



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی برق قدرت

موضوع:

خازن گذاری بهینه توسط الگوریتم ژنتیک

در شبکه های توزیع

با در نظر گرفتن کیفیت توان

اساتید راهنما:

دکتر علی دستفان

دکتر مهدی بانژاد

دانشجو:

امیر عطائی خواه

شهریور ماه ۱۳۸۷

چکیده

کاهش تلفات در شبکه های توزیع که بیشترین سهم تلفات را در یک سیستم قدرت به خود اختصاص می دهند همواره مورد توجه بوده است. بکارگیری خازن های موازی از متداولترین راههای کاهش تلفات و جبران توان راکتیو می باشد. با جبران توان راکتیو به اهدافی چون کاهش تلفات انرژی، کاهش تلفات پیک، آزادسازی ظرفیت تجهیزات و بهبود پروفیل ولتاژ می توان دست یافت. مسئله اصلی در جبران توان راکتیو، تعیین مقدار مورد نیاز خازن و مکان مناسب نصب خازنها در شبکه است. در حقیقت باید جایابی و مقدار یابی خازن ها به نحوی صورت گیرد که سود حاصل از خازن گذاری بیشینه گردد. با افزایش بارهای غیر خطی در شبکه های توزیع، مسائل کیفیت توان از اهمیت روز افزونی برخوردار شده اند و در نظر گرفتن این مسائل در خازن گذاری بسیار مهم است. در این پایان نامه خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع با در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان و بدون آن توسط الگوریتم ژنتیک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است و علاوه بر کاهش تلفات در شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ، مسئله رزونانس که بدلیل خازن گذاری در شبکه ها اتفاق می افتد مد نظر قرار گرفته و با روش ارائه شده، این مشکل بر طرف شده است. در پایان نتایج حاصل از بررسی انجام شده، توسط برنامه ای که در نرم افزار MATLAB نوشته شده است، بر روی یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه، اجرا شده

و نتایج دو حالت خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان و با در نظر گرفتن کیفیت توان با یکدیگر مقایسه گردیده اند و نتایج فوق نشان داد که در هنگام خازن گذاری باید به وجود هارمونیکها و احتمال ایجاد رزونانس توجه داشت و مسئله کیفیت توان را در نظر گرفت.

Abstract

Reduction of losses in distribution network which contributes the most losses in a power system is always subject of high interest. One of the most common methods for reducing the losses and the reactive power compensation is utilizing of shunt capacitors. With reactive power compensation, the objects such as reduction of energy losses, reduction of peak losses and liberation of equipment capacity and improvement of voltage profile would be accessible. The main goal is to find the optimum size and location of shunt capacitors so that the savings are maximized and the constraints are satisfied. With the increase of the nonlinear loads in the power system, the power quality problems have become more important. And considering these problems in the capacitor placement are much important. In this thesis optimum capacitor placement in a distribution network with and without considering the power quality problems has been studied and surveyed by genetic algorithm and beside the reduction of losses in network and improvement of voltage profile, the resonance problem which occurs due to capacitor placement in system has been studied and resolved by presented method. At the end, based on the results of studies, in software MATLAB has been simulated and executed on a 9 buses distribution network and the results of two modes of capacitor placement with and without considering, power quality has been compared.

۱	فصل اول : مقدمه
۷	فصل دوم : خازن گذاری در شبکه های توزیع
۸	۱-۲ مقدمه
۸	۲-۲ خازنهای قدرت
۹	۳-۲ اثر خازنهای سری و موازی
۹	۱-۳-۲ خازنهای سری
۱۰	۲-۳-۲ خازنهای موازی در شبکه های توزیع
۱۱	۴-۲ اهداف نصب خازن
۱۱	۱-۴-۲ اصلاح ضریب قدرت
۱۳	۲-۴-۲ اصلاح ولتاژ
۱۳	۳-۴-۲ بررسی خازن گذاری از نظر اقتصادی
۱۴	۱-۳-۴-۲ آزاد سازی ظرفیت
۱۵	۲-۳-۴-۲ کاهش انرژی تلفاتی و تلفات پیک
۱۵	۳-۳-۴-۲ بهای خازن
۱۵	۴-۳-۴-۲ سرمایه گذاری و سوددهی
۱۶	۵-۲ نصب خازنها در شبکه
۱۸	۱-۵-۲ انواع اتصال بانکهای خازنی در شبکه
۱۹	۶-۲ روشهای خازن گذاری در شبکه توزیع
۲۱	۱-۶-۲ روشهای تحلیلی
۲۳	۲-۶-۲ روشهای مبتنی بر برنامه ریزی عددی
۲۴	۱-۲-۶-۲ برنامه ریزی خطی
۲۵	۲-۲-۶-۲ برنامه ریزی اعداد صحیح
۲۵	۳-۲-۶-۲ برنامه ریزی دینامیکی
۲۵	۳-۶-۲ روشهای ابتکاری(تجربی)
۲۸	۴-۶-۲ روشهای جدید
۲۸	۱-۴-۶-۲ روش آبکاری فولاد
۳۰	۲-۴-۶-۲ روش جستجوی جدولی
۳۰	۳-۴-۶-۲ الگوریتم ژنتیک

۳۲	۲-۴-۴ سیستم‌های خبره
۳۲	۲-۴-۵ شبکه های عصبی
۳۴	۲-۴-۶ روش فازی
۳۴	۲-۴-۵ مقایسه بین روش ها
۳۶	فصل سوم : الگوریتم ژنتیک
۳۷	۳-۱ مقدمه
۳۸	۳-۲ ساختار کلی و مفاهیم اساسی الگوریتم ژنتیک
۳۹	۳-۲-۱ ایجاد جمعیت اولیه
۴۰	۳-۲-۲ کد کردن
۴۱	۳-۲-۳ ترکیب یا جابجایی
۴۱	۳-۲-۳-۱ جابجایی یک نقطه ای
۴۲	۳-۲-۳-۲ جابجایی چند نقطه ای
۴۳	۳-۲-۳-۳ جابجایی یکنواخت
۴۳	۳-۲-۳-۴ جابجایی مرزبندی
۴۴	۳-۲-۴ جهش
۴۵	۳-۲-۵ انتخاب
۴۹	۳-۳ نقاط ضعف الگوریتم ژنتیک
۴۹	۳-۴ صورتهای دیگر الگوریتم ژنتیک
۴۹	۳-۴-۱ الگوریتم جنیتور
۵۰	۳-۴-۲ الگوریتم جستجوی ژنتیکی توزیع شده
۵۱	۳-۴-۳ الگوریتم ژنتیک وفقی
۵۴	فصل چهارم : مروری بر کیفیت توان و تأثیر آن بر خازن گذاری
۵۵	۴-۱ مقدمه
۵۵	۴-۲ کیفیت توان
۵۶	۴-۳ کمیت های کیفیت توان
۵۶	۴-۳-۱ فلش ولتاژی
۵۷	۴-۳-۲ افزایش ولتاژ
۵۸	۴-۳-۳ حالت گذرا
۵۸	۴-۳-۴ هارمونیک
۵۹	۴-۳-۵ فلیکر یا چشمک
۶۰	۴-۳-۶ عدم تعادل ولتاژ
۶۰	۴-۳-۷ تغییر فرکانس
۶۱	۴-۳-۸ تغییر ولتاژ

۶۱	۹-۳-۴ قطع کوتاه مدت
۶۱	۱۰-۳-۴ قطع بلند مدت
۶۲	۴-۴ اثر بانکهای خازنی در ایجاد اغتشاشات کیفیت توان
۶۳	۵-۴ تاثیر هارمونیکها بر روی خازن گذاری در شبکه توزیع
۶۵	۱-۵-۴ بارهای خطی و غیر خطی
۶۷	۲-۵-۴ اثرات بارهای غیرخطی در جابجایی بهینه خازن در شبکه توزیع
۶۸	۳-۵-۴ روشهای حل مسائل هارمونیکی
۶۹	۶-۴ رزونانس
۶۹	۱-۶-۴ رزونانس سری
۷۱	۲-۶-۴ رزونانس موازی
۷۶	فصل پنجم : خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع با در نظر گرفتن کیفیت توان
۷۷	۱-۵ مقدمه
۷۷	۲-۵ خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع توسط الگوریتم ژنتیک
۸۲	۳-۵ خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع با در نظر گرفتن رزونانس
۸۹	فصل ششم : نتایج شبیه سازی
۹۰	۱-۶ مقدمه
۹۰	۲-۶ شرح الگوریتم برنامه
۹۶	۳-۶ ورودی های برنامه
۹۶	۴-۶ مثال: خازن گذاری در یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه
۹۷	۱-۴-۶ حل مسئله خازن گذاری در یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه با تغذیه از یکسو
۹۸	۱-۴-۶ خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک بدون در نظر گرفتن کیفیت توان
۱۰۴	۲-۴-۶ خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن کیفیت توان
۱۰۷	۲-۴-۶ حل مسئله خازن گذاری در یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه با تغذیه از دو نقطه
۱۱۲	فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۱۳	۱-۷ نتیجه گیری
۱۱۵	۲-۷ پیشنهادات
۱۱۶	مراجع
۱۲۵	پیوست

- ۹۷ جدول ۱-۶: اطلاعات باس
- ۹۸ جدول ۲-۶: اطلاعات خطوط
- ۹۸ جدول ۳-۶: نتایج پخش بار قبل از خازن گذاری
- ۱۰۰ جدول ۴-۶: توان عبوری و تلفات خطوط
- ۱۰۰ جدول ۵-۶: نتایج نهایی تلفات خطوط پس از خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۰۱ جدول ۶-۶: نتایج پخش بار پس از خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۰۱ جدول ۷-۶: مقادیر THD پس از انجام خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۰۴ جدول ۸-۶: نتایج نهایی تلفات خطوط پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۰۵ جدول ۹-۶: نتایج پخش بار پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۰۵ جدول ۱۰-۶: مقادیر THD پس از انجام خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۰۷ جدول ۱۱-۶: مقایسه نتایج THD قبل و بعد از اثر رزونانس
- ۱۰۸ جدول ۱۲-۶: نتایج پخش بار قبل از خازن گذاری
- ۱۰۹ جدول ۱۳-۶: توان عبوری و تلفات خطوط
- ۱۱۰ جدول ۱۴-۶: نتایج نهایی تلفات خطوط پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۱۰ جدول ۱۵-۶: نتایج پخش بار پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۱۱۱ جدول ۱۶-۶: مقادیر THD پس از انجام خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

۱۱	
۱۲	شکل ۱-۲: دیاگرام شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه با نصب خازن موازی
۱۴	شکل ۲-۲: نمایش اصلاح ضریب توان
۱۷	شکل ۳-۲: آزاد سازی ظرفیت بعد از جبران توان راکتیو
۲۲	شکل ۴-۲: منحنی تداوم بار راکتیو به همراه نمایش پله های خازنهای نصب شده
۲۷	شکل ۵-۲: نصب تعداد مشخص خازن در فیدر با بار یکنواخت
۲۹	شکل ۶-۲: فلوچارت کلی خازن گذاری به روش تجربی
۳۱	شکل ۷-۲: نحوه در نظر گرفتن قیمت بانک های خازنی
۳۳	شکل ۸-۲: تصمیم گیری برای نقاط کاندید با یکسری قوانین تجربی
۳۹	شکل ۹-۲: ساختار کلی شبکه عصبی
	شکل ۱-۳: نمونه ای از روند همگرایی جمعیتی از کروموزومها به جواب بهینه و جستجوی فضا
۴۰	
۴۲	شکل ۲-۳: یک کروموزوم با نمایش باینری
۴۳	شکل ۳-۳: اعمال جابجایی تک نقطه ای بر روی دو کروموزوم
۴۶	شکل ۴-۳: اعمال جابجایی دو نقطه ای بر روی دو کروموزوم
۴۶	شکل ۵-۳: چرخ رولت
۴۸	شکل ۶-۳: چرخ رولت مربوط به مثال
۵۷	شکل ۷-۳: ساختار کلی الگوریتم ژنتیک
۵۸	شکل ۱-۴: فلش ولتاژی
۵۸	شکل ۲-۴: افزایش ولتاژ
۵۹	شکل ۳-۴: حالت ترانزینت
۵۹	شکل ۴-۴: ولتاژ با اغتشاش هارمونیک
۶۰	شکل ۵-۴: فلیکر یا چشمک
۶۰	شکل ۶-۴: عدم تعادل ولتاژ
۶۱	شکل ۷-۴: تغییر فرکانس
۶۱	شکل ۸-۴: تغییر ولتاژ
۶۲	شکل ۹-۴: قطع کوتاه مدت
۶۴	شکل ۱۰-۴: قطع بلند مدت
۶۵	شکل ۱۱-۴: مدل فرکانس پائین و تک خطی به همراه بانک خازنی
۶۶	شکل ۱۲-۴: شکل ولتاژ و جریان در یک المان خطی
۷۰	شکل ۱۳-۴: نحوه ایجاد ولتاژ هارمونیک در امپدانس
۷۱	شکل ۱۴-۴: سیستم با مشکل شدید سری
۷۳	شکل ۱۵-۴: منحنی تغییرات امپدانس بر حسب هارمونیکها جهت رزونانس سری

شکل ۴-۱۶: در فرکانسهای هارمونیک خازن موازی به صورت موازی با اندوکتانس سیستم قرار می گیرد.

- ۷۴ (الف: شبکه توزیع ساده شده ب: شبکه رزونانس موازی از دید منبع جریان هارمونیک)
- ۷۹ شکل ۴-۱۷: منحنی تغییرات امپدانس بر حسب هارمونیکها جهت رزونانس موازی
- ۷۹ شکل ۵-۱: نمونه ای از جمعیت اولیه برای خازن ها
- ۸۰ شکل ۵-۲: مقادیر تابع هدف اعضای الگوریتم ژنتیک
- ۸۰ شکل ۵-۳: نحوه عملکرد عملگر برش بر روی قسمتهای مختلف دو عضو
- ۸۱ شکل ۵-۴: نحوه عملکرد عملگر جهش بر روی یک عضو
- ۸۳ شکل ۵-۵: مراحل خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک بدون در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۸۸ شکل ۵-۶: شکل جریان مبدل ۶ پالسه
- ۹۳ شکل ۵-۷: فلوچارت خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۹۴ شکل ۶-۱: فلوچارت برنامه اجرایی خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- ۹۵ شکل ۶-۲: جمعیت اولیه خازنها
- ۹۵ شکل ۶-۳: عملگر برش در خازن گذاری
- ۹۷ شکل ۶-۴: عملگر جهش در خازن گذاری
- ۱۰۳ شکل ۶-۵: شکل شبکه شعاعی ۹ باسه با تغذیه از یکسو
- شکل ۶-۶: نمودارهای امپدانس بر حسب مرتبه هارمونیک در باسهای ۱ تا ۹
- ۱۰۶ در خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان
- شکل ۶-۷: نمودارهای امپدانس بر حسب مرتبه هارمونیک در باسهای ۱ تا ۹
- ۱۰۷ در خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان
- شکل ۶-۸: شکل شبکه شعاعی ۹ باسه با تغذیه از دو نقطه

فصل اول

مقدمه

امروزه بیشتر مصرف کنندگان انرژی الکتریکی علاوه بر مصرف توان اکتیو، مصرف کننده توان راکتیو نیز هستند. همانگونه که می دانیم، توان اکتیو باید در نیروگاه تولید شود در صورتیکه توان راکتیو علاوه بر نیروگاه، در محل‌های دیگر نیز می تواند تولید گردد. مناسبترین و ارزانهترین وسیله برای تولید توان راکتیو در محل‌های غیر از نیروگاه، خازن‌های موازی می باشند. خازن‌های موازی که به موازات مصرف کنندگان نصب می شوند، با تامین مولفه توان راکتیو مورد نیاز مصرف کنندگان، در واقع مشخصات مصرف کنندگان را اصلاح می کنند. خازن گذاری علاوه بر رگولاسیون ولتاژ موجب کاهش تلفات انرژی شده و از کاهش ظرفیت سیستم، مثل ظرفیت تولید، پست و فیدرها جلوگیری می کند و همچنین سبب افزایش کیفیت توان نیز میگردد، اما اگر در میزان جبران سازی توان راکتیو دقت لازم بعمل نیاید اضافه ولتاژهای ایجاد شده موجب صدمه دیدن تجهیزات مشترکین خواهد شد.

خازن گذاری مناسب، موجب می شود که هزینه اضافی جهت نگهداشتن ولتاژ در محدوده مجاز و خرید تجهیزات اضافی به سیستم تحمیل نگردد. پس هدف از خازن گذاری بهینه، تعیین محل و اندازه خازن‌های نصب شده در گره های سیستم توزیع می باشد، طوریکه مزایای اقتصادی حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ در قبال پرداخت هزینه نصب خازنها و برآوردن قیود مسئله بدست آید.

کاهش تلفات در سیستم قدرت از جمله مباحثی است که همواره مورد توجه بوده است. میزان تلفات در هر یک از بخش‌های سیستم قدرت متفاوت می باشد. به طور مثال بدلیل پایین بودن سطح ولتاژ و بالا بودن جریان در بخش توزیع، عمده تلفات یک سیستم قدرت مربوط به این بخش می باشد. معمولاً بیش از ۱۳٪ از کل تلفات یک سیستم قدرت در بخش توزیع است [۱]. روشهای مختلفی به منظور کاهش تلفات جبران توان راکتیو می باشد.

بدلیل وجود بارهای القایی (بارهای القایی همچون موتورها، کوره های القایی، لامپ ها، وسایل الکتریکی منازل و ...) در سیستم قدرت، علاوه بر توان اکتیو، توان راکتیو نیز در شبکه جریان دارد.

اولین منبع تامین توان راکتیو نیروگاهها هستند. در این صورت جریان راکتیو از نیروگاهها به سمت مشترکین که اکثراً در بخش توزیع قرار دارند، جریان می یابد بنابراین جریان راکتیو باید از تمام بخشهای سیستم قدرت عبور کند که طبعاً باعث ایجاد تلفات در شبکه و اشغال ظرفیت خطوط و تجهیزات می گردد. مطمئناً بهترین مکان جبران توان راکتیو، نزدیک به نقاط مصرف توان راکتیو یعنی بخش توزیع می باشد. با جبران توان راکتیو به اهدافی همچون کاهش تلفات انرژی، کاهش تولید توان اکتیو مورد نیاز در پیک بار، آزاد سازی ظرفیت تجهیزات و بهبود وضعیت ولتاژ در شبکه می توان دست یافت. یکی از متداولترین روش های جبران، استفاده از خازنهای موازی در شبکه توزیع است. با این کار بار راکتیو مورد نیاز مشترکین جبران می گردد و دیگر نیازی به جریان توان راکتیو از نیروگاهها به سمت مشترکین نمی باشد.

مسئله اصلی در جبران توان راکتیو شبکه تعیین مقدار مورد نیاز خازن و مکان مناسب نصب خازنها در شبکه می باشد. در حقیقت باید جایابی و مقدار یابی خازن ها به نحوی صورت گیرد که سود حاصل از خازن گذاری بیشینه گردد. در دهه های اخیر تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است [۱]. از آنجائیکه مقدار یابی و جایابی خازنها یک مسئله بهینه سازی است اکثر تحقیقات بر اساس ارائه روشهای جستجو برای دستیابی به بیشینه سوددهی بوده است.

در این راستا از الگوریتمهای بهینه سازی همچون روشهای تحلیلی [۷-۲]، برنامه ریزی عددی [۱۵-۸]، روشهای تجربی یا ابتکاری [۱۹-۱۷]، جستجوی جدولی [۲۲-۲۰]، الگوریتم ژنتیک [۳۶-۲۳] و ... استفاده گردیده است. چهارچوب الگوریتم تعیین مکان و مقدار بانکهای خازنی بدین صورت است که ابتدا تابع هدف خازن گذاری که معمولاً به صورت تابع هزینه بیان می شود، مشخص می گردد. در اینجا منظور از تابع هزینه، مجموع هزینه ها مانند هزینه خازن، هزینه تولید توان در پیک، هزینه احداث خطوط و هزینه تولید انرژی است. بعد از تعریف تابع هدف، شبکه مورد مطالعه به قسمی خازن گذاری می گردد که مجموع این هزینه ها

حداقل گردد. البته در کنار حداقل کردن تابع هزینه، قیودی نیز باید رعایت شود. یکی از مهمترین قیود، قید ولتاژ است. به عبارت دیگر خازن گذاری باید به نحوی انجام شود که در تمام سطح بار، ولتاژ باسها بین یک مقدار حداکثر و حداقل که از قبل تعیین می شود قرار گیرد. البته در برخی موارد قیودی همچون قید حداکثر جریان خطوط نیز لحاظ می گردد.

شبکه توزیع به دو بخش فشار ضعیف و فشار متوسط تقسیم می شود. اکثر مشترکین در بخش فشار ضعیف قرار دارند. بدلیل وجود بارهای تکفاز و الگوهای متفاوت مصرف مشترکین شبکه فشار ضعیف، شبکه ای نا متعادل می باشد.

علاوه بر این در طول شبکه و در هر فاز، از هادی های متفاوتی استفاده می گردد. بنابراین به منظور بررسی دقیق شبکه های فشار ضعیف باید فرضیاتی همچون عدم تعادل بار، عدم تشابه هادی ها، الگوهای متفاوت مصرف، مدل بار مشترکین (وابستگی بار مشترکین به ولتاژ) و لحاظ گردد. از طرفی شبکه های فشار متوسط متعادل در نظر گرفته می شوند. زیرا در عمل به منظور عملکرد صحیح سیستمهای حفاظتی که در پستهای فوق توزیع بر روی فیدرهای فشار متوسط اعمال می گردد بهره برداران شبکه سعی در متعادل سازی بار پستهای توزیع و در نتیجه متعادل سازی شبکه فشار متوسط دارند.

خازن ها به صورت ثابت یا به صورت خازن های قابل کلید زنی در شبکه توزیع استفاده می گردند. خازنهای ثابت در تمام سطوح بار در مدار قرار دارند ولی خازنهای قابل کلید زنی با تغییر سطح بار در مدار قرار می گیرند یا از مدار خارج می شوند. بدلیل اضافه ولتاژهایی که ممکن است در اثر کلید زنی خازن ها رخ دهد [۲۷]، از خازنهای قابل کلید زنی در طول شبکه فشار ضعیف و در مکانهای نزدیک به مشترکین استفاده نمی گردد.

در بعضی از تحقیقات انجام شده که جایابی و نحوه کنترل خازنهای قابل کلید زنی در نظر گرفته شده است [۲۷]، کلید زنی خازن ها به صورت زمانی و با تغییر سطح بار در نظر گرفته می شود ولی اصولاً

اطلاعات دقیقی از تغییرات بار در اختیار نیست و تصمیم گیری برای کنترل کلید زنی خازنها بر اساس زمان، روش صحیحی نمی باشد.

در این پایان نامه سعی شده که روشی عملی و اجرایی برای خازن گذاری در شبکه های متعادل فشار متوسط ارائه گردد. از طرفی تابع هزینه خازن گذاری به صورت کامل و با دخالت دادن پارامترهای مختلف اقتصادی لحاظ گردیده است. با افزایش بارهای غیر خطی مسائل کیفیت توان از اهمیت فراوانی برخوردار شده اند. به همین دلیل در این پایان نامه، مساله خازن گذاری با توجه به مسائل کیفیت توان علی الخصوص مساله رزونانس مورد بررسی قرار گرفته است.

از آنجائیکه الگوریتم ژنتیک یکی از قدرتمندترین الگوریتم های جستجو است، روش بهینه سازی در این تحقیق الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده است که با اعمال برخی روش های ابتکاری در نمایش کروموزومها، سعی شده سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیک بهبود یابد. در شبکه های توزیع جایابی خازن های ثابت با در نظر گرفتن قیودی همچون قید حدود ولتاژ، قید حداکثر جریان هادیها و قید حداکثر جبران در شبکه انجام شده است.

در فصل اول مقدمه ای راجع به خازن گذاری در شبکه های توزیع و توضیحاتی پیرامون قسمتهای مختلف پایان نامه ارائه شده است.

فصل دوم اصول و تئوری خازن گذاری و تاریخچه ای از تحقیقات انجام شده در مورد جایابی و مقدار یابی خازن های شنت بیان گردیده و در نهایت قابلیت تحقیقات انجام گرفته با یکدیگر مقایسه شده است.

از آنجائیکه در این پایان نامه الگوریتم ژنتیک به عنوان هسته بهینه سازی انتخاب شده است در فصل سوم کلیاتی در مورد الگوریتم ژنتیک بیان گردیده است.

با توجه به موضوع اصلی پایان نامه، در فصل چهارم مروری بر مسائل کیفیت توان و تاثیر گذاری آن بر خازن گذاری مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل پنجم مسائل و موضوع اصلی پایان نامه یعنی خازن گذاری در شبکه توزیع با توجه به مسائل کیفیت توان ارایه شده است.

فصل ششم شامل نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم جایابی خازن در روی شبکه ۹ باسه و مقایسه حالتی که در آن تشدید رخ داده یا خیر در نظر گرفته شده و ارائه شده است.

در پایان نتایج و پیشنهادات این پایان نامه در فصل هفتم ارائه شده است.

فصل دوم

خازن گذاری

در شبکه های توزیع

۱-۲ مقدمه

در فصل قبل توضیحاتی پیرامون اهمیت جبران توان راکتیو در شبکه های توزیع توسط خازنهای شنت ارائه گردید. بدلیل اهمیت این موضوع تحقیقات بسیاری در دهه های اخیر صورت گرفته و روشهای متعددی ارائه شده است.

به لحاظ اینکه جایابی و مقدار یابی خازن یک مسئله بهینه سازی است، از الگوریتمهای بهینه سازی متنوعی در تحقیقات انجام شده استفاده گردیده است. همچنین در هر یک از این تحقیقات مسئله جایابی بهینه خازن در شرایط متفاوتی همچون شبکه های متعادل و نامتعادل یا با توجه به محدودیتهایی همچون محدودیتهای جریان فیدرها و ولتاژ شین ها بررسی گردیده است. در برخی تحقیقات نیز تاثیراتی همچون کلید زنی خازن، اثرات هارمونیک و اثر بارهای غیر خطی بر خازن گذاری بررسی شده است.

در این فصل در مورد خازنهای قدرت در شبکه های توزیع و فواید ناشی از خازن گذاری و نگاه اقتصادی به موضوع خازن گذاری مطالبی بیان گردیده است. سپس الگوریتمهای مختلف بهینه سازی و سابقه تحقیق در جایابی و مقدار یابی بهینه خازنهای ثابت و نحوه کنترل خازنهای قابل کلید زنی ارائه گردیده است.

۲-۲ خازنهای قدرت

در یک دید کلی، خازن ممکن است وسیله ای خیلی ساده و غیر پیچیده به نظر آید، دو صفحه فلزی که توسط یک ماده عایق که از همدیگر جدا شده اند. هیچ جزء متحرکی نداشته، و بر اساس قرار گرفتن ولتاژ بر روی آن کار خواهد کرد. در صورتیکه خازن قدرت وسیله ای پیچیده و با تکنیک بالاست که مواد دی الکتریک خیلی نازک با فشار الکتریکی (ولتاژ) بالا درگیر شده و با روشهای عملی پیچیده شده اند. در گذشته

بیشتر خازنهای قدرت از دو صفحه آلومینیوم خالص که بوسیله سه لایه کاغذ یا بیشتر که با مواد شیمیایی اشباع شده از یکدیگر جدا می شدند، ساخته می شد. اندازه خازن از رنج ۲۵-۱۲ کیلووار به رنج ۳۰۰-۲۰۰ کیلووار افزایش یافته است (بانکهای خازنی معمولاً در رنجهای ۳۰۰ تا ۱۸۰۰۰ کیلووار ساخته می شوند) [۳۷].

امروزه خازنهای قدرت خیلی بیشتر از خازنهای قبلی (سی سال گذشته) مفید بوده و در صنایع برق خیلی ارزانتر (برای هر کیلووار) در دسترس قرار می گیرند. بطور کلی، خازن امروزه خیلی بیشتر از گذشته مورد توجه قرار می گیرد. که علت اصلی آن اضافه شدن بعد تحولات اقتصادی، تحت شرایط خاص در تحلیل آن می باشد. در شرایطی تعویض خازنهای قدیمی با خازنهای جدید از نظر اقتصادی توجیه پذیر می باشد. در تکنولوژی طراحی خازنهای جدید، ایده کم شدن تلفات مد نظر قرار گرفته است. در نتیجه، صنایع به سادگی می توانند ضررهای اقتصادی خود را با انتخاب تکنولوژی های مختلف خازن ارزیابی کنند.

۲-۳ اثر خازنهای سری و موازی [۳۷]

به عنوان یادآوری، وظیفه اصلی خازنها، فارغ از اینکه سری و یا موازی باشند، چه به صورت مستقل و یا به شکل بانک خازنی در مدار نصب شده باشند، تنظیم ولتاژ و قدرت راکتیو عبوری در محلی است که در آن نصب می شوند. خازن موازی این کار را با تغییر ضریب قدرت بار انجام می دهد در صورتی که خازن سری مستقیماً اینکار را با خنثی کردن اثر راکتانس اندوکتیو در مدار استفاده شده انجام می دهد.

۲-۳-۱ خازنهای سری

خازنهای سری در خطوط بصورت سری قرار گرفته و بدلیل وجود لوازم خاص، در یک رنج محدود در مدارهای توزیع بایستی استفاده شود. ضمناً به علت مسائل خاص مربوط به کار هر کدام نیاز به بررسیهای مهندسی پیچیده می باشد. به همین دلیل نصب خازن سری به جز صنایع بخصوصی در رنجهای کوچک، متقاضی زیادی ندارد.

یک خازن سری، راکتانس اندوکتیو مدار را خنثی می کند به عبارت دیگر یک خازن سری با راکتانس منفی (کاپاسیتیو)، زمانیکه بطور سری با مداری که دارای راکتاس مثبت (اندوکتیو) قرار می گیرد تمام یا

قسمتی از راکتانس مثبت را خنثی می‌کند. روی این اصل اولین اثر خازن سری کم کردن یا از بین بردن افت ولتاژ ناشی از راکتانس اندوکتیو در مدار می‌باشد. گاهی اوقات یک خازن سری می‌تواند به صورت یک تنظیم کننده ولتاژ در نظر گرفته شود. بطوریکه افزایش ولتاژی را متناسب، با دامنه و ضریب قدرت جریان سراسری تأمین می‌کند.

یک خازن سری همزمان با افزایش بار، بطور خودکار و سریع افزایش ولتاژی را تأمین می‌کند. گذشته از این یک خازن سری در ضریب قدرت پایین تر که باعث افت ولتاژ بیشتری در مدار می‌شود، اثر بیشتری از یک خازن موازی دارد. ولی خازن سری ضریب قدرت سیستم را خیلی کمتر از یک خازن موازی اصلاح می‌کند و اثر کمی روی جریان منبع دارد.

۲-۳-۲ خازنهای موازی در شبکه های توزیع

خازنهای موازی، که به صورت موازی با بار نصب می‌شوند، در سیستمهای توزیع کاربرد گسترده ای دارند. این خازنها با تأمین مولفه راکتیو جریان مورد نیاز مصرف کنندگان در واقع مشخصات راکتیو مصرف کنندگان را اصلاح می‌کنند. یک خازن مطابق شکل (۱-۲) در انتهای یک خط نصب شده است. نصب این خازن، اندازه جریان منبع را کاهش می‌دهد، ضریب قدرت را اصلاح می‌کند و در نتیجه افت ولتاژ فیدر را کاهش می‌دهد. در عین حال، خازنهای موازی در جریان و یا ضریب قدرت نقاطی که بعد از محل نصب خازن قرار دارند، تأثیری ندارد.

با توجه به شکل (۱-۲) افت ولتاژ در یک فیدر توزیع از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta V = I_R \cdot R + I_X \cdot X_L \quad (1-2)$$

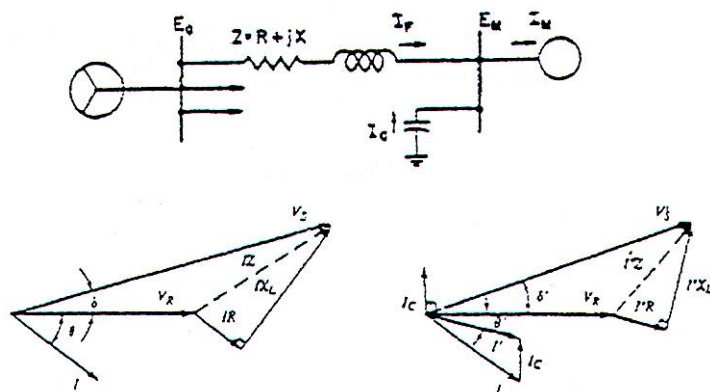
در رابطه فوق I_X, I_R مولفه های اکتیو و راکتیو جریان بار می‌باشند. پس از نصب یک خازن در انتهای فیدر شکل (۱-۲)، افت ولتاژ را می‌توان از رابطه زیر حساب کرد:

$$\Delta V = I_R \cdot R + (I_X - I_C) \cdot X_L \quad (2-2)$$

در این رابطه I_C جریان خازن می باشد و در نتیجه افزایش ولتاژ ناشی از نصب خازن را می توان به شکل

زیر بیان نمود:

$$\Delta V_C = I_C \cdot X_L \quad (3-2)$$



شکل ۲-۱: دیاگرام شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه با نصب خازن موازی [۳۷]

۲-۴ اهداف نصب خازن

نصب خازن موازی در انتهای یک خط توزیع می تواند اهدافی را برآورده سازد که در ذیل به آنها می

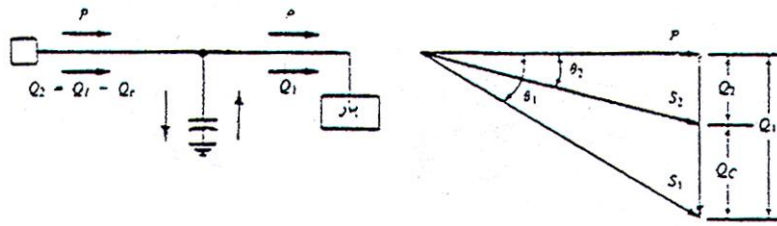
پردازیم.

۲-۴-۱ اصلاح ضریب قدرت

همانطور که قبلاً گفته شد تولید قدرت راکتیو در نیروگاه و انتقال آن به مصرف کننده در فاصله دور از

نیروگاه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و به سادگی می توان توسط خازن های موازی توان راکتیو

مورد نیاز را در محل بار تولید کرد. شکل (۲-۲) اصلاح ضریب قدرت را نشان می دهد.



شکل ۲-۲: نمایش اصلاح ضریب توان [۳۷]

همانطور که مشاهده می گردد، خازن جریان پیش فاز راکتیو از منبع می کشد و یا به عبارت دیگر جریان راکتیو پس فاز به بار می دهد. فرض کنید که بار توان حقیقی P و توان Q_1 را جذب نماید، قدرت دستگاه S_1 با ضریب توان پس فاز زیر است:

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \quad (4-2)$$

وقتی که یک خازن موازی با قدرت Q_c به موازات بار قرار می گیرد، ضریب توان از $\cos \theta_1$ به $\cos \theta_2$ تغییر می کند:

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}} \quad (5-2)$$

همانطور که از شکل (۲-۲) مشاهده می شود، توان ظاهری از S_1 به S_2 و توان راکتیو از Q_1 به Q_2 کاهش می یابند.

اصلاح ضریب توان باعث منافع اقتصادی در هزینه سوخت از طریق آزاد کردن ظرفیت و کاهش تلفات در تمام تجهیزات بین نقطه نصب خازن و منبع قدرت شامل خطوط توزیع، ترانسفورماتورهای توزیع و خطوط انتقال می شود. بنابراین ضریب توان اقتصادی آنست که به ازای نصب خازن، هزینه صرفه جوئی شده مساوی هزینه خازن نصب شده باشد. در گذشته ضریب توان اقتصادی حدود ۰.۹۵ بود. امروزه با افزایش هزینه

واحدهای تولید انرژی و هزینه سوخت و دیگر فاکتورهای اقتصادی، ضریب توان را به سمت ۱ میل می دهند [۳۷].

