ارائه روش جدید جهت بهینه کردن هزینه تولید میزان بار ژنراتور و حل مسئله تعهد واحد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

حامد یاوری[۱]

محسن نورمندی‌پور[۲]

سیدرامین موسوی[۲]

[۱] شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان، H_yavari61@yahoo.com

[۲] شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان ، m.noormandipoor@gmail.com

[۳] شرکت کیان حدید سیرجان، raminmoosavi20@yahoo.com

چکیده: این مقاله یک روش جدید جهت حل مسئله تعهد واحد و کاهش هزینه تولید میزان بار ژنراتور برای تولید واحدهای تولیدی، برای هر ساعت در یک روز، پیشنهاد می کند. مسئله تعهد واحد با در نظر داشتن هزینه تولید و هزینه گذرا، با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل و بهینه شده است. راه حل مسئله باید هم قیود ژنراتور و هم قیود سیستم را رعایت کند. در این مقاله الگوریتم پیشنهادی تشریح شده و به سیستم تست ۳۹ باس IEEE اعمال می‌شود. در نهایت نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از دیگر تکنیک ها مقایسه می شوند.

کلید واژه‌ها: تعهد واحد، هزینه گذرا، الگوریتم ژنتیک

۱ . مقدمه

تعهد واحد (UC) یک مسئله بهینه سازی عدد صحیح مختلط غیر خطی است که کل تقاضا در سیستم تست را به همه واحد های تولیدی با حداقل هزینه عملیاتی تخصیص می دهد. هزینه های عملیاتی عبارتند از: هزینه تولید و هزینه انتقال رعایت قید ها، بار کل، تلفات سیستم و الزامات رزرو در هر دوره. مسئله US باید حالت روشن/خاموش هر واحد تولیدی را در هر ساعت از دوره برنامه ریزی تعیین کرده و ظرفیت تقاضا و رزرو را در میان واحد متعهد به طور بهینه تخصیص دهد. UC مهمترین کار در بهره برداری از سیستم قدرت است. حل مسئله UC برای سیستم های قدرت پیچیده تر بوده و پیچیدگی مسائل UC با افزایش تعداد واحدها به طور نمایی افزایش می یابد.

تکنیک های حل متعددی برای حل مسئله UC در کمترین هزینه پیشنهاد شده اند. با این حال، بین کیفیت حل و راندمان محاسباتی آنها تفاوت وجود دارد. این تکنیک ها به دو رویکرد قطعی و جستجوی تصادفی تقسیم می‌شوند. رویکرد های قطعی عبارتند از: برنامه نویسی دینامیک (DP) [1] ، برنامه نویسی دینامیک اصلاح شده (MDP) [2] ، آزاد سازی لاگرانژی (LR) [3]، آزادسازی لاگرانژی بهبود یافته (ILR)[4]، تکامل تفاضلی آزاد سازی لاگرانژی (LRDE) [5]. این روش ها در حل سیستم های قدرت با مقیاس متوسط ساده، دقیق و سریع هستند. این روش‌ها دارای مشکلات همگرایی، کیفیت حل پایین و پیچیدگی هستند. الگوریتم های جستجوی تصادفی یا ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک [7]، جستجوی ممنوع [8]، بهینه سازی ازدحام ذرات ترکیبی

موثر[9]، PSOگسسته[10]، PSO هیبرید [11]، PSO تطبیقی فازی [12]، برنامه نویسی تکاملی [13]، PSO عدد صحیح مخلوط [16]، PSO چندهدفه[17]، قادرند در بازه زمانی کوتاه تری نسبت به تکنیک های بهینه سازی سنتی عمل بهینه سازی را انجام دهند. با استفاده از دو نوع از الگوریتم ها بالا، چندین الگوریتم ترکیبی پیشنهاد شده اند. این روش ها قادرند با هر دو قید مخلوط خطی و غیرخطی کار کنند و حل های بهینه بسیار کارآمدی ارائه دهند. با این وجود، همه این الگوریتم دارای نقطه ضعف دقت پایین هستند. با افزایش اندازه مسئله و تعداد واحدهای تولیدی، زمان محاسباتی و کیفیت حل های بدست آمده تضعیف می شوند.

