

عنوان پروژه: بهینه سازی محل و اندازه خازن شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم ترکیبی PSO و GSA
چکیده:

با توجه به تحولات صورت گرفته در بحث مدیریت سیستم قدرت و تجدید ساختار در صنعت برق، بازدهی سیستم قدرت اهمیت بیشتری پیدا کرده است و کاهش تلفات به یکی از اهداف مهم بهره‌برداران طراحان و سرمایه‌گذاران سیستم قدرت تبدیل شده است. در این میان، بازدهی شبکه توزیع به دلیل ارتباط مستقیم با مصرف‌کنندگان و سهم بالای تلفات، مورد توجه بیشتری است. از جمله عوامل مهم در افزایش تلفات در شبکه توزیع وجود جریان‌های راکتیو است. متداول‌ترین روش جبران توان راکتیو در سیستم‌های قدرت استفاده از خازن‌های موازی می‌باشد. از مهم‌ترین مزایای خازن‌گذاری علاوه بر کاهش تلفات می‌توان به کاهش تلفات پیک، آزادسازی ظرفیت شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ اشاره کرد. مسئله مورد توجه در خازن‌گذاری تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها به نحوی است که سود حاصل از آنها بیشینه شود.

برای رسیدن به این هدف استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند لازم و ضروری است. دو الگوریتمی که در ابتدا برای این کار در نظر گرفته شدند، الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم جستجوی گرانشی بودند. در الگوریتم ازدحام ذرات از رفتار جمعی و گروهی پرندگان مهاجر الهام گرفته، الگوریتم جستجوی گرانشی بر اساس قانون جاذبه و عکس‌العمل بین اجسام (استعمار محور) نوشته شده است و هر دو این الگوها از دسته‌ی الگوریتم‌های هوشمند هستند.

سپس، بعد از مطالعه‌ی جامع این دو الگوریتم، یک الگوریتم ترکیبی جدید برای حل مسئله‌ی تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن در شبکه برای انجام پایان نامه ارائه گردید. این الگوریتم پیشنهادی از تکنیک‌های دگرگونی استفاده می‌کند تا موقعیت ذره را همزمان هم با استفاده از سرعت بدست آمده در ازدحام ذرات و شتاب بدست آمده در الگوریتم جستجوی گرانشی به روز رسانی نماید. به دلیل آن، از این الگوریتم ترکیبی انتظار می‌رود تا یک تعادل مفیدی بین استعمار و جستجو برقرار نماید.

1 فصل اول

کلیات تحقیق

1.1 مقدمه

امروزه بشر با توجه به پیشرفتی که در تکنولوژی کرده است، بیش از هر زمان دیگر نیاز به مواد اولیه و منابع انرژی دارد. از این رو حفظ و استفاده‌ی مطلوب از مواد اولیه و منابع انرژی برای او اهمیت زیادی پیدا کرده است. یکی از این منابع، انرژی الکتریکی است که گرچه به عنوان یک منبع واسطه‌ای معرفی می‌شود، به دلیل ویژگی‌های خاص و استفاده گسترده، این انرژی دارای جایگاه ویژه‌ای در بین سایر انواع منابع انرژی شده است. در بین انواع منابع مختلف انرژی، انرژی الکتریکی نقش بسزایی در بهبود سطح زندگی مردم و اقتصاد یک جامعه دارد به طوری که امروزه به عنوان یکی از فاکتورهای پیشرفت کشورها محسوب می‌شود.

برای تهیه‌ی انرژی الکتریکی هزینه‌های بسیار زیادی اعم از مواد اولیه و سرمایه به کار می‌رود. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های زنجیره تامین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان، شبکه‌های توزیع هستند. این قسمت از زنجیره تامین انرژی به دلیل تعدد ادوات، گستردگی آن، وجود بارهای تک فاز و سطح ولتاژ پایین، بیشترین سهم تلفات را در کل سیستم قدرت دارد. بنابر اهمیت این مسئله، روش‌های مختلفی برای کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده است. یکی از مفیدترین این روش‌ها خازن‌گذاری در شبکه است. اوایل شکل‌گیری شبکه‌های قدرت، از خازن‌ها تنها برای جبران افت ولتاژهاب محلی و بهبود ضریب توان استفاده می‌شد. اما پیشرفت مطالعات نشان داد که در صورتی که خازن‌ها در محل‌ها و ظرفیت‌های معینی در شبکه قرار گیرند، تلفات شبکه به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. لذا باب جدیدی در حوزه خازن‌گذاری تاسیس شد که در آن به دنبال تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها با اهداف مختلف بودند.

2.1 بیان مسئله

با استفاده روزافزون از انرژی الکتریکی در جوامع امروزی، شبکه‌های قدرت به یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌ها در هر کشوری تبدیل شده است. هدف یک سیستم قدرت، تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشتریان با کمترین قیمت و بالاترین کیفیت است. انرژی الکتریکی ابتدا در نیروگاه‌ها تولید شده و سپس به وسیله شبکه انتقال به شبکه توزیع می‌رسد. شبکه توزیع آخرین حلقه سیستم انتقال انرژی الکتریکی است و مهم‌ترین وظیفه، یعنی تغذیه مصرف‌کنندگان را بر عهده دارد. شبکه توزیع به‌عنوان اصلی‌ترین جزء سیستم قدرت، بیشترین سرمایه‌گذاری را به خود اختصاص می‌دهد. طبق آمار موجود 40 درصد هزینه‌های شبکه قدرت مربوط به بخش توزیع است [1]. این حجم سرمایه‌گذاری و هزینه نشان‌دهنده اهمیت اقتصادی شبکه توزیع است. با توجه به حجم سرمایه‌گذاری در این بخش، طراحی، برنامه‌ریزی، ساخت و بهره‌برداری بهینه از این شبکه حائز اهمیت است. به علت تعدد ادوات و گستردگی شبکه توزیع و همچنین ویژگی‌های دیگری از جمله بارهای تک فاز و سطح ولتاژ پایین، این شبکه بیشترین سهم تلفات را در کل سیستم قدرت دارد [2]. آمارهای موجود نشان می‌دهند که در بسیاری از شبکه‌های برق - رسانی، بیش از 70 درصد کل تلفات مربوط به شبکه‌های توزیع است. با توجه به تحولات صورت گرفته در بحث مدیریت سیستم قدرت و تجدید ساختار در صنعت برق، بازدهی سیستم قدرت اهمیت بیشتری پیدا کرده است و کاهش تلفات به یکی از اهداف مهم بهره‌برداران طراحان و سرمایه‌گذاران سیستم قدرت تبدیل شده است. در این میان، بازدهی شبکه توزیع به دلیل ارتباط مستقیم با مصرف‌کنندگان و سهم بالای تلفات، مورد توجه بیشتری است. در راستای کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع و فوق‌توزیع، تا کنون روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. از جمله روش‌های کاهش تلفات عبارت‌اند از: بهره‌مندی از تولیدات پراکنده، پیکربندی دوباره شبکه و مدیریت بار در سیستم‌های توزیع. یکی دیگر از مهم‌ترین این روش‌ها، خازن‌گذاری در شبکه می‌باشد. بهره‌گیری از خازن‌ها علاوه بر کاهش تلفات می‌تواند به اصلاح ضریب

توان، بهبود پروفیل ولتاژ و آزاد شدن ظرفیت فیدر در شبکه منجر شود. برای بهره‌مندی از این مزایا تحت محدودیت‌های عملکردی مختلف، تعیین محل، نوع و ظرفیت بهینه خازن‌ها ضروری می‌باشد.

3.1 اهمیت و ضرورت تحقیق

همان‌طور که در دو قسمت فوق بیان گردید، هدف یک سیستم قدرت، تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشتریان با کمترین قیمت و بالاترین کیفیت است. در حالی که به طور همزمان تقاضای بار و دیگر محدودیت‌های عملیاتی را نیز ارضا نماید. لذا مسئله‌ی گفته شده مشکل بهینه‌سازی یک تابع دوهدفه‌ی همراه با محدودیت‌ها را به وجود می‌آورد که این کار یافتن جواب بهینه‌ی کلی را سخت می‌کند.

