

روشی جدید جهت بهبود پایداری سیگنال کوچک و پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت

همین گل‌پیرا^۱، حسن بیورانی^۲، علی حسامی نقشبندی^۳

^۱دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه کردستان، hemin.golpira@uok.ac.ir

^۲دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه کردستان، bevrani@uok.ac.ir

^۳دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه کردستان، hesami@uok.ac.ir

چکیده - این مقاله به بیان معیاری جدید جهت بهبود پایداری سیگنال کوچک و پایداری ولتاژ با استفاده از سیستم تحریک ژنراتور می‌پردازد. معیار ارائه شده بوسیله معادلات ریاضی حاکم بر سیستم حاصل شده و جهت طراحی کنترل‌کننده‌ای مقاوم مورد استفاده قرار داده می‌شود. الگوریتم کنترلی پیشنهادی با ترکیب دو استراتژی کلیدزنی و بازخور منفی، روشی مقاوم و مستقل از ساختار سیستم مورد مطالعه را فراهم آورده است. استراتژی کلیدزنی مورد استفاده در این تحقیق بر خلاف روش‌های کلیدزنی زمان ثابت، با استفاده از رفتار سیستم و بر اساس زاویه بین تغییرات ولتاژ و تغییرات فاز به بهبود عملکرد سیستم بازای هر خطای محتمل می‌پردازد. عملکرد مقاوم و مطلوب کنترل‌کننده ارائه شده بر روی سیستم آزمون ۶۸ شینه IEEE شبیه‌سازی و مورد تایید قرار گرفته است. نتایج حاصل موبد این موضوع هستند که استراتژی کنترلی پیشنهادی ضمن سادگی در پیاده‌سازی عملی دارای کارایی موثر و قابل توجهی در بهبود عملکرد دینامیک سیستم در مواجهه با اغتشاشات مختلف می‌باشد.

کلید واژه - تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ، پایداری، پایداری، کلیدزنی

معادلات حالت بشدت غیر خطی، تحت خطی سازی معادلات حول نقطه کار انجام می‌شود. از اینرو عملکرد پایداری سیستم قدرت بشدت تابع نقطه کار سیستم است. حال آنکه محدوده‌ی وسیعی از اغتشاشات ممکن در سیستم سبب فاصله گرفتن نقطه کار از مقدار اولیه و در نتیجه تضعیف عملکرد پایداری سیستم قدرت می‌شوند [۴].

مطالعات گسترده‌ای تحت عنوان تنظیم ساختار سنتی پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار در سالهای متمادی انجام شده است [۵]. در این ساختار دو مرحله کاملاً مجزا جهت تنظیم پارامترهای پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ در نظر گرفته می‌شود. ابتدا پارامترهای تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ جهت دستیابی به پایداری گذرای مطلوب تنظیم و سپس پایداری سیستم قدرت با توجه به میرایی مورد نیاز در سیستم طراحی می‌شود. نادیده گرفتن تناقض بین رفتار پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ و همچنین محدودیت‌های فیزیکی نظیر اشباع پایداری سیستم قدرت از کارایی این دسته از مطالعات کاسته است.

جهت غلبه بر مشکلات حاکم بر دسته‌ی اول تحقیقات، مطالعات جدید تحت عنوان الگوریتم‌های هماهنگی اعمال شده به مجموعه پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ معرفی شدند. هماهنگی پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار با استفاده از روشهای مبتنی بر شناسایی سیستم [۶ و ۷]، کلیدزنی [۸]، روش‌های هوشمند [۹ و ۱۰]، بهینه‌سازی [۱۱] و

۱- مقدمه

تثبیت ولتاژ در یک مقدار ثابت و از پیش تعیین شده متضمن عملکرد مطلوب یک سیستم قدرت است. بنابراین تنظیم‌کننده‌های ولتاژ در راستای نیل به این هدف به واحدهای تولیدی افزوده شدند. تنظیم‌کننده‌های خودکار ولتاژ بعنوان قسمت اصلی سیستم تحریک از یک طرف باعث بهبود پایداری گذرا و تثبیت ولتاژ در سیستم شده و از طرف دیگر با کاهش میرایی مدهای الکترومکانیکی، منجر به تضعیف پایداری نوسانی می‌شوند [۱]. از اینرو همراهی سیگنال‌های پایداری با تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ جهت عملکرد پایدار سیستم قدرت الزامی است [۲ و ۳].

پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ از طریق مودولاسیون ولتاژ تحریک بترتیب گشتاورهای غیر هم‌فاز (متعامد) میراکننده و سنکرون‌کننده را بوجود می‌آورند. بعبارت دیگر یک سیگنال کنترلی واحد جهت بهبود دو رفتار متناقض سیستم یعنی پایداری گذرا (پایداری ولتاژ) و سیگنال کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین با توجه به تناقض ذاتی موجود بین این دو، مصالحه‌ای تحت عنوان هماهنگی در تنظیم پارامترهای این دو کنترل‌کننده در سیستم‌های قدرت اجتناب ناپذیر می‌باشد [۱].

تنظیم پارامترهای پایداری سیستم قدرت برای سیستم با

تئوری کنترل مقاوم [۴، ۱۲ و ۱۳] در مطالعات اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. مشکلاتی همچون پیچیدگی شناسایی سیستم، غیرمقاوم بودن کنترل کننده، هم بعد بودن کنترل کننده با سیستم مورد مطالعه، نیاز به آموزش شبکه و همچنین خطی سازی سیستم حول نقطه کار سبب محدودیت استفاده از این دسته از مطالعات شده است. از طرف دیگر فقدان یک تحلیل دینامیکی جامع و معیاری مناسب جهت هماهنگی و تنظیم پارامترهای پایدار ساز سیستم قدرت و تنظیم کننده خودکار ولتاژ، مطالعات در این زمینه را محدود به سیستم تک ماشین متصل به شین بی نهایت و یا مدل خطی شده سیستم قدرت کرده است. حال آنکه این دو نوع مدلسازی نمی توانند نمایانگر مناسبی از رفتار دینامیکی سیستم های قدرت واقعی باشند. هوزو و همکاران [۱۴]، در سال ۲۰۱۰ در تلاشی به معرفی ابزاری گرافیکی جهت تحلیل رفتار دینامیکی سیستم قدرت پرداختند. در این روش رفتار سیستم پس از خروج ژنراتور در صفحه تغییرات فاز بر حسب تغییرات فرکانس مورد مطالعه قرار گرفته است. با این وجود، ذات یکسان دو متغیر فرکانس و زاویه رتور از توانایی این روش در تحلیل دینامیک های سیستم بشدت کاسته است.

در این مقاله سعی می شود تا با ارائه ی یک تحلیل دینامیکی جامع، معیاری مناسب جهت هماهنگی پایدار ساز سیستم قدرت و تنظیم کننده خودکار ولتاژ در سیستم های قدرت معرفی شود. آنگاه با استفاده از معیار معرفی شده روش کنترلی جدیدی که مستقل از ساختار سیستم مورد مطالعه و همچنین خطای اعمالی باشد ارائه می شود.

در ادامه در بخش دوم به ارائه معیار پیشنهادی پرداخته می شود و بخش سوم به بیان نتایج و شبیه سازی اختصاص داده می شود. در نهایت بخش چهارم به نتیجه گیری از نتایج حاصل از این تحقیق می پردازد.

۲- تحلیل دینامیکی و معرفی معیار پیشنهادی

در این بخش کارایی دسته منحنی های تغییرات فاز بر حسب تغییرات ولتاژ جهت تحلیل دینامیکی سیستم، مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد. تناقض ذاتی موجود بین رفتار متغیرهای معرفی شده در این دسته منحنی ها، این ابزار جدید را به ابزار موثری در هماهنگی پایدار ساز سیستم قدرت و تنظیم کننده خودکار ولتاژ در سیستم های قدرت تبدیل می کند. بمنظور بدست آوردن این دسته منحنی ها پس از هر تغییر در بار یا تولید سیستم، بازای هر ژنراتور موجود یک منحنی

تغییرات ولتاژ ترمینال-تغییرات زاویه رتور $(\Delta\delta - \Delta V)$ رسم می شود. بر این اساس می توان نوشت:

$$\Delta\delta_i(t) = \delta_i(t) - \delta_{0i} \quad (۱)$$

$$\Delta V_i(t) = V_i(t) - V_{0i} \quad (۲)$$

که در آن:

δ_{0i} : زاویه رتور ژنراتور i ام در لحظه صفر

V_{0i} : ولتاژ ترمینال ژنراتور i ام در لحظه صفر

با نرمال کردن معادلات فوق برای هر ژنراتور خواهیم داشت:

$$\Delta\delta_{\max}(t) = \max\{|\Delta\delta_i(t)|\} \quad (۳)$$

$$\Delta V_{\max}(t) = \max\{|\Delta V_i(t)|\} \quad (۴)$$

$$\Delta\delta_i = \frac{\Delta\delta_i(t)}{\Delta\delta_{\max}(t)} \quad (۵)$$

$$\Delta V_i = \frac{\Delta V_i(t)}{\Delta V_{\max}(t)} \quad (۶)$$

که در آن n تعداد ژنراتورها می باشد.