در این مقاله، با تولید همه حالت های ممکنِ هر واحد برای هر ذره در هر بازه زمانی، یک تکنیک جدید پیشنهاد شده است. این حالت های ذره ها را می‌توان با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه کرد. به منظور تایید کارایی الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم را به سیستم تست ۳۹ –باس IEEE (سیستم نیوانگلند) که شامل ۱۰ واحد تولیدی است اعمال نمودیم.

۲. فورمولاسیون مسئله

هدف اصلی در مسئله UC کمینه کردن هزینه عملیاتی کل است؛ هزینه عملیاتی مجموع هزینه تولید، هزینه راه اندازی و هزینه خاموشی است. این تابع را می توان با در نظر داشتن همه قیود ژنراتور و سیستم بهینه ساخت.

۲,۱. هزینه تولید

مولفه اصلی تابع هدف مسئله UC، کمینه کردن هزینه کل با در نظر داشتن مجموعه ای از محدودیت ها است. هزینه تولید، PCi برای واحد i در هر زمان دلخواه تابعی است درجه دوم از توان خروجی ژنراتور، Pi:

$$PC_i = a_i + b_i P_i^2 \quad (۱)$$

ai، bi و ci ضرایب هزینه برای واحد i هستند. Pi توان تولیدی واحد متعهد i بر حسب MW است.

۲,۲.هزینه راه اندازی

مولفه دوم در تابع هدف هزینه راه اندازی است که وابسته به بازه زمانی خاموشی (OFF time)، T^{OFF} می باشد. هزینه راه اندازی را می توان از دو روش محاسبه کرد، هزینه راه اندازی نماییو هزینه راه اندازی سرد/گرم اگر زمان راه اندازی سرد کمتر از بازه زمانی خامو شی T^{OFF} باشد، هزینه راه اندازی به صورت هزینه آغاز گرم در نظر گرفته می شود، در غیر این صورت به صوت هزینه سرد در نظر گرفته می شود. هزینه راه اندازی SC_i در هر زمان دلخواه t از رابطه زیر بدست می آید:

$$SC_i = \begin{cases} \sigma_i + \sigma_i\left(1-e^{(-T_i^{off}/\tau_i)}\right) \\ \sigma_i \end{cases} \quad (۲)$$

$$\sigma_i = \begin{cases} \text{cold start cost, } CSC_i & \text{when } T_i^{off} \geq CT_i \\ \text{hot start cost, } HSC_i & \text{when } T_i^{off} < CT_i \end{cases} \quad (۳)$$

$$T_i^{off} = \begin{cases} |INS_i| + D_i^{off} \\ D_i^{off} \end{cases} \quad (۴)$$

HSCi هزینه راه اندازی گرم، CSCi هزینه راه اندازی سرد و ثابت زمانی خنک سازی است. CTi زمان آغاز سرد است، INSi حالت اولیه واحد i و Dioff بازه زمانی خاموشی قبل از متعهد شدن واحد i است.

۲,۳. هزینه خاموشی

هزینه خاموشـــی را می توان به صـــورت یک هزینه ثابت نشان داد، که شامل هزینه پرسنل و هزینه نگهداری بوده و بسیار کمتر از هزینه راه اندازی می‌باشد. لذا در این مقاله از هزینه خاموشی صرفه نظر شده است.