آمارها نشان می‌دهند که در بسیاری از شبکه‌ها، بیش از 70 درصد کل تلفات مربوط به شبکه‌های توزیع است. در راستای کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع و فوق‌توزیع، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها، خازن‌گذاری در شبکه می‌باشد. بهره‌گیری از خازن‌ها علاوه بر کاهش تلفات می‌تواند به اصلاح ضریب توان، بهبود پروفیل ولتاژ و آزاد شدن ظرفیت فیدر در شبکه منجر شود. برای بهره‌مندی از این مزایا تحت محدودیت‌های عملکردی مختلف، تعیین محل، نوع و ظرفیت بهینه خازن‌ها ضروری می‌باشد. تحقیقات بسیار زیادی بر روی مساله محل و ظرفیت بهینه خازن در شبکه برای انجام پایان نامه مهندسی برق انجام شده است. فرمولاسیون‌های مختلف این مساله در مراجع [3-6] آورده شده است. تا کنون روش‌های مختلفی برای حل مساله قرارگیری خازن در شبکه پیشنهاد شده است. [7] این روش‌ها را به چهار دسته تقسیم‌بندی کرده است. این روش‌ها عبارت‌اند از: روش‌های تحلیلی [8, 9]، روش‌های برنامه‌ریزی عددی [10]، روش‌های فرا ابتکاری [3, 11]، و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی [12-14]. گرینجر¹ و سیوانلر² [8] از یک روش تحلیلی برای حل مساله خازن‌گذاری استفاده

¹ Grainger

² Civanlar

کرده‌اند. در مرجع [15] استفاده از الگوریتم ژنتیک برای مساله خازن‌گذاری پیشنهاد شده است. ساندھراجان³ و پهوا⁴ [16] روشی مبتنی بر حساسیت تلفات و الگوریتم ژنتیک برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها ارائه کردند. قوس⁵ و همکاران [17]، از ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و تبرید حرارتی برای حل این مساله استفاده کردند. ردی⁶ و سیدیولو⁷ [18]، روشی مبتنی بر شاخص تلفات توان و الگوریتم ژنتیک برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها استفاده کردند. داس⁸ و همکاران [19] الگوریتمی مبتنی بر قوانین هیوریستیک و روش چند هدفه فازی ارائه کردند.

روش‌های پیشنهادی تاکنون، عمدتاً به خوبی پاسخگوی این مساله نیستند. چرا که یا تنها برای شبکه‌های شعاعی درست هستند؛ و یا بطور کلی قادر به یافتن پاسخ بهینه مطلق نیستند. با توجه به اینکه این مساله، یک مساله غیرخطی نامحدب⁹ می‌باشد، عمدتاً روش‌های مبتنی بر جمعیت بهتر از روش‌های تحلیلی جواب می‌دهند. با توجه به توضیحات فوق و توجه به ذات مسئله، مشاهده می‌شود که تعریف و یا انتخاب یک الگوریتم مناسب جهت حل این مسئله ضروری به نظر می‌رسد. الگوریتمی که ضمن سرعت و دقت بالا، بتواند خواسته‌های مسئله را به درستی پاسخ دهد. از آنجایی که هیچ‌کدام از این روش‌ها مطلقاً کامل نیستند و اشکالاتی دارند، لذا ادغام آن‌ها با هم نیز می‌تواند جواب‌های بهتری بدست دهد. مخصوصاً که دو الگوریتم در نظر گرفته شده برای ادغام، رفتار مشابه و مشترکی با هم داشته باشند [20]. استفاده از الگوریتم ترکیبی *HPSO*¹⁰ که ترکیبی از این دو الگوریتم فوق‌الذکر است، می‌تواند گفته‌های فوق را در انجام پایان نامه به مرحله‌ی عمل برساند [21].

³ Sundhararajan

⁴ Pahwa

⁵ Ghose

⁶ Reddy

⁷ Sydulu

⁸ Das

⁹ Non-convex

¹⁰ Hybrid Particle Swarm Optimization (HPSO)

4.1 اهداف تحقیق

اهداف از پایان‌نامه‌ی حاضر را می‌توان به طور خلاصه به شرح زیر ارائه کرد:

1.4.1 هدف اصلی

در این پایان‌نامه، مسئله‌ی تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه‌های توزیع به منظور کمینه‌سازی تلفات توان و در نتیجه کمینه‌سازی هزینه‌ی بهره‌برداری شبکه می‌باشد. برای این منظور سعی شده است تا با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند¹¹ و الهام گرفته از طبیعت، از قبیل الگوریتم ازدحام ذرات و جستجوی گرانشی و الگوریتم ترکیبی جدید، مسئله‌ی فوق حل شود. در روش پیشنهادی تبادل اطلاعات بین ذرات بر اساس قوانین نیوتن و گرانش انجام گرفته و این عامل سبب شده است تا تمام ظرفیت الگوریتم ازدحام ذرات در یافتن جواب بهینه به کار گرفته شود.

در این پایان‌نامه سعی شده تا محدودیت‌های فنی نیز در تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در نظر گرفته شوند. از جمله مهم‌ترین قیود فنی، محدودیت اضافه ولتاژ حالت ماندگار، ظرفیت گرمایی خطوط و محدودیت‌های کیفیت توانی مثل هارمونیک مجاز می‌باشد. این محدودیت‌ها به عنوان فعال‌کنندگان تابع جریمه عمل می‌کنند و در صورتی که هر یک از محدودیت‌های مذکور برقرار نباشند، جریمه‌ی بزرگی به تابع هدف اضافه خواهد شد.

2.4.1 اهداف فرعی

هدف دیگری که در این پایان‌نامه دنبال می‌گردد، این است که عملکرد الگوریتم جدید بررسی شده و کارایی آن در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر نشان داده شود. برای این کار از معیارهایی از قبیل دقت

¹¹ Heuristic

محاسبات، تعداد تکرارهای لازم، زمان و سرعت همگرایی، میانگین و انحراف معیار داده‌ها استفاده شده است.

5.1 سؤال‌های تحقیق

با توجه به هدف کلی این پایان‌نامه، چند پرسش اساسی زیر پیش می‌آید.

اولین و اصلی‌ترین سؤال این است که آیا امکان بهبود حل تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها با استفاده از الگوریتم ترکیبی اجتماع ذرات و جستجوی گرانشی (*HPSO – GSA*) برای سیستم قدرت امکان پذیر است؟

و سؤال دوم که در ادامه‌ی پرسش بالا به وجود می‌آید، این است که در صورت وجود بهبودی، آیا تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها با استفاده از این الگوریتم ترکیبی مزیت‌هایی نسبت به روش‌های دیگر دارد یا خیر و این مزیت‌ها در چه جنبه‌هایی هستند؟

ورود خازن‌ها به شبکه‌های توزیع چه اثراتی از نظر بهره‌برداری خواهد داشت؟ آیا همواره این اثرات مطلوب هستند؟

و به عنوان آخرین سوال آیا روش‌های ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به دیگر روش‌های ارائه شده در تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها دارند؟

6.1 کلیات روش تحقیق

در این پایان‌نامه تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه توزیع، تئوری، قیود و روابط آن شرح داده شده است. ولی محوریت کلی موضوع روی روش بهینه‌سازی آن بوده است. به گونه‌ای که در شبیه‌سازی‌ها

و تحلیل‌هایی که بعد از آن انجام شده است، محوریت روی مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده، به خصوص الگوریتم پیشنهادی جدید بوده است. لذا در کل این پایان‌نامه می‌تواند به سه قسمت تقسیم‌بندی شود:

1- ابتدا انواع خازن‌های موجود در شبکه‌های قدرت، مزایای استفاده از آنها، هزینه آنها و انواع روش‌های خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرند.

2- با توجه به اینکه روش پیشنهادی این پایان‌نامه برای خازن‌گذاری در شبکه مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری است، در قسمت دوم این روش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه دو الگوریتم فراابتکاری PSO و GSA و در نهایت ترکیب این دو الگوریتم بررسی خواهند شد.

7.1 پیکربندی پایان‌نامه

این پایان‌نامه از 5 فصل به شرح زیر تشکیل شده است.

در فصل اول ابتدا مقدمه‌ای بر کلیات پایان‌نامه آورده شده است. سپس مسئله‌ی تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه توزیع بیان شده و اهمیت و ضرورت‌های آن مورد بحث قرار گرفته است. در ادامه اهداف اصلی و فرعی، و سؤالاتی که در راستای پاسخ‌گویی به آن‌ها این پایان‌نامه انتخاب گردیده را بیان نموده‌ایم.

در فصل دوم ابتدا انواع خازن‌های موجود در شبکه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. سپس مزایای خازن‌های موازی به تفکیک بررسی خواهند شد. پس از آن توضیحاتی در مورد هزینه سرمایه‌گذاری خازن‌ها ارائه خواهد شد. در نهایت با توجه به اهمیت مسئله خازن‌گذاری در شبکه، مهم‌ترین روش‌های تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها معرفی خواهند شد.

در فصل سوم بحث را با الگوریتم‌های بهینه‌سازی آغاز کرده، و بعد از طبقه‌بندی انواع آن، الگوریتم‌های PSO، GSA و ترکیب الگوریتم‌های PSO و GSA مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در فصل چهارم ابتدا مسئله تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه به‌طور کامل فرمول‌بندی می‌شود. سپس روش پیشنهادی برای حل مساله بیان می‌شود. در نهایت روش پیشنهادی 33 باسه‌ی استاندارد IEEE اعمال گردیده و نتایج شبیه‌سازی‌ها در این فصل آورده شده است.

