بسمه تعالی

دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
مهندسی برق - گرایش قدرت

عنوان:

بازآرایی و جایابی بهینه خازن در شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات با استفاده از یک الگوریتم هوشمند

نگارش:
مرضیه داخم

استاد راهنما:
دکتر مصطفی صدیقی‌زاده

استاد مشاور:
دکتر محمد سروی

بهمن ۱۳۹۰

چکیده

بازآرایی و جایابی بهینه خازن به منظور کاهش تلفات توان و نگه‌داشتن ولتاژ در بازه محدودیتهای مجاز در سیستمهای توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محدودیتها شامل شعاعی بودن شبکه و رعایت قیود ولتاژ و جریان شبکه می‌باشند. در این پایان نامه حل همزمان خازن‌گذاری و بازآرایی به منظور کاهش تلفات با در نظر گرفتن محدودیتهای فوق الذکر توسط الگوریتمی هوشمند که تا کنون برای حل این مسئله استفاده نشده، ارائه گردیده‌است.

با توجه به نیاز به حل همزمان دو مسئله بهینه‌سازی غیر خطی گسسته، استفاده از الگوریتمهای هوشمند در این پایان‌نامه مد نظر قرار گرفته است. در روند بهینه‌سازی، یکی از اصلی‌ترین موارد، مدلسازی مسئله و اعمال الگوریتم انتخابی است. این موضوع در این پایان‌نامه با مدل‌سازی حالت شبکه بصورت رشته‌های صفر و یک و با روشی مشخص انجام گردیده‌است. درنتیجه یک مسئله بهینه‌سازی گسسته بوجود آمده که شامل متغیرهای صفر و یک است و دیگر نمی‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی که بر روی اعداد حقیقی کار می‌کنند، استفاده نمود.

به منظور حل همزمان این دو مسئله با هدف کاهش تلفات، از الگوریتم بهینه‌سازی جدیدی با نام «الگوریتم اجتماع ذرات دودویی بهبود یافته(*IBPSO*)» استفاده گردیده است. الگوریتم پیشنهادی بر روی دو شبکه تست، ۱۶ و ۳۳ باسه اعمال گردید و نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت. الگوریتم جدید ارائه شده، در شرایط مشابه جواب بهتری نسبت به سایر الگوریتمهای انجام شده قبلی دارد. برنامه‌های مورد استفاده به گونه‌ای نوشته شده‌اند که برای شبکه‌های بزرگ نیز می‌توانند بکار روند. همچنین ۵ حالت مختلف از تقدم و تأخر اقدامات بازآرایی و جایابی بهینه خازن مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت، بهترین نتیجه مربوط به انجام همزمان بازآرایی و جایابی بهینه خازن بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: بازآرایی شبکه توزیع، جایابی بهینه خازن، کاهش تلفات، الگوریتم هوشمند، *PSO* دودویی بهبود یافته(*IBPSO*)

