18th International Power System Conference

کنفرانس بین‌المللی برق ۱۸

98-F-PSS-210

تاثیر توسعه شبکه بر مسئله جایابی ترانسفورماتور جابجا کننده فاز در شبکه ایران

گئورگ قره تپیان مجید فرمد ساعد راعی حسین محسنی
دانشکده برق معاونت برنامه ریزی دانشکده فنی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر شرکت توانیر دانشگاه تهران

واژه‌های کلیدی : ترانسفورماتور جابجا کننده فاز، PST، کاهش تلفات، جایابی، توسعه شبکه

چکیده

مطالعات نشان داده است که ترانسفورماتور جابجا کننده فاز،PST (Phase Shifting Transformer) توانایی کاهش تلفات انتقال را دارد. با در نظر گیری این توانایی، در این مقاله مسئله جایابی PST در شبکه سراسری ایران به منظور کاهش تلفات مورد بحث قرار گرفته است. شبکه هدف، شبکه ایران در سال ۱۳۸۸ بوده است. در این شبکه اثر نصب PST در خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ و همچنین بررسی اثر تعویض ترانسفورماتورها با PST، صورت پذیرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده بحث و نتیجه گیری فنی – اقتصادی در جهت تعیین مناسبترین محل نصب PST در شبکه انجام شده است.

هدف اصلی مقاله مقایسه نتایج جایابی مربوط به این سال با نتایج جایابی در سال ۱۳۸۳ بوده است. نکته مهمی که از این مقایسه بدست آمده این است که محل مناسب نصب PST با توسعه شبکه ایران (تغییر توپولوژی و شرایط تولید و مصرف) تغییر می یابد. دلیل این جابجایی نکته جالب دیگری است که این مقاله به آن اشاره دارد و انتظار می رود که جایابی دیگر عناصر FACTS در شبکه ایران از این نکته تاثیر بپذیرد. دلیل جابجائی پاسخ با توجه به این که مازاد تولید و کمبود تولید شبکه در کجاست قابل توجیه است. در سال ۱۳۸۳ برق منطقه ای مازندران دارای مازاد تولید و برق تهران به عنوان بزرگترین مصرف کننده همجوار دارای کمبود تولید است. بنابراین منطقی است که این مازاد تولید به سمت برق تهران هدایت شود. نتیجه روند جایابی، PST را به عنوان یک کنترل کننده سیلان توان، به این محل سوق داده است. اما در سال ۸۸ با ورود نیروگاه‌های برق آبی، مازاد تولید به مناطق جنوب کشور منتقل می شود. ولی در این سال نیز برق تهران دارای کمبود تولید است. بنابراین ضروری است که مجدداً این مازاد تولید

Archive of SID

www.SID.ir

به سمت برق تهران هدایت شود. این مسئله باعث می شود که پاسخ جابجا شده و به خط ساوه – پرند منتقل گردد. نتایج بدست آمده در این مقاله ضرورت توجه به این موضوع را در برنامه‌ریزی های آینده شبکه آشکار می سازد.

۱- مقدمه

طراحان در طرح های اولیه مربوطه به سیستم تولید و انتقال، قابلیت تولید و انتقال توان درخواستی رامدنظر قرار می دهند. ولی با گذشت زمان تغییراتی از قبیل رشد مصرف، اتصال شبکه ها به یکدیگر و تأسیس نیروگاهها و خطوط انتقال جدید این توازن را برهم زده و محدودیتهایی را در بهره برداری از شبکه قدرت بوجود می‌آورد [۱].

در شبکه های غربالی اتصال شبکه ها در کنار مزایای زیادی که دارد، دارای مشکلات عدیده ای نیز هست. از جمله این مشکلات عبور توان در مسیرهای ناخواسته در سیستم انتقال است. این مسئله می تواند موجب افزایش بار غیر مجاز و عدم بهره برداری بهینه از سیستم قدرت شود. لذا بایستی بطریقی توان عبوری از یک مسیر را کنترل نمود.

در نواحی با خطوط طولانی، مسئله فوق مشکل ساز نیست، بلکه مشکل عمده مسئله حد پایداری گذرا و افت ولتاژ غیر مجاز است. به این معنی که برای حفظ پایداری شبکه و تثبیت سطح ولتاژ مجاز، توان عبوری در سیستم انتقال باید محدود شود. در نتیجه، این مشکل باعث می گردد که ظرفیت بارپذیری (Loadability) خطوط همراه با افزایش طول خطوط، شدیداً کاهش یابد.

جهت رفع نواقص فوق الذکر و افزایش بهره‌وری از سیستم های انتقال قدرت، راه حلهایی موجود است. این راه حلها را باید از لحاظ گوناگون بررسی و مقایسه نمود [۲]. موردی که در این نوشتار دنبال می شود، ***کنترل پخش بار در حالت دائم است و هدفی که از کنترل سیلان قدرت دارد این است که وضعیت موجود سیلان قدرت را در خطوط انتقال، بگونه ای تغییر دهد که تلفات شبکه کاهش یابد.*** با توجه به این موضوع آلترناتیوهای مطرح عبارتند از کاربرد خطوط انتقال HVDC یا کاربرد تجهیزات FACTS.

در مطالعات انجام شده در معاونت برنامه ریزی شرکت توانیر [۳] خطوط HVDC تا سال ۱۳۸۸ جزء طرحهای شبکه در سطح انتقال نیستند. بنابراین تنها مورد قابل بحث در جهت اهداف این پروژه استفاده از تجهیزات FACTS است.

در میان تجهیزات FACTS تجهیزاتی که بصورت موازی در مدار قرار می گیرند و جریانی را به یک PV باس(که به آن وصل شده اند)تزریق‌می‌کنند تاثیری برروی‌قدرت‌حقیقی‌انتقالی ازخط نخواهند داشت. در صورت اتصال این عناصر در وسط یا طرف گیرنده خط، ولتاژ باس مربوطه و در نتیجه قدرت انتقالی از خط تا حدودی قابل کنترل است. ازجمله این عناصر میتوان به SVCها (Static Var Compensators) و STATCOM اشاره نمود [۴].

در میان ادوات FACTS تجهیزاتی هستند که می‌توانند قدرت انتقالی خط را توسط یک ولتاژ تزریقی (سری با خط)، کنترل نمایند. این ولتاژ در ترانسفورماتور جابجا کننده فاز PST (Phase Shifting Transformer) توسط یک ترانسی به خط تزریق می‌شود [۵] و یا ولتاژ سری با خط می تواند بگونه ای باشد که با جریان خط متناسب باشد که در اینصورت آنرا از نوع کنترل امپدانس می نامند. در کنترل امپدانسی با توجه به اختلاف پتانسیل دو سر خط جریانی از خط عبور می کند که اگر خازن متغیر سری در خط داشته باشیم، افت

Archive of SID

www.SID.ir

ولتاژ روی خازن بصورت عمودی با ولتاژهای موجود جمع شده و باعث تغییر درقدرت انتقالی عبوری می گردد. این عمل توسط تجهیزاتی مانند CSC (Controlled Series Companstion) [۶] میسر است. در رابطه با یک شبکه غربالی می‌توان گفت که در این نوع شبکه جهت و مقدارسیلان قدرت با تغییرات میزان تولید و مصرف تغییر می‌کند. اختلاف فاز بین دو باس در دو انتهای یک خط می‌تواند تغییر علامت دهد، صفر شود و یا بسیار کوچک گردد. بنابراین در این حالت از کنترل امپدانسی نمی توان زیاد سود جست و منبع ولتاژ سری کنترل شده مناسبتر است، چرا که عملکرد آن مستقل از زوایای فاز بین باس‌هاست.

