



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه قهرش
دانشکده مهندسی برق

قرارداد پژوهشی محاسبه خازن‌ها

شماره ۸۸۰/۳۲۳۰۴

گزارش فاز سه

مهر ۱۳۸۸

فهرست

- (۱) مطالعه عددی و ارائه نرم‌افزار محاسبه خازن بهینه ۱۰
- (۱-۱) مقدمه ۱۱
- (۲-۱) بررسی وضعیت مرکز مخابرات خمین ۱۴
- (۱-۲-۱) مقدمه ۱۵
- (۲-۲-۱) نحوه توزیع توان الکتریکی در شبکه ۱۵
- (۳-۲-۱) وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری ۱۶
- (۴-۲-۱) وضعیت شبکه بعد از خازن‌گذاری ۱۸
- (۵-۲-۱) تحلیل وضعیت پیش آمده و ارائه راه‌حل ۲۰
- (۳-۱) بررسی وضعیت مرکز مخابرات دلیجان ۲۲
- (۱-۳-۱) مقدمه ۲۳
- (۲-۳-۱) وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری ۲۳
- (۳-۳-۱) وضعیت شبکه بعد از خازن‌گذاری ۲۵
- (۴-۳-۱) تحلیل وضعیت پیش آمده و ارائه راه‌حل ۲۷
- (۴-۱) بررسی وضعیت مرکز مخابرات کوه‌پناه ۲۸
- (۱-۴-۱) مقدمه ۲۹
- (۲-۴-۱) وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری ۲۹
- (۳-۴-۱) وضعیت شبکه بعد از خازن‌گذاری ۳۱
- (۴-۴-۱) تحلیل وضعیت پیش آمده و ارائه راه‌حل ۳۳
- (۵-۴-۱) بررسی تغییرات بارها ۳۴

۳۷	وضعیت مرکز مخابرات قزوین	۵-۱
۳۸	مقدمه	۱-۵-۱
۳۸	وضعیت شبکه در حضور بانک خازنی	۲-۵-۱
۴۲	تابع هدف پیشنهادی برای حل مسئله	۶-۱
۴۳	مقدمه	۱-۶-۱
۴۳	محاسبه منافع ناشی از خازن گذاری	۲-۶-۱
۴۴	محاسبه هزینه‌های خازن گذاری	۳-۶-۱
۴۵	تعیین طول عمر خازن با توجه به اثر هارمونیک‌ها	
۴۶	تعیین طول عمر خازن با توجه به اثر کلیدزنی	
۴۶	متغیرهای تصمیم‌گیری	۴-۶-۱
۴۷	قیدها و محدودیت‌ها	۵-۶-۱
۴۷	تابع هدف	۶-۶-۱
۴۸	الگوریتم حل مسئله	۷-۶-۱
۵۳	روش جستجوی پاسخ بهینه به کمک الگوریتم ژنتیک	۷-۱
۵۴	مقدمه	۱-۷-۱
۵۴	ایده اولیه الگوریتم‌های ژنتیک	۲-۷-۱
۵۵	نحوه مدل کردن مسئله	۳-۷-۱
۵۵	کد کردن متغیرهای تصمیم‌گیری	
۵۷	محاسبه برازندگی	
۵۷	عملگرهای الگوریتم ژنتیک	۴-۷-۱
۵۷	عملگر انتخاب	

عملگر ادغام	۵۹
عملگر جهش	۶۰
معیارهای پایان جستجو	۶۱ (۵-۷-۱)
ارزیابی نتایج	۶۱ (۶-۷-۱)
بررسی نتایج اجرای نرم‌افزار بر روی مرکز مخابرات اراک	۶۴ (۸-۱)
مقدمه	۶۵ (۱-۸-۱)
اطلاعات پست برق مرکز مخابرات اراک	۶۶ (۲-۸-۱)
دیاگرام تک‌خطی شبکه	۶۶
اطلاعات بارها	۶۶
اطلاعات کابل‌ها	۶۹
اطلاعات هارمونیکی شارژرها	۷۰
بررسی وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری	۷۱ (۳-۸-۱)
بررسی اثرات نصب خازن ثابت	۷۴ (۴-۸-۱)
محاسبه خازن بهینه بدون در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ	۸۰ (۵-۸-۱)
محاسبه خازن بهینه بدون در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها	۸۴ (۶-۸-۱)
محاسبه خازن بهینه با در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ و هارمونیک‌ها	۸۵ (۷-۸-۱)
مقایسه نتایج	۸۶ (۸-۸-۱)
نتیجه‌گیری نهایی	۸۹ (۹-۱)
پیوست‌ها	۹۲ (۱۰-۱)
قبض‌های برق مرکز مخابرات کوه‌پناه	۹۳ (۱-۱۰-۱)
مراجع	۹۶ (۱۱-۱)

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ نحوه توزیع توان در شبکه برق مرکز مخابرات خمین ۱۵
- شکل ۲-۱ تغییرات توان اکتیو مصرفی طی پنج روز در مرکز کوه پناه ۳۶
- شکل ۳-۱ تغییرات توان راکتیو مصرفی طی پنج روز در مرکز کوه پناه ۳۶
- شکل ۴-۱ ضریب توان شبکه بعد از خازن‌گذاری (مرکز مخابرات قزوین) ۳۸
- شکل ۵-۱ THD ولتاژ فاز R (مرکز مخابرات قزوین) ۳۹
- شکل ۶-۱ THD ولتاژ فاز S (مرکز مخابرات قزوین) ۳۹
- شکل ۷-۱ THD ولتاژ فاز T (مرکز مخابرات قزوین) ۴۰
- شکل ۸-۱ THD جریان فاز R (مرکز مخابرات قزوین) ۴۰
- شکل ۹-۱ THD جریان فاز S (مرکز مخابرات قزوین) ۴۱
- شکل ۱۰-۱ THD جریان فاز T (مرکز مخابرات قزوین) ۴۱
- شکل ۱۱-۱ الگوریتم حل مسئله ۴۹
- شکل ۱۲-۱ زیر برنامه محاسبات ۵۰
- شکل ۱۳-۱ زیر برنامه تعیین تعداد پله‌های بانک خازنی ۵۱
- شکل ۱۴-۱ یک نسل از کروموزوم‌ها با کدهای باینری ۵۶
- شکل ۱۵-۱ مدل مسئله در فضای الگوریتم ژنتیک ۵۷
- شکل ۱۶-۱ اجرای عملگر ادغام روی کروموزوم‌های یک نسل ۵۹
- شکل ۱۷-۱ اجرای عملگر جهش روی کروموزوم‌های یک نسل ۶۱
- شکل ۱۸-۱ پاسخ‌های الگوریتم ژنتیک طی ۱۰ بار اجرا ۶۳
- شکل ۱۹-۱ نمودار تک خطی پست برق مرکز مخابرات اراک ۶۶
- شکل ۲۰-۱ نمودار تغییرات بار ۵ طی ۲۴ ساعت ۶۸

- شکل ۱-۲۱ نمودار تغییرات بار ۷ طی ۲۴ ساعت ۶۸
- شکل ۱-۲۲ نمودار تغییرات بار شارژرهای ۱ تا ۳ طی ۲۴ ساعت ۶۹
- شکل ۱-۲۳ ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده در باس ورودی ۷۱
- شکل ۱-۲۴ نمودار تغییرات توان مصرفی قبل از خازن‌گذاری ۷۲
- شکل ۱-۲۵ نمودار تغییرات ضریب توان قبل از خازن‌گذاری ۷۳
- شکل ۱-۲۶ نمودار تغییرات THD قبل از خازن‌گذاری ۷۳
- شکل ۱-۲۷ نمودار تغییرات بار مصرفی پس از نصب خازن ثابت ۷۵
- شکل ۱-۲۸ نمودار تغییرات ضریب توان پس از نصب خازن ثابت ۷۵
- شکل ۱-۲۹ نمودار تغییرات THD پس از نصب خازن ثابت ۷۶
- شکل ۱-۳۰ نمودار امیدانس به فرکانس شبکه در حضور خازن ثابت ۴۰ کیلوواری ۷۷
- شکل ۱-۳۱ نمودار امیدانس به فرکانس شبکه در حضور خازن ثابت ۵۰ کیلوواری ۷۸
- شکل ۱-۳۲ نمودار امیدانس به فرکانس شبکه پس از نصب فیلتر دی‌تیون ۷۹
- شکل ۱-۳۳ تغییرات THD پس از نصب خازن ثابت به صورت فیلتر دی‌تیون ۸۰
- شکل ۱-۳۴ تغییرات THD پس از نصب خازن پله‌ای (بدون اثر سوئیچینگ) ۸۲
- شکل ۱-۳۵ تاثیر ولتاژ نامی بر ضرایب کاهش طول عمر ۸۴
- شکل ۱-۳۶ تغییرات THD پس از نصب خازن بهینه پیشنهادی ۸۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات خمین (قبل از خازن گذاری) ۱۶
- جدول ۲-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز خمین (قبل از خازن گذاری) ۱۷
- جدول ۳-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز خمین (قبل از خازن گذاری) ۱۷
- جدول ۴-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز خمین (قبل از خازن گذاری) ۱۸
- جدول ۵-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات خمین (بعد از خازن گذاری) ۱۸
- جدول ۶-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز خمین (بعد از خازن گذاری) ۱۹
- جدول ۷-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز خمین (بعد از خازن گذاری) ۱۹
- جدول ۸-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز خمین (بعد از خازن گذاری) ۲۰
- جدول ۹-۱: تغییرات هارمونیک‌های جریان ۲۰
- جدول ۱۰-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات دلیجان (قبل از خازن گذاری) ... ۲۳
- جدول ۱۱-۱: پارامترهای الکتریکی روی شین EMP مرکز مخابرات دلیجان (قبل از خازن گذاری) ۲۳
- جدول ۱۲-۱: پارامترهای الکتریکی روی شین MP مرکز مخابرات دلیجان (قبل از خازن گذاری) ۲۴
- جدول ۱۳-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R روی شین MP مرکز دلیجان (قبل از خازن گذاری) ۲۴
- جدول ۱۴-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S روی شین MP مرکز دلیجان (قبل از خازن گذاری) ۲۴
- جدول ۱۵-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T روی شین MP مرکز دلیجان (قبل از خازن گذاری) ۲۵
- جدول ۱۶-۱: پارامترهای الکتریکی روی شین MP مرکز مخابرات دلیجان (بعد از خازن گذاری) ۲۵
- جدول ۱۷-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R روی شین MP مرکز دلیجان (بعد از خازن گذاری) ۲۶
- جدول ۱۸-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S روی شین MP مرکز دلیجان (بعد از خازن گذاری) ۲۶
- جدول ۱۹-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T روی شین MP مرکز دلیجان (بعد از خازن گذاری) ۲۶
- جدول ۲۰-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات کوه پناه (قبل از خازن گذاری) ۲۹

- جدول ۲۱-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز کوه پناه (قبل از خازن‌گذاری) ۳۰
- جدول ۲۲-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز کوه پناه (قبل از خازن‌گذاری) ۳۰
- جدول ۲۳-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز کوه پناه (قبل از خازن‌گذاری) ۳۰
- جدول ۲۴-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات کوه پناه (بعد از خازن‌گذاری) ۳۱
- جدول ۲۵-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز کوه پناه (بعد از خازن‌گذاری) ۳۲
- جدول ۲۶-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز کوه پناه (بعد از خازن‌گذاری) ۳۳
- جدول ۲۷-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز کوه پناه (بعد از خازن‌گذاری) ۳۳
- جدول ۲۸-۱: خلاصه اطلاعات قبض‌های مرکز مخابرات کوه پناه ۳۵
- جدول ۲۹-۱: هارمونیک‌های جریان فاز ۱ ۷۰
- جدول ۳۰-۱: هارمونیک‌های جریان فاز ۲ ۷۰
- جدول ۳۱-۱: هارمونیک‌های جریان فاز ۳ ۷۱
- جدول ۳۲-۱: نحوه عملکرد بانک خازنی (بدون اثر سوئیچینگ) در برابر تغییرات بار ۸۱
- جدول ۳۳-۱: نحوه تاثیر دما و ولتاژ بر طول عمر خازن ۸۳
- جدول ۳۴-۱: مقایسه خازن‌های محاسبه شده با ۴ دیدگاه مختلف ۸۷

فهرست فرمول‌ها

$$۴۴ \dots\dots\dots \text{Cos } \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{KVarh}{KWh}\right)^2}} \quad (1-1)$$

$$۴۴ \dots\dots\dots B_P = \frac{0.9 - \text{Cos } \varphi}{\text{Cos } \varphi} \times (C_D + KWh \times C_P) \quad (۲-1)$$

$$۴۴ \dots\dots\dots B_P = \left[\frac{0.9 - \text{Cos } \varphi}{\text{Cos } \varphi} - \frac{0.9 - \text{Cos } \varphi_N}{\text{Cos } \varphi_N} \right] \times (C_D + KWh \times C_P) \quad (۳-1)$$

$$۴۴ \dots\dots\dots C_C = \left[C_{lc} \frac{i(1+i)^{n_c}}{(1+i)^{n_c} - 1} + C_{RC} \right] \times Q_C \quad (۴-1)$$

$$۴۵ \dots\dots\dots \theta = RLT \times \left(\frac{V_n}{V_{app}} \right)^{V_{scale}} \times 2^{\frac{RTemp - Temp}{10}} \quad (۵-1)$$

$$۴۵ \dots\dots\dots P = RI^2 \quad (۶-1)$$

$$۴۵ \dots\dots\dots Q = mc\Delta T \quad (۷-1)$$

$$۴۶ \dots\dots\dots L = \frac{L_0}{1 + \frac{N_{sw} \cdot L_0}{Sw \cdot D}} \quad (۸-1)$$

$$۴۸ \dots\dots\dots B_T = (B_P \times 12 - C_C) \cdot n_C \quad (۹-1)$$

$$۵۲ \dots\dots\dots RTL = \theta \times \left[\left(\frac{V_n}{V_{app}} \right)^{V_{scale}} \times 2^{\frac{RTemp - Temp}{10}} \right]^{-1} \quad (10-1)$$

$$۵۲ \dots\dots\dots L = L_0 \frac{D}{L_D} \quad (11-1)$$

$$۵۸ \dots\dots\dots p_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (1۲-1)$$

$$۷۴ \dots\dots\dots Q_\gamma = P_l (\tan \varphi_D - \tan \varphi_l) \quad (1۳-1)$$

« مطالعه عددی و ارائه نرم افزار
محاسبه خازن بهینه

(1-1) مقدمه

خازن‌ها برای کاهش توان راکتیو جاری در شبکه به کار می‌روند. در بارهایی که ضریب توان پایینی دارند، خازن‌گذاری در سمت مصرف‌کننده موجب کاهش بهای برق پرداختی مشترک می‌شود. با این وجود، بالا بودن تعداد دفعات کلیدزنی با توجه به ماهیت متغیر بار و نیز وجود هارمونیک‌ها در شبکه موجب کاهش طول عمر خازن‌ها می‌شوند. در این پروژه، تاثیر در نظر گرفتن اثر کلیدزنی و هارمونیک‌ها در حالت ماندگار بر روی خازن بهینه بررسی شده و به کمک برنامه بهینه‌ساز ظرفیت خازنی، نشان داده می‌شود که برای تعیین خازن جبران‌ساز ضریب توان می‌بایست اثر کلیدزنی و هارمونیک‌ها همزمان در نظر گرفته شوند. نتایج این بررسی به صورت مطالعات عددی بر روی شبکه برق مرکز مخابرات اراک نشان داده شده است. به این ترتیب خازن بهینه برای این شبکه به کمک الگوریتم ژنتیک به گونه‌ای تعیین می‌شود که با در نظر گرفتن اثر کلیدزنی و اثر هارمونیک‌ها، سود حاصل از خازن‌گذاری بیشینه گردد. بر این اساس می‌توان خازن بهینه را برای شبکه‌های مشابه (دارای بار متغیر و اعوجاجات هارمونیکی) تعیین کرد.

بنابراین محاسبه خازن بهینه برای شبکه‌های برق مراکز مخابرات به نحوی که با در نظر گرفتن اثر کلیدزنی و هارمونیک‌ها، سود حاصله بیشینه شود، در این پروژه مورد نظر قرار دارد. برای این منظور ابتدا در فاز یک، اشاره‌ای به اهمیت خازن‌گذاری داشتیم و نکات و مسائلی که مربوط به خازن‌گذاری در شرایط معمولی و غیرهارمونیکی است، مورد توجه قرار گرفت. نحوه محاسبه هزینه‌های توان راکتیو، ساختار یک بانک خازنی، آسیب‌های بانک خازنی و نیز نحوه تعیین طول عمر خازن بیان شد. به دنبال آن نکات مربوط به خازن‌گذاری در محیط‌های هارمونیکی طرح شد و ویژگی‌ها و نتایجی که از تحلیل هارمونیکی می‌توان به دست آورد، شرح داده شد. علاوه بر این، ویژگی‌های خازن‌گذاری در شرایط هارمونیکی و اثرات متقابل خازن و هارمونیک در فاز یک بیان شد. همچنین تغییراتی که در محاسبات مربوط به ضریب توان ایجاد می‌شود و نیز روش طراحی فیلتر هارمونیکی بیان شد.

علاوه بر این نکات عملی و محدودیت‌های کاربردی با توجه به استانداردها در فاز یک شرح داده شد و به این ترتیب با روشن شدن مقدمات و شرایط صورت مسئله، زمینه برای یافتن راه حل مناسب فراهم شد.

در فاز دوم ساختار شبکه برق یک مرکز مخابرات نمونه بیان شد و انواع تجهیزات برقی موجود در این مراکز و مسیرهای تغذیه بار نشان داده شد. سپس با انجام یک شبیه‌سازی نحوه محاسبه و تعیین پارامترهای الکتریکی یک شبکه برقی (مانند توان‌های مصرفی، ضریب توان، منحنی امپدانس به فرکانس و ...) را در محیط نرم‌افزار DIGSILENT نشان دادیم. به این ترتیب شناخت کافی از شبکه برق مراکز مخابرات حاصل شده و امکان طراحی نرم‌افزار تعیین خازن بهینه فراهم شده است.

در این فاز از پروژه ابتدا به بررسی سه مرکز مخابرات مایکروویو (خمین - دلیجان - کوه‌پناه) می‌پردازیم و وضعیت شبکه‌های برق این مراکز را قبل و بعد از خازن‌گذاری بررسی می‌کنیم.

در ادامه به معرفی تابع هدف پیشنهادی برای حل مسئله می‌پردازیم. نحوه مدل کردن مسئله و محاسبه منافع و هزینه‌ها شرح داده خواهد شد و چگونگی تاثیر هارمونیک‌ها و کلیدزنی بر تابع هدف، با روابط ریاضی مدل می‌شود. به دنبال آن، به شرح الگوریتم‌های ژنتیک می‌پردازیم. نحوه وارد کردن تابع هدف در الگوریتم ژنتیک و تعیین ضرایب و پارامترها در این فاز بیان می‌شوند.

سپس به بیان مقادیر عددی شبکه شبیه‌سازی شده (شبکه برق مرکز PC اراک) و نتایج به دست آمده خواهیم پرداخت. برای این منظور مسئله را یک بار با در نظر گرفتن اثر کلیدزنی به تنهایی، یک بار با در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها به تنهایی و یک بار نیز با در نظر گرفتن همزمان اثر کلیدزنی و هارمونیک‌ها حل می‌کنیم و نتایج به دست آمده را با یکدیگر مقایسه خواهیم کرد. سرانجام نتایج نهایی و پیشنهادات در انتهای گزارش ارائه خواهد شد.

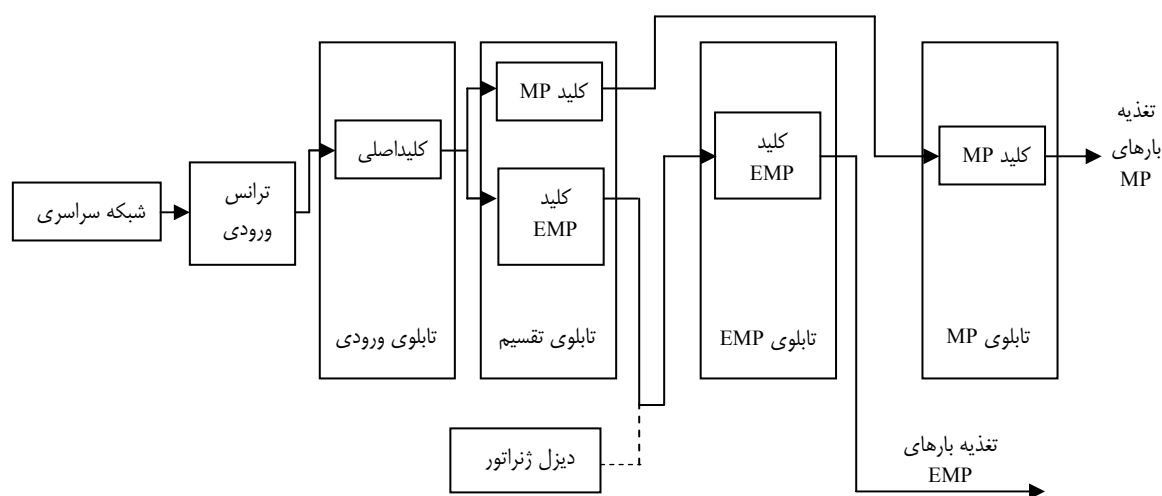
۲-۱) بررسی وضعیت مرکز مخابرات خمین

۱-۲-۱) مقدمه

در این بخش، شبکه برق مرکز مخابرات خمین بررسی می‌شود و تاثیر خازن نصب شده در این مرکز ارزیابی می‌شود. برای این منظور ابتدا طرح کلی شبکه را ارائه کرده و پارامترهای الکتریکی شبکه و وضعیت هارمونیکی آن را قبل از خازن‌گذاری اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس خازن را وارد مدار کرده و با تکرار اندازه‌گیری‌ها در وضعیت جدید، تاثیر خازن را بر پارامترهای شبکه و نیز دامنه هارمونیک‌ها نشان می‌دهیم. در انتها، وضعیت موجود و تاثیر خازن را تحلیل می‌کنیم و برای حل مشکلات موجود، راه حل مناسب را ارائه می‌کنیم.

۱-۲-۲) نحوه توزیع توان الکتریکی در شبکه

مرکز مخابرات خمین، یک ایستگاه میکروویو است که از ولتاژ DC ۴۸ ولت برای تجهیزات رادیویی استفاده می‌کند. توان مورد نیاز این تجهیزات توسط یکسوکننده‌های سه فاز تامین می‌شود. شکل ۱-۱ نحوه تغذیه الکتریکی بارهای این مرکز را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ نحوه توزیع توان در شبکه برق مرکز مخابرات خمین

توان دریافتی از طریق شبکه سراسری و ترانس ورودی به کلید اصلی (ورودی از پست) وارد می‌شود و از طریق دو شین موازی، به کلیدهای MP^۱ و EMP^۲ می‌رود.

^۱ Main Panel

^۲ Emergency Main Panel

از این نقطه به بعد، توان الکتریکی در دو مسیر مجزا برای دو نوع مصرف‌کننده‌های ضروری و غیرضروری منتقل می‌شود. مصرف‌کننده‌های ضروری از مسیر تابلوهای EMP و مصرف‌کننده‌های غیرضروری از مسیر تابلوهای MP تغذیه می‌شوند.

شارژرها (یکسوکنده‌ها)، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی واقع در سالن تجهیزات، بارهای روشنایی مهم و ... مصرف‌کننده‌های ضروری می‌باشند و بارهای روشنایی طبقات، سیستم‌های تهویه هوای بخش‌های اداری، کلیدها و پریزها و ... مصرف‌کننده‌های غیرضروری به شمار می‌روند.

سطح ولتاژ شبکه ۴۰۰ ولت (فاز به فاز) بوده و کلید فیوزهای اصلی واقع در تابلوی ورودی و تابلوی تقسیم ساخت پیچاز با جریان نامی ۴۰۰ آمپر می‌باشند. کلید فیوزهای تابلوهای MP و EMP نیز از نوع مشابه و با جریان‌های نامی ۱۶۰ آمپر و ۲۵۰ آمپری می‌باشند.

۱-۲-۳) وضعیت شبکه قبل از خازن گذاری

اندازه‌گیری‌ها، قبل از ورود خازن به شبکه، در سه نقطه انجام شده است: روی شین ورودی از پست، بعد از کلید MP و بعد از کلید EMP. برای ارزیابی خازن نصب شده، از اطلاعات به دست آمده در شین ورودی استفاده می‌شود. انتظار می‌رود با ورود خازن به مدار، ضریب توان در شین ورودی از پست بهبود یافته و دامنه هارمونیک‌ها نیز در محدوده استاندارد قرار داشته باشند. در صورتی که ضریب توان به مقدار مطلوب نرسد، هدف ما از جبران‌ساز محقق نشده است و چنان‌چه دامنه هارمونیک‌ها در شین ورودی از حد مجاز خارج شده باشد، از یک سو با جریمه‌های مربوط به هارمونیک‌ها از سوی شرکت توزیع برق روبرو خواهیم شد و از سوی دیگر احتمال آسیب‌دیدگی عایق تجهیزات، افزایش حرارت در دستگاه‌ها، ایجاد نویزهای صوتی، خطا در دستگاه‌های اندازه‌گیری و ... به وجود می‌آید.

مقدار توان‌ها، جریان‌ها، ضریب توان و هارمونیک‌ها در شین ورودی قبل از خازن گذاری در جداول زیر ارائه شده‌اند. در این جداول، جریان‌ها بر حسب آمپر و توان‌ها بر حسب کیلووات و کیلووار می‌باشند.

جدول ۱-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات خمین (قبل از خازن گذاری)

ضریب توان	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	پارامترها
۰/۶۶۵۴	۱۰۲/۹۴	۱۱۶/۵۶	۱۰۷/۳۹	۱۰/۳۵	۲۰/۲۲	۱۰/۵	۹/۴۳	۱۶/۹۵	۱۸/۵۶	مقادیر
				۴۱/۱ کیلووات			۴۴/۹ کیلووار			مجموع

جدول ۲-۱: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز خمین (قبل از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.03	35	0.91
2	0.53	19	0.32	36	0.06
3	2.41	20	0.14	37	0.59
4	0.14	21	0.31	38	0.11
5	26.21	22	0.08	39	0.50
6	0.06	23	1.42	40	0.15
7	6.22	24	0.05	41	0.75
8	0.25	25	0.96	42	0.10
9	0.55	26	0.15	43	0.91
10	0.08	27	0.02	44	0.17
11	1.54	28	0.07	45	0.18
12	0.02	29	0.79	46	0.16
13	1.80	30	0.03	47	0.53
14	0.14	31	0.81	48	0.04
15	0.33	32	0.12	49	0.77
16	0.04	33	0.43	50	0.15
17	2.58	34	0.11	THD	27.45 (%)

جدول ۳-۱: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز خمین (قبل از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.07	35	0.73
2	0.34	19	0.57	36	0.01
3	0.85	20	0.12	37	0.43
4	0.09	21	0.35	38	0.06
5	26.65	22	0.08	39	0.06
6	0.04	23	1.25	40	0.09
7	6.82	24	0.04	41	0.69
8	0.26	25	0.50	42	0.02
9	0.86	26	0.16	43	0.26
10	0.02	27	0.15	44	0.12
11	2.50	28	0.09	45	0.09
12	0.05	29	0.59	46	0.06
13	1.24	30	0.03	47	0.35
14	0.16	31	1.04	48	0.05
15	0.82	32	0.11	49	0.40
16	0.06	33	0.24	50	0.12
17	2.22	34	0.10	THD	27.88 (%)

جدول ۴-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز خمین (قبل از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.09	35	0.91
2	0.23	19	0.56	36	0.06
3	7.23	20	0.17	37	0.50
4	0.21	21	1.14	38	0.07
5	22.43	22	0.08	39	0.24
6	0.11	23	1.24	40	0.05
7	5.21	24	0.07	41	0.26
8	0.19	25	0.50	42	0.03
9	2.26	26	0.16	43	0.20
10	0.08	27	0.37	44	0.05
11	2.90	28	0.03	45	0.17
12	0.09	29	1.12	46	0.04
13	1.79	30	0.08	47	0.07
14	0.17	31	0.82	48	0.02
15	0.83	32	0.13	49	0.20
16	0.07	33	0.78	50	0.03
17	2.55	34	0.08	THD	24.79 (%)

۴-۲-۱) وضعیت شبکه بعد از خازن گذاری

خازن‌های این مرکز در مجاورت شارژرها و در مسیر EMP قرار دارند. بنابراین با ورود خازن به مدار، مصرف توان راکتیو در این شاخه و به دنبال آن توان راکتیو مصرفی در ورودی اصلی کاهش می‌یابد اما به دلیل ایجاد فرکانس رزونانس، وضعیت هارمونیک بدتر می‌شود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری روی این مرکز بعد از ورود خازن به مدار، در جداول زیر نشان داده شده است.

جدول ۵-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات خمین (بعد از خازن گذاری)

ضریب توان	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	پارامترها
۰/۸۵۱۷	۹۴/۵۵	۹۴/۸۶	۱۰۲/۷۵	۱۱/۹۱	۱۹/۵۸	۱۵/۴۹	۵/۱۵	۹/۲۴	۱۳/۴۷	مقادیر
۴۷ کیلووار						۲۷/۹ کیلووار			مجموع	

جدول ۱-۶: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز خمین (بعد از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.05	35	0.21
2	1.19	19	0.81	36	0.02
3	3.62	20	0.03	37	0.12
4	0.47	21	0.51	38	0.04
5	25.20	22	0.03	39	0.13
6	0.14	23	0.46	40	0.03
7	8.46	24	0.03	41	0.16
8	0.32	25	0.34	42	0.01
9	1.17	26	0.05	43	0.07
10	0.14	27	0.26	44	0.04
11	6.39	28	0.01	45	0.07
12	0.09	29	0.28	46	0.02
13	4.66	30	0.03	47	0.11
14	0.29	31	0.33	48	0.02
15	1.46	32	0.05	49	0.06
16	0.09	33	0.10	50	0.02
17	3.10	34	0.02	THD	28.26 (%)

جدول ۱-۷: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز خمین (بعد از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.12	35	0.14
2	0.57	19	0.89	36	0.01
3	0.67	20	0.10	37	0.10
4	0.13	21	0.44	38	0.03
5	28.07	22	0.05	39	0.09
6	0.10	23	0.21	40	0.01
7	10.61	24	0.03	41	0.04
8	0.52	25	0.38	42	0.01
9	2.78	26	0.03	43	0.06
10	0.13	27	0.10	44	0.02
11	10.40	28	0.04	45	0.06
12	0.13	29	0.06	46	0.01
13	5.61	30	0.00	47	0.04
14	0.21	31	0.15	48	0.02
15	3.03	32	0.02	49	0.02
16	0.15	33	0.05	50	0.02
17	3.46	34	0.04	THD	32.73 (%)

جدول ۱-۱: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز خمین (بعد از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.03	35	0.17
2	0.25	19	0.56	36	0.01
3	7.03	20	0.11	37	0.08
4	0.32	21	0.25	38	0.02
5	20.03	22	0.02	39	0.09
6	0.13	23	0.39	40	0.01
7	7.92	24	0.01	41	0.12
8	0.37	25	0.19	42	0.01
9	1.76	26	0.05	43	0.02
10	0.16	27	0.13	44	0.02
11	8.20	28	0.01	45	0.06
12	0.06	29	0.25	46	0.01
13	4.18	30	0.01	47	0.05
14	0.21	31	0.06	48	0.01
15	0.51	32	0.03	49	0.03
16	0.06	33	0.07	50	0.01
17	2.79	34	0.01	THD	24.70 (%)

همچنین THD ولتاژ فازهای S، R و T از مقادیر ۳/۳۷ و ۲/۸ و ۲/۸۴ (قبل از خازن گذاری) به مقدار ۳/۸۱ و ۳/۴۶ و ۳/۳۸ (بعد از خازن گذاری) می‌رسند.

