سنجش و دانش

دکتری

دینامیک سیستم های قدرت

www.sanjesh.ir

دینامیک سیستم های قدرت

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق- قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۱

دینامیک سیستم‌های قدرت

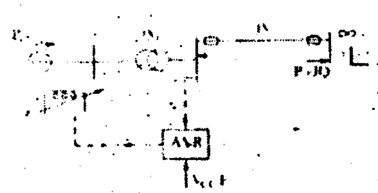
۱- شرح دهید که در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت «بار» حسب طبیعت مسئله مورد مطالعه به‌چه‌صورت‌هایی مدل می‌شود؟

۲- شرح دهید که در مطالعه نحوه تغییرات فرکانس و بار سیستم و کنترل فرکانس، معادلات الکتریکی ژنراتور و AVR به‌چه‌صورت در نظر گرفته می‌شوند و ثابت کنید که پاسخ ماندگار تغییر فرکانس Δf به تغییر پله‌ای بار به مقدار ΔP_d از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\Delta f = -\Delta P_d (D + \frac{1}{R})^{-1}$$

R دروپ گاورنر، D ضریب تغییر بار با فرکانس است.

۳- یک سیستم قدرت متشکل از یک نیروگاه که از طریق خط انتقال به باس ∞ وصل شده را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. شرح دهید که در این سیستم ناپایداری‌های دینامیک، استاتیک و گذرا هر یک چگونه ممکن است رخ دهد.



۴- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به‌صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$x = f(x, z)$$
$$g(x, z) = ۰$$

در این معادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر $x_۰$ بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده معادله خطی حاصل را به دست آورید.

۵- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت اتفاق می‌افتد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن کدام است.

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق– قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۲

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- سه نوع عدم پایداری در سیستم‌های قدرت (استاتیک، دینامیک و گذرا) با هم چه اختلاف‌هایی دارند برای هر یک مثال عملی بزنید. ناپایداری ولتاژ (Voltage Collapse) جزء کدام دسته معمولاً حساب می‌شود و چه‌طور اتفاق می‌افتد.

۲- سطوح کنترلی مختلفی را که در سیستم‌های قدرت اعمال می‌شوند، نام برده و از هر یک مثالی بزنید.

۳- تشدید زیر سنکرون را شرح داده و چند راه مقابله با آن را بیان کنید.

۴- روش‌های معادل‌سازی دینامیکی مبتنی بر مقادیر ویژه و روش‌های مبتنی بر شناسایی را شرح داده و با هم مقایسه کنید.

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت به‌صورت زیر داده شده است که در آن X بردار حالت و Z بردار متغیرهای جبری است.

$$x = f(x, z)$$
$$g = (x, z) =$$

الف- معادلات g و f چه معادلاتی هستند و چگونه به‌دست می‌آیند (با یک مثال ساده نشان دهید).

ب- با فرض این‌که x بردار مقادیر حالت در یک نقطه کار سیستم باشد، معادلات دینامیکی این سیستم را حول این نقطه کار به‌دست آورید.

۶- معادلات خطی شده حالت در یک سیستم قدرت به‌صورت:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{23} & A_{23} & A_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

بیان شده است اگر x_2 و x_3 حالت‌هایی از سیستم باشند که بدانیم دینامیک تغییرات آن‌ها نسبت به فاصله زمانی مورد مطالعه به ترتیب بسیار سریع و بسیار کند است به‌چه نحو و به چه مقدار می‌توان از رتبه سیستم کاست و معادله جدید سیستم را به‌دست آورید.

۷- یک ژنراتور که از طریق ترانس و یک خط کوتاه به باس بی‌نهایت متصل است، در نظر بگیرید.

الف- فرکانس نوسانات کم‌دامنه رتور را برحسب مشخصات الکتریکی و نقطه کار ژنراتور به‌دست آورید.

ب- نشان دهید که دینامیک این واحد را در حول نقطه کار می‌توان به‌صورت دیاگرام بلوکی زیر نمایش داد.

ج- مقادیر ویژه سیستم را بیابید.

$k = 0/8$
$D = \circ$
$f = 50Hz$
$H = 4s$

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق — قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۳

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به صورت L ،R موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک درصد افت ولتاژ و فرکانس چنددرصد تغییر در توان اکتیو و راکتیو بار ایجاد می‌گردد؟

اگر این بار از نوع بارهای کنترل‌شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستاتی) با ثابت زمانی T باشد. یک مدل دینامیکی برای این بار پیشنهاد کنید.

کمیات H، D، R و β در دینامیک سیستم‌های قدرت چه کمیاتی هستند و مربوط به کدام قسمت از سیستم می‌باشند. مقدار حدودی و واحد هر کدام در یک سیستم چه مقادیری می‌باشند؟

۲- مدل هفرون فیلیپس Heffron Phillips چه عنصری از سیستم قدرت را مدل می‌کند؟ برای چه نوع مطالعاتی به‌کار می‌رود؟ مقادیر K_1 تا K_6 در این مدل چگونه تعیین می‌شود.

۳- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم بزرگ (باس ∞) تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چه‌طور ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه صورت است؟ و چرا؟

۴- معادلات حالت یک سیستم به‌صورت زیر داده شده است.

$$x = f(x,z)$$
$$g = (x,z) = 0$$

که در آن x بردار حالت و z بردار متغیرهای جبری است.

بیان کنید که معادلات g و f چه معادلاتی هستند و z نمایانگر چه متغیرهایی است (با یک مثال ساده نشان دهید).

با فرض آن‌که x_0 بردار مقادیر حالت حول یک نقطه کار سیستم فرض شود پایداری این سیستم را حول این نقطه کار چگونه فرموله می‌کنید؟

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق- قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۴

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- یک ژنراتور که توسط ترانس و خط انتقال به یک باس بی‌نهایت وصل شده در اثر افزایش بار رتور نسبت به میدان سنکرون شروع به نوسان می‌کند. فرکانس نوسانات کم‌دامنه رتور را برحسب شرایط کار و پارامترهای ژنراتور به‌دست آورید.

۲- دیاگرام بلوکی که نقش PSS که فقط از سیگنال $\Delta\omega$ استفاده می‌کند را در ارتباط با دینامیک بقیه اجزاء نیروگاه که به شبکه قدرت وصل شده است را نشان دهید. نحوه تعیین پارامترهای PSS را به‌طور مختصر با استفاده از آن شرح دهید.

۳- سه نوع عدم پایداری در سیستم‌های قدرت (استاتیک، دینامیک و گذرا) از نظر عملی چه اختلاف‌هایی دارند؟ از نظر نحوه مدل‌سازی و بررسی چه مشابهت و یا اختلافی دارند.

۴- روش معادل‌سازی مبتنی بر مقادیر ویژه و روش مبتنی بر شناسایی را شرح داده و با هم مقایسه کنید.

۵- معادلات حالت یک سیستم به صورت زیر داده شده است.

$$x = f(x,z)$$
$$g = (x,z) = 0$$

که در آن x بردار حالت، z بردار متغیرهای جبری است. بیان کنید توابع f و g چه معادلاتی را بیان می‌کنند و z نمایانگر چه متغیرهایی است.

به‌فرض آن‌که x بردار مقادیر حالت یک نقطه کار پایدار سیستم فرض شود پایداری این سیستم را حول نقطه کار چگونه بررسی می‌کنید.

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق– قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۵

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار، به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به صورت L ،R موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک درصد افت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان اکتیو و راکتیو بار ایجاد می‌گردد؟

۲- قدرت نامی و تولیدی سه نیروگاه به‌صورت زیر است:

نیروگاه‌ها مجهز به گاورنر با مشخصه افتی (دروپ) برابر ۴٪ می‌باشند و نمونه بار ۱ و ۲ به ترتیب به اندازه ۲۰۰ و ۲۵۰ مگاوات با ضریب D برابر ۱ و ۱/۵ را تغذیه می‌کنند. انحراف ماندگار فرکانس، بار کل سیستم و تولد واحدها را در شرایط زیر محاسبه کنید:

الف- بازای قطع ۱۰ مگاوات از بار شماره ۲

ب- اگر تولید واحد ۱ را به صورت دستی به ۱۲۰ مگاوات افزایش دهیم.

فرکانس سیستم برابر ۵۰ هرتز است.

	$P_r(MW)$	$P_g(MW)$
۱	۲۰۰	۱۰۰
۲	۲۵۰	۱۵۰
۳	۳۰۰	۲۰۰

۳- مدل هفرون فیلیپس Heffron Phillips چه عنصری از سیستم قدرت را مدل می‌کنند. برای چه نوع مطالعاتی به‌کار می‌رود؟ مقادیر K_1 تا K_6 در این مدل چگونه تعیین می‌شود.

۴- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم

بزرگ (باس ∞) تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چه‌طور ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه صورت است؟ و چرا؟

۵- معادلات خطی شده حالت در یک سیستم قدرت به‌صورت:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{23} & A_{23} & A_{23} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

بیان شده است. اگر x_2 و x_3 حالت‌هایی از سیستم باشند که بدانیم دینامیک تغییرات آن‌ها نسبت به فاصله زمانی مورد مطالعه به‌ترتیب بسیار سریع و بسیار کند است به‌چه‌نحو و به چه مقدار می‌توان از رتبه سیستم کاست و معادله جدید سیستم را به‌دست آورید.

۶- تشدید زیر سنکرون (SSR) در سیستم‌های قدرت چه‌طور رخ می‌دهد. راه‌های مقابله با آن را توضیح دهید.

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق– قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۶

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود:

الف- با توان اکتیو و راکتیو تابع ولتاژ و فرکانس

ب- با رابطه v و I مدار RLC معادل

ج- با یک مدار پاسیو و مقدار ثابت اینرسی

د- حسب طبیعت مسئله مورد مطالعه فرق می‌کند

۲- برای مطالعه نحوه تغییرات فرکانس و بار و کنترل آن کدام عبارت صحیح است؟

الف- از دینامیک معادلات الکتریکی ژنراتور و AVR می‌توان صرف‌نظر کرد.

ب- پاسخ ماندگار تغییر فرکانس به تغییر پله‌ای بار به‌صورت $\Delta f = \Delta P_a \big/ (D + \frac{1}{R})$ است.

ج- از مدل خطی ساده شده نیروگاه‌ها استفاده می‌شود.

د- هر سه مورد صحیح است.

۳- کدام عبارت در مورد مدل هفرون فیلیپس Heffron Philips صحیح‌تر است.

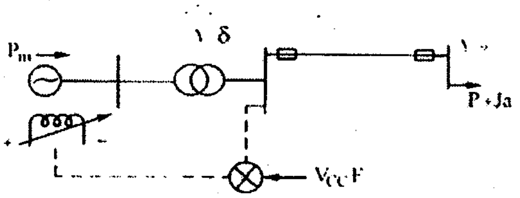
الف- این مدل برای بیان رفتار یک نیروگاه متصل به شین بی‌نهایت طراحی شده

ب- در این مدل رفتار ژنراتور برای مطالعات تغییرات جزئی خطی سازه شده

ج- در این مدل رفتار خطی یک نیروگاه با ثابت‌های K_1 تا K_6 حول نقطه کار مدل شده است.

د- در این مدل رفتار دینامیکی ژنراتور برای همه شرایط کار با شش ثابت K_1 تا K_6 بیان می‌شود.

۴- یک سیستم قدرت ساده متشکل از یک نیروگاه که از طریق خط انتقال به باس ∞ وصل شده را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید.



در این سیستم کدام عبارت صحیح است؟

الف- ناپایداری دینامیک با تغییر P و Q و حسب مقدار پارامترهای دینامیکی سیستم رخ می‌دهد.

ب- ناپایداری استاتیک با افزایش میزان بار خط رخ می‌دهد.

ج- در اثر قطع یکی از کلیدهای خط و بازبست مجدد آن ناپایداری گذرا رخ می‌دهد.

د- هر سه مورد می‌تواند صحیح باشد.

۵- معادلات حالت یک سیستم به‌صورت زیر داده شده است.

$$x = f(x,z)$$
$$g(x,z) = 0$$

در این معادلات کدام عبارت صحیح است؟

الف- g معادلات الکتریکی و f معادلات دینامیکی هستند.

ب- g و f دو دسته معادلات حالت سیستم هستند.

ج- g معادلات پخش بار و f معادلات حالت سیستم هستند.

د- معادلات g را با به‌دست آوردن z برحسب x و قرار دادن در معادله اول می‌توان حذف کرد.

۶- در سیستم مورد نظر در مسئله بالا اگر x بردار مقادیر حالت حول یک نقطه کار سیستم باشد کدام عبارت صحیح نیست.

الف- با قرار دادن $x = x + \Delta x$ در دو معادله می‌توان معادلات حالت خطی شده سیستم را به‌صورت $\Delta x = A\,\Delta x$ به‌دست آورید.

ب- با قرار دادن x در معادلات دوم z قابل محاسبه است و در این صورت $f(x,z) = 0$ است.

ج- معادلات خطی شده حول نقطه کار x و z عبارت است از $\Delta x = \left[\frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial z} \times \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^{-1} \frac{\partial g}{\partial x}\right] \Delta x$

د- با محاسبه ماتریس ژاکوبین مربوط به معادلات پخش بار می‌توان نسبت به پایداری این سیستم حول نقطه کار قضاوت کرد.

۷- در مورد تشدید زیر سنکرون کدام عبارت صحیح نیست؟

الف- برای قضاوت نسبت به ایجاد و یا عدم ایجاد تشدید زیر سنکرون باید فرکانس‌های طبیعی سیستم قدرت حول نقاط کار محاسبه شوند.

ب- فرکانس‌هی تشدید زیر سنکرون از رابطه $f = f_0 \pm f_m$ به‌دست می‌آیند.

ج- برای تعیین فرکانس‌های طبیعی سیستم قدرت مدل ژنراتور به‌صورت یک ژنراتور آسنکرون مدل می‌شود.

د- خطر تشدید زیر سنکرون را به کمک فیلترهای الکتریکی می‌توان کنترل کرد.

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق – قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۷

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار، به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت L،R موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک درصد افت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان اکتیو و راکتیو بار ایجاد می‌گردد؟

۲- قدرت نامی و تولیدی سه نیروگاه به‌صورت زیر است:

نیروگاه‌ها مجهز به گاورنر با مشخصه افتی (دروپ) برابر ۴٪ می‌باشند و نمونه بار ۱ و ۲ به ترتیب به اندازه ۲۰۰ و ۲۵۰ مگاوات با ضریب D برابر ۱ و ۱/۵ را تغذیه می‌کنند. انحراف ماندگار فرکانس، بار کل سیستم و تولد واحدها را در شرایط زیر محاسبه کنید:

الف- بازای قطع ۱۰ مگاوات از بار شماره ۲

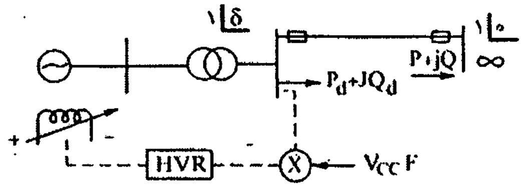
ب- اگر تولید واحد ۱ را به صورت دستی به ۱۲۰ مگاوات افزایش دهیم.

فرکانس سیستم برابر ۵۰ هرتز است.

	$P_r(MW)$	$P_g(MW)$
۱	۲۰۰	۱۰۰
۲	۲۵۰	۱۵۰
۳	۳۰۰	۲۰۰

۳- مدل هفرون فیلیپس Heffron Phillips چه عنصری از سیستم قدرت را مدل می‌کنند. برای چه نوع مطالعاتی به‌کار می‌رود؟ مقادیر K_1 تا K_6 در این مدل چگونه تعیین می‌شود.

۴- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم بزرگ (باس ∞) تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چه‌طور ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه صورت است؟



۵- معادلات حالت یک سیستم به‌صورت زیر داده شده است.

$$x = f(x,z)$$
$$g = (x,z) = 0$$

که در آن x بردار حالت و z بردار متغیرهای جبری است.

بیان کنید که معادلات g و f چه معادلاتی هستند و z نمایانگر چه متغیرهایی است (با یک مثال ساده نشان دهید).

