی دارد بنابراین باید به مدلسازی وضعیت سوپاپ

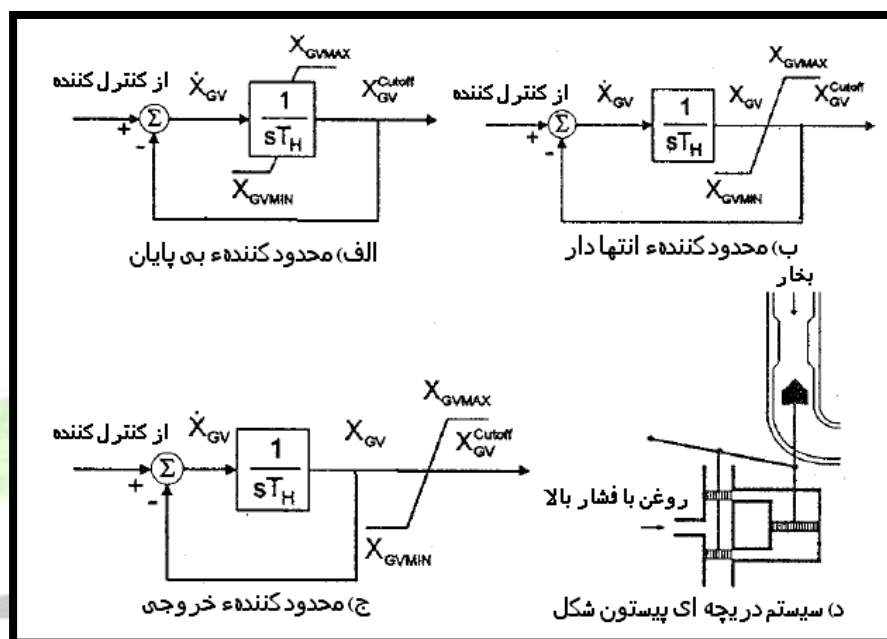
بخار توجه شود.

در این بخش نشان داده شده می شود که راه های مختلفی برای مدلسازی موقعیت سوپاپ بخار وجود دارد و عملکرد کنترلی به صورت عمده ای به این مدلسازی در شرایط اختلال سیستم بستگی دارد.

گاورنر هیدرولیک با محدودیت های وضعیت سوپاپ بخار به سه روش مدل سازی می شود. شکل ۵-۷

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در مطالعات اولیه دو مدل اول بدست آمده اند. مدل سوم وقتی ممکن خواهد بود که یک پیستون نظیر آنچه در شکل ۷-۵ نشان داده شده لحاظ کنیم. دو مدل اولیه به نظر شبیه هم می آیند و ممکن است گمان شود که رفتار کنترلی شبیه هم داشته باشند. اما دریافته ایم که دو روش اولیه رفتارهای کنترلی کاملاً متفاوت با یکدیگر دارند [۱۱].

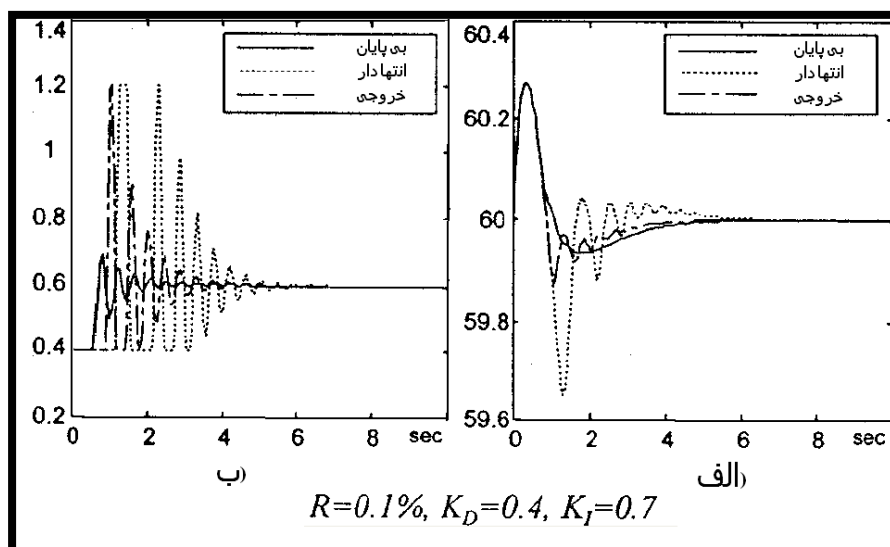


شکل ۷-۵ محدود کننده موقعیت شیر بخار

شکل ۸-۵ نوعی از پاسخهای کنترلی را برای سه حالت متفاوت با استفاده از سه مدل متفاوت نشان می دهد. در اینجا باید این نکته تذکر داده می شود که دو مدل اولیه به طور غافلگیر کننده ای نتایج یکسانی را بوجود آورده اند.

در اینجا هر سه مدل را با پارامترهای مختلف و اختلالات مختلف برای سیستم یک ماشینی امتحان شده است. از آنجایی که با مسئله کنترل بهینه حالت محدود مواجه هستیم که نیازمند کنترل حلقه باز می باشد، نتیجه گیری عمومی و کلی سخت به نظر می آید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۵-۸ پاسخهایی از  $\omega$  و  $X_{GV}$  برای سه محدود کننده مختلف الف) فرکانس ب) موقعیت دریچه

به هر حال دریافته ایم که مدل محدود کننده بی پایان<sup>۱</sup> دستورالعمل کنترلی بهتری نسبت به آنهای دیگر برای تمامی حالت ها با توجه به کنترل بار فرکانس ارائه می دهد. بنابراین از اولین مدل برای LFC استفاده خواهد شد.

#### ۵-۴ روش پیگردی بهینه برای طرح LFC جدید

در این طرح از کنترل مشتق گیر بهره گرفته شده است و از آنجایی که مشتق فرکانس یک متغیر حالت نیست، لذا لازم است فرمول بندی جدیدی برای LFC ارائه کنیم تا بتوانیم کنترل بهینه را برای آن طراحی کنیم.

معادلات حالت را می توان از شکل ۵-۳ بفرم زیر استخراج نمود:

$$\Delta \dot{\delta} = \Delta \omega \quad (5-10)$$

$$\Delta \dot{\omega} = -\frac{D}{M} \Delta \omega + \frac{1}{M} \Delta P_m - \frac{1}{M} \Delta P_d \quad (5-11)$$

$$\Delta \dot{P}_m = -\frac{1}{T_T} \Delta P_m + \frac{1}{T_T} \Delta X_{GV} \quad (5-12)$$

1- non-windup limiter

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\Delta \dot{X}_{GV} = -\frac{1}{T_H} \Delta X_{GV} - \frac{1}{T_H} \Delta u \quad (5-13)$$

ورودی کنترلی را می‌توان توسط سیگنال‌های پس‌خور به فرم زیر نشان داد:

$$\Delta u = \frac{1}{R} (K_I \Delta \delta + \Delta \omega + K_D \Delta \dot{\omega}) \quad (5-14)$$

با جایگذاری رابطه (5-11) در (5-14) خواهیم داشت:

$$\Delta u = \frac{1}{R} \left[ K_I \Delta \delta + \left( 1 - \frac{K_D D}{M} \right) \Delta \omega + \frac{K_D}{M} (\Delta P_m - \Delta P_D) \right] \quad (5-15)$$

از رابطه بالا پیداست که کنترل بهینه به اغتشاش بار بعنوان سیگنال فرمان نیازمند است.

میتوان معادلات حالت مذکور را بصورت ماتریسی زیر در آورد:

$$\Delta \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{D}{M} & \frac{1}{M} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_T} & \frac{1}{T_T} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_H} \end{bmatrix} \Delta x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{T_H} \end{bmatrix} \Delta u + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{M} \\ 0 \end{bmatrix} \Delta P_D \quad (5-16)$$

$$\Delta y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{D}{M} & \frac{1}{M} & 0 \end{bmatrix} \Delta x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{M} \end{bmatrix} \Delta P_D \quad (5-17)$$

که

$$\Delta x = [\Delta \delta, \Delta \omega, \Delta P_m, \Delta X_{GV}]^T$$

$$\Delta y = [\Delta \delta, \Delta \omega, \Delta \dot{\omega}]^T$$

شاخص کارایی برای بهینه‌سازی که باید حداقل شود بصورت زیر معرفی می‌شود:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [q_1 \Delta \delta^2 + q_2 \Delta \omega^2 + q_3 (\Delta P_m - \Delta P_D)^2 + R_u \Delta u^2] dt \quad (5-18)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با استفاده از شاخص بالا، مسئله LFC میتواند به فرم نرمال مسائل کنترل بهینه به صورت زیر نوشته

شود:

$$\text{Minimize : } J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [(\Delta x - \Delta x_d)^T Q (\Delta x - \Delta x_d) + \Delta u^T R_u \Delta u] dt \quad (۱۹)$$

$$\Delta x_d = [0, 0, \Delta P_d, \Delta X_{GV}]^T \quad (۵-$$

معادلات سیستم را نیز بشکل زیر بازنویسی می کنیم:

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u + \Gamma \Delta P_d \quad (۲۰-$$

$$\Delta y = C \Delta x + E \Delta P_d \quad (۵$$

معادله ریکاتی و معادلات دیفرانسیلی برای S از تئوری کنترل بهینه بصورت زیر استخراج می شوند [۹]:

$$\dot{K} = -KA - A^T K - Q + KBR_u^{-1}B^T K \quad (۲۱-$$

$$\dot{s} = [-A^T + KBR_u^{-1}B^T]s - K\Gamma\Delta P_d + Q\Delta x_d \quad (۵$$

قانون کنترل بهینه با رابطه زیر تعیین می شود:

۲۲)

$$u^* = -R_u^{-1}B^T K \Delta x - R_u^{-1}B^T s \quad (۵-$$

حالت  $\Delta x$  را می توان با اندازه گیری  $\Delta y$  و با بکارگیری عمل pseudo-inverse، تخمین زد:

۲۳)

$$\Delta \hat{x} = C^T [CC^T]^{-1} (\Delta y - E \Delta P_d) \quad (۵-$$

با حل معادله ریکاتی و بکارگیری عمل pseudo-inverse، قانون کنترل بهینه بشکل زیر بدست

می آید:

$$u^* = -R_u^{-1}B^T K \Delta x - R_u^{-1}B^T s \quad (۲۴-$$

$$= -R_u^{-1}B^T KC^T [CC^T]^{-1} (\Delta y - E \Delta P_d) - R_u^{-1}B^T s \quad (۵$$

از آنجایی که قانون کنترل بهینه توسط سیگنال پس خور  $\Delta y$  نشان داده شده است، لذا بهره های پس

خور بهینه براحتی معین می شوند. بعلاوه سیگنال فرمان  $R_u^{-1}B^T s$ ، که وابسته به اغتشاش می باشد، برای

جبران سازی اغتشاشات مورد نیاز می باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۵-۵ بهبود توسعه تعدیل سیستم با استفاده از پس خور دیفرانسیلی در کنترل بار فرکانس:

پایداری سیستم قدرت اغلب وابسته به انرژی جنبشی اضافی ذخیره شده در ژنراتور دوره خطا است. کنترل شیر بخار مستقیم ترین روش برای کنترل انرژی جنبشی اضافی است. در اینجا طرح جدیدی از کنترل بار فرکانس با استفاده از کنترل کننده اصلاح شده PID ارائه داده شده که تعدیل سیستم را بهبود می بخشد.

طرح جدید پیشنهادی LFC از مدل بی پایان برای موقعیت شیر بخار استفاده می کند.

نشان خواهیم داد که کنترل سوپاپ بخار مستقیم ترین روش برای کنترل انرژی جنبشی اضافی ذخیره شده در ژنراتور در دوره خطا است و دستور العمل کنترلی شدیداً تحت تاثیر مدلسازی شیر بخار می باشد.

طرح کنترلی پیشنهاد شده برای دو سیستم ساده با ۴ ماشین و ۱۰ شین و سیستم ۳۹ شین جدید انگلیسی بکار می رود.

با بزرگ تر و پیچیده تر شده سیستم های قدرت مدرن خطر اینکه نوسان های سیستم در محیط های وسیع تری منتشر یابد بیشتر شده است. این قضیه انگیزه بسیاری از تلاشهای اخیرا برای توسعه تکنیکهای پایداری سیستم برای تعدیل موثر انواع نوسان ها مانند نوسان های داخل منطقه ای طولانی مدت و نوسان های فرکانس پایین شده است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

پایداری سیستم قدرت به انرژی جنبشی اضافی در ژنراتور در دوره خطا وابسته است انرژی اضافی بسته به دوام خطای سیستم کاملاً کوچک به حساب می آید. در بدترین و شدیدترین حالات انرژی اضافی تا  $0.1(pu MWs)$  در ژنراتور شین خطا با عملکرد نرمال مدار شکن می رسد. کنترل موثر انرژی جنبشی اضافی می تواند مستقیم ترین روش برای رسیدن به پایداری سیستم باشد و همینطور کنترل شیر بخار نیز مستقیم ترین روش برای کنترل انرژی جنبشی اضافی می باشد [۱۲ و ۱۳].

با استفاده از LFC خروجی مکانیکی در رنج  $[0.7 \sim 1.07]PU$  با توربین فشار بالا می تواند کنترل شود که دارای پاسخ نسبتاً سریع تری از حلقه کنترلی Q-V می باشد. انرژی اضافی می تواند در ۱ یا ۲ ثانیه به طور کامل جذب شود به شرط اینکه گاورنر سرعت با برخی قوانین کنترلی بهینه مدار باز کنترل شود. چیزی که در عمل نمی توان به آن دست یافت.

به هر حال تجربه ثابت کرده است که LFC مزسوم به دلیل داشتن محدودیت های وضعیت سوپاپ بخار و رنج کنترلی محدود بهره های LFC پایداری سیستم را به خوبی نمی تواند فراهم کند. در عوض پایدار کننده سیستم PSS<sup>۱</sup> در رنج وسیعی برای تعدیل نوسان های سیستم از حلقه کنترلی Q-V برای کنترل قدرت خروجی ژنراتور استفاده می کند [۱۴ و ۱۵].

به هر حال PSS دارای یک نقطه ضعف اساسی است و آن اینکه حلقه کنترلی Q-V دارای زمان پاسخ دهی طولانی است. در حالات اغتشاشات شدید نوسان های وسیع و طولانی مدت منجر به اثرات فرکانس قطع جریان بخار می شوند.

