بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه برق

عنوان :

جبران‌سازی بهینه توان راکتیو در شبکه‌های توزیع فشار متوسط تجدید ساختاریافته

نگارش:

عاطفه پورشفیع

اساتید راهنما :

دکتر محسن صنیعی

دکتر سید سعید اله مرتضوی

استاد مشاور :

دکتر علی سعیدیان

بهمن ماه ۱۳۸۷

تقدیم

به روان پاک مادرم

که اگرچه از خورشید وجودش محروم گردیده‌ام ،

گرمای دستان پرمهرش را همیشه به یاد خواهم داشت.

تشکر و قدردانی:

سپاس خدایی را که خود را به ما شناساند و راه سپاس‌گزاری و شکرگزاری‌اش را به ما الهام کرد و درهای علم ربوبیّت خود را به روی ما گشود. سپاسی برتر از هر سپاس دیگر، آن‌گونه که پروردگار ما از تمام آفریدگان خود برتر است.

در ابتدای سخن به فرمایش حضرت علی (ع)، امیدوارم بتوانم زحمات و راهنمایی‌های بی دریغ اساتید محترم را به نیکی شکرگزار باشم. بدین‌وسیله از اساتید راهنمای گرامی جناب آقای دکتر صنیعی و جناب آقای دکتر مرتضوی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و زحمات دلسوزانه‌شان که همواره مشتاقانه و با صبر و حوصله پذیرای اینجانب بوده‌اند و از جناب آقای دکتر سعیدیان، استاد مشاور گرانقدر و توانا به خاطر تلاش‌های صادقانه و ارشادات ارزنده‌شان بی‌نهایت سپاس‌گزاری می‌نمایم.

از کلیه اساتید گرانقدرم در دانشگاه شهید چمران اهواز که به من آموختند، کمال تشکر و قدردانی را دارم و امیدوارم بتوانم زحمات بی‌دریغ اساتید محترم را به خوبی پاسخگو باشم.

در پایان از همسرم که در طول مدت تحصیل همواره مشوق و حامی اینجانب بوده و تمام عزیزانی که به هر نحوی در تدوین این پایان نامه مرا مساعدت نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

عاطفه پورشفیع

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

۱- فصل اول(مقدمه)

۱-۱- ضرورت جبران‌سازی توان راکتیو ۳

۱-۲- اصول جبران‌سازی توسط خازن‌های موازی ۴

۱-۳- جایابی و تعیین ظرفیت بهینه خازن‌های موازی در شبکه‌های توزیع ۵

۱-۴- جایابی بهینه خازن با نگرش به تجدیدساختار در صنعت برق ۸

۲- فصل دوم (پیشینه جایابی بهینه خازن در شبکه‌های توزیع[Literatures review]

۲-۱ – مقدمه ۱۱

۲-۲ – طبقه‌بندی انواع روش‌های بهینه‌سازی توان راکتیو ۱۲

۲-۲-۱- معرفی برخی از روش‌های غیرفشرده بهینه‌سازی ۱۳

۲-۲-۲- معرفی برخی از روش‌های فشرده بهینه‌سازی ۱۳

۲-۳ - بررسی روش‌های تحلیلی جایابی بهینه خازن‌ها ۱۴

۲-۳-۱- روش دو مرحله‌ای ۱۴

۲-۳-۲- کاربرد الگوریتم شاخه و کرانه در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۱۸

۲-۳-۳- ترکیب برنامه‌ریزی خطی عددصحیح و بهینه‌سازی مخروطی ۲۰

۲-۳-۴- محدودیت‌های روش‌های تحلیلی (ریاضی) ۲۲

۲-۴- روش‌های ابتکاری جایابی بهینه خازن‌ها ۲۳

۲-۴-۱- استفاده از روش‌های مبتنی بر حساسیت در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۲۳

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

۲-۴-۲- الگوریتم بهینه‌سازی دسته پرندگان ۲۵

۲-۴-۲-۱- مقدمه‌ای بر الگوریتم بهینه‌سازی دسته پرندگان ۲۵

۲-۴-۲-۲ - کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی دسته پرندگان در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۲۸

۲-۵- روش‌های بهینه‌سازی با پاسخ نزدیک بهینه ۲۹

۲-۵-۱- استفاده از شبیه‌سازی تبرید در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۲۹

