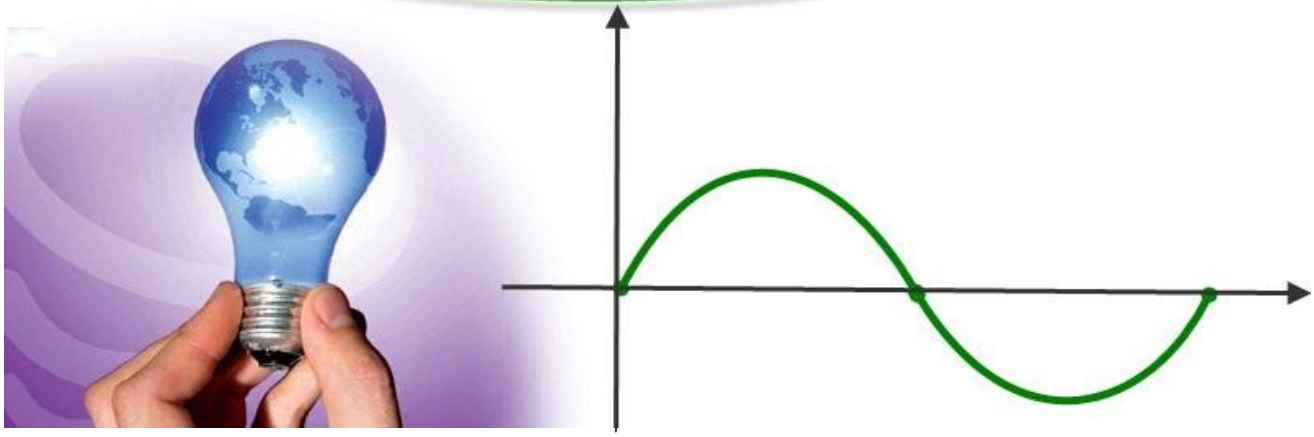
www.wikipower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

خازن گذاری در پست های مخابرات

WikiPower.ir

برای خرید فایل wordاین پروژه اینجا کلیک کنید.

(شماره پروژه = ۳۱۵)

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

۱-۱)تاریخچه:

در یک سیستم قدرت الکتریکی ac ایده‌آل، ولتاژ و فرکانس در هر نقطه تغذیه ثابت و عاری از هارمونیک و مقدار ضریب توان واحد می‌باشد. ضمن اینکه این پارامترها مستقل از اندازه و مشخصات بار مصرفی خواهند بود. بر این اساس، چگونگی ثابت بودن ولتاژ و فرکانس و میزان نزدیکی ضریب توان به مقدار یک، کیفیت تغذیه[۱] را مشخص می‌کند. چنانچه کیفیت تغذیه از شرایط ایده‌آل فاصله داشته باشد با انجام جبران سازی‌های مناسب می‌توان کیفیت تغذیه را بهبود بخشید.

در ابتدا به دلایل و انگیزه‌های مختلف از خازن‌گذاری و روش‌های مختلف انجام آن در محیط‌های غیرهارمونیکی و سپس به بررسی هارمونیک‌ها و تاثیرات آن‌ها به عنوان یکی از پارامترهای مخرب کیفیت تغذیه بر مسئله خازن‌گذاری پرداخته می‌شود و جهت حل مشکلات هارمونیکی اثرگذار بر خازن‌گذاری، تئوری‌ها و روش‌های موجود را بررسی می‌شود.

جهت انجام خازن‌گذاری در محیط‌های هارمونیکی لازم است روابط مورد استفاده ۱-۱- به نحوی تغییر یابند که اثرات هارمونیک‌ها را در نظر بگیرند و همچنان از دقت و کارایی لازم برخوردار باشند. به این منظور یک بررسی کامل روی مسائل خازن‌گذاری و روابط مربوطه در محیط‌های هارمونیکی انجام می‌دهیم و در نهایت نتایج مطالعات انجام شده به صورت جمع‌بندی شده ارائه می‌گردد.

سپس با اطلاعات بدست آمده از پست مخابرات اراک شبیه سازی در نرم افزار Digsilent صورت میگیرد.الگوریتم ژنتیک در مرحله بعد با تولید ورودی های مختلف برای Digsilent خروجی آنرا دریافت کرده و با مقایسه خروجی تابع هدف به نقطه بهینه نزدیک میشود.

---

[۱] Quality of Supply

در پایان پارامترهای مختلف در حالت قبل و بعد از خازن گذاری مقایسه می گردد و پیشنهاداتی برای بهبود ارایه می گردد.

۱-۲)کارهای صورت گرفته در این پروژه:

در مرحله اول از پروژه به جمع آوری اطلاعات اولیه و مباحث تیوریک در خازن گذاری پرداخته شده است.سپس این اطلاعات در مورد پست های مخابراتی مورد بررسی قرار گرفت.

در بخش بعد با بازدید از پست مخابرات مرکزی اراک اطلاعات مورد نیاز برای بررسی نرم افزاری پروژه بدست آورده شد.

سپس با تحقیق در مورد نرم افزارهای تحلیلی مهندسی قدرت و در نظر گرفتن حالات مختلف شبکه نرم افزار Digsilent برای تحلیل مناسب تشخیص داده شد.

برای تعیین ورودی های نرم افزار و با در نظر گرفتن محدودیت های اقتصادی و عملی باید به نقطه بهینه دست یافت.اما از انجا که تابع با محدودیت های مذکور دارای پیچیدگی های محاسباتی می باشد از روشی مستقل از نوع تابع برای دست یافتن به نقطه ماکزیمم استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک با تولید ورودی های تصادفی مختلف و ارسال آنها به نرم افزار digsilent خروجی تابع هدف آنرا دریافت می کند.با مقایسه خروجی تابع هدف ، الگوریتم ژنتیک به نقطه بهینه خواهد رسید.

سپس با مقایسه پارامترهای مختلف شبکه در حالت قبل و بعد از خازن گذاری نتایج بصورت کامل مورد بررسی قرار گرفت.

در پایان پیشنهاداتی برای بهتر شدن مشکلات بیان شده است.

۱-۳)فصل بندی پروژه

در قسمت اول این پروژه، مطالعات لازم جهت خازن‌گذاری انجام شده و تئوری‌ها، مسائل و نکات مطرح در این زمینه بیان می‌شوند. از نتایج این مطالعات به عنوان پشتوانه تئوریک جهت پروژه استفاده می‌شود.

سپس اهداف خازن‌گذاری، منافع حاصله، هزینه‌ها، خطرات و مشکلات دیده می‌شود. بر این اساس روابطی که برای محاسبه خازن بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرند ارائه شده‌اند. در این روند سعی شده است هزینه ها و منافع، با دیدگاهی کاملا کاربردی، به کمک روابط مورد استفاده وزارت نیرو در تعیین تعرفه‌های برق، بیان شوند.

با پیاده‌سازی این روابط در محیط نرم‌افزار می‌توان خازن بهینه را تعیین نمود. اما استفاده از این الگوریتم بدون در نظر گرفتن اثر هارمونیک‌ها پاسخ‌مطلوب را تولید نمی‌کند. بنابراین در قسمت محاسبات خازن گذاری در شرایط هارمونیکی، احتمال وقوع تشدید و نحوه طراحی فیلتر جهت اجتناب از بروز تشدید دیده شده است. همچنین روابط اصلاح شده برای محاسبه ضریب توان در محیط‌های هارمونیکی در این قسمت دیده می‌شود.

در بخش دیگر نحوه انتخاب مقادیر نامی بانک خازنی در شرایط هارمونیکی، با توجه به استانداردها و قابلیت ساخت آن‌ها در بازار بررسی شده است. نکاتی که باید در شرایط هارمونیکی در نظر گرفته شوند ارائه شده و انتظار می‌رود با اعمال آن‌ها در نرم‌افزار محاسبه خازن بهینه ، پاسخی مطمئن و قابل اعتماد توسط نرم افزار تولید شود.

در بخش بعدی به موضوع شبیه‌سازی در پست‌های مخابرات می‌پردازیم. شبیه‌سازی ابزاری سودمند است که می‌تواند صحت مطالعات ما را قبل از اجرا، مورد تایید قرار دهد. در این بخش ضمن آشنا شدن با نرم افزار شبیه‌ساز سیستم‌های قدرت، ویژگی‌های آن، روش شبیه‌سازی و نکات مرتبط با آن، مقدمات لازم جهت طراحی و معرفی برنامه محاسبه حالت بهینه خازن‌گذاری در بخش بعد فراهم خواهد شد. علاوه بر این، آشنایی با نرم‌افزار معرفی شده، امکان انجام مطالعات دیگر روی پست‌های برق مخابرات را (در صورت نیاز) برای شرکت مخابرات در آینده فراهم خواهد کرد. بنابراین انتظار می‌رود در این بخش دریابیم با چه نرم‌افزاری، چه مطالعاتی و چگونه روی شبکه برق پست‌های مخابرات می‌توان انجام داد.

در قسمت بعد به انواع زمینه‌های مورد مطالعه در سیستم‌های قدرت می‌پردازیم. محاسبات اتصال کوتاه، پخش بار و تحلیل هارمونیکی از مهم‌ترین شاخه‌های مطالعه حالت ماندگار[۱] در سیستم‌های قدرت هستند. در این‌جا نیز همچون بخش قبل، سعی می‌شود به موضوعاتی که کمتر با مسئله خازن‌گذاری به طور مستقیم مرتبط هستند نیز اشاره مختصری صورت گیرد. بنابراین در این قسمت ضمن اشاره به موضوع پخش بار و مطالعات اتصال کوتاه، تاکید بیشتر بر روی بخش تحلیل هارمونیکی خواهد بود.

سپس به DIgSILENT و قابلیت‌های آن (به عنوان یکی از توانمندترین نرم‌افزارهای شبیه‌ساز) به طور دقیق تر خواهیم پرداخت.

در قسمت بعد از پروژه ابتدا به بررسی مرکز مخابرات اراک می‌پردازیم و وضعیت شبکه‌های برق این مراکز را قبل و بعد از خازن‌گذاری بررسی می‌کنیم.

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.

WikiPower.ir

[۱] Steady State

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲)تئوری خازن گذاری

WikiPower.ir

۲-۱)مقدمه

در یک سیستم قدرت الکتریکی ac ایده‌آل، ولتاژ و فرکانس در هر نقطه تغذیه ثابت و عاری از هارمونیک و مقدار ضریب توان واحد می‌باشد. ضمن اینکه این پارامترها مستقل از اندازه و مشخصات بار مصرفی خواهند بود. بر این اساس، چگونگی ثابت بودن ولتاژ و فرکانس و میزان نزدیکی ضریب توان به مقدار یک، کیفیت تغذیه[۱] را مشخص می‌کند. چنانچه کیفیت تغذیه از شرایط ایده‌آل فاصله داشته باشد با انجام جبران سازی‌های مناسب می‌توان کیفیت تغذیه را بهبود بخشید.

ابتدا به دلایل و انگیزه‌های مختلف از خازن‌گذاری و روش‌های مختلف انجام آن در محیط‌های غیرهارمونیکی پرداخته و سپس به بررسی هارمونیک‌ها و تاثیرات آن‌ها به عنوان یکی از پارامترهای مخرب کیفیت تغذیه بر مسئله خازن‌گذاری می‌پردازیم و جهت حل مشکلات هارمونیکی اثرگذار بر خازن‌گذاری، تئوری‌ها و روش‌های موجود را بررسی می‌کنیم.

جهت انجام خازن‌گذاری در محیط‌های هارمونیکی لازم است روابط مورد استفاده به نحوی تغییر یابند که اثرات هارمونیک‌ها را در نظر بگیرند و همچنان از دقت و کارایی لازم برخوردار باشند. به این منظور یک بررسی کامل روی مسائل خازن‌گذاری و روابط مربوطه در محیط‌های هارمونیکی انجام می‌دهیم و در نهایت نتایج مطالعات انجام شده به صورت جمع‌بندی شده ارائه می‌گردد.

---

[۱] Quality of Supply

۱-۱- ۲-۲) محاسبات خازن گذاری در محیط‌های غیرهارمونیکی

۱-۱-۱- ۲-۲-۱)مقدمه

ولتاژ و فرکانس تغذیه ثابت و عاری از هارمونیک و یک بودن مقدار ضریب توان از مشخصه‌های یک سیستم قدرت الکتریکی ac ایده‌آل است. جهت نزدیک شدن به شرایط ایده‌آل و بهبود کیفیت تغذیه سیستم از روش‌های مختلف جبران‌سازی مثل جبران بار استفاده می‌شود. جبران بار عبارتست از مدیریت توان راکتیو به منظور بهبود بخشیدن به کیفیت تغذیه در سیستم‌های قدرت ac. از اصطلاح جبران بار معمولا در جایی استفاده می‌شود که وسیله جبران کننده در نزدیکی بار نصب می‌شود. در جبران بار اهداف زیر مورد نظر است: ۱-اصلاح ضریب توان، ۲-بهبود تنظیم ولتاژ. علاوه بر این از دیدگاه مدیریت شبکه نیز، جبران توان راکتیو و خازن‌گذاری در سطح شبکه با اهداف زیر صورت می‌گیرد: ۱-کاهش تلفات کل شبکه ۲-بهبود پروفیل ولتاژ شبکه ۳-آزاد سازی ظرفیت شبکه و تامین بارهای بیشتر با استفاده از نیروگاه‌ها و شبکه موجود.

اصلاح ضریب توان به این معناست که توان راکتیو مورد نیاز بار به جای اینکه از نیروگاه دور تامین گردد، در محل نزدیک بار تولید گردد. اغلب بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس‌فاز هستند. یعنی توان راکتیو جذب می‌کنند. بنابراین مقدار جریان بار از آن‌چه برای تامین توان اکتیو ضروری است بیشتر خواهد بود. از آن‌جا که تنها توان اکتیو در تبدیل انرژی مفید است، جریان راکتیو اضافی بیانگر تلفات در بار است که مشترک برق نه تنها باید بهای اضافی برای کابلی که این جریان را منتقل می‌کند بپردازد، بلکه هزینه تلفات ژولی اضافی ایجاد شده در کابل تغذیه را نیز می‌پردازد. [1]

تنظیم ولتاژ در حضور بارهایی که توان راکتیو مصرفی آن‌ها تغییر می‌کند یک موضوع مهم و گاه بحرانی است. با تغییر توان راکتیو بارها در نقطه تغذیه تغییرات ولتاژ به وجود می‌آید که این تغییرات ولتاژ بر عملکرد مفید و موثر کلیه وسایل متصل به نقطه تغذیه مداخله نموده و منجر به امکان تداخل در بارهای مصرف کننده‌های مختلف می‌گردد. به منظور جلوگیری از این مسئله، موسسات تولید کننده برق معمولا موظف می‌شوند که ولتاژ تغذیه را در یک حد قانونی حفظ کنند.

عملکرد نامتعادل در شبکه‌های قدرت منجر به ایجاد مولفه‌های توالی صفر و منفی می‌گردد. این‌گونه مولفه های جریان اثرات نامطلوبی چون ایجاد تلفات اضافی در موتورها و مولدها، گشتاور نوسانی در ماشین‌های ac، افزایش ریپل در یکسوکننده‌ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهند داشت. [1]

پاسخ به این سوال که آیا یک بار معین در شرایط پایدار نیاز به جبران‌سازی دارد یا خیر، بستگی به شرایط شبکه و پارامترهای اقتصادی دارد. برای تصمیم‌گیری در زمینه اصلاح ضریب توان عواملی همچون تعرفه برق، اندازه بار و مقدار ضریب توان جبران نشده موثر هستند. برای بارهای صنعتی بزرگ با ضریب توان جبران نشده کمتر از ۰,۸ اصلاح ضریب توان بسیار مقرون به صرفه خواهد بود.

بارهایی که منجر به تغییرات سریع ولتاژ تغذیه می‌شوند می‌بایست برای تنظیم ولتاژ جبران‌سازی شوند. به عنوان نمونه از بارهایی چون کوره‌های الکتریکی، کوره‌های القایی، دستگاه جوش الکتریکی، دستگاه جوش القایی، انواع دستگاه غلطک که برای شکل دادن به فلزات به کار می‌رود، دستگاه‌هایی که در کندن معدن و حفاری به کار گرفته می‌شوند، موتورهای بزرگ (به خصوص آن‌هایی که به دفعات روشن و خاموش می شوند) و دستگاه چوب بری می‌توان نام برد. [1]

اگر در شبکه بارهایی چون موتورهای القایی بزرگ وجود داشته باشند که در اثر تغذیه با ولتاژ نامتعادل دچار کاهش بازده و تلفات چشمگیر می‌شوند، جبران‌سازی با هدف متعادل کردن بار در نظر گرفته می شود.

باید توجه داشت که جبران‌سازی با هر هدفی که انجام شود بهبود سایر مشکلات را نیز می‌تواند در پی داشته باشد. به عنوان مثال با اصلاح ضریب توان در یک باس، در بسیاری از موارد به بهبود تنظیم ولتاژ نیز کمک می‌کند. اما باید توجه کرد که پاسخ بدست آمده صرفا برای مسئله اصلاح ضریب توان بهینه است (ضریب توان را به مقدار واحد می‌رساند) در حالی که برای مسئله تنظیم ولتاژ جواب‌های بهتری نیز وجود دارد. اهداف مختلف خازن‌گذاری در شبکه‌ها

سیستم تغذیه، بار و جبران کننده را می‌توان به روش‌های مختلف مشخص و یا مدل کرد. سیستم تغذیه را می‌توان به صورت مدار معادل تونن با ولتاژ مدار باز همراه با امپدانس سری و جریانش یا همراه با توان اکتیو و راکتیوش (یا ضریب توان) مدل کرد. جبران کننده را می‌توان به صورت امپدانس متغیر یا منبع جریان راکتیو متغیر مدل کرد. انتخاب مدل برای هریک از اجزاء بر حسب نیازمندی‌ها تغییر می‌کند. تئوری جبران برای شرایط سکون و یا نزدیک به سکون که مشخصات بار و سیستم ثابت است یا تغییرات کند دارند (طوری که می‌توان کمیت‌ها را به صورت فازور به کار برد) ارائه می‌شود. با این فرض تحلیل و بررسی بسیار آسان می‌شود. برای بارهایی که توان اکتیو و راکتیو آن‌ها سریع تغییر می‌کند (مثل کوره‌های الکتریکی) معادلات فازور قابل قبول نخواهند بود و باید روش تحلیلی خاصی به کار برد.

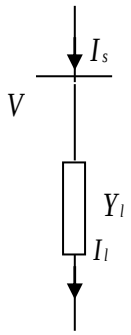
در این فصل، روش‌های مختلف محاسبه ظرفیت خازن را بررسی می‌کنیم. در هر قسمت با توجه به هدف مورد نظر، روش محاسبه متناسب با آن مطرح می‌شود.

خازن‌گذاری از دیدگاه اصلاح ضریب توان

شکل Error! No text of specified style in document.-۱ یک بار تک‌فاز با ادمیتانس $Y_l = G_l + jB_l$ که از ولتاژ V تغذیه می‌شود را نشان می‌دهد. جریان بار I_l است و از دو مولفه افقی (حقیقی) و عمودی (موهومی) تشکیل می‌شود: $I_l = I_R + jI_X$. بنابراین توان ظاهری که به بار داده می شود S_l است که از فرمول Error! No text of specified style in document.-۱ محاسبه می شود که برابر با مجموع فازوری توان‌های اکتیو و راکتیو است:

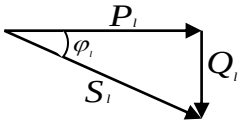
$$S_l = V\, I_l^* = P_l + j\, Q_l$$

فرمول Error! No text of specified style in document.-۱



شکل Error! No text of specified style in document.-۱ بار متصل به باس تغذیه

پس توان ظاهری دارای یک مولفه حقیقی P_l (یعنی توان مفیدی که به حرارت، کار مکانیکی، نور و یا اشکال دیگر انرژی تبدیل می‌شود) و یک مولفه راکتیو Q_L (توانی که به اشکال مفید انرژی تبدیل نمی شود) است.



شکل Error! No text of specified style in document.-۲ دیاگرام فازوری توان‌های اکتیو و راکتیو

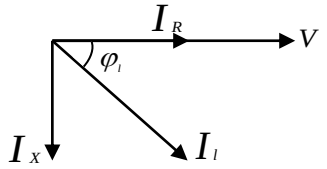
همانطور که از شکل Error! No text of specified style in document.-۲ دیده می‌شود، زاویه بین توان ظاهری و توان اکتیو φ_l است که بر اساس آن ضریب توان از فرمول Error! No text of specified style in document.-۲ محاسبه می‌شود:

$$Cos\,\varphi_l = \frac{P_l}{S_l}$$ فرمول Error! No text of specified style in document.-۲

بنابراین ضریب توان کسری از توان ظاهری است که به اشکال مفید انرژی تبدیل می‌شود. پس هرچه مقدار ضریب توان بیشتر باشد (حداکثر می‌تواند یک باشد) از انرژی دریافتی در باس بار استفاده مفیدتری شده است.

در حضور توان راکتیو، جریان I_s نیز که از طرف سیستم فراهم می‌شود (و برابر با I_l است)، مقدارش از آن‌چه که برای تامین توان اکتیو ضروری است، بیشتر است. این مقدار اضافه همانطور که از شکل Error! No text of specified style in document.-۳ قابل مشاهده است، با فرمول Error! No text of specified style in document.-۳ محاسبه می‌شود:

$$\frac{I_s}{I_R} = \frac{I_l}{I_R} = \frac{1}{Cos\,\varphi_l}$$ فرمول Error! No text of specified style in document.-۳



شکل Error! No text of specified style in document.-۳ دیاگرام فازوری مولفه‌های جریانی

بنابراین تلفات ژولی در کابل‌های تغذیه نیز با ضریب $\frac{1}{Cos^2 \varphi_l}$ افزایش می‌یابد. از این رو مقادیر نامی کابل بایستی افزایش یابند و بهای آن به وسیله مشترک پرداخت شود[1].

اصلاح ضریب توان بر اساس جبران توان راکتیو انجام می‌شود. به این معنا که با موازی کردن یک جبران کننده با بار، توان راکتیو مورد نیاز در محل بار فراهم می‌شود. در این صورت جبران‌ساز، مولفه موهومی جریان بار را تامین می‌کند. جریانی که در حضور جبران‌ساز از شبکه کشیده می‌شود صرفا جریان مفید I_R خواهد بود و مقدار ضریب توان برابر با یک می‌شود. اما در حالت کلی، برای اصلاح ضریب توان به مقدار دلخواه $Cos\varphi_D$ از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۴ برای محاسبه ظرفیت جبران‌ساز مورد نیاز استفاده می‌شود:

فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۴

$$Q_\gamma = P_l(\tan\varphi_D - \tan\varphi_l)$$

که در این رابطه Q_γ توان راکتیو جبران‌ساز است. بدیهی است چنان‌چه قصد اصلاح ضریب توان به مقدار واحد را داشته باشیم $\varphi_D = ۰$ خواهد بود و به دنبال آن $\tan\varphi_D$ صفر می‌شود، در نتیجه توان راکتیو جبران ساز مورد نیاز، برابر با توان راکتیو بار محاسبه می‌شود.

در خصوص اهمیت اصلاح ضریب توان لازم است توجه داشته باشیم که بر اساس قوانین موجود، در صورتی که متوسط ضریب قدرت مشترک در هر دوره (منظور از دوره، یک بازه اندازه‌گیری است که توسط وزارت نیرو انتخاب می‌شود و معمولا یک ماه است) کمتر از ۰,۹ باشد، بهای انرژی راکتیو مصرفی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

{مجموع هزینه(دیماند+توان اکتیو مصرفی)}*{۱ - (ضریب توان مشترک ÷ ٪۹۰)} = هزینه توان راکتیو

که در آن هزینه دیماند، هزینه‌ثابتی است بر اساس دیماند قراردادی (توان مورد درخواست که در زمان اخذ انشعاب اعلام می‌شود) در هر دوره دریافت می‌شود و هزینه توان اکتیو مصرفی، بهای انرژی اکتیو مصرف کننده است که در هر دوره باتوجه به مقدار مصرف، متفاوت خواهد بود. هزینه توان راکتیو بدست آمده از رابطه بالا، حداکثر می‌تواند برابر با مقداری باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

هزینه هر کیلووار ساعت * مقدار کیلووار ساعت مصرفی = هزینه توان راکتیو

چنان‌چه سطح توان اکتیو مشترک طی دوره، از ۹۰ درصد دیماند قراردادی بیشتر باشد (حداکثر تا ۱۰۰ درصد دیماند قراردادی)، سقف مورد اشاره در رابطه دوم در نظر گرفته نمی‌شود و بهای توان راکتیو صرفا بر اساس رابطه اول محاسبه می‌شود که ممکن است بیشتر یا کمتر از مقدار محاسبه شده در رابطه دوم

باشد. در صورتی که سطح توان اکتیو مشترک طی دوره، از دیماند قراردادی بالاتر برود، تعرفه‌ها به صورت آزاد محاسبه می‌شود[2].

بنابراین با اصلاح ضریب توان، بهای برق پرداختی مشترک به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت و به این ترتیب هزینه‌های ناشی از نصب جبران‌ساز، جبران خواهد شد. برای محاسبه مقدار سود حاصل از خازن‌گذاری ابتدا فرض می‌کنیم مشترک سطح مصرف توان اکتیو خود را در سطح دیماند قراردادی حفظ می‌کند. در این صورت متوسط ضریب توان مشترک در یک دوره از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۵ محاسبه می‌شود:

۵- فرمول **Error! No text of specified style in document.**

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

که در آن $KVarh$، کل انرژی راکتیو مصرفی در یک دوره بر حسب کیلووار ساعت و KWh، کل انرژی اکتیو مصرفی مشترک در یک دوره بر حسب کیلووات ساعت است. چنان‌چه متوسط ضریب توان محاسبه شده مشترک در پایان دوره در اثر خازن‌گذاری به مقدار بیش از ۰/۹ برسد، هیچ هزینه‌ای برای توان راکتیو پرداخت نمی‌شود. بنابراین مقدار صرفه‌جویی مالی ناشی از خازن‌گذاری از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۶ محاسبه می‌شود:

۶- فرمول **Error! No text of specified style in document.**

$$B_P = \frac{0.9 - Cos\varphi}{Cos\varphi} \times \left(C_D + KWh \times C_P\right)$$

که در آن C_D هزینه دیماند، C_P هزینه هر کیلووات ساعت توان اکتیو و $Cos\varphi$ متوسط ضریب توان مشترک قبل از خازن‌گذاری است. بنابراین B_P مقدار هزینه‌ای است که مشترک باید پرداخت می‌کرد و اینک با خازن‌گذاری از پرداخت آن معاف شده است. اما اگر متوسط ضریب توان مشترک بعد از خازن گذاری کمتر از ۰/۹ باشد، مقدار صرفه‌جویی مالی ناشی از خازن‌گذاری از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۷ محاسبه می‌شود:

۷- فرمول **Error! No text of specified style in document.**

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

که در آن $Cos\varphi_N$ متوسط ضریب توان مشترک بعد از خازن‌گذاری است.

از طرفی خازن نصب شده دارای دو قسمت هزینه‌اولیه و هزینه جاری است. هزینه اولیه مربوط به خرید و نصب خازن، رگولاتور و تجهیزات وابسته و هزینه جاری مربوط به تعمیرات و نگهداری آن‌ها است. بنابراین هزینه سالانه خازن‌گذاری از فرمول ۸- Error! **No text of specified style in document.** محاسبه می‌شود:

فرمول ۸- **Error! No text of specified style in document.**

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

که در آن Q_C ظرفیت خازن نصب شده است. C_{lc} و C_{RC} به ترتیب هزینه اولیه و هزینه جاری سالانه خازن‌گذاری به ازاء هر کیلووار توان راکتیو، i نرخ بهره سالانه و n_C عمر مفید خازن بر حسب سال است. با استفاده از روابط بالا، کل سود ناشی از خازن‌گذاری با فرض اینکه هر دوره یک ماه باشد، از فرمول ۹-Error! **No text of specified style in document.** محاسبه می‌شود:

فرمول ۹- **Error! No text of specified style in document.**

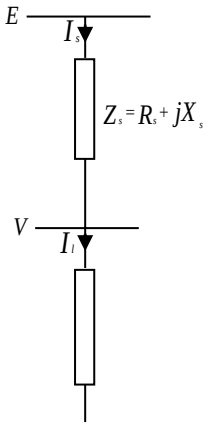
$$B_T = B_P \times 12 - C_C$$

میزان سود محاسبه شده از رابطه بالا، تابع ظرفیت خازن جبران‌ساز است. بنابراین برای خازن‌گذاری بهینه، ظرفیت خازن را باید به نحوی تعیین کرد که فرمول Error! **No text of specified style in document.**۹- بیشینه شود. به این منظور لازم است از یک برنامه کامپیوتری مبتنی بر یکی از روش های جستجوی پیشرفته، استفاده شود تا به ازاء تغییرات بار مقادیر مختلف خازن‌را در شبکه قرار دهد و بیشترین ظرفیت خازنی که در طول دوره وارد مدار می‌شود را به عنوان Q_C در نظر بگیرد. سپس با روابط ارائه شده، سود کل ناشی از هر وضعیت را محاسبه کند و در نهایت ظرفیت خازن بهینه را تعیین نماید. ناگفته پیداست که نرم‌افزار مذکور تعداد و مقدار پله‌های خازنی را نیز با توجه به تغییرات ظرفیت خازنی که در زمان‌های مختلف وارد مدار می‌کند، به ما معرفی خواهد کرد.

