طراحی همزمان پایدارساز سیستم قدرت و پارامترهای کنترل‌کننده جبران‌کننده سنکرون استاتیکی با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل

سعید فاضلی‌نژاد[۱]، غضنفر شاهقلیان[۲*]، مجید معظمی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
*۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲۰

چکیده: برای بهبود پایداری سیستم قدرت طراحی هم‌زمان پایدارساز سیستم قدرت[۱] (PSS) و پارامترهای کنترل‌کننده جبران‌ساز سنکرون استاتیکی[۲] (STATCOM) با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل[۳] (ABC) به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی در این مقاله ارائه شده است. الگوریتم کلونی زنبور یک هوش جمعی بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی و با الهام از رفتار تغذیه زنبور عسل در پیدا کردن غذا است. همگرایی سریع و دقت بالا از قابلیت‌های این الگوریتم است. اثر بخشی و توان‌مندی الگوریتم کلونی زنبور با شبیه‌سازی غیر خطی یک سیستم قدرت دو ناحیه‌ای شامل چهار ماشینه نشان داده شده و با روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۴] (PSO) مقایسه می‌گردد. طراحی هم‌زمان پارامترهای کنترل‌کننده و پایدارساز سیستم قدرت با الگوریتم کلونی زنبور نسبت به حالت بدون بهینه‌سازی باعث افزایش سرعت میرایی نوسانات و بهبود پایداری سیستم قدرت می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار متلب برای شرایط مختلف سیستم ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: جبران‌کننده سنکرون استاتیکی، پایدارساز سیستم قدرت، الگوریتم کلونی زنبور عسل، پایداری

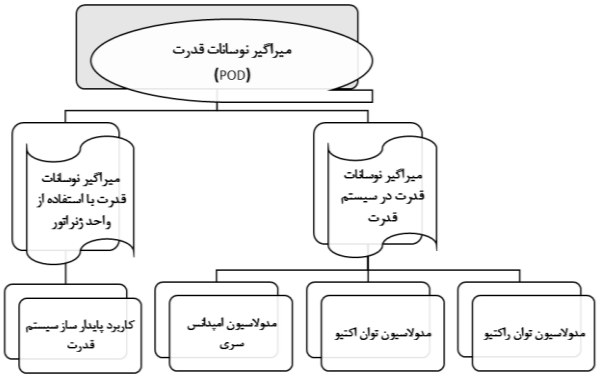
۱- مقدمه

گسترش روز افزون صنعت همراه با افزایش بارهای مصرفی و حفظ پایداری دینامیکی همزمان با تامین سطح مجاز ولتاژ باعث ایجاد محدودیت انتقال توان در سیستم قدرت شده است. وسایل جبران‌کننده در یک سیستم قدرت نقش اساسی در تثبیت ولتاژ در محدوده مورد نظر را دارند [۱،۲]. معمولاً دو نوع کنترل‌کننده میراگیر نوسانات قدرت وجود دارد که شامل پایدارساز سیستم قدرت (در واحد ژنراتور) و کنترل‌کننده‌های سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر جریان متناوب[۵] FACTS (در سیستم انتقال) است که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند [۳،۴]. با توجه به مشکلات ذاتی روش‌های بهینه‌سازی و عدم قابلیت اعمال این روش‌ها به گروه خاصی از توابع، استفاده از روش‌های بهینه سازی گسترش پیدا کرده است. از مزایای این روش‌ها می‌توان به آسانی کاربرد آن‌ها، وسعت کاربرد و قابلیت رسیدن به پاسخ‌های نزدیک به مقدار بهینه اشاره کرد. تاکنون از روش‌های بهینه‌سازی هوش مصنوعی برای تنظیم و طراحی هماهنگ بین پایدارسازهای چندگانه از طریق استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است [۵،۶].

الگوریتم‌های هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک[۶] قادر به حل هر مسئله بهینه‌سازی است [۷،۸] و با رمزگذاری کروموزومی قابل توصیف است و از آن می‌توان برای حل مسائل چند بعدی، گسسته و غیر پارامتری استفاده نمود، اما ممکن است در اکسترمم‌های محلی مانده و قادر به یافتن اکسترمم‌های کلی نیستند [۹،۱۰]. روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات که الگوریتمی بسیار ساده بوده از نظر زمان عملکرد نیز بسیار سریع است [۱۱،۱۲]، اما از نقاط ضعف آن دقت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

جواب این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های جدیدتر مانند کلونی زنبور عسل است.



شکل (۱): میرای نوسانات سیستم قدرت

مشکل زمانی بیشتر می‌شود که توابع هدف پیچیده‌تر مانند توابعی که در آن پارامترهای بهینه شده وابستگی شدیدی به هم دارند مطرح می‌شوند و یا زمانی که توابع با تعداد پارامترهای بهینه، بیشتر می‌شوند. هم‌چنین می‌توان به کاهش توانایی جست‌جو در نتیجه همگرایی نابهنگام و احتمال ضعف در نقاط بهینه محلی را افزایش داده است [۱۳،۱۴].

برای افزایش دقت فرآیند بهینه سازی برای هماهنگ سازی پارامترهای جبران‌کننده و پایدارساز سیستم قدرت می‌توان از الگوریتم کلونی زنبور عسل استفاده نمود که از دقت و سرعت همگرایی خوبی برخوردار است.

در این مقاله طراحی همزمان پایدارساز سیستم قدرت و پارمترهای کنترل‌کننده با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل ارائه شده و با نتایج روش PSO به‌کار برده شده در مرجع [۱۵] برای جایابی بهینه و طراحی همزمان پارامترهای پایدار ساز سیستم قدرت و جبران ساز سنکرون استاتیکی مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی برتری روش پیشنهادی را در یک سیستم قدرت دو منطقه‌ای با چهار ماشین را نشان می‌دهند. پس بیان موضوع تحقیق در قسمت اول مقاله، در قسمت دوم ساختار پایدار ساز سیستم قدرت و در قسمت سوم ساختار جبران کننده سنکرون استاتیکی نشان داده شده است. در قسمت چهارم مروری الگوریتم کلونی زنبور انجام شده و اجرای الگوریتم بر سیستم مورد مطالعه یعنی سیستم قدرت دو ناحیه‌ای- چهار ماشینه بیان شده است. در قسمت پنجم نتایج شبیه‌سازی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت نتیجه‌گیری مقاله در قسمت ششم بیان شده است.