۲-۵-۲- الگوریتم ژنتیک ۳۲

۲-۵-۲-۱- معرفی الگوریتم ژنتیک ۳۲

۲-۵-۲-۲- مراحل الگوریتم ژنتیک ۳۴

۲-۵-۲-۳- روش‌های انتخاب ۳۴

۲-۵-۲-۴- روش‌های تغییر ۳۴

۲-۵-۲-۵- مزایای الگوریتم‌های ژنتیک ۳۶

۲-۵-۲-۶- محدودیت‌های الگوریتم ژنتیک ۳۷

۲-۵-۲-۷- مسئله خازن‌گذاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۳۷

۲-۵-۳- الگوریتم کلونی مورچه‌ها ۳۹

۲-۵-۳-۱- معرفی الگوریتم کلونی مورچه‌ها ۳۹

۲-۵-۳-۲- استفاده از الگوریتم کلونی مورچه در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۴۰

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

۲-۵-۴- جستجوی ممنوع ۴۲

۲-۵-۴-۱- معرفی جستجوی ممنوع ۴۲

۲-۵-۴-۲- استفاده از جستجوی ممنوع در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۴۴

۲-۵-۵- استفاده از منطق فازی در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۴۵

۲-۵-۶- ترکیب روش ژنتیک و فازی در حل مسئله خازن‌گذاری بهینه ۴۹

۲-۵-۷- استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در کلیدزنی بهینه خازن‌ها ۵۲

۲-۶- نتیجه‌گیری ۵۴

۳- فصل سوم(جبران‌سازی بهینه توان راکتیو در شبکه‌های توزیع تجدیدساختاریافته)

۳-۱- مقدمه ۵۸

۳-۱-۱- علائم و سمبل‌ها ۵۸

۳-۲- حل پخش بار با روش نیوتن- رافسون ۵۹

۳-۳- بیان روش جایابی بهینه خازن با نگرش به تجدیدساختار در صنعت برق ۶۳

۳-۳-۱- فرمول‌بندی مسئله ۶۴

۳-۴- الگوریتم بهینه‌سازی ۶۷

۳-۴-۱-حل مسئله در شبکه توزیع تجدیدساختاریافته با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۶۸

۳-۴-۲- الگوریتم حل مسئله ۷۰

۴- فصل چهارم (شبیه‌سازی و بررسی نتایج)

۴-۱- مقدمه ۷۳

۴-۱-۱- فرمول‌بندی مسئله در فضای نرم‌افزار مطلب ۷۳

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۴-۱-۱-۱- پرونده ورودی داده‌های شین	۷۳
۴-۱-۱-۲- پرونده داده‌های خط	۷۴
۴-۲- معرفی شبکه‌های آزمون	۷۵
۴-۲-۱- معرفی سطوح بارگذاری	۷۶
۴-۳- شبیه‌سازی سیتم تست روی- بیلینتون(RBTS)	۷۷
۴-۳-۱- اجرای برنامه با فرض بار متوسط برای کل ساعات شبانه‌روز یک سال	۷۷
۴-۳-۲- اجرای برنامه با فرض بار روزانه متغیر در طول یک سال	۸۱
۴-۴- اجرای برنامه با فرض بار متوسط برای فیدر ۲۶ پست بروجرد ۲	۸۶
۵- فصل پنجم (نتیجه‌گیری)	
۵-۱- نتیجه‌گیری	۹۲
۵-۲ - پیشنهادات ادامه کار	۹۴
فهرست منابع	۹۵
پیوست ۱	۹۸
پیوست ۲	۱۰۵
پیوست ۳	۱۱۱
پیوست ۴	۱۱۳
پیوست۵	۱۱۵
پیوست ۶	۱۱۹
چکیده انگلیسی	۱۲۰

فهرست نمودارها و شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل(۱-۱):جبران‌سازی توان راکتیو توسط خازن‌ها ۴