لازم به ذکر است چنان‌چه C_{lc} و C_{RC} توابعی غیرخطی از ظرفیت خازن باشند، می‌بایست از روش‌های جستجوی مناسب برای فضاهای غیرخطی، همچون الگوریتم ژنتیک استفاده شود. در خصوص انواع روش های جستجو در قسمت «جبران‌سازی از دیدگاه مدیریت شبکه» توضیح داده می‌شود.

خازن‌گذاری از دیدگاه تنظیم ولتاژ

تنظیم ولتاژ به صورت نسبت تغییر مقدار ولتاژ تغذیه در ازاء تغییر معینی از جریان بار (مثلا از بی‌باری تا تمام بار) تعریف می‌شود. تنظیم ولتاژ به واسطه افت ولتاژ حاصل در امپدانس سیستم تغذیه (در اثر عبور جریان بار) ایجاد می‌گردد. اگر سیستم تغذیه را به صورت شکل Error! **No text of specified style in document.**-۴ در نظر بگیریم، تنظیم ولتاژ (VR ۱) از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۰ محاسبه می‌شود.[1]



شکل Error! **No text of specified style in document.**-۴ سیستم تغذیه بار

$$VR = \frac{|E| - |V|}{|V|}$$

فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۰

با افزایش جریان بار افت ولتاژ روی امپدانس خط انتقال بیشتر می‌شود و در نتیجه دامنه ولتاژ تغذیه $|V|$ از دامنه ولتاژ منبع $|E|$ فاصله می‌گیرد. از آن‌جا که این تغییرات دامنه ولتاژ تغذیه (متناسب با جریان بار) مطلوب نیست، در جهت کاهش تنظیم ولتاژ تلاش می‌کنیم. با اضافه کردن یک جبران کننده به موازات بار می‌توان $|E| = |V|$ را ایجاد کرد، یعنی تنظیم ولتاژ را به صفر رساند. این بدین معنی است که دامنه ولتاژ تغذیه مستقل از مقدار بار در مقدار $|E|$ ثابت نگه داشته شده است.

اگر کل توان راکتیو مصرفی در باس بار (شامل مجموع توان راکتیو بار و جبران کننده) را Q_s در نظر بگیریم، رابطه ولتاژ تغذیه با ولتاژ منبع به صورت زیر خواهد بود:[1]

فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۱

$$|E|^2 = \left[V + \frac{R_s P_l + X_s Q_s}{V}\right]^2 + \left[\frac{X_s P_l - R_s Q_s}{V}\right]^2$$

۱ Voltage Regulation

پس با حل معادله فوق به ازاء $V=|E|$، مقدار Q_s و به دنبال آن Q_γ بدست می‌آید. بنابراین Q_γ متناسب با Q_l و به نحوی انتخاب می‌شود که دامنه ولتاژ تغذیه را برابر با دامنه ولتاژ منبع کند.

باید توجه داشت که هم در روش تنظیم ولتاژ و هم در روش اصلاح ضریب توان، چنان‌چه بار متغیر باشد، می‌بایست حلقه‌های کنترلی قرار داده شود و به نحوی طراحی گردد که همواره توان راکتیو جبران‌ساز متناسب با توان بار در جهت حفظ شرایط مطلوب تغییر نماید.

نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد رابطه میان اصلاح ضریب توان و تنظیم ولتاژ است. در بخش اصلاح ضریب توان، توان راکتیو جبران‌ساز (در حالت ایده‌آل) به نحوی انتخاب می‌شد که با توان راکتیو بار برابر باشد تا مقدار ضریب توان به یک برسد. به عبارتی Q_s همواره برابر صفر بود. اگر در رابطه تنظیم ولتاژ Q_s را برابر با صفر قرار دهیم، همواره مقدار ثابتی تغییر ولتاژ خواهیم داشت که از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۲ محاسبه می‌شود.[1]

$$\Delta V=\frac{R_s P_l+jX_s P_l}{V}$$

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۱۲

بنابراین با جبران کننده راکتیو خالص، اصلاح ضریب توان و تنظیم ولتاژ به طور همزمان و با هم امکان‌پذیر نیست.

خازن‌گذاری از دیدگاه مدیریت شبکه

میزان توان راکتیو مصرفی شبکه برای ژنراتور مولد انرژی دارای اهمیت به‌سزائی است. محدودیت جریان تحریک ژنراتور، محدودیت جریان استاتور و حدگرمایی ناحیه انتهایی استاتور از جمله پارامترهایی هستند که توانایی ژنراتور را در تولید توان محدود می‌کنند. بر اساس این محدودیت‌ها، حداکثر توان ظاهری قابل تولید توسط ژنراتور به صورت ولت‌آمپر نامی، در مشخصات ژنراتور قید می‌شود. بنابراین هرچه توان راکتیو کمتری از ماشین گرفته شود، ماشین می‌تواند ظرفیت بیشتری را به توان اکتیو اختصاص دهد. پس لازم است توان راکتیو مصرفی شبکه تا حد امکان از ژنراتور تامین نشود. برای این منظور لازم است جبران‌سازی توان راکتیو در محل بارهای شبکه صورت پذیرد.

از طرفی در هر خط انتقال با توجه به حدود حرارتی خط، جریان حداکثر عبوری از خط تعیین می‌شود. افزایش حرارت خط که از عبور جریان حاصل می‌شود دو تاثیر نامطلوب دارد: یکی از دست رفتن استقامت مکانیکی هادی خط و دیگری افزایش انحنای خط و کاهش فاصله آن با زمین به دلیل انبساط در دماهای بالا. بنابراین با توجه به محدودیت حرارتی خط، توان ظاهری انتقالی از خط نیز به مقدار مشخصی محدود

می‌شود که قدرت نامی خط نامیده می‌شود. توان راکتیو عبوری از خط، ظرفیت خط را برای عبور توان اکتیو که بخش مفید توان محسوب می‌شود اشغال می‌کند و هرچه بتوان این توان راکتیو را کاهش داد، استفاده بهینه‌تری از خط صورت گرفته است.

بنابراین خازن‌گذاری از سوی بهره‌بردار شبکه به منظور کاهش تلفات اکتیو، آزادسازی ظرفیت شین مرجع، فیدر و تجهیزات وابسته، بهبود پروفیل ولتاژ و حذف هزینه‌های سرمایه‌گذاری مربوط به بهبود و توسعه سیستم صورت می‌گیرد. برای این منظور به طور ساده می‌توان در هر باس مصرفی یک خازن قرار داد، به نحوی که ضریب توان را برابر با مقدار واحد کند. اما از آن‌جا که نصب خازن در همه باس‌ها (به دلیل محدودیت‌های اقتصادی) ممکن نیست و از طرفی ممکن است میزان سود بدست آمده از راه خازن‌گذاری در یک باس خاص، در مقایسه با هزینه‌های خازن‌گذاری در آن باس فاقد توجیه اقتصادی باشد، نیاز به حل یک مسئله بهینه‌سازی وجود دارد. بنابراین تابع هدفی تشکیل می‌شود که با انتخاب باس‌های مناسب برای خازن‌گذاری و اختصاص ظرفیت خازنی مناسب در این نقاط، منافع اقتصادی حاصله را بیشینه کند[3]. برای حل این مسئله و یافتن مقدار بهینه روش‌های مختلفی وجود دارد که در ادامه به شرح مختصری از هریک می‌پردازیم.

روش اول، روش تحلیلی[۱] است. این روش با استفاده از معادلات تحلیلی و ریاضی برای جایابی خازن‌ها روی فیدرهای اصلی و حل آن‌ها عمل بهینه سازی را انجام می‌دهد و معمولا دارای فرضیات ساده کننده بسیار است. به عنوان مثال مسائل تنظیم ولتاژ در نظر گرفته نمی‌شود، فرض می‌شود بارها با یک توزیع یکنواخت روی فیدرها قرار گرفته‌اند، اندازه بانک‌های خازنی در موقعیت‌های مختلف یکسان در نظر گرفته می‌شود و فقط تلفات ناشی از جبران‌سازی جریان راکتیو در نظر گرفته می‌شود. از طرفی از آن‌جا که در این روش متغیرها پیوسته در نظر گرفته می‌شوند، جواب‌های بدست آمده تقریب زده می‌شوند تا با امکانات موجود در عمل قابل پیاده سازی باشند. از این روش زمانی که ابزارهای محاسبه قوی در دسترس نبود، استفاده می‌شد. با ارزان‌تر شدن پردازنده‌های کامپیوتری، روش‌های برنامه‌ریزی عددی[۲] برای حل مسائل بهینه سازی به کار گرفته شد. این روش‌ها با استفاده از تکنیک‌های تناوبی و تکراری به حل مسئله می‌پردازند. روش‌های برنامه‌ریزی عددی، اجازه استفاده از توابع هزینه متعدد در یک تابع هدف را به ما می‌دهند. با رایج‌تر شدن کامپیوترها، مدل‌های مورد استفاده در این روش‌ها نیز رفته رفته کامل‌تر و پیچیده‌تر شده‌اند

---

۱ Analytical Methods

۲ Numerical Programming Methods

به طوری که امروزه بسته‌های بهینه‌سازی عددی مختلفی وجود دارند که در برخی از آن‌ها متغیرهای تصمیم‌گیری مانند محل باس‌ها و ظرفیت خازن‌ها به صورت گسسته در نظر گرفته می‌شوند که در مقایسه با روش تحلیلی یک مزیت به شمار می‌رود. با این وجود، تهیه اطلاعات اولیه و ایجاد برنامه‌های رابطانسان و ماشین، در این روش به زمان بیشتری نیاز دارد. علاوه بر این، وارد کردن پارامترهای اقتصادی جهت فرمولاسیون منافع اقتصادی ناشی از خازن‌گذاری، دشوار است.

امروزه استفاده از روش‌های هوش مصنوعی۱ در حل مسائل بهینه‌سازی متداول شده است. روش‌های الگوریتم ژنتیک(۲GA)، آبکاری فولاد(۳SA)، سیستم خبره(۴ES)، شبکه عصبی(۵ANN) و تئوری فازی(FT) در این شاخه قرار می‌گیرند. شرح جزئیات و روش عملکرد هریک از این روش‌ها به تفکیک، در این‌جا ضروری نیست. اما می‌توان مقایسه‌ای کلی بین روش‌های هوش مصنوعی و روش‌های مورد اشاره تاکنون، داشت. در هوش مصنوعی، تابع هدف و محدوده تغییرات متغیرهای تصمیم‌گیری مشخص است. اما هوش مصنوعی وارد جزئیات تابع هدف و روابط داخلی آن نمی‌شود، بلکه با اعمال متغیرهای تصمیم گیری، پاسخ‌های تابع هدف را دریافت می‌کند و از طریق تحلیل این پاسخ‌ها، به سمت وضعیت بهینه حرکت می‌کند. بنابراین پیچیدگی تابع هدف در روش حل تاثیری ندارد. به همین دلیل، روش‌های هوش مصنوعی برای حل مسائل غیرخطی و پیچیده، مناسب‌تر و گاه تنها گزینه هستند. در هوش مصنوعی متغیرهای تصمیم‌گیری گسسته هستند که از این جهت نیز نسبت به روش‌های قبل مزیت دارد. اما در روش‌های هوش مصنوعی امکان دارد به جای یافتن نقطه اکسترمم کلی، اکسترمم‌های محلی یافته شوند که برای اجتناب از آن، طراحی مناسب عملگرهای جستجو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است[3],[9].

روش الگوریتم ژنتیک و نحوه طراحی عملگرهای آن در قسمت «محاسبه خازن‌های بهینه به کمک الگوریتم ژنتیک» شرح داده می‌شود.

---

۱ AI-Based Methods

۲ Genetic Algorythm

۳ Simmulated Annealing

۴ Expert Systems

۵ Artificial Neural Network

۳-۲)مشکلات موجود در خازن‌گذاری و اتفاقات ایجاد شده

در مسئله خازن‌گذاری، در نظر گرفتن موضوع حفاظت و انجام پیش‌بینی‌های لازم، از اهمیت بالایی برخوردار است. مهمترین مشکل شایع در شبکه‌های توزیع، انفجار بانک‌های خازنی و صدمه ناشی از آن، به سایر تجهیزات است که معمولا از نبود مطالعه کافی و عدم شناخت نسبت به خازن‌ها، در زمان خازن‌گذاری ناشی می‌شود. در این قسمت سعی داریم علل انفجار خازن‌ها را بررسی کنیم. به این منظور ابتدا به شرح ساختمان بانک خازنی می‌پردازیم و سپس علل و عواملی را که موجب انفجار بانک خازنی می‌شوند بررسی خواهیم کرد.

ساختمان بانک خازنی

امروزه پیشرفت تکنولوژی در ساخت عایق‌ها سبب گردیده تا خازن‌ها با کیفیت بالاتری ساخته شوند. در دهه ۱۹۶۰ هر لایه عایق جامد از چندین صفحه موسوم به کاغذ کرافت۱ تشکیل می‌شد. خازن‌های قدیمی که این نوع عایق در آن‌ها به کار رفته است عموما وزنی بیش از ۰/۵ کیلوگرم به ازاء هر کیلووار و تلفاتی در حدود ۲ تا ۳ وات برای هر کیلووار داشتند. در اواسط دهه ۱۹۶۰ ترکیبی از کاغذ کرافت و صفحات نازک پلی‌پروپیلین به عنوان عایق جامد معرفی شد. در دهه ۱۹۷۰ عایق «لایه کاغذی۲» استاندارد کارخانجات و صنایع بود. با این تکنولوژی، خازن‌هایی به بزرگی ۲۰۰ کیلووار ساخته شد و وزن آن‌ها به زیر ۰/۵ کیلوگرم به ازاء هر کیلووار تقلیل یافت. مهم‌تر اینکه تلفات به ۰/۵ تا ۰/۸ وات برای هر کیلووار کاهش پیدا کرد. در اواسط دهه ۱۹۷۰ مایع عایق NON-PCB معرفی شد. این عایق، علاوه بر اینکه موجب بهبود عملکرد خازن شد، به خاطر مشخصه خطرناک PCB برای محیط‌زیست مورد توجه خاص قرار گرفت، به طوری‌که امروزه در سراسر دنیا خواسته می‌شود که جهت عایق خازن‌ها از مایع NON-PCB استفاده شود. پس از آن در دهه ۱۹۸۰ خازن‌های «تمام فیلم۳» عرضه شد. وزن خازن‌های تمام فیلم خیلی کمتر از ۰/۵ کیلوگرم در هر کیلووار بود و تلفات آن نیز به ۰/۱ وات برای هر کیلووار رسید. اضافه بر عملکرد خوب در بهره‌برداری، خازن‌های تمام فیلم از منحنی انفجار تانک بسیار خوبی نیز برخوردار هستند به طوری که ایمنی آن‌ها به طور چشمگیری بهبود یافته و همه سازندگان عمده خازن‌های قدرت، امروزه از عایق تمام فیلم استفاده می

---

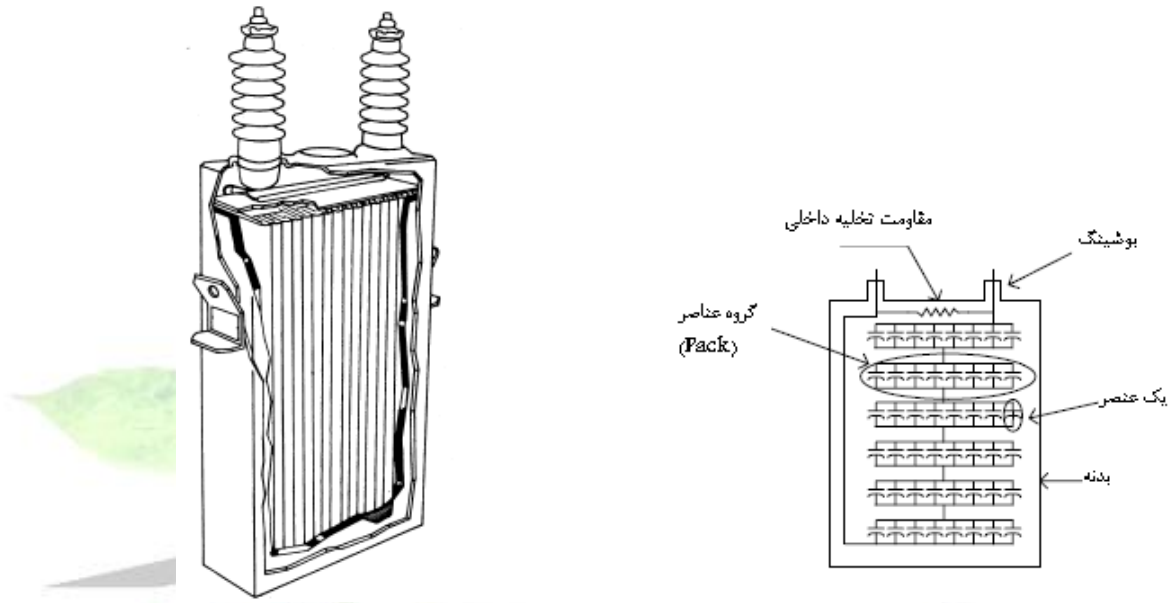
۱ KRAFT-PAPER

۲ PAPER-FILM

۳ ALL-FILM

کنند. در تکنولوژی سال‌های ۱۹۹۰ به بعد از تجربیات گذشته استفاده شده و در حقیقت خازن‌هایی که امروزه عرضه می‌شوند دارای تکنولوژی تکمیل یافته‌تری هستند[4].

در خازن‌های قدرت ولتاژی که به ترمینال‌های خازن اعمال می‌گردد به نسبت گروه‌های خازن‌های جداگانه درونی (بسته۱) که با یکدیگر سری می‌باشند تقسیم می‌شود. شکل Error! **No text of specified style in document.**-۵ یک واحد بانک خازنی را نشان می‌دهد.[10]



شکل **Error! No text of specified style in document.**-۵ یک واحد بانک خازنی

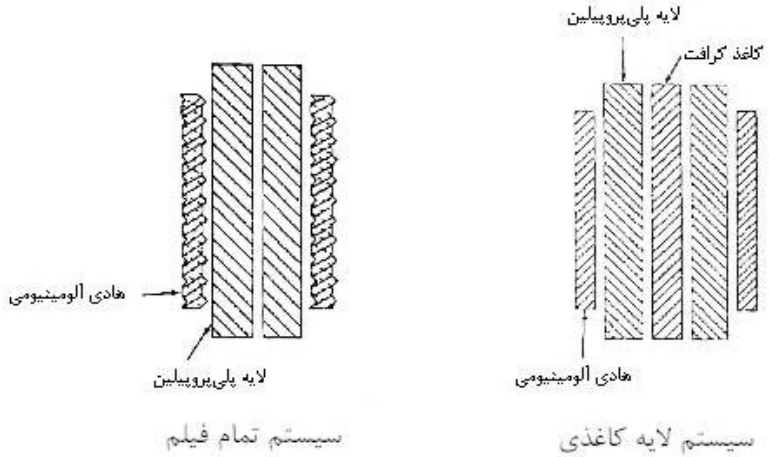
ولتاژ یک بسته، بین دو هادی آلومینیوم ظاهر شده، باعث می‌شود فشار الکتریکی به ماده عایق بین و اطراف هادی‌ها وارد شود. وقتی ولتاژ دو سر ورق آلومینیوم هادی زیاد شود، در نهایت سطح ولتاژ به حدی خواهد رسید که موجب فشار الکتریکی شده و تخلیه خازن‌ها به صورت جزئی، در یک سطح ولتاژ ثابت شروع می شود، که این ولتاژ را اصطلاحا ولتاژ آغاز تخلیه سیستم عایق می‌نامند. عوامل اولیه موثر در این سطح ولتاژ، توانایی عایقی دی الکتریک و شکل هندسی ورق آلومینیوم هادی می‌باشند[4].

ابداع جدیدی که در ساخت خازن‌ها پیش آمده است، استفاده از برش لیزری جهت حذف و از بین بردن ناهمواری‌هایی است که غالبا" بر اثر برش مکانیکی در حاشیه ورق آلومینیوم به وجود می‌آید. حذف این ناهمواری‌ها باعث می‌شود یکنواختی میدان الکتریکی حفظ شود. به این ترتیب شرایط خیلی بهتری برای سیستم عایقی بدست خواهد آمد. با استفاده از این تکنولوژی، فشار الکتریکی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و به دنبال آن ولتاژ شروع تخلیه جزئی بیشتر می‌شود.

---

۱ Pack

در حال حاضر دو نوع خازن توسط سازندگان عرضه می‌شود که بعضی دارای سیستم عایق «لایه کاغذی» و برخی دیگر دارای سیستم عایق «تمام فیلم» هستند. به منظور شناخت بهتر این دو نوع، لازم است نحوه از کار افتادن آن‌ها را مورد بررسی قرار دهیم.



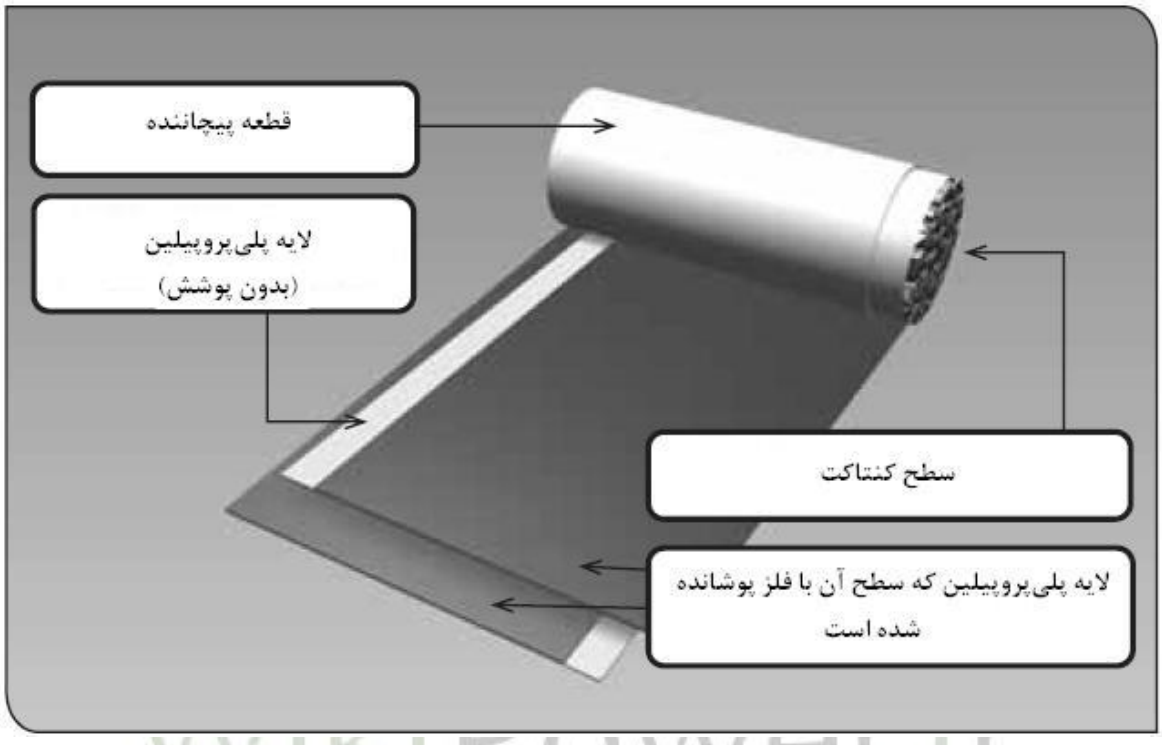
شکل **Error! No text of specified style in document.**-۶ ساختار خازن‌های تمام فیلم و لایه کاغذی

فرض کنیم که یک خازن لایه کاغذی از کار افتاده است. از کار افتادن یک خازن به معنای شکسته شدن عایق بین دو ورق آلومینیوم می‌باشد. این باعث می‌گردد تا جریان ضعیفی از یک ورق آلومینیوم به ورق دیگر تخلیه گردد. در سیستم عایق لایه کاغذی، وقتی‌که این تخلیه ضعیف برقرار می‌شود، صفحه نازک پلی پروپیلین از محل تخلیه جریان جدا گشته و به عقب کشیده می‌شود. لایه کاغذ کرافت که هنوز بین دو ورق باقی مانده است تجزیه و متلاشی می‌شود و از خود مقداری کربن به جا می‌گذارد. بقایای کربن مانند یک مقاومت بین دو ورق آلومینیوم عمل می‌کنند و قوس الکتریکی بین دو ورق را برقرار می‌سازد. قوس الکتریکی درون عایق مایع (دی الکتریک) تولید حباب‌های گاز می‌نماید. حباب‌های گاز به قسمت فوقانی محفظه تانک خازن صعود کرده و فضای نزدیک به سطح بالایی تانک و بوشینگ را اشغال می‌کنند. همزمان با تولید گاز، حجم داخلی خازن تغییر یافته و سطح خازن برآمده می‌شود تا فضای اضافی مورد نیاز گاز تامین شود. پس از مدتی، باقیمانده کربن نیز شکسته شده و اجازه می‌دهد دو ورق آلومینیوم به همدیگر برخورد کنند. مدت زمان لازم برای به وقوع پیوستن این عمل مشخص نمی‌باشد، زیرا مشخص نیست برای چه مدت، چه مقدار کاغذ تجزیه و متلاشی می‌شود.

پس از مدتی، یکی دیگر از بسته‌های خازن، تحت تاثیر ولتاژ بالاتر، از کار می‌افتد. در حقیقت یک‌بار دیگر تمامی مراحل بالا برای خازن بعدی اتفاق خواهد افتاد. بنابراین رفته رفته با تولید گاز بیشتر و ازدیاد حجم

بیشتر و به دنبال آن شکست ولتاژ بین اتصالات و بدنه تانک، انفجار از قسمت فوقانی به وقوع خواهد پیوست[4].

محل انفجار تانک بستگی کامل به جنس، استحکام و نوع جوشکاری تانک خازن دارد. اگر جوشکاری تانک خازن مناسب نباشد، انفجار تانک ممکن است خیلی زودتر از محل درز جانبی آن و یا کف تانک اتفاق افتد.