۵-۵-۱ آنالیز کنترل انرژی اضافی:

۱- Power System Stabilizer

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

همانطور که گفتیم پایدارای سیستم شدیداً به انرژی جنبشی ذخیره شده در ژنراتور در دوره خطا بستگی دارد. بنابراین مستقیم ترین روش برای کنترل پایداری سیستم کنترل موثر این انرژی اضافی است. انرژی جنبشی اضافی با دوام خطا به طور مناسبی افزایش می یابد. با فرض عملکرد نرمال مدار شکن ها، رله های حفاظتی قسمتی را که دچار خطا شده در ۰.۱ ثانیه بعد از وقوع خطا از سیستم خارج می کنند. در شدیدترین حالات انرژی اضافی به  $0.1[p.u \text{ MWS}]$  در ژنراتور شین خطا می رسد. این انرژی تقریباً مقدار کاملاً کوچکی است که بوسیله دوره کنترلی ۱۰ ثانیه ای با استفاده از انواع ابزارهای ذخیره انرژی مانند  $SMES$  و ادوات  $FACTS$  به آسانی کنترل می شود.

در این راستا تلاش های بسیاری برای بهره برداری از این ابزارهای ذخیره انرژی برای پایداری سیستم به عمل آمده است. کاملاً مشخص است که کنترل شیر بخار مستقیم ترین روش برای کنترل انرژی جنبشی اضافی است. با این حال توجه زیادی به استفاده از حلقه  $LFC$  برای پایداری نشده است. با تنظیم گاورنر سرعت در حلقه  $LFC$ ، خروجی مکانیکی می تواند در رنج  $(0.7-1.07) \text{ PU}$  باتوربین فشار بالا کنترل شود که دارای عکس العمل سریعتری نسبت به حلقه کنترلی ولتاژ دارد. کنترل انرژی اضافی با استفاده از اطلاعات جدول زیر تحلیل می شود.

جدول ۲-۵ اطلاعات برای توربین فشار بالا و حلقه  $LFC$

حلقه $LFC$	توربین فشار بالا
$TH=0.1 \text{ s}$	$FTH=0.3[p.u]$
$R= 5\%$	$TCH=0.3 \text{ s}$

$TCH$ : ثابت زمانی توربین فشار بالا

$TH$ : ثابت زمانی گاورنر سرعت

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

R: درصد تنظیم فرکانس

اغلب ژنراتورهای گرمایی ظرفیت بالا از چرخه بازیافت دوباره گرما استفاده می کنند. توربین های فشار بالا ۳۰٪ کل انرژی تولیدی را با ماکسیمم ۱۲۵٪ قدرت نامی تولید می کنند. توربین بازیافت گرما دارای ثابت زمانی ۱۰ تا ۱۵ ثانیه می باشد. برای چندین ثانیه اول خطا ، خروجی توربین بازیافت گرما ثابت می ماند. بنابراین رنج کنترلی خروجی ژنراتور (0.7-1.07) PU برای چندین ثانیه اول خواهد بود. اگر انرژی اضافی در چند ثانیه بوسیله LFC با رنج کنترلی (0.7-1.07) PU جذب شود ، انرژی اضافی تنها بوسیله LFC کنترل می شود آیا این امکان وجود دارد؟

برای پاسخ به این سوال ما باید کل زمان تاخیر را برای عکس العمل خروجی مربوط به کنترل امتحان کنیم. ثابت های زمانی مربوط به کنترل قدرت توربین فشار بالای LFC عبارتند از:  $T_H$  و  $T_{CH}$  که در جدول ۵-۲ داده شده اند. زمان تاخیر برای عکس العمل خروجی به صورت زیر داده می شود.

$$T_{delay} = T_H + T_{CH} = 0.4 \text{ sec} \quad (5-25)$$

برای محاسبه کل زمان مورد نیاز، فرض شده است قدرت تولیدی پست خطا 0.8pu مقدار قدرت نامی مجاز باشد.

از آنجا که رنج کنترلی قدرت بخار در محدوده (0.7-1.07) PU می باشد ، کل زمان مورد نیاز

برای جذب انرژی اضافی 0.1 PU به صورت زیر محاسبه می شود.

$$T = T_{delay} + 0.1/0.1 = 1.4 \text{ s} \quad (5-26)$$

در حالت های اختلالات شدید برای مثال، هنگام خطای پست که قدرت تولیدی به کمتر از 0.7PU

کاهش می یابد، رنج کنترلی قدرت بخار با استفاده از قطع شیر کنترل می تواند کاهش یابد که بعداً در

مورد آن بحث می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

محاسبات بالا با این پیش فرض انجام شده است که LFC یک کنترل بهینه را که فقط با کنترل حلقه باز غیر واقعی قابل دسترسی است فراهم می کند. از دیدگاه تئوری محاسبات بالا نشان می دهند که جذب انرژی اضافی در ۲ ثانیه امکان پذیر است.

با این حال حلقه پاسخ دهی سریع LFC اغلب شامل نوسان است و تجربه ثابت کرده است که LFC معمول به علت رنج کنترلی محدود بهره های LFC و محدودیت موقعیت شیر بخار پایداری کمی در سیستم بوجود می آورد.

در عوض PSS معرفی شد و به طور وسیعی برای متعادل کردن نوسان های سیستم استفاده شد. PSS از حلقه کنترلی Q-V برای کنترل قدرت خروجی استفاده می کند بنابراین دارای یک نقطه ضعف اساسی بود و آن این بود که حلقه کنترلی Q-V دارای زمان پاسخ دهی طولانی بود.

PSS فرکانس و ولتاژ را به عنوان سیگنال های پس خور خود معرفی می کند. این سیگنال پس خوری مستقیماً به آمپلی فایر سیگنال AVR هدایت می شود.

حلقه کنترلی Q-V شامل ثابت های زمانی زیادی مانند زمانی سیم پیچی میدان  $T_{do}$  و ثابت های زمانی محرک وابسته و ثابت های زمانی AVR وابسته می باشد. تمام ثابت های زمانی AVR وابسته در حد میلی ثانیه کوچک هستند و در محاسبات تاخیر پاسخ قابل صرف نظر کردن می باشد.

ثابت های زمانی مربوط به قسمت محرک نسبتاً بزرگ و در حد 0.1s هستند. بزرگترین ثابت زمانی در حلقه کنترلی Q-V ثابت زمانی سیم پیچی میدان می باشد که در رنج زمانی ۷ تا ۱۵ ثانیه می باشد، بنابراین تاخیر زمانی در کنترل Q-V معمولاً بیشتر از ۷ ثانیه است. پس کنترل PSS تاثیر کمی روی انرژی اضافی برای چند ثانیه بعد از خطا خواهد داشت.

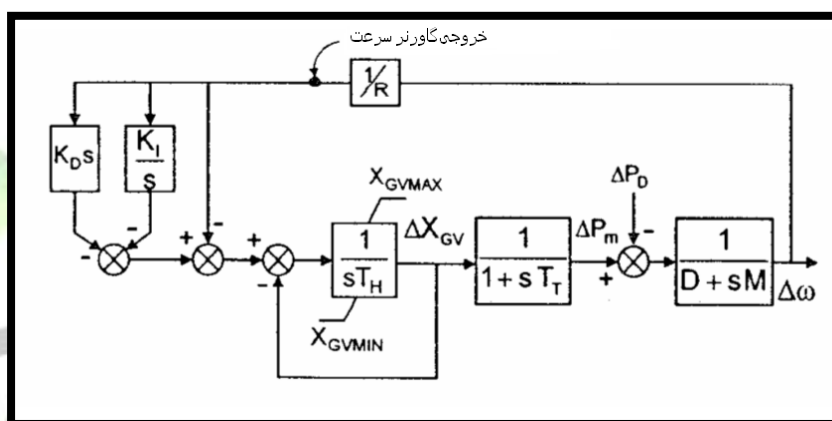
در حقیقت می دانیم که اثرات کنترل PSS به سختی در چند ثانیه اول بعد از خطا مشاهده می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با مقایسه تاخیر زمانی LFC با PSS به این نکته می رسید که حلقه LFC می تواند تعدیل سیستم را بهبود بخشد به شرطی که LFC برای غلبه بر مشکلات مرزهای محدود کنترل بهره های پس خور و محدودیت های موقعیت شیر، بهینه سازی شود.

## ۲-۵-۵ توربین بدون باز گرمایش<sup>۱</sup>

توربین نوع بدون باز گرمایش بوسیله فرمان تاخیر سیستم می تواند مدلسازی شود و کنترل کننده LFC پیشنهادی به صورت زیر در می آید.



شکل ۹-۵ طرح کنترلی پیشنهاد شده برای توربین از نوع بدون باز گرمایش

دینامیک سیستم با استفاده از شکل بالا با تساوی زیر داده میشود:

(۵-۲۷)

$$\Delta \dot{\omega} = \frac{1}{M} (-D \Delta \omega + \Delta P_m - \Delta P_d)$$

$$\Delta \dot{X}_{GV} = \frac{1}{T_H} \left[ -\Delta X_{GV} - \frac{1}{R} (\Delta \omega + K_D \Delta \dot{\omega} + K_I \int \Delta \omega dt) \right]$$

$$X_{GV}^{\min} \leq X_{GV} \leq X_{GV}^{\max} \quad \text{که}$$

$$\Delta \dot{P}_m = \frac{1}{T_T} (-\Delta P_m + \Delta X_{GV})$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرمان سایت و به همراه فونت های لازم

برای اغتشاشات شدید با تحمل تغییرات فرکانسی، عکس العمل شیر بخار، فرا جهش

بزرگتری را تحت حالت های گذرا تجربه می کند.

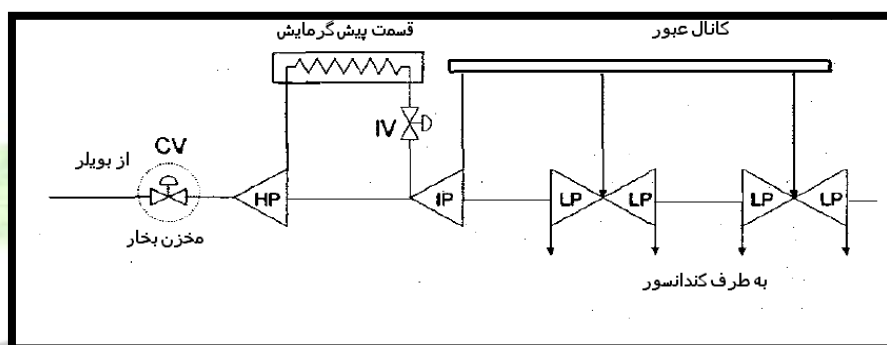
از آنجا که موقعیت شیر دارای محدودیت می باشد لازم است برای مطالعه پایدارای، این محدودیت

در مدلسازی در نظر گرفته شود که نوعا در رنج  $[0.40 \sim 1.20]pu$  محدود می شود.

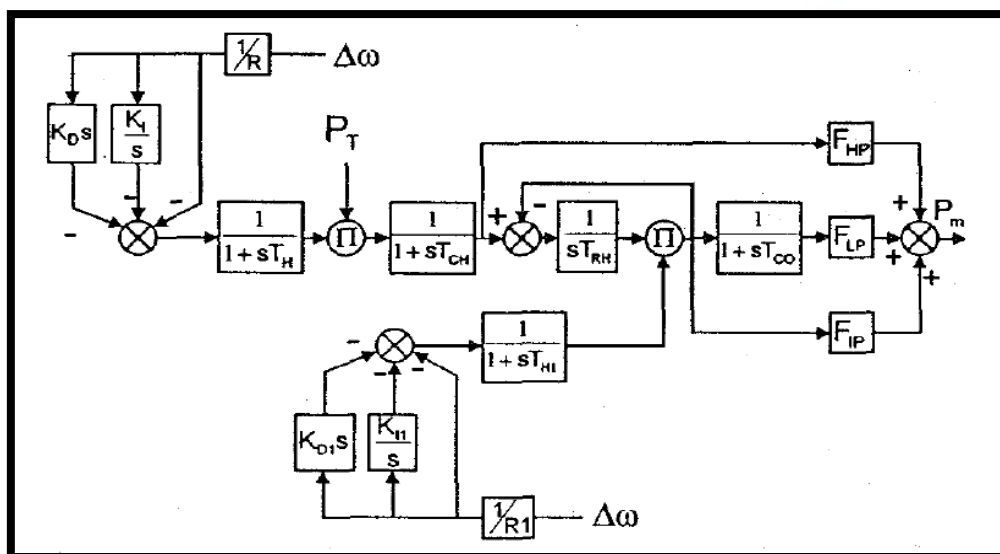
### ۳-۵-۵ توربین با باز گرمایش

برای روشن شدن اثر طرح کنترل فرکانسی پیشنهاد شده به کار رفته توربین با باز گرمایش در

شکل ۵-۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۱۰ بیکر بندی توربین نوع باز گرمایش



شکل ۵-۱۱ طرح کنترلی پیشنهاد شده برای توربین از نوع باز گرمایش

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۲-۵ مقادیر ثابت زمانی را نشان می دهد. فشار PT در شکل بالا مهمترین فشار بخار است که در طول مطالعه ثابت فرض شده است.

برای اغتشاشات شدیدتر و تغییرات وسیع فرکانسی، CV بوسیله کنترل کننده پیشنهادی در پاسخ به انحرافات فرکانسی موقعیت یابی می شود. محدودیت موقعیت CV مانند مدل بدون باز گرمایش بدست می آید.