با توجه به محدودیت های زیست محیطی و عوامل اقتصادی، سیستم های قدرت نزدیک به حد پایداری مورد بهره برداری قرار می گیرند. بنابراین عملکرد مطلوب سیستم پس از رفع خطا زمانی حاصل می شود که سطح ولتاژ، فرکانس و توان انتقالی به مقدار اولیه یعنی مقدار قبل از خطا و یا همسایگی نزدیکی از آن بازگردد. معادله زیر توان انتقالی بین دو شین متصل بهم را بر حسب زاویه رتور و ولتاژ ترمینال ژنراتورها نشان می دهد:

$$P_{ij} = \frac{|V_{0i} + \Delta V_i(t)||V_{0j} + \Delta V_j(t)|}{X_{ij}} \quad (۷)$$

$$+ \sin[(\delta_{0i} + \Delta\delta_i(t)) - (\delta_{0j} + \Delta\delta_j(t))]$$

با توجه به معادله فوق مشاهده می شود که تغییرات ولتاژی پس از رفع خطا برای کلیه ژنراتورها بایستی به سمت صفر و تغییرات زاویه رتور ژنراتورها برای کلیه ژنراتورها یکسان باشد تا سطح ولتاژ، فرکانس و توان انتقالی به سمت مقدار اولیه میل کنند. در این حالت ایده آل، کلیه ژنراتورها دارای تغییرات ولتاژ و فاز یکسان بوده و در نتیجه در صفحه ی نرمال شده $(\Delta\delta - \Delta V)$ در مقدار (۱ و ۱) قرار خواهند گرفت. حال آنکه در سیستم های واقعی پس از رفع خطا تغییرات ولتاژ و فاز برای ژنراتورها غیر یکسان بوده و در نتیجه نقطه کار از نقطه (۱ و ۱) فاصله گرفته و سیستم به نقطه ای در مجاورت نقطه کار اولیه باز می گردد. در این حالت با توجه به غیر همسان بودن تغییرات برای ژنراتورها، کنترل کننده ای لازم است تا تغییرات ولتاژ هر ژنراتور را به سمت صفر، صفر در راستای بردار نرمال شده تغییرات ولتاژ، و تغییرات

ژنراتورهای موجود در سیستم با یکدیگر هماهنگ هستند. قرار گرفتن کلیه ژنراتورها در این ناحیه متضمن عملکرد پایدار سیستم قدرت است. بنابراین لازم است تا با تنظیم مجدد پارامترهای پایدارساز سیستم قدرت و تنظیم کننده خودکار ولتاژ سیستم را بعد از وقوع خطا به سمت ناحیه مطلوب هدایت کرد. حال آنکه ساده‌ترین پارامترهای قابل تنظیم بعد از نصب این کنترل کننده‌ها در سیستم ضرایب آنها هستند. بنابراین در این مقاله تلاش می‌شود با استفاده از معیار بدست آمده روشی جهت تنظیم این ضرایب ارائه شود.

با توجه به روابط ۱۰ و ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که حدآستانه عملکرد پایدارساز سیستم قدرت و تنظیم کننده خودکار ولتاژ برابر با ۰/۷۰۷ بوده و بصورت زیر قابل بیان است.

$$\|\Delta\delta_i + \Delta V_i\| \geq 0.707 \quad (14)$$

بعبارت دیگر در صورت بروز شرایطی که تغییرات نرمال شده ولتاژ کمتر از ۰/۷۰۷ باشد با کاهش ضریب تنظیم کننده خودکار ولتاژ، تغییرات ولتاژی در راستای هماهنگی با سایر ژنراتورها افزایش می‌یابد. این کاهش ضریب علاوه بر هماهنگی تغییرات ولتاژ با سایر ژنراتورها سبب حذف اثرات مخرب تنظیم کننده خودکار ولتاژ بر روی پایداری نوسانی سیستم می‌شود.