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مسئله بازآرایی ۳

۱-۲-۱- تعاریف ۳

۱-۲-۲- مفهوم بازآرایی یک شبکه توزیع ۴

۱-۲-۳- محدودیت بازآرایی شبکه توزیع ۶

۱-۲-۴- اهداف و مزایای بازآرایی شبکه ۶

۱-۲-۴-۱- بازیابی بار ۶

۱-۲-۴-۲- کاهش تلفات ۷

۱-۲-۴-۳- بهبود پروفیل ولتاژ ۸

۱-۲-۴-۴- تعمیرات دوره‌ای تجهیزات و توسعه شبکه ۹

۱-۲-۴-۵- متعادل نمودن بار خطوط توزیع ۹

۱-۲-۵- روشهای تحلیل مساله بازآرایی ۹

۱-۲-۵-۱- روشهای ابتکاری ۱۰

۱-۲-۵-۱-۱- روش بستن کلیدها ۱۱

۱-۲-۵-۱-۲- روش باز نمودن کلیدها ۱۲

۱-۲-۵-۱-۳- روش تعویض شاخه ۱۲

۱-۲-۵-۲-روشهای فراابتکاری ۱۳

۱-۳- خازن‌گذاری ۱۴

۱-۳-۱- بار راکتیو در شبکه‌های توزیع ۱۴

۱-۳-۲- اهداف خازن‌گذاری و تعاریف ۱۶

۱-۳-۳- اثرات نامطلوب توان راکتیو ۱۷

۱-۳-۴- جبران توان راکتیو ۱۸

۱-۳-۵- روشهای خازن‌گذاری در شبکه توزیع ۱۹

۱-۳-۵-۱- روش تحلیلی ۱۹

۱-۳-۵-۲- روش برنامه‌ریزی عددی ۲۰

۱-۳-۵-۳- روشهای هوشمند ۲۱

۱-۴- مروری بر فصول پایان نامه ۲۲

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته ۲۳

۲-۱- مقدمه ۲۴

۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده قبلی در بازآرایی ۲۴

۲-۲-۱- روش‌های بهینه سازی ابتکاری ۲۴

۲-۲-۲- روش‌های بهینه سازی فرا ابتکاری ۲۷

۲-۳- مروری بر کارهای انجام شده قبلی در خازن‌گذاری ۲۹

۲-۴- مروری بر کارهای انجام شده قبلی در بازآرایی و خازن‌گذاری به طور همزمان ۳۲

۲-۵- خلاصه ۳۴

فصل سوم: الگوریتم اجتماع ذرات ۳۶

۳-۱- مقدمه ۳۷

۳-۲- هوش جمعی ۳۷

۳-۳- الگوریتم اجتماع ذرات ۳۸

۳-۳-۱- کاربرد PSO ۴۴

۳-۴- مقایسه الگوریتم PSO و ژنتیک ۴۴

۳-۵- انواع PSO ۴۶

۳-۶- کنترل پارامتر PSO ۴۶

۳-۷- ویژگی های PSO ۴۸

۳-۸- الگوریتم « بهینه سازی اجتماع ذرات دودویی اصلاح شده» ۴۹

۳-۹- مقایسه الگوریتمهای بهینه‌سازی هوشمند ۵۰

فصل چهارم: حل مسئله بازآرایی و خازن‌گذاری ۵۴

۴-۱- مقدمه ۵۵

۴-۲- گرافها و شبکه توزیع ۵۵

۴-۲-۱- تعاریف گرافها ۵۵

۴-۲-۲- نمایش یک شبکه توزیع بصورت گراف ۵۷
۴-۳- شعاعی بودن شبکه ۵۸
۴-۳-۱- شرط لازم شعاعی بودن شبکه ۵۸
۴-۳-۲- چگونگی تشخیص درخت بودن یک زیر گراف ۶۰
۴-۳-۳- مراحل تشخیص شعاعی بودن شبکه انتخابی ۶۰
۴-۴- فضای جستجوی در مسئله بازآرایی و جایابی خازن ۶۶
۴-۵- بیان ریاضی مسئله ۶۷
۴-۵-۱- پخش بار روی شبکه‌های شعاعی ۶۸
۴-۵-۱-۱- تشخیص توپولوژی شبکه ۶۹
۴-۵-۱-۲- محاسبات الکتریکی ۷۲
۴-۶- تعریف مسئله بازآرایی و جایابی بهینه خازن توسط الگوریتم پیشنهادی ۷۵
۴-۶-۱- شرح برنامه بهینه‌سازی به روش *PSO* باینری اصلاح شده ۷۵
۴-۶-۲- روش کد کردن نوع خازن ۷۷
۴-۶-۳- مقادیر مناسب پارامترها ۷۹
۴-۷- خلاصه فصل ۷۹
فصل پنجم: بکارگیری الگوریتم پیشنهادی و نتایج شبیه‌سازی ۸۰
۵-۱- مقدمه ۸۱
۵-۲- شبکه آزمون ۱۶ شینه ۸۱
۵-۲-۱- مقایسه نتایج الگوریتم *IBPSO* با سایر الگوریتمهای هوشمند در سیستم ۱۶ باسه ۹۰
۵-۳- شبکه آزمون ۳۳ شینه ۹۰
۵-۳-۱- مقایسه نتایج الگوریتم *IBPSO* با سایر الگوریتمهای هوشمند در سیستم ۳۳ باسه ۹۷
۵-۴- خلاصه فصل ۹۸
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۹
۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۰
۶-۲- پیشنهادها ۱۰۲