۲- پایدارساز سیستم قدرت

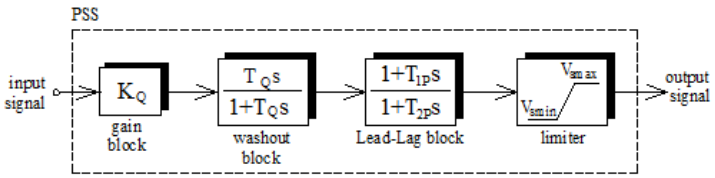
برای از بین‌بردن نوسانات حالت گذرا علاوه بر حلقه‌های کنترلی فرکانس و ولتاژ از کنترل‌کننده تکمیلی به نام پایدارساز سیستم قدرت (PSS) استفاده می‌شود [۱۶،۱۷]. همچنین PSS بر پایداری گذرای سیستم قدرت و میرایی نوسانات فرکانس پایین (LFO) اثر دارد به‌طوریکه PSS پایداری را بهتر می‌کند ولی نقش عمده آن از بین بردن نوسانات است [۱۸،۱۹]. پایدارساز سیستم قدرت در حالت ایده‌آل نباید به تغییرات فرکانسی سیستم پاسخ دهد [۲۰،۲۱]. شکل (۲) بلوک دیاگرام پایدارساز سیستم قدرت را نشان می‌دهد.

۳- جبران‌ساز سنکرون استاتیکی

جبران‌کننده سنکرون استاتیکی (STATCOM) یکی از ادوات FACTS است که ساختار آن بر اساس مبدل منبع ولتاژ بوده و برای کنترل ولتاژ خط انتقال به صورت موازی در سیستم قدرت نصب می‌شود. جبران‌کننده سنکرون استاتیکی توان اکتیو و راکتیو را می‌تواند در زمان کوتاهی به سیستم تزریق نماید و بر عملکرد حالت ماندگار و نیز دینامیکی سیستم تاثیر گذارد و باعث بهبود میرایی سیستم و پروفیل ولتاژ گردد [۲۲،۲۳]. در مقایسه با جبران‌کننده‌های متداول مانند SVC دارای پاسخ سریع‌تر در کنترل هارمونیک‌ها و پایداری است و نیازی به سلف‌های بزرگ و گران ندارد. از مزایای اصلی STATCOM بر جبران‌کننده وار استاتیکی[۷] (SVC) می‌توان به کاهش چشمگیر تعداد اجزاء غیرفعال، توانایی تولید توان راکتیو حتی در ولتاژهای کم و توانایی خروجی جریان بزرگتر توان راکتیو در کاهش چشمگیر ولتاژ نیز اشاره کرد. شکل (۳) بلوک دیاگرام جبران‌کننده سنکرون استاتیکی را نشان می‌دهد.

۴- الگوریتم کلونی زنبور

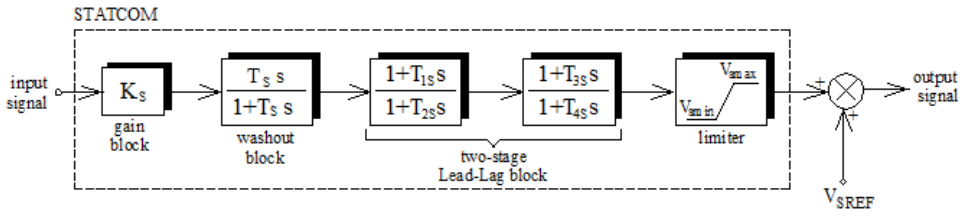
الگوریتم کلونی زنبور عسل از رفتار زنبورها در طبیعت الهام گرفته می‌شود و از سه گروه زنبورهای کارگر، تماشاگر و پیش‌آهنگ تشکیل شده است.. هر کدام از زنبورهای کارگر و یا تماشاگر ممکن است تغییراتی بر روی موقعیت منبع غذایی (راه‌حل) در حافظه خود ایجاد کنند و شایستگی آن را محاسبه نمایند اگر میزان شایستگی آن از راه‌حل قدیمی بیشتر باشد، راه‌حل جدید انتخاب می‌گردد و راه‌حل قدیمی فراموش می‌شود در غیر این‌صورت همان راه‌حل قدیمی باقی خواهد ماند.



شکل (۲): بلوک دیاگرام پایدارساز سیستم قدرت [۲۴]

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020



شکل (۳): بلوک دیاگرام جبران‌کننده سنکرون استاتیکی [۲۵]

این تغییرات توسط رابطه زیر به‌دست می‌آید [۲۶]:

$$V_{ij} = X_{i,j} + \varphi_{i,j}.(X_{i,j} - X_{k,j}) \quad (۱)$$
$$i \neq k, k \in \{1,2,...,BN\}, j \in \{1,2,...,D\}$$

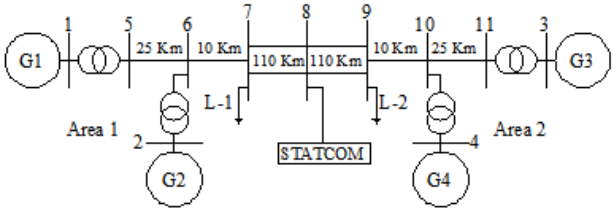
که در آن X_{ij} موقعیت قبلی، i زنبور فعلی، k زنبور همسایه و D تعداد پارامترهای بهینه‌سازی است. φ_{ij} یک عدد تصادفی بین ۱ و ۱- است. این متغییر تولید موقعیت منابع غذایی همسایه در اطراف X_{ij} را کنترل می‌کند. در این رابطه BN تعداد زنبورهای کارگر است و متغییر k به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد و با i متفاوت خواهد بود. هر چه تفاوت بین X_{ij} و X_{kj} کاهش یابد انحراف از موقعیت X_{ij} نیز کاهش خواهد یافت. بعد از اتمام فرایند جستجو، تماشاگران اطلاعات هر کدام از زنبورهای کارگر را ارزیابی می‌کنند و با یک احتمال که متناسب است با میزان کیفیت شهد منبع، یکی از منابع غذایی را انتخاب می‌شود. این احتمال از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد [۲۷].