حال به بررسی نحوه عملکرد پایدارساز سیستم قدرت بر روی پایداری سیستم در استراتژی ارائه شده پرداخته می‌شود. رابطه ۱۵ که نشان دهنده معادله نوسان هر ژنراتور است را بصورت زیر در نظر بگیرید:

$$\frac{2H}{\omega_0} \frac{d^2\theta}{dt^2} = P_{mech} - P_{elec} \quad (15)$$

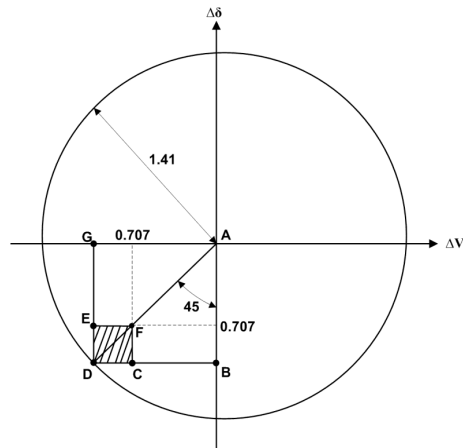
در معادله فوق θ موقعیت زاویه‌ای رتور بر حسب رادیان الکتریکی نسبت به چهارچوبی است که با سرعت سنکرون در حال چرخش است. بنابراین داریم:

$$\theta = \omega t - \omega_f t + \theta_0 \quad (16)$$

با جایگذاری معادله ۱۶ در معادله ۱۵ رابطه بین تغییرات سرعت و توان الکتریکی و مکانیکی بصورت زیر حاصل می‌شود:

$$2H \frac{d(\Delta\omega)}{dt} = P_{mech} - P_{elec} \quad (17)$$

پایدارساز سیستم قدرت گشتاوری در راستای تغییرات مثبت سرعت رتور بوجود می‌آورد [۱]. از آنجاکه حذف تولید از سیستم و یا افزایش بار در سیستم با توجه به رابطه فوق تغییرات منفی سرعت را سبب می‌شود، در حالتی که تغییرات زاویه کمتر از ۰/۷۰۷ باشد با کاهش ضریب پایدارساز سیستم قدرت و در نتیجه کاهش گشتاور در راستای تغییرات مثبت سرعت رتور، سعی در افزایش تغییرات زاویه و در نتیجه هدایت ژنراتور مذکور



شکل ۱: ناحیه عملکرد پایدار سیستم

فاز را برای کلیه ژنراتورها به سمت مقداری مشخص ۱، در راستای بردار نرمال شده تغییرات فاز، سوق دهد. بعبارت دیگر عملکرد پایدار، امن و قابل اعتماد سیستم زمانی حاصل می‌شود که سیستم و بطور مشخص هر ژنراتور در نزدیکترین فاصله از نقطه کار اولیه یعنی نقطه (۰ و ۱) در صفحه نرمال شده تغییرات فاز بر حسب تغییرات ولتاژ قرار داشته باشد. بعبارت دیگر:

$$\min\{\|\Delta\delta_i + \Delta V_i\| - \|(1,0)\|\} \quad (8)$$

مقدار بهینه در معادله فوق زمانی حاصل می‌شود که مشتق آن برابر صفر گردد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\frac{2\Delta\delta_i + 2\Delta V_i \frac{d(\Delta V_i)}{d(\Delta\delta_i)}}{2\sqrt{(\Delta\delta_i)^2 + (\Delta V_i)^2}} = 0 \quad (9)$$

معادله فوق در نهایت منجر به $|\Delta\delta_i| = |\Delta V_i| = 0.707$ می‌شود. حال آنکه با نزدیک شدن کلیه ژنراتورها به نقطه کار اولیه این مقادیر به سمت (۱ و ۱) میل می‌کنند. بنابراین خواهیم داشت:

$$\|\Delta\delta_i\| \geq 0.707 \quad (10)$$

$$\|\Delta V_i\| \geq 0.707 \quad (11)$$

از طرف دیگر با توجه به نرمال بودن مقادیر تغییرات ولتاژ و فاز، حداکثر مقدار برای این متغیرها برابر با یک است. پس می‌توان نوشت:

$$\|\Delta\delta_i\| \leq 1 \quad (12)$$

$$\|\Delta V_i\| \leq 1 \quad (13)$$

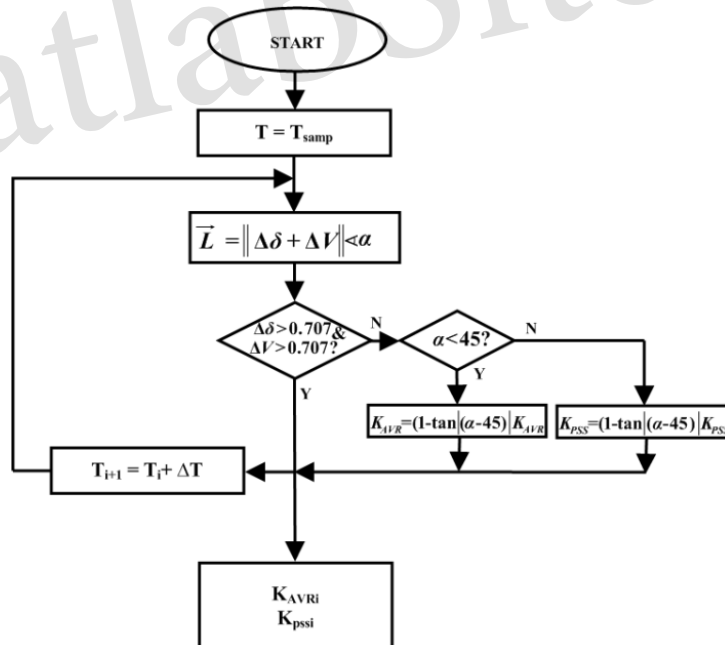
با توجه به روابط ۱۰ تا ۱۳ می‌توان ناحیه عملکرد پایدار و هماهنگ هر ژنراتور را بصورت ناحیه هاشور خورده در شکل ۱ ترسیم نمود. ناحیه هاشور خورده ناحیه‌ای است که در آن پایدارساز سیستم قدرت و تنظیم کننده خودکار ولتاژ برای کلیه

در ادامه به بیان استراتژی کنترلی جهت هماهنگی پایدارساز سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ پرداخته می‌شود. الگوریتم کنترلی ارائه شده الگوریتمی گسسته و بر اساس نمونه‌برداری از تغییرات ولتاژ و زاویه در زمان‌های مختلف استوار است. عبارت دیگر با نمونه‌برداری از تغییرات زاویه رتور و تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتورها در زمان‌های مورد نظر می‌توان به تنظیم مجدد پارامترهای این کنترل‌کننده‌ها با استفاده از معیار پیشنهادی پرداخت. از آنجا که مدت زمان لازم جهت ناپایداری ولتاژ در حدود ۲۰ ثانیه و این زمان برای ناپایداری گذرا در محدوده ۵-۲ ثانیه [۱] است زمان اولین نمونه‌برداری کمتر از کمترین مقدار این دو عدد یعنی ۲ ثانیه انتخاب شده و سپس هر ΔT ثانیه یک بار الگوریتم کنترلی جهت بهبود عملکرد سیستم وارد عمل می‌شود. بر این اساس، استراتژی کنترلی جهت هماهنگی کنترل‌کننده‌ها را به شرح زیر می‌توان ارائه کرد:

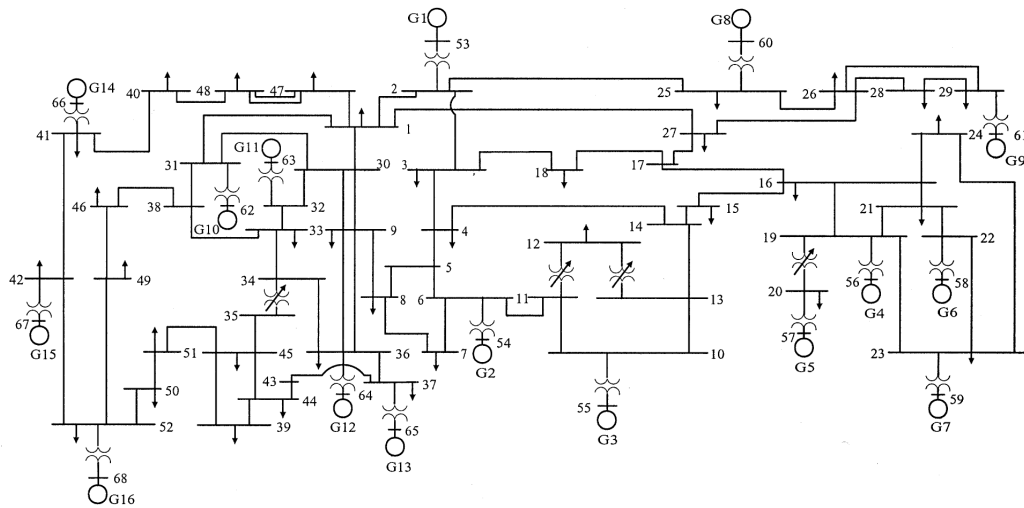
- ۱- تنظیم زمان نخستین نمونه‌برداری (T_{samp}) از تغییرات ولتاژ و فاز
- ۲- تعیین موقعیت هر ژنراتور در صفحه نرمال شده‌ی $(\Delta\delta - \Delta V)$ با استفاده از اندازه (L) و زاویه بین تغییرات ولتاژ و فاز (α)
- ۳- تغییر ضرایب پایدارساز سیستم قدرت (K_{pss}) و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ (K_{avr}) بر اساس موقعیت هر ژنراتور در صفحه و روابط کنترلی ارائه شده در بالا