با فرض آن‌که بردار مقادیر حالت حول یک نقطه کار سیستم فرض شود پایداری این سیستم را حول این نقطه کار برحسب توابع f و g و x_0 فرموله نمائید.

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق– قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۸

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار، به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت L،R موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک درصد افت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان اکتیو و راکتیو بار ایجاد می‌گردد؟

۲- پدیده‌های دینامیکی زیر را از لحاظ خطی/ غیرخطی، فرکانس بالا، فرکانس پایین بودن و نیز نحوه، مدل‌سازی مقایسه نمائید.

a) نوسانات بین ناحیه‌ای　　b) تشدید زیر سنکرون　　c) پایداری گذرا

۳- تشدید زیر سنکرون را شرح داده و چند راه مقابله با آن را بیان کنید.

۴- روش‌های معادل‌سازی دینامیکی مبتنی بر مقادیر ویژه و روش‌های مبتنی بر شناسایی را شرح داده و با هم مقایسه کنید.

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت به‌صورت مقابل داده شده است.

$$\dot{x} = f(x,z)$$
$$g(x,z) = 0$$

که در آن x بردار حالت و z بردار متغیرهای جبری است.

بیان کنید که معادلات g و f چه معادلاتی هستند و z نمایانگر چه متغیرهایی است (با یک مثال ساده نمایش دهید).

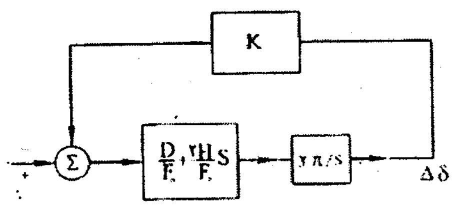
به فرض آن‌که x بردار مقادیر حالت حول یک نقطه کار سیستم فرض شود، پایداری این سیستم را حول این نقطه کار فرموله کنید؟

۶- یک ژنراتور را که از طریق ترانس و یک خط کوتاه به باس بی‌نهایت متصل است، در نظر بگیرید.

الف) فرکانس نوسانات کم‌دامنه رتور را برحسب مشخصات الکتریکی و نقطه کار ژنراتور به‌دست آورید.

ب) نشان دهید دینامیک این واحد را در حول نقطه کار می‌توان به‌صورت دیاگرام بلوکی زیر نمایش داد.

ج) مقادیر ویژه سیستم را بیابید.



آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق- قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۸۹

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت L ،R موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک درصد افت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان اکتیو و راکتیو بار ایجاد می‌گردد.

- اگر این بار از نوع بارهای کنترل‌شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستایی) با ثابت زمانی T باشد، یک مدل دینامیکی برای این بار پیشنهاد کنید.

۲- قدرت نامی و تولیدی سه نیروگاه به‌صورت زیر است:

نیروگاه‌ها مجهز به گاورنر با مشخصه افتی (دروپ) برابر ۴٪ می‌باشند و نمونه بار ۱ و ۲ به ترتیب به اندازه ۲۰۰ و ۲۵۰ مگاوات با ضریب D برابر ۱ و ۱/۵ را تغذیه می‌کنند. انحراف ماندگار فرکانس، بار کل سیستم و تولد واحدها را در شرایط

زیر محاسبه کنید:

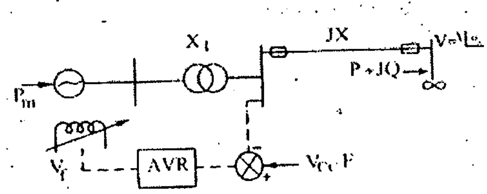
الف- بازای قطع ۱۰ مگاوات از بار شماره ۲

ب- اگر تولید واحد ۱ را به صورت دستی به ۱۲۰ مگاوات افزایش دهیم.

فرکانس سیستم برابر ۵۰ هرتز است.

	P_r(MW)	P_g(MW)
۱	۲۰۰	۱۰۰
۲	۲۵۰	۱۵۰
۳	۳۰۰	۲۰۰

۳- یک سیستم قدرت متشکل از یک نیروگاه که از طریق خط انتقال به باس ∞ وصل شده را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. شرح دهید که در این سیستم ناپایداری‌های دینامیک، استاتیک و گذرا هر یک چگونه ممکن است رخ دهد.



۴- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به‌صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$x = f(x,z)$$
$$g(x,z) = 0$$

در این معادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده معادله خطی حاصل را به دست آورید.

۵- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت اتفاق می‌افتد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن کدام است.

آزمون دکتری تخصصی مهندسی برق– قدرت

«دانشگاه آزاد» ۱۳۹۰

دینامیک سیستم‌های قدرت

۱- شرح دهید که در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت «بار» حسب طبیعت مسئله مورد مطالعه به‌چه‌صورت‌هایی مدل می‌شود؟

۲- شرح دهید که در مطالعه نحوه تغییرات فرکانس و بار سیستم و کنترل فرکانس، معادلات الکتریکی ژنراتور و AVR به‌چه‌صورت در نظر گرفته می‌شوند و ثابت کنید که پاسخ ماندگار تغییر فرکانس Δf به تغییر پله‌ای بار به مقدار ΔP_a از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

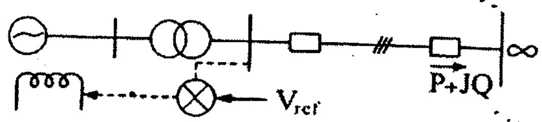
$$\Delta f = -\Delta P_d (D + \frac{1}{R})^{-1}$$

R دروپ گاورنر، D ضریب تغییر بار با فرکانس است.

۳- سه نوع عدم پایداری در سیستم‌های قدرت (استاتیک، دینامیک و گذرا) با هم چه اختلاف‌هایی دارند برای هر یک مثال بزنید.

الف- ناپایداری ولتاژ معمولاً جزء کدام دسته حساب می‌شود و چه‌طور اتفاق می‌افتد؟

ب- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم بزرگ (باس ∞) تحویل می‌دهد ناپایداری استاتیک، سیگنال کوچک و گذرا چگونه ممکن است اتفاق بیافتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه صورت است و چرا؟



۴- معادلات خطی شده حالت در یک سیستم قدرت به‌صورت:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

بیان شده است اگر x_2 و x_3 حالت‌هایی از سیستم باشند که بدانیم ثابت زمانی تغییرات آن‌ها نسبت به فاصله زمانی

مورد مطالعه به ترتیب بسیار کوچک و بسیار بزرگ است به‌چه نحو و به چه مقدار می‌توان از رتبه سیستم کاست و معادله جدید را به‌دست آورید. یک مثال از کاربرد این روش برای بررسی حالت دینامیک سیستم بیان کنید.

۵- مکانیزم ایجاد SSR در یک ژنراتوری که به باس ∞ وصل شده را بیان کنید. چرا برای مدل ژنراتور از مدل موتور آسنکرون استفاده می‌شود. چگونه می‌توان با ایجاد آن مقابله کرد. دو روش ذکر کنید.

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۱

۱- شرح دهید که در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت «بار» برحسب طبیعیت مسئله مورد مطالعه به چه صورتهائی مدل می‌شود؟

مدل‌سازی بار را به دو بخش عمده مدل‌های استاتیکی و مدل‌های دینامیکی تقسیم می‌کنند.

* مدل استاتیکی بار، مشخصه‌های بار را در هر لحظه از زمان به صورت توابع جبری برحسب دامنه ولتاژ شین و فرکانس در آن لحظه، بیان می‌کند. مؤلفه توان حقیقی (P) و مؤلفه توان راکتیو (Q) به‌طور جداگانه در نظر گرفته می‌شود. وابستگی مشخصه‌های بار به ولتاژ معمولاً به‌صورت نمایی نمایش داده می‌شود.

$$P = P_\circ (\bar{V})^a$$
$$Q = Q_\circ (\bar{V})^b$$
$$\bar{V} = \frac{V}{V_\circ}$$

که P و Q به‌ترتیب نمایش‌دهنده توان‌های اکتیو و راکتیو بار می‌باشد به‌شرطی که دامنه ولتاژ شین مساوی V باشد. زیرنویس o مقادیر متغیرهای مربوط را در شرائط کاری نشان می‌دهد. با توجه به اندیس‌های a و b بارها می‌توانند توان ثابت، جریان ثابت و یا امپدانس ثابت باشند. روش دیگری برای نشان دادن وابستگی و بار به ولتاژ وجود دارد.

$$P = P_\circ\left[\alpha_1\bar{V}^2 + \alpha_2\bar{V} + \alpha_3\right]\left(1 + k_f^p \Delta f\right)$$
$$Q = Q_\circ\left[\beta_1\bar{V}^2 + \beta_2\bar{V} + \beta_3\right]\left(1 + k_f^Q \Delta f\right)$$

ضرایب α_i و β_i میزان مشارکت مؤلفه‌های وابسته به ولتاژ بار را نشان می‌دهند. $P_\circ$ و $Q_\circ$ به‌ترتیب بار و ولتاژ در یک نقطه کار مشخص می‌باشند. ضرائب k_f^P و k_f^Q میزان مشارکت تغییرات فرکانس شبکه در توان اکتیو و راکتیو می‌باشد و Δf تغییرات فرکانس در محل بار می‌باشد. مدل استاتیکی بار در ولتاژهای پایین مناسب نیستند و ممکن است مشکلات محاسباتی ایجاد نمایند. با توجه به سریع بودن عکس‌العمل بارهای ترکیبی نسبت به ولتاژ و فرکانس سریعاً به پاسخ

حالت ماندگار می‌رسند.

* در فرآیندهایی نظیر مطالعات مربوط به نوسانات بین ناحیه‌ای، پایداری ولتاژ و پایداری بلندمدت از مدل‌سازی دینامیکی بار استفاده می‌شود. در مطالعات سیستم‌هایی که موتورهای متمرکز بزرگی دارند نیاز به نمایش دینامیک بار است. جنبه‌های دیگر دینامیکی اجزای بار که لازم است در مطالعات پایداری در نظر گرفته شود شامل خاموش شدن لامپ‌های تخلیه پایین‌تر از حد بخصوصی از ولتاژ و روشن شدن مجدد به‌هنگام بهبود و افزایش ولتاژ، عملکرد رله‌های حفاظتی نظیر رله‌های حرارتی و اضافه جریان، کنترل ترموستاتی بارها و عکس‌العمل تغییردهنده تپ زیر بار ترانس توزیع.

۲- شرح دهید که در مطالعه نحوه تغییرات فرکانس و بار سیستم و کنترل فرکانس، معادلات الکتریکی ژنراتور و AVR به‌چه صورت در نظر گرفته می‌شود و ثابت کنید که پاسخ ماندگار تغییرات فرکانس Δf به تغییر پله‌ای بار به مقدار ΔP_d از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\Delta f = -\Delta P_d (D + \frac{1}{R})^{-1}$$

D: دروپ گاورنر، D ضریب تغییرات بار با فرکانس است.

حل) جهت تشریح روابط معادله نوسان ژنراتور را در نظر می‌گیریم.

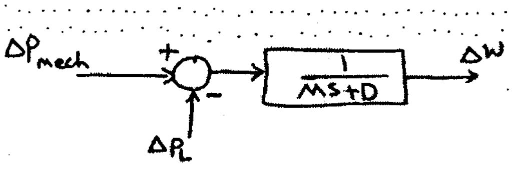
$$M\left(\frac{d(\Delta\omega)}{dt}\right) = P_{mech} - P_{elec}$$

همچنین داریم:

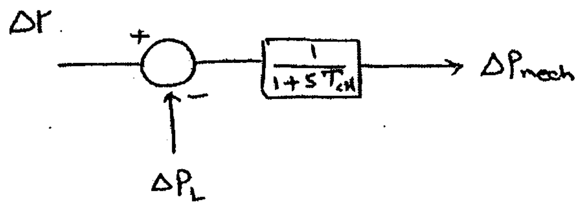
$$M\frac{d(\Delta\omega)}{dt} = \Delta P_{mech} - \Delta P_{elec}$$

$$\Delta P_{elec} = \Delta P_L + D\Delta\omega$$

که M گشتاور زاویه‌ای، ω سرعت زاویه‌ای، P_{mech} توان مکانیکی و P_{elec} توان الکتریکی ژنراتور و ΔP_L تغییرات بار غیروابسته به فرکانس و D حساسیت تغییرات بار نسبت به فرکانس است.

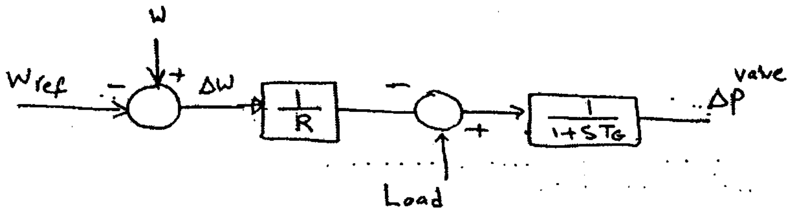


تابع تبدیل توربین به صورت زیر خواهد بود.

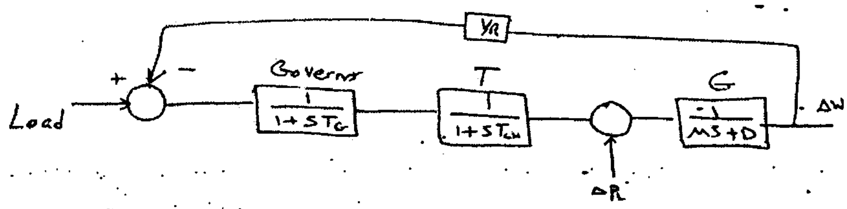


که T_{CH} ثابت زمانی شارژ توربین و ΔP_{valve} تغییرات موقعیت شیربخار است.

مدل‌سازی گاورنر به‌صورت زیر خواهد بود.



که T_G ثابت زمانی گاورنر می‌باشد و R دروپ گاورنر می‌باشد.



$$\Delta P_{mech} = -\frac{1}{R}\Delta\omega$$

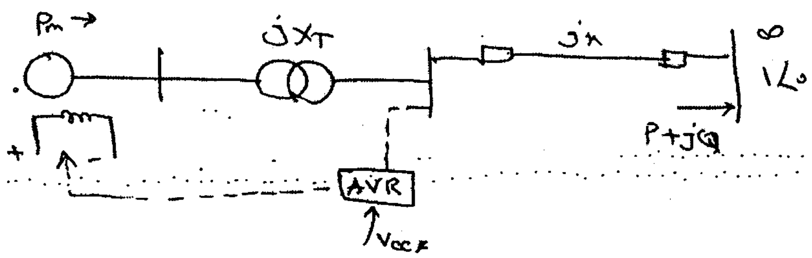
$$\Delta P_{mech} = D\Delta\omega + \Delta P_L$$

$$-\frac{1}{R}\Delta\omega - \Delta P_L = D\Delta\omega \Rightarrow \Delta\omega(D+\frac{1}{R}) = -\Delta P_L$$

$$\Delta\omega = -\Delta P_L(D+\frac{1}{R})^{-1} \Rightarrow \Delta f = -\Delta P_L(D+\frac{1}{R})^{-1}$$

بدلیل سریع‌تر بودن AVR نسبت به گاورنر در مطالعات مربوط به نحوه تغییرات فرکانس، مدل نمی‌شود.

۳- یک سیستم قدرت متشکل از یک نیروگاه که از طریق خط انتقال به باس ∞ وصل شده است را مطابق شکل در نظر بگیرید. شرح دهید که در این سیستم ناپایداری دینامیک، استاتیک و گذرا هر یک چگونه ممکن است رخ دهد.



حل) ناپایداری دینامیک یا ناپایداری سیگنال کوچک بر اثر وقوع اغتشاشات کوچک در سیستم رخ می‌دهد و شامل افزایش دائمی زاویه رتور به‌دلیل فقدان گشتاور سنکرون‌کننده و نوسانات افزایش زاویه رتور به‌دلیل فقدان گشتاور

میراکننده و زمانی که AVR ژنراتور فعال است، ناپایداری سیگنال کوچک به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده است.

ناپایداری استاتیکی بر اثر افزایش تدریجی توان ارسالی از خط می‌باشد. با افزایش توان ارسالی ژنراتور به حد توان تولیدی می‌رسد و از آن به‌بعد هرگونه افزایش بار، منجر به فروپاشی ولتاژ و کاهش فزاینده فرکانس سیستم و ناپایداری می‌شود.