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_i} \quad (۲)$$

در این رابطه fit_j میزان شایستگی منبع غذایی متناظر با زنبور iام و SN تعداد راه‌حل‌های موجود است. در صورتی که یک منبع پایان پذیرد و یا کیفیت یک منبع غذایی مناسب نباشد، زنبور کارگر آن را رها کرده و به یک پیش آهنگ تبدیل می شود. این رفتار بدین صورت مدل می‌گردد که اگر شایستگی یک نقطه بعد از چندین تکرار بهبود نیابد بدین معنی است که در یک بهینه محلی قرار دارد. بنابراین آن نقطه حذف می‌شود و یک نقطه جدید به‌صورت تصادفی تولید می‌گردد [۲۸].

۴-۱- سیستم دو ناحیه‌ای- چهار ماشینه

سیستم دو ناحیه- چهار ماشینه شامل دو ناحیه متقارن می‌باشد که در شکل (۴) نشان داده شده است. این سیستم می‌تواند رفتار واقعی را با دقت مناسبی شبیه‌سازی کند.



شکل (۴): سیستم دو ناحیه- چهار ماشینه [۲۶]

۴-۲- اعمال الگوریتم روی سیستم تحت مطالعه

در بلوک دیاگرام STATCOM ثابت زمانی پاکساز برابر ۱۰ ثانیه و ثابت زمانی‌های T_2 و T_4 برابر ۰/۳ ثانیه است. بهره کنترل کننده و دو ثابت زمانی دیگر کنترل‌کننده توسط الگوریتم جهت بهینه‌سازی تعیین می‌شوند. در بلوک دیاگرام PSS ثابت زمانی پاکساز برابر ۳ ثانیه است. بهره PSS و دو ثابت زمانی دیگر توسط الگوریتم‌های هوشمند جهت بهینه‌سازی تعیین می‌شوند. در این مقاله از تغییرات سرعت در بازه زمانی شبیه سازی، به عنوان تابع هدف ا ستفاده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$j = \int_{t=0}^{t=t_{sim}} (|\Delta\omega|)\, t\, dt \quad (۳)$$

برای محا سبه تابع هدف مدل غیرخطی سیستم در حوزه زمان در بازه زمانی شبیه‌سازی، اجرا می‌شود. هدف این است که تابع هدف به منظور بهبود پا سخ سیستم بر طبق زمان نشست و میزان فراجهش، مینیمم شود. در این مقاله هدف مینیمم سازی تابع هزینه پیشنهادی J ا ست. بنابراین مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می شود:

$$j = \int_{t=0}^{t=t_{sim}} (\sum \Delta\omega_L + \sum \Delta\omega_I)\, t\, dt \quad (۴)$$

که $\Delta\omega_L$ تغییرات سرعت مد محلی و $\Delta\omega_I$ تغییرات سرعت مد داخل ناحیه‌ای است و t_{sim} بازه زمانی شبیه‌سازی است. محدودیت‌های مسئله، کرانداری پارامترهای کنترلر مبتنی بر STATCOM و PSS است. محدودیت‌های STATCOM به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۲۹]:

$$\begin{cases} K_S^{min} \le K_S \le K_S^{max} \\ T_{1S}^{min} \le T_{1S} \le T_{1S}^{max} \\ T_{3S}^{min} \le T_{3S} \le T_{3S}^{max} \end{cases} \quad (۵)$$

و محدودیت‌های PSS عبارتند از:

$$\begin{cases} K_{PN}^{min} \le K_{PN} \le K_{PN}^{max} \\ T_{1N}^{min} \le T_{1N} \le T_{1N}^{max} \\ T_{2N}^{min} \le T_{2N} \le T_{2N}^{max} \end{cases} , N = 1,...,4 \quad (۶)$$

روش ارائه شده استفاده از الگوریتم ABC برای حل مسئله بهینه‌سازی برای بدست آوردن پارامترهای PSS و STATCOM است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

۵- تحلیل نتایج شبیه‌سازی

نتایج شبیه‌سازی پس از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز در زمان در این قسمت نشان داده شده است که اتصال کوتاه در زمان‌های ۰/۱ و ۰/۲ ثانیه ایجاد می‌شوند. برای تعیین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم PSO از مقادیر جدول (۱) و الگوریتم ABC از مقادیر جدول (۲) استفاده می‌گردد. با طراحی هم‌زمان پایدارساز سیستم قدرت و پارامترهای کنترل‌کننده ادوات FACTS با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل و مقایسه نتایج آن با الگوریتم PSO پارامترها مطابق جدول (۳) تعیین می‌شوند.

جدول (۱): مقادیر استفاده شده در الگوریتم PSO

پارامترها	مقدار
تعداد سیکل‌های جستجو	۱۰۰
مقدار محدودیت	۴۰
تعداد زنبورهای کلونی	۲۰
تعداد تکرار	۱۵
ثابت‌های C	۱

جدول (۲): مقادیر استفاده شده در الگوریتم ABC

پارامترها	مقدار
تعداد سیکل‌های جستجو	۱۰۰
تعداد زنبورهای کلونی	۵۰
مقدار محدودیت	۴۰
تعداد غذا	۲۵
تعداد پارامترهای بهینه‌سازی	۱۵

جدول (۳): پارامترهای مجهول بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم PSO

پارامترهای کنترل	جبران کننده	پایدارسازهای سیستم قدرت			
		شین ۱	شین ۲	شین ۳	شین ۴
بهره	۷۵/۴۳۱۳	۱۰۹/۹۸۵	۱۲۵/۴۲۳۵	۱۱۳/۸۴۹۷	۷۵/۹۵۷۸
ثابت زمانی (برحسب ثانیه)	۰/۵۲۴۱	۰/۲۷۸۶	۰/۳۶۰۴	۰/۰۲۷۹	۰/۳۶۸۹
	۰/۵۷۶۴	۱/۵۲۸۹	۰/۸۱۵۶	۰/۶۸۲۲	۰/۷۶۱۶

برای به‌دست آوردن پارامترهای بهینه‌سازی با الگوریتم ABC مراحل زیر طی می‌شود:

۱- داده‌های سیستم و پارامترهای الگوریتم ABC مانند تعداد زنبورهای کلونی (تعداد زنبورهای کارگر + تعداد زنبورهای دیده‌بان)، مقدار محدودیت، تعداد سیکل‌های جستجو تعیین می‌شود.

۲- تولید شرایط اولیه برای هر زنبور کارگر (تعیین شرایط اولیه برای مقادیر پارامترهای بهینه‌سازی). هر زنبور از جمعیت به صورت تصادفی با رعایت محدودیت‌های اشاره شده مقداردهی می‌شود.