در فصل پنجم نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطالعات انجام‌شده، آورده شده و پیشنهادهایی برای ادامه پژوهش ارائه خواهد شد.

2 فصل دوم

خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع

1.2 مقدمه

سیستم‌های توزیع انرژی سیستم‌هایی با خاصیت انحصار ذاتی هستند. به عبارت دیگر مصرف‌کننده هر منطقه تنها قادر به خرید برق از سیستم توزیع منطقه خود می‌باشد. با توجه به این انحصار ذاتی سیستم توزیع، نهادهای نظارتی برای نظارت بر این سیستم‌ها ایجاد شده‌اند. در سیستم‌های توزیع، با توجه به پایین بودن سطح ولتاژ و در نتیجه بالا بودن سطح جریان، تلفات بالایی وجود دارد. وجود این تلفات بالا در شبکه در نهایت به ضرر مصرف‌کننده است، زیرا در نهایت مالکان شبکه‌های توزیع برق را به قیمتی در اختیار مردم قرار می‌دهند که توان تلف شده را نیز تامین مالی کنند. با توجه به انحصار ذاتی سیستم‌های توزیع، نهادهای نظارتی از منظرهای مختلف سیستم‌های توزیع را کنترل می‌کنند. از مهم‌ترین فاکتورهای مدنظر نهادهای نظارتی، ولتاژ محل مصرف و تلفات شبکه توزیع می‌باشد. یعنی ولتاژ تحویلی به مصرف‌کننده باید در محدوده مشخصی قرار داشته باشد و تلفات شبکه نیز از حد معینی کمتر باشد. لذا کاهش تلفات و بهبود کارایی تحویل انرژی الکتریکی از مهم‌ترین مسائل شبکه‌های توزیع در انجام پایان نامه مهندسی برق می‌باشد. هر ساله هزینه‌های هنگفتی برای جبران‌سازی تلفات انرژی الکتریکی در سیستم‌های قدرت صرف می‌شود. با توجه به اینکه سیستم‌های توزیع دارای بیشترین میزان تلفات در شبکه هستند، عمده این هزینه‌ها مربوط به شبکه‌های توزیع می‌باشد. با توجه به این هزینه‌ها، باید با شناخت عوامل ایجادکننده تلفات در جهت حذف این عوامل و در نتیجه کاهش تلفات قدم‌های موثری برداشته شود. یکی از منابع مهم ایجاد تلفات در شبکه‌های توزیع، توان راکتیو جاری در خطوط می‌باشد. یکی از بهترین راه‌های کاهش توان راکتیو خطوط، استفاده از خازن‌ها می‌باشد. البته خازن‌ها مزایای دیگری نیز دارند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به بهبود پروفیل ولتاژ اشاره کرد. در واقع با استفاده از خازن‌ها می‌توان دو مورد از مهم‌ترین شاخص‌های مورد توجه نهادهای نظارتی را بهبود قابل توجهی بخشید.

در این فصل ابتدا در مورد خازن‌های قدرت توضیحاتی داده می‌شود. سپس مزایای آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه انواع روش خازن‌گذاری در شبکه در انجام پایان نامه بررسی می‌شوند. در نهایت نیز کمی در مورد سیستم‌های توزیع، توضیح داده می‌شود.

2.2 خازن‌های قدرت

در نگاهی گذرا به نظر می‌رسد که خازن یک وسیله بسیار ساده یعنی دو صفحه فلزی است که با یک ماده عایقی دی‌الکتریک از هم جدا شده‌اند. خازن بخش متحرک ندارد و با اعمال فشار الکتریکی کار می‌کند.

اولین خازن‌های ساخته شده به کمک کاغذ کرافت^{۱۲} به عنوان دی‌الکتریک فعال و آسکارل^{۱۳} به عنوان مایع آغشته کننده ساخته شدند. این خازن‌ها که تا 100 کیلووار هم تولید می‌شدند، به خازن کاغذی معروف بودند. با معرفی فیلم‌های پلاستیکی عایق از جنس پولیپروپیلین^{۱۴} طراحی خازن‌ها تغییر کرد و خازن‌ها با ظرفیت بزرگتر به کمک دی‌الکتریک‌های متشکل از ترکیب کاغذ کرافت و فیلم پلاستیک وارد بازار شدند [22]. دسته دیگری از خازن‌ها، گروهی بودند که از PCB^{۱۵} ها به عنوان مایع آغشته کننده استفاده شده است. البته بعداً به خاصیت تجزیه‌ناپذیری PCBها و در نتیجه ماندگار بودن آنها در محیط زیست پی برده شد. در نتیجه همه خازن‌هایی که امروزه تولید می‌شوند، فاقد مایع دی‌الکتریک PCB تجزیه‌ناپذیر هستند.

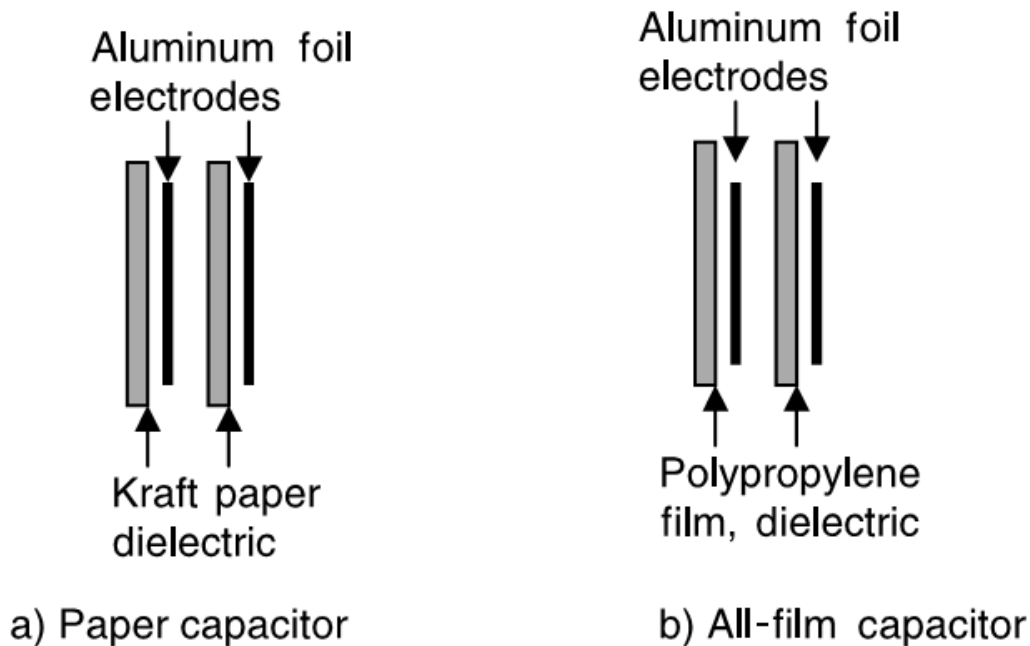
¹² Kraft paper

¹³ Askarel

¹⁴ Polypropylene

¹⁵ Polychlorinated biphenyls

خازن‌هایی که تنها از فیلم برای طراحی آنها استفاده شده است، خازن‌هایی با تلفات کمتر، ایمنی بیشتر به دلیل کاهش احتمال ترکیدن تانک و قابلیت اطمینان بالاتر به دلیل دمای عملکردی کمتر هستند. شکل 1-0 مفهوم دی‌الکتریک در خازن‌های کاغذی و فیلمی را نشان می‌دهد.



شکل 1-0. المان‌های پایه یک خازن کاغذی و یک خازن تمام فیلم

امروزه خازن‌های قدرت موجود نسبت به گذشته بازده بیشتر و هزینه برکیلو وار کمتر دارند. به طور کلی، امروزه بیش از گذشته به خازن‌ها توجه می‌شود که تا حدی به علت اضافه شدن بعد جدیدی در تحلیل‌ها یعنی اقتصاد متغیر است. در پاره ای شرایط، حتی تعویض خازن‌های قدیمی‌تر بر مبنای ارزیابی تلفات کمتر خازن‌های جدید توجیه می‌شود.