ناپایداری گذرا بر اثر اتصال کوتاه در سیستم انتقال رخ می‌دهد. با وقوع اتصال کوتاه ژنراتور شروع به نوسان نموده و به‌دلیل وجود AVR این نوع ناپایداری از نوع نوسان‌هایی با میرایی منحنی خواهد بود.

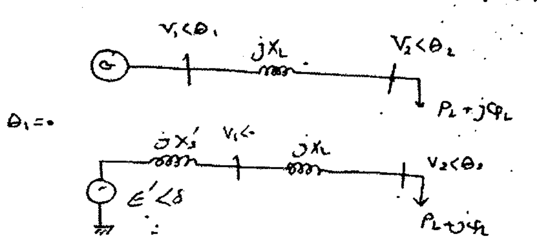
۴- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x, z)$$
$$g(x, z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)



$$X = \begin{bmatrix} \delta \\ \omega \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad Z = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \theta \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad P_e = \frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_0\,\Delta\omega \end{cases} \Rightarrow \quad f = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H}(P_m - P_{max}\sin\delta) \\ \omega_0(\omega - 1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) = 0 \\ P_L - P_e = 0 \quad \Rightarrow \quad \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \end{cases} \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x} = f(x_0, z_0)$

$$\begin{cases} \Delta\dot{x} = \frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n + \frac{\partial f}{\partial z_1} + \cdots + \frac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r \\ \Delta\dot{y} = 0 = \frac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \frac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n + \frac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1 + \cdots + \frac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r \end{cases}$$

$$\Delta x = f_x \Delta x + f_z \Delta z \qquad \Delta z = g_x \Delta x + g_z \Delta z = 0$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار (x_0, z_0) خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_z \\ g_x & g_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

$$f_x = \begin{bmatrix} -\frac{P_{max}}{PH}\cos\delta & 0 \\ 0 & \omega \end{bmatrix} \qquad f_z = \begin{bmatrix} \frac{E'}{X'_s}\sin\delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$g_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & 0 \end{bmatrix} \quad g_z = \begin{bmatrix} \left(\frac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\frac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\frac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \\ \left(-\frac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\frac{V_1}{X_L}\cos\theta + \frac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\frac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right) \\ \left(\frac{E'}{X'_s}\sin\theta + \frac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\frac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\frac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \end{bmatrix}$$

ماتریس ژاکوبین سیستم ← $A = \left[\frac{\partial f}{\partial x}\right] - \left[\frac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\frac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\frac{\partial g}{\partial x}\right]$

۵- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت رخ می‌دهد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن را ذکر نمائید.

تشدید سنکرون (SSR) به‌طور عمده در سیستم انتقال جبران‌شده با خازن سری روی می‌دهد. اگر مکمل فرکانس طبیعی شبکه قدرت یعنی فرکانس سنکرون منهای فرکانس طبیعی شبکه، نزدیک به یکی از فرکانس‌های پیچشی سیستم محور توربین- ژنراتور باشد، ممکن است نوسان‌های پیچشی تحریک شوند. این موقعیت را تشدید زیر سنکرون می‌نامند. تحت چنین شرایطی، ولتاژ القائی کوچک ناشی از نوسان‌های رتور ممکن است به جریان‌های زیر سنکرون بزرگ ختم گردد. این جریان مؤلفه‌های نوسانی در گشتاور رتور تولید می‌کند که نوسان رتور را افزایش می‌دهد.

روش‌های میراسازی SSR

۱- انتخاب صحیح محل نصب و مقدار خازن سری جبران‌ساز

۲- فیلترگذاری در خطوط انتقال که خازن سری بر روی آن نصب است.

۳- استفاده از تجهیزات FACTS نظیر SVC

۴- استفاده از طرح NGH (مقاومت الکتریکی متغیر موازی با خازن سری)

۵- استفاده از کنترلرهای کمکی سیستم تحریک برای میراسازی SSR

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۲

۱- سه نوع عدم پایداری در سیستم قدرت (استاتیک- دینامیک- گذرا) با هم چه اختلاف‌هائی دارند و برای هر یک مثال عملی بزنید. ناپایداری ولتاژ جزء کدام دسته حساب می‌شود و چه‌طور اتفاق می‌افتد.

پایداری گذرا توانایی سیستم قدرت در حفظ سنکرونیزم است، هنگامی‌که تحت تأثیر اغتشاش شدید قرار گیرد. خرابی وسایل انتقال، از دست دادن تولید یا از دست دادن یک بار بزرگ باعث چنین رویداد می‌شود. پاسخ سیستم به چنین اغتشاشاتی تغییرات بزرگی را در زوایای رتور ژنراتور، توان انتقالی ولتاژ شین‌ها و سایر متغیرهای سیستم به‌وجود می‌آورد. پایداری از مشخصه‌های غیرخطی سیستم تأثیر می‌پذیرد. اگر جدایی زاویه‌ای پدید آمده بین ماشین‌های سیستم، درون کلاف‌های معینی باقی بماند، سیستم سنکرونیزم خود را حفظ خواهد کرد، در غیراین‌صورت سیستم ناپایدار گذراست.

پایدار دینامیک همان پایداری سیگنال کوچک است. پایداری دینامیکی توانایی سیستم قدرت در حفظ سنکرونیزم است. هنگامی که سیستم تحت اغتشاشات کوچک (افزایش جزئی بار) قرار می‌گیرد. اگر بتوان جهت تحلیل سیستم، معادلات دینامیکی سیستم را خطی نمود ناپایداری سیگنال کوچک ناشی از نوسانات الکترومکانیکی سیستم است.

پایداری استاتیک همان پایداری ولتاژ می‌باشد و ناپایداری ولتاژ ناشی از ناپایداری استاتیکی است. معمولاً پایداری ولتاژ در سیستم قدرت تحت بارگذاری شدید رخ می‌دهد. پایداری ولتاژ به توانایی سیستم قدرت در حفظ ولتاژهای قابل قبول در کلیه ماشین‌های سیستم تحت وضعیت عادی و بعد از وارد شدن اغتشاشات است.

سیستم هنگامی وارد ناپایداری می شود که بروز اغتشاشات، افزایش بار سیستم و یا تغییر در موقعیت و توپولوژی سیستم موجب کاهش فزآینده و غیرکنترل ولتاژ شود. عامل اصلی ناپایداری ولتاژ، ناتوانی سیستم قدرت در مواجه با تقاضای راکتیو می‌باشد. عوامل اصلی فروپاشی ولتاژ عبارتند از محدودیت‌های کنترل توان راکتیو، ولتاژ ژنراتور، مشخصه‌های تجهیزات جبران راکتیو و عمل نمودن وسایل کنترل ولتاژ از قبیل LTCهاست.

۲- سطوح کنترل مختلفی را که در سیستم قدرت اعمال می‌شود نام برده و مثال بزنید.

* کنترل پیشگیرانه * کنترل اصلاحی * کنترل اضطراری

کنترل پیشگیرانه: قبل از وقوع ناپایداری به سیستم اعمال می شود مانند تغییر برنامه‌ریزی واحدها و تنظیمات تپ ترانس‌ها.

کنترل اصلاحی: پس از وقوع حوادث در شبکه اعمال می‌شود در مدار آوردن نیروگاه توان‌تر.

کنترل اضطراری: پس از وقوع حوادث سنگین و آغاز ناپایداری به سیستم اعمال می‌شود نظیر بارزدائی.

۳- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت رخ می‌دهد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن را ذکر نمائید.

تشدید سنکرون (SSR) به‌طور عمده در سیستم انتقال جبران‌شده با خازن سری روی می‌دهد. اگر مکمل فرکانس طبیعی شبکه قدرت یعنی فرکانس سنکرون منهای فرکانس طبیعی شبکه، نزدیک به یکی از فرکانس‌های پیچشی سیستم محور توربین- ژنراتور باشد، ممکن است نوسان‌های پیچشی تحریک شوند. این موقعیت را تشدید زیر سنکرون می‌نامند. تحت چنین شرایطی، ولتاژ القائی کوچک ناشی از نوسان‌های رتور ممکن است به جریان‌های زیر سنکرون بزرگ ختم گردد. این جریان مؤلفه‌های نوسانی در گشتاور رتور تولید می‌کند که نوسان رتور را افزایش می‌دهد.

روش‌های میراسازی SSR

۱- انتخاب صحیح محل نصب و مقدار خازن سری جبران‌ساز

۲- فیلترگذاری در خطوط انتقال که خازن سری بر روی آن نصب است.

۳- استفاده از تجهیزات FACTS نظیر SVC

۴- استفاده از طرح NGH (مقاومت الکتریکی متغیر موازی با خازن سری)

۵- استفاده از کنترلرهای کمکی سیستم تحریک برای میراسازی SSR

۴- روش‌های معادل‌سازی دینامیکی مبتنی بر مقادیر ویژه و روش‌های مبتنی بر شناسائی را شرح داده و با هم مقایسه کنید.

روش معادل‌سازی مودال: این روش برمبنای مقادیر ویژه می‌باشد. روش مودال برمبنای ساده سازی مدل‌های دینامیکی مرتبه بالاتر می‌باشد و در آن صفرها و قطب‌های غیرغالب حذف می‌شوند. برای استفاده از روش فوق مدل کامل سیستم را به‌دست آورده و آن را ساده‌سازی می‌نمائیم. از ایرادات روش مودال کاهش مرتبه سیستم موجب حذف شدن شبکه اصلی می‌گردد و ادامه تحلیل سیستم فقط به‌صورت ریاضی امکان‌پذیر است.

روش معادل‌سازی همانی (Coherency): این روش براساس شناخت ژنراتورهای Coherent بنا گذاشته شده است.

روش معادل‌سازی مبتنی بر مبنای شناسائی: در این روش برای به‌دست آوردن مدار معادل شبکه، از طریق مدل جعبه سیاه با اعمال سیگنال ورودی مناسب و دریافت سیگنال خروجی متناظر یک مدل دینامیکی معادل به‌دست می‌آوریم. به‌عبارتی پاسخ سیستم را به ورودی مشخص پیدا می‌کنند و از روی شکل پاسخ، سیستم دینامیکی مناسبی را با تقریب قابل همان پاسخ استخراج می‌نمایند.

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x,z)$$
$$g(x,z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$X = \begin{bmatrix} \delta \\ \omega \end{bmatrix} \quad و \quad Z = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta \end{bmatrix} \quad و \quad P_e = \frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_0\,\Delta\omega \end{cases} \Rightarrow f = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H}(P_m - P_{max}\sin\delta) \\ \omega_0(\omega-1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) = 0 \\ P_L - P_e = 0 \quad \Rightarrow \quad \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x} = f(x_\circ, z_\circ)$

$$\begin{cases} \Delta\dot{x} = \dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial f}{\partial z_1} + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r \\ \Delta\dot{y} = \circ = \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r \end{cases}$$

$$\Delta x = f_x\Delta x + f_z\Delta z \qquad \Delta z = g_x\Delta x + g_z\Delta z = \circ$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار $(x_\circ, z_\circ)$ خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_z \\ g_x & g_z \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

$$f_x = \begin{bmatrix} -\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & \circ \\ \circ & \omega \end{bmatrix} \qquad f_z = \begin{bmatrix} \dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \circ \end{bmatrix}$$

$$g_x = \begin{bmatrix} \circ & \circ \\ \circ & \circ \\ \dfrac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & \circ \end{bmatrix} \qquad g_z = \begin{bmatrix} \left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta + \dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right) \\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta + \dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \end{bmatrix}$$

$$A = \left[\frac{\partial f}{\partial x}\right] - \left[\frac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\frac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\frac{\partial g}{\partial x}\right] \rightarrow$$ ماتریس ژاکوبین سیستم

۶- معادلات خطی شده حالت در یک سیستم قدرت به‌صورت بیان شده است. اگر x_2 و x_3 حالت‌هایی از سیستم باشد که بدانیم دینامیک تغییرات آن‌ها نسبت به فاصله زمانی مورد مطالعه بسیار سریع و بسیار کند است. به‌چه نحو و به چه مقدار می‌توان از رتبه سیستم کاست و معادله جدید سیستم را به‌دست آورد؟

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

حل) چون دینامیک x_3 بسیار سریع‌تر از x_1 است، می‌توان در معادله رفتار x_3، x_1 و x_2 را ثابت فرض نمود.

x_2 با توجه به کند بودن ثابت فرض می‌شود آن را صفر در نظر می‌گیریم.

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{13}\\ A_{21} & A_{22} & A_{23}\\ A_{31} & A_{32} & A_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}$$

$$\dot{x}_2=\circ \;\Rightarrow\; A_{21}x_1+A_{22}x_2+A_{23}x_3=\circ \;\Rightarrow\; x_2=-\frac{1}{A_{22}}\left(A_{21}x_1+A_{23}x_3\right)$$

$$\dot{x}_3=\left(A_{31}-\frac{A_{32}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1+\left(A_{33}-\frac{A_{32}}{A_{23}}A_{23}\right)x_3$$

$$\Rightarrow\; \dot{x}_1=\left(A_{11}-\frac{A_{12}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1+\left(A_{13}-\frac{A_{12}}{A_{22}}A_{23}\right)x_3$$

با ثابت بودن x_1 در مقایسه با x_3 می‌توان معادله دیفرانسیل توصیف‌کننده رفتار متغیر حالت x_3 را به‌دست آورد.

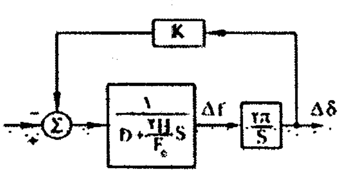
$$\dot{x}_3=k_1+k_2x_3 \;\Rightarrow\; \begin{cases}k_1=\left(A_{31}-\dfrac{A_{32}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1\\[2mm] k_2=\left(A_{33}-\dfrac{A_{32}}{A_{22}}\right)A_{23}\end{cases}$$

حال اگر دینامیک x_3 از معادله $\dot{x}_3=k_1+k_2x_3$ پایدار باشد، به‌دلیل بسیار سریع بودن x_3 در مقایسه با x_1، x_3 به‌سرعت به مقدار حالت ماندگار خود می‌رسد. لذا برای بازه زمانی مورد مطالعه، فقط دینامیک متغیر حالت x_1 برای نشان دادن رفتار سیستم کافی است.

$$\dot{x}_1=k_1'x_1+k_2' \;\Rightarrow\; \begin{cases}k_1'=A_{11}-\dfrac{A_{12}}{A_{22}}A_{21}\\[2mm] k_2'=A_{13}-\dfrac{A_{12}}{A_{22}}A_{23}x_3^{state}=cte\end{cases}$$

پس معادله نهایی سیستم عبارت $\dot{x}_1=k_1'x_1+k_2'$ مرتبه اول است.

۷- یک ژنراتور که از طریق ترانس و یک خط کوتاه با باس بی‌نهایت متصل است در نظر بگیرید.



الف) فرکانس نوسانات کم‌دامنه رتور را برحسب مشخصات الکتریکی و نقطه کار ژنراتور به‌دست آورید.

ب) نشان دهید که دینامیک این واحد را در حول نقطه کار می‌توان به‌صورت دیاگرام بلوک نمایش داد.

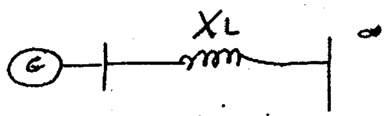
ج) مقادیر ویژه سیستم را به‌دست آورید.