۲-۴-۲ اصلاح ولتاژ

خازنها دارای دو فایده از نظر اصلاح ولتاژ هستند:

- خازنهای قابل قطع و وصل که بعنوان وسیله ای بجای تنظیم کننده های ولتاژ در فیدرها و پستها ویا ترانسفورماتورها با نسبت تبدیل متغیر به کار می روند.

- خازنهای ثابت که ولتاژ متوسط سیستم را بالا می برند.

با بالا رفتن سطح ولتاژ متوسط، توسط خازنهای ثابت، هزینه تنظیم ولتاژ کاهش می یابد. البته باید توجه داشت که خازن ثابت یک تنظیم کننده ولتاژ نیست و نمی توان آن را با تنظیم کننده های ولتاژ مقایسه کرد، ولی علاوه بر بالا بردن ولتاژ، خازنهای ثابت باعث کم کردن تغییرات ولتاژ در طول فیدر نیز می شوند. بنابراین وقتی خازن کار رگولاتور ولتاژ را تا حدودی انجام می دهد باید صرفه جوئی ناشی از به کار بردن خازن را در محاسبات به حساب آورد. با بالا رفتن سطح ولتاژ بوسیله خازن ثابت، سود حاصل از طرف بارها نیز باید به حساب آید. این مسئله بخصوص در بارهای مسکونی اهمیت دارد که در محاسبات جابجایی خازن این فاکتور را نیز می توان لحاظ کرد.

۲-۴-۳ بررسی خازن گذاری از نظر اقتصادی

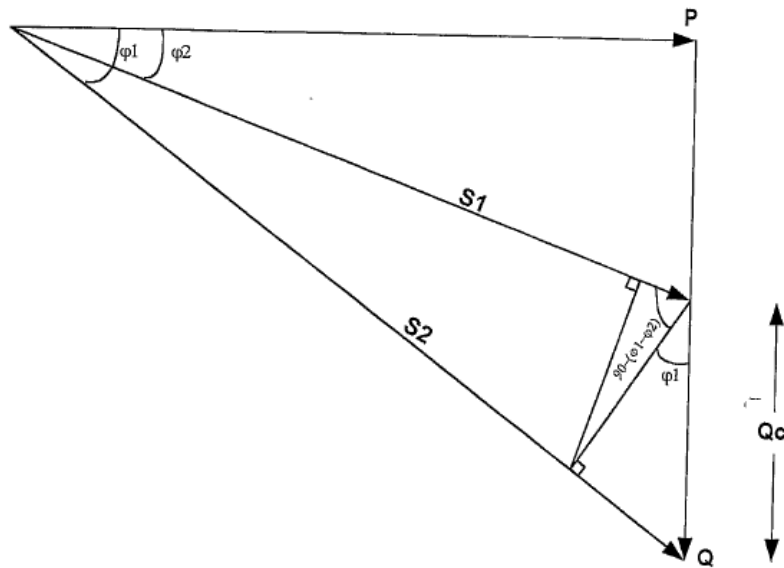
همان طور که گفته شد، جبران توان راکتیو در سیستم توزیع باعث کاهش انتقال جریان راکتیو از نیروگاهها به سیستم توزیع می گردد که در پی آن تلفات سیستم قدرت کاهش می یابد.

جهت بررسی اقتصادی خازن گذاری مسائلی همچون کاهش تلفات انرژی، آزاد سازی ظرفیت، کاهش تلفات پیک، سود حاصل از خازن گذاری را بیان می کنند. در مقابل هزینه خرید، نصب و نگهداری و تجهیزات کنترل خازنها به عنوان هزینه های سرمایه گذاری مطرح می شوند.

در ادامه توضیحاتی در مورد هر یک از مواردی که در بحث اقتصادی خازن گذاری تاثیر گذار هستند آورده شده است.

۲-۴-۳-۱ آزاد سازی ظرفیت

رشد بار و افزایش میزان تقاضا به تدریج باعث می شود که جریان عبوری از تجهیزات بکار رفته در شبکه مانند فیدرها، ترانسفورماتورها و ... به حد نامی خود برسند. ر این وضعیت بهره برداران شبکه مجبور به تعویض تجهیزات با مقادیر نامی بالاتر و یا احداث خطوط انتقال جدید خواهند بود که طبیعتاً همراه با صرف هزینه های زیادی می باشد. با جبران توان راکتیو، جریان راکتیو و در نتیجه اندازه جریان عبوری از خطوط کاهش می یابد. در شرایط یکسان تعداد مشترک و مقدار انرژی اکتیو درخواستی، بعد از خازن گذاری جریان کمتری از شبکه عبور می کند. کاهش جریان عبوری باعث می شود که قدرت عبوری از مقادیر نامی تجهیزات فاصله گرفته و با افزایش توان درخواستی و افزایش تعداد مشترکین نیاز به احداث خطوط و یا تعویض تجهیزات شبکه به تعویق بیافتد. از طرفی هزینه خازن گذاری در مقابل هزینه احداث خطوط و تعویض تجهیزات شبکه به مراتب کمتر است و خازن گذاری در شبکه توزیع توجیه پذیر خواهد بود. در نمودار شکل (۲-۳) میزان ظرفیت آزاد شده محاسبه گردیده است. معمولاً هزینه احداث خطوط و تجهیزات بر حسب واحد پول بر کیلو ولت آمپر بیان می گردد.



شکل ۲-۳: آزاد سازی ظرفیت بعد از جبران توان راکتیو [۳۷]

۲-۳-۴-۲ کاهش انرژی تلفاتی و تلفات پیک

همراه با کاهش جریان عبوری از خطوط، تلفات خطوط که متناسب با توان دوم جریان است کاهش می یابد. میزان کاهش تلفات در طول پریود مطالعه، میزان کاهش تلفات انرژی را بیان می کند که با توجه به هزینه هر کیلو وات ساعت تولید، سود ناشی از کاهش تلفات انرژی در اثر خازن گذاری مشخص می شود. همچنین کاهش تلفات در زمان پیک شبکه سود دیگری را نیز به همراه دارد. همانطور که مشخص است با کاهش تلفات در پیک، نیروگاهها از حدود نامی خود فاصله می گیرند و احتیاج به تولید کمتری می باشد. بنابراین در صورت اضافه شدن مشترکین احداث نیروگاههای جدید به تعویق افتاده و در هزینه ای که بازا هر کیلو وات احداث نیروگاهها صرف می گردد، صرفه جویی می شود. معمولاً هزینه احداث نیروگاهها بر حسب واحد پول بر کیلو وات در سال بیان می گردد.

۲-۳-۴-۳ بهای خازن

هزینه های مربوط به خازن گذاری تنها مورد پر هزینه در مقابل موارد مثبت و پر سود ناشی از خازن گذاری در سیستم قدرت می باشد. معمولاً هزینه هایی همچون هزینه اولیه خرید خازن که به صورت واحد

پول بر کیلو وار، هزینه پرسنلی نصب خازن و هزینه تعمیر و نگهداری خازن که به صورت یک هزینه ثابت بازا هر بانک خازنی است، در محاسبات لحاظ می گردد.

البته با توجه به تکنولوژیهای مختلفی که برای ساخت خازن وجود دارد هر کارخانه مشخصات و هزینه های مربوط به خازن تولیدی خود را در اختیار مصرف کننده قرار می دهد.

۲-۴-۳-۴ سرمایه گذاری و سوددهی

در بخشهای قبلی عواملی که در سود حاصل از خازن گذاری موثر است مطرح گردید و مسائل هزینه بر نیز معرفی شد. در این قسمت مسائل مربوط به سرمایه گذاری و صرفه اقتصادی مطرح می شود. هر یک از بحث های سرمایه گذاری اولیه و سوددهی باید با توجه به مدت زمان سرمایه گذاری محاسبه شود [۳۸].

به طور مثال اگر A واحد پول سرمایه گذاری برای یک تجهیز انجام شود که طول عمر تجهیز n سال باشد و نرخ برگشت سرمایه B درصد در نظر گرفته شود، هزینه سرمایه گذاری سالانه طبق رابطه (۲-۶) است.

$$\text{هزینه سرمایه گذاری سالانه} = A \times \frac{(1+B)^n \times B}{(1+B)^n - 1} \quad (۲-۶)$$

از طرفی اگر سود سالانه ناشی از خازن گذاری برابر با K واحد پول باشد و نرخ برگشت سرمایه B درصد در نظر گرفته شود، سود ناشی از خازن گذاری در پایان n سال طبق رابطه (۲-۷) می باشد.

$$\text{سود حاصل از خازن گذاری بعد از n سال} = K \frac{(1+B)^n - 1}{B} \quad (۲-۷)$$

بنابراین برای بررسی اقتصادی منافع و هزینه های خازن گذاری بایستی از روابط فوق استفاده می گردد.

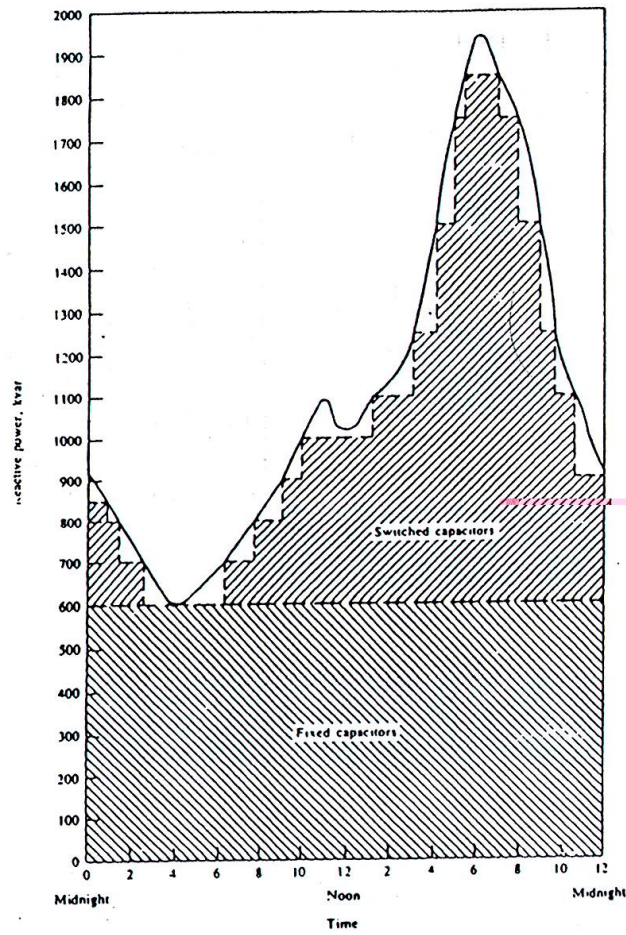
۲-۵ نصب خازنها در شبکه

بطور کلی خازنهای نصب شده روی فیدرها بصورت ثابت و قابل سوئیچ می باشند. اگر فقط خازنهای ثابت نصب شوند، سیستم با یک ضریب قدرت پیش فاز و افزایش ولتاژ در آن فیدر روبرو خواهد شد. بنابراین همانگونه که در شکل (۲-۴) نشان داده شده است در شبکه تعدادی خازن بعنوان بانکهای خازنی قابل

سوئیچ وصل می شود، که می توانند در شرایط بار کم خاموش شوند. بنابراین خازنهای ثابت برای حداقل بار محاسبه شده و بطور دائم متصل می گردند و خازنهای قابل سوئیچ، بعنوان یک یا چندین بلوک متوالی در سطوح مختلف بار وارد مدار شده و یا از مدار خارج می شوند. با وجود این در عمل تعداد مراحل یا بلوکها طوری انتخاب می شوند که نسبت به هزینه های نصب کلید و تجهیزات کنترل لازم ارزش داشته باشد.

برای انتخاب نوع نصب خازن باید بر اساس نتایج اجرای برنامه پخش بار یا مطالعه بارها و فیدرها در یک سیستم تصمیم گیری کرد و نتایج را روی یک نمودار مانند شکل (۲-۴) نشان داد. این منحنی، منحنی تداوم بار راکتیو می باشد و جمع بارهای راکتیو مصرف کنندگان و نیازمندیهای توان راکتیو سیستم است.

از زمانی که منحنی تداوم بار راکتیو روزانه بدست آمد، با بررسی عینی منحنی اندازه خازنهای ثابت برای مینیمم کردن بار راکتیو می تواند تعیین شود. برای مثال از شکل (۲-۴) می توان تعیین کرد که اندازه خازنهای ثابت مورد نیاز ۶۰۰ کیلووار است. کیلووار باقیمانده مورد درخواست بارها توسط ژنراتور یا ترجیحاً خازنهای قابل سوئیچ تامین می گردد. با وجود این چون تامین کیلووار مورد نیاز سیستم از طریق ژنراتور خیلی هزینه بر است و ممکن است برای پایداری سیستم مشکل آفرین باشد، نیاز به خازنهای موازی احساس می شود. اندازه های خازن برای تکمیل کردن مشخصات بار باقیمانده ساعت به ساعت انتخاب می شوند.



شکل ۲-۴: منحنی تداوم بار راکتیو به همراه نمایش پله های خازنهای نصب شده [۳۷]

۲-۵-۱ انواع اتصال بانکهای خازنی در شبکه

یک بانک خازنی سه فاز روی فیدر توزیع می تواند به شکلهای زیر متصل گردد:

۱- مثلث

۲- ستاره زمین شده

۳- ستاره زمین نشده

نوع اتصال بانکهای خازنی در شبکه به موارد زیر بستگی دارد:

- نوع سیستم که آیا یک سیستم زمین شده یا نشده است

- محل بانک خازنی

- ملاحظات تداخل تلفنی

در بانکهای مثلث یا ستاره زمین نشده، موقعی که در سمت تغذیه بانک خازنی یک یا دو خط باز شود، به دلیل ولتاژ باقی مانده روی فاز که سمت بار هادی باز از طریق خازنهای سری در سمت بار دیده میشوند، ممکن است با ترانسفورماتور تغذیه کننده شرایط رزونانس رخ دهد. در نتیجه ترانسفورماتورهای تک فاز روی سیستم چهار سیمه ممکن است صدمه ببینند. بنابراین بانکهای خازنی ستاره زمین نشده تحت شرایط زیر توصیه نمی شوند [۳۷]:

- روی فیدرهای با بار کم که مینیمم بار هر فاز آن سوی بانک خازنی از ۱۵۰ درصد رنج هر فاز بانک خازنی تجاوز نکند
- روی فیدرهایی با کلید تکفاز روی ابتدای خط
- روی بانکهای خازنی ثابت
- روی بخش هایی از فیدر که آنسوی قطع کننده قرار گرفته است.
- روی فیدرهای با انتقال اضطراری بار

با وجود این، بانکهای خازنی ستاره زمین نشده در صورتیکه یک یا بیش از یکی از شرایط زیر موجود باشد توصیه می شود:

- هارمونیکهای بیش از حد جریان در نوترال پستها مسدود شده باشند.
 - تداخلهای تلفنی بتواند محدود شود.
- معمولاً بانکهای خازنی ستاره زمین شده فقط روی سیستمهای اولیه سه فاز چهار سیمه بکار می روند. از طرف دیگر اگر بانک خازنی ستاره زمین شده روی سیستم ستاره زمین نشده سه فاز سه سیمه یا مثلث مورد استفاده قرار گیرد، یک منبع جریان زمینی فراهم می کند که ممکن است رله های زمین حساس را مختل کند.

۲-۶ روشهای خازن گذاری در شبکه توزیع

در قسمتهای قبل مزایای عمده استفاده از خازن در شبکه توزیع بیان شد. با توجه به این فواید از دهه های قبل، تحقیقات در این زمینه آغاز شده است که هدف اصلی در این تحقیقات، تعیین موقعیت، مقدار، تعداد و روش کنترلی بانکهای خازنی قابل کلید زنی بوده است.

در هر یک از تحقیقات انجام گرفته، بعد از تعریف تابع هدف و شرایط حاکم بر مسئله، مقدار و مکان خازن ها به قسمی تعیین گردیده است که سود حاصل از خازن گذاری حداکثر گردد.

به طور کلی هدف و شرایط حاکم بر مسئله خازن گذاری در شبکه توزیع طبق رابطه (۲-۱۱) تعریف می گردد.

$$Max.S(Savings) = K_p .\Delta P + K_R .\Delta R + K_E .\Delta E - \sum_{i=1}^{n_c} C_{ci}$$

Subject to

:

(۲-۸)

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad i = 1, \dots, n$$

$$I_j \leq I_{\max} \quad j = 1, \dots, k$$

K_p : هزینه هر کیلو وات احداث نیروگاه بر حسب دلار بر کیلو وات

K_R : هزینه هر کیلو وات ساعت احداث تجهیزات و خطوط در سیستم قدرت بر حسب دلار بر کیلو وات

ساعت

K_E : هزینه تولید هر کیلو وات ساعت انرژی بر حسب دلار بر کیلو وات ساعت انرژی

ΔP : میزان کاهش تلفات در زمان پیک شبکه بر حسب کیلو وات

ΔR : میزان ظرفیت آزاد شده خطوط در زمان پیک شبکه بر حسب کیلو وات ساعت

ΔE : میزان کاهش تلفات انرژی در طول مدت مطالعه بر حسب کیلو وات ساعت انرژی

C_{ci} : هزینه هر واحد بانک خازنی بر حسب دلار

n : تعداد گره های شبکه توزیع

n_c : تعداد بانک خازنی نصب شده در شبکه

K : تعداد خطوط شبکه توزیع

V_{\min}, V_{\max} : حدود مجاز ولتاژ در شبکه بر حسب پریونیت

I_{\max} : حد مجاز جریان در هر یک از خطوط بر حسب پریونیت

V_i : ولتاژ شین i ام بر حسب پریونیت

I_j : جریان در خط j ام بر حسب پریونیت

رابطه (۲ - ۸) یک رابطه غیر خطی است که در هنگام محاسبه هر یک از اجزاء آن متغیرهای گسسته ای نیز همچون پله بانکهای خازنی یا سطوح مختلف بار و وجود دارند که این رابطه را تبدیل به یک رابطه غیر مشتق پذیر کرده اند.

به همین دلیل بیشتر تحقیقات انجام شده در راستای ارائه روشی مناسب جهت دستیابی به مقدار بهینه عمومی تابع هدف خازن گذاری بوده است. روشهایی که در بهینه سازی تابع هدف خازن گذاری استفاده شده است، عبارتند از :

- روشهای تحلیلی^۱ [۲-۷]
- روشهای مبتنی بر برنامه ریزی عددی (برنامه ریزی خطی^۲ ، برنامه ریزی اعداد صحیح^۳ ، برنامه ریزی دینامیکی^۴) [۸-۱۵]
- روشهای ابتکاری یا تجربی^۵ [۱۷-۱۸]

• روش‌های جدید (روش آبکاری فولاد^۶، روش جستجوی جدولی^۷، الگوریتم ژنتیک^۸،

سیستم‌های خبره،^۹ قوانین فازی^{۱۰}، شبکه‌های عصبی^{۱۱}) [۳۶-۱۹] [۴۵-۳۹]

در برخی از تحقیقات نیز علاوه بر ارائه روش بهینه‌سازی، مسئله جاییابی و مقدار یابی خازن تحت شرایط مختلف یا با در نظر گرفتن تاثیر برخی پارامترها همچون غیر خطی بودن بار [۴۶]. امیدانس متقابل [۴۸-۴۷] و بررسی شده است.

در ادامه انواع روش‌های بهینه‌سازی بکار گرفته شده در مقالات، شرایط حاکم بر مسئله و فرضیات تحقیقات انجام گرفته معرفی شده است.

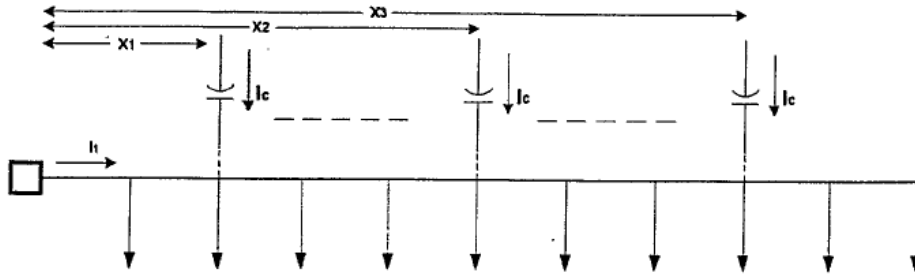
۲-۶-۱ روش‌های تحلیلی

از ابتدایی‌ترین روش‌های بکار رفته روش‌های تحلیلی بودند. به بیان ساده در این روشها بعد از تعریف یک تابع هدف خطی، نقطه بهینه تابع هدف بامشتق گیری محاسبه می‌گردید.

روش‌های تحلیلی بیشتر در زمانی مورد استفاده قرار می‌گرفت که واحدهای محاسبات و منطبق با کامپیوترهای سرعت بالا در دسترس نبودند.

یکی از قوانین ساده و معروف جاییابی خازن که از روش‌های تحلیلی بدست آمد، قانون $\frac{2}{3}$ می‌باشد [۳۷].

در این روش می‌توان فیدری بدون شاخه‌های جانبی و بار یکنواخت را که ولتاژ در تمام نقاط آن یکسان است در نظر گرفت (شکل ۲-۵) و با هدف حداقل کردن تلفات، مکان و مقدار خازن را در زمانیکه هدف استقرار تعداد مشخصی خازن در فیدر باشد تعیین کرد.



شکل ۲-۵: نصب تعداد مشخص خازن در فیدر با بار یکنواخت [۳۷]

$$c = \frac{I_1}{I_c} = \frac{2}{2n+1} \quad (۹-۲)$$

$$x_i = l - \frac{(2i-1)c}{2} \quad (۱۰-۲)$$

در روابط فوق n تعداد خازن و x_i مکان i امین بانک خازنی است [۳۷].

بدین ترتیب مکان بهینه اولین خازن به فاصله $\frac{2}{3}$ طول فیدر از ابتدای فیدر و مقدار بهینه خازن $\frac{2}{3}$ میزان توان راکتیو کل فیدر باشد. در روش فوق فرضیاتی همچون یکنواختی بار فیدر و متقارن بودن بار لحاظ گردیده است که در هر شبکه توزیع واقعیت ندارد. همچنین محاسبات فوق تنها با هدف کاهش تلفات در یک سطح بار در نظر گرفته شده که بدور از واقعیت است و بار در پریودهای مختلف قابل تغییر می باشد.

در مراجع [۳-۴] جایابی خازن با استفاده از روشهای تحلیلی انجام شده است. در این مقالات روشی برای تخمین سطح مقطع معادل فیدر در حالتی که فیدر از هادیهای مختلف تشکیل شده باشد ارائه شده است. علاوه بر این موضوع، محاسبه تلفات برای کل سطوح بار با توجه به ضریب بار 12 فیدر، ضریبی برای محاسبه تلفات ارائه گردیده است.

در مراجع [۷-۵] با در نظر گرفتن تابع هدف به صورت کاهش تلفات انرژی و کاهش تلفات پیک، دو مسئله جایابی خازن و جایابی تنظیم کننده ولتاژ^{۱۳} بررسی شده است.

در مقالات فوق عموماً شبکه متعادل در نظر گرفته شده و عملکرد خازن های قابل کلید زنی به صورت اتصال یا عدم اتصال به شبکه می باشد.

همچنین تابع تلفات تنها با توجه به جریان راکتیو شبکه محاسبه گردیده است.

۲-۶-۲ روشهای مبتنی بر برنامه ریزی عددی

با پیشرفت فناوری و در دسترس قرار گرفتن منابع محاسباتی قوی، در حل مسائل جایابی خازن روشهای تحلیلی جای خود را به روشهای عددی دادند.

روشهای عددی عموماً روشهای مبتنی بر تکرار جهت دستیابی به مقدار حداکثر یا حداقل تابع هدف می باشند. با بکارگیری این روشها امکان تعریف توابع هدف به صورت پیچیده تر فراهم شد، به طوری که نکات واقعی یک شبکه توزیع لحاظ گردید و شرایط حاکم بر مسئله به صورت کاملتری بیان شد.

روشهای مبتنی بر برنامه ریزی عددی را می توان تحت عناوین برنامه ریزی خطی، برنامه ریزی اعداد صحیح و برنامه ریزی دینامیکی تقسیم بندی کرد که در ادامه هر یک از این روشها به صورت مختصر توضیح داده شده است [۹].

۲-۶-۲-۱ برنامه ریزی خطی

برنامه ریزی خطی یکی از روشهای ریاضی است که جهت بیشینه و کمینه کردن یک تابع هدف با توجه به محدودیت ها و شرایط بکار گرفته می شود.

تفاوت اصلی برنامه ریزی خطی با دیگر روشهای ریاضی در این است که اهداف و شرایط مسئله به صورت خطی بیان می شوند. به بیان ساده ساختار اصلی یک مسئله برنامه ریزی خطی با رابطه (۱۱-۲) بیان می شود.

$$f(x_1, x_2, x_3) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Subject to :

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m \end{cases} \quad (11-2)$$

همان طور که مشخص است کلیه روابط فوق به صورت خطی بیان شده اند. روش حل مسئله جایابی و اندازه یابی خازن در مرجع [۱۰] به صورت برنامه ریزی خطی است. در این مقاله با تقریب تلفات در یک شبکه توزیع مسئله به صورت خطی بیان شده و با استفاده از برنامه ریزی خطی مکان و مقدار بهینه خازن تعیین گردیده است. البته در این مقاله نگاه عمیقی به شرایط و حالت های ممکن در شبکه توزیع وجود نداشته و تنها بهینه سازی برای دو شین انجام شده است. باید توجه داشت که در نظر گرفتن تغییرات خطی متغیرها از جمله فرضیاتی است که حل مسئله جایابی و اندازه یابی خازن را به شکل حل یک مسئله با فرضیات غیر واقعی نشان می دهد.

به این روش بیشتر مسائلی ارجاع داده می شوند که تمام و یا قسمتی از متغیرها دارای مقادیر صحیح باشند. از آنجایی که تعداد بانک های خازنی و مکان استقرار خازنها را می توان به صورت اعداد صحیح بیان کرد، روش برنامه ریزی اعداد صحیح جهت حل مسائل خازن گذاری قبل استفاده خواهد بود. در مراجع [۱۱،۱۲] با ارائه یک روش پخش بار سریع جایابی و مقدار یابی خازن و همچنین نحوه کنترل زمانی بانک های خازنی توسط برنامه ریزی اعداد صحیح انجام شده است. روش کار بدین صورت بوده که ابتدا مکان بهینه خازن اول مشخص شده سپس با قرار دادن خازن اول در مدار، مکان خازن دوم تعیین گردیده است این کار تا زمانی انجام شده که مکان یابی خازن همراه با سود باشد.

علاوه بر این در برخی مقالات [۱۳،۱۴] نیز مسئله جایابی خازن با روش برنامه ریزی اعداد صحیح برای شبکه های توزیع متقارن انجام گرفته است.

۲-۶-۳ برنامه ریزی دینامیکی

برنامه ریزی دینامیکی از دیگر روشهای ریاضی است که در مسائل بهینه سازی استفاده می گردد. اصول اولیه این روش بر پایه جداسازی مسئله به تعدادی زیر مسئله است.

بعد از جداسازی مسئله به زیر مسئله ها، هر زیر مسئله در حالتی ممکن بررسی شده و بهینه می گردد. سپس با توجه به مقادیر بهینه هر زیر مسئله نقطه بهینه برای کل مسئله بدست می آید.

از مشکلات این روش مدلسازی و تقسیم مسئله به چند زیر مسئله می باشد. در مرجع [۱۵] با تقسیم بندی تابع هدف به قسمت های کاهش تلفات انرژی، کاهش پیک و آزاد سازی ظرفیت، حالت های بهینه برای هر یک بدست آمده و در نهایت پاسخ بهینه کل تابع هدف مشخص گردیده است.

۲-۶-۳ روشهای ابتکاری (تجربی)

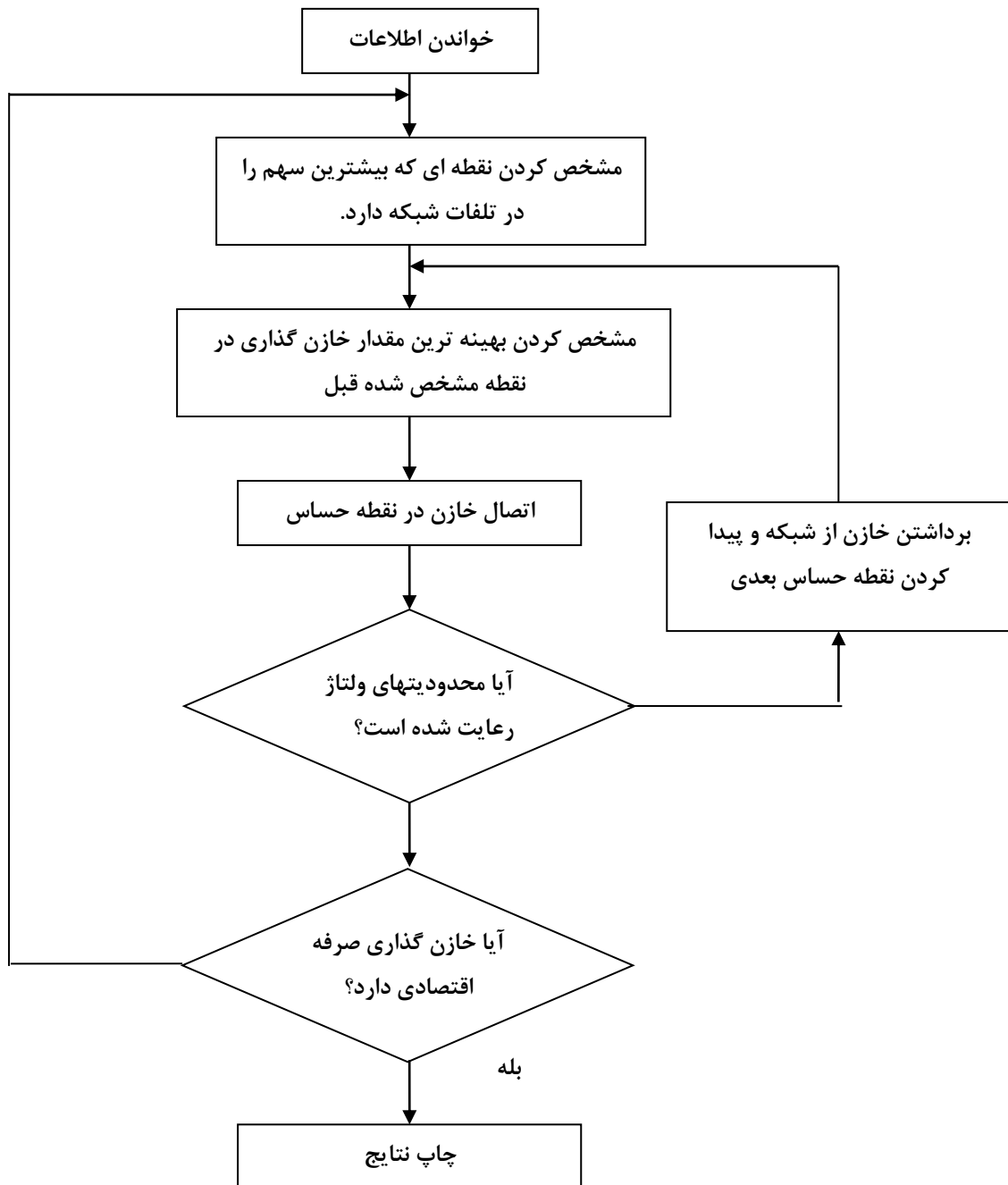
معمولاً روشهای عددی دارای پیچیدگی زیادی می باشند و در مواردی نیز اطلاعات کافی در مورد حل مسئله به روشهای عددی وجود ندارد. در این حالات برای رسیدن به یک جواب معقول در مورد مکان و

مقدار بهینه خازنها در شبکه توزیع، از روشهای ابتکاری استفاده می شود. این روشها مبتنی بر قواعد شهودی و تجربی هستند و فضای جستجوی کمتری را نسبت به روشهای بهینه سازی دیگر در نظر می گیرند. در عین حال باید توجه کرد که با بکارگیری این روش معمولاً به نقطه بهینه اصلی در مقایسه با روشهای عددی نمی توان رسید.

در مرجع [۱۷] از روش ابتکاری در حل مسئله خازن گذاری استفاده گردیده است. در این مقاله ابتدا فیدری که دارای بیشترین توان تلفاتی است انتخاب شده و سپس از بین تمام گره هایی که بار آنها از فیدر انتخاب شده می گذرد، گره ای که بار آن بیشترین تاثیر را در تلفات فیدر دارد به عنوان نقطه کاندید خازن گذاری معرفی می شود.

اکثر روشهای جایابی خازن مبتنی بر روشهای تجربی، دارای الگوریتم توضیح داده شده هستند. در شکل (۲-۶) فلوجارت کلی الگوریتمهای ابتکاری در تعیین مکان بهینه خازن ارائه گردیده است. در برخی مقالات از جمله [۱۸] با ارائه الگوریتم ابتکاری، مسئله جایابی خازن در شرایطی که بار تغییر می کند بررسی شده است. بدین صورت که ابتدا مصرف بارهای مختلف برای اوقات مختلف مانند فصول مختلف، روزهای کاری هفته و روزهای تعطیل دسته بندی شده و با توجه به نمونه برداریهایی که از بار منطقه تحت مطالعه انجام شده برای هر یک از موقعیت های زمانی یک ضریب تعریف شده است که توسط این ضریب میزان وزن کاهش انرژی در دوره های مختلف از سال مشخص می گردد.

در تحقیق دیگر ابتدا گره های حساس شبکه با همان روش تجربی بدست آمده و سپس مقدار بهینه خازنها با هدف حداقل کردن تلفات به صورت تحلیلی محاسبه شده است [۱۷]. در مقاله [۱۸] نیز از روش ابتکاری برای تعیین مکان خازن و مقدار آن استفاده شده است منتهی بحث بیشتر این مقاله در مورد ارائه یک دستگاه اندازه گیری توان^{۱۴} و ارائه روشی برای تخمین توان مشترکین است.



شکل ۲-۶: فلوچارت کلی خازن گذاری به روش تجربی [۱۷]

۲-۶-۴ روشهای جدید

روشها و الگوریتمهای جدیدی نیز برای رسیدن به نقطه بهینه تابع هدف در مقالات پیشنهاد شده که از آن جمله می توان به روشهای آبرکاری فولاد، روش جستجوی جدولی، الگوریتم ژنتیک، شبکه های عصبی، سیستمهای خبره و قوانین فازی اشاره کرد.

در ادامه به بررسی مختصر هر یک از روشهای فوق پرداخته شده است.

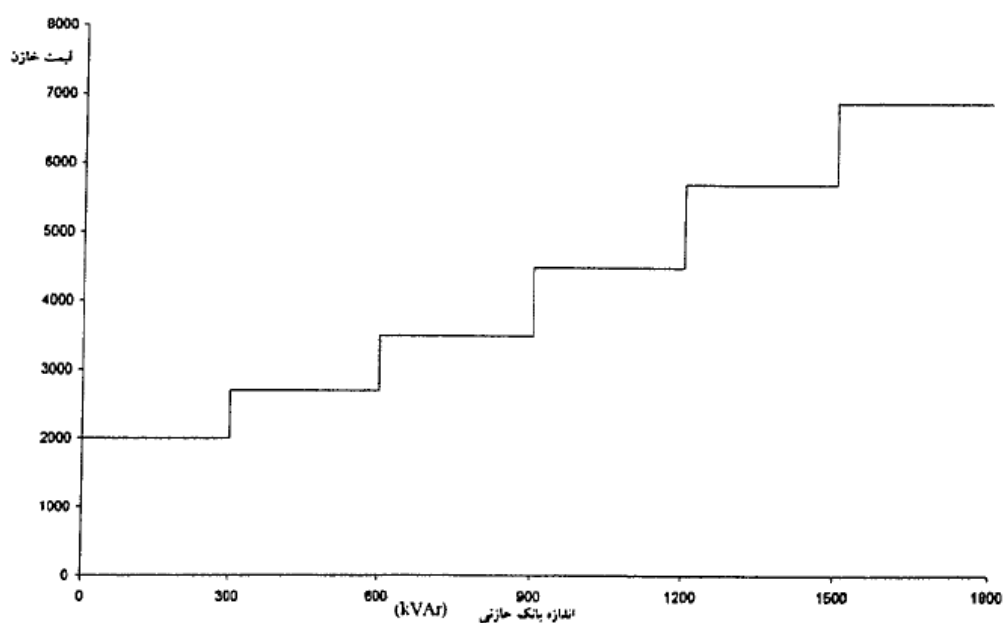
۲-۶-۴-۱- روش آبرکاری فولاد

این روش یک الگو برداری از طبیعت می باشد. مبنای روش فوق بر اساس فرآیند سرد شدن فولاد است. طبق مطالعات بعمل آمده برای جلوگیری از بوجود آمدن شبکه های کریستالی در فولاد، فرآیند سرد شدن باید طبق اصول و معیارهایی انجام پذیرد. فرآیند سرد شدن فولاد طبق رابطه (۲-۱۲) بیان می گردد.

$$T(\Delta E) = e^{-\frac{\Delta E}{k_b T}} \quad (۲-۱۲)$$

که T دما، ΔE تغییر انرژی و K_b ثابت بولتزمن است. در روش آبرکاری فولاد، بهینه سازی از یک نقطه ابتدایی شروع شده و تابع هدف محاسبه می شود. سپس در نقطه بعدی که در همسایگی نقطه اول است تابع هدف محاسبه می گردد. اگر تابع هدف به سمت وضعیت بهینه تری رفت نقطه جدید به عنوان نقطه شروع پذیرفته شده و در غیر این صورت، اگر احتمال پذیرش نقطه جدید که با توجه به تابع احتمال پروسه سرد شدن فولاد محاسبه می گردد از حد مشخصی بالاتر باشد، نقطه جدید پذیرفته شده و فرآیند ادامه می یابد. روش آبرکاری فولاد، یکی از روشهای موثر و جدید در بهینه سازی می باشد و اخیراً کاربردهای بسیاری یافته است.