۲,۴.تابع هدف

نهایت، تابع هدف مسـئله UC، کمینه کردن هزینه تولید، هزینه انتقال و هزینه خاموشی است. هزینه خاموشی برای سیستم تست مورد نظر در این مقاله قابل چشم پوشی است. تابع بهینه سازی کلی بدین صورت است:

$$F=\sum_{j=1}^{t}\left[\left[\sum_{i=1}^{N}PC_i\right]u_{ij}+\left[\sum_{i=1}^{N}SC_i\right]u_{ij}\left(1-u_{ij-1}\right)\right] \quad (۵)$$

به صـــورتی که uij یک متغیر باینری اســـت که حالت روشـــن/خاموش واحد i در زمان j را نشـــان می دهد. اگر واحد i در زمان t متعهد بود uij=1، در غیر این صـــورت uij=0. Pd_j تقاضـــای کل در زمان j و K ضـــریب جریمه هســـتند. هدف کلی کمینه کردن هزینه با حفظ قید های سیستم و ژنراتورها است.

۲,۵. قید های مسئله

مســـئله UC را باید همزمان با رعایت برخی محدودیت ها بهینه کرد، که وابسته به سیستم مورد مطالعه هستند. قید ها را به دو دسته قیدها سیستم و قید های ژنراتور دسته بندی می کنیم. قیدهای ژنراتور شامل حدود تولید، حداقل زمان روشـــن/خاموش و قیدهای راه اندازی می باشـــد. این قیدها وابسته به بازه های زمانی ON/OFF می باشند.

۲,۶.تلفات توان

تلفات توان را می توان با استفاده از ضرایب اتلاف سیستم تست بدست آورد. ضرایب اتلاف بر اساس داده های خط و باس محاسبه می شوند. تلفات برای هر حالت ذره محاسبه شده و به تقاضای بار کل اضافه می شوند.

۳. الگوریتم ژنتیک

تکنیک جســـتجو در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه سازی مدل، ریاضی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصـی از الگوریتم‌های تکاملی اسـت که از تکنیک‌های زیسـت‌شـناسـی فرگشـتی مانند وراثت، جهش زیست شناسی و اصول انتخابی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگواســـتفاده می‌شـــود. الگوریتم های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرســـیون هســـتند. در مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مســـئله اســـتفاده می‌کند. مســـئله‌ای که باید حل شـــود دارای ورودی‌هایی می‌باشـد که طی یک فرایند الگوبرداری شـده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شـــود ســـپس راه حل‌ها به عنوان کاندیداها توســـط تابع ارزیاب (Fitness Function) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه شـــرط خروج مســـئله فراهم شـــده باشـــد الگوریتم خاتمه می‌یابد. به‌طور کلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار اســـت که اغلب بخش‌های آن به صـــورت فرایندهای تصـــادفی انتخاب می‌شـــوند که این الگوریتم‌ها از بخش‌های تابع برازش، نمایش، انتخاب وتغییر تشـــکیل می‌شـــوند. هرگاه یکی از ســـبک‌های موجود در ســـتون ســـبک‌ها و قالب‌بندی‌ها را با ماوس انتخاب کنید، ســـبک و قالب‌بندی قســـمتی که مکان‌نما روی آن قرارارد مطابق با ســـبک انتخاب شـــده می‌شود[19].

۳,۱.فرمولاسیون الگوریتم ژنتیک

در این الگوریتم، مســـئله US با تولید حالت های منطقی برای هر قسمت حل می‌شود. قسمتها با on/off که بیانگر حالت ژنراتور در هر ساعت از بازه زمان بندی است نشان

داده می شوند. برای هر قسمت حداکثر n۲ حالت منطقی با اعداد صفر و یک وجود دارد. عدد ۱ بیانگر حالت روشن، و عدد صفر بیانگر حالت خاموش واحد هستند.

بگذارید پنج واحد را در نظر بگیریم. هر قسمت دارای حداکثر ۲۵ حالت است. تعداد حالت های منطقی ممکن است بر اساس حداقل زمان روشن بودن (MUTi) و حداقل زمان خاموشی (MDTi) تغییر کند. اگر برای واحد ۱، MUT سه ساعت با شد و این واحد تعهد برای کار در ساعت هفتم داده باشد، این واحد تا ساعت دهم باید بار را تغذیه کند، که در آن شرایط قسمت از ساعت هفتم تا دهم تنها دارای ۲۴ حالت خواهد بود. لذا اینجا n بیانگر واحد های تولیدی متغیر است. اگر ۴۰ ذره در نظر بگیریم، حداکثر اندازه جمعیت ۲۵*۴۰ با حالت های مختلف در هر بازه خواهد بود.