$k = 0/8$
$D = \circ$
$f = 50\text{Hz}$
$H = 4s$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e - D\,\Delta\omega \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_\circ \Delta\omega \end{cases} \xrightarrow{\text{خطی سازی}} \begin{cases} 2H\dfrac{d\,\Delta\omega}{dt} = \Delta P_m - \Delta P_e - D\Delta\omega \\ \dfrac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_\circ \Delta\omega \end{cases}$$

$\Delta\omega = \Delta f$ و $\Delta P_e = k\,\Delta\delta$ و $f_\circ = 50$ $\omega_\circ = 2\pi f_\circ$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\Delta f}{dt} = \Delta P_m - \Delta P_e - D\,\Delta f \\ \dfrac{d\Delta\delta}{dt} = 2\pi f_\circ \Delta f \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{d\Delta f}{dt} = \dfrac{1}{2H}\left(\Delta P_m - k\Delta\delta - Df(s)\right) \\ \dfrac{d\Delta\delta}{dt} = 2\pi f_\circ \Delta f \end{cases}$$



$$\begin{cases} s\,\Delta f(s) = \dfrac{1}{2H}\left(\Delta \bar{P}_m - k\Delta\delta(s) - D\Delta f(s)\right) \\ s\,\Delta\delta(s) = 2\pi f\,\Delta f(s) \;\Rightarrow\; \Delta\delta(s) = \dfrac{2\pi f}{s}\Delta f(s) \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{f} \\ \Delta\dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{-D}{2H} & \dfrac{-k}{2H} \\ \omega_\circ & \circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta f \\ \Delta\delta \end{bmatrix}$$

معادله مشخصه $\Rightarrow\; s^2 + \dfrac{D}{2H}s + \dfrac{k\omega_\circ}{2H} = \circ \;\Rightarrow\; \omega_n = \sqrt{\dfrac{k\omega_\circ}{2H}}$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_n^2 - \alpha^2} \qquad \alpha = \zeta\omega_n \qquad \omega_d = y_2\sqrt{\left(\frac{D}{2H}\right)^2 - A\left(\frac{k\omega_\circ}{2H}\right)} = \sqrt{\left(\frac{D}{2H}\right)^2 - \frac{k\omega_\circ}{2H}}$$

$H = 4s$ $f = 50$ $D = \circ$ $k = 0/8$

$$s^2 + \frac{0/8(100\pi)}{2\times 4} = \circ \;\Rightarrow\; s = \mp j5/605$$

فرکانس نوسانات رتور $\leftarrow f = \dfrac{\omega_n}{2\pi} = 0/892\,\text{Hz}$

$\omega_d = \omega_n = 5/605 \text{ rad/sec}$

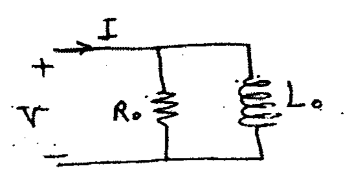
کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۳

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت R، L موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک‌درصد اُفت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان راکتیو و اکتیو بار ایجاد می‌گردد. اگر این بار از نوع بارهای کنترل شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستاتی) با ثابت زمانی T باشد، یک مدل دینامیک برای این بار پیشنهاد کنید.

کمیات H و D و R و β در دینامیک سیستم قدرت چه کمیاتی هستند و مربوط به کدام قسمت از سیستم می‌باشد. مقدار ورودی و واحد هر کدام در یک سیستم چه مقادیری می‌باشد.

حل) در مطالعات دینامیکی، معمولاً بارها به‌صورت توان ثابت، مدل می‌شوند. ولی برای مطالعاتی دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های دینامیک نیز استفاده می شود.

$$Z = \frac{R_\circ L_\circ \omega}{R_\circ^2 + (L_\circ\omega)^2}\left[(L_\circ\omega) + jR_\circ\right] = R + j\omega L$$



$$S = VI^* = \frac{|V|^2}{R - jL\omega} = \frac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 + j\frac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = \dfrac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \\ Q = \dfrac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta|V|} = \frac{2R|V|}{R^2(L\omega)^2} = 2\frac{R|V|^2}{R^2 + (L\omega)^2}\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

$$= 2P\frac{\Delta|V|}{|V|} \Rightarrow \frac{\Delta P}{P} = 2\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

به‌طور مشابه داریم:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

به‌ازای یک درصد تغییر ولتاژ، ۲٪ توان اکتیو و توان راکتیو تغییر می‌کند.

$$\Delta P = -|V|^2 \frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)^2}\Delta f = -P\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)}\Delta f$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{P} = -2\frac{(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{P} = -2\sin^2\theta\frac{\Delta f}{f}$$

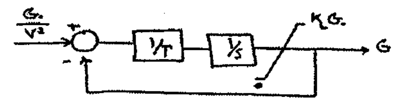
$$\frac{\Delta P}{P} \doteq -0/555\frac{\Delta f}{f} \quad \Leftarrow \quad \sin\theta = 0/5268 \quad و \quad \cos\theta = 0/85$$

به عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۵ درصد قدرت مصرفی را کاهش می‌دهد.

با استفاده از رابطه‌ای مشابه برای توان راکتیو

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{R^2-(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta Q}{Q} = \cos 2\theta\frac{\Delta f}{f} \Rightarrow \frac{\Delta Q}{Q} = 0/445\frac{\Delta f}{f}$$



به‌عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۴۴۵ درصد افزایش قدرت راکتیو مصرفی بار را به‌همراه دارد.

مدل دینامیک بار ترموستاتی $\Leftarrow \quad T\frac{dG}{dt} = \left(\frac{P}{V^2}\right) - G$

G : کنداکتانس بار

T : ثابت زمانی

$K_L G_\circ$: حداکثر مقدار G

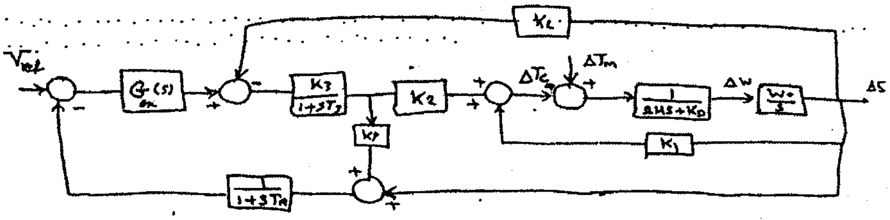
H : ثابت اینرسی مجموعه توربین- ژنراتور و واحد آن $\frac{MWh}{MW}$ می‌باشد.

D : میرایی سیستم می‌باشد و به اصطکاک قسمت گردان رتور مربوط می‌شود.

R : شیب مشخصه تنظیم گاورنر ژنراتور سنکرون می‌باشد.

β : ضریب انتگرال‌گیر صفرکننده انحراف فرکانس

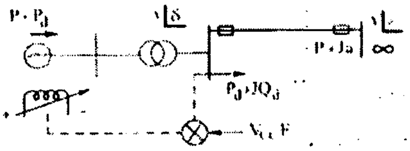
۲- مدل هفرون فلیپس (Heffron Philips) چه عنصری از سیستم قدرت را مدل می‌کنند. برای چه نوع مطالعاتی به‌کار می‌رود و مقادیر k_1 تا k_6 را چگونه تعیین می‌کنند؟



این مدل ژنراتور سنکرون متصل به شین بی‌نهایت را مدل می‌کند و برای مطالعات پایداری سیگنال کوچک کاربرد دارد.

با خطی‌سازی معادلات حالت مدل‌کننده سیستم ضرائب k_1 تا k_6 تعیین می‌شوند.

۳- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم بزرگ تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چگونه ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه‌صورت است؟ چرا؟



ناپایداری گذرا که مطابق شکل بر اثر وقوع اغتشاشات سنگین (نظیر اتصال کوتاه‌ها) روی می‌دهد.

$$p = \frac{v_1 v_2}{x}\sin\delta = \frac{1}{x}\sin\delta$$

که مقدار p با توجه به δ تعیین می‌شود. هر چه p بیش‌تر باشد، نقطه کار به حد پایداری ماندگار در ۹۰ درجه نزدیک‌تر می‌شود. حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

ناپایداری دینامیکی که با افزایش p، مقادیر ویژه سیستم خطی شده به محور $j\omega$ نزدیک‌تر می‌شود و احتمال وقوع ناپایداری سیگنال کوچک افزایش می‌یابد. در شرایطی که AVR مطابق شکل فعال باشد ناپایداری سیگنال کوچک به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده می‌باشد. یعنی نوسانات رتور افزایش می‌یابد. این ناپایداری بر اثر تغییر جزئی بار (اغتشاشات کوچک) به‌دست می‌آید.

ناپایداری استاتیکی همان افت بیش از حد ولتاژ می‌باشد که بر اثر افزایش p رخ می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش p حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

* ناپایداری دینامیکی همان ناپایداری سیگنال کوچک

و ناپایداری استاتیکی همان ناپایدار ولتاژ یا فروپاشی ولتاژ می‌باشد.

۴- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x, z)$$
$$g(x, z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$X = \begin{bmatrix} \delta \\ \omega \end{bmatrix} \quad و \quad Z = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta \end{bmatrix} \quad و \quad P_e = \frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_0\,\Delta\omega \end{cases} \Rightarrow f = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H}(P_m - P_{max}\sin\delta) \\ \omega_0(\omega - 1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) = 0 \\ P_L - P_e = 0 \quad \Rightarrow \quad \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x} = f(x_0, z_0)$

$$\begin{cases} \Delta\dot{x} = \dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial f}{\partial z_1} + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r \\ \Delta\dot{y} = 0 = \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r \end{cases}$$

$$\Delta x = f_x\Delta x + f_z\Delta z \qquad \Delta z = g_x\Delta x + g_z\Delta z = 0$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار (x_0, z_0) خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix}\Delta x\\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}f_x & f_z\\ g_x & g_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta x\\ \Delta z\end{bmatrix}$$

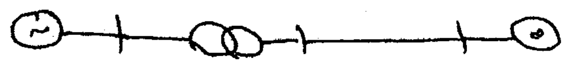
$$f_x=\begin{bmatrix}-\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & 0\\ 0 & \omega\end{bmatrix}\qquad f_z=\begin{bmatrix}\dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$g_x=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\\ \dfrac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & 0\end{bmatrix}\qquad g_z=\begin{bmatrix}\left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right)\\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta+\dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right)\\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta+\dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right)\end{bmatrix}.$$

ماتریس ژاکوبین سیستم $\leftarrow$ $A=\left[\dfrac{\partial f}{\partial x}\right]-\left[\dfrac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\dfrac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\dfrac{\partial g}{\partial x}\right]$

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۴

۱- یک ژنراتور که توسط ترانس و خط انتقال به یک باس بی‌نهایت وصل شده در اثر افزایش بار رتور نسبت به میدان سنکرون شروع به نوسان می‌کند. فرکانس نوسانات کم دامنه رتور را برحسب شرائط کار و پارامترهای ژنراتور به‌دست آورید؟

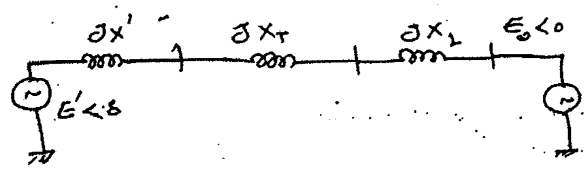


مدل مرتبه دوم ماشین را در نظر می‌گیریم و معادلات توان و زاویه بار را می‌نویسیم.

$$2H\frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e - D(\omega - 1)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_\circ(\omega - 1)$$

$$P_e = \frac{E'E_\infty}{(x' + x_T + x_L)}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$



$$\Rightarrow \begin{cases} \dfrac{d\Delta\omega}{dt} = \dfrac{1}{2H}(\Delta P_m - \Delta P_e - D\Delta\omega) \\ \dfrac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_\circ\Delta\omega \end{cases}$$

$$\Delta P_e = (P_{max}\cos\delta_\circ)\Delta\delta = k_s\Delta\delta$$

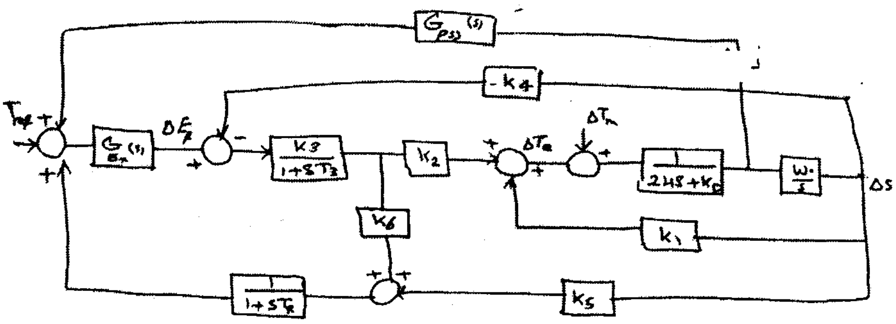
$$\begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{-D}{2H} & \dfrac{-k_s}{2H} \\ \omega_\circ & \circ \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{مقادیر ویژه}} |\lambda I - A| = \circ$$

$$\lambda^2 + \frac{D}{2H}\lambda + \frac{k_s\omega_\circ}{2H} = \circ \Rightarrow \begin{cases} 2\alpha = \dfrac{D}{2H} \Rightarrow \alpha = \dfrac{D}{4H} \\ \omega_r = \sqrt{\left(\dfrac{k_s\omega_\circ}{2H}\right) - \left(\dfrac{D}{4H}\right)^2} \end{cases}$$

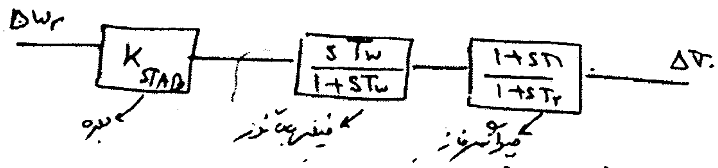
فرکانس نوسان کم‌دامنه رتور $\leftarrow \omega_r = \frac{1}{4H}\sqrt{8k_s\omega_\circ - D^2}$

۲- دیاگرام بلوکی که نقش PSS که فقط از سیگنال $\Delta\omega$ استفاده می‌کند را در ارتباط با دینامیک بقیه اجزا نیروگاه که به شبکه قدرت وصل شده است را نشان دهید؟ نحوه تعیین پارامترهای PSS را به صورت مختصر با استفاده از آن شرح

دهید:



PSS باید به گونه‌ای انتخاب شوند که پس‌فازی ناشی از سیستم تحریک و ژنراتور جبران گردد و گشتاور میراشونده ایجاد نماید. PSS باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که نسبت به تغییرات حالت ماندگار بار، عکس‌العمل نشان ندهد و برای این موضوع از یک بلوک جبران فاز، یک بلوک بهره میراکننده و یک فیلتر بالاگذر استفاده می‌شود.



۳- سه نوع عدم پایداری در سیستم قدرت (استاتیک، دینامیک، گذرا) از نظر عملی چه اختلاف‌هائی دارند؟ از نظر نحوه مدل‌سازی و بررسی چه مشابهتی یا اختلافی دارند.

پایداری استاتیک در واقع همان پایداری ولتاژ سیستم است که در آن پایداری نقطه کار حالت ماندگار سیستم بررسی می‌شود. پایداری ولتاژ به توانائی سیستم قدرت در حفظ ولتاژهای قابل قبول در همه شین‌های سیستم، تحت وضعیت عادی و پس از حوادث اطلاق می‌شود. عامل اصلی ناپایداری ولتاژ، فقدان پشتیبانی راکتیو مناسب و کافی در شبکه است که باعث افت افزاینده و غیرقابل قبول ولتاژ می‌شود. برای مطالعه پایداری ولتاژ، مدل‌سازی دقیق بار و ادواتی نظیر تپ چنجه‌ها و محدودکننده‌های فوق تحریک ژنراتورها ضروری است.

پایداری دینامیک یا سیگنال کوچک به توانایی سیستم در حفظ سنکرونیزم بر اثر وقوع اغتشاشات کوچک (تغییر جزئی بار) گویند. این ناپایداری دینامیک، اغلب به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده در سیستم است. مدل مورد استفاده در این مطالعات مشابه مدل پایداری گذراست. در این مدل‌سازی، معادلات دینامیکی سیستم خطی می‌شود.

پایداری گذرا به توانایی سییستم قدرت در حفظ سنکرونیزم اطلاق می‌گردد هنگامی‌که سیستم تحت تأثیر اغتشاشات بزرگی نظیر اتصال کوتاه‌های شدید یا خروج خطوط یا ژنراتورهای بزرگ، قرار می‌گیرد. این ناپایداری معمولاً در زمان

حداکثر چند ثانیه به‌وقوع می‌پیوندد. برای مدل‌سازی باید ژنراتور سنکرون و ماشین گردان سیستم را مدل نمود و معادلات نوسان رتورها را نوشت. مدل‌سازی دقیق و دینامیکی بار، اغلب ضروری نیست زیرا دینامیک بار، بسیار کندتر هستند.