در تحقیق [۱۹-۲۰] ابتدا با استفاده از روشهای ابتکاری نقاط حساس برای خازن گذاری تعیین شده و برای اندازه خازنها و نحوه کنترل خازنهای قابل کلید زنی از روش آبکاری فولاد استفاده شده است. در این مقالات به مسائلی همچون عدم تعادل بار، تغییرات بار و در نظر گرفتن محدودیتهایی برای ولتاژ و جریان و مقادیر واقعی خازن ها توجه شده است. در مقالات [۲۱-۲۲] نیز از روش آبکاری فولاد استفاده شده است منتهی در محاسبات قیمت خازن به صورت پله ای در نظر گرفته شده است. این نکته در شکل (۷-۲) نشان داده شده است.



شکل ۷-۲: نحوه در نظر گرفتن قیمت بانک های خازنی در مرجع [۲۱-۲۲]

در روشهایی که از آبکاری فولاد استفاده می شود تعیین مناسب پارامترهای تابع احتمال در دستیابی به نقطه بهینه بسیار موثر می باشند و معمولاً با توجه به نوع مسئله در مقالات مختلفی که اشاره شد مقادیر متفاوتی ارائه گردیده است.

۲-۶-۴-۲ روش جستجوی جدولی

یکی دیگر از روشهای جستجو برای رسیدن به نقطه بهینه، روش جستجوی جدولی می باشد. در این روش با تشکیل یک حافظه از جستجو در حافظه های قبلی، احتمال گرفتار شدن در نقطه بهینه محلی کم می شود [۲۰].

الگوریتم جستجوی جدولی یکی دیگر از روشهای جستجوی تمام نقاط می باشد که اخیراً در حل مسائل جایابی خازن مورد استفاده قرار گرفته است [۲۱-۲۲] با توجه به نقاطی که بیشترین سهم را در ایجاد تلفات در سطوح مختلف بار دارند و با در نظر گرفتن رشد بار محدودیت‌هایی همچون ولتاژ گره ها و جریان فیدرها، جایابی خازن انجام شده است.

در [۲۲] برای حل سریعتر مسئله درزمانیکه منطقه مورد مطالعه بزرگ باشد از یک روش جداسازی استفاده شده است بدین طریق که جستجو در هر همسایگی به چند زیر همسایگی تقسیم شده و در ادامه عملیات جستجو در هر زیر همسایه ادامه می یابد. در این مقاله عنوان شده است که نسبت به الگوریتمهای ژنتیک و آبکاری فولاد مزیت هایی همچون سادگی الگوریتم ودقت عمل بیشتر وجود دارد.

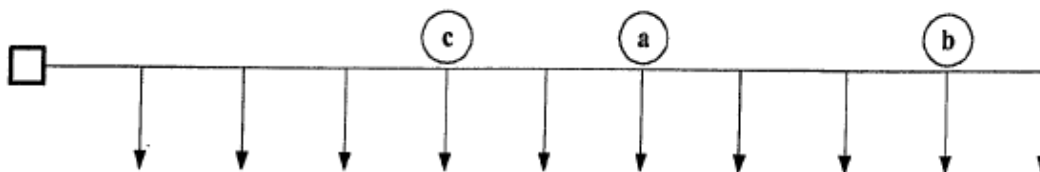
۲-۶-۴-۳- الگوریتم ژنتیک

این روش نیز مانند آبکاری فولاد یک الگوبرداری از طبیعت می باشد. در این روش ابتدا یک جمعیت اولیه که چندین رشته را شامل می شود و هر رشته جوابهای متفاوتی از مسئله را در بر دارد، تشکیل می گردد. سپس مقدار تابع هدف بزاء جوابهای هر رشته محاسبه شده و مطابق با آن برازندگی هر رشته تعیین می گردد. سپس با استفاده از عملگرهای جایابی^{۱۵} و جهش^{۱۶}، جمعیت جدیدی که در حکم فرزندان جمعیت قبلی هستند تشکیل می شود و این روند تا رسیدن به نقطه بهینه ادامه می یابد.

الگوریتم ژنتیک اخیراً از پر کاربردترین الگوریتمهای موجود جهت بهینه سازی است و از آنجایی که هسته بهینه سازی پایان نامه حاضر نیز الگوریتم ژنتیک است در فصل سوم به تفصیل درمورد الگوریتم ژنتیک صحبت شده است.

در تحقیقات [۲۳-۳۶] از الگوریتم ژنتیک در جایابی و اندازه یابی خازن و بهینه سازی تلفات شبکه استفاده شده است. معمولاً در مقالات فوق مسئله جایابی و اندازه یابی خازن به دو قسمت تقسیم شده بطوریکه در ابتدا با روشهای فازی [۲۳] یا روشهای ابتکاری [۲۴] یا با استفاده از روشهای عددی [۲۵] نقاط کاندید خازن گذاری انجام می گردد و سپس توسط الگوریتم ژنتیک با بهینه سازی تابع هدف مقدار خازنها و نحوه کنترل آنها مشخص می شود. برخی مقالات در جایابی خازن، علاوه بر شرایط ولتاژ و جریان، شرایط هارمونیکی را نیز لحاظ کرده اند [۲۶]. از آنجائیکه کلید زنی خازنها می تواند تاثیرات مختلفی همچون افزایش ولتاژ را در پی داشته باشد در [۲۷] نحوه کنترل و جایابی خازن با اضافه کردن شرایط کلید زنی در کنار شرایط بهره برداری بررسی گردیده است. البته در این مقاله تاثیر کلید زنی با یک فرمول تقریبی محاسبه شده است و مطالعه دقیقی به نظر نمی رسد. در برخی مقالات [۲۸] نیز ابتدا توسط یکسری قوانین نقاط کاندید جهت خازن گذاری تعیین شده است. قوانین ارائه شده در [۲۸] بدین صورت است که:

- قانون اول : با توجه به شکل (۲-۸) برای دو گره a و b زمانیکه a نزدیکتر به منبع است و بار راکتیوی که از منبع تا a می آید بزرگتر از باری باشد که از نقطه b تا انتها وجود دارد نقطه a کاندید بهتری است.
- قانون دوم : گره a بهترین مکان نصب خازن است اگر در روی سکشن $c-a-b$ ، a بهترین مکان بین a و c و بهترین مکان بین a, b باشد.



مطمئناً قوانین بدست آمده نمی‌توانند بیان‌کننده بهترین حالت انتخاب نقاط کاندید باشند. از آنجایی که اپراتورهای جهش و جابجایی می‌توانند رسیدن به نقطه بهینه را سرعت بخشند در برخی مقالات مانند [۲۹]، روشهای مختلفی برای اپراتورهای جهش و جابجایی ارائه شده است. همچنین شرط حداکثر میزان جبران در شبکه توزیع در کنار شروط بهره‌برداری اعمال گردیده است.

۲-۶-۴-۴- سیستمهای خبره^{۱۷}

سیستمهای خبره از یک سری روابط استنتاجی با استفاده 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:

۱- بانک اطلاعاتی

۲- یکسری قوانین که ساختار آنها به صورت اگر آنگاه (if statement...then) می‌باشد.

۳- یک هسته استنتاجی که با توجه به صادق بودن هر یک از قوانین، یک نتیجه کلی را ارائه

می‌دهد.

در دهه‌های اخیر استفاده از سیستمهای خبره در بهره‌برداری، تولید و توسعه شبکه قدرت رواج یافته است. در برخی تحقیقات نیز جایابی و کنترل کلید زنی خازنها در شبکه‌های توزیع توسط سیستمهای خبره انجام گرفته است [۴۶-۴۷]. در مرجع [۴۶] روش آبکاری فولاد در یک سیستم خبره بکار گرفته شده است. در این مقاله ابتدا با ارائه روشی نقطه شروع الگوریتم آبکاری فولاد را تخمین زده و سپس در هر مرحله با تغییر در جواب مسئله میزان تغییرات سود و شرایط حاکم بر مسئله باحالت قبل از تغییر مقایسه شده است.

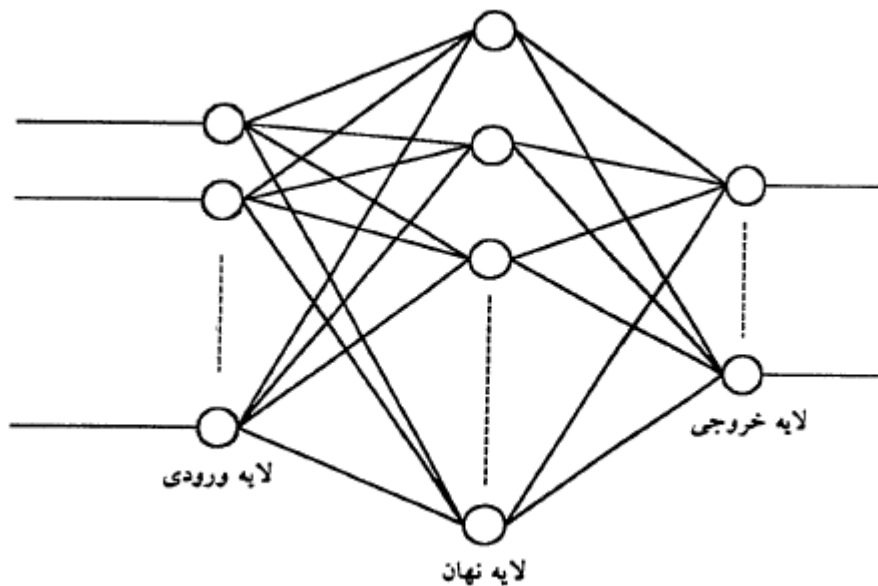
۲-۶-۴-۵- شبکه های عصبی

شبکه های عصبی بر گرفته از سیستم عصبی در بدن انسان ابداع شده اند و از اتصال نرون ها به یکدیگر که معمولاً در چند لایه هستند تشکیل شده اند.

شبکه های عصبی معمولاً در مسائلی که یک رابطه غیر خطی بین ورودی و خروجی وجود دارد، استفاده می شوند. یک شبکه عصبی به طور معمول از سه قسمت تشکیل شده است.

- لایه ورودی
- یک یا چند لایه نهان
- لایه خروجی

ساختار کلی یک شبکه عصبی در شکل (۲-۹) نشان داده شده است.



شکل ۲-۹: ساختار کلی شبکه عصبی [۴۸]

شبکه عصبی ابتدا با توجه به اطلاعاتی که در مورد حالتهای مختلف ورودی و مقادیر خروجی متناظر با آنها وجود دارد، آموزش داده می شود. سپس برای ورودیهای مختلف شبکه عصبی جواب مناسب را ارائه می دهد. شبکه عصبی تقریباً از الگوریتم درون یابی پیروی می کند. در تحقیقات انجام شده، شبکه عصبی

بعنوان ابزاری جهت تعیین نحوه کلید زنی خازن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۴۷]. در این تحقیق دو نوع شبکه عصبی استفاده شده است که یکی برای پیش بینی بار با توجه به اطلاعات گذشته بار در شرایط مختلف و دیگری جهت کنترل خازن های قابل کلید زنی است.

۲-۶-۴-۶- روش فازی

قوانین فازی در مسائلی که اطلاعات به طور دقیق مشخص نمی باشد کاربرد دارند، در شبکه توزیع نیز بعضی از پارامترهای شبکه همچون بار پست ها و سطح مقطع فیدها ممکن است بدرستی مشخص نباشد و بهره برداران شبکه نتوانند مقادیر و اعداد مشخصی برای برخی پارامترهای شبکه ارائه دهند. به همین دلیل در برخی از مقالات [۳۹-۴۵] 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 بهینه سازی در کنار قوانین فازی مقدار، مکان و نحوه کنترل بهینه خازن بدست آمده است.

۲-۶-۵- مقایسه بین روش ها

هر یک از روشهای بحث شده در قسمت‌های قبل با توجه به هدف و پیچیدگی مسئله، میزان دقت دلخواه و قابل اجرا بودن روش در یک شبکه واقعی می تواند دسته بندی شود. هدف مسئله ممکن است تنها جایابی خازن با توجه به توسعه و رشد بار منطقه یا نحوه کنترل خازن ها باشد که به هر یک از این مباحث در مقالات بصورت جداگانه توجه شده است. پیچیدگی مسئله با توجه به تابع هدف و محدودیتهای مسئله بیان می گردد. در بعضی از مقالات بدون در نظر گرفتن سود اقتصادی تنها به کاهش تلفات توجه کرده اند و بعضی دیگر در سطحی بالاتر مسائلی همچون آزادسازی ظرفیت شبکه، کاهش پیک و کاهش انرژی تلفاتی در نظر گرفته شده است.

در حالت کلی هر یک از موارد زیر در مسئله خازن گذاری می تواند در نظر گرفته شود:

- اکثر شبکه های توزیع به صورت شعاعی بهره برداری می شوند
- در طول فیدر بار به صورت یکنواخت توزیع می شود
- تغییرات زمانی بار وجود دارد
- سیستم های توزیع معمولاً به صورت نامتقارن هستند
- توسط ضرائبی می توان رشد بار در طول فیدر و در انتهای فیدر رامشخص کرد
- سطح مقطع و طول هادی ها در طول فیدر برابر نمی باشند
- با توجه به سطح مقطع هادی ها یک حد بالای جریان وجود دارد
- از نظر کیفیت توان حدود بالا و پائین ولتاژ باید رعایت شود
- در محاسبات، اندازه خازن ها و تغییرات پله ای خازن های قابل کلید زنی باید مطابق با

استاندارد باشد

- خازن های قابل کلید زنی نصب شده در شبکه می توانند در زمان های متفاوت کلید زنی

شوند

فصل سوم

الگوریتم ژنتیک

۳-۱ مقدمه

برخی از اکتشافات والگوریتمهای بدست آمده در تحقیقات بر گرفته از مسائل طبیعی بدست آمده است. الگوریتم ژنتیک، شبکه های عصبی، روشهایی چون آبکاری فولاد، تئوری مورچگان^{۱۸} والگوریتم ایمنی بدن و..... جزو الگوریتمها و روشهایی هستند که از پدیده ها و مسائل طبیعی الهام گرفته شده اند. در این میان الگوریتم ژنتیک جزو الگوریتم های بهینه سازی است که بر پایه اصل تکاملی^{۱۹} پایداری بهترین ها و نظریه تکاملی تدریجی استوار می باشد.

الگوریتم ژنتیک که امروزه در علوم مهندسی کاربرد فراوانی یافته است، نخستین بار در سال ۱۹۷۰ توسط جان هایلند^{۲۰}، متخصص علوم کامپیوتر دانشگاه میشیگان ارائه گردید. بنا به نظریه تکاملی تدریجی، در هر نسل از یک گونه جاندار آنانی بیشتر شانس زنده ماندن و تولید پیدا می کنند که بتوانند سازگاری بیشتری با محیط داشته باشند، بنابراین نسل بعدی از افرادی تشکیل شده است که دارای ژنهای مفیدتری هستند و

1- Ant System
2- Survival of Fitness
3- John Hilland

سازگاری (کارایی) بیشتری بامحیط دارند. علاوه بر این در طی نسلها بدلیل جهش ترکیب در کروموزوم ها عناصر و افراد جدیدی وارد جمعیت می گردند که برخی از آنها ممکن است دارای سازگاری خوبی باشند. در حل یک مسئله بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک یک مجموعه از جواب های مسئله به صورت اتفاقی ایجاد می گردد و سپس در هر مرحله با اعمال اپراتورهایی همچون جابجایی و جهش بر روی جمعیت اولیه و بکارگیری اصل انتخاب اصلح، جمعیت های بعدی تشکیل شده و در نهایت جواب بهینه بدست می آید.

اکثر روشهای بهینه سازی، فضای حالتیهای مختلف جواب مسئله را به صورت نقطه به نقطه جستجو می کنند و در حقیقت به صورت جستجوی تمام نقاط عمل می کنند ولی الگوریتم ژنتیک عمل جستجو در نقاط را بصورت موازی (توسط کروموزومهای مختلف) انجام داده و در نهایت تمام جوابهایی که در یک جمعیت وجود دارند به صورت موازی به سمت نقطه بهینه حرکت می کنند. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک بعنوان روش بهینه سازی در این پایان نامه استفاده گردیده است در این فصل روش جستجو و کاربرد الگوریتم ژنتیک بیان گردیده است.

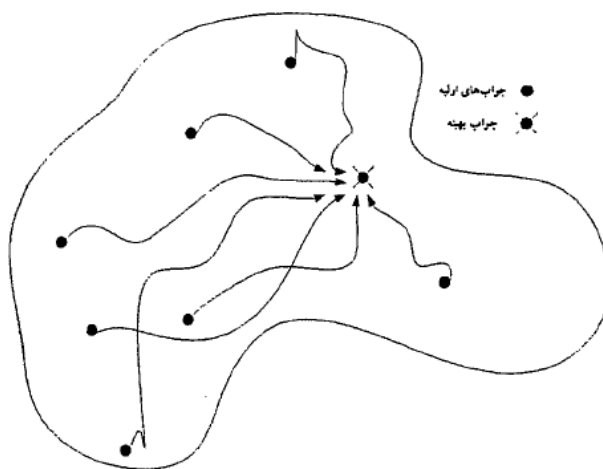
۳-۲ ساختار کلی و مفاهیم اساسی الگوریتم ژنتیک [۵۷-۵۵]

در ساختار کلی الگوریتم ژنتیک قبل از هر چیز باید روش تبدیل هر جواب مسئله به صورت یک کروموزوم تعیین شود. سپس مجموعه ای از کروموزوم ها که بیان کننده مجموعه ای از جواب های مسئله هستند به عنوان جمعیت اولیه ایجاد می شوند. اندازه جمعیت دلخواه بوده و در ابتدای الگوریتم مشخص می گردد. همچنین طول هر کروموزوم بستگی به جواب های مورد نظر مسئله دارد.

بعد از این مرحله با بکارگیری اپراتورهای ژنتیک کروموزوم های جدید تولید می شوند. پس از تولید نسل جدید کروموزوم ها، از بین نسل قدیم و نسل جدید، نسلی از بهترین کروموزوم ها انتخاب می شوند. معیار انتخاب مقدار برازندگی هر کروموزوم است و مقدار برازندگی هر کروموزوم نیز با توجه به مقدار تابع هدف مسئله تعیین می گردد.

بعد از طی مراحل فوق، یک مرحله یا یک نسل از الگوریتم طی شده است الگوریتم بعد از چندین نسل به سمت نقطه بهینه همگرا می شود. شرط توقف مسئله می تواند طی کردن تعداد معینی تکرار یا عدم تغییر در برازندگی بهترین کروموزوم بعد از چندتکرار و یا شرایط خاص دیگری باشد. به طور کلی از ویژگی های الگوریتم ژنتیک می توان به موارد زیر اشاره کرد .

- الگوریتم ژنتیک در مواردی که هدف یافتن نقطه بهینه یک تابع غیر مشتق پذیر است کاربرد دارد و بدون نیاز به مشتق تابع نقطه بهینه تابع را مشخص می کند.
- از آنجایی که در الگوریتم ژنتیک جمعیتی از کروموزوم ها (مجموعه ای از جواب ها) به طور موازی فضای جواب را جستجو می کند و در هر تکرار بوسیله اپراتورهای ژنتیک، کروموزوم ها اطلاعات فضای جستجو شده را با یکدیگر مبادله می کنند، در نتیجه تمام کروموزوم ها به سمت نقطه بهینه همگرا شوند. این نکته در شکل (۳-۱) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱: نمونه ای از روند همگرایی جمعیتی از کروموزومها به جواب بهینه و جستجوی فضا [۵۵]

- با توجه به شرایط مسئله می توان جمعیت اولیه و پارامترهای الگوریتم ژنتیک را به گونه ای تعیین کرد که همگرایی الگوریتم ژنتیک سریعتر شود.
- از آنجاییکه تشکیل جمعیت ها در الگوریتم ژنتیک از قوانین احتمالی پیروی می کنند، یک جستجوی تقریباً تصادفی خواهیم داشت که مقدار برازندگی کروموزوم ها این جستجو را هدایت می کنند و با جستجوی قسمت های مختلف فضا امکان توقف در نقطه بهینه محلی بسیار کم می گردد.

۳-۲-۱ ایجاد جمعیت اولیه

جمعیت در الگوریتم ژنتیک از تعداد مشخصی کروموزوم و هر کروموزوم از تعدادی ژن تشکیل شده است. جواب های مسئله در ژن ها قرار می گیرند بنابراین تعداد ژن های کروموزوم ها برابر با تعداد جواب های مسئله می باشد. در شکل ۳-۲ شمایی از یک کروموزوم نمایش داده شده است.

۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱
---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۳-۲: یک کروموزوم با نمایش باینری

جمعیت اولیه در الگوریتمهای ژنتیک به طور معمول به صورت تصادفی ایجاد می شود. به این ترتیب که با توجه به حدود جواب مسئله در هر ژن یک عدد تصادفی قرار می گیرد. با توجه به اینکه محدودیتی در روش انتخاب اعضای نسل اول وجود ندارد در مسائل ویژه می توان اعضای نسل اول را با دانش اولیه در مورد مسئله به گونه ای انتخاب کرد که به نقاط بهینه نزدیکتر باشند. اما باید همواره در نظر داشت نقاط کافی پخش باشند تا الگوریتم برای پیدا کردن نقطه بهینه مناطق مختلفی را بررسی کند.

۳-۲-۲ کد کردن

در کاربردهای اولیه الگوریتم ژنتیک، معمولاً اطلاعات یا جواب های مسئله به صورت کد شده در ژن ها قرار می گرفت، بنابراین لازم بود روشی برای کد کردن متغیرها انتخاب شود. گلدبرگ^{۲۱} شرط زیر را برای کدینگ^{۲۲} عنوان نموده است.

کدینگ باید به گونه ای انجام شود که کمترین مقادیر را داشته باشد و بتوان مسئله را بر پایه آن توصیف نمود. در این تعریف منظور از مینیمم مقادیر تعداد حالتی است که هر بیت می تواند داشته باشد. برای

نمونه در الفبای دودویی هر عنصر دو مقدار ممکن دارد، در صورتیکه در الفبای فارسی ۳۲ حالت مختلف وجود دارد، به همین دلیل در بیشتر بررسی ها از سیستم دودویی برای کد نمودن مسئله استفاده می شود.

در اکثر کاربردها متغیرهای مسئله و جواب مسئله در مبنای ۱۰ می باشند. بنابراین اگر از روش کدینگ مبنای ۲ یا گری استفاده گردد لازم است در هر مرحله برای محاسبه ارزش هر کروموزوم، اعداد ذخیره شده در کروموزوم به مبنای ۱۰ برگردانده شوند. اخیراً در تحقیقات انجام شده، جهت دوری از محاسبات مربوط به تبدیل اعداد و طولانی شدن طول رشته ها، مستقیماً اعداد در مبنای ۱۰ در کروموزوم ها ذخیره می گردد. در این پایان نامه نیز اعداد ذخیره شده در کروموزومها بر مبنای ۱۰ می باشند.

۳-۲-۳ ترکیب ۲۳ یا جابجایی ۲۴

جابجایی در الگوریتم ژنتیک نقش اصلی را در همگرایی و رسیدن به نقطه بهینه داراست. برای پیاده سازی جابجایی بر روی کروموزومها روشهای گوناگونی تا کنون پیشنهاد شده است. ولی در کل همگی یک عملکرد مشترک دارند و آن ایجاد عناصر جمعیت نسل آینده با ترکیب بخشهایی از کروموزومهای نسل موجود می باشد. روشهای مختلف جابجایی که بیشترین کاربرد را دارند در این قسمت ارائه گردیده است.

۳-۲-۳-۱ جابجایی یک نقطه ای ۲۵

این روش را هایلند در الگوریتم ژنتیک خود بکار برده است. در این روش یک نقطه در طول کروموزوم به طور تصادفی با احتمال یکنواخت انتخاب می شود و دو عنصر جدید از والدین به گونه ای ایجاد می شوند که بخش نخست از رشته، بیت های خود را از یکی از والدین و بخش دوم (پس از نقطه مذکور) از دیگری داشته باشند. به بیان ریاضی اگر S و T دو عنصر از جمعیت و x عددی تصادفی که نشان دهنده محل تعویض است در نظر گرفته شود، عنصر جدید H با رابطه $(1-3)$ بیان می گردد.

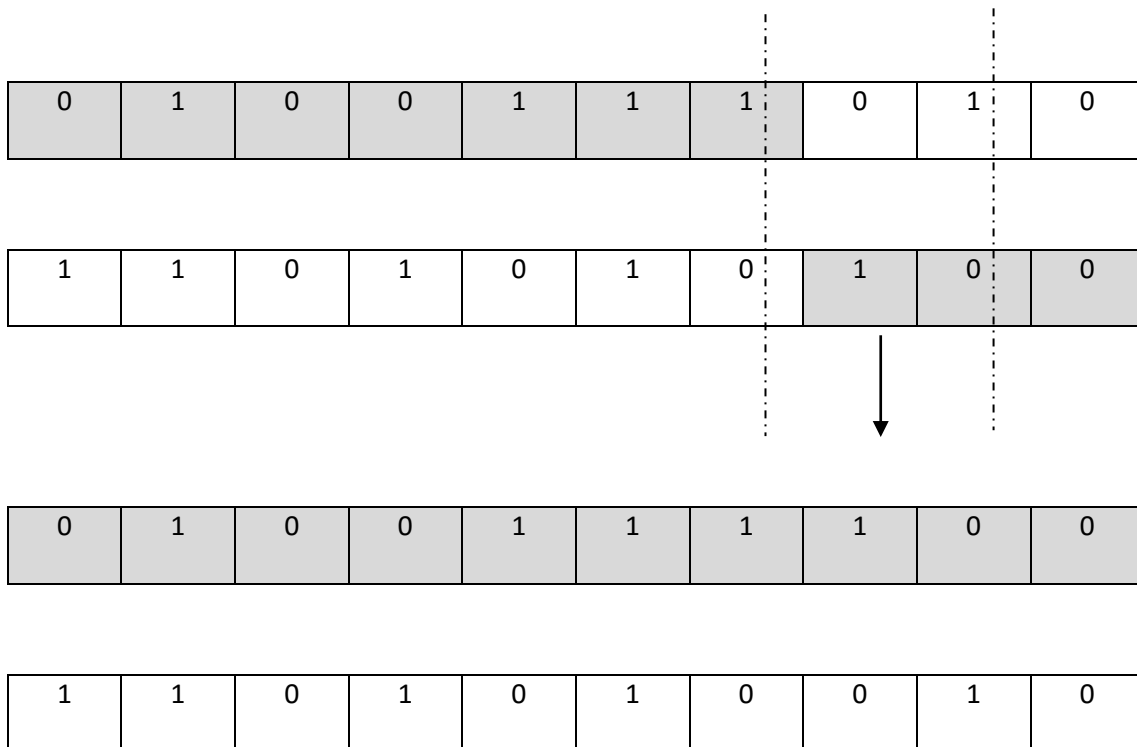
-
- 1- Recombination
 - 2- Crossover
 - 3- One Point Crossover

$$x \in \{1, \dots, l-1\}$$

$$\vec{S} = (a_{s1}, a_{s2}, \dots, a_{sl}) \quad \vec{T} = (a_{T1}, a_{T2}, \dots, a_{Tl}) \quad \vec{H} = (a_{H1}, a_{H2}, \dots, a_{Hl}) \quad (1-3)$$

$$a_{Hi} = \begin{cases} a_{Si} & \text{if } i < x \\ a_{Ti} & \text{if } i \geq x \end{cases}$$

در شکل (۳-۳) اعمال جابجایی بر روی دو کروموزوم به روش تک نقطه ای نمایش داده شده است.



شکل ۳-۳: اعمال جابجایی تک نقطه ای بر روی دو کروموزوم

واضح است که تعویض بیت های انتهایی بیشتر از بیت های نخست کروموزوم می باشد و همین نکته از عواملی است که بکارگیری روش جابجایی تک نقطه ای را محدود کرده است.

۳-۲-۲-۳ جابجایی چند نقطه ای^{۲۶}

به منظور کم کردن اثر عوامل محدود کننده در روش جابجایی تک نقطه ای و با توجه به اینکه در طبیعت نیز پدیده آمیزش در کروموزوم ها در یک، دو یا چندین نقطه مشاهده شده است، روش چند نقطه ای

بیشترین کاربرد رادر الگوریتم های ژنتیکی یافته است. این روش توسط دیجانگ^{۲۷} در سال ۱۹۷۵ بکار گرفته شده است.

به طور مثال برای جابجایی دو نقطه ای اگر S و T دو عضو از جمعیت باشند و x'_k و x'_{k+1} مشخص کننده دو نقطه جابجایی باشند (معمولاً این دو نقطه به صورت تصادفی ایجاد می شوند) عنصر جدید H طبق رابطه (۲-۳) بیان می شود.

$$x'_k, x'_{k+1} \in \{1, \dots, l-1\}$$

$$\vec{S} = (a_{s1}, a_{s2}, \dots, a_{sl}) \quad \vec{T} = (a_{T1}, a_{T2}, \dots, a_{Tl}) \quad (2-3)$$

$$a_{Hi} = \begin{cases} a_{sl} & \forall i (x'_k < i \leq x'_{k+1}) \\ a_{Ti} & otherwise \end{cases}$$

۳-۳-۲-۳ جابجایی یکنواخت^{۲۸}

در این روش هر بیت عنصر جدید با احتمال مساوی از یکی از والدین انتخاب می شود. رابطه (۳-۳) روش تولید عضو جدید H را از روی دو عضو S, T بیان کرده است. در شکل (۴-۳) نحوه اعمال جابجایی یکنواخت روی دو کروموزوم نمایش داده شده است.

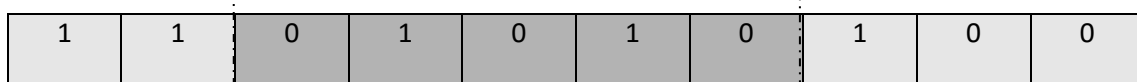
$$x \in [0, 1]$$

$$a_{Hi} = \begin{cases} a_{Si} & x > 0.5 \\ a_{Ti} & x \leq 0.5 \end{cases} \quad (3-3)$$

P₁



P₂



2- Dejong
1- Uniform Crossover

O₁

0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

O₂

1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۳-۴: اعمال جابجایی دو نقطه ای بر روی دو کروموزوم

۳-۲-۴ جابجایی مرزبندی

این روش جابجایی توسط باخ^{۲۹} پیشنهاد شد. در روش های قبلی نقاط جابجایی می توانست از بین بیت های یک ژن نیز باشد ولی در روش مرز بندی نقاط تعویض فقط بر روی مرز بین متغیرها (ابتدای هر ژن) می باشد. بعد از تعیین نقاط تعویض که به صورت تصادفی انجام می شود، برای تولید یک عنصر جدید از والدین همانند روش جابجایی یکنواخت عمل می شود. با توجه به روشهای ذکر شده، برای تولید هر عنصر جدید دو عنصر به عنوان والدین از نسل موجود انتخاب می شوند. والدین معمولاً طبق یکی از مکانیزمهای انتخاب که بعداً توضیح داده خواهد شد، از نسل موجود انتخاب می گردند، سپس در صورتیکه عدد تصادفی x از احتمال جابجایی^{۳۰} (P_c) کوچکتر باشد، جابجایی به یکی از روشهای فوق انجام می شود.

۳-۲-۴ جهش^{۳۱}

این عمل یک عمل پس زمینه ای در الگوریتم ژنتیک محسوب می شود به این ترتیب که جستجوی الگوریتم ژنتیک و رسیدن به نقطه بهینه بیشتر بر پایه عمل جابجایی است و جهش تنها برای جلوگیری از همگرا شدن سریع جمعیت به یک مقدار و توقف در نقاط بهینه محلی و ایجاد تنوع در عناصر جمعیت استفاده می شود.

-
- 1- T. Bach
 - 2- Crossover Rate
 - 3- Mutation

در هر مرحله از تولید مثل و انتخاب، کروموزومهایی که دارای ارزش نزدیک به هم می باشند بیشتر می شوند به عبارتی الگوریتم ژنتیک به سمت یک ناحیه از فضا همگرا می شود در صورتیکه ممکن است نقطه بهینه در مکان دیگری از فضا باشد به همین دلیل با استفاده از عملگر جهش، تنوع در کروموزوم ها ایجاد شده و نقاط بیشتری از فضا جستجو می شود. جهش در الگوریتم ژنتیک به صورت استاندارد طبق رابطه (۳-۳) (۴) روی هر بیت از کروموزوم تعریف می شود.

$$a'_i = \begin{cases} a_i & \text{if } x_i > P_m \\ 1 - a_i & \text{if } x_i \leq P_m \end{cases} \quad (۸-۳)$$

که در آن $x_i \in [0,1]$ یک متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت و P_m احتمال جهش^{۳۲} می باشد. برای همانندی با جهش در طبیعت، احتمال جهش معمولاً یک عدد خیلی کوچک انتخاب می شود. برای نمونه معمولاً در تحقیقات اعداد 0.05-0.01 پیشنهاد گردیده است.

۳-۲-۵ انتخاب^{۳۲}

در الگوریتم ژنتیک غالباً و به صورت استاندارد از روشهای انتخاب احتمالی استفاده می کنند. یکی از روشهای انتخاب احتمالی، روش انتخاب نسبی است طبق آن کروموزومی از جمعیت که ارزش بیشتری دارد شانس بیشتری برای تولید مثل و یا ادامه حضور را دارا می باشد. در انتخاب نسبی، احتمال انتخاب هر کروموزوم متناسب با مقدار نسبی ارزش آن کروموزوم است. الگوریتمی که برای این منظور غالباً استفاده می گردد، الگوریتم چرخ رولت می باشد.

چرخ رولت دارای قطعههایی با مساحت متفاوت است که پس از چرخاندن آن احتمال ایستادن یک قطاع بزرگ در مقابل نشانه بیشتر از قطاع کوچک است. تعداد قطعههای چرخ رولت برابر با تعداد کروموزوم ها در

یک جمعیت است. مساحت هر قطاع از چرخ رولت برابر با ارزش هر عضو نسبت به مجموع ارزش تمام کروموزوم است [۵۵] مساحت هر قطاع با رابطه (۵-۳) بیان می گردد.