3.2 خازن‌گذاری و مزایای آن در شبکه

خازن‌های موازی رایج‌ترین نوع خازن‌ها استفاده شده در شبکه‌های توزیع می‌باشند. این خازن‌ها، با کشیدن جریان پیش فاز، همه یا بخشی از توان راکتیو مصرفی را جبران می‌کنند. به عبارت دیگر، این خازن‌ها همان اثر ژنراتور یا موتور سنکرون فوق‌تحریک را دارد. با بکارگیری خازن موازی در یک فیدر می‌توان

جریان بار را کم و ضریب توان مدار را بهبود بخشید. اصلی‌ترین وظیفه خازن‌های موازی در شبکه قدرت اصلاح ضریب توان است. از مزایای تصحیح ضریب توان در اجرای پایان‌نامه می‌توان به کاهش تلفات خطوط و ترانسفورمرها، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش حداکثر تقاضا و تصحیح کیفیت توان است. لازم به ذکر است که خازنهای موازی در شبکه‌های توزیع شعاعی، اثری بر جریان یا ضریب توان بارهای بعد از نقطه نصب ندارند. خازن‌ها در سیستم‌های توزیع روی تیر برق یا درون پست‌ها نصب می‌گردند. در سیستم‌های صنعتی خازن‌های اصلاح ضریب توان برای بارهای گروهی یا تکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. خازن‌ها درون یک محفظه قرار می‌گیرند و اغلب به گونه‌ای طراحی شده‌اند که نیازی به نگهداری ندارند.

4.2 انواع جبران‌سازی

منظور از جبران‌سازی تامین توان راکتیو مصرفی بارها به هر طریقی می‌باشد. عمده‌تاً در سیستم‌های توزیع از خازن‌ها به عنوان جبران‌ساز استفاده می‌شود. جبران‌سازی به سه روش کلی انجام می‌گیرد که عبارت‌اند از:

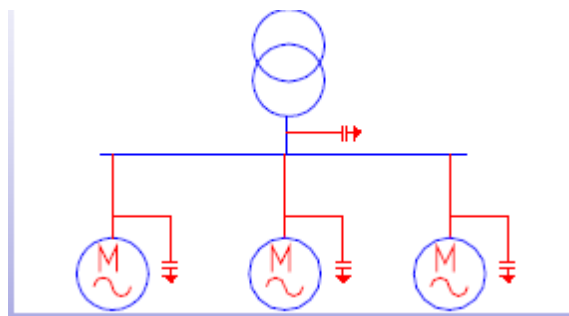
- جبران‌سازی گروهی
- جبران‌سازی مرکزی
- جبران‌سازی ترکیبی

در ادامه به مختصر هر یک از این سه روش توضیح داده خواهند شد.

1.4.2 جبران‌سازی انفرادی

این جبران‌سازی، ساده‌ترین نوع جبران‌سازی است. در این روش یک خازن با مقدار مناسب برای تامین همه یا بخشی از توان راکتیو، در کنار مصرف‌کننده قرار می‌گیرد. در این صورت دیگر توان راکتیو مصرف-

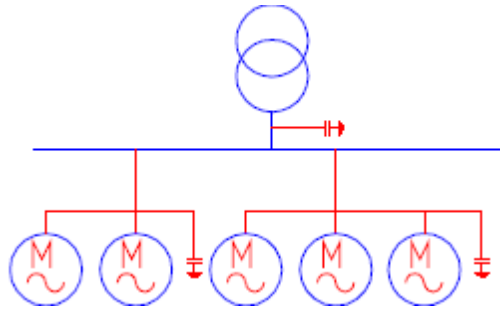
کننده از شبکه عبور نخواهد کرد و در نتیجه تلفات به حداقل مقدار ممکن خواهد رسید. در صورت استفاده از این روش برای جبران یک کارخانه، خازن‌ها در تمام سطح کارخانه پخش خواهند شد. البته این روش جبران مقرون به صرفه نیست، زیرا این روش به تعداد زیادی خازن نیاز دارد. هر چقدر که تعداد خازن‌ها بیشتر باشد، فضای بیشتری برای نصب آنها نیز است. همچنین هزینه نصب و تعمیرات و نگهداری از آنها نیز به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. شکل 2-0 این نوع جبران‌سازی در نشان می‌دهد.



شکل 2-0. شماتیک جبران‌سازی انفرادی

2.4.2 جبران‌سازی گروهی

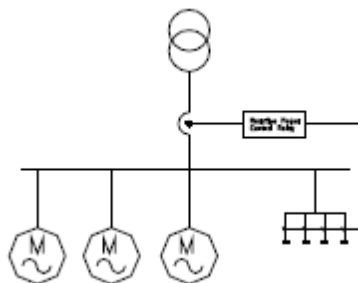
در این روش به جای استفاده از تعداد زیادی خازن کوچک برای هر مصرف‌کننده توان راکتیو، از یک خازن بزرگ یا یک بانک خازنی برای جبران‌سازی استفاده می‌شود. این روش نسبت به حالت قبل صرفه اقتصادی بیشتری دارد. این روش معمولاً در جاهایی که مصرف‌کنندگان به صورت یک گروه هستند، کاربرد دارد. به عنوان مثال در یک قسمت از یک کارخانه که تعداد زیادی موتور القایی در کنار هم کار می‌کنند، بهترین نوع جبران، این نوع می‌باشد. شکل 3-0 این نوع جبران‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل 3-0. شماتیک جبران سازی گروهی

3.4.2 جبران سازی مرکزی

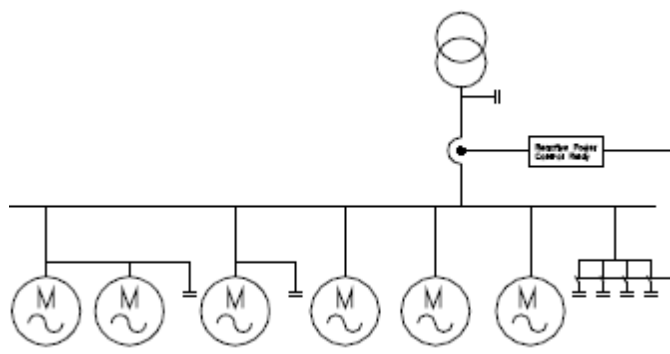
این نوع جبران ساز در ورودی فشار ضعیف یک مصرف کننده بزرگ توان راکتیو نصب می شود. این روش نسبت به دو روش قبل دارای قابلیت کنترل بیشتری می باشد. این نوع جبران ساز از یک کنترلر مرکزی و یک مجموعه جبران کننده توان راکتیو تشکیل شده است. این کنترلر مرکزی با توجه به میزان توان راکتیو مورد نیاز، به کلیدهای جبران سازها فرمان قطع و وصل صادر می نماید. به عنوان مثال واحد کنترل با اندازه گیری ضریب توان مصرف کننده بزرگ، خازن ها را به گونه ای روشن و خاموش می کند که همواره ضریب توان در عدد معینی ثابت بماند و یا از حد معینی بیشتر باشد. با توجه به ضریب همزمانی مصرف کننده های واقع در واحد صنعتی، این روش جبران سازی به توان خازنی کمتری نسبت به جبران سازی انفرادی یا گروهی نیاز دارد. این روش را در صورتی که مقاطع کابل ها و سیم های داخل کارخانه اجازه دهد، همیشه می توان استفاده کرد. شکل 4-0 این نوع جبران سازی را نشان می دهد.



شکل 4-0. شماتیک جبران سازی مرکزی

4.4.2 جبران سازی ترکیبی

در این روش از ترکیبی از هر سه روش فوق استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که این روش به دلایل اقتصادی غالباً مقرون به صرفه است. شکل 5-0 این نوع جبران سازی را نشان می‌دهد.



شکل 5-0. شماتیک جبران سازی ترکیبی

5.2 توجیه اقتصادی خازن گذاری در شبکه‌های توزیع [22]

جبران توان راکتیو در سیستم توزیع باعث کاهش انتقال جریان راکتیو از نیروگاهها به سیستم توزیع می‌گردد که در پی آن تلفات سیستم قدرت کاهش می‌یابد. هنگامی که توان راکتیو را فقط نیروگاهها تامین می‌کنند، اندازه همه اجزای سیستم از جمله ژنراتور، ترانسفورمر، خطوط انتقال و توزیع و تجهیزات حفاظتی متناسباً افزایش می‌یابند. خازن‌ها می‌تواند با کاهش تقاضای توان راکتیو این شرایط را تعدیل کنند. نصب خازن‌های موازی برای اصلاح ضریب توان و کنترل هارمونیک از روش‌های بهینه بهبود عملکرد شبکه است. هنگام نصب خازن‌ها، هزینه‌های مختلفی باید در نظر گرفته شوند. این هزینه‌ها شامل، سرمایه اولیه^{۱۶}، هزینه نگهداری، ارزش بازیافتی^{۱۷} و درآمد سالیانه است. عوامل دیگری نیز مانند

¹⁶ Capital cost

¹⁷ Salvage cost

مالیات بر درآمد، استهلاک، اعتبار مالیاتی¹⁸، مالیات مستقالات و بیمه نیز در هنگام نصب خازن‌ها باید در نظر گرفته شوند. برای بررسی اقتصادی باید همه‌ی این عوامل در نظر گرفته شوند. در ادامه بررسی اقتصادی بانک‌های خازنی در انجام پایان نامه مهندسی برق آورده شده است.