۱-۲-۵) تحلیل وضعیت پیش آمده و ارائه راه حل

با وارد کردن خازن به مدار، مقدار توان راکتیو مصرفی کاهش یافته و ضریب توان بهبود می‌یابد. با این حال، مقادیر حاصل از اندازه‌گیری نشان می‌دهد که ظرفیت خازن نصب شده برای جبران‌سازی این شبکه کافی نمی‌باشد. همچنین وضعیت هارمونیک‌ها قبل و بعد از خازن گذاری در سطح بالایی قرار دارد که با نصب خازن این وضعیت بدتر نیز شده است.

با بررسی مولفه‌های هارمونیک، مشخص می‌شود بیشترین تقویت هارمونیک در هارمونیک‌های ۹، ۱۱ و ۱۳ رخ می‌دهد. مقدار این تغییرات در جدول ۱-۹ نشان داده شده است. به این ترتیب به نظر می‌رسد فرکانس رزونانس در نزدیکی هارمونیک ۱۱ قرار دارد.

جدول ۱-۹: تغییرات هارمونیک‌های جریان

	هارمونیک ۹			هارمونیک ۱۱			هارمونیک ۱۳		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
قبل از ورود خازن به مدار	۰/۵۵	۰/۸۶	۲/۲۶	۱/۵۴	۲/۵	۲/۹	۱/۸	۱/۲۴	۱/۷۹
بعد از ورود خازن به مدار	۱/۱۷	۲/۷۸	۱/۷۶	۶/۳۹	۱۰/۴	۸/۲	۴/۶۶	۵/۶۱	۴/۱۸

برای حل این مشکل می‌بایست از راکتور سری با خازن به صورت فیلتر دی‌تیون استفاده کرد. با توجه به بالا بودن دامنه هارمونیک پنجم، لازم است فرکانس تنظیم فیلتر در نزدیکی هارمونیک پنجم قرار داشته باشد. با این مشخصات، فیلتر دی‌تیون $5/67$ درصد (با فرکانس تنظیم 210 هرتز) در بازار موجود می‌باشد.

همچنین با توجه به جدول ۹-۱ ملاحظه می‌گردد که هارمونیک ۹ ضعیف‌تر از هارمونیک‌های ۱۱ و ۱۳ است. بنابراین با انتخاب خازن بزرگتر می‌توانیم علاوه بر جبران‌سازی بیشتر، فرکانس رزونانس را نیز از هارمونیک ۱۱ دور کرده و به هارمونیک ۹ نزدیک کنیم و به این ترتیب دامنه هارمونیک‌ها را محدود کنیم.

۳-۱) بررسی وضعیت مرکز مخابرات دلیجان

۱-۳-۱) مقدمه

در این بخش، شبکه برق مرکز مخابرات دلیجان را بررسی کرده و تاثیر خازن نصب شده در این مرکز را ارزیابی می‌کنیم. نحوه توزیع توان الکتریکی در شبکه برق این مرکز مخابرات مشابه مرکز مخابرات خمین می‌باشد. بارها به دو دسته بارهای ضروری و غیرضروری تقسیم می‌شوند که بارهای ضروری از طریق تابلوی EMP و بارهای غیرضروری از طریق تابلوی MP تغذیه می‌شوند. با بررسی میزان مصرف توان در هرکدام از این دو مسیر و نیز وضعیت هارمونیکی در هر مسیر، می‌توان در مورد محل نصب خازن، ظرفیت آن و ضرورت استفاده از فیلتر تصمیم‌گیری کرد.

خازن این مرکز در مسیر تابلوی MP قرار دارد. بنابراین در این بررسی، از اطلاعات اندازه‌گیری شده در روی تابلوی MP قبل و بعد از خازن‌گذاری، برای مقایسه وضعیت هارمونیک‌ها استفاده می‌کنیم و همچنین با بررسی توان مصرفی شبکه، ظرفیت خازن را ارزیابی می‌کنیم.

۱-۳-۲) وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری

وضعیت توان‌ها، جریان‌ها و ضریب توان مصرفی اندازه‌گیری شده در ورودی اصلی، تابلوی MP و تابلوی EMP در جداول زیر ارائه شده‌اند. در این جداول، جریان‌ها بر حسب آمپر و توان‌ها بر حسب کیلووات و کیلووار می‌باشند.

جدول ۱-۱۰: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات دلیجان (قبل از خازن‌گذاری)

پارامترها	Q3	Q2	Q1	P3	P2	P1	I3	I2	I1	ضریب توان
مقادیر	۱۱	۷/۵	۸/۵	۱۶/۵	۱۱/۷۵	۱۰/۷۵	۸۴/۲۵	۵۸/۷۵	۵۸	۰/۸۲۳۰
مجموع	۲۷ کیلووار			۳۹/۲۵ کیلووات						

جدول ۱-۱۱: پارامترهای الکتریکی روی شین EMP مرکز مخابرات دلیجان (قبل از خازن‌گذاری)

پارامترها	Q3	Q2	Q1	P3	P2	P1	I3	I2	I1	ضریب توان
مقادیر	۱۰	۷/۲۵	۷	۱۴/۷۵	۱۲	۱۰	۷۵/۷۵	۵۷/۲۵	۵۱/۷۵	۰/۸۲۹۸
مجموع	۲۴/۲۵ کیلووار			۳۶/۲۵ کیلووات						

جدول ۱-۱۲: پارامترهای الکتریکی روی شین MP مرکز مخابرات دلیجان (قبل از خازن گذاری)

ضریب توان	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	پارامترها
۰/۰۳	۱۵/۷۵	۱۲/۵	۱۴/۲۵	۰	۰	۱	۲/۲۵	۳	۳	مقادیر
۱ کیلووات						۸ کیلووات			مجموع	

از آن جا که خازن این شبکه در تابلوی MP نصب شده است، وضعیت هارمونیک را در این نقطه، قبل و بعد از خازن گذاری بررسی می‌کنیم. دامنه هارمونیک‌های جریان روی شین MP قبل از خازن گذاری در جداول زیر نشان داده شده‌اند.

جدول ۱-۱۳: هارمونیک‌های جریان فاز R روی شین MP مرکز دلیجان (قبل از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.18	35	0.20
2	0.34	19	0.35	36	0.22
3	10.39	20	0.22	37	0.20
4	0.21	21	0.21	38	0.25
5	2.67	22	0.21	39	0.13
6	0.22	23	0.23	40	0.22
7	1.46	24	0.13	41	0.17
8	0.12	25	0.31	42	0.32
9	0.46	26	0.20	43	0.15
10	0.16	27	0.21	44	0.21
11	0.66	28	0.28	45	0.24
12	0.17	29	0.23	46	0.12
13	0.32	30	0.22	47	0.16
14	0.18	31	0.22	48	0.10
15	0.38	32	0.18	49	0.19
16	0.20	33	0.22	50	0.19
17	0.34	34	0.22	THD	10.96 (%)

جدول ۱-۱۴: هارمونیک‌های جریان فاز S روی شین MP مرکز دلیجان (قبل از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.12	35	0.31
2	0.37	19	0.25	36	0.20
3	15.10	20	0.10	37	0.55
4	0.18	21	0.56	38	0.10
5	4.90	22	0.26	39	0.20
6	0.29	23	0.84	40	0.25
7	1.37	24	0.12	41	0.17
8	0.28	25	0.42	42	0.15
9	1.19	26	0.21	43	0.26
10	0.21	27	0.37	44	0.20
11	1.50	28	0.17	45	0.29
12	0.23	29	0.27	46	0.22
13	1.21	30	0.18	47	0.13
14	0.13	31	0.51	48	0.17
15	0.42	32	0.07	49	0.20
16	0.21	33	0.26	50	0.18
17	0.27	34	0.15	THD	16.21 (%)

جدول ۱-۱۵: هارمونیک‌های جریان فاز T روی شین MP مرکز دلیجان (قبل از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.09	35	0.21
2	1.19	19	0.32	36	0.24
3	5.75	20	0.16	37	0.38
4	0.37	21	0.29	38	0.24
5	0.43	22	0.32	39	0.41
6	0.18	23	0.26	40	0.41
7	0.97	24	0.22	41	0.31
8	0.26	25	0.30	42	0.34
9	0.34	26	0.43	43	0.24
10	0.49	27	0.18	44	0.10
11	0.25	28	0.33	45	0.25
12	0.28	29	0.32	46	0.41
13	0.34	30	0.23	47	0.22
14	0.26	31	0.32	48	0.22
15	0.20	32	0.33	49	0.21
16	0.39	33	0.37	50	0.26
17	0.25	34	0.27	THD	6.29 (%)

۳-۳-۱) وضعیت شبکه بعد از خازن‌گذاری

بعد از ورود خازن به مدار، با توجه به این که خازن در تابلوی MP قرار دارد و میزان مصرف در این تابلو بسیار پایین است، توان راکتیو بار جبران شده و مقدار اضافی توان راکتیو به سمت مصرف‌کننده‌های EMP و شبکه برمی‌گردد. وضعیت توان‌ها، جریان‌ها و ضریب‌توان مصرفی روی شین MP بعد از خازن‌گذاری در نشان داده شده است.

جدول ۱-۱۶: پارامترهای الکتریکی روی شین MP مرکز مخابرات دلیجان (بعد از خازن‌گذاری)

ضریب توان	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	پارامترها
-۰/۰۰	۲۴/۷۵	۲۶	۲۹/۵	۰	۰	۱	-۵/۷۵	-۶/۲۵	-۷	مقادیر
				۱ کیلووات			-۱۹ کیلووار			مجموع

وضعیت هارمونیک‌ها نیز در این نقطه، بعد از خازن‌گذاری اندازه‌گیری شده و نتایج در جداول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱-۱۷: هارمونیک‌های جریان فاز R روی شین MP مرکز دلیجان (بعد از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.33	35	1.31
2	0.29	19	2.20	36	0.08
3	6.53	20	0.28	37	1.20
4	0.41	21	1.58	38	0.11
5	11.89	22	0.23	39	0.21
6	0.42	23	1.71	40	0.09
7	1.77	24	0.22	41	0.49
8	0.41	25	1.66	42	0.12
9	3.55	26	0.18	43	0.70
10	1.25	27	0.90	44	0.16
11	7.90	28	0.37	45	0.24
12	1.26	29	1.51	46	0.25
13	5.85	30	0.28	47	0.82
14	0.81	31	1.04	48	0.11
15	5.97	32	0.10	49	0.63
16	0.46	33	0.32	50	0.17
17	6.33	34	0.10	THD	19.99 (%)

جدول ۱-۱۸: هارمونیک‌های جریان فاز S روی شین MP مرکز دلیجان (بعد از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.14	35	0.46
2	0.61	19	1.33	36	0.11
3	6.07	20	0.24	37	0.86
4	0.28	21	2.13	38	0.06
5	8.63	22	0.23	39	0.25
6	0.53	23	2.61	40	0.11
7	0.91	24	0.21	41	0.49
8	0.33	25	1.59	42	0.11
9	0.73	26	0.24	43	0.55
10	0.61	27	0.36	44	0.08
11	1.67	28	0.34	45	0.22
12	0.64	29	0.96	46	0.13
13	12.51	30	0.21	47	0.31
14	0.30	31	0.94	48	0.11
15	3.78	32	0.17	49	0.50
16	0.52	33	0.11	50	0.12
17	3.37	34	0.07	THD	17.88 (%)

جدول ۱-۱۹: هارمونیک‌های جریان فاز T روی شین MP مرکز دلیجان (بعد از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.28	35	1.20
2	0.24	19	1.21	36	0.16
3	2.27	20	0.09	37	0.45
4	0.29	21	0.68	38	0.11
5	8.37	22	0.28	39	0.45
6	0.79	23	2.95	40	0.14
7	0.88	24	0.28	41	0.53
8	0.62	25	0.73	42	0.22
9	2.83	26	0.11	43	0.33
10	1.12	27	0.82	44	0.13
11	5.31	28	0.28	45	0.29
12	1.15	29	0.58	46	0.10
13	6.83	30	0.17	47	0.63
14	0.72	31	0.68	48	0.11
15	3.20	32	0.08	49	0.28
16	0.95	33	0.17	50	0.08
17	5.80	34	0.17	THD	14.96 (%)

همچنین THD ولتاژ فازهای R، S و T از مقادیر ۱/۰۸ و ۱/۱ و ۱/۳۷ (قبل از خازن‌گذاری) به مقدار ۱/۴۲ و ۱/۴ و ۱/۷۱ (بعد از خازن‌گذاری) می‌رسند.

۱-۳-۴) تحلیل وضعیت پیش آمده و ارائه راه‌حل

بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده، در این شبکه کل مصرف توان راکتیو ۲۷ کیلووار می‌باشد که بخش عمده آن در مسیر تابلوی EMP مصرف می‌شود. تنها بخش کوچکی از این توان مصرفی در مسیر تابلوی MP مصرف می‌شود. بنابراین جریان راکتیوی که بارهای غیرضروری از شبکه می‌کشند مقدار پایینی دارد. نصب خازن در تابلوی MP موجب شده است که این جریان راکتیو جبران‌سازی شود، اما از آن‌جا که ظرفیت خازن نصب شده بزرگتر بوده است، مقداری جریان راکتیو نیز تولید می‌شود که به شین ورودی تزریق می‌شود و توسط مصرف‌کننده‌های EMP یا شبکه سراسری مصرف می‌شود.

با مقایسه جدول ۱-۱۲ و جدول ۱-۱۶ مشاهده می‌شود که توان راکتیو مصرفی از مقدار ۸ کیلووار (قبل از خازن‌گذاری) به ۱۹- کیلووار (بعد از خازن‌گذاری) رسیده است. بنابراین خازن نصب شده توان راکتیوی معادل ۲۷ کیلووار تولید کرده است. این مقدار توان راکتیو می‌تواند کل نیازهای شبکه را تامین نماید.

از نظر وضعیت هارمونیکی نیز مشاهده می‌شود که با وارد کردن خازن به مدار، مقدار THD ولتاژ و جریان افزایش می‌یابد. مقدار این تقویت هارمونیکی در مورد THD ولتاژ چندان قابل توجه نیست اما در مورد THD جریان، تقویت هارمونیک‌ها موجب خارج شدن از محدوده مجاز می‌شود. در این شبکه محدوده مجاز THD ولتاژ و جریان را به ترتیب ۵٪ و ۱۲٪ می‌توان در نظر گرفت. بنابراین پیشنهاد می‌شود از یک راکتور سری با خازن، به صورت فیلتر دی‌تیون با فرکانس تنظیم ۲۱۰ هرتز (موجود در بازار) استفاده شود.

٤-١) بررسی وضعیت مرکز مخابرات کوه پناه

۱-۴-۱) مقدمه

در این بخش، شبکه برق مرکز مخابرات کوه‌پناه را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این مرکز نیز یک خازن ثابت نصب شده است که وضعیت شبکه قبل و بعد از ورود خازن به شبکه، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

خازن این مرکز در ورودی اصلی قرار دارد و اندازه‌گیری‌های مورد نیاز نیز در تابلوی ورودی اصلی انجام شده است. بنابراین با بدست آوردن مقدار مصرف بار و وضعیت هارمونیک‌ها در مورد ظرفیت خازن و ضرورت استفاده از فیلتر تصمیم‌گیری می‌شود.

در بررسی اطلاعات این مرکز، همچنین موضوع تغییرات بار نیز بررسی می‌شود. برای این منظور دستگاه اندازه‌گیری کیفیت توان به مدت ۵ روز از تاریخ ۸۸/۳/۳۱ تا ۸۸/۴/۵ در ورودی اصلی شبکه برق این مرکز مخابرات نصب شده است. علاوه بر این با کمک اطلاعات دریافتی از قبض‌های برق ۱۲ ماه گذشته این مرکز (یک دوره یک ساله) برای بررسی میزان تغییرات بارها در هر ماه و نیز طی ماه‌های مختلف استفاده می‌کنیم.

۱-۴-۲) وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری

وضعیت توان‌ها، جریان‌ها و ضریب توان مصرفی این شبکه قبل از خازن‌گذاری در جدول ۲۰-۱ نشان داده شده است. در این جدول، جریان‌ها بر حسب آمپر و توان‌ها بر حسب کیلووات و کیلووار می‌باشند.

جدول ۲۰-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات کوه‌پناه (قبل از خازن‌گذاری)

ضریب توان	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	پارامترها
۰/۷۲۵	۸۰/۶	۴۶/۲۷	۴۶/۹۲	۱۳/۵۷	۷/۴۸	۶/۳۸	۱۱/۰۹	۶/۸۳	۷/۹۴	مقادیر
مجموع						۲۷/۴ کیلووات	۲۵/۹ کیلووار			

همچنین هارمونیک‌های جریان این مرکز در ورودی اصلی، قبل از خازن‌گذاری در جدول ۲۱-۱ و جدول ۲۲-۱ و جدول ۲۳-۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱-۲۱: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز کوه‌پناه (قبل از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.03	35	0.34
2	0.53	19	0.18	36	0.04
3	3.37	20	0.08	37	0.31
4	0.21	21	0.07	38	0.22
5	1.62	22	0.08	39	0.05
6	0.03	23	0.48	40	0.20
7	0.15	24	0.04	41	0.31
8	0.11	25	0.50	42	0.06
9	0.36	26	0.20	43	0.24
10	0.13	27	0.05	44	0.11
11	1.47	28	0.17	45	0.04
12	0.08	29	0.45	46	0.05
13	0.84	30	0.05	47	0.15
14	0.16	31	0.24	48	0.05
15	0.09	32	0.06	49	0.18
16	0.14	33	0.10	50	0.20
17	0.27	34	0.07	THD	4.35 (%)

جدول ۱-۲۲: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز کوه‌پناه (قبل از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.08	35	0.45
2	0.55	19	0.60	36	0.10
3	1.98	20	0.20	37	0.43
4	0.32	21	0.35	38	0.40
5	1.77	22	0.19	39	0.30
6	0.14	23	1.05	40	0.28
7	0.47	24	0.09	41	0.51
8	0.21	25	0.76	42	0.12
9	0.53	26	0.37	43	0.24
10	0.23	27	0.57	44	0.20
11	2.39	28	0.32	45	0.19
12	0.08	29	0.43	46	0.18
13	1.32	30	0.12	47	0.16
14	0.33	31	0.44	48	0.09
15	0.84	32	0.23	49	0.15
16	0.25	33	0.22	50	0.35
17	0.54	34	0.21	THD	4.63 (%)

جدول ۱-۲۳: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز کوه‌پناه (قبل از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.08	35	0.48
2	0.17	19	0.61	36	0.11
3	5.75	20	0.15	37	0.29
4	0.13	21	0.36	38	0.32
5	1.00	22	0.11	39	0.15
6	0.07	23	1.13	40	0.29
7	0.98	24	0.07	41	0.50
8	0.25	25	1.16	42	0.11
9	0.96	26	0.31	43	0.50
10	0.21	27	0.25	44	0.22
11	2.44	28	0.30	45	0.21
12	0.05	29	0.28	46	0.20
13	1.64	30	0.11	47	0.29
14	0.27	31	0.33	48	0.14
15	0.37	32	0.23	49	0.26
16	0.23	33	0.21	50	0.37
17	0.44	34	0.19	THD	7.10 (%)

۳-۴-۱) وضعیت شبکه بعد از خازن گذاری

بعد از ورد خازن به مدار، توان راکتیو مصرفی جبران شده و از آن جا که ظرفیت خازن بزرگتر از حد نیاز بوده است، بخشی از توان راکتیو تولیدی نیز به شبکه سراسری برمی‌گردد. جدول ۲۴-۱ وضعیت توان‌ها، جریان‌ها و ضریب توان را بعد از خازن گذاری نشان می‌دهد.

جدول ۲۴-۱: پارامترهای الکتریکی در ورودی اصلی برق مرکز مخابرات کوه پناه (بعد از خازن گذاری)

ضریب توان	I1	I2	I3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	پارامترها
-۰/۸۵۵۹	۳۵/۵	۳۵/۲۱	۳۵/۰۷	۶/۵۱	۶/۶۱	۶/۷۱	-۴/۲۳	-۴/۰۴	-۳/۶۹	مقادیر
۱۹/۸۳ کیلووات						-۱۱/۹۶ کیلووار			مجموع	

وضعیت هارمونیک‌های جریان در ورودی اصلی شبکه برق کوه پناه بعد از خازن گذاری، در جدول

۲۵-۱،

جدول ۱-۲۶ و جدول ۱-۲۷ نشان داده شده‌اند. با مقایسه وضعیت هارمونیک‌ها بعد از خازن گذاری با وضعیت آن‌ها قبل از خازن گذاری می‌توان از تاثیر خازن بر روی هارمونیک‌ها مطلع شد و به این ترتیب راهکار مناسب را اتخاذ کرد.

جدول ۱-۲۵: هارمونیک‌های جریان فاز R ورودی اصلی مرکز کوه پناه (بعد از خازن گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.64	35	0.47
2	0.54	19	1.36	36	0.08
3	0.56	20	0.89	37	0.50
4	0.07	21	0.92	38	0.54
5	6.63	22	0.46	39	0.30
6	0.25	23	4.19	40	0.41
7	6.07	24	0.39	41	0.77
8	0.52	25	5.35	42	0.14
9	0.54	26	0.59	43	0.45
10	0.17	27	0.91	44	0.29
11	2.86	28	0.50	45	0.25
12	0.60	29	0.97	46	0.27
13	14.81	30	0.15	47	0.26
14	1.14	31	0.19	48	0.09
15	1.83	32	0.32	49	0.16
16	1.14	33	0.40	50	0.45
17	3.84	34	0.27	THD	19.65 (%)

جدول ۱-۲۶: هارمونیک‌های جریان فاز S ورودی اصلی مرکز کوه‌پناه (بعد از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.35	35	0.53
2	1.45	19	1.68	36	0.06
3	1.11	20	0.68	37	0.32
4	0.43	21	0.33	38	0.44
5	7.59	22	0.13	39	0.07
6	0.27	23	5.49	40	0.34
7	4.95	24	0.41	41	0.65
8	0.33	25	5.65	42	0.04
9	0.68	26	0.52	43	0.68
10	0.29	27	0.97	44	0.24
11	0.85	28	0.66	45	0.20
12	0.61	29	0.20	46	0.24
13	12.75	30	0.11	47	0.34
14	0.92	31	0.08	48	0.10
15	0.98	32	0.37	49	0.41
16	1.16	33	0.53	50	0.43
17	3.66	34	0.25	THD	18.35 (%)

جدول ۱-۲۷: هارمونیک‌های جریان فاز T ورودی اصلی مرکز کوه‌پناه (بعد از خازن‌گذاری)

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.42	35	0.81
2	0.43	19	1.00	36	0.15
3	0.81	20	0.28	37	0.75
4	0.04	21	0.92	38	0.52
5	6.38	22	0.50	39	0.36
6	0.15	23	5.12	40	0.49
7	5.37	24	0.24	41	0.73
8	0.52	25	3.53	42	0.12
9	0.29	26	0.66	43	0.58
10	0.51	27	0.24	44	0.23
11	2.81	28	0.55	45	0.15
12	1.47	29	1.08	46	0.16
13	9.98	30	0.20	47	0.37
14	0.76	31	0.21	48	0.05
15	1.74	32	0.16	49	0.34
16	1.39	33	0.43	50	0.46
17	3.50	34	0.22	THD	15.66 (%)

همچنین THD ولتاژ فازهای R، S و T از مقادیر ۱/۴۱ و ۱/۵۴ و ۱/۴۷ (قبل از خازن‌گذاری) به مقدار ۱/۸۲ و ۲ و ۱/۷۹ (بعد از خازن‌گذاری) می‌رسند.

۱-۴-۴) تحلیل وضعیت پیش آمده و ارائه راه‌حل

بر اساس اطلاعات ارائه شده، میزان مصرف توان راکتیو این شبکه قبل از خازن‌گذاری ۲۵/۹ کیلووار بوده است که با نصب خازن، توان راکتیو مصرفی به ۱۱/۹۶- کیلووار رسیده است. این موضوع نشان

می‌دهد خازن نصب شده حدود ۳۵ کیلووار توان راکتیو را وارد مدار می‌کند که بیش از حد مورد نیاز است. با این وجود از آن‌جا که این شبکه از طریق یک خط انتقال چند کیلومتری، به ترانس توزیع شبکه سراسری متصل شده است، این توان راکتیو موجب جبران‌سازی توان راکتیو مصرفی در خط انتقال نیز می‌شود. به همین دلیل، ولتاژ شبکه از حد مجاز خارج نشده و در حدود ۳۸۴ ولت می‌باشد. بنابراین تولید بیش از حد نیاز توان راکتیو، مشکلی را ایجاد نمی‌کند.

بررسی وضعیت هارمونیک‌های شبکه نشان می‌دهد، THD ولتاژ اگرچه افزایش یافته اما از محدوده مجاز ۵٪ خارج نشده است. اما THD جریان افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. این افزایش بیش از همه در هارمونیک‌های ۵ و ۱۳ مشاهده می‌شود. برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود از فیلتر دی‌تیون با فرکانس تنظیم ۲۱۰ هرتز استفاده شود و چنان‌چه دامنه هارمونیک‌های جریان همچنان در محدوده غیرمجاز قرار داشته باشد، از فیلترهای تیون به منظور فیلتر کردن هارمونیک‌های ۵ و ۱۳ استفاده شود.

۱-۴-۵) بررسی تغییرات بارها

یکی از مسائلی که در تعیین خازن بهینه بسیار اهمیت دارد، مساله تغییرات بار است. برای بررسی میزان تغییرات بار در شبکه برق مرکز کوه‌پناه، از دو روش استفاده شده است. یک روش، تحلیل قبض‌های برق مربوط به یک سال گذشته است. به کمک قبض‌های برق می‌توان از تغییرات ماهانه بارها و مطلع شد و نیز تخمینی از تغییرات بار طی یک ماه به دست آورد.

در هر قبض برق، کل انرژی اکتیو مصرفی به صورت کیلووات ساعت درج می‌گردد. همچنین مدت محاسبه برق بر حسب تعداد روز ذکر می‌شود و پیک توان مصرفی طی یک دوره در قسمت «قدرت خوانده» درج می‌شود. با تقسیم کل کیلووات ساعت مصرفی طی یک دوره به کل تعداد ساعات آن دوره می‌توان متوسط توان اکتیو مصرفی را بر حسب کیلووات به دست آورد. اگر پیک توان مصرفی (درج شده در قبض) تفاوت قابل توجهی با رقم به دست آمده داشته باشد، بدین معنی خواهد بود که تغییرات توان اکتیو مصرفی طی یک دوره، زیاد بوده است.

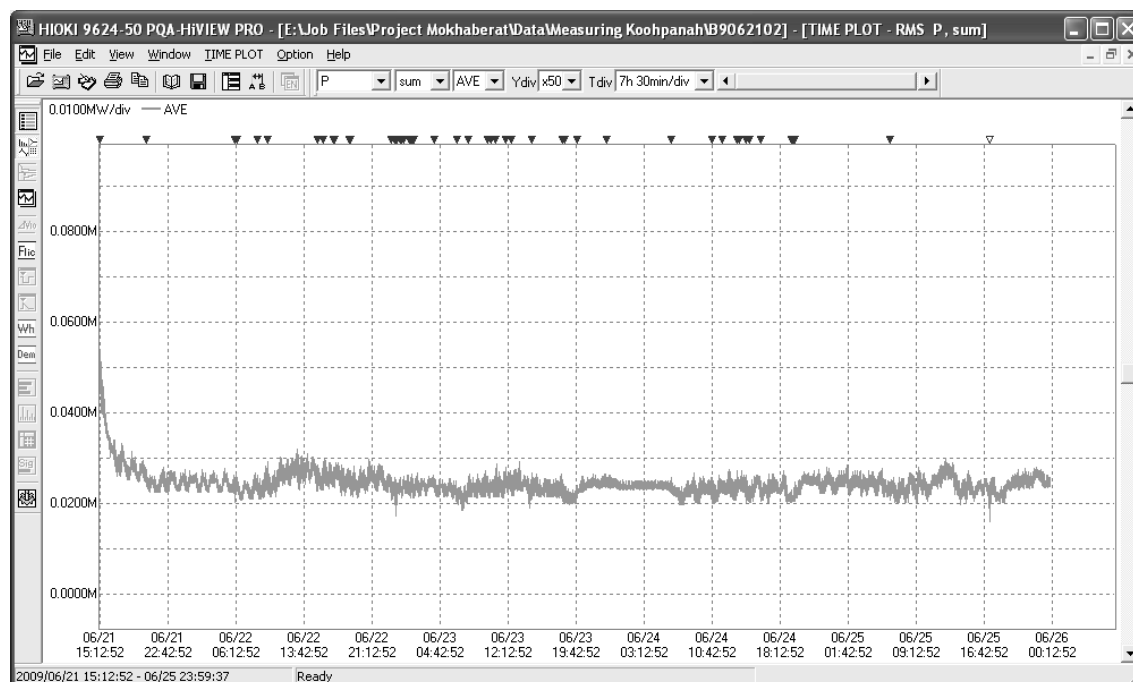
این بررسی بر روی قبض‌های مرکز مخابرات کوه‌پناه از تاریخ ۸۷/۶/۱۹ (قبض شماره ۱۰۲) تا تاریخ ۸۸/۷/۱۳ (قبض شماره ۱۱۳) انجام شده و نتایج در جدول ۱-۲۸ ارائه شده است.

جدول ۱-۲۸: خلاصه اطلاعات قبض‌های مرکز مخابرات کوه‌پناه

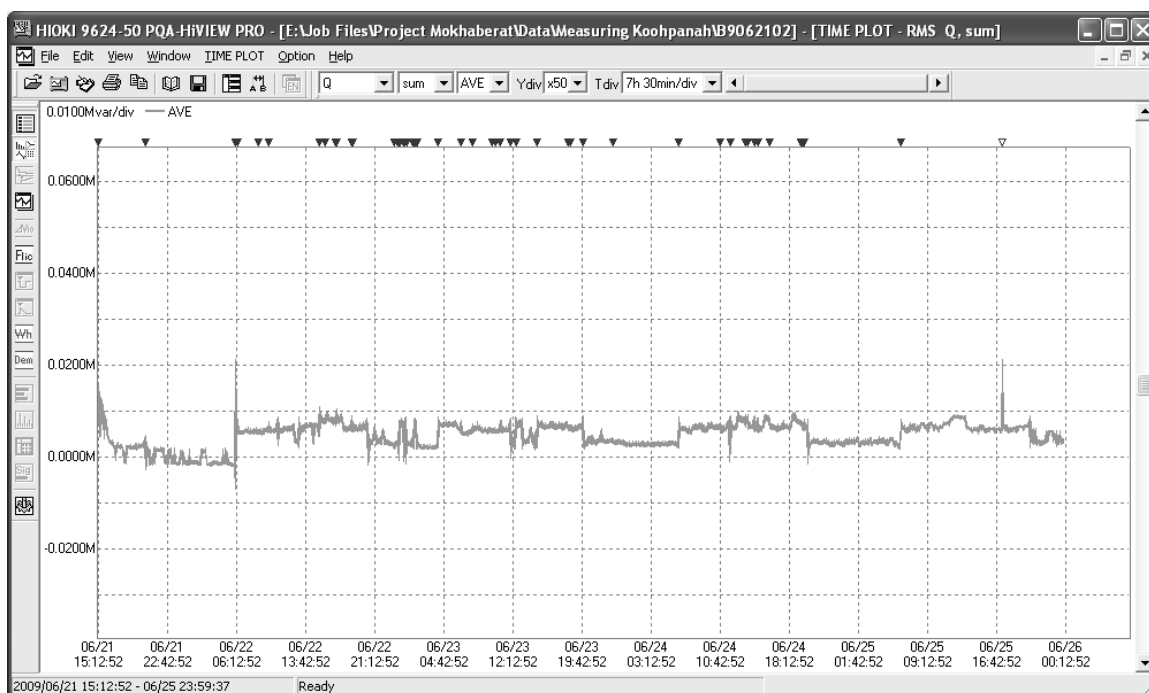
شماره سریال قبض	انرژی اکتیو مصرفی (کیلووات ساعت)	تعداد روز	متوسط توان اکتیو (کیلووات)	انرژی راکتیو مصرفی (کیلووار ساعت)	قدرت خوانده (کیلووات)
۱۰۲	۲۰۲۴۰	۳۲	۲۶/۳۵	۱۰۸۴۰	۲۴
۱۰۳	۲۱۸۸۰	۲۹	۳۱/۴۴	۱۴۲۰۰	۲۸
۱۰۴	۱۳۲۴۰	۲۸	۱۹/۷	۴۰	۲۸
۱۰۵	۱۶۷۶۰	۳۴	۲۰/۵۴	۴۲۸۰	۲۸
۱۰۶	۲۱۳۶۰	۲۵	۳۵/۶	۵۲۴۰	۲۸
۱۰۷	۱۷۴۸۰	۴۱	۱۷/۷۶	۹۵۲۰	۲۸
۱۰۸	۱۳۸۸۰	۲۸	۲۰/۶۵	۶۷۲۰	۴۰
۱۰۹	۱۲۲۰۰	۲۸	۱۸/۱۵	۷۴۰۰	۴۰
۱۱۰	۲۰۵۶۰	۳۳	۲۵/۹۶	۱۴۱۲۰	۳۲
۱۱۱	۲۰۳۶۰	۲۵	۳۳/۹۳	۱۶۸۸۰	۳۶
۱۱۲	۱۷۴۴۰	۳۲	۲۲/۷	۱۳۶۰۰	۳۲
۱۱۳	۱۹۶۰۰	۲۹	۲۸/۱۶	۱۸۶۸۰	۳۶

اطلاعات مربوط به قبض‌ها، نشان می‌دهد تغییرات بارها طی یک دوره، جز در موارد محدود و ماه‌های خاصی، قابل ملاحظه نبوده و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. اما تغییرات بار طی دوره‌های مختلف قابل توجه بوده و از ۲۴ کیلووات تا ۴۰ کیلووات متغیر می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد در تعیین خازن بهینه، می‌بایست تغییرات سالانه بارها در نظر گرفته شود.