شکل (۲-۱) : نمونه یک فیدر با توزیع یکنواخت بار ۱۲

شکل (۲-۲) : منحنی دوره بار ۱۵

شکل (۲-۳) : تابع هزینه خازن ۱۵

شکل (۲-۴) : فلوچارت حل مسئله فرعی ۱۷

شکل (۲-۵) : گراف تصمیم‌گیری برای ۳ متغیر تصمیم ۱۷

شکل (۲-۶) : نمایش ماکزیمم محلی و عمومی ۲۲

شکل (۲-۷) : استفاده از الگوریتم دسته پرندگان برای یافتن ماکزیمم یک تابع ۲۷

شکل (۲-۸) : کدگذاری بردار ورودی X در الگوریتم ژنتیک ۳۳

شکل(۲-۹) : تولید فرزند با اعمال عملگر ترکیب ۳۵

شکل(۲-۱۰) : عملگر جهش ژنی ۳۵

شکل (۲-۱۱) : تابع عضویت پروفایل ولتاژ ۴۶

شکل (۲-۱۲) : تابع عضویت تلفات توان اکتیو ۴۷

شکل (۲-۱۳) : نمایش ورودی و خروجی‌های کنترل‌کننده عصبی ۵۳

شکل (۳-۱) : یک شین نمونه در سیستم قدرت ۵۹

شکل (۳-۲) : فلوچارت حل مسئله جایابی بهینه خازن ها با نگرش به تجدید ساختار ۷۱

شکل (۴-۱) : دیاگرام تک‌خطی شین ۴ سیستم تست روی - بیلینتون(RBTS) ۷۷

شکل (۴-۲) : نمودار تلفات شبکه با بار متوسط به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۷۹

فهرست نمودارها و شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۳) : نمودار تلفات ترانسفورماتور۲۳۰/۳۳ به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۰

شکل (۴-۴) : نمودار ظرفیت خازنی منصوبه در شبکه به ازای مقادیر مختلف پارامترR ۸۰

شکل (۴-۵) : نمودار شاخص بازگشت سرمایه به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۰

شکل (۴-۶) : دیاگرام بار ۲۴ ساعته شین ۴ سیستم تست روی - بیلینتون ۸۱

شکل (۴-۷) : نمودار تلفات شبکه به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۳

شکل (۴-۸) : نمودار تلفات ترانسفورماتور۲۳۰/۳۳ به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۳

شکل (۴-۹) : نمودار ظرفیت خازنی منصوبه در شبکه به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۴

شکل (۴-۱۰) : نمودار شاخص بازگشت سرمایه به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۴

شکل (۴-۱۱) : تغییر ظرفیت خازنی منصوبه در طول شبانه روز به ازای R=0 ۸۵

شکل (۴-۱۲) : انرژی راکتیو خریداری‌شده از/فروخته‌شده‌به شبکه انتقال درطول یک‌سال ۸۵

شکل (۴-۱۳) : نمودار تلفات شبکه به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۷

شکل (۴-۱۴) : نمودار تلفات ترانسفورماتور۶۳/۲۰ به ازای مقادیر مختلف پارامترR ۸۸

شکل (۴-۱۵) : نمودار ظرفیت خازنی منصوبه به ازای مقادیر مختلف پارامترR ۸۸

شکل (۴-۱۶) : نمودار شاخص بازگشت سرمایه به ازای مقادیر مختلف پارامتر R ۸۸

فهرست جداول

جدول (۲ - ۱) : مقایسه روش‌های جایابی بهینه خازن در شبکه‌های توزیع ۵۶

جدول (۴-۱) : نتایج حاصل از اجرای برنامه با فرض بار متوسط (سیستم RBTS) ۷۸

جدول (۴-۲): نتایج حاصل از اجرای برنامه با تغییر بار ۲۴ ساعته(سیستم RBTS) ۸۲

جدول (۴-۳):نتایج حاصل از اجرای برنامه با فرض بار متوسط(فیدر ۲۶ پست بروجرد۲) ۸۶

نام خانوادگی : پورشفیع	نام : عاطفه

عنوان : جبران‌سازی بهینه توان راکتیو در شبکه‌های توزیع فشارمتوسط تجدید ساختاریافته

اساتید راهنما : دکتر محسن صنیعی – دکتر سید سعیداله مرتضوی
استاد مشاور : دکتر علی سعیدیان