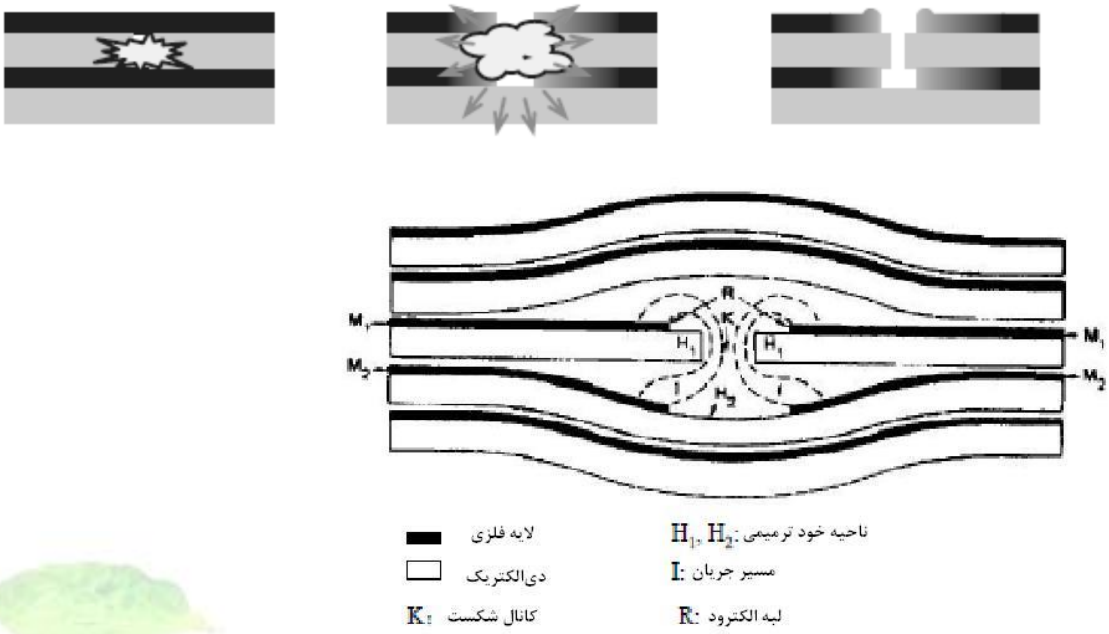


شکل **Error! No text of specified style in document.**-۷ عایق‌بندی تمام فیلم متالیزه (خودترمیم)

در سیستم تمام فیلم، الکترودهای فلزی در خلاء، مستقیما بر روی لایه دی‌الکتریک پاشیده می‌شوند. سپس فیلم آماده شده به صورت استوانه‌ای پیچیده می‌شود. این ساختار در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۷ نشان داده شده است. هنگامی که سیستم عایق تمام فیلم از کار می‌افتد، عایق بین دو ورق شکسته شده، باعث می‌شود تخلیه جریان ضعیفی از یک ورق به ورق دیگر برقرار گردد. فضای اشغال شده میان دو ورق اکنون لایه نازک پلی‌پروپیلین خالص است. زمانی که لایه نازک در معرض منبع گرما قرار گیرد جدا گشته و از نقطه گرما به عقب کشیده می‌شود. افزایش دما موجب تبخیر لایه نازک گردیده و با تخلیه ناحیه معیوب از الکترودها و دی‌الکتریک، امکان وقوع اتصال کوتاه از بین می‌رود. از این رو به این پدیده «خود ترمیمی[۱]» گفته می‌شود. این اتصال بدون تولید گاز یا با مقدار خیلی کمی گاز همراه است زیرا هیچگونه کاغذ یا مقاومت دیگری که منشاء قوس الکتریکی بین دو ورق آلومینیوم گردد،

۱ Self Healing

وجود ندارد[4]. شکل Error! **No text of specified style in document.**-۸ نحوه وقوع پدیده خود ترمیمی را نشان می‌دهد.[10]



شکل **Error! No text of specified style in document.**-۸ نحوه وقوع پدیده خود ترمیمی

آزمایش انفجار تانک خازن نشان می‌دهد که یک خازن با سیستم تمام فیلم، می‌تواند به اتصال کوتاه ترمینال به ترمینال برسد، بدون اینکه مقدار قابل اندازه‌گیری گاز تولید کند. انجام آزمایشات عدیده انفجار تانک روی سیستم عایق تمام فیلم برای مصرف‌کنندگان، یک منحنی انفجار تانک دقیق را فراهم می‌کند.

خازن‌های ولتاژ پایین (کمتر از ۱۰۰۰ ولت)، اغلب دارای یک بسته خازنی در هر بانک هستند. بنابراین ساختار نشان داده شده در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۵ ، برای خازن‌های ولتاژ پایین، بسیار ساده‌تر خواهد بود. در این خازن‌ها عمدتا از سیستم تمام فیلم استفاده می شود. اما برای خازن‌های ولتاژ بالا، تصمیم‌گیری در خصوص نحوه حفاظت پیچیده‌تر خواهد بود. اگر خازن از نوع لایه کاغذی باشد، حفاظت آن به وسیله فیوزهای درونی جداگانه، محاسنی از قبیل قطع سریع بسته خازن معیوب، بدون کاهش زیاد در قدرت خروجی و تغییر طول عمر خازن‌های باقیمانده، احتمال کم انفجار بانک خازن و امکان ساخت واحدهای بزرگ خازنی را دارد. از جمله روش‌های دیگر حفاظتی، استفاده از قطع مکانیکی خازن، استفاده از کلیدهای فشار و بکارگیری حفاظت دو فیوزه برون خازنی می‌باشد که هیچکدام به طور صد درصد موثر نیست.

تشدید

رزونانس یا تشدید زمانی رخ می‌دهد که امپدانس سلف و خازن، در فرکانسی مشخص که «فرکانس تشدید» نامیده می‌شود، با هم برابر شوند. بر اساس این‌که سلف و خازن در حالت سری قرار داشته باشند یا موازی، تشدید سری و تشدید موازی تعریف می‌شود. ترکیب بانک خازنی و اندوکتانس سیستم می‌تواند ایجاد تشدید موازی کند. در این‌صورت مجموع سلف و خازن به صورت یک امپدانس بزرگ ظاهر می‌شود که با تزریق هارمونیک جریانی، ولتاژ اعوجاجی بزرگی را تولید می‌کند. ولتاژ هارمونیکی به وجود آمده، به نوبه خود سبب تولید هارمونیک جریان در بانک خازنی می‌شود. به عبارت دیگر، اثر تشدید به صورت تقویت هارمونیک جریان تزریق شده ظاهر می‌گردد. در چنین حالتی اعوجاج ولتاژ اعمال شده به خازن، افزایش یافته و باعث آسیب رسیدن به خازن می‌شود[5].

تشدید سری، نتیجه ترکیب سری بانک خازنی یا خط یا اندوکتانس ترانسفورمر است. این تشدید باعث ایجاد یک مسیر با امپدانس کوچک در برابر جریان‌های هارمونیکی شده و به اصطلاح کلیه جریان‌های هارمونیکی هم‌مرتبه با مقدار تنظیمی خودش را به تله می‌اندازد و از نفوذ آن‌ها در سایر قسمت‌های شبکه جلوگیری می‌نماید. در این شرایط به دلیل افزایش هارمونیک جریان در مسیر تشدید، اعوجاج ولتاژ هارمونیکی نیز پدید می‌آید که می‌تواند به خازن آسیب برساند. بالا رفتن جریان بانک خازنی می‌تواند موجب سوختن و خرابی خود خازن یا کنتاکت‌های آن شود. شکل Error! **No text of specified style in document.**۹- یک خازن اصلاح ضریب توان را نشان می‌دهد که بر اثر کشیده شدن جریان بالا، آسیب دیده و کنتاکت‌های آن سوخته‌اند.

شکل **Error! No text of specified style in document.**۹- کنتاکت خازنی آسیب‌دیده

فرورزونانس

فرورزونانس یک پدیده نوسانی است که از تاثیر خازن و اندوکتانس غیرخطی یک ترانسفورمر در مداری که شامل ترکیب سری این دو المان باشد، به وجود می‌آید. تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورهای توزیع و یا راکتورهای قابل اشباع دارای راکتانس سلفی غیرخطی هستند. المان‌های غیرخطی معمولا در نزدیکی نقطه اشباع کار می‌کنند و با یک اغتشاش می‌توانند به اشباع بروند. راکتانس سلفی در ناحیه اشباع مقادیر مختلفی پیدا می‌کند که ممکن است در هریک از این مقادیر تحت شرایط خاصی پدیده فرورزونانس به وجود آید. در زمان کم‌باری یا قطع بودن بار که خازن ولتاژ سمت ثانویه ترانسفورمر را بالا می‌برد، احتمال به اشباع رفتن ترانس و در نتیجه وقوع فرورزونانس بالا خواهد بود. [6]

کلیدزنی

برخی از بانک‌های خازنی در مواقع لزوم به مدار متصل می‌شوند و به طور دائمی در مدار نیستند. اتصال این خازن‌ها به شبکه منجر به تولید گذراهای ولتاژ و جریان می‌شود. در واقع در لحظه کلیدزنی ولتاژ باس خازن به طور آنی به ولتاژ خازن دشارژ شده نزول کرده، سپس با شروع به شارژ خازن، پس از چند نوسان، ولتاژ باس بازیابی خواهد شد. هرچه در لحظه کلیدزنی ولتاژ باس به ولتاژ خازن نزدیک‌تر باشد، پیک نوسان ها کوچکتر خواهد بود. پیک ولتاژ گذرای خازن حداکثر ۲ پریونیت است، ولی در عمل به علت وجود مقاومت و همچنین محدوده تغییرات خازن و اندوکتانس اتصال کوتاه شبکه، معمولا این پیک بین ۱/۱ تا ۱/۶ پریونیت است. فرکانس این نوسانات نیز معمولا بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز است[7]. گذرای ولتاژ می‌تواند ترکیب سری خازن اصلاح ضریب توان و امپدانس ترانس توزیع را تحریک نموده و باعث بروز تشدید شود. در تشدید سری میزان تقویت ولتاژ گذرا به ۴ تا ۶ پریونیت می‌رسد که به خازن‌ها و سایر تجهیزات شبکه آسیب‌می‌رساند. شکل **No text of specified style in document.**- Error! ۱۰ یک خازن آسیب‌دیده را نشان می‌دهد که وقوع اضافه ولتاژ و ضعف اتصالات از دلایل احتمالی وقوع این حادثه بوده‌اند.

شکل Error! No text of specified style in document.-۱۰ بانک خازنی آسیب‌دیده

کاهش طول عمر

عدم رعایت شرایط نگهداری، از دیگر دلایلی است که موجب کاهش طول عمر خازن‌ها و در نتیجه ضعیف شدن یا از بین رفتن آن‌ها می‌شود. جدول Error! No text of specified style in document.-۱ انواع آسیب‌های خازن ناشی از شرایط بد طراحی یا نگهداری را نشان می‌دهد[13].

جدول Error! No text of specified style in document.-۱: آسیب‌های خازن‌قدرت

نوع آسیب	علت	پیامد	روش پیشگیری
شکست دی‌الکتریک	- ولتاژ کاری بالا - اضافه ولتاژ - اضافه دما	شکست درونی خازن موجب انفجار و یا از کار افتادن بانک خازنی می شود، خازن اتصال‌کوتاه یا مدار باز می‌شود	کاهش تنش ولتاژ کاهش دمای محیط
تخریب ترمینال‌ها	جریان پیک بالا	بالا رفتن جریان در مقاومت اهمی خازن موجب افزایش دما و ایجاد قوس الکتریکی می‌شود و در نهایت دی	پایین نگه‌داشتن جریان عبوری از خازن با طراحی مناسب

بر اساس اطلاعات جدول Error! **No text of specified style in document.**-۱، افزایش دما و ولتاژ می‌تواند یکی از دلایل آسیب دیدن خازن‌ها باشد. فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۳ نحوه تاثیرگذاری دمای محیط و ولتاژ کاری بر طول عمر خازن را نشان می‌دهد.

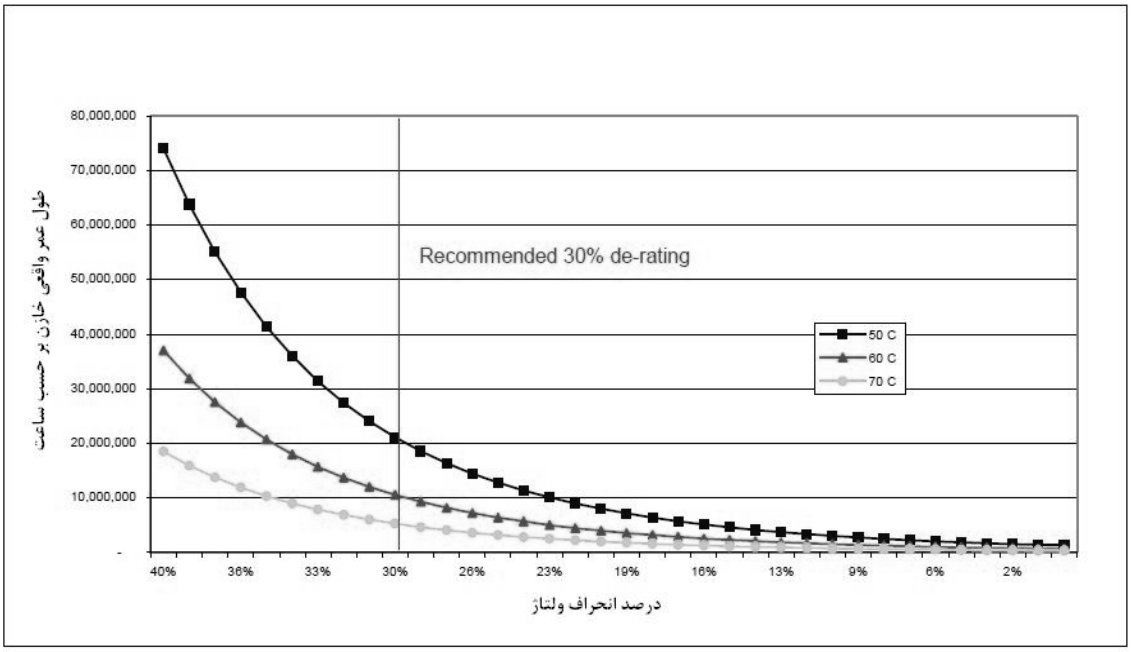
فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۱۳

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

θ طول عمر واقعی خازن بر حسب ساعت، RTL طول عمر نامی خازن، V_n ولتاژ نامی خازن، V_{app} ولتاژ اعمالی به خازن، $RTemp$ دمای نامی خازن و $Temp$ دمای کارکرد عملی خازن است. V_{scale} عامل تناسب برای تنش ولتاژ است که بسته به سازنده، از ۷ تا ۹/۴ تغییر می‌کند. باید توجه داشت که رابطه فوق برای ولتاژهای اعمالی کمتر از نصف ولتاژ نامی، کارایی ندارد[13].

همانطور که از این رابطه دیده می‌شود، قرار دادن خازن در دمای ۱۰ درجه بالاتر از دمای نامی می‌تواند طول عمر خازن را به نصف برساند. از این رو همواره توصیه می‌شود از قرار دادن بانک‌های خازنی در محیط های روباز و در معرض تابش نور خورشید خودداری شود. همچنین این رابطه به خوبی نشان می‌دهد تنش های ولتاژ، هرچند کوچک، چه تاثیر مخربی می‌توانند بر طول عمر خازن داشته باشند.

شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۱ تغییرات طول عمر خازن را برحسب درصد انحراف ولتاژ (نسبت اختلاف ولتاژ نامی و ولتاژ اعمالی به ولتاژ نامی) وقتی ولتاژ اعمالی پایین‌تر از ولتاژ نامی باشد و همچنین تاثیر دمای کارکرد را نشان می‌دهد.



شکل Error! No text of specified style in document.- ۱۱ نحوه تغییرات طول عمر خازن بر اثر تغییر ولتاژ کاری و دما

WikiPower.ir

۳)تهیه پارامترهای محیط‌های هارمونیکی تأثیرگذار بر خازن‌گذاری

WikiPower.ir

۱-۱-۲- ۳-۱)مقدمه

از آن جهت که نیمه هادی‌های قدرت در هر نقطه از شکل موج ولتاژ، به ناگهان روشن و یا خاموش می شوند، حالت‌های گذرایی با فرکانس نوسان بالا و دامنه میرا شونده پدید می‌آورند. اگر در هر پریود عمل کلیدزنی در نقطه مشابهی انجام شود، حالت گذرا شکلی متناوب به خود می‌گیرد. چنین سیگنال‌های غیرسینوسی را می‌توان با استفاده از بسط سری فوریه، به صورت مجموعی از امواج سینوسی بیان نمود که به «هارمونیک‌های شبکه قدرت» موسومند و فرکانس آن‌ها مضرب صحیحی از فرکانس قدرت می‌باشد. هنگامی که اثر سلف‌ها و خازن‌های شبکه نیز مدنظر قرارگیرد، اهمیت اعوجاجات هارمونیکی دو چندان می شود. در حقیقت چون سیگنال اعوجاج یافته دارای مولفه‌هایی با فرکانس متفاوت می‌باشد، در یکی از این فرکانس‌ها، امکان ایجاد تشدید بین یکی از خازن‌ها و سلف معادل شبکه وجود دارد که به تبع آن، دامنه هارمونیک مربوط به فرکانس تشدید افزایش می‌یابد[5].

در این قسمت انواع منابع هارمونیک، نوع و مقدار هارمونیک‌های تولیدی و نحوه مدل کردن منابع هارمونیکی در شبکه را شرح می‌دهیم. پس از آن، در قسمت «محاسبات خازن‌گذاری در محیط‌های هارمونیکی» به نحوه تاثیرگذاری این مولفه‌ها در مسئله خازن‌گذاری خواهیم پرداخت.

۱-۱-۳- ۳-۲)بررسی انواع منابع هارمونیک موجود در شبکه

تولید هارمونیک را می‌توان به دو گروه «منابع غیر وابسته به عناصر نیمه‌هادی» و «منابع وابسته به عناصر نیمه‌هادی» تقسیم نمود. اعوجاجات موجود در شکل موج ولتاژ ماشین‌های الکتریکی که معمولا ناشی از عدم توزیع یکنواخت سیم‌پیچ‌های این ماشین‌ها و وجود شیارها می‌باشد، یکنواخت نبودن رلوکتانس فاصله هوایی در فاصله بین دو قطب در ماشین سنکرون، اعوجاج شار ناشی از تغییرات ناگهانی بار در ماشین سنکرون، توزیع غیرسینوسی شارمغناطیسی در فاصله هوایی ماشین‌های سنکرون، جریان مغناطیس کنندگی ترانسفورمر و وجود بارهای غیرخطی نظیر دستگاه‌های جوشکاری، کوره‌های الکتریکی و غیره در شبکه قدرت از مهمترین منابع تولید هارمونیک غیروابسته به عناصر نیمه‌هادی می‌باشند. بدیهی‌است تجهیزاتی که دارای قطعات الکترونیکی و نیمه‌هادی می‌باشند (مانند ادوات FACTS[1] و تجهیزات کنترلی موتورها)، از نوع منابع هارمونیک وابسته عناصر نیمه‌هادی می‌باشند. در این بخش به بررسی آن دسته از

[1] Flexible AC Transmission Systems

منابع هارمونیک می‌پردازیم که دارای تاثیرات برجسته و محسوس در شبکه هستند و می‌توانند بر محاسبات خازن‌گذاری تاثیرگذار باشند.

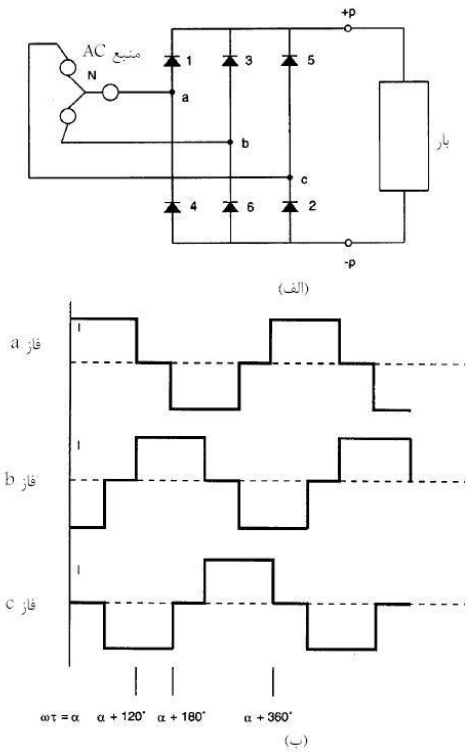
۱-۱-۳-۱- مبدل‌های AC/DC

مبدل‌های تایریستوری سه‌فاز شش پالسه از اساسی‌ترین تجهیزات یک سیستم انتقال انرژی الکتریکی جریان مستقیم ولتاژ بالا (HVDC[1]) می‌باشند. در آغاز افزودن یک مبدل استاتیکی کوچک به شبکه قدرت بزرگ فقط باعث ایجاد مقدار ناچیزی اعوجاج هارمونیکی در شبکه مربوطه می‌شد. اما امروزه اهمیت بررسی هارمونیکی برای هر سیستم قدرت صنعتی تقریباً برابر اهمیت بررسی سطح اتصال‌کوتاه و اضافه ولتاژ در آن سیستم می‌باشد[5].

مدل مداری یک یکسوکننده سه‌فاز شش پالس در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۲ الف نشان داده شده است. هر مبدل استاتیکی، جریان سمت DC را به ترتیب بین سه‌فاز سیستم AC سوئیچ می‌نماید. اگر جریان سمت DC ثابت در نظر گرفته شود، شکل موج جریان در سمت AC که در غیاب مبدل به صورت سینوسی است تبدیل به موج پله‌ای می‌گردد که در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۲ ب نشان داده شده است.

WikiPower.ir

[1] High Voltage Direct Current



شکل.Error! No text of specified style in document -۱۲ یک مبدل یکسوکننده سه‌فاز شش پالسه

الف-شکل مداری ب-شکل موج‌های جریان سمت AC

با بهره‌گیری از تحلیل فوریه، می‌توان نشان داد که در حالت ایده‌آل هارمونیک‌هایی با مرتبه و دامنه زیر توسط مبدل استاتیکی تولید می‌گردند[11]:

$$h = kq \pm 1 \quad \text{.....} \quad \text{۱۴-}$$ **فرمول.Error! No text of specified style in document**

$$I_h = \frac{I_{fund}}{h} \quad \text{.....} \quad \text{۱۵-}$$ **فرمول.Error! No text of specified style in document**

که در آن h مرتبه هارمونیک، k یک عدد صحیح، q تعداد پالس مبدل، I_{fund} دامنه جریان مولفه اصلی و I_h دامنه جریان هارمونیکی می‌باشند. این هارمونیک‌ها تحت عنوان هارمونیک‌های مشخصه[۱] تعریف می شوند. البته وجود شرایط غیر ایده‌آل باعث ایجاد هارمونیک‌هایی با مرتبه غیر از $kq \pm 1$ می‌گردد که به هارمونیک‌های نامشخص[۲] معروف هستند. باید توجه داشت که منحنی‌های شکل Error! **No text of**

[۱] Characteristic harmonics

[۲] Non-Characteristic harmonics

specified style in document.-۱۲ ب به صورت تئوریک رسم شده‌اند. در عمل از آن‌جا که بارهای ما اهمی خالص نیستند، شکل موج‌های جریان به صورت تیز برش‌خورده نخواهند بود، بلکه تغییرات جریان، آهسته‌تر و با منحنی‌های ذوزنقه‌ای شکل اتفاق می‌افتد. بنابراین مقدار متوسط جریان از آن‌چه که در فرمول **No text of specified style in document.** Error! -۱۵ محاسبه شد کمی (بسته به مقدار زاویه آتش و زاویه کموتاسیون) کمتر خواهد بود. مقادیر تقریبی دامنه جریان هارمونیکی را برای یکسوکننده شش پالس نشان می‌دهد[11].

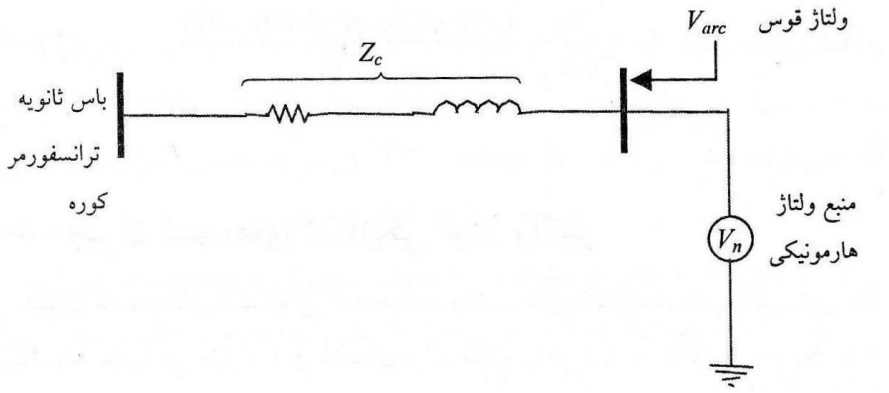
جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۲: مقادیر تقریبی دامنه جریان های هارمونیکی یکسوکننده سه‌فاز شش پالس*

دامنه جریان هارمونیکی (٪)	مرتبه هارمونیک
۱۹/۲	۵
۱۳/۳	۷
۷/۳	۱۱
۵/۷	۱۳
۳/۵	۱۷
۲/۷	۱۹
۲	۲۳
۱/۶	۲۵

WikiPower.ir

۱-۱-۳-۲- کوره‌های الکتریکی

یکی دیگر از منابع تولید هارمونیک کوره‌های الکتریکی می‌باشند. در عمل به دلیل متغیر بودن طول قوس الکتریکی حین عمل ذوب، هارمونیک‌هایی که توسط کوره‌های الکتریکی تولید می‌گردند به طور پیوسته در حال تغییر هستند. مقدار تولید هارمونیک وابسته به نوع کوره می‌باشد. هارمونیک غالب تولید شده در این کوره‌ها هارمونیک سوم ولتاژ می‌باشد. کوره الکتریکی را مطابق شکل **No text of specified** Error! **style in document.**-۱۳ می‌توان به صورت یک منبع ولتاژ هارمونیکی نشان داد که با یک امپدانس سلفی، Z_C ، بصورت سری قرارگرفته است. امپدانس مذکور شامل امپدانس کابل‌های متصل به ثانویه ترانسفورمر کوره و امپدانس الکترودها خواهد بود. باید توجه کرد که امپدانس در نظر گرفته شده در این مدل قابل چشم‌پوشی نبوده و حتما باید در نظر گرفته شود.



شکل.Error! No text of specified style in document. -۱۳ مدل کوره الکتریکی برای مطالعات هارمونیکی

کوره‌های الکتریکی از نوع بارهای تصادفی می‌باشند. بارهای تصادفی شامل کلیه واحدهایی هستند که به دلیل پیچیدگی بیش از حد شرایط کاری و تجهیزات نصب شده در این واحدها، طیف فرکانسی جریان جذب شده توسط آن‌ها را نمی‌توان به راحتی تعیین نمود. اگر مدل کوره الکتریکی را به صورت مدار معادل نورتن نمایش دهیم، امپدانس Z_r در مدل نورتن و دامنه منبع جریان معادل را از روابط تجربی زیر می توان محاسبه کرد[5]:

فرمول **Error! No text of specified style in document.-۱۶**

$$Z_r = 1.2\frac{U_0^{\,2}}{S_0 Cos\varphi} + j1.2\frac{U_0^{\,2}\tan\varphi}{S_0 Cos\varphi} \quad \text{.....۱۶}$$

فرمول **Error! No text of specified style in document.-۱۷**

$$I_n = \frac{S_0}{\sqrt{3}U_0}.\frac{\left(0.15+3.5\exp\left(0.8-0.4n\right)\right)}{100} \quad \text{.....۱۷}$$

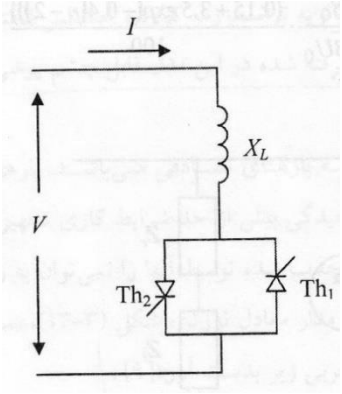
که در آن S_0 توان ظاهری کوره، U_0 ولتاژ نامی خط و φ زوایه توان کوره می‌باشد.

۱-۱-۳-۳- جبران کننده های استاتیکی توان راکتیو

جبران‌کننده‌های استاتیکی که حاوی راکتورهای کنترل شده با تایریستور (TCR [۱]) می‌باشند، تجهیزاتی موثر و قابل اطمینان برای تنظیم ولتاژ هستند. شکل مداری یک TCR در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۴ نشان داده شده است. این تجهیزات هارمونیک‌های فرد تولید می

[۱] Thyristor Controlled Reactor

نمایند و مقدار موثر دامنه این هارمونیک‌ها تابعی از زاویه آتش تایریستورها (α) بوده و از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۸ قابل محاسبه است[5].



شکل Error! No text of specified style in document.**-۱۴ شکل مداری یک TCR**

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۱۸

$$I_n = \frac{4V}{\pi X_L}\left[\frac{\sin(n+1)\alpha}{2(n+1)} + \frac{\sin(n-1)\alpha}{2(n-1)} - \cos\alpha\frac{\sin(n\alpha)}{n}\right] \quad \text{.....}$$

که در آن X_L راکتانس سلف، V ولتاژ دو سر TCR و n مرتبه هارمونیک می‌باشند.

از آن‌جایی که در سیستم‌های سه‌فاز جبران‌کننده‌ها به صورت مثلث بسته می‌شوند، به شرط تقارن سیستم، تمامی هارمونیک‌های سوم در مثلث بسته به گردش درآمده و از جریان خط حذف می‌گردند. در TCR این مساله حائز اهمیت است که مطمئن باشیم زاویه هدایت در دو تایریستور که در جهت خلاف هم قراردارند، یکسان است. نامساوی بودن زاویه هدایت، منجر به تولید مولفه‌های هارمونیکی زوج و مولفه DC در جریان گردیده که به نوبه خود منجر به تنش حرارتی نابرابر در تایریستورها می‌گردد[5].