۴- روش‌های معادل‌سازی دینامیکی مبتنی بر مقادیر ویژه و روش‌های مبتنی بر شناسائی را شرح داده و با هم مقایسه کنید.

روش معادل‌سازی مودال: این روش برمبنای مقادیر ویژه می‌باشد. روش مودال برمبنای ساده سازی مدل‌های دینامیکی مرتبه بالاتر می‌باشد و در آن صفرها و قطب‌های غیرغالب حذف می‌شوند. برای استفاده از روش فوق مدل کامل سیستم را به‌دست آورده و آن را ساده‌سازی می‌نمائیم. از ایرادات روش مودال کاهش مرتبه سیستم موجب حذف شدن شبکه اصلی می‌گردد و ادامه تحلیل سیستم فقط به‌صورت ریاضی امکان‌پذیر است.

روش معادل‌سازی همانی (Coherency): این روش براساس شناخت ژنراتورهای Coherent بنا گذاشته شده است.

روش معادل‌سازی مبتنی بر مبنای شناسائی: در این روش برای به‌دست آوردن مدار معادل شبکه، از طریق مدل جعبه سیاه با اعمال سیگنال ورودی مناسب و دریافت سیگنال خروجی متناظر یک مدل دینامیکی معادل به‌دست می‌آوریم. به‌عبارتی پاسخ سیستم را به ورودی مشخص پیدا می‌کنند و از روی شکل پاسخ، سیستم دینامیکی مناسبی را با تقریب قابل همان پاسخ استخراج می‌نمایند.

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x,z)$$
$$g(x,z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$X=\begin{bmatrix}\delta\\ \omega\end{bmatrix} \quad \text{و} \quad Z=\begin{bmatrix}v_1\\ v_2\\ \theta\end{bmatrix} \quad \text{و} \quad P_e=\frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta=P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases}2H\dfrac{d\omega}{dt}=P_m-P_e\\ \dfrac{d\delta}{dt}=\omega_\circ\,\Delta\omega\end{cases}\Rightarrow\; f=\begin{bmatrix}\dfrac{1}{2H}(P_m-P_{max}\sin\delta)\\ \omega_\circ(\omega-1)\end{bmatrix}$$

$$\begin{cases}P_L+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta=\circ\\ Q_L-\dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta-V_2)=\circ\\ P_L-P_e=\circ\;\Rightarrow\;\dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta=\circ\end{cases}\Rightarrow\begin{bmatrix}P_L+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta\\ Q_L-\dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta-V_2)\\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta\end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x}=f(x_\circ,z_\circ)$

$$\begin{cases}\Delta\dot{x}=\dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1+\cdots+\dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n+\dfrac{\partial f}{\partial z_1}+\cdots+\dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r\\ \Delta\dot{y}=\circ=\dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1+\cdots+\dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n+\dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1+\cdots+\dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r\end{cases}$$

$$\Delta x=f_x\Delta x+f_z\Delta z \qquad\qquad \Delta z=g_x\Delta x+g_z\Delta z=\circ$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار $(x_\circ,z_\circ)$ خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix}\Delta x\\ \circ\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}f_x & f_z\\ g_x & g_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta x\\ \Delta z\end{bmatrix}$$

$$f_x=\begin{bmatrix}-\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & \circ\\ \circ & \omega\end{bmatrix} \qquad\qquad f_z=\begin{bmatrix}\dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & \circ & \circ\\ \circ & \circ & \circ\end{bmatrix}$$

$$g_x=\begin{bmatrix}\circ & \circ\\ \circ & \circ\\ \dfrac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & \circ\end{bmatrix} \quad g_z=\begin{bmatrix}\left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right)\\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta+\dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right)\\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta+\dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right)\end{bmatrix}$$

$$A=\left[\frac{\partial f}{\partial x}\right]-\left[\frac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\frac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\frac{\partial g}{\partial x}\right] \rightarrow$$ ماتریس ژاکوبین سیستم

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۵

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت R، L موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک‌درصد اُفت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان راکتیو و اکتیو بار ایجاد می‌گردد. اگر این بار از نوع بارهای کنترل شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستاتی) با ثابت زمانی T باشد، یک مدل دینامیک برای این بار پیشنهاد کنید.

کمیات H و D و R و β در دینامیک سیستم قدرت چه کمیاتی هستند و مربوط به کدام قسمت از سیستم می‌باشد. مقدار ورودی و واحد هر کدام در یک سیستم چه مقادیری می‌باشد.

حل) در مطالعات دینامیکی، معمولاً بارها به‌صورت توان ثابت، مدل می‌شوند. ولی برای مطالعاتی دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های دینامیک نیز استفاده می شود.

$$Z=\frac{R_\circ L_\circ\omega}{R_\circ^2+(L_\circ\omega)^2}\left[(L_\circ\omega)+jR_\circ\right]=R+j\omega L$$

$$S=VI^*=\frac{|V|^2}{R-jL\omega}=\frac{R}{R^2+(L\omega)^2}|V|^2+j\frac{L\omega}{R^2+(L\omega)^2}|V|^2$$

$$\Rightarrow\begin{cases}P=\dfrac{R}{R^2+(L\omega)^2}|V|^2\\ Q=\dfrac{L\omega}{R^2+(L\omega)^2}|V|^2\end{cases}\Rightarrow\quad \frac{\Delta P}{\Delta|V|}=\frac{2R|V|}{R^2(L\omega)^2}=2\frac{R|V|^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

$$=2P\frac{\Delta|V|}{|V|}\;\Rightarrow\;\frac{\Delta P}{P}=2\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

به‌طور مشابه داریم:

$$\frac{\Delta Q}{Q}=2\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

به‌ازای یک درصد تغییر ولتاژ، ۲٪ توان اکتیو و توان راکتیو تغییر می‌کند.

$$\Delta P=-|V|^2\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2+(L\omega)^2\right)^2}\Delta f=-P\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2+(L\omega)^2\right)}\Delta f$$

$$\Rightarrow\ \frac{\Delta P}{P}=-2\frac{(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f}\ \Rightarrow\ \frac{\Delta P}{P}=-2\sin^2\theta\frac{\Delta f}{f}$$

$$\frac{\Delta P}{P}=-0/555\frac{\Delta f}{f}\ \Leftarrow\ \sin\theta=0/5268\ \text{و}\ \cos\theta=0/85$$

به عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۵ درصد قدرت مصرفی را کاهش می‌دهد.

با استفاده از رابطه‌ای مشابه برای توان راکتیو

$$\frac{\Delta Q}{Q}=\frac{R^2-(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f}$$

$$\Rightarrow\ \frac{\Delta Q}{Q}=\cos 2\theta\frac{\Delta f}{f}\ \Rightarrow\ \frac{\Delta Q}{Q}=0/445\frac{\Delta f}{f}$$

به‌عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۴۴۵ درصد افزایش قدرت راکتیو مصرفی بار را به‌همراه دارد.

مدل دینامیک بار ترموستاتی $\Leftarrow\ T\frac{dG}{dt}=\left(\frac{P}{V^2}\right)-G$

G : کنداکتانس بار

T : ثابت زمانی

$K_L G_0$: حداکثر مقدار G

H : ثابت اینرسی مجموعه توربین- ژنراتور و واحد آن $\frac{MWh}{MW}$ می‌باشد.

D : میرایی سیستم می‌باشد و به اصطکاک قسمت گردان رتور مربوط می‌شود.

R : شیب مشخصه تنظیم گاورنر ژنراتور سنکرون می‌باشد.

β : ضریب انتگرال‌گیر صفرکننده انحراف فرکانس

۲- قدرت نامی و تولیدی به نیروگاه به‌صورت زیر است. نیروگاه مجهز به گاورنر یا مشخصه افقی (دروپ) ۴٪ می‌باشد و دو نمونه بار ۱ و ۲ به‌ترتیب به‌اندازه ۲۰۰ و ۲۵۰ مگاوات با ضریب D برابر ۱ و ۱/۵ تغذیه می‌کنند. انحراف ماندگار فرکانس، بار کل سیستم و تولید واحدها را در شرایط زیر محاسبه کنید.

الف) بازای قطع ۱۰ مگاوات از بار شماره ۲

ب) اگر تولید واحد را به‌صورت دستی به ۱۲۰ مگاوات افزایش دهیم.

	$P_r(MW)$	$P_g(MW)$
۱	۲۰۰	۱۰۰
۲	۲۵۰	۱۵۰
۳	۳۰۰	۲۰۰

حل)

$$S_b = 100\text{ MVA} \Rightarrow R_1 = 0/04 \times \frac{100}{200} = 0/02 \quad \Rightarrow D_1 = 1 \times \frac{200}{100} = 0/01\text{ pu}$$

$$R_2 = 0/04 \times \frac{100}{250} = 0/016 \quad \Rightarrow D_2 = 1/5 \times \frac{250}{100} = 0/037\text{ pu}$$

$$R_3 = 0/04 \times \frac{100}{300} = 0/0133$$

$$\text{(الف)}\ \Delta p_D = \frac{-10}{100} = -0/1\text{ pu}$$

$$\Delta f = -\frac{\Delta p_D}{\sum\left(D + \frac{1}{R}\right)} = -\frac{-0/1}{(0/01+0/0375) + \left(\frac{1}{0/01} + \frac{1}{0/016} + \frac{1}{0/0133}\right)} = 0/0004\text{ Hz}$$

$$\text{(ب)}\ \Delta p_D = \frac{-120}{100} = -1/2\text{pu}$$

$$\Delta f = \frac{-1/2}{(0/01+0/0375) + \left(\frac{1}{0/01} + \frac{1}{0/016} + \frac{1}{0/0133}\right)} = 0/005\text{ Hz}$$

$$\Delta p_D = \frac{-120}{100} = -1/2\text{ pu}$$

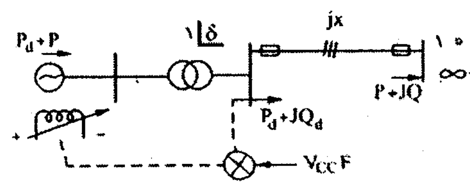
۳- مدل هفرون فلیپس (Heffron Philips) چه عنصری از سیستم قدرت را مدل می‌کنند. برای چه نوع مطالعاتی به‌کار می‌رود و مقادیر k_1 تا k_6 را چگونه تعیین می‌کنند؟

این مدل ژنراتور سنکرون متصل به شین بی‌نهایت را مدل می‌کند و برای مطالعات پایداری سیگنال کوچک کاربرد دارد.

با خطی‌سازی معادلات حالت مدل‌کننده سیستم ضرائب k_1 تا k_6 تعیین می‌شوند.

۴- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم بزرگ تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چگونه ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر

کدام به چه‌صورت است؟ چرا؟



ناپایداری گذرا که مطابق شکل بر اثر وقوع اغتشاشات سنگین (نظیر اتصال کوتاه‌ها) روی می‌دهد.

$$p=\frac{v_1v_2}{x}\sin\delta=\frac{1}{x}\sin\delta$$

که مقداز p با توجه به δ تعیین می‌شود. هر چه p بیش‌تر باشد، نقطه کار به حد پایداری ماندگار در ۹۰ درجه نزدیک‌تر می‌شود. حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

ناپایداری دینامیکی که با افزایش p، مقادیر ویژه سیستم خطی شده به محور $j\omega$ نزدیک‌تر می‌شود و احتمال وقوع ناپایداری سیگنال کوچک افزایش می‌یابد. در شرایطی که AVR مطابق شکل فعال باشد ناپایداری سیگنال کوچک به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده می‌باشد. یعنی نوسانات رتور افزایش می‌یابد. این ناپایداری بر اثر تغییر جزئی بار (اغتشاشات کوچک) به‌دست می‌آید.

ناپایداری استاتیکی همان افت بیش از حد ولتاژ می‌باشد که بر اثر افزایش p رخ می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش p حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

* ناپایداری دینامیکی همان ناپایداری سیگنال کوچک

و ناپایداری استاتیکی همان ناپایدار ولتاژ یا فروپاشی ولتاژ می‌باشد.

۵- معادلات خطی شده حالت در یک سیستم قدرت به‌صورت بیان شده است. اگر x_2 و x_3 حالت‌هایی از سیستم باشد که بدانیم دینامیک تغییرات آن‌ها نسبت به فاصله زمانی مورد مطالعه بسیار سریع و بسیار کند است. به‌چه نحو و به چه مقدار می‌توان از رتبه سیستم کاست و معادله جدید سیستم را به‌دست آورد؟

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{13}\\ A_{21} & A_{22} & A_{23}\\ A_{31} & A_{32} & A_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}$$

حل) چون دینامیک x_3 بسیار سریع‌تر از x_1 است، می‌توان در معادله رفتار x_3، x_1 و x_2 را ثابت فرض نمود.

x_2 با توجه به کند بودن ثابت فرض می‌شود آن را صفر در نظر می‌گیریم.

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{13}\\ A_{21} & A_{22} & A_{23}\\ A_{31} & A_{32} & A_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}$$

$$\dot{x}_2=0 \Rightarrow A_{21}x_1+A_{22}x_2+A_{23}x_3=0 \Rightarrow x_2=-\frac{1}{A_{22}}\left(A_{21}x_1+A_{23}x_3\right)$$

$$\dot{x}_3=\left(A_{31}-\frac{A_{32}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1+\left(A_{33}-\frac{A_{32}}{A_{23}}A_{23}\right)x_3$$

$$\Rightarrow \dot{x}_1=\left(A_{11}-\frac{A_{12}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1+\left(A_{13}-\frac{A_{12}}{A_{22}}A_{23}\right)x_3$$

با ثابت بودن x_1 در مقایسه با x_3 می‌توان معادله دیفرانسیل توصیف‌کننده رفتار متغیر حالت x_3 را به‌دست آورد.

$$\dot{x}_3=k_1+k_2x_3 \Rightarrow \begin{cases} k_1=\left(A_{31}-\dfrac{A_{32}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1\\ k_2=\left(A_{33}-\dfrac{A_{32}}{A_{22}}\right)A_{23}\end{cases}$$

حال اگر دینامیک x_3 از معادله $x_3=k_1+k_2x_3$ پایدار باشد، بدلیل بسیار سریع بودن x_3 در مقایسه با x_1، x_3 به‌سرعت به مقدار حالت ماندگار خود می‌رسد. لذا برای بازه زمانی مورد مطالعه، فقط دینامیک متغیر حالت $\bar{x}_1$ برای نشان دادن رفتار سیستم کافی است.

$$\dot{x}_1=k_1'x_1+k_2' \Rightarrow \begin{cases} k_1'=A_{11}-\dfrac{A_{12}}{A_{22}}A_{21}\\ k_2'=A_{13}-\dfrac{A_{12}}{A_{22}}A_{23}x_3^{state}=cte\end{cases}$$

پس معادله نهایی سیستم عبارت $\dot{x}_1=k_1'x_1+k_2'$ مرتبه اول است.

۶- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت رخ می‌دهد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن را ذکر نمائید.

تشدید سنکرون (SSR) به‌طور عمده در سیستم انتقال جبران‌شده با خازن سری روی می‌دهد. اگر مکمل فرکانس طبیعی شبکه قدرت یعنی فرکانس سنکرون منهای فرکانس طبیعی شبکه، نزدیک به یکی از فرکانس‌های پیچشی سیستم محور توربین- ژنراتور باشد، ممکن است نوسان‌های پیچشی تحریک شوند. این موقعیت را تشدید زیر سنکرون می‌نامند. تحت چنین شرایطی، ولتاژ القائی کوچک ناشی از نوسان‌های رتور ممکن است به جریان‌های زیر سنکرون بزرگ ختم گردد. این جریان مؤلفه‌های نوسانی در گشتاور رتور تولید می‌کند که نوسان رتور را افزایش می‌دهد.

روش‌های میراسازی SSR

۱- انتخاب صحیح محل نصب و مقدار خازن سری جبران‌ساز

۲- فیلترگذاری در خطوط انتقال که خازن سری بر روی آن نصب است.

۳- استفاده از تجهیزات FACTS نظیر SVC

۴- استفاده از طرح NGH (مقاومت الکتریکی متغیر موازی با خازن سری)

۵- استفاده از کنترلرهای کمکی سیستم تحریک برای میراسازی SSR

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۶

۱- گزینه «د» درست می‌باشد.

