

## کاربرد OPF در سیستمهای مدیریت انرژی

رضا دوستی

دانشگاه بیرجند - دانشکده مهندسی

[rezapwr@gmail.com](mailto:rezapwr@gmail.com)

### چکیده

با روند افزایشی مصرف کننده ها، لزوم کنترل و مدیریت بر سیستمهای قدرت احساس می شود. در این راستا، این مقاله ضمن شناساندن انواع مختلف سیستمهای کنترل بویژه سیستمهای کنترل نظارتی و دستیابی اطلاعات<sup>1</sup> (SCADA)، به معرفی سطوح کاری، اجزاء و روند اجرایی سیستمهای مدیریت انرژی<sup>2</sup> پرداخته و نقش<sup>3</sup> OPF را در فرایند بهینه سازی سیستمهای مدیریت انرژی از نظر اقتصادی و قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار داده است.

کلمات کلیدی: OPF، قابلیت اطمینان، سیستمهای SCADA، الگوریتم

### ۱- مقدمه

در یک سیستم قدرت، نیروگاه ها در فواصل یکسان از مراکز بار واقع نشده اند و هزینه سوخت آنها نیز متفاوت است. همچنین تحت شرایط بهره برداری عادی، ظرفیت تولید بیش از مجموع تقاضای بار و تلفات است. در یک سیستم قدرت به هم پیوسته هدف اینست که برنامه ریزی توانهای اکتیو و راکتیو در هر یک از نیروگاه ها چنان باشد که هزینه بهره - برداری حداقل شود. این بدان معنی است که ژنراتورها مجازند در محدوده معینی، توانهای اکتیو و راکتیو خود را چنان تغییر دهند که تقاضای بار مشخص با حداقل هزینه سوخت تامین شود؛ این مساله را پخش بار بهینه (OPF) می نامند.

### ۲- ۱- سیستم های کنترل

سیستمهای کنترل به منظور احاطه کاربر به فرایند کنترل طراحی شده اند. این سیستمها دارای انواع زیر می باشند که به اختصار بررسی می کنیم:

<sup>1</sup> Supervisory Control and Data Acquisition

<sup>2</sup> Energy Management System

<sup>3</sup> Optimise Power Flow

## ۲-۱-۱- سیستمهای PLC<sup>۱</sup>

در این سیستمها، تجهیزات مربوط به کنترل کننده در کنار وسیله یا سیستمی که قصد کنترل عملکرد آن را داریم قرار داده می شود و برای صدور فرمان کنترلی باید از محل<sup>۲</sup> اقدام نمود.

## ۲-۱-۲- سیستمهای DCS<sup>۳</sup>

در این سیستمها بر عملکرد مجموعه ای از PLC ها نظارت می شود. در حقیقت در این سیستمها از قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به PLC ها برخورداریم و از طریق یک واحد مرکزی می توان عملکرد کل سیستم را تحت نظر داشت.

## ۲-۱-۳- سیستمهای SCADA

در این سیستمها بالاترین سطح اطمینان را داریم. این سیستمها شامل واحدهای مونیتورینگ هستند که عملکرد شبکه را در شرایط گوناگون تحت نظر دارند و در صورت لزوم می توان از راه دور فرمانهای کنترلی را صادر کرد.