- سرمایه اولیه بانک‌های خازنی: واحدهای خازنی در ظرفیت‌های 50 تا 400 کیلووار موجود هستند. این واحدها باید برای ایجاد کیلووار مورد نظر به صورت سری و موازی به هم متصل شوند. در نصب علاوه بر خازن‌ها، به راکتورها، مدارشکن‌ها، رله‌ها، تابلوها، برقگیرها و کابل‌ها نیز برای مونتاژ نیاز است.

- هزینه نصب: بانک‌های خازنی را می‌توان روی تیر برق، در پست و یا تابلوهای برق نصب کرد. در صورتی که هدف قرار دادن بانک خازنی در پست باشد، باید محل نصب بتن‌ریزی شود. لازم به ذکر است که هزینه نصب به کاربرد مورد نظر بستگی دارد و از پروژه‌های به پروژه دیگر متفاوت است.

- هزینه نگهداری: هزینه نگهداری به شدت به نوع طراحی و محل نصب بستگی دارد.

- ارزش بازیافتی: هر وسیله الکتریکی عمر مفیدی دارد. این عمر به نوع تجهیز، طراحی، نحوه نگهداری و شرایط کاری بستگی دارد. برخی مواقع ارزش تجهیز در انتهای عمر مفید صفر می‌باشد.

با توجه به همه این هزینه‌ها، باز هم از خازن‌ها به تعداد زیاد در شبکه‌های قدرت استفاده می‌شود. دلیل این امر به فوایدی که خازن‌ها از نظر اقتصادی دارند، باز می‌گردد. فواید اقتصادی نصب خازن در انجام پایان‌نامه به صورت موردی عبارت‌اند از:

- صرفه‌جویی ناشی از آزادسازی ظرفیت ترانسفورمر

¹⁸ Tax credit

- صرفه‌جویی ناشی از بهبود ضریب توان
- صرفه‌جویی ناشی از کاهش تلفات ترانسفورمر و فیدر
- صرفه‌جویی ناشی از عدم پرداخت جریمه ضریب توان
- صرفه‌جویی ناشی از کاهش دیماند kVA
- صرفه‌جویی ناشی از کاهش دیماند توان راکتیو

لازم به ذکر است که میزان صرفه‌جویی در یک محل خاص به تعرفه‌ها بستگی دارد. به دست آوردن همه صرفه‌جویی‌های فوق در هیچ کاربردی به طور همزمان امکان‌پذیر نیست.

1.5.2 صرفه‌جویی ناشی از آزادسازی ظرفیت ترانسفورمر

اگر ضریب توان بار با خازن موازی اصلاح شود، توان ظاهری کشیده شده از ترانسفورمر کاهش می‌یابد. مقدار کاهش توان ظاهری ترانسفورمر از رابطه (1-0) به دست می‌آید.

$$kVA_R = P \left(\frac{1}{pf_1} - \frac{1}{pf_2} \right) \quad (1-0)$$

در رابطه (1-0)، P توان حقیقی، pf_1 و pf_2 ضریب توان‌های قبل و بعد از خازن‌گذاری هستند. اگر C_{TR} هزینه سالانه هر کیلوولت آمپر در ترانسفورمر باشد، میزان صرفه‌جویی از رابطه (2-0) به دست می‌آید.

$$C_{TRS} = kVA_R \times C_{TR} \quad (2-0)$$

2.5.2 صرفه‌جویی ناشی از بهبود ضریب توان

اگر ضریب توان بار از pf_1 به pf_2 تصحیح شود، میزان صرفه‌جویی در توان راکتیو از رابطه (3-0) به دست می‌آید:

$$kVAR_S = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (3-0)$$

اگر C_{QD} هزینه هر کیلووات توان راکتیو باشد، میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها از رابطه (4-0) به دست می‌آید.

$$C_{kVAR} = C_{QD} \times kVAR_S \quad (4-0)$$

3.5.2 صرفه‌جویی ناشی از کاهش تلفات ترانسفورمر و فیدر

این صرفه‌جویی به طور غیر مستقیم بر هزینه تعرفه اثر می‌گذارد. اگر توان راکتیو جبران شود، جریان خطوط و ترانسفورمر کاهش یافته و در نتیجه تلفات اهمی آنها کم می‌شود. اگر جریان‌های I_1 و I_2 مقدار موثر جریان قبل و بعد از اصلاح ضریب توان و R ترکیب مقاومت ترانسفورمر و فیدر باشد، کاهش هزینه ناشی از کاهش تلفات از رابطه (5-0) به دست می‌آید.

$$C_L = 3C_W(I_1^2 - I_2^2)(R \times 8760 \times LF) \times 10^{-3} \quad (5-0)$$

در رابطه فوق LF ضریب تلفات، C_W هزینه الکتریسیته به ازای هر کیلووات ساعت، و 8760 تعداد ساعات موجود در هر سال است. ضریب بار به صورت نسبت متوسط تلفات بر ماکزیمم تلفات تعریف می‌شود.

4.5.2 صرفه‌جویی ناشی از عدم پرداخت جریمه ضریب توان

اگر ضریب توان بار به میزان قابل قبول شرکت برق (0.95 یا بیشتر) برسد، جریمه توان راکتیو منظور نمی‌شود. رابطه (6-0) مقدار صرفه‌جویی ناشی از عدم پرداخت جریمه را نشان می‌دهد که در آن C_{kVAR} هزینه هر کیلووات توان راکتیو می‌باشد.

$$C_{PF} = C_{kVAR} \times kVAR \quad (6-0)$$

5.5.2 صرفه‌جویی ناشی از کاهش دیماند kVA

اگر مقدار توان ظاهری ناشی از اصلاح ضریب توان معلوم باشد، می‌توان مقدار صرفه‌جویی در دیماند (C_S) را از رابطه (7-0) محاسبه کرد. در این رابطه C_{SD} هزینه حداکثر دیماند به ازای هر کیلوولت آمپر است.

$$C_S = C_{SD} \times kVA_R \quad (7-0)$$

6.5.2 صرفه‌جویی ناشی از کاهش توان راکتیو

اگر مقدار توان راکتیو جبران شده معلوم و C_{QD} هزینه دیماند توان راکتیو باشد، صرفه‌جویی کل (C_{QDT}) از رابطه (8-0) به دست می‌آید.

$$C_{QDT} = C_{QD} \times kVAR_S \quad (8-0)$$

هر شرکت برق ساختار و سیستم صورت‌حساب خود را دارد. مقدار صرفه‌جویی ناشی از بهبود ضریب توان باید با در نظر گرفتن همه تعرفه‌های مرتبط با مزایای مورد نظر محاسبه گردد. تابع هزینه سرمایه‌گذاری، مجموع سرمایه اولیه بانک خازنی، هزینه نصب و هزینه نگهداری منهای مقدار ارزش بازیافتی است. تابع هزینه صرفه‌جویی مجموع صرفه‌جویی‌های ناشی از آزادسازی ظرفیت ترانسفورمر، بهبود ضریب توان، کاهش تلفات ترانسفورمر و فیدر، کاهش جریمه توان راکتیو، کاهش دیماند و کاهش توان راکتیو می‌باشد. روابط (9-0) و (10-0) هزینه سرمایه‌گذاری و سود حاصل از آن را نشان می‌دهند.

$$C(INV) = C(cap) + C(inst) + C(maint) - C(sal) \quad (9-0)$$

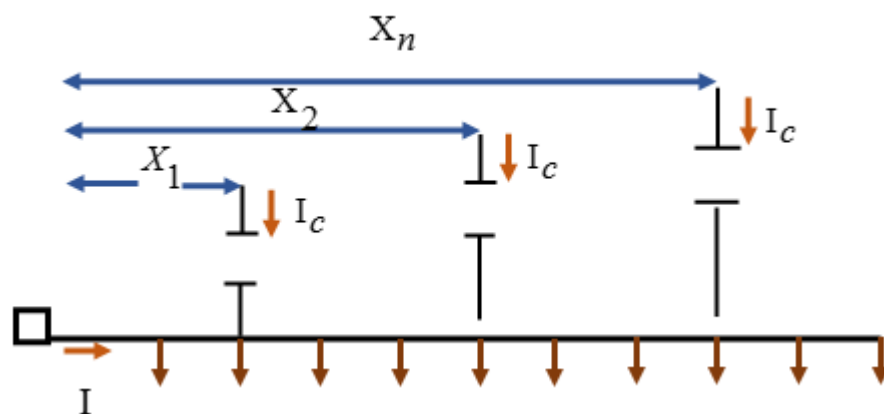
$$C(BEN) = C_{TRS} + C_{kVAR} + C_{QT} + C_{PF} + C_S + C_{QDT} \quad (10-0)$$

6.2 روش‌های خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع

تا کنون روش‌های مختلفی برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن در شبکه‌های قدرت پیشنهاد شده است. در ادامه دسته‌های کلی این روش‌ها معرفی خواهند شد.