۲- گزینه «د» درست می‌باشد.

به‌دلیل کندتر بودن دینامیک کنترل بار- فرکانس می‌توان از دینامیک معادلات الکتریکی ژنراتور و حلقه AVR با توجه به سریع بودن صرف‌نظر کرد. به‌دلیل تغییرات ناچیز فرکانس می‌توان از مدل خطی استفاده کرد. خطای فرکانس زمانی صحیح است که حلقه کنترل نیروگاه غیرفعال باشد.

۳- گزینه «د» درست است.

۴- گزینه «د» درست است.

۵- گزینه «ج» درست است.

۶- گزینه «الف» درست است.

با تحلیل ژاکوبین ماتریس $\left[fx - f_z\, g_z^{-1}\, gx\right]$ می‌توان راجع به پایداری قضاوت نمود.

۷- گزینه «ب» درست است.

فرکانس تشدید زیرسنکرون از رابطه $f = f_e - f_m$ به‌دست می‌آید و رابطه $f = f_e + f_m$ صحت ندارد.

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۷

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت R، L موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک‌درصد اُفت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان راکتیو و اکتیو بار ایجاد می‌گردد. اگر این بار از نوع بارهای کنترل شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستاتی) با ثابت زمانی T باشد، یک مدل دینامیک برای این بار پیشنهاد کنید.

کمیات H و D و R و β در دینامیک سیستم قدرت چه کمیاتی هستند و مربوط به کدام قسمت از سیستم می‌باشد. مقدار ورودی و واحد هر کدام در یک سیستم چه مقادیری می‌باشد.

حل) در مطالعات دینامیکی، معمولاً بارها به‌صورت توان ثابت، مدل می‌شوند. ولی برای مطالعاتی دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های دینامیک نیز استفاده می شود.

$$Z = \frac{R_c L_c \omega}{R_c^2 + (L_c\omega)^2}\left[(L_c\omega) + jR_c\right] = R + j\omega L$$

$$S = VI^* = \frac{|V|^2}{R - jL\omega} = \frac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 + j\frac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = \dfrac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \\ Q = \dfrac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{\Delta|V|} = \frac{2R|V|}{R^2(L\omega)^2} = 2\frac{R|V|^2}{R^2 + (L\omega)^2}\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

$$= 2P\frac{\Delta|V|}{|V|} \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{P} = 2\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

به‌طور مشابه داریم:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2\frac{\Delta|V|}{|V|}$$

به‌ازای یک درصد تغییر ولتاژ، ۲٪ توان اکتیو و توان راکتیو تغییر می‌کند.

$$\Delta P = -|V|^2\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)^2}\Delta f = -P\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)}\Delta f$$

$$\Rightarrow \ \frac{\Delta P}{P}=-2\frac{(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f} \quad \Rightarrow \ \frac{\Delta P}{P}=-2\sin^2\theta\frac{\Delta f}{f}$$

$$\frac{\Delta P}{P}=-0/555\frac{\Delta f}{f} \quad \Leftarrow \quad \sin\theta=0/5268 \quad \text{و} \quad \cos\theta=0/85$$

به عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۵ درصد قدرت مصرفی را کاهش می‌دهد.

با استفاده از رابطه‌ای مشابه برای توان راکتیو

$$\frac{\Delta Q}{Q}=\frac{R^2-(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f}$$

$$\Rightarrow \ \frac{\Delta Q}{Q}=\cos 2\theta\frac{\Delta f}{f} \ \Rightarrow \ \frac{\Delta Q}{Q}=0/445\frac{\Delta f}{f}$$

به‌عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۴۴۵ درصد افزایش قدرت راکتیو مصرفی بار را به‌همراه دارد.

مدل دینامیک بار ترموستاتی $\Leftarrow \ T\frac{dG}{dt}=\left(\frac{P}{V^2}\right)-G$

G : کنداکتانس بار

T : ثابت زمانی

$K_L G_c$: حداکثر مقدار G

H : ثابت اینرسی مجموعه توربین- ژنراتور و واحد آن $\frac{MWh}{MW}$ می‌باشد.

D : میرایی سیستم می‌باشد و به اصطکاک قسمت گردان رتور مربوط می‌شود.

R : شیب مشخصه تنظیم گاورنر ژنراتور سنکرون می‌باشد.

β : ضریب انتگرال‌گیر صفرکننده انحراف فرکانس

۲- قدرت نامی و تولیدی سه نیروگاه به‌صورت زیر است. نیروگاه مجهز به گاورنر با مشخصه افقی (دروپ) ۴٪ می‌باشد و دو نمونه بار ۱ و ۲ به‌ترتیب به‌اندازه ۲۰۰ و ۲۵۰ مگاوات با ضریب D برابر ۱ و ۱/۵ تغذیه می‌کنند. انحراف ماندگار فرکانس، بار کل سیستم و تولید واحدها را در شرائط زیر محاسبه کنید.

الف) بازای قطع ۱۰ مگاوات از بار شماره ۲

ب) اگر تولید واحد را به‌صورت دستی به ۱۲۰ مگاوات افزایش دهیم.

	$P_r(MW)$	$P_g(MW)$
۱	۲۰۰	۱۰۰
۲	۲۵۰	۱۵۰
۳	۳۰۰	۲۰۰

حل)

$$S_b = 100\ \text{MVA} \Rightarrow R_1 = 0/04\times\frac{100}{200} = 0/02 \quad \Rightarrow \quad D_1 = 1\times\frac{200}{100} = 0/01\,\text{pu}$$

$$R_2 = 0/04\times\frac{100}{250} = 0/016 \quad \Rightarrow \quad D_2 = 1/5\times\frac{250}{100} = 0/037\,\text{pu}$$

$$R_3 = 0/04\times\frac{100}{300} = 0/0133$$

الف) $\Delta p_D = \frac{-10}{100} = -0/1\,\text{pu}$

$$\Delta f = -\frac{\Delta p_D}{\sum\left(D+\frac{1}{R}\right)} = -\frac{-0/1}{(0/01+0/0375)+\left(\frac{1}{0/01}+\frac{1}{0/016}+\frac{1}{0/0133}\right)} = 0/0004\,\text{Hz}$$

ب) $\Delta p_D = \frac{-120}{100} = -1/2\text{pu}$

$$\Delta f = \frac{-1/2}{(0/01+0/0375)+\left(\frac{1}{0/01}+\frac{1}{0/016}+\frac{1}{0/0133}\right)} = 0/005\,\text{Hz}$$

$$\Delta p_D = \frac{-120}{100} = -1/2\,\text{pu}$$

۳- مدل هفرون فلیپس (Heffron Philips) چه عنصری از سیستم قدرت را مدل می‌کنند. برای چه نوع مطالعاتی به‌کار می‌رود و مقادیر k_1 تا k_6 را چگونه تعیین می‌کنند؟

این مدل ژنراتور سنکرون متصل به شین بی‌نهایت را مدل می‌کند و برای مطالعات پایداری سیگنال کوچک کاربرد دارد.

با خطی‌سازی معادلات حالت مدل‌کننده سیستم ضرائب k_1 تا k_6 تعیین می‌شوند.

۴- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P+jQ$ را به یک سیستم بزرگ تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چگونه ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه‌صورت است؟ چرا؟

ناپایداری گذرا که مطابق شکل بر اثر وقوع اغتشاشات سنگین (نظیر اتصال کوتاه‌ها) روی می‌دهد.

$$p = \frac{v_1 v_2}{x}\sin\delta = \frac{1}{x}\sin\delta$$

که مقدار p با توجه به δ تعیین می‌شود. هر چه p بیش‌تر باشد، نقطه کار به حد پایداری ماندگار در ۹۰ درجه نزدیک‌تر می‌شود. حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

ناپایداری دینامیکی که با افزایش p، مقادیر ویژه سیستم خطی شده به محور $j\omega$ نزدیک‌تر می‌شود و احتمال وقوع ناپایداری سیگنال کوچک افزایش می‌یابد. در شرایطی که AVR مطابق شکل فعال باشد ناپایداری سیگنال کوچک به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده می‌باشد. یعنی نوسانات رتور افزایش می‌یابد. این ناپایداری بر اثر تغییر جزئی بار (اغتشاشات کوچک) به‌دست می‌آید.

ناپایداری استاتیکی همان افت بیش از حد ولتاژ می‌باشد که بر اثر افزایش p رخ می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش p حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

* ناپایداری دینامیکی همان ناپایداری سیگنال کوچک
و ناپایداری استاتیکی همان ناپایدار ولتاژ یا فروپاشی ولتاژ می‌باشد.

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x, z)$$
$$g(x, z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$X = \begin{bmatrix}\delta \\ \omega\end{bmatrix} \quad \text{و} \quad Z = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad P_e = \frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_\circ \Delta\omega \end{cases} \Rightarrow f = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H}(P_m - P_{max}\sin\delta) \\ \omega_\circ(\omega - 1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = \circ \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}\left(V_1\cos\theta - V_2\right) = \circ \\ P_L - P_e = \circ \quad \Rightarrow \quad \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = \circ \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}\left(V_1\cos\theta - V_2\right) \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x} = f(x_\circ, z_\circ)$

$$\begin{cases} \Delta\dot{x} = \dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial f}{\partial z_1} + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r \\ \Delta\dot{y} = \circ = \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r \end{cases}$$

$$\Delta x = f_x\Delta x + f_z\Delta z \qquad \Delta z = g_x\Delta x + g_z\Delta z = \circ$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار $(x_\circ, z_\circ)$ خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_z \\ g_x & g_z \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

$$f_x = \begin{bmatrix} -\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & \circ \\ \circ & \omega \end{bmatrix} \qquad f_z = \begin{bmatrix} \dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & \circ & \circ \\ \circ & \circ & \circ \end{bmatrix}$$

$$g_x = \begin{bmatrix} \circ & \circ \\ \circ & \circ \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\cos\delta & \circ \end{bmatrix} \quad g_z = \begin{bmatrix} \left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta + \dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right) \\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta + \dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \end{bmatrix}$$

ماتریس ژاکوبین سیستم $\leftarrow A = \left[\dfrac{\partial f}{\partial x}\right] - \left[\dfrac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\dfrac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\dfrac{\partial g}{\partial x}\right]$

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۸

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت R، L موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک‌درصد اُفت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان راکتیو و اکتیو بار ایجاد می‌گردد. اگر این بار از نوع بارهای کنترل شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستاتی) با ثابت زمانی T باشد، یک مدل دینامیک برای این بار پیشنهاد کنید.

کمیات H و D و R و β در دینامیک سیستم قدرت چه کمیاتی هستند و مربوط به کدام قسمت از سیستم می‌باشد. مقدار ورودی و واحد هر کدام در یک سیستم چه مقادیری می‌باشد.

حل) در مطالعات دینامیکی، معمولاً بارها به‌صورت توان ثابت، مدل می‌شوند. ولی برای مطالعاتی دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های دینامیک نیز استفاده می شود.

$$Z = \frac{R_\circ L_\circ \omega}{R^2 + (L_\circ \omega)^2}\left[(L_\circ \omega) + jR_\circ\right] = R + j\omega L$$

$$S = VI^* = \frac{|V|^2}{R - jL\omega} = \frac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 + j\frac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = \dfrac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \\ Q = \dfrac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{\Delta |V|} = \frac{2R|V|}{R^2(L\omega)^2} = 2\frac{R|V|^2}{R^2 + (L\omega)^2}\frac{\Delta |V|}{|V|}$$

$$= 2P\frac{\Delta |V|}{|V|} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{P} = 2\frac{\Delta |V|}{|V|}$$

به‌طور مشابه داریم:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2\frac{\Delta |V|}{|V|}$$

به‌ازای یک درصد تغییر ولتاژ، ۲٪ توان اکتیو و توان راکتیو تغییر می‌کند.

$$\Delta P = -|V|^2 \frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)^2}\Delta f = -P\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)}\Delta f$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{P} = -2\frac{(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{P} = -2\sin^2\theta\frac{\Delta f}{f}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = -0/555\frac{\Delta f}{f} \quad \Leftarrow \quad \sin\theta = 0/5268 \quad , \quad \cos\theta = 0/85$$

به عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۵ درصد قدرت مصرفی را کاهش می‌دهد.

با استفاده از رابطه‌ای مشابه برای توان راکتیو

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{R^2-(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta Q}{Q} = \cos 2\theta\frac{\Delta f}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta Q}{Q} = 0/445\frac{\Delta f}{f}$$

به‌عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۴۴۵ درصد افزایش قدرت راکتیو مصرفی بار را به‌همراه دارد.

مدل دینامیک بار ترموستاتی $\Leftarrow$ $T\frac{dG}{dt} = \left(\frac{P}{V^2}\right) - G$

G : کنداکتانس بار

T : ثابت زمانی

$K_L G_\circ$: حداکثر مقدار G

H : ثابت اینرسی مجموعه توربین- ژنراتور و واحد آن $\frac{MWh}{MW}$ می‌باشد.

D : میرایی سیستم می‌باشد و به اصطکاک قسمت گردان رتور مربوط می‌شود.

R : شیب مشخصه تنظیم گاورنر ژنراتور سنکرون می‌باشد.

β : ضریب انتگرال‌گیر صفرکننده انحراف فرکانس

۲- پدیده‌های دینامیکی زیر را از لحاظ خطی/ غیرخطی، فرکانس بالا، فرکانس پایین بودن و نیز نحوه مدل‌سازی شرح دهید.

حل) در نوسانات بین‌ناحیه‌ای پدیده‌ای غیرخطی و با توجه به رنج فرکانس ۰/۲ تا ۲ هرتز، فرکانس پایین می‌باشد و برای مدل‌سازی آن از آنالیز مودال استفاده می‌شود به‌طوری که مدل خطی شده سیستم حول یک نقطه کار مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در پایدارگذرا پدیده‌ای غیرخطی و فرکانس پایین می‌باشد. برای مطالعه، معادلات جبری شبکه را به همراه معادلات

دیفرانسیل غیرخطی ژنراتورها به‌صورت همزمان حل می‌نمایند.

در تشدید زیرسنکرون: مدل غیرخطی و فرکانس بالا می‌باشد. برای مدل‌سازی و بررسی تشدید زیرسنکرون معادلات سمت شبکه نیز علاوه بر معادلات دینامیک ژنراتور و محور توربین ژنراتور در نظر گرفته شوند. سپس مجموعه معادلات دیفرانسیل شبکه، ژنراتور محور توربین- ژنراتور خطی شده و از روی آن فرکانس پیچشی به‌دست می‌آید.

۳- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت رخ می‌دهد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن را ذکر نمائید.

تشدید سنکرون (SSR) به‌طور عمده در سیستم انتقال جبران‌شده با خازن سری روی می‌دهد. اگر مکمل فرکانس طبیعی شبکه قدرت یعنی فرکانس سنکرون منهای فرکانس طبیعی شبکه، نزدیک به یکی از فرکانس‌های پیچشی سیستم محور توربین- ژنراتور باشد، ممکن است نوسان‌های پیچشی تحریک شوند. این موقعیت را تشدید زیر سنکرون می‌نامند. تحت چنین شرایطی، ولتاژ القائی کوچک ناشی از نوسان‌های رتور ممکن است به جریان‌های زیر سنکرون بزرگ ختم گردد. این جریان مؤلفه‌های نوسانی در گشتاور رتور تولید می‌کند که نوسان رتور را افزایش می‌دهد.

روش‌های میراسازی SSR

۱- انتخاب صحیح محل نصب و مقدار خازن سری جبران‌ساز

۲- فیلترگذاری در خطوط انتقال که خازن سری بر روی آن نصب است.

۳- استفاده از تجهیزات FACTS نظیر SVC

۴- استفاده از طرح NGH (مقاومت الکتریکی متغیر موازی با خازن سری)

۵- استفاده از کنترلرهای کمکی سیستم تحریک برای میراسازی SSR

۴- روش‌های معادل‌سازی دینامیکی مبتنی بر مقادیر ویژه و روش‌های مبتنی بر شناسائی را شرح داده و با هم مقایسه کنید.