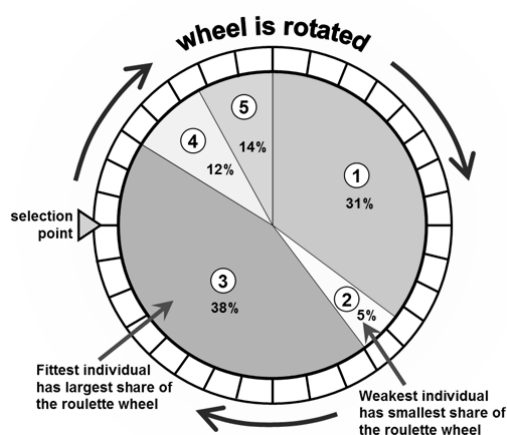
$$S_i = \frac{Fitness(T_i)}{\sum_{i=1}^u Fitness(T_i)} \quad (۵-۳)$$

$Fitness(\bar{T}_i)$: ارزش عضو ام

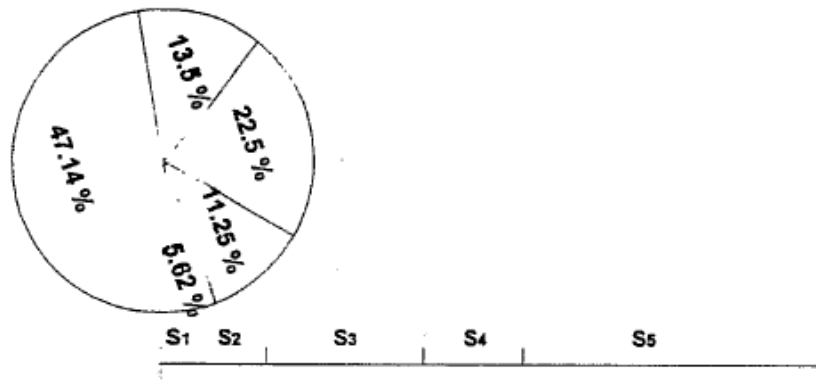
μ : تعداد جمعیت (تعداد اعضاء)

S_i : سطح قطاع مربوط به عضو ام

همان طور که از رابطه (۵-۳) مشخص است مجموع سطوح تمام قطاعها برابر با یک می باشد. در شکل (۳-۳) (۵) شمایی از یک چرخ رولت نمایش داده شده است. به عنوان مثال چرخ رولت مربوط به یک جمعیت با ۵ عضو در شکل (۳-۶) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۵ : چرخ رولت [۵۵]



شکل ۳-۶: چرخ رولت مربوط به مثال [۵۵]

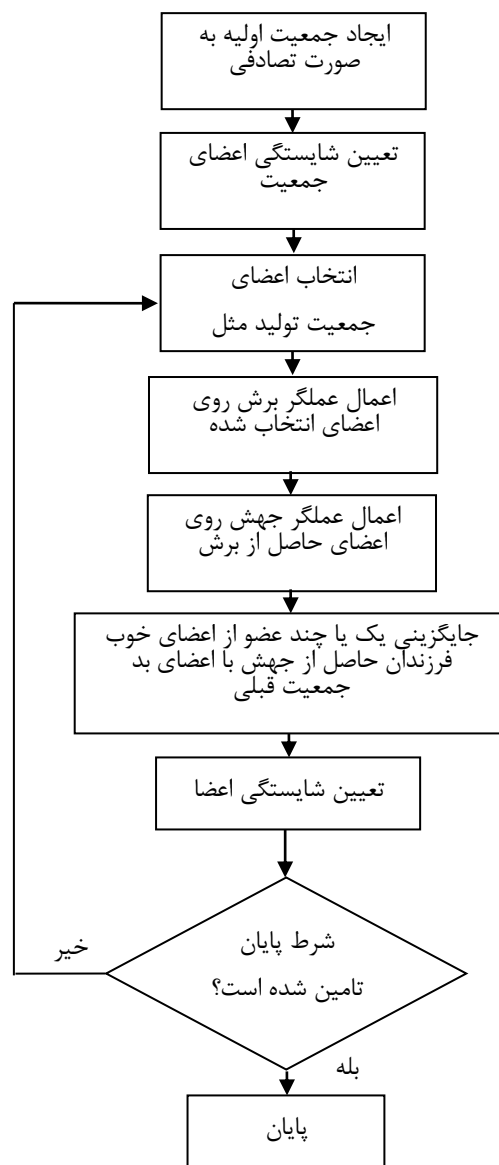
بعد از تشکیل چرخ رولت، عدد تصادفی $x \in [0,1]$ می تواند در مساحت هر یک از قطاعها قرار گیرد، مشخص می کند کدام کروموزوم برای نسل بعد بایستی انتخاب شود. به طور مثال در صورتیکه $0 = 0.3$ بایستی کروموزوم سوم انتخاب شود.

در روشهایی مانند روش نسبی چون به طور احتمالی اعضاء نسل بعد انتخاب می شوند، ممکن است بهترین عضو انتخاب نگردد. به همین دلیل در الگوریتم ژنتیک مرحله دیگری به منظور نگهداری بهترین اعضاء افزوده می شود. در این مرحله همواره بررسی می شود که بهترین عضو نسل پیش پس از پایان مرحله انتخاب در نسل نوین قرار داشته باشد. البته باید یادآور شد که روشهای دیگری نیز همچون مسابقه^{۳۴} رتبه بندی خطی^{۳۵} برای انتخاب معمول می باشند. در روش مسابقه که توسط گلدبرگ ارائه شده است به تعداد جمعیت مجموعه هایی شامل چند عضو که از قبل مشخص می گردد، تولید می شوند. در زمان انتخاب، از هر مجموعه بهترین عضو انتخاب می گردد. تعداد عناصر هر مجموعه که معمولاً به آن اندازه مسابقه گفته می شود معمولاً برابر با دو در نظر گرفته می شوند. در روش رتبه بندی خطی ابتدا جمعیت به صورت نزولی مرتب شده و سپس به هر عنصر یک احتمال انتخاب تخصیص داده می شود. احتمال انتخاب عنصر k ام بوسیله رابطه (۳-۶) محاسبه می گردد.

$$p_k = q - (k - 1)r \quad (6-3)$$

$$r = \frac{q - q_0}{Pop_size - 1} \quad (7-3)$$

در روابط فوق q احتمال انتخاب بهترین عنصر، q_0 احتمال انتخاب بدترین عنصر و Pop_Size اندازه جمعیت می باشند. با توجه به مطالب گفته شده فلوجارت کلی الگوریتم ژنتیک در شکل (7-3) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۷: ساختار کلی الگوریتم ژنتیک

۳-۳ نقاط ضعف الگوریتم ژنتیک

استفاده از نحوه انتخاب نسبی می تواند باعث بروز همگرایی زودرس در الگوریتم شود. چرا که ممکن است اکثر کروموزوم های موجود دارای ارزشی تقریباً برابر با یکدیگر و مقدار ارزش یکی از نقاط خیلی بهتر از بقیه باشد، بطوریکه با بکارگیری روش انتخاب نسبی، این کروموزوم در مراحل تولید بعد به دلیل احتمال انتخاب بالا در جمعیت بیشتر تکثیر می شود و در نتیجه غالب می شود. در چنین شرایطی اپراتور جابجایی نخواهد توانست تنوع لازم را در جمعیت حفظ کند و از آنجا که احتمال اعمال اپراتور جهش نیز کم می باشد نتیجتاً الگوریتم بدون اینکه نقاط بهینه را بدست آورد متوقف می شود.

همچنین در شرایطی که ارزش کروموزوم های موجود در جمعیت با هم اختلاف چندانی نداشته باشند، بدلیل نحوه انتخاب نسبی ممکن است پیشرفتی در ارزش کروموزوم ها حاصل نگردد چرا که ارزش کروموزوم ها به هم نزدیکند و عمل انتخاب در جهت جستجوی کروموزوم های بهینه لازم است که الگوریتم، نقاط بیشتری از فضا را جستجو کند، بعبارت دیگر بایستی همواره تنوع نقاط در داخل جمعیت بخوبی حفظ شود.

۳-۴ صورتهای دیگر الگوریتم ژنتیک [۵۷]

جهت بهبود کیفیت همگرایی الگوریتم ژنتیک و جوابهای بدست آمده در هر تکرار بایستی تنوع نقاط یا کروموزوم ها در داخل جمعیت حفظ شود. به همین منظور روش های جدیدی در ایجاد جمعیت اولیه و اپراتورهای جابجایی و جهش ارائه شده است که در ادامه به معرفی انواع دیگری از الگوریتمهای ژنتیکی پرداخته شده است.

۳-۴-۱ الگوریتم جنیتور

در این الگوریتم همانند الگوریتم توضیح داده شده در شکل (۳-۷) یک جمعیت اولیه تشکیل شده و برازندگی هر کروموزوم تعیین می شود. سپس کروموزوم ها به ترتیب صعودی به نزولی بر حسب برازندگی

هر کروموزوم مرتب می شوند، بطوریکه بهترین کروموزوم در اولین مکان و بدترین کروموزوم در آخرین مکان قرار می گیرد. سپس دو کروموزوم از جمعیت به تصادف انتخاب شده و با استفاده از اپراتور جابجایی به روش دو نقطه ای دو کروموزوم جدید تولید می شود. سپس به طور تصادفی یکی از کروموزوم های تولید شده حذف شده و کروموزوم باقیمانده جایگزین بدترین کروموزوم در مجموعه نقاط قبلی می گردد. در انتها مقدار برازندگی کروموزوم جدید محاسبه شده و کروموزوم های موجود دوباره به ترتیب برازندگی مرتب می شوند و الگوریتم تکرار می شود.

قابل توجه است که اپراتور جابجایی دو نقطه ای می تواند نقش اپراتور جهش را نیز ایفا کند. در الگوریتم جنیتور از استراتژی بقاء بهترین کروموزوم بطور اتوماتیک استفاده شده است. در این استراتژی در هر بار تولید نقاط جدید بهترین مرحله قبل نیز در جمعیت وجود خواهد داشت.

۳-۴-۲ الگوریتم جستجوی ژنتیکی توزیع شده

هدف اصلی از این روش حفظ تنوع ژنتیکی کروموزوم ها به طریقی دیگر می باشد، نکته مهم در الگوریتم ژنتیک این است که اگر بتوان تنوع کروموزوم ها در جمعیت را به نحو مطلوبی حفظ کرد، می توان جمعیت را کوچکتر انتخاب کرد و و هر چه جمعیت کوچکتر باشد سرعت الگوریتم نیز بیشتر می گردد. استفاده از چند جمعیت کوچکتر بطور موازی این امکان را می دهد که بدون آنکه تنوع ژنتیکی کل جمعیت کاهش یابد، اجرای الگوریتم سریعتر شود. هر یک از زیر جمعیتها جواب های مختلفی را بدست می آورند که اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند و برای تکثیر در کل جمعیت با یکدیگر به رقابت می پردازند و عمل رقابت می پردازند و عمل رقابت از طریق مبادله کروموزوم های برتر هر یک از زیر جمعیتها با یکدیگر انجام می شود.

اگر زیر جمعیتها را بترتیب از شماره یک شماره گذاری کنیم و هر زیر جمعیت شامل ۱۰ کروموزوم باشد، آنگاه در مبادله اول زیر جمعیت اول بهترین چهار کروموزوم (تعداد کروموزوم می تواند متغیر باشد) خود را به زیر جمعیت دوم و بقیه زیر جمعیت ها بدون تغییر منتقل می کند، در مبادله بعدی زیر جمعیت اول

بهترین خود را به زیر جمعیت سوم ارسال داشته و زیر جمعیت دوم بهترین کروموزوم های خود را به زیر جمعیت چهارم ارسال می دارد در مبادله n ام، زیر جمعیت x ام، بهترین های خود را به زیر جمعیت $x+n$ ام ارسال داشته و به همین ترتیب الگوریتم ادامه می یابد. عمل مبادله نباید زیاد انجام شود چرا که شرایط همانند زمانی خواهد شد که یک جمعیت وجود دارد. با استفاده از ایده مهاجرت می توان عملکرد الگوریتمهای جنیتور و جستجوی ژنتیکی توزیع شده را بهبود بخشید بدین صورت که بعد از هر چند تکرار، یک کروموزوم تصادفی تولید شده و وارد جمعیت شود تا تنوع ژنتیکی نقاط حفظ گردد و از توقف در بهینه های محلی جلوگیری شود.

۳-۴-۳ الگوریتم ژنتیک وفقی^{۳۶} [۵۵]

عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک زمانیست که کاوش جامعی بین نواحی مختلف فضای جواب انجام شود و سپس با یافتن ناحیه بهینه به سمت نقطه بهینه همگرا شود. دو پارامتر اصلی الگوریتم ژنتیک یعنی احتمال جابجایی و احتمال جهش تعادل را در نحوه کاوش الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به نقطه بهینه تعیین می کند. احتمال جهش بر جستجوی مناسب نواحی مختلف از فضای جواب و احتمال جابجایی در رسیدن به نقطه بهینه در یک ناحیه از فضا موثر است. معمولاً در کاربردهایی که از الگوریتم ژنتیک استفاده می شود، احتمال جابجایی، مقداری بالا (۱-۰/۵) و احتمال جهش دارای احتمال کمی (۰/۰۵-۰/۰۰۱) می باشد.

به منظور جلوگیری از همگرایی به یک نقطه بهینه محلی تعیین مناسب احتمال جهش و جابجایی در هر مرحله از تکرار مفید می باشد. قبل از تعیین احتمال جابجایی و جهش باید در هر تکرار تشخیص داده شود که آیا الگوریتم در حال همگرا شدن به سمت نقطه بهینه می باشد یا خیر. یکی از پارامترهایی که می تواند اطلاعاتی راجع به همگرایی الگوریتم ژنتیک به سمت یک نقطه بهینه را نشان می دهد مقدار متوسط برازندگی در هر تکرار است. به عبارتی اگر تفاوت مقدار متوسط برازندگی جمعیت با حداکثر مقدار برازندگی کم باشد، الگوریتم در حال همگرا شدن به سمت یک نقطه بهینه است که این نقطه ممکن است نقطه بهینه

محلی باشد. در این حالت بایستی مقادیر احتمالی جهش و جابجایی افزایش یابند تا الگوریتم در یک بهینه محلی متوقف نگردد. از روابط (۸-۳) و (۹-۳) می توان برای تعیین مقادیر احتمال جهش و جابجایی در هر تکرار استفاده کرد.

$$P_c = \frac{k_1}{f_{max} - f_{ave}} \quad (۸-۳)$$

$$P_m = \frac{k_2}{f_{max} - f_{ave}} \quad (۹-۳)$$

f_{max} : حداکثر مقدار برازندگی

f_{min} : متوسط مقدار برازندگی

در روابط فوق احتمال اعمال جابجایی و جهش برای تمام اعضای جمعیت یک مقدار است. ولی برای عملکرد بهتر لازم است که احتمال جهش برای کروموزوم هایی که برازندگی آنها کم است بیشتر از کروموزوم های با برازندگی بالا باشد. به همین منظور بایستی احتمال جابجایی و جهش بر روی هر کروموزوم متناسب با مقدار برازندگی آن کروموزوم باشد که در روابط (۱۰-۳) و (۱۱-۳) این مسئله لحاظ گردیده است.

$$P_c = \frac{k_1(f_{max} - f')}{f_{max} - f_{ave}} \quad k_1 \leq 1 \quad (۱۰-۳)$$

$$P_m = \frac{k_2(f_{max} - f')}{f_{max} - f_{ave}} \quad k_2 \leq 1 \quad (۱۱-۳)$$

f' : مقدار ماکزیمم برازندگی دو کروموزومی است که برای اعمال جابجایی انتخاب شده اند

f : مقدار برازندگی کروموزومی است که جهش بر روی آن انجام می شود

k_1, k_2 : بایستی اعداد کوچکتر از ۱ باشند تا احتمال جابجایی و جهش بین صفر و یک قرار گیرند.

در روابط فوق برای کروموزومهایی که ارزش آنها کمتر از متوسط برازندگی در جمعیت باشد مقادیر احتمال جهش و جابجایی از یک بیشتر می شوند که برای جلوگیری از این مورد شروط زیر در نظر گرفته می شوند.

$$\text{if } f' \leq f_{ave} \text{ then } P_c = k_3 \quad (12-3)$$

$$\text{if } f \leq f_{ave} \text{ then } P_m = k_4 \quad (13-3)$$

با توجه به اینکه احتمال جابجایی در کروموزوم‌ها خیلی بیشتر از احتمال جهش می‌باشد، معمولاً k_2, k_4 برابر با k_1, k_3 $0/5$ در نظر گرفته می‌شود.

در این فصل اصول الگوریتم ژنتیک و مزایا و معایب این الگوریتم ارائه گردید. همان‌طور که گفته شد، بدلیل جستجوی موازی فضای جواب توسط الگوریتم ژنتیک، این الگوریتم یکی از بهترین روش‌های جستجو برای تعیین نقطه بهینه است. البته معمولاً با اعمال برخی روش‌های ابتکاری در عملگرهای جابجایی و جهش می‌توان همگرایی این الگوریتم را تسریع بخشید.

فصل چهارم

مروری بر کیفیت توان و

تأثیر آن بر خازن گذاری

۴-۱ مقدمه

کیفیت توان یا (کیفیت انرژی الکتریکی) موضوعی است که بطور روز افزون، برای مصرف کنندگان برق در تمام سطوح و کاربرد، اهمیت پیدا کرده است. تجهیزات حساس و بارهای غیر خطی، اکنون بطور وسیعی در محیط های صنعتی، اقتصادی و خانگی مورد استفاده قرار میگیرند. در نتیجه، اتفاقات موثر بر روی منبع الکتریسیته که قبلاً برای شرکتهای برق منطقه ای و مصرف کنندگان برق قابل قبول بودند، اکنون غالباً یک مسئله یا مشکل عمده تلقی میشوند.

در این فصل کیفیت توان معرفی شده و اهمیت آن مورد بررسی قرار میگیرد. همچنین، تعاریف مشترک، قابل قبول و مورد استفاده در مبحث کیفیت توان، مطرح شده و در خصوص بعضی از مسائل مشکل آفرین برای مصرف کننده ها بحث خواهد شد. علاوه بر آن، وضعیت موجود از نقطه نظر تاثیر مسائل کیفیت توان بر بحث خازن گذاری در شبکه های توزیع، مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲ کیفیت توان^{۳۷}

عبارت کیفیت توان در سالهای اخیر، مورد استفاده خیلی از مصرف کنندگان صنعتی و اقتصادی برق قرار میگیرد، در گذشته تجهیزات برقی غالباً ساده و نتیجتاً پایدار بوده و نسبت به تغییرات کوچک منبع تغذیه حساس نبودند. اما در حال حاضر تجهیزاتی مورد استفاده می باشند که نیاز به منبع تغذیه ای با کیفیت بالاتر دارند، در نتیجه مصرف کننده ها، نیاز به انرژی الکتریکی، با کیفیت خوب دارند. هرچند مسئولیت شرکتهای برق منطقه ای در این خصوص کاملاً روشن است، اما مصرف کنندگان انرژی الکتریکی

^{۳۷}-Power Quality

نیز میبایستی نسبت به حفاظت بارهای حساس در مقابل اغتشاش برق اقدام نموده و وسایل حفاظتی بر روی آنها نصب نمایند. شرکت برق ممکن است کیفیت توان را به عنوان قابلیت اطمینان توصیف کند و با استناد به آمار ادعا کند که سیستم به میزان ۹۹/۹۵٪ قابلیت اطمینان می باشد. اغلب کارخانجات سازنده، کیفیت توان را به عنوان مشخصات مورد انتظار منبع تغذیه تعریف می کنند [۶۰]. بنابراین چنین تعریفی از دیدگاه سازندگان مختلف کاملاً متفاوت است. با این وجود، نهایتاً مصرف کننده است که در آن دیدگاه مصرف کننده نیز لحاظ شده باشد. با توجه به این موضوع، تعریف زیر اغلب بکار برده می شود:

" هر مشکل بوجود آمده بر روی توان که ناشی از ولتاژ، جریان و تغییرات فرکانس بوده و منجر به خروج یا عملکرد نامطلوب تجهیزات مشترکین گردد، یک مشکل کیفیت توان محسوب می شود."

راه حل های متعددی همچنین برای حل مسائل مربوط به کیفیت انرژی الکتریکی موجودند، که بعضی برای اپراتورهای شبکه توزیع و تعدادی برای مصرف کننده ها طراحی شده اند. علاوه بر این تجهیزات پیچیده اندازه گیری کیفیت برق بسادگی در اختیار مصرف کننده های نهائی قرار دارند، که اطلاعات مربوط به سطح کیفیت انرژی الکتریکی را که دریافت میکنند در اختیارشان قرار می دهد.

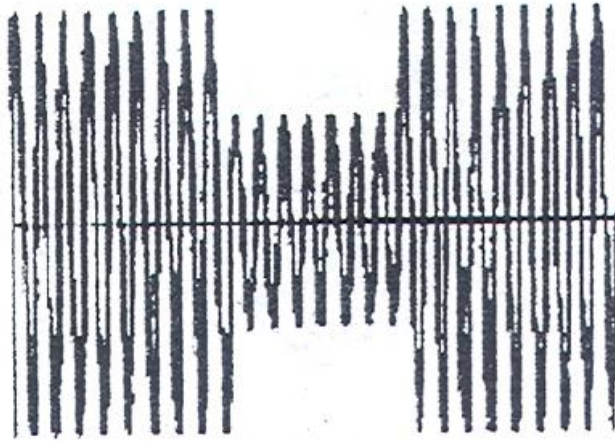
۳-۴ کمیت های کیفیت توان

کمیت هایی که بر کیفیت توان در شبکه تاثیرگذار هستند را می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

۳-۴-۱ فلش ولتاژی^{۳۸}

کاهش در مقدار RMS ولتاژ در یک محدوده از 0.1 - 0.9 PU برای مدتی طولانی تر از یک و نیم سیکل و کمتر از یک دقیقه را فلش ولتاژی می گویند. غالباً این مسئله بدلیل اتصال کوتاه و خطاهای ناشی از افزایش تقاضای مصرف و اتفاقاتی گذرا، نظیر راه اندازی یک موتور بزرگ اتفاق می افتد که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است [۶۰-۵۹].

^{۳۸}- Voltage Dip or Voltage Sag



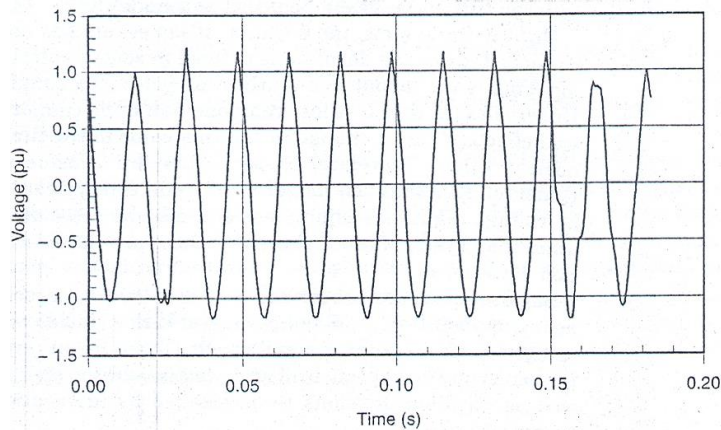
شکل ۴-۱: فلش ولتاژی [۶۰]

گذشته از زمان کوتاه آن، این اتفاق میتواند مشکلات عمده ای را برای رنج وسیعی از تجهیزات ایجاد نماید. افت ولتاژ یک پدیده ی سه فاز میباشد که بر روی ولتاژهای هر سه فاز و حتی گاهی اوقات ولتاژ نول نسبت به زمین تاثیر میگذارد. منشاء تمام افت ولتاژها افزایش کوتاه مدت جریان میباشد. مهمترین ایجاد کننده های این چنین حالتی، راه اندازی موتورها، برق دار نمودن ترانسفورماتورها و خرابی هائی همچون خطای زمین و خطای اتصال کوتاه میباشد.

۴-۳-۲ افزایش ولتاژ^{۳۹}

یک افزایش در مقدار RMS ولتاژ در یک محدوده از 1.1 - 1.8 PU برای مدتی طولانی تر از یک و نیم سیکل و کمتر از یک دقیقه را افزایش ولتاژ می گویند. غالباً این مسئله بدلیل خطاهای سیستم، قطع و وصل بار و یا خازن روی میدهد که در شکل (۴-۲) نشان داده شده است [۶۰-۵۹].

^{۳۹} - Voltage Swell

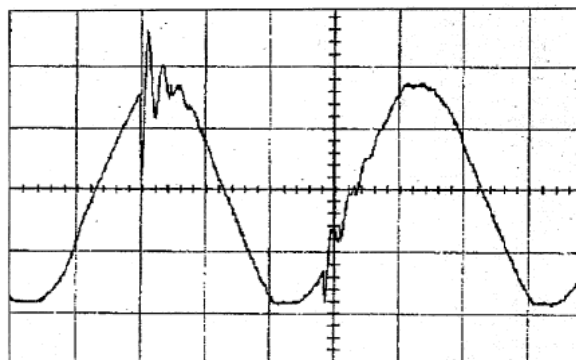


شکل ۴-۲: افزایش ولتاژ [۵۹]

۴-۳-۴ حالت گذرا^{۴۰}

یک تغییر ناخواسته و لحظه ای ولتاژ تغذیه یا جریان بار را حالت گذرا می گویند. حالت گذرا معمولاً بدو

دسته پالسی و نوسانی، طبقه بندی میشود که در شکل (۴-۳) نشان داده شده است [۵۹-۶۰].



شکل ۴-۳: حالت ترانزینت [۵۹]

۴-۳-۴ هارمونیک

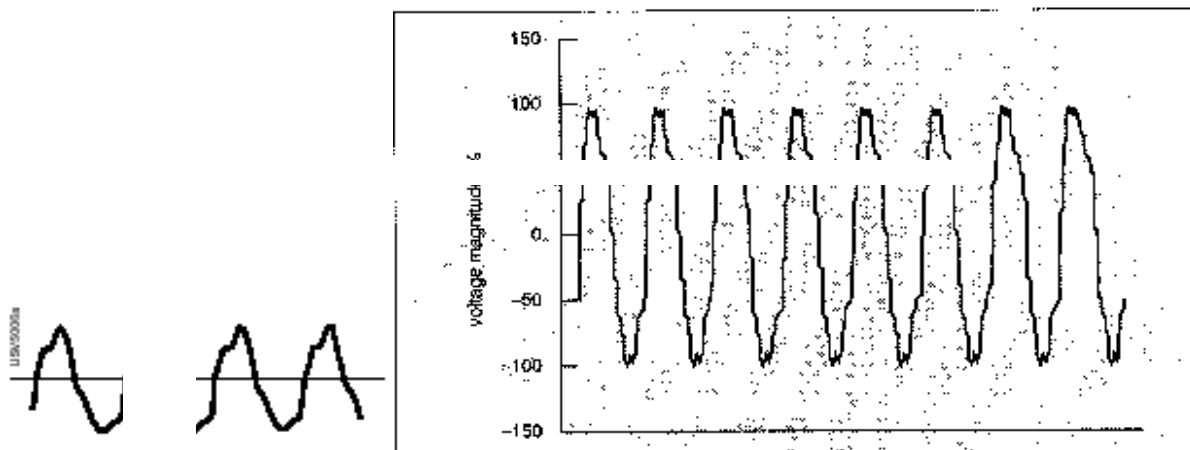
اغتشاشهای پرپودیک و سینوسی ولتاژ منبع و یا جریان بار در اثر بارهای غیر خطی را هارمونیک گویند.

هارمونیک ها با مضرب صحیحی از فرکانس اصلی^{۴۱} منبع تغذیه اندازه گیری میشوند. با استفاده از آنالیز

۴۰- Transient

۴۱ - Fundamental

سری فوریه، مولفه های هارمونیک شکل موج با اغتشاش را می توان بصورت، مرتبه هارمونیک دامنه و فاز هر کدام تشریح کرد که در شکل (۴-۴) نشان داده شده است [۵۹-۶۰].



شکل ۴-۴: ولتاژ با اغتشاش هارمونیک [۵۹]

۴-۳-۵ فلیکر یا چشمک^{۴۲}

فلیکر عبارت است از اثرات عینی تغییرات کم ولتاژ بر روی تجهیزات روشنایی و نوسانات ناگهانی ولتاژ بصورت تکرار شونده که در اثر تغییرات ناگهانی توان بوجود می آید که این تغییرات در شکل (۴-۵) نشان داده شده است [۵۹-۶۰].



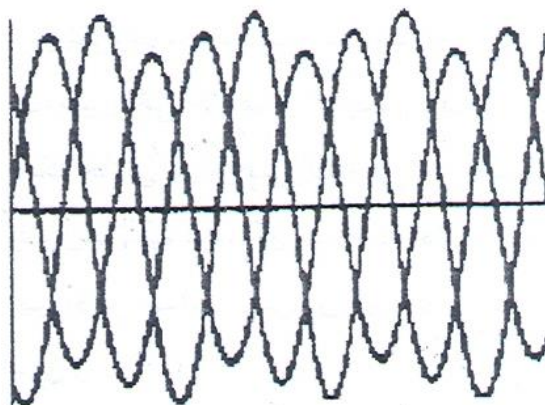
شکل ۴-۵: فلیکر یا چشمک [۶۰]

۴-۳-۶ عدم تعادل ولتاژ^{۴۳}

^{۴۲} - Flicker

^{۴۳} - Voltage Imbalance

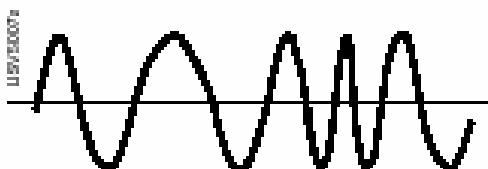
عدم تعادل ولتاژ بصورت تفاوت در دامنه و یا فاز یک یا چند فاز، از منبع سه فاز، با توجه به دامنه فازهای دیگر و زاویه فاز معمول 120° تعریف میشود که در شکل (۴-۶) نشان داده شده است [۶۰-۵۹].



شکل ۴-۶: عدم تعادل ولتاژ [۶۰]

۴-۳-۷ تغییر فرکانس^{۴۴}

تغییر فرکانس، کم و زیاد شدن و یا نوسان فرکانس نامی شبکه را گویند که معمولاً نباید از مقدار تعیین شده (معمولاً $\pm 0.1\%$) تجاوز کند. این کمیت در شکل (۴-۷) نشان داده شده است [۶۰-۵۹].



شکل ۴-۷: تغییر فرکانس [۶۰]

۴-۳-۸ تغییر ولتاژ^{۴۵}

تغییرات دامنه ولتاژ (کم و یا زیاد شدن دامنه ولتاژ) در یک محدوده (معمولاً $\pm 0.1\%$) را تغییر ولتاژ می گویند که این نکته در شکل (۴-۸) نشان داده شده است [۶۰-۵۹].

^{۴۴}- Frequency Deviation

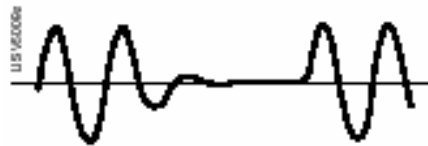
^{۴۵}- Voltage Variation



شکل ۴-۸: تغییر ولتاژ [۶۰]

۴-۳-۹ قطع کوتاه مدت^{۴۶}

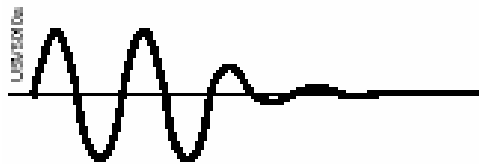
قطع ترانزینت، به کاهش در ولتاژ منبع و یا جریان بار، بمقداری کمتر از 0.1 PU و برای مدت زمانی کمتر از یک دقیقه اطلاق میشود که در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. قطع معمولاً بدلیل خطای سیستم، خرابی تجهیزات سیستم و یا سیستم کنترل و همچنین کارکرد نامناسب سیستم حفاظتی روی میدهد. قطع ترانزینت معمولاً یک اتفاق قابل اندازه گیری است [۶۰-۵۹].



شکل ۴-۹: قطع کوتاه مدت [۶۰]

۴-۳-۱۰ قطع بلند مدت^{۴۷}

قطع برق، به قطع کامل برق برای مدتی طولانی تر از یک دقیقه اطلاق میشود که در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است [۶۰-۵۹].



^{۴۶}- Transient Interruption

^{۴۷}- Outage

۴-۴ اثر بانکهای خازنی در ایجاد اغتشاشات کیفیت توان

از دیرباز، بکارگیری بانکهای خازنی بعنوان یک ضرورت در طراحی فیدرهای توزیع پذیرفته شده است. ملاحظاتی که در طراحی منظور می شوند معمولاً فاکتورهای سنتی نظیر، حفظ ولتاژ، ضریب قدرت و آزاد سازی ظرفیت می باشد. اما از آنجائیکه در سیستم های مشترکین امروزی از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می شود بنابراین طراحی شبکه توزیع در آینده شامل ملاحظات مربوط به کیفیت توان نیز خواهد بود.

وقایع زیادی در سیستم موجب ایجاد مساله کیفیت توان می گردند. اغلب تجزیه و تحلیل این وقایع مشکل می باشد بدلیل این حقیقت که اختلال حاصل ممکن است مربوط به عملیات کلیدزنی یا خطای تجهیزات شبکه قدرت در محلی که کیلومترها با نقطه تحت بررسی فاصله دارد، ایجاد شده باشد. کلیدزنی مکرر بانکهای خازنی در سیستم توزیع همراه با افزایش بکارگیری تجهیزات حساس توسط مصرف کنندگان توان، توجه ویژه به امر گذرای کلیدزنی خازنی را می طلبد. این امر بخصوص در شرایطی که شرکت ها جرایم سنگینی برای ضریب قدرت قرار داده و به موجب آن، مشترکین را به نصب خازنهای تصحیح ضریب قدرت ترغیب می نماید، بسیار مهم است.

امروزه، بارهای غیر سنتی از قبیل راه اندازهای تنظیم کننده سرعت بخاطر ویژگی هایی نظیر بهبود بازده و انعطاف پذیریشان، به تعداد زیاد بکار برده می شوند. این نوع بار به اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی خازنی بسیار حساس است. عمده ترین روشهایی که برای کنترل این گذراها بکار می روند عبارتند از: استفاده از روشهای کنترل کلیدزنی (وصل سنکرون، وصل با مقاومت و سلف) و یا بکارگیری اندوکتانسهای سری که اغلب همانند یک chock رفتار می کنند. از آنجائیکه ولتاژ خازن نمی تواند بصورت آنی تغییر کند انرژی دار کردن یک بانک خازنی، افت سریع (به سمت صفر) در ولتاژ سیستم ایجاد می کند که بلافاصله بدنال آن، یک ولتاژ (overshoot) و نهایتاً گذرای نوسانی بر روی شکل موج اصلی ایجاد می گردد.

پیک دامنه ولتاژ، به ولتاژ سیستم در لحظه انرژی دار شدن بستگی دارد. در بدترین شرایط، پیک ولتاژ می تواند به دو برابر پیک ولتاژ سیستم برسد. اما معمولاً دامنه به علت وجود بارهای متصل به سیستم و میرا سازی در سیستم (وجود المانهای مقاومتی) کمتر از این مقدار خواهد بود. در شبکه های توزیع معمول، سطوح اضافه ولتاژ در محدوده ۱,۱ تا ۱,۶ پریونیت می باشند.

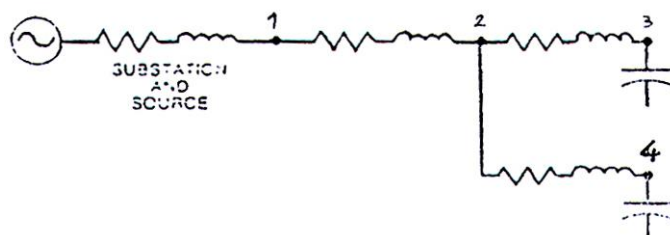
اضافه ولتاژهای گذرا، شبکه توزیع را تهدید نمی کنند، زیرا دامنه های پیک شان پائین تر از سطحی است که تجهیزات حفاظتی ضربه ای از قبیل برقگیر را وادار به عمل نماید. اما این گذراها به دلیل فرکانس نسبتاً پائینی که دارند از ترانسفورماتور کاهنده عبور کرده و بار مشترکین را تحت تاثیر قرار می دهند. بعلاوه، این بارها اغلب جریان هارمونیک زیادی را تولید نموده و می توانند سطوح اعوجاج ولتاژ غیرقابل قبولی را در شبکه توزیع صنعتی و سیستم برقرسانی ایجاد نماید. ترکیب خازنها و امپدانس سطح اتصال کوتاه سیستم با هم رزونانس ایجاد کرده و می تواند سطوح هارمونیک را به بالاتر از حد قابل قبول افزایش دهد [۶۰].