به ناحیه پایدار می‌شود. حال حالتی را در نظر بگیرید که در آن تغییرات هر دو متغیر ولتاژ و زاویه برای یک ژنراتور معین کمتر از ۰/۷۰۷ باشد. در این حالت متغیر دارای تغییرات کوچکتر نسبت به دیگری (ولتاژ یا زاویه)، کنترل‌کننده مناسب جهت بهبود رفتار سیستم را انتخاب می‌کند. بدین معنا که، قرار گرفتن ژنراتور در ناحیه $ABCFA$ بمعنای تغییرات غالب زاویه نسبت به تغییرات ولتاژ برای ژنراتور مذکور است. بنابراین با کاهش ضریب تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ، تغییرات ولتاژ در راستای هماهنگی با سایر ژنراتورها افزایش می‌یابد. ناحیه $AFEGA$ بمعنای تغییرات غالب ولتاژ نسبت به تغییرات زاویه است. با توجه به کاهش زاویه رتور پس از حذف تولید در سیستم، با کاهش ضریب پایدارساز سیستم قدرت سعی در بهبود رفتار سیستم می‌شود. در حالت خروج بار ضریب پایدارساز سیستم قدرت در فرآیند کنترلی بجای کاهش مقدار با افزایش مواجه می‌شود. حال آنکه ضریب تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ همواره جهت حذف اثرات مخرب بر روی پایداری نوسانی با کاهش مقدار مواجه می‌شود. حال می‌توان ناحیه عملکردی کنترل‌کننده‌های موجود در سیستم را بصورت زیر بیان کرد:

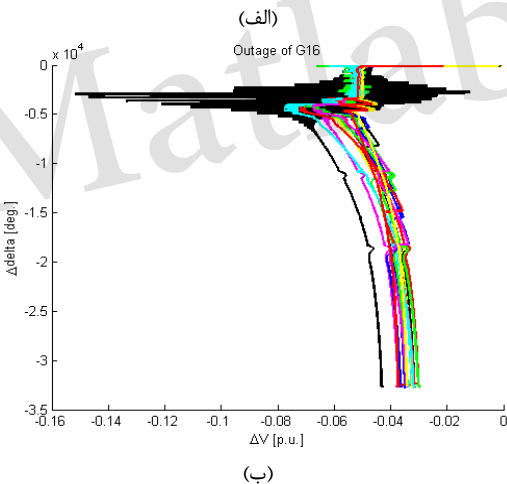
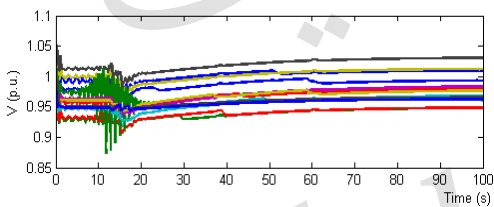
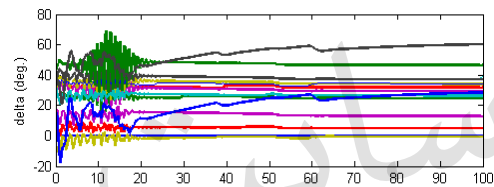
- ژنراتورهای قرار گرفته در ناحیه $ABCFA$ طی فرآیند کنترلی با کاهش ضریب پایدارساز سیستم قدرت مواجه می‌شوند.
- ژنراتورهای قرار گرفته در ناحیه $AFEGA$ طی فرآیند کنترلی با کاهش ضریب تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ مواجه می‌شوند.