۳،۲. روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی UC

در این الگوریتم، هر مجموعه از قسمتها به طور تصادفی در فضای تصمیم تولید می‌شوند. هر قسمت دارای مقداری سرعت برای حرکت به سمت مینیمم محلی است. مینیمم محلی در حافظه ذخیره می شود، و دوباره قسمتها موقعیت خود را تغییر می دهند و با سرعت های مختلف به سمت مینیم عمومی حرکت می کنند تا نهایتا در حداکثر تعداد تکرار به مینیمم عمومی دست یابند.

۳،۳. فرآیند بهینه سازی را می توان در گام های زیر توصیف کرد:

گام ۱: تولید حالت های منطقی

در ابتدا داده های ورودی از سیستم تست گرفته می شود. حالت اولیه و حداقل زمان های روشن/خاموش با هم مقایسه می شوند. حالت اولیه "ve-" نشان می‌دهد که واحد روشن است. اگر با شد، واحد i ممکن است برای بازه زمانی اول روشن یا خاموش باشد، در غیر این صورت آن واحد باید خاموش باشد. به طور مشابه، اگر باشد، واحد i ممکن است برای بازه زمانی اول روشن یا خاموش باشد، در غیر این صورت آن واحد باید روشن باشد. طبق فرآیند بالا حالت متغیر ژنراتورهای بدست می آید.

گام ۲: تولید ذرات اولیه

پس از تولید حالت های منطقی برای هر قسمت، حالت های قسمت ها در بین حدود مشخص حداکثر و حداقل سرعت و موقعیت ایجاد شده و مقدار دهی اولیه می شوند. یک مقدار فیتنس با استفاده از معادله (۵) برای همه حالت های قسمت ها محاسبه می گردد. قیدهای مسئله باید برای هر بازه بررسی شده و ضریب جریمه (k) به تابع بهینه سازی به منظور متعادل سازی بار اضافه می گردد. بهترین مقدار فیتنس برای همه حالت های قسمت ها مورد جستجو قرارگرفته و بهترین مقدار محلی نامیده می شود و در تکرار اول حکم بهترین مقدار عمومی را دارد.

گام ۳: فرآیند آغاز تکرار

با در نظر گرفتن بهترین مقدار محلی به عنوان بهترین مقدار عمومی برای تکرار اول، سرعت به روز شده و سپس موقعیت هر قسمت با استفاده از معادلات (۲) و (۳) به روز خواهد شد. سرعت ها و موقعیت های جدید هر ذره با قیود سرعت و موقعیت تطبیق داده می شوند. اگر موقعیت/سرعت قسمت X کمتر از قید حداقل مقدار موقعیت/سرعت قسمت بود، مقدار سرعت/موقعیت با همان حد پایین به روز می شود. با استفاده از معادلات (۲) و (۳) حالت هر قسمت با موقعیت ها و سرعت های جدید به روز می شود. دوباره با استفاده از رابطه (۵) مقدار فیتنس برای هر قسمت محاسبه می گردد. بهینه عمومی مورد جستجو قرار گرفته و دوباره سرعت و موقعیت به روز می شوند. این فرآیند تا رسیدن به تکرار بیشینه تکرار می شود.

گام ۴: یافتن هزینه کل

پس از یافتن بهترین مقدار هزینه در ساعت اول، گام ۱ با اضافه کردن حالت همه واحدها در ساعت اول به حالت اولیه تکرار می شود، سپس با استفاده از حالت به روز شده هر واحد همه گام ها اجرا می شوند. همین فرآیند برای همه زمان ها تکرار شده و هزینه کل بدست می آید.