۴-۵ تاثیر هارمونیکها بر روی خازن گذاری در شبکه توزیع

قسمت قابل توجهی از تلفات توان سیستم در سطح شبکه های توزیع به وقوع می پیوندد. مقدار زیادی از این تلفات را می توان با انتخاب مناسب خازنهای موازی در طرف اولیه فیدرها و از طریق تصحیح ضریب توان حذف نمود. غالباً روشهای ارائه شده برای جایابی بهینه خازنهای موازی فقط برای فرکانس اصلی مناسب می باشند و تاثیر هارمونیکها را بر سیستم پیش بینی نمی کنند. مسئله تاثیر هارمونیکها برای اولین بار در دهه ۱۹۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. در آن زمان ترانسفورماتور اولین منبع تولید هارمونیکها به حساب می آمدند ولی امروزه بواسطه افزایش کاربرد مبدلهای جریان، کوره های القائی، پراکندگی منابع تولید و مجاورت آنها با خطوط مخابراتی مسئله هارمونیکها و تداخل آنها اهمیت بیشتری پیدا کرده است [۶۰].

دلایلی که عمدتاً برای انجام چنین مطالعه ای مد نظر است، تخمین انحراف ولتاژ و دامنه های هارمونیک جریان و همچنین تداخل آن با مدارهای مخابراتی است. تکنیکهایی که به طور معمول برای جلوگیری از مسائل فوق بکار می روند، فیلتر کردن یا ایجاد کردن محدودیتهایی در سوئیچینگ بانکهای خازنی است.

هنگامی که یک منبع بزرگ تولید هارمونیک (مثلاً بار غیرخطی) به یک فیدر اضافه می شود مطالعات هارمونیک برای تعیین انحرافات ولتاژ و پیک های ولتاژ در حالت رزونانس، انجام می گیرد. ولتاژهای حالت گذرا به صورت اغتشاش بر روی دیگر مصرف کننده های شبکه نیز اثر می گذارند. در این حالات باید دامنه هارمونیکها و مسیر آنها مشخص گردد. اگر این هارمونیکها از نزدیکی خطوط مخابراتی عبور کنند، مسئله تداخل را بوجود می آورند. این جریانهها همچنین ممکن است، باعث اغتشاشات ولتاژ شده و تلفات فیدر را افزایش دهند. برای مطالعه دقیق این هارمونیک ها لازم است که در حالت عدم تعادل، اطلاعات کافی برای مدل نمودن مسئله از فیدرها داشته باشیم. در حالت کلی دیاگرام تک خطی یک فیدر فرضی را می توان با شکل (۴-۱۱) نشان داد. در مدل فرکانس پائین مدل فیدر فقط شامل بانکهای خازنی و امپدانس خطوط می باشد.



شکل ۴-۱۱: مدل فرکانس پائین و تک خطی به همراه بانک خازنی [۶۰]

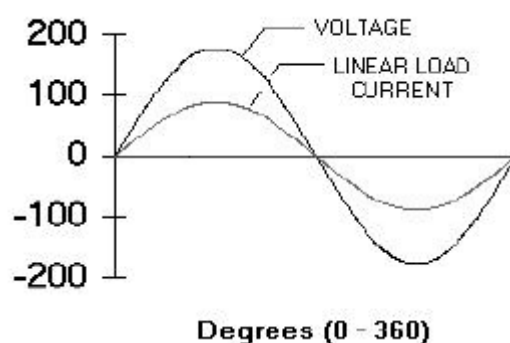
در مواقعی که فیدر و منابع تولید هارمونیک متعادل سه فاز باشند می توان از مدل تکفاز فیدر استفاده نمود. این کار باعث خلاصه کردن اطلاعات و روشهای مدل سازی می گردد. چنین مدلی برای مطالعه بارهای صنعتی و منابع سه فاز مناسب می باشد.

۴-۵-۱ بارهای خطی و غیر خطی

هدف شرکتهای برق ارائه ولتاژ سینوسی در دامنه و فرکانس ثابتی می باشد. دستیابی به این هدف هنگامی که بارهای غیر خطی در شبکه موجود باشند مشکل می شود. این بارها ولتاژ و جریان در نقاط مختلف شبکه را دچار اعوجاج کرده و از جهات مختلفی سیستم قدرت را تحت تاثیر قرار می دهد.

در سالهای اخیر با پیشرفت صنعت نیمه هادی بارهایی که تولید هارمونیک می کنند افزایش یافته است. این مساله مهندسين قدرت را بر آن داشته داشته که در هنگام نصب تجهيزات و يا تحليل سيستمهای قدرت اثر هارمونیکها را نیز در نظر بگیرند. برای درک مساله هارمونیکها در سیستم قدرت باید دو مساله را در خاطر داشت. اول اینکه بارهایی که تولید هارمونیک می کنند و دوم نحوه پخش جریانهای هارمونیکي در سیستم قدرت می باشد.

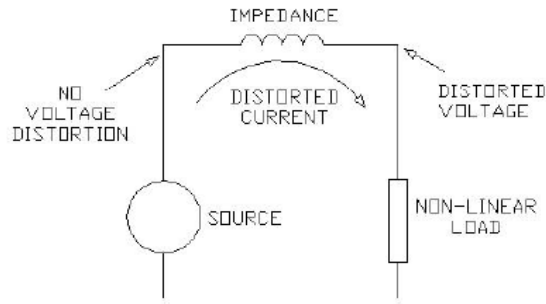
یک المان خطی در سیستم قدرت المانی است که جریان گذرنده از آن متناسب با ولتاژ دو سر آن باشد و یا به عبارت دیگر شکل جریان و ولتاژ یکی باشند. این موضوع در شکل (۴-۱۲) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۲: شکل ولتاژ و جریان در یک المان خطی [۶۳]

از طرف دیگر شکل جریان در یک المان غیر خطی مثل شکل ولتاژ نمی باشد. نمونه های المانهای غیر خطی عبارتند از (منبع تغذیه سوئیچینگ، UPS، کوره های القایی، درایو با سرعت قابل تنظیم ASD و ...). جریان المان غیر خطی سینوسی نمی باشد ولی متناوب هست بدین معنا که در هر سیکل تکرار می شود. المانها در سیستم قدرت هارمونیکهای فرد تولید می کنند بدین معنا که شکل ولتاژ و جریان آنها دارای تقارن فرد است.

هنگامی که یک بار غیر خطی جریان هارمونیکي می کشد این جریان از تمام المانهای بین منبع و بار غیر خطی عبور می کند. در نتیجه با عبور جریان هارمونیکي از امپدانسها ولتاژ هارمونیکي در دو سر امپدانسها تولید می شود. این موضوع در شکل (۴-۱۳) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۳: نحوه ایجاد ولتاژ هارمونیک در امپدانس [۶۳]

ولتاژ هارمونیک و ولتاژ غیر هارمونیک در دو سر امپدانس با هم جمع شده و یک ولتاژ دارای اعوجاج را بوجود می آورند. معمولاً در سیستم قدرت المانها می توانند تا حدی که در استاندارد ۵۱۹ آمده جریانهای هارمونیک را تحمل کنند [۵۸]. ولی با افزایش بارهای غیر خطی مساله هارمونیکها ممکن است منجر به پدیده رزونانس در سیستم قدرت شود. برخی از مشکلاتی را که جریان و ولتاژ هارمونیک ایجاد می کنند به صورت زیر است:

- افزایش حرارت در المانهای سیستم قدرت (ترانسفورماتورها و...)

- عملکرد نامطلوب تجهیزات در سیستم قدرت

- اختلال با سیستمهای مخابراتی

- سوختن فیوزها به خاطر کشیدن جریانهای هارمونیک

۴-۵-۲ اثرات بارهای غیر خطی در جایابی بهینه خازن در شبکه توزیع

در هنگام جایابی بهینه خازن در سیستم توزیع باید جریانهای هارمونیک ایجاد شده در شبکه به علت وجود بارهای غیر خطی، در نظر گرفته شوند. چرا که بدون منظور نمودن اعوجاج حاصل از این جریانها جایابی بهینه صورت نخواهد گرفت. برای محاسبه مشخصه شکل موج ولتاژ و تلفات حاصل از فرکانسهای هارمونیک معمولاً مدل بار تزریقی به صورت یک منبع ولتاژ وابسته به جریان در نظر گرفته می شود. مقدار بهینه خازنها و جایابی مناسب آنها وابستگی زیادی به مدل بار در نظر گرفته شده برای فرکانسهای مختلف

(شامل مولفه اصلی و کلیه هارمونیکها) خصوصاً هنگامی که از طرف شکل موج ولتاژ محدودیتهایی نیز تحمیل میشود، دارد.

در گذشته مسئله جایابی بهینه خازن در سیستمهای توزیع به حالت‌های خاص و با اعمال فرضیات زیادی محدود می شده است. یکی از فرضیاتی که در هنگام جایابی بهینه خازن در نظر گرفته شده است، خطی بودن کلیه بارها می باشد. همانطور که قبلاً بیان شد، در عمل یک قسمت مهم از بارها، غیرخطی هستند که به طور گسترده ای از آنها در وسایل خانگی و اداری استفاده می شوند. اندازه گیری ها در سیستمهای توزیع مختلف نشان می دهد که مقادیر قابل توجهی اعوجاج هارمونیکی روی شکل موجهای ولتاژ و جریان شبکه وجود دارد. بنابراین دیده می شود که اگر جایابی و اندازه خازن به صورت مناسب انتخاب نگردند مولفه های هارمونیکی ولتاژ جریان در یک یا چند فرکانس ممکن است تشدید گردیده و حالت رزونانس ایجادشود و این خود می تواند باعث شوکهای بزرگ و خطرناک بر روی موج اصلی گردد که این شوکها علاوه بر آسیب رساندن به عایق تجهیزات مصرفی و معیوب نمودن وسایل، باعث تداخل در سیستم مخابراتی نیز می شود.

تحقیقات گسترده ای بر اساس مدل بار و وجود خازنهای سوئیچینگ در شبکه برای میرا نمودن اثرات هارمونیکی در فرکانسهای بالا صورت گرفته است. بدیهی است که با جایابی و اندازه مناسب خازن در سیستم توزیع می توان فرکانس نوسانات را به مقادیر دیگری شیفت داد. اما در این حالت ممکن است که جایابی و اندازه بهینه ای که قبلاً طراحی شده بود برای خازنها حاصل نگردد.

برای جایابی بهینه در شبکه های توزیع با در نظر گرفتن بار غیرخطی می توان در ابتدا طی یک انتخاب، مدل مناسب و در نظر گرفتن برخی فرضیات ساده با وجود بارهای غیرخطی و جریانهای هارمونیکی در شبکه جایابی و اندازه بهینه خازن را انجام داد و سپس یک روش مناسب برای محاسبه جریانهای هارمونیکی تزریق شده و مولفه های هارمونیکی ولتاژ حاصله در طول تغییرات مشخصه خازن بدست آورد. در تابع هدف، صرفه جوئی اقتصادی در انرژی و کاهش تلفات توان و هزینه خود خازنها دیده می شود. همچنین قیود را بر مقدار موثر، ماکزیمم و کل اعوجاج حاصل از هارمونیک (THD) روی ولتاژ شینه ها اعمال کرد. مدل بارهای

غیر خطی متصل به هر باس را می توان به صورت یک منبع جریان تزریق شونده به باس و مدل بارهای خطی به صورت یک مقاومت موازی با یک سلف در نظر گرفت. به این ترتیب می توان تحلیل هارمونیکی مجزایی برای سیستم هایی که تنها شامل بارهای غیرخطی می باشند انجام داد.

با بررسی عددی در سطوح مختلف هارمونیکها با فرض جایابی خازنها می توان دریافت که حل مسئله به مدل در نظر گرفته شده برای بار در فرکانس پایه و فرکانس هارمونیک کاملاً وابسته بوده و نتایج با حالتی که از مولفه های هارمونیکی صرف نظر می شود کاملاً متفاوت می باشد.

۴-۵-۳ روشهای حل مسائل هارمونیکی

اغلب مشکلات مربوط به هارمونیک ها، ابتدا در بانک خازنی خودشان را نشان می دهند. مهمترین دلیل این موضوع آن است که خازنها با اندوکتانس سیستم، مدارهای تشدید تشکیل می دهند که سطوح جریان هارمونیکی را تقویت کرده و موجب افزایش سطوح اعوجاج ولتاژ می شوند.

در این مدار تشدید، بیشترین سطح اعوجاج ولتاژ در بانک خازنی ایجاد می شود. در نتیجه چنین پدیده ای، جریانهای خازنی بالایی در فرکانسهای هارمونیکی ایجاد می گردد و اضافه دمای ناشی از مقدار موثر زیاد جریان یکی از حالتها معمول خطای ایجاد شده در چنین شرایطی است. همچنین سوختن فیوز محافظ بانک خازنی می تواند به موجب جریان هارمونیکی بالا اتفاق بیافتد. اساساً جریان موثر عبوری از خازن می تواند بخاطر وجود هارمونیک ها به میزان زیادی افزایش یابد، به دلیل امیدانس پائین بانک خازنی، حتی وقتی که اعوجاج ولتاژ کمی در فرکانس های هارمونیکی وجود دارد، این مسئله اتفاق می افتد. در صورتیکه اعوجاج هارمونیکی قابل ملاحظه باشد، خطای شکست عایقی نیز می تواند به موجب بالا بودن پیک ولتاژ اتفاق بیافتد، زیرا مقدار پیک ولتاژ می تواند برابر با جمع جبری همه ولتاژهای هارمونیکی باشد. در مواقعی که حدود اغتشاش ایجاد شده در حدود قابل قبول نباشد، مشخصه پاسخ فرکانسی سیستم می تواند با تغییر اندازه خازن و یا محل نصب آن، تغییر مشخصه منبع، یا با طراحی فیلترهای هارمونیکی تغییر داده شود.

همانطور که می دانید امپدانس سلف به صورت مستقیم و امپدانس خازن به صورت معکوس با فرکانس رابطه دارد [۵۹].

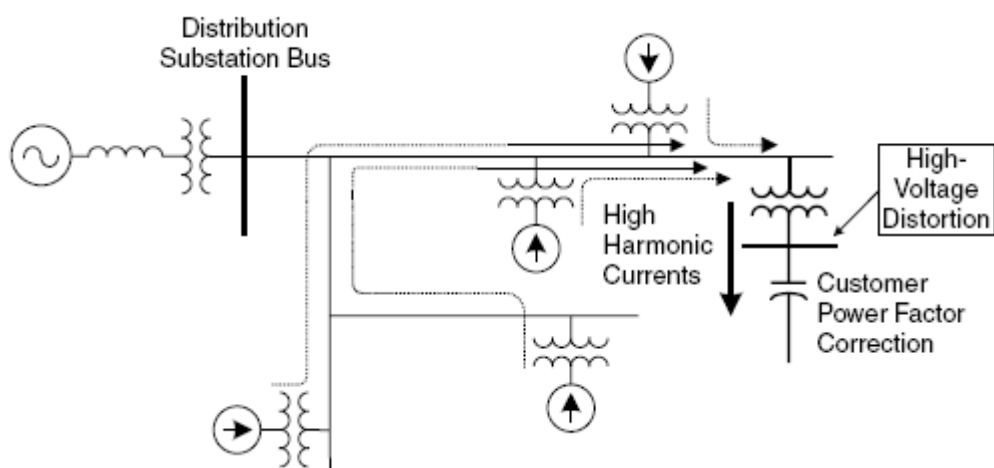
$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad (1-4)$$

که C در اینجا ظرفیت خازن می باشد. خازنهای قدرت عمدتاً بر حسب کیلووار و مگاوار در ولتاژ داده شده اندازه گیری می شوند. بنابراین راکتانس خازنی داده شده در فرکانس و ولتاژ داده شده به صورت زیر می باشد:

$$X_c = \frac{KV^2}{M var} \quad (2-4)$$

۴-۶-۱ رزونانس سری

موقعی وجود دارد که خازن موازی و اندوکتانس ترانسفورماتور و یا خط توزیع از دید منبع جریان هارمونیک به صورت یک مدار LC سری دیده می شوند. اگر فرکانس رزونانس مدار با یکی از فرکانس های بار غیر خطی برابر شود آنگاه مدار LC سری مقدار زیادی از جریان هارمونیک که توسط سیستم توزیع تولید می شود را به خود جذب می کند. حال مشترکینی که از خازن های تصحیح ضریب توان استفاده میکنند و هیچ گونه بار غیر خطی ندارند ممکن است دچار ولتاژهای هارمونیک با اعوجاج بالا شوند که منبع آن بارهای غیرخطی در همسایگی خازن باشد. این حالت در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است.

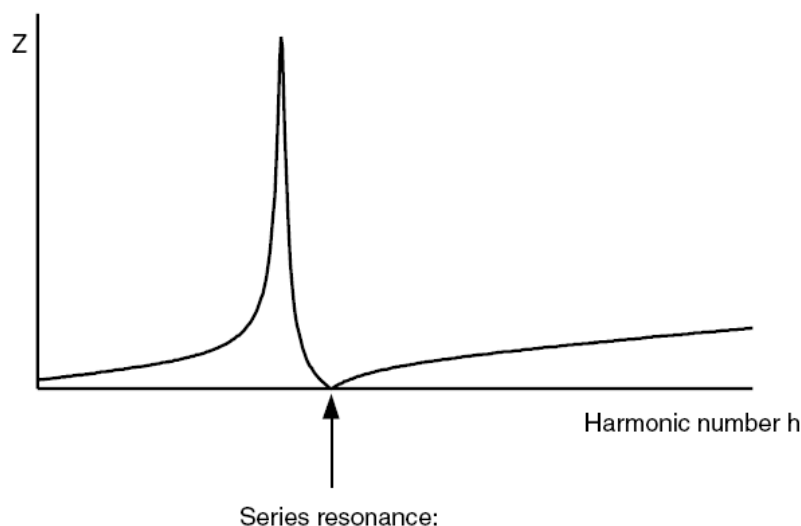


در هنگامی که رزونانس سری اتفاق می افتد، خازن تصحیح ضریب توان، از دید منبع جریان هارمونیک مدار LC سری را تشکیل می دهد. منابع هارمونیک نشان داده شده در شکل به صورت یک منبع هارمونیک که نماینده تمام هارمونیکهای تولید شده توسط بارهای غیر خطی است ترکیب سری اندوکتانس ترانسفورماتور و بانک خازنی خیلی کوچک می باشد (از لحاظ تئوری تقریباً صفر) و تنها توسط مقاومت محدود می شود. بنابراین منبع جریان هارمونیک معادل با فرکانس رزونانس به صورت کاملاً آزاد در مدار جاری می شود. ولتاژ در بانک خازنی تقویت شده و دارای اعوجاج بسیار بالا خواهد بود این مساله از رابطه (۳-۴) کاملاً آشکار است [۵۹].

$$V_s = \frac{X_C}{X_T + X_C + R} V_h = \frac{X_C}{R} V_h \quad (3-4)$$

که در اینجا V_s و V_h به ترتیب ولتاژ هارمونیک مربوط به جریان هارمونیک I_h ولتاژ بانک خازنی تصحیح ضریب توان می باشد. مقاومت مدار تشدید در مقایسه با اندوکتانس بسیار کوچک بوده و در شکل (۴-۱۴) نشان داده نشده است.

امپدانس کوچک مدار رزونانس را میتوان برای جذب جریانهای هارمونیک مورد نظر به کار برد که اساس و پایه طراحی فیلترهای notch می باشند. منحنی تغییرات امپدانس بر حسب هارمونیکها جهت نمایش حالت رزونانس سری در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۵: منحنی تغییرات امپدانس بر حسب هارمونیکها جهت رزونانس سری [۵۹]

۴-۶-۲ رزونانس موازی

تمام مدارهایی که شامل سلف و خازن می باشند دارای یک یا چند فرکانس تشدید می باشند. اگر یکی از این فرکانسها با فرکانس منبع سیستم قدرت یکی شود تشدید اتفاق می افتد و مقادیر ولتاژ و جریان در آن فرکانس به شدت افزایش می یابند. این مساله یکی از مشکلات اعوجاج هارمونیک در سیستم قدرت می باشد. از دید منبع جریان هارمونیک، خازن قدرت به صورت موازی با اندوکتانس سیستم و ترانسفورماتور قرار می گیرد. چون که در سیستم قدرت منبع توان به صورت منبع ولتاژ در نظر گرفته می شود در هارمونیکهای مختلف این منبع ولتاژ به صورت اتصال کوتاه در نظر گرفته می شود.

رزونانس موقعی اتفاق می افتد که راکتانس X_C و امپدانس خطوط و ترانسفورماتور همدیگر را حذف می کنند. فرکانسی که در آن این پدیده اتفاق می افتد فرکانس تشدید موازی خوانده می شود و به صورت زیر بیان می شود [۶۳]:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_{eq}C} - \frac{R^2}{4L_{eq}^2}} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_{eq}C}} \quad (4-4)$$

که در آن:

R : مقاومت ترکیب منبع و ترانسفورمر

L_{eq} : اندوکتانس ترکیب منبع و ترانسفورمر

C : مقدار خازن بانک خازنی

در فرکانس تشدید امپدانس ظاهری دیده شده از دید منبع جریان هارمونیک بسیار زیاد می شود و به

صورت زیر می باشد:

$$Z_p = \frac{X_C(X_{leq} + R)}{X_C + X_{leq} + R} = \frac{X_C(X_{leq} + R)}{R} \approx \frac{X_{Leq}^2}{R} = \frac{X_C^2}{R} = QX_{Leq} = QX_C \quad (5-4)$$

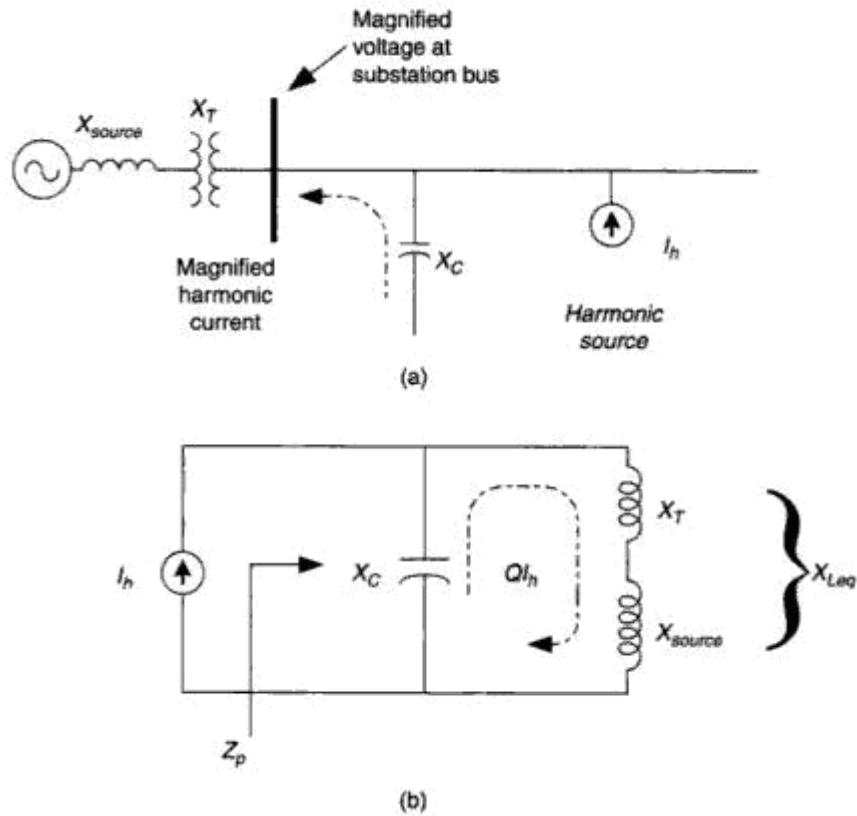
$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} \quad \text{and} \quad R \ll X_{Leq}$$

توجه داشته باشید که راکتانس در فرکانس تشدید محاسبه شده است. Q به عنوان ضریب کیفیت مدار تشدید خوانده می شود. Q با توجه به مکان سیستم قدرت تغییر می یابد و مقدار آن از ۴ در فیدر توزیع تا ۳۰ در طرف کاهنده ترانسفورماتور کاهنده، تغییر می کند. با توجه به رابطه (۵-۴) یک جریان هارمونیک کوچک باعث یک ولتاژ هارمونیک بالا می شود و یا به عبارت دیگر $V_p = QX_{Leq}I_h$ ولتاژ در نزدیکی بانک خازنی بسیار زیاد شده و دارای اعوجاج زیادی خواهد بود. فرض کنیم که جریان درون بانک خازنی به صورت زیر باشد:

$$I_{resonance} = \frac{V_p}{X_C} = \frac{QX_C I_h}{X_C} = QI_h \quad (6-4)$$
$$I_{resonance} = \frac{V_p}{X_{Leq}} = \frac{QX_{Leq} I_h}{X_{Leq}} = QI_h$$

همانطور که از رابطه بالا مشاهده می شود جریان در بانک خازنی و یا ترانسفورمر Q بار افزایش می یابد.

این پدیده باعث خرابی خازن، افزایش حرارت بیش از اندازه ترانسفورمر و سوختن فیوز های خازن می شود.



شکل ۴-۱۶: در فرکانسهای هارمونیکی خازن موازی به صورت موازی با اندوکتانس سیستم قرار می گیرد.

الف: شبکه توزیع ساده شده ب: شبکه رزونانس موازی از دید منبع جریان هارمونیکی [۵۹]

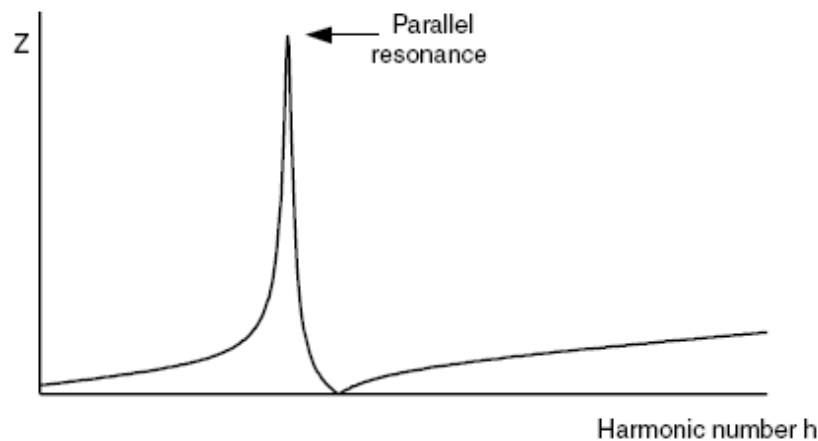
مقدار افزایش جریان و ولتاژ توسط اندازه بانک خازنی تعیین می شود. شکل (۴-۱۶) اثر تغییرات مقدار بانک خازنی نسبت به امپدانس خازن و امپدانس دیده شده از منبع جریان هارمونیکی را نشان می دهد و این حالت با حالتی که خازن وجود ندارد مقایسه شده است. مهندسیین قدرت مقادیر L و C را ندارند و معمولاً ترجیح می دهند از شکل‌های دیگر استفاده کنند. آنها معمولاً فرکانس تشدید را با استفاده از امپدانس در فرکانس اصلی و مقادیر نامی به صورت زیر حساب می کنند:

$$h_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_{SC}}} = \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{M \text{ var}_{cap}}} \approx \sqrt{\frac{KVA_{tx} \times 100}{k \text{ var}_{cap} \times Z_{tx} (\%)}} \quad (7-4)$$

برای مثال برای یک ترانسفورماتور 1400KVA و 6% و خازن 1400KVAR به صورت زیر می باشد:

$$h_r = \sqrt{\frac{KVA_{tx} \times 100}{k \text{ var}_{cap} \times Z_{tx} (\%)}} = \sqrt{\frac{1500 \times 100}{500 \times 6}} = 7.07 \quad (۸-۴)$$

منحنی تغییرات امپدانس بر حسب هارمونیکها جهت نمایش حالت رزونانس موازی در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷: منحنی تغییرات امپدانس بر حسب هارمونیکها جهت رزونانس موازی [۵۹]

همانطور که در تعریف رزونانس موازی آمد این پدیده هنگامی رخ می دهد که مقدار امپدانس خازن با امپدانس شبکه از دید خازن برابر شود و در این صورت افزایش ولتاژ را در دو سر خازن خواهیم داشت. رزونانس موازی می تواند در یک و یا چند هارمونیک شبکه رخ دهد. در رزونانس سری نیز ممکن است خازن تصحیح توان با اندوکتانس خط و یا ترانسفورماتور مدار رزونانس سری را تشکیل دهد و یک مسیر با امپدانس پایین را برای تعدادی از هارمونیکهای خاص ایجاد نماید. از این اثر می توان برای طراحی فیلتر سری نیز بهره برد بدین ترتیب که خازنی طراحی شود که در هارمونیک خاص با اندوکتانس شبکه مدار تشدید ایجاد نماید و هارمونیکهایی که برای شبکه مشکل ایجاد می کنند را جذب نماید. در شبکه هایی که احتمال تشدید سری می رود مساله رزونانس موازی نیز بدلیل شکل مدار رخ می دهد. البته فرکانس تشدید موازی کمتر از فرکانس تشدید سری می باشد زیرا در آن اندوکتانس منبع نیز در نظر گرفته شده است.

در صورتیکه امپدانس المانهای شبکه به گونه ای باشد که خازنها و سلفهای مدار با هم تشکیل مدارهای رزونانس سری یا موازی بدهند، وجود یک جریان یا ولتاژ در فرکانس رزونانس می تواند منجر به ایجاد جریان یا ولتاژ هارمونیکی با دامنه بسیار زیاد شود. به عنوان مثال یک مدار رزونانس موازی را در نظر بگیرید، امپدانس این مدار در فرکانس رزونانس خیلی زیاد است. بنابراین اگر یک منبع جریان هارمونیکی جریانی با فرکانس رزونانس به این مدار تزریق کند ولتاژ هارمونیکی بسیار بزرگی در مدار ایجاد خواهد شد. در مورد مدارهای رزونانس سری نیز یک ولتاژ کوچک با فرکانس رزونانس می تواند جریان زیادی در مدار جاری کند. حال اگر چنانچه جاگذاری خازنها در طول فیدر مناسب نباشد، احتمال وقوع رزونانس موازی در فرکانسهای هارمونیک وجود دارد که باعث افزایش سطوح جریان و ولتاژ هارمونیکی خواهد شد، که عوارض نامطلوبی خواهد داشت که می توان با جاگذاری مناسب خازنها از نقطه نظر محل نصب و اندازه آن، رزونانس را به فرکانسهای دیگر منتقل نمود.

فصل پنجم

خازن گذاری بهینه در

شبکه توزیع با در نظر

گرفتن کیفیت توان

۵-۱ مقدمه

لزوم بکارگیری بانکهای خازنی بعنوان یک ضرورت در طراحی فیدرهای توزیع پذیرفته شده است. از آنجائیکه در سیستم های مشترکین امروزی از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می شود بنابراین طراحی

شبکه توزیع در آینده شامل ملاحظات مربوط به کیفیت توان نیز خواهد بود. در هنگام جابجایی بهینه خازن در سیستم توزیع لزوماً باید جریانهای هارمونیکی ایجاد شده در شبکه به علت وجود بارهای غیرخطی، در نظر گرفته شوند. چرا که مطمئناً بدون منظور نمودن اعوجاج حاصل از این جریانها، جابجایی بهینه صورت نخواهد گرفت. بنابراین اگر جابجایی و اندازه خازن به صورت مناسب انتخاب نگردد مولفه های هارمونیکی ولتاژ جریان در یک یا چند فرکانس ممکن است تشدید گردیده و حالت رزونانس ایجاد شود و این خود می تواند باعث شوکهای بزرگ و خطرناک بر روی سیگنال اصلی گردد که این شوکها علاوه بر آسیب رساندن به عایق تجهیزات مصرفی و معیوب نمودن وسائل، باعث تداخل در سیستم مخابراتی نیز می شود.

۵-۲ خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع توسط الگوریتم ژنتیک

برای بهینه سازی در تعیین مقدار و مکان خازن با وجود بارهای غیر خطی، فرضیات زیر را در نظر می گیریم.

۱- سیستم متقارن در نظر گرفته می شود

۲- توانهای پیش بینی شده بار، در مولفه اصلی فرکانس و فرکانسهای هارمونیکی هستند.

۳- ضریب توان در فرکانس پایه برای بارهای خطی و غیر خطی یکسان است.

پس از تعیین مفروضات مساله به جهت یافتن تابع هدف در امر بهینه سازی مدلهای ریاضی برای هزینه های صرفه جویی شده در اثر کاهش تلفات انرژی تابع هزینه به صورت زیر تعریف می گردد.

$$S = K_e \sum_{i=1}^n T_i P_i + K_P P_0 + K_C \sum_{j=1}^m C_j \quad (1-5)$$

که در آن

S : تابع هدف

$$\text{هزینه تلفات انرژی : } K_e \sum_{i=1}^n T_i P_i$$

$$K_p P_0 : \text{هزینه تلفات پیک توان}$$

$$K_C \sum_{j=1}^m C_j : \text{هزینه خازن}$$

این رابطه هزینه کلی تابع هدف است و چنانچه بخواهیم مسائل کیفیت توان را نیز در نظر بگیریم یک ضریب جریمه نیز باید اضافه کنیم.

محدودیت های تابع هدف شامل محدودیت های تعداد خازن داریم و غیر داریم در هر باس و نیز محدود بودن مجموع آنها در تمام باسها، همچنین محدودیت مقدار موثر ولتاژ در هر سطح بار و در هر باس که نباید از حد معین خارج شود (بین ۰/۹۵ تا ۱/۰۵)، می باشد که این امر خود محدودیت پیک ولتاژ مربوطه را شامل می شود و نیز محدودیت کل اعوجاج هارمونیکی که با توجه به تحلیل هارمونیکی انجام شده نباید از ۵٪ بیشتر باشد [۶۱].

در مساله خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک ابتدا یک جمعیت اولیه از خازنها تشکیل می شود که هر کدام می توانند یک جواب برای مساله باشند. نحوه ایجاد خازنها به صورت تصادفی می باشد. برای مثال یک جمعیت اولیه از خازنها در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. عناصر شکل (۱-۵) نشان دهنده مقدار خازن انتخابی برای هر باس در انتخابهای مختلف است. بعنوان مثال C34، بیانگر مقدار خازن در چهارمین انتخاب در باس سوم می باشد.