مراجع ۱۰۳
پیوست الف ۱۱۲

فهرست جداول

جدول (۳-۱): مقایسه الگوریتمهای هوشمند برای بازآرایی سیستم توزیع[۱۱،۲۷] ۵۱

جدول (۴-۱): اتصالات خط به گره در شکل شماره (۴-۳) ۵۸

جدول (۴-۲): شروط درخت بودن گراف و معادل آن در شبکه‌های توزیع ۵۸

جدول (۴-۳): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) ۶۱

جدول (۴-۴): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار اول ۶۲

جدول (۴-۵): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار دوم ۶۳

جدول (۴-۶): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار سوم ۶۳

جدول (۴-۷): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار چهارم ۶۳

جدول (۴-۸): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار پنجم ۶۴

جدول (۴-۹): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار ششم ۶۴

جدول (۴-۱۰): اتصالات خط به گره شبکه انتخابی شکل (۴-۶) در تکرار هفتم ۶۴

جدول (۵-۱): مشخصات کلی شبکه‌های تست مورد استفاده ۸۱

جدول (۵-۲): نتایج اعمال پخش بار اولیه بر روی شبکه اصلی در سیستم ۱۶ باسه ۸۳

جدول (۵-۳): معادل باینری خازنها ۸۵

جدول (۵-۴): نتایج بعد از بازآرایی و جایابی بهینه خازن در سیستم ۱۶ باسه ۸۵

جدول (۵-۵): مقایسه نتایج حالتهای مختلف بازآرایی وخازن‌گذاری در سیستم ۱۶ باسه ۸۹

جدول (۵-۶): مقایسه نتایج الگوریتمهای هوشمند برای حل مسئله بازآرایی وخازن‌گذاری سیستم ۱۶ باسه ۹۰

جدول (۵-۷): نتایج اعمال پخش بار اولیه بر روی شبکه اصلی در سیستم ۳۳ باسه ۹۲

جدول (۵-۸): نتایج بعد از بازآرایی و جایابی بهینه خازن در سیستم ۳۳ باسه ۹۳

جدول (۵-۹): مقایسه نتایج الگوریتمهای هوشمند برای حل مسئله بازآرایی وخازن‌گذاری در سیستم ۳۳ باسه ۹۷

فهرست اشکال

شکل (۱-۱): شبکه توزیع نمونه با ۱۷ نقطه مانور و ۴ پست فوق توزیع ۵

شکل (۱-۲): شبکه توزیع نمونه شکل (۱-۱) با آرایشی جدید ۵

شکل (۱-۳): مثال ساده برای تشریح بازآرایی شبکه[۲] ۷

شکل (۳-۱): رفتار دسته جمعی گروهی از ماهیها و پرندگان ۳۹

شکل (۳-۲): مفهوم اصلاح یک نقطه جستجو توسط *PSO* ۴۰

شکل (۳-۳): فلوچارت کلی الگوریتم *PSO* ۴۳

شکل (۳-۴): کاهش یکنواخت وزن سکون در حین اجرای الگوریتم ۴۸

شکل (۴-۱): یک گراف نمونه ۵۶

شکل (۴-۲): سه درخت متفاوت از گراف شکل (۴-۱) ۵۶

شکل (۴-۳): گراف اولیه یک شبکه توزیع ۵۷

شکل (۴-۴): یک شبکه شعاعی از گراف اولیه شکل (۴-۳) که در آن فیدرهای ۱۳، ۸و ۳ قطع ۵۹

شکل (۴-۵): شبکه شعاعی دیگری از گراف اولیه شکل (۴-۳) که در آن فیدرهای ۱۵، ۱۰ و ۴ قطع می‌باشند. ۵۹

شکل (۴-۶): شبکه انتخابی جهت تست شعاعی بودن ۶۱

شکل (۴-۷): فلوچارت تست شعاعی بودن ۶۵

شکل (۴-۸): یک رشته *particle* تصادفی نمونه ۷۷

شکل (۴-۹): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ۷۸

شکل (۵-۱): سیستم توزیع سه فیدره ۱۶ باسه[۵] ۸۲

شکل (۵-۲): یک رشته *particle* ۷۲ بیتی برای شبکه ۱۶ باسه ۸۴

شکل (۵-۳): نمودار همگرایی الگوریتم به سمت مقدار بهینه در سیستم ۱۶ باسه برای ۱۰۰ تکرار ۸۶

شکل (۵-۴): *particle* بهینه در *MATLAB* برای سیستم ۱۶ باسه ۸۷

شکل (۵-۵): مقایسه پروفیل ولتاژ قبل و بعد از اعمال الگوریتم در سیستم ۱۶ باسه ۸۷

شکل (۵-۶): آرایش نهایی سیستم ۱۶ باسه بعد از اعمال الگوریتم *IBPSO* ۸۸

شکل (۵-۷): سیستم توزیع تک فیدره ۳۳ باسه[۱۸] ۹۱
شکل (۵-۸): نمودار همگرایی الگوریتم به سمت مقدار بهینه در سیستم ۳۳ باسه برای ۱۲۰ تکرار ۹۵
شکل (۵-۹): *particle* بهینه در *MATLAB* برای سیستم ۳۳ باسه ۹۵
شکل (۵-۱۰): مقایسه پروفیل ولتاژ قبل و بعد از اعمال الگوریتم در سیستم ۳۳ باسه ۹۶
شکل (۵-۱۱): آرایش نهایی سیستم ۳۳ باسه بعد از اعمال الگوریتم *IBPSO* ۹۷