جهت اطمینان از نتایج به دست آمده، اندازه‌گیری توان‌های مصرفی در ورودی اصلی شبکه برق مرکز کوه‌پناه در یک بازه زمانی ۵ روزه (از یکشنبه تا جمعه) نیز انجام شده است. تغییرات توان اکتیو و راکتیو طی این دوره زمانی در و نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ تغییرات توان اکتیو مصرفی طی پنج روز در مرکز کوه پناه



شکل ۳-۱ تغییرات توان راکتیو مصرفی طی پنج روز در مرکز کوه پناه

بر این اساس مشاهده می شود که تغییرات توان اکتیو، عمدتاً در بازه ۲۰ تا ۳۰ کیلووات اتفاق می افتد و تغییرات توان راکتیو نیز در بازه ۵ تا ۱۰ کیلووات محدود بوده است.

(۵-۱) وضعیت مرکز مخابرات قزوین

۱-۵-۱) مقدمه

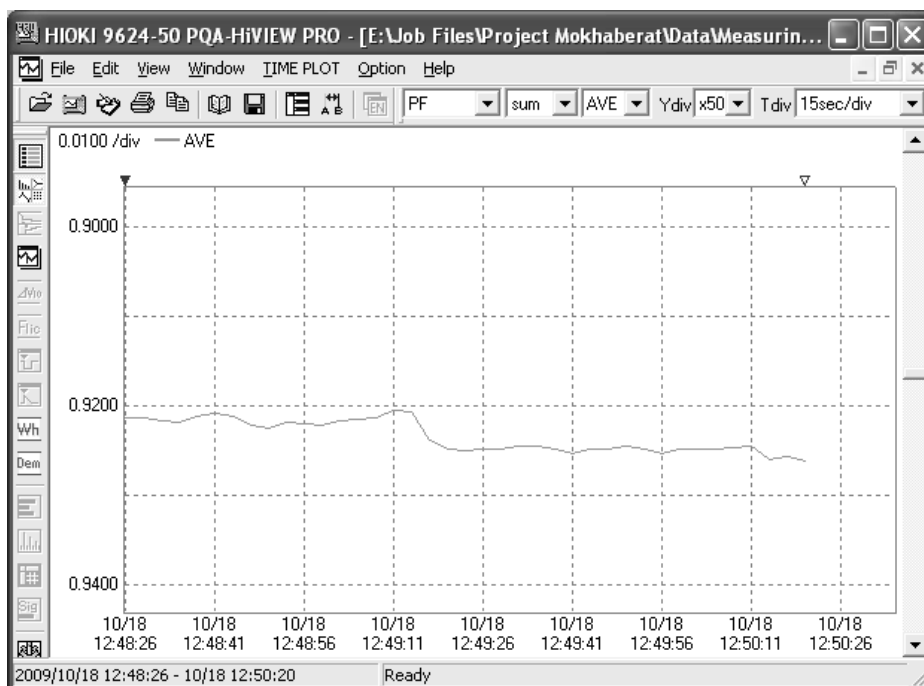
در این بخش، وضعیت شبکه برق مرکز مخابرات قزوین بررسی می‌شود. در این مرکز یک خازن متغیر با ظرفیت ۳۱۲/۵ کیلووار نصب شده است که تعداد پله‌های بانک خازنی در هر زمان به کمک رگولاتور تعیین می‌شود.

در این شبکه، ورودی اصلی از ترانس به دو قسمت تقسیم می‌شود. مسیری که قدرت نامی بالاتری دارد به کمک کلیدفیوز ۱۲۵۰ آمپری و مسیری که قدرت نامی پایین‌تری دارد با استفاده از کلیدفیوز ۶۸۰ آمپری محافظت می‌شود. این دو مسیر به دو تابلوی مجزا وارد شده و هر یک دو نوع مصرف‌کننده MP و EMP را (به طریقی کاملاً مشابه با مرکز مخابرات خمین) تغذیه می‌کنند.

خازن این مرکز در مسیر با قدرت نامی بالاتر (دارای کلیدفیوز ۱۲۵۰ آمپری) نصب شده است و اندازه‌گیری‌ها نیز در ابتدای این مسیر انجام شده است. به کمک اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌ها وضعیت شبکه در حضور بانک خازنی ارزیابی می‌شود.

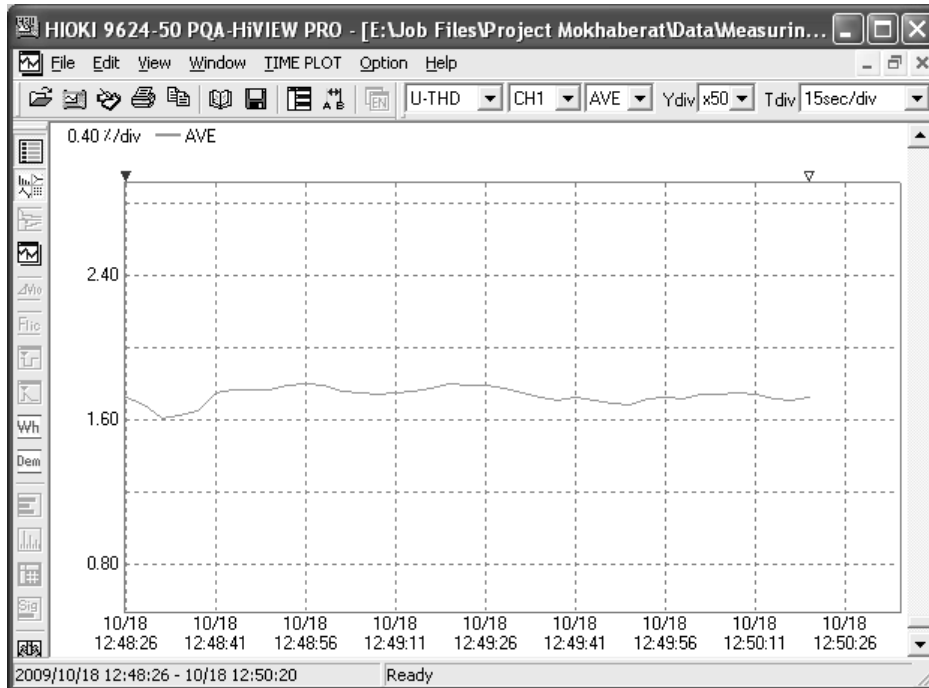
۱-۵-۲) وضعیت شبکه در حضور بانک خازنی

در این شبکه متوسط توان اکتیو مصرفی ۲۰۰ کیلووات بوده و پس از ورود ۳۷/۵ کیلووار خازن به مدار، متوسط توان راکتیو مصرفی به ۷۵ کیلووار می‌رسد. در این حالت ضریب توان همواره در سطح بالاتر از ۰/۹ قرار دارد. شکل ۴-۱ مقدار ضریب توان اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

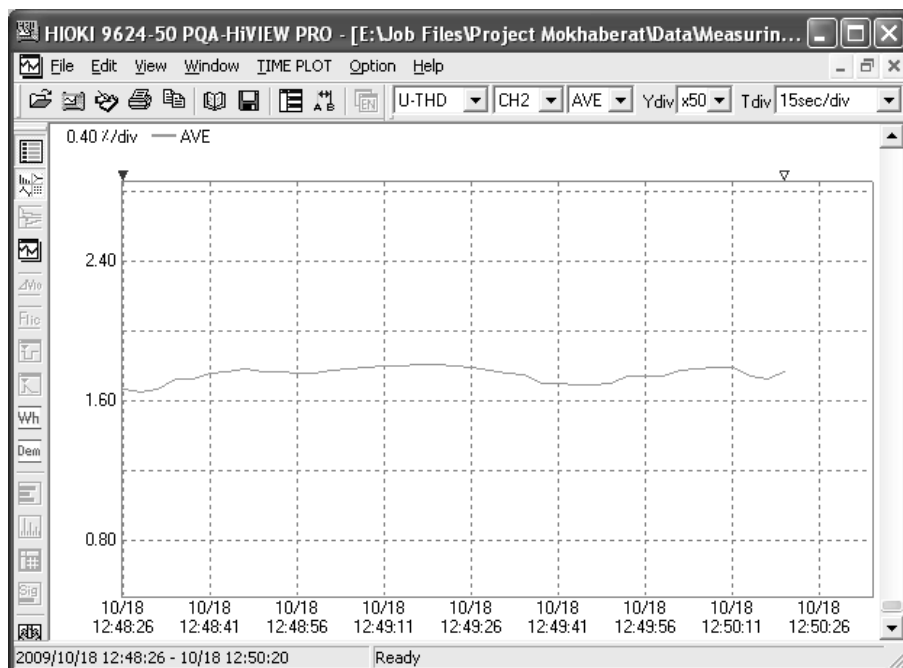


شکل ۴-۱ ضریب توان شبکه بعد از خازن‌گذاری (مرکز مخابرات قزوین)

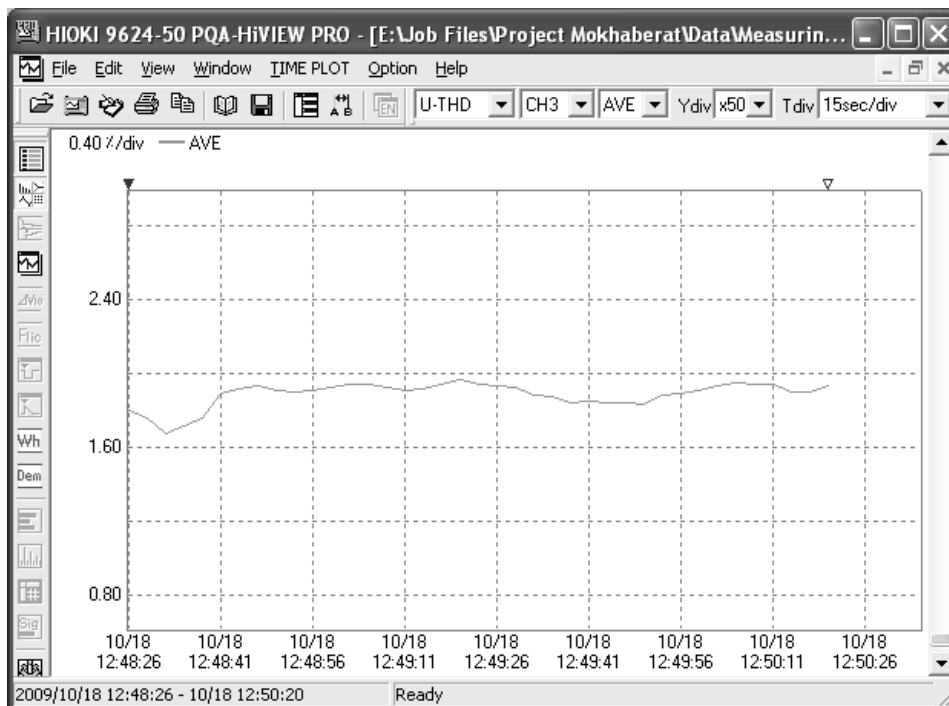
بانک خازنی نصب شده در این شبکه فاقد راکتور و یا فیلتر می‌باشد. با این وجود ظرفیت وارد شده به مدار، فرکانس رزونانس را به گونه‌ای تنظیم کرده است که هارمونیک‌های مهم و کلیدی چندان تقویت نمی‌شوند و به این ترتیب وضعیت هارمونیک‌های شبکه بدون نیاز به فیلتر، در وضع مطلوب کنترل شده است. شکل‌های زیر وضعیت THDهای ولتاژ و جریان را در این شبکه نشان می‌دهند.



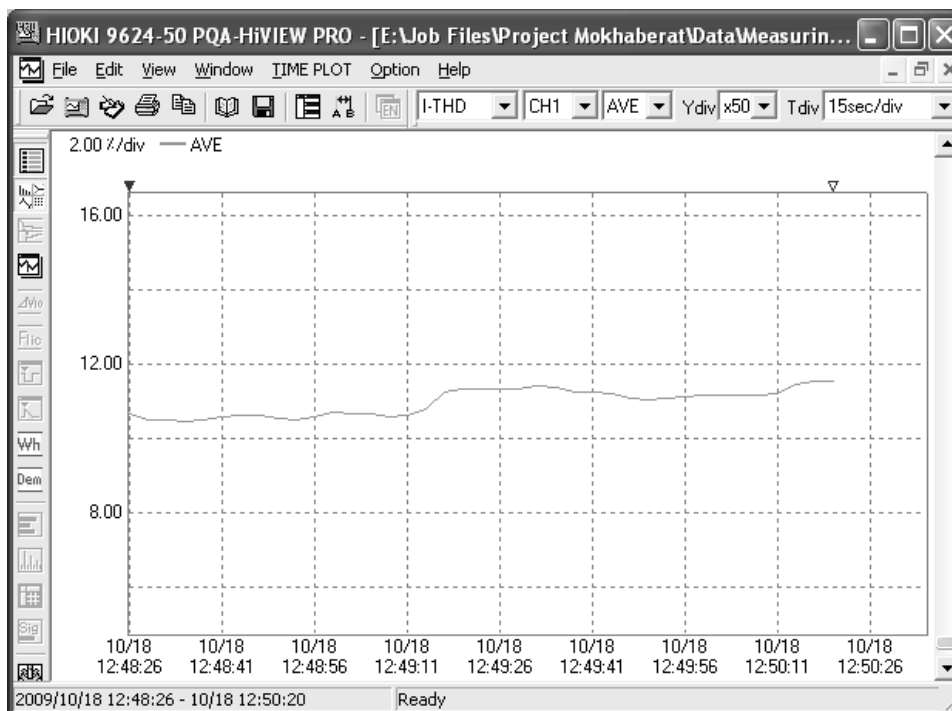
شکل ۵-۱ THD ولتاژ فاز R (مرکز مخابرات قزوین)



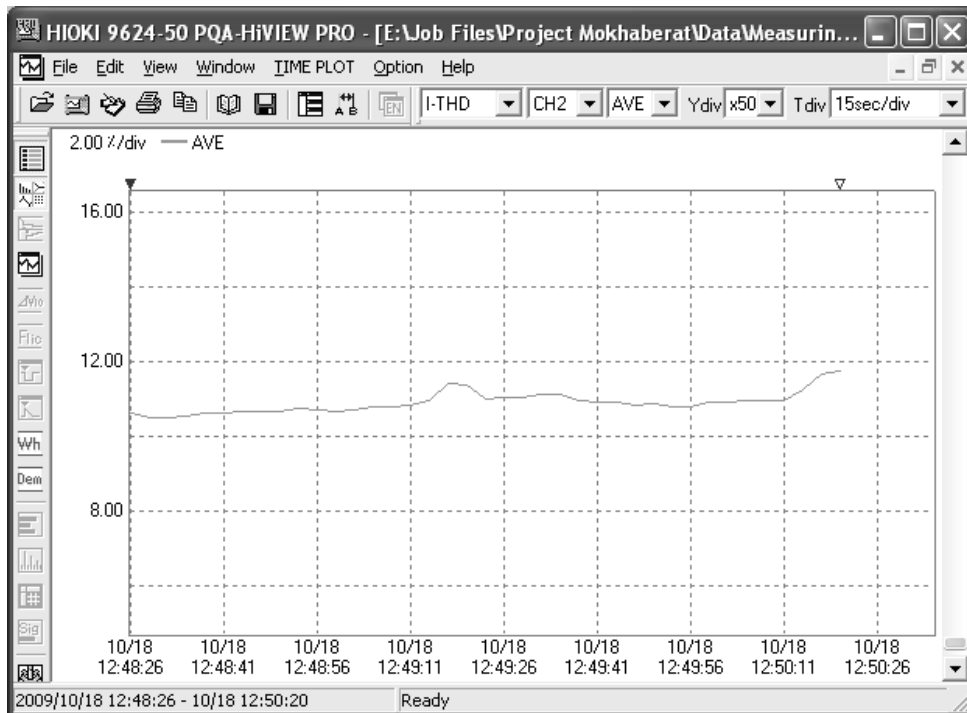
شکل ۶-۱ THD ولتاژ فاز S (مرکز مخابرات قزوین)



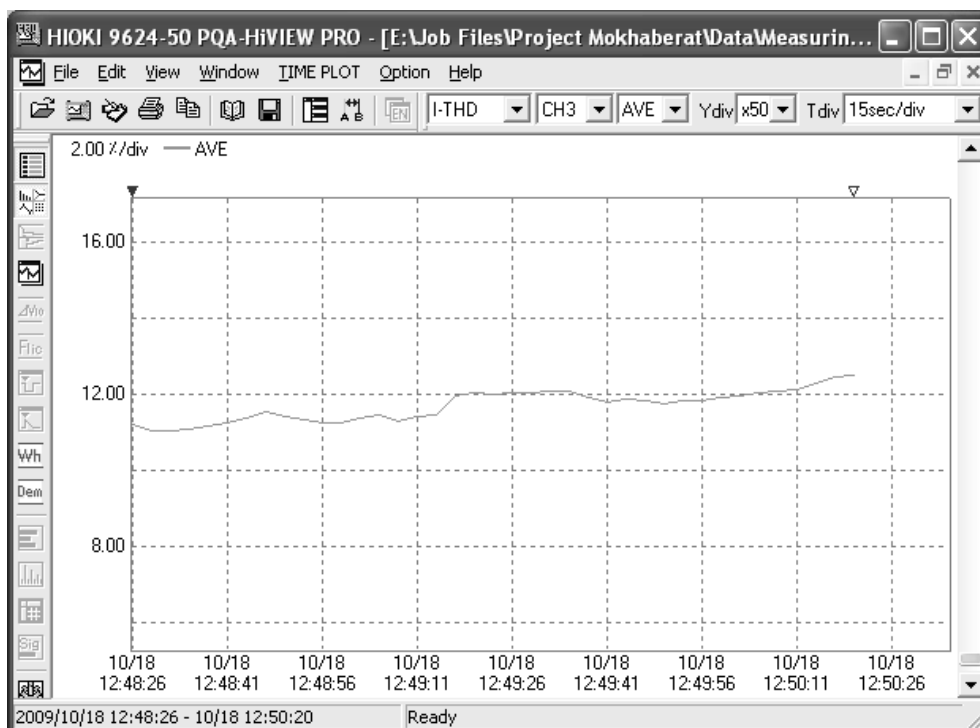
شکل ۷-۱ THD ولتاژ فاز T (مرکز مخابرات قزوین)



شکل ۸-۱ THD جریان فاز R (مرکز مخابرات قزوین)



شکل ۹-۱ THD جریان فاز S (مرکز مخابرات قزوین)



شکل ۱۰-۱ THD جریان فاز T (مرکز مخابرات قزوین)

بنابراین مشاهده می‌شود که در این شبکه بدون نیاز به فیلتر هارمونیک، جبران‌سازی به نحو مطلوب انجام شده و THD ولتاژ و جریان نیز در محدوده مجاز خود (۵ درصد و ۱۲ درصد) قرار دارند.

(۶-۱) تابع هدف پیشنهادی برای حل مسئله

۱-۶-۱) مقدمه

در این فصل نحوه تشکیل تابع هدف و پارامترهای آن شرح داده می‌شوند. تابع هدف از حاصل تفریق منافع و هزینه‌های خازن‌گذاری حاصل می‌شود. این منافع و هزینه‌ها تابعی از متغیرهایی هستند که متغیرهای تصمیم‌گیری نامیده می‌شوند و معمولاً در محدوده‌ای مشخص و از پیش تعیین شده قابل تغییر می‌باشند. با تغییر متغیرهای تصمیم‌گیری، سود نهایی در تابع هدف تغییر می‌کند. به این ترتیب می‌توان در محدوده تغییرات متغیرهای تصمیم‌گیری که فضای جستجو نامیده می‌شود، جستجو کرد و حالتی را که به ازاء آن سود نهایی بیشینه می‌شود، تعیین کرد.

در این پروژه، لازم است تابع هدف متناسب با خواسته‌ها و نیازها و بر اساس اطلاعات قابل دسترس تعیین و تشکیل شود. بنابراین در ادامه نحوه محاسبه منافع ناشی از خازن‌گذاری با توجه به مطالب فصل‌های قبل، توضیح داده می‌شود. سپس روش محاسبه هزینه‌های خازن‌گذاری توضیح داده می‌شود. در این پروژه اثر هارمونیک‌ها و اثر کلیدزنی در محاسبه هزینه‌های خازن در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین محاسبه هزینه‌های خازن با توجه به طول عمر که خود تابعی از هارمونیک‌ها و کلیدزنی است، صورت می‌گیرد. در آخر هزینه راکتور را نیز در نظر گرفته و به تابع هدف اعمال می‌کنیم.

قیدها و محدودیت‌ها بخش مهمی هستند که نتایج به دست آمده از تابع هدف را محدود می‌کنند. در این مساله محدودیت‌های هارمونیک‌کی مهم‌ترین قید به شمار می‌روند. انواع محدودیت‌های در نظر گرفته شده و نحوه اعمال آن‌ها نیز در این فصل شرح داده می‌شود و به این ترتیب تابع هدف پیشنهادی برای حل مسئله کامل می‌شود. در انتها بلوک دیاگرام محاسبه تابع هدف ارائه خواهد شد.

۱-۶-۲) محاسبه منافع ناشی از خازن‌گذاری

خازن‌گذاری در محل مصرف توان، موجب کاهش توان راکتیو دریافتی از شبکه و در نتیجه کاهش در هزینه‌های برق مشترک می‌گردد. بنابراین منافع خازن‌گذاری به میزان کاهش در هزینه‌های مشترک است.

در این پروژه ما با تغییرات بار روبرو هستیم، به این ترتیب که نحوه تغییرات بار به صورت یک الگوی مصرف در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته یا یک ماه در نظر گرفته می‌شود. این بازه زمانی را به چند زیر بازه زمانی می‌توان تقسیم کرد به طوری که در هر زیر بازه، میزان مصرف انرژی ثابت باشد. با جمع کردن مقدار مصرف انرژی اکتیو و راکتیو به صورت کیلووات ساعت و کیلووات ساعت، می‌توان ضریب توان متوسط مشترک را در طول یک دوره بر اساس رابطه (۱-۱) محاسبه کرد.

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{KVarh}{KWh}\right)^2}} \dots\dots\dots (1-1)$$

ضریب توان متوسط مشترک در یک دوره، می‌بایست قبل و بعد از خازن‌گذاری محاسبه شود. با توجه به میزان تغییرات این پارامتر، منافع خازن‌گذاری تعیین می‌شود. اگر متوسط ضریب توان بعد از خازن‌گذاری (که آن را با $\cos \varphi_N$ نشان می‌دهیم) بزرگتر از ۰/۹ باشد از رابطه (۲-۱) و اگر کوچکتر از ۰/۹ باشد از رابطه (۳-۱) منافع حاصله محاسبه خواهد شد.

$$B_P = \frac{0.9 - \cos \varphi}{\cos \varphi} \times (C_D + KWh \times C_P) \dots\dots\dots (2-1)$$

$$B_P = \left[\frac{0.9 - \cos \varphi}{\cos \varphi} - \frac{0.9 - \cos \varphi_N}{\cos \varphi_N} \right] \times (C_D + KWh \times C_P) \dots\dots\dots (3-1)$$

به دنبال خازن‌گذاری، انتظار می‌رود کیلووات ساعت مصرفی قبل و بعد از خازن‌گذاری متفاوت باشد. به این ترتیب ضریب توان متوسط و در نتیجه منافع خازن‌گذاری تابعی از ظرفیت خازن نصب شده خواهد بود. علاوه بر این باید توجه داشت که اگر طول عمر خازن n_C سال باشد، این منافع نیز به همین مدت ادامه خواهد داشت. بنابراین منافع حاصله از سویی تابع طول عمر خازن نیز خواهد بود.

۱-۶-۳ محاسبه هزینه‌های خازن‌گذاری

هزینه خازن‌گذاری شامل هزینه خرید، نصب، تعمیرات و نگهداری بانک‌های خازنی است. هزینه تعمیرات و نگهداری بانک‌های خازنی معمولاً به صورت ضریبی از بهای خازن در نظر گرفته می‌شود که از ابتدای سال دوم به صورت سالانه پرداخت می‌شود. اما برای تعیین سود سالانه لازم است هزینه اولیه خازن نیز به هزینه ثابت سالانه تبدیل شود. این کار به کمک فاکتورهای اقتصادی انجام می‌شود و به این ترتیب هزینه سالانه خازن‌گذاری از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌شود. باید توجه داشت که اگر طول عمر خازن n_C سال باشد، این هزینه سالانه نیز به مدت n_C سال ادامه خواهد داشت. بنابراین کل هزینه‌های خازن‌گذاری تابعی از طول عمر خازن خواهد بود.

$$C_C = \left[C_{lc} \frac{i(1+i)^{n_C}}{(1+i)^{n_C} - 1} + C_{RC} \right] \times Q_C \dots\dots\dots (4-1)$$

گفتنی است اگر از راکتور به صورت فیلتر برای محدود کردن هارمونیک‌ها استفاده شود نیز مجموع هزینه‌های خازن و راکتور به همان طریق و از رابطه (۴-۱) محاسبه خواهد شد.

تعیین طول عمر خازن با توجه به اثر هارمونیک‌ها

با توجه به تغییرات بارها در یک بازه زمانی مشخص، ابتدا این بازه زمانی را به چندین زیر بازه زمانی که در آن مصرف بارها ثابت باشد، تقسیم می‌کنیم. در هر یک از این زیر بازه‌ها وضعیت هارمونیک‌ها در محل نصب خازن بررسی می‌شود. با تعیین وضعیت هارمونیک‌ها بر اساس رابطه (۵-۱) طول عمر خازن تعیین می‌شود.

$$\theta = RLT \times \left(\frac{V_n}{V_{app}} \right)^{V_{scale}} \times 2^{\frac{RTemp - Temp}{10}} \dots\dots\dots (۵-۱)$$

رابطه (۵-۱) از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول تاثیر تنش‌های ولتاژ بر روی طول عمر خازن مدل می‌شود و در بخش دوم اثر تنش‌های دمایی اعمال می‌شود. تنش‌های ولتاژ ناشی از اعمال پیک ولتاژ روی کنتاکتورهای خازن هستند. این پیک ولتاژ در شرایط هارمونیک به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و از جمع جبری پیک ولتاژ مولفه‌های هارمونیک محاسبه می‌شود. بنابراین تاثیر هارمونیک‌های ولتاژ بر روی طول عمر خازن با این روش در نظر گرفته می‌شود.

از سوی دیگر وجود هارمونیک‌ها، تنش‌های دمایی را نیز تقویت می‌کند. دمای خازن با مقدار موثر جریان رابطه دارد. در واقع عبور جریان از مقاومت داخلی خازن موجب تولید گرما و به دنبال آن افزایش دمای خازن می‌شود. روابط زیر چگونگی ارتباط دما با جریان را نشان می‌دهند.

$$P = RI^2 \dots\dots\dots (۶-۱)$$

که در آن R مقاومت داخلی خازن و I جریان موثر خازن است. به این ترتیب توان P تلف شده در خازن به گرما تبدیل می‌شود و این گرما بر اساس رابطه (۷-۱) ارتباط مستقیم با دما خواهد داشت.

$$Q = mc\Delta T \dots\dots\dots (۷-۱)$$

که در آن Q گرمای تولیدی در خازن بر حسب ژول، m جرم بر حسب گرم، c ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب ژول بر گرم کلوین و ΔT تغییرات دمایی خازن است.

بنابراین ملاحظه می‌شود که مربع جریان موثر خازن، رابطه‌ای مستقیم با دما دارد. وجود هارمونیک‌های جریان مقدار موثر جریان را افزایش می‌دهند. بنابراین چنانچه دمای کاری خازن به ازاء جریان موثر نامی مشخص باشد، می‌توان با یک تناسب ساده دمای خازن در شرایط هارمونیک را نیز تعیین کرد. به این ترتیب اثر هارمونیک‌ها بر تنش‌های دمایی نیز در نظر گرفته می‌شود.

دمای کار خازن در جریان نامی، به ارتفاع خازن مورد نظر بستگی دارد. به طوری که با افزایش ارتفاع خازن، دمای کاری آن نیز افزایش خواهد یافت. دمای کاری خازن برای یک خازن فشارضعیف با ارتفاع ۱۰ سانتیمتر، در حدود ۵۰ درجه سانتیگراد است. برای اطلاعات بیشتر به مرجع [25] مراجعه کنید.

تعیین طول عمر خازن با توجه به اثر کلیدزنی

با توجه به متغیر بودن بارها، لازم است از خازن پله‌ای برای اصلاح ضریب توان استفاده کرد. به این ترتیب با تغییر تعداد پله‌های خازن می‌توان ظرفیت خازن را تغییر داد و میزان جبران‌سازی را با سطح مصرف توان هماهنگ کرد. کلیدزنی بانک خازنی دو پیامد به همراه دارد. از دید حالت گذرا موجب بروز گذراهای ولتاژ و جریان می‌شود. از دید حالت ماندگار نیز کلیدزنی موجب شارژ و دشارژ خازن و در نتیجه کاهش طول عمر آن می‌شود. بر اساس استاندارد IEC Std.831-1996 هر خازن می‌بایست بتواند در بدترین شرایط حداقل ۱۰۰۰ بار شارژ و دشارژ شود بدون اینکه تغییر محسوسی (حداکثر ۳ درصد) در ظرفیت خازن ایجاد شود. خازن‌های ساخته شده موجود در بازار نیز بر اساس جنس مواد سازنده و تکنولوژی ساخت، قابلیت تحمل تعداد مشخصی شارژ و دشارژ را خواهند داشت. به این ترتیب می‌توان چنین فرض کرد که بعد از انجام تعداد مشخصی کلیدزنی، خازن مورد نظر غیرقابل استفاده خواهد شد. حال سوال این است که این تعداد کلیدزنی را چگونه می‌توان به طول عمر خازن اعمال کرد؟!