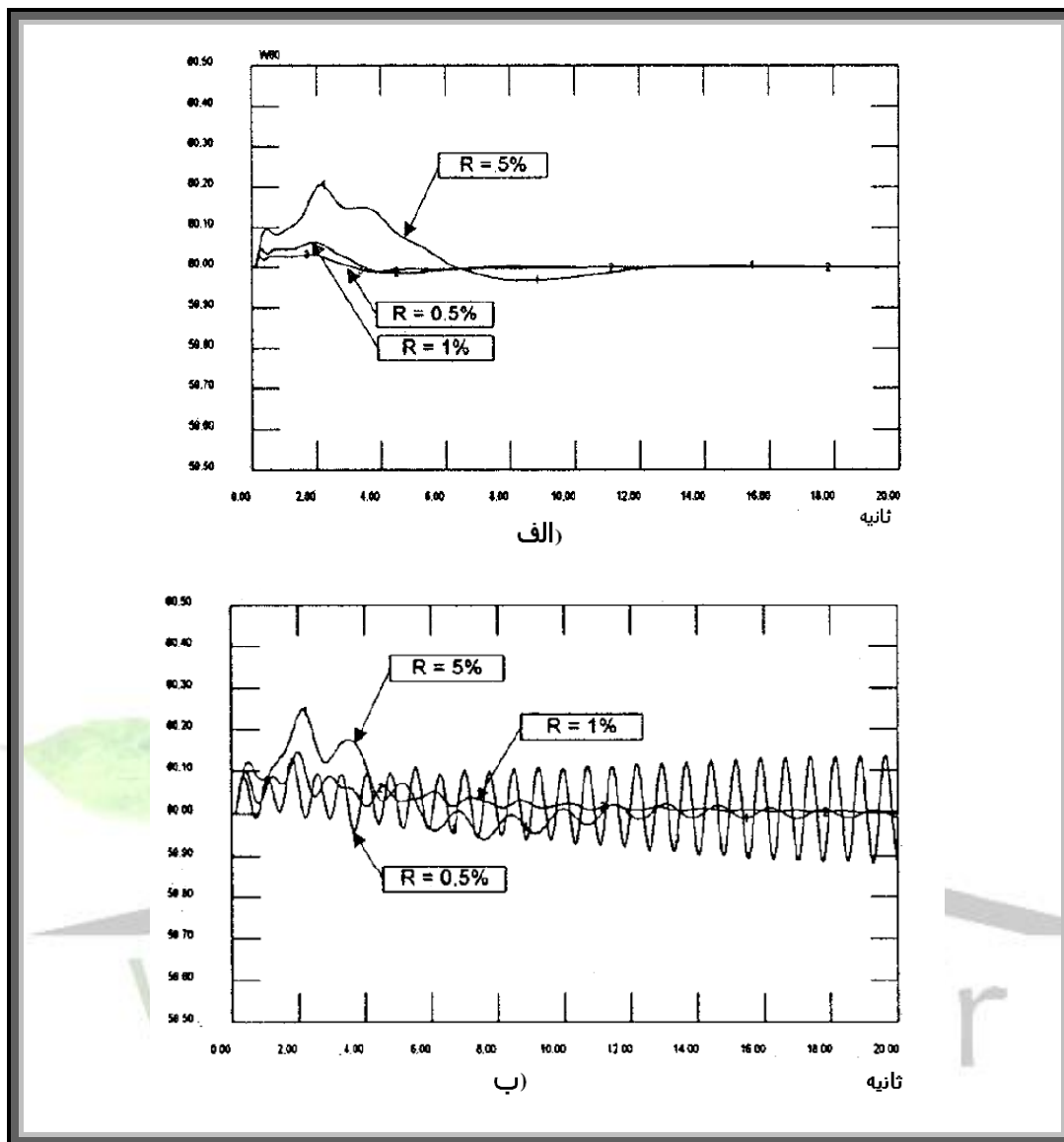
### ۵-۶ اثرات دروپ<sup>۱</sup> گاورنر R

در طرح کنترلی معمول، افزایش بهره پس خور فرکانسی R ممکن است موجب ناپایداری سیستم شود. این حقیقت موجب می شود که رنج کنترل فرکانس اغلب روی ۵٪ تنظیم شود. با توجه به کنکاش هایی که در بخش هایی قبلی به عمل آمد به این نتیجه رسیدیم که سیستم کنترلی پیشنهاد شده بدون هیچ گونه محدودیتی در دروپ گاورنر پایداری سیستم را تضمین می کند. اثرات دروپ گاورنر روی فرکانس در شکل ۱۲-۵ مشاهده می شود که در آن پاسخ فرکانسی برای تغییرات ۵٪ و ۱٪ و ۰.۵٪ در R بدست آمده است. همینطور فرض شده است که سیستم تحت لغزش بار 200MW قرار داشته باشد.

---

1- Droop

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۲-۵ پا سخهای فرکانس سی برای تنظیم سرعت‌های مختلف R الف) کنترل کننده ارائه شده ب) کنترل

کننده PI معمول

همانطور که در شکل ۱۲-۵ الف مشاهده می شود نوسانات فرکانس کنترلی شده با کنترل کننده

پیشنهادی به محض اینکه دروپ گاورنر کاهش می یابد به سرعت تعدیل می شود. در حالی که کنترل

کننده معمول دارای نوسانات فرکانسی طولانی و دراز مدت است (شکل ۱۲-۵ ب)



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای کنترل کننده معمول سستی فرکانسی در حد  $R=0.5\%$  ممکن است موجب شود قطب های سیستم به سمت راست صفحه  $S$  حرکت کنند. با این همه سیستم در حالت نوسانی باقی می ماند اما به حالت ناپایداری نمی رود زیرا محدودکننده وضعیت سوپاپ تعادل سیستم را نگه می دارد.

## ۵-۷ بررسی مشکل نویز

### ۵-۷-۱ کنترل سیستم بار فرکانس با استفاده از پس خور نویزدار PID

این مقاله یک طرح کنترلی PID بر پایه پس خور متوسط گرفته شده ارائه می کند تا یک سیستم کنترلی با دیفرانسیل نویزدار با کاربرد آن بر کنترل بار فرکانس در سیستم های قدرت تحقق یابد. مشخص است که LFC در محیط های نویزدار قرار می گیرد. محیط نویزدار موجب می شود تا اتخاذ یک حلقه پس خور دیفرانسیلی مشکل باشد، چون مشتقات سیگنال در اثر نویزهای بار فرکانس بالا بدتر می شوند و باعث ناپایداری سیستم می گردند [۹ و ۱۰].

این مقاله، یک طرح جدید کنترلی PID بر پایه مشتقات متوسط سیگنال به عنوان یک سیگنال پس خور دیفرانسیلی مبنی بر نادیده گرفتن اثرات نویزهای فرکانس بالا ارائه می کند. این مطالعه، یک کاربرد پس خور دیفرانسیلی متوسط را در مورد LFC در سیستم های قدرت را بررسی می کند. طرح کنترلی ارائه شده، برای کنترل بار فرکانس سیستم های قدرت تست شده است.

کنترل PID یکی از پرکاربردترین روش های کنترل در زمینه های مختلف تقریباً همه صنایع از جمله کنترل فرآیند شیمیایی وضعیت مکانیکی و یا کنترل سرعت به خاطر سادگی آن در اجرا می باشد.

در صنعت سیستم قدرت، واضح است که کنترل بار فرکانس در معرض محیط نویزی قرار می گیرد. دلیل آن سوئیچینگ های on/off بسیار زیادی است که در طرف بار صورت می گیرد و نویز قابل توجهی را در اندازه گیری فرکانس تولید می کند.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مشتقات سیگنال ها خیلی سریع تراز آنی تغییر می کنند که وسایل کنترلی بتوانند از آن ها پیروی کنند و یا خروجی مشتق گیر، مقادیر بسیار بالایی تولید می کند که سیگنال پس خور باید برای بیشتر فاصله های زمانی بریده شود، که باعث می شود به دست آوردن اثرات کنترل دیفرانسیلی تقریباً غیرممکن گردد. بنابراین اخیراً، به استفاده از PI نسبت به کنترل PID در محیط های نویزی گرایش پیدا شده است. از طرف دیگر واضح است که اگر مشکل نویز تا حدی حل شود PID کارایی بیشتری از کنترل PI خواهد داشت. تلاشهای زیادی برای استفاده از فیلتر در حلقه پس خور دیفرانسیلی برای کاهش نویز انجام داده اند. یک فیلتر پایین گذر میتواند به حلقه پس خور دیفرانسیلی به صورت سری اضافه شود تا مشکل نویز را حل کند. اگر چه، مسائل دیگری را در پس خواهد داشت :

(۱) اگر تابع فیلتر تقویت شود اثرات پس خور سیگنال دیفرانسیلی کاهش می یابد.

(۲) اضافه شدن بلوک فیلترینگ، رفتار سیستم را تغییر می دهد و ممکن است هنگامی که ورودی پس خور افزایش می یابد، موجب ناپایداری گردد.

در محیط های نویزدار، باید نوع جدیدی از کنترل کننده PID طراحی شود تا نویز قابل تحمل تر باشد. به منظور حل این مشکل که مشتق گیرها، نویزهای فرکانس بالا را تقویت می کنند، این مقاله ، طرح جدید PID را ارائه می کند که در آن مشتقات سیگنال به عنوان سیگنال پس خور دیفرانسیلی اتخاذ شده اند. مشتق متوسط به آسانی با استفاده از یک عامل تأخیر، به دست می آید و با تأخیرات زمانی به اندازه کافی کوچک، ما می توانیم مشتق متوسطی را به دست آوریم که به مشتقی که از حذف اثرات نویز به دست می آمد، نزدیک باشد. در اینجا، باید این نکته یادآوری گردد که زمان تأخیر نباید از کوچکترین ثابت زمانی سیستم بیشتر باشد چون T بزرگ، موجب تأخیر بیش از حد در پس خور دیفرانسیلی می گردد.

این مطالعه، به یک کاربرد پس خور دیفرانسیلی در مورد LFC در سیستم های قدرت مرتبط می باشد. به دلیل سوئیچینگ های غیر قابل شمارش در سمت کاربران، اندازه گیریهای فرکانس سیستم معمولاً

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

به خاطر نویز سخت تر می شود. در این محیط های نویزی، معمولاً مهندسی PI را به PID ترجیح می دهند. در این مطالعه، ما خروجی های سه رویه مختلف را مقایسه می کنیم:

(۱) طرح کنترلی PID با صرف نظر از اثرات نویز

(۲) طرح کنترلی PTO که از مشتقات متوسط استفاده می کند.

(۳) طرح کنترلی دیفرانسیلی فیلتر شده معمول که از جایگزینی بلوک دیفرانسیلی به وسیله یک مشتق

گیر به اضافه یک فیلتر درجه اول حاصل می شود.

اغتشاشات سیستم، یک پله واحد در نظر گرفته شده اند. سیستم ارائه شده برای چندین سیستم

ساده با استفاده از بهره های پس خور مختلف آزمایش شده است. کنترل PID ارائه شده عملکرد بسیار

خوبی شبیه به پاسخ سیستم اصلی با در نظر گرفتن نویز ارائه می کند.

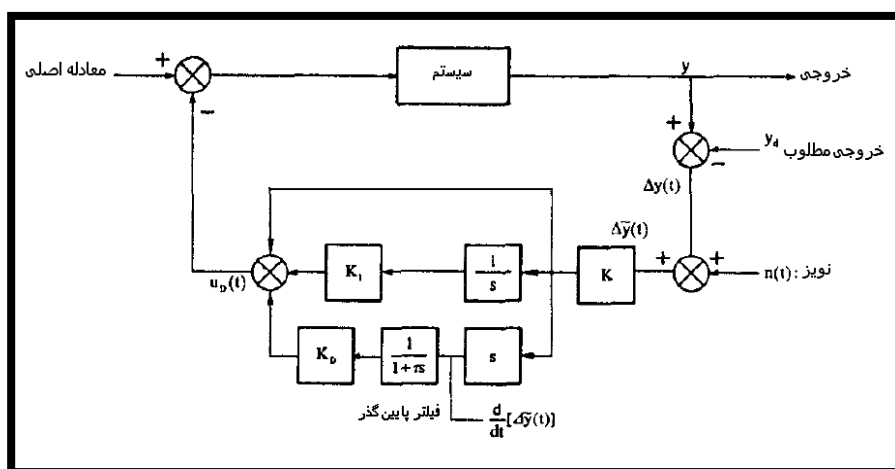
## ۲-۷-۵ آنالیز حلقه پس خور دیفرانسیلی معمول با در نظر گرفتن یک فیلترینگ

کنترل PID معمول، نواقص زیادی در محیط های نویزی دارد، چون مشتق گیر نویزهای فرکانس

بالا را تقویت می کند و این ممکن است فشار زیادی بر روی سیستم اعمال کند و تأثیرات بدی بر روی

عملکرد کنترل کننده خواهد داشت. نتیجتاً، بیشتر طرح های کنترلی PID، فیلترینگ را در نظر می گیرند.

یک نمونه از طرح کنترلی PID که فیلترینگ را در نظر گرفته، در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است [۱۱].

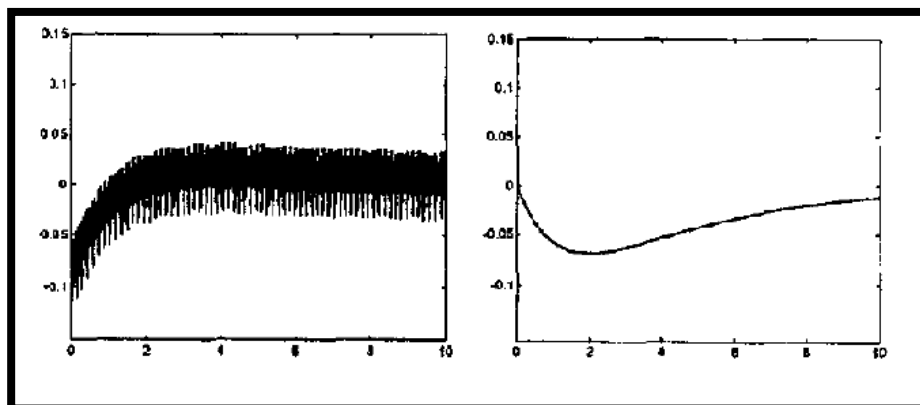


شکل ۱۳-۵ بلوک دیاگرام کنترل کننده PI عمومی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در سیگنال پس خور PID که شامل نویزی باشد، نویز به شدت به وسیله بخش مشتق گیر، تقویت

می شود. ورودی و خروجی بخش مشتق گیر در شکل ۱۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۵ سیگنال ورودی و خروجی کنترل کننده مشتق گیر

به خاطر تضمین حداقل تغییرات در رفتار سیستم بسته به بلوک الحاقی، معمولاً در بیشتر موارد یک

فیلتر پایین گذر در نظر گرفته می شود.