در GTO – CSC ولتاژ تزریقی مستقل از جریان خط است ولی این طرح هنوز در مرحله تحقیقاتی است [۷]. کنترلرهای تواناتر دیگری نیز در مرحله تحقیقاتی و آزمایش و یا بصورت نمونه مطرح هستند که انتظار می‌رود بتوان در آینده نزدیک از آنها استفاده نمود. IPC(Inter - Phase Power Controller) [۸] و (Unified Power Flow Controller) UPFC [۹] از این جمله اند.هسته اصلی‌این‌کنترلرها، ترانسفورماتور جابجا کننده فاز، PST است. با ترکیب PST با مبدلهای منبع ولتاژ (Voltage Source Convertors) می‌توان IPC و UPFC را ایجاد نمود. بنابراین با توجه به مطالب‌مذکور و با توجه به تکنولوژی بالای مبدل‌های منبع ولتاژ می توان نتیجه گرفت که جهت کنترل سیلان قدرت بهتر است از تجهیزاتی مانند PST که دارای مدلی به فرم منبع ولتاژ سری کنترل شده اند و کاربرد آنها هم اکنون نیز میسر است، استفاده نمود [۲]. طبیعی است که استفاده از UPFC و IPC در آینده دورتر، منوط به در اختیار داشتن و تسلط براستفاده از PST به تنهائی است.

PST یکی از قدیمی ترین ادوات FACTS است [۱۰]. این وسیله ترانسفورماتوری است که نسبت تبدیل آن مختلط می باشد. بنابراین فازور ولتاژ، در گذر از اولیه به ثانویه در ضمن تغییر دامنه تغییر فاز نیز می دهد. از PST جهت کنترل سیلان قدرت در حالت مانا [۱۱] و از PST های مجهز به کلیدهای نیمه هادی، جهت کنترل شرایط دینامیک [۱۲] و گذرا[۱۳] می توان استفاده نمود. از جمله کاربردهای PST می‌توان به :

- کنترل سیلان قدرت در یک خط انتقال،
- جلوگیری از چرخش قدرت در شبکه های غربالی،
- انتخاب مسیرهای انتقال با قابلیت اطمینان بالا،
- جلوگیری از اضافه بار یک خط از دو خط موازی،
- توسعه PST به IPC و UPFC و
- بهینه سازی تلفات انتقال در خطوط موازی

اشاره کرد. در رابطه با بهینه سازی تلفات، در نمونه ای که در [۱۴] بررسی شده است نشان داده شده است که در انتقال توان از دو خط موازی بطور ۱۰۰km، که یکی در سطح ولتاژ ۳۸۰kv و دیگری در سطح ولتاژ ۲۲۰kv است با نصب یک PST، و با تغییر زاویه مربوط به ولتاژ تزریقی به خط، می توان با کنترل سیلان قدرت در خط، تلفات انتقال را از ۱۹MW در حالت بدون PST به مقدار ۱۰MW درحالت تزریق ولتاژ عمودی، کاهش داد.در این مورد با فرض قیمت ۰/۰۵US$/kWh برای برق مصرفی، صرفه جوئی سالیانه مربوطه برای انتقال ۶۰۰MW حدود ۴ میلیون دلار در سال بوده است.

با توجه به اهمیت اقتصادی این کاربرد، در [۱۵] به بررسی امکان پیاده سازی این مورد در شبکه برق منطقه‌ای تهران در سال ۱۳۸۳ پرداخته شد. در [۱۵] نشان داده شد که با نصب PST در خط رابط ۲۳۰کیلوولت قائم شهر- فیروزکوه تلفات انتقال بین

Archive of SID

www.SID.ir

ناحیه تهران و مازندران را یک مگاوات کاهش می دهد. در همین ضمن تلفات ناحیه تهران و کل شبکه ایران بترتیب ۸/۷ و ۲/۸ مگاوات کاهش می یابد. نصب PST در خط ۲۳۰ کیلوولت شرق تهران – فیروزکوه تلفات ناحیه تهران و کل شبکه ایران را بترتیب ۶/۰ و ۲/۶۵ مگاوات کاهش می دهد. باتوجه به این حالات، متوجه می‌شویم که از دیدگاه اهداف مقاله این منطقه در اولویت اول قرار دارد.

با توجه به مطالعات ارائه شده، انجام بررسی‌های مشابه در نواحی دیگر شبکه سراسری پیشنهاد و بدنبال آن مطالعات " *جایابی PST در شبکه انتقال جهت کاهش تلفات شبکه در سال ۱۳۸۸* " طرح و انجام شد[۱۶]. در بخش های آتی مقاله به بحث نتایج این مطالعه و مقایسه آن با نتایج مطالعات سال‌های ۱۳۸۳ خواهیم پرداخت.

۲ – اطلاعات تولید و مصرف سال ۱۳۸۸

شبکه سراسری ایران شامل زیر شبکه ها (یا نواحی) متعددی است. این نواحی توسط خطوط انتقال انرژی به یکدیگر متصل می شوند. در مطالعات مربوط به سال ۱۳۸۸ جهت برقراری تراز تولید و مصرف، این نواحی به ۹ قسمت تقسیم شده اند. هر کدام از این نواحی شامل یک یا چند برق منطقه ای هستند.

بر مبنای مطالعات پیش بینی بار انجام شده برای سال ۱۳۸۸ [۱۷]، حداکثر مصرف در تابستان ۱۳۸۸ برای نواحی فوق الذکر جمعاً حدود ۳۲۲۵۰ مگاوات خواهد بود. توان مذکور بین نواحی نه گانه تقسیم خواهد شد. این توانها شامل بار مصرفی هر ناحیه، تلفات انتقال و توزیع ومصرف داخلی نیروگاهها هستند.

در این پیش بینی، رشد بار در طول برنامه پنج ساله سوم ۶ درصد و این رشد در طول برنامه پنج ساله چهارم ۵ درصد فرض شده است. اطلاعات مذکور در برنامه شبیه ساز PSS/E شرکت (Power Technologies Inc) PTI [۱۸] بصورت بارهای متمرکز در باسهای مربوط به هر ناحیه داده شده است. با توجه به حجم بسیار زیاد جزئیات از آوردن آنها در این مقاله صرف نظر شده ولی تمامی موارد مد نظر بوده و در [۱۶] ارائه شده است.

در مقابل مصرف، نیازمند تولید هستیم. وضعیت تولید نیروگاههای کشور تا سال ۱۳۸۸ با توجه به مطالعات معاونت برنامه‌ریزی‌شرکت‌توانیر به ۴۰۲۴۸MW خواهد رسید که از این میزان ۱۷۱۹۱MW در طی سالهای ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸ وارد مدار خواهد شد [۱۷].

اطلاعات خطوط انتقال ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اطلاعات ترانسفورماتورهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت که بین سالهای ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸ وارد مدار خواهند شد، نیز طی جداولی در [۱۶] ارائه شده است.