درجه تحصیلی : کارشناسی ارشد	رشته : مهندسی برق	گرایش : قدرت

محل تحصیل : دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده : مهندسی

تاریخ فارغ التحصیلی۱۳۸۷/۱۱/۷	تعداد صفحه: ۱۲۰

واژه های کلیدی : خازن گذاری ، تجدید ساختارصنعت برق، بهینه سازی شبکه های توزیع

چکیده : امروزه فشار روزافزون در جهت بهره‌برداری حداکثر از سیستم‌های انتقال موجود و توسعه انواع جدید جبران‌کننده های استاتیکی و قابل کنترل توان راکتیو، لزوم استفاده از خازن‌های موازی در سیستم توزیع را بیش از پیش آشکار ساخته است. از این رو جایابی بهینه خازن در شبکه‌های توزیع، به منظور کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفایل ولتاژ، کاهش بار راکتیو خط و اصلاح ضریب توان، یکی از مهم‌ترین مسائل طراحی و کنترل سیستم‌های قدرت می‌باشد. در این پایان‌نامه مسئله جایابی بهینه خازن‌های موازی در سیستم توزیع فشارمتوسط با نگرش به تجدیدساختار در بازار برق مورد بررسی قرار گرفته است. در این سناریو جدید به اپراتور شبکه توزیع این امکان داده می‌شود که انرژی راکتیو را به عنوان یک سرویس قابل فروش به سیستم انتقال در نظر بگیرد. بنابراین اپراتور شبکه توزیع فشارمتوسط با در نظر گرفتن دو هدف عمده کاهش تلفات توان حقیقی و حداکثرنمودن بازگشت سرمایه لازم برای نصب سیستم جبران‌ساز توان راکتیو، موقعیت، تعداد و ظرفیت بهینه بانک‌های خازنی را به دست می‌آورد . با توجه به اینکه نتایج حاصله تا حد زیادی تحت تاثیر پارامتر" مقدار اقتصادی انرژی راکتیو "می‌باشند ، مسئله بهینه‌سازی برای مقادیر مختلف این پارامتر فرمول‌بندی می‌شود و پس از ارزیابی تابع هدف و اجرای الگوریتم بهینه‌سازی برای هر مقدار این پارامتر، آرایش و ظرفیت بهینه خازن‌ها در گره‌های بار شبکه به دست می‌آید. ضمناً با استفاده از تابع هدف تعریف شده در این تحقیق، می‌توان قیمت آستانه فروش انرژی راکتیو را به دست آورد. با به دست‌آوردن مقدار آستانه این پارامتر و با فروش انرژی راکتیو تولیدی در شبکه توزیع با قیمتی بیش از قیمت آستانه به شبکه انتقال، سرمایه‌گذاری در نصب بانک‌های خازنی برای اپراتور شبکه توزیع سودآور خواهد بود .

فصل اول

مقدمه

۱-۱) ضرورت جبران‌سازی توان راکتیو

به طور کلی در شبکه‌های قدرت با جریان متناوب، توان ظاهری که از ژنراتورها دریافت می‌شود به دو بخش توان حقیقی(اکتیو) و توان موهومی (راکتیو) تقسیم‌بندی می‌گردد. نحوه این تقسیم به ضریب قدرت[1] مصرف کننده‌ها بستگی دارد یعنی هر چقدر ضریب قدرت به ۱ نزدیک‌تر شود، سهم توان حقیقی بیش‌تر و سهم توان موهومی کم‌تر خواهد شد. با توجه به این‌که بسیاری از مصرف کننده‌های موجود در شبکه نظیر الکتروموتورها، ترانسفورماتورها و ... که سیم پیچ یا سلف در آن‌ها نقش عمده‌ای ایفا می‌کند، مصرف‌کننده‌های اهمی – سلفی هستند و به دلیل خاصیت ذخیره‌سازی انرژی در سلف‌ها، مقداری توان همواره بین شبکه و سلف جابه‌جا می‌شود که قابل استفاده نیست و در مسیر عبور از سیم‌ها و کابل‌ها تلف می‌شود. یعنی مقداری از توان ظاهری غیر قابل استفاده می‌گردد که در عین حال مصرف‌کننده‌ها به توان مذکور نیاز دارند. در نتیجه ژنراتورها می‌بایست با توان بیش‌تر کار کنند و جریان خود را افزایش دهند که با افزایش جریان تولیدی، ظرفیت خطوط انتقال نیز برای انتقال توان حقیقی کاهش می‌یابد. در واقع تمام توان راکتیو مورد نیاز بارها، خطوط و ترانسفورماتورها می‌بایست در سطح انتقال تولید شود، ضمناً اتلاف توان در شبکه‌های توزیع به صورت حرارت، افت ولتاژ و کاهش راندمان را نیز در پی خواهد داشت.

جبران‌سازی توان راکتیو به این معنا است که توان راکتیو مورد نیاز به جای تامین از طریق ژنراتورهای نیروگاه، در محل بار تولید شود. این جبران‌سازی در سطح توزیع و فوق توزیع می‌تواند توسط خازن‌های موازی انجام پذیرد. اصولاً هر چه خازن‌ها نزدیک به مراکز مصرف نصب گردند، راندمان بالاتری در شبکه خواهد داشت. استفاده از خازن‌های موازی باعث می شود که بتوان از ظرفیت خطوط انتقال برای انتقال توان اکتیو بیش‌تری استفاده نمود. توانی را که مشترکان برق، مصرف می‌کنند متفاوت است، در نتیجه خصوصیات ضریب قدرت آن‌ها نیز متفاوت است. با تولید قدرت راکتیو توسط خازن‌ها، اثر مولفه‌های راکتیو کاهش و ضریب قدرت افزایش