۴. سیستم تست

سیستم ۳۹-باس IEEE حاوی ۳ ژنراتور و بارهای مختلف در هر ساعت از روز می باشد. برای این سیستم، هزینه راه اندازی با استفاده از روش هزینه راه اندازی نمایی محاسبه می شود. بازه های زمانی روشن و خاموش برای هر واحد در جدول ۱ نشان داده شده است. هزینه تولید از رابطه (۱) محاسبه می شود و محاسبه هزینه راه اندازی به صورت نمایی مقدار پیچیده است زیرا وابسته به مدت زمان خاموشی هر واحد می باشد.

محاسبه بازه زمانی خاموشی نسبت به حالت استاندارد پیچیده تر بوده و بدین ترتیب محاسبه می گردد. در ابتدا حالت اولیه هر واحد بررسی می شود، اگر در مد خاموش بود، این بازه خاموش اولیه به مدت زمان هایی که واحد در پیش از زمان تعهد خاموش است اضافه می گردد.

جدول۱: مدت زمان روشن / خاموش ۱۲ ساعته

T	واحد برنامه	مدت زمان روشن			مدت زمان خاموش		
		U1	U2	U3	U1	U2	U3
۱	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۸	۸		۵	۵	۶
۲	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۸	۸		۵	۵	۶
۳	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۹	۹		۶	۶	۷
۴	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰	۱۰		۷	۷	۸
۵	۱۱۰۰۰۱۰۰۰۰	۱۱	۱۱		۸	۸	۹
۶	۱۱۰۱۰۱۰۰۰۰	۱۲	۱۲		۹	۹	۱۰
۷	۱۱۱۱۰۰۰۰۰۰	۱۳	۱۳		۱۰	۱۰	۱۱
۸	۱۱۱۱۰۰۰۱۰۰	۱۴	۱۴	۱	۱۱		۱۲
۹	۱۱۱۱۰۱۰۱۰۰	۱۵	۱۵	۲			۱۳
۱۰	۱۱۱۱۱۱۰۰۰۰	۱۶	۱۶	۳			
۱۱	۱۱۱۱۱۱۰۱۰۰	۱۷	۱۷	۴			
۱۲	۱۱۱۱۱۱۰۱۱۰	۱۸	۱۸	۵			

۵. نتایج شبیه سازی

محاسبه هزینه راه اندازی به صورت نمایی تا حدی از روش محاسبه هزینه راه اندازی گرم/ سرد پیچیده تر است، زیرا وابسته به بازه زمانی خاموش بودن هر واحد می باشد.

در این مقاله، زمان های T^{OFF} و زمان های T^{ON} در جدول ۱ نشان داده شده اند. در ابتدا، واحد ۱ و واحد ۲ در حالت روشن بوده و باقی واحد ها در حالت خاموش می باشند. برای زمان T^{OFF} در ساعت اول، واحد های ۱ و ۲ به عنوان واحدهای متعهد در نظر گرفته شده و بار MW ۷۰۰ را به صورت اقتصادی تغذیه می کنند. این دو واحد به مدت ۵ ساعت پیش از بازه زمانی اول روشن هستند، هیچ واحد جدیدی در ساعت اول متعهد نشده و لذا هزینه راه اندازی صفر است. برای سه ساعت اول هیچ واحد جدیدی اضافه نمی شود و هزینه راه اندازی برابر با صفر خواهد بود. در ساعت چهارم، برای بار MW ۹۵۰، واحد ۳ به سیستم اضافه شده و شروع به تغذیه می کند. واحد ۳ از شش ساعت گذشته خاموش بوده و پس از سه ساعت اضافه شده است. کل بازه خاموشی واحد ۳، ۷ ساعت می باشد. هزینه راه اندازی نمایی واحد ۳ که از رابطه (۲) محاسبه شده برابر است با $331.5362. واحد ۳ بار را به مدت سه ساعت تغذیه کرده و به مدت دو ساعت خاموش خواهد بود. دوباره همین واحد در ساعت نهم برای بار MW ۱۳۰۰ با زمان T^{OFF} دو ساعت و هزینه راه اندازی $277.4605 متعهد می شود. برای محاسبه هزینه راه اندازی از همین فرآیند برای هر ساعت و هر واحد استفاده

می شود. نتایج در جدول ۲ ارائه شده اند.