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه اهمیت انرژی الکتریکی بر کسی پوشیده نیست. به دلیل سادگی تبدیل به سایر انواع انرژی‌ها، سهولت انتقال، کنترل آسان و ملاحظات زیست محیطی، انرژی الکتریکی بیش از سایر انواع انرژی‌ها کاربرد پیدا کرده است. انرژی الکتریکی پس از تولید و انتقال به نزدیکی محل مصرف، وارد سیستم توزیع می شود.

توزیع انرژی الکتریکی به عنوان مرحله نهایی از زنجیره تامین برق عبارت است از دریافت برق از مرحله تولید یا انتقال با ولتاژی معین، تبدیل آن به ولتاژ مورد نظر مصرف‌کنندگان و تامین برق آنها از طریق شبکه های توزیع.

بالا بودن مقادیر جریان، پایین بودن سطح ولتاژ و ساختار شعاعی درصد زیادی از تلفات را در سیستمهای توزیع به خود اختصاص می‌دهد. روشهای مختلفی برای کاهش تلفات پیشنهاد شده است، از جمله روشهای پیشنهاد شده می توان به بازآرایی[1] و تنظیم بانکهای خازنی اشاره نمود.

بازآرایی فرآیندی است که ساختار شبکه های توزیع را به وسیله باز و بسته کردن سوئیچها تغییر می دهد. خازنها نیز برای تامین توان راکتیو در سیستمهای توزیع با هدف حداقل کردن تلفات و یا بهبود پروفیل ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این فصل تعاریف، مفهوم مسائل بازآرایی و خازن‌گذاری، محدودیتها، مزیتها و کاربردهای آنها ارائه خواهد گردید. ابتدا به بازآرایی شبکه‌های توزیع پرداخته شده و محدویتهایی که در تغییر آرایش شبکه خواهیم داشت، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. سپس به جایابی بهینه خازن پرداخته و روشهای مختلف خازن‌گذاری بیان خواهند گردید.

[1] - *Reconfiguration*

۱-۲- مسئله بازآرایی

۱-۲-۱- تعاریف

- **عملیات مانور:** عملیات مانور عبارت است از باز و بسته نمودن تعدادی از کلیدهای خاص شبکه توزیع به منظور انجام هدفی معین (مانند بازسازی شبکه، رفع عیب، تعدیل بار، کاهش تلفات و ....) که منجر به تغییر در آرایش سیستم و یا تغییر در مسیر تغذیه می‌گردد[۱].

- **نقاط مانور:** نقاط مانور به نقاطی گفته می‌شود که عملیات مانور توسط آنها صورت می‌پذیرد و عموماً شامل بریکر، سکسیونرها، فیوزهای کات اوت و جمپرها می‌باشند.

- **وضعیت نقاط مانور:** هر کدام از نقاط مانور می‌توانند دارای دو وضعیت باز یا بسته باشند که به آن، وضعیت یا حالت نقطه مانور گفته می‌شود. در حالت کلی وضعیت نقاط مانور را می‌توان از لحاظ کارکرد در شبکه‌های توزیع به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱- نقاط مانور با کلیدهای متصل کننده: کلیدهایی هستند که در حالت عادی باز[۲] می‌باشند و در حقیقت نقطه جدا کننده دو شبکه به حساب می‌آیند و با بستن آنها در شبکه حلقه ایجاد می‌شود.

۲- نقاط مانور با کلیدهای مجزا کننده: کلیدهایی هستند که در حالت عادی بسته[۳] بوده و در صورت باز شدن، همه یا بخشی از شبکه بی‌برق می‌شود.

- **آرایش شبکه توزیع:** به مجموعه‌ای از حالات کلیدها (باز یا بسته) در یک شبکه توزیع یک آرایش شبکه می‌گویند.