۳– مروری بر روش های جایابی PST

همانگونه که در مقدمه مطرح شد، هدف این پروژه جایابی و تنظیم مناسب PST در جهت کاهش تلفات شبکه است. حل این مسئله بر پایه روش های بهینه سازی میسر است. ولی باید روش مناسب را با توجه به خصوصیات مسئله انتخاب نمود. ایده بسیاری از روش هایی که در حل مسئله بهینه سازی با قیود تساوی (و یا نامساوی) به کار می رود از روش های حل مسائل بهینه سازی بدون قید گرفته شده است. روش های بهینه سازی توابع چند متغیره به طور کلی به دو دسته زیر تقسیم می شوند :

– روش های بهینه سازی مستقیم

– روش های بهینه سازی غیر مستقیم

در روشهای بهینه سازی مستقیم، جهت پیدا کردن

Archive of SID
www.SID.ir

نقطه بهینه فقط از مقدار تابع در نقاط مختلف استفاده می شود. بر خلاف این موضوع، در روشهای بهینه سازی غیر مستقیم، جهت پیدا کردن نقطه بهینه باید از مشتق مرتبه اول و یا مشتق مرتبه دوم استفاده شود.معیارهای مهم جهت بررسی توانایی یک آلگوریتم در حل مسائل بهینه سازی عبارتند از :

- سرعت همگرایی،
- توانایی رسیدن به پاسخ بهینه تر،
- پایداری روش عددی،
- حساسیت آلگوریتم و پاسخ بدست آمده نسبت به نقاط شروع متفاوت، و عدم همگرائی به پاسخهای محلی (Local) و
- اطمینان به جامع (Global) بودن جواب.

بهینه سازی مملو از مسائلی از قبیل غیر پیوسته بودن، شروط و قیود متعدد و وسیع، فضای جستجوی نویز و مشکلات دیگر می باشد. بنابراین تعجب انگیز نیست که روش های غیر مستقیم با توجه به ذات روش جستجوی آنها در فضای محلی با شروط لازمی مانند پیوستگی و وجود مشتق،به جز برای مسائل محدودی، دراکثر موارد غیر مناسب و کم بازده‌اند.

استفاده از روش های مستقیم در حل مسائل بهینه سازی علاوه بر آنکه عملاً از سهولت بیشتری برخوردار است، به اطلاعات وسیعی نیز نیاز نداشته، نیازی به حل دسته معادلات غیر خطی ندارد و از نظر واگرایی هم مسلماً مشکلی پدید نمی آورد. در این روش به علت نیاز به تکرارهای زیاد، زمان حل مسئله، ممکن است بسیار طولانی شود. ولی در فاز طراحی و برنامه ریزی شبکه مهمترین نکته رسیدن به نقطه بهینه جامع است و مسئله مدت زمان حل آلگوریتم در درجات بعدی از لحاظ اهمیت قراردارد. یک مزیت مهم در این روش ها این است که احتمال یافتن یک حداکثر محلی نسبت به روشهایی که نقطه به نقطه حرکت می‌کنند کاهش می یابد و پاسخ، حساسیت بسیار کمتری نسبت به روش های دیگر در رابطه با نقطه شروع دارد.

حال با توجه به مطالب مذکور می توان در ذیل مروری بر روش های جایابی PST داشت و روش مناسبی را که در راستای اهداف پروژه است، مشخص نمود.

الف : در روش مدل سازی در پخش بار بهینه OPF (Optimal Power Flow) می توان همانند [۱۹] متغیرهای مورد نظر را وارد برنامه مذکور نمود. در این جا باید زاویه PST به صورت متغیر کنترلی در معادلات پخش بار بهینه ظاهر گردد. در [۱۹] تلفات توان با استفاده از تنظیم تپ ترانسفورماتورهای شبکه کاهش می یابد ولی دراینجا اندازه ولتاژها تغییر نمی‌یابد و تنها زاویه آنها به عنوان متغیر کنترلی درنظر گرفته میشود. بدون آنکه وارد جزئیات شویم به اشکال عمده این روش که همان امکان واگرایی یا همگرایی به نقاط بهینه محلی است اشاره می‌کنیم. این اشکال برای طراحان در فاز طراحی قابل قبول نیست.

ب : در جایابی به روش ضرایب حساسیت با استفاده از ضرایبی به نام ضرایب حساسیت،بهترین مکان برای ترانسفورماتور جابجا کننده فاز تعیین می‌شود [۲۰]. ضریب حساسیت عبارت است از تغییرات توان عبوری از خط رابط باس های p و q نسبت به تغییرات زاویه فاز PST قرار گرفته درخط رابط باس های i و j. این روش بیانگر این است که با توجه به اینکه برخی خطوط در شبکه برای نصب جابجا کننده فاز محل های حساستری هستند بنابراین تاثیر بیشتری در کاهش تلفات نیز خواهند داشت. این روش یک روش کارآمد در تعیین محل PST می باشد ولی با بزرگ شدن شبکه حجم ماتریس ها و محاسبات مربوطه خیلی بالا می رود و نهایتاً از روش ضرایب

Archive of SID
www.SID.ir

لاگرانژ در آن استفاده می‌شود که پیاده سازی آن از لحاظ همگرایی عددی مشکلاتی را به همراه داشته است.

ج : در جایابی به روش آلگوریتم ژنتیکی برای یک تعداد مشخص از جابجا کننده های فاز، تابع هدفی از سیستم بایستی بهینه سازی شود [۲۱]. متغیر مکان یعنی محل نصب جابجا کننده فاز به سختی می‌تواند به یک برنامه بهینه سازی اضافه شود و این به علت ماهیت گسسته بودن چنین متغیری است. پس برای تنظیم جابجا کننده فاز از روش های معمول بهینه سازی تابع هدف می توان استفاده کرد ولی مکان آن توسط آلگوریتم ژنتیک تعیین می گردد. این روش اگرچه روشی مقاوم بوده و به مقادیر بهینه محلی همگرا نمی‌شود و معمولاً همگرایی آن به سمت نقطه بهینه جامع است ولی باز هم همانند روشهای عددی ممکن است مشکل واگرایی ایجاد نماید. اشکال دیگر این روش آن است که برای شبکه های بزرگ به زمان حل بسیار طولانی نیاز دارد.

د : در روش جایابی به روش Screening ابتدا برای تمامی محلهای ممکن نصب PST مقداری موسوم به مقدار حدی محاسبه می شود [۲۲]. سپس با توجه به اینکه محل هایی با مقادیر حدی کمتر به میزان کمتری تابع هدف را بهبود می‌بخشد از روند بررسی خارج می‌شوند. یعنی به این ترتیب تعداد محل های مطلوب از تعداد کل خطوط شبکه کمتر است. در ادامه تابع هدف بهینه سازی برای هر یک از محل های باقیمانده محاسبه می شود و در نهایت بهترین مکان برای PST با مقایسه کلیه مقادیر بدست خواهد آمد [۲۲]. روند بررسی در این روش در مقایسه با روش های دیگری که صرفاً ریاضی و محاسباتی است تا حدودی متفاوت است ولی از آنجا که نهایتاً برای تنظیم PST در محل مناسب از روش نیوتن استفاده شده است، مشکلات حجم زیاد برنامه نویسی، امکان همگرا نشدن و حجم زیاد محاسبات را با خود به همراه دارد.