## ۲-۱-۴- سیستمهای field bus

این سیستمها که به تازگی با استقبال گسترده مواجه شده اند موجب کاهش هزینه های مربوط به سیم کشی های لازم بین تجهیزات کنترلی و واحد کنترل می شود. در این سیستمها از یک جفت سیم تأییده معمولی که یک سگمنت نامیده میشود استفاده می شود. این جفت سیم قادر است مسیری برای انتقال سیگنال و تغذیه ۱۶ وسیله کنترلی فراهم نماید. در این سیستمها در واحد کنترل کار مونیتورینگ و صدور فرمان صورت می گیرد و در صورت قطع ارتباط واحد کنترل با محل، یکی از دستگاه های موجود به عنوان مدیر<sup>۴</sup> به کار خود ادامه داده و باقی تجهیزات از آن تبعیت می کنند. یکی از مسایلی که در سیستمهای کنترل دارای اهمیت می باشد زمان واقعی<sup>۵</sup> می باشد. یک سیستم کنترل انرژی باید به مهندسان کنترل کمک کند تا شبکه را در زمان واقعی کنترل کنند؛ یعنی بتوانند وضعیت تغییرات ایجاد شده در سیستم را از همان زمانهای گذرای اولیه تا زمان پایداری به شکل مستمر<sup>۶</sup> تحت نظر داشته باشند. در اینصورت می توان اثرات ناشی از یک خطای مشخص یا پنهان<sup>۷</sup> و یا یک فرایند سوئیچینگ را مشخص کرد. این کار باعث خواهد شد که شبکه با حداقل قیمت توأم با ضریب اطمینان داده شده کار کند که برای تحقق این امر می توان از راه حل پیشنهادی الگوریتمهای OPF استفاده کرد.

## ۲-۲- سیستمهای مدیریت انرژی

یک سیستم مدیریت انرژی قسمتی از یک سیستم کنترل می باشد که شامل سطوح مختلفی از اجزاء می باشد: در سطح صفر<sup>۸</sup> که پایینترین سطح سیستم نامیده می شود، قابلیت اطمینان بالا در لوازم کلیدها، همراهم با سهولت برای کنترل کردن و بازدید سیار را در اختیار داریم. همچنین این سطح شامل تجهیزات اتوماتیک از قبیل رله های حفاظتی<sup>۹</sup> و تپ - چنجرهای اتوماتیک می باشد.

<sup>۱</sup> Programming Logic Control

<sup>۲</sup> Local

<sup>۳</sup> Distributed Control Systems

<sup>۴</sup> Master

<sup>۵</sup> Real Time

<sup>۶</sup> On Line

<sup>۷</sup> Potential Fault

<sup>۸</sup> Level 0

<sup>۹</sup> Protection Relays

سطح یک<sup>۱</sup> شامل قفسه های کنترل از راه دوری می شود که در داخل اسباب کلید قرار داده می شوند مانند تجهیزاتی که برای تبدیل اتوماتیک حالت ستاره به مثلث استفاده می شوند ؛ این کار باعث سهولت کنترل به شکل تحریکی و قفل کردن داخلی می شود که از آن برای اندازه گیری ولتاژ و جریان هم استفاده می شود .

در سطح دو<sup>۲</sup> واحد اصلی کنترل یعنی جمع کننده اطلاعات را داریم که معمولاً شامل یک اپراتور (انسان یا ماشین) است که به اطلاعات تولید شده در شبکه مهندسی دسترسی دارد . این اطلاعات توسط تجهیزات موجود در سطوح پایین تر تهیه شده اند .

سطح سه<sup>۳</sup> که بالاترین سطح سیستم می باشد شامل سیستمهای کنترل ناظر و تهیه اطلاعات SCADA می باشد . اسکادا در واحدی به نام مرکز کنترل قرار می گیرد. وظیفه یک سیستم اسکادا دریافت مقادیر اندازه گیری شده و نشان دادن آنها از طریق یک سری الگوریتمهای قابل فهم به کاربر می باشد. اسکادا در حقیقت یک نرم افزار می باشد که برای جمع آوری داده های زمان حقیقی پروسه های صنعتی ، نمایش آن به کاربر ، نظارت و ارسال فرمانهای کنترل مورد استفاده قرار می گیرد . همچنین نرم افزار اسکادا به عنوان منبع این اطلاعات برای نرم افزارهای تحلیلی ، محاسباتی و مدیریتی کاربرد دارد .

یکی از قسمتهای مهم اسکادا ، مدیریت آلام می باشد. در این قسمت تمام ورودی ها و گزارشات مربوط به وضعیتهای غیر عادی سیستم به شکل اتوماتیک قابل مشاهده است .