جدول ۲: هزینه شروع برای تست سیستم

واحدهای عمومی			T
۳	۲	۱	
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۱
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۲
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۳
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۴
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۵
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۶
۱۰۹۷/۷۵۲۳	۰	۰	۷
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۸
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۹
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۱۰
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۱۱
۰/۰۰۰۰	۰	۰	۱۲

نتایج برای سیستم ۳۹ باس IEEE در جدول ۳ ارائه شده اند. نتایج شـــامل هزینه تولید، هزینه راه اندازی، تولید هر واحد و برنامه ریزی تعهد در هر ساعت می باشند. مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۳، این رویکرد در مقایسه با دیگر روش ها بهترین هزینه بهره برداری را ارائه می کند. با افزایش تعداد واحد های تولید کننده، زمان محاســباتی به طور نمایی افزایش می یابد. لذا این روش در اســتفاده در سیستم های قدرت با اندازه متوسط بهترین گزینه است.

جدول۳: مقایسه روش های مختلف با روش پیشنهادی

هزینه کل($)	روش
۵۷۴۱۵۳	HPSO[11]
۵۷۲۱۹۲	MIPSO[16]
۵۶۸۶۳۵	MOPSO[17]
۵۶۵۸۲۸	SA[14]
۵۶۵۸۲۵	GA[7]
۵۶۵۸۰۴	DPSO[10]
۵۶۵۱۱۷	MDP[2]
۵۶۴۷۷۲	EHPSO[9]
۵۶۴۵۵۱	EP[13]
۵۶۴۱۸۰	LRDE[5]
۵۶۳۹۳۸	ILR[3]
۵۶۳۳۷۱	FAPSO[12]
۵۶۱۸۸۶	APSO[18]
۵۵۸۷۲۱/۴۲۷۷	روش پسشنهادی (الگوریتم ژنتیک)

۶. نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله UC پیشنهاد شد. مسئله UC یک مسئله چالش برانگیز بوده و نیازمند الگوریتم هایی ا ست که قادر با شند به طور کارآمدی بهترین نتایج را از نظر هزینه تولید و هزینه راه اندازی ارائه دهند. نتایج بدســت آمده در مقایســه با دیگر روش ها از نظر ویژگی های بهینگی برتری دارد. بهینه ســازی با اســتفاده از الگوریتم ژنتیک، یک الگوریتم بهینه ســازی جدید اســت که برای تشــکیل ذرات با حالت های مختلف کاربرد دارد. در مقایســه با دیگر روش های بهینه ســازی تصــادفی، ژنتیک دارای قابلیت جســتجوی بهتری برای مسائلی مانند UC در سیستم های قدرت واقعی می باشــد. در تحقیقی که اخیرا انجام شــد، برخی اصــلاحات برای ژنتیک پیشــنهاد شــدند تا همگرایی بهبود یابد و گوناگوی افزایش یابد؛ همانند همین مقاله. در نتیجه، این الگوریتم قادر بوده است به خوبی فضای جستجو را کاوش کرده و حل هایی با کیفیت و دقت بالا تولید نمایند. در

این مقاله روشـــی ارائه شـــد تا برای بهبود الگوریتم های تکاملی مقاوم جدید به منظور حل مسئله تعهد واحد مورد استفاده قرار گیرد. نتایج شبیه سازی نشان دادند که این روش بهینه سازی در مقایسه با دیگر روش ها بسیار دقیق تر است.

۷. مراجع

[1] Lowery, P.G.; "Generation unit commitment by dynamic programming", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-102, pp 1218-1225, 1983.