۳- جذابیت مقادیر تصادفی اولیه با جایگذاری در رابطه (۷) تعیین می‌شود.

۴- لازم به ذکر است که به علت لحاظ شدن پارامترهای بهینه‌سازی در سیمولینک، شبیه‌سازی باید اجرا گردد تا متغیرهای سیستم برای تعیین تابع هدف مشخص شود.

۵- در این مرحله، فرآیند جستجو به سه روش برای بهبود جواب صورت می‌گیرد. (زنبور کارگر جستجوی محلی، زنبور دیده‌بان انتخاب جواب‌های برگزیده برای جستجوی محلی، زنبورهای پیش‌آهنگ بررسی جواب‌های تصادفی جدید)

۶-شرط خاتمه الگوریتم، رسیدن به مقدار ماکزیمم تکرار است و در صورت پایان نیافتن مراحل از مرحله تکرار می‌شود.

شکل (۵) فلوچارت هماهنگی پایدار ساز سیستم قدرت و جبران‌کننده سنکرون استاتیکی را با استفاده از الگوریتم ABC نشان می‌دهد.



شکل (۵): فلوچارت هماهنگی کنترل‌کننده‌ها با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل

پارامترهای بهینه شده کنترل‌کننده و پایدارساز سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم ABC در جدول (۴) آمده است. برای به‌دست آوردن نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ABC، از سیستم دو ناحیه-چهار ماشینه و مقادیر بهینه که با الگوریتم ABC به‌دست آمده‌اند استفاده می‌گردد.

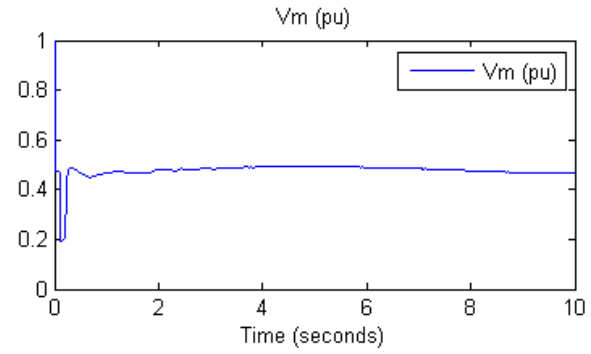
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

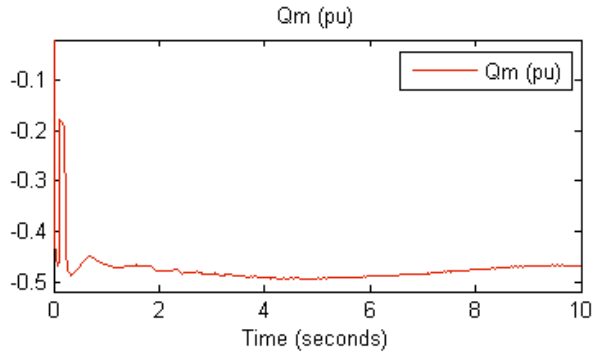
جدول (۴): پارامترهای بهینه با استفاده از الگوریتم ABC

پارامترهای کنترل	جبران کننده	پایدارسازهای سیستم قدرت			
		شین ۱	شین ۲	شین ۳	شین ۴
بهره	۲۴/۰۹۷۹	۱۱۸/۳۶۵۴	۱۲۳/۷۸۹۸	۱۲۸/۷۸۴۴	۸۱
ثابت زمانی	۰/۸۳۸۶	۰/۳۰۳۰	۰/۳۶۹۷	۰/۰۲۳۸	۰/۳۶۳۳
	۰/۳۵۸۰	۱/۵۴۰۰	۰/۸۱۸۵	۰/۶۸۱۴	۰/۷۶۵۹

در زمان شبیه‌سازی پاسخ مؤلفه‌های سرعت ژنراتورها، زاویه روتور ژنراتورها، ولتاژ ترمینال ژنراتورها، توان انتقالی بعد از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز نشان داده شده است. شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب تغییرات ولتاژ و توان راکتیو برحسب پریونیت در شین متصل به جبران‌کننده سنکرون استاتیکی را نشان می‌دهند.