سیستم مدیریت انرژی اطلاعات بدست آمده از اسکادا را تحلیل کرده و آنالیزی از شبکه بدست می دهد که شامل تحلیل توپولوژی سیستم و تخمین وضعیتهای (موقعیتهای) می باشد . تحلیل توپولوژی به بررسی حالات گذرای (دینامیک) کلیدها می پردازد که در این وضعیت ، قطع کننده ها و عایق کننده ها برای نشان دادن مدل شبکه عملگرها در یک شاخه گره ، بکار می روند . برای تحلیل این وضعیتهای از روشهای ماتریسی استفاده می شود که به تخمین وضعیتهای ، محاسبه ولتاژ ترمینال (باس) ، محاسبه جریان شاخه های پارامترهای شبکه و مقادیر ارائه شده توسط اسکادا می پردازد.

از این وضعیتهای تخمینی در بهینه سازی استفاده می شود.

## ۲-۳- OPF

همانطور که اشاره شد هدف OPF محاسبه نقطه کار بهینه پیشنهادی برای سیستمهای کنترل قدرت می باشد ، به شکلی که دو پارامتر اقتصادی بودن و ضریب اطمینان سیستم توامان برآورده شود . برای این کار :

گام اول پیدا کردن یک نقطه از وضعیتهای سیستم است که در یک ناحیه بنا به محدودیتهای ناشی از عملگرها مانند محدودیتهای ولتاژ و جریان شاخه ، تعریف شده است .

گام دوم تعریف کردن یک تابع هزینه در ناحیه مذکور می باشد . این تابع معمولاً طوری تعریف می شود که شامل انتقال اقتصادی توان اکتیو در مدت زمان عمل شبکه با توجه به محدودیتهای موجود باشد . یک محدودیت مهم در بهینه سازی این است که شکلهای سوئیچینگ را نمی توان بهبود بخشید و بایستی به همان شکل در محاسبات در نظر گرفته شوند . محاسبات OPF می تواند توسط روشهای دیگر مدیریت انرژی که به صورت آزمون و خطا همراه با تکرار هستند تکمیل شود . در این روشها همواره بدترین حالتی که ممکن است در خروجی رخ دهد در نظر گرفته می شود .

<sup>1</sup> Level 1

<sup>2</sup> Level 2

<sup>3</sup> Level 3

## ۲-۴- اطلاعات لازم

اطلاعاتی که در فرآیند بهینه سازی به آنها نیاز داریم عبارتند از :

- (۱) مدل شبکه
- (۲) وضعیتهای اولیه
- (۳) وضعیتهای بحرانی
- (۴) توابع و کنترل ها

آنالیز این اطلاعات برخی مشکلات موجود در بهینه سازی پخش بار را مشخص و مرتفع می کند؛ البته مانند تمام سیستمهای کنترلی فقط حالتی را که قابل مشاهده<sup>۱</sup> و قابل کنترل<sup>۲</sup> می باشند می توان بهینه کرد .

مدل شبکه در برخی از کاربردهای مدیریت انرژی مانند تخمین بار و توصیف پارامترهای فیزیکی استفاده می شود . محدودیتهایی که در این زمینه با آنها مواجهیم، محدودیت تجهیزات عمل کننده و امنیتی سیستم هستند. کاربر برای محاسبه تلفات سیستم از همین اطلاعات که در تخمین پخش بار کاربرد دارد استفاده می کند .

شرایط اولیه وضعیت سیستم را قبل از بهینه سازی مشخص می کنند ، که با استفاده از آنها می توان وضعیت خروجی را برای بارهای پیش بینی شده بدست آورد .

کنترل هایی که در فرآیند بهینه سازی (OPF) استفاده می شوند شامل یک زیر مجموعه از کنترلهای سیستم قدرت می باشند که کاربر قادر به تغییر دادن آنها می باشد ؛ این کنترلها شامل کنترل بر خروجی واحدهای ژنراتوری ، سرهای ترانسفورماتور و توان راکتیو جبرانی می باشد .