برای این منظور فرض می‌کنیم طول عمر اولیه خازن L_0 ساعت باشد و تعداد کلیدزنی‌های مجاز S_w باشد. در این صورت به ازاء هر کلیدزنی به میزان $\frac{L_0}{S_w}$ از طول عمر خازن کم خواهد شد. می‌دانیم که بارها بر اساس نمودار مصرف در یک بازه زمانی مشخص تغییر می‌کنند. بنابراین تعداد دفعات کلیدزنی طی این بازه زمانی را نیز می‌توان محاسبه کرد. اگر طول این بازه زمانی D ساعت باشد و تعداد دفعات کلیدزنی در این مدت برابر با N_{sw} باشد، طول عمر خازن (L) به شکل زیر قابل محاسبه است:

$$L = L_0 - N_{sw} \left(\frac{L_0}{S_w} \right) \left(\frac{L}{D} \right)$$

که با ساده کردن آن، به رابطه (۸-۱) می‌رسیم.

$$L = \frac{L_0}{1 + \frac{N_{sw} \cdot L_0}{S_w \cdot D}} \quad \text{..... (۸-۱)}$$

۱-۶-۴) متغیرهای تصمیم‌گیری

برای حل این مسئله سه متغیر عمده را می‌توان در نظر گرفت. مهم‌ترین متغیر، ظرفیت خازن است که با تغییر آن، می‌توان از یک سو هزینه خازن را کنترل کرد و از سوی دیگر با جابجا کردن فرکانس تشدید، دامنه هارمونیک‌ها را تحت تاثیر قرار داد.

در این جا باید توجه کرد که منظور از ظرفیت خازن، ظرفیت کلی خازن نصب شده است. بدیهی است همزمان با تغییرات بار، بخشی از این ظرفیت وارد مدار یا از مدار خارج می‌شود.

متغیر دیگر، ولتاژ نامی خازن است. استفاده از خازن‌های با ولتاژ نامی بالاتر در شبکه‌های فشار ضعیف یکی از راه‌کارهای افزایش طول عمر خازن است. رابطه (۵-۱) به خوبی نشان می‌دهد که با استفاده از خازن‌های با ولتاژ نامی بالا، اثر افزایش ولتاژ بر طول عمر کاهش می‌یابد و در نتیجه طول عمر خازن بیشتر خواهد شد.

در صورتی که هارمونیک‌ها همچنان اثرات مخرب جدی بر روی طول عمر خازن داشته باشند و یا دامنه هارمونیک‌ها خارج از محدوده مجاز باشد، استفاده از فیلترها اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در این صورت تصمیم‌گیری در مورد انتخاب فیلتر و نیز فرکانس تنظیم آن، به عنوان یک متغیر تصمیم‌گیری دیگر می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

۱-۶-۵) قیدها و محدودیت‌ها

برای حل مساله قیدها و محدودیت‌های مختلفی را می‌توان در نظر گرفت که مهم‌ترین آن‌ها محدودیت هارمونیک‌های مجاز است. دامنه هارمونیک‌ها در محل اتصال پست برق به شبکه سراسری می‌بایست از مقدار مشخص شده در جداول استاندارد (ارائه شده در گزارش فاز یک) تجاوز نکند.

علاوه بر این بر اساس استاندارد IEC Std.831-1996، مقدار موثر ولتاژ روی خازن، باید کمتر از ۱۱۰ درصد مقدار نامی و پیک ولتاژ روی خازن باید کمتر از ۱۲۰ درصد پیک ولتاژ نامی خازن باشد. همچنین جریان موثر خازن نیز می‌بایست کوچکتر از ۱۸۰ درصد جریان موثر نامی باشد.

بنابراین مجموعه قیدها و محدودیت‌ها عبارتند از:

$$THD_V < THD_{V\ limit}$$

$$THD_I < THD_{I\ limit}$$

$$V_{rms} \leq 110\%V_{rms, rated}$$

$$V_{peak} \leq 120\%V_{peak, rated}$$

$$I_{rms} \leq 180\%I_{rms, rated}$$

۱-۶-۶) تابع هدف

برای مساله خازن‌گذاری بهینه توابع هدف مختلفی پیشنهاد شده است. در برخی از تحقیقات، تابع هدف در جهت بهینه‌سازی کمیت‌های الکتریکی تنظیم می‌شود در حالی که در برخی دیگر، کمیت‌های الکتریکی با در نظر گرفتن آثار اقتصادی بهینه سازی می‌شوند. در این پروژه نیز تابع هدف از کم کردن

هزینه‌های خازن‌گذاری از منافع آن، با در نظر گرفتن قیدها و محدودیت‌ها حاصل می‌شود. رابطه (۹-۱) نحوه محاسبه تابع هدف را نشان می‌دهد.

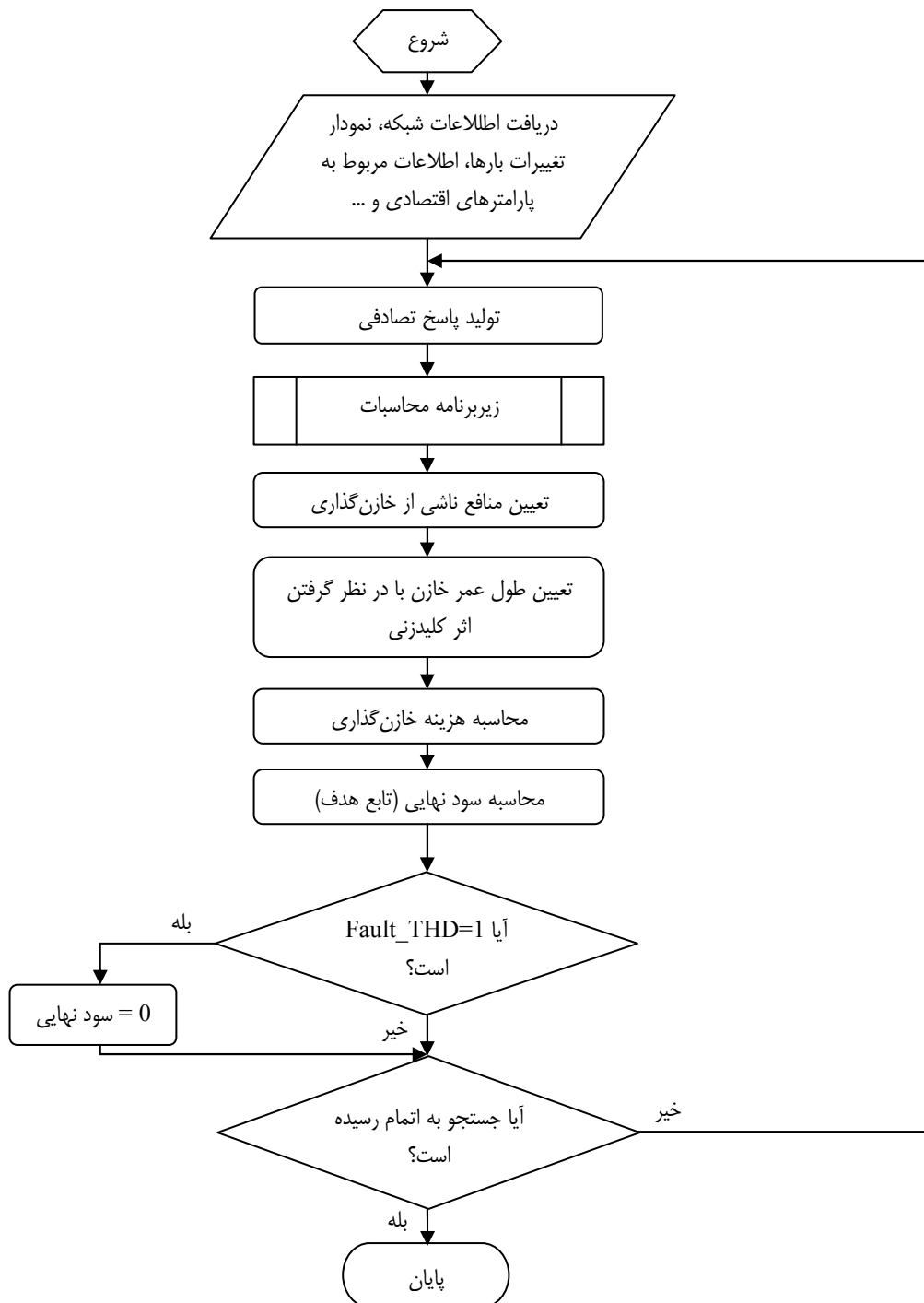
$$B_T = (B_p \times 12 - C_C) \cdot n_C \dots\dots\dots (9-1)$$

که کلیه پارامترها مشابه روابط ارائه شده در گزارش فاز یک تعریف می‌شوند. به این ترتیب B_p منافع ماهانه، $(B_p \times 12 - C_C)$ سود سالانه و B_T سود کل را محاسبه می‌کند.

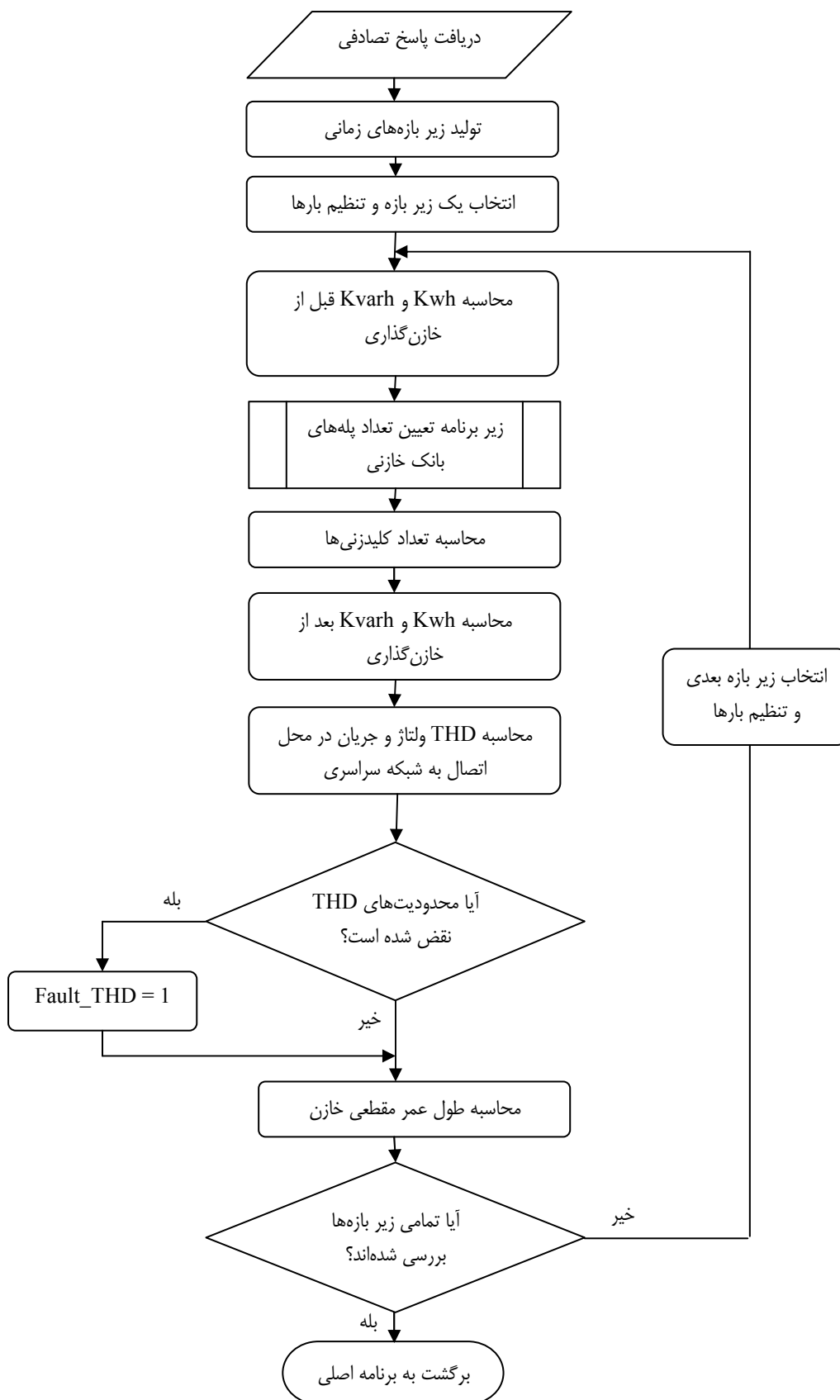
۷-۶-۱ الگوریتم حل مسئله

پس از مشخص شدن روابط محاسباتی، این سوال پیش می‌آید که با توجه به متغیر بودن بارها، چگونه این روابط را در جهت حل مسئله به کار بگیریم؟! متغیر بودن بارها موجب متغیر شدن امپدانس بار و در نتیجه متغیر شدن دامنه هارمونیک‌ها در شبکه می‌شود. بنابراین محاسبه طول عمر خازن با استفاده از رابطه (۵-۱) چندان آسان نخواهد بود. الگوریتم مورد استفاده برای حل این مسئله در

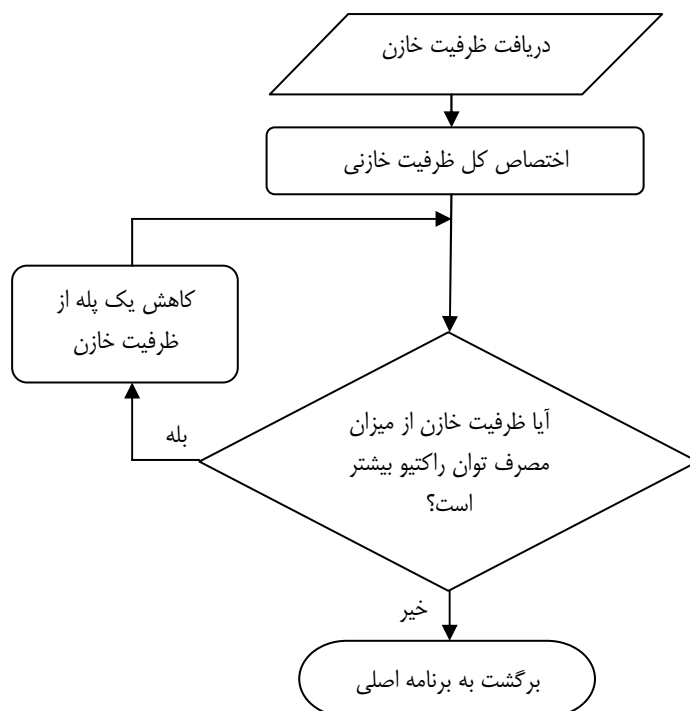
شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.



شکل 11-1 الگوریتم حل مسئله



شکل ۱۲-۱ زیر برنامه محاسبات



شکل ۱-۱۳ زیر برنامه تعیین تعداد پله‌های بانک خازنی

مسئله با دریافت اطلاعات اولیه مربوط به شبکه، تغییرات بارها، پارامترهای اقتصادی و ... آغاز می‌شود. سپس یک پاسخ تصادفی تولید می‌شود که مقداری را برای سه متغیر تصمیم‌گیری (ولتاژ نامی، ظرفیت خازن و نوع فیلتر) ارائه می‌کند. این پاسخ تصادفی به زیر برنامه محاسبات وارد می‌شود. در زیر برنامه محاسبات، بازه زمانی کلی به زیر بازه‌های زمانی که در آن‌ها بارها ثابت هستند، تقسیم می‌شود. سپس این زیر بازه‌ها یک به یک بررسی می‌شوند.

در هر زیر بازه کیلووات ساعت و کیلوواریت ساعت مصرفی شبکه قبل از خازن‌گذاری سنجیده می‌شود. سپس به کمک پله‌های خازنی، بخشی از ظرفیت خازن که حداکثر جبران‌سازی را فراهم کند، وارد مدار می‌شود. به این ترتیب با محاسبه تعداد کلیدهای تغییر وضعیت یافته، می‌توان تعداد کلیدزنی‌ها را تعیین کرد.

پس از وارد کردن پله‌های بانک خازنی به مدار، مقدار کیلووات ساعت و کیلوواریت ساعت مصرفی شبکه بعد از خازن‌گذاری سنجیده می‌شود. همچنین برقرار بودن قید THD ولتاژ و جریان در زیر بازه مورد نظر، کنترل می‌شود.

در اینجا برای حل مشکل محاسبه طول عمر خازن، از تکنیک محاسبه طول عمر مقطعی خازن استفاده می‌کنیم. اگر رابطه (۱-۵) را بر حسب طول عمر اولیه خازن بازنویسی کنیم داریم:

$$RTL = \theta \times \left[\left(\frac{V_n}{V_{app}} \right)^{V_{scale}} \times 2^{\frac{RTemp - Temp}{10}} \right]^{-1} \dots\dots\dots (10-1)$$

این رابطه نحوه ارتباط طول عمر نامی خازن با طول عمر واقعی را نشان می‌دهد. بر اساس این رابطه، بهره‌برداری از خازن به مدت θ ساعت، با شرایط ولتاژی و دمایی داده شده، معادل سپری شدن RTL ساعت از طول عمر نامی آن خواهد بود. بنابراین با استفاده از این روش، پس از بررسی کلیه زیر بازه‌ها، می‌توان مدت زمانی را که از طول عمر نامی خازن مصرف شده، محاسبه کرد.

با بازگشت به برنامه اصلی، منافع خازن‌گذاری بر اساس میزان اصلاح ضریب توان (که از تغییرات کیلووات ساعت و کیلووات مصرفی قبل و بعد از خازن‌گذاری به دست می‌آید) محاسبه می‌شود. هزینه‌های خازن‌گذاری نیز با توجه به طول عمر کلی خازن که از رابطه (1-11) محاسبه می‌شود، به دست می‌آید.

$$L = L_0 \frac{D}{L_D} \dots\dots\dots (11-1)$$

که در آن L و L_0 به ترتیب طول عمر واقعی و نامی خازن، D طول بازه زمانی کلی تغییرات بارها و L_D زمان سپری شده از طول عمر نامی خازن در مدت D است. به این ترتیب اگر D یک بازه ۲۴ ساعته باشد و در این مدت با توجه به شرایط بهره‌برداری $L_D = 48$ محاسبه شود، طول عمر واقعی خازن معادل نصف طول عمر نامی آن خواهد بود.

با داشتن منافع و هزینه‌های خازن‌گذاری، سود نهایی خازن‌گذاری با استفاده از رابطه (1-9) محاسبه می‌شود. اما چنان‌چه مشخص شود THD ولتاژ یا جریان در طول مدت بهره‌برداری نقض شده است، سود نهایی برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب ارزش اقتصادی هر پاسخ تصادفی تولید شده مشخص می‌شود.

جهت کنترل پاسخ‌های تصادفی تولید شده و یافتن پاسخ بهینه در فضای جستجو، از روش‌های جستجوی پیشرفته استفاده می‌کنیم. در فصل بعد نحوه مدل کردن و حل مسئله با کمک الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شود.

(۷-۱) روش جستجوی پاسخ بهینه به کمک
الگوریتم ژنتیک

۱-۷-۱) مقدمه

روش الگوریتم ژنتیک یک تکنیک بهینه‌سازی قدرتمند است که از پروسه ژنتیک طبیعی در بیولوژی الگو گرفته است. این تکنیک یک روش تصادفی است که به یافتن پاسخ بهینه عمومی در شرایطی که قیده‌های مسئله رعایت شده باشند، منجر می‌شود.

این روش می‌تواند به حل مسائل گسسته و غیرخطی بپردازد و نسبت به روش‌های گذشته دارای ویژگی‌های خاصی است. الگوریتم ژنتیک می‌تواند با کدهای متغیرها کار کند و برخلاف روش‌های قبلی، ضرورتی ندارد از مقادیر واقعی متغیرها استفاده شود. علاوه بر این الگوریتم ژنتیک مجموعه‌ای از نقاط را در قالب یک «جمعیت»^۱ به طور همزمان مورد جستجو قرار می‌دهد و این در حالی است که در روش‌های گذشته صرفاً یک نقطه در هر زمان مورد بررسی قرار می‌گرفت. همچنین الگوریتم ژنتیک با قوانین احتمال کار می‌کند در حالی که روش‌های تحلیلی یا روش‌های برنامه‌ریزی عددی از قوانین قطعی پیروی می‌کردند.

در این فصل ابتدا ایده اولیه شکل‌گیری الگوریتم‌های ژنتیک را بیان می‌کنیم و سپس چگونگی یافتن پاسخ بهینه به کمک الگوریتم‌های ژنتیک را شرح می‌دهیم. برای این منظور ابتدا نحوه مدل کردن مسئله را طرح کرده و سپس عملگرهای الگوریتم ژنتیک را معرفی می‌کنیم. کاوش در فضای جستجو به کمک عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک یعنی عملگر انتخاب، جهش و ادغام انجام می‌شود. پس از آشنایی با روش انجام جستجو توسط الگوریتم ژنتیک، در مورد سرعت، دقت و قابلیت اطمینان پاسخ‌های به دست آمده نکاتی را مطرح می‌کنیم. در قسمت پایانی این فصل، معیارهای پایان جستجو در الگوریتم‌های ژنتیک بیان می‌شوند. به این ترتیب طی این فصل، آشنایی کاملی با ویژگی‌ها و قابلیت‌های الگوریتم ژنتیک حاصل خواهد شد.

۱-۷-۲) ایده اولیه الگوریتم‌های ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم‌های تکاملی در سال ۱۹۶۰ توسط Rechenberg مطرح گردید. الگوریتم‌های ژنتیک که منشعب از این نوع الگوریتم‌هاست، در حقیقت روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم‌های بهینه‌سازی و بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌هاست که توسط پروفیسور Holland در دانشگاه میشیگان مطرح شد و پس از وی توسط جمعی از دانشجویانش مثل Goldberg و Ann Arbor توسعه یافت [9].

¹ Population

الگوریتم ژنتیک با الهام از تئوری داروین درباره حیات بهترین‌ها شکل گرفته است. به عبارت دیگر این روش بر اساس اصل «ادامه حیات بهترین‌ها» و «تکثیر نوع برتر» پی‌ریزی شده است.

در ابتدا الگوریتم با مجموعه‌ای از جواب‌های تصادفی کار را شروع می‌کند. به هر جواب یک کروموزوم^۱ گفته می‌شود و به مجموعه کروموزوم‌های تصادفی اولیه جمعیت^۲ گفته می‌شود. هر کروموزوم رشته‌ای از اعداد است حاوی اطلاعات کد شده متغیرهای تصمیم‌گیری است. در اغلب مسائل، برای یک جمعیت ۳۰ تا ۱۰۰ عضو در نظر گرفته می‌شود.

از جواب‌های تصادفی اولیه برای ساخت جمعیت جدید بعدی استفاده می‌شود. به جمعیت‌هایی که پس از محاسبه به دست می‌آیند، نسل^۳ گفته می‌شود. با توجه به روش‌هایی که برای انتخاب جمعیت‌های جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود جمعیت جدید بهتر از جمعیت قبلی باشد. در تولید جمعیت‌های جدید، بهترین‌ها شانس بیشتری برای تولید مثل خواهند داشت. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا شرایط پایان جستجو حاصل شود.

۱-۷-۳) نحوه مدل کردن مسئله

کد کردن متغیرهای تصمیم‌گیری

اولین گام در استفاده از الگوریتم ژنتیک، کد کردن متغیرهای تصمیم‌گیری و تبدیل آن‌ها به کروموزوم است. مقادیر موجود بر روی کروموزوم‌ها به تنهایی معنی خاصی ندارد، بلکه باید از حالت کد شده خارج شوند تا به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری دارای معنی و نتیجه باشند. فرآیند جستجو روی اطلاعات کد شده انجام می‌گیرد [10].

برای کد کردن متغیرها روش‌های مختلفی وجود دارد. متداول‌ترین روش کدینگ متغیرها روش باینری است. در این روش هر یک از متغیرها به صورت باینری در می‌آید و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها کروموزوم ایجاد می‌شود. به هر بیت از اطلاعات یک کروموزوم، ژن گفته می‌شود.

¹ Chromosome

² Population

³ Generation

روش دیگری که برای کدگذاری استفاده می‌شود روش جایگشتی است. این روش در حل مسائلی چون فروشنده دوره‌گرد^۱ کاربرد دارد. در این کدگذاری متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله تغییر نمی‌کنند، بلکه تفاوت در ترتیب آن‌ها و نحوه قرارگیری آن‌ها نسبت به یکدیگر است که حالت‌های جدیدی از پاسخ را تولید می‌کند. بنابراین در این روش به هر متغیر تصمیم‌گیری یک کد ثابت اختصاص داده می‌شود و با قرار گرفتن کدها در کنار یکدیگر، کروموزوم‌ها ساخته می‌شوند [9].

روش درختی نیز یکی از روش‌های خاص در ایجاد کروموزوم‌ها محسوب می‌شود. در این روش هر کروموزوم یک درخت از متغیرهای تصمیم‌گیری است. با تغییر موقعیت متغیرها، کروموزوم‌های جدید ساخته می‌شود. این روش کد کردن مشابه با روش جایگشتی است با این تفاوت که در روش جایگشتی، ایجاد کروموزوم‌های جدید تنها با تغییر عرضی موقعیت متغیرها حاصل می‌شود، اما در روش درختی هم تغییر موقعیت طولی و هم تغییر موقعیت عرضی می‌تواند موجب ایجاد کروموزوم‌های جدید گردد.

یکی دیگر از روش‌های متداول کد کردن، روش مقدار حقیقی است. در این روش مقدار حقیقی هر متغیر تصمیم‌گیری به عنوان کد آن متغیر در نظر گرفته می‌شود و با کنار هم قرار گرفتن این مقادیر، کروموزوم‌ها ساخته می‌شوند. نمایش ژن‌ها با اعداد حقیقی برای بدست آوردن امتیازاتی در بهینه‌سازی توابع عددی مطرح شد. این شیوه نمایش به دلیل آن‌که نیازی به خارج کردن از حالت کد شده ندارد و به حافظه کمتری نیاز دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شیوه چون تبدیل به باینری نداریم، از دقت مقادیر (ناشی از این تبدیل) کاسته نمی‌شود. امروزه استفاده از کدهای حقیقی رو به گسترش است. کدگذاری مقدار حقیقی و کدگذاری باینری از متداول‌ترین شیوه‌های کدگذاری برای حل مسائل خازن‌گذاری به شمار می‌روند.

شکل ۱-۱۴ یک نسل از کروموزوم‌ها که به صورت باینری کد شده‌اند را نشان می‌دهد.

Chromosome	Cost
00001011000111	-13482
00110010001100	-13477
00101000000001	-13171
00100111001000	-12716
11101100000001	-12588
00101111010000	-12415
11110111010010	-12146
00110111001000	-12103

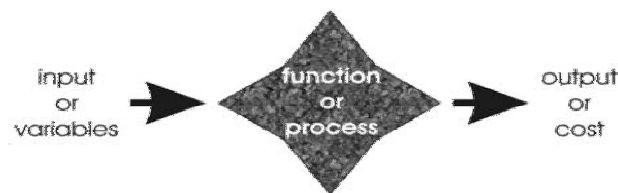
شکل ۱-۱۴ یک نسل از کروموزوم‌ها با کدهای باینری

¹ Traveling Salesman Problem

محاسبه برازندگی

هنگامی که تابع هدف برای استفاده در الگوریتم ژنتیک بازنویسی می‌شود، تابع برازندگی نامیده می‌شود. تابع برازندگی در اغلب مسائل همان تابع هدف است که بدون تغییر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از این که کروموزوم‌ها از حالت کدگذاری شده خارج شدند، به تابع برازندگی اعمال می‌شوند و میزان کارایی یا برازش هریک تعیین می‌شود. برازش مقیاسی نسبی است که شایستگی افراد (کروموزوم‌ها) را برای تولید نسل بعد نشان می‌دهد. در طبیعت، برازش معادل توانایی فرد برای بقا می‌باشد. هرچه برازش فرد نسبت به جمعیت بالاتر باشد، احتمال انتخاب آن بیشتر خواهد بود و هرچه برازش نسبی آن کمتر باشد احتمال انتخاب آن برای تولید نسل بعدی کمتر می‌شود [35].

عمل تکثیر در الگوریتم ژنتیک برای رد و بدل کردن اطلاعات ژنتیکی بین یک جفت به کار می‌رود. تکثیر به کمک عملگرهای الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود که این عملگرها در قسمت بعد توضیح داده خواهد شد. شکل ۱-۱۵ مدل مسئله را در فضای الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۵ مدل مسئله در فضای الگوریتم ژنتیک

در این مدل ساده، همان‌طور که شرح داده شد، متغیرهای کد شده تصمیم‌گیری به عنوان ورودی به تابع برازندگی اعمال می‌شوند و میزان برازش هر کروموزوم تعیین می‌شود.

۱-۷-۴) عملگرهای الگوریتم ژنتیک

عملگر انتخاب

الگوریتم ژنتیک سه عملگر اصلی دارد: عملگر انتخاب^۱، جهش^۲ و ادغام^۳. این عملگرها امکان تولید کروموزوم‌های جدید را به نحوی فراهم می‌کنند که جمعیت جدید برازش بهتری نسبت به جمعیت قبلی

¹ Selection

² Mutation

³ Cross Over

داشته باشد. بر اساس نظریه حیات بهترین‌ها، باید بهترین کروموزوم‌ها در هر نسل برای ترکیب و ساختن نسل جدید انتخاب شوند تا بدین ترتیب نسل بهتری تولید شود.

هدف اصلی عملگر انتخاب، انتخاب رشته‌هایی با میانگین بالا از جمعیت فعلی و تولید کپی‌های چندگانه از آن‌ها و قرار دادن آن‌ها در یک مکان به نام استخر تولید مثل^۱ بر اساس یک فرم احتمالی است. برای این کار روش‌ها مختلفی وجود دارد. یکی از روش‌های متداول، روش چرخ رولت^۲ است. در این روش کروموزوم‌های یک نسل بسته به میزان برازش‌شان، از یک احتمال نسبی برای حضور در استخر برخوردار خواهند بود. احتمال شرکت هر کروموزوم در فرآیند تولید مثل از رابطه (۱۲-۱) محاسبه می‌شود.

$$p_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \dots\dots\dots (12-1)$$

که در این رابطه F_i مقدار برازش هر کروموزوم است. به این ترتیب مجموع احتمالات کروموزوم‌های یک نسل برابر با یک خواهد بود. یکی از اشکالاتی که به روش چرخ رولت وارد شده است این است که در این روش برازش هر کروموزوم در محاسبه احتمال آن تاثیر مستقیم دارد. بنابراین اگر در یک نسل، یک کروموزوم دارای برازشی بسیار عالی باشد، احتمال شرکت آن در استخر تولید مثل به عدد ۱ نزدیک می‌شود و احتمال شرکت سایر کروموزوم‌ها به صفر می‌رسد.

برای رفع این مشکل، روش رتبه‌بندی^۳ معرفی شده است. در روش رتبه‌بندی ابتدا کروموزوم‌ها را بر اساس برازش‌شان رتبه‌بندی کرده و سپس بر مبنای احتمال نسبی رتبه هر کروموزوم، شانس آن برای حضور در استخر تولید مثل تعیین می‌شود. به این ترتیب مقدار برازش هر کروموزوم نقش مستقیم در تعیین احتمال حضور آن نخواهد داشت. اشکال این روش نیز کند شدن سرعت همگرایی است زیرا بهترین کروموزوم‌ها تفاوت چشمگیری با کروموزوم‌های بد نخواهند داشت و این موجب کند شدن سرعت همگرایی به پاسخ بهینه می‌شود.

¹ Mating Pool

² Roulette Wheel

³ Rank

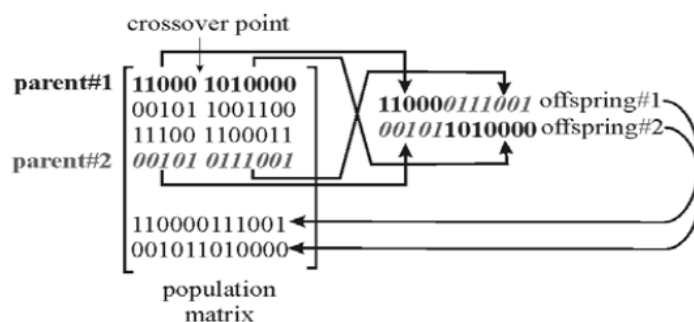
روش دیگری که برای عملگر انتخاب معرفی شده است روش رقابت^۱ است. در روش رقابت که شبیه به رقابت در طبیعت است، یک زیرمجموعه کوچک از کروموزوم‌ها (معمولا دو یا سه کروموزوم) به طور تصادفی انتخاب می‌شوند و با هم بر اساس برآزش‌شان به رقابت می‌پردازند. کروموزومی که برآزش بهتری داشته باشد برنده خواهد شد و در استخر تولید مثل کپی خواهد شد. به این ترتیبی کروموزومی که در یک نسل دارای برآزش بهتری است، از شانس بیشتری برای برنده شدن و حضور در استخر تولید مثل برخوردار خواهد بود. روش رقابت دارای سرعت همگرایی بالا و کارایی مناسب است و به همین دلیل در جمعیت‌های بسیار بزرگ به عنوان بهترین روش شناخته می‌شود [9].