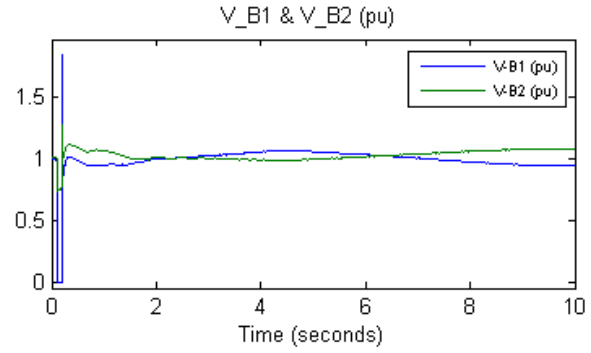


شکل (۶): تغییرات ولتاژ در شین متصل به جبران‌کننده

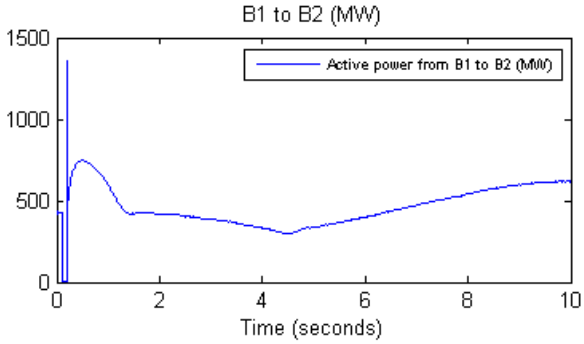


شکل (۷): تغییرات توان راکتیو در باس متصل به جبران‌کننده

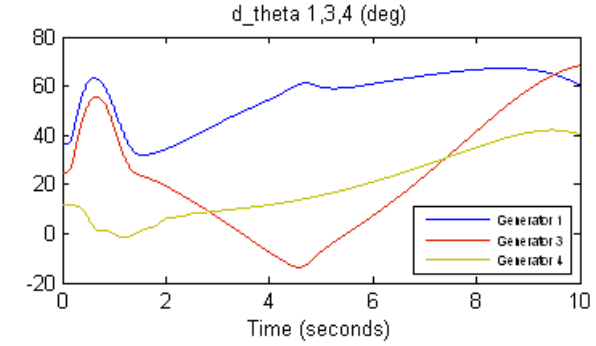
تغییرات ولتاژ V-B1و V-B2 یا بارهای L1، L2 و توان اکتیو انتقالی از شین B1 به B2 در سیستم دو ناحیه-چهار ماشینه بعد از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است. تغییرات زاویه ولتاژ، سرعت، توان و ولتاژ ترمینال ژنراتورهای یک الی چهار بعد از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است. تغییرات زاویه ولتاژ ژنراتورهای یک، سه و چهار نسبت به ژنراتور دو که متصل به شین اسلک با زاویه صفر است نشان داده شده و تغییرات سرعت ژنراتورهای یک الی چهار را بر حسب پریونیت بعد از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز نشان داده شده که بیان کننده میرا شدن سریع نوسانات سرعت ژنراتورها بعد از اغتشاش است. شکل (۱۲) تغییرات توان اکتیو و شکل (۱۳) تغییرات ولتاژ ژنراتورهای یک الی چهار را بر حسب پریونیت نشان می‌دهد که بیان کننده صفر شدن نوسانات بعد از اغتشاش اتصال کوتاه است. نتایج فوق پاسخ مؤلفه‌های سیستم بعد از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز را نشان می‌دهد. جهت نشان دادن کارآمد بودن الگوریتم ABC، نتایج آن با نتایج حاصل از الگوریتم PSO در کنار نتایج حاصل از عدم بهینه‌سازی پارامترهای سیستم مقایسه شده است.



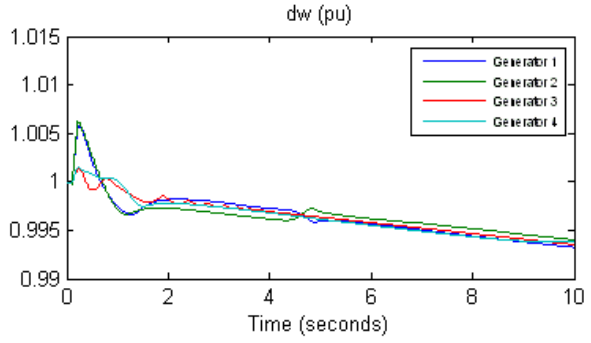
شکل (۸): تغییرات ولتاژ V-B1 و V-B2



شکل (۹): تغییرات توان اکتیو انتقالی از شین B1 به B2



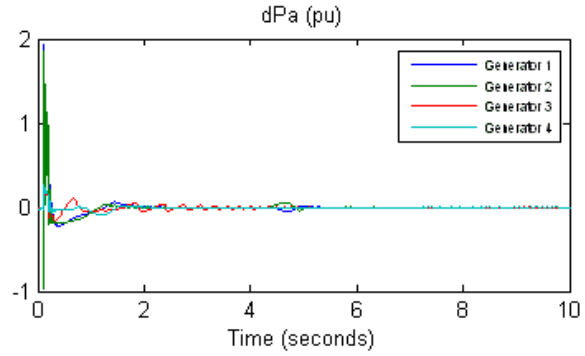
شکل (۱۰): تغییرات زاویه ولتاژ ژنراتورهای یک، سه و چهار نسبت به دو



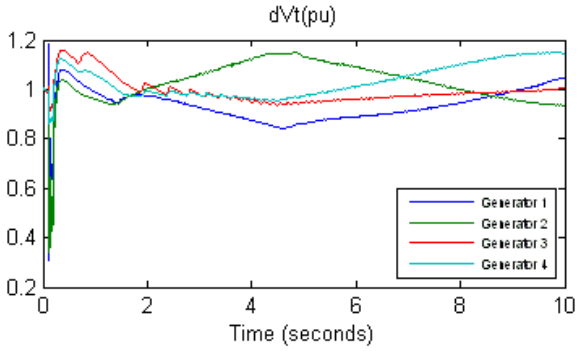
شکل (۱۱): تغییرات سرعت ژنراتورهای یک الی چهار

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

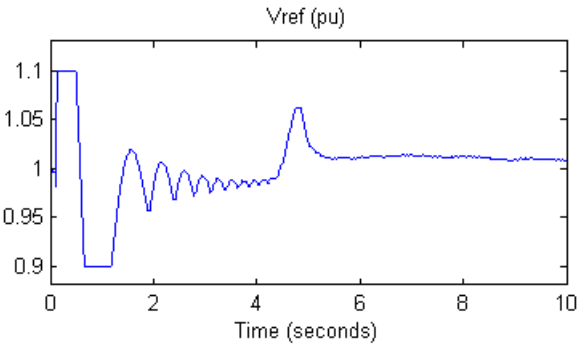
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020



شکل (۱۲): تغییرات توان اکتیو ژنراتورهای یک الی چهار



شکل (۱۳): تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتورهای یک الی چهار