C_{11}	C_{12}	C_{13}	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	C_{1n}
C_{21}	C_{22}	C_{23}	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	C_{1n}

C_{31}	C_{32}	C_{33}	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	C_{1n}
.
.
.
C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	C_{1n}

شکل ۵-۱: نمونه ای از جمعیت اولیه برای خازن ها

برای تعیین شایستگی این عضو از تابع هدف (۵-۱) استفاده می شود. تابع هدف معلوم می کند که این ترکیب از خازن‌ها چه تاثیری بر شبکه می گذارند. جمله اول در تابع هدف انرژی تلف شده، جمله دوم تلفات در پیک و جمله سوم هزینه خازن‌ها را نشان می دهد. این تابع هدف برای تمام اعضای جمعیت اولیه نمایش داده می شود. فرض کنید که تابع هدفها به صورت نشان داده شده در شکل (۵-۲) باشد.

obj_1	obj_2	obj_3	...	$obj_{(n-2)}$	$obj_{(n-1)}$	obj_n
---------	---------	---------	-----	---------------	---------------	---------

شکل ۵-۲: مقادیر تابع هدف اعضای الگوریتم ژنتیک

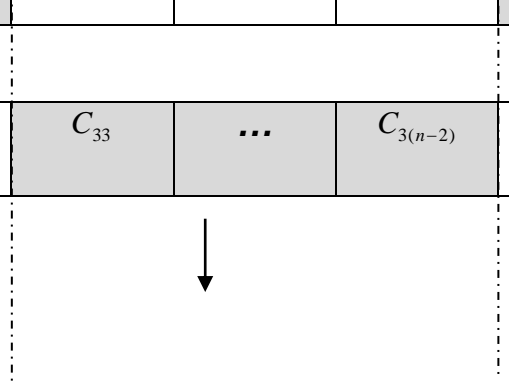
با توجه به این تابع هدفها با استفاده از روش انتخاب چرخ رولت تعدادی از ترکیبهای خازن‌ها برای ایجاد جمعیت تولید مثل انتخاب می شوند. سپس عملگرهای الگوریتم ژنتیک بر روی آنها عمل کرده و فرزندان بوجود می آیند. اولین عملگر، عملگر برش می باشد که به صورت شکل (۵-۳) عمل می کند:

P_1

C_{11}	C_{12}	C_{13}	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	C_{1n}
----------	----------	----------	-----	--------------	--------------	----------

P_2

C_{31}	C_{32}	C_{33}	...	$C_{3(n-2)}$	$C_{3(n-1)}$	C_{3n}
----------	----------	----------	-----	--------------	--------------	----------



O₁

C_{11}	C_{12}	C_{33}	...	$C_{3(n-2)}$	$C_{1(n-1)}$	C_{1n}
----------	----------	----------	-----	--------------	--------------	----------

O₂

C_{31}	C_{32}	C_{13}	...	$C_{1(n-2)}$	$C_{3(n-1)}$	C_{3n}
----------	----------	----------	-----	--------------	--------------	----------

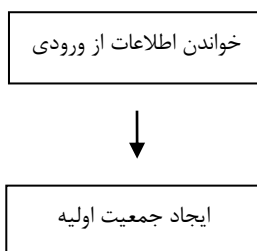
شکل ۳-۵: نحوه عملکرد عملگر برش بر روی قسمتهای مختلف دو عضو

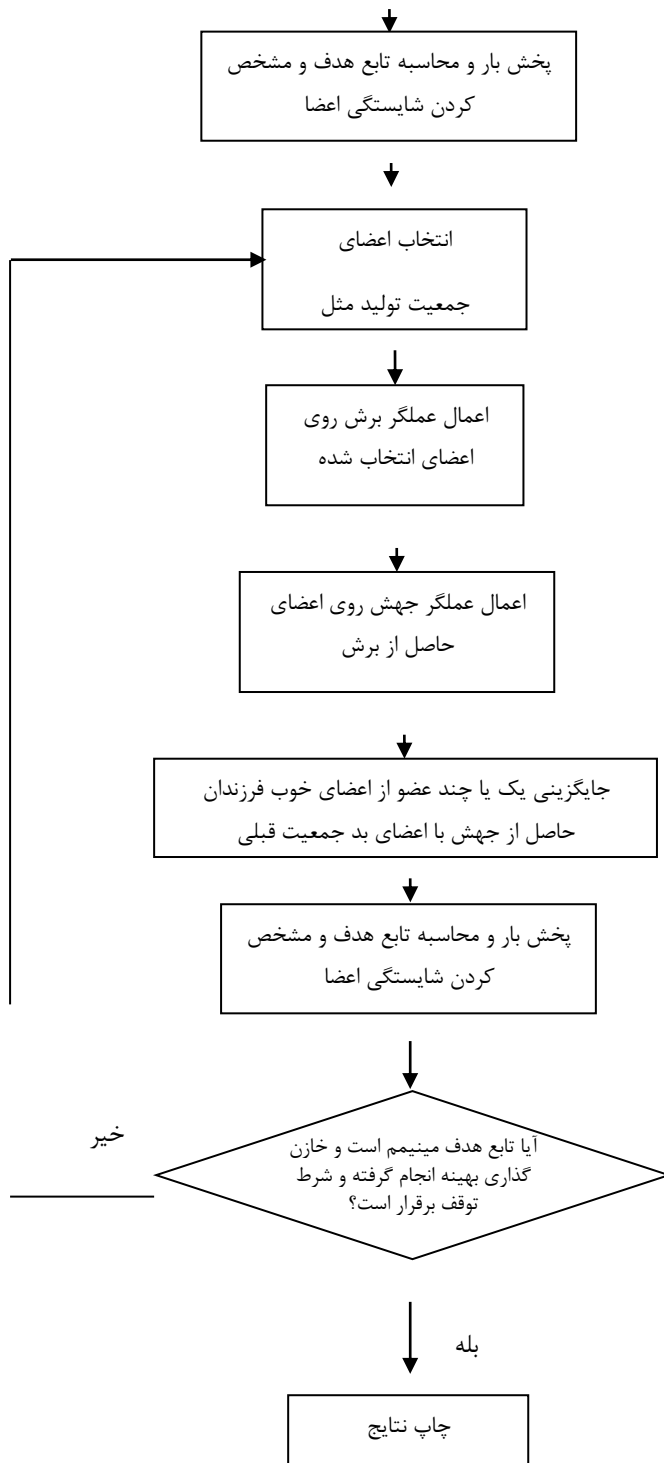
این عملگر به منظور ترکیب ژنهای اعضای مختلف بکار رفته و اعضای جدیدی را بوجود می آورد. عملگر بعدی جهش نام دارد و به منظور جستجوی بیشتر فضای جستجو بکار می رود. نمونه ای از این عملگر در شکل (۴-۵) نشان داده شده است:



شکل ۴-۵: نحوه عملکرد عملگر جهش بر روی یک عضو

بعد از اینکه فرزندان ایجاد شدند مقدار شایستگی آنها با توجه به تابع هدف محاسبه می شود و مراحل بالا آنقدر ادامه می یابد تا شرط خاتمه ارضا شود. مراحل بالا برای یک خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان هستند. مراحل فوق در فلوجارت شکل (۵-۵) نمایش داده شده است.





شکل ۵-۵: مراحل خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک بدون در نظر گرفتن کیفیت توان

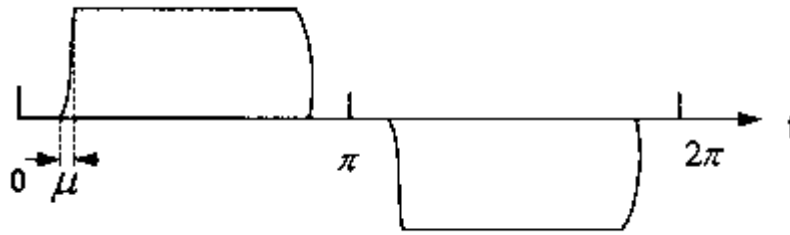
۳-۵ خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع با در نظر گرفتن رزونانس

چنانچه بخواهیم مسائل کیفیت توان را نیز در نظر بگیریم باید در تابع هدف تجدید نظر کنیم. به طور مثال فرض کنید که می خواهیم ببینیم خازن گذاری انجام شده با وجود بارهای غیر خطی، چه نتایجی در شبکه بوجود می آورد. بدین منظور باید از پخش بار هارمونیک استفاده کنیم. الگوریتم پخش بار هارمونیک نحوه توزیع جریانها و ولتاژهای هارمونیک در شبکه را محاسبه می کند. مراحل انجام این الگوریتم به شرح زیر است:

ابتدا باید بارهای غیر خطی را به صورت منابع جریان هارمونیک مدل می کنیم. همانطور که در فصل قبل توضیح داده شد، در هر باس بار غیر خطی به صورت منبع جریان هارمونیک مدل شده که این جریانها در شبکه پخش می شوند و باعث مشکلات زیادی می شوند. بار غیر خطی را می توان به صورت درصدی از بار کل در هر باس در نظر گرفت. مقدار جریان هارمونیک تزریقی در باس h از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I_{i,j}^h = \rho_j \frac{P_{i,j} - jQ_{i,j}}{(V_{i,j}^1)^* h}; \quad h = 3, 5, \dots, n_h \quad (2-5)$$

در این رابطه ρ_j کسر بار غیر خطی، $V_{i,j}^1$ ولتاژ هارمونیک اصلی در سطح بار h و باس h و $P_{i,j}$ و $Q_{i,j}$ بار اکتیو و راکتیو در سطح بار h و باس h و h مرتبه هارمونیک می باشند. در هر هارمونیک مقدار جریان تزریقی توسط رابطه بالا محاسبه شده و به صورت جریان وارد شونده در مدار در نظر گرفته می شود. چنانچه بخواهیم مدل دقیق بارهای غیر خطی را در نظر بگیریم از روابط خود بارها برای بدست آوردن مقدار جریان هارمونیک تزریقی استفاده می کنیم. به طور مثال اگر از مبدلهای ۶ پالس استفاده کنیم و شکل آن را به صورت دوزنقه تصور کنیم (مانند حالت نشان داده شده در شکل (۵-۶)) جریانهای هارمونیک تزریقی به صورت زیر محاسبه می شوند [۶۳] و [۶۲]:



شکل ۶-۵ شکل جریان مبدل ۶ پالس [۶۳]

$$I_h = I_d \sqrt{\frac{6}{\pi} \frac{\sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(2\alpha + \mu)}}{h[\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu)]}} \quad (۳-۵)$$

که A و B به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$A = \frac{\sin\left[(h-1)\frac{\mu}{2}\right]}{h-1} \quad (۴-۵)$$

$$B = \frac{\sin\left[(h+1)\frac{\mu}{2}\right]}{h+1} \quad (۵-۵)$$

زاویه μ به صورت زیر حساب می شود:

$$\mu = \cos^{-1}(\cos \alpha - (X_s + X_t)I_d) - \alpha \quad (۶-۵)$$

X_t و X_s امپدانسهای سیستم و ترانسفورماتور در مبنای پریونیت و I_d جریان DC مبدل می باشد.

$$\frac{I_h}{I_1} = \frac{1}{h} \frac{\sin(h\mu/2)}{h\mu/2} \frac{\sin(h\pi/3)}{h\pi/3} \quad (۷-۵)$$

جریان در هارمونیک اصلی از ولتاژ و توان بار بدست می آید. برای بدست آوردن مدار معادل در هارمونیک h ام به صورت زیر عمل می کنیم. ابتدا با خازنگذاری یک پخش بار انجام می شود تا ولتاژ و جریانهای شبکه بدست آیند. پخش بار استفاده شده از روش نیوتون-رافسون می باشد [۶۳]. برای بدست آوردن امپدانس خازن از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \quad (۸-۵)$$

در این رابطه Q_C مقدار خازن برحسب راکتیو می باشد که در یک عضو الگوریتم ژنتیک داده شده است. ولتاژ در رابطه بالا از پخش بار بدست می آید و بنابراین امپدانس خازن بدست می آید. برای بدست آوردن مدل شبکه در هارمونیک h ام ابتدا راکتانسه‌های خطوط در h ضرب می شوند. یعنی راکتانس خطوط در هارمونیک h ام از رابطه زیر بدست می آید:

$$X_{L,h} = h \times X_{L,1} \quad (۹-۵)$$

در این رابطه $X_{L,1}$ راکتانس خط در هارمونیک اصلی می باشد. برای خازن نیز رابطه زیر صادق است:

$$X_{C,h} = \frac{1}{h} \times X_{C,1} \quad (۱۰-۵)$$

$X_{C,1}$ در رابطه بدست آمده است. برای بدست آوردن ماتریس admittانس در هارمونیک h ام admittانس بین خطوط از رابطه حساب شده و admittانس قطری از رابطه زیر بدست می آید:

$$y_{d,h} = y_{d,L,h} - y_{C,h} \quad (۱۱-۵)$$

در رابطه بالا $y_{d,h}$ عضو قطری ماتریس admittانس می باشد و $y_{d,L,h}$ و $y_{C,h}$ به ترتیب عضو قطری ماتریس admittانس بدون احتساب خازنهای موازی می باشند. ماتریس admittانس در زیر نشان داده شده است:

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \end{bmatrix} \quad (12-5)$$

توجه کنید که برای هر هارمونیک یک ماتریس ادمیتانس مجزا وجود دارد که اجزای آن با توجه به هارمونیک مورد نظر محاسبه می شوند. ولتاژها در هارمونیک مورد نظر از رابطه زیر بدست می آیند:

$$V = [Y]^{-1} I \quad (13-5)$$

بنابراین در هر هارمونیک ما یک ماتریس ولتاژ خواهیم داشت که تشکیل دهنده ولتاژ باسها می باشند. این ماتریس در زیر نمایش داده شده است.

$$\begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1h} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2h} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nh} \end{bmatrix} \quad (14-5)$$

در این ماتریس هر ستون نماینده ولتاژ باسها در هارمونیک مورد نظر می باشد. چنین ماتریس برای جریانها نیز وجود دارد. جریانهای تزریقی هارمونیک که توسط بارهای غیر خطی تزریق می شوند به صورت زیر مدل می شوند.

$$\begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1h} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & I_{2h} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ I_{n1} & I_{n2} & \dots & I_{nh} \end{bmatrix} \quad (15-5)$$

به طور مثال در ماتریس بالا درایه I_{2h} نمایش دهنده جریان تزریقی بار غیر خطی در هارمونیک h ام می باشد. حال که ولتاژ هارمونیکی در باسهای مختلف بدست آمد می توان المانهای مربوط به کیفیت توان را با توجه به تعاریف آنها بدست آورد. یکی از معروفترین این تعاریف THD می باشد که نماینده تاثیر هارمونیکها می باشد. این کمیت نشان دهنده مقدار موثر مقادیر هارمونیکی در یک شکل موج دارای اعوجاج می باشد و یا به عبارت دیگر مقدار تاثیر هارمونیکها نسبت به هارمونیک اصلی می باشد. این کمیت به صورت زیر تعریف می شود [۵۹].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (16-5)$$

در این رابطه M_h مقدار موثر کمیت M در هارمونیک h ام می باشد. M میتواند ولتاژ و یا جریان باشد. البته تعریف دیگری به نام TDD ^{۴۸} وجود دارد که به صورت زیر تعریف می شود.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_L} \quad (17-5)$$

I_L نمایش دهنده ماکزیمم جریان بار در هارمونیک اصلی می باشد. برای هر عضو از اعضای الگوریتم ژنتیک و یا به عبارت دیگر هر ترکیب از خازنها برای هر باس یک THD وجود دارد. ماتریس THD را می توان به صورت زیر نوشت.

$$[THD_1 \quad THD_2 \quad \dots \quad THD_n] \quad (18-5)$$

برای بدست آوردن امپدانس از دید منابع جریان هارمونیکی ولتاژ در هارمونیک مورد نظر را بر جریان منبع هارمونیکی تقسیم می کنیم.

$$Z_{h,j} = \frac{V_{h,j}}{I_{h,j}} \quad (19-5)$$

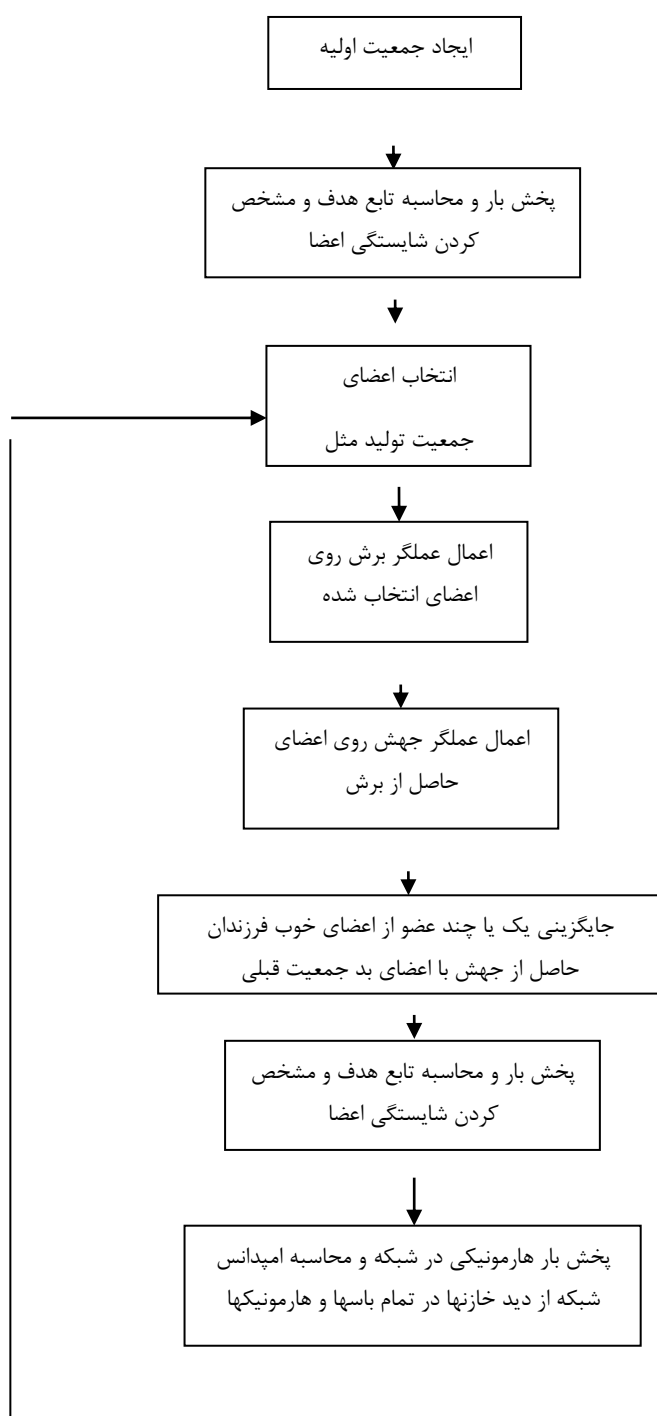
در این رابطه $V_{h,j}$ ولتاژ هارمونیک h ام در باس j ام می باشد و $I_{h,j}$ جریان تزریقی هارمونیک h ام در باس j ام می باشد. بنابراین در هر باس در هر هارمونیک ما یک امپدانس دیده شده از دید منبع جریان هارمونیکی مورد نظر خواهیم داشت. ماتریس امپدانس دیده شده از دید منبع جریان هارمونیکی برای باسهای مختلف به صورت زیر نوشته می شود.

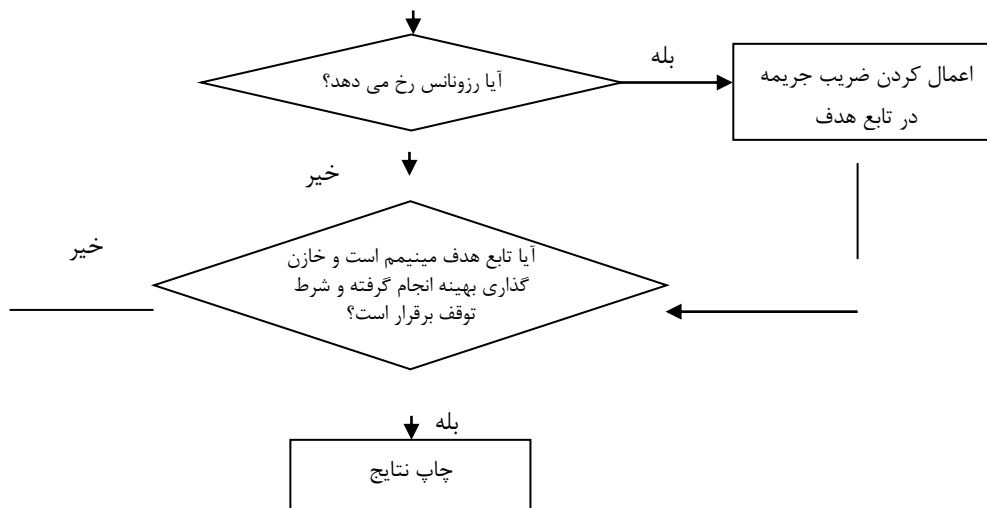
$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1h} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2h} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nh} \end{bmatrix} \quad (20-5)$$

در این ماتریس به طور مثال درایه Z_{nh} نمایش دهنده امپدانس دیده شده از دید منبع جریان هارمونیکی در باس n ام در هارمونیک h ام می باشد. چنانچه این امپدانس از حدی زیادتر باشد احتمال رزونانس می رود. نحوه در نظر گرفتن این مساله در محاسبه تابع هدف می باشد بدین ترتیب که اگر رزونانس اتفاق بیافتد یک ضریب جریمه به تابع هدف اضافه می شود.

بنابراین با بررسی ماتریس امپدانس دیده شده از دید منبع جریان هارمونیکی میتوان بوجود رزونانس پی برد. چون رزونانس باعث خرابی خازن می شود باید خازن گذاری طوری تغییر یابد که از رزونانس جلوگیری شود. بنابراین در هر عضوی از الگوریتم ژنتیک که هر باسی از آن در یک هارمونیک دچار رزونانس شد تابع هدف آن متناظر با عضو باید بیشتر از حالتی باشد که رزونانس رخ نداده است. بنابراین در صورت رخ دادن رزونانس یک ضریب جریمه باید به تابع هدف اضافه شود تا احتمال انتخاب آن در مراحل بعدی الگوریتم ژنتیک کمتر شود. فلوجارت مراحل قبلی خازن گذاری به همراه مرحله کنترل خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان توسط الگوریتم ژنتیک در شکل (5-7) نشان داده شده است.

با ارائه این تکنیک در الگوریتم خازن گذاری حالتی که ممکن است در آن رزونانس اتفاق بیافتد از مسئله خارج شده و حالت بهینه دیگری جایگزین حالت فوق خواهد شد.





شکل ۷-۵ فلوچارت خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

فصل ششم

نتایج شبیه سازی

۶-۱ مقدمه

پس از بیان مطالب و تئوری کار که در فصول قبل ارائه شد، در این فصل خازن گذاری بهینه توسط الگوریتم ژنتیک بر روی یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه، شبیه سازی شده و نتایج در حالت‌های مختلف قبل و بعد از خازن گذاری با یکدیگر مقایسه خواهند شد و حالت‌هایی که در آنها رزونانس اتفاق می افتد را مشخص کرده و با روشی که در این پایان نامه ارائه شده بر طرف خواهیم کرد و در پایان نتیجه خازن گذاری بهینه ارائه خواهد شد.

برنامه ای که جهت این کار تهیه شده است بر پایه الگوریتم ژنتیک در نرم افزار MATLAB نوشته شده است و کارایی بالایی دارد و سعی شده است که کار با آن ساده باشد و اطلاعات لازم به سادگی در ورودی دریافت شود و پس از اجرای برنامه در پایان نتایج به طور کامل ارائه گردد و خازن گذاری در محل های کاندید شده با ظرفیت مناسب انجام گیرد.

در ابتدا الگوریتم کلی برنامه را ارائه کرده و سپس به توضیح اطلاعات ورودی و خروجی برنامه پرداخته می شود و در ادامه دو مثال از حالت های مختلف در یک شبکه شعاعی ۹ باسه توسط برنامه حل می شود و نتایج بدون در نظر گرفتن بحث کیفیت توان و با در نظر گرفتن کیفیت توان با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

۶-۲ شرح الگوریتم برنامه

در این برنامه در ابتدا اطلاعات مورد نیاز به برنامه داده شده و مشخصات و محدودیتهای شبکه را تعیین کرده و به برنامه داده و سپس برنامه طبق برنامه نوشته شده اجرا می گردد.

اصول کار به این صورت است که ابتدا پخش بار در شبکه توسط روش نیوتن-رافسون اجرا شده و نتایج پخش بار مشخص می گردد. سپس با داشتن نتایج پخش بار اطلاعات مربوط به شبکه شامل ولتاژها و توان اکتیو و راکتیو باسها مشخص می گردد. با داشتن این نتایج و تحلیل آنها و دانستن محدودیتهای شبکه از جمله نقاط کاندید خازن گذاری، برنامه خازن گذاری بهینه اجرا خواهد شد.

مراحل خازن گذاری بهینه توسط الگوریتم ژنتیک طبق توضیحاتی که در فصل قبل آورده شد اجرا شده و تابع هدف (۵-۱) محاسبه می گردد. با توجه به اینکه تابع هدف، جهت کاهش تلفات توان راکتیو و اکتیو و در نهایت کاهش هزینه می باشد، ضرایب مربوط به هزینه تلفات و صرفه جویی انرژی و هزینه های خازن گذاری در تابع هدف دیده شده است و در نهایت هدف مینیمم کردن تابع هدف خواهد بود.

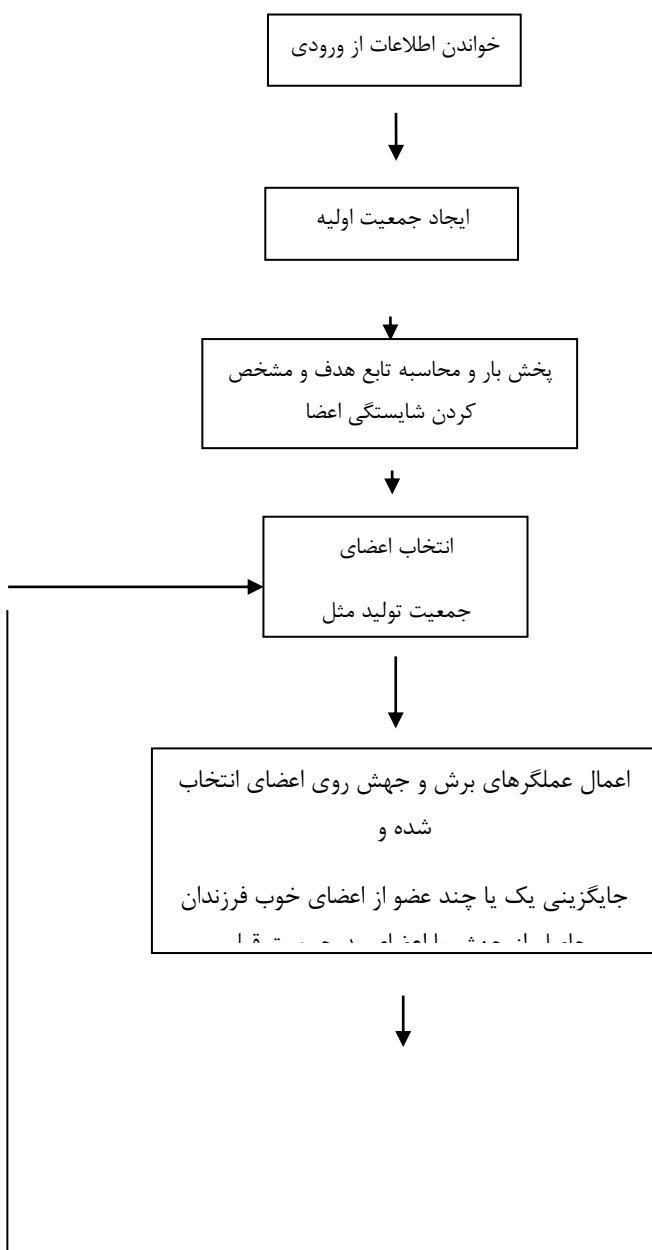
همچنین قیودی که در این برنامه وجود دارد و باید در هر مرحله چک گردد، شامل ولتاژ باسها، حداکثر مقدار خازن گذاری در شبکه و یا در هر باس بسته به محدودیت و هزینه، شرط تعداد تکرار و در نهایت محدودیتهای کیفیت توان و اثر رزونانس می باشد. در حالتی که محدودیت کیفیت توان در بحث خازن

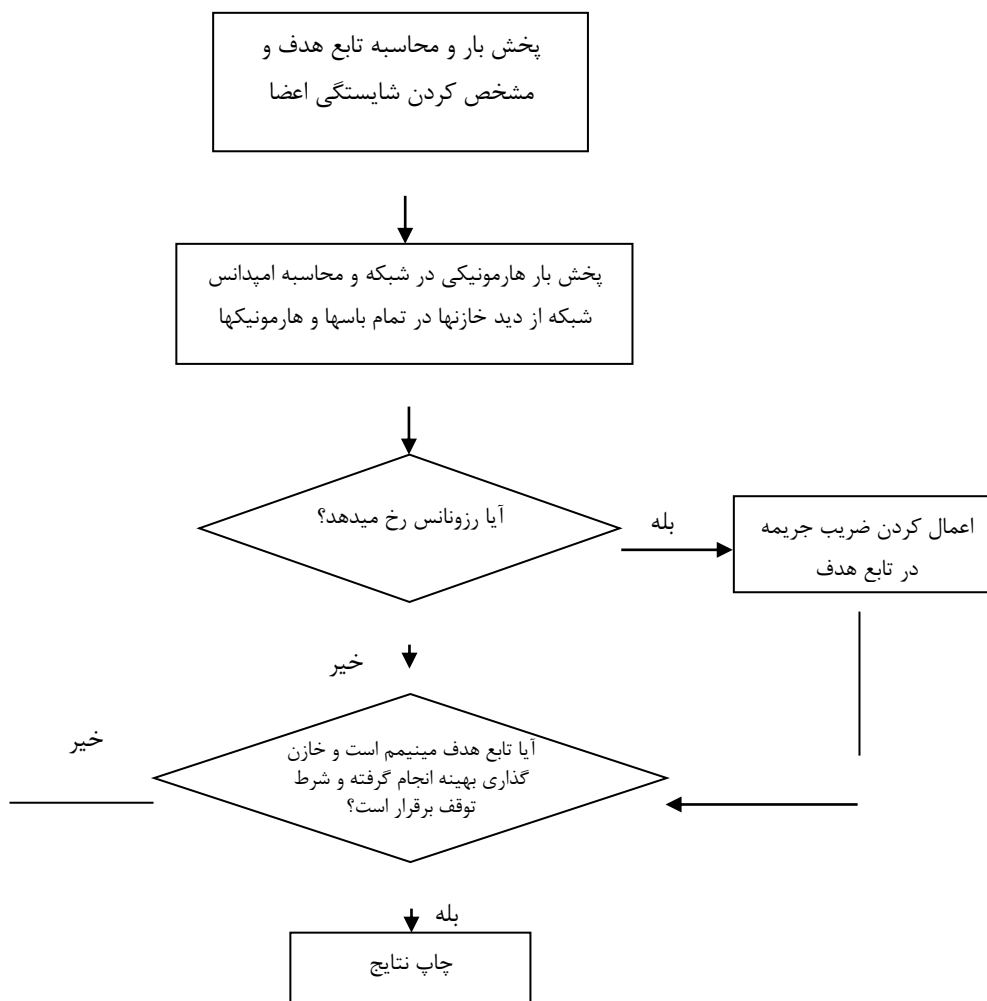
گذاری در نظر گرفته می شود، بارهای غیرخطی، به صورت یک منبع جریان هارمونیک در هر باس قرار داده می شود و از دید منبع جریان هارمونیک امپدانس کل شبکه نسبت به خازن بدست آمده در تمام هارمونیکهای فرد تا هارمونیک بیست و پنجم، محاسبه شده و در صورتیکه احتمال وقوع رزونانس وجود داشته باشد، با افزایش یک ضریب جریمه به تابع هدف، حالت انتخاب شده با مقدار خازن فوق از نتیجه دور شده و به عنوان جواب بهینه انتخاب نمی گردد و محاسبه دوباره تکرار خواهد شد.

الگوریتم فوق تا جایی تکرار می شود که تابع هدف از مقدار نهایی کمتر نگردد. حلقه تکرار در هر مرحله از اجرای برنامه، پس از هر بار خازن گذاری انجام شده، در نهایت تابع هدف را محاسبه و مقدار تابع هدف جدید را با مقدار تابع هدف قبلی مقایسه کرده و پس از ۲۰ تکرار با نتیجه یکسان علی رغم اینکه تعداد تکرار به تعداد تکرار اصلی کل برنامه نرسیده باشد، از حلقه خارج می شود.

در انتها نتایج به صورت اطلاعات پخش بار انجام شده قبل و بعد از خازن گذاری و همچنین میزان مقادیر خازنها در هر باس در خروجی چاپ می گردد. مقادیر خازنهای اعلام شده در خروجی، ضریبی از مقدار بانک خازنی که در ابتدا به برنامه داده شده است، اعلام می گردد. فلوجارت برنامه اجرایی در شکل (۶-۱) نشان داده شده است.

در این فلوجارت پس از خواندن داده ها از ورودی و انجام پخش بار اولیه، برای اجرای الگوریتم ژنتیک ابتدا یک جمعیت اولیه تشکیل می شود. نحوه تشکیل این جمعیت بدین صورت است که یک عدد تصادفی در هر باس ایجاد می شود طوری که مجموع این اعداد ضربدر مقدار خازن پایه از مجموع توان راکتیو بارها بیشتر نشود. این مساله به این خاطر است که چنانچه توان راکتیو تولیدی خازنها بیشتر از توان راکتیو بارها باشد عملیات خازن گذاری تا حدی بی تاثیر خواهد شد زیرا این توان اضافی در شبکه جریان اضافی جاری می کند و در نتیجه تلفات افزایش می یابد.





شکل ۶-۱: فلوچارت برنامه اجرایی خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

مراحل پیاده سازی مساله خازن گذاری با الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:

مثالی از جمعیت اولیه برای یک سیستم ۹ باسه که در ۹ باس آن خازن گذاری انجام می شود به صورت شکل (۶-۲) است. در این شکل هرسط نمایشگر یک آرایش از جمعیت اولیه برای خازن گذاری های باسهای ۱ تا ۹ می باشد. بعنوان مثال مقدار خازن برای باس سوم و انتخاب چهارم، ۷ برابر واحد انتخابی بانک خازنی می باشد.

باسبها	1	2	3	4	5	6	7	8	9
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

گروموزم									
1	2	3	3	9	0	11	3	6	5
2	3	10	16	3	2	1	5	0	2
3	1	8	8	4	1	10	4	5	1
4	2	6	7	2	9	4	0	8	4
5	5	2	4	0	8	2	4	4	13
6	8	5	10	4	0	0	0	10	5
7	7	8	8	9	2	2	2	1	3
8	0	0	5	3	4	2	6	6	16
9	5	5	2	10	4	5	7	3	1
10	3	8	4	5	4	4	1	10	3
11	8	2	8	2	3	5	0	10	4
12	0	7	6	6	3	5	4	2	9
13	4	1	1	4	2	8	4	5	13
14	8	1	0	2	0	4	2	15	10
15	5	4	4	7	5	6	6	1	4
16	7	5	6	6	3	7	2	6	0

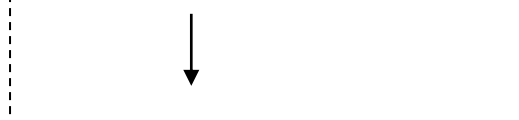
شکل ۶-۲: جمعیت اولیه خازنها

پس از تشکیل جمعیت اولیه شایستگی هر کدام از اعضا باید تعیین شود. اینکار با توجه به تابع شایستگی (تابع هدف) تعیین می شود که در فصل قبل توضیح داده شده است. این تابع هدف برای خازن گذاری بدون در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان است. چنانچه بخواهیم مسائل کیفیت توان را نیز در نظر بگیریم برای هر عضو یک پخش بار هارمونیک انجام می دهیم به این ترتیب که ابتدا بارهای غیر خطی را به صورت منابع جریان هارمونیک در نظر می گیریم. در اینجا از مبدل‌های ۶ باسه به عنوان بارهای غیر خطی استفاده نموده ایم که روابط هارمونیکهای تزریقی آنها در فصل قبل ذکر شد. زاویه آتش این مبدلها را می توان به طور دلخواه در نظر گرفت. پس از انجام پخش بار هارمونیک و بدست آوردن ولتاژ و جریانها در هارمونیکهای مختلف امپدانس هر باس در هارمونیکهای مختلف بدست می آید. چنانچه این امپدانس از حدی بالاتر باشد احتمال رزونانس در آن باس وجود دارد و یک ضریب جریمه به تابع هدف اضافه می شود.

این ضریب جریمه بدین خاطر است که از انتخاب شدن این عضو در مراحل بعدی الگوریتم ژنتیک جلوگیری شود. پس از این مرحله عملیات برش و جهش انجام می شود. نمونه ای از عملگر برش در شکل (۳-۶) نشان داده شده است:

۲	۳	۴	۰	۰	۱	۷	۳	۶	۵
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

۳	۳	۵	۵	۱	۲	۲	۷	۹	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



۳	۳	۴	۵	۱	۲	۲	۳	۶	۵
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

۳	۳	۵	۱	۰	۱	۷	۷	۹	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۳-۶: عملگر برش در خازن گذاری

در عملگر جهش نیز یکی از ژنهای فرزندان به صورت تصادفی تغییر می کند که در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.

۲	۳	۴	۱	۰	۱	۷	۳	۶	۵
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



۲	۳	۴	۱	۰	۱	۳	۳	۶	۵
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۴-۶: عملگر جهش در خازن گذاری

در این عضو تعداد خازن در باس نهم از ۷ خازن به ۳ خازن تغییر یافته است. مراحل بالا تا تعداد تکرار مشخصی که به صورت ورودی به برنامه داده می شود ادامه می یابد. برای بدست آوردن مقادیر ولتاژ و جریان در هارمونیکهای مختلف به صورت زیر عمل می کنیم:

ابتدا زوایای آتش برای مبدل‌های ۶ پالسه از کاربر در خواست می شود. سپس با توجه به روابط (۳-۵) تا (۷-۵) جریانهای هارمونیکی مبدل‌های ۶ پالسه تعیین می شود. سپس با قرار دادن خازنها در باسها پخش بار انجام می شود تا ولتاژ تمامی باسها بدست آید. آنگاه با توجه به نتیجه پخش بار و از رابطه (۲-۴) ظرفیت خازنها بدست می آید. راکتانس خطوط و ظرفیت خازن ها در هارمونیک مورد نظر محاسبه شده و با توجه به رابطه (۷-۴) ولتاژهای هارمونیکی محاسبه می شوند.