مفهوم مهم دیگری که در ارتباط با عملگر انتخاب مطرح می‌شود مفهوم نخبه‌گرایی^۲ است. بر اساس این مفهوم، بهترین کروموزوم‌ها مستقیما در جمعیت جدید کپی می‌شوند. این روش باعث افزایش چشمگیر کارایی الگوریتم ژنتیک می‌شود زیرا مانع از گم شدن جواب‌های خوب به دست آمده می‌شود.

عملگر ادغام

عملگر ادغام اولین عملگری است که بر روی کروموزوم‌های انتخاب شده در استخر تولید مثل عمل می‌کند. این عملگر با هدف تولید رشته‌های بهتر تنظیم و روی استخر تولید مثل اعمال می‌شود.

عملگر ادغام یک عملگر ترکیبی است که سه عمل را به طور همزمان انجام می‌دهد. ابتدا یک جفت رشته را به طور تصادفی انتخاب می‌کند و سپس در مرحله دوم یک محل را به طور تصادفی انتخاب می‌کند و سرانجام در مرحله سوم، اطلاعات دو رشته را با توجه به محل ادغام جابه‌جا می‌کند. شکل ۱۶-۱ چگونگی عملکرد عملگر ادغام را روی کروموزوم‌های یک نسل نشان می‌دهد.



شکل ۱۶-۱ اجرای عملگر ادغام روی کروموزوم‌های یک نسل

¹ Tournament

² Elitism

این روش را که در آن تنها یک نقطه به عنوان محل ادغام انتخاب می‌شود، روش ادغام تک مکانی^۱ می‌نامند. روش‌های دیگری برای ادغام نیز وجود دارند که به ادغام دو نقطه‌ای و چند نقطه‌ای موسوم‌اند. همان‌طور که از نام آن‌ها برمی‌آید، در این روش‌ها محل ادغام دو یا چند نقطه است که به طور تصادفی انتخاب می‌شوند.

در ارتباط با عملگر ادغام، مفهوم مهمی به نام نرخ ادغام^۲ مطرح می‌شود. نرخ ادغام بیانگر احتمال ادغام است که آن را با P_C نشان می‌دهند و مقداری بین ۰ تا ۱ دارد. این نرخ، بیانگر نسبت کروموزوم‌های ادغام شده به کل کروموزوم‌ها در یک نسل است. هرچه این نرخ بیشتر باشد، به این معنی است که کروموزوم‌های بیشتری در فرآیند ادغام شرکت کرده‌اند. نرخ ادغام بسته به بزرگی جمعیت، مقداری بین ۰/۵ تا ۱ خواهد داشت [9].

عملگر جهش

عملگر جهش روی یک بیت عمل می‌کند و یک صفر را به یک (یا برعکس) تبدیل می‌کند. این عملگر به هر بیت یک عدد تصادفی بین صفر و یک اختصاص می‌دهد. اگر عدد مذکور از نرخ جهش^۳ کوچکتر باشد، خروجی برابر «درست»^۴ و اگر بزرگتر از نرخ جهش باشد خروجی برابر «غلط»^۵ خواهد بود. اگر به یک بیت گزاره درست اختصاص داده شده باشد، اطلاعات آن بیت تغییر می‌کند (جهش می‌کند) و اگر گزاره مربوطه غلط باشد، آن بیت بدون تغییر می‌ماند. مقدار نرخ جهش معمولاً عدد کوچکی است که بسته به بزرگی جمعیت، مقداری بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۵ را به آن اختصاص می‌دهند [9].

عملگر جهش روی بیت‌های یک رشته به طور مستقل عمل می‌کند. به این معنی که احتمال جهش یک بیت روی احتمال جهش بیت مجاور اثر نمی‌گذارد. این عمل در یک الگوریتم ژنتیک ساده به عنوان یک عملگر ثانویه برای حفظ اطلاعاتی که در حال از دست رفتن است، تلقی می‌شود. برای مثال اگر تمام رشته‌های یک جمعیت دارای بیت‌های صفر باشند و پاسخ بهینه نیاز به یک عدد ۱ داشته باشد، عملگر ادغام قادر نخواهد بود بیت مورد نظر را ایجاد کند. این موضوع به منزله این است که پاسخ بهینه از فضای جستجو حذف شده باشد و دیده نشود. به این ترتیب عملگر جهش این امکان را فراهم می‌کند که رشته

¹ Single Point

² Cross Over Rate

³ Mutation Rate

⁴ True

⁵ False

مورد نظر ساخته شود و اطلاعات حذف شده احیا گردند. این عملگر در جلوگیری از همگرایی سریع و کمک به الگوریتم جستجو برای فرار از به دام افتادن در مینی‌موم‌های موضعی بسیار موثر است. شکل ۱۷-۱ نحوه انجام جهش روی رشته‌های یک نسل را نشان می‌دهد [35].

Population after Mating	Population after Mutations	New Cost
00110010001100	00110010001100	-13477
11101100000001	11101100000001	-12588
00101111001000	00101111010000	-12415
00101111000110	00001011000111	-13482
00101100000001	00101000000001	-13171
11101111001000	111101111010010	-12146
00101111000110	00100111001000	-12716
00101111001000	00110111001000	-12103

شکل ۱۷-۱ اجرای عملگر جهش روی کروموزوم‌های یک نسل

۱-۷-۵) معیارهای پایان جستجو

سوال مهمی که مطرح می‌شود این است که چه زمانی الگوریتم ژنتیک متوقف خواهد شد و چه معیارهایی برای پایان جستجو وجود دارد؟! باید اذعان کرد که هیچ جواب جامع و مناسبی به این سوال وجود ندارد. در تحقیقات مختلف روش‌ها و معیارهای متفاوتی را برای پایان جستجوی الگوریتم ژنتیک در نظر می‌گیرند. برخی از معیارهای متداول عبارتند از:

✓ رسیدن به مقدار مطلوب: در این حالت یک مقدار مطلوب به عنوان هدف نهایی در نظر گرفته می‌شود و زمانی که الگوریتم ژنتیک پاسخی بهتر از این مقدار را تولید نماید، جستجو پایان خواهد یافت.

✓ عدم پیشرفت: این حالت زمانی رخ می‌دهد که الگوریتم ژنتیک پس از k بار تکرار، با همان کروموزوم‌های قبلی ادامه پیدا کند. این معیار الگوریتم ژنتیک را فارغ از اینکه به جواب بهینه رسیده باشد یا در یک مینی‌موم موضعی گرفتار شده باشد، متوقف خواهد کرد.

✓ محدود کردن تعداد نسل‌ها: در این روش، تعداد نسل‌های مشخصی در نظر گرفته می‌شود و بعد از این که الگوریتم ژنتیک تا این تعداد پیش رفت، جستجو متوقف می‌شود.

۱-۷-۶) ارزیابی نتایج

یکی از مسائلی که در استفاده از الگوریتم ژنتیک ذهن طراحان را به خود مشغول می‌کند، کیفیت همگرایی الگوریتم ژنتیک است. کیفیت همگرایی الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که به پاسخ‌های به دست آمده تا چه حد می‌توان اطمینان داشت و این پاسخ‌ها چقدر به نقطه بهینه نزدیک هستند.

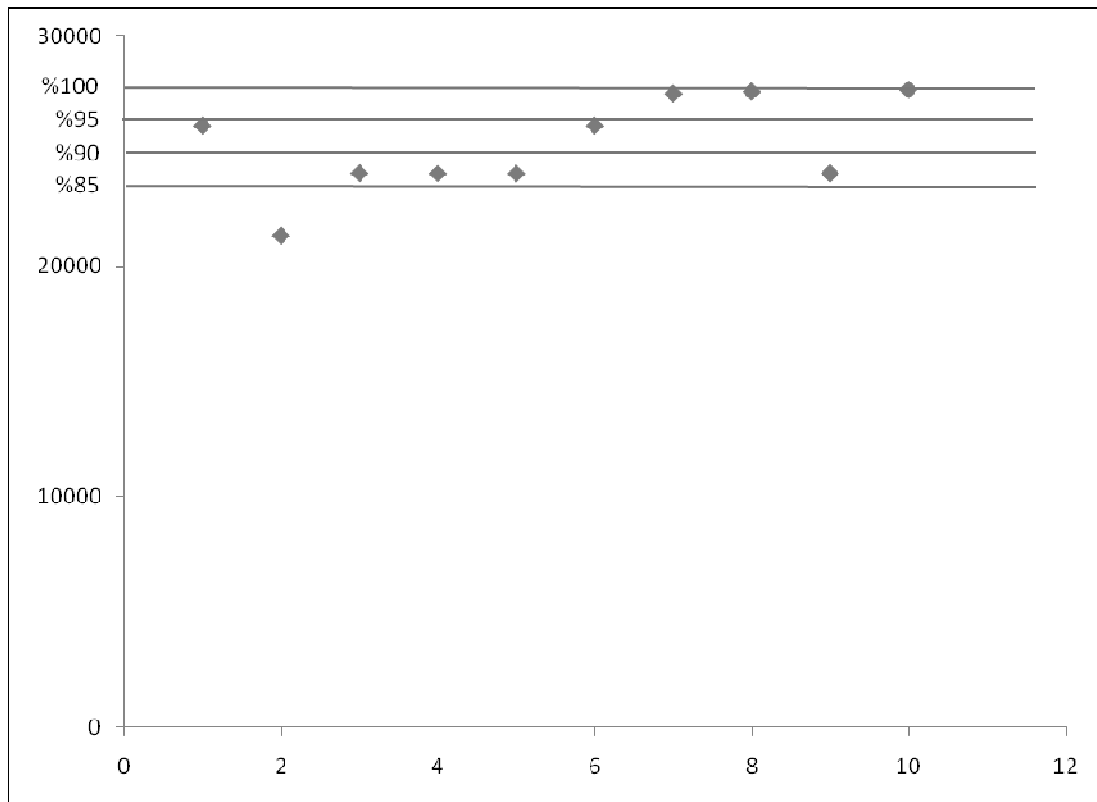
در روش‌های جستجوی پیشرفته، با یک فضای جستجوی بسیار بزرگ روبرو هستیم. به کمک این روش‌ها، می‌توان نقطه بهینه را بدون بررسی تک تک نقاط و تنها با بررسی تعدادی از نقاط فضای جستجو به دست آورد. در واقع این یک امتیاز ویژه روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی است که صرفه‌جویی در زمان و حافظه کامپیوتر را به دنبال دارد. بنابراین برای دستیابی به این هدف سه شرط اساسی لازم خواهد بود:

- (۱) نقاطی که در همسایگی یک نقطه با برازندگی پایین قرار دارند، با گام‌های بزرگ پیموده شوند.
- (۲) نقاطی که در همسایگی یک نقطه با برازندگی بالا قرار دارند، با گام‌های کوچک پیموده شوند (به منظور یافتن دقیق‌تر نقطه بهینه).
- (۳) در اکسترم‌های محلی گرفتار نشده و بتوان نقطه بهینه نهایی را پیدا کرد.

به کمک عملگرهای الگوریتم ژنتیک و تنظیم مقدار آن‌ها می‌توان به این شرایط نزدیک‌تر شد. به عنوان مثال با تعیین یک روش انتخاب مناسب می‌توان پاسخ‌های بهتر را انتخاب و پاسخ‌های نامناسب را حذف کرد. به این ترتیب جستجوهای بعدی در اطراف پاسخ‌های بهتر انجام می‌شود و شرایط ۱ و ۲ محقق می‌گردد. به کمک نرخ جهش نیز می‌توان از گرفتار شدن در اکسترم‌های محلی رهایی یافت. اما در همین حال، نرخ جهش بالا موجب می‌شود پاسخ‌های پیشنهادی جدید از پاسخ‌های قبلی به کلی متفاوت باشند و این شرط ۲ را دچار اشکال می‌کند.

پس از تعیین عملگرها، لازم است بدانیم چقدر به شرایط فوق نزدیک شده‌ایم. به عبارت دیگر، برای ارزیابی کیفیت همگرایی الگوریتم ژنتیک باید مشخص کنیم پاسخ‌های به دست آمده با چه احتمالی و در چه فاصله‌ای نسبت به نقطه بهینه قرار دارند.

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو مبتنی بر احتمالات است. بنابراین برای محاسبه دقیق‌تر احتمال یافتن پاسخ صحیح، لازم است تعداد آزمایش‌های انجام شده را بالا ببریم. آزمایش پرتاب سکه را در نظر بگیرید. بعد از ۴ بار پرتاب سکه، احتمال رو شدن، لزوماً ۵۰٪ نخواهد بود. در این حالت، احتمال رو شدن، می‌تواند با خطایی ۲۵ درصدی یا بیشتر همراه باشد. اما اگر آزمایش پرتاب سکه ۱۰۰ بار انجام شود، آنگاه به طور دقیق‌تری به احتمال ۵۰٪ نزدیک خواهیم شد. در این‌جا نیز با افزایش تعداد دفعات اجرای الگوریتم ژنتیک، می‌توان احتمال یافتن پاسخ بهینه را محاسبه کرد. هرچه تعداد دفعات اجرا بیشتر باشد، احتمال محاسبه شده دقیق‌تر خواهد بود. خروجی‌های الگوریتم ژنتیک نوشته شده برای این پروژه، طی ۱۰ بار اجرا، در شکل ۱-۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۸ پاسخ‌های الگوریتم ژنتیک طی ۱۰ بار اجرا

این شکل نشان می‌دهد که اگر بهترین پاسخ به دست آمده به عنوان نقطه بهینه در نظر گرفته شود، ۳۰٪ از پاسخ‌ها در محدوده ۵ درصدی (تولانس ۰/۵) از پاسخ بهینه قرار دارند و ۹۰٪ از پاسخ‌ها در محدوده ۱۵ درصدی (تولانس ۰/۱۵) از پاسخ بهینه قرار خواهند داشت. به عبارت دیگر احتمال رسیدن به پاسخ بهینه با تولانس ۰/۵ برابر با ۰/۳ و احتمال رسیدن به پاسخ بهینه با تولانس ۰/۱۵ برابر با ۰/۹ خواهد بود.

همان‌طور که گفته شد با افزایش تعداد آزمایش‌ها می‌توان احتمال‌های محاسبه شده را دقیق‌تر بیان کرد. محاسبه احتمال همگرایی می‌تواند ملاک مناسبی برای تنظیم عملگرهای الگوریتم ژنتیک باشد.

۸-۱) بررسی نتایج اجرای نرم افزار بر روی مرکز
مخابرات اراک

۱-۸-۱) مقدمه

به کمک روش‌های جستجوی پیشرفته همچون الگوریتم ژنتیک می‌توان خازن بهینه را به نحوی تعیین کرد که اثر هارمونیک‌ها بر طول عمر خازن بر آن دیده شود. در این فصل ابتدا اطلاعات پست برق مرکز مخابرات اراک و نحوه تغییرات بار آن را بررسی می‌کنیم.

در روش‌های معمول برای محاسبه خازن اصلاح ضریب توان، متوسط توان راکتیو بار مصرفی در نظر گرفته می‌شود و خازن جبران‌ساز به گونه‌ای طراحی می‌شود که این متوسط توان مصرفی را جبران نماید. در این روش معمولاً از تغییرات بارها چشم‌پوشی شده و یک خازن ثابت به طور دائم در شبکه قرار می‌گیرد. به منظور شناخت بهتر این روش ابتدا یک بانک خازنی ثابت را طراحی کرده و نحوه جبران‌سازی بار را با در نظر گرفتن تغییرات بارها نشان خواهیم داد. همچنین چگونگی تغییرات هارمونیک‌های شبکه در طی زمان را بررسی خواهیم کرد.

طبق روش پیشنهادی در این پروژه، با توجه به هارمونیکی بودن ولتاژها و جریان‌ها، خازن بهینه با در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها بر طول عمر خازن انتخاب می‌شود. همچنین از آن‌جا که با تغییرات بارها در شبکه مواجه هستیم، خازن پیشنهادی به صورت یک خازن پله‌ای در نظر گرفته می‌شود که با تغییرات بار، ظرفیت آن نیز تغییر می‌کند. این تغییر پله‌های بانک خازنی موجب فرسوده شدن و کاهش طول عمر بانک خازنی می‌شود. تاثیر این عامل نیز به کمک روابط مورد اشاره در بخش (۱-۶) در نظر گرفته می‌شود.

در این فصل به کمک مقادیر عددی نحوه اثرگذاری دو عامل مذکور (یعنی سوئیچینگ و هارمونیک‌ها) بر تعیین خازن بهینه بررسی می‌شود. برای این منظور ابتدا خازن بهینه را بدون در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ و تنها با اعمال اثر هارمونیک‌ها محاسبه می‌کنیم. سپس با نشان دادن تعداد کلیدزنی‌ها نشان می‌دهیم در نظر نگرفتن اثر کلیدزنی چگونه موجب افزایش تعداد کلیدزنی‌ها و خطا در تعیین خازن بهینه خواهد شد.

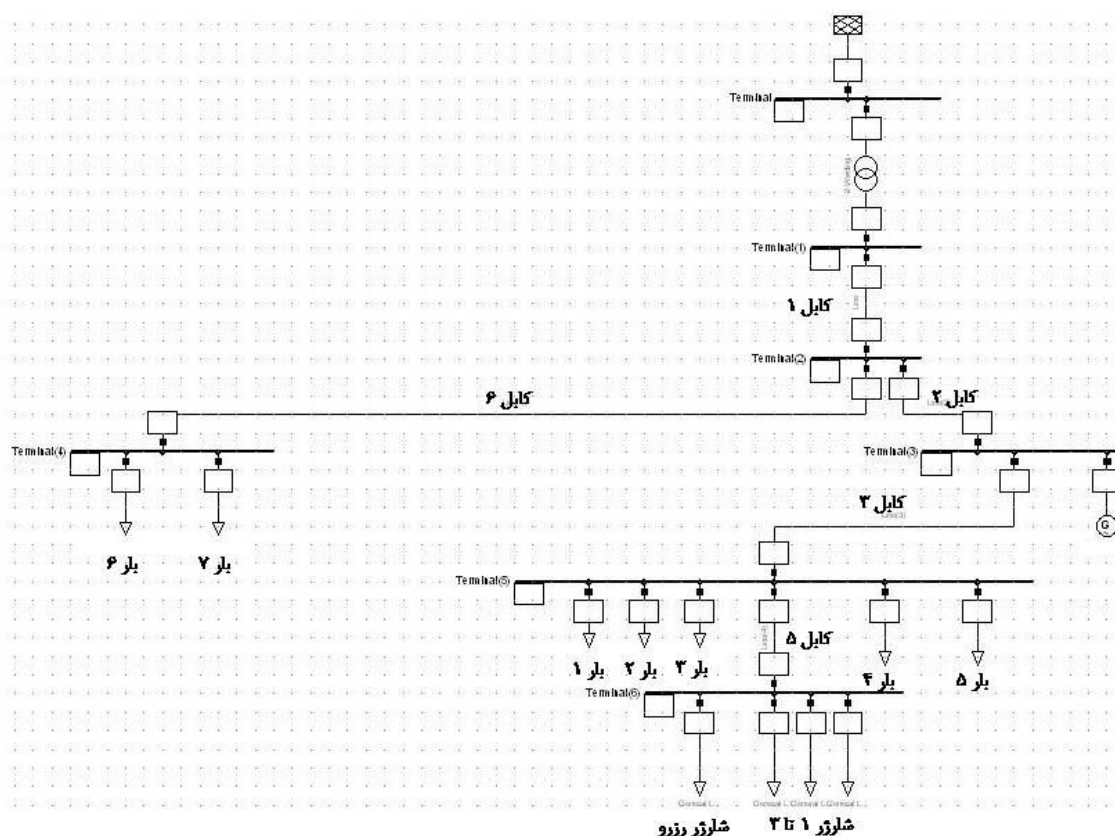
در ادامه، خازن بهینه را بدون در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها و تنها با اعمال اثر سوئیچینگ محاسبه می‌کنیم. به این ترتیب انتظار می‌رود پاسخ بهینه به گونه‌ای باشد که تعداد کلیدزنی‌ها در آن محدود شده باشد اما دامنه هارمونیک‌ها کنترل نشده باشند. البته در این بررسی محدودیت‌های THD ولتاژ و جریان در نظر گرفته خواهند شد. بنابراین نتایج شبیه‌سازی نشان خواهند داد که آیا در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها بر طول عمر خازن تاثیری بر تعیین خازن بهینه خواهد داشت؟! و میزان این تاثیر تا چه حد خواهد بود!؟

سپس در بخش آخر، خازن بهینه با در نظر گرفتن هر دو عامل هارمونیک و سوئیچینگ محاسبه می‌شود. مقایسه نتایج به دست آمده در این بخش با شبیه‌سازی‌های قبل، تاثیر تعیین خازن بهینه به کمک روش پیشنهادی در این پروژه را نشان خواهد داد.

۱-۸-۲) اطلاعات پست برق مرکز مخابرات اراک

دیاگرام تک خطی شبکه

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از پست برق شرکت مخابرات استان مرکزی، نمودار تک خطی این شبکه تهیه شده است. این نمودار در شکل ۱-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۹ نمودار تک خطی پست برق مرکز مخابرات اراک

اطلاعات بارها

بار ۱: این بار در واقع یک پکیج مایکروویو است که توسط کابل AC $3 \times 70 + 25$ به طول ۲۵ متر تغذیه می‌شود. حفاظت این بار توسط کلید فیوز ۱۶۰ آمپری پیچاز انجام می‌شود. توان مصرفی این بار در ساعات میانی روز ۱/۵ کیلووات با ضریب توان ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

بار ۲: این بار، دو واحد شارژر مشابه ۲۴ ولتی را تغذیه می‌کند. تغذیه این شارژرها به کمک کابل ۳×۵۰+۲۵ به طول ۱۸ متر که با کلید فیوز ۱۶۰ آمپری پیچاز محافظت شده، انجام می‌شود. توان مصرفی این بار در ساعات میانی روز ۲/۴ کیلووات با ضریب توان ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

بار ۳: این بار پکیج مایکروویو دیگری را شامل می‌شود که توسط کابل ۳×۵۰+۲۵ به طول ۱۹ متر تغذیه می‌شود و با کلید فیوز ۲۵۰ آمپری پیچاز محافظت می‌شود. توان مصرفی این بار در ساعات میانی روز ۶/۵ کیلووات با ضریب توان ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

بار ۴: این بار، شارژر تالیا را توسط کابل ۴×۱۶ به طول ۱۶ متر تغذیه می‌کند. توان مصرفی این بار در ساعات میانی روز ۱ کیلووات با ضریب توان ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

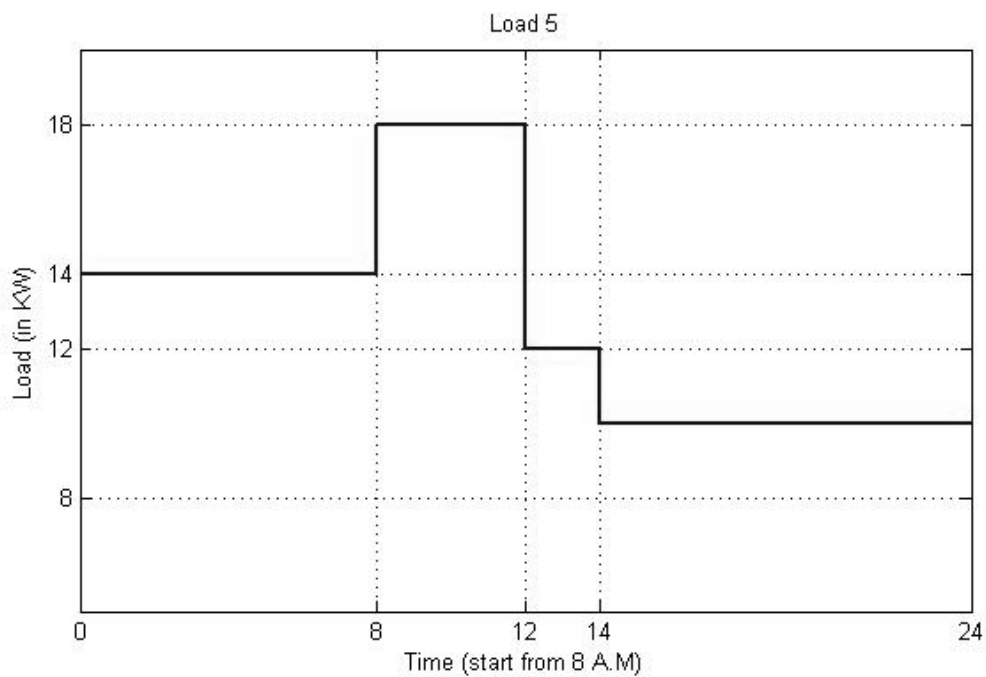
بار ۵: بخشی از مصارف روشنایی و سایر مصارف داخلی که از اهمیت بالاتری برخوردار هستند، از این قسمت تغذیه می‌شوند. این بار در ساعات میانی روزهای کاری ۴ کیلووات با ضریب توان ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

بار ۶: بار چیلر با عنوان بار ۶ در شبکه نشان داده شده است. این بار به کمک یک کابل ۳×۵۰+۲۵ به طول ۱۵ متر تغذیه می‌شود. مقدار توان مصرفی این بار نیز به طور متوسط ۸ کیلووات با ضریب توان ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

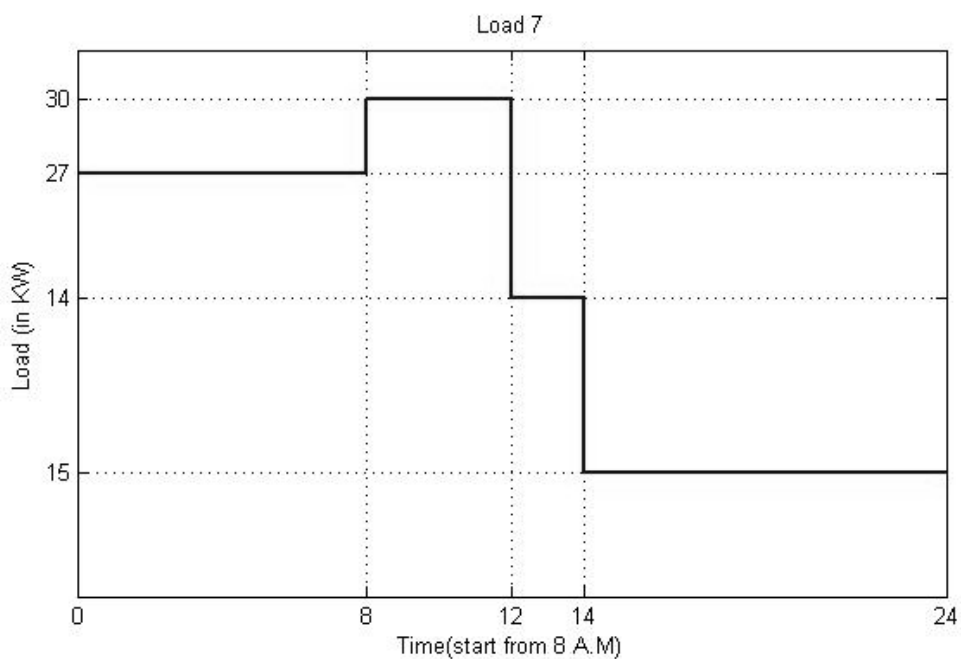
بار ۷: این بار، مصارف عمومی مانند روشنایی، پریزها و ... را شامل می‌شود و توان مصرفی آن ۶ کیلووات با ضریب توان ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

شارژرهای ۱ تا ۳: این شارژرها ۳ واحد ۴۸ ولتی مشابه می‌باشند که در مجموع ۷۰۰ آمپر DC را مصرف می‌کنند. بنابراین توان مصرفی این شارژرها ۳۳/۶ کیلووات با ضریب توان ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

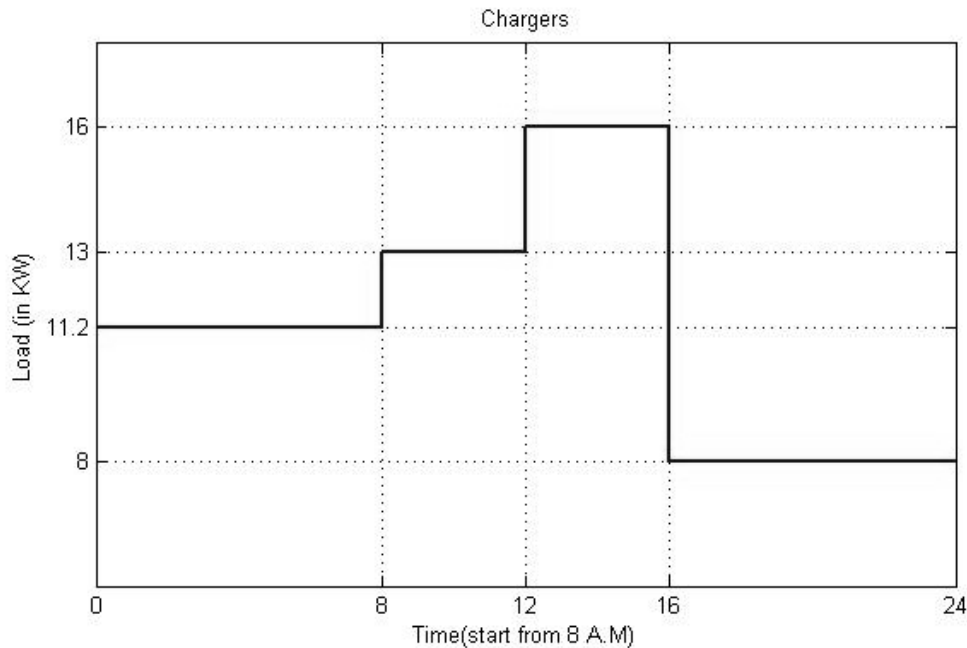
در این شبکه بخشی از بارها متغیر و بخشی ثابت می‌باشند. برای این که بتوان تغییرات بارها را مدل کرد، لازم است تغییرات پیوسته بارها با تغییرات گسسته تقریب زده شود. به این ترتیب هر بازه زمانی به چندین زیر بازه تقسیم می‌شود که در هر زیر بازه مقدار بار ثابت است. بر این اساس تغییرات بار شارژرهای ۱ تا ۳ و بارهای ۵ و ۷ را به صورت زیر در نظر می‌گیریم.



شکل ۲۰-۱ نمودار تغییرات بار ۵ طی ۲۴ ساعت



شکل ۲۱-۱ نمودار تغییرات بار ۷ طی ۲۴ ساعت



شکل ۱-۲۲ نمودار تغییرات بار شارژرهای ۱ تا ۳ طی ۲۴ ساعت

در این نمودارها محور افقی مدت زمان تداوم بار را نشان می‌دهد که آغاز آن از یک زمان مشخص (در اینجا ۸ صبح) در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب از تلاقی نمودارهای فوق، زیر بازه‌های کوچکتری به دست می‌آید، به طوری که در هر زیر بازه کلیه بارها مقدار ثابتی داشته باشند.

اطلاعات کابل‌ها

کابل ۱: کابل $3 \times 150 + 95$ به طول ۳۵۲ متر. این کابل از نوع XLPE می‌باشد که اندوکتانس آن 0.32 میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن 0.124 اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۲: کابل $3 \times 240 + 120$ به طول ۸ متر. اندوکتانس این کابل 0.3 میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن 0.0754 اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۳: کابل $3 \times 240 + 120$ به طول ۱۰ متر. نوع این کابل مشابه کابل ۲ می‌باشد.