ما در اینجا، یک حلقه پس خور دیفرانسیلی در نظر می گیریم. تابع تبدیل کل شامل فیلتر به صورت

زیر داده شده است.

$$H_D(s) = \frac{K_D s}{1 + \tau s}$$

where  $\|\tau\| \ll 1$

(۵-۲۸)

تابع تبدیل یابی، می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$H_D(s) = \frac{K_D \left[ \left( s + \frac{1}{\tau} \right) - \frac{1}{\tau} \right]}{1 + \tau s} = \frac{K_D}{\tau} - \frac{K_D}{\tau} \left( \frac{1}{1 + \tau s} \right)$$

(۵-۲۹)

به خاطر کم کردن اثرات فیلتر، ثابت زمانی آن باید کوچک انتخاب شود. چون خیلی کوچک بودن

t، ممکن است منجر به فیلترینگ ناقص شود، ثابت زمانی t را معمولاً، چندین برابر دوره نویز با کمترین

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فرکانس در نظر می گیرند. تصاویر فیزیکی در حوزه زمان  $h_D(t)$  و پاسخ ضربه آن متناظر با  $h_D(t)$  می باشد. پاسخ ضربه  $h_D(t)$  به صورت زیر داده شده است:

$$h_D(t) = \frac{K_D}{\tau} \delta(t) - \frac{K_D}{\tau^2} e^{-\frac{t}{\tau}} u(t) \quad (5-30)$$

که در آن  $\delta(t)$  تابع دلتای دیراک و  $u(t)$  تابع پله واحد می باشند و سیگنال پس خور دیفرانسیلی  $u_D(t)$  به وسیله انتگرال کانولوشن زیر داده شده است:

$$\begin{aligned} u_D(t) &= h_D(t) * \Delta y(t) \\ &= \frac{K_D}{\tau} \Delta y(t) - \frac{K_D}{\tau^2} \int_0^t e^{-\frac{(t-t')}{\tau}} \Delta \tilde{y}(t') dt' \end{aligned} \quad (5-31)$$

که در آن:

$$\Delta \tilde{y}(t) = \Delta y(t) + n(t) \quad (5-32)$$

پس خور دیفرانسیلی با یک فیلتر درجه اول از جمع دو سیگنال به دست می آید: اولی یک سیگنال نسبی است و دیگری، انتگرال خطا با عامل  $\lambda = \frac{1}{\tau}$  می باشد. بنابراین، پس خور دیفرانسیلی معمول، ممکن است کنترلی دیفرانسیل موفق را به دست نیاورد.

### ۳-۷-۵ طرح PID جدید با استفاده از تأخیر

در محیط نویزدار، لازم است یک نوع جدیدی از کنترل کننده PID را طراحی کنیم تا نویز تأثیری نداشته باشد. به خاطر حل این مشکل که مشتق گیر، نویزهای فرکانس بالا را تقویت می کند، این مقاله، یک طرح جدید PID ارائه می کند که مشتق های متوسط سیگنال را به عنوان سیگنال پس خور دیفرانسیلی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

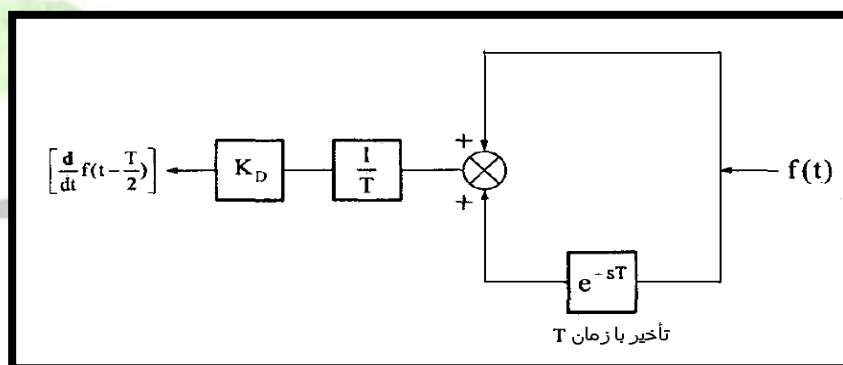
در نظر گرفته است تا اثرات نویزهای فرکانس بالا را از بین ببرد. مشتقات متوسط به آسانی با استفاده از عناصر تأخیر به صورت زیر به دست می آید:

$$\begin{aligned} \left[ \frac{d}{dt} f(t - \frac{T}{2}) \right]_{ave} &= \frac{1}{T} \int_{-T}^t \frac{d}{dt} f(t) dt \\ &= \frac{1}{T} [f(t) - f(t - T)] \end{aligned} \quad (5-33)$$

تبدیل لاپلاس مشتق متوسط به صورت زیر است:

$$LT \left\{ \left[ \frac{d}{dt} f(t - \frac{T}{2}) \right]_{ave} \right\} = \frac{1}{T} [1 - e^{-sT}] F(s) \quad (5-34)$$

مشتق متوسط به آسانی با استفاده از تأخیر به دست می آید:



شکل ۵-۱۵ بلوک دیاگرام پس خور مشتق های متوسط سیگنال

اگر  $T$  را به اندازه ی کافی کوچک فرض کنیم، می توانیم مشتق متوسط را نزدیک به مشتق ناشی از بین رفتن اثرات نویز به دست آوریم. باید یادآوری شود که تأخیر زمانی  $T$  نباید از کوچکترین ثابت زمانی تجاوز کند، چون ثابت زمانی بزرگ، موجب تأخیر زیادی در پس خور دیفرانسیلی می گردد. بهتر است که دو تابع تبدیل را برای حلقه دیفرانسیلی یکی برای کنترل کننده PID ارائه شده و دیگری برای کنترل کننده PID فیلتر شده معمول مقایسه کنیم.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\begin{aligned}
 H_{D_{fm}}(s) &= \frac{K_D s}{1 + Ts} \\
 &= K_D s [1 - Ts + (Ts)^2 - (Ts)^3 + (Ts)^4 - \dots] \\
 H_{D_{ave}}(s) &= \frac{K_D}{T} (1 - e^{-sT}) \\
 &= \frac{K_D}{T} \left[ Ts - \frac{1}{2!} (Ts)^2 + \frac{1}{3!} (Ts)^3 - \dots \right]
 \end{aligned}
 \tag{۵-۳۵}$$

هر دو تابع تبدیل وقتی  $T \rightarrow 0$ ، به  $k_D s$  نزدیک هستند..

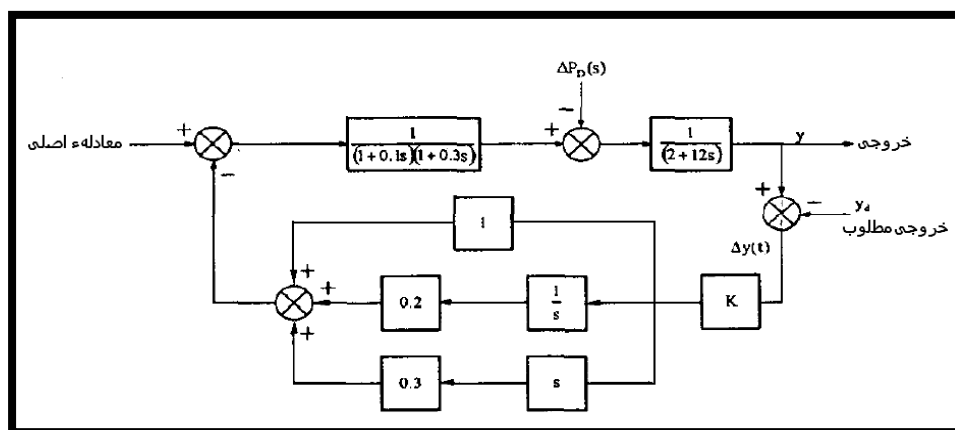
این نشان می دهد که می دهد که طرح کنترلی PID ارائه شده، مشکل را تا حدودی حل می کند و اضافه کردن بلوک فیلترینگ که با کنترل بهرهء پس خور همراه است، رفتار سیستم را خصوصاً در پایداری سیستم تغییر می دهد.

#### ۴-۷-۵ کاربردها

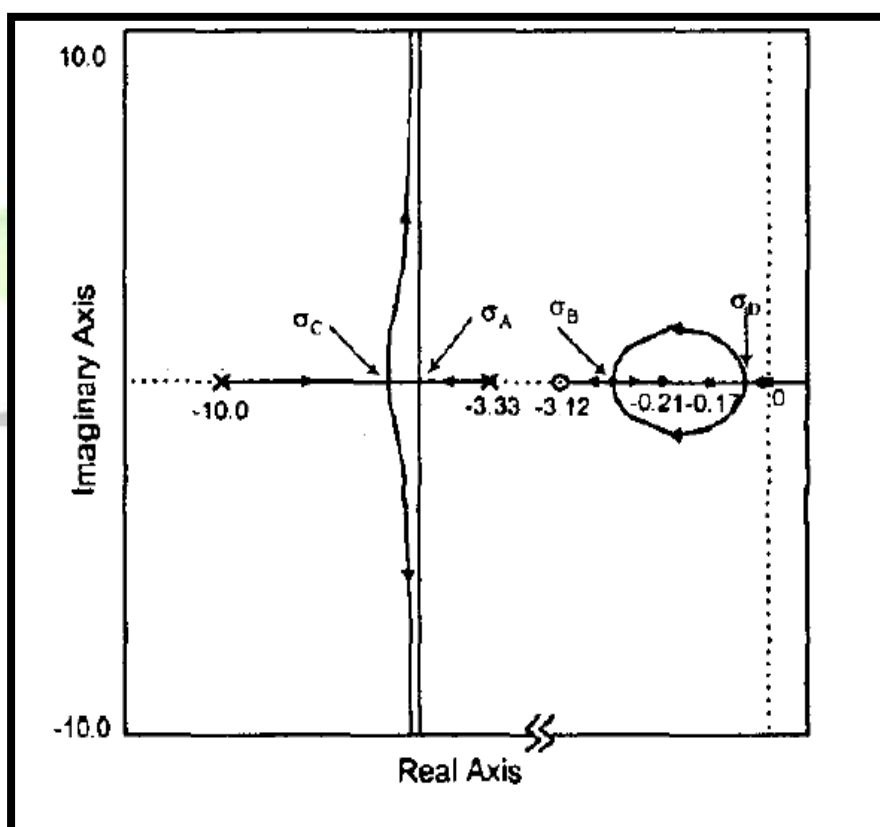
در کاربردهای عملی، مشکل LFC (کنترل بار فرکانس) را در سیستم های قدرت در نظر می گیریم. بسته به سوئیچینگ های on-off غیر قابل شمارشی که در سمت مشتریان انجام می گیرد، فرکانس سیستم به دلیل نویز، بدتر می شود. معمولاً مهندسين ترجیح می دهند که در محیط های نویزی از PI به جای PID استفاده کنند. اگرچه، کاربرد کنترل PID برای LFC نشان می دهد که بیشتر موارد پیشرفته سیستم تأمین می شود. یک نمایش بلوکی همانطور که در شکل ۱۶-۵ نشان داده شده است [۱۰ و ۹].

حلقه پس خور دیفرانسیلی آن دارای یک مشتق گیر ساده است، می تواند سیستم LFC را نشان دهد. با صرف نظر از اثرات نویز، ما می توند آنالیز پایداری سیستم را با آزمایش مکان هندسی ریشه های سیستم انجام دهیم. شکل ۱۷-۵، مکان هندسی را با افزایش بهره ورودی  $k$  نشان می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۱۶-۵ بلوک دیاگرام سیستم



شکل ۱۷-۵ مکان هندسی ریشه های سیستم

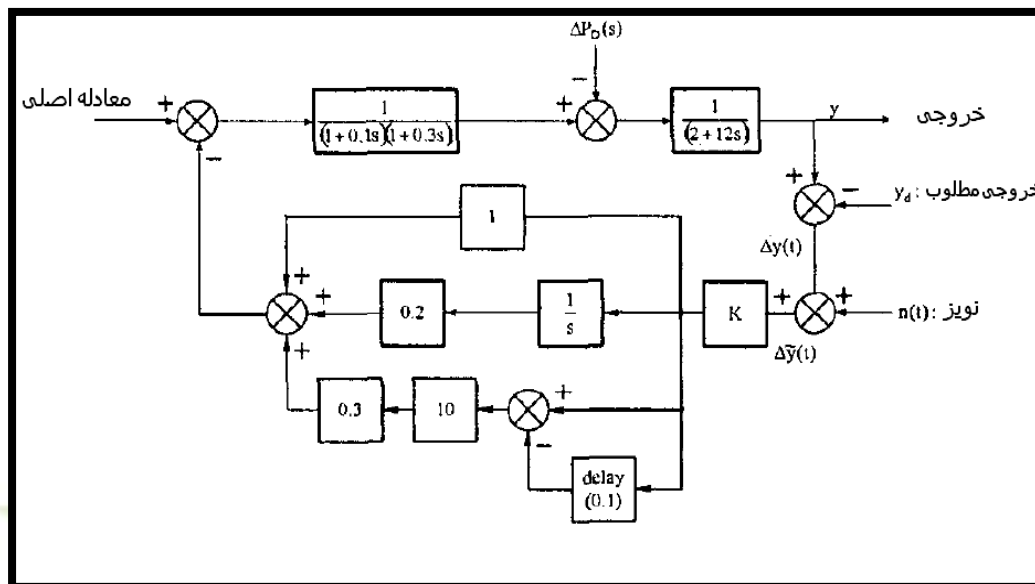
به آسانی از مکان هندسی ریشه های بالا نتیجه گیری می شود که سیستم داده شده در تمامی رنج

های کنترلی بهره ی پس خور  $k$  پایدار می باشد به شرطی که نویز سیستم، قابل صرف نظر کردن باشد



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در محیط های نوین، حلقهء پس خور دیفرانسیلی باید به وسیله حلقه دیفرانسیلی فیلتر شده یا حلقه پس خور مشتق ارائه شده با تأخیر، جایگزین شود. شکل ۱۸-۵، طرح کنترلی PID ارائه شده را با استفاده از تأخیر نشان می دهد.



شکل ۱۸-۵ طرح کنترلی پیشنهادی با عناصر تأخیر

در سیستم بالا، زمانی تأخیر  $T$ ،  $0.1$  ثانیه انتخاب شده است.

در این مطالعه، خروجی های سه سیستم مختلف را مقایسه می کنیم:

(۱) طرح کنترلی PID بدون در نظر گرفتن اثرات نویز همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است . (۲)

طرح کنترلی PID ارائه شده همانطور که در شکل ۱۸-۵ نشان داده شده است.