۳-۶ ورودی های برنامه

برای سهولت در خواندن داده و انجام عملیات بر روی آنها این اطلاعات ورودی در فایل Excel ذخیره شده و در برنامه بازخوانی می شوند. این داده ها شامل اطلاعات باسها و خطوط و مشخصات بارها می باشد.

پس از ورود اطلاعات مربوط به شبکه، باید اطلاعاتی در خصوص قیود و محدودیتهای کار به برنامه داده شود. از جمله این اطلاعات، دقت در تعداد تکرار الگوریتم برنامه، مشخص کردن باسهایی که کاندید خازن گذاری هستند، اندازه استاندارد بانک خازنی، ماکزیمم تعداد خازنها در کل شبکه و در هر باس، ثابتهای K_e , K_p , K_c در تابع هدف (۱-۵) که به ترتیب ضریب ثابت هزینه صرفه جویی انرژی بر حسب دلار بر کیلو وات ساعت، هزینه صرفه جویی شده توان بر حسب دلار بر کیلو وات و هزینه های خازنها برای هر کیلو وار می باشند.

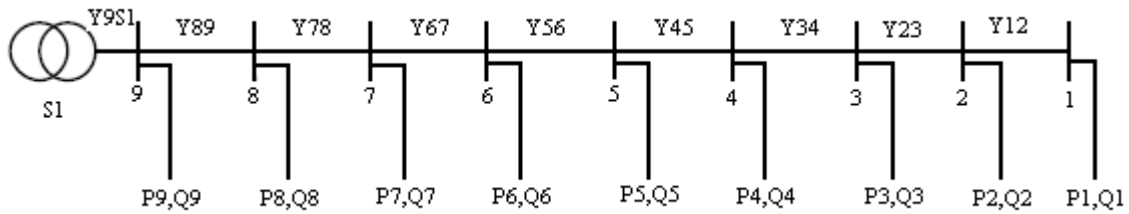
باسهای کاندید شبکه جهت خازن گذاری با توجه به محدودیتهایی که در محل نصب وجود دارد تعیین میگردد که این محدودیتهای می توانند داشتن فضای لازم، مسائل مربوط به تعمیر و نگهداری و غیره باشد.

۴-۶ مثال: خازن گذاری در یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه

در این قسمت به توضیح خازن گذاری در یک شبکه شعاعی ۹ باسه پرداخته و خازن گذاری در شبکه فوق با تغذیه از یکسو را مورد بررسی قرار داده و خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان را تحلیل می کنیم، سپس با در نظر گرفتن کیفیت توان، خازن گذاری را انجام داده و نتایج را مقایسه می کنیم.

۶-۴-۱ حل مسئله خازن گذاری در یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه با تغذیه از یکسو

در این قسمت به توضیح خازن گذاری در یک شبکه شعاعی ۹ باسه که از یک سو تغذیه می شود می پردازیم. شبکه مورد استفاده در شکل (۵-۶) آمده است.



شکل ۵-۶: شکل شبکه شعاعی ۹ باسه با تغذیه از یکسو

در این شبکه، اطلاعات باسها و خطوط در جدول ۶-۱ و جدول ۶-۲ مشخص شده است [۶۴] که اطلاعات فوق را توسط فایل Excel به ورودی برنامه داده می شود. در اینجا از مبدل‌های ۶ پالسه به عنوان بارهای غیر خطی استفاده شده است. که در تمام باسها با مقادیر یکسان در نظر گرفته شده است. ظرفیت بانکهای خازنی استفاده شده در تمام مراحل اجرا نیز ۱۰۰ کیلو وار در نظر گرفته شده است.

جدول ۶-۱: اطلاعات باس

Bus Number	3-phase KW load	3-phase KVAR load
1	1640	200
2	980	130
3	1150	60
4	780	110
5	1610	600
6	1598	1840
7	1790	446
8	980	340
9	1840	460

جدول ۶-۲: اطلاعات خطوط

From Bus	To Bus	Resistance in Ohms	Reactance in Ohm
1	2	5.3434	3.0264
2	3	4.7953	2.7160
3	4	2.0522	1.1640
4	5	0.9053	0.7886
5	6	1.9831	1.7276
6	7	0.6984	0.6084
7	8	0.7463	1.2050
8	9	0.0140	0.6051
9	Substation	0.1233	0.4127

۶-۴-۱-۱ خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک بدون در نظر گرفتن کیفیت توان

پس از ورود اطلاعات شبکه و دیتاهای لازم طبق توضیحاتی که در بالا داده شد، برنامه را اجرا کرده و مطابق الگوریتم ارائه شده برنامه اجرا می شود و نتایج بدست آمده برای مساله به شرح زیر بدست می آید.

نتایج پخش بار قبل از خازن گذاری به صورت زیر است. تلفات کلی 0.784 MW بدست آمده است و بنابراین انتظار می رود که با خازن گذاری این تلفات کاهش یابد. نتیجه پخش بار قبل از خازن گذاری در جدول ۶-۳ آمده است.

جدول ۶-۳: نتایج پخش بار قبل از خازن گذاری

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.838	-5.990	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.859	-5.404	0.980	0.130	0.000	0.000	0.000
3	0.889	-4.618	1.150	0.060	0.000	0.000	0.000
4	0.907	-4.137	0.780	0.110	0.000	0.000	0.000
5	0.917	-3.721	1.610	0.600	0.000	0.000	0.000
6	0.948	-2.652	1.598	1.840	0.000	0.000	0.000
7	0.963	-2.331	1.790	0.446	0.000	0.000	0.000
8	0.987	-1.268	0.980	0.340	0.000	0.000	0.000
9	0.993	-0.522	1.840	0.460	0.000	0.000	0.000
10	1.000	0.000	0.000	0.000	13.152	5.222	0.000

Total	12.368	<u>4.186</u>	13.152	<u>5.222</u>	0.000
-------	--------	--------------	--------	--------------	-------

در این نتایج ستون اول مربوط به شماره باس، ستون دوم و سوم مربوط به اندازه و زاویه ولتاژ در باس، ستون چهارم و پنجم بار اکتیو و راکتیو در باس، ستون پنجم و ششم مربوط به تولید اکتیو و راکتیو در باس و ستون آخر وار تزریقی به باس می باشد که داده های مربوط به خازن گذاری در این باس قرار می گیرد. همانطور که مشاهده می شود 4.186 Mvar بار کل راکتیو و 5.222 Mvar تولید کل راکتیو می باشد که اختلاف این دو مقدار در خطوط تلف شده است. یک منبع در باس ۱۰ قرار داده شده است دارای اندازه یک و زاویه صفر می باشد. چنانچه خازن گذاری طوری انجام شود که توان راکتیو بارها در محل مصرف توسط خازنها تولید شود و این توان راکتیو توسط ژنراتورها تامین نشود تلفات شبکه به مقدار زیادی کاهش خواهد یافت. تولید توان راکتیو مورد نیاز بارها توسط ژنراتورها نه تنها تلفات شبکه را افزایش می دهد بلکه مقداری از ظرفیت خطوط را اشغال کرده و نیاز به استفاده از واحدهای دیگر را در بار پیک الزامی می نماید و از طرفی ژنراتورها در تولید توان راکتیو نیز محدودیت دارند. توان عبوری و تلفات خطوط در جدول ۶-۴ آمده است.

در این نتایج توان عبوری از خطوط نشان داده شده است. به طور مثال از باس ۵ به ۴، ۴/۸ مگاوات و ۰/۶۵۷ مگاوار انتقال یافته است و تلفات اکتیو و راکتیو آن به ترتیب ۰/۰۴۸ مگاوات و ۰/۰۴۲ مگاوار می باشند. تلفات کلی شبکه ۰/۷۸۴ مگاوات و ۱/۰۳۶ مگاوار می باشد. بنابراین انتظار می رود با خازن گذاری این تلفات کاهش یافته و پروفیل ولتاژ نیز بهبود یابد. پس از اجرای کامل برنامه و خازن گذاری بدون در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان نتایج نهایی تلفات به مقادیری که در جدول ۶-۵ آمده، می رسد که نتایج خروجی در پیوست به طور کامل ارائه شده است.

جدول ۴-۶ : توان عبوری و تلفات خطوط

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--	
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar
1		-1.640	-0.200	1.652		
	2	-1.640	-0.200	1.652	0.039	0.022
2		-0.980	-0.130	0.989		
	1	1.679	0.222	1.694	0.039	0.022
	3	-2.659	-0.352	2.683	0.088	0.050
3		-1.150	-0.060	1.152		
	2	2.748	0.402	2.777	0.088	0.050
	4	-3.898	-0.462	3.925	0.076	0.043
4		-0.780	-0.110	0.788		
	3	3.974	0.505	4.006	0.076	0.043
	5	-4.754	-0.615	4.793	0.048	0.042
5		-1.610	-0.600	1.718		
	4	4.801	0.657	4.846	0.048	0.042
	6	-6.411	-1.257	6.533	0.190	0.166
6		-1.598	-1.840	2.437		
	5	6.602	1.423	6.753	0.190	0.166
	7	-8.200	-3.263	8.825	0.114	0.100
7		-1.790	-0.446	1.845		
	6	8.314	3.362	8.968	0.114	0.100
	8	-10.104	-3.808	10.798	0.177	0.286
8		-0.980	-0.340	1.037		
	7	10.281	4.094	11.066	0.177	0.286
	9	-11.261	-4.434	12.103	0.004	0.172
9		-1.840	-0.460	1.897		

8	11.265	4.606	12.170	0.004	0.172
10	-13.105	-5.066	14.050	0.047	0.156
10	13.152	5.222	14.151		
9	13.152	5.222	14.151	0.047	0.156
Total loss				<u>0.784</u>	1.036

جدول ۶-۵ : نتایج نهایی تلفات پس از خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان در فرکانس اصلی

-- Line loss --

	MW	Mvar
Total loss	<u>0.678</u>	0.889

همچنین نتایج پخش بار پس از خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان در جدول ۶-۶ ارائه شده است.

جدول ۶-۶ : نتایج پخش بار پس از خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.952	-7.210	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.961	-6.680	0.980	0.130	0.000	0.000	0.400
3	0.968	-5.716	1.150	0.060	0.000	0.000	0.200
4	0.971	-5.121	0.780	0.110	0.000	0.000	0.400
5	0.979	-4.628	1.610	0.600	0.000	0.000	0.800
6	0.981	-3.260	1.598	1.840	0.000	0.000	1.800
7	0.988	-2.753	1.790	0.446	0.000	0.000	0.700
8	1.001	-1.343	0.980	0.340	0.000	0.000	0.500

9	0.998	-0.607	1.840	0.460	0.000	0.000	0.200
10	1.000	0.000	0.000	0.000	13.046	0.250	0.000

Total 12.368 4.186 13.046 0.250 5.000

پس از انجام پخش بار هارمونیکی، نتایج تلفات خطوط در هارمونیکیهای مختلف در جدول ۶-۷ نشان داده شده است. همچنین مقادیر THD مطابق جدول ۶-۸ بدست می آید. نتایج کامل پخش بار هارمونیکی در تمام باسها و هارمونیکیهای فرد ۳ تا ۲۵ در پیوست ارائه شده است.

جدول ۶-۷: مقادیر جریانها و تلفات خطوط در هارمونیکیهای مختلف

FROM BUS HARMONIC								
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.030	0.003	0.006	0.184	0.102	0.141	0.199	0.024
7	0.020	0.002	0.004	0.127	0.071	0.097	0.137	0.017
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.011	0.001	0.002	0.073	0.041	0.056	0.079	0.010
13	0.009	0.001	0.002	0.058	0.032	0.044	0.062	0.008
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.006	0.001	0.001	0.037	0.021	0.028	0.040	0.005
19	0.005	0.000	0.001	0.030	0.017	0.022	0.032	0.004
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.003	0.000	0.001	0.018	0.010	0.014	0.020	0.002
25	0.002	0.000	0.000	0.014	0.008	0.011	0.015	0.002
I rms	2.674	2.329	1.886	1.169	1.185	0.938	0.662	0.421
P (MW)	0.3612	0.2458	0.0691	0.0117	0.0263	0.0058	0.0031	0.0000

Total=0.7230

جدول ۶-۸: مقادیر THD پس از انجام خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان

THD at different buses is:

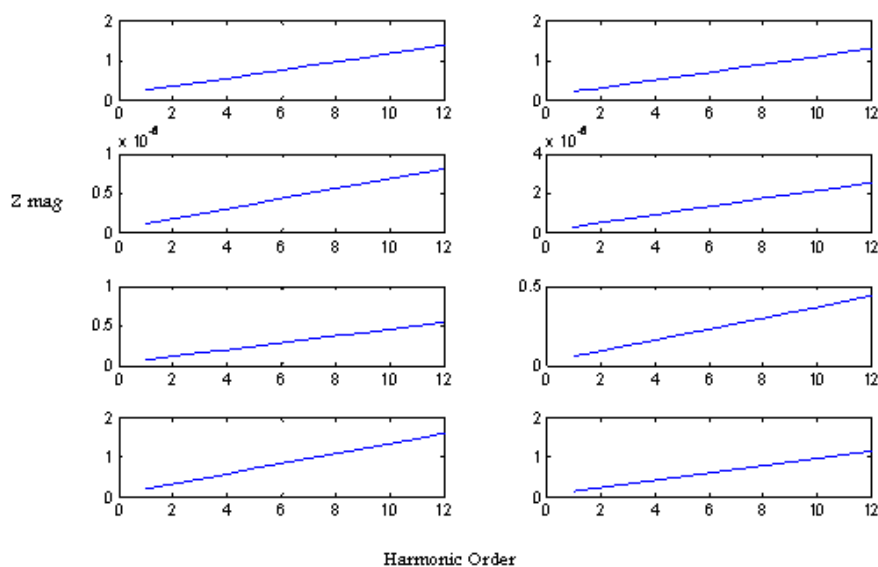
Bus	THD
No.	%
1	1.8832
2	2.212
3	3.146
4	3.791
5	4.374
6	<u>5.039</u>
7	4.184
8	2.099
9	0.944

همانطور که از این نتایج مشاهده می شود، خازن گذاری تلفات خطوط را در فرکانس اصلی از ۰/۷۸ به ۰/۶۷ مگاوات کاهش داده است ولی با بررسی نتایج جدول ۶-۷ و جدول ۶-۸ حاصل از پخش بار هارمونیک در مورد THD در باسهای مختلف و تلفات خطوط در هارمونیکهای مختلف، نشان می دهد که تلفات تغییری نداشته است و ناکارمندی این خازن گذاری معلوم می شود زیرا THD در باسهای مختلف زیاد بوده و در باس ۶ از حد مجاز ۵٪ نیز بیشتر شده است و تلفات به ۰/۷۲ رسیده است.

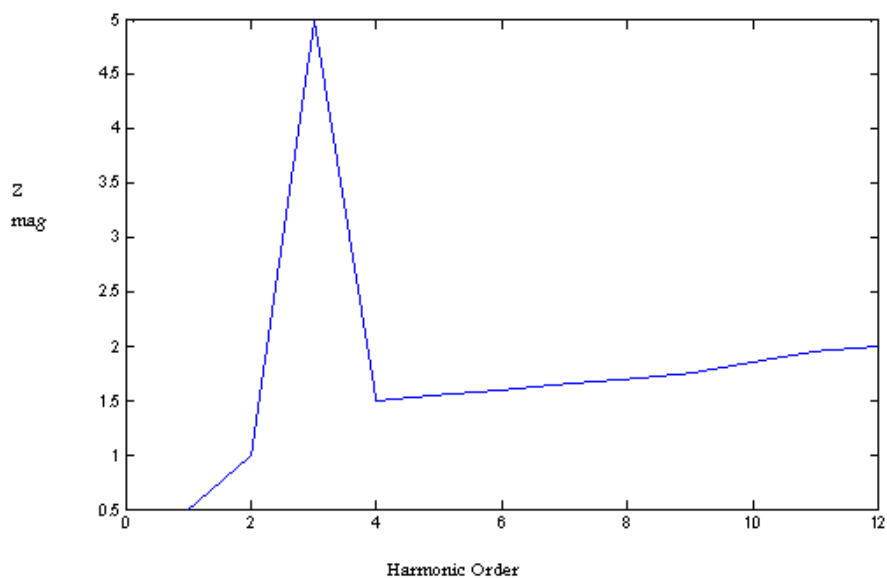
با رسم نمودار امپدانس در هارمونیکهای مختلف در باسها می توان این نکته را که رزونانس اتفاق می افتد مشاهده کرد. این نمودار اندازه امپدانس در هارمونیکهای مختلف از دید منابع جریان هارمونیک را نشان می دهند. در شکل (۶-۶) این نمودارها رسم شده است. همانطور که در این نمودارها مشاهده می شود در هیچ باسی به جز باس ۶، رزونانس رخ نداده است. در نمودار امپدانس باس ۶ چنانچه مشاهده می شود در هارمونیک پنجم رزونانس اتفاق افتاده است. در این نمودارها محور افقی نشان دهنده هارمونیک و محور

عمودی نشان دهنده اندازه امپدانس می باشد. این نمودار از وصل نمودن نقاط امپدانس در هارمونیکهای مختلف بدست آمده اند.

بنابراین باید در هنگام خازن گذاری مسائل کیفیت توان را نیز در نظر گرفت. در خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان، مراحل خازن گذاری باید به گونه ای باشد که THD در باسهای مختلف کاهش یابد.



الف - نمودار امپدانس دیده شده بر حسب مرتبه هارمونیکها در باسهایی که رزونانس رخ نداده است



ب - نمودار امپدانس دیده شده بر حسب مرتبه هارمونیکها در باس ۶ که رزونانس رخ داده است

شکل ۶-۶ : نمودارهای امیدانس بر حسب مرتبه هارمونیک در باسهای ۱ تا ۹

در خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان

۶-۴-۱-۲ خازن گذاری توسط الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن کیفیت توان

همانگونه که در بالا دیده شد، هنگامی که خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان انجام گرفت، نتایج پخش بار هارمونیکی نشان داد که اگر مسائل کیفیت توان را در نظر نگیریم، خازن گذاری از لحاظ کاهش تلفات، بهینه است، اما از لحاظ کیفیت توان بهینه نشده است و این امکان وجود دارد که در بعضی از باسها به لحاظ مقدار خازن موجود رزونانس رخ دهد. پس باید با تکنیکهایی خازن گذاری را طوری انجام دهیم که علاوه بر کاهش تلفات، مسائل کیفیت توان را نیز دیده باشیم.

در این قسمت شبکه مفروض بالا را با در نظر گرفتن کیفیت توان مجدداً خازن گذاری کرده و نتایج را بررسی می کنیم.

پس از اجرای کامل برنامه و خازن گذاری با در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان نتایج نهایی تلفات به مقادیری که در جدول ۶-۹ آمده، می رسد که نتایج خروجی در پیوست به طور کامل ارائه شده است.

جدول ۶-۹ : نتایج نهایی تلفات پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان در فرکانس اصلی

	-- Line loss --	
	MW	Mvar
Total loss	<u>0.687</u>	0.892

همچنین نتایج پخش بار پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان در جدول ۶-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۶-۱۰: نتایج پخش بار پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

Bus Voltage Angle -----Load----- ---Generation--- Injected

No.	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	0951	-7.252	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.969	-6.717	0.980	0.130	0.000	0.000	0.200
3	0.987	-5.873	1.150	0.060	0.000	0.000	0.300
4	0.999	-5.172	0.780	0.110	0.000	0.000	0.500
5	1.004	-4.676	1.610	0.600	0.000	0.000	1.000
6	1.021	-3.206	1.598	1.840	0.000	0.000	1.600
7	1.027	-2.742	1.790	0.446	0.000	0.000	0.800
8	1.026	-1.322	0.980	0.340	0.000	0.000	0.300
9	1.011	-0.584	1.840	0.460	0.000	0.000	0.300
10	1.000	0.000	0.000	0.000	13.055	0.078	0.000

Total 12.368 4.186 13.055 0.078 5.000

پس از انجام پخش بار هارمونیک، نتایج تلفات خطوط در هارمونیکهای مختلف در جدول ۶-۱۱ نشان داده شده است. همچنین مقادیر THD مطابق جدول ۶-۱۲ بدست می آید. نتایج کامل پخش بار هارمونیک در تمام باسها و هارمونیکهای فرد ۳ تا ۲۵ در پیوست ارائه شده است.

جدول ۶-۱۱: مقادیر جریانها و تلفات خطوط در هارمونیکهای مختلف

FROM BUS \ HARMONIC	HARMONIC							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.027	0.002	0.005	0.163	0.090	0.125	0.176	0.021
7	0.018	0.002	0.004	0.112	0.062	0.086	0.121	0.015
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.010	0.001	0.002	0.065	0.036	0.049	0.070	0.008
13	0.008	0.001	0.002	0.051	0.029	0.039	0.055	0.007
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.005	0.000	0.001	0.033	0.018	0.025	0.035	0.004
19	0.004	0.000	0.001	0.026	0.015	0.020	0.028	0.003

21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.002	0.000	0.001	0.016	0.009	0.012	0.017	0.002
25	0.000	0.000	0.000	0.011	0.006	0.009	0.012	0.001
I rms	2.367	2.061	1.0669	1.034	1.048	0.830	0.586	0.373
P (MW)	0.2829	0.1925	0.0541	0.0092	0.0206	0.0045	0.0024	0.0000

Total= 0.56626

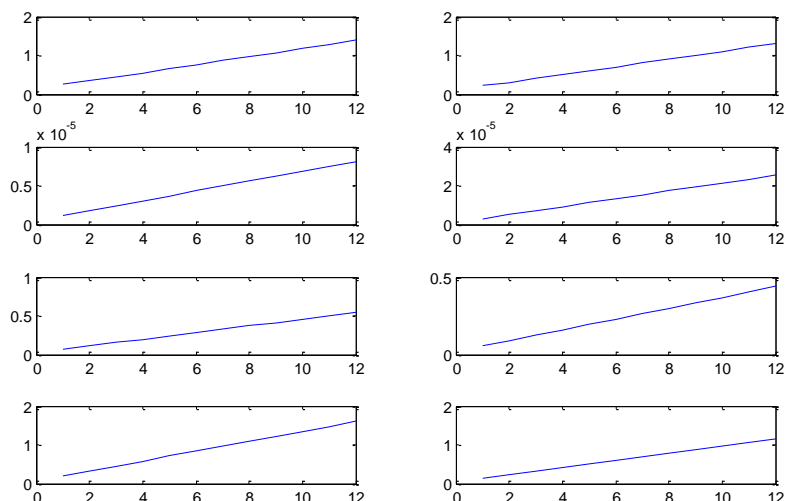
جدول ۶-۱۲ : مقادیر THD پس از انجام خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

THD at different buses is:

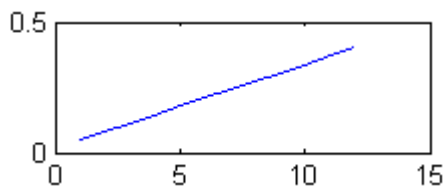
Bus	THD
No.	%
1	1.014
2	0.602
3	0.000
4	0.070
5	0.000
6	2.261
7	1.699
8	0.000
9	0.000

همانطور که از این نتایج مشاهده می شود، خازن گذاری تلفات خطوط را در فرکانس اصلی از ۰/۷۸ به ۰/۶۸ مگاوات کاهش داده است همچنین با بررسی نتایج پخش بار هارمونیک مشاهده می گردد که تلفات در هارمونیکها نیز کاهش یافته است و به مقدار رسیده ۰/۵۶ است و THD نیز در باسهای مختلف کم شده و در باس ۶، که از حد مجاز ۰/۵٪ نیز فراتر رفته بود کاهش یافته است. مشاهده می شود که مقدار کاهش تلفات در خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان نسبت به کاهش تلفات در خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان بیشتر بود و مشکل رخ دادن رزونانس نیز در این حالت بر طرف گشته است.

با رسم نمودار امپدانس در هارمونیکهای مختلف در باسها می توان این نکته را که رزونانس اتفاق نمی افتد، مشاهده کرد. در شکل (۶-۷) این نمودارها رسم شده است. همانطور که در این نمودارها مشاهده می شود در هیچ باسی رزونانس رخ نداده است.



الف - نمودار امپدانس دیده شده بر حسب مرتبه هارمونیکها در باسهای که رزونانس رخ نداده بود



ب - نمودار امپدانس دیده شده بر حسب مرتبه هارمونیکها در باس ۶ که رزونانس رخ داده بود

شکل ۶-۷: نمودارهای امپدانس بر حسب مرتبه هارمونیک در باسهای ۱ تا ۹

در خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

برای مقایسه دو حالت خازن گذاری بدون در نظر گرفتن کیفیت توان و با در نظر گرفتن کیفیت توان،

مقادیر THD دو حالت فوق در جدول ۶-۱۳ نشان داده شده است.

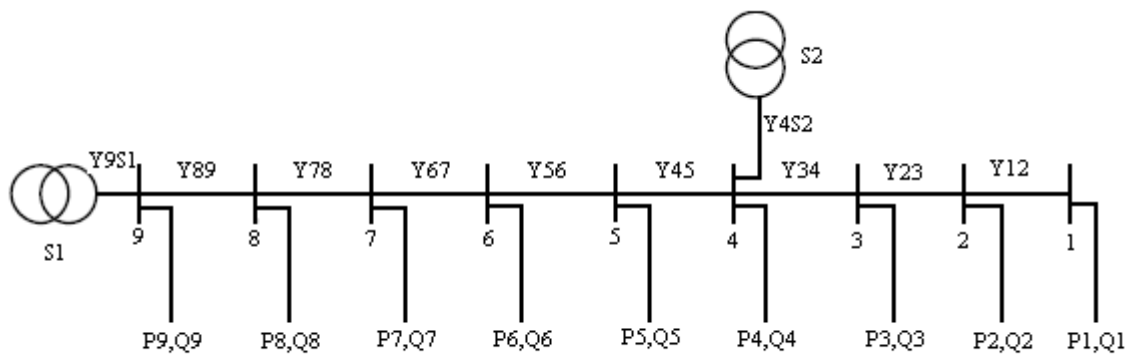
جدول ۶-۱۳: مقایسه نتایج THD قبل و بعد از اثر رزونانس

BUS THD	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
بدون در نظر گرفتن کیفیت توان	۱/۸۳۲	۲/۲۱۲	۳/۱۴۶	۳/۷۹۱	۴/۳۷۴	۵/۰۳۹	۴/۱۸۴	۲/۰۹۹	۰/۹۴۴
با در نظر گرفتن کیفیت توان	۱/۰۱۴	۰/۶۰۲	۰	۰/۰۷	۰	۲/۲۶۱	۱/۶۹۹	۰	۰

همانطور که مشاهده می شود، در خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان، THD در باسهای مختلف به طور قابل توجهی کاهش یافته است، بنابراین باید ملاحظات کیفیت توان در مساله خازن گذاری مورد توجه قرار گیرد.

۶-۴-۲ حل مسئله خازن گذاری در یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه با تغذیه از دو نقطه

در این قسمت به توضیح خازن گذاری در یک شبکه شعاعی ۹ باسه که از دو نقطه تغذیه می شود می پردازیم. شبکه مورد استفاده در شکل (۶-۸) آمده است. در تمامی باسها بار غیر خطی با مقادیر یکسان وجود دارد و تمامی باسها نیز کاندید خازن گذاری هستند.



شکل ۶-۸: شکل شبکه شعاعی ۹ باسه با تغذیه از دو نقطه

پس از ورود اطلاعات شبکه و دیتاهای لازم مانند شبکه قبل، برنامه را اجرا کرده و مطابق الگوریتم ارائه شده برنامه اجرا می شود و نتایج بدست آمده برای مساله به شرح زیر بدست می آید. در اینجا حل مسئله فقط با در نظر گرفتن کیفیت توان بررسی شده است.

نتایج پخش بار قبل از خازن گذاری به صورت زیر است. تلفات کلی 0.784 MW بدست آمده است و بنابراین انتظار می رود که با خازن گذاری این تلفات کاهش یابد. نتیجه پخش بار قبل از خازن گذاری در جدول ۱۴-۶ آمده است.

جدول ۱۴-۶: نتایج پخش بار قبل از خازن گذاری

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.95	-7.585	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.957	-7.115	0.980	0.130	0.000	0.000	0.000
3	0.984	-6.478	1.150	0.060	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-6.083	0.780	0.110	2.000	7.007	0.000
5	0.995	-5.218	1.610	0.600	0.000	0.000	0.000
6	0.994	-3.135	1.598	1.840	0.000	0.000	0.000
7	0.998	-2.438	1.790	0.446	0.000	0.000	0.000
8	1.002	-1.124	0.980	0.340	0.000	0.000	0.000
9	0.999	-0.521	1.840	0.460	0.000	0.000	0.000
10	1.000	0.000	0.000	0.000	11.017	-2.052	0.000
Total			12.368	<u>4.186</u>	13.017	<u>4.955</u>	0.000

در نتایج فوق ستون اول مربوط به شماره باس، ستون دوم و سوم مربوط به اندازه و زاویه ولتاژ در باس، ستون چهارم و پنجم بار اکتیو و راکتیو در باس، ستون پنجم و ششم مربوط به تولید اکتیو و راکتیو در باس و ستون آخر وار تزریقی به باس می باشد که داده های مربوط به خازن گذاری در این باس قرار می گیرد. همانطور که مشاهده می شود 4.186 Mvar بار کل راکتیو و 4.955 Mvar تولید کل راکتیو می باشد که

اختلاف این دو مقدار در خطوط تلف شده است. یک منبع در باس ۱۰ و یک منبع در باس ۴ قرار داده شده است. توان عبوری و تلفات خطوط در جدول ۶-۱۵ آمده است.

جدول ۶-۱۵: توان عبوری و تلفات خطوط

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--	
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar
1		-1.640	-0.200	1.652		
	2	-1.640	-0.200	1.652	0.031	0.018
2		-0.980	-0.130	0.989		
	1	1.671	0.218	1.685	0.031	0.018
	3	-2.651	-0.348	2.674	0.071	0.040
3		-1.150	-0.060	1.152		
	2	2.722	0.388	2.750	0.071	0.040
	4	-3.872	-0.448	3.898	0.061	0.035
4		1.220	6.897	7.004		
	3	3.933	0.482	3.963	0.061	0.035
	5	-2.713	6.419	6.969	0.083	0.072
5		-1.610	-0.600	1.718		
	4	2.796	-6.347	6.935	0.083	0.072
	6	-4.406	5.747	7.242	0.198	0.173
6		-1.598	-1.840	2.437		
	5	4.605	-5.574	7.230	0.198	0.173
	7	-6.203	3.734	7.240	0.070	0.061
7		-1.790	-0.446	1.845		
	6	6.273	-3.673	7.269	0.070	0.061
	8	-8.063	3.227	8.685	0.107	0.173
8		-0.980	-0.340	1.037		
	7	8.170	-3.054	8.722	0.107	0.173

9	-9.150	2.714	9.544	0.002	0.104
9	-1.840	-0.460	1.897		
8	9.152	-2.610	9.517	0.002	0.104
10	-10.992	2.150	11.201	0.029	0.098
10	11.017	-2.052	11.206		
9	11.022	-2.052	11.211	0.029	0.098

Total loss 0.654 0.773

در این نتایج تلفات کلی شبکه ۰/۶۵۴ مگاوات و ۰/۷۷۳ مگاوار می باشد. بنابراین انتظار می رود با خازن گذاری این تلفات کاهش یافته و پروفیل ولتاژ نیز بهبود یابد. پس از اجرای کامل برنامه و خازن گذاری با در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان نتایج نهایی تلفات در فرکانس اصلی به مقادیری که در جدول ۶-۱۶ آمده، می رسد که نتایج خروجی در پیوست به طور کامل ارائه شده است.

جدول ۶-۱۶: نتایج نهایی تلفات پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان در فرکانس اصلی

-- Line loss --

	MW	Mvar
Total loss	<u>0.520</u>	0.639

همچنین نتایج پخش بار پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان در جدول ۶-۱۷ ارائه شده است.

جدول ۶-۱۷: نتایج پخش بار پس از خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	

1	0.951	-7.612	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.970	-7.155	0.980	0.130	0.000	0.000	1.100
3	0.988	-5.553	1.150	0.060	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-4.754	0.780	0.110	2.000	0.150	0.000
5	1.002	-4.311	1.610	0.600	0.000	0.000	0.800
6	1.013	-3.184	1.598	1.840	0.000	0.000	1.800
7	1.018	-2.606	1.790	0.446	0.000	0.000	0.500
8	1.018	-1.213	0.980	0.340	0.000	0.000	0.600
9	1.006	-0.621	1.840	0.460	0.000	0.000	0.000
10	1.000	0.000	0.000	0.000	10.888	0.050	0.000

Total 12.368 4.186 12.888 0.200 4.800

پس از انجام پخش بار هارمونیک، تلفات در هارمونیکها نیز در جدول ۶-۱۸ آمده است و نشان می دهد که کاهش یافته است و به مقدار رسیده است. همچنین مقادیر THD مطابق جدول ۶-۱۹ بدست می آید. نتایج کامل پخش بار هارمونیک در تمام باسها و هارمونیکهای فرد ۳ تا ۲۵ در پیوست ارائه شده است.

جدول ۶-۱۸ : مقادیر جریانها و تلفات خطوط در هارمونیکهای مختلف

FROM BUS \ HARMONIC								
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.007	0.008	0.000	0.156	0.087	0.120	0.121	0.021
7	0.002	0.005	0.000	0.108	0.061	0.083	0.117	0.014
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.003	0.003	0.000	0.062	0.035	0.047	0.067	0.008
13	0.002	0.002	0.000	0.049	0.027	0.037	0.053	0.007
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.001	0.001	0.000	0.031	0.017	0.024	0.034	0.004

19	0.001	0.001	0.000	0.025	0.014	0.019	0.027	0.003
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.015	0.008	0.011	0.016	0.002
25	0.000	0.000	0.000	0.011	0.006	0.009	0.012	0.001
I rms	0.351	0.486	0.763	0.717	0.927	1.311	1.869	2.671
P (MW)	0.0063	0.0107	0.0113	0.0044	0.0161	0.0114	0.0246	0.0009

Total=0.0857719

جدول ۶-۱۹: مقادیر THD پس از انجام خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان

THD at different buses is:

Bus No.	THD %
1	0.807
2	0.000
3	0.059
4	0.000
5	1.265
6	2.789
7	2.044
8	0.000
9	0.000

همانطور که از این نتایج مشاهده می شود، خازن گذاری تلفات خطوط را از ۶۵۴٪ به ۵۲۰٪ مگاوات کاهش داده است و همچنین با بررسی نتایج پخش بار هارمونیک مشاهده می گردد که THD در باسهای مختلف در حد قابل قبول بوده و خازن گذاری بهینه با در نظر گرفتن کیفیت توان به همراه کاهش تلفات به درستی انجام گرفته است.

فصل هفتم

نتیجه گیری

و

پیشنهادات

۷-۱ نتیجه گیری

مساله خازن گذاری در شبکه های توزیع از دیر باز مورد توجه بوده است و با نصب خازن در پستهای انتخاب شده، تلفات به میزان قابل توجهی کاهش یافته و صرفه جویی قابل ملاحظه ای به همراه خواهد داشت. از طرف دیگر، کیفیت توان موضوعی است که بطور روز افزون، برای مصرف کنندگان برق در تمام سطوح و کاربرد، اهمیت پیدا کرده است. تجهیزات حساس و بارهای غیر خطی، اکنون بطور وسیعی در محیط های صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار میگیرند. در نتیجه، اتفاقات موثر بر کیفیت توان برای شرکتهای برق منطقه ای و مصرف کنندگان برق یک مشکل عمده تلقی میشوند.