توابع ، تعریفی از چگونگی یک راه حل معین برای بهینه سازی یعنی کمینه کردن<sup>۳</sup> تلفات شبکه و یا هزینه سوخت ، با استفاده از کمترین تجهیزات کنترلی ، می باشند . برای اینکه بتوانیم هزینه سوخت را بهینه کنیم باید منحنی صعودی هزینه را که مربوط به انتقال اقتصادی می باشد در اختیار داشته باشیم . تابع تعریف شده باید به شکلی باشد که بتوان بر روی تغییرات اندک نیز کنترل داشت که این امر باعث جلوگیری از حرکتها و هزینه های اضافی و در نتیجه اقتصادی شدن فرآیند می شود .

برای بهینه سازی به یک مدل شبکه خوب و شرایط اولیه نیاز داریم که این امر در برخی موارد به سختی فراهم می شود . مثلا در مواردی که شبکه ها به یکدیگر متصل شده اند کار کمی مشکل می شود زیرا اطلاعات به چندین شبکه وابسته می شوند و باید شبکه ها را توأمان بررسی کرد . گاهی برای راحتی در انجام آنالیزهای مورد نظر به جای این شبکه ها تجهیزات شبکه جایگزین می شوند . البته همانطور که قبلا اشاره شد بهینه سازی به قسمتهایی از شبکه محدود می شود که قابل مشاهده و کنترل باشد .

## ۲-۵- خروجی ها

خروجی های OPF یک سری از کنترل های تعریف شده می باشند و مرکز کنترل باید دارای یک سری تجهیزات کنترلی از قبیل واحدهای ژنراتور و یا نقاط تعیین تپ-چنجرها باشد . اگر شبکه ای که پروسه بهینه سازی روی آن انجام می شود،

<sup>1</sup> Observable

<sup>2</sup> Controllable

<sup>3</sup> Min

دارای اتصالات داخلی<sup>۱</sup> باشد یعنی با شبکه دیگری لینک داشته باشد و یا مسیر کنترل مستقیم نداشته باشد، با مشکل مواجه خواهیم شد زیرا فقط قسمتهای قابل مشاهده و کنترل را می توان بهینه کرد .

برای اینکه جریانهها ، توان راکتیو و سطح ولتاژ مورد نیاز را به شکل بهینه داشته باشیم ، باید بتوانیم وسایل تنظیم کننده ولتاژ (رگلاتورها) را به خوبی ژنراتورها کنترل کنیم ، که برای داشتن نقطه کار بهینه ، تحت بار متغیر و توپولوژی شبکه ، بهتر است کنترل از راه دوری روی نقاط کار ترانسفورماتور داشته باشیم .

نتایج OPF یک سری از نقاط کار توان اکتیو و راکتیو می باشند که با کنترل ژنراتور به دست می آیند . این نتایج در واقع همان تابع انتقال اقتصادی می باشد که به دنبال آن بودیم . بنابراین بهینه سازی را می توان بوسیله یک سیستم کنترل اتوماتیک<sup>۲</sup> که تولید کننده نقاط کار می باشد به عنوان تابع انتقال اقتصادی کامل کرد .

## ۲-۶- بهینه سازی امنیتی OPF

مشکل محدودیت امنیتی یا همان ضریب اطمینان سیستم را می توان توسط الگوریتمهایی که برای OPF نوشته می شوند حل کرد . بوسیله این الگوریتمها مشکلات مربوط به محدودیتهای امنیتی ثابت (دمایی) را می توان به آسانی حل کرد ؛ ولی حل مشکلات مربوط به محدودیتهای متغیر ، دشوار بوده و این مسایل از طریق آنالیز OTS<sup>۳</sup> و معادلات مربوط به روشهای گرادیان و ... محاسبه می شوند .

بسیاری از الگوریتم ها از محدودیتهای ولتاژ مغناطیسی ترمینال ، برای محاسبه عدم استحکام ولتاژ استفاده می کنند . این الگوریتم ها طوری نوشته می شوند که افت ولتاژ در هیچ جا از سیستم، از سطوح قابل قبول که تعریف شده اند بیشتر نشود. یکی از روشهایی که برای تحلیل رفتار شبکه AC استفاده می شود ، تحلیل پیک دوقلو<sup>۴</sup> نامیده می شود .