ه : در جایابی به روش سیلان بهینه توان از ایده ابتکاری خاصی استفاده شده است. می دانیم که اگر توزیع جریان در شبکه امپدانسی با حالتی که شبکه کاملاً مقاومتی است یکسان شود، تلفات شبکه امپدانسی حداقل می گردد. بنابراین پخش بار و سیلان توان در یک شبکه در صورتی بهینه و ایده‌آل است که توزیع جریان شبکه امپدانسی به سمت توزیع جریان شبکه مقاومتی میل کند. از این ایده که در [۲۳] برای کاهش تلفات در شبکه های توزیع با Reconfiguration استفاده شده است،در [۲۴] برای نیل به هدف کاهش تلفات سیستم انتقال توسط PST بهره برداری شده است. مراحل کار در این روش بدین ترتیب است که ابتدا باید شبکه را کاملاً مقاومتی کنیم، یعنی راکتانس‌ها، تولیدات و مصارف توان راکتیو را صفر کنیم. سپس با انجام پخش بار، سیلان توان بهینه را درشبکه و تمامی خطوط بدست آوریم. حال در هر خط از شبکه واقعی،PST قرارداده و زاویه آن را طوری تنظیم می کنیم که سیلان بهینه مربوط به شرایط مقاومتی از آن خط عبور کند. اکنون می توانیم تلفات شبکه را که از پخش بار مربوطه بدست آمده است برای هر حالت داشته باشیم. حال از مقایسه n پخش بار برای شبکه ای با n محل نصب ممکن، موردی که دارای کمترین تلفات است به عنوان پاسخ مشخص خواهد شد. چالش اساسی این روش همگرا کردن پخش بار در شبکه مقاومتی است. چون در شبکه انتقال مقادیر مقاومت ها بسیار کوچک می باشند.

و : در جایابی PST می توان از تئوری گراف استفاده نمود و تعداد و محلهای مناسب نصب ترانسفورماتور جابجا کننده فاز را تعیین نمود [۲۵]. این روش یک روش دقیق و کاراست ولی کارآیی آن

www.SID.ir

برای شبکه های بزرگ و توانایی رسیدن آن به بهینه جامع بررسی نشده است.

ز : در روش جستجوی مستقیم دیگری که مد نظر این مقاله است ابتدا محورهای مربوط به هر متغیر فضای R^n به m قسمت، بخش می شود. حال از تقاطع خطوط گذرنده بر نقاط واقع بر روی این محورها، یک فضای جستجوی ناپیوسته n بعدی بدست خواهد آمد. بنابراین فضای پیوسته جستجوی R^n به یک شبکه ماتریسی n بعدی تبدیل شده است و حالت های ممکن، درایه ها یا نقاط این شبکه ماتریسی n بعدی خواهند بود. روش کار این است که تمامی این نقاط بررسی شوند سپس در مواردی که نقطه یانقاط خاصی تلفات کمتری را نسبت به مابقی نقاط دارند به عنوان نقاط حساس انتخاب شوند، آنگاه با تظریف شبکه در حوالی نقاط حساس، شرایط مناسبتر جستجو و تحقیق شود.

با توجه به مجموع مطالبی که ارائه شد می‌توان گفت که در بین روشهای بهینه سازی توابع چند متغیره، روش های جستجوی مستقیم بر روش های غیر مستقیم بهینه سازی ارجح هستند. چون با توجه به این که ما در فاز طراحی هستیم، رسیدن به جواب جامع برای ما از اهمیت ویژه ای برخوردار است و زمان انجام محاسبات چندان مهم نیست.

با در نظر گرفتن اهمیت مسئله اطمینان به پاسخ در فاز طراحی و همچنین با توجه به توانایی های کامپیوترهای امروزی، در بین روشهای مستقیم چون بدنبال جایابی یک PST در یک دوره خاص زمانی هستیم طبیعی است که جهت گیری کاری به سمت روش جستجوی مستقیم ماتریسی سوق یابد. در اینصورت فقط نیازمند به برنامه پخش بار با توانایی مدلسازی PST هستیم و دیگر ضرورتی به تهیه یک برنامه جدید نیست.

۴- شرایط گوناگون تولید و مصرف

جهت انجام مطالعات جایابی در شبکه سال ۱۳۸۸ باید تمام حالات در فضای جستجوی ماتریسی بررسی شوند. در این راستا برای اینکه نتایج بدست آمده تا حد ممکن کلیت موضوع را حفظ کنند، باید با توجه به ظرفیت های تعیین شده، تراز تولید ومصرف را نیز در حالت های گوناگون مد نظر داشت. سه حالت زیر می تواند وضعیت شبکه را در اغلب مواقع بازنمایی کند :

- ***حالت Off-peak-1*** : حالت بار میانی با فرض کاهش تولید در نیروگاههای آبی
- ***حالت Off-peak-2*** : حالت بار میانی با فرض افزایش تولید در نیروگاههای آبی
- ***حالت Peak*** : پیک یا حداکثر بار، بدترین شرایط بار از دید شبکه

دلیل انتخاب دو حالت برای بار میانی آن است که تولید در نیروگاه های آبی وابسته به شرایط آب و هوایی هر سال دارد. لذا در نظر گرفتن تولید نیروگاه‌های آبی در دو حالت کمینه و بیشینه باعث جامعیت مطالعات می شود. جدول ۱ خلاصه ای از شرایط تولید در نیروگاه های حرارتی، آبی و همچنین تلفات کل شبکه را در سه حالت Off-peak-1، Off-peak-2 و Peak نشان می دهد.

با توجه به شرایط موجود و ظرفیت های جدید شبکه که توسط نرم افزار WASP برآورد شده است، تخصیص تولید و مصرف مناطق برق های منطقه‌ای بر این اساس صورت گرفته است که توان عبوری از Tie Line –ها به حداقل سوق یابد [۱۷].

جدول ۱ : تولید نیروگاه ها و تلفات شبکه در شرایط گوناگون، (واحد MW)

حالت	تولید حرارتی	تولید آبی	تولید کل	تلفات شبکه
Offpeak-1	۲۰۲۰۵	۵۸۸٤	۲٦۰۸۹	۳۹۰/٦
Offpeak-2	۱٦۷۱۷	۹۵٦۷	۲٦۲۸٤	۵۸٦/۱
Peak	۲٦۷۳۳	۸۱٤۹	۳٤۸۸۲	٦۳۲/۵

Archive of SID

www.SID.ir

۵- بهترین موقعیت های نصب PST در سال ۱۳۸۸

درسه حالت Off-peak-1، Off-peak-2 و Peak شبیه سازی اثر نصب PST در خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و همچنین بررسی اثر تعویض ترانسفورماتورها ۴۰۰/۲۳۰ با PST صورت گرفت. از میان نتایج شبیه سازی، هدف یافتن حالاتی است که تلفات آن از تلفات شبکه در حالت بدون PST کمتر باشد. روش کار برای یافتن این حالات، همان روش جستجوی مستقیم درشبکه ماتریسی است. یعنی PST در تمامی نقاط ممکن مربوط به شبکه انتقال سال ۱۳۸۸ شبیه سازی شده و اثر نصب آن برتلفات بررسی می‌شود.