۱-۱-۳-۴- ترانسفورمرهای قدرت

به دلیل کم بودن جریان در یک ترانسفورمر بی‌بار، می‌توان از اثر مقاومت سیم‌پیچی و راکتانس نشتی آن صرفنظر نمود. در این حالت اعمال ولتاژ سینوسی به سیم‌پیچی اولیه شاری سینوسی در هسته ترانسفورمر تولید می‌شود. با این وجود، جریان اولیه آن کاملا سینوسی نخواهد بود زیرا رابطه بین شار مغناطیسی و جریان مغناطیس‌کنندگی کاملا خطی نبوده و از منحنی هیسترزیس هسته ترانسفورمر تبعیت می‌کند. هرگاه نقطه کار ترانسفورمر وارد ناحیه اشباع گردد، شکل موج جریان از حالت سینوسی خود خارج شده و

دچار اعوجاج می‌گردد. برای اهداف اقتصادی، معمولا یک ترانسفورمر به گونه‌ای طراحی می‌شود که از قابلیت‌های مغناطیسی هسته آن به خوبی استفاده گردد. به همین دلیل انتظار می‌رود که در حالت ماندگار، دامنه چگالی شار مغناطیسی در هسته حدود ۱/۶ تا ۱/۷ تسلا باشد. اگر ترانسفورمری که تحت این شرایط کار می‌کند در برابر افزایش ولتاژی معادل ۳۰٪ قرار گیرد، چگالی شار مغناطیسی هسته به مقداری حدود ۱/۹ تا ۲ تسلا خواهد رسید که باعث اشباع قابل توجهی در ترانسفورمر می‌گردد. این مساله ممکن است در مورد ترانسفورمرهایی که به یکسوکننده‌های پرقدرت و بزرگی متصل می‌باشند، در پی قطع بار یکسوکننده رخ دهد. در این شرایط مشاهده شده است که ولتاژ ترمینال‌های مبدل به ۱/۴۳ پریونیت رسیده و به شدت باعث اشباع شدن ترانسوفرمر می‌گردد. جریان مغناطیس‌کنندگی که بدین ترتیب ایجاد می‌شود، حاوی هارمونیک‌های فرد می‌باشد. اگر از مولفه اصلی صرفنظر کرده و چنین فرض کنیم که هارمونیک‌های توالی صفر (مضرب سه) در سیم‌بندی مثلث جذب می‌گردند، مولفه‌های باقیمانده از مرتبه $6k \pm 1$ خواهند بود که در آن k عدد صحیح می‌باشد. اگر ترانسفورمر به یک مبدل شش پالسه متصل باشد، مشکلی نخواهیم داشت. در حقیقت مبدل‌های شش پالسه نیز دارای هارمونیک‌هایی با مرتبه $6k \pm 1$ می‌باشند. به همین دلیل فیلترهایی که در ایستگاه مبدل جهت حذف هارمونیک‌های AC نصب شده‌اند، هارمونیکهای مربوطه به اشباع ترانسفورمر را نیز حذف خواهند نمود. اما در مورد مبدل‌های دوازده پالسه این چنین نخواهد بود و به دلیل این‌که فیلترهای این مبدل برای حذف هارمونیک‌های مرتبه ۱۱، ۱۳ و ... طراحی شده‌اند، هارمونیک‌های مرتبه پنجم و هفتم حذف نخواهند شد.

منبع دیگر مولد هارمونیک در شبکه‌های قدرت، جریان هجومی در ترانسفورمرها می‌باشد که در لحظه برقدار کردن ترانسفورمر از شبکه کشیده می‌شود. هارمونیک‌های غالب در جریان هجومی ترانسفورمر، هارمونیک‌های مرتبه دوم، سوم، چهارم و پنجم می‌باشند. هارمونیک‌های جریان هجومی معمولا مشکلی در شبکه پدید نمی‌آورند مگر آن‌که سیستم در یکی از این هارمونیک‌ها دارای تشدید باشد که در این حالت برقدارکردن ترانسفورمر، سیستم را تحریک کرده و باعث اعوجاج ولتاژ می‌گردد. این اعوجاج ولتاژ به نوبه خود جریان هجومی را تحت تاثیر قرار داده و باعث تولید جریان هارمونیکی بیشتری می‌شود. اثر متقابل بین تشدید سیستم و برقدار کردن ترانسفورمرها، ولتاژهای (موثر و پیک) بسیار بزرگی را تولید می‌نماید که می‌تواند باعث از بین رفتن تجهیزات سیستم گردد. شایان ذکر است در مجتمع‌های فولاد و کارخانجات ذوب آهن به دلیل روشن و خاموش کردن زیاد ترانسفورمرهای کوره‌های الکتریکی، هر ساله هزاران مورد اضافه ولتاژ گزارش می‌شود که باعث فرسودگی عایق‌های سیستم می‌گردند.

۱-۱-۳-۵- لامپ های تخلیه ای

لامپ‌های تخلیه‌ای و به خصوص لامپ‌های فلورسنت را می‌توان به صورت دو دیود پشت به پشت در نظر گرفت. در حقیقت در هر دو نیم‌سیکل برای ایجاد قوس الکتریکی می‌بایست دامنه و ولتاژ شروع شکست عایق لامپ بیشتر باشد تا مسیر قوس بسته شده و جریان الکتریکی ایجاد شود. واضح است که وجود دیود به عنوان عنصر غیرخطی، شکل موج ولتاژ را تغییر داده و تولید هارمونیک خواهد نمود. تحلیل هارمونیکی با توجه به تقارن نیم‌موج شکل موج جریان نشان می‌دهد که لامپ‌های فلورسنت باعث افزایش قابل توجه جریان هارمونیکی مرتبه فرد می‌گردند.

با توجه به این‌که مدارهای روشنایی معمولا طولانی می‌باشند، وجود خازن تصحیح ضریب توان، می‌تواند در مدار LC معادل، باعث ایجاد تشدید در فرکانس مربوط به هارمونیک سوم شود. در پی این مشکلات، در مرحله طراحی بهتر است که از این تشدید پیش‌گیری به عمل آید. برای نیل به این مقصود، توصیه می‌شود که خازن‌های تصحیح ضریب توان را از مجاورت هر لامپ برداشته و به جای این خازن‌ها از یک بانک خازنی مناسب در تابلوی اصلی استفاده شود.

۱-۱-٤- ۳-۳)حدود مجاز هارمونیک‌ها

حدود مجاز جریان و ولتاژهای هارمونیکی در شبکه‌های صنعتی، طبق استاندارد IEEE 141-1993 در جدول Error! **No text of specified style in document.**-۳ و جدول Error! **No text of specified style in document.**-۴ آورده شده است.

جدول Error! No text of specified style in document.-۳: محدودیت‌های هارمونیک‌های جریان در سیستم‌های توزیع (۱۲۰ ولت تا ۶۹ کیلوولت)

بیشینه جریان هارمونیکی مجاز (٪ از جریان بار)						
شماره هارمونیک (برای هارمونیک‌های فرد)						
TDD	بالای ۳۵	۲۳ تا ۳۵	۱۷ تا ۲۳	۱۱ تا ۱۷	زیر ۱۱	I_{SC} / I_L
۵	۰/۳	۰/۶	۱/۵	۲	۴	<۲۰
۸	۰/۵	۱	۲/۵	۳/۵	۷	۲۰<۵۰
۱۲	۰/۷	۱/۵	۴	۴/۵	۱۰	۵۰<۱۰۰
۱۵	۱	۲	۵	۵/۵	۱۲	۱۰۰<۱۰۰۰

۲۰	۱/۴	۲/۵	۶	۷	۱۵	>۱۰۰۰

TDD کل اعوجاج دیماند است که از تقسیم ریشه مجموع مربعات هارمونیک‌های جریان بر بیشینه جریان بار به دست می‌آید و بر حسب درصد بیان شده است. برای هارمونیک‌های زوج، محدوده مجاز از مقادیر تعریف شده در جدول بالا به میزان ۲۵٪ بیشتر است. I_{SC} بیشینه جریان اتصال کوتاه در نقطه تغذیه و I_L بیشینه جریان بار است. در طراحی تجهیزات الکتریکی، باید نسبت I_{SC}/I_L کوچکتر از ۲۰ ملاک قرار داده شود[11].

جدول Error! No text of specified style in document.-۴: محدودیت‌های اعوجاج ولتاژ

کل اعوجاج ولتاژ (THD)	درصد اعوجاج ولتاژ	ولتاژ باس
۵	۳	۶۹ کیلوولت و کمتر
۲/۵	۱/۵	۶۹ کیلوولت تا ۱۶۱ کیلوولت
۱/۵	۱	۱۶۱ کیلوولت و بالاتر

۱-۱-۵- ۳-۴) تعیین وضعیت منابع هارمونیکی پست‌های مخابرات

بر اساس مشاهدات انجام شده طی بازدیدهای حضوری، در پست‌های مخابرات استان مرکزی، یکسوکننده های AC/DC عمده‌ترین منبع تولید هارمونیک در شبکه می‌باشند. این یکسوکننده‌ها از نوع شش پالسه و دارای ولتاژ خروجی ۲۴ یا ۴۸ ولت هستند. ولتاژ متناوب سه‌فاز ۳۸۰ ولت این تجهیزات را تغذیه می‌کند و بسته به پست، جریانی در حدود ۳۰ آمپر از شبکه می‌کشند. بنابراین انتظار می‌رود هارمونیک‌های موجود در پست‌های مخابرات از جدول Error! **No text of specified style in document.**-۲ تبعیت کنند.

زمانی که باتری‌ها کاملا تخلیه شده‌اند و یکسوکننده‌ها شروع به شارژ مجدد باتری‌ها می‌کنند، بیشترین بار از شبکه کشیده شده و بیشترین میزان هارمونیک‌ها تولید می‌شود. بنابراین بدترین زمان از نظر تولید هارمونیک، زمان آغاز شارژ مجدد باتری‌ها خواهد بود. از سوی دیگر، زمانی که یکسوکننده‌ها کمترین میزان بار را تغذیه نمایند، دامنه هارمونیک‌ها در کمترین مقدار خود خواهد بود. این موضوع با توجه به یکنواخت بودن بار مصرف‌کننده‌ها، زمانی رخ می‌دهد که یکسوکننده‌ها مستقیما سیستم‌های مایکروویو را تغذیه می کنند.

۱-۲- ۵-۳) محاسبات خازن‌گذاری در محیط‌های هارمونیکی

۱-۲-۱- ۵-۳-۱)مقدمه

در تحلیل سیستم قدرت در حضور جریان‌های هارمونیکی، لازم است علاوه بر نوع و مقدار هارمونیک‌ها، مشخص کنیم که تشدید موازی بین اندوکتانس سیستم قدرت و خازن وجود دارد یا خیر. این بررسی باید علاوه بر خازن‌های اصلاح ضریب توان، خازن‌های خطوط و کابل‌ها را هم در نظر بگیرد. برای این منظور به تحلیل هارمونیکی سیستم قدرت نیاز خواهد بود. علاوه بر این، تحلیل هارمونیکی سیستم‌قدرت برای تشخیص کارایی فیلترها نیز بکار می‌رود. در این قسمت با توجه به اهمیت حضور هارمونیک‌ها و تاثیراتی که بر طراحی و انتخاب خازن‌ها می‌گذارند، به بررسی محاسبات مربوط به محیط‌های هارمونیکی و نکات مربوط به آن‌می‌پردازیم.

۱-۲-۲- ۵-۳-۲)تحلیل هارمونیکی

برنامه پخش بار هارمونیکی، ابزار اولیه مطالعات هارمونیکی است. مهم‌ترین استفاده این برنامه، محاسبه امپدانس سیستم در هر نقطه و در هر فرکانس از شبکه است. اغلب برنامه‌های پخش بار هارمونیکی، مشابه برنامه‌های پخش بار معمولی و اتصال کوتاه هستند، اما تفاوت‌های مهمی نیز وجود دارد که عبارتند از:

پخش بار هارمونيكي بايد پاسخي در يك گستره فركانسي توليد كند. اين فركانس‌ها نبايد صرفاً هارمونيك‌هاي صحيح باشند، بلكه بايد نقاط مياني را هم شامل شوند. بنابراين لازم است يك گستره فركانسي جارو شود.

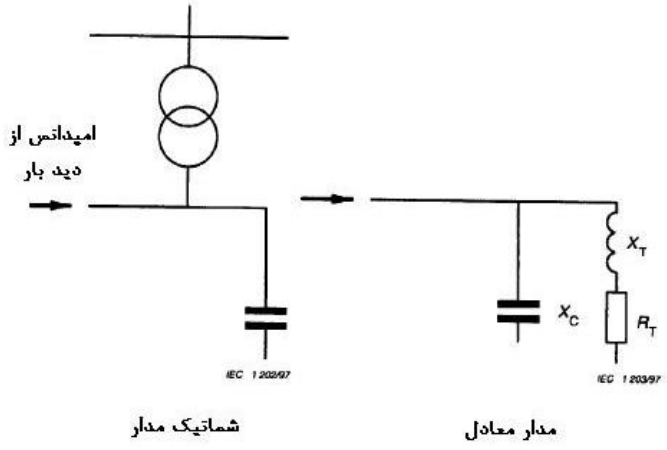
اجزاء شبكه (خطوط انتقال، ترانسفورماتورها، راكتورها، خازن ها، كابل‌ها و...)، امپدانس‌هايي دارند كه با فركانس تغيير مي‌كنند. برنامه بايد مدل شبكه را در هر فركانس بسازد، به نحوي كه راكتانس و مقاومت هر دو به صورت تابعي از فركانس، مدل شوند تا پاسخي دقيق بدست آيد.

بارهاي صنعتي به طور معمول روي سه‌فاز متعادل هستند. بنابراين در نظر گرفتن طرح تك‌خطي با مؤلفه‌هاي ترتيبي مثبت، مي‌تواند پاسخ‌هاي رضايت‌بخش را توليد كند. با اين وجود، اگر بارگذاري نامتعادل يا امپدانس نامتعادل در شبكه وجود داشته باشد، بايد از يك نمايش سه‌فاز كامل استفاده شود.

برنامه پخش بار هارمونیکی باید بسته به کاربرد، یک یا چند مورد از این خروجی‌ها را تولید نماید: ولتاژهای هارمونیکی و ضرایب اختلال در هر باس، جریان‌های هارمونیکی هر شاخه و ضرایب اختلال، میزان بارگذاری فیلتر یا بانک خازنی، نمودار تغییرات امپدانس سیستم بر حسب مشخصه فرکانس.

۱-۲-۳- ۵-۳-۳)اثرات متقابل خازن و هارمونیک

اگرچه خازن‌ها تجهیزاتی هستند که خود تولید هارمونیک نمی‌کنند اما می‌توانند بر روی هارمونیک‌های موجود ناشی از بارهای غیرخطی تاثیرات نامطلوب بر جا گذارند. خازن با کم کردن امپدانس معادل شبکه از دید بار، دامنه هارمونیک‌های جریان در شبکه را تقویت می‌کند و بر کیفیت توان شبکه اثرات نامطلوبی به جا می‌گذارد. شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۵ امپدانس معادل شبکه را از دید بار و جایگاه خازن از دید بار را نشان می‌دهد.



شکل Error! No text of specified style in document.**-۱۵ امپدانس معادل شبکه از دید بار**

از طرفی هارمونیک‌ها نیز بر خازن اثرات مخربی دارد. اعوجاجات هارمونیکی می‌توانند موجب افزایش جریان خازن، افزایش تنش الکتریکی و افزایش تلفات دی‌الکتریکی خازن شوند که خرابی عایق خازن و در نهایت خارج شدن خازن از مدار را به دنبال خواهد داشت. یکی از مواردی که باعث آسیب رسیدن به خازن‌ها می شود، گرم شدن ناشی از اضافه جریان شدید خازن می‌باشد که خود ناشی از ولتاژهای هارمونیکی دو سر آن است. باید توجه داشت که بالا بودن جریان ورودی به خازن حتی در صورت پایین بودن هارمونیک ولتاژ، امکان‌پذیر است، چرا که امپدانس خازن با فرکانس رابطه معکوس دارد.

مشکل عایقی خازن‌ها از دیگر آثار سوء هارمونیک‌ها بر خازن می‌باشد. اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک ممکن است به حدی برسد که تنش الکتریکی بر روی عایق خازن از حد مجاز بیشتر شده و باعث تخلیه الکتریکی خازن شود. این موضوع اغلب در مواقعی اتفاق می‌افتد که پیک ولتاژ هارمونیکی از لحاظ زمانی با پیک ولتاژ فرکانس اصلی یکی می‌شود.

علاوه بر افزایش مقدار موثر جریان خازن و امکان بالا رفتن تنش الکتریکی بر روی عایق آن، اعوجاجات هارمونیکی می‌توانند باعث افزایش تلفات دی‌الکتریکی خازن‌ها نیز گردند. تلفات دی‌الکتریکی یک خازن از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۹ محاسبه می‌شود.

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۱۹

$$P=\sum_{n=1}^{\infty}V_n^{\,2}C(n\omega_0)\tan\delta_n$$

که در آن V_n ولتاژ هارمونیکی مرتبه n ، C ظرفیت خازن بر حسب فاراد، δ_n ضریب تلفات در هارمونیک nام و ω_0 سرعت زاویه‌ای متناظر با فرکانس اصلی می‌باشد. اگر ضرایب تلفات را در هارمونیک‌های مختلف با هم برابر در نظر بگیریم، نسبت تلفات دی‌الکتریک در حضور اعوجاجات هارمونیکی به تلفات در غیاب آن ها (تلفات مولفه اصلی) از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۲۰ محاسبه می شود.

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۲۰

$$\frac{P}{P_1}=1+\frac{\sum_{n=2}^{\infty}nV_n^{\,2}}{V_1^{\,2}}$$

که در آن P_1 تلفات دی‌الکتریک در فرکانس اصلی است. این رابطه به خوبی میزان افزایش تلفات دی الکتریک را توصیف می‌کند. با افزایش میزان اعوجاجات هارمونیکی، تلفات دی‌الکتریک نیز افزایش می‌یابد که خود موجب بالا رفتن دمای دی‌الکتریک و در نتیجه کاهش طول عمر و شکست حرارتی آن شود.

۱-۲-٤- ۵-۳-۴)محاسبات اصلاح ضریب توان در محیط هارمونیکی

روابط اصلاح ضریب توان در محیط‌های هارمونیکی مشابه روابط محیط‌های غیرهارمونیکی است با این تفاوت که اطلاعات ورودی به مسئله باید با توجه به شرایط هارمونیکی اصلاح شوند. دستگاه‌های القایی اندازه‌گیری توان و انرژی الکتریکی نظیر واتمترها و وارمترها تحت تاثیر فرکانس جریان و ولتاژ قرار می گیرند. گشتاور وارد شده به دیسک گردنده این دستگاه‌ها متناسب با شارمغناطیسی و جریان گردابی است که در آن القا می‌شود. شار و جریان گردابی نیز با افزایش فرکانس کاهش می‌یابند. بنابراین کنتورها دارای خطای منفی در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس نامی هستند. به عبارت دیگر مقادیری که این دستگاه‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهند کمتر از مقدار واقعی می‌باشند. اگر در انجام محاسبات، صرفا مقادیر قرائت شده از کنتورها ملاک قرار گیرند، ضریب توان، بیشتر از ضریب توان واقعی بار دیده خواهد شد. در نتیجه خازن محاسبه شده برای اصلاح ضریب توان ناکافی خواهد بود.

در شرایط هارمونیکی توان راکتیو محاسبه شده توسط وارمتر از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۲۱ تبعیت می‌کند[5].

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۲۱

$$Q = \frac{1}{\omega}\sum\left(\frac{V_n I_n}{\omega}\sin\theta_n\right)\sin\left(\frac{2n\pi}{3}\right)$$

که در آن ω سرعت زوایه‌ای فرکانس اصلی، n شماره هارمونیک و θ_n زاویه بین ولتاژ و جریان در هارمونیک nام هستند. این در حالی است که تعریف توان راکتیو در شرایط غیرسینوسی توسط ANSI/IEEE به صورت زیر است[5]:

$$Q = \sum_n V_n I_n \sin\theta_n$$

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۲۲

بنابراین مشاهده می‌شود که وارمترها در شرایط هارمونیکی، توان راکتیو را مطابق با استاندارد IEEE محاسبه نمی‌کنند. به همین دلیل لازم است که از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۲ ($Cos\varphi_l = \frac{P_l}{S_l}$) برای محاسبه ضریب قدرت استفاده شود که در آن S_l طبق استانداردهای IEEE از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۲۳ محاسبه می شود[5].

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۲۳

$$S_l = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

D بیانگر توان اعوجاجی هارمونیکی می‌باشد. بنابراین وقتی ضریب توان با استفاده از واتمتر محاسبه می شود، مقدار ضریب توان با توجه به اینکه توان اعوجاجی هارمونیک‌ها دیده نمی‌شود، بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود.

۱-۲-۵- ۵-۳-۵)روش‌های خازن‌گذاری به صورت فیلتر هارمونیکی

سه روش کلی برای حذف یا به طور دقیق‌تر کنترل جریان‌های هارمونیکی بارهای غیرخطی در سیستم‌های قدرت صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند: استفاده از فیلترهای موازی، استفاده از مبدل‌های قدرت چند پالسه یا ترانسفورمرهای شیفت فاز و تزریق جریان هارمونیکی.

جریان‌های هارمونیکی با تزریق جریان‌های برابر که ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشند قابل حذف یا کاهش هستند. این روش که فیلتر فعال نامیده می‌شود، به طور آزمایشی مورد استفاده قرار گرفته است. اما در محیط‌های صنعتی چندان کاربردی نشده است. اما طی روشی دیگر، با استفاده از مبدل‌های چند پالسه می‌توان هارمونیک‌ها را کاهش داد. مبدل‌های چند پالسه در واقع دربرگیرنده چند مبدل شش پالسه هستند که به نحوی به شبکه وصل شده‌اند که هارمونیک‌های تولید شده یکدیگر را خنثی می‌کنند. در این مبدل ها، طبق فرمول Error! No text of specified style in document.-۱۴ اولین هارمونیک‌ها مرتبه‌های بالا خواهد داشت و در مرتبه‌های پایین هارمونیکی تولید نمی‌شود. برای این منظور باید در مبدل‌های چند پالسه، جریان بار به طور مساوی تقسیم شود. تمام قسمت‌ها با زاویه تاخیر یکسانی کنترل شوند و نسبت تبدیل و امپدانس مشخصه ترانسفورمرها یکسان باشد. هیچ دو یکسوکننده‌ای تمامی این شرایط را همزمان دارا نیستند. بنابراین همیشه در عمل مقداری هارمونیک‌های نامشخص تولید خواهد شد که مقدار آن‌ها بسته به میزان انحراف از ضرورت‌های مورد اشاره، متفاوت خواهد بود[11].

در پست‌های مخابرات نیز می‌توان دو مبدل شش پالسه مشابه را به یک مبدل دوازده پالسه، یا سه مبدل شش پالسه را به یک مبدل هجده پالسه تبدیل کرد. این کار مستلزم استفاده از ترانس‌های شیفت‌فاز است. برای تبدیل دو مبدل شش پالسه به دوازده پالسه باید دو مبدل از دو ترانس مشابه تغذیه شوند که اتصال یکی ستاره - مثلث و دیگری مثلث - مثلث باشد. بدیهی‌است این کار مستلزم صرف هزینه بالا است و در صورتی که بارهای دو یکسوکننده نابرابر شوند، همچنان هارمونیک‌های مزاحم تولید خواهند شد.

اما فیلترهای موازی متداول‌ترین روش برای کنترل جریان‌های هارمونیکی هستند. فیلترهای موازی به صورت ترکیب‌های سری راکتور و خازن‌ساخته می‌شوند. از فیلترهای موازی به عنوان تله هم یاد می‌شود زیرا جریان هارمونیکی که بر روی آن تنظیم شده است را جذب می‌کند. متداول‌ترین طراحی فیلتر موازی، فیلتر تک تنظیمه است. فرکانس تشدید در فیلترهای تک تنظیمه، نزدیک به فرکانس مولفه هارمونیکی موردنظر (برای حذف)، می‌باشند. در حقیقت این فیلتر یک مسیر با امپدانس پایین برای هارمونیک موردنظر ایجاد می‌کند و با به تله انداختن این هارمونیک، از نفوذ آن به شبکه جلوگیری می‌کند. فرکانس تشدید فیلتر تک تنظیمه، فرکانس تنظیم فیلتر نامیده می‌شود. در کنار فیلتر تک تنظیمه، فیلترهای بالاگذر هستند که در برابر کلیه مولفه‌های هارمونیکی با فرکانسی بیشتر از فرکانس قطع، امپدانس کوچکی از خود نشان داده و آن‌ها را به سمت خود جذب می‌کنند[5].

فیلتر دورتنظیم[۱] روش دیگری است که برای خازن‌گذاری استفاده گسترده دارد. این فیلتر نیز مانند فیلترهای تک‌تنظیمه در هر شاخه، از یک راکتور و یک خازن که به طور سری قرار گرفته‌اند تشکیل می شود. این دو قطعه در کنار هم یک مدار تشدید را تشکیل می‌دهند که فرکانس تشدید آن‌ها را به مقداری پایین‌تر از پایین‌ترین مرتبه هارمونیک موجود در شبکه (معمولا هارمونیک پنجم) قرار دارد. به این ترتیب فرکانس تشدید شبکه تا حد امکان از فرکانس هارمونیک‌های موجود در شبکه دور می‌شود و در نتیجه، احتمال بروز تشدید ناشی از خازن‌گذاری در شبکه از بین می‌رود. علاوه بر این فیلترهای دورتنظیم دامنه هارمونیک‌های مرتبه پایین نزدیک به فرکانس تنظیم را نیز تضعیف می‌کنند. فرکانس تنظیم فیلتر از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$p = \frac{X_{L1}}{X_{C1}}$$ .....۲۴- **Error! No text of specified style in document.** فرمول

$$Torder = \frac{f_{LC}}{f_1} = \sqrt{\frac{1}{p}}$$ .....۲۵- **Error! No text of specified style in document.** فرمول

که X_{L1} و X_{C1} امپدانس سلف و خازن فیلتر در فرکانس اصلی، p امپدانس نسبی، $Torder$ مرتبه تنظیم، f_{LC} فرکانس تشدید فیلتر و f_1 فرکانس اصلی می‌باشند. به ازاء امپدانس نسبی $p = 4\%$، فرکانس تشدید فیلتر برابر با $5f_1$ یا همان هارمونیک پنجم خواهد بود. بنابراین برای اینکه فرکانس تشدید فیلتر از هارمونیک پنجم هم کمتر باشد باید $p > 4\%$ باشد. اگر در بین فازهای سیستم، هارمونیک سوم ولتاژ با دامنه بالا جریان داشته باشد (مانند وقتی که یکسوکننده‌های تک فاز در مدار هستند یا ترانسفورماتور در حالت بیش‌تحریک[۲] قرار دارد)، فرکانس تشدید فیلتر باید از هارمونیک سوم هم پایین‌تر باشد. بنابراین $p > 11\%$ در نظر گرفته می‌شود. اما معمولا برای خازن‌های اصلاح ضریب توان در شبکه‌ها از فیلترهای دورتنظیم با فرکانس تشدید $3.78f_1$ (که در آن $p = 7\%$ است و به فیلتر دورتنظیم ۷٪ معروف است)، استفاده می‌کنند[15].

---

[۱] Detuned Filters

[۲] Overexcited

در مورد فیلترهای تک تنظیمه نیز از فرمول۲۴- Error! **No text of specified style in document.** و فرمول۲۵- Error! **No text of specified style in document.** برای تعیین فرکانس تنظیم استفاده می‌شود. اما باید توجه داشته که در فیلترهای تک تنظیمه، جریان هارمونیکی توسط فیلتر جذب می‌شود و در نتیجه نیاز به استفاده از خازن‌ها و سلف‌های قوی‌تری خواهد بود که هزینه‌ها را بالا می‌برد. به همین دلیل استفاده از فیلترهای تک تنظیمه در جایی که فیلتر دورتنظیم مشکل را حل می‌کند توصیه نمی‌شود. مهم‌ترین پارامترهای موردنظر در طراحی فیلتر، آسان بودن نگهداری آن‌ها، هزینه‌اقتصادی و قابلیت اطمینان است. ساده‌ترین فیلتری که اهداف مورد نظر ما را تامین می‌کند، بهترین است. بنابراین در طراحی فیلتر گام‌های زیر برداشته می‌شود:

۱) انتخاب خازن مورد نیاز برای بهبود ضریب توان

۲) انتخاب راکتور مناسب که با خازن به صورت سری بسته شده و در جهت حذف یا کاهش هارمونیک مورد نظر یا تنظیم فرکانس تشدید، تنظیم می‌شود. هارمونیک هدف در سیستم‌هایی که منابع هارمونیک‌شان مبدل‌های استاتیکی هستند، معمولا هارمونیک پنجم است. در مورد کوره‌های الکتریکی باید از چند فیلتر تک تنظیمه استفاده شود.