کابل ۴: کابل $3 \times 50 + 16$ به طول ۸ متر. اندوکتانس این کابل 0.4 میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن 0.387 اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۵: کابل $3 \times 70 + 35$ به طول ۶ متر. اندوکتانس این کابل 0.37 میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن 0.268 اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۶: کابل $3 \times 150 + 75$ به طول ۳ متر. نوع این کابل مشابه نوع کابل ۱ می‌باشد.

نوع عایق کابل نیز در کلیه موارد از نوع XLPE در نظر گرفته می‌شود. این کابل‌ها ولتاژ نامی ۶ کیلوولت دارند و با استاندارد IEC سازگار می‌باشند.

اطلاعات هارمونیک شارژرها

اطلاعات هارمونیک شارژرها بر اساس وضعیت هارمونیک شارژر که از اندازه‌گیری‌ها به دست آمده است، تعیین می‌شود. این اطلاعات به صورت جداول زیر تنظیم می‌شود.

جدول ۱-۲۹: هارمونیک‌های جریان فاز ۱

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.11	35	0.14
2	0.23	19	1.55	36	0.01
3	0.81	20	0.05	37	0.07
4	0.11	21	0.55	38	0.03
5	3.97	22	0.05	39	0.11
6	0.02	23	0.51	40	0.03
7	3.36	24	0.03	41	0.12
8	0.21	25	0.36	42	0.02
9	0.43	26	0.04	43	0.14
10	0.19	27	0.16	44	0.01
11	7.20	28	0.04	45	0.08
12	0.09	29	0.26	46	0.01
13	8.63	30	0.02	47	0.08
14	0.27	31	0.26	48	0.01
15	0.32	32	0.01	49	0.04
16	0.20	33	0.07	50	0.02
17	1.46	34	0.01	THD	12.65 (%)

جدول ۱-۳۰: هارمونیک‌های جریان فاز ۲

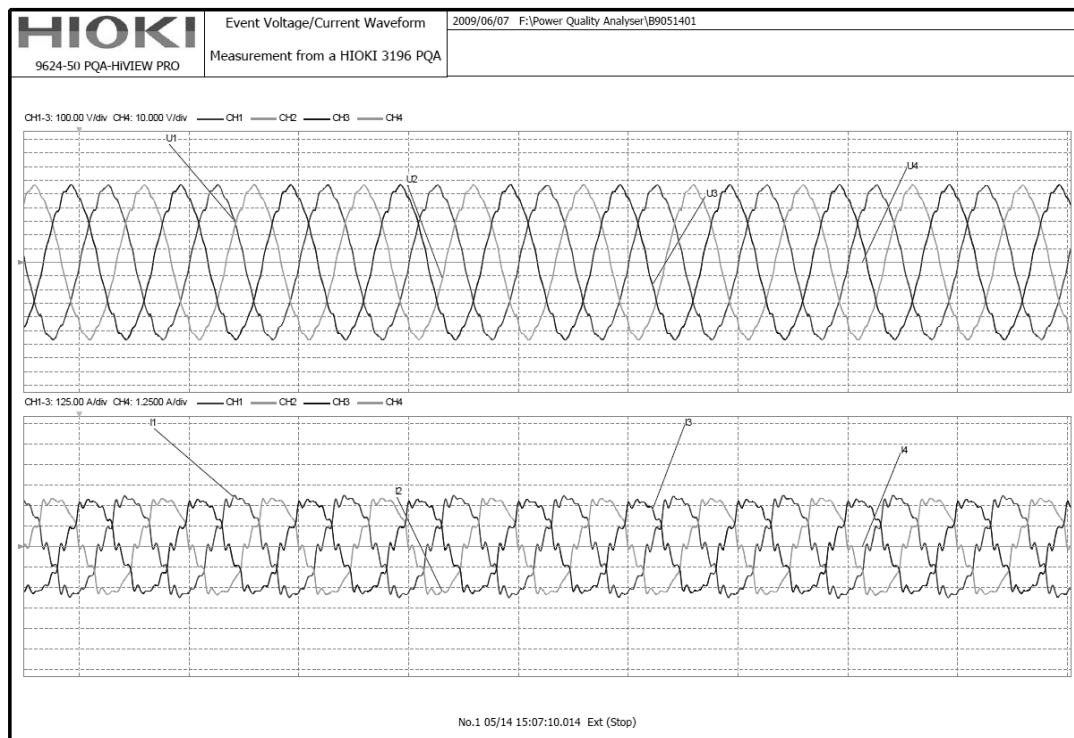
Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.10	35	0.25
2	0.34	19	1.32	36	0.01
3	1.24	20	0.14	37	0.12
4	0.12	21	0.24	38	0.05
5	4.92	22	0.06	39	0.06
6	0.03	23	0.90	40	0.01
7	3.53	24	0.03	41	0.14
8	0.23	25	0.66	42	0.01
9	0.93	26	0.07	43	0.02
10	0.18	27	0.08	44	0.02
11	7.83	28	0.07	45	0.05
12	0.10	29	0.25	46	0.02
13	5.11	30	0.02	47	0.07
14	0.32	31	0.29	48	0.01
15	0.93	32	0.03	49	0.06
16	0.16	33	0.09	50	0.02
17	2.17	34	0.03	THD	11.66 (%)

جدول ۱-۳۱: هارمونیک‌های جریان فاز ۳

Order	(%)	Order	(%)	Order	(%)
1	100.00	18	0.11	35	0.22
2	0.37	19	1.38	36	0.02
3	0.56	20	0.10	37	0.12
4	0.05	21	0.12	38	0.04
5	4.54	22	0.05	39	0.12
6	0.07	23	0.94	40	0.01
7	2.62	24	0.05	41	0.14
8	0.25	25	0.53	42	0.01
9	1.16	26	0.08	43	0.02
10	0.29	27	0.16	44	0.01
11	7.49	28	0.05	45	0.06
12	0.12	29	0.37	46	0.01
13	7.65	30	0.02	47	0.07
14	0.15	31	0.25	48	0.01
15	1.79	32	0.03	49	0.05
16	0.21	33	0.20	50	0.02
17	2.45	34	0.03	THD	12.52 (%)

۳-۸-۱ بررسی وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری

شکل ۱-۲۳ ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده در باس ورودی پست را نشان می‌دهد. قسمت بالای این شکل، موج ولتاژ و قسمت پایین، موج جریان را نشان می‌دهد. بر این اساس مشاهده می‌شود که جریان تزریقی به این پست دارای هارمونیک‌های قابل ملاحظه است.



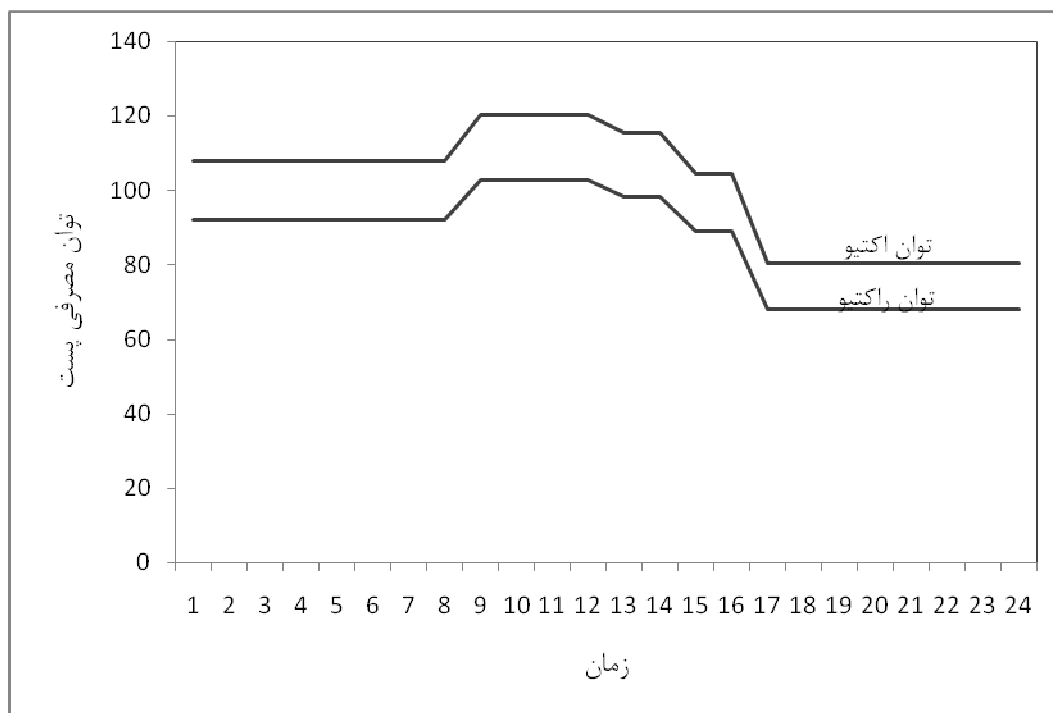
شکل ۱-۲۳ ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده در باس ورودی

اعوجاجات هارمونیکی در این پست از قطع و وصل شدن ترانزیستورهای درون شارژرها ناشی می‌شوند. به این ترتیب هارمونیک‌های جریان تولید شده و یک جریان هارمونیکی از شبکه سراسری کشیده می‌شود. بنابراین جریان هارمونیکی با عبور از امپدانس‌های مسیر، تبدیل به ولتاژ هارمونیکی شده و در باس ورودی پست مشاهده می‌گردد.

هارمونیکی شدن ولتاژ موجب می‌شود کلیه تجهیزاتی که حتی مولد هارمونیک نیستند نیز به جای یک جریان سینوسی، جریان هارمونیکی دریافت کنند. به عبارت دیگر ولتاژهای هارمونیکی دیده شده در باس‌های مختلف با اثر کردن روی امپدانس بارهای متصل به آن‌ها به هارمونیک جریان تبدیل می‌شوند. این هارمونیک‌های جریان می‌توانند آسیب‌هایی را به تجهیزات وارد کنند.

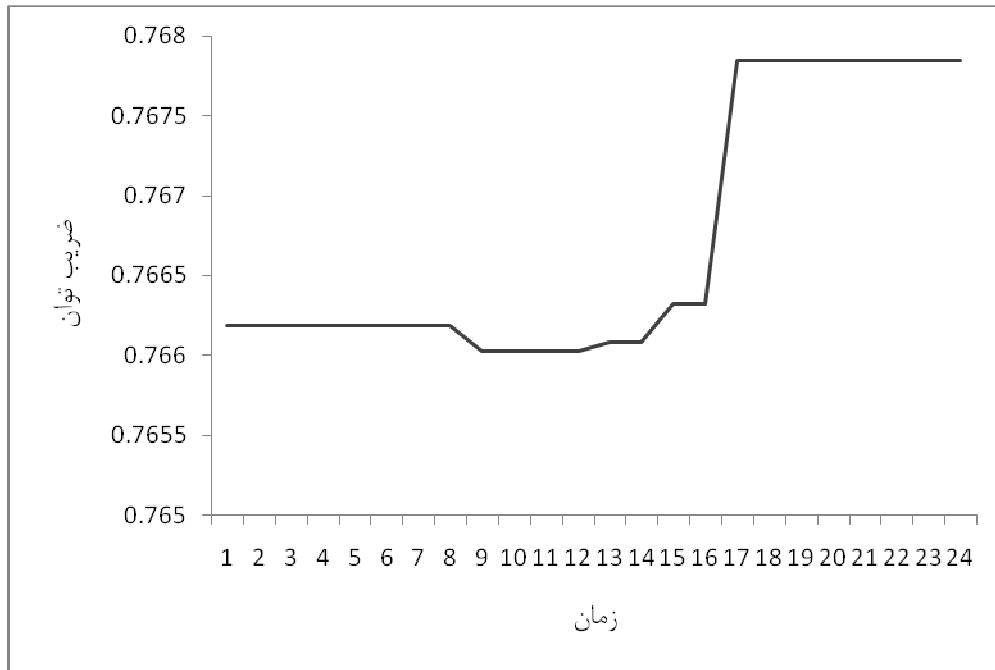
اضافه کردن خازن موجب بروز روزنانس موازی می‌شود. در این حالت امپدانس معادل دیده شده از باس متصل به خازن، به صورت یک راکتور و خازن موازی خواهد بود. بنابراین در یک فرکانس مشخص روزنانس موازی اتفاق می‌افتد که در آن فرکانس، امپدانس خازن با امپدانس راکتور (معادل شبکه) برابر می‌شوند. بنابراین امپدانس دیده شده از باس متصل به خازن در فرکانس بسیار بزرگ خواهد بود. این شرایط در بخش نصب خازن ثابت شرح داده می‌شود.

مساله دیگری که در ارتباط با این پست مطرح است، تغییرات قابل ملاحظه بارها طی شبانه‌روز است. تغییرات توان اکتیو و راکتیو برخی بارها موجب تغییر توان اکتیو و راکتیو کلی دریافتی از شبکه سراسری می‌شود. نحوه تغییرات توان مصرفی در طول یک شبانه‌روز در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده است.

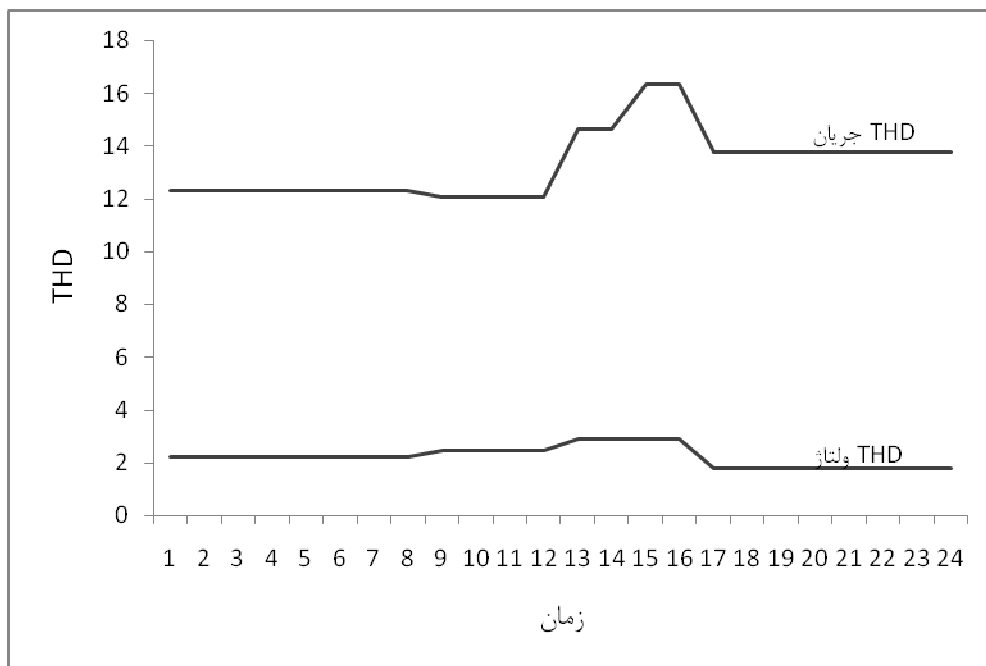


شکل ۱-۲۴ نمودار تغییرات توان مصرفی قبل از خازن گذاری

تغییرات بارها و به دنبال آن تغییر نسبت توان‌های اکتیو و راکتیو مصرفی موجب تغییر ضریب توان کلی می‌شود. همچنین از آنجا که تغییرات در بارهای مختلف به نسبت یکسان اتفاق نمی‌افتد، انتظار می‌رود درصد هارمونیک‌ها در محل اتصال پست برق به شبکه سراسری نیز در طول زمان دچار تغییر شود. شکل ۱-۲۵ و شکل ۱-۲۶ تغییرات ضریب توان و THD ولتاژ و جریان را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۲۵ نمودار تغییرات ضریب توان قبل از خازن‌گذاری



شکل ۱-۲۶ نمودار تغییرات THD قبل از خازن‌گذاری

جریان اتصال کوتاه در محل اتصال پست برق به شبکه سراسری ۱۰/۱۴۶ کیلوآمپر و جریان بار ۱۵۹/۴۷ آمپر است. بنابراین بر اساس استاندارد محدودیت THD جریان ۱۲ درصد می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۱-۲۶ مشاهده می‌شود، محدودیت THD جریان در اغلب زمان‌ها نقض شده است. تغییرات بار نیز موجب می‌شود در برخی ساعات میزان اعوجاجات هارمونیکی کمتر یا بیشتر شود. بنابراین مشاهده می‌شود که تغییرات بار تنها در بخشی از شبکه می‌تواند موجب تغییر THD جریان در ورودی پست و نقض محدودیت‌ها شود.

اگرچه در این شبکه THD ولتاژ همواره در محدوده مجاز قرار دارد، اما شکل ۱-۲۶ نشان می‌دهد که تغییرات بار می‌تواند اعوجاجات هارمونیکی ولتاژ را نیز دستخوش تغییر کند و در مواقعی به سمت محدوده غیرمجاز سوق دهد.

۱-۸-۴) بررسی اثرات نصب خازن ثابت

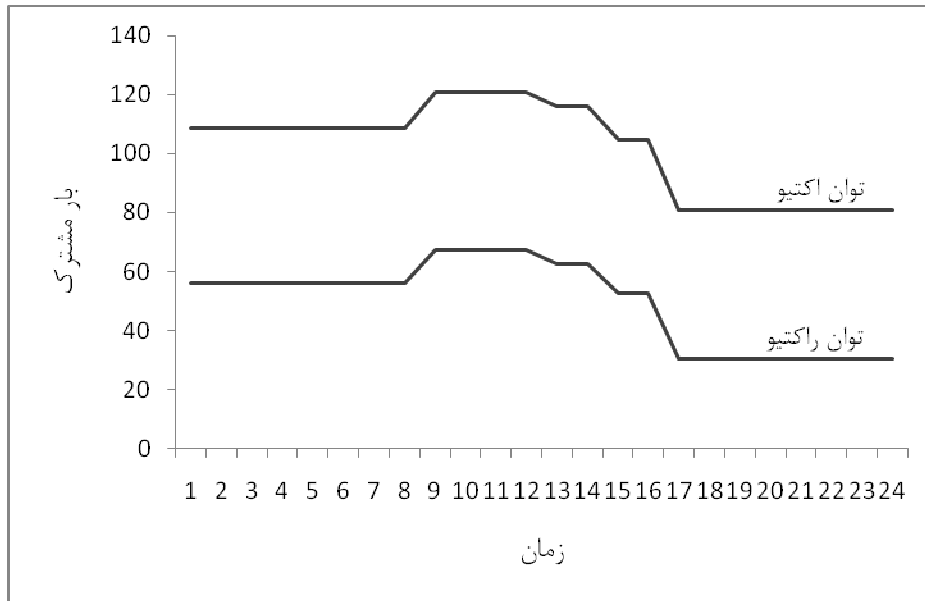
در مواردی که اهمیت شبکه مورد مطالعه بالا نباشد و یا مسئله خازن‌گذاری چندان مهم تلقی نگردد، از بررسی تغییرات بار و شرایط هارمونیکی شبکه چشم‌پوشی می‌شود. در این شرایط متوسط توان راکتیو مصرفی مشترک در یک دوره مد نظر قرار می‌گیرد و از یک خازن ثابت که بتواند متوسط توان راکتیو مصرفی را جبران کند، استفاده می‌شود.

جهت بررسی این حالت، نصب یک خازن ثابت را شبیه‌سازی می‌کنیم. متوسط توان راکتیو مصرفی پست برق مرکز مخابرات ۸۶/۰۸ کیلووار و متوسط توان اکتیو ۱۰۱/۲۱ کیلووات می‌باشد. بنابراین ضریب توان فعلی شبکه ۰.۸۵ محاسبه می‌شود. مقدار ضریب توان مطلوب را ۰/۹۲ در نظر گرفته و از رابطه (۱۳-۱) ظرفیت خازن مورد نیاز را محاسبه می‌کنیم.

$$Q_{\gamma} = P_l (\tan \varphi_D - \tan \varphi_l) \dots\dots\dots (13-1)$$

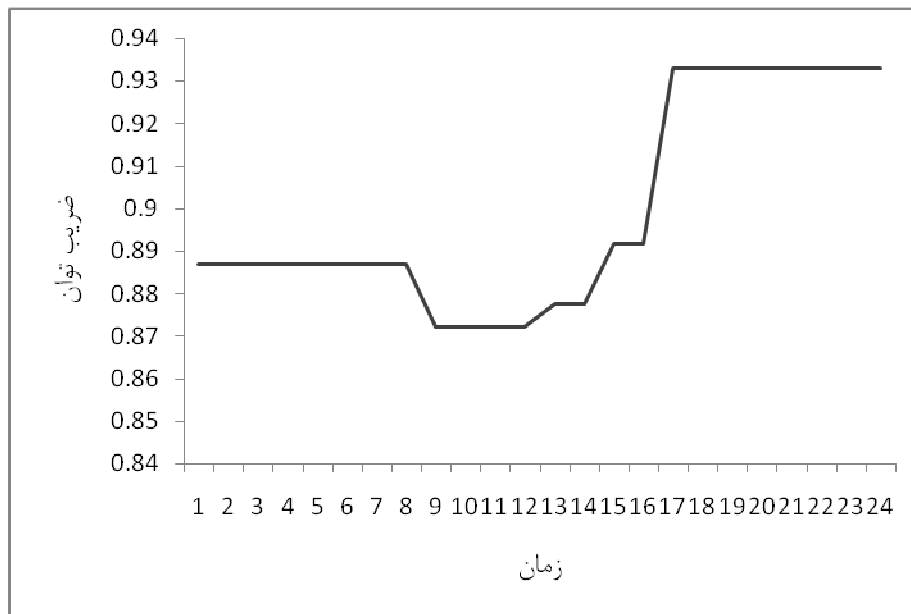
$$Q_{\gamma} = P_l (\tan \varphi_D - \tan \varphi_l) = 101.21(0.426 - 0.850) = -42.913$$

بنابراین جبران‌سازی را به کمک یک خازن ثابت ۴۰ کیلووار انجام می‌دهیم. در این صورت نحوه تغییرات بار در یک شبانه‌روز مطابق شکل ۱-۲۷ خواهد بود.



شکل ۲۷-۱ نمودار تغییرات بار مصرفی پس از نصب خازن ثابت

از آن جا که یک خازن ثابت مورد استفاده قرار گرفته است، مصرف توان راکتیو به مقدار ثابتی کاهش یافته است و میزان جبران‌سازی در تمام زمان‌ها یکسان است. نحوه تغییر ضریب توان پس از نصب خازن ثابت نیز در شکل ۲۸-۱ نشان داده شده است.

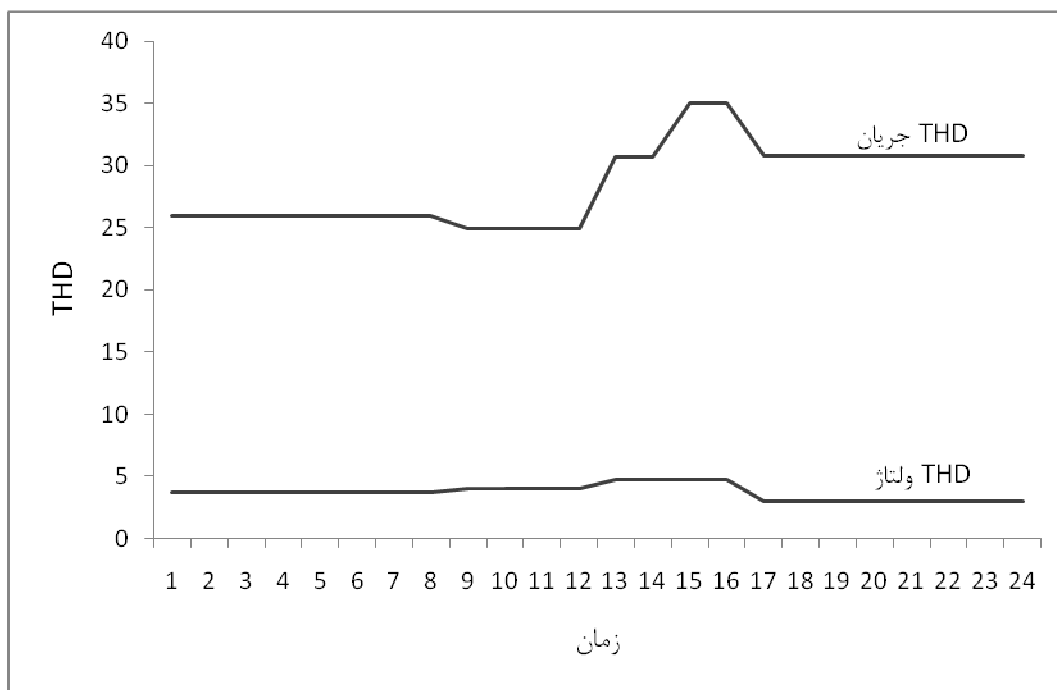


شکل ۲۸-۱ نمودار تغییرات ضریب توان پس از نصب خازن ثابت

بنابراین مشاهده می‌شود که ضریب توان در برخی ساعات کمتر و در برخی ساعات بیشتر از مقدار مطلوب است. این نوع جبران‌سازی، متوسط ضریب توان را به حد مطلوب می‌رساند اما باید توجه داشت که این امر تنها در صورتی اتفاق می‌افتد که الگوی تغییر بار مطابق مقدار از پیش تعریف شده باشد. به

عبارتی چنانچه بار تغییرات غیرمنتظره داشته باشد یا مصرف شبکه (به دلیل توسعه و ...) افزایش یابد، خازن ثابت قادر به جبران‌سازی کامل و تامین ضریب توان مطلوب نخواهد بود.

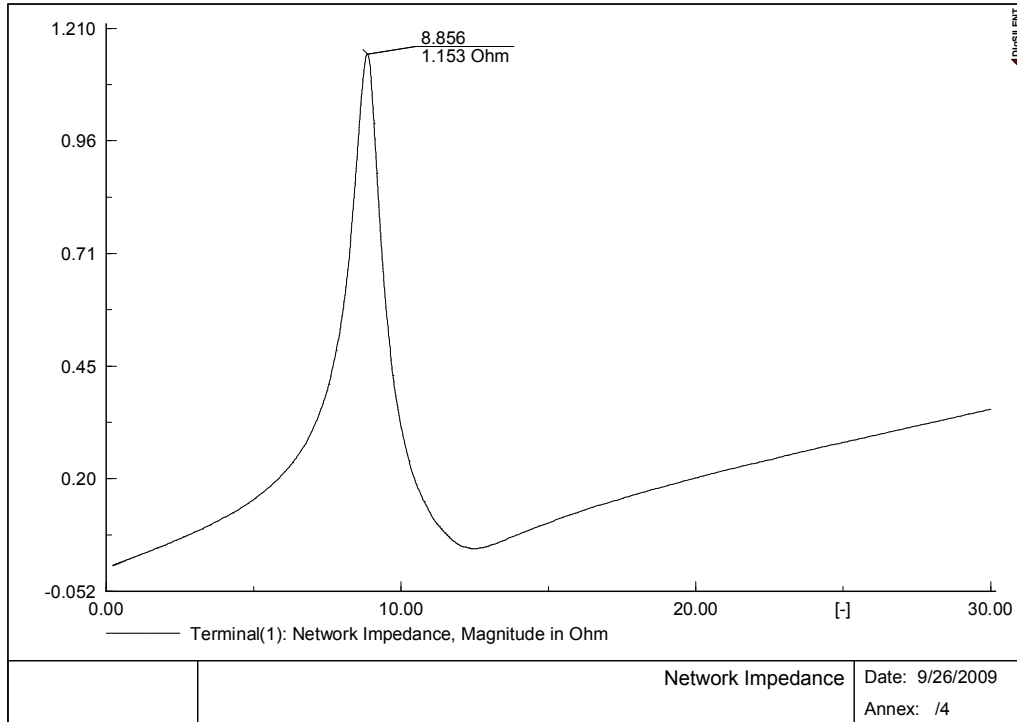
نصب خازن ثابت می‌تواند امپدانس معادل شبکه را نیز تغییر داده و به این ترتیب موجب افزایش یا کاهش دامنه هارمونیک‌های ولتاژ شود. هارمونیک‌های ولتاژ با عبور از امپدانس تجهیزات تبدیل به هارمونیک جریان می‌شوند. بنابراین تغییر در هارمونیک‌های ولتاژ، تغییر هارمونیک‌های جریان را نیز به دنبال خواهد داشت. شکل ۱-۲۹ نحوه تغییرات THD ولتاژ و جریان را پس از نصب خازن ثابت نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۹ نمودار تغییرات THD پس از نصب خازن ثابت

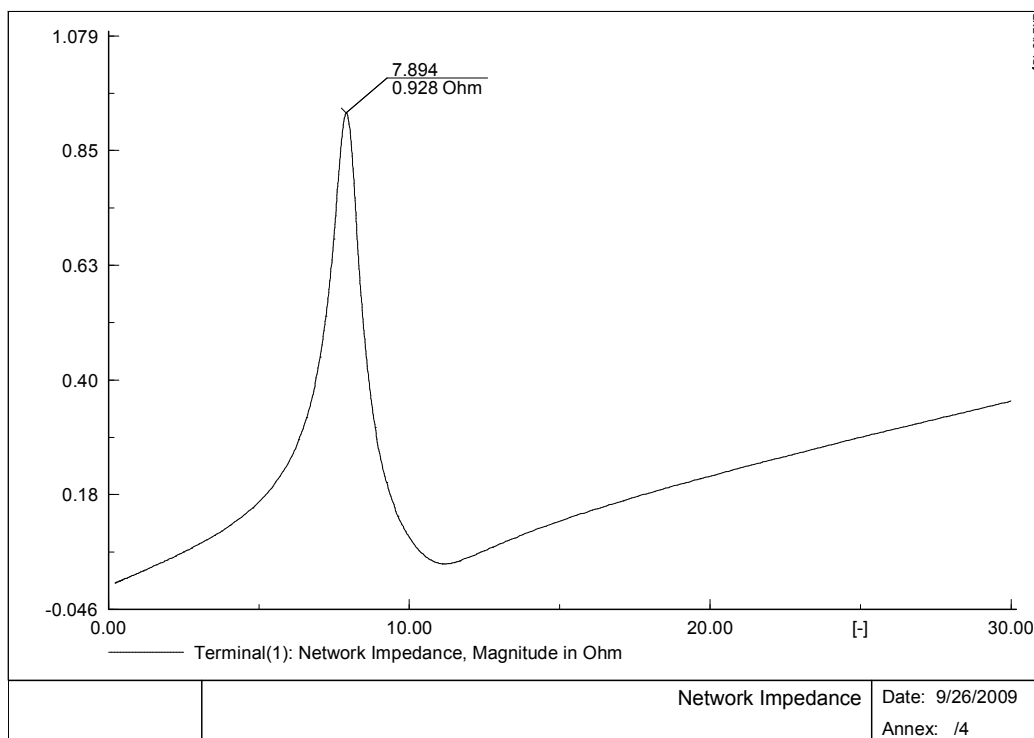
افزایش چشمگیر THD ولتاژ و جریان، نشان می‌دهد که با نصب خازن ۴۰ کیلوواری شرایط رزونانس به وجود آمده است و فرکانس رزونانس نیز نزدیک به یکی از هارمونیک‌های قوی (۵، ۷، ۱۱ یا ۱۳) بوده است. در این شرایط امپدانس شبکه با امپدانس خازنی (در فرکانس رزونانس) برابر می‌شود و از آنجا که این دو امپدانس موازی با یکدیگر هستند، امپدانس معادل دیده شده مقدار بسیار بزرگی را خواهد داشت. عبور جریان هارمونیک از این امپدانس بزرگ، یک ولتاژ هارمونیک بسیار قوی را ایجاد می‌کند. به این ترتیب یک یا چند مولفه هارمونیک تقویت شده و THD ولتاژ یا جریان را بالا می‌برند. با توجه به تغییرات بار، فرکانس رزونانس نیز متغیر خواهد بود و این خود، طراحی یک فیلتر ثابت را نیز با دشواری مواجه می‌کند. تغییر ظرفیت خازن یکی از راه‌های موثر در تغییر فرکانس رزونانس و در نتیجه کنترل هارمونیک‌ها به شمار می‌رود.