- **بازآرایی یا تغییر آرایش در شبکه توزیع:** بازآرایی یا تغییر آرایش شبکه عبارتست از باز و بسته کردن سوئیچها (کلیدهای قدرت، سکسیونرهای قابل قطع و غیرقابل قطع زیربار و...) به منظور

[2] - *Normally Open*

[3] -*Normally Close*

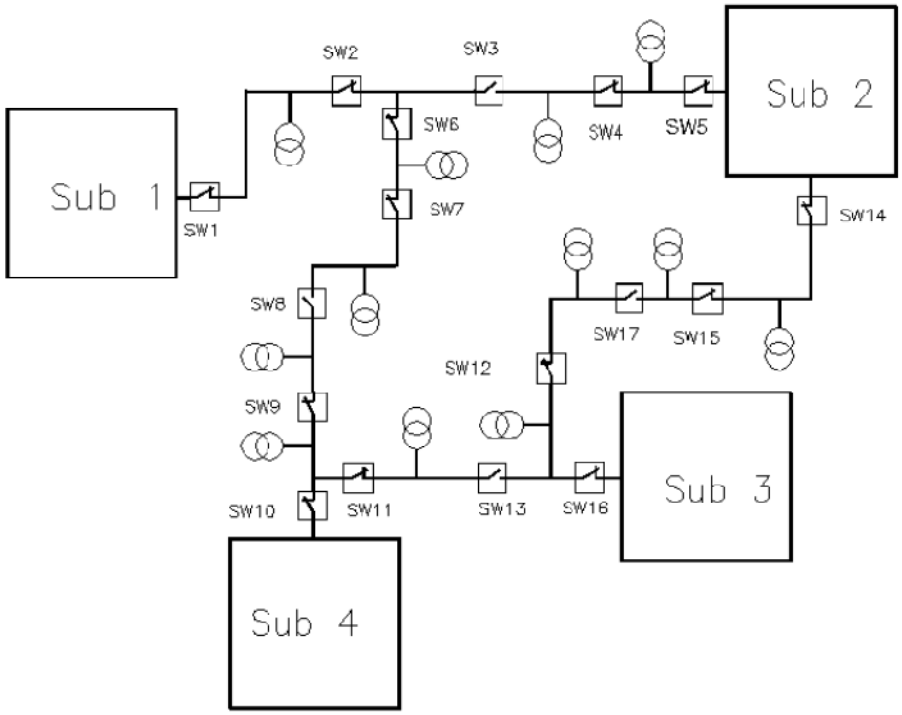
تغییر توپولوژی شبکه[۱]. به عبارت دیگر بازآرایی یا تغییر آرایش شامل تغییر حالت نقاط مانور شبکه می‌باشد که در پی آن آرایش جدیدی از شبکه بدست می‌آید.

۱-۲-۲- مفهوم بازآرایی یک شبکه توزیع

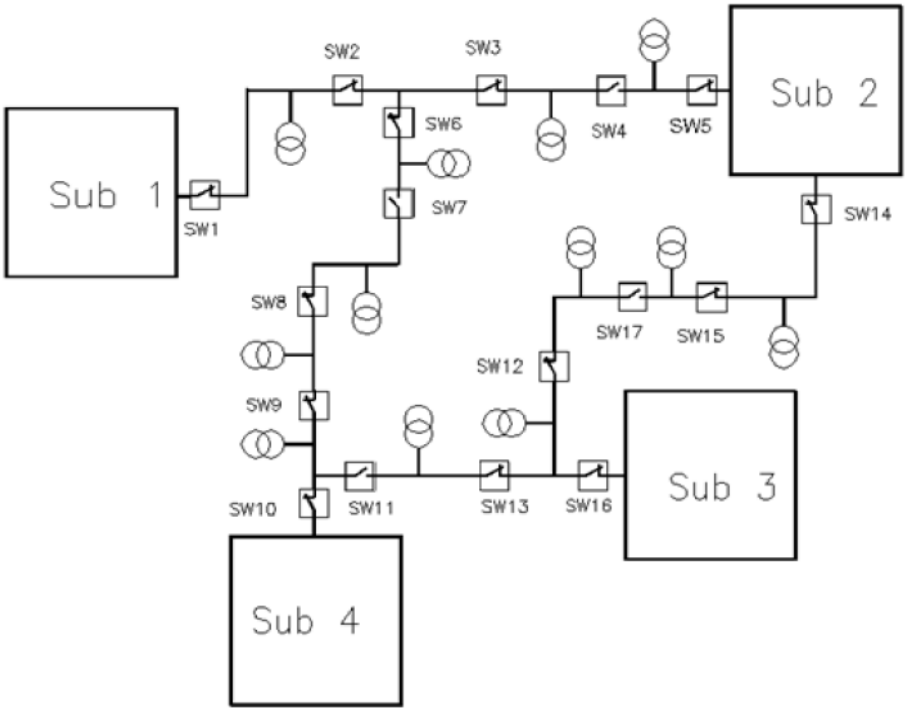
بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع در شرایط عادی به علت سادگی هماهنگی حفاظتی، محدودنمودن سطح اتصال کوتاه شبکه و مشکلات بهره‌برداری شبکه‌های بهم پیوسته، به صورت شعاعی بوده و برق‌رسانی از طریق کلیدهای در حالت عادی بسته ($N.C$) انجام می‌گیرد، اما به منظور افزایش قابلیت اطمینان و تداوم برق‌رسانی پس از وقوع خاموشی تعدادی کلید در حالت عادی باز ($N.O$) نیز در شبکه موجود است که در صورت لزوم می‌توان آنها را به کار گرفت که این کلیدهای جداکننده ($N.O$) موجود در شبکه، نقش بسزایی در مدیریت ساختار شبکه برای دستیابی به شکل بهینه آن ایفا می‌نمایند.