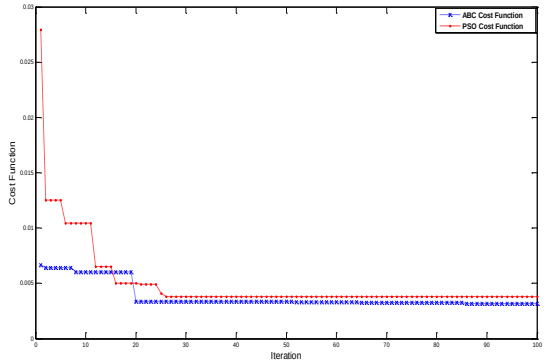


شکل (۱۴): تغییرات سیگنال ولتاژ مرجع STATCOM

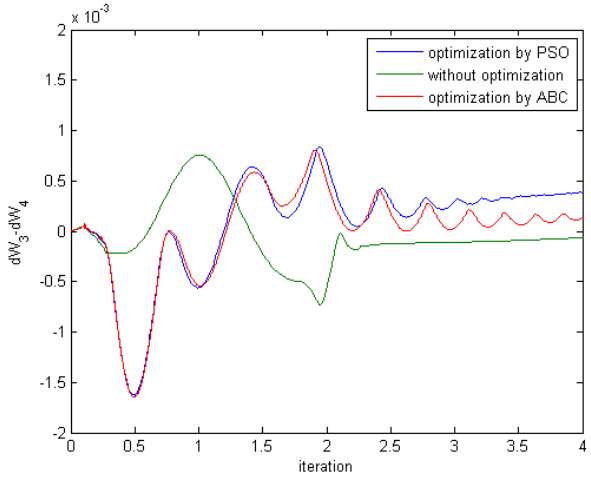
ابتدا نمودار همگرایی تابع هدف J نسبت به تعداد تکرار در شکل (۱۴) نشان داده شده است. در شکل (۱۵) نمودار همگرایی تابع هدف J نسبت به تعداد تکرار در الگوریتم PSO با رنگ قرمز و نمودار همگرایی تابع هدف J نسبت به تعداد تکرار در الگوریتم ABC با رنگ آبی نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود مقدار همگرایی تابع با الگوریتم ABC بعد از هشت تکرار به مقدار خطای ۰/۰۰۶ و در الگوریتم PSO با پانزده تکرار به این مقدار می‌رسد که نشان دهنده سرعت همگرایی بیشتر الگوریتم ABC نسبت الگوریتم PSO است. مقدار همگرایی تابع پس از صد تکرار در الگوریتم PSO به مقدار مینیمم حدودا ۰/۰۰۴ می‌رسد ولی این مقدار در الگوریتم ABC حدودا ۰/۰۰۳ است. بنابراین الگوریتم ABC در دقت همگرایی نسبت به الگوریتم PSO برتری دارد.

شکل (۱۶) نوسانات الکترومکانیکی مد محلی ژنراتورهای سه و چهار بر حسب زمان در سه حالت استفاده از الگوریتم ABC و PSO و بدون استفاده از الگوریتم در تنظیم پارامترهای بهینه سازی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که دیده می‌شود میرایی نوسانات الکترومکانیکی مد محلی در تنظیم پارامترها با الگوریتم ABC با نوسان کمتر نسبت به الگوریتم PSO است.



شکل (۱۵): نمودار همگرایی تابع هدف J نسبت به تعداد تکرار



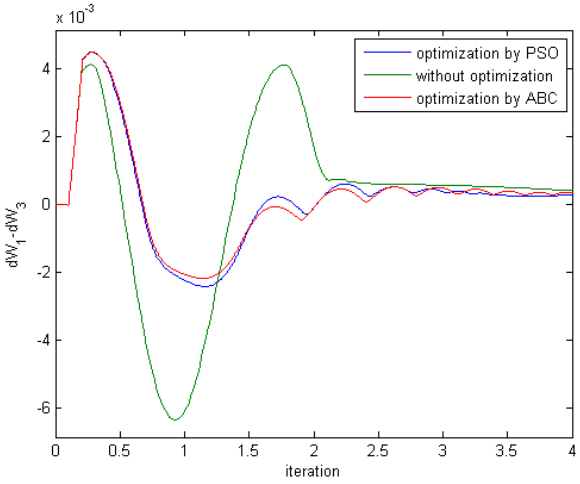
شکل (۱۶): نوسانات الکترومکانیکی مد محلی ژنراتورهای سه و چهار

شکل‌های (۱۷) و (۱۸) تغییرات نوسانات الکترومکانیکی مد بین ناحیه‌ای بر حسب زمان در سه حالت استفاده از الگوریتم ABC و PSO و بدون استفاده از پارامترهای بهینه‌سازی نشان می‌دهند. همانطور که دیده می‌شود میرایی بهتر و میزان دامنه کمتر نوسانات الکترومکانیکی مد بین ناحیه‌ای بعد از اتصال کوتاه سه فاز در ژنراتورهای یک و سه و در ژنراتورهای یک و چهار نشان داده شده است. با مقایسه نتایج، بهینه‌سازی و تنظیم بهتر پارامترها در میرایی نوسانات الکترومکانیکی مد بین ناحیه‌ای با استفاده از الگوریتم ABC نسبت به الگوریتم PSO کاملا مشهود است.

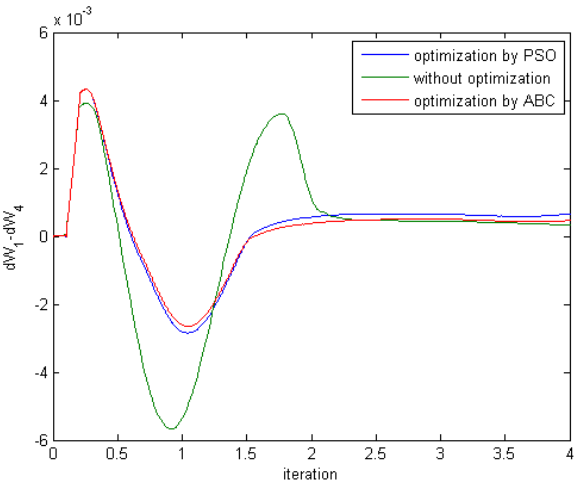
تغییرات زاویه ولتاژ (δ) پس از اغتشاش بین ژنراتورها در سه حالت مورد بحث در شکل (۱۹) نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود بعد از اغتشاش کمترین تغییرات زاویه ولتاژ مربوط به تنظیم پارامترهای با استفاده از الگوریتم ABC است. مقایسه نوسانات سیگنال ولتاژ مرجع STATCOM تحت اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز را در دو حالت استفاده از الگوریتم PSO و ABC در تنظیم پارامترها در شکل (۲۰) نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

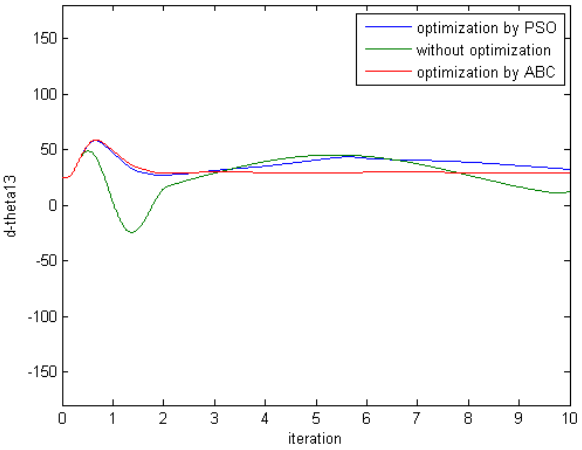
نوسانات سیگنال ولتاژ مرجع STATCOM تحت اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز در تنظیم پارامترها با الگوریتم ABC نسبت به الگوریتم PSO کمتر است.