بنابراین موضوع خازن گذاری با در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و نهایتاً مشخص گردید که در بحث خازن گذاری علاوه بر کاهش تلفات در شبکه و بهبود پروفیل ولتاژ، باید مسائل مربوط به کیفیت توان که از جمله آن مسئله رزونانس می باشد و بدلیل خازن گذاری در شبکه ها اتفاق می افتد باید رعایت گردد و مورد توجه باشد. در هنگام جایابی بهینه خازن در سیستم توزیع باید جریانهای هارمونیکی ایجاد شده در شبکه به علت وجود بارهای غیرخطی، مد نظر واقع گردند چرا که بدون منظور نمودن اعوجاج حاصل از این جریانها، جایابی خازن به صورت بهینه صورت نخواهد گرفت. اگر جایابی و اندازه خازن به صورت مناسب انتخاب نگردند مولفه های هارمونیکی ولتاژ جریان در یک یا چند فرکانس ممکن است تشدید گردیده و حالت رزونانس ایجادشود و این خود می تواند باعث شوکهای بزرگ و خطرناک بر روی شکل موج اصلی گردد که این شوکها علاوه بر آسیب رساندن به عایق تجهیزات مصرفی و معیوب نمودن وسائل، باعث تداخل در سیستم مخابراتی نیز می شود.

در این پایان نامه این مشکل مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بکار بردن روشهایی در برنامه تهیه شده در نرم افزار MATLAB، خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع با در نظر گرفتن کیفیت توان انجام شد.

برای مساله خازن گذاری یک سیستم تست انتخاب شده و مساله خازن گذاری بر روی این سیستم تست انجام شده است. مساله خازن گذاری بدون در نظر گرفتن مسائل کیفیت توان با حالت در نظر گرفتن کیفیت توان انجام شده است و نتایج بدست آمده نشان می دهند که در صورت در نظر نگرفتن مسائل کیفیت توان سطح THD در باسهای مختلف افزایش یافته و حتی در باسهای مختلف ممکن است رزونانس رخ دهد که منجر به مشکلات اشاره شده می شود.

نتایج حاصل از بررسی انجام شده بر روی یک شبکه توزیع شعاعی ۹ باسه، نشان داد، در حالاتی که موضوع کیفیت توان در هنگام محاسبات خازن گذاری در نظر گرفته نشد، میزان تلفات شبکه در فرکانس اصلی ظاهراً کاهش یافته بود، اما با داشتن نتایج پخش بار هارمونیک و محاسبه تلفات، دیدیم که به دلیل رخ دادن رزونانس در یکی از باسها، تلفات شبکه نه تنها کاهش نیافته، بلکه افزایش نیز داشته است و مقادیر و مکانهای بدست آمده خازنها، بدلیل رزونانس ایجاد شده باعث اغتشاش در ولتاژ شبکه و تلفات بیشتر می گردد. اما پس از در نظر گرفتن موضوع کیفیت توان در محاسبات خازن گذاری و اضافه کردن این قید به سایر قیود مسئله، علاوه بر کاهش تلفات شبکه، از ایجاد رزونانس و اغتشاش در شبکه جلوگیری به عمل آمده است و ضمن کاهش تلفات تا حد امکان و صرفه جوئی اقتصادی، قابلیت اطمینان بالائی از لحاظ کیفیت توان تحویلی به مصرف کننده خواهد داشت.

۲-۷ پیشنهادات

پیشنهاداتی که می توان برای ادامه کار در این رابطه داشت به شرح زیرند:

▪ پیدا کردن مدل هارمونیکی سطوح مختلف بار در طول شبانه روز به طوری که بتوان، مقادیر

خازنهایی را که پارامترهای کیفیت توان را در ساعات مختلف تحت تاثیر قرار می دهند، در شبکه

کنترل کرد و به صورت بانکهای خازنی غیر ثابت در نظر گرفت.

▪ خازن گذاری بهینه در شبکه توزیع نامتعادل با در نظر گرفتن کیفیت توان

▪ لحاظ نمودن مدل بار برای خازن گذاری با در نظر گرفتن کیفیت توان در شبکه های فشار ضعیف

به لحاظ پائین بودن قیمت خازنها در این سطح ولتاژ

مراجع :

- [1] M. M.A. Salama and H.N. Ng, "Classification of Capacitor Allocation Techniques ". IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15. 1, pp. 387–392, 2000.

- [2] M.M.A. Salama, A.Y. Chikhani and R. Hockman, "Control of Reactive Power in Distribution Systems with an End – Load and Condition", IEEE Trans. Power Apparatuses and systems, Vol. 104, No. 10, pp. 2779 – 2788, 1985.

- [3] M .M.A. Salama and E.A.A. Mansor, " Control of Reactive Power in Distribution Systems with an End –Load and Varying Load Condition ", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. 104, No. 4, 1985, pp. 941 – 947.

- [4] J.J. Grainger and S. Civanler , "Volt/ Var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and voltage Regulators part I: The overall Problem ",IEEE Trans . Power Apparatus and Systems, Vol. 104, No .11, pp.3278-3283, 1985.

- [5] J.J. Grainger and S. Civanler, "Volt / Var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and Voltage Regulators Part II: The Solution Method ", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. 104, No 11, PP.3284 -3290, 1985.

- [6] J.J. Grainger and S. Civanler, " Volt / Var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and Voltage Regulators Part III: The Numerical Results ", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems Vol. 104, No 11, pp. 3291 – 3297, 1985.
- [7] S.S. Rao. , "Optimization Theory and Application" Second Edition, 1997.
- [8] A.H. Nouredine and A. Chandrasekaran, " Linear Programming Approach To Loss Minimization and Capacitor Sizing and Placement " System Theory, Proceedings. SSST/CSA92. The 24th. Southeastern Symposium on and The 3rd Annual Symposium on Communications , Signal Processing Expert Systems, and ASIC VLSI Design, pp. 454 – 458, 1992.
- [9] J. Wang and G. Darling, " Capacitor Placement and Real – time Control in Large- Scale Unbalanced Distribution Systems: Loss Reduction Formula, Problem Formulation, Solution Methodology and Mathematical Justification ", IEEE Trans .Power Delivery , Vol. 12, No. 2, pp. 953- 958, 1997.
- [10] J. Wang and G. Darling " Capacitor Placement and Real – time Control in Large – Scale Unbalanced Distribution Systems : Numerical Studies ", IEEE Trans . Power Delivery, Vol. 12, No. 2 , pp. 959 – 964, 1999.
- [11] E. Mesut and F. Felix, "Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems ", IEEE Trans . Power Apparatus and Systems Vol. 4, No. 1, pp. 725 – 731, 1989.
- [12] H.D. Chiang, J .C. Wang and G. Darling , " Optimal Capacitor Placement , Replacement and Control in Large – Scale Unbalanced Distribution Systems :Systems Solution Algorithms and Numerical Studies ", pp. 180 -186,IEEE Winter Meeting 1994.
- [13] b. Ross and F. Felix , " Efficient Integer Optimization Algorithms for Optimal Coordination of Capacitors and Regulators ", IEEE Trans . Power Systems , Vol. 5, No. 3, pp. 805 – 812, 1990.

- [14] T.H. Fawzi, S.M. El-Sobki and M.A.Abdel- Halim, " New Approach for the Application of Shunt Capacitors to the Primary Distribution Feeders ". IEEE Trans, Power Apparatus and Systems Vol. 102, No. 1, pp. 10-13, 1983.
- [15] R.A. Jabr, "Optimal placement of capacitors in a radial network using conic and mixed integer linear programming ", Electric Power Systems Research Volume 78, Issue 6, Pages 941-948, June 2008.
- [16] M. Chis. , M.M.A. Salama and S. Jayaram , " Capacitor Placement in Distribution Systems Using Heuristic Search Strategies ", PP. 225 – 230, IEE Proc. 1997.
- [17] T.S. Abdel – Salam , A.Y . Chikhani and R . Hackam , " A New Technique for Loss Reduction Using Compensating Capacitors Applied to Distribution Systems with Varying Load Condition ", IEEE Trans . Power Delivery, Vol. 9, No. 2, pp. 819 – 827, 1994.
- [18] M. H. Haque, "Capacitor Placement in Radial Distribution Systems for Loss Reduction ", pp. 501-505, IEEE Proc, 1999.
- [19] J.L. Bala, P.A. Kuntz and M.J. Pebles , "Optimal Capacitor Allocation Using a Distribution - Analyzer – Recorder ", IEEE Tran. On Power Delivery, Vol. 12, No .1, pp. 464 – 469, 1997.
- [20] H.T. Yang, Y .C. Huang and C. L. Haung. "Solution to Capacitor Placement problem in Radial Distribution System Using Tabular Search Method", Proc. Of International Conference on Energy Management and power Delivery, Singapore, pp. 388 – 393.
- [21] C.S .Chang and L.L. poh. , " Application of Tabular Search Strategy in Solving Non – Differentiable Savings Function for the Calculation of Optimum Savings due to shunt Capacitor Installation in a Radial Distribution System ", Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 2323 – 2328, 2000.

- [22] H. Mori and Y. Ogita " Parallel Tabular Search for Capacitor placement in Radial Distribution Systems ", Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 2334 – 2339, 2000.
- [23] S. Sundhararajan and A. Pahwa , " Optimal Selection of Capacitors for Radial Distribution Systems Using a Genetic Algorithm ", IEEE Trans on Power Systems Vol. 9, No. 3, pp. 1499 – 1506, August 1994.
- [24] C.T. Su, G.R.Lit and C. C.Tsai , " Optimal Capacitor Allocation Using Fuzzy Reasoning and Genetic Algorithm for Distribution Systems ", Mathematical and Computer Modeling Vol. 33,pp . 745 – 757, 2001.
- [25] K.N. Miu , H.D. Chiang and G. Darling " Capacitor Placement Replacement and control in Large -Scale Distribution Systems by a GA – Base Two -Stage Algorithm ;, IEEE Trans, Power Systems Vol. 12, No .3, pp. 1160–1166, 1997.
- [26] M. Delfanti and P.G. Gianpietro, "Optimal Capacitor Placement Using Hetaeristic and Genetic Algorithm", Algorithm ", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 15, No. 3, pp.1041–1046, 2000.
- [27] Z.Q. Wu and K.L .Lo, "Optimal Choice of Fixed and Switched Capacitors in Radial Distributors With Distorted Substation Voltage ", IEE Proc – Genre Trans . Disturb, Vol. 142, No .1, pp. 24 – 28, January 1995.
- [28] A. Kalyuzhny , G. Leviton, D. Elmakis and H.B. Haim. " System Approach to Shunt Capacitor Allocation in Radial Distribution Systems ", Electric Power System Research , Vol. 56,pp.51-60, 2000.

- [29] T. Ghose ,S.K. Goswami and S. K. Basu , " Solving Capacitor Placement Problems in Distribution Systems Using Genetic Algorithms " Electric Machines and Power Systems Vol. 27, pp, 429 -441, 1999 .
- [30] T. Anathapadmanabha, A.D. Kulkarni and A. S. Gopala , " Knowledge – Based Expert System for Optimal Reactive Power Control in Distribution System", Electrical Power and Energy System , Vol. 18, No .1,pp .27-31, 1996.
- [31] M.M. A. Salama and A.Y. Chikhani , " An Expert System for Reactive power Control of a Distribution System , Part I : System Configuration ", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7, No .2, pp.940- 945, 1992.
- [32] J.R. Laframboise, G. Ferland A.Y. Chikhani and M.M.A. Salama, "An Expert System for Reactive power Control of a Distribution System , Part II: System Implementation ", IEEE Trans . Power System, Vol. 10, No. 3, pp. 1433 – 1441, 1995.
- [33] D.E. Goldberg ," Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning ", Addison - Wesley Press . 1989.
- [34] Kenji Iba , "Reactive power optimization by Genetic Algorithm", IEEE, pp.195-201, 1993.
- [35] M. Srinivas and L.M. Patnaik " Adoption Probabilities of Cross Over and Mutation in Genetic Algorithm "IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, Vol. 24, No.4, pp. 656 – 667, April 1994.
- [36] Mohammad A. S. Masoum, Marjan Ladjevardi, Akbar Jafarian, and Ewald F. Fuchs,"Optimal Placement, Replacement and Sizing of Capacitor Banks in Distorted Distribution Networks by Genetic Algorithms", IEEE, VOL. 19, NO. 4, October 2004.

۳۷- توران گونن " مهندسی توزیع برق " ترجمه مصطفی رضائی ساروی، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۳۷۵.

۳۸- مهدی اسکونژاد ، اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، پائیز ۱۳۷۴

[39] H.N. Ng, M.M.A. Salama and A.Y. Chikhani , " A Survey of the Application of AI in Capacitor Allocation and Control " , Electrical and Computer Engineering , Canadian Conference on Engineering Innovation , Voyage of Discovery, Vol. 1, pp. 161 – 164, 1997.

[40] H.C. Chin. "Optimal Shunt Capacitor Allocation by fuzzy Dynamic Programming " , Electric Power System Research, Vol. 35, pp. 133–139, 1995.

[41] H.C. Chin " Optimal Shunt Capacitor Allocation by Fuzzy Dynamic Programming " , Electric Power System Research , Vol. 35,pp .133 – 139, 1995.

[42] C. T. Su and C.C. Tsai , "A New Fuzzy - Reasoning Approach to Optimum Capacitor Allocation for primacy Distribution Systems " , Proc. of IEEE International Conf. On Indus. Tech, pp. 237 – 241, 1996.

[43] H.N. Hg, M.M.A. Salama , Fuzzy Optimal Capacitor Sizing and placement " , Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp . 680 – 683, 1995.

[44] S.K. Bhattacharya and S.K. Goswami, "A new fuzzy based solution of the capacitor placement problem in radial distribution system, Expert Systems with Applications, April 2008.

[45] M. Damodar Reddy and V. C. Veera Reddy, " Capacitor placement using fuzzy and particle swarm optimization method for maximum annual savings",

- [46] C.S Chen, C.T Hsu. And Y.H. Yan , " Optimal Distribution Feeder Capacitor Placement Considering Mutual Coupling Effect of Conductors ", IEEE Trans .on Power Delivery ,Vol. 10, No .2,pp . 987 – 994, April 1995.
- [47] Y.H. Yan, F.C Chung and C.S. Chen , " Effect of Mutual Coupling to the Reactive Power placement of power Systems ", TECCON 92 , IEEE Region 10 International Conference .Col 1, pp .381 – 385, 1992.
- [48] D. Issicaba, A. L. Bettiol, J. Coelho And M. V. P. Alcantara, "Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Systems by Reinforcement Learning Approach", 2004.
- [49] H.D. Chiang, J.C. Wang and G. Darling, " Optimal Capacitor Placement, Replacement and Control in Large – Scale Unbalanced Distribution Systems: Systems Modeling and New Formulation ", IEEE Tran. On Power Systems Vol. 10, No 1, pp. 365 – 362, Feb. 1995.
- [50] H.D. Chiang, J.C. Wang O. Cockings and H.D. Shin, " Optimal Capacitor Placement in Distribution Systems, Part I: A New Formulation and the Overall Problem ", IEEE Trans. Power Delivery , Vol. 5, No. 2, pp. 634 – 642, 1990.
- [51] H.D. Chiang, J.C. Wang, O. Cockings and H.D. Shin , " Optimal Capacitor Placement in Distribution Systems Part II : Solution Algorithms and Numerical Results ", IEEE Trans. Power Delivery , Vol. 5, No. 2,pp. 643 – 647, 1990.
- [52] F. Glover, M. Laguna, TABULAR Search, Kluwer Academic Publisher, 1997.

[53] S.K. Goswami, T. Ghose and S. K. Basu , " An Approximated Method for capacitor Placement in Distribution System Using Heuristic and Greedy Search Technique ", Electric Power System Research , Vol. 51,pp .143-151, 1991.

[54] Grainger, J.J. Lee, "S.H. Capacity Release by Shunt Capacitor Placement on Distribution Feeders: A New Voltage-Dependent Model", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp 1236-1244, May 1982.

۵۵- ایمان اخباری زاده و حمید لسانی ، تنظیم همزمان پایدار سازه‌های انعطاف پذیر در سیستم های قدرت با استفاده از الگوریتم های ژنتیکی ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه تهران ، دانشکده فنی ، ۱۳۷۹ .

[56] R. Hinterding, "Self –Adaptation Using Multi Chromosomes " , 1997.

[57] Brett Stephen Mitchinson, "Optimal Sizing and Placement of Shunt Capacitors in a Distribution System: Genetic Algorithm" Department of Electrical and Computer Systems Engineering, Engineering Project 401/402, November 2005.

[58] IEEE Standard 519, "IEEE Recommended Practice and Requirement for harmonic Control in electric power system", 1992

[59] Roger C. Dugan, Surya Santoso, Mark F. Mc Granaghan, H, Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill Professional, 2002.

۶۰- همایون حائری، فیروزه رامشخواه، رضا نوروزیان، "مباحث ویژه در کیفیت توان شبکه های توزیع"، معاونت نظارت بر توزیع شرکت برق منطقه ای تهران، **1382**.

۶۱- جوز آریلاگا، بروس س. اسمیت، نوپل ر. واتسن، آلن ر. وود "بررسی هارمونیکی سیستم قدرت" مترجم:
دکتر محمدعلی شرکت معصوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۱.

[62] D. Thukaram ,H.M. Wijekoon Banda and Jovitha Jerome , " A Robust Three phase power Flow Algorithm for Radial Distribution System ", Electric Power System Research , Vol. 50, pp .227 – 236, 1999.

[63] J. C. Das, " Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics", Rutledge, USA, 2002.

[64] Y. Baghzouz, " Effect of Nonlinear Loads on Optimal Capacitor Placement in Radial Feeders ", IEEE Trans . Power Delivery, Vol. 6, No.1, 1991.

پیوست

نتایج خروجی برنامه در حالت شبکه با یک تغذیه

The load flow result before capacitor palcemet is:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.838	-5.990	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.859	-5.404	0.980	0.130	0.000	0.000	0.000
3	0.889	-4.618	1.150	0.060	0.000	0.000	0.000
4	0.907	-4.137	0.780	0.110	0.000	0.000	0.000
5	0.917	-3.721	1.610	0.600	0.000	0.000	0.000
6	0.948	-2.652	1.598	1.840	0.000	0.000	0.000
7	0.963	-2.331	1.790	0.446	0.000	0.000	0.000
8	0.987	-1.268	0.980	0.340	0.000	0.000	0.000

9	0.993	-0.522	1.840	0.460	0.000	0.000	0.000
10	1.000	0.000	0.000	0.000	13.152	5.222	0.000
Total			12.368	4.186	13.152	5.222	0.000

--Line-- Power at bus & line flow --Line loss-- Transformer

from to MW Mvar MVA MW Mvar tap

1		-1.640	-0.200	1.652			
	2	-1.640	-0.200	1.652	0.039	0.022	
2		-0.980	-0.130	0.989			
	1	1.679	0.222	1.694	0.039	0.022	
	3	-2.659	-0.352	2.683	0.088	0.050	
3		-1.150	-0.060	1.152			
	2	2.748	0.402	2.777	0.088	0.050	
	4	-3.898	-0.462	3.925	0.076	0.043	
4		-0.780	-0.110	0.788			
	3	3.974	0.505	4.006	0.076	0.043	
	5	-4.754	-0.615	4.793	0.048	0.042	
5		-1.610	-0.600	1.718			
	4	4.801	0.657	4.846	0.048	0.042	
	6	-6.411	-1.257	6.533	0.190	0.166	
6		-1.598	-1.840	2.437			
	5	6.602	1.423	6.753	0.190	0.166	

7	-8.200	-3.263	8.825	0.114	0.100
7	-1.790	-0.446	1.845		
6	8.314	3.362	8.968	0.114	0.100
8	-10.104	-3.808	10.798	0.177	0.286
8	-0.980	-0.340	1.037		
7	10.281	4.094	11.066	0.177	0.286
9	-11.261	-4.434	12.103	0.004	0.172
9	-1.840	-0.460	1.897		
8	11.265	4.606	12.170	0.004	0.172
10	-13.105	-5.066	14.050	0.047	0.156
10	13.152	5.222	14.151		
9	13.152	5.222	14.151	0.047	0.156
Total loss			0.784	1.036	

Line Flow and Losses

	--Line--	Power at bus & line flow	--Line loss--	Transformer
from to	MW	Mvar	MVA	MW Mvar tap
1	-1.640	-0.200	1.652	
2	-1.640	-0.200	1.652	0.035 0.020
2	-0.980	0.270	1.017	
1	1.675	0.220	1.690	0.035 0.020

3	-2.655	0.050	2.656	0.079	0.045
3	-1.150	0.140	1.158		
2	2.734	-0.005	2.734	0.079	0.045
4	-3.884	0.145	3.887	0.068	0.039
4	-0.780	0.290	0.832		
3	3.952	-0.107	3.954	0.068	0.039
5	-4.732	0.397	4.749	0.043	0.038
5	-1.610	0.000	1.610		
4	4.775	-0.359	4.789	0.043	0.038
6	-6.385	0.359	6.396	0.169	0.147
6	-1.598	-0.840	1.805		
5	6.554	-0.212	6.558	0.169	0.147
7	-8.152	-0.628	8.177	0.093	0.081
7	-1.790	1.754	2.506		
6	8.245	0.709	8.275	0.093	0.081
8	-10.035	1.045	10.089	0.147	0.237
8	-0.980	1.460	1.758		
7	10.182	-0.808	10.214	0.147	0.237
9	-11.162	2.268	11.390	0.003	0.148
9	-1.840	-0.260	1.858		
8	11.165	-2.120	11.365	0.003	0.148
10	-13.005	1.860	13.138	0.040	0.135

10 13.046 -1.725 13.159
 9 13.046 -1.725 13.159 0.040 0.135

Total loss 0.678 0.889

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 5.74027e-013

No. of Iterations = 1

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.952	-7.210	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.961	-6.680	0.980	0.130	0.000	0.000	0.400
3	0.968	-5.716	1.150	0.060	0.000	0.000	0.200
4	0.971	-5.121	0.780	0.110	0.000	0.000	0.400
5	0.979	-4.628	1.610	0.600	0.000	0.000	0.800
6	0.981	-3.260	1.598	1.840	0.000	0.000	1.800
7	0.988	-2.753	1.790	0.446	0.000	0.000	0.700
8	1.001	-1.343	0.980	0.340	0.000	0.000	0.500
9	0.998	-0.607	1.840	0.460	0.000	0.000	0.200
10	1.000	0.000	0.000	0.000	13.046	0.250	0.000
Total			12.368	4.186	13.046	0.250	5.000

The Harmonic load flow result is:

Bus	Harmonic	Voltage	Angle
No.	No.	Mag.	Deg.
1	3	0.000	77.695
1	5	0.004	-91.588
1	7	0.004	93.577
1	9	0.000	96.565
1	11	0.003	-81.498
1	13	0.003	99.857
1	15	0.000	100.856
1	17	0.002	-78.377
1	19	0.002	102.231
1	21	0.000	102.723
1	23	0.002	-76.869
1	25	0.001	103.473
2	3	0.000	-133.589
2	5	0.000	40.477
2	7	0.000	-142.078
2	9	0.000	-143.488
2	11	0.000	35.621
2	13	0.000	-144.992
2	15	0.000	-145.439
2	17	0.000	34.220
2	19	0.000	-146.048
2	21	0.000	-146.264
2	23	0.000	33.557
2	25	0.000	-146.592
3	3	0.000	115.286
3	5	0.017	-60.906
3	7	0.016	121.260
3	9	0.000	122.587

3	11	0.014	-56.529
3	13	0.013	124.100
3	15	0.000	124.569
3	17	0.010	-55.068
3	19	0.009	125.221
3	21	0.000	125.457
3	23	0.007	-54.347
3	25	0.006	125.818
4	3	0.000	112.236
4	5	0.024	-63.964
4	7	0.022	118.196
4	9	0.000	119.518
4	11	0.019	-59.601
4	13	0.018	121.026
4	15	0.000	121.494
4	17	0.015	-58.145
4	19	0.013	122.143
4	21	0.000	122.378
4	23	0.010	-57.427
4	25	0.008	122.737
5	3	0.000	106.596
5	5	0.027	-69.868
5	7	0.025	112.098
5	9	0.000	113.293
5	11	0.022	-65.912
5	13	0.021	114.652
5	15	0.000	115.073
5	17	0.017	-64.601
5	19	0.015	115.658
5	21	0.000	115.869
5	23	0.011	-63.956

5	25	0.009	116.192
6	3	0.000	98.725
6	5	0.030	-77.995
6	7	0.028	103.737
6	9	0.000	104.774
6	11	0.025	-74.541
6	13	0.023	105.943
6	15	0.000	106.304
6	17	0.019	-73.418
6	19	0.017	106.804
6	21	0.000	106.984
6	23	0.013	-72.867
6	25	0.011	107.259
7	3	0.000	100.552
7	5	0.025	-77.100
7	7	0.024	104.210
7	9	0.000	105.008
7	11	0.021	-74.460
7	13	0.020	105.918
7	15	0.000	106.200
7	17	0.016	-73.582
7	19	0.015	106.592
7	21	0.000	106.734
7	23	0.011	-73.149
7	25	0.009	106.950
8	3	0.000	103.862
8	5	0.013	-75.543
8	7	0.012	104.983
8	9	0.000	105.339
8	11	0.011	-74.414
8	13	0.010	105.767

8	15	0.000	105.904
8	17	0.009	-73.989
8	19	0.008	106.096
8	21	0.000	106.167
8	23	0.006	-73.775
8	25	0.005	106.275
9	3	0.000	100.174
9	5	0.006	-78.090
9	7	0.006	102.902
9	9	0.000	103.511
9	11	0.005	-76.082
9	13	0.005	104.208
9	15	0.000	104.424
9	17	0.004	-75.408
9	19	0.003	104.726
9	21	0.000	104.835
9	23	0.003	-75.074
9	25	0.002	105.002

THD at different buses is:

Bus	THD
No.	%
1	1.8832
2	2.212
3	3.146
4	3.791
5	4.374
6	5.039

7	4.184
8	2.099
9	0.944

Line Flow and Losses

		--Line-- Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		-1.640	-0.200	1.652			
	2	-1.640	-0.200	1.652	0.036	0.020	
2		-0.980	0.070	0.982			
	1	1.676	0.220	1.690	0.036	0.020	
	3	-2.656	-0.150	2.660	0.079	0.045	
3		-1.150	0.740	1.368			
	2	2.735	0.195	2.742	0.079	0.045	
	4	-3.885	0.545	3.923	0.070	0.039	
4		-0.780	-0.110	0.788			
	3	3.955	-0.505	3.987	0.070	0.039	
	5	-4.735	0.395	4.751	0.044	0.038	
5		-1.610	0.400	1.659			
	4	4.778	-0.357	4.792	0.044	0.038	
	6	-6.388	0.757	6.433	0.172	0.150	

6	-1.598	-1.840	2.437		
5	6.560	-0.607	6.589	0.172	0.150
7	-8.158	-1.233	8.251	0.095	0.083
7	-1.790	2.354	2.957		
6	8.253	1.315	8.358	0.095	0.083
8	-10.043	1.039	10.097	0.148	0.239
8	-0.980	-0.140	0.990		
7	10.192	-0.799	10.223	0.148	0.239
9	-11.172	0.659	11.191	0.003	0.144
9	-1.840	-0.460	1.897		
8	11.175	-0.515	11.187	0.003	0.144
10	-13.015	0.055	13.015	0.040	0.133
10	13.055	0.078	13.055		
9	13.055	0.078	13.055	0.040	0.133
Total loss			0.687	0.892	

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 5.92998e-013

No. of Iterations = 1

Bus No.	Voltage	Angle	-----Load-----		---Generation---		Injected
	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
1	0951	-7.252	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.969	-6.717	0.980	0.130		0.000 0.000	0.200
3	0.987	-5.873	1.150	0.060	0.000	0.000	0.300
4	0.999	-5.172	0.780	0.110	0.000	0.000	0.500
5	1.004	-4.676	1.610	0.600	0.000	0.000	1.000
6	1.021	-3.206	1.598	1.840	0.000	0.000	1.600
7	1.027	-2.742	1.790	0.446	0.000	0.000	0.800
8	1.026	-1.322	0.980	0.340	0.000	0.000	0.300
9	1.011	-0.584	1.840	0.460	0.000	0.000	0.300
10	1.000	0.000	0.000	0.000	13.055	0.078	0.000
Total			12.368	4.186	13.055	0.078	5.000

THD at different buses is:

Bus No.	THD %
1	1.014
2	0.602
3	0.000
4	0.070

5	0.000
6	2.261
7	1.699
8	0.000
9	0.000

نتایج خروجی برنامه در حالت شبکه با دو تغذیه

The load flow result before capacitor palcemet is:

Line Flow and Losses

--Line-- Power at bus & line flow --Line loss-- Transformer

from to MW Mvar MVA MW Mvar tap

1	-1.640	-0.200	1.652			
2	-1.640	-0.200	1.652	0.031	0.018	

2	-0.980	-0.130	0.989		
1	1.671	0.218	1.685	0.031	0.018
3	-2.651	-0.348	2.674	0.071	0.040
3	-1.150	-0.060	1.152		
2	2.722	0.388	2.750	0.071	0.040
4	-3.872	-0.448	3.898	0.061	0.035
4	1.220	6.897	7.004		
3	3.933	0.482	3.963	0.061	0.035
5	-2.713	6.419	6.969	0.083	0.072
5	-1.610	-0.600	1.718		
4	2.796	-6.347	6.935	0.083	0.072
6	-4.406	5.747	7.242	0.198	0.173
6	-1.598	-1.840	2.437		
5	4.605	-5.574	7.230	0.198	0.173
7	-6.203	3.734	7.240	0.070	0.061
7	-1.790	-0.446	1.845		
6	6.273	-3.673	7.269	0.070	0.061
8	-8.063	3.227	8.685	0.107	0.173
8	-0.980	-0.340	1.037		
7	8.170	-3.054	8.722	0.107	0.173
9	-9.150	2.714	9.544	0.002	0.104
9	-1.840	-0.460	1.897		
8	9.152	-2.610	9.517	0.002	0.104
10	-10.992	2.150	11.201	0.029	0.098

10 11.017 -2.052 11.206
 9 11.022 -2.052 11.211 0.029 0.098

Total loss 0.654 0.773

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 0.000286998

No. of Iterations = 3

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.95	-7.585	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.957	-7.115	0.980	0.130	0.000	0.000	0.000
3	0.984	-6.478	1.150	0.060	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-6.083	0.780	0.110	2.000	7.007	0.000
5	0.995	-5.218	1.610	0.600	0.000	0.000	0.000
6	0.994	-3.135	1.598	1.840	0.000	0.000	0.000
7	0.998	-2.438	1.790	0.446	0.000	0.000	0.000
8	1.002	-1.124	0.980	0.340	0.000	0.000	0.000
9	0.999	-0.521	1.840	0.460	0.000	0.000	0.000
10	1.000	0.000	0.000	0.000	11.017	-2.052	0.000
Total			12.368	4.186	13.017	4.955	0.000

The load flow result after capacitor palcemet is:

Line Flow and Losses

--Line-- Power at bus & line flow --Line loss-- Transformer

from to MW Mvar MVA MW Mvar tap

1 -1.640 -0.200 1.652
2 -1.640 -0.200 1.652 0.030 0.017

2 -0.980 1.670 1.936
1 1.670 0.217 1.685 0.030 0.017
3 -2.650 1.453 3.022 0.088 0.050

3 -1.150 -0.060 1.152
2 2.738 -1.403 3.077 0.088 0.050
4 -3.888 1.343 4.114 0.067 0.038

4 1.220 0.834 1.478
3 3.956 -1.305 4.165 0.067 0.038
5 -2.736 2.139 3.473 0.021 0.018

5 -1.610 -0.600 1.718
4 2.756 -2.121 3.478 0.021 0.018
6 -4.366 1.521 4.624 0.080 0.070

6 -1.598 1.160 1.975
5 4.446 -1.452 4.677 0.080 0.070
7 -6.044 2.612 6.584 0.056 0.049

7 -1.790 2.554 3.119
6 6.100 -2.563 6.617 0.056 0.049
8 -7.890 5.117 9.404 0.120 0.194

8	-0.980	6.260	6.336		
7	8.011	-4.923	9.402	0.120	0.194
9	-8.991	11.183	14.349	0.005	0.227
9	-1.840	-0.460	1.897		
8	8.996	-10.955	14.175	0.005	0.227
10	-10.836	10.495	15.085	0.052	0.176
10	10.888	-10.320	15.002		
9	10.888	-10.320	15.002	0.052	0.176
Total loss				0.520	0.639

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 8.64142e-013

No. of Iterations = 1

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	0.951	-7.612	1.640	0.200	0.000	0.000	0.000
2	0.970	-7.155	0.980	0.130	0.000	0.000	1.100
3	0.988	-5.553	1.150	0.060	0.000	0.000	0.000
4	1.000	-4.754	0.780	0.110	2.000	0.150	0.000
5	1.002	-4.311	1.610	0.600	0.000	0.000	0.800
6	1.013	-3.184	1.598	1.840	0.000	0.000	1.800
7	1.018	-2.606	1.790	0.446	0.000	0.000	0.500
8	1.018	-1.213	0.980	0.340	0.000	0.000	0.600
9	1.006	-0.621	1.840	0.460	0.000	0.000	0.000

10	1.000	0.000	0.000	0.000	10.888	0.050	0.000
----	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------

Total		12.368	4.186	12.888	0.200	4.800	
-------	--	--------	-------	--------	-------	-------	--

The Harmonic load flow result is:

Bus No.	Harmonic No.	Voltage Mag.	Angle Deg.
1	3	0.000	76.067
1	5	0.004	-93.218
1	7	0.004	91.947
1	9	0.000	94.934
1	11	0.003	-83.129
1	13	0.003	98.226
1	15	0.000	99.225
1	17	0.002	-80.008
1	19	0.002	100.599
1	21	0.000	101.092
1	23	0.002	-78.500
1	25	0.001	101.842
2	3	0.000	-167.265
2	5	0.000	12.470
2	7	0.000	-167.638
2	9	0.000	-167.696
2	11	0.000	12.267
2	13	0.000	-167.758

2	15	0.000	-167.776
2	17	0.000	12.210
2	19	0.000	-167.801
2	21	0.000	-167.810
2	23	0.000	12.183
2	25	0.000	-167.823
3	3	0.000	65.885
3	5	0.000	-103.088
3	7	0.000	82.205
3	9	0.000	85.261
3	11	0.000	-92.758
3	13	0.000	88.626
3	15	0.000	89.647
3	17	0.000	-89.570
3	19	0.000	91.051
3	21	0.000	91.554
3	23	0.000	-88.030
3	25	0.000	92.320
4	3	0.000	-171.205
4	5	0.000	7.866
4	7	0.000	-172.575
4	9	0.000	-172.829
4	11	0.000	7.008
4	13	0.000	-173.106
4	15	0.000	-173.191
4	17	0.000	6.745
4	19	0.000	-173.306
4	21	0.000	-173.347
4	23	0.000	6.618
4	25	0.000	-173.410
5	3	0.000	78.256

5	5	0.006	-94.768
5	7	0.006	88.359
5	9	0.000	90.121
5	11	0.005	-88.749
5	13	0.005	92.036
5	15	0.000	92.612
5	17	0.004	-86.946
5	19	0.004	93.403
5	21	0.000	93.686
5	23	0.003	-86.081
5	25	0.002	94.116
6	3	0.000	78.949
6	5	0.013	-94.525
6	7	0.013	88.392
6	9	0.000	90.035
6	11	0.012	-88.913
6	13	0.011	91.818
6	15	0.000	92.355
6	17	0.009	-87.233
6	19	0.008	93.092
6	21	0.000	93.355
6	23	0.006	-86.428
6	25	0.005	93.755
7	3	0.000	81.777
7	5	0.010	-92.763
7	7	0.009	89.668
7	9	0.000	91.036
7	11	0.008	-88.088
7	13	0.008	92.520
7	15	0.000	92.966
7	17	0.007	-86.691

7	19	0.006	93.579
7	21	0.000	93.798
7	23	0.004	-86.021
7	25	0.004	94.131
8	3	0.000	-176.960
8	5	0.000	3.736
8	7	0.000	-175.918
8	9	0.000	-175.717
8	11	0.000	4.414
8	13	0.000	-175.494
8	15	0.000	-175.426
8	17	0.000	4.626
8	19	0.000	-175.333
8	21	0.000	-175.299
8	23	0.000	4.729
8	25	0.000	-175.248
9	3	0.000	-179.378
9	5	0.000	0.622
9	7	0.000	-179.378
9	9	0.000	-179.378
9	11	0.000	0.622
9	13	0.000	-179.378
9	15	0.000	-179.378
9	17	0.000	0.622
9	19	0.000	-179.378
9	21	0.000	-179.378
9	23	0.000	0.622
9	25	0.000	-179.378

THD at different buses is:

Bus	THD
No.	%
1	0.807
2	0.000
3	0.059
4	0.000
5	1.265
6	2.789
7	2.044
8	0.000
9	0.000