[1] -Power Factor

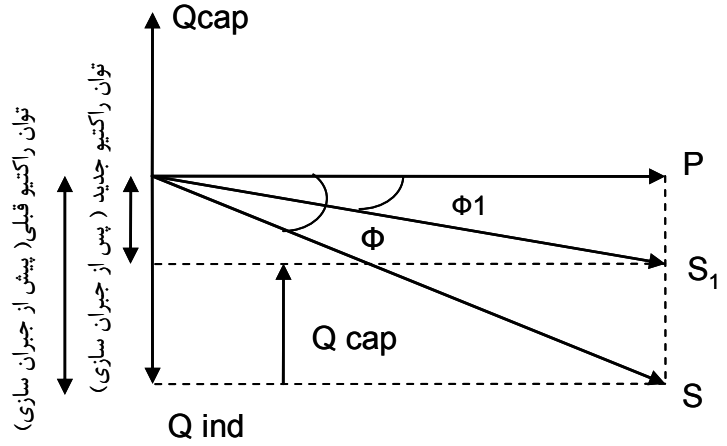
می‌یابد که نتیجه آن برای مصرف‌کنندگان برق، صرفه‌جویی اقتصادی و برای شرکت‌های برق، ایجاد شرایط فنی مطلوب‌تر برای انتقال انرژی خواهد بود.

۱-۲)اصول جبران‌سازی توسط خازن‌های موازی

همان‌طور که می‌دانیم ضریب قدرت را P.F یا $\cos\varphi$ می‌نامند که به صورت نسبت توان حقیقی به توان ظاهری تعریف می‌شود.

$$\text{Pf} = \frac{\text{توان حقیقی}}{\text{توان ظاهری}} = \frac{P}{S} \qquad (۱-۱)$$

توان راکتیو کشیده‌شده از خط توسط بارهای سلفی به اندازه ۹۰ درجه از توان حقیقی پس‌فاز است. اگر یک خازن به سیستم متصل شود، توان راکتیوی که از خط می‌کشد نسبت به توان حقیقی پیش‌فاز است، مسیر توان راکتیو خازنی در خلاف جهت مسیر توان راکتیو سلفی است در نتیجه توان ظاهری مطابق شکل (۱-۱) از S به S_1 کاهش می‌یابد و زاویه فاز بین توان حقیقی و توان ظاهری جدید از ϕ به ϕ_1 کاهش می‌یابد[۲۲]. بنابراین ضریب توان از $\cos\phi$ به $\cos\phi_1$ افزایش می‌یابد. شکل (۱-۱) نحوه این جبران‌سازی را نمایش می‌دهد.



شکل (۱-۱): جبران سازی توان راکتیو توسط خازن ها

[۲۲]

با انتخاب مناسب مقدار خازن می‌توان ضریب توان را تا حدود ۱ جبران‌سازی نمود، اگر چه در عمل ضریب توان بین ۰,۹ تا۰,۹۵ بهبود می‌یابد.

۱-۳) جایابی و تعیین ظرفیت بهینه خازن‌های موازی در شبکه‌های توزیع

به طور کلی شعاعی بودن و بالا بودن نسبت مقاومت به راکتانس در شبکه‌های توزیع باعث افـزایش تلفات در این شبکه‌ها نسبت به شبکه‌های انتقال می‌گردد.

یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای کاهش تلفات و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع، خازن‌گذاری بهینه اسـت و مسئله اصلی در این کار، تعیین موقعیت و ظرفیت بهینه خازن‌ها با هدف کاهش تلفات و افزایش صرفه‌جویی اقتصادی می‌باشد. این موضوع سبب گردیده که جبران‌سازی بهینه توان راکتیو به یکی از جنبه‌های مهم بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع تبدیل شود که تا به حال تحقیقات وسـیعی در ایـن زمینه انجام پذیرفته و روش‌های گوناگونی ارائه شده است[۲۰-۱].