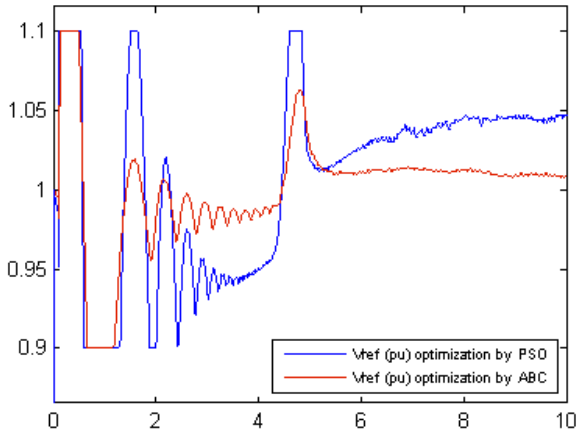
شکل (۱۷): نوسانات الکترومکانیکی مود بین ناحیه‌ای بین ژنراتورهای یک و سه



شکل (۱۸): نوسانات الکترومکانیکی مود بین ناحیه‌ای ژنراتورهای یک و چهار



شکل (۱۹): تغییرات زاویه ولتاژ (δ) ژنراتورهای یک و سه



شکل (۲۰): نوسانات سیگنال ولتاژ مرجع STATCOM تحت اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم ABC برای هماهنگی پارامترهای STATCOM و PSS برای میرایی بهتر نوسانات الکترومکانیکی پیشنهاد شده است. با تنظیم پارامترها توسط الگوریتم ABC و مقایسه آن نسبت به الگوریتم PSO و بدون استفاده از پارامترهای بهینه‌سازی، نتایج شبیه‌سازی بهبود میرایی نوسانات الکترومکانیکی در مد محلی و بین ناحیه‌ای را نشان می‌دهند. همچنین با بررسی تغییرات زاویه ولتاژ در شبیه‌سازی با پارامترهای تنظیم شده توسط الگوریتم ABC نشان داده شده که کمترین انحراف زاویه ولتاژ نسبت به دو حالت دیگر وجود دارد.

نتایج شبیه‌سازی بعد از یک اغتشاش بزرگ نشان می‌دهد که طراحی همزمان پارامترهای کنترل‌کننده STATCOM و PSS با الگوریتم ABC نسبت به حالت بدون بهینه سازی، پایداری سیستم را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد و نوسانات سیستم را به سرعت میرا می‌کند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی با الگوریتم ABC در پاسخ دیگر پارامترها بعد از اغتشاش اتصال کوتاه سه فاز برتری این روش را نسبت به استفاده از الگوریتم PSO در تنظیم پارامترهای STATCOM و PSS نشان می‌دهد.

مراجع

[۱] محمدی مرتضی، گیتی‌زاده محسن، آقایی جمشید، روستا علیرضا، "*تنظیم بهینه پارامترهای کنترلی STATCOM و SVC به منظور بهبود عملکرد دینامیکی سیستم قدرت متصل به ژنراتور القایی از دوسو تغذیه*"، نشریه تحقیقات نوین در برق، سال: ۱، ش.: ۲، ص.: ۱۹-۳۰، پاییز ۱۳۹۱.

[۲] شاهقلی‌ان غضنفر، خانی خسرو، معظمی مجید، "کنترل فرکانس یک ریز شبکه خودگردان در حضور توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی تغذیه دوبل"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، س.: ۶، ش.: ۲۳، ص.: ۱۲-۳، پاییز ۱۳۹۴.

[۳] براتی حسن، ساکی رضا، مرتضوی سید سعیداله، "*کنترل هوشمند کنترل‌کننده یکپارچه عبور توان (UPFC)جهت بهبود پایداری گذرا*

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

در سیستم‌های قدرت چند ماشینه"، نشریه روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال اول، ش.: ۱، ص.: ۱۲-۳، بهار ۱۳۸۹.

[4] J. Bhukya, V. Mahajan, *"Mathematical modelling and stability analysis of PSS for damping LFOs of wind power system"*, IET Renewable Power Generation, Vol. 13, No. 1, pp. 103-115, Jan. 2019

[۵] براتی حسن ، فتحی اسماعیل ، نصیر محمد، *"در مدار قرار گرفتن بهینه واحدهای نیروگاهی حرارتی با استفاده از روش ترکیبی منطق فازی و الگوریتم جهش قورباغه"*، نشریه روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال نهم، ش.: ۳۵، ص.: ۶۲-۴۹، پاییز ۱۳۹۷.

[۶] افضلان احسان، جورابیان محمود، *"طراحی همزمان STATCOM و پایدارساز سیستم قدرت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوکننده (SOA) جهت بهبود میرائی سیستم قدرت"*، نشریه تحقیقات نوین در برق، سال دوم، ش.: ۱، ص.: ۲۰-۹، خرداد ۱۳۹۲.

[۷] قاسمی ساسان، قلی‌پور اسکندر، *"بهینه‌سازی توان راکتیو در حضور ادوات FACTS با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی بر پایه منطق فازی"*، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۶، ش.: ۲۳، ص.: ۴۵-۵۴، پاییز ۱۳۹۴.

[۸] باقری-طولابی هاجر، شاکرمی محمودرضا، *"ترکیب جدیدی از سیستم استنتاج فازی و الگوریتم علف‌های هرز به منظور بازآرایی همزمان با جایابی و تعیین ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع"*، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۶، ش.: ۲۱، ص.: ۱۳-۲۰، بهار ۱۳۹۴.

[9] C. Kuo, *"A novel coding scheme for practical economic dispatch by modified particle swarm approach"*, IEEE Trans. on Power System, Vol. 23, No. 4, pp. 1825-1835, Nov. 2008.

[10] E. Hosseini, E. Aghadavoodi, G. Shahgholian, H. Mahdavi-Nasab, *"Intelligent pitch angle control based on gain-scheduled recurrent ANFIS"*, Journal of Renewable Energy and Environment, Vol. 6, No. 1, pp. 36-45, 2019.

[۱۱] خواجه‌خلیلی فرزاد، هنرور محمدامین، *"طراحی و شبیه‌سازی یک مقسم توان ویلکینسون سه باند با ایزولاسیون بالا با استفاده از الگوریتم PSO"*، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۶، ش.: ۲۳، ص.: ۱۳-۲۰، پاییز ۱۳۹۴.