نتیجه جایابی PST در حالت Off-peak-1 در خطوط ۲۳۰ کیلوولت در جدول ۲ درج شده است. با توجه به این جدول دیده می شود که در بهترین حالت با تنظیم توان عبوری از PST در خط پرند – ساوه (در مقدار ۵۳/۰MW) تلفات شبکه به مقدار ۳۸۸/۸۲MW می‌رسد. یعنی به میزان ۱/۷۸MW کاهش تلفات داریم. (تلفات‌مبنا = ۳۹۰/۶MW)

جدول ۲ : اثر نصب PST در خطوط در شرایط Off-peak-1

باس شروع خط و محل نصب	کد باس پایان خط	تنظیم زاویه(^{0})	تلفات کل MW
SAVEH2	PRAND2	۶/۰۰	۳۸۸/۸۲
PRAND2	JSAVE2	۷/۶۰	۳۸۸/۹۲
GHOM22	FROUD2	۴/۳۷	۳۸۹/۸۶

نتایج جایابی در خطوط ۴۰۰ کیلوولت مشخص کرده است که کاندیدای خاصی برای نصب PST در خطوط ۴۰۰ کیلوولت وجود ندارد. اما تاثیر تعویض PST باترانسفورماتورهای ۲۳۰/۴۰۰ KV قابل توجه است. جدول۳ بهترین نتایج را در این رابطه ارائه میکند. همانگونه که از این جدول مشخص است می‌توان گفت که کاندیداهای برتر، پستهای ۲۳۰/۴۰۰ کیلوولتی فیروزبهرام (FIBAH4 , FIBAH2) و شرق کرمانشاه (E.BAK4 , E.BAK2) هستند. البته در درجه بعدی اهمیت، پست انجیرک (ANJIR4 , ANJIR2) قرار دارد. در بهترین حالت دیده می شود که با تنظیم PST منصوب در پست شرق کرمانشاه، تلفات شبکه به مقدرا ۳۸۸/۰۵ MW می رسد، یعنی به میزان ۲/۵۵MW کاهش تلفات داریم. تاثیر نصب PST در خطوط ۲۳۰KV بر روی تلفات شبکه، در شرایط تولیدو مصرف Off – Peak 2 –، در جدول ۴ درج شده است. همانگونه که از نتایج این جدول مشخص است می توان گفت که محل های مناسب نصب PST در خطوط ۲۳۰ کیلوولت، باس های ساوه (SAVEH2)، جاده ساوه (JSAVE2) و پرند (PARAND2) هستند. البته باس‌های شیراز (SHIRA2) و چنارشاهیجان (CHNAR2) نیز با همان درجه از اهمیت مطرح می‌باشند. با توجه به این جدول دیده می شود که در بهترین حالت با تنظیم توان عبوری ازPST درخط ۲۳۰ کیلوولتی شیراز – چنارشاهیجان می توان، تلفات شبکه را به مقدار ۵۸۳/۵۳ MW رساند، یعنی به میزان ۲/۵۷ MW تلفات را کاهش داد. (تلفات مبنا = ۵۸۶/۱ MW)

جدول ۴ : اثر نصب PST در خطوط در شرایط Off – Peak –2

باس شروع خط و محل نصب	کد باس پایان خط	تنظیم زاویه(^{0})	تلفات کل MW
SAVEH2	PRAND2	۶/۳۰	۵۸۴/۲۹
PRAND2	SAVEH2	-۶/۲۹	۵۸۴/۳۱
PRAND2	JSAVE2	۷/۹۲	۵۸۴/۳۹
GHOM22	SHIRA2	۶/۷۰	۵۸۳/۵۳

Archive of SID

www.SID.ir

در این حالت نیز شبیه سازی ها نشان داده است که میزان تاثیر PST بر کاهش تلفات شبکه در صورت نصب آن در خطوط ۴۰۰ کیلوولت ناچیز است ولی جدول ۵ نشان دهنده این موضوع است که تاثیر تعویض PST باترانسفورماتورهای KV ۲۳۰/۴۰۰ در شرایط تولید و مصرف Off – Peak – 2 می تواند مفید باشد. با توجه به نتایج‌این‌جدول مشخص است که کاندیداهای برتر، پستهای۲۳۰/۴۰۰ کیلوولتی، فیروزبهرام (FIBAH2,FIBAH4) و البته دردرجه بعدی اهمیت، پست انجیرک (ANJIR 2 , ANJIR4) هستند. دیده می شود که در بهترین حالت با تنظیم PST منصوب درپست فیروزبهرام، می توان تلفات شبکه را به مقدار MW ۵۸۱/۳ رساند، یعنی MW ۴/۸ کاهش تلفات که این نتیجه ای بسیار چشم گیراست.

نتیجه جایابی PST در حالت Peak در خطوط ۲۳۰kv در جدول ۶ ارائه شده است. همان گونه که از جدول مشخص است مجدداً کاندیداهای نصب PST درخطوط ۲۳۰ کیلوولتی، باس های ساوه (SAVEH2)، جاده ساوه (JSAVE2) و پرند (PARAND2)هستند.البته‌همانندحالات Off – Peak – 1 و Off – Peak – 2 مواردی دیگری نیز وجود دارند که در درجات اهمیت بعدی قرار دارند. این محلها عبارتند از باس‌های دز (DEZ2)، خرم‌آباد (KHORM2)، شیراز (SHIRA2) و چنارشاهیجان (CHNAR2).

جدول ۶ : اثر نصب PST در خطوط ۲۳۰ در شرایط Peak با تظریف شبکه جستجو

تلفات کل MW	تنظیم زاویه(^{0})	کد باس پایان خط	باس شروع خط و محل نصب
۶۳۰/۱۳	۷/۰۰	PRAND2	SAVEH2
۶۳۰/۳۷	۸/۹۶	JSAVE2	PRAND2
۶۳۱/۳۸	-۴/۳۴	CHNAR2	SHIRA2
۶۳۱/۲۲	۵/۱۲	KHORM2	DEZ2
۶۳۱/۳۲	۵/۰۶	KHORM2	DEHAK2

با توجه به این جدول دیده می شود که در بهترین حالت با تنظیم توان عبوری از PST در خط پرند– ساوه در مقدار ۵۹/۸MW، تلفات شبکه به مقدار ۶۳۰/۱۳MW می‌رسد، یعنی به میزان MW ۲/۳۷ کاهش تلفات داریم. (تلفات مبنا= MW ۶۳۲/۵)

دراین حالت نیز میزان تاثیر PST بر کاهش تلفات شبکه در صورت نصب آن در خطوط ۴۰۰ کیلوولت بسیار ناچیز بوده است ولی اثر تعویض ترانسفورماتورهای ۲۳۰/۴۰۰KV با PST قابل ملاحظه است. نتایج مربوطه در جدول ۷ درج شده است. همانگونه که از مندرجات این جدول مشخص است می‌توان گفت که کاندیداهای برتر پستهای ۲۳۰/۴۰۰ کیلوولتی، علی آباد ALI , ALI A2) (A4، تبریز (TABRI2 , TABRI4) وکن (KAN (KAN 4 , 2 هستند. در بهترین حالت دیده می شود که با تنظیم PST منصوب در پست علی آباد، تلفات شبکه به مقدار ۶۳۰/۵۶MW می رسد، یعنی به میزان ۱/۹۴MW کاهش تلفات داریم.