۳) پیک ولتاژ خازن و مقدار موثر جریان راکتور محاسبه می‌شود و قرار داشتن آن‌ها در محدوده مجاز بررسی می‌شود.

۴) قطعات استاندارد انتخاب می‌شود.

WikiPower.ir

۱-۲-٦- ۶-۳)انتخاب خازن های خاص برای محیط های هارمونیکی

۱-۲-۷- ۶-۳-۱)مقدمه

بعد از شناخت اهداف خازن‌گذاری و تعیین ظرفیت خازن مورد نیاز، لازم است بانک خازنی مناسب، با توجه به محدودیت‌های عملی و کاربردی از میان خازن‌های موجود در بازار انتخاب شود. بنابراین در این قسمت به بررسی نکات عملی و استانداردهای مربوطه می‌پردازیم و نکاتی که در انتخاب خازن مناسب باید در نظر گرفته شوند را مورد بررسی قرار می دهیم.

۱-۲-۸- ۶-۳-۲)ولتاژ نامی خازن

ولتاژ نامی خازن باید حداقل برابر با ولتاژ تحویلی شبکه‌ای باشد که خازن به آن متصل می‌شود. اگر ولتاژ نامی خازن بیش‌تر باشد، طبق بحث‌های مطرح شده در فصل (۰ طول عمر خازن بیش‌تر خواهد شد.

اگر خازن با راکتور سری شده باشد (با هدف ایجاد فیلتر هارمونیکی)، ولتاژ دو سر خازن از ولتاژ شبکه بیشتر خواهد شد. بنابراین باید توجه داشت که در این شرایط به خازنی با ولتاژ نامی بالاتر نیاز خواهد بود.

در حالت عادی با اضافه کردن خازن به شبکه، ولتاژ محل اتصال افزایش خواهد یافت. بنابراین این افزایش ولتاژ نیز باید در طراحی در نظر گرفته شود. مقدار افزایش ولتاژ از فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۲۶ محاسبه می‌شود[14].

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S}$$

فرمول **Error! No text of specified style in document.**-۲۶

که در آن ΔU مقدار افزایش ولتاژ، U ولتاژ شبکه قبل از اتصال خازن، S قدرت اتصال کوتاه شبکه در محل اتصال بر حسب مگاولت آمپر و Q ظرفیت خازن بر حسب مگاوار است.

هارمونیک‌های جاری در سیستم، با دانستن دامنه آن‌ها و در نظر گرفتن بدترین شرایط، باید در طراحی لحاظ شوند. این هارمونیک‌ها موجب افزایش ولتاژ موثر روی خازن و در نتیجه کاهش عمر و یا نابودی آن می‌شوند. بنابراین ولتاژ نامی خازن باید به گونه‌ای طراحی شود که اثر حضور هارمونیک‌ها در نظر گرفته شده باشد.

ولتاژ شبکه در محل اتصال خازن در شرایط خاص (زمانی که بار خیلی کم باشد و یا شرایط قطع بار) می تواند بسیار بالاتر از مقدار نامی برود. در این شرایط باید رگولاتور خازنی به گونه‌ای طراحی شده باشد که به سرعت خازن را از مدار خارج کند و یا ظرفیت آن را به حداقل برساند.

باید توجه داشت که خازن‌ها بر اساس استاندارد IEC 831-1996 به گونه‌ای ساخته می‌شوند که حداکثر، ولتاژی معادل ۱/۳ پریونیت را (آن هم فقط به مدت ۱ دقیقه) می‌توانند تحمل کنند. طراحی باید به گونه ای باشد که تنها در شرایط اضطراری و آن هم به مدت کوتاه، حداکثر ولتاژ مجاز و حداکثر دمای مجاز، همزمان رخ دهند. مثلا اگر احتمال بروز اضافه ولتاژهای ناشی از رعد و برق برود، باید برق‌گیرهای مناسب در نزدیک‌ترین فاصله به خازن نصب شوند.

از طراحی خازن با ولتاژ نامی بالاتر از شبکه هم (چنانچه ضرورت نداشته باشد)، باید تا حد امکان پرهیز شود. چرا که در این صورت خازن نسبت به مقدار نامی خود، توان راکتیو کمتری تحویل خواهد داد.

۱-۲-۹- ۶-۳-۳)دمای نامی خازن

دمای کاری خازن، پارامتر دیگری است که تاثیر قابل توجهی بر طول عمر خازن دارد. در واقع منظور از دمای کاری خازن، دمای قطعات درون خازن و به خصوص دی‌الکتریک آن است. اما اندازه‌گیری و کنترل این دما به طور مستقیم ممکن نیست. بنابراین با رعایت شرایط زیر در طراحی، سعی می‌شود از بالا رفتن دمای خازن اجتناب شود.

خازن‌ها باید در محلی نصب شوند که جریان‌هوا وجود داشته باشد و گرمای تولیدی خازن به نحو موثری دفع شود. از نصب خازن در مجاورت تابش نور خورشید خودداری شود و در صورتی امکان برقراری این شرایط فراهم نبود از خازن‌های با دمای نامی بالاتر استفاده شود. در نهایت با در نظر گرفتن خازن‌هایی با ولتاژ نامی بالاتر، بخشی از تاثیرات مخرب دمای بالا جبران می‌شود (استفاده از خازن‌های با ولتاژ نامی بالاتر، بر اساس فرمول Error! **No text of specified style in document.**-۱۹، تلفات را در دی‌الکتریک کم کرده و بخشی از تاثیرات مخرب دمای بالا را جبران می‌کنند).

گرمای ایجاد شده توسط خازن‌هایی که در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا نصب می‌شوند، سخت‌تر دفع خواهد شد. این موضوع باید در طراحی در نظر گرفته شود. علاوه بر این، در مواردی که بیشینه دمای محیط بالاتر ۵۵ درجه سانتیگراد، یا متوسط دمای روزانه بالاتر از ۴۵ درجه سانتیگراد باشد، لازم است از سیستم‌های خنک‌کننده تهویه هوا استفاده شود و در غیر این صورت از خازن‌های با طراحی خاص استفاده شود[14].

۱-۲-۱۰- ۶-۳-۴)شرایط محیطی خاص

شرایط محیطی خاص شرایطی هستند که به طور طبیعی برقرار نیستند و به ندرت در نقاطی خاص به چشم می‌خورند. قبل از شروع به طراحی، باید وجود یا عدم وجود هریک از این شرایط را چک کرد.

بالا بودن رطوبت محیط

آلودگی بالا در محیط و وجود گازهای خورنده در فضا

ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا

در صورت برقراری هریک از این شرایط، نیاز به طراحی خاص و اتخاذ تمهیدات مناسب است. گفتنی است در استانداردهای متداول، انتخاب خازن مناسب برای شرایط محیطی خاص، به توافق خریدار و فروشنده واگذار شده است.

۱-۲-۱۱- ۶-۳-۵)فیلتر هارمونیکی

طراحی بانک خازنی به صورت فیلتر هارمونیکی در صورتی ضرورت خواهد داشت که افزودن خازن به شبکه موجب افزایش هارمونیک‌ها به مقدار غیرمجاز (بر اساس جدول Error! **No text of specified style in document.**-۳ و جدول Error! **No text of specified style in document.**-۴) در شبکه شود. یا اینکه میزان هارمونیک در شبکه به حدی باشد که محدودیت‌های ولتاژ و جریان خازن بر اساس جدول Error! ***No text of specified style in document.***-۵ و جدول Error! ***No text of specified style in document.***-۶ نقض شود. در این مورد ممکن است با استفاده از خازن‌های قوی تر و با مقادیر نامی بالاتر، مشکل را حل کرد. در نهایت این برنامه بهینه‌ساز (رجوع شود به بخش ۰ قسمت ضریب توان و اصلاح آن) است که تشخیص می‌دهد استفاده از خازن قوی‌تر به صرفه خواهد بود یا طراحی خازن و راکتور به صورت فیلتر هارمونیکی[14].

جدول **Error! No text of specified style in document.**-۵: سطح ولتاژهای قابل قبول در محل اتصال خازن

نوع	ضریب ولتاژ نامی	بیشینه تداوم زمان
فرکانس شبکه	۱	مداوم
فرکانس شبکه	۱/۱	۸ ساعت در هر ۲۴ ساعت
فرکانس شبکه	۱/۱۵	۳۰ دقیقه در هر ۲۴ ساعت
فرکانس شبکه	۱/۲	۵ دقیقه
فرکانس شبکه	۱/۳	۱ دقیقه
فرکانس شبکه به همراه هارمونیک‌ها	به نحوی که جریان از حد مجاز تعریف شده در جدول Error! ***No text of specified style in document.***-۶ بیشتر نشود	

جدول **Error! No text of specified style in document.**-۶: سطح جریان‌های قابل قبول در خازن

نوع	ضریب جریان نامی	بیشینه تداوم زمان
فرکانس شبکه[1]	۱/۳	مداوم
ناشی از تلرانس ظرفیت[2]	۱/۳ * تلرانس ظرفیت	مداوم
[1] حد مجاز تعریف شده، برای موج سینوسی با فرکانس شبکه معتبر است		
[2] تلرانس مجاز برای خازن زیر ۱۰۰ کیلووار ۵-٪ تا ۱۵+٪ و برای خازن بالای ۱۰۰ کیلووار، ۰ تا ۱۰٪ است		

در صورتی که ضرورت استفاده از فیلتر هارمونیکی تشخیص داده شود، مطابق قسمت (۱-۲-۴- برای طراحی فیلتر عمل می‌کنیم.

۱-۲-۱۲- ۶-۳-۶)کلیدها، کنتاکتورها و تجهیزات حفاظتی

تجهیزات کلیدزنی و حفاظتی باید به نحوی طراحی شوند که جریانی مداوم طبق جدول Error! ***No text of specified style in document.***-۶ را هدایت کنند. وجود هارمونیک‌ها با توجه به اثر پوستی، موجب ایجاد گرمای بیشتر در تجهیزات می‌شود. به این ترتیب اثر هارمونیک‌ها با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان مناسب، باید در طراحی این تجهیزات در نظر گرفته شود. علاوه بر این، تجهیزات کلیدزنی باید در برابر تنش‌های الکترودینامیکی و حرارتی ناشی از اضافه جریان‌های گذرا که طی کلیدزنی اتفاق می‌افتند نیز مقاوم باشند. معمولا برای حل این مشکل، اندوکتانس را در مسیر اتصال بالا می‌برند که این خود موجب افزایش تلفات می‌شود. بنابراین استفاده از مقاومت راه‌انداز، به نحوی که بعد از وصل کلید از مدار خارج شود، توصیه می‌شود.

کلید مورد استفاده باید توان تحمل جریان کوتاه‌مدت کافی داشته باشد به طوری که در اثر عبور جریان هجومی برقدار کردن خازن (که بیشتر از جریان نامی خازن است) عمل نکند. در مرحله طراحی باید تعداد دفعات قطع و وصل کلید تخمین زده شود که کلیدی انتخاب شود که توانایی تحمل این تعداد قطع و وصل را داشته باشد. علاوه بر این سرعت قطع کلید نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که کلید نتواند در مقابل اضافه جریان، به سرعت عمل کند ولتاژ بالایی روی خازن می‌افتد که دامنه آن به ۱/۴ برابر ولتاژ نامی می‌رسد. به این پدیده برگشت ضربه۱ گفته می‌شود و کلید باید فاقد پدیده برگشت ضربه۲ باشد.

۱-۲-۱۳- ۶-۳-۷) تداخلات رادیویی

امپدانس خازن در فرکانس‌های بالا بسیار پایین است. اگر خازن‌ها روی سیستمی نصب شوند که دارای کنترل راه دور باشد، ممکن است افزایش بار فرستنده رادیویی و عملکرد نامناسب این تجهیزات را به دنبال داشته باشد. این مسئله در طراحی محل نصب خازن باید لحاظ شود.

---

[۱] Restrike

[۲] Restrike-free

۱-۲-۱۴- ۶-۳-۸) خازن‌های موجود در بازار ایران

در حال حاضر شرکت‌های صباخازن، فراکو، پرتوخازن، پالایش‌نیرو و پارس‌کاپاسیتور در داخل کشور در زمینه ساخت و تولید خازن‌های اصلاح ضریب توان فعالیت دارند. تکنولوژی مورد استفاده در این خازن‌ها برای خازن‌های ولتاژ پایین از نوع تمام فیلم متالیزه (خودترمیم) است. اما با توجه به دانش و تجربه‌هر سازنده، جزئیاتی مانند شکل اتصالات، جنس مواد و پوشش بدنه آن‌ها متغیر است و در نتیجه موجب بروز تنوع در بازار و ارائه خازن‌هایی با مشخصه‌های کاری متفاوت و قیمت‌های مختلف شده است.

۱-۲-۱۵- ۷-۳) نتیجه‌گیری:

در این فصل طی یک مطالعه تحقیقاتی، با منافع مشترک برق از خازن‌گذاری در شبکه از یک سو و منافع بهره‌بردار شبکه‌قدرت از سوی دیگر، به طور جداگانه آشنا شدیم. سعی شد با تاکید بیشتر بر روی خازن گذاری در شبکه از سوی مشترک (که موضوع این پروژه می‌باشد)، روابط و مسائل مطرح در این زمینه، با جزئیات بیشتری ارائه شود. بنابراین مشخص شد که برای یافتن خازن مناسب جهت اصلاح ضریب توان، به نحوی که سود حاصل از جبران‌سازی بیش از هزینه‌های مربوط به خازن‌و تعمیر و نگهداری آن باشد، نیاز به حل یک مسئله بهینه‌سازی داریم.

شناخت خازن و ساختمان آن و علل بروز مشکل در بانک‌های خازنی موضوع دیگری بود که در این فصل به آن پرداخته شد. به این ترتیب برای انتخاب خازن در شرایطی که انفجار خازن برای سایر تجهیزات خطرآفرین باشد، از خازن‌های با عایق قوی‌تر و از نوع تمام فیلم استفاده خواهیم کرد و مقادیر نامی (ولتاژ، دما و ...) را با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان مناسب به نحوی انتخاب می‌کنیم که طول عمر بانک خازنی و قابلیت اطمینان آن بیشینه باشد.

هر نوع اعوجاج در شکل موج‌های سینوسی، این سیگنال‌ها را به سیگنال‌های غیرسینوسی تبدیل می کند. با استفاده از بسط سری فوریه، سیگنال‌های غیرسینوسی را می‌توان به صورت مجموعی از امواج سینوسی بیان نمود که به هارمونیک‌های شبکه قدرت موسومند و فرکانس آن‌ها در سیستم‌های قدرت، مضرب صحیحی از فرکانس پایه شبکه می‌باشد. بنابراین در این فصل به بررسی عوامل تولید شکل موج‌های غیرسینوسی پرداختیم و نوع هارمونیک تولیدی هریک را نیز بررسی کردیم. با شناخت دامنه مجاز هارمونیک‌ها در شبکه، در فصل بعد به بررسی نکات و محاسبات مربوط به هارمونیک‌ها می‌پردازیم.

برای خازن‌گذاری در شرایط هارمونیکی، روابط فصل (۱-۱- کماکان معتبرند با این تفاوت که مقادیر اندازه گیری شده در شرایط هارمونیکی باید با در نظر گرفتن شرایط هارمونیکی اصلاح شوند. بنابراین محاسبات مربوط به اصلاح مقادیر اندازه‌گیری شده باید در محاسبات گنجانده شوند. از سوی دیگر تاثیر متقابل خازن و هارمونیک در شبکه مورد نظر با توجه به مطالب این فصل، مورد مطالعه قرار می‌گیرد و چنانچه آثار سوء مربوطه بالا باشد (به نحوی که مقدار کمیت‌ها را از محدوده استاندارد خارج کند) از فیلترها استفاده می شود. به این ترتیب با معرفی انواع فیلترها و نحوه طراحی آن‌ها، محاسبات خاصی که مربوط به شرایط هارمونیکی است را وارد کردیم.

برای انتخاب خازن مناسب جهت اصلاح ضریب توان، اولین گام تشخیص ظرفیت خازنی مورد نیاز است که روش‌های محاسبه و نکات مربوط به آن را در فصل‌های قبل بررسی کردیم. گام دوم، انتخاب مقادیر نامی خازن است که باید از یکسو با استانداردها همخوانی داشته باشد و از سوی دیگر در بازار موجود و یا قابل ساخت باشد. بر این اساس نکاتی در طراحی ولتاژ نامی، دمای نامی، قطعات جانبی و شرایط نصب مطرح می‌شود که به در این فصل به آن‌ها اشاره شد.

WikiPower.ir

۴)خازن‌گذاری در پست‌های مخابرات

۴-۱)مقدمه

جهت خازن‌گذاری در پست‌های مخابرات، لازم است ابتدا شبکه برقی یک پست مخابرات به خوبی شناخته شود. بنابراین در این فصل ابتدا وضعیت شبکه‌برقی پست‌های مخابرات را تشریح می‌کنیم و سپس بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، بلوک دیاگرام سیستم برقی پست‌های مخابرات را ترسیم کرده، نحوه قرارگیری تجهیزات و ارتباطات بین آن‌ها را نشان می‌دهیم.

برخی تجهیزات موجود در پست‌های مخابرات شرایط کاری ویژه‌ای دارند. به عنوان مثال دیزل ژنراتورها در زمان بروز مشکل در برق شهر (قطع برق، تکفاز شدن، دو فاز شدن، عوض شدن توالی، افت ولتاژ در فازها) وارد مدار می‌شوند. بسته به نوع کاکرد تجهیزات و ورود و خروج آن‌ها به مدار، مسیر تغذیه بار تغییر می کند. به همین جهت، در قسمت دیگری به بررسی مسیرهای تغذیه بار می‌پردازیم و مزایا و معایب خازن گذاری در هر مسیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. بر اساس این بررسی‌ها، محل مناسب برای خازن‌گذاری در شبکه معرفی می‌شود.

اطلاعات مورد نیاز جهت تعیین خازن بهینه و نحوه جمع‌آوری این اطلاعات نیز در این فصل مورد بحث قرار می‌گیرد و ضرورت‌ها و توجیهات مربوطه عنوان می‌شود. به این ترتیب این فصل با بیان روند حرکتی پروژه در آینده، جهت تامین داده‌های مورد نیاز، پایان می‌یابد.

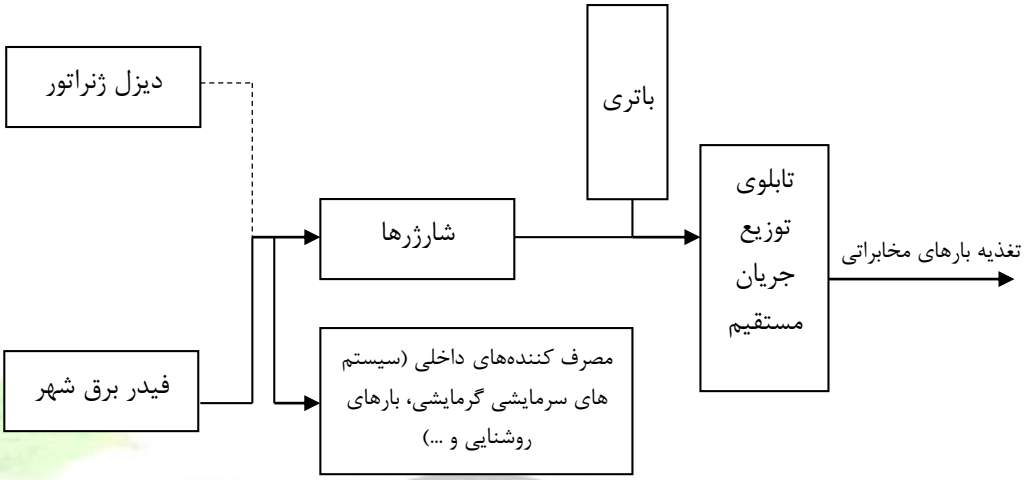
WikiPower.ir

۱-۲-۱۶- ۴-۲)شبکه برقی پست‌های مخابرات

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، پست‌های مخابرات به وسیله برق فشار ضعیف (۳۸۰ ولت) تغذیه می شوند. فیدر ورودی برق شهر و خروجی دیزل ژنراتور روی باس تغذیه می‌روند و در هر زمان توسط کنترل پنل، یکی از این دو منبع، برای تغذیه سیستم انتخاب می‌شوند. بنابراین دو حالت کارکرد در اینجا تعریف می‌شود: کارکرد عادی که در آن تغذیه از برق شهر صورت می‌گیرد و کارکرد اضطراری که در آن تغذیه از دیزل تامین می‌شود. در ادامه مسیر، برق جریان متناوب، شارژرها (یکسوکننده‌های AC/DC) را تغذیه می کند. شارژرها شامل یک یا چند مبدل ۶ پالس هستند که به طور موازی در شبکه قرار گرفته‌اند و خروجی آن‌ها تابلوی توزیع جریان مستقیم[۱] را تغذیه می‌کند. در اینجا باز هم یک مسیر جایگزین در نظر گرفته شده‌است، بدین صورت که تابلوی جریان مستقیم می‌تواند از طرف باتری‌ها تغذیه شود. باتری‌ها همزمان با

[۱] DC Distribution Board

شارژرها به شین‌های تابلوی جریان مستقیم اتصال دارند اما بدیهی است که در زمانی که شارژرها در مدار باشند، توان مورد نیاز از طریق منبع قوی‌تر (شارژرها) تامین می‌شود. بنابراین باز هم دو حالت کارکرد تعریف می‌شود: زمانی که تابلوی جریان مستقیم، توان مورد نیاز خود را از شارژرها تامین می‌کند و زمانی که توان مورد نیاز از باتری‌ها دریافت می‌شود. شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۶ بلوک دیاگرام سیستم برقی شبکه مخابرات را نشان می‌دهد.



شکل Error! No text of specified style in document.**-۱۶ نمایش بلوک دیاگرام سیستم برقی پست های مخابرات**

WikiPower.ir

۱-۲-۱۷- ۴-۳)مسیرهای تغذیه بار

ورود و خروج تجهیزات در شبکه برقی پست‌های مخابرات، مسیرهای مختلفی را برای تغذیه بار ایجاد می کند. در این قسمت به بررسی مسیرهای مختلف تامین بار پست‌های مخابرات و ضرورت‌های خازن‌گذاری در هر مسیر می‌پردازیم. بر اساس مطالب عنوان شده در قسمت (۱-۲-۱۶-، همانطور که از شکل Error! **No text of specified style in document.**-۱۶ هم دیده می‌شود، سه مسیر برای تامین بارهای مخابراتی وجود دارد:

مسیر دیزل ژنراتور - شارژر - بار: در این حالت تغذیه بار توسط دیزل ژنراتور صورت می‌گیرد. این دیزل‌ها در مالکیت مخابرات هستند، بنابراین شرکت مخابرات هزینه‌ای بابت مصرف برق و یا تامین توان راکتیو به شرکت توزیع برق پرداخت نمی‌کند. بنابراین خازن‌گذاری در این مسیر، سودی را عاید کارفرما نمی‌کند. باید توجه داشت که خازن‌گذاری در شبکه‌های برقی بر اساس انگیزه‌های مطرح شده در فصل (۰ صورت می‌گیرد. پس از آن‌جا که در این حالت کارکرد، هیچ‌کدام از انگیزه‌های خازن گذاری مصداق ندارند، نیازی به خازن‌گذاری احساس نمی‌شود. گفتنی‌است در صورت انجام خازن‌گذاری نیز، با توجه به اثرات مخربی که خازن می‌تواند در صورت قطع ناگهانی بار، روی ژنراتور داشته باشد، لازم است همزمان با ورود دیزل به مدار، خازن از مدار قطع شود. در واقع با قطع ناگهانی بار، در صورتی که خازن در مدار باشد، ژنراتور تبدیل به مصرف‌کننده توان راکتیو

می‌شود و اصطلاحا در حالت زیرتحریک[1] کار می‌کند. کار کردن در ناحیه زیرتحریک موجب گرم شدن ناحیه انتهایی آرمیچر می‌شود و در صورتی که جریان زیرتحریک از حد مجاز فراتر رود سیم‌پیچی‌های ژنراتور آسیب جدی خواهند دید[8].

مسیر باتری - بار: پر واضح است که این مسیر نیز نیازی به خازن‌گذاری ندارد. در اینجا توان در کل سیستم به صورت جریان مستقیم انتقال می‌یابد و اساسا خازن‌گذاری معنی پیدا نمی‌کند.

مسیر برق شهر - شارژر - بار: در این حالت به دلیل پایین بودن ضریب توان در باس تغذیه، شرکت توزیع نیروی برق هزینه بالایی را از شرکت مخابرات دریافت می‌کند. بنابراین جهت اجتناب از این هزینه، می‌بایست در شبکه مخابرات خازن‌گذاری انجام شود. بنابراین کنترل بانک‌های خازنی نصب شده باید به گونه‌ای باشد که خازن‌ها فقط در این مسیر وارد مدار شوند. به این ترتیب با اصلاح ضریب توان، صرفه‌جویی در هزینه‌های مخابرات حاصل خواهد شد.

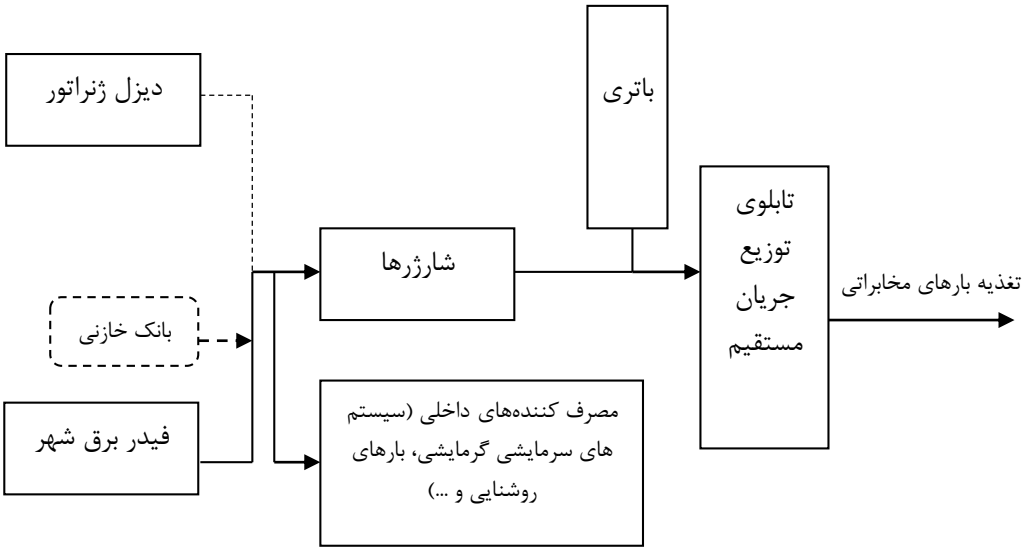
۱-۲-۱۸- ۴-۴) محل پیشنهادی برای نصب بانک خازنی

بر اساس توضیحات ارائه شده در قسمت قبل، بانک خازنی باید به گونه‌ای طراحی شود که در زمان تغذیه مدار از برق شهر، خازن وارد مدار شده و با قطع برق شهر، خازن از مدار خارج شود. بنابراین محل مناسب برای خازن‌گذاری شین‌های ورودی برق شهر خواهند بود. این طراحی موجب می‌شود همان کلیدی که فیدر برق شهر را قطع می‌کند (تا تغذیه از مسیر دیزل انجام شود)، قطع بانک خازنی از مدار را نیز همزمان انجام دهد. در نتیجه نیاز به استفاده و تنظیم رگولاتور به منظور قطع بانک خازنی در زمان قطع برق شهر برطرف خواهد شد.

محل پیشنهادی جهت نصب بانک خازنی در
شکل **Error! No text of specified style in document.**-۱۷ نشان داده شده است.

WikiPower.ir

[1] Under excitation



شکل Error! No text of specified style in document.-۱۷ محل پیشنهادی برای نصب بانک خازنی در شبکه برق پست‌های مخابرات

۱-۲-۱۹- ۴-۵)شرایط محیطی محل نصب بانک خازنی در پست‌های مخابرات

بر اساس مطالب قسمت (۱-۲-۱۸-، بانک خازنی پست‌های مخابرات روی فیدر ورودی برق شهر در تابلو برق AC نصب خواهد شد. بنابراین بانک خازنی از تابش نور خورشید و گرمای ناشی از آن، به دور خواهد بود. اما باید توجه داشت که به دلیل فقدان سیستم‌های تهویه هوا در اتاق دیزل، نوسان دمای محیط با تغییرات فصلی در تابستان و زمستان، به طور طبیعی اتفاق خواهد افتاد.