شکل (۱-۱) یک شبکه توزیع نمونه را نشان می‌دهد. این شبکه شامل ۴ پست فوق توزیع، ۱۷ نقطه مانور و ۱۲ پست توزیع می‌باشد. در این آرایش از شبکه کلیدهای *SW3*، *SW8*، *SW13* و *SW17* در نقش نقاط مانور متصل کننده و بقیه کلیدها در نقش نقاط مانور مجزا کننده می‌باشند.

سیستمهای توزیع همیشه به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند و این مسئله به خاطر ایجاد سهولت در هماهنگی حفاظتی و کنترل شبکه است. با این وجود آرایش شبکه ممکن است در حین بهره‌برداری تغییر کند و این مسئله با تغییر وضعیت کلیدهای هر بخش اتفاق می‌افتد. مثلاً شکل (۱-۲) همان شبکه را با آرایشی جدید نشان می‌دهد به طوری که *SW13* و *SW3* و *SW8* بسته شده و کلیدهای *SW4* و *SW7* و *SW11* باز می‌گردند تا بار از یک فیدر به فیدر دیگر انتقال یابد.



شکل (۱-۱): شبکه توزیع نمونه با ۱۷ نقطه مانور و ۴ پست فوق توزیع



شکل (۱-۲): شبکه توزیع نمونه شکل (۱-۱) با آرایشی جدید

۱-۲-۳- محدودیتهای بازآرایی شبکه توزیع

با تغییر وضعیت نقاط مانور در شبکه توزیع آرایش جدیدی بوجود می‌آید. ولی آیا هر آرایش جدید بدست آمده مورد قبول می‌باشد؟ مسلماً خیر.

آرایش شبکه‌ای که در هر تغییر بدست می‌آید باید محدودیت‌های ذیل را رعایت نماید:

۱- نباید هیچ حلقه‌ای در شبکه ایجاد شود.

۲- تمام نقاط (گره‌های) شبکه باید برقدار بمانند.

۳- ولتاژ گره‌ها در حد مجاز قرار داشته باشند.

۴- جریان خطوط از حد مجاز تجاوز ننماید.

۵- پستهای فوق توزیع دچار اضافه بار نشوند.

در این میان با توجه به هدف بهره‌بردار از بازآرایی شبکه، قیود و محدودیتهای دیگری قابل تعریف است؛ مثلا سطوح مشخصی از شاخصهای قابلیت اطمینان، مینیمم‌سازی تلفات و ... که در ادامه به معرفی آنها خواهیم پرداخت

۱-۲-۴- اهداف و مزایای بازآرایی شبکه

۱-۲-۴-۱- بازیابی بار

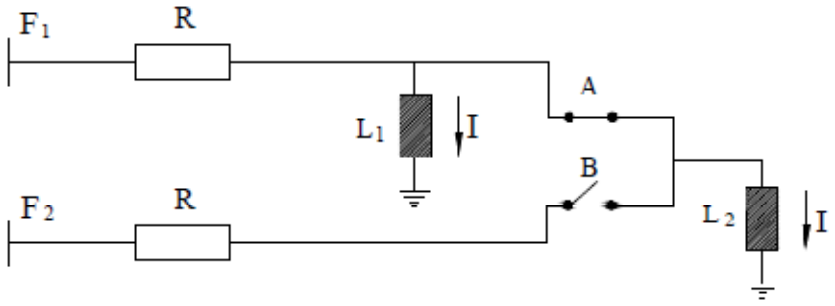
شاید از نگاه بهره‌بردار شبکه توزیع، بازیابی بار مهمترین و کارآمدترین نتیجه تغییر آرایش شبکه باشد. با وقوع خطا در بخشی از شبکه توزیع ممکن است تعداد زیادی از مصرف کنندگان آن فیدر دچار خاموشی شوند که گاهی مدت زمان خاموشی تا زمان رفع خطا بسیار طولانی شده و خسارات زیادی را به شرکتهای توزیع و مصرف‌کنندگان تحمیل می‌نماید. درحالیکه با تغییر آرایش شبکه می‌توان بسیاری از بخشهایی را که دچار خطا نیستند با توجه به توپولوژی شبکه بازیابی نمود.