روش معادل‌سازی مودال: این روش برمبنای مقادیر ویژه می‌باشد. روش مودال برمبنای ساده سازی مدل‌های دینامیکی مرتبه بالاتر می‌باشد و در آن صفرها و قطب‌های غیرغالب حذف می‌شوند. برای استفاده از روش فوق مدل کامل سیستم را به‌دست آورده و آن را ساده‌سازی می‌نمائیم. از ایرادات روش مودال کاهش مرتبه سیستم موجب حذف شدن شبکه اصلی می‌گردد و ادامه تحلیل سیستم فقط به‌صورت ریاضی امکان‌پذیر است.

روش معادل‌سازی همانی (Coherency): این روش براساس شناخت ژنراتورهای Coherent بنا گذاشته شده است.

روش معادل‌سازی مبتنی بر مبنای شناسائی: در این روش برای به‌دست آوردن مدار معادل شبکه، از طریق مدل جعبه

سیاه با اعمال سیگنال ورودی مناسب و دریافت سیگنال خروجی متناظر یک مدل دینامیکی معادل به‌دست می‌آوریم. به‌عبارتی پاسخ سیستم را به ورودی مشخص پیدا می‌کنند و از روی شکل پاسخ، سیستم دینامیکی مناسبی را با تقریب قابل همان پاسخ استخراج می‌نمایند.

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x, z)$$
$$g(x, z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$X = \begin{bmatrix} \delta \\ \omega \end{bmatrix} \quad و \quad Z = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \theta \end{bmatrix} \quad و \quad P_e = \frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_0 \Delta\omega \end{cases} \Rightarrow f = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H}(P_m - P_{max}\sin\delta) \\ \omega_0(\omega - 1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) = 0 \\ P_L - P_e = 0 \Rightarrow \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x} = f(x_0, z_0)$

$$\begin{cases}\Delta\dot{x} = \dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial f}{\partial z_1} + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r \\ \Delta\dot{y} = 0 = \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r\end{cases}$$

$$\Delta x = f_x\Delta x + f_z\Delta z \qquad \Delta z = g_x\Delta x + g_z\Delta z = 0$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار (x_0, z_0) خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطهٔ کار پرداخت.

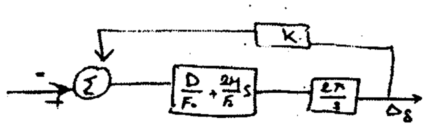
$$\begin{bmatrix}\Delta x \\ 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_z \\ g_x & g_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta x \\ \Delta z\end{bmatrix}$$

$$f_x = \begin{bmatrix} -\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & 0 \\ 0 & \omega\end{bmatrix} \qquad f_z = \begin{bmatrix}\dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$g_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -\dfrac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & 0\end{bmatrix} \qquad g_z = \begin{bmatrix}\left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta + \dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right) \\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta + \dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right)\end{bmatrix}$$

ماتریس ژاکوبین سیستم $\leftarrow$ $A = \left[\dfrac{\partial f}{\partial x}\right] - \left[\dfrac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\dfrac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\dfrac{\partial g}{\partial x}\right]$

۶- یک ژنراتور را که از طریق ترانس و یک خط کوتاه به باس بی‌نهایت متصل است در نظر بگیرید.



الف) فرکانس نوسانات کم دامنه رتور را برحسب مشخصات الکتریکی و نقطه کار ژنراتور به‌دست آورید.

ب) نشان دهید دینامیک این واحد در حول نقطه کار را می‌توان به‌صورت دیاگرام بلوکی نمایش داد.

ج) مقادیر ویژه سیستم را بیابید.

$$\begin{cases} \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{1}{2H}\left[P_m - P_e - D(\omega - 1)\right] \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_0(\omega - 1) \\ P_e = \dfrac{E_\theta E'}{(x' + x_T + x_L)}\sin\delta = P_{max}\sin\delta \end{cases}$$

خطی نمودن
$$\begin{cases} \dfrac{d\Delta\omega}{dt} = \dfrac{1}{2H}(\Delta P_m - \Delta P_e - D\Delta\omega) \\ \dfrac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_0\Delta\omega \end{cases}$$

$$\Delta P_e = (P_{max}\cos\delta_0)\Delta\delta = k_s\Delta\delta.$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\omega} \\ \Delta\dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{-D}{2H} & \dfrac{-k_s}{2H} \\ \omega_0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \Delta\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H} \\ 0 \end{bmatrix}\Delta P_m$$

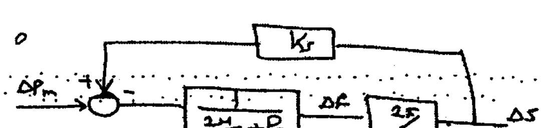
$$|\lambda I - A| = 0 \Rightarrow \lambda^2 + \frac{D}{2H}\lambda + k_s\frac{\omega_0}{2H} = 0 \Rightarrow \begin{cases} 2\alpha = \dfrac{D}{2H} \\ \omega^2 = \dfrac{k_s\omega_0}{2H} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \omega_r = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} = \sqrt{\left(\frac{k_s\omega_0}{2H}\right) - \frac{D}{4H}} = \frac{1}{4H}\sqrt{8k_s\omega_0 - D^2}$$

$$\begin{cases} S\Delta\omega = -\dfrac{D}{2H}\Delta\omega - \dfrac{k_s}{2H}\Delta\delta + \dfrac{1}{2H}\Delta P_m \\ S\Delta\delta = \omega_0\omega \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{matrix} \Delta\omega = \Delta f \\ \omega_0 = 2\pi f_0 \end{matrix}$$

$$\lambda^2 + \frac{D}{2H}\lambda + k_s\frac{\omega_0}{2H} = 0$$



$$\Rightarrow \lambda_{1,2} = \frac{\dfrac{-D}{2H} \mp \sqrt{\left(\dfrac{D}{2H}\right)^2 - \dfrac{2k_s\omega_0}{H}}}{2} = -\frac{D}{4H} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\frac{D^2}{4H^2} - \frac{2k_s\omega_0}{H}}$$

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۸۹

۱- در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت بار به چه صورت مدل می‌شود؟ یک شین با بار اندوکتیو به‌صورت L، R، موازی با $\cos\phi = 0/85$ در نظر بگیرید. بازای یک‌درصد اُفت ولتاژ و فرکانس چند درصد تغییر در توان راکتیو و اکتیو بار ایجاد می‌گردد. اگر این بار از نوع بارهای کنترل شده که توان مفید ثابتی را می‌طلبد (نوع ترموستاتی) با ثابت زمانی T باشد، یک مدل دینامیک برای این بار پیشنهاد کنید.

کمیات H و D و R و β در دینامیک سیستم قدرت چه کمیاتی هستند و مربوط به کدام قسمت از سیستم می‌باشد. مقدار ورودی و واحد هر کدام در یک سیستم چه مقادیری می‌باشد.

حل) در مطالعات دینامیکی، معمولاً بارها به‌صورت توان ثابت، مدل می‌شوند. ولي برای مطالعاتي دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های دینامیک نیز استفاده می شود.

$$Z = \frac{R_\circ L_\circ \omega}{R_\circ^2 + (L_\circ \omega)^2}\left[(L_\circ \omega) + jR_\circ\right] = R + j\omega L$$

$$S = VI^* = \frac{|V|^2}{R - jL\omega} = \frac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 + j\frac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = \dfrac{R}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \\ Q = \dfrac{L\omega}{R^2 + (L\omega)^2}|V|^2 \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{\Delta |V|} = \frac{2R|V|}{R^2 (L\omega)^2} = 2\frac{R|V|^2}{R^2 + (L\omega)^2}\frac{\Delta |V|}{|V|}$$

$$= 2P\frac{\Delta |V|}{|V|} \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{P} = 2\frac{\Delta |V|}{|V|}$$

به‌طور مشابه داریم:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2\frac{\Delta |V|}{|V|}$$

به‌ازای یک درصد تغییر ولتاژ، ۲٪ توان اکتیو و توان راکتیو تغییر می‌کند.

$$\Delta P = -|V|^2 \frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)^2}\Delta f = -P\frac{2R(L\omega)^2}{f\left(R^2 + (L\omega)^2\right)}\Delta f$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{P}=-2\frac{(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f} \quad \Rightarrow \frac{\Delta P}{P}=-2\sin^2\theta\frac{\Delta f}{f}$$

$$\frac{\Delta P}{P}=-0/555\frac{\Delta f}{f} \quad \Leftarrow \quad \sin\theta=0/5268 \quad و \quad \cos\theta=0/85$$

به عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۵ درصد قدرت مصرفی را کاهش می‌دهد.

با استفاده از رابطه‌ای مشابه برای توان راکتیو

$$\frac{\Delta Q}{Q}=\frac{R^2-(L\omega)^2}{R^2+(L\omega)^2}\frac{\Delta f}{f}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta Q}{Q}=\cos 2\theta\frac{\Delta f}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta Q}{Q}=0/445\frac{\Delta f}{f}$$

به‌عبارتی یک درصد افزایش فرکانس، ۰/۴۴۵ درصد افزایش قدرت راکتیو مصرفی بار را به‌همراه دارد.

مدل دینامیک بار ترموستاتی $\Leftarrow \quad T\frac{dG}{dt}=\left(\frac{P}{V^2}\right)-G$

G : کنداکتانس بار

T : ثابت-زمانی

$K_L G$: حداکثر مقدار G

H : ثابت اینرسی مجموعه توربین- ژنراتور و واحد آن $\frac{MWh}{MW}$ می‌باشد.

D : میرایی سیستم می‌باشد و به اصطکاک قسمت گردان رتور مربوط می‌شود.

R : شیب مشخصه تنظیم گاورنر ژنراتور سنکرون می‌باشد.

β : ضریب انتگرال‌گیر صفرکننده انحراف فرکانس

۲- قدرت نامی و تولیدی سه نیروگاه به‌صورت زیر است. نیروگاه مجهز به گاورنر با مشخصه افقی (دروپ) ۴٪ می‌باشد و دو نمونه بار ۱ و ۲ به‌ترتیب به‌اندازه ۲۰۰ و ۲۵۰ مگاوات با ضریب D برابر ۱ و ۱/۵ تغذیه می‌کنند. انحراف ماندگار فرکانس، بار کل سیستم و تولید واحدها را در شرائط زیر محاسبه کنید.

الف) بازای قطع ۱۰ مگاوات از بار شماره ۲

ب) اگر تولید واحد را به‌صورت دستی به ۱۲۰ مگاوات افزایش دهیم.

	$P_r(MW)$	$P_g(MW)$
۱	۲۰۰	۱۰۰
۲	۲۵۰	۱۵۰
۳	۳۰۰	۲۰۰

حل)

$$S_b = 100\ \text{MVA} \Rightarrow R_1 = 0/04 \times \frac{100}{200} = 0/02 \Rightarrow D_1 = 1 \times \frac{200}{100} = 0/01\,\text{pu}$$

$$R_2 = 0/04 \times \frac{100}{250} = 0/016 \Rightarrow D_2 = 1/5 \times \frac{250}{100} = 0/037\,\text{pu}$$

$$R_3 = 0/04 \times \frac{100}{300} = 0/0133$$

الف) $\Delta p_D = \frac{-10}{100} = -0/1\,\text{pu}$

$$\Delta f = -\frac{\Delta p_D}{\sum\left(D + \frac{1}{R}\right)} = -\frac{-0/1}{(0/01+0/0375)+\left(\frac{1}{0/01}+\frac{1}{0/016}+\frac{1}{0/0133}\right)} = 0/0004\,\text{Hz}$$

ب) $\Delta p_D = \frac{-120}{100} = -1/2\text{pu}$

$$\Delta f = \frac{-1/2}{(0/01+0/0375)+\left(\frac{1}{0/01}+\frac{1}{0/016}+\frac{1}{0/0133}\right)} = 0/005\,\text{Hz}$$

$$\Delta p_D = \frac{-120}{100} = -1/2\,\text{pu}$$

۳- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P + jQ$ را به یک سیستم بزرگ تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چگونه ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه‌صورت است؟ چرا؟

ناپایداری گذرا که مطابق شکل بر اثر وقوع اغتشاشات سنگین (نظیر اتصال کوتاه‌ها) روی می‌دهد.

$$p = \frac{v_1 v_2}{x}\sin\delta = \frac{1}{x}\sin\delta$$

که مقدار p با توجه به δ تعیین می‌شود. هر چه p بیش‌تر باشد، نقطه کار به حد پایداری ماندگار در ۹۰ درجه نزدیک‌تر

می‌شود. حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

ناپایداری دینامیکی که با افزایش p، مقادیر ویژه سیستم خطی شده به محور $j\omega$ نزدیک‌تر می‌شود و احتمال وقوع ناپایداری سیگنال کوچک افزایش می‌یابد. در شرایطی که AVR مطابق شکل فعال باشد ناپایداری سیگنال کوچک به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده می‌باشد. یعنی نوسانات رتور افزایش می‌یابد. این ناپایداری بر اثر تغییر جزئی بار (اغتشاشات کوچک) به‌دست می‌آید.

ناپایداری استاتیکی همان افت بیش از حد ولتاژ می‌باشد که بر اثر افزایش p رخ می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش p حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

* ناپایداری دینامیکی همان ناپایداری سیگنال کوچک

و ناپایداری استاتیکی همان ناپایدار ولتاژ یا فروپاشی ولتاژ می‌باشد.

۴- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x,z)$$
$$g(x,z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$X = \begin{bmatrix} \delta \\ \omega \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad Z = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad P_e = \frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta = P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases} 2H\dfrac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_0\,\Delta\omega \end{cases} \Rightarrow f = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{2H}(P_m - P_{max}\sin\delta) \\ \omega_0(\omega - 1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) = 0 \\ P_L - P_e = 0 \quad \Rightarrow \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} P_L + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \\ Q_L - \dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta - V_2) \\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta + \dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta \end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x} = f(x_0, z_0)$

$$\begin{cases} \Delta\dot{x} = \dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial f}{\partial z_1} + \cdots + \dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r \\ \Delta\dot{y} = 0 = \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n + \dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1 + \cdots + \dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r \end{cases}$$

$$\Delta x = f_x\Delta x + f_z\Delta z \qquad \Delta z = g_x\Delta x + g_z\Delta z = 0$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار (x_0, z_0) خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_z \\ g_x & g_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

$$f_x = \begin{bmatrix} -\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & 0 \\ 0 & \omega \end{bmatrix} \qquad f_z = \begin{bmatrix} \dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$g_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & 0 \end{bmatrix} \qquad g_z = \begin{bmatrix} \left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta + \dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right) \\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta + \dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \end{bmatrix}$$

ماتریس ژاکوبین سیستم $\leftarrow A = \left[\dfrac{\partial f}{\partial x}\right] - \left[\dfrac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\dfrac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\dfrac{\partial g}{\partial x}\right]$

۵- معادلات حالت یک سیستم قدرت را به صورت زیر بیان کرده‌ایم.

$$\dot{x} = f(x, z)$$
$$g(x, z) = 0$$

در این عادلات توابع f و g کدام معادلات سیستم هستند. با یک مثال ساده نشان دهید.

اگر x_0 بردار مقادیر حالت حول نقطه کار سیستم باشد این معادلات را حول نقطه کار خطی نموده و معادله خطی حاصل را به‌دست آورید.