وضعیت آلودگی هوا، ارتفاع از سطح دریا و میزان رطوبت محیط باید متناسب با شرایط هر محل و با استعلام از مراکز معتبر تعیین شود و در طراحی در نظر گرفته شود.

همان‌طور که در قسمت (۱-۲-۱۳- گفته شده است، نصب خازن در مجاورت سیستم‌های کنترل از راه دور، ممکن است افزایش بار فرستنده رادیویی و عملکرد نامناسب این تجهیزات را به دنبال داشته باشد. از آن جا که در پست‌های مخابرات معمولا تابلو برق AC دور از تجهیزات رادیویی قرار دارد، نگرانی در این مورد احساس نمی‌شود.

۱-۲-۲۰- ۴-۶)داده‌های مورد نیاز جهت تعیین خازن بهینه

برای انجام خازن‌گذاری بهینه، بر اساس مطالب فصل‌های قبل، نیاز به جمع‌آوری دو دسته اطلاعات به عنوان داده‌های اولیه وجود دارد:

الگوی مصرف: لازم است مقدار دقیق توان اکتیو ثابت مصرفی، مقدار دیماند قراردادی، تخمینی از تغییرات توان اکتیو بارها (ورود و خروج سیستم‌های سرمایشی - گرمایشی و...) در زمان‌های مختلف و مقدار توان راکتیو مصرفی مشخص شود. این اطلاعات میزان هزینه‌های مخابرات و سود ناشی از خازن‌گذاری را مشخص خواهند کرد. بنابراین دقت در این اطلاعات برای تصمیم گیری صحیح جهت انتخاب خازن مناسب، ضروری است. بررسی قبض‌های برق و نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌توانند به عنوان منابع موثق تامین این بخش از اطلاعات، مورد استناد قرار گیرند.

وضعیت هارمونیک‌ها: لازم است نوع و دامنه هارمونیک‌های تولیدی توسط شارژرها (و سایر منابع هارمونیکی احتمالی) تعیین شود و از سوی دیگر از مناسب بودن کیفیت برق شهر ورودی اطمینان حاصل شود. ولتاژ دریافتی از برق شهر باید دارای شکل موج سینوسی و دامنه ۳۸۰ ولت (فاز به فاز) و اختلاف فاز ۱۲۰ درجه باشد. وجود هر نوع اختلال یا تغییر در این شکل موج‌ها باید مورد بررسی قرار بگیرد و راه حل مناسبی برای آن یافته شود. بنابراین اطلاعات مورد نیاز، با نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری کیفیت توان و اندازه‌گیری یک هفته‌ای به دست خواهد آمد. این اندازه‌گیری بهتر است در پست مایکروویو اراک انجام شود. چرا که این پست در داخل شهر قرار داشته و معمولا بدترین حالات کیفیت توان، در شبکه‌های برق شهری اتفاق می‌افتد. بعد از سپری شدن یک هفته (که بررسی آماری روی کیفیت برق تغذیه شده را میسر می‌کند)، نیاز به انجام یک مانور برای شناخت رفتار شارژرها خواهد بود. بر اساس مطالب فصل (۱-۱-۵-، زمانی که باتری‌ها کاملا تخلیه شده‌اند و شارژرها با حداکثر توان در مدار هستند، بدترین حالت تولید هارمونیک توسط شارژرها اتفاق می‌افتد. بنابراین یک اندازه‌گیری ۲۴ ساعته، اطلاعات مورد نیاز در این زمینه را نیز تامین خواهد کرد.

با به دست آمدن اطلاعات فوق و بررسی آن‌ها در فاز سوم، مشکلات موجود مطرح می‌شوند و نرم‌افزار تعیین خازن بهینه به گونه‌ای طراحی می‌شود که با در نظر گرفتن این مشکلات، راه حل بهینه‌ای که حداکثر سود را در پی داشته باشد، معرفی کند.

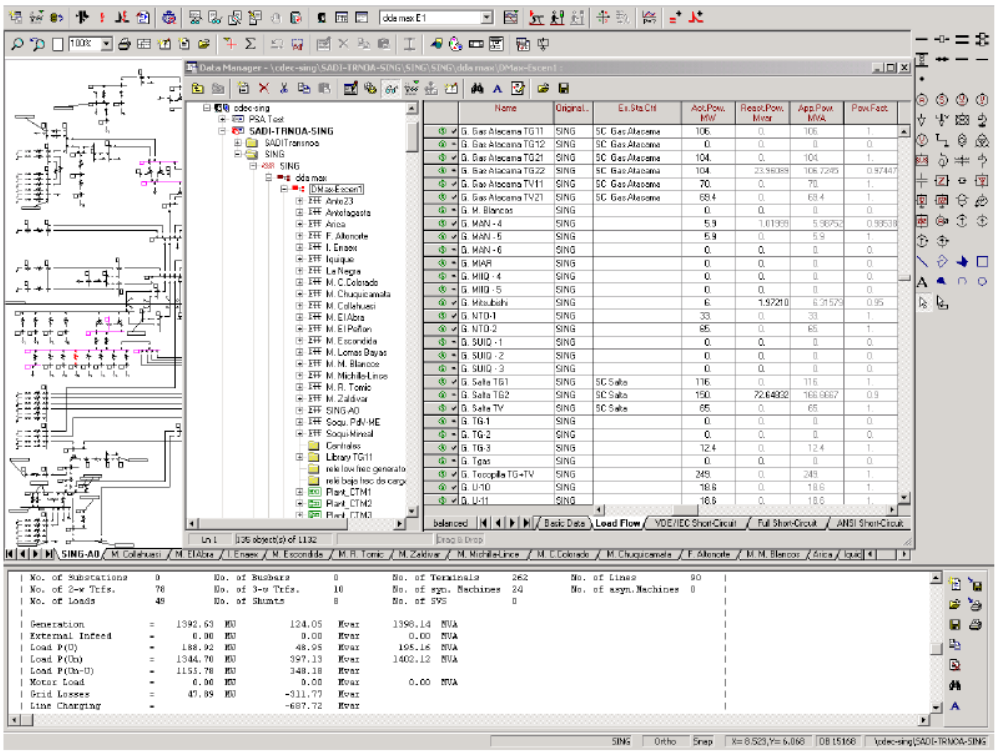
www.wikipower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

WikiPower.ir

۵)نرم افزار DIgSILENT و ویژگی‌ها

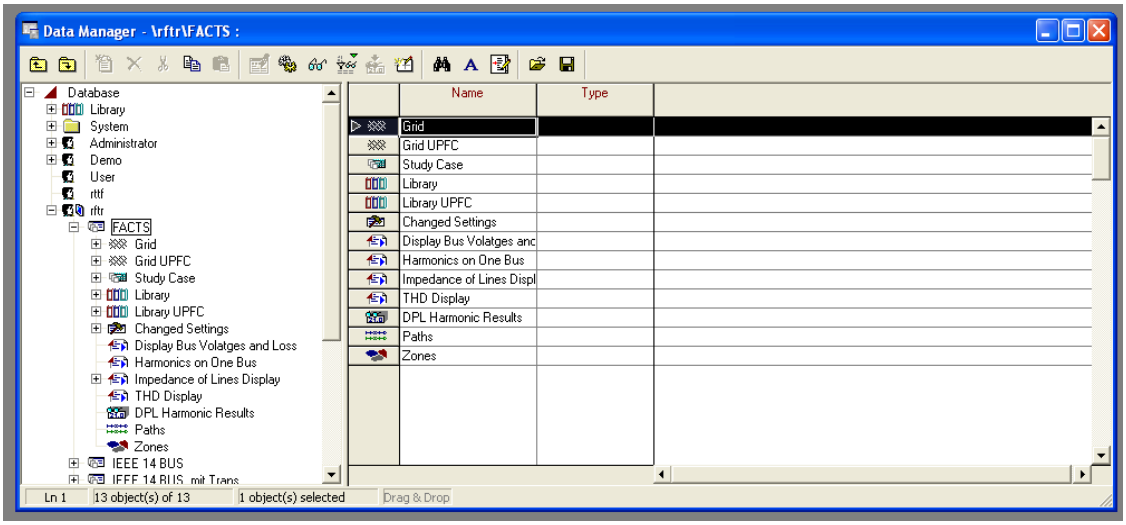
همان‌طور که اشاره شد، بسته‌های نرم‌افزارهای زیادی در زمینه تحلیل سیستم‌های قدرت وجود دارند. با این وجود نرم‌افزار DIgSILENT در گستره زمینه‌های قابل مطالعه، صحت پاسخ‌ها و توان محاسباتی با سایر نرم‌افزارها متفاوت است. این نرم‌افزار بسیاری از مدل‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در سیستم‌های قدرت مدرن را ارائه می‌کند. سازگاری با کلیه نسخه‌های ویندوز ۹۵، ۹۸، NT، ۲۰۰۰ و XP از دیگر ویژگی‌های آن است. شکل ۱۸- Error! **No text of specified style in document.** محیط عمومی نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- Error! No text of specified style in document. محیط نرم‌افزار DIgSILENT

۱-۲-۲۰-۱- ۵-۱)مدیریت اطلاعات

کلیه اطلاعات مربوط به کنترل پروژه‌ها، شبیه‌سازی‌ها، ابزارهای گرافیکی و ... از طریق پنجره مدیریت اطلاعات که در شکل ۱۹- Error! **No text of specified style in document.** نشان داده شده است، صورت می‌گیرد.



شکل.۱۹- پنجره مدیریت اطلاعات Error! No text of specified style in document.

برای هر مطالعه در پروژه، یک سطح سیستم[۱] یا مورد مطالعه[۲] تعریف می‌شود. به ازاء هر تغییر در آرایش شبکه یک سطح سیستم جدید تعریف می‌شود. در یک پروژه، چندین مورد مطالعه می‌توان تعریف کرد به طوری که هریک معرف یک مطالعه جدید در سیستم باشد. در هر مورد مطالعه می‌توان اتفاقات شبیه سازی[۳]، گزینه‌های نمایش و ویژگی‌های گرافیکی شبکه را به صورت سفارشی مورد استفاده قرار داد **Error! Reference source not found.**].

به منظور پرهیز از تکرار اطلاعات، مشخصات هر قطعه به دو قسمت «اطلاعات نوع[۴]» و «اطلاعات قطعه[۵]» تقسیم شده است. به عنوان مثال اطلاعات نوع یک کابل، اطلاعاتی را شامل می‌شود که یک کابل فارغ از شرایط نصب و شرایط شبکه دارد. اما اطلاعات قطعه کابل، شرایط آن کابل را در شبکه مورد مطالعه توصیف می‌کند. بر این اساس جنس کابل جزء اطلاعات نوع به شمار می‌رود و طول کابل در گروه اطلاعات قطعه قرار می‌گیرد. به این ترتیب نوع اطلاعات می‌تواند در قطعات مشابه دیگر بارها و بارها مورد استفاده قرار

---

[۱] System Stage

[۲] Study Case

[۳] Simulation Events

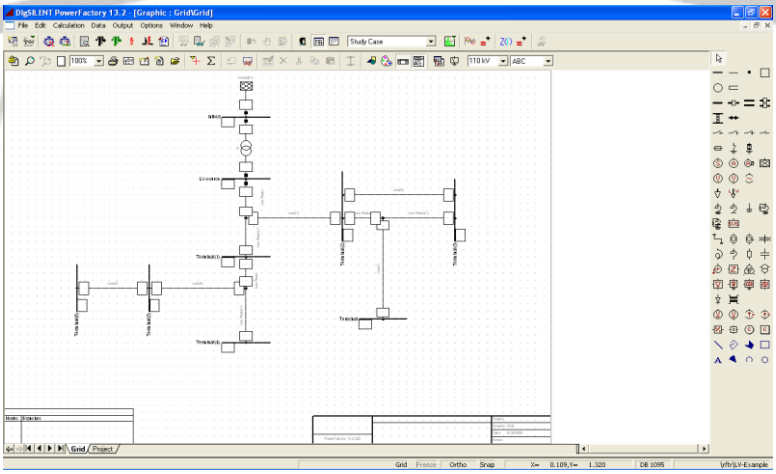
[۴] Type Data

[۵] Element Data

گیرد. برای بسیاری از قطعات شبکه مانند کابل‌ها، موتورها، رله‌ها و ... بانک‌های اطلاعاتی قرار داده شده است که می‌توان اطلاعات نوع را از میان آن انتخاب کرد و مورد استفاده قرار داد. علاوه بر این در هر پروژه نیز یک بانک اطلاعاتی مخصوص به آن پروژه تعریف می‌شود که اطلاعات مربوط به نوع قطعات مورد استفاده را در خود نگهداری می‌کند. این بانک اطلاعاتی با نام «کتابخانه[۱]» در پروژه دیده می‌شود.

۱-۲-۲۰-۲- ۵-۱-۱)ویرایشگر گرافیکی

محیط ویرایش گرافیکی DIgSILENT که در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۲۰ دیده می‌شود، امکان ایجاد و مدیریت شبکه‌های الکتریکی و رسم دیاگرام‌تک خطی شبکه‌ها را فراهم می‌کند. در این زمینه DIgSILENT از یک تکنیک چند سطحی منحصر به فرد بهره می‌برد. به کمک این ابزار می‌توان شبکه‌های الکتریکی را در چندین سطح مختلف در پنجره‌های مجزا به طور همزمان مشاهده و شبیه‌سازی کرد. به این ترتیب می‌توان شبکه‌های بزرگ را در دو یا چند پنجره که هریک بیانگر سطح ولتاژ مشخصی باشند، قرار داد و شماره گذاری را در شبکه فشار متوسط و فشار ضعیف بر اساس روش‌های متداول در نقشه‌کشی، به طور مستقل از هم انجام داد.



شکل Error! No text of specified style in document.**-۲۰ ویرایشگر گرافیکی**

[۱] Library

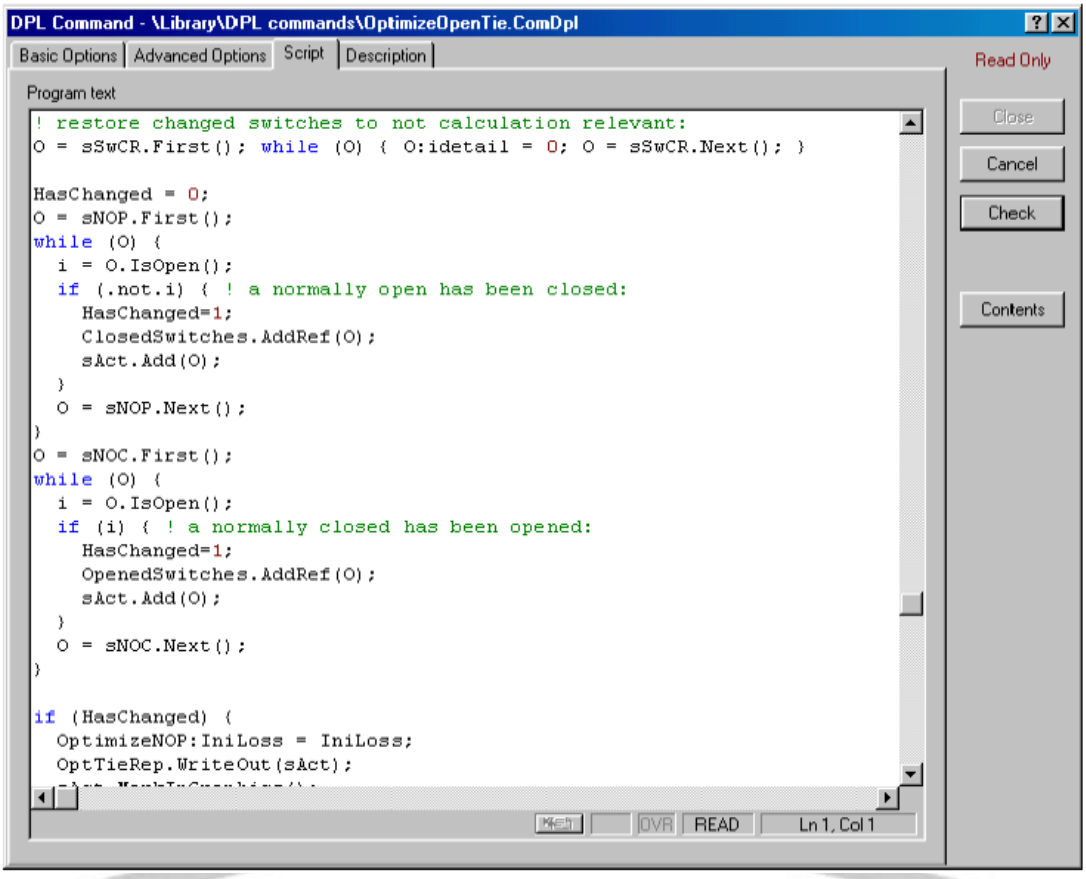
۱-۲-۲۰-۳- ۵-۱-۲)نمایش خروجی‌ها

با انجام شبیه‌سازی خروجی‌ها را می‌توان بلافاصله روی جعبه‌های متنی که در ویرایشگر گرافیکی، کنار هر قطعه قرار دارند مشاهده کرد. علاوه بر این پنجره خروجی‌ها نیز قادر به نمایش خروجی‌های شبیه‌سازی است. برای این منظور می‌توان از کدهای برنامه نویسی یا دستورات درون منوی «خروجی» DIgSILENT استفاده کرد. گزارش خلاصه نتایج شبیه‌سازی پخش بار و اتصال کوتاه، نتایج تحلیل هارمونیکی، مشخصات و تنظیمات رله‌ها از طریق پنجره خروجی قابل چاپ و مشاهده است.

۱-۲-۲۰-۴- ۵-۱-۳)قابلیت برنامه نویسی

زبان برنامه‌نویسی DIgSILENT یا DPL، یک رابط انعطاف‌پذیر جهت انجام خواسته‌های کاربر در محیط این نرم‌افزار فراهم می‌کند. DPL یک زبان برنامه‌نویسی شیءگرا محسوب می‌شود که آموزش و کار کردن با آن آسان است. دستورات اولیه‌ای که در DPL مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: دستورات دنباله‌ای مانند if-then-else یا do-while، دستورات روتین‌های ورودی و خروجی، عبارات ریاضی و دستورات اجرایی DIgSILENT. شکل ۲۱- Error! **No text of specified style in document.** محیط برنامه نویسی DIgSILENT را نشان می‌دهد.

WikiPower.ir



شکل ۲۱-Error! No text of specified style in document. محیط DPL

WikiPower.ir

۱-۲-۲۰-۵- ۵-۱-۴)سازگاری با سایر نرم‌افزارها

در بعضی شرایط، سازگاری با سایر نرم‌افزارها به منظور جابه‌جا کردن اطلاعات شبکه یا نتایج ضروی می شود. DIgSILENT قابلیت تبدیل گستره وسیعی از فایل‌ها و فرمت‌ها را دارد. بر این اساس امکان تبادل اطلاعات با فرمت‌های نرم‌افزاری زیر در درون DIgSILENT پیش‌بینی شده است: UCTE ،NETCAL ، PSS/E، PSS/U، GIS، NEPLAN و DVG .

۱-۲-۲۰-۶- ۵-۱-۵) گستره مطالعات قابل انجام با DI gSI LENT

به کمک DIgSILENT می‌توان مطالعات بسیاری را روی شبکه‌های برق انجام داد. مهم‌ترین زمینه‌های مطالعه که توسط این نرم‌افزار قابل انجام هستند عبارتند از:

محاسبات پخش بار، محاسبات پخش بار اقتصادی، محاسبات اتصال کوتاه، مطالعات حفاظت، تحلیل هارمونیکی، شبیه‌سازی حالات گذرا و دینامیک‌های سیستم، محاسبات گذراهای راه‌اندازی موتورها،

محاسبات شبکه‌های فشار ضعیف، بهینه‌سازی شبکه توزیع، سایز کردن کابل‌ها، تحلیل‌های قابلیت اطمینان و طراحی تولید[Error! Reference source not found.].

۱-۲-۲۰-۷- ۵-۱-۶)قابلیت‌های خاص DI gSI LENT در زمینه تحلیل هارمونیکی

در زمینه تحلیل هارمونیکی که مهم‌ترین مسئله مورد توجه ما محسوب می‌شود، DIgSILENT قابلیت‌های ویژه‌ای را ارائه می‌کند. به منظور تحلیل تاثیر هارمونیک‌ها بر سیستم‌های قدرت، دو نوع محاسبه تحلیل هارمونیکی قابل انجام است.

اولین محاسبه‌ای که به کمک DIgSILENT قابل انجام است، محاسبه پخش بار هارمونیکی است. حاصل این محاسبه، تعیین نحوه پخش ولتاژها و جریان‌های هارمونیکی با توجه به منابع هارمونیک موجود در شبکه و ساختار شبکه است. این نرم‌افزار امکان مدل کردن هر نوع منبع هارمونیکی ولتاژ یا جریانی را فراهم می‌کند.

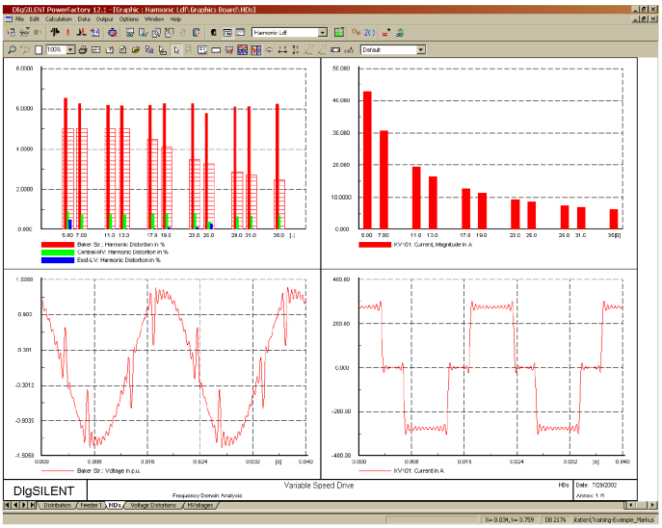
جریان‌ها و ولتاژهای هارمونیکی سه فاز، امکان انجام محاسبات پخش بار هارمونیکی نامتعادل را فراهم می کنند. منابع جریان هارمونیکی در هریک از بارهای شبکه یا یکسوکننده‌ها و اینورترها می‌تواند تعبیه شود. در صورتی که برای یکسوکننده‌ها طیف هارمونیک‌های تولیدی تعریف نشود، طیف هارمونیکی یکسوکننده شش پالس ایده‌آل برای آن در نظر گرفته خواهد شد. DIgSILENT کلیه مولفه‌های هارمونیکی متقارن و نامتقارن ولتاژ و جریان از قبیل اعوجاجات هارمونیکی، تلفات هارمونیکی، توان اکتیو یا راکتیو در هر فرکانس، توان اکتیو یا راکتیو نهایی و ضریب توان، مقادیر موثر ولتاژ و جریان‌ها و ضرایب عدم تعادل را محاسبه می‌کند[Error! Reference source not found.].

نتایج می‌توانند در دیاگرام تک‌خطی یا به صورت هیستوگرام (حوزه فرکانس)، شکل موج (حوزه زمان) و منحنی THD به ازاء هر باس، ارائه شوند.DIgSILENT به منظور انجام شبیه‌سازی‌های هرچه دقیق‌تر و در نظر گرفتن اثر پوستی، در انجام محاسبات، مدل وابسته به فرکانس قطعات سیستم را در نظر می گیرد[Error! Reference source not found.].

نوع دیگری از محاسبات که توسط DIgSILENT قابل انجام است، اسکن فرکانسی[۱] است. اسکن فرکانسی یک تحلیل پیوسته در حوزه فرکانس است که برای محاسبه امپدانس خودی و امپدانس متقابل شبکه به منظور تعیین نقاط تشدید در شبکه انجام می‌شود. DIgSILENTاز یک الگوریتم با گام‌های متغیر استفاده

[۱] Frequency Scan

می‌کند که نقاط اطراف فرکانس تشدید را با رزولوشن بالاتری مورد جستجو قرار می‌دهد و در عوض در سایر نقاط از گام‌های بزرگ‌تر استفاده می‌کند. این الگوریتم موجب بالا رفتن چشمگیر سرعت محاسبه اسکن فرکانسی شده است[**Error! Reference source not found.**]. در اسکن فرکانسی، امپدانس خودی و متقابل شبکه محاسبه می‌شود. نمودار امپدانسی می‌تواند در قالب نمودار بد۱، نایکوئیست یا دامنه/فاز دیده شود. شکل **Error! No text of specified style in document.**-۲۲ نمونه خروجی‌های پخش بار هارمونیکی را نشان می‌دهد.



شکل Error! No text of specified style in document.-۲۲ نمونه خروجی‌های پخش بار هارمونی

WikiPower.ir

۱-۲-۲۱- ۵-۲) اطلاعات مورد نیاز

بر اساس مطالبی که تاکنون گفته شد، برای مدل کردن دقیق شبکه مخابرات در محیط DIgSILENT نیاز به جمع‌آوری و وارد کردن بخش مشخصی از اطلاعات شبکه داریم. در قسمت‌های قبل دریافتیم که چه بخشی از اطلاعات هر قطعه مورد نیاز خواهد بود. بنابراین در این قسمت با توجه به مطالب گفته شده و اطلاعات مورد نیاز برای هر قطعه، جدولی از اطلاعات مورد نیاز را تهیه کرده‌ایم. به این ترتیب برای هر

[۱] Bode

پست مشابه می‌توان با تکمیل این جداول، اطلاعات خام اولیه را جمع‌آوری کرده و برای شبیه‌سازی آماده کنیم.

جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۷: اطلاعات مورد نیاز از پست‌های مخابرات: مشخصات کلی*

مشخصات کلی
ظرفیت مرکز: (دیماند قراردادی، دیماند قرائت شده، انرژی اکتیو و راکتیو مصرفی طی یک دوره با توجه به قبض برق)
مشخصات ترانس ورودی: (ظرفیت، uk ٪، نام سازنده، شماره مدل)
وضعیت ترانس ورودی: (اختصاصی یا مشترک)
دیاگرام تک خطی:
نکات دیگر: (توان مصرفی هریک از بارها، تخمینی از میزان بارهای متغیر مانند تعداد کولرها و ...)

جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۸: اطلاعات مورد نیاز از پست‌های مخابرات:ترانس‌های داخلی*

مشخصات ترانس‌های داخلی شبکه
نوع و سازنده: (همراه با شماره مدل)
ظرفیت، نسبت تبدیل و نوع اتصال:
وضعیت زمین شدن:
نکات دیگر: (مقدار اضافه ولتاژ در هر پله، تلفات اهمی یا نسبت X به R)

جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۹: اطلاعات مورد نیاز از پست‌های مخابرات: سیم‌ها و کابل‌ها*

مشخصات سیم‌ها و کابل‌ها
شماره کابل روی نقشه تک خطی: (مشخص شود که جدول برای کدام سیم یا کابل پر می‌شود)
نوع و سازنده:

ریتینگ: (جریان نامی در حالت مدفون در زمین، در حالت روی سطح زمین و ولتاژ نامی)
امپدانس(X و R): (برای مولفه مثبت، منفی و صفر)
طول سیم یا کابل:
نکات دیگر: (شرایط نصب شرح داده شود)

جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۱۰: اطلاعات مورد نیاز از پست‌های مخابرات: دیزل ژنراتور*

مشخصات دیزل ژنراتور
نوع و سازنده:
ظرفیت، ولتاژ نامی و نوع اتصال:
ضریب قدرت:
نکات دیگر: (محدودیت‌های توان اکتیو و راکتیو، وجود یا عدم وجود کنترلر ولتاژ، set point کنترلر)

جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۱۱: اطلاعات مورد نیاز از پست‌های مخابرات: شارژر*

مشخصات شارژر
شماره شارژر روی نقشه تک خطی: (مشخص شود که جدول برای کدام شارژر پر می‌شود)
نوع و سازنده: (تک فاز یا سه فاز، شماره مدل)
ظرفیت و ریتینگ: (مقادیر نامی در هر دو سمت ac و dc)
set point: (مقدار ست شده در ورودی یا خروجی)
نوع کلید: (نام سازنده، مقادیر نامی و قدرت قطع)
مولفه‌های هارمونیکی و دامنه آن‌ها:

۳-۱-

۵-۳)زمینه‌های مطالعه روی پست‌های برق

۱-۳-۱- ۵-۳-۱)مقدمه

در این فصل به زمینه‌های مورد مطالعه در سیستم‌های قدرت می‌پردازیم. مطالعات سیستم‌های قدرت، به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند. یک دسته مطالعات حالت گذرا است که به تغییرات پارامترهای سیستم در شرایط گذرا می‌پردازد و رفتار تجهیزات را طی یک تغییر گذرا مورد بررسی قرار می‌دهد. راه اندازی موتورها، وقوع خطا و ... از جمله عواملی هستند که موجب بروز حالت گذرا در سیستم می‌شوند. دسته دوم مطالعات حالت ماندگار است که به بررسی سیستم در شرایط ماندگار و زمانی که گذراهای سیستم سپری شده باشند، می‌پردازد.