شکل ۲: فلوجارت استراتژی هماهنگی کنترلی پیشنهاد شده



شکل ۳: سیستم مورد مطالعه



شکل ۴: رفتار سیستم پس از خروج ژنراتور شماره ۲ (الف) حوزه زمان،

(ب) دسته منحنی‌های $(\Delta\delta - \Delta V)$

کننده را داشته و به عملکرد پایدار خود ادامه می‌دهد. شکل ۵ توزیع متغیرهای نرمال شده در صفحه تغییرات فاز بر حسب

۴- بازگشت به پله ۲ و انجام مجدد مراحل فوق هر ΔT ثانیه یک بار ($\Delta T \leq 2$)
فلوچارت مراحل فوق در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳- شبیه‌سازی عددی

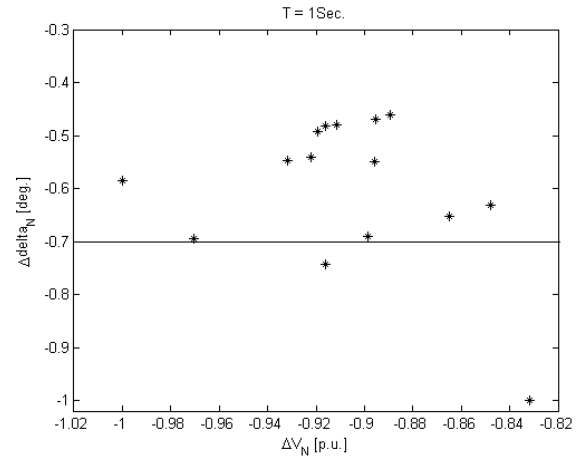
پس از معرفی معیار لازم جهت هماهنگی پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ، در این بخش کارایی معیار و روش کنترلی ارائه شده برای تغییرات متنوع بار و تولید روی سیستم ۶۸ شینه IEEE مورد آزمایش قرار می‌گیرد. دیاگرام تک خطی این سیستم در شکل ۳ نمایش داده شده است.

شکل ۴-الف مشخصه ولتاژ - زمان و زاویه - زمان و شکل ۴-ب دسته منحنی‌های $(\Delta\delta - \Delta V)$ را برای خروج ژنراتور شماره ۱۶ نشان می‌دهند. عملکرد پایدار سیستم پس از وقوع خطا و در حالت ماندگار در شکل ۴-الف بوضوح قابل مشاهده است. همانگونه که از شکل پیدا است در این حالت سیستم هم از لحاظ پایداری گذرا و هم از لحاظ پایداری سیگنال کوچک ناپهنجاری‌هایی را در مدت زمان شبیه‌سازی تجربه می‌کند. حال آنکه الگوریتم کنترلی ارائه شده در این مقاله بر اساس رفتار سیستم در زمان‌های مشخص شده به حفظ پایداری گذرای سیستم و میرا کردن نوسانات کمک می‌کند. از شکل ۴-ب پیدا است که میزان کاهش زاویه رتور ژنراتورهای موجود در سیستم پس از خطا یکسان بوده و همچنین میزان تغییرات ولتاژ شین ژنراتورها عاری از هر گونه نوسان افزایشنده به سمت صفر میل می‌کنند. در نتیجه سیستم توانایی تامین انرژی مورد نیاز مصرف

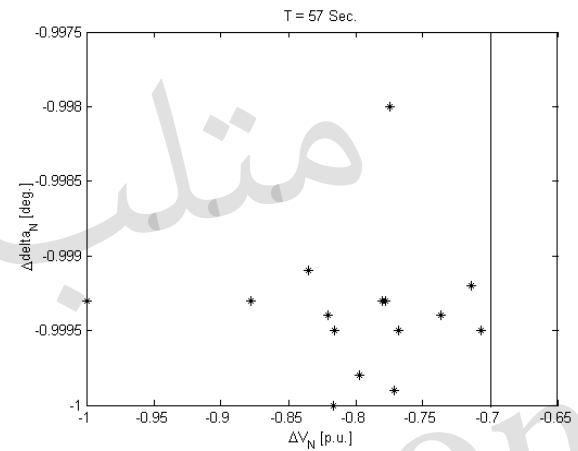
در صفحه نرمال شده تغییرات فاز بر حسب تغییرات ولتاژ در زمان‌های مشخص، به تغییر ضرایب این کنترل‌کننده‌ها می‌پردازد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مطلوب و مقاوم الگوریتم پیشنهادی به ازای تغییرات متنوع بار و تولید در سیستم است. مستقل بودن معیار بدست آمده و همچنین الگوریتم کنترلی پیشنهادی از ساختار سیستم مورد مطالعه از جمله مزایای روش ارائه شده است که آنرا قابل پیاده‌سازی در سیستم‌های مختلف می‌نماید.