(۳) طرح کنترلی PID دیفرانسیلی فیلتر شده معمول با  $\tau = 0.1$ ، همانطور که در شکل ۵-۱۳ نشان داده

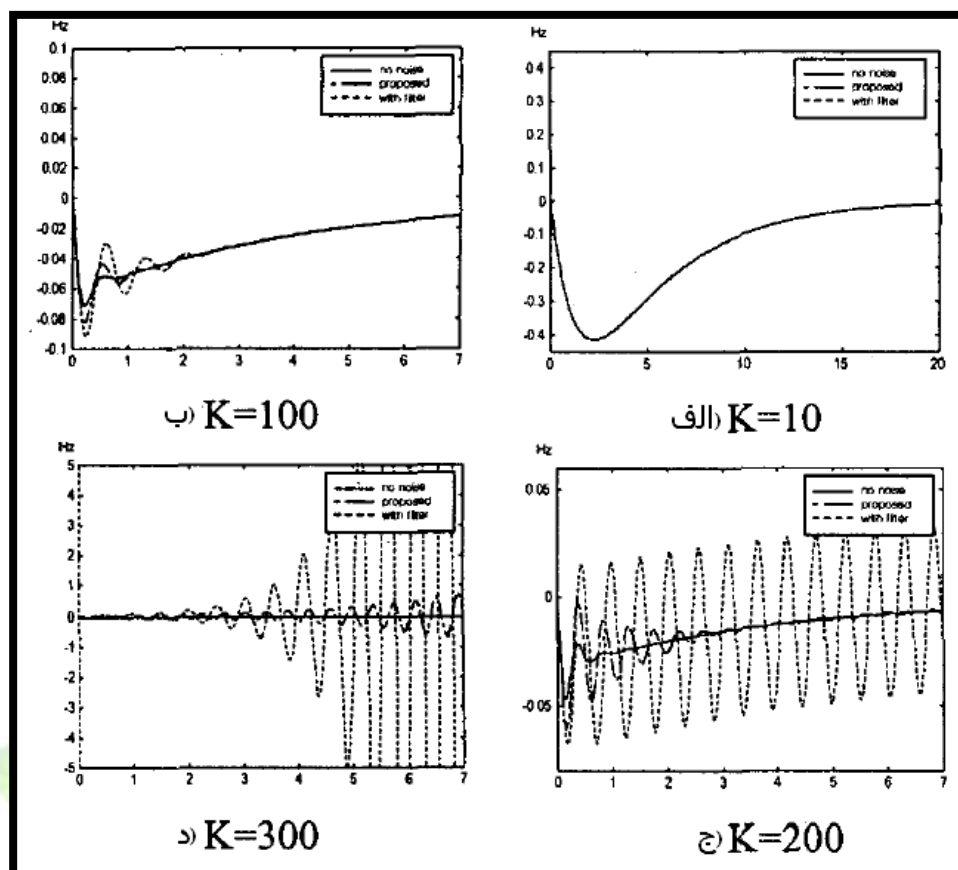
شده است. اغتشاش سیستم، یک پله واحد در نظر گرفته شده است.

سیستم ارائه شده، برای بهره های پس خور  $K$  آزمایش شده است. خروجی ها، با دو طرح کنترلی

دیگر مقایسه می شوند. عملکرد سیستم با تنظیم بهرهء پس خور  $K$  از ۱۰ تا ۳۰۰ آزمایش می شود.

انحرافات فرکانس در شکل ۱۹-۵ نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



بدون نویز: کنترل PID مرسوم بدون فیلتر نویزگیر

پیشنهاد شده: کنترل PID متوسط گیری شده با عناصر تاخیر

با فیلتر: کنترل PID پیشنهادی با اولین فرمان فیلتر

شکل ۱۹-۵ مقایسه خروجی های سه سیستم

در مورد  $k=100$  همانطور که در شکل ۱۹-۵ الف نشان داده شده است. اگرچه، پاسخ سیستم،

زیاد سریع نیست. هر سه طرح کنترلی PID، تقریباً نتایج یکسانی را تولید می کنند،

در مورد  $k=100$  نتایج شبیه سازی در شکل ۱۹-۵ ب نشان داده شده است که مشخص می کند

که طرح کنترلی ارائه شده، نتایج بسیار بهتری را از کنترل PID فیلتر شده معمول به دست می دهد.

همچنین پاسخ سیستم، بسیار سریعتر از پاسخ های سیستم در  $k=10$  است. همچنین باید یادآوری شود

که کنترل کننده ارائه شده، خروجی های بسیار نزدیکتری به خروجی های کنترل PID بدون در نظر گرفتن

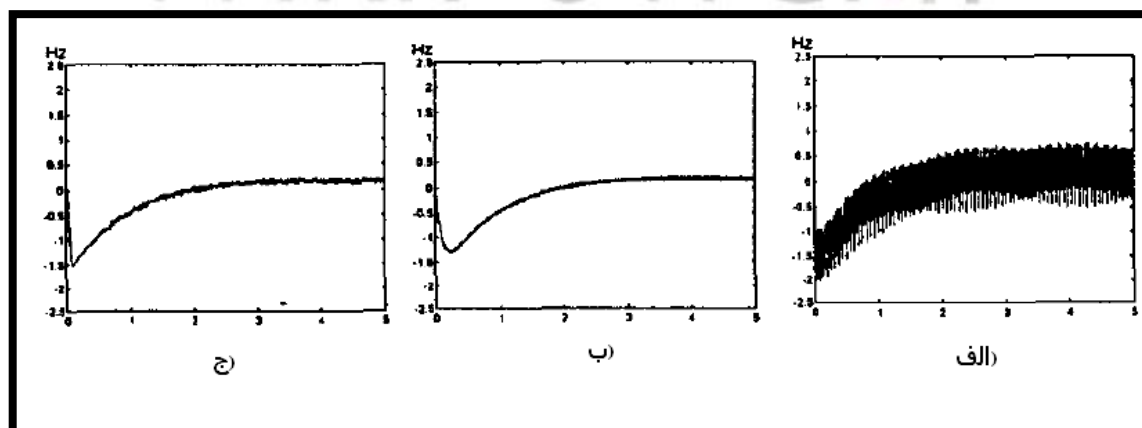
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نویز دارد. این نشان می دهد که کنترل بدون نویز با استفاده از کنترل PID ارائه شده با تأخیر به دست می آید.

شکل ۱۹-۵ ج نشان می دهد که وقتی فیلتر به مشتق گیر اضافه می شود ، همانطور که قبلاً گفته شده بود رفتارهای سیستم با افزایش  $k$  تغییر می کند. همچنین طرح کنترلی ارائه شده، رفتارهای سیستم را خیلی کمتر تغییر می دهد و سیستم در شرایط پایدار باقی می ماند.

در مورد  $k=300$  ، هر دو طرح کنترلی ارائه شده و فیلتر شده معمول، سیستم را به خاطر بهره پس خور بالا ناپایدار می کنند به عبارت دیگر، اثبات می شود که کنترل اصلی، سیستم را وقتی از اثرات نویز صرف نظر کنیم بدون توجه به بهره  $k$  پایدار نگه دارد که قبلاً با استفاده از مکان هندسی ریشه های توضیح داده شد.

شکل ۲۰-۵ خروجی های مدارت مشتق گیر، خروجی مشتق گیر، خروجی فیلتر شده آن و خروجی مشتق متوسط را نشان می دهد. مشاهده می شود که هر دو سیستم متوسط و مشتق فیلتر شده به طور مساوی نویز خروجی الف مشتق گیر را فیلتر می کنند و سیگنال یکسانی حاصل می کنند.



الف) خروجی دیفرانسیلی همراه نویز ب) مشتق گیر فیلتر شده ج) مشتق متوسط شده

شکل ۲۰-۵ خروجیهای مدارهای دیفرانسیلی با  $k=10$

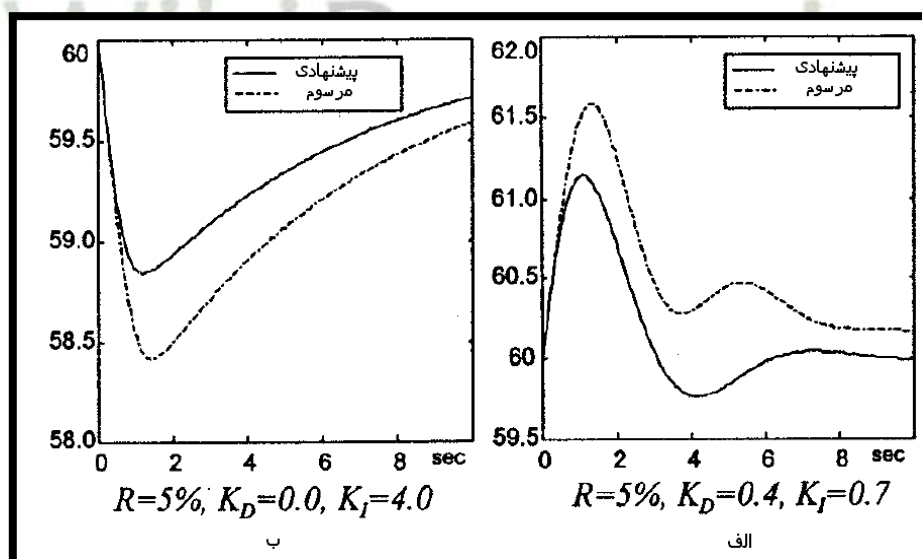
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۵-۸ نتایج شبیه سازی:

طرح کنترلی پیشنهاد شده با پارامترهای گوناگون و ناپایداری های گوناگون برای سیستم تک ماشینی امتحان شده است. برای حالت ناپایداری فرض شده است که سیستم تحت تغییرات پله ای بار

$0.4pu$  قرار داشته باشد. یعنی  $\Delta P_d = 0.4pu$

نتایج شبیه سازی  $\omega$  در شکل ۵-۲۱ نشان داده شده است.

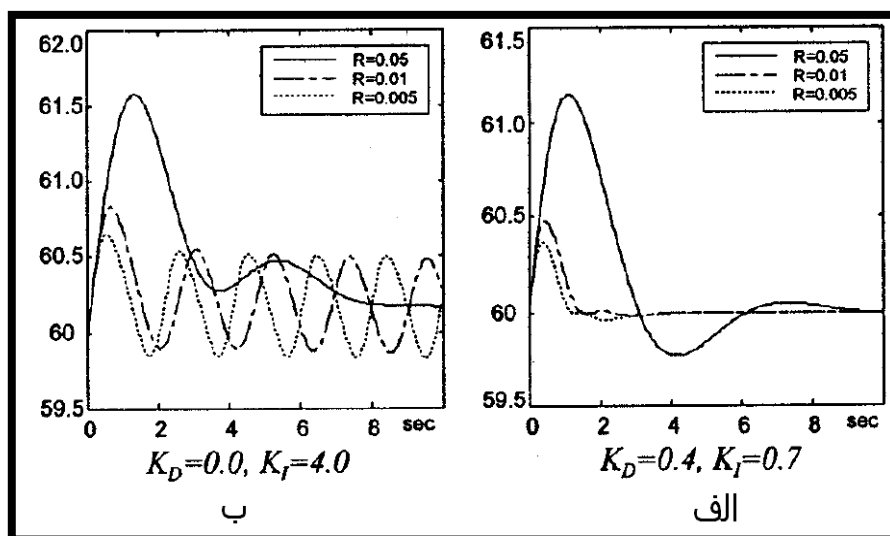


شکل ۵-۲۱ پاسخهایی از  $\omega$  برای تغییرات بار به ای  $0.4 pu$

برای هر نوع تغییرات بار، کنترل کننده پیشنهادی کنترل بهتری را از نوع معمول آن دارد. تأثیر

تنظیم سرعت  $R$  روی هر کنترل کننده در شکل ۵-۲۲ می توانید مشاهده کنید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲۲-۵ پاسخهایی از  $\omega$  برای تنظیم سرعت R های مختلف الف) کنترل کننده پیشنهادی ب) کنترل کننده معمول

چیزی که اینجا قابل توجه است این است که کنترل کننده پیشنهادی برای اختلال های بزرگ به تنظیم سرعت حساس نیست.

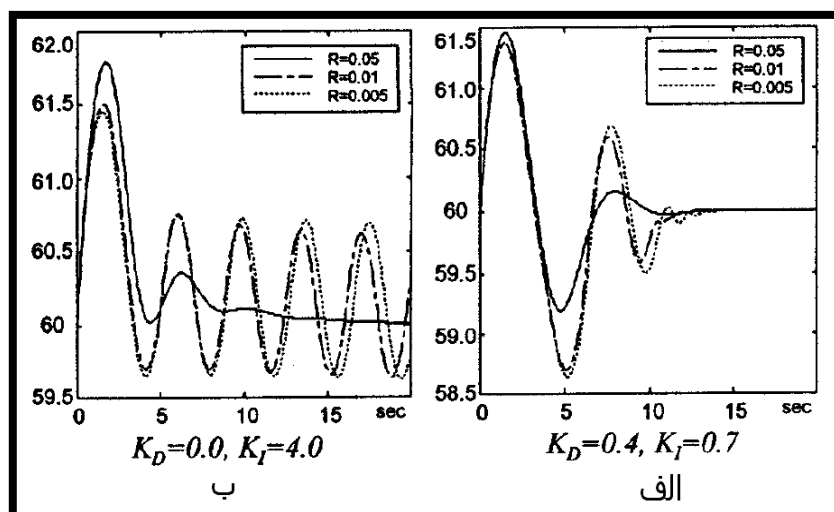
تحمیل‌های دیگر در LFC محدودیت سرعت سوپاپ زنی و نحمیل سرعت تولید (GRC) می باشد. حد سرعت سوپاپ زنی GRC به ترتیب  $1.5 \text{ pu/sec}$ ،  $0.20 \text{ pu/sec}$  فرض می شوند یعنی:

$$|\Delta \dot{X}_{GV}| \leq 1.5 \text{ pu/sec}, \quad |\Delta \dot{P}_m| \leq 0.20 \text{ pu/sec} \quad (5-36)$$

پاسخهای کنترلی  $\omega, X_{av}$  سیستم با این تحمیلی در شکل ۲۳-۵ داده شده اند. در محدودیت سرعت سوپاپ زنی و GRC کنترل کننده پیشنهادی عملکرد خوبی خواهد داشت در حالی که کنترل کننده معمول دارای پاسخهای نوسانی است.