در سال ۱۹۵۶ با فرض توزیع یکنواخت بار در طـول یـک فیـدر و بـا در نظـر گـرفتن خـازن‌هـای ثابت- و صرف نظر از هزینه خازن‌ها- با ظرفیت از پیش تعیین شده، موقعیت بهینه با امتحان‌کردن کلیه موقعیت‌های ممکن برای نصب یک خازن بـه دسـت آمـد و بـدین ترتیـب نخـستین گـام در راستای جایابی بهینه خازن‌ها برداشته شد[۴و۱]. پس از آن روش‌های ریاضی و تحلیلی برای تعیـین ظرفیت و موقعیت بهینه خازن‌ها مورد استفاده واقع گردید. در سال ۱۹۸۷ روش‌های ریاضی شامل دو دسته روش غیر فشرده(تئوری کان تاکر، روش هیسین، روش گرادیان‌کاهش یافته و برنامه‌ریزی درجه دوم) و فشرده(برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی غیرخطی) به کار گرفته شد[۳].

در روش‌های ریاضی می‌بایست سه مشخصه پیوستگی، تحدب و مشتق پذیری از ویژگی‌های توابع هدف باشد. همچنین در روش‌های فوق امکان کار با متغیرهای گسسته وجود ندارد و ظرفیت‌های به دست آمده از این روش‌ها به صورت متغیرهای پیوسته بوده و با واقعیت‌های عملی تطابق ندارد. از دیگر معایب روش‌های ریاضی قرار گرفتن در نقاط بهینه محلی، نیاز به مشتق گیری‌های فراوان، مشکلات همگرایی و مشکل تنظیم مقادیر اولیه متغیرها، بخصوص در حالتی که تعداد متغیرها زیاد است، می‌باشد.

مسئله جایابی بهینه خازن در شبکه‌های توزیع به دلیل طبیعت گسسته ادوات جبران‌سـازی تـوان راکتیو منجر به یک مسئله برنامـه‌ریـزی غیرخطـی بـا متغیرهـای آمیختـه (پیوسـته یـا گسـسته) می‌گردد. از جمله متغیرهای پیوسته می‌توان به مقادیر ولتاژ در شین‌های PV و تولید توان راکتیو

در شین‌های PQ اشاره نمود و متغیرهای گسسته موقعیت بانک‌های خازنی و اندازه آن‌ها می‌باشد.

با توجه به اینکه اضافه‌شدن بانک‌های خازنی در اغلب موارد به صورت گام‌های گسسته است (نه پیوسته) و تغییرات بار در یک دوره زمانی نیز به صورت گسسته است (یعنی منحنی دوره بار با یک تابع تکه‌ای خطی تقریب زده می‌شود)، جهت یافتن پاسخ بهینه مسئله جایابی بهینه خازن‌ها در شبکه توزیع می‌بایست روشی به کار گرفته شود که در آن امکان کار با متغیرهای گسسته وجود داشته باشد و ظرفیت‌های به دست آمده از آن با واقعیت‌های عملی تطابق داشته باشد. در راستای برطرف نمودن محدودیت‌های روش‌های ریاضی، تخصیص بهینه منابع راکتیو با جداسازی مسئله به دو مرحله سلسله مراتبی مورد بررسی واقع گردید[۳].

در واقع مسئله اصلی به دو زیر مسئله تقسیم می‌گردد: یک مسئله غیرخطی (سطح ۱) و یک مسئله برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح(سطح۲). مسئله ۱ به روش پخش بار بهینه معمولی بوده و با روش‌های تکراری پخش بار معمولی، روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و یا روش‌های برنامه‌ریزی خطی متوالی حل می‌شود. سطح ۲ یک مسئله برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح می‌باشد که به طور خاص به پیدا کردن جواب‌های عدد صحیح می‌پردازد. این گونه مسائل ابتدایی‌ترین شرط موجود در مسائل برنامه‌ریزی خطی یعنی پیوسته‌بودن را در بر ندارند.

در سال ۱۹۸۹ با تقسیم مسئله به دو بخش بهینه‌سازی دیفرانسیلی غیرخطی و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مسئله در دو فاز مجزا بررسی گردید. در فاز ۱ ظرفیت اختصاص داده شده به هر منبع راکتیو یک متغیر پیوسته است و در فاز ۲ با فرض اینکه اندازه خازن‌ها متغیرهای گسسته ای هستند، برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح به کار گرفته می‌شود[۵]. در این روش نیازی به پیوسته‌بودن تابع هدف –که شرط لازم حل مسئله به روش‌های ریاضی است- نمی‌باشد.