۱-۲-۴-۲- کاهش تلفات

یکی دیگر از مهمترین ثمرات بازآرایی شبکه و در واقع یکی از اصلی‌ترین اهداف آن،کاهش تلفات شبکه توزیع است. همانطور که می‌دانیم در شبکه‌های توزیع هر مصرف‌کننده‌ای دارای یک مسیر تا منبع تغذیه (پست فوق توزیع) می‌باشد. حال اگر با تغییر توپولوژی شبکه (تغییر مسیر تغذیه) بتوان شرایطی را فراهم نمود که هر مصرف کننده از منبعی تغذیه شود که مسیری با تلفات کمتر نسبت به مسیر قبلی داشته باشد می‌توان تلفات شبکه را کاهش داد. بنابراین همواره آرایشی وجود دارد که دارای کمترین تلفات است.

باید به این نکته توجه داشت که کاهش تلفات از این راه بدون نیاز به سرمایه‌گذاری و خرید تجهیزات و اصلاح شبکه می‌باشد و تنها با تغییر در آرایش شبکه موجود به دست می‌آید. لذا بازگشت سرمایه خوبی در پی خواهد داشت.

به عنوان مثال، در شکل (۱-۳) در حالت عادی کلید A در وضعیت بسته و کلید B در وضعیت باز قرار دارد و بارهای $L1$ و $L2$ از فیدر $F1$ تغذیه می‌شوند و R مقاومت خطوط می‌باشد. تلفات توان در طول خط در این حالت چنین خواهد بود:



شکل (۱-۳): مثالی ساده برای تشریح بازآرایی شبکه[۲]

$$I_{F1} = I + I = 2I \Rightarrow I_{F2} = 0 \Rightarrow \begin{cases} P_{LOSSF1} = RI_{F1}^2 = 4RI^2 \\ P_{LOSSF2} = 0 \end{cases} \Rightarrow \mathrm{P_{LOSS\ total}} = 4RI^2 \quad (۱-۱)$$

حال اگر با تغییر آرایش در شبکه شکل (۱-۳) کلید A باز و کلید B بسته گردد بار فیدر $L2$ از فیدر $F1$ جدا شده و از طریق فیدر $F2$ تغذیه می‌شود. در این حالت برای تلفات توان در طول خط داریم:

$$I_{F1} = I_{F2} \Longrightarrow \begin{cases} P_{LOSSF1} = RI^2 \\ P_{LOSSF2} = RI^2 \end{cases} \Longrightarrow P_{Loss\ total} = 2RI^2 \qquad (۲-۱)$$

با مقایسه تلفات کل توان در دو حالت فوق می‌بینیم که با انجام بازآرایی میزان تلفات نصف شده‌است. در واقع انجام بازآرایی در یک شبکه توزیع نیز همانند مثال ساده فوق صورت می‌گیرد[۲].

با بازآرایی فیدر می‌توان با انتقال بارها از یک فیدر با بار زیاد به یک فیدر با بار کم، باعث متعادل‌شدن بار فیدرها و در نتیجه کاهش تلفات در کل سیستم و نیز بهره برداری مناسب از اجزا شبکه شد. کاهش تلفات در سیستم توزیع مزایای فراوانی به همراه دارد که این مزایا هزینه‌های ناشی از نصب تجهیزات و عملیات لازم برای کاهش تلفات را توجیه می‌نماید. این مزایا عبارتند از[۳]:

- آزاد شدن ظرفیت تولید
- آزاد شدن ظرفیت شبکه انتقال
- آزاد شدن ظرفیت ایستگاههای انرژی (پستهای انتقال و توزیع)
- کاهش تلفات انرژی
- آزاد شدن ظرفیت فیدرهای توزیع

مزایای فوق الذکر نه تنها درآمد شرکتهای توزیع را افزایش می‌دهد، بلکه حتی می‌تواند سرمایه‌گذاری برای توسعه سیستم توزیع را حذف نموده یا به تاخیر اندازد.

۱-۲-۴-۳- بهبود پروفیل ولتاژ

وجود ولتاژ در محدوده مجاز استاندارد، یکی از فاکتورهای مهم کیفیت برق به شمار می‌رود. شبکه‌های شعاعی در انتهای خود معمولا دچار ضعف ولتاژ می‌باشند. بازآرایی با توجه به تغییر مسیر

جریان می‌تواند پروفیل ولتاژ شبکه را تا حدودی اصلاح نماید که این موضوع تقریبا مترادف با کاهش تلفات می‌باشد و عموماً همزمان با آن صورت می گیرد.