باید به این نکته توجه بشود که کنترل کننده پیشنهادی دارای مقدار کمی نوسان در هنگام کاهش تنظیم سرعت می باشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲۳-۵ پاسخهایی از  $\omega$  و  $x_{GV}$  تحت GRC (الف) کنترل کننده پیشنهادی (ب) کنترل کننده

معمول

طرح کنترل بهینه پیشنهادی برای یک سیستم تک ماشینه مورد آزمایش قرار گرفته است. اغتشاش بار بصورت پله‌ای و به اندازه  $0.4 p.u.$  در نظر گرفته شده است. پارامترهای سیستم نیز در جدول ۱-۵ ذکر شده‌اند.

با استفاده از این پارامترها، معادله ریکاتی و معادلات دیفرانسیلی سیگنال فرمان نتایج بهینه زیر را بدست داده‌اند.

$$K = \begin{bmatrix} 11.3182 & 25.9248 & 0.3308 & 0.1582 \\ 25.9248 & 88.2097 & 1.1375 & 0.5533 \\ 0.3308 & 1.1375 & 0.2447 & 0.0837 \\ 0.1582 & 0.5533 & 0.0837 & 0.0621 \end{bmatrix} \quad s = \begin{bmatrix} -1.8360 \\ -10.5170 \\ -0.1373 \\ -0.0683 \end{bmatrix} \quad (5-37)$$

با حل معادله ریکاتی، می‌توان بهره‌های پس خور بهینه و سیگنال فرمان را بدست آورد:

$$\begin{aligned} u^* &= -R_u^{-1} B^T K \Delta x - R_u^{-1} B^T s \\ &= (6.3280 \quad 28.8320 \quad 40.1921) \left[ \begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta \omega \\ \Delta \dot{\omega} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.0333 \end{pmatrix} \right] - 1.7396 \\ &= 6.3280 \Delta \delta + 28.8320 \Delta \omega + 40.1921 \Delta \dot{\omega} - 0.40 \end{aligned} \quad (5-38)$$

با نرمالیزه کردن رابطه بالا نسبت به ضریب  $\Delta \omega$  می‌توان بهره‌های کنترل بهینه و ضریب تنظیم سرعت

را بدست آورد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\begin{aligned}
 u^* &= 6.3280\Delta\delta + 28.8320\Delta\omega + 40.1921\Delta\dot{\omega} - 0.40 \\
 &= 28.8320(0.2195\Delta\delta + \Delta\omega + 1.3940\Delta\dot{\omega}) - 0.40 \\
 &= \frac{1}{0.0347}(0.2195\Delta\delta + \Delta\omega + 1.3940\Delta\dot{\omega}) - 0.40
 \end{aligned}
 \tag{۵-۳۹}$$

یادآوری می شود که سیگنال فرمان در اینجا برابر اغتشاش  $0.4 p.u.$  می باشد.

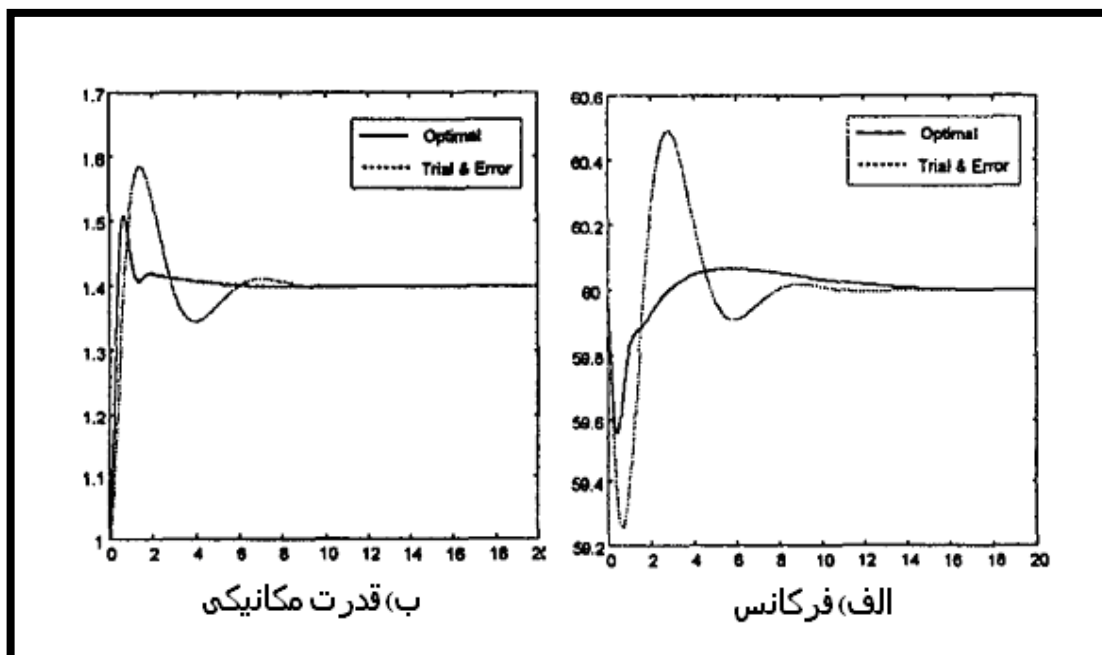
بهره های پس خور بهینه و نیز بهره های پس خور  $PID$  نمونه در جدول زیر آورده شده اند. نتایج شبیه سازی برای بار پله ای افزایش یابنده در شکل ۲۳-۵ نشان داده شده اند.

جدول ۳-۵ : بهره های پس خور برای هر یک از کنترل کننده ها

کنترل کننده معمول	کنترل کننده پیشنهادی		کنترل کننده بهره
	سعی و خطا	بهینه	
۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۳۴۷	تنظیم سرعت $R$
۴,۰	۰,۷	۰,۲۱۹۵	انتگرالی $KI$
۰,۰	۰,۴	۱,۳۹۴۰	دیفرانسیلی $Kd$

واضح است که کنترل کننده پیشنهادی با بهره های پس خور بهینه، عملکرد کنترلی بهتری دارد نسبت به حالتی که این ضرایب بصورت سعی و خطا انتخاب شده باشند.

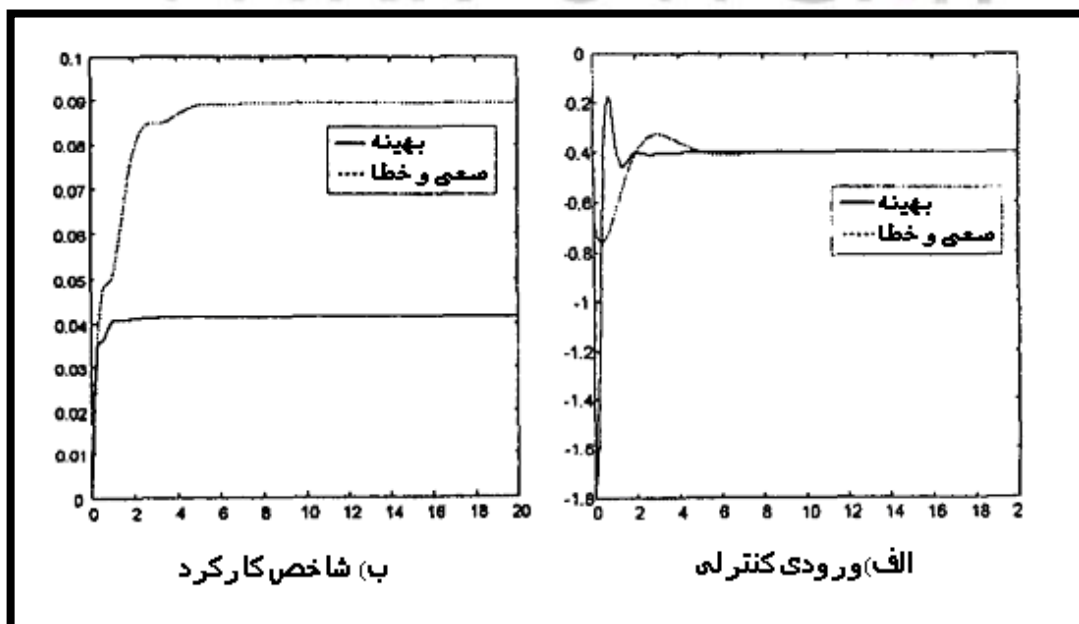
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲۳-۵: منحنی پاسخ  $\omega$  و  $P_m$  برای بار افزایشی  $0.4 p.u.$

ورودی کنترلی و شاخص کارایی در شکل ۲۴-۵ نمایش داده شده‌اند. زمانی که ورودی کنترلی بهینه مورد استفاده قرار گیرد، سیستم، فرا جهش بزرگتری خواهد داشت که در عین حال در عرض چند ثانیه میرا می‌شود.

همان طور که از شکل ۲۴-۵ ب پیداست، شاخص کارایی سیستم با کنترل کننده بهینه کوچکتر از موردی است که از سعی و خطا استفاده شده‌است.

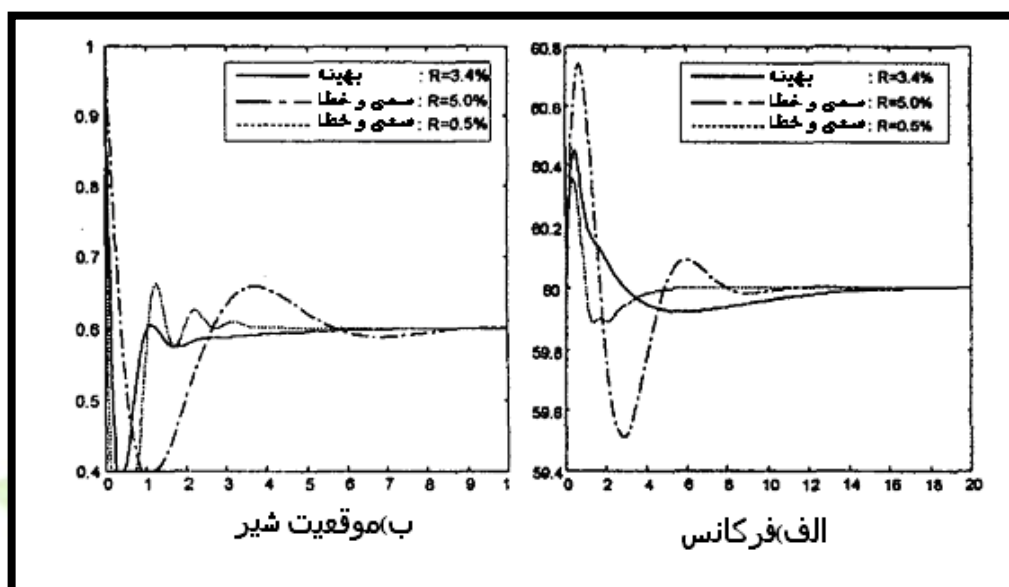


شکل ۲۴-۵: منحنی پاسخ ورودی کنترلی و شاخص کارکرد



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تحت اغتشاشات بزرگ، پاسخ شیر بخار، فرا جهش های بزرگی را در شرایط زیرگذرا تجربه می کند. در عمل برای جریان بخار یک محدودیت ماکزیمم وجود دارد. برای لحاظ کردن تأثیر محدودیت موقعیت شیر بخار در کنترل بهینه، این محدودیت را در رنج  $p.u. [0.4 \sim 1.2]$  در نظر می گیریم. نتایج این شبیه سازی در شکل زیر آمده است.