[2] Dr. s muralidhartan, V. Madhan kumar, A. Balavignesh,"Thermal Unit Commitment using FLAC guided modified Dynamic Programming approach", 2011 International Conference on Recent advancements in Electrical , Electronics and Control Engineering

[3] Zhuang, F. and Galiana, F. D. "Toward a more rigorous and practical unit commitment by Lagrangian relaxation", IEEE Trans. Power Syst., vol. 3, no. 2, pp. 763–770, May 1988.

[4] FaridBenhamid, E, N. Abdallah and A.H Rashed "thermal unit commitment solution using an improved lagrangian relaxation" RE&PQJ, Vol. 1. March 2007.

[5] M. Ramu, L Ravi srinivas, S Tara Kalyani, "Unit Commitment by Lagrangian Relaxation incorporating Differential Evolution", Journal of Electrical Engineering

[6] Cohen, A. I. and Yoshimura, M. "A branch-and-bound algorithm for unit commitment", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS- 102, no. 2, pp. 444–451, 1983.

[7] Kazarlis, S.A.; Bakirtzis, A.G.; Petridis, V.; "A genetic algorithm solution to the unit commitment problem" IEEE Transactions on Power Systems, Volume 11, Issue 1, Feb. 1996 Page(s):83 – 92

[8] Mantawy, A.H.; Abdel-Magid, Y.L.; Selim, S.Z.; "Unit commitment by tabu search", IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Volume 145, Issue 1, Jan. 1998 Page(s):56 – 64

[9] Ting, T.O.; Rao, M.V.C.; Loo, C.K.; "A novel approach for unit commitment problem via an effective hybrid particle swarm optimization", IEEE Transactions on Power Systems, Volume 21, Issue 1, Feb. 2006 Page(s):411 - 418.

[10] Zwe-Lee Gaing, "Discrete particle swarm optimization algorithm for unit commitment", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2003, Volume 1, 13-17 July 2003

[11] Ting, T.O; Rao, M.V.C.; Loo, C.K.; and NGU, S.S.; "Solving Unit Commitment Problem Using Hybrid. Particle Swarm Optimization", Journal of Heuristics, 9: 507–520, 2003.

[12] Saber, A.Y.; Senjyu, T.; Yona, A.; Funabashi, T.; "Unit commitment computation by fuzzy adaptive particle swarm optimization", IET Generation, Transmission & Distribution, Volume 1, Issue 3, May 2007 Page(s):456 – 465.

[13] Juste, K.A.; Kita, H.; Tanaka, E.; Hasegawa, J.; "An evolutionary programming solution to the unit commitment problem", IEEE Transactions on Power Systems, Volume 14, Issue 4, Nov. 1999 Page(s):1452 – 1459

[14] Simopoulos, D.N.; Kavatza, S.D.; Vournas, C.D.; "Unit commitment by an enhanced simulated annealing algorithm", IEEE Transactions on Power Systems, Volume 21, Issue 1, Feb. 2006 Page(s):68 - 76

[15] Sisworahardjo, N.S.; El-Keib, A.A.; "Unit commitment using the ant colony search algorithm", Large Engineering Systems Conference on Power Engineering 2002, LESCOPE 02 Page(s):2.

[16] Lingfeng Wang, Chanan Singh; "Unit commitment considering generator outages through a mixed-integer particle swarm optimization algorithm", Region 5 Conference, 2006 IEEE.

[17] Hefai DHIFAOUI, Tawfik GUESMI and Hsan HADJ ABDALLAH, "Application of

Multi-Objective PSO Algorithm for Economic Dispatch (ED) through Unit Commitment Problems (UCP)", 15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2014, Hammamet, Tunisia, December 21-23, 2014.

[18] V.S. Pappala, and I. Erlich, "A New Approach for Solving the Unit Commitment Problem by Adaptive Particle Swarm Optimization", 2008 IEEE Transactions.