حل) تابع برداری f معادلات حالت مربوط به المان‌های دینامیکی (ژنراتور سنکرون) می‌باشد. تابع برداری g معادلات جبری سیستم است که همان معادلات پخش بار سیستم است. x بردار متغیرهای حالت (نظیر زاویه و سرعت ژنراتور) z بردار متغیرهای جبری (دامنه و زاویه ولتاژ شین بار)

$$\underset{-}{X}=\begin{bmatrix}\delta\\ \omega\end{bmatrix} \quad و \quad Z=\begin{bmatrix}v_1\\ v_2\\ \theta\end{bmatrix} \quad و \quad P_e=\frac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta=P_{max}\sin\delta$$

$$\begin{cases}2H\dfrac{d\omega}{dt}=P_m-P_e\\ \dfrac{d\delta}{dt}=\omega_0\Delta\omega\end{cases} \Rightarrow f=\begin{bmatrix}\dfrac{1}{2H}(P_m-P_{max}\sin\delta)\\ \omega_0(\omega-1)\end{bmatrix}$$

$$\begin{cases}P_L+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta=0\\ Q_L-\dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta-V_2)=0\\ P_L-P_e=0 \Rightarrow \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta=0\end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix}P_L+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta\\ Q_L-\dfrac{V_2}{X_L}(V_1\cos\theta-V_2)\\ \dfrac{E'V_1}{X'_s}\sin\delta+\dfrac{V_1V_2}{X_L}\sin\theta\end{bmatrix}$$

از آن‌جائیکه: $\dot{x}=f(x_0,z_0)$

$$\begin{cases}\Delta\dot{x}=\dfrac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1+\cdots+\dfrac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n+\dfrac{\partial f}{\partial z_1}+\cdots+\dfrac{\partial f}{\partial z_r}\Delta z_r\\ \Delta\dot{y}=0=\dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta x_1+\cdots+\dfrac{\partial g}{\partial x_n}\Delta x_n+\dfrac{\partial g}{\partial x_1}\Delta u_1+\cdots+\dfrac{\partial g}{\partial z_r}\Delta z_r\end{cases}$$

$$\Delta x=f_x\Delta x+f_z\Delta z \qquad \Delta z=g_x\Delta x+g_z\Delta z=0$$

حال با بررسی مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین سیستم A در نقطه کار (x_0,z_0) خطی می‌توان به بررسی پایداری این نقطه کار پرداخت.

$$\begin{bmatrix}\Delta x\\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}f_x & f_z\\ g_x & g_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta x\\ \Delta z\end{bmatrix}$$

$$f_x = \begin{bmatrix} -\dfrac{P_{max}}{PH}\cos\delta & 0 \\ 0 & \omega \end{bmatrix} \qquad f_z = \begin{bmatrix} \dfrac{E'}{X'_s}\sin\delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$g_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{E'V_1}{X'_S}\cos\delta & 0 \end{bmatrix} \qquad g_z = \begin{bmatrix} \left(\dfrac{V_2}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1}{X_L}\sin\theta\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \\ \left(-\dfrac{V_2}{X_L}\cos\theta\right) & \left(-\dfrac{V_1}{X_L}\cos\theta+\dfrac{2V_2}{X_L}\right) & \left(-\dfrac{V_1V_2}{X}\sin\theta\right) \\ \left(\dfrac{E'}{X'_s}\sin\theta+\dfrac{V_2\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1\sin\theta}{X_L}\right) & \left(\dfrac{V_1V_2}{X_L}\cos\theta\right) \end{bmatrix}$$

$$A = \left[\frac{\partial f}{\partial x}\right] - \left[\frac{\partial f}{\partial z}\right]\left[\frac{\partial g}{\partial z}\right]^{-1}\left[\frac{\partial g}{\partial x}\right] \rightarrow \text{ماتریس ژاکوبین سیستم}$$

۶- تشدید زیر سنکرون چگونه در سیستم قدرت رخ می‌دهد. نحوه بررسی و روش‌های مقابله با آن را ذکر نمائید.

تشدید سنکرون (SSR) به‌طور عمده در سیستم انتقال جبران‌شده با خازن سری روی می‌دهد. اگر مکمل فرکانس طبیعی شبکه قدرت یعنی فرکانس سنکرون منهای فرکانس طبیعی شبکه، نزدیک به یکی از فرکانس‌های پیچشی سیستم محور توربین- ژنراتور باشد، ممکن است نوسان‌های پیچشی تحریک شوند. این موقعیت را تشدید زیر سنکرون می‌نامند. تحت چنین شرایطی، ولتاژ القائی کوچک ناشی از نوسان‌های رتور ممکن است به جریان‌های زیر سنکرون بزرگ ختم گردد. این جریان مؤلفه‌های نوسانی در گشتاور رتور تولید می‌کند که نوسان رتور را افزایش می‌دهد.

روش‌های میراسازی SSR

۱- انتخاب صحیح محل نصب و مقدار خازن سری جبران‌ساز

۲- فیلترگذاری در خطوط انتقال که خازن سری بر روی آن نصب است.

۳- استفاده از تجهیزات FACTS نظیر SVC

۴- استفاده از طرح NGH (مقاومت الکتریکی متغیر موازی با خازن سری)

۵- استفاده از کنترلرهای کمکی سیستم تحریک برای میراسازی SSR

کنکور دکتری دانشگاه آزاد ۹۰

۱- شرح دهید که در مطالعات دینامیکی سیستم‌های قدرت «بار» برحسب طبیعیت مسئله مورد مطالعه به چه صورتهائی مدل می‌شود؟

مدل‌سازی بار را به دو بخش عمده مدل‌های استاتیکی و مدل‌های دینامیکی تقسیم می‌کنند.

* مدل استاتیکی بار، مشخصه‌های بار را در هر لحظه از زمان به صورت توابع جبری برحسب دامنه ولتاژ شین و فرکانس در آن لحظه، بیان می‌کند. مؤلفه توان حقیقی (P) و مؤلفه توان راکتیو (Q) به‌طور جداگانه در نظر گرفته می‌شود. وابستگی مشخصه‌های بار به ولتاژ معمولاً به‌صورت نمایی نمایش داده می‌شود.

$$P = P_o (\bar{V})^a$$
$$Q = Q_o (\bar{V})^b$$
$$\bar{V} = \frac{V}{V_o}$$

که P و Q به‌ترتیب نمایش‌دهنده توان‌های اکتیو و راکتیو بار می‌باشد به‌شرطی که دامنه ولتاژ شین مساوی V باشد. زیرنویس o مقادیر متغیرهای مربوط را در شرائط کاری نشان می‌دهد. با توجه به اندیس‌های a و b بارها می‌توانند توان ثابت، جریان ثابت و یا امپدانس ثابت باشند. روش دیگری برای نشان دادن وابستگی و بار به ولتاژ وجود دارد.

$$P = P_o\left[\alpha_1\bar{V}^2 + \alpha_2\bar{V} + \alpha_3\right]\left(1 + k_f^p\,\Delta f\right)$$
$$Q = Q_o\left[\beta_1\bar{V}^2 + \beta_2\bar{V} + \beta_3\right]\left(1 + k_f^Q\,\Delta f\right)$$

ضرایب α_i و β_i میزان مشارکت مؤلفه‌های وابسته به ولتاژ بار را نشان می‌دهند. P_o و Q_o به‌ترتیب بار و ولتاژ در یک نقطه کار مشخص می‌باشند. ضرائب k_f^P و k_f^Q میزان مشارکت تغییرات فرکانس شبکه در توان اکتیو و راکتیو می‌باشد و Δf تغییرات فرکانس در محل بار می‌باشد. مدل استاتیکی بار در ولتاژهای پایین مناسب نیستند و ممکن است مشکلات محاسباتی ایجاد نمایند. با توجه به سریع بودن عکس‌العمل بارهای ترکیبی نسبت به ولتاژ و فرکانس سریعاً به پاسخ حالت ماندگار می‌رسند.

* در فرآیندهایی نظیر مطالعات مربوط به نوسانات بین ناحیه‌ای، پایداری ولتاژ و پایداری بلندمدت از مدل‌سازی دینامیکی بار استفاده می‌شود. در مطالعات سیستم‌هایی که موتورهای متمرکز بزرگی دارند نیاز به نمایش دینامیک بار است. جنبه‌های دیگر دینامیکی اجزای بار که لازم است در مطالعات پایداری در نظر گرفته شود شامل خاموش شدن

لامپ‌های تخلیه پایین‌تر از حد بخصوصی از ولتاژ و روشن شدن مجدد به‌هنگام بهبود و افزایش ولتاژ، عملکرد رله‌های حفاظتی نظیر رله‌های حرارتی و اضافه جریان، کنترل ترموستاتی بارها و عکس‌العمل تغییردهنده تپ زیر بار ترانس توزیع.

۲- شرح دهید که در مطالعه نحوه تغییرات فرکانس و بار سیستم و کنترل فرکانس، معادلات الکتریکی ژنراتور و AVR به‌چه صورت در نظر گرفته می‌شود و ثابت کنید که پاسخ ماندگار تغییرات فرکانس Δf به تغییر پله‌ای بار به مقدار ΔP_d از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\Delta f = -\Delta P_d (D + \frac{1}{R})^{-1}$$

D: دروپ گاورنر، D ضریب تغییرات بار با فرکانس است.

حل) جهت تشریح روابط معادله نوسان ژنراتور را در نظر می‌گیریم.

$$M\left(\frac{d(\Delta\omega)}{dt}\right) = P_{mech} - P_{elec}$$

همچنین داریم:

$$M\frac{d(\Delta\omega)}{dt} = \Delta P_{mech} - \Delta P_{elec}$$

$$\Delta P_{elec} = \Delta P_L + D\Delta\omega$$

که M گشتاور زاویه‌ای، ω سرعت زاویه‌ای، P_{mech} توان مکانیکی و P_{elec} توان الکتریکی ژنراتور و ΔP_L تغییرات بار غیروابسته به فرکانس و D حساسیت تغییرات بار نسبت به فرکانس است.

تابع تبدیل توربین به صورت زیر خواهد بود.

که T_{CH} ثابت زمانی شارژ توربین و ΔP_{valve} تغییرات موقعیت شیربخار است.

مدل‌سازی گاورنر به‌صورت زیر خواهد بود.

که T_G ثابت زمانی گاورنر می‌باشد و R دروپ گاورنر می‌باشد.

$$\Delta P_{mech} = -\frac{1}{R}\Delta\omega$$

$$\Delta P_{mech} = D\Delta\omega + \Delta P_L$$

$$-\frac{1}{R}\Delta\omega-\Delta P_L = D\Delta\omega \Rightarrow \Delta\omega(D+\frac{1}{R}) = -\Delta P_L$$

$$\Delta\omega = -\Delta P_L(D+\frac{1}{R})^{-1} \Rightarrow \Delta f = -\Delta P_L(D+\frac{1}{R})^{-1}$$

بدلیل سریع‌تر بودن AVR نسبت به گاورنر در مطالعات مربوط به نحوه تغییرات فرکانس، مدل نمی‌شود.

۳- در یک سیستم قدرت ساده نظیر شکل زیر که در آن یک نیروگاه توان اکتیو و راکتیو $P+jQ$ را به یک سیستم بزرگ تحویل می‌دهد. ناپایداری استاتیک، دینامیک و گذرا چگونه ممکن است اتفاق افتد. تأثیر مقدار بار خط P روی هر کدام به چه‌صورت است؟ چرا؟

ناپایداری گذرا که مطابق شکل بر اثر وقوع اغتشاشات سنگین (نظیر اتصال کوتاه‌ها) روی می‌دهد.

$$p = \frac{v_1 v_2}{x}\sin\delta = \frac{1}{x}\sin\delta$$

که مقدار p با توجه به δ تعیین می‌شود. هر چه p بیش‌تر باشد، نقطه کار به حد پایداری ماندگار در ۹۰ درجه نزدیک‌تر می‌شود. حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

ناپایداری دینامیکی که با افزایش p، مقادیر ویژه سیستم خطی شده به محور $j\omega$ نزدیک‌تر می‌شود و احتمال وقوع ناپایداری سیگنال کوچک افزایش می‌یابد. در شرایطی که AVR مطابق شکل فعال باشد ناپایداری سیگنال کوچک به‌دلیل فقدان گشتاور میراکننده می‌باشد. یعنی نوسانات رتور افزایش می‌یابد. این ناپایداری بر اثر تغییر جزئی بار (اغتشاشات کوچک) به‌دست می‌آید.

ناپایداری استاتیکی همان افت بیش از حد ولتاژ می‌باشد که بر اثر افزایش p رخ می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش p حاشیه پایداری سیستم کاهش می‌یابد.

* ناپایداری دینامیکی همان ناپایداری سیگنال کوچک

و ناپایداری استاتیکی همان ناپایدار ولتاژ یا فروپاشی ولتاژ می‌باشد.

۴- معادلات خطی شده حالت در یک سیستم قدرت به‌صورت بیان شده است. اگر x_2 و x_3 حالت‌هایی از سیستم باشد که بدانیم دینامیک تغییرات آن‌ها نسبت به فاصله زمانی مورد مطالعه بسیار سریع و بسیار کند است. به‌چه نحو و به چه مقدار می‌توان از رتبه سیستم کاست و معادله جدید سیستم را به‌دست آورد؟

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{13}\\ A_{21} & A_{22} & A_{23}\\ A_{31} & A_{32} & A_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}$$

حل) چون دینامیک x_3 بسیار سریع‌تر از x_1 است، می‌توان در معادله رفتار x_3، x_1 و x_2 را ثابت فرض نمود.

x_2 با توجه به کند بودن ثابت فرض می‌شود آن را صفر در نظر می‌گیریم.

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A_{11} & A_{12} & A_{13}\\ A_{21} & A_{22} & A_{23}\\ A_{31} & A_{32} & A_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}$$

$$\dot{x}_2=0 \Rightarrow A_{21}x_1+A_{22}x_2+A_{23}x_3=0 \Rightarrow x_2=-\frac{1}{A_{22}}(A_{21}x_1+A_{23}x_3)$$

$$\dot{x}_3=\left(A_{31}-\frac{A_{32}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1+\left(A_{33}-\frac{A_{32}}{A_{23}}A_{23}\right)x_3$$

$$\Rightarrow \dot{x}_1=\left(A_{11}-\frac{A_{12}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1+\left(A_{13}-\frac{A_{12}}{A_{22}}A_{23}\right)x_3$$

با ثابت بودن x_1 در مقایسه با x_3 می‌توان معادله دیفرانسیل توصیف‌کننده رفتار متغیر حالت x_3 را به‌دست آورد.

$$\dot{x}_3=k_1+k_2x_3 \Rightarrow \begin{cases} k_1=\left(A_{31}-\dfrac{A_{32}}{A_{22}}A_{21}\right)x_1 \\ k_2=\left(A_{33}-\dfrac{A_{32}}{A_{22}}\right)A_{23}\end{cases}$$

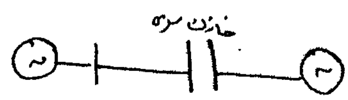
حال اگر دینامیک x_3 از معادله $x_3=k_1+k_2x_3$ پایدار باشد، به‌دلیل بسیار سریع بودن x_3 در مقایسه با x_1، x_3 به‌سرعت به مقدار حالت ماندگار خود می‌رسد. لذا برای بازه زمانی مورد مطالعه، فقط دینامیک متغیر حالت x_1 برای نشان دادن رفتار سیستم کافی است.

$$\dot{x}_1=k'_1x_1+k'_2 \Rightarrow \begin{cases} k'_1=A_{11}-\dfrac{A_{12}}{A_{22}}A_{21} \\ k'_2=A_{13}-\dfrac{A_{12}}{A_{22}}A_{23}x_3^{state}=cte\end{cases}$$

پس معادله نهایی سیستم عبارت $\dot{x}_1=k'_1x_1+k'_2$ مرتبه اول است.

۵- مکانیزم ایجاد SSR در یک ژنراتوری که به باس ∞ وصل شده را بیان کنید. چرا برای مدل ژنراتور از موتور آسنکرون استفاده می‌شود. چگونه می‌توان با ایجاد آن مقابله کرد. دو روش ذکر کنید؟

پدیده SSR در حالتی برای ژنراتور متصل به شین بی‌نهایت اتفاق می‌افتد که خط انتقال بین ژنراتور و شین بی‌نهایت به‌وسیله خازن سری جبران شده باشد.



از آن‌جائیکه مقدار فرکانس نوسان زیر سنکرون، از فرکانس نامی سیستم (یا فرکانس چرخش روتور) کم‌تر است، برای جریان‌های زیر سنکرون متناظر، ژنراتور سنکرون که با سرعت سنکرون در حال چرخش است، یک ژنراتور القائی به‌حساب می‌آید زیرا فرکانس چرخش رتور، بیش از فرکانس جریان زیر سنکرون استاتور است. لذا برای بررسی این پدیده معمولاً ژنراتور سنکرون به‌صورت ماشین آسنکرون مدل می‌شود. روش‌های مقابله با آن.

۱- استفاده از طرح مقاومت میراکننده متغیر NGH

۲- استفاده از کنترلرهای کمکی سیستم تحریک (کنترلر میراساز SSR)