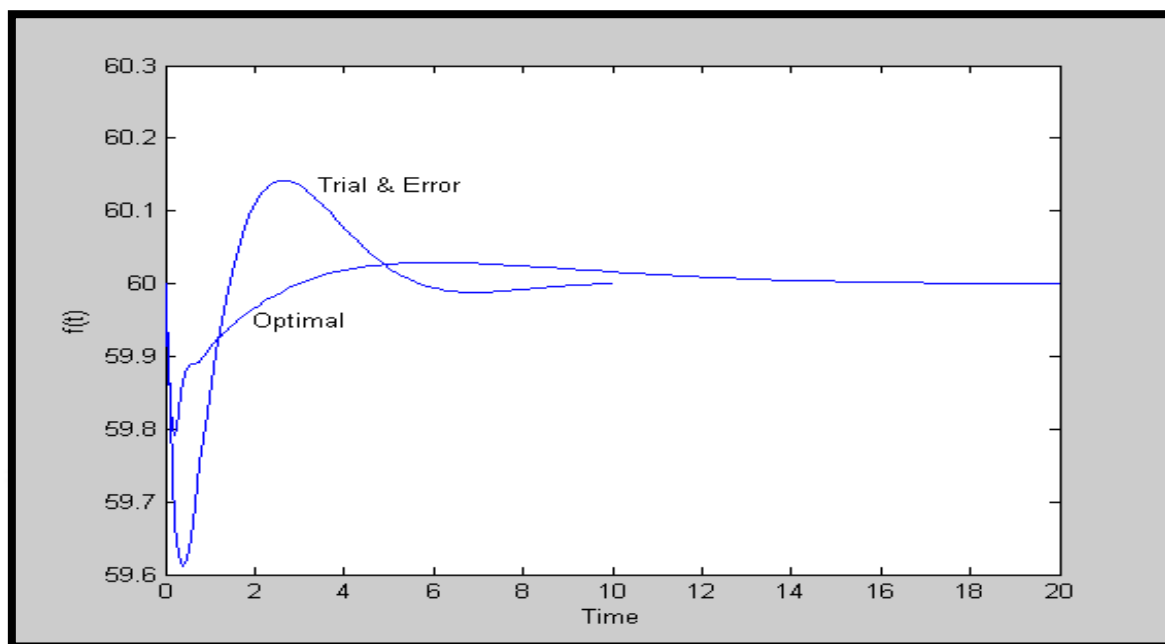


شکل ۲۵-۵: منحنی پاسخ فرکانس و موقعیت شیر به مقادیر متفاوت ضریب  $R$

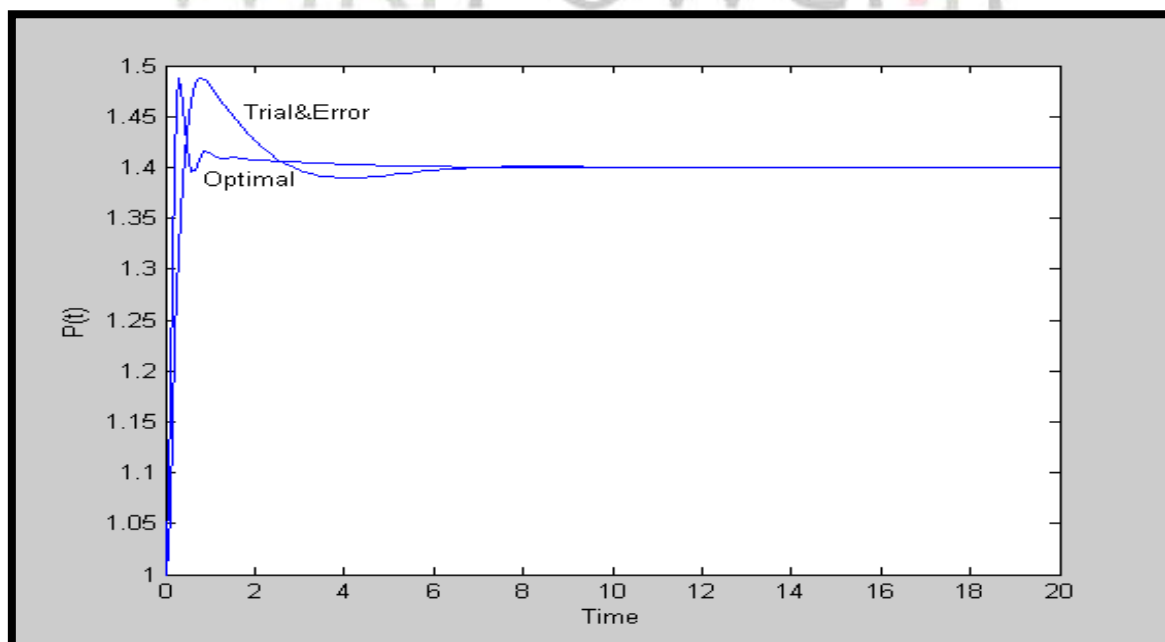
اثر فرکانس قطع موقعیت شیر باعث ایجاد یک محدودیت از طرف پایین برای موقعیت شیر بخار می گردد که در اینجا این محدودیت پایین  $0.4 p.u.$  می باشد. با توجه به مباحث ارائه شده می توان چنین گفت که کنترل کننده طراحی شده با استفاده از روشهای بهینه دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر طرحهای کنترل بار-فرکانس می باشد. همچنین با استفاده از تکنیک فیلترینگ ارائه شده در اینجا می توان به نحو مطلوبی تأثیر نویزهای فرکانس بالا را از بین برد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۵-۸-۱ نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی توسط Simulink :

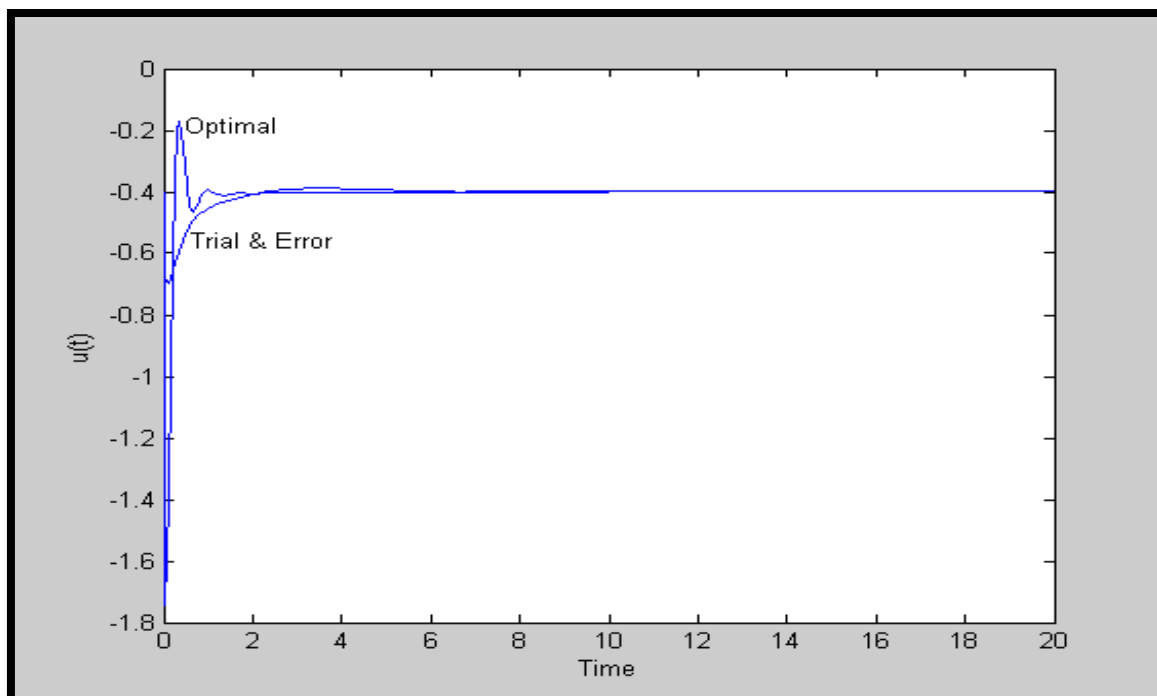


شکل ۵-۲۶: پاسخ  $f(t)$  برای سیستم‌های با بهره‌های بهینه و بهره‌های بدست آمده از سعی و خطا

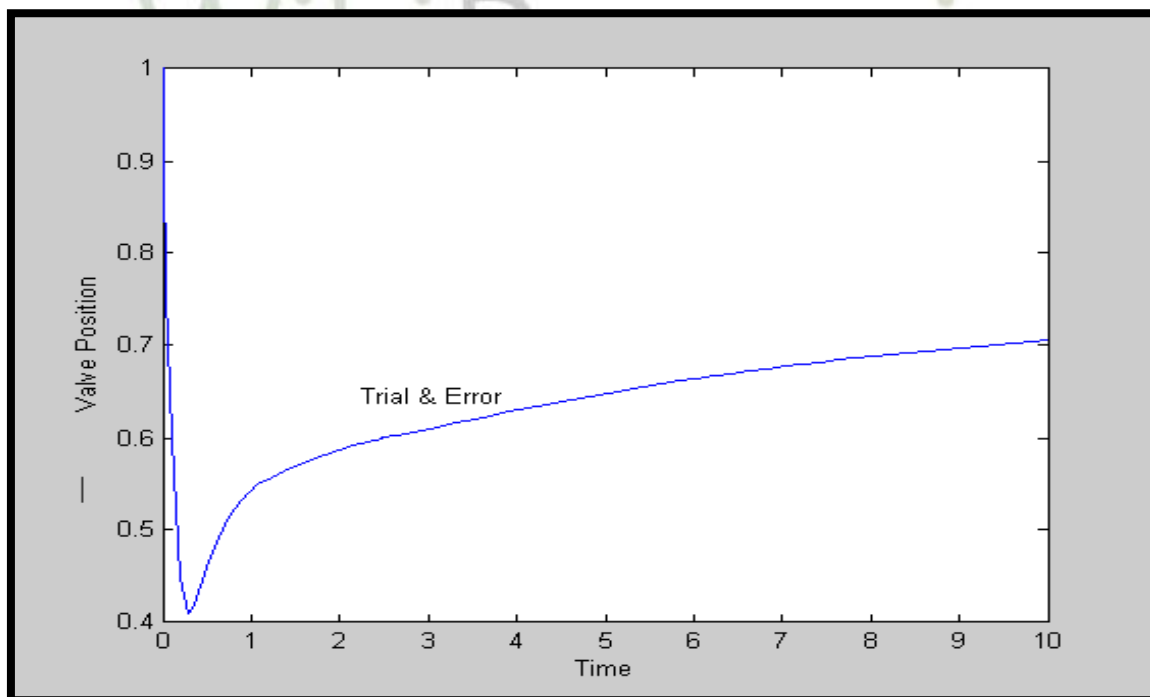


شکل ۵-۲۷: پاسخ  $P_m(t)$  برای سیستم‌های با بهره‌های بهینه و بهره‌های بدست آمده از سعی و خطا

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

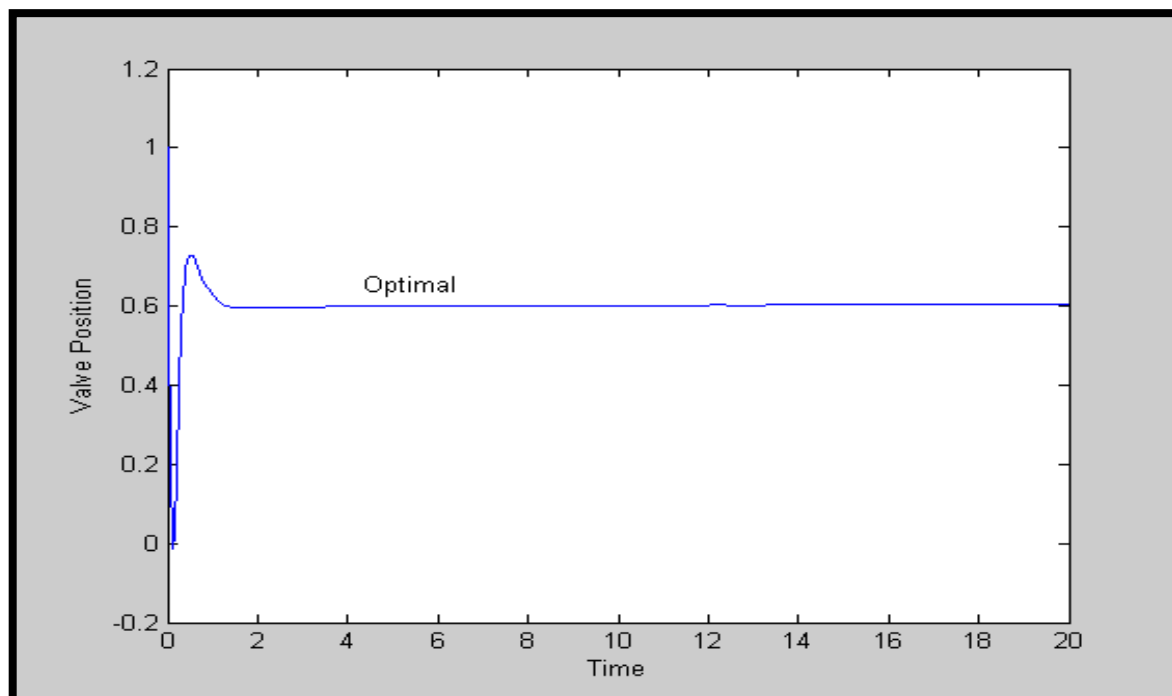


شکل ۵-۲۸: پاسخ ورودی کنترلی برای سیستم‌های با بهره‌های بهینه و بهره‌های بدست آمده از سعی و خطا



شکل ۵-۲۹: تغییر موقعیت شیر بخار برای سیستم با بهره‌های بدست آمده از سعی و خطا

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۳۰-۵: تغییر موقعیت شیر بخار برای سیستم با بهره‌های بهینه

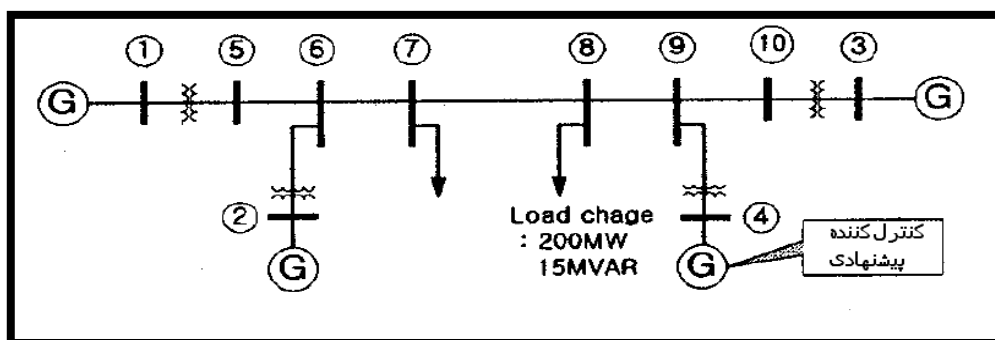
#### ۹-۵ کاربرد برای سیستم قدرت:

از آنجایی که کنترل کننده‌های پیشنهادی در بخش‌های قبلی با استفاده از مکان هندسی ریشه‌های تحلیل گردید، بسیار مهم است که کنترل بار فرکانس پیشنهادی برای سیستم قدرت غیر خطی واقعی آزمایش شود.

#### الف) سیستم قدرت با ۴ ماشین و ۱۰ باس

شبیه‌سازی کامپیوتر برای سیستم با ۴ ماشین و ۱۰ شین انجام شد. تمام شبیه‌سازی‌ها روی پکیج CYME انجام شد که یک برنامه پایداری گذرای غیر خطی می‌باشد. پیکربندی سیستم در شکل ۳۱-۵ نمایش داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

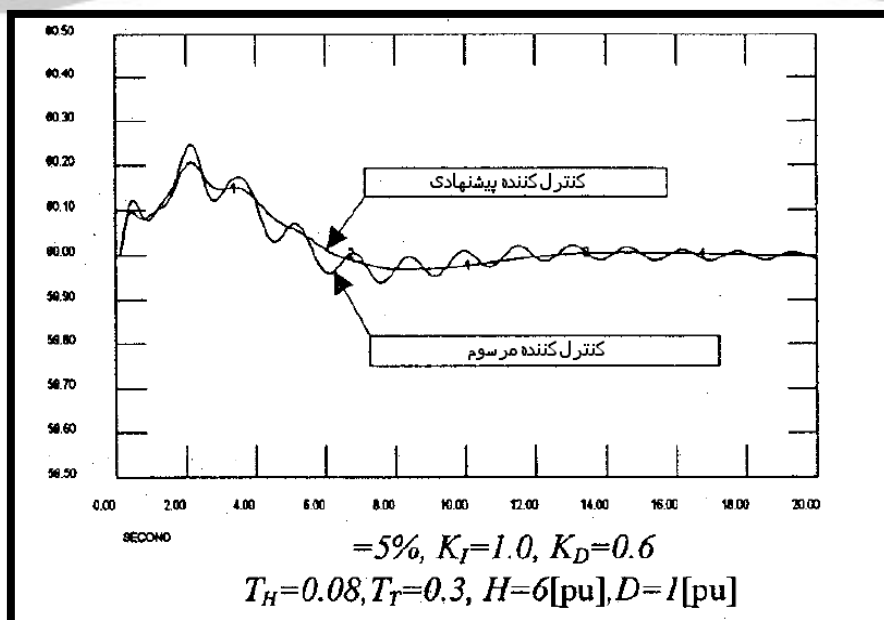


شکل ۳۱-۵ سیستم با ۴ ماشین و ۱۰ شین

ژنراتور ۱ # بوسیله تحریک خودی متحرک خودی متحرک dc و بقیه بوسیله متحرک های تریستوری با بهره انتقالی بالا تحریک می شوند. فرض شده است که فقط ژنراتور #۴ به طرح کنترلی پیشنهاد شده مجهز شده است. برای حالت اغتشاشات زیاد، فرض شده است که تغییرات پله ای بار در شین #۸ به اندازه 200mw باشد [۸].