1.6.2 روش‌های تحلیلی

روش‌های تحلیلی از ابتدایی‌ترین روش‌های مورد استفاده در خازن‌گذاری بودند، به بیان ساده در این روش‌ها بعد از تعریف یک تابع هدف خطی، نقطه بهینه تابع هدف با مشتق‌گیری محاسبه می‌گردد. روش‌های تحلیلی بیشتر زمانی مورد استفاده قرار می‌گرفت که واحدهای محاسبات و منطق و کامپیوترهای با سرعت بالا در دسترس نبودند. یکی از قوانین ساده و معروف جایابی خازن که از روش‌های تحلیلی بدست آمد، قانون $\frac{2}{3}$ می‌باشد. در این روش می‌توان فیدری بدون شاخه‌های جانبی و بار یکنواخت را که ولتاژ در تمام نقاط آن یکسان است در نظر گرفت و با هدف حداقل کردن تلفات، مکان و ظرفیت خازن را در زمانیکه هدف استقرار تعداد مشخصی خازن در فیدر باشد را تعیین کرد [23]. شکل 6-0 یک فیدر با توزیع بار یکنواخت را با وجود n خازن نشان می‌دهد.



شکل 6-0. یک فیدر با توزیع بار یکنواخت و دارای n خازن

بر اساس این قانون در صورتی که هدف قرار دادن یک خازن در یک فیدر با توزیع بار یکنواخت باشد، ظرفیت بهینه برابر $\frac{2}{3}$ توان راکتیو کل فیدر است. همچنین بهترین محل برای نصب خازن بهینه $\frac{2}{3}$ کل طول از ابتدای فیدر است. حالت کلی این قانون برای n خازن نیز بدین صورت است که ظرفیت هر خازن باید $\frac{2}{2n+1}$ توان راکتیو کل فیدر باشد. این خازن‌ها به فاصله مساوی $\frac{2}{2n+1}$ طول فیدر از هم قرار می‌گیرند. فاصله اولین خازن از ابتدای فیدر نیز برابر $\frac{2}{2n+1}$ طول کل فیدر می‌باشد. پس کل توان راکتیو جبرانی خازن‌ها $\frac{2n}{2n+1}$ کل توان راکتیو فیدر می‌باشد. روش‌های تحلیلی دیگری نیز برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه‌های قدرت پیشنهاد شده‌اند. به عنوان مثال در مرجع [24] روشی تحلیلی برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها و تولیدات پراکنده در انجام پایان نامه با در نظر گرفتن محدودیت‌های تساوی و نامساوی به منظور حداقل‌سازی تلفات توان حقیقی ارائه شده است. در این مرجع از یک تحلیل حساسیت برای تعیین محل بهینه خازن‌ها و تولیدات پراکنده استفاده شده است. در این مرجع از روش برازش منحنی ابتکاری برای تعیین ظرفیت بهینه خازن‌ها و تولیدات پراکنده استفاده شده است. مرجع [25] برای تعیین بهترین محل نصب خازن، سطح جبران راکتیو و کاهش تلفات سالیانه تحت محدوده وسیعی از شرایط بار راکتیو سالیانه برای سیستم‌های توزیع پیشنهاد داده است. در این مرجع نشان داده شده که کاهش بیش از 80 درصدی تلفات سالیانه با خازن‌های ثابت امکان‌پذیر است.

2.6.2 روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی عددی

با پیشرفت فناوری و در دسترس قرار گرفتن منابع محاسباتی قوی، روش‌های تحلیلی کم‌کم جای خود را به روش‌های عددی مبتنی بر تکرار جهت بهینه کردن تابع هدف دادند. از این روش‌ها نیز به طور گسترده در جایابی و تعیین ظرفیت بهینه خازن‌ها استفاده شد. با بکارگیری این روش‌ها امکان تعریف توابع مصرف به صورت پیچیده تر فراهم شده به طوری که محدودیت‌های واقعی یک شبکه توزیع لحاظ گردید و شرایط حاکم برم مسئله به صورت کامل‌تری بیان شد. روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی عددی را می‌توان تحت

عناوین برنامه‌ریزی خطی^{۱۹}، برنامه‌ریزی اعداد صحیح^{۲۰} و برنامه‌ریزی دینامیکی^{۲۱} تقسیم‌بندی کرد که در ادامه این روش‌ها به صورت مختصر توضیح داده شده است.

1.2.6.2 برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی یکی از روش‌های ریاضی است که جهت بیشینه و کمینه کردن یک تابع هدف، با توجه به محدودیت‌ها و شرایط بکار گرفته می‌شود. تفاوت اصلی برنامه‌ریزی خطی با دیگر روش‌های ریاضی در این است که اهداف و شرایط مسئله به صورت خطی بیان می‌شوند. به بیان ساده ساختار اصلی یک مسئله برنامه‌ریزی خطی با روابط (11-0) و (12-0) بیان می‌شود.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n \quad (11-0)$$

به طوری که

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

.

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

(12-0)

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، از برنامه‌ریزی خطی نیز برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها استفاده شده است [26-28]. در مرجع [28] هدف جایابی خازن‌های نوع ثابت و دارای کلیدزنی در شبکه‌های توزیع می‌باشد. هدف حداقل کردن هزینه بانک‌های خازنی، تامین توان پیک و تلفات انرژی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از محدودیت‌های فیزیکی و فنی می‌باشد. روش پیشنهادی در این مرجع دارای دو فاز

¹⁹ Linear programming

²⁰ Integer programming

²¹ Dynamic programming

می‌باشد. در فاز اول بهترین محل برای نصب خازن‌ها و ظرفیت تقریبی آنها یافت می‌شود. در مرحله دوم از برنامه‌ریزی خطی برای تعیین مقدار دقیق ظرفیت خازن‌ها استفاده می‌شود.

2.2.6.2 برنامه‌ریزی اعداد صحیح

این روش بیشتر در مسائلی استفاده می‌شود که تمام و یا قسمتی از متغیرها دارای مقادیر صحیح باشند. از آنجایی که تعداد بانک‌های خازنی و مکان استقرار آنها را می‌توان به صورت اعداد صحیح بیان کرد، روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح جهت حل مسائل خازن‌گذاری قابل استفاده خواهد بود.

3.2.6.2 برنامه‌ریزی دینامیکی

یکی دیگر از روش‌های ریاضی است که در مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. اصول اولیه این روش بر پایه جداسازی مسئله به تعدادی زیرمسئله است. بعد از جداسازی مسئله به زیر مسئله‌ها، هر زیرمسئله در حالت‌های ممکن بررسی شده و بهینه می‌گردد. سپس با توجه به مقادیر بهینه هر زیر مسئله نقطه بهینه برای کل مسئله بدست می‌آید. از مشکلات این روش مدل‌سازی و تقسیم مسئله به چند زیرمسئله می‌باشد. از این روش نیز در مسئله خازن‌گذاری در شبکه‌های قدرت استفاده شده است [13, 29]. به عنوان نمونه در مرجع [13] روشی بر مبنای برنامه‌ریزی دینامیک فازی برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌های موازی در سیستم‌های توزیع با در نظر گرفتن اعوجاج هارمونیک پیشنهاد شده است.

3.6.2 روش‌های ابتکاری

معمولاً روش‌های عددی دارای پیچیدگی زیاد می‌باشند و در مواردی نیز اطلاعات کافی در مورد اصل مسئله به روش‌های عددی وجود ندارد. در این حالات برای رسیدن به یک جواب معقول در مورد مکان و ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه توزیع، از روش‌های ابتکاری استفاده می‌شود. این روش‌ها مبتنی بر قواعد شهودی و تجربی هستند و فضای جستجوی کمتری را نسبت به روش‌های بهینه‌سازی دیگر در نظر می‌گیرند. در عین حال باید توجه کرد که به‌کارگیری این روش‌ها معمولاً در مقایسه با روش‌های عددی قادر

به رسیدن نقطه بهینه کلی نیستند. از روش‌های ابتکاری به دفعات در حل مسئله تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن استفاده شده است [30-35]. در مرجع [32] از یک روش دو مرحله‌ای با استفاده از منطق فازی و الگوریتم جست‌وجوی هارمونی برای جایگزاری خازن در فیدرهای اصلی سیستم‌های توزیع شعاعی استفاده کرده است. در این مرجع هدف کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ بوده است. در اولین مرحله، از منطق فازی برای یافتن محل بهینه خازن‌ها استفاده شده است. در مرحله دوم از الگوریتم جست‌وجوی هارمونی برای تعیین ظرفیت بهینه خازن‌ها استفاده شده است. در مرجع [33] استفاده از تحلیل حساسیت و الگوریتم جست‌وجوی گرانشی پیشنهاد شده است. تحلیل حساسیت یک تکنیک ریاضی می‌باشد که در این مرجع برای کاهش فضای جست‌وجوی محل خازن از آن استفاده شده است. از الگوریتم جست‌وجوی گرانشی نیز برای تعیین ظرفیت بهینه خازن‌ها استفاده شده است. در مرجع [35] از الگوریتم کلونی زنبور عسل ترکیبی برای تعیین محل و ظرفیت بهینه خازن‌ها در سیستم‌های توزیع دارای اعوجاج و نامتعادل استفاده شده است.