در همین راستا در سال ۲۰۰۴ یک روش دو مرحله‌ای دیگر با استفاده از بهینه‌سازی مخروطی و برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح، با امکان استفاده از قیود مخروطی و عدم نیاز به پیوسته بودن تابع هدف به کار گرفته شد[۷]. در سال ۲۰۰۵ الگوریتم شاخه و کرانه[1] برای کاهش

[1]- Branch and Bound

تعداد موقعیت‌های ممکن برای نصب خازن به کار گرفته شد. در این روش نیز از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای تعیین موقعیت خازن‌ها استفاده شده است[۶]. در تمامی روش‌های مذکور که تصمیم‌گیری گسسته انجام می شود و شرط پیوسته بودن تابع هدف حذف گردیده است، لزوم تحدب و خطی‌سازی تابع هدف، شرط اصلی برای حل مسئله می‌باشد[۳].

در واقع این روش‌ها قادرند پاسخ بهینه را در یک بازه خاص پیدا کنند و لذا امکان گرفتار شدن مسئله در یک نقطه بهینه محلی وجود دارد. برای یافتن جواب عمومی مسئله بهینه‌سازی و حذف شرط محدب‌بودن تابع هدف، به موازات روش‌های فوق‌الذکر، در سال ۱۹۹۵ از تکنیک‌های ابتکاری نظیر تکنیک حساسیت برای کاهش تعداد حالت‌های ممکن برای نصب خازن استفاده گردید[۸].

یکی از جدیدترین روش‌های ابتکاری که در سال ۲۰۰۷ مطرح گردید، الگوریتم بهینه‌سازی دسته پرندگان است که در آن هیچ یک از شرط‌های تحدب، پیوستگی و مشتق‌پذیری تابع هدف لازم نیست و با ماهیت تصادفی خود امکان گریز از نقطه بهینه محلی را دارد[۹]. بر خلاف روش‌های پیشین که مسئله در یک رهیافت دو مرحله‌ای حل می‌گردید- ابتدا با تعیین موقعیت شین‌های مناسب برای نصب خازن و سپس انتخاب اندازه مناسب خازن برای آن‌ها- موقعیت و اندازه خازن‌های ثابت، در این روش به طور هم‌زمان به دست می‌آید و این یکی از مهم‌ترین مزایای این روش می‌باشد.

هم‌زمان با گسترش استفاده از روش‌های ابتکاری، روش‌های هوشمند دیگری با عنوان روش‌های بهینه‌سازی با پاسخ نزدیک بهینه با ماهیت تصادفی و امکان گریز از نقطه بهینه محلی، جای روش‌های ریاضی را گرفتند. ضمناً در این روش‌ها لزومی برای پیوستگی، تحدب و خطی‌سازی تابع هدف و قیود وجود ندارد. برخی از این روش‌ها عبارتند از: روش شبیه سازی تبرید[۱۰و۱۱]، الگوریتم ژنتیک [۱۲و۱۳و۱۴و۱۵و۱۶و۲۷]، الگوریتم کلونی مورچه ها[۱۷]، جستجوی ممنوع[۱۸و۲۶]، منطق فازی [۱۹] و شبکه‌های عصبی مصنوعی[۲۰].

هر یک از روش‌های مذکور محدودیت‌ها و نقاط قوت خاص خود را دارند. در روش شبیه‌سازی تبرید به دلیل استفاده محدود از حافظه، زمان محاسبات بالا می‌باشد. در الگوریتم کلونی مورچه‌ها کیفیت پاسخ و سرعت همگرایی به انتخاب و تنظیم مناسب پارامترهای الگوریتم بستگی دارد.

در روش جستجوی ممنوع نیز استفاده از حافظه و تنظیم صحیح طول فهرست ممنوع از الزامات حل مسئله است و پارامترهای الگوریتم- با توجه به وابستگی جواب به نحوه تنظیم این پارامترها می‌بایست با روش سعی و خطا به درستی تنظیم شوند.

به دلیل ماهیت غیردقیق پارامترهای سیستم توزیع واقعی، استفاده از منطق فازی موجب عدم وابستگی پاسخ به مدل ریاضی سیستم می‌گردد و می‌توان توابع هدف را بدون تاثیر مقادیر واقعی‌شان مورد بررسی قرار داد. ولی تخمین قوانین مناسب فازی برای هر تابع هدف از الزامات حل مسئله می‌باشد. پاسخ حاصل از الگوریتم ژنتیک که به تازگی در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد به انتخاب درست تابع برازش و در نظر گرفتن جمعیت اولیه مناسب بستگی دارد. هم چنین می‌توان از حالات کنترلی قبلی خازن‌ها برای آموزش یک شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمود و سیستم کلید زنی خازن‌ها را به طور در خط[1] با یک کنترل کننده عصبی مصنوعی کنترل نمود.