سیستم قدرت مورد مطالعه بوسیله نوسان های فرکانس پائین حدود 0.2Hz تحت آسیب قرار می

گیرد شکل ۳۲-۵ نشان دهنده پاسخ فرکانسی ژنراتور #۴ برای تغییرات بار می باشد.



شکل ۳۲-۵ پاسخهایی از  $\omega$  برای لغزش بار ۲۰۰ MW

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کاملاً مشخص است که طرح کنترلی پیشنهاد شده عملکرد کنترلی قابل توجه و عالی را در مقایسه با کنترل کننده PI معمول داراست.

### ب) سیستم جدید انگلیسی با 10 ماشین و 39 شین

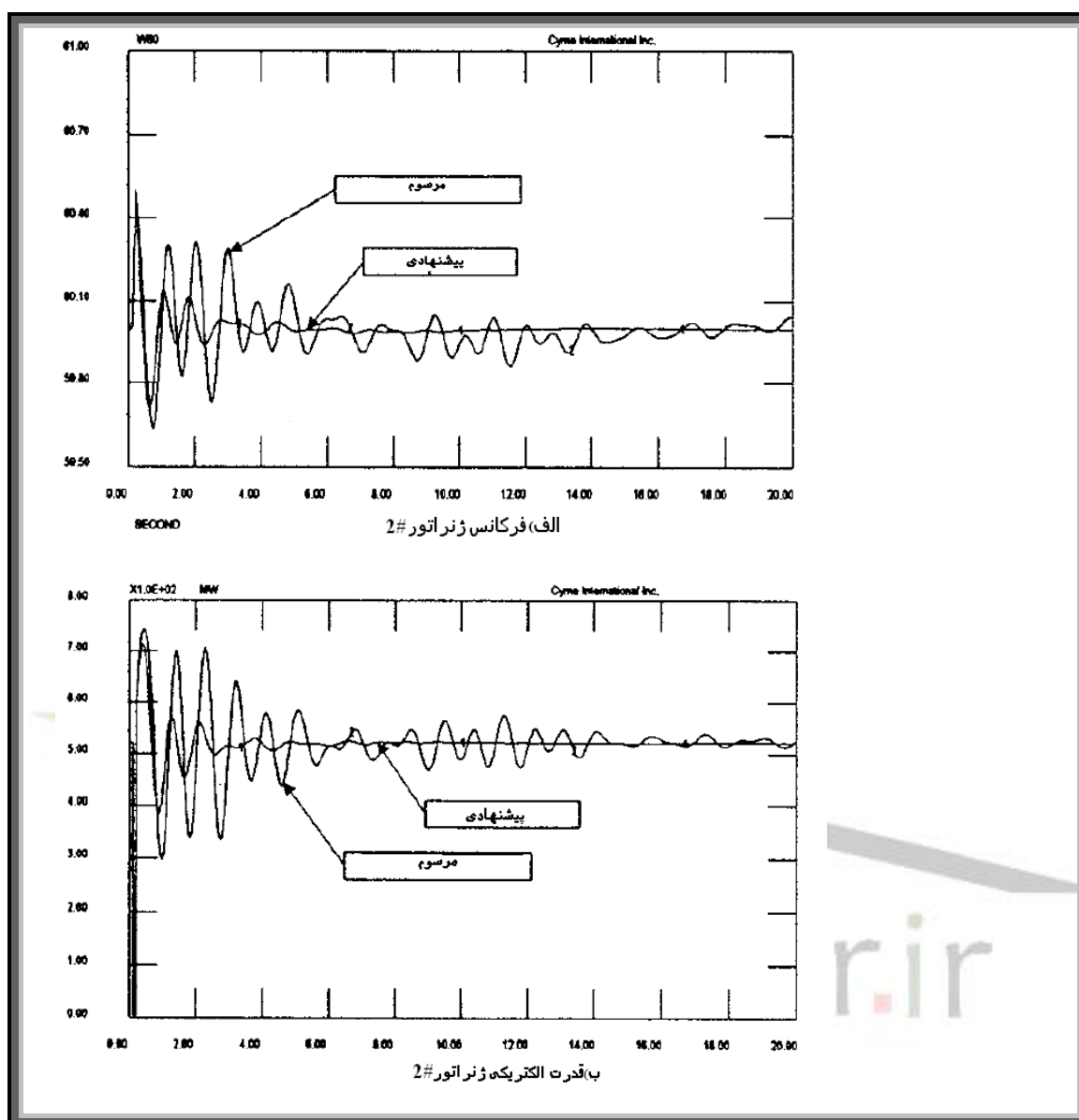
طرح کنترلی پیشنهاد شده برای سیستم انگلیسی با 39 شین امتحان شده است که زنراتورهای آن با دو مدل نمود شده اند. هر زنراتور به جز #1 با محرک منعکس کننده اثر اشباع نوع یک IEEE مجهز شده اند

خطای سه فاز در شین #6 با دوام 0.1 sec بعنوان اغتشاش سیستم لحاظ شده است. این خطای سه فاز سبب وقوع مدل ساده ای از نابایداری زنراتور نزدیک نقطه خطا می شود که به نوبه خود موجب از بین رفتن سنکرونیسم در قسمت های دیگر سیستم می شود.

زنراتور #2 نزدیک نقطه خطا به کنترل کننده فرکانسی پیشنهادی مجهز شده و همین طور زنراتورهای #1, #3, #7, #9. شکل نشان دهنده فرکانس و قدرت الکتریکی زنراتور #2 و مقایسه با کنترل کننده PI معمول می باشد. از این مقایسه به آسانی در می یابید که کنترل کننده پیشنهاد شده

بصورت کاملاً مشخصی تعدیل سیستم را بهبود می بخشد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



$$R=0.5\%, K_D=0.3, K_I=0.2 \quad R=5\%, K_D=0.0, K_I=20.0$$

شکل ۳۳-۵ پاسخ های فرکانسی و قدرت الکتریکی کنترل کننده پیشنهاد شده و مقایسه با کنترل

کننده PI معمول

اثر دروپ گاورنر بوسیله شکل ۳۴-۵ مشخص می شود، جایی که پاسخ های فرکانسی با

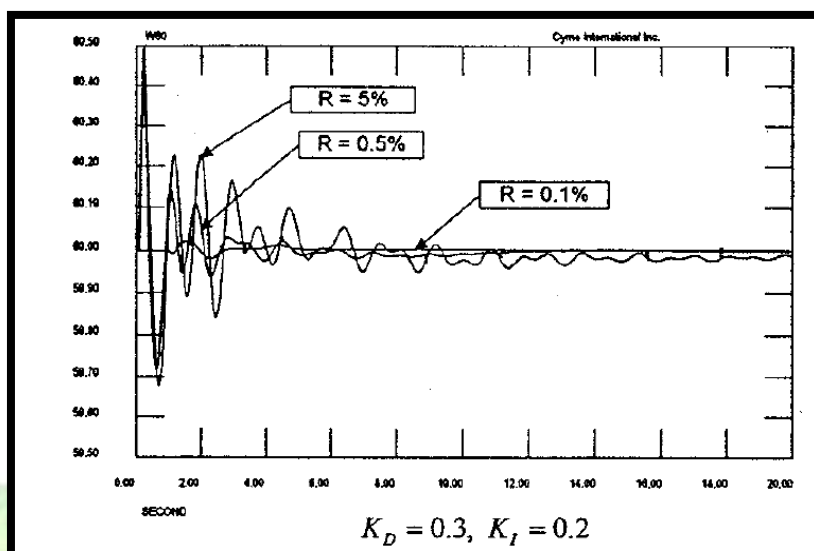
تنظیم R روی 0.1%, 0.5%, 5% بدست آمده اند. همانطور که در شکل دیده می شود کنترل کننده

پیشنهاد شده تعادل سیستم را افزایش و دروپ گاورنر را کاهش می دهد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

بنابر این LFC پیشنهاد شده میتواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهبود تعدیل سیستم بجای

PSS معمول به کار رود.



شکل ۳۴-۵ پاسخهای فرکانسی برای دروپ های مختلف گاورنر

WikiPower.ir



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## فصل ششم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

#### ۱-۶ نتیجه گیری

در این پایان نامه ابتدا با استفاده از فرضیات مناسب مدل سیستم بار - فرکانس با یک ژنراتور ارائه شد و نحوه ی کنترل آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با تعریف نواحی کنترل، مدل ارائه شده برای یک ژنراتور به مدل بار- فرکانس نواحی قدرت بسط داده شد و اهداف کنترل خود کار تولید مطالعه گردید و در نهایت با توجه به اینکه جهت اعمال کلیه روش های کنترل مدرن، به معادلات حالت سیستم نیاز می باشد، معادلات مذکور با استفاده از مدل به دست آمده درفصول قبل ارائه شد.

البته کلیه معادلات حوزه فرکانس و معادلات حالت سیستم با بهره گیری از تقریب های مقرون به صحت به صورت خطی بیان گشته اند. عوامل غیر خطی موجود در سیستم به شکل عناصر جداگانه ای بررسی شده اند و می توانند به مدل کلی سیستم اعمال شوند.

به خاطر غلبه کردن بر نواقص کنترل PID معمول، این مقاله، پس خور مشتقات متوسط را در محیط های نویزی معرفی می کند و یک کنترل کننده PID جدید با تأخیر را توصیه می کند تا کنترل دیفرانسیلی به دست آوریم که نویز را تحمل کند.

همچنین طرح جدیدی از LFC با کنترل کننده PID اصلاح یافته ارائه شده است که پایداری حلقه LFC را برای رنج های وسیعی از بهره های پس خور PID تضمین می کند. طرح کنترلی معمول PID دارای این مشکل بود که افزایش هر کدام از بهره های PID موجب ناپایداری حلقه LFC می شد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

با مشاهده این واقعیت که نسبت بین بهره های پس خور PID دارای اطلاعات بیشتری از تک تک بهره های پس خور PID است، کنترل کننده اصلاح یافته PID پیشنهاد شد. کنترل کننده اصلاح یافته PID دارای مدارهای پس خور دیفرانسیلی و انتگرالی با استفاده از خروجی گاورنر سزعت گوی چرخان می باشد. همچنین نشان داده شد که عملکرد کنترلی به شدت به مدل سازی سوپاپ بخار در حالت های اختلالات شدید سیستم وابسته است.

نتایج شبیه سازی نشان دادند که با استفاده از طرح کنترلی پیشنهاد شده عملکرد کنترلی به صورت خارق العاده ای بهبود می یابد.

همچنین به این نکته اشاره شد که طرح کنترلی پیشنهاد شده تعدیل پایداری سیستم را با استفاده

از افزایش بهره نسبی  $L/R$  بهبود می بخشد.

## ۲-۶ پیشنهادات:

- ۱- وضع قوانین تجاری مناسب جهت ایجاد رقابت سالم در بازار LFC
- ۲- تعیین معیارهای استاندارد جهت قیمت گذاری LFC و دیگر سرویس های جانبی
- ۳- استفاده از لینک های مخابراتی جهت مانیتورینگ و مشاهده اطلاعات مربوط به بازار به صورت on-

Line

- ۴- طراحی نرم افزارهای حسابداری مناسب جهت چگونگی دریافت و پرداخت هزینه.
- ۵- تهیه بانک های اطلاعاتی در خصوص منابع LFC مورد استفاده توسط هر شرکت.
- ۶- استفاده از روشهای بهینه سازی براساس پایداری و شرایط اقتصادی در تعیین پارامترهای کنترل کننده فرکانس.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

### منابع و مآخذ

- [۱] حیدر علی شایانفرو شهرام جدید و احد کاظمی، بررسی سیستم های قدرت جلد دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۸۰
- [۲] احد کاظمی، سیستم های قدرت الکتریکی جلد دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۷۳
- [۳] علی کافی، کنترل، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۰
- [۴] علی کافی، کنترل مدرن، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۰
- [5] IEEE Working Group Report, "Hydroallic Turbin for System Dynamic Studies", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.7, No.1, Febuary 1992, pp.167-179.
- [6] IEEE PES Working Group, " Dynamic Models for Fossil Steam Units in Power Systems Studies ", IEEE Trans. On Power Systems, Vol 6, No.2, May 1991 pp.753-761.
- [7] N.S. Dhaliwal, H.E. Wichert "Analysis of PID Governors in Multi-machine System" , IEEE Trans. On Power Systems, Vol. PAS-97, No.2, pp456-463, March 1978
- [8] P. Kundur , Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994
- [9] Moon , Y.H, et al., "Modified PID Loud-Ferequency Control", IEEE PES 1999 Winter Meeting, Feb.1999
- [10] Moon , Y.H, et al., "Improvement of System Damping by Using the Differential Feedback" , IEEE PES 1999 Winter Meeting, Feb.1999
- [11] Cyme Intenational INC., "CYMSTAB Users Guide and refrence Manual", June 1998
- [12] Magdy E. Aboul-Ela, A.A.Fouad, "Damping Controler Design for Power System", IEEE Trans. On Power Systems, Vol .11, May 1996, pp767-773

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

- [13] M. Klein, G. J. Rogers, P. Kundur, "A Fundamental Study of Inter-Area Oscillation in Power System", IEEE Trans. PWRs., Vol 6, No. 3, August, 1991, pp914-921
- [14] Xiaoqing Yang, Ali Feliachi, "Stabilization of Inter-Area Oscillation Models Through Excitation System", IEEE Trans. On Power Systems, Vol 9, No. 1, Feb, 1994, pp494-502
- [15] Kazofsky, L.G., Turgeman, E "Non Recursive Adaptive Impuls Noise Canceler", INT.J. CIRCUIT THEORY and APPLIC, Vol 10, No. 3, pp231-242, 1