۶- بررسی های اقتصادی

بعد از انجام بررسیهای فنی، تعدادی پاسخ و طرح مناسب بدست آمد. حال در مرحله ای قرار گرفته‌ایم که باید از میان طرحهای موجود مواردی را که از لحاظ اقتصادی توجیه پذیراند انتخاب کنیم. جهت مقایسه های اقتصادی باید ارزش اقتصادی تلفات را مشخص نمود، یعنی مشخص نمود که به ازای هر کیلووات کاهش تلفات به چه میزان از لحاظ اقتصادی سود کرده ایم. در این رابطه روشهای گوناگونی وجود دارد. در این مقاله از روشی که در دفتر تولید و دفتر شبکه معاونت برنامه ریزی توانیر مطرح است، استفاده می‌شود [۲۶]. در این روش موضوع هزینه تلفات، CL را، به سه بخش تقسیم می کنند، یکی تعیین

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳ : اثر نصب PST بجای ترانس های ۲۳۰/۴۰۰ در شرایط Off – peak – 1

باس شروع	باس پایان	تنظیم زاویه (^{0})	تلفات کل MW	باس شروع	باس پایان	تنظیم زاویه (^{0})	تلفات کل MW
SEMN22	SEMN24	۱/۰۱۹	۳۹۰/۶۰	REY N2	REY N4	-۱/۴۹۶	۳۹۰/۴۳
KHORM2	KHORM4	۱/۱۱۱	۳۹۰/۴۵	FASA2	FASA4	-۲/۶۴۵	۳۹۰/۲۵
ESGRT2	ESGRT4	۰/۶۷۰	۳۹۰/۳۸	NAJAF2	NAJAF4	۱/۱۳۵	۳۹۰/۵۲
CHOGH2	CHOGH4	۱/۳۹۲	۳۹۰/۴۹	BUATM2	BUATM4	۱/۲۴۳	۳۹۰/۴۹
ALI A2	ALI A4	-۱/۲۳۵	۳۹۰/۳۵	AHWA22	AHWA24	۱/۱۹۳	۳۹۰/۵۹
BANDP2	BANDP4	-۴/۱۰۲	۳۹۰/۵۹	TABRI 2	TABRI 4	-۳/۵۸۴	۳۹۰/۲۸
SHIRA2	SHIRA4	-۰/۴۶۰	۳۹۰/۱۲	KANI 2	KANI 4	-۲/۷۴۵	۳۹۰/۲۴
FIBAH2	FIBAH4	-۱/۵۳۰	۳۸۸/۱۸	E.BAK2	E.BAK4	-۳/۳۲۰	۳۸۸/۰۵
B.ABB2	B.ABB4	۰/۷۶۴	۳۹۰/۳۹	ANJIR2	ANJIR4	-۰/۲۳۵	۳۸۹/۲۸

جدول ۵ : تعویض PST با ترانس های ۲۳۰/۴۰۰ در شرایط Off – peak – 2

باس شروع	باس پایان	تنظیم زاویه (^{0})	تلفات کل MW	باس شروع	باس پایان	تنظیم زاویه (^{0})	تلفات کل MW
REY N2	REY N4	-۱/۲۰۱	۵۸۵/۹۹	KHORM2	KHORM4	۴/۰۰۲	۵۸۴/۹۱
FASA2	FASA4	-۳/۹۷۰	۵۸۵/۴۲	ESGRT2	ESGRT4	۲/۴۷۵	۵۸۵/۶۰
CHOGH2	CHOGH4	۰/۸۳۹	۵۸۶/۰۵	BUATM2	BUATM4	۱/۳۴۳	۵۸۶/۰۰
ALI A2	ALI A4	-۳/۱۷۰	۵۸۵/۶۳	AHMA22	AHMA24	۲/۹۳۲	۵۸۵/۶۶
BANDP2	BANDP4	-۲/۸۶۸	۵۸۵/۹۲	TABRI 2	TABRI 4	-۲/۳۰۴	۵۸۵/۶۵
KAN 12	KAN 14	-۲/۱۰۰	۵۸۵/۹۹	FIBAH2	FIBAH4	-۱/۱۱۷	۵۸۱/۳۰
ANJIR2	ANJIR4	-۰/۶۶۸	۵۸۴/۸۳				

جدول ۷ : اثر نصب PST بجای ترانس های ۲۳۰/۴۰۰ در شرایط Peak

باس شروع	باس پایان	تنظیم زاویه (^{0})	تلفات کل MW	باس شروع	باس پایان	تنظیم زاویه (^{0})	تلفات کل MW
KHORM2	KHORM4	۱/۰۳۷	۶۳۲/۱۹	FASA2	FASA4	-۴/۰۱۴	۶۳۱/۶۴
ESGRT2	ESGRT4	۲/۹۰۶	۶۳۱/۸۱	CHOGH2	CHOGH4	۱/۲۰۰	۶۳۲/۳۹
BUATM2	BUATM4	۱/۱۸۸	۶۳۲/۳۴	ALI A2	ALI A4	-۷/۰۱۶	۶۳۰/۵۶
AHWA22	AHWA24	۲/۷۴۵	۶۳۲/۰۵	BANDP2	BANDP4	-۲/۶۸۴	۶۳۲/۱۳
TABRI 2	TABRI 4	-۳/۸۵۵	۶۳۰/۹۱	KAN 12	KAN 14	-۲/۸۳۲	۶۳۱/۲۱
FIBAH2	FIBAH4	-۱/۱۵۶	۶۳۲/۳۲	ANJIR2	ANJIR4	۰/۹۱۷	۶۳۲/۴۵

هزینه های سرمایه گذاری جهت تولید یک کیلووات برق، CPL، دیگری تعیین هزینه سوخت مصرفی جهت تولید یک کیلووات برق، CEL و نهایتاً هزینه تعمیرات و نگهداری مربوط به هر کیلووات برق،

Archive of SID
www.SID.ir

CRM. بدین ترتیب از جمع این سه مقدار می توان گفت که هر کیلووات کاهش تلفات چه ارزش اقتصادیی به همراه دارد.

$$CL = CPL + CEL + CRM \frac{\$}{KW} \quad (۱)$$

در [۱۶] نشان داده شده است که هزینه کل تلفات برابر است با :

$$CL = 1384/5 \frac{\$}{KW} \quad (۲)$$

در این جا ضروری بود که از روش فوق هزینه کل تلفات محاسبه می‌شد، چرا که نباید فراموش کرد که هدف از نصبPST، کاهش تلفات است و آلترناتیو مقابل نصب و کاربرد PST، تولید در نیروگاه به میزان تلفات کاهش یافته است. حال با توجه به مقادیر به دست آمده می‌توان گفت که کاهش تلفات ناشی از نصب PST چه‌میزان سوداز لحاظ اقتصادی به همراه خواهد داشت. سپس می توان این نتیجه را مبنای مقایسه با قیمت PST قرار داد. با توجه به مکاتبات انجام شده با سازندگان مختلف PST، قیمت PST به ازای هر MVA تخمین زده شده است [۱۶].

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده، این امکان فراهم شده است که نتایج از لحاظ اقتصادی با هم مقایسه شوند و مواردی که از نظر اهداف مقاله مناسب می باشند، انتخاب گردند. این موارد عبارت بوده اند از [۱۶] :

- تعویض دو ترانسفورماتور ۲۳۰/۴۰۰KVبه قدرت ۲۰۰MVA مربوط به پست شرق کرمانشاه با دو PST با همان مشخصات و با تغییرات جابجائی فاز (Phase shift)، ° ۱۵± در تراز تولید و مصرف Off-peak-1
- تعویض دو ترانسفورماتور ۲۳۰/۴۰۰kv به قدرت ۵۰۰MVA مربوط به پست فیروزبهرام با دو PST با همان مشخصات و با تغییرات جابجائی فاز (Phase shift)، ° ۱۵ ± در تراز تولید و مصرف Off-peak-2
- نصب یک PST در خط ساوه-پرند به مشخصات ۳۰۰ MVA و ۲۳۰/۲۳۰ kv و با تغییرات جابجائی فاز(Phase shift)، ° ۱۵ ± در تراز تولید و مصرف peak

در بین سه مورد فوق، با وجود اینکه دو مورد اول منجر به سود بیشتری می شوند ولی طرح نصب PST در خط ساوه-پرند پیشنهاد اصلی این تحقیق بشمار می‌آید،چون این حالت در شرایط پیک روی داده است. دلیل این انتخاب این است که برنامه ریزی تولید برای پوشش شرایط پیک است و سرمایه گذاری تولید نیز در جهت پوشش شرایط فوق صورت می‌گیرد.