اگرچه موفقیت روش‌های غیر قطعی مطرح شده در بالا، به تنظیم پارامترهای مختلف الگوریتم بستگی دارد، اما پاسخ منتجه از آن‌ها به پاسخ بهینه نزدیک‌تر است.

در فصل دوم هر یک از روش‌های مذکور به تفصیل تشریح خواهد شد.

۱-۴) جایابی بهینه خازن با نگرش به تجدیدساختار در صنعت برق

با توجه به تحول و حرکت صنعت برق به سمت رقابت و ایجاد شرایط بازار، در این پایان‌نامه قصد داریم جبران‌سازی بهینه توان راکتیو را با در نظر گرفتن تجدیدساختار در صنعت برق و با هدف کاهش تلفات، کاهش هزینه‌های تولید و توزیع برق، فراهم آوردن بستر مناسب جهت ارائه خدمات بهتر و ... ، به صورت یک مسئله جدید فرمول‌بندی کنیم.

در روش‌های ارائه شده تاکنون به انتخاب تعداد، اندازه و موقعیت بانک‌های خازنی بر مبنای معیار حداکثر سود اقتصادی با در نظر گرفتن هزینه مربوط به نصب خازن‌ها و درآمد حاصل از کاهش تلفات، پرداخته شده است[۲۰-۱].

[1] -On line

چنین فرمول‌بندی از مسئله اثرات سیستم انتقال توان راکتیو را در نظر نمی‌گیرد و شبکه‌های توزیع نقش عمده ای در تنظیم ولتاژ HV[1] ایفا نمی‌کنند. تنها هدف این است که بانک‌های خازنی نصب شده در طرف MV[2] گره‌های HV/MV در ساعات کم‌باری از شین‌ها جدا شوند.

با توجه به موارد مذکور طراحی و بهره‌برداری از منابع راکتیو به دلیل تجدید ساختار بازار برق و پراکنده بودن مصارف برق می‌بایست مورد بازنگری واقع شود[۲۳].

در زمینه بازار جدید، میزان توان راکتیوی که سیستم انتقال از خازن‌ها دریافت می‌کند به عنوان یک سرویس تلقی شده و اپراتور شبکه انتقال برای تنظیم ولتاژ و ذخیره توان از اپراتور شبکه توزیع خریداری خواهد نمود. بنابراین می‌بایست یک مقدار اقتصادی به این سرویس تخصیص داده شود. مسئله طراحی سیستم جبران‌ساز توان راکتیو در شبکه توزیع از نقطه نظر اپراتور سیستم توزیع می‌تواند با هدف حداقل نمودن تلفات در شبکه توزیع و ترانسفورماتور HV/MV و با هدف تولید درآمد (و یا حداقل عدم از دست دادن سرمایه) با فروش انرژی راکتیو به اپراتور شبکه انتقال، مجدداً فرمول‌بندی شود. بنابراین هدف جدید تعیین آرایش جبران‌سازها با هدف حداقل نمودن تلفات، حداکثر نمودن برگشت سرمایه و کاهش هزینه نصب خازن‌ها می باشد.

در واقع اپراتور شبکه توزیع، انرژی الکتریکی را در گره HV/MV خریداری نموده و با حداقل‌سازی تلفات انرژی، باعث بهبود نسبت انرژی فروخته شده به مشتری، به انرژی خریداری‌شده و افزایش طول عمر تجهیزات شبکه قدرت می‌گردد[۲۳].

در فصل دوم این پایان‌نامه به بیان پیشینه جایابی خازن در شبکه‌های توزیع و سیر تحولی روش‌های موجود، مشخصات و نقاط ضعف و قوت هر یک از این روش‌ها از سال ۱۹۵۶ تا سال ۲۰۰۷ خواهیم پرداخت و در پایان فصل، روش‌های عنوان شده در این زمینه را با یک‌دیگر مقایسه خواهیم نمود. در فصل سوم به بیان روش جایابی بهینه خازن با نگرش به تجدید ساختار در صنعت برق و فرمول‌بندی مسئله خواهیم پرداخت و در فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی و استفاده از روش مذکور برای دو شبکه آزمون ارائه خواهد شد. در پایان و در فصل پنجم نتایج حاصل از به کارگیری روش مذکور و پیشنهادات ادامه کار عنوان خواهد گردید.

---

[1] - High Voltage
[2] - Medium Voltage

فصل دوم

مروری بر پیشینه جایابی بهینه

خازن در شبکه‌های توزیع