از آن‌جا که در این پروژه قصد خازن‌گذاری در شبکه قدرت را داریم، از مطرح کردن مطالعات حالت گذرا صرفنظر می‌کنیم. اما موضوعات پخش بار و اتصال کوتاه که از شاخه‌های مهم در بررسی شبکه‌های قدرت در حالت ماندگار هستند را مورد اشاره قرار می‌دهیم. مطالعات پخش بار در یک سیستم قدرت، دید خوبی به طراح و بهره‌بردار شبکه می‌دهد تا از نحوه جابجایی توان در شبکه و ولتاژ باس‌ها اطلاع یابد و در صورت وجود مشکل، قبل از هر اقدامی نسبت به رفع آن اهتمام ورزد. مطالعات اتصال کوتاه در طراحی تنظیم تجهیزات کنترلی و حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کمک می‌کند تا بدترین حوادث ممکن در شبکه شناخته شود و راه‌حل‌های مناسب برای آن‌ها پیش‌بینی گردد. علاوه بر این‌ها در این فصل در زمینه تحلیل هارمونیکی نیز توضیحات کافی ارائه خواهد شد. تحلیل هارمونیکی به ما کمک می‌کند وضعیت هارمونیکی شبکه را قبل و بعد از خازن‌گذاری بشناسیم و جهت رفع مشکلات هارمونیکی احتمالی، تدابیر لازم را بیاندیشیم.

۲-۳-۱- ۵-۳-۲)پخش بار

مطالعات پخش بار در طراحی و برنامه‌ریزی برای گسترش آتی سیستم قدرت و همچنین تعیین عملکرد بهینه سیستم قدرت موجود اهمیت فراوانی دارد. بهترین اطلاعاتی که بررسی پخش بار به دست می‌دهد اندازه و زاویه ولتاژ هر شین و توان‌های اکتیو و راکتیو عبوری از هر خط است **Error! Reference source not found.**]

در هر شین از شبکه دو کمیت از کمیات $|V_i|$ (دامنه ولتاژ)، δ_i (زاویه ولتاژ)، P_i (توان اکتیو) و Q_i (توان راکتیو)، را مشخص و دو تای دیگر را محاسبه می‌کنیم. کمیات معلوم بر اساس مباحث زیر تعیین می‌شوند:

شین‌های بار: در هر شین غیر مولد که شین بار نامیده می‌شود، توان اکتیو و راکتیو تولیدی (P_{gi} و Q_{gi}) صفرند و توان اکتیو و راکتیو کشیده شده از شبکه (P_{di} و Q_{di}) با توجه به سابقه مدون پیش‌بینی بار یا اندازه‌گیری معلوم است. در عمل اغلب توان اکتیو معلوم است و توان راکتیو بر اساس ضریب توان فرضی ۰/۸۵ یا بالاتر محاسبه می‌شود. شین بار را اغلب شین P-Q می‌نامند. زیرا در آن توان اکتیو و راکتیو مشخص است. بنابراین دو کمیتی که باید در شین تعیین کرد δ_i و $|V_i|$ است.

شین‌های کنترل شده با ولتاژ: هر شین از سیستم که در آن اندازه ولتاژ ثابت نگه داشته می‌شود، شین کنترل شده با ولتاژ نام دارد. در شین‌هایی که ژنراتور به آن‌ها متصل است مگاوات تولیدی را می‌توان با تنظیم چرخاننده اصلی تنظیم کرد و با تنظیم تحریک ژنراتور، اندازه ولتاژ را کنترل کرد. بنابراین در شین های ژنراتور می‌توان P_i و $|V_i|$ را مشخص کرد. پس باید δ_i و Q_i را مشخص کرد. شین‌های کنترل شده با ولتاژ را معمولا شین‌های PV می‌نامند.

شین مرجع یا اسلک[۱]: زاویه ولتاژ شین مرجع، زاویه مرجع برای محاسبه سایر زوایا در شین‌های شبکه است. در شین مرجع $|V_i|$ و δ_i مشخص است که معمولا یک پریونیت با زاویه صفر در نظر گرفته می‌شود (برای اطلاعات بیشتر در زمینه سیستم پریونیت به مرجع [**Error! Reference source not found.**] مراجعه شود). با دانستن دامنه و زاویه ولتاژ در شین مرجع، پارامترهای مجهول در سایر شین‌های شبکه نیز محاسبه می‌شود و در نهایت توان اکتیو و راکتیو شین مرجع به گونه‌ای محاسبه می‌شود که کل توان تولیدی در شبکه با مجموع توان‌های بارها و توان‌های تلف شده در شبکه برابر باشد.

برای حل معادلات پخش بار روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش گوس-زایدل[۲] و روش نیوتن-رافسون[۳] می‌باشند. این روش‌ها، روش‌های تکراری هستند که برای شبیه‌سازی‌های کامپیوتری به خوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیچیدگی مسئله پخش بار از تفاوت نوع داده‌های مشخص شده برای شین‌های مختلف ناشی می‌شود. در این روش‌ها مقادیر تقریبی به ولتاژ مجهول شین‌ها نسبت داده می‌شود، سپس مقادیر جدید ولتاژ شین‌ها با توجه به مقادیر قبلی و توان‌های اکتیو و راکتیو مشخص شده، محاسبه

---

[۱] Slack

[۲] Gauss-Seidel

[۳] Newton-Raphson

می‌شوند. به این ترتیب یک مجموعه جدید از ولتاژها برای شین‌ها حاصل می‌شود و مقادیر جدید دوباره بر اساس این مقادیر و توان‌های مشخص شده محاسبه می‌شوند. هر مجموعه جدید ولتاژ یک «تکرار» نام دارد. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود که تغییر ولتاژ هر شین نسبت به تکرار قبلی از یک حد مشخص کمتر شود. اگرچه هر دو روش شناخته شده هستند، اما امروزه معمولا از روش نیوتن-رافسون استفاده می‌شود که همگرایی مطمئنی دارد و از لحاظ محاسباتی سریعتر است و به حافظه کمتری نیاز دارد **[Error! Reference source not found.**

۱-۳-۳- ۵-۳-۳) تحلیل هارمونیکی

برنامه تحلیل هارمونیکی، ابزار اولیه مطالعات هارمونیکی است. مهم‌ترین استفاده این برنامه، محاسبه امپدانس سیستم در هر نقطه و در هر فرکانس از شبکه است. اغلب برنامه‌های پخش بار هارمونیکی، مشابه برنامه‌های پخش بار معمولی و اتصال کوتاه هستند، اما تفاوت‌های مهمی نیز وجود دارد که عبارتند از:

پخش بار هارمونیکی باید پاسخی در یک گستره فرکانسی تولید کند. این فرکانس‌ها نباید صرفاً هارمونیک‌های صحیح باشند، بلکه باید نقاط میانی را هم شامل شوند. بنابراین لازم است یک گستره فرکانسی جارو شود.

اجزاء شبکه (خطوط انتقال، ترانسفورماتورها، راکتورها، خازن ها، کابل‌ها و...)، امپدانس‌هایی دارند که با فرکانس تغییر می‌کنند. برنامه باید مدل شبکه را در هر فرکانس بسازد، به نحوی که راکتانس و مقاومت هر دو به صورت تابعی از فرکانس، مدل شوند تا پاسخی دقیق بدست آید.

بارهای صنعتی به طور معمول روی سه‌فاز متعادل هستند. بنابراین در نظر گرفتن طرح تک‌خطی با مؤلفه‌های ترتیبی مثبت، می تواند پاسخ‌های رضایت‌بخش را تولید کند. با این وجود، اگر بارگذاری نامتعادل یا امپدانس نامتعادل در شبکه وجود داشته باشد، باید از یک نمایش سه‌فاز کامل استفاده شود.

برنامه پخش بار هارمونیکی باید بسته به کاربرد، یک یا چند مورد از این خروجی‌ها را تولید نماید: ولتاژهای هارمونیکی و ضرایب اختلال در هر باس، جریان‌های هارمونیکی هر شاخه و ضرایب اختلال، میزان بارگذاری فیلتر یا بانک خازنی، نمودار تغییرات امپدانس سیستم بر حسب مشخصه فرکانس **[Error! Reference source not found.**

سه روش مختلف کامپیوتری با پیچیدگی‌های متفاوت برای تحلیل هارمونیکی سیستم‌های قدرت وجود دارد. این سه روش عبارتند از تحلیل غیرخطی در حوزه زمان، تحلیل غیرخطی در حوزه فرکانس و تحلیل خطی در حوزه فرکانس.

در تحلیل غیرخطی در حوزه فرکانس، مبدل به صورت مجموعه‌ای از کلیدهای ایده‌آل مدل می‌شود که به یک بار خطی متصل شده‌اند. سپس با حل معادلات دیفرانسیل شبکه، مقادیر لحظه‌ای ولتاژها و جریان‌ها

به دست می‌آیند. نتایج حاصل از این تحلیل، در بر گیرنده حالت گذرای کامل سیستم قدرت از شرایط اولیه تا حالت ماندگار خواهد بود. پس از رسیدن به حالت ماندگار، دامنه‌های هارمونیک‌های ولتاژ و جریان با اعمال تبدیل فوریه به شکل موج‌های به دست آمده، قابل محاسبه خواهد بود. در این روش با توجه به این‌که از حل معادلات دیفرانسیل استفاده می‌شود، انتخاب مناسب شرایط اولیه تاثیر زیادی در زمان همگرایی و رسیدن به پاسخ نهایی خواهد داشت. با وجود این‌که روش‌هایی برای تسریع همگرایی این روش پیشنهاد شده است، ولی زمان انجام محاسبات در این روش بسیار طولانی است[5].

در روش تحلیل غیرخطی در حوزه فرکانس، الگوریتم پخش بار نیوتن - رافسون تغییر داده می‌شود و در واقع گسترش می‌یابد به نحوی که هارمونیک‌های مختلف نیز در معادلات لحاظ شوند. سپس این معادلات به روشی مشابه با پخش بار معمولی حل می‌شوند. نرخ همگرایی در این پخش بار هارمونیکی کندتر از نرخ همگرایی در پخش بار عادی است. دلیل این امر مشکل بودن انتخاب شرایط اولیه مناسب است.

در روش تحلیل خطی در حوزه فرکانس که به نام روش تزریق جریان نیز شناخته می‌شود، بارهای غیرخطی در هارمونیک‌های مختلف به صورت منابع جریان سینوسی با فرکانس هارمونیک مربوطه در نظر گرفته می شوند. دامنه و فاز این منابع جریان مستقل از شکل موج ولتاژ در نظر گرفته شده و هارمونیک‌های مرتبه های مختلف به صورت مجزا محاسبه می‌شوند. به عبارت دیگر، به تعداد هارمونیک‌ها پخش بار معمولی (با فرکانس هارمونیک مربوطه) انجام می‌شود. این روش با توجه به سرعت و دقت مناسب در محاسبات، متداول ترین روشی است که جهت تحلیل هارمونیکی در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این محاسبه طیف فرکانسی امپدانس از دید هر باس نیز با استفاده از روش تحلیل خطی در حوزه فرکانس به راحتی امکان‌پذیر است[5].

۱-۳-٤- ۵-۳-۴)سطح اتصال کوتاه

هر خرابی که عبور عادی جریان را مختل کند، خطا نام دارد. تجربه نشان داده که ۷۰ تا ۸۰ درصد خطاهای خط انتقال اتصال‌های تک فاز به زمین هستند. در ۵ درصد خطاها هر سه فاز درگیرند. این ۵ درصد را خطاهای سه فاز متقارن می‌نامند. دیگر خطاها عبارتند از اتصال فاز به فاز بدون دخالت زمین و اتصال دو فاز به زمین. تمامی این خطاها به جز خطای سه فاز، موجب نامتقارن شدن فازها می‌شوند و به همین دلیل خطاهای نامتقارن نام دارند[**Error! Reference source not found.**].

جریان‌هایی که درست پس از وقوع خطا از بخش‌های مختلف سیستم می‌گذرند، با جریان‌هایی که چند سیکل بعد و درست قبل از عمل کردن کلیدها (در اثر تحریک رله‌ها) می‌گذرند تفاوت دارند. تمامی این

جریان‌ها با جریان‌هایی که در شرایط ماندگار و در صورت عمل نکردن کلیدها می‌گذرند نیز بسیار تفاوت دارند. دو عامل از عواملی که کلیدهای مدارشکن[۱] براساس آن‌ها انتخاب می‌شوند عبارتند از جریانی که درست پس از وقوع خطا می‌گذرد و جریانی که مدارشکن باید آن را قطع کند.

در تحلیل اتصال کوتاه، مقدار این جریان‌ها به ازای بروز خطاهای مختلف در مکان‌های مختلف شبکه محاسبه می‌شود. داده‌های به دست آمده از این محاسبات برای تنظیم رله‌های کنترل کننده مدارشکن‌ها نیز استفاده می‌شود.

۱-۳-۵- ۵-۴)نتیجه گیری

در این فصل به بررسی انواع زمینه‌های مطالعه سیستم‌های قدرت در حالت ماندگار پرداختیم. بنابراین دریافتیم که به کمک مطالعه پخش بار می‌توان ولتاژ و زاویه آن را در شین‌های مختلف شبکه محاسبه کرد و همچنین از میزان توان‌های اکتیو و راکتیو عبوری در شبکه مطلع شد. این اطلاعات با حل معادلات پخش بار به کمک یکی از روش‌های متداول همچون نیوتن-رافسون یا گوس-زایدل به دست می‌آید. به این ترتیب می‌توان دید خوبی از وضعیت شبکه به دست آورد.

برای آگاهی از وضعیت هارمونیکی شبکه و امکان وقوع تشدید در نقاط مختلف شبکه نیز نیاز به انجام تحلیل جداگانه‌ای وجود دارد. به کمک تحلیل هارمونیکی می‌توان اطلاعاتی از قبیل ولتاژهای هارمونیکی و ضرایب اختلال در هر باس، جریان‌های هارمونیکی هر شاخه و ضرایب اختلال، میزان بارگذاری فیلتر یا بانک خازنی و نمودار تغییرات امپدانس سیستم بر حسب مشخصه فرکانس را بدست آورد. برای این منظور به یک برنامه پخش بار هارمونیکی نیاز خواهد بود که اصطلاحا بتواند یک گستره فرکانسی را جارو کند.

علاوه بر این، مطالعات اتصال کوتاه نیز از زمینه‌های مهم مورد توجه بهره‌برداران سیستم‌های قدرت است. مطالعات اتصال کوتاه می‌تواند دید مناسبی در زمینه خطاهای احتمالی در هر نقطه از شبکه و شدت آن‌ها بدهد. از این اطلاعات می‌توان جهت تعیین مقدار نامی مدارشکن‌ها یا تنظیم رله‌ها استفاده کرد. اطلاعات هر قطعه، محدوده وسیعی از مشخصات ظاهری و فنی را شامل می‌شود. برای انجام تحلیل هارمونیکی و مطالعات خازن‌گذاری، تنها بخشی از این اطلاعات مورد نیاز خواهد بود. در این فصل به بررسی اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل هارمونیکی پرداختیم.

---

[۱] Circuit Breakers

۶)نتایج پروژه

WikiPower.ir

۶-۱)مقدمه

در این بخش از پروژه با استفاده از نرم افزار دیگسایلنت شبکه برق مرکز مخابرات اراک بررسی شده است و با توجه به نتاج حاصل از تحلیل شبکه و استفاده از الگوریتم ژنتیک خازن گذاری بهینه برای این شبکه حاصل شده است.

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 پست‌برق 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 معمولا از تغییرات بارها چشم‌پوشی شده و یک خازن ثابت به طور دائم در شبکه قرار می گیرد. 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. 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 می کنیم. 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؟!

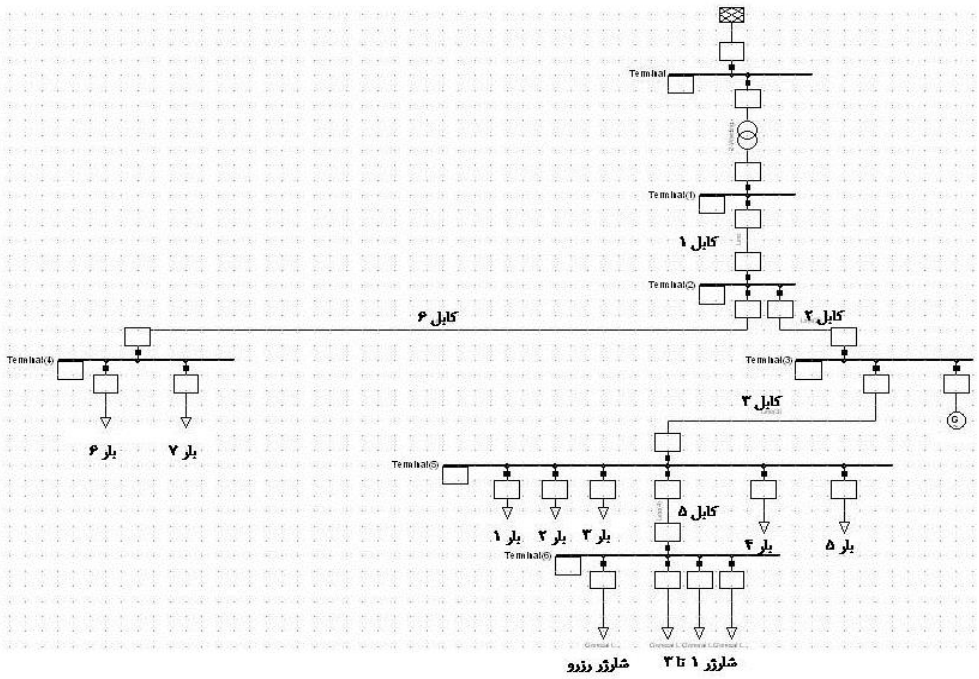
سپس در بخش آخر، خازن بهینه با در نظر گرفتن هر دو عامل هارمونیک و سوئیچینگ محاسبه می‌شود. مقایسه نتایج به دست آمده در این بخش با شبیه‌سازی‌های قبل، تاثیر تعیین خازن‌بهینه به کمک روش پیشنهادی در این پروژه را نشان خواهد داد.

WikiPower.ir

۶-۲) اطلاعات مورد نیاز شبکه

۶-۲-۱)دیاگرام تک‌خطی شبکه

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از پست برق شرکت مخابرات استان مرکزی، نمودار تک‌خطی این شبکه تهیه شده است. این نمودار در شکل Error! **No text of specified style in document.**-۲۳ نشان داده شده است.



شکل **Error! No text of specified style in document.**-۲۳ نمودار تک‌خطی پست برق مرکز مخابرات اراک

WikiPower.ir

۶-۲-۲)اطلاعات بارها

بار ۱: این بار در واقع یک پکیج مایکروویو است که توسط کابل AC ۲۵+۷۰*۳ 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 ۲۵+۵۰*۳ 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 ۲۵+۵۰*۳ 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 کیلوولت 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 این‌که 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.

اطلاعات کابل‌ها

کابل ۱: کابل ۳*۱۵۰+۹۵ به طول ۳۵۲ متر. این کابل از نوع XLPE می‌باشد که اندوکتانس آن ۰/۳۲ میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن ۰/۱۲۴ اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۲: کابل ۳*۲۴۰+۱۲۰ به طول ۸ متر. اندوکتانس این کابل ۰/۳ میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن ۰/۰۷۵۴ اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۳: کابل ۳*۲۴۰+۱۲۰ به طول ۱۰ متر. نوع این کابل مشابه کابل ۲ می‌باشد.

کابل ۴: کابل ۳*۵۰+۱۶ به طول ۸ متر. اندوکتانس این کابل ۰/۴ میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن ۰/۳۸۷ اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۵: کابل ۳۵+۷۰*۳ به طول ۶ متر. اندوکتانس این کابل ۰/۳۷ میلی‌هانری بر کیلومتر و مقاومت اهمی آن ۰/۲۶۸ اهم بر کیلومتر می‌باشد.

کابل ۶: کابل ۷۵+۱۵۰*۳ 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 هارمونیکی شارژرها

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

WikiPower.ir

جدول ***Error! No text of specified style in document.*** *-۱۲:*

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 **Error! No text of specified style in document.**-۱۳: هارمونیک‌های جریان فاز ۲

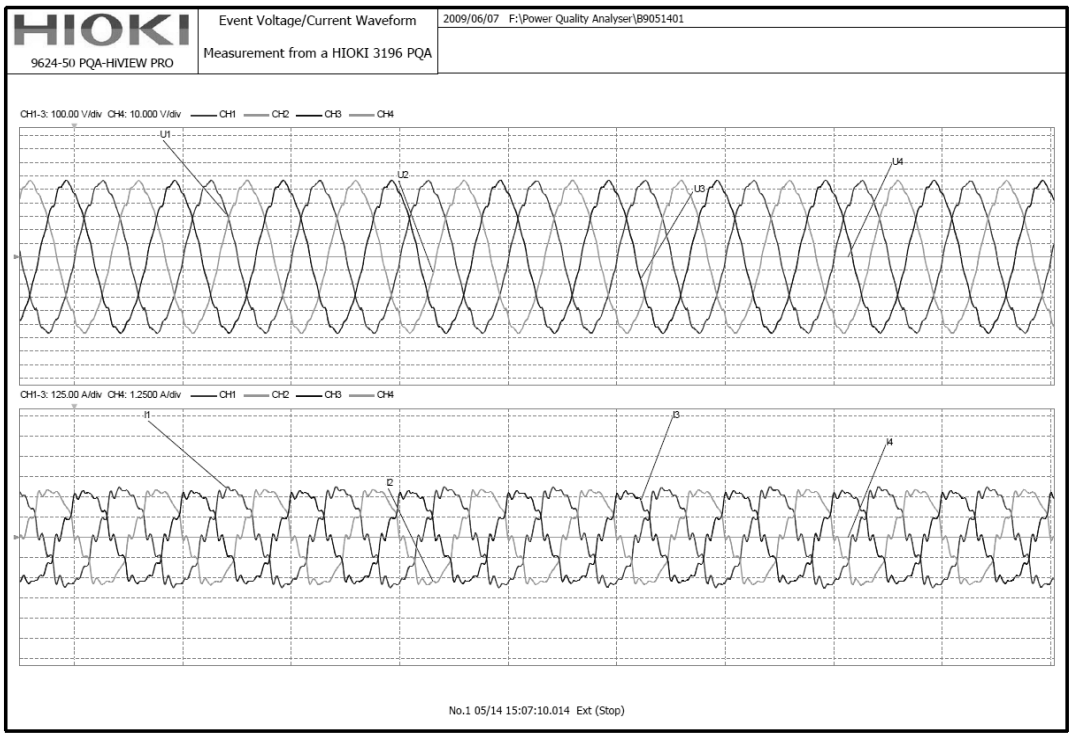
Order	(٪)	Order	(٪)	Order	(٪)
1	100.00	18	0.10	35	0.25
2	0.34	19	1.32	36	0.01
3	1.24	20	0.14	37	0.12
4	0.12	21	0.24	38	0.05
5	4.92	22	0.06	39	0.06
6	0.03	23	0.90	40	0.01
7	3.53	24	0.03	41	0.14
8	0.23	25	0.66	42	0.01
9	0.93	26	0.07	43	0.02
10	0.18	27	0.08	44	0.02
11	7.83	28	0.07	45	0.05
12	0.10	29	0.25	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 Error! No text of specified style in document.-۱۴: 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 (٪)

۳-۶) بررسی وضعیت شبکه قبل از خازن‌گذاری

شکل زیر 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 **Error! No text of specified style in document.**-۲۴ ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده در باس ورودی

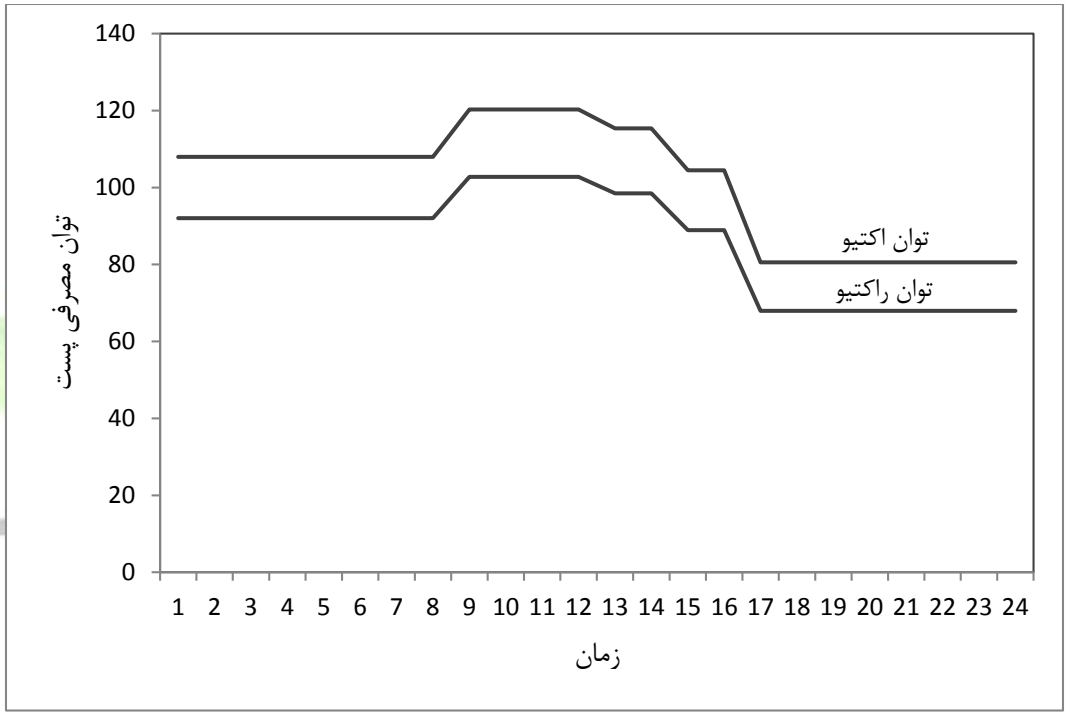
اعوجاجات هارمونیکی در این پست از قطع و وصل شدن ترانزیستورهای درون شارژرها ناشی می‌شوند. به این ترتیب هارمونیک‌های جریان تولید شده و یک جریان هارمونیکی از شبکه سراسری کشیده می‌شود. بنابراین جریان هارمونیکی با عبور از امپدانس‌های مسیر، تبدیل به ولتاژ هارمونیکی شده و در باس ورودی پست مشاهده می‌گردد.

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 باس های 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 رزونانس موازی اتفاق می‌افتد که در آن فرکانس، امپدانس خازن با امپدانس راکتور (معادل شبکه) برابر

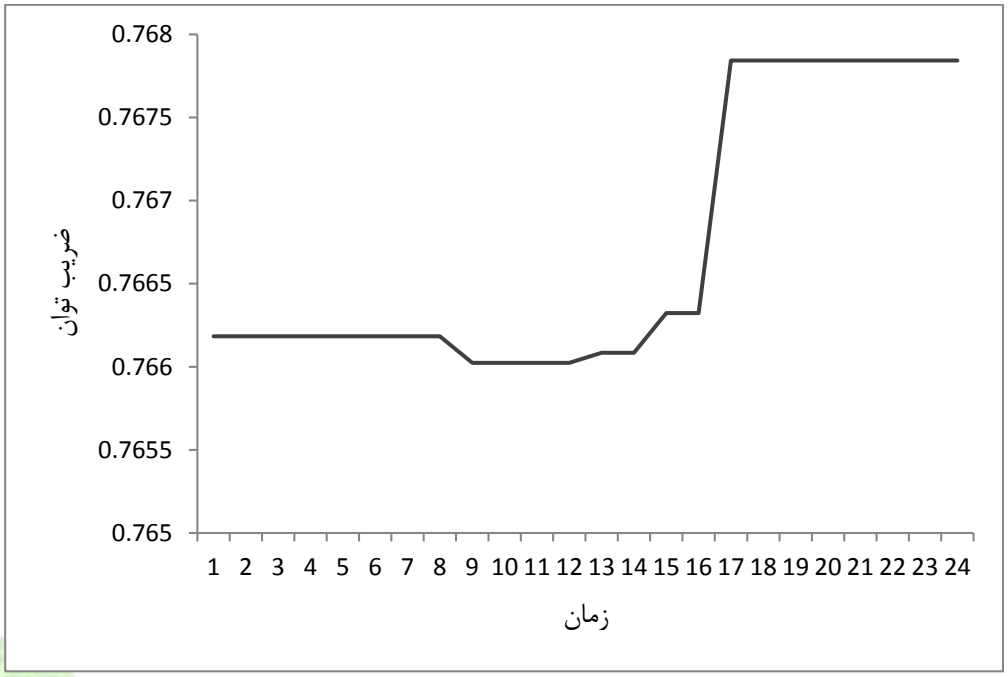
می‌شوند. بنابراین امپدانس دیده شده از باس متصل به خازن در فرکانس رزونانس بسیار بزرگ خواهد بود. این شرایط در بخش نصب خازن ثابت شرح داده می‌شود.