نکته قابل توجه در تفاوت نتایج بدست آمده در سال ۱۳۸۳ [۱۵] و نتایج مطرح شده حاضر است[۱۶]. به بحث در این مورد در بخش نتیجه گیری و جمع بندی خواهیم پرداخت.

۷- نتیجه گیری

موارد کاربرد زیادی برای PST مطرح است که یکی از این موارد، یعنی حداقل سازی تلفات انتقال مد نظر این مقاله می باشد. با در نظر داشتن این هدف پس از مشخص سازی توپولوژی شبکه در سال ۱۳۸۸ از لحاظ نحوه اتصال باس‌ها و محل قرارگیری ترانس‌ها و نیروگاه‌ها، جمع آوری اطلاعات شبکه برق‌های منطقه‌ای در سطوح ولتاژ ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت شامل خطوط انتقال، ترانسفورماتورها و نیروگاه‌ها، اثر نصب PST در خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ و همچنین بررسی اثر تعویض ترانسفورماتورها با PST، صورت پذیرفت. برای هر چه بیشتر جامع تر

Archive of SID
www.SID.ir

شدن نتایج، این بررسی ها در حالت های گوناگون تولید و مصرف شبکه در سال ۱۳۸۸یعنی Off-peak-1، Off-peak-2 و peak انجام‌شد.

با توجه به نتایج بدست آمده بحث و نتیجه گیری فنی در جهت تعیین مناسبترین محل نصب PST در شبکه مورد نظر برای کاهش تلفات انجام شد. این حالات مواردی هستند که باید آنها را از دیدگاه مطالعات اقتصادی نیز بررسی نمود. با انجام این مطالعات ارزش اقتصادی کاهش تلفات تعیین شد. با توجه به مقادیر بدست آمده، مشخص شد که کاهش ناشی از نصب PST چه میزان سود از لحاظ اقتصادی به همراه خواهد داشت. سپس این نتیجه مبنای مقایسه با قیمت PST قرار گرفت. با انجام این مطالعات ارزش اقتصادی کاهش تلفات بعلت نصب PST، برای حالات مناسب سال ۱۳۸۸ ارائه شد. در بررسی دقیق نتایج بدست آمده می توان نکات زیر را نتیجه گیری نمود :

PST می تواند امکان کاهش تلفات در دالانهای انتقال انرژی موازی را میسر سازد.

می توان با نصب PST در سطوح ولتاژ یکسان و در محل‌های مناسب، تلفات را کاهش داد.

با مقایسه حالات مناسب مربوط به نصب PST در سطوح ولتاژ یکسان، مشخص می‌گردد که نصب PST در سطح ولتاژ ۲۳۰/۲۳۰ کیلوولت حالات مناسبتر بیشتری را نسبت به نصب PST در سطح ولتاژ ۴۰۰/۴۰۰ کیلوولت دارد. این نکته نشان دهنده این مسئله مهم است که تقسیم بار در سیستم انتقال ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ایران مناسب نیست و PST سعی در انتقال سیلان توان به سطح ولتاژ بالاتر را دارد.

تعداد حالات بررسی شده در رابطه با تعویض ترانسفورماتورهای ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت با PST، با توجه به تعداد کم این ترانسفورماتورها، کم بوده است، در حالیکه تعداد بررسیهای انجام شده در رابطه با نصب PST در خطوط بسیار زیاد است. با مقایسه حالات مناسب بدست آمده مشخص می‌گردد که احتمال کاهش تلفات با تعویض ترانسفورماتورهای ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت با PST بیشتر از احتمال کاهش تلفات با نصب PST در خطوط است.

با مقایسه نتایج مربوط به سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ مشخص می‌گردد که با گذشت زمان تعداد حالات مناسبتر بیشتری برای کاربرد PST جهت کاهش تلفات، در شبکه ایران مطرح خواهد شد. این موضوع بدلیل هر چه بیشتر غربالی تر شدن شبکه ایران با گذشت زمان است.

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌گردد که زاویه ولتاژ تزریقی توسط PST محدودهٔ کوچکی را حول و حوش ۱۰° ± درجه دارد. اهمیت این موضوع برای بررسیهای اقتصادی است. چون قیمت PST وابسته به محدودهٔ توانایی آن در میزان تغییر زاویه ولتاژ تزریقی است.

طرح نصب PST در خط ساوه – پرند، پیشنهاد اصلی این تحقیق برای سال ۱۳۸۸ بشمار می‌آید. در بهترین حالات، جایابی PST در شبکه سال ۱۳۸۳ برق منطقه‌ای تهران مشخص ساخت که نصب یک PST در خط رابط ۲۳۰ کیلوولت قائم شهر – فیروزکوه تلفات شبکه برق ایران را ۲/۸ مگاوات کاهش می دهد. همچنین در صورت نصب PST در خط ۲۳۰ کیلوولت شرق تهران – فیروزکوه در همان سال، تلفات شبکه برق ایران ۲/۶۵ مگاوات کاهش می‌یابد.

نکته مهمی که از مقایسه نتایج سال ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ بدست می‌آید این است که محل مناسب نصب PST با تغییر توپولوژی و شرایط تولید و مصرف تغییر می یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه مهم دیگری که از مقایسه نتایج شبکه سراسری ایران در سال های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۸ بدست می‌آید این است که دلیل جابجائی پاسخ (نتیجه جایابی محل نصب PST) با توجه به این که مازاد تولید و کمبود تولید شبکه در کجاست قابل توجیه است. در سال ۱۳۸۳ برق منطقه ای مازندران دارای مازاد تولید و برق تهران دارای کمبود تولید است. بنابراین منطقی است که این مازاد تولید به سمت برق تهران هدایت شود. این مسئله در شرایط عادی تا حد شرایط موجود شبکه ممکن است. ولی PST به عنوان یک کنترل کننده سیلان توان می تواند این مسئله را براحتی حل کند و همانگونه که دیده می شود نتایج جایابی، PST را به سمتی سوق داده است که مفیدترین نقش را در کنترل سیلان توان داشته باشد. (البته باید توجه داشت که دیگر عناصر FACTS نیزدر این رابطه می توانند کارساز باشند).

اما در سال ۸۸ با ورود نیروگاه‌های برق آبی،مازاد تولید به مناطق جنوب‌کشور منتقل می‌شود. ولی در این سال نیز برق تهران دارای کمبود تولیداست. بنابراین ضروری است که مجدداً این مازاد تولید را به سمت برق تهران هدایت نمود. این مسئله باعث می‌شود که پاسخ جابجا شده و به خط ساوه – پرند منتقل گردد.