مراجع

- [1] H. Golpîra, H. Bevrani, and A. Hesami Naghshbandy, "An approach for coordinated automatic voltage regulator –power system stabilizer in large-scale interconnected power system considering wind power penetration" *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol.6, pp. 39-49, January 2012.
- [2] G.J.W. Dudgeon, W.E. Leithead, A. Dysko, J. O'Reilly, and J.R. McDonald, "The effective role of AVR and PSS in power systems: frequency response analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, pp. 1986-1994, November 2007.
- [3] J.P. Bayne, D.C. Lee, W. Watson, "A power system stabilizers for thermal units based on derivation of accelerating power", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-96, pp. 1177-1183, November /December 1977.
- [4] H. Bevrani, T. Hiyama, and Y. Mitani, "Power system dynamic stability and voltage regulation enhancement using an optimal gain vector", *Control Engineering Practice*, vol. 16, pp. 1109-1119, September 2008.
- [5] F.P. Demello, and C. Concordia, "Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-88, pp. 316-329, April 1969.
- [6] K.T. Law, D.J. Hill, and N.R. Godfrey, "Robust co-ordinated AVR-PSS design", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, pp. 1218-1225, August 1994.
- [7] M. Saïdy, "A unified approach to voltage regulator and power system stabilizer design based on predictive control in analogue form", *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 19, pp. 103-109, February 1997.
- [8] Y. Wang, and D.J. Hill, "Robust nonlinear coordinated control of power systems", *Automatica*, vol. 32, pp. 611-618, April 1996.
- [9] Y. Guo, D.J. Hill, and Y. Wang, "Global Transient Stability and Voltage Regulation for Power Systems", *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 16, pp. 678-688, November 2001.
- [10] N. Yadaiah, A.G.D Kumar, and J.L. Bhattacharya, "Fuzzy based coordinated controller for power system stability and voltage regulation", *Electric Power Systems Research*, vol. 69, pp. 169-177, May 2004.
- [11] A.M. El-Zonkoly, "Optimal tuning of power systems stabilizers and AVR gains using particle swarm optimization", *Expert Systems with Applications*, vol. 31, pp. 551-557, October 2006.
- [12] A. Heniche, H. Bourics, and M.P. Houry, "A desensitized controller for voltage regulation of power systems", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, pp. 1461-1466, August 1995.
- [13] H. Quinot, H. Boules, and T. Margotin, "Robust coordinated AVR+PSS for damping large scale power system", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 14, pp. 1446-1451, November 1999.
- [14] M. Hojo, K. Abe, Y. Mitani, H. Ukai, and O. Saeki, "Online power system monitoring by synchronized voltage phasor measurement at demand sides", Technical Meeting on Power Systems Engineering (PSE), IEE Japan, pp. 19-23, January 2010.



(الف)



(ب)

شکل ۵: توزیع پارامترهای نرمال شده در معیار مورد نظر، الف) ثانیه ۱، ب) ثانیه ۵۷

تغییرات ولتاژ را در زمان‌های ۱ و ۵۷ ثانیه نشان می‌دهد. حرکت نقاط کار ژنراتورها در صفحه تغییرات فاز بر حسب تغییرات ولتاژ به سمت ناحیه مطلوب در این شکل بوضوح قابل مشاهده است. نتایج شبیه‌سازی تایید کننده عملکرد مطلوب الگوریتم ارائه شده بازای هرگونه تغییر در تولید و بار سیستم می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله معیاری جدید جهت هماهنگی بین پایداری سیستم قدرت و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ در سیستم‌های قدرت واقعی معرفی شده است. بر اساس این معیار، یک الگوریتم کنترلی جهت بهبود پایداری‌های گذرا و سیگنال کوچک سیستم بعد از تغییرات بار یا تولید معرفی و مورد آزمایش قرار گرفته است. الگوریتم کنترلی معرفی شده بر اساس موقعیت هر ژنراتور