برای درک بهتر شرایط رزونانس، نمودار امپدانس به فرکانس شبکه برای یک زمان مشخص در شکل ۳۰-۱ نشان داده شده است. در این زمان خاص، فرکانس تشدید در هارمونیک ۸/۸۵۶ (فرکانس ۴۴۲/۸ هرتز) قرار دارد. بنابراین هارمونیک‌های هفتم و نهم به شدت تقویت می‌شوند.



شکل ۳۰-۱ نمودار امپدانس به فرکانس شبکه در حضور خازن ثابت ۴۰ کیلوواری

جهت نشان دادن تاثیر ظرفیت خازن در جابه‌جایی فرکانس رزونانس، به جای خازن ۴۰ کیلوواری از یک خازن ۵۰ کیلوواری استفاده می‌کنیم. در این شرایط نمودار امپدانس به فرکانس مطابق شکل ۳۱-۱ خواهد بود. این شکل نشان می‌دهد ۱۰ کیلوواری افزایش ظرفیت خازن موجب ۵۰ هرتز جابه‌جایی فرکانس رزونانس شده است.



شکل ۱-۳۱ نمودار امپدانس به فرکانس شبکه در حضور خازن ثابت ۵۰ کیلوواری

افزایش امپدانس سلفی موجب انتقال فرکانس رزونانس به چپ (فرکانس‌های پایین‌تر) و افزایش امپدانس خازنی موجب انتقال فرکانس رزونانس به راست (فرکانس‌های بالاتر) می‌شود. با توجه به این‌که هارمونیک‌های موثر در شبکه مولفه‌های ۵، ۷، ۱۱ و ۱۳ هستند، برای محدود کردن هارمونیک‌ها کافی است فرکانس رزونانس به سمت این مولفه‌ها منتقل شود. در اینصورت امپدانس معادل به ازاء هارمونیک‌های موثر، مقدار کوچکی خواهد داشت و این هارمونیک‌ها تضعیف می‌شوند. بنابراین اضافه کردن یک راکتور به صورت فیلتر دی‌تیون می‌تواند راهکار موثری برای کاهش هارمونیک‌ها باشد.

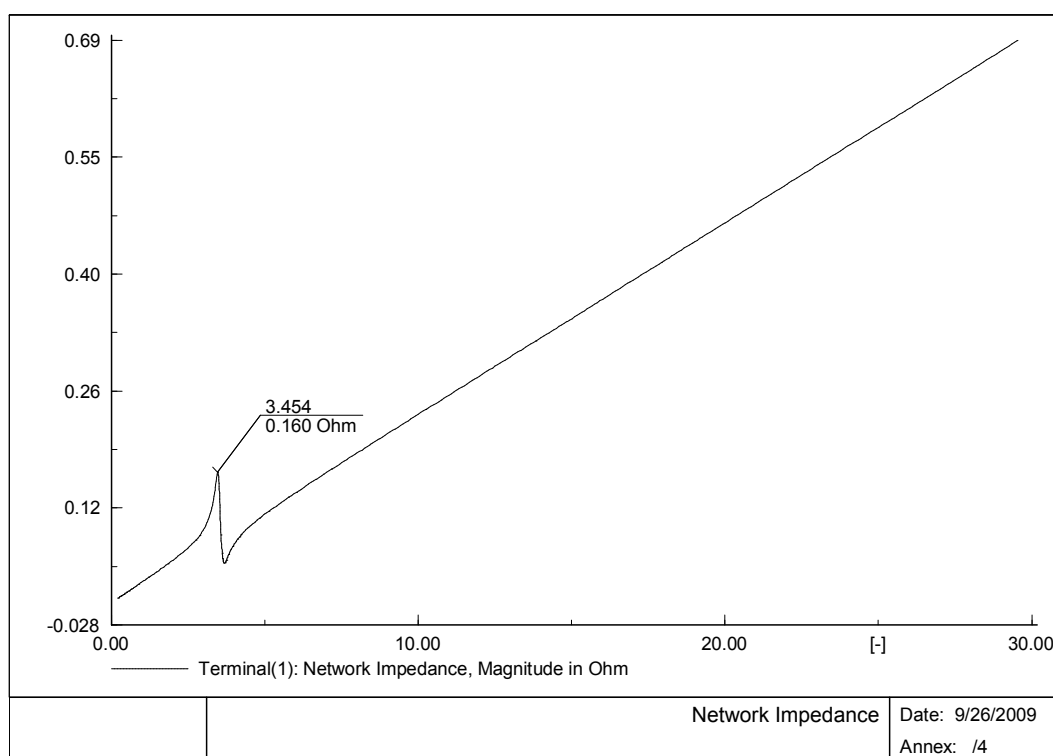
در فیلترهای دی‌تیون فرکانس تنظیم در نزدیکی مولفه‌های هارمونیکی اصلی (کمی کمتر از آن‌ها) تنظیم می‌شود. به این ترتیب برخلاف فیلترهای تک‌تنظیمه (تیون)، امپدانس فیلتر در برابر هارمونیک هدف، صفر نخواهد بود. در نتیجه معایب فیلترهای تک‌تنظیمه (جذب جریان‌های هارمونیکی سایر مشترکین و عبور جریان‌های شدید از خازن) برطرف می‌شود.

باید توجه کرد که اگر برای حذف یک هارمونیک، فرکانس تنظیم فیلتر روی مقداری نزدیک به آن و کمی بزرگتر تنظیم شود، فرکانس رزونانس نهایی شبکه بعد از نصب فیلتر به سمت هارمونیک اصلی جابه‌جا می‌شود و دامنه هارمونیک‌ها را تقویت می‌کند. زیرا امپدانس معادل شبکه (که یک امپدانس سلفی است) با فیلتر موازی می‌شود و فرکانس رزونانس را مقداری کاهش می‌دهد.

نکته دیگری که در ارتباط با فیلترهای دی‌تیون قابل استخراج است، این است که فرکانس رزونانس خازن و شبکه را هرگز نمی‌توان به کمک فیلتر دی‌تیون به سمت راست جابه‌جا کرد. به عبارت دیگر با اضافه کردن راکتور به خازن به صورت فیلتر دی‌تیون، فارغ از اینکه فرکانس تنظیم فیلتر چقدر باشد، تنها می‌توان فرکانس رزونانس را به سمت چپ جابه‌جا کرد. چرا که با افزایش امپدانس سلفی، فرکانس رزونانس به سمت چپ جابه‌جا می‌شود و تنها با افزایش امپدانس خازنی می‌توان فرکانس رزونانس را به سمت راست جابه‌جا کرد.

شکل ۱-۳۲ نمودار امپدانس به فرکانس را در همان زمان، پس از نصب فیلتر دی‌تیون ۷٪ نشان

می‌دهد.



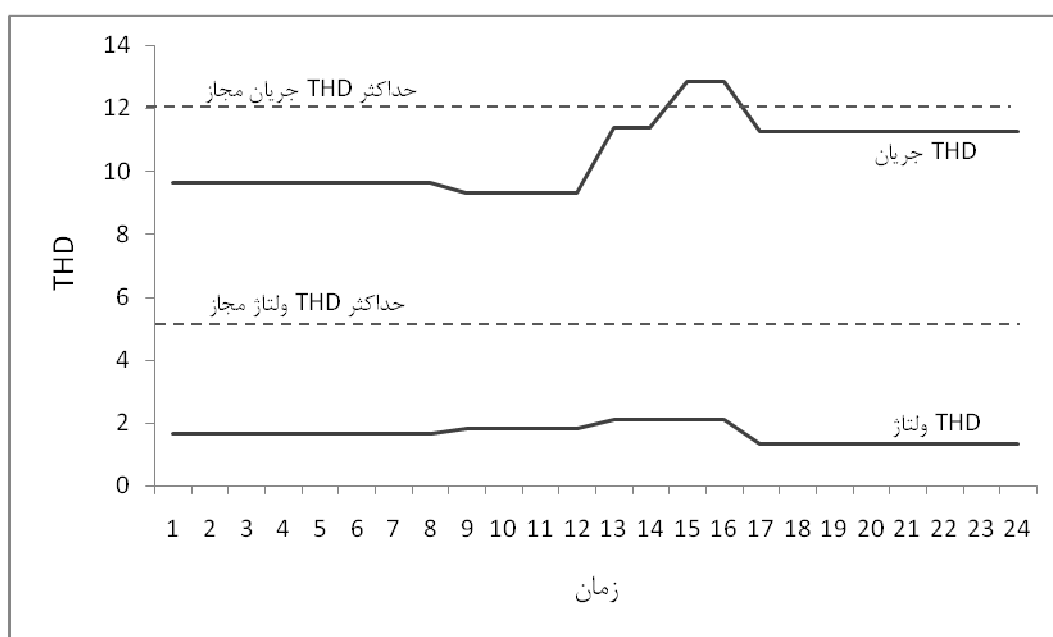
شکل ۱-۳۲ نمودار امپدانس به فرکانس شبکه پس از نصب فیلتر دی‌تیون

فرکانس تنظیم فیلتر دی‌تیون ۷٪، $188/89$ هرتز است. بنابراین قادر خواهد بود فرکانس رزونانس را از $442/8$ هرتز به سمت چپ منتقل کند. با مقایسه این شکل و شکل ۱-۳۰ جابه‌جایی فرکانس رزونانس به خوبی مشاهده می‌شود. فرکانس رزونانس پس از نصب فیلتر به $172/7$ هرتز (هارمونیک $3/454$) می‌رسد که بنا به توضیحات داده شده، کمی کمتر از مقدار تنظیمی $188/89$ است.

از آن‌جا که در این شبکه هارمونیک‌های ۵ و ۷ موثرترین هارمونیک‌ها به شمار می‌روند، برای محاسبه حالت بهینه خازن‌گذاری در کلیه قسمت‌های این پروژه، از خازن به صورت فیلتر دی‌تیون $5/67$ ٪ برای جبران‌سازی استفاده می‌کنیم. فرکانس تنظیم این فیلتر $209/9$ هرتز است که در نزدیکی

هارمونیک پنجم قرار می‌گیرد. به این ترتیب این فیلتر موجب محدود شدن هارمونیک‌های پنجم و هفتم خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۱-۳۳ دیده می‌شود، مقدار THD پس از نصب خازن به صورت فیلتر دی‌تیون، کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌کند اما با این وجود محدودیت THD جریان همچنان در بعضی ساعات نقض می‌شود. در واقع می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری کرد که نصب خازن ثابت ۴۰ کیلوواری در ساعات خاصی (به دلیل تغییرات بار) در نزدیکی هارمونیک‌های مهم ایجاد رزونانس کرده است.

در این شرایط چنان‌چه اصرار به استفاده از خازن ثابت داشته باشیم، باید علاوه بر استفاده از راکتور به صورت فیلتر، ظرفیت خازن را نیز تغییر دهیم و به این ترتیب با کنترل فرکانس رزونانس از نقض محدودیت‌های هارمونیک‌های جلوگیری کنیم.



شکل ۱-۳۳ تغییرات THD پس از نصب خازن ثابت به صورت فیلتر دی‌تیون

استفاده از خازن ثابت علاوه بر این‌که بار را در طول یک دوره زمانی به طور کامل جبران‌سازی نمی‌کند، موجب جبران‌سازی بیش از حد در برخی از ساعات نیز می‌شود. بنابراین اگر توان راکتیو مصرفی تغییرات زیادی داشته باشد، این احتمال وجود دارد که استفاده از خازن ثابت موجب پیش‌فاز شدن توان مصرفی در برخی از ساعات گردد. این مسئله موجب بروز اضافه ولتاژ و پیامدهای سوء بعدی می‌شود.

۱-۸-۵) محاسبه خازن بهینه بدون در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ

در این مرحله از یک بانک خازنی متغیر برای جبران‌سازی استفاده می‌کنیم. به کمک این بانک خازنی و با تغییر تعداد پله‌های آن می‌توان متناسب با تغییرات بار، جبران‌سازی را انجام داد. بنابراین خازن مورد نظر را به صورت یک بانک با پله‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوواری در نظر می‌گیریم. هر جواب

این مسئله، مقدار ظرفیت خازنی که باید خریداری و نصب شود را مشخص می‌کند. در طول ۲۴ ساعت همزمان با تغییرات بار، بخشی از این ظرفیت وارد مدار می‌شود.

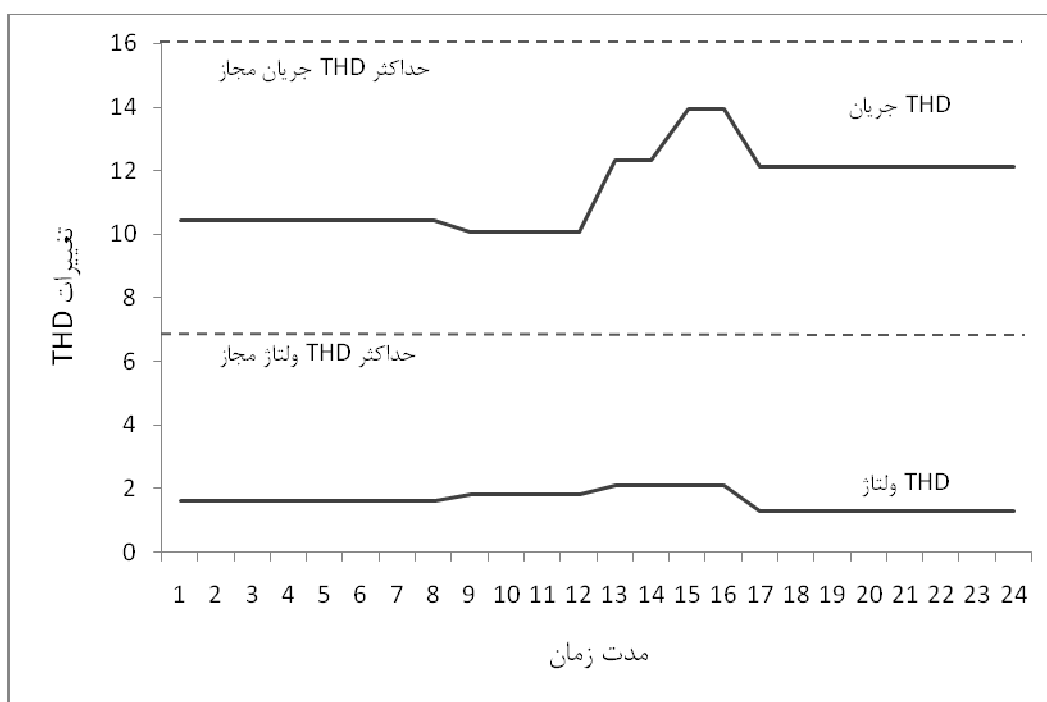
از آن‌جا که در یافتن پاسخ بهینه اثر سوئیچینگ دیده نمی‌شود، بنابراین انتظار می‌رود ترکیب بانک خازنی معرفی شده به گونه‌ای باشد که در طی شبانه‌روز سوئیچینگ بالایی داشته باشد و متناسب با آن، بیشترین جبران‌سازی انجام شود. همچنین از آن‌جا که هزینه واحدهای خازنی بزرگتر کمتر از واحدهای خازنی کوچکتر است، انتظار می‌رود در پاسخ معرفی شده از واحدهای بزرگتر بیشتر استفاده شده باشد.

جدول ۱-۳۲: نحوه عملکرد بانک خازنی (بدون اثر سوئیچینگ) در برابر تغییرات بار

زمان	پله‌های ۱۵ کیلوواری	پله‌های ۲۰ کیلوواری	پله‌های ۲۵ کیلوواری	پله‌های ۳۰ کیلوواری	ظرفیت خازن (کیلوواری)	توان راکتیو مصرفی (کیلوواری)
۱	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۲	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۳	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۴	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۵	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۶	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۷	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۸	۰	۰	۰	۳	۹۰	۹۲
۹	۱	۰	۱	۲	۱۰۰	۱۰۲
۱۰	۱	۰	۱	۲	۱۰۰	۱۰۲
۱۱	۱	۰	۱	۲	۱۰۰	۱۰۲
۱۲	۱	۰	۱	۲	۱۰۰	۱۰۲
۱۳	۱	۰	۲	۱	۹۵	۹۸
۱۴	۱	۰	۲	۱	۹۵	۹۸
۱۵	۰	۰	۱	۲	۸۵	۸۸
۱۶	۰	۰	۱	۲	۸۵	۸۸
۱۷	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۱۸	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۱۹	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۲۰	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۲۱	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۲۲	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۲۳	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
۲۴	۱	۰	۲	۰	۶۵	۶۷
کل کلیدزنی	۴	۰	۶	۸		

با انجام شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که خازن پیشنهاد شده یک خازن ۱۸۰ کیلوواری با ترکیب ۳ پله ۳۰ کیلوواری، ۲ پله ۲۵ کیلوواری و یک پله ۱۵ کیلوواری (۱،۰،۲،۳) می‌باشد که هر یک از این پله‌ها مجهز به یک راکتور به صورت فیلتر دی‌تیون ۵/۶۷٪ خواهد بود. نحوه عملکرد خازن پله‌ای طی یک شبانه‌روز در جدول ۱-۳۲ نشان داده شده است.

بر اساس اطلاعات این جدول، تعداد کلیدزنی‌ها در بانک خازنی طی یک شبانه‌روز ۱۸ مورد است که با انتظارات قبلی همخوانی دارد. تغییر ظرفیت خازنی موجب جبران بار، متناسب با تغییرات آن شده است. اما یکی از نکات مهم، نحوه تغییر اعوجاجات هارمونیک در طی یک دوره زمانی است. شکل ۱-۳۴ تغییرات THD ولتاژ و جریان را طی ۲۴ ساعت نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳۴ تغییرات THD پس از نصب خازن پله‌ای (بدون اثر سوئیچینگ)

استفاده از فیلتر دی‌تیون اگرچه موجب افزایش هزینه‌ها می‌شود اما یک کنترل مناسب روی اعوجاجات هارمونیک ارائه می‌کند که موجب محدود شدن دامنه هارمونیک‌ها در محدوده مجاز می‌شود.

بر اساس محاسبه قسمت خازن ثابت، برای جبران‌سازی بار و رسیدن به ضریب توان مطلوب در حدود ۴۰ کیلوواری توان راکتیو مورد نیاز است. بنابراین سوالی که مطرح می‌شود این است که چرا در این حالت، مقدار خازن محاسبه شده ۱۵۵ کیلوواری است؟! برای پاسخ به این سوال لازم است به روش محاسبه سود نهایی توجه شود. در این شبیه‌سازی هر چه دامنه هارمونیک‌ها بیشتر باشد، طول عمر خازن کاهش بیشتری یافته و در نتیجه سود نهایی کمتر می‌شود. با کنترل ظرفیت خازن و تغییر دادن آن متناسب با تغییرات بار، می‌توان فرکانس رزونانس را جابه‌جا کرد و دامنه هارمونیک‌ها را کاهش داد. بنابراین اگرچه

خرید و نصب ظرفیت خازنی بالا، هزینه بیشتری دارد اما بهبود طول عمر خازن موجب شده است که این گزینه از نظر اقتصادی مناسب‌تر از نصب خازن با ظرفیت‌های پایین تشخیص داده شود. با دقت در شکل ۱-۳۴ نیز به خوبی مشاهده می‌شود که سطح THD جریان و ولتاژ نسبت به شکل ۱-۳۳ (مربوط به خازن ثابت ۴۰ کیلوواری)، بهبود قابل توجهی پیدا کرده است و مقدار THD جریان به حدود ۱۰ درصد محدود شده است.

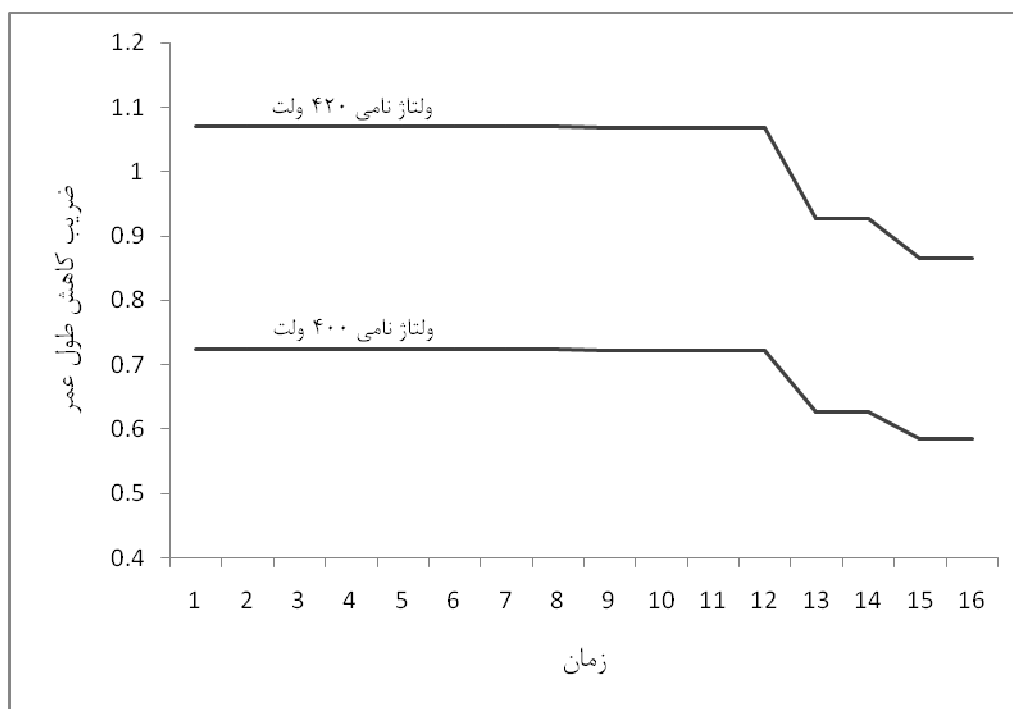
این شبیه‌سازی همچنین فرصت مناسبی را برای بررسی اثر هارمونیک‌ها بر طول عمر خازن فراهم می‌کند. همان‌طور که در فصل‌های قبل گفته شد، هارمونیک‌ها به صورت تنش ولتاژی و دمایی موجب کاهش طول عمر خازن می‌شوند. هارمونیک‌های ولتاژ بر روی کل بانک خازنی اثر مشابهی به جا می‌گذارند زیرا تمامی خازن‌ها به یک باس متصل هستند. اما از آن‌جا که پله‌های ۳۰، ۲۵، ۲۰ و ۱۵ کیلوواری به صورت موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند، هارمونیک‌های جریان روی آن‌ها متفاوت خواهد بود. در جدول ۱-۳۳ ضرایب تاثیر ولتاژ و دما بر طول عمر خازن (پله‌های ۳۰ کیلوواری) طی ۲۴ ساعت نشان داده شده است.

جدول ۱-۳۳: نحوه تاثیر دما و ولتاژ بر طول عمر خازن

زمان	پله‌های ۳۰ کیلوواری	ضریب ولتاژ	ضریب دما	ضریب کاهش طول عمر
۱	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۲	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۳	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۴	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۵	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۶	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۷	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۸	۳	۰/۷۵۸۷۴۷	۰/۹۵۴۲۹۱	۰/۷۲۴۰۶۵
۹	۲	۰/۷۶۰۰۶۹	۰/۹۵۰۳۵	۰/۷۲۲۳۳۲
۱۰	۲	۰/۷۶۰۰۶۹	۰/۹۵۰۳۵	۰/۷۲۲۳۳۲
۱۱	۲	۰/۷۶۰۰۶۹	۰/۹۵۰۳۵	۰/۷۲۲۳۳۲
۱۲	۲	۰/۷۶۰۰۶۹	۰/۹۵۰۳۵	۰/۷۲۲۳۳۲
۱۳	۱	۰/۶۷۳۴۵۴	۰/۹۳۰۵۸۳	۰/۶۲۶۷۰۵
۱۴	۱	۰/۶۷۳۴۵۴	۰/۹۳۰۵۸۳	۰/۶۲۶۷۰۵
۱۵	۲	۰/۶۳۵۲۰۶	۰/۹۲۲۲۵۳	۰/۵۸۵۸۲۱
۱۶	۲	۰/۶۳۵۲۰۶	۰/۹۲۲۲۵۳	۰/۵۸۵۸۲۱

این جدول نشان می‌دهد تاثیر هارمونیک‌های ولتاژ بر کاهش طول عمر خازن بیشتر از هارمونیک‌های جریان (که به صورت دما تاثیر خود را نشان می‌دهند) بوده است. همچنین با توجه به افزایش مقدار ضرایب، می‌توان چنین نتیجه گرفت که با تغییرات بار در ساعات ۱۴ تا ۱۶، فرکانس رزونانس به هارمونیک‌های موثر نزدیک شده است که این باعث افزایش دامنه هارمونیک‌ها و تاثیرگذاری آن‌ها بر طول عمر خازن شده است.

در حالتی که تاثیر هارمونیک‌ها قابل توجه باشد، یکی از راهکارهای کاهش اثر مخرب هارمونیک‌ها استفاده از خازن‌های با مقادیر نامی بالاتر است. خازن با ولتاژ نامی بالاتر، جریان نامی پایین‌تری خواهد داشت. بنابراین تاثیر مخرب هارمونیک‌های ولتاژ کمتر شده و تاثیر هارمونیک‌های جریان بیشتر می‌شود. این راه حل در صورتی مفید واقع می‌شود که مطابق جدول ۱-۳۳ ضرایب ولتاژ بدتر از ضرایب دما باشند. شکل ۱-۳۵ تفاوت ضرایب طول عمر خازن را برای دو خازن با ولتاژهای نامی ۴۰۰ و ۴۲۰ ولت نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳۵ تاثیر ولتاژ نامی بر ضرایب کاهش طول عمر

۱-۸-۶) محاسبه خازن بهینه بدون در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها

در این قسمت تعیین خازن بهینه بدون در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها شبیه‌سازی می‌شود. در این حالت تنها عامل موثر بر طول عمر خازن، سوئیچینگ خواهد بود. بنابراین انتظار می‌رود بانک خازنی بهینه به گونه‌ای باشد که جبران‌سازی را با حداقل تعداد سوئیچینگ در شبانه‌روز انجام دهد.

با انجام شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که خازن پیشنهاد شده به صورت یک واحد ۲۵ کیلوواری و یک واحد ۲۰ کیلوواری (۰،۱،۱،۰) می‌باشد. از آن‌جا که با توجه به جدول ۱-۳۲ کمترین توان راکتیو مصرفی شبکه در روز ۶۷ کیلووار است، این خازن نیاز به کلیدزنی نخواهد داشت و می‌تواند به صورت یک خازن ثابت ۴۵ کیلوواری نصب شود.

به این ترتیب ملاحظه می‌شود که اثر سوئیچینگ بر طول عمر خازن موجب شده است خازنی انتخاب شود که حداقل نیاز به سوئیچینگ را داشته باشد.

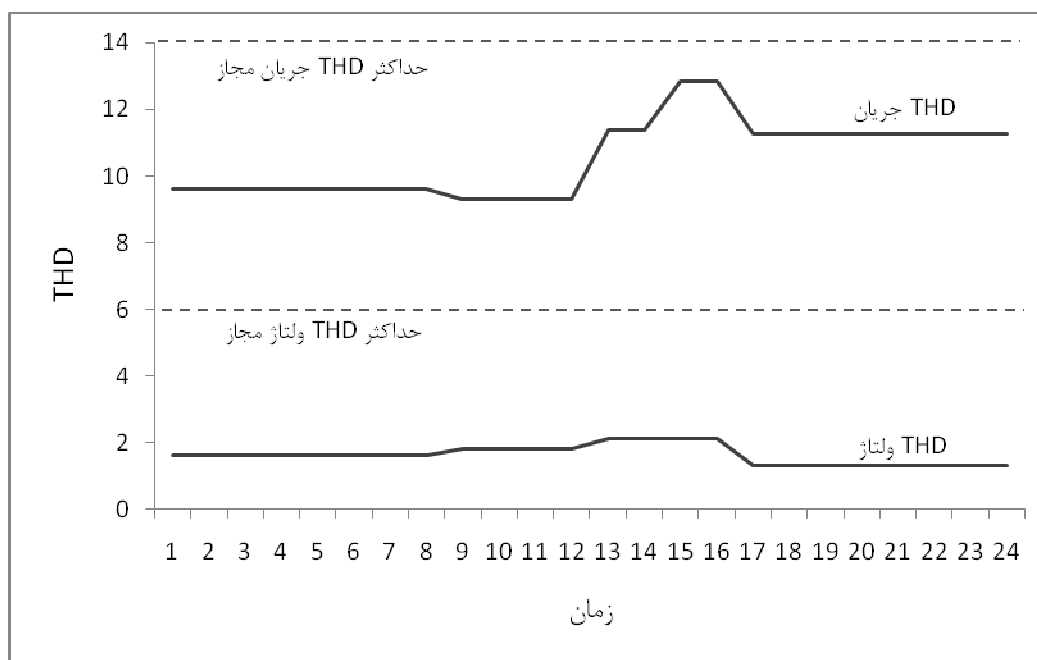
۱-۸-۷) محاسبه خازن بهینه با در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ و هارمونیک‌ها

در این حالت اثر سوئیچینگ و هارمونیک‌ها به طور همزمان دیده می‌شود. با انجام این شبیه‌سازی، خازن بهینه به صورت ۲ واحد ۳۰ کیلوواری (۰،۰،۰،۲) معرفی می‌شود. در این‌جا نیز با توجه به این‌که کمترین توان راکتیو مصرفی ۶۷ کیلووار است، بانک خازنی نیاز به کلیدزنی نخواهد داشت و می‌تواند به صورت یک خازن ثابت ۶۰ کیلوواری مورد استفاده قرار گیرد. تفاوت این پاسخ با پاسخ قسمت قبل، ما را به نتایج جالبی می‌رساند.

به طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ، بانک خازنی همواره به نحوی انتخاب می‌شود که در صورت امکان نیاز به سوئیچینگ نداشته باشد. همان‌طور که در قسمت مربوط به خازن ثابت محاسبه شد، یک خازن ثابت ۴۲ کیلوواری می‌تواند متوسط ضریب توان را به حد مطلوب برساند. بنابراین اگر اثر هارمونیک‌ها در نظر گرفته نشود، نصب خازن ثابت ۴۵ کیلوواری بیشترین سود را خواهد داشت. اما در همان قسمت مربوط به خازن ثابت مشاهده شد که با نصب خازن ثابت، دامنه هارمونیک‌ها در برخی ساعات بسیار زیاد می‌شود به طوری که محدودیت‌های THD جریان نیز نقض خواهد شد. بنابراین اگر اثر هارمونیک‌ها در نظر گرفته شود لازم است برای محدود کردن دامنه هارمونیک‌ها چاره‌ای اندیشیده شود.

همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، یکی از راهکارها تغییر ظرفیت خازن است. در این‌جا نیز الگوریتم ژنتیک پاسخ بهینه را به صورت یک خازن ۶۰ کیلوواری ارائه کرده است، چرا که این خازن فرکانس رزونانس را جابه‌جا کرده و دامنه هارمونیک‌ها را کاهش می‌دهد. در نتیجه از اثر مخرب هارمونیک‌ها کاسته شده و برازندگی بهتری نسبت به خازن ۴۵ کیلوواری به دست می‌آید.

برای شناخت بهتر اثر خازن ۶۰ کیلوواری، نمودار تغییرات THD ولتاژ و جریان پس از نصب این خازن در شکل ۱-۳۶ رسم شده است. این شکل به خوبی نشان می‌دهد THD ولتاژ و جریان در سطح پایین‌تری نسبت به شکل ۱-۳۳ قرار دارند.