[۱۲] شجاعیان شاهرخ، منتظری سیدکمال، لطفی مهری، *"کنترل بار-فرکانس یک سیستم قدرت به کمک کنترل‌کننده مد لغزشی بهینه شده با PSO"*، نشریه تحقیقات نوین در برق، سال: ۲، ش.: ۲، ص.: ۳۵-۴۵، ۱۲۹۴.

[13] M. Z. Ali, N. H. Awad, P. N. Suganthan, A. M. Shatnawi, R. G. Reynolds, *"An improved class of real-coded genetic algorithms for numerical optimization"*, Neurocomputing, Vol. 275, pp. 155-166, Jan. 2018.

[۱۴] کاظمی زهرانی امیر، پرستگاری معین، *"طراحی همزمان پارامترهای PSS و SVC با استفاده از روش کوانتوم بهبود یافته جهت ارتقای پایداری سیستم قدرت چند ماشینه"*، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۸، ش.: ۳۱، ص.: ۶۸-۷۵، پاییز ۱۳۹۶.

[15] S. Panda, N.P. Padhy, *"Optimal location and controller design of STATCOM for power system stability improvement using PSO"*, Journal of the Franklin Institute, Vol. 345, pp. 166-181, 2008.

[16] T. Prakash, V. P. Singh, S. R. Mohanty, *"A synchrophasor measurement based wide-area power system stabilizer design for inter-area oscillation damping considering variable time-delays"*, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 105, pp. 131-141, February 2019.

[17] S. Essallah, A. Bouallegue, A. Khedher, *"Integration of automatic voltage regulator and power system stabilizer: small-signal stability in DFIG-based wind farms"*, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, Vol. 7, No. 5, pp 1115–1128, Sep. 2019.

[۱۸] شاهقلیان غضنفر، رجبی امین، کریمی بهرام، یوسفی محمدرضا، *"طراحی پایدارسازسیستم قدرت بر اساس تئوری کنترل لغزشی برای سیستم قدرت چند ماشینه"*، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۱، ش.: ۱، ص.: ۱۳-۲۲، بهار ۱۳۸۹.

[19] M.T. Khosroshahi, F.M. Kazemi, M.R. Jannati-Oskuee, S. Najafi-Ravadanegh, *"Coordinated and uncoordinated design of LFO damping controllers with IPFC and PSS using ICA and SFLA"*, Journal of Central South University, Vol. 22, No. 9, pp. 3418-3426, Sep. 2015.

[20] E. Jabari, G. Shahgholian, *"PSO integral-derivative stabilizer design for improving damping in multi-machine power system"*, International Journal Natural and Engineering Sciences, Vol. 12, No. 2, pp. 40-48, 2019.

[۲۱] فتح اللهی آرمان، *"طراحی و شبیه سازی همزمان کنترل کننده های پایدارساز سیستم قدرت سینرجتیک و خازن سری کنترل شده با تریستور در سیستم قدرت چند ماشینه"*، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۸، ش.: ۳۰، ص.: ۳-۱۴، تابستان ۱۳۹۶.

[۲۲] قائدی حمید، شاهقلیان غضنفر، هاشمی مهناز، *"مقایسه اثر دو روش کنترل مبتنی بر همواری برای STATCOM در بهبود پایداری شبکه شامل مزارع بادی مبتنی بر DFIG"*، نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، سال: ۸، شماره: ۱۵، ص.: ۸۱-۹۰، بهار و تابستان ۱۳۹۸.

[23] C. Guo, W. Jiang, C. Zhao, *"Small-signal instability and supplementary coordinated damping-control of LCC-HVDC system with* STATCOM *under weak AC grid conditions"*, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 104, pp. 246-254, Jan. 2019.

[24] G. Shahgholian, H. Hamidpour, A. Movahedi, "*Transient stability promotion by FACTS controller based on adaptive inertia weight particle swarm optimization method*", Advances in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 57-70, March 2018.

[25] G. Shahgholian, N. Izadpanahi, "*Improving the performance of wind turbine equipped with DFIG using STATCOM based on input-output feedback linearization controller*", Energy Equipment and Systems, Vol. 4, No. 1, pp. 65-79, June 2016.

[26] G. Shahgholian, S. Fazeli-Nejad, M. Moazzami, M. Mahdavian, M. Azadeh, M. Janghorbani, S. Farazpey, "*Power system oscillations damping by optimal coordinated design between PSS and STATCOM using PSO and ABC algorithms*", Proceeding of the IEEE/ECTICON, Chiang Mai, Thailand, pp. 1-6, June/July 2016.

[27] D. Karaboga, B. Basturk, *"A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm"*, Journal of Global Optimization, Vol. 39, pp. 459–471, April 2007.

[28] D. Karaboga, B. Basturk, *"On The Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm"*, Applied Soft Computing Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 687-697, Jan. 2008.

[29] S. Fazeli-Nejad, G. Shahgholian, M. Moazzami, *"Artificial bee colony algorithm based approach for power system oscillation damping with PSS and STATCOM"*, International Journal of Research Studies in Electrical and Electronics Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 27-39, 2019.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

زیرنویس‌ها

1. Power system stabilizer
2. Static synchronous compensator
3. Artificial bee colony
4. Particle swarm optimization
5. Flexible ac transmission system
6. Genetic algorithm
7. Static var compensator

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020

Simultaneous Design of Power System Stabilizer and Static Synchronous Compensator Controller Parameters Using Bee Colony Algorithm

Saied Fazeli-Nejad[1], Ghazanfar Shahgholian[2], Majied Moazzami[3]

1- MSc, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
2- Associate Professor- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shahgholian@iaun.ac.ir
3- Assistant Professor- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, majid.moazzami@gmail.com

Abstract: To improve the stability of the power system, the design of a PSS and STATCOM controller parameters using ABC is presented as an optimization problem in this paper. The ABC is a collective intelligence based on the optimization algorithm and inspired by the bee feeding behavior in finding food. Fast convergence and high accuracy are the capabilities of this algorithm. The effectiveness and robustness of the bee colony algorithm are shown by nonlinear simulation of a two-area power system consisting of four machines and compared with the particle swarm optimization method. Simultaneous design of power system controller and stabilizer parameters with bee cloning algorithm over non-optimized mode increases oscillation damping speed and improves power system stability. The simulation results are presented using MATLAB software for different system conditions.

Keywords: Power system stabilizer (PSS), Static synchronous compensator (STATCOM), Artificial bee colony (ABC), Particle swarm optimization (PSO), Stability

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.1.1.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.1- Spring 2020