خطوط انتقال سیستم قدرت ، دارای نسبت  $x/r$  بالایی می باشند ؛ در چنین سیستمی ، حساسیت تغییرات توان حقیقی  $\Delta P$  نسبت به تغییرات اندازه ولتاژ  $\Delta V$  کمتر و نسبت به تغییرات زاویه فاز  $\Delta \delta$  بیشتر خواهد بود . به همین ترتیب تغییرات توان راکتیو به تغییرات زاویه کمتر حساس بوده و وابستگی زیادی به تغییرات اندازه ولتاژ دارد .

وضعیت تعادل توانهای اکتیو و راکتیو ، توسط زمانبندی مجدد کنترل توان اکتیو و راکتیو ، می تواند به صورت یک نقطه بهینه برای امنیت سیستم بدست آید .

در نقطه کاری که نسبت  $x/r$  بالا می باشد: بیشترین ظرفیت خازنی بارگذاری توان سیستم ، ماکزیمم حالت آماده ، اختلاف ثابت بین ولتاژها ، بیشترین ولتاژ مغناطیسی در پایینترین ترمینال ، کمترین مقدار اختلاف در بیشترین زاویه فازی و کمترین مقدار تلفات راکتیو را در اختیار داریم .

با کنترلهای اکتیو و راکتیوی که به یکدیگر کوپل شده اند ، می توان هزینه بهینه سازی OPF لازم برای تلفات راکتیو را به حداقل رساند . اگر سیستمهایی با نسبتهای خط انتقال  $x/r$  و  $r/x$  را با یکدیگر ترکیب ( کوپل ) شوند تلفات توان ظاهری حداقل شده و در نتیجه سیستم بهینه می شود .

<sup>1</sup> Interconnection

<sup>2</sup> Automatic Generation Control

<sup>3</sup> Optimal Transient Stability

<sup>4</sup> Twine - Peak

### ۳ - نتیجه

در سیستمهای انتقال انرژی توجه به عملکرد اقتصادی و ایمن شبکه از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است . OPF یکی از روشهای موجود برای بهینه سازی عملکرد شبکه و مرتفع کردن این مشکل ، می باشد . OPF با استفاده از یک سیستم مدیریت انرژی ، قسمتهایی از شبکه را که قابل مشاهده و کنترل می باشند، کنترل کرده و پارامترهای مربوطه را اندازه گیری می کند . برای اینکه نتایج حاصل از بکارگیری OPF رضایت بخش باشد به شناختی مناسب از شبکه و محدودیتهای موجود در سر راه نیاز داشته و باید اطلاعات کاملی از هزینه ها در دست داشته باشیم . نکته مهم اینست که OPF اطلاعاتی در اختیار ما قرار می دهد که با استفاده از آنها می توان عملکرد سیستم و خروجی ها را توجیه کرد .

### ۴ - سپاسگزاری

با تشکر از استاد محترم جناب آقای دکتر حمیدرضا نجفی که مرا در ارائه این مقاله یاری کردند .

### ۵ - فهرست مراجع و ماخذ

- ۱- Hadi Saadat ، بررسی سیستمهای قدرت ، مترجمان: احد کاظمی-شهرام جدید-حیدرعلی شایانفر ، چاپ دوم ، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ، ۱۳۸۲
- ۲- مهدی کاوسیان-محمود عنایتی-امیر توکلی، استانداردهای CIM و DAIS برای نرم افزار اسکادا و برنامه های کاربردی قدرت، PSC2004
- ۳- Toni Bennett Mike Newill-Jody Verret ، اتوماسیون پالایشگاه های نفت در عصر فیلد باس، وحید تیموری، صنعت هوشمند ، شماره ۳۷، ۱۳۸۳
- 4- T. Berry , C Gharban , S Zhang, "Appliying Optimal Power Flow within an Energy Management System" ,
- 5-John J.Grainger ,William D.Stevenson, "Power System Analysis",First Publish ,Nopardazan,1383
- 6- G. J. Rogers and J. H. Chow, "Hands-on teaching of power system dynamics," *IEEE Comput. Appl. Power*, vol. 8, pp. 12-16, Jan. 1995.