با توجه به نکات فوق می توان گفت که جایابی PST در پریودهای حداکثر چند ساله قابل قبول خواهد بود. این نکته در مورد عناصر FACTS نیز صادق خواهد بود. بنابراین ضروری است که در برنامه ریزی شبکه به این نکته بسیار مهم توجه داشت. البته امکان تغییر محل نصب تجهیزات مذکور نیز می تواند نکته دیگری باشد. یعنی این تجهیزات می توانند در شبکه جابجا شوند و اهداف مورد نظر بهره بردار از سیستم را با توجه به تغییرات شبکه برآورده سازند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت برق منطقه ای تهران برای حمایتهای انجام شده از این تحقیق در چارچوب پروژهٔ تحقیقاتی " جایابی PST در شبکه انتقال جهت کاهش تلفات شبکه درشرایط حالت دائم " تشکر می نمایند.

مراجع

[۱] کمیته تخصصی FACTS، " سیستمهای انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر و کاربرد آنها در شبکه سراسری برق ایران "، نشریه علمی برق، شماره ۲۹، زمستان ۱۳۷۹.

[۲] Cigre Task Force 38.01.06 , " Load Flow Contorol in High Voltage power Systems using FACTS Controls " , Jan. 1996.

[۳] " مصوبات و دیاگرام تک خطی شبکه ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت برق کشور برای سال ۱۳۸۸ "، وزارت نیرو، توانیر، معاونت برنامه ریزی توانیر، دفتر برنامه‌ریزی شبکه، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰

[۴] J.E.Hill and W.T. Norris , Exact Analysis of a Multipulse Shunt Converter Compensator or statcon. I. Performance IEE proceedings - Generation , Transmission and Distribution Vol.144, No.2 ,March 1997,pp.213-218

[۵] س. نبوی نیاکی، ر. ایروانی، " مدل سازی و بررسی رفتار تغییر دهنده‌های فاز برای سیستم های نوین انرژی الکتریکی FACTS، در حالت مانا "، پنجمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ۱۷-۱۹ اردیبهشت ۱۳۷۶، صفحات ۳۱-۲ الی ۳۸-۲

[۶] E.Larsen , C.Bowler , B.Damsky,S.Nilson, " Benefits of Thyristor Controlled series compensation " , CIGRE 1992 session

Archive of SID
www.SID.ir

30 Aug - 5 sep., 1992 , paris , France

[۷] L.Gyugyi , N.G. Hingorani , P.R. Nannery , N.Tai , " Advanced static Var compensator Using Gate Turn-off Thyristors for utility Applications " , CIGRE 1990 Session , 26 Aug - 1 Sep., 1990 , Paris , France

[۸] J.Brochu ,F.Beauregard , J.Lemay G.Morin , P.Pelleiter and R.S. Thallam , Application of the interphase Power controller technology for transmission Line power flow control IEEE Transactions on power Delivery , Vol.12, No.2, April 1997 , pp.888-894.

[۹] A.Edris , A.S. Mehraban , M. Rahman L.Gyugyi , S.Arabi , T.Reitman controlling the flow of Real and Reactive power IEEE computer Application in Power , Jan. 1998 ,pp.20-25.

[۱۰] W.J. Lyman controlling power flow phase shifting Equipment AIEE with Trans , Vol.49 , July 1930 , pp.825-831.

[۱۱] م. فرمد، " معرفی ترانسفورماتور جابه جا کننده فاز و مواردی از کاربرد آن در شبکه برق ایران"، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، آبان ۱۳۷۶

[۱۲] M.D.Ilic , L.Xiaojan and J.W. chapman , control of the Inter-area Dynamics Using FACTS Technologies in Large Electric power system proceedings of the 32nd IEEE conference on Decision and control , 15-17 Dec. 1993 , San Antonio , TX , USA , Vol.3.pp.2370-2376.

[۱۳] A.A. Edris , Enhancement of – First Swing Stability Using s High speed Phase Shifter IEEE Transactions on power systems , vol.6,No.3,Aug.1991,pp.1113-1118.

[۱۴] E.Wirth , J.Ravot ," Regulating Transformers in power systems - New concepts and Applications " , ABB Review , No.4 , 1997,pp.12-20.

[۱۵] گ. قره پتیان، م. فرمد،س. راعی، ح. محسنی و ح. عسکریان، " بررسی امکان کاهش تلفات انتقال با تقسیم بار بین خطوط موازی به کمک تغییر دهنده‌های فاز "، پروژه تحقیقاتی ۷۶/۰۰۴ برق منطقه‌ای تهران، گزارش نهائی، آذر ۱۳۷۸

[۱۶] گ. قره پتیان، م. فرمد. س. راعی و ح. محسنی، " جایابی PST در شبکه انتقال جهت کاهش تلفات شبکه در شرایط حالت دائم " پروژه تحقیقاتی ۱۵-۷۹/۱۱/۲۲ برق منطقه ای تهران، گزارش نهائی، مرداد ۱۳۸۱.

[۱۷] " گزارش برنامه ریزی تولید و شبکه برای سال ۱۳۸۸"، وزارت نیرو، توانیر، معاونت برنامه ریزی توانیر، دفاتر تولید و شبکه، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰

[۱۸] "دستورالعمل کار با برنامه PSS/E "، شرکت PTI (Power Technologies Inc.)، ۱۹۹۴.

[۱۹] A.H. Miragha , R.Barati , G.B. Gharehpetian " Optimal Tap setting and Var compensation Effect on Energy consumption of Electrical Auxillary system of Steam power plants " , 17-th IEEE TENCON 2002 , Oct.28-31 2002 , Beijing China , pp.1791-1796.

[۲۰] Kai Xing , George Kusic , " Application of Thyristor controlled phase shifters to Minimize Real power Losses and Augment Stability of power systems " , IEEE Transactions on Energy conversion Vol.3,No.4,Dec.1988.

[۲۱] Pierre paterni , Slyvain vitet , Michael Bena and Akihiko yokoyama , " optimal Location of phase Shifters in the French Network by Genetic IEEE Transactions on , " Algorithm power systems Vol.14 , No.1 , Feb.1999.

[۲۲] Parnjit Damrong Kulkamjorn , Prakash k.Arcot and Peter Dcount. " A screening Technique for Optimally Locating of phase shifters in power systems , " proceeding of IEEE/PES

Archive of SID

www.SID.ir

Transmission and Distribution Conference Vol.14 , 10-15 April 1994 , Chicago , IL,USA,pp.233-238.

[۲۳] , D.shirmohammadi , H.W. Wang " Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction ". IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 4 , No.2 , April 1989.

[۲۴] آتوسا یزدانی، گئورگ قره پتیان، شهرام منتصر کوهساری، " کاربرد ایده سیلان توان بهینه برای جایابی و تنظیم ترانسفورماتورهای جابجا کنندهٔ فاز جهت کاهش تلفات در شبکه‌های انتقال "، شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، مهر ۱۳۸۰، تهران، ایران

[۲۵] C.Huang Feature Analysis of power Flows Based on the Allocations of phase - shifting Transformers , IEEE Transactions on power system Vol.18 , No. 1,Feb.2003 , pp.266-272.

[۲۶] م. فرمد، س. راعی، گ.ب. قره پتیان و ح. محسنی، " تعیین ارزش تلفات در شبکه برق ایران بر مبنای ترکیب سوخت مصرفی و میزان مشارکت نیروگاهها در تولید "، نشریه علمی برق، شماره ۲۸، زمستان ۱۳۷۸.

[۲۷] سید علی نبوی نیاکی و افشین لشکرآرا " بررسی و بهبود عملکرد جابجاگر فاز در ترکیب با یک کنترل گر یکپارچه توان "، مجموعه مقالات دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، جلد چهارم، ۲۴-۲۶ اردیبهشت ۱۳۸۱

Archive of SID

www.SID.ir