4.6.2 روش‌های متفرقه

1.4.6.2 سیستم‌های خبره

سیستم‌های خبره از یک سری روابط استثنایی از قوانین ناشی از تجربیات انسانی و محدودیت‌های موجود در مورد یک مسئله و با توجه به حالت‌های مختلف ورودی تشکیل شده است. معمولاً یک سیستم خبره از سه قسمت تشکیل شده است.

1. بانک اطلاعاتی

2. یک سری قوانین که ساختار آنها شرط-گذاره می‌باشد (If Statement Then ...)

3. یک هسته استنتاجی که به توجه به صادق بودن هر یک از قوانین، یک نتیجه کلی را نتیجه می‌-

دهد

در دهه‌های اخیر استفاده از سیستم‌های خبره در بهره‌برداری، تولید و توسعه شبکه‌های قدرت گسترش یافته است. در برخی تحقیقات انجام گرفته، از سیستم‌های خبره برای جابجایی و کنترل کلیدزنی خازن‌ها در شبکه‌های توزیع استفاده شده است [36-40]. در مرجع [36] از روش سیستم خبره فازی برای کاهش تلفات و کنترل ولتاژ در سیستم‌های توزیع شعاعی استفاده شده است. در این مقاله از دو روش برای بهبود پروفیل ولتاژ و حداقل کردن تلفات سیستم در فیدرهای توزیع شعاعی استفاده شده است. اولین روش پیشنهادی این مرجع استفاده از سیستم خبره فازی برای تعیین بهترین محل برای نصب خازن‌ها می‌باشد. در مرجع [40] روشی به نام درخت حساسیت پیشنهاد شده است که به راحتی می‌توان از آن برای یک سیستم خبره برای کنترل زمان-واقعی^{۲۲} استفاده کرد. این مرجع بر اساس روش پیشنهادی یک سیستم خبره برای کنترل ولتاژ و توان راکتیو سیستم قدرت توسعه داده است. مهم‌ترین هدف این سیستم خبره کمک به بهره‌بردار برای شناسایی باسبارها با وضعیت ولتاژی غیرعادی و تعیین موثرترین کنترل برای عادی‌سازی ولتاژ می‌باشد. این سیستم خبره از جبران خازنی برای حل مشکل ولتاژ استفاده کرده است. در مرجع [37] یک سیستم خبره مبتنی بر اطلاعات برای مساله جایگزاری خازن در شبکه با در نظر گرفتن جنبه‌های عملی خازن‌ها، محدودیت‌های بار و محدودیت‌های بهره‌برداری در سطوح مختلف بار استفاده شده است. سیستم خبره ایجاد شده از روش شبیه‌سازی تبرید تدریجی برای یافتن پاسخ بهینه کلی جبران توان راکتیو در انجام پایان نامه مهندسی برق استفاده کرده است. مرجع [39] نوعی سیستم خبره مناسب برای کنترل ولتاژ یک سیستم قدرت 22 کیلوولت واقع در تایلند ارائه کرده است. سیستم خبره ارائه شده بر جبران‌سازهای راکتیو موازی و تپ ترانسفورمرها برای انتخاب موثرترین کنترل برای حفظ ولتاژ سیستم در محدوده مجاز تمرکز دارد.

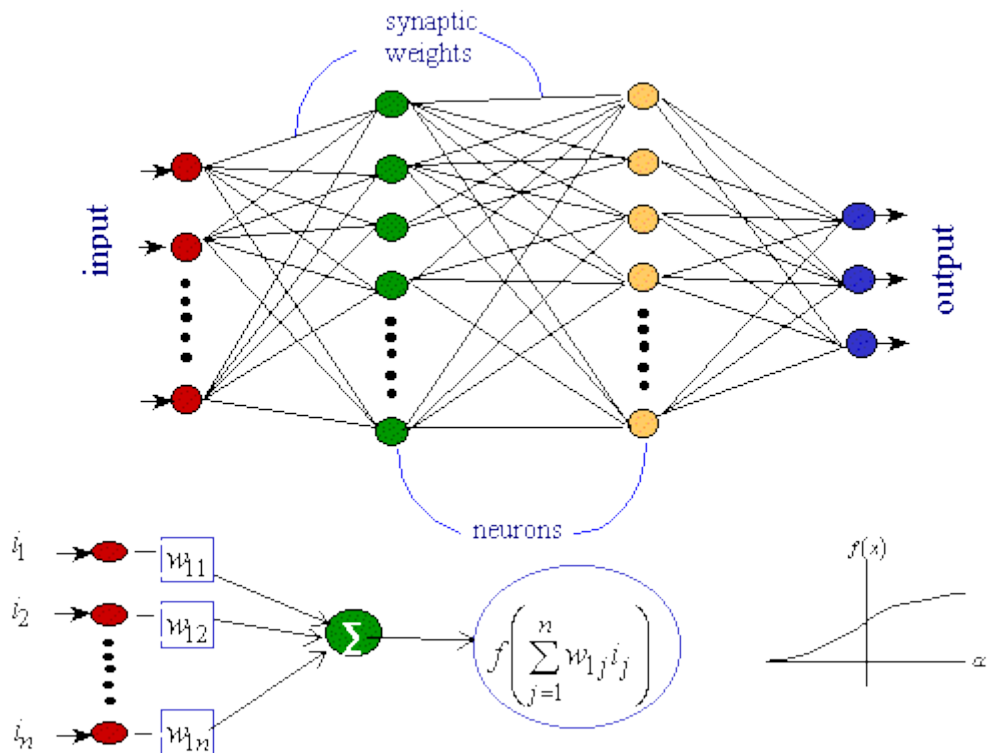
²² Real time

2.4.6.2 شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوینی برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در نهایت استفاده از دانش بدست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی یک سامانه پیچیده هستند. ایده اصلی این شبکه‌ها از شیوه کار سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده است. این سیستم‌ها از شمار زیادی عناصر پردازشی به هم پیوسته به نام نورون تشکیل شده‌اند که توسط سیناپس‌ها اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر یک سلو آسیب ببیند، بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آنرا جبران کرده و در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری هستند. تعریف دقیقی از شبکه‌های عصبی در بین محققان وجود ندارد؛ اما اغلب آنها معتقدند که شبکه‌های عصبی شامل شبکه‌ای از عناصر پردازش ساده (نورون‌ها) هستند که می‌توانند رفتار پیچیده تعیین شده‌ای از ارتباط بین عناصر پردازش و پارامترهای عنصر را نمایش دهند. شبکه‌های عصبی معمولاً در مسائلی که یک رابطه غیرخطی بین ورودی و خروجی وجود دارد، استفاده می‌شوند. یک شبکه عصبی به طور معمول از سه قسمت تشکیل شده است که عبارت‌اند از:

- لایه ورودی
- یک یا چند لایه میانی
- لایه خروجی

ساختار کلی یک شبکه عصبی در شکل 7-0 آورده شده است.



شکل 0-7. ساختار کلی شبکه‌های عصبی

از شبکه‌های عصبی نیز در تعیین محل و ظرفیت بهینه جبران‌سازهای موازی استفاده شده است [41]-43]. در مرجع [41] روشی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای کلیدزنی بهینه خازن‌ها در سیستم‌های توزیع پیشنهاد شده است. در این مرجع هدف این است که با کلیدزنی بهینه خازن‌های نصب شده در شبکه‌های توزیع کنترل ولتاژ- توان راکتیو به گونه‌ای انجام شود که افت ولتاژ و تلفات حداقل گردد. مساله کلیدزنی بهینه خازن‌ها به کمک روش‌های مختلفی حل شده است. اما این روش‌ها ممکن است که برای عملکرد آن‌لان مناسب نباشند. در این مرجع نشان داده شده که روش شبکه‌عصبی مصنوعی پیشنهادی حداقل 100 برابر از روش‌های سنتی سریع‌تر می‌باشد. علاوه بر این در این مقاله نشان داده شده که هر چقدر که تعداد خازن‌های موجود در شبکه افزایش یابند، روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی پیشنهاد شده برای حل این مساله در انجام پایان نامه دارد.