۱-۲-۴-۴- تعمیرات دوره‌ای تجهیزات و توسعه شبکه

شبکه‌های توزیع همراه دستخوش تغییرات و توسعه جدید می‌باشند. بنابراین خاموشیهای با برنامه جهت تعمیرات دوره‌ای و توسعه شبکه، همواره یکی از مسائل روزمره شرکتهای توزیع به شمار می‌رود. با تغییر آرایش شبکه می‌توان تعداد مشترکینی که در این مواقع بی‌برق می‌شوند را به حداقل رساند. همچنین در زمانی که خط یا پستهای فوق توزیع در دست تعمیر و بی‌برق هستند می‌توان شبکه توزیع را با تغییر آرایش از خط یا پست فوق توزیع دیگر برقدار نمود.

۱-۲-۴-۵- متعادل نمودن بار خطوط توزیع

یکی از مشکلاتی که شبکه‌های توزیع همواره با آن دست به گریبان هستند، عدم تعادل بار بین خطوط توزیع می‌باشد. این امر سبب عدم استفاده بهینه از شبکه می‌شود؛ بطوریکه ممکن است از یک خط کمتر از ظرفیت نامی و از خط دیگر بیشتر از ظرفیت نامی بهره‌برداری شود که موجب افزایش تلفات، ضعف ولتاژ و گاهی خاموشی مشترکین می‌گردد. با بازآرایی شبکه می‌توان بار را از فیدرهای پربار به روی فیدرهای کم بارتر منتقل نمود.

۱-۲-۵- روشهای تحلیل مسئله بازآرایی

تغییر آرایش و بازآرایی شبکه توزیع شامل تغییر در وضعیت نقاط مانور شبکه می‌باشد. با توجه به اینکه تغییرات، بر روی شبکه موجود و بدون نیاز به تهیه و نصب تجهیزات جدید صورت می‌گیرد، به جز هزینه محاسبات و اجرای بازآرایی هیچ هزینه دیگری را در برنخواهد داشت و از لحاظ اقتصادی از

با صرفه‌ترین روشهای کاهش تلفات به شمار می‌رود. شبکه‌های توزیع معمولا دارای نقاط مانور زیادی می‌باشند. حال چنانچه بخواهیم همه آرایشهای این شبکه را در نظر بگیریم به تعداد بسیار زیادی از آرایشهای مختلف برخورد خواهیم نمود. مثلاً یک شبکه با ۳۰ نقطه مانور دارای $2^{30} = 1'073'741'824$ آرایش متفاوت است. البته بسیاری از این آرایشها واجد شرایط لازم برای انتخاب نیستند. لذا روشهایی که جهت بهینه‌سازی مسئله تغییر آرایش شبکه به کار می‌روند باید دارای الگوریتمهای جهت شناسایی آرایشهای واجد شرایط باشد.

به طور کلی روشهای بهینه‌سازی ابتدا باید دارای الگوریتم جستجوی آرایشهای مختلف باشند و بتوانند آرایشهای مقبول را از سایر آرایشها تشخیص دهند. سپس باید قادر باشند مقدار پارامتری که بهینه شدن آن مطلوب مسئله است (به طور مثال تلفات شبکه یا پروفیل ولتاژ) را تعیین نمایند.

تاکنون روشهای جستجوی گوناگونی جهت یافتن آرایشهای جدید از شبکه ارائه شده است که می‌توان آنها را به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱- الگوریتمهای ابتکاری[۴]

۲- الگوریتمهای فرا ابتکاری[۵]

۱-۲-۵-۱- روشهای ابتکاری

روشهای ابتکاری الگوریتم‌هایی هستند که برای یافتن جواب‌های مناسب و سریع و نه لزوماً بهینه طراحی می‌شوند. به عبارت دیگر این الگوریتم‌ها، ضمانتی برای پیدا کردن جواب‌های بهینه ارائه نمی‌کنند، ولی جواب‌های مناسب و قابل قبولی را به ما می‌دهند.

این روشها دارای قاعده خاصی برای حل همه مسائل بهینه‌سازی نبوده و برای هر مسئله با توجه به شرایط آن ممکن است راهگشا باشند. روشهای ابتکاری معمولاً در جستجوی الگوریتمهایی هستند

[4]- *Heuristic*
[5]- *Meta-heuristic*