شکل ۱-۳۶ تغییرات THD پس از نصب خازن بهینه پیشنهادی

۸-۸-۱) مقایسه نتایج

برای این که بتوان بین حالات مختلف طراحی خازن مقایسه انجام داد، لازم است کلیه نتایج به دست آمده را با یک معیار واحد مورد سنجش قرار دهیم. از دید اقتصادی، سود نهایی با در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها و سوئیچینگ تعیین می‌شود. میزان جبران‌سازی، مقدار بهبود پروفیل ولتاژ و سایر پارامترهای متاثر از خازن‌گذاری نیز معیارهایی برای مقایسه نتایج فراهم می‌کنند که در جدول ۱-۳۴ ارائه شده‌اند. در این جدول پاسخ تولیدی به صورت یک کد ۴ رقمی نشان داده شده است که ارقام آن به ترتیب از چپ به راست نشان‌دهنده تعداد واحدهای ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوواری می‌باشند. مقادیر مربوط به میزان جبران‌سازی نیز از نسبت متوسط توان راکتیو تولیدی خازن به متوسط توان مصرفی در یک دوره به دست آمده است.

جدول ۱-۳۴: مقایسه خازن‌های محاسبه شده با ۴ دیدگاه مختلف

خازن بهینه پیشنهادی	خازن بهینه بدون اثر هارمونیک‌ها	خازن بهینه بدون اثر سوئیچینگ	خازن ثابت	
۰۰۰۰۰۲	۰۰۱۰۱۰	۱۰۰۲۰۳	۰۰۲۰۰۰	پاسخ تولیدی
۶۰ کیلووار	۴۵ کیلووار	۱۵۵ کیلووار	۴۰ کیلووار	ظرفیت خازنی
۶۹/۷ درصد	۵۲/۲۸ درصد	۹۶/۸ درصد	۴۶/۴۷ درصد	میزان جبران‌سازی
ولت ۳۸۹/۳۱	ولت ۳۸۷/۳۵	ولت ۳۸۹/۹۷	ولت ۳۸۶/۷	بیشینه ولتاژ
ولت ۳۷۹/۲	ولت ۳۷۷/۲۶	ولت ۳۸۴/۴۸	ولت ۳۷۶/۶	کمینه ولتاژ
\$ ۵۴۲/۱۳	\$ ۵۴۲/۱۳	\$ ۵۴۲/۱۳	\$ ۵۳۵/۷	منافع خازن‌گذاری در یک دوره یک ماهه
\$ ۲۶۱۴۰	\$ ۲۵۰۶۳	\$ ۱۷۵۶	\$ ۲۴۲۹۹	سود نهایی
سال ۴/۰۲	سال ۳/۸۶	سال ۱/۳۵	سال ۳/۷۸	طول عمر بانک خازن

بیشترین منافع قابل حصول طی یک دوره یک ماهه ۵۴۲/۱۳ دلار است که تمامی پاسخ‌ها آن را تامین کرده یا به آن کاملاً نزدیک شده‌اند. بنابراین تفاوت گزینه‌های مختلف در هزینه‌های خازن‌گذاری است. طول عمر نامی خازن‌ها ۶ سال در نظر گرفته شده است. اثر هارمونیک‌ها و سوئیچینگ موجب کاهش طول عمر خازن‌ها شده است. بنابراین همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، سود نهایی تابعی از طول عمر خازن خواهد بود.

خازن ثابت ۴۰ کیلوواری تنها تحت تاثیر اثر هارمونیک‌ها قرار می‌گیرد. نصب این خازن، فرکانس رزونانس را به نحوی تنظیم می‌کند که هارمونیک‌های موثر طی یک شبانه روز، در نزدیکی فرکانس رزونانس قرار می‌گیرند. بنابراین وجود هارمونیک‌های پدیده‌مانه موجب کاهش طول عمر این خازن به ۳/۷۸ سال می‌شود.

در صورت چشم‌پوشی از اثر سوئیچینگ حین طراحی، خازن بهینه به صورت یک بانک ۱۵۵ کیلوواری محاسبه می‌شود. بنابراین در شرایط واقعی، نیاز به کلیدزنی‌های پیاپی در یک شبانه‌روز موجب کاهش قابل توجه طول عمر این بانک خازنی به ۱/۳۵ سال می‌شود.

اما چنانچه در مرحله طراحی اثر هارمونیک‌ها دیده نشود، بانک خازنی محاسبه شده به صورت ۴۵ کیلوواری خازن ثابت (بدون نیاز به سوئیچینگ) خواهد بود. خازن ۴۵ کیلوواری کوچک‌ترین خازنی است که می‌تواند متوسط ضریب توان را در پایان یک دوره، به مقدار مطلوب برساند. استفاده از خازن‌های بزرگتر تنها هزینه را افزایش داده و منافی در پی ندارد.

حال اگر هر دو پارامتر سوئیچینگ و هارمونیک‌ها دیده شوند، پاسخ بهینه به صورت خازن ثابت ۶۰ کیلوواری معرفی می‌شود. اثر سوئیچینگ موجب می‌شود مانند حالت قبل، خازنی انتخاب شود که کمترین نیاز را به سوئیچینگ داشته باشد. اما در این حالت خازن ۴۵ کیلوواری بهینه محسوب نمی‌شود. چرا که با نصب خازن ۶۰ کیلوواری فرکانس رزونانس کنترل شده و دامنه هارمونیک‌ها کاهش می‌یابند. در نتیجه طول عمر خازن افزایش یافته و سود نهایی بیشتر می‌شود. برای این که بتوان مقایسه بهتری انجام داد، خازن ۴۵ کیلوواری نیز با در نظر گرفتن اثرات سوئیچینگ و هارمونیک‌ها شبیه‌سازی شده و نتایج آن در جدول ۱-۳۴ ارائه شده است. بنابراین به خوبی مشاهده می‌شود که طول عمر خازن و سود نهایی در زمان نصب خازن ۴۵ کیلوواری کمتر خواهد بود.

این بررسی نشان می‌دهد در مرحله طراحی می‌بایست هر دو پارامتر موثر بر طول عمر در نظر گرفته شوند. در نظر نگرفتن هر یک از این دو پارامتر می‌تواند موجب فاصله گرفتن پاسخ یافته شده از نقطه بهینه واقعی گردد.

نکته دیگری که در پایان باید به آن اشاره کرد این است که در این شبکه، تغییرات بار به گونه‌ای است که خازن ثابت می‌تواند توان راکتیو بار را جبران کرده و متوسط ضریب توان را به مقدار مطلوب برساند. این خازن، در طول شبانه‌روز همواره توان راکتیوی کمتر از توان راکتیو مورد نیاز بار تولید می‌کند و در نتیجه ولتاژ باس، مطابق جدول ۱-۳۴ از محدوده مجاز خارج نمی‌شود. حال آن که اگر توان راکتیو مصرفی بار تغییرات شدیدتری داشته باشد، استفاده از خازن ثابت موجب می‌شود در برخی از ساعات با کاهش توان راکتیو مصرفی، ضریب توان پیش‌فاز شود و در نتیجه در باس متصل به خازن افزایش ولتاژ رخ دهد. چنانچه این افزایش ولتاژ، محدودیت‌های ولتاژ را نقض کند، استفاده از خازن ثابت غیرقابل قبول خواهد بود و ناچار به استفاده از خازن پله‌ای خواهیم شد.

(۹-۱) نتیجه‌گیری نهایی

در این پروژه طراحی بانک خازنی بهینه از دیدگاه اقتصادی برای پست برق مرکز مخابرات اراک مدنظر بوده است. با توجه به این‌که در این شبکه از یکسوکونده‌ها استفاده زیادی می‌شود، مقادیر قابل توجهی هارمونیک‌های ولتاژ و جریان تولید می‌شوند. این موضوع به همراه تغییرات بار (که از مشخصات هر شبکه الکتریکی می‌باشد) ما را بر آن داشت که اثر این دو پارامتر را بر روی خازن مدل کنیم و در طراحی بانک خازنی که شامل تعیین ظرفیت خازن و نوع آرایش پله‌های بانک خازنی است، لحاظ کنیم.

تغییر تعداد پله‌های بانک خازنی همگام با تغییرات بار موجب شارژ و دشارژ واحدهای خازنی می‌شود که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر طول عمر خازن می‌گذارد. این موضوع به عنوان اثر حالت ماندگار سوئیچینگ روی بانک خازنی در این پروژه دیده شده است و به کمک روابطی که برای آن ارائه شده، مدل می‌شود. اثر هارمونیک‌ها نیز به صورت تنش‌های ولتاژی و دمایی بر طول عمر خازن مدل می‌شود. بر این اساس الگوریتمی پیشنهاد شده است که به کمک آن بتوان طراحی بانک خازنی را با در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها و سوئیچینگ انجام داد.

محدوده وسیع آرایش‌های بانک خازنی و پیچیدگی تابع هدف، ما را بر آن می‌دارد که از روش‌های جستجوی پیشرفته استفاده کنیم. روش مورد استفاده در این پروژه الگوریتم ژنتیک بوده است که در یک فصل مجزا روش عملکرد آن شرح داده شده است. به کمک الگوریتم ژنتیک می‌توان فضای جستجو را با سرعت بسیار بالا و صرف حافظه کم جستجو کرد. اما از آن‌جا که الگوریتم ژنتیک مبتنی بر احتمالات است، قابلیت اطمینان پاسخ‌ها یکی از دغدغه‌های اصلی به شمار می‌رود. در این خصوص پیشنهاد شد با انجام آزمایشات متعدد، احتمال همگرایی به نقطه بهینه سنجیده شود. سپس با تنظیم مناسب عملگرهای الگوریتم ژنتیک، مقدار این احتمال افزایش داده شود. با افزایش تعداد آزمایشات، دقت احتمال محاسبه شده بیشتر خواهد شد.

جهت بررسی کارایی روش ارائه شده در تعیین خازن بهینه، چهار سناریوی مختلف در نظر گرفته شد. در حالت اول، بانک خازنی به صورت خازن ثابت و تنها بر اساس میزان توان راکتیو مصرفی انتخاب شد. در حالت دوم، بانک خازنی بدون در نظر گرفتن اثر سوئیچینگ و تنها با لحاظ کردن تاثیر هارمونیک‌ها محاسبه شد. در حالت سوم برای طراحی بانک خازنی تنها اثر سوئیچینگ بر بانک خازنی دیده شد و از اثر هارمونیک‌ها صرف‌نظر شد. سرانجام در حالت آخر هر دو اثر سوئیچینگ و هارمونیک‌ها مورد توجه قرار گرفت.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد در صورتی که تغییرات شدید بار، استفاده از خازن متغیر را الزامی نکند، پاسخ بهینه یک بانک خازنی ثابت خواهد بود. ظرفیت این خازن نیز به گونه‌ای انتخاب می‌شود که در برابر تغییرات بار، فرکانس رزونانس را تا حد ممکن دور از هارمونیک‌های موثر قرار دهد و به این ترتیب دامنه هارمونیک‌ها را در حداقل مقدار ممکن نگاه دارد.

همچنین در این پروژه سه راه حل برای کاهش اثر مخرب هارمونیک‌ها ارائه شد. یک راه حل استفاده از فیلتر دی‌تیون است که با اضافه کردن یک راکتور به خازن انتخاب شده ساخته می‌شود و فرکانس رزونانس را به سمت چپ جابه‌جا می‌کند. به این ترتیب می‌تواند با دور کردن فرکانس رزونانس از مولفه‌های هارمونیکی اصلی، دامنه هارمونیک‌ها را محدود کند. کارایی این فیلتر به کمک نمودارهای امیدانس به فرکانس شبکه نشان داده شد. راه حل دوم تغییر ظرفیت خازن بود، که به روشی مشابه موجب جابه‌جایی فرکانس رزونانس می‌شود. این راه حل در درون الگوریتم پیشنهادی دیده می‌شود و به کمک آن ظرفیت خازن به گونه‌ای تعیین می‌شود که دامنه هارمونیک‌ها در کمترین مقدار قرار بگیرد. راه حل سوم استفاده از خازن با مقادیر نامی بالاتر است. به کمک خازن‌های با ولتاژ نامی بالا، می‌توان تاثیر تنش‌های ولتاژ ناشی از هارمونیک‌های ولتاژ را کمتر کرد و طول عمر خازن را بالا برد.

بر اساس نتایج این بررسی، مشخص می‌شود در نظر نگرفتن تاثیر تغییرات بار و هارمونیک‌ها در مرحله طراحی خازن (در صورت وجود بارهای متغیر و محیط هارمونیکی)، موجب فاصله گرفتن خازن طراحی شده از نقطه بهینه واقعی می‌شود. بنابراین لازم است در طراحی خازن بهینه هر دو پارامتر همزمان لحاظ شوند.

١٠-١) پیوست‌ها

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

کد پستی: ۳۵۲۱

وزارت نیرو

شرکت توزیع برق استان مرکزی

رئیس هیئت مدیره شرکت توزیع

دوره: ۱۳۴۰/۳/۰۰۰

شماره قبض: ۹۷۶۳۷۹۴۰۰۳۱۲۹

شماره پرداخت: ۱۳۴۰۳۱۱۵۱

مبلغ قابل پرداخت: ۱۳۴۰۳۰۰۰

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ریال (بدون ضریب)
میان باری	۱۱۹۸۷	۱۲۲۳۸	۱۰۰۴۰	۳۷۵۱۰۴۴
اوج بار	۴۴۳۰	۴۵۱۷	۳۴۸۰	۲۶۰۰۲۹۱
اوج بار جمعه	۸۶۰۶	۸۷۷۷	۶۸۴۰	۱۲۷۸۲۵۹
کم باری	۱۵۹۳۸	۱۶۳۰۰	۱۶۸۸۰	۱۵۶۸۳۷۹
راکتیو	۱۵۹۳۸	۱۶۳۰۰	۱۶۸۸۰	۱۶۵۵۸۳۳
قیمت آزاد برق دوره	۵۵۹۳۸۸۰			۲۱۶۰۰۰
کسر می‌شود بازه پرداختی	۲۲۳۲۱۲۳			۲۱۶۰۰۰
نوع صورتحساب	مبلغ بر ارزش افزوده و حواله			
ترتیب توزیع	صورتحساب معینی			
امور برق	امور برق نواحی مرکز			
تلفن حواله	۱۲۱			
تلفن روابط عمومی	۸۸/۰۷/۱۹			
مبلغ قابل پرداخت	۱۳۴۰۳۰۰۰			

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

کد پستی: ۳۵۲۱

وزارت نیرو

شرکت توزیع برق استان مرکزی

رئیس هیئت مدیره شرکت توزیع

دوره: ۱۳۴۰/۳/۰۰۰

شماره قبض: ۹۷۶۳۷۹۴۰۰۳۱۲۹

شماره پرداخت: ۷۴۴۰۱۰۰۱

مبلغ قابل پرداخت: ۷۴۴۰۰۰۰

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ریال (بدون ضریب)
میان باری	۱۰۲۶۷	۱۰۵۹۹	۱۲۰۸۰	۴۵۱۳۲۰۹
اوج بار	۳۸۹۴	۳۹۲۳	۱۱۶۰	۸۶۶۷۶۴
اوج بار جمعه	۷۶۹۹	۷۶۹۹	۰	۰
کم باری	۱۴۳۰۲	۱۴۳۰۲	۰	۰
راکتیو	۱۴۳۰۲	۱۴۳۰۲	۰	۰
قیمت آزاد برق دوره	۱۲۳۴۵۲۰			۱۸۴۳۰۰۰
کسر می‌شود بازه پرداختی	۲۷۹۴۴۴۷			۰
نوع صورتحساب	مبلغ بر ارزش افزوده و حواله			
ترتیب توزیع	صورتحساب معینی			
امور برق	امور برق نواحی مرکز			
تلفن حواله	۱۲۱			
تلفن روابط عمومی	۸۸/۰۷/۱۹			
مبلغ قابل پرداخت	۷۴۴۰۰۰۰			

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

کد پستی: ۳۵۲۱

وزارت نیرو

شرکت توزیع برق استان مرکزی

رئیس هیئت مدیره شرکت توزیع

دوره: ۱۳۴۰/۳/۰۰۰

شماره قبض: ۹۷۶۳۷۹۴۰۰۳۱۲۹

شماره پرداخت: ۱۲۵۷۳۱۱۰۴

مبلغ قابل پرداخت: ۱۲۵۷۳۰۰۰

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ریال (بدون ضریب)
میان باری	۱۱۹۸۷	۱۱۹۸۷	۱۰۶۸۰	۳۹۰۰۱۵۵
اوج بار	۴۳۴۰	۴۴۳۰	۳۶۰۰	۲۶۸۹۵۹۶
اوج بار جمعه	۸۶۰۶	۸۶۰۶	۶۲۸۰	۱۱۷۳۲۰۷
کم باری	۱۵۵۵۵	۱۵۹۳۸	۱۴۱۲۰	۹۲۰۲۷۰
راکتیو	۱۵۵۵۵	۱۵۹۳۸	۱۴۱۲۰	۲۱۷۲۵۷۹
قیمت آزاد برق دوره	۵۵۹۳۸۸۰			۱۲۶۰۰۵۷۲
کسر می‌شود بازه پرداختی	۳۲۱۹۳۵۸			۰
نوع صورتحساب	مبلغ بر ارزش افزوده و حواله			
ترتیب توزیع	صورتحساب معینی			
امور برق	امور برق نواحی مرکز			
تلفن حواله	۱۲۱			
تلفن روابط عمومی	۸۸/۰۷/۱۹			
مبلغ قابل پرداخت	۱۲۵۷۳۰۰۰			

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

کد پستی: ۳۵۲۱

وزارت نیرو

شرکت توزیع برق استان مرکزی

رئیس هیئت مدیره شرکت توزیع

دوره: ۱۳۴۰/۳/۰۰۰

شماره قبض: ۹۷۶۳۷۹۴۰۰۳۱۲۹

شماره پرداخت: ۱۰۰۱۰۱۰۵۴۰

مبلغ قابل پرداخت: ۱۰۰۱۰۰۰۰

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ریال (بدون ضریب)
میان باری	۱۰۵۹۹	۱۰۸۹۹	۱۳۲۰۰	۴۹۳۱۵۵۲
اوج بار	۳۹۲۳	۴۰۱۱	۳۵۲۰	۲۶۳۰۱۷۹
اوج بار جمعه	۷۶۹۹	۷۶۹۹	۰	۰
کم باری	۱۴۳۰۲	۱۴۳۰۲	۰	۰
راکتیو	۱۴۳۰۲	۱۴۳۰۲	۰	۰
قیمت آزاد برق دوره	۲۹۵۵۴۸۰			۲۲۳۸۴۱۴
کسر می‌شود بازه پرداختی	۲۸۵۳۳۳۸			۰
نوع صورتحساب	مبلغ بر ارزش افزوده و حواله			
ترتیب توزیع	صورتحساب معینی			
امور برق	امور برق نواحی مرکز			
تلفن حواله	۱۲۱			
تلفن روابط عمومی	۸۸/۰۷/۱۹			
مبلغ قابل پرداخت	۱۰۰۱۰۰۰۰			

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

وزارت نیرو
شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی
دو محله جاده شرکت تفرش

کد پستی: ۳۸۱۱۱۱

تداوم جریان برق نیازمند همبازی مشترکین در مصرف جویبی مصرف برق طی چهار ساعت اولیه شب میباشد

کد تیرف ۵۰۲۱: سایر مصرف شرح تیرف، تعرفه شماره ۳ - مصرف حادی

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ريال (مبلغ بدون تخفیف)
میان باری	۱۱۵۷۹	۱۱۷۲۰	۵۶۴۰	۲۱۰۷۱۶۰
لاج بار	۴۲۸۷	۴۳۴۰	۲۱۲۰	۱۵۸۴۸۵۰
لاج بار جمعه	۸۳۴	۸۳۴		
کم باری	۸۳۳۸	۸۴۴۹	۴۴۴۰	۸۲۹۷۴۷
راکتیو	۱۵۴۰۰	۱۵۵۸۵	۷۴۰۰	۳۳۴۸۹۴۰
قیمت آزاد برق دوره	۴۳۲۰۰۰			۱۸۴۳۴۰۰
کسر می شود بازه پرداختی	۲۵۲۰۳۳۶			
نوع صورتحساب	نوع صورتحساب			
شرکت توزیع	شرکت توزیع			
امور برق	امور برق			
تلفن	تلفن			
معمولی	معمولی			
میلاد پرداخت	میلاد پرداخت			

مبلغ قابل پرداخت: ۶۹۰۰۰۰۰

مبلغ به حقوق: شش میلیون و نهصد هزار

دوره: ۱۴۸۱

کشف قبض: ۱۳/۱۲/۲۳

تاریخ آخرین پرداخت: ۱۳/۱۲/۲۳

صورتحساب از: ۸۸/۰۲/۲۱

مبلغ قابل پرداخت: ۶۹۰۰۰۰۰

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

وزارت نیرو
شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی
دو محله جاده شرکت تفرش

کد پستی: ۳۸۱۱۱۱

تداوم جریان برق نیازمند همبازی مشترکین در مصرف جویبی مصرف برق طی چهار ساعت اولیه شب میباشد

کد تیرف ۵۰۲۱: سایر مصرف شرح تیرف، تعرفه شماره ۳ - مصرف حادی

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ريال (مبلغ بدون تخفیف)
میان باری	۱۰۸۹۹	۱۱۲۴۶	۱۳۸۸۰	۵۱۸۵۰۷۰
لاج بار	۴۰۱۱	۴۰۱۱		۲۹۲۹۰۲۳
لاج بار جمعه	۷۷۰۰	۷۷۸۹	۳۵۶۰	۶۶۵۲۹۳
کم باری	۱۴۴۰۰	۱۴۵۴۱	۵۲۴۰	۱۶۵۸۹۳۰
راکتیو	۲۵۱۱۲۸۰	۲۵۱۱۲۸۰		
قیمت آزاد برق دوره	۲۵۱۱۲۸۰			
کسر می شود بازه پرداختی	۲۵۱۱۲۸۰			
نوع صورتحساب	نوع صورتحساب			
شرکت توزیع	شرکت توزیع			
امور برق	امور برق			
تلفن	تلفن			
معمولی	معمولی			
میلاد پرداخت	میلاد پرداخت			

مبلغ قابل پرداخت: ۱۰۷۳۸۰۰۰

مبلغ به حقوق: ده میلیون و هفتصد و سی و هشت هزار

دوره: ۱۴۸۱

کشف قبض: ۱۳/۱۲/۲۳

تاریخ آخرین پرداخت: ۱۳/۱۲/۲۳

صورتحساب از: ۸۸/۰۲/۲۱

مبلغ قابل پرداخت: ۱۰۷۳۸۰۰۰

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

وزارت نیرو
شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی
دو محله جاده شرکت تفرش

کد پستی: ۳۸۱۱۱۱

تداوم جریان برق نیازمند همبازی مشترکین در مصرف جویبی مصرف برق طی چهار ساعت اولیه شب میباشد

کد تیرف ۵۰۲۱: سایر مصرف شرح تیرف، تعرفه شماره ۳ - مصرف حادی

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ريال (مبلغ بدون تخفیف)
میان باری	۱۱۴۴۰	۱۱۵۷۹	۶۶۰۰	۲۴۶۵۸۲۶
لاج بار	۴۲۴۴	۴۲۸۷	۲۵۲۰	۱۸۸۲۹۶۹
لاج بار جمعه	۸۲۱۹	۸۲۱۹		
کم باری	۱۵۴۰۰	۱۵۴۰۰		
راکتیو	۱۵۴۰۰	۱۵۴۰۰		
قیمت آزاد برق دوره	۱۵۴۰۰			۱۸۴۳۴۰۰
کسر می شود بازه پرداختی	۲۳۵۰۴۴			
نوع صورتحساب	نوع صورتحساب			
شرکت توزیع	شرکت توزیع			
امور برق	امور برق			
تلفن	تلفن			
معمولی	معمولی			
میلاد پرداخت	میلاد پرداخت			

مبلغ قابل پرداخت: ۷۲۹۴۰۰۰

مبلغ به حقوق: هفت میلیون و نویست و چهار هزار

دوره: ۱۴۸۱

کشف قبض: ۱۳/۱۲/۲۳

تاریخ آخرین پرداخت: ۱۳/۱۲/۲۳

صورتحساب از: ۸۸/۰۲/۲۱

مبلغ قابل پرداخت: ۷۲۹۴۰۰۰

نام و آدرس: ایستگاه کوه پناه تفرش جاده اراک

وزارت نیرو
شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی
دو محله جاده شرکت تفرش

کد پستی: ۳۸۱۱۱۱

تداوم جریان برق نیازمند همبازی مشترکین در مصرف جویبی مصرف برق طی چهار ساعت اولیه شب میباشد

کد تیرف ۵۰۲۱: سایر مصرف شرح تیرف، تعرفه شماره ۳ - مصرف حادی

نوع مصرف	شماره قبلی	شماره فعلی	مصرف KWH	مبلغ به ريال (مبلغ بدون تخفیف)
میان باری	۱۱۲۴۷	۱۱۴۱۴	۶۶۸۰	۲۴۹۵۷۱۵
لاج بار	۴۱۳۴	۴۲۲۴	۳۶۰۰	۲۶۸۹۹۵۶
لاج بار جمعه	۸۰۳۹	۸۲۱۹	۷۲۰۰	۱۳۴۵۵۳۴
کم باری	۱۴۹۹۴	۱۵۲۳۲	۹۵۲۰	۲۲۹۱۰۴
راکتیو	۳۵۱۲۰۰	۳۵۱۲۰۰		
قیمت آزاد برق دوره	۳۵۱۲۰۰			۲۶۹۹۲۶۴
کسر می شود بازه پرداختی	۳۵۱۲۰۰			
نوع صورتحساب	نوع صورتحساب			
شرکت توزیع	شرکت توزیع			
امور برق	امور برق			
تلفن	تلفن			
معمولی	معمولی			
میلاد پرداخت	میلاد پرداخت			

مبلغ قابل پرداخت: ۹۷۴۳۰۰۰

مبلغ به حقوق: نه میلیون و هفتصد و چهل و سه هزار

دوره: ۱۴۸۱

کشف قبض: ۱۳/۱۲/۲۳

تاریخ آخرین پرداخت: ۱۳/۱۲/۲۳

صورتحساب از: ۸۸/۰۲/۲۱

مبلغ قابل پرداخت: ۹۷۴۳۰۰۰

(11-1) مراجع

- [1] ت.ج.ا. میلر، "کنترل توان راکتیو در سیستم‌های الکتریکی"، ترجمه دکتر رضا قاضی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۳۷۱
- [2] تعرفه‌های برق و شرایط عمومی آن‌ها، شرکت برق منطقه‌ای باختر، سال ۱۳۸۶
- [3] مهرانگیز کافی، "خازن‌گذاری بهینه روی فیدرهای نمونه شبکه توزیع فشار متوسط استان هرمزگان به منظور کاهش ولتاژ و کاهش تلفات"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تابستان ۱۳۷۸
- [4] خالد مطوریان، فریبرز فداکار، "ارزیابی حفاظت خازن‌های قدرت و بررسی علل انفجار بانک‌های خازنی"، سومین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع، اردیبهشت ۱۳۷۲
- [5] سیدحسین صادقی، آرتین درمیناسیانس، شهرام منتصر کوهساری، "هارمونیک‌ها در شبکه‌های قدرت"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تابستان ۱۳۸۲
- [6] امیرهوشنگ عباسی، عبدالرضا شیخ‌الاسلامی، "پدیده فرورزونانس و روش‌های محدودسازی آن"، ششمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق
- [7] احمد اسماعیلی، عبدالرضا شیخ‌الاسلامی، محمداسماعیل همدانی گلشن، "اثرات نامطلوب نصب خازن بر کیفیت توان شبکه و روش‌های کاهش آن‌ها"، هجدهمین کنفرانس بین‌المللی برق
- [8] دکتر مهدی کراری، "دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، زمستان ۱۳۸۲
- [9] مهندس مهدی علیرضا، "الگوریتم‌های ژنتیک و کاربردهای آن"، انتشارات ناقوس اندیشه، ۱۳۸۶
- [10] دکتر علیرضا رضایی، مهندس سجاد رنجبران، "الگوریتم ژنتیک در نرم افزار مطلب"، انتشارات آذر، ۱۳۸۶
- [11] R.F.Chu, R.H.Avedano, "A Direct Method for Identifying the Optimal Power Factor Correction in Nonsinusoidal Systems", IEEE PES, pp.959-964, July 1984
- [12] R.T.Saleh, A.E.Emanuel, "Optimum Shunt Capacitor for Power Factor Correction at Buses with Lightly Distorted Voltage", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 1, No. 1, pp.165-173, January 1987
- [13] N. Locci, C. Muscas, S.Sulis, "Detrimental Effects of Capacitors in Distribution Networks in the Presence of Harmonic Pollution", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, pp.311-315, January 2007

- [14] W. Xu, X. Liu, Y. Liu "Assesment of harmonic resonance potential for shunt capacitor applications", ELSEVIER electric power systems research 57, pp.97-104, 2001
- [15] Z. Huang, W. Xu, V.R. Vinavahi, "A Practical Harmonic Resonance Guideline for shunt Capacitor Applications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 4, pp.1382-1387, October 2003
- [16] T. B. Sekara, J.C. Mikulovic, Z.R. Djuriscic, "Optimal Reactive Compensators in Power Systems Under Asymmetrical and Nonsinusoidal Conditions", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 23, No. 2, pp.974-984, April 2008
- [17] H. Ng, M. Salama, A. Chikhani, "Classification of Capacitor Allocation Techniques", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.15, No.1, pp.387-392, January 2000
- [18] M.M. Abdel Aziz, E.E. Abou Elzahab, A.M. Ibrahim, "Sizing of capacitors to optimize the power factor at non-sinusoidal frequencies", ELSEVIER electric power systems research 64, pp.81-85, 2003
- [19] T. Ghose, S.K. Goswami, "Effects of unbalances and harmonics on optimal capacitor placement in distribution system", ELSEVIER electric power systems research 68, pp.167-173, 2004
- [20] I.E. Samahy, E.F. Saadany, M.M.A. Salama, "The Effect of Harmonics on The Optimal Capacitor Placement Problem", IEEE 11th Conf. on Harmonic and Quality of Power, pp.221-226, 2004
- [21] C. Boonseng, C. Inwai, V. Kinnares, K. Nakawiwat, P. Apiratkul "Failure Analysis of Dielectric of Low Voltage Power Capacitors Due to Related Harmonic Resonance Effwcts", IEEE Power engineering society winter meeting, pp.1003-1008, 2001
- [22] N. G. Gagaoudakis, A. D. Georgopoulos, "Investigation of harmonics in relation to 150KV capacitor banks at PPC's Philippi substation", IEEE 8th Conf. on Harmonic and Quality of Power, pp.825-830, 1998
- [23] A.S. Farang, C.Wang, T.C. Cheng, "Failure analysis of composite dielectric of power capacitors used in distribution systems", IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 5, pp.583-588, 1998
- [24] P. Cygan, R. Laghari, "Models for Insulation Aging under Electrical and Thermal Multistress", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 25, No.5, October 1990
- [25] M.H. Hussein, P. Venet, "Thermal Optimization of Metalized Polypropylene Film Capacitors", IEEE Industry Application Conference, pp.3063-3068, 2000
- [26] G.Brunello, B.Kasztenny, C.Wester, "Shunt Capacitor Bank Fundamentals and Protection", Conference for protective relays, Texas University 2003
- [27] B.Vahidi, S.Ghahghahzade, "Study of SVC's Fire Angle Variation to Enhance Capacitor Insulation Lifetime Against Network Imposed Harmonics", 9th International Multitopic Conference, pp.1-3, 2005

- [28] Technical Data of Illinois Capacitor INC., “Life Cycle Calculator”, Available at:
<http://www.illinoiscapacitor.com/techcenter/lifecalculators.asp>
- [29] IEEE Standard 519-1992, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”
- [30] IEEE Standard 141-1993, “Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants”
- [31] IEEE Standard 1036-1992, “Guide for Application of Shunt Power Capacitors”
- [32] American Power Conversion Technical Staff, “Avoiding AC Capacitor Failures in Large UPS Systems”, American Power Conversion 2003
- [33] IEC Standard 831-1996, “Shunt power capacitors of the self-healing type for ac systems having a rated voltage up to and including 1000V”
- [34] IEC Standard 61642-1997, “Industrial a.c. networks affected by harmonics-Application of filters and shunt capacitors”
- [35] Randy L.Haupt and Su Ellen Haupt, “Practical Genetic Algorithms,” WILEY. Second edition. 2004