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 Error! **No text of specified style in document.**-۲۵ نشان داده شده است.

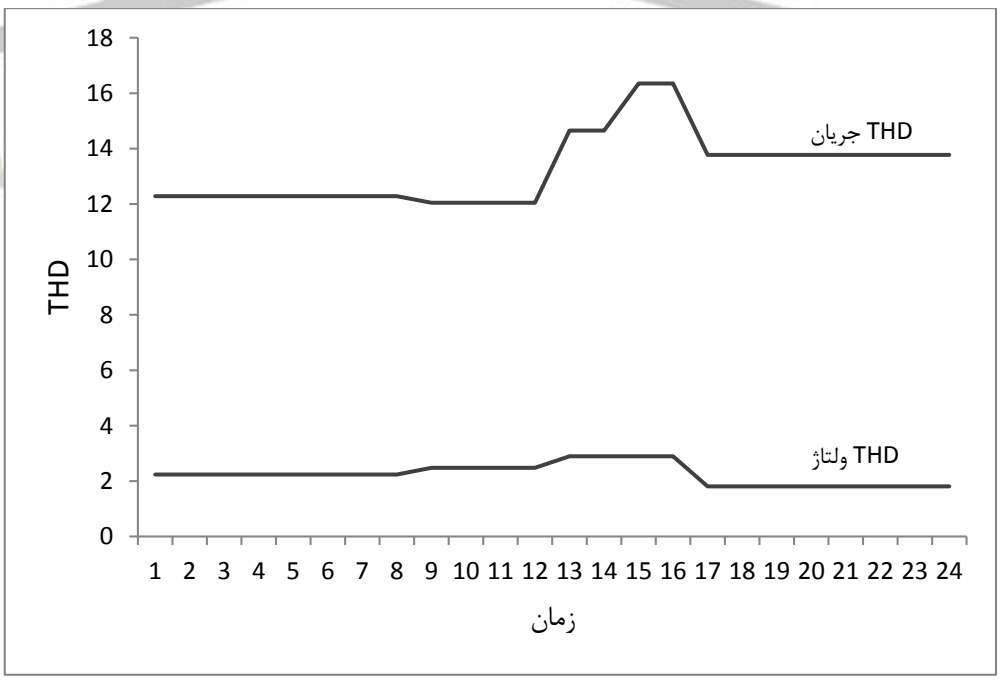


شکل **Error! No text of specified style in document.**-۲۵ نمودار تغییرات توان مصرفی قبل از خازن‌گذاری

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 Error! **No text of specified style in document.**-۲۶ و شکل Error! **No text of specified style in document.**-۲۷ تغییرات ضریب توان و THD ولتاژ و جریان را نشان می‌دهند.



شکل Error! No text of specified style in document.-۲۶ نمودار تغییرات ضریب توان قبل از خازن‌گذاری



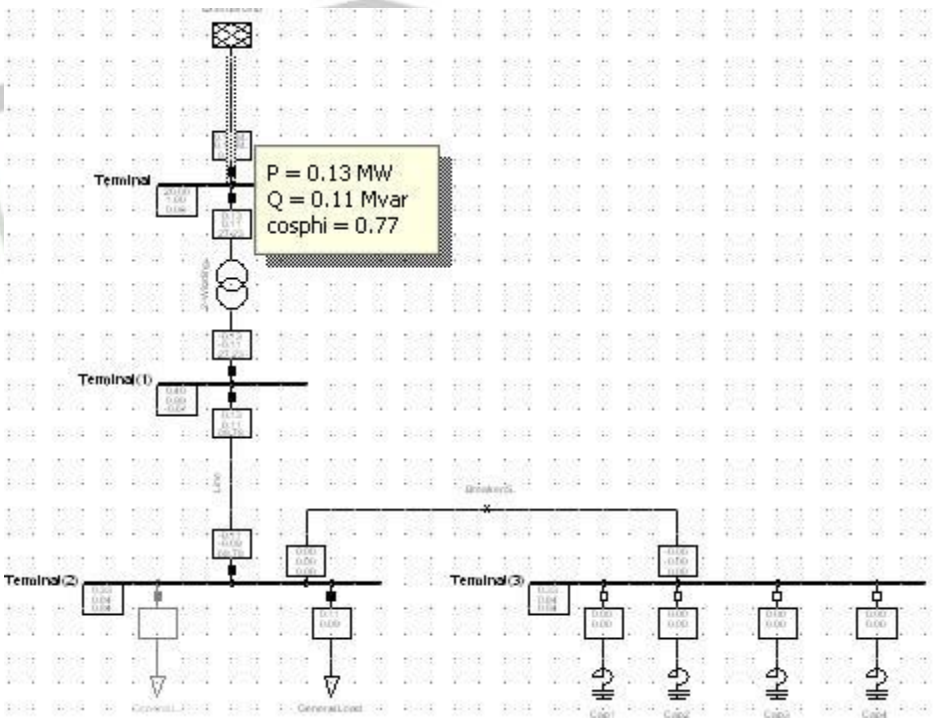
شکل Error! No text of specified style in document.-۲۷ نمودار تغییرات THD قبل از خازن‌گذاری

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 محدودیتTHD جریان ۱۲ درصد می‌باشد.

همان‌طور که در شکل **Error! No text of specified style in document.**-۲۷ مشاهده می‌شود، محدودیت THDجریان 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 **Error! No text of specified style in document.**-۲۷ نشان می‌دهد که تغییرات بار می‌تواند اعوجاجات هارمونیکی ولتاژ را نیز دستخوش تغییر کند و در مواقعی به سمت محدوده غیرمجاز سوق دهد.

۶-۳-۱)ضریب توان قبل از خازن گذاری:

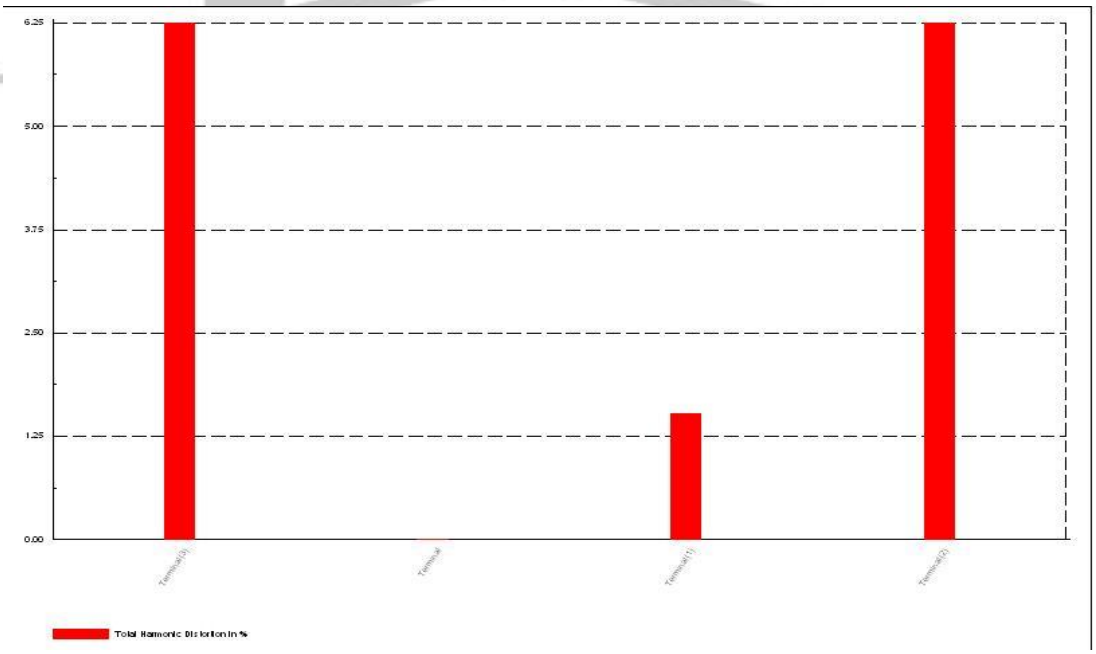


همانطور که مشاهده می شود ضریب توان مقداری کم است واین امر لزوم خازن گذاری را مسلم می کند و در ادامه یکی دیگر از دلایل خازن گذاری بیان شده است.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶-۳-۲)هارمونیک ها قبل از خازن گذاری

نمودار میله ای TDH ولتاژ باسها قبل از خازن گذاری



همانطور که مشاهده می شود در ترمینال ها بجز ترمینال ۴ هارمونیک وجود دارد ترمینال ۴ به دلیل اینکه از منبع DC تغذیه می شود هارمونیک ندارد.

۶-۴)تعیین ظرفیت خازنی مناسب

با توجه به اینکه برنامه دیگسایلنت قابلیت بهینه سازی یک تابع را ندارد از الگوریتم ژنتیک در متلب استفاده شده است،این الگوریتم بعد از تنظیمات اولیه مربوط به خودش تولید ۵ عدد تصادفی می کند که ۴ عدد اول مربوط به پله های خازنی و عدد آخر مربوط به این است که فیلتر هامونیکی برای کم کردن هامونیکها وجود داشته باشد یا نه.

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 (۲۷-Error! **No text of specified style in document.**) نحوه محاسبه تابع هدف را نشان می‌دهد.

(۲۷-**Error! No text of specified style in document.**)

$$B_T = (B_P \times 12 - C_C) \cdot n_C$$

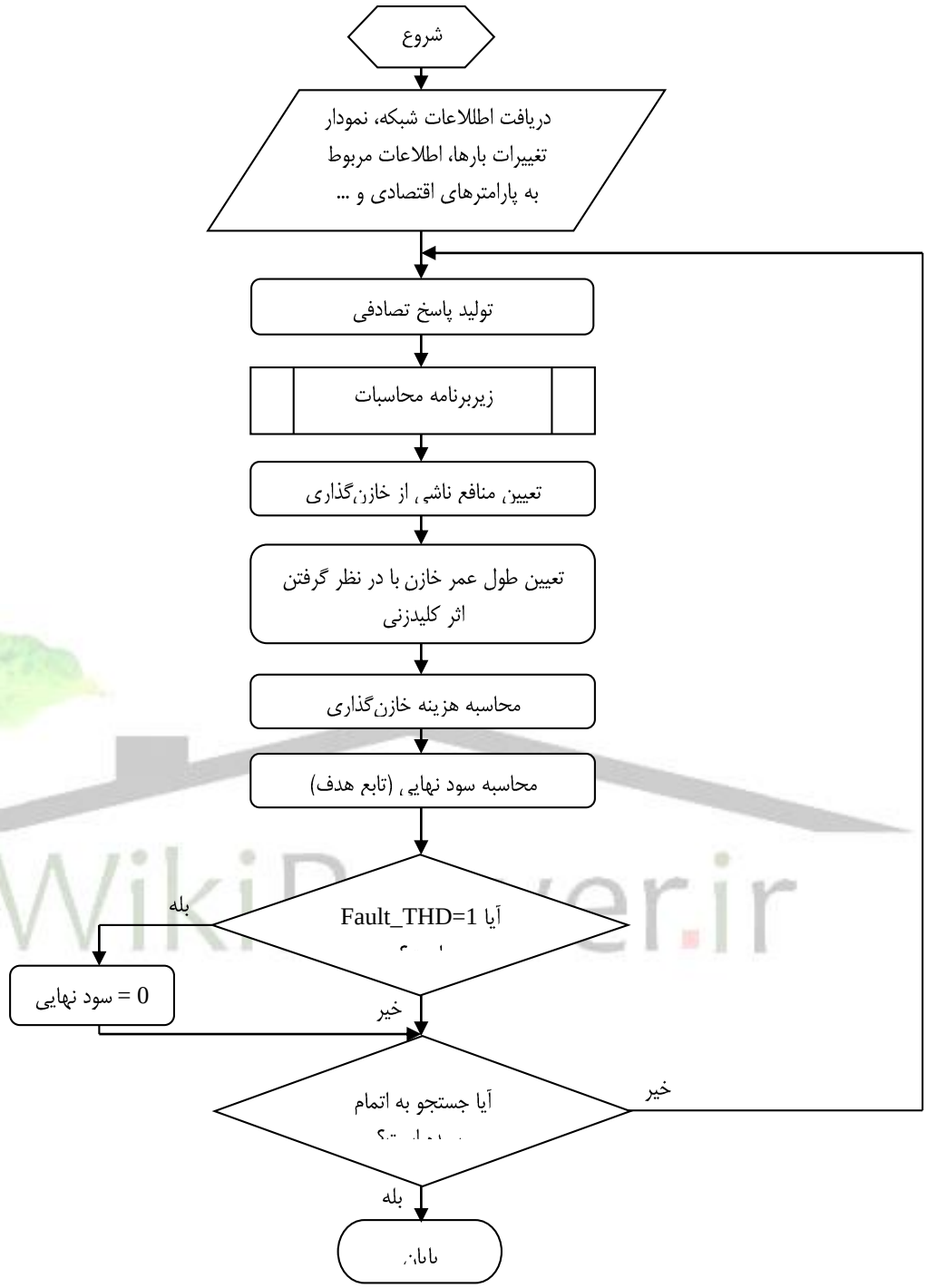
که کلیه پارامترها مشابه روابط ارائه شده در گزارش فاز یک تعریف می‌شوند. به این ترتیب B_P منافع ماهانه، $(B_P \times 12 - C_C)$ سود سالانه و B_T سود کل را محاسبه می‌کند.

www.wikipower.ir

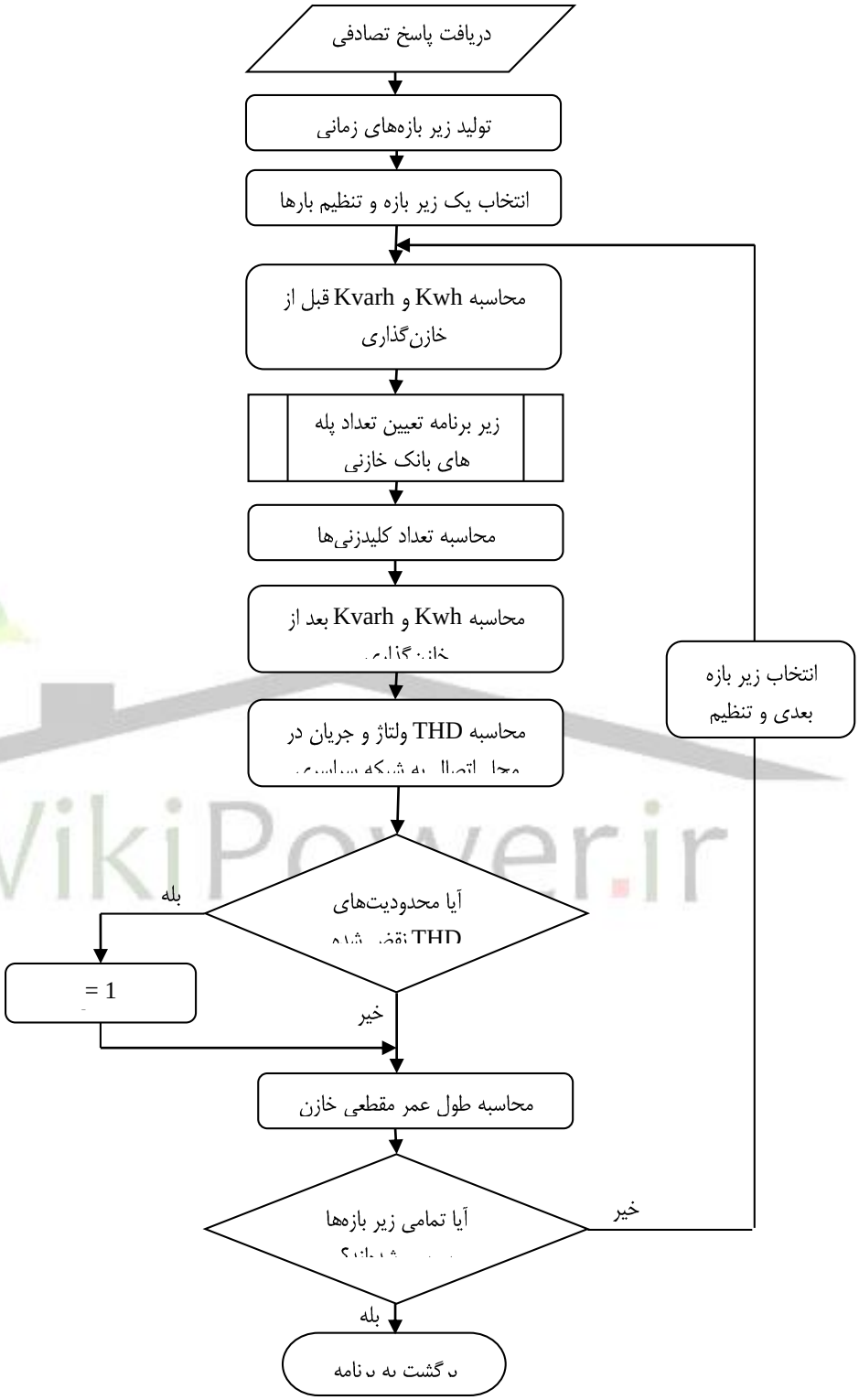
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فلوچارت حل مسئله بهینه سازی

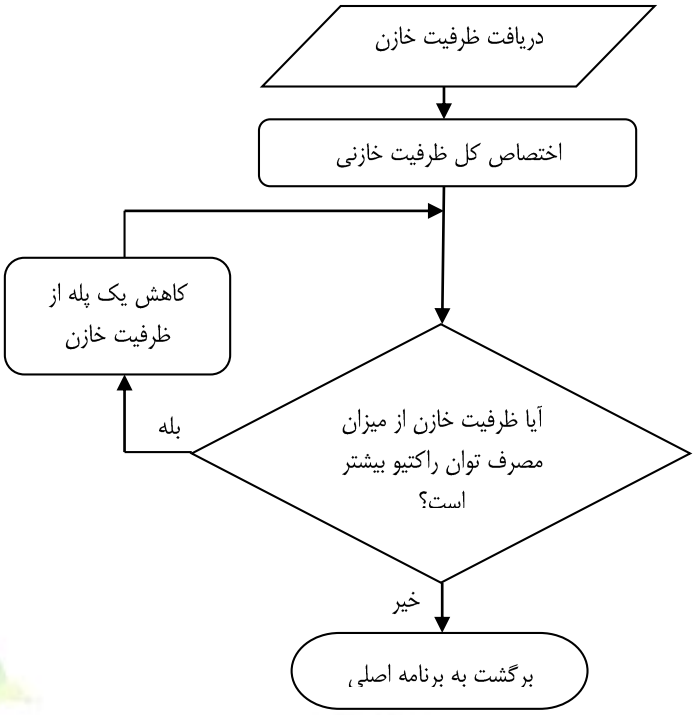
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل.۲۸- Error! No text of specified style in document زیر برنامه محاسبات



شکل.Error! No text of specified style in document -۲۹ 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 مقادیری را برای سه متغیر تصمیم‌گیری (ولتاژ نامی، ظرفیت خازن و نوع فیلتر) ارائه می‌کند. این پاسخ تصادفی به زیر برنامه محسبات 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 کیلووار 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 کیلووار ساعت مصرفی شبکه بعد از خازن‌گذاری سنجیده می‌شود. همچنین برقرار بودن قید THD ولتاژ و جریان در زیر بازه مورد نظر، کنترل می‌شود.

۶-۴)نتایج محاسبه ظرفیت خازن

الگوریتم ژنتیک در هر تکرار تولید پله های خازنی می کند که در نهایت با توجه به خروجی دیگسایلنت که سود حاصل ار خازن گذاری است پله های خازنی بهینه را در خروجی ایجاد می کند.

۳۰ رشته ی آخر برنامه ی ژنتیک به صورت زیر است:

```
 chromosome          fitness      ind
0   0   1   1   1        32266.5453       1
0   0   0   3   1        31255.8565       2
2   0   0   1   1        31127.544       3
2   0   0   1   1        31127.544       24
0   1   1   1   1        30809.1884       4
1   0   0   1   1        30591.2532       5
0   1   0   1   1        30588.4113       6
3   1   1   0   1        27112.5888       26
3   0   5   1   1        16153.9249       22
2   0   2   2   0        0.5      10
0   1   0   5   0        0.5      11
3   0   0   4   0        0.5      13
3   0   0   1   0        0.5      14
0   1   1   1   0        0.5      15
0   2   1   1   0        0.5      19
5   1   1   1   0        0.5      23
1   2   4   1   1        0.10796      30
0   3   4   1   1        0.10537      29
2   1   0   3   1        0.072008      17
2   2   1   1   1        0.04312      7
5   1   1   1   1        0.036961      25
1   1   5   1   1        0.034876      21
3   1   4   0   1        0.033891      20
2   1   1   4   1        0.029697      18
4   0   4   3   2        0.027967      12
2   3   1   3   1        0.026576      16
1   2   2   5   1        0.020565      28
3   5   3   2   1        0.010846      8
6   3   5   1   1        0.010022      9
2   2   4   4   1        0.009314      27

===============
profit1= 32266.5453
bestprofit= 32266.5453
pop1= 0   0   1   1   1
04-Nov-2008 15:20:03
optimized function is fittfun
popsize = 30
#generations=10 best profit=32266.5453
best solution
0   0   1   1   1
binary genetic algorithm
```

همانطور که مشاهده می شود خروجی نهایی ژنتیک به صورت (1 1 1 0 0) است که رقم اول سمت راست نمایانگر نیازبه فیلتر است و دو رقم بعد مقدار خازن را مشخص می کند .

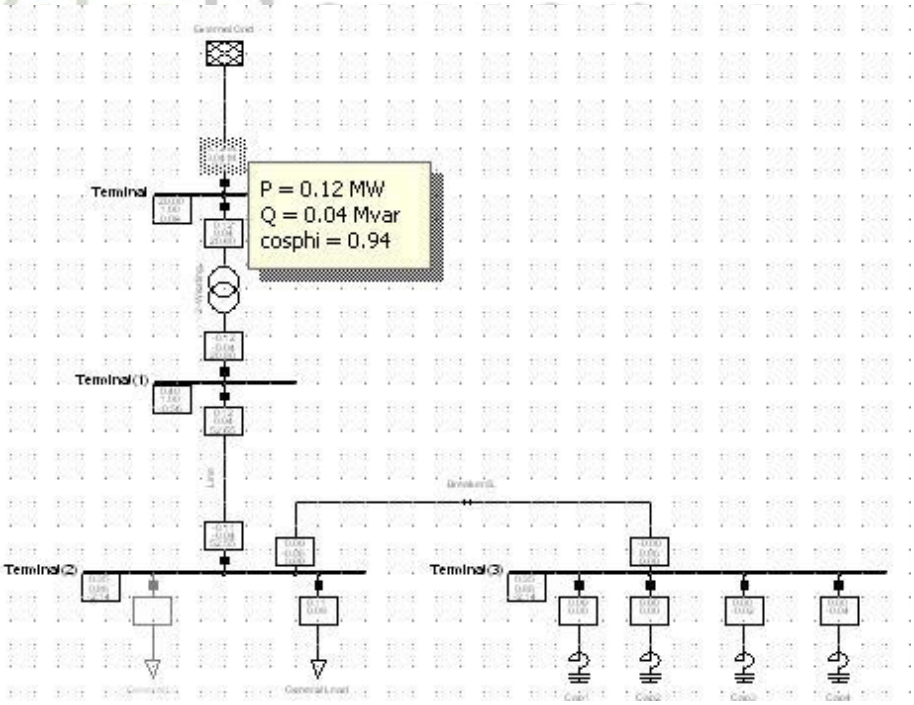
مقدار خازن محاسبه شده:

1*25+1*30=55 Kvar

۶-۵)وضعیت شبکه پس از خازن گذاری

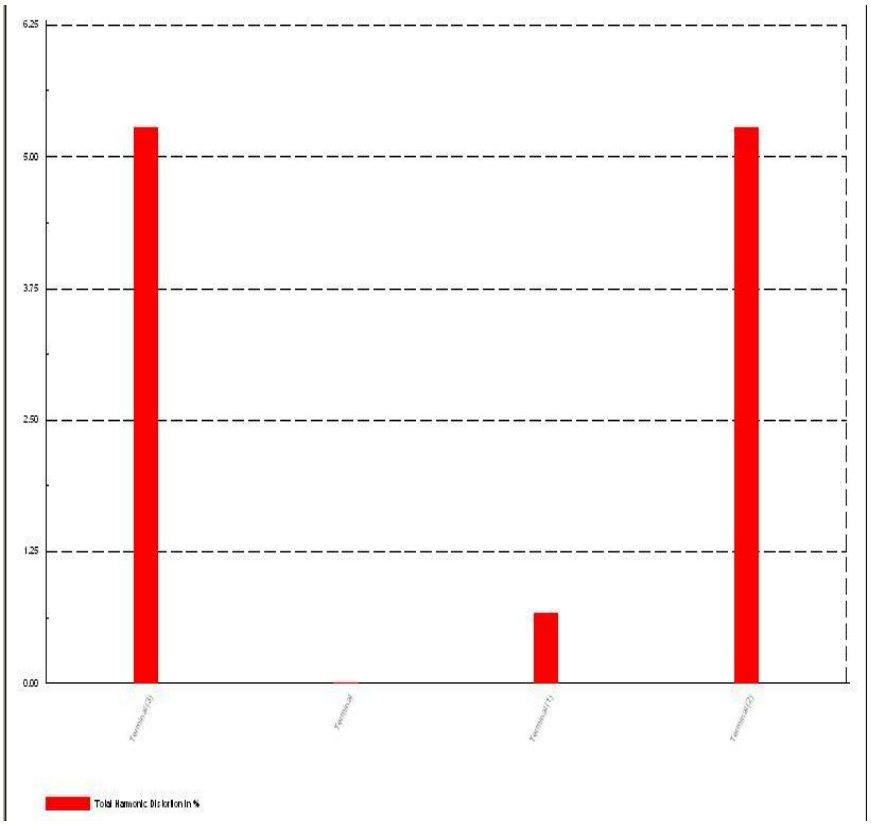
پس از اعمال پله های خازنی به شبکه و گرفتن پخش بار از شبکه دو پارامتر اصلی مورد نظر به صورت زیر است:

۶-۵-۱)ضریب توان پس از خازن گذاری



همانطور که مشاهده میگردد پس از خازن گذاری ضریب توان از ۰/۷۷ به ۰/۹۴ افزایش یافته است و نشان از موفقیت پروژه است.

۶-۵-۲)وضعیت هارمونیکی پس از خازن گذاری



همانطور که مشاهده می شود پس از اعمال خروجی ژنتیک به دیگسایلنت وضعیت هارمونیکی شبکه مناسبتر شده است.

۶-۶)نتایج و پیشنهادات

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 یکسوکننده‌ها استفاده زیادی می‌شود، مقادیر قابل توجهی هارمونیک های 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 هارمونیک ها 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 هارمونیک ها 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 امپدانس 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.

۷)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] H. Ng, M. Salama, A. Chikhani, “Classification of Capacitor Allocation Techniques”, IEEE Trans. Power Delivery, Vol.15, No.1, pp.387-392 , January 2000

[10] G.Brunello, B.Kasztenny, C.Wester, "Shunt Capacitor Bank Fundamentals and Protection", Conference for protective relays, Texas University 2003

[11] IEEE Standard 141-1993, "Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants"

[12] IEEE Standard 1036-1992, "Guide for Application of Shunt Power Capacitors"

[13] American Power Conversion Technical Staff, "Avoiding AC Capacitor Failures in Large UPS Systems", American Power Conversion 2003

[14] IEC Standard 831-1996, "Shunt power capacitors of the self-healing type for ac systems having a rated voltage up to and including 1000V"

[15] IEC Standard 61642-1997, "Industrial a.c. networks affected by harmonics-Application of filters and shunt capacitors"

WikiPower.ir