3.4.6.2 قوانین فازی

قوانین فازی در مسائلی که اطلاعات به طور دقیق مشخص نمی باشد کاربرد دارد. در شبکه‌های توزیع نیز بعضی از پارامترهای شبکه همچون بار پست‌ها و سطح مقطع فیدها ممکن است بدرستی مشخص نباشد و بهره‌برداران شبکه نتوانند مقادیر و اعداد مشخصی برای برخی پارامترهای شبکه ارائه دهند. به همین دلیل در برخی از مقالات [44-48] از قوانین فازی در جایابی و مقدار یابی و کنترل خازن‌ها استفاده شده است. در این مقالات پارامترهایی همچون تغییرات بار، حدود ضریب توان و تغییرات ولتاژ و حتی میزان تلفات به صورت اعداد فازی در نظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در کنار قوانین فازی مقدار، مکان و نحوه کنترل خازن در انجام پایان نامه مهندسی برق بدست آمده است. در مرجع [44] یک سیستم خبره فازی برای یافتن محل‌های مناسب نصب خازن به کمک شاخص کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ در محدوده مجاز ولتاژ استفاده شده است. در این مرجع ترکیبی از سیستم خبره فازی برای جایگزاری خازن‌ها و الگوریتم ژنتیک برای تعیین ظرفیت خازن‌ها با در نظر گرفتن بهبود پایداری ولتاژ پیشنهاد شده است. در مرجع [48] برای جایگزاری و تعیین ظرفیت بهینه خازن‌های موازی در سیستم‌های توزیع شعاعی پیشنهاد داده است. در این مرجع از تصمیم‌گیری فازی استفاده شده است. در این مرجع هدف حداقل کردن هزینه توان پیک، کاهش تلفات انرژی و بهبود پروفیل ولتاژ می‌باشد. محل نصب خازن‌ها به کمک تصمیم‌گیری فازی مشخص می‌شود. در ادامه آن، از الگوریتم BFA برای بهینه‌سازی مساله ظرفیت خازن‌ها استفاده شده است. در مرجع [46] روشی بر مبنای منطق فازی و الگوریتم ایمنی برای جایگزاری و تعیین ظرفیت بهینه خازن‌ها در شبکه‌های قدرت استفاده شده است. در این مساله شاخص تلفات توان همراه با مقدار موثر ولتاژ باس‌بارها، هارمونیک کل هر باس‌بار و محل خازن‌ها به کمک تابع عضویت فازی مدل شده‌اند. ابتدا شایستگی هر محل برای نصب خازن محاسبه می‌شود. سپس ظرفیت بهینه خازن‌ها به کمک روش ترکیبی منطق فازی و الگوریتم ایمنی به دست می‌آید.

7.2 شبکه‌های توزیع

وظیفه اصلی شبکه توزیع انتقال انرژی الکتریکی از پست‌های توزیع و یا نیروگاه‌های کوچک محلی متصل به شبکه توزیع به تمامی مشترکین می‌باشد. شبکه توزیع به عنوان اصلی‌ترین جزء سیستم قدرت بیشترین سرمایه شبکه قدرت را به خود اختصاص می‌دهد. طبق آمارهای موجود، 40 درصد هزینه‌های شبکه قدرت مربوط به بخش توزیع می‌باشد. این حجم سرمایه‌گذاری و هزینه نشان‌دهنده اهمیت اقتصادی شبکه توزیع است. با توجه به حجم سرمایه‌گذاری در این بخش، طراحی، برنامه ریزی، ساخت و بهره‌برداری از این شبکه بسیار حائز اهمیت است. طبق تعریف، شبکه توزیع مجموعه‌ای شامل پست توزیع، تغذیه کننده فشار متوسط، ترانسفورمرها، تغذیه کننده‌های فشار ضعیف، انشعاب مشترکین و دیگر عناصر بین پست فوق توزیع می‌باشد.

1.7.2 انواع شبکه‌های توزیع

در سیستم‌های توزیع بسته به سطح ولتاژ سیستم، شرایط جغرافیایی و تمرکز و یا عدم تمرکز بار، از انواع مختلف شبکه‌های توزیع برای تامین نیازهای مشترکین می‌توان استفاده کرد. شبکه توزیع را از پست توزیع تا وسایل اندازه‌گیری واقع در محل سکونت مصرف‌کننده، می‌توان به دو بخش شبکه توزیع اولیه و شبکه توزیع ثانویه تقسیم کرد [49].

2.7.2 شبکه‌های توزیع اولیه (فشار متوسط)

سیستم‌های توزیع اولیه شامل دو نوع اصلی شعاعی و حلقوی می‌باشند. شبکه شعاعی ساده‌ترین و یکی از عمومی‌ترین انواع شبکه‌های توزیع می‌باشد. این نوع شبکه ارزان و از نظر بهره‌برداری ساده است و شامل فیدرها و مدارهای شعاعی مجزا بوده که از پست یا منبع منشعب می‌شوند. این شبکه‌ها تنها از یک سمت و از طریق فیدر خروجی پست فوق توزیع تغذیه می‌شوند. در چنین شبکه‌ای یک یا چند هادی از منبع به

تابلو اصلی تقسیم کشیده می‌شود. فیدر به ترانسفورمر توزیع متصل است و از آنجا انشعاب اصلی یا فرعی می‌شود. در چنین حالتی ضریب اطمینان شبکه خوب است، زیرا در صورت وقوع اتصال کوتاه در یکی از انشعابات فقط مصرف‌کنندگان آن انشعاب بی‌برق می‌شوند [50]. قطع بلند مدت بعضی از مشترکین مانند بیمارستان‌ها و تاسیسات نظامی مجاز نیست. در چنین شرایطی فیدر دوم (فیدر اضافی) پیش‌بینی می‌گردد. این فیدر از منبع دیگری تغذیه می‌شود تا در صورت قطع فیدر اول، برق مشترک تا هنگام تعمیر تامین شود. در شبکه‌های شعاعی تلفات و افت ولتاژ زیاد است و معمولاً از ظرفیت ترانسفورمرهای شبکه حداکثر استفاده نمی‌شود. همچنین با وقوع یک خطا برق تعدادی از مشترکین قطع می‌شود و لذا قابلیت اطمینان شبکه پایین است. راه‌کار دیگری که طول مدت قطعی را محدود می‌کند، استفاده از تغذیه-کنندگانی است که به صورت حلقوی طراحی شده‌اند و امکان تغذیه از دو سو را برای مصرف‌کنندگان حساس به قطعی فراهم می‌سازد. در این صورت با از کار افتادن یکی از دو خط تغذیه‌کننده، توان مورد نیاز مصرف‌کننده‌ها از سمت دیگر تامین می‌گردد.

3.7.2 شبکه توزیع ثانویه (فشار ضعیف)

شبکه‌های توزیع ثانویه در ولتاژهای مصرفی پایین مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و مانند سیستم‌های توزیع اولیه باید به قابلیت اطمینان در سرویس‌دهی و تنظیم ولتاژ آنها توجه نمود. شبکه‌های توزیع ثانویه برای سرویس‌دهی بارهای تجاری، روشنایی، روستایی و مسکونی با شبکه شعاعی به کار گرفته می‌شوند. این سیستم هزینه کم و کارکرد ساده‌ای دارد.

4.7.2 سطوح ولتاژ در سیستم توزیع

در مدارهای توزیع، سطوح ولتاژ به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند [51]:

- سطح ولتاژ اولیه یا فشار متوسط
- سطح ولتاژ ثانویه یا فشار ضعیف

ولتاژهای استاندارد (ولتاژ نامی خط) مورد استفاده در سیستم توزیع به صورت زیر می‌باشد:

- سطوح ولتاژ ضعیف: 120، 240، 480 و 600 ولت
- سطوح ولتاژ متوسط: 2.4، 4.16، 6.9، 12.47، 13.8، 23، 24.94 و 46 کیلوولت

شبکه‌های فشار متوسط عمومی در ایران با ولتاژ 11، 20 و 33 کیلوولت کار می‌کنند که در این میان ولتاژ 20 کیلوولت رایج‌ترین آنها است. امروزه نیز ایجاد و توسعه شبکه‌های فشار متوسط به طور اساسی با ولتاژ 20 کیلوولت صورت می‌گیرد. در برخی از شهرها نیز که از قدیم ولتاژ 11 کیلوولت معمول بوده، رفته‌رفته جای خود را به 20 کیلوولت داده است. ولتاژ 33 کیلوولت فقط در خوزستان رایج است. این ولتاژ در ابتدا به عنوان ولتاژ فوق‌توزیع به کار می‌رفت. بدین معنا که از طریق خطوط 33 کیلوولت و ایستگاه‌های تبدیل 33 به 11 کیلوولت، ولتاژ توزیع 11 کیلوولت ایجاد و برق به مراکز مصرف رسانده می‌شد. در نهایت نیز با تبدیل 11 کیلوولت به 400 ولت ولتاژ به سطح مصرف می‌رسید. اما امروزه گرایش به تبدیل مستقیم ولتاژ از 33 کیلوولت به 400 ولت بیشتر است.