خازن گذاری بهینه در شبکه فشار ضعیف

محمود نظری

1- مقدمه :

در سال 1379 طرح خازنگذاری در شبکه‌های فشار ضعیف با هدف افزایش ظرفیت تولید و انتقال مطرح گردید . با توجه به استقبال مسئولین از این طرح ، اقدام به برگزاری مناقصات خرید گردید و حدود 1500 مگاوار خازن 12/5 کیلووار 400 ولت خریداری و از اوایل سال 1380 تحویل شرکتهای برق منطقه‌ای گردید . 70 مگاوار از این خازنها نیز تحویل شرکت برق منطقه‌ای خراسان شد . از همان زمان تحقیقاتی در این شرکت جهت یافتن روشی برای نصب بهینه خازنها در شبکه آغاز شد . روشی که بتواند تعداد و محلهای نصب بهینه خازنها در فیدرهای فشار ضعیف را بگونه‌ای که نه تنها مشکلات و معضلاتی در شبکه پدید نیاورد بلکه بیشترین کاهش تلفات را نیز عاید نماید و در عین حال اقتصادی نیز باشد ارائه نماید .

در جستجوها و بررسیهای انجام شده بین مقالات داخلی و خارجی اثری از نصب خازن در شبکه فشار ضعیف بدست نیامده است . مقالات خازنگذاری در شبکه توزیع عمدتاً مربوط به بخش فشار متوسط شبکه می‌باشد و در بخش فشار ضعیف تاکنون خازنگذاری انجام نشده است . در کشورهای پیشرفته سازندگان دستگاهها و وسایل با بار راکتیو مجبور به نصب خازن روی دستگاهها و جبران توان راکتیو تولیدات خود در محل مصرف می‌باشند و ما بقی توان راکتیو جاری روی شبکه در بخش فشار متوسط یا ایستگاههای فوق توزیع جبران می‌شود .

جهت خازنگذاری در شبکه فشار ضعیف بررسی و مطالعه روشهای خازنگذاری در شبکه فشار متوسط می‌تواند مفید باشد . در برخی از این روشها محدودیتهایی جهت شبکه ، بارها و خازنها در نظر گرفته شده است و این اجزاء مسئله در قالب فرمولهای ریاضی محدود شده تا با استفاده از روشهای ریاضی تابع هدف تشکیل شده بهینه گردد . از جمله اینکه گاهاً شبکه بصورت یک خط مستقیم بدون انشعاب با بار و سطح مقطع یکنواخت فرض شده است [1و6] . در مرجع [2] بار کلیه شاخه‌های فرعی روی شاخه اصلی در نظر گرفته شده است . در بیشتر روشهای خازنگذاری مقدار خازن بهینه از راه محاسبه بدست می‌آید[1 – 4 و 6 و7] و چنانچه نیاز باشد این روشها عملی شوند ناچاراً بر اساس خازنهای موجود در بازار مقدار خازن نزدیک به مقدار محاسبه شده انتخاب می‌گردد که قطعاً این مقدار بهینه نمی‌باشد . در برخی از روشهای خازنگذاری در شبکه فشار متوسط اجزاء مسئله بصورت واقعی و بدون فرض مدل شده[4] و ناچاراً جهت بهینه‌یابی از روشهای نوین از جمله آلگوریتم ژنتیک و یا منطق فازی و غیره استفاده شده است .

2- خازنگذاری در شبکه فشار ضعیف :

در این مقاله که نتیجه تحقیقات قریب به دو سال روی انواع فیدرهای فشار ضعیف در نقاط مختلف استان خراسان است سعی شده است با ارائه مدلهای واقعی و عملی از اجزاء مسئله ، و استفاده از راه حل کاملاً علمی روش مناسبی جهت نصب بهینه خازن ثابت در شبکه فشار ضعیف ارائه گردد .

2-1- مدل خازنها :

اندازه خازنهای مورد استفاده در این برنامه مشخص است و جهت موارد خاص می‌توان بجای 12/5 کیلووار از ظرفیتهای دیگر استفاده نمود . بنابراین در مسئله بهینه‌یابی فقط باید تعداد خازنهای مورد نیاز هر فیدر فشار ضعیف و محل نصب آنها بهینه گردند .

2-2- مدل شبکه :

از آنجا که شبکه فشار ضعیف با شبکه فشار متوسط اصولاً تفاوتهایی از قبیل پنج سیمه بودن ، تک فاز بودن برخی شاخه ها ، داشتن سطح مقطع غیر یکنواخت تر و غیره دارد خازنگذاری در این شبکه نیز باید ویژگیهای خود را داشته باشد .

در یک شبکه فشار ضعیف نمونه (شکل 1) شاخه‌های فرعی زیادی وجود دارد و برخی از این شاخه‌ها سه سیمه (تک فاز) می‌باشند و فاصله پایه ها و سطح مقطع شبکه یکسان نیست .

در مدل شبکه استفاده شده در این مقاله هر سکشن (فاصله دو پایه) بصورت واقعی مدل می‌شود و مقاومت سکشن که در آن فاصله و سطح مقطع سیم دیده شده است به برنامه داده می‌شود . لذا متفاوت بودن فاصله پایه ها و سطح مقطع شبکه در برنامه دیده شده است . همچنین شاخه‌های فرعی سه فاز مدل شده و روی آنها نیز محاسبات انجام می‌گیرد . اما با توجه به اینکه خازنهای مورد استفاده سه فاز می‌باشند و امکان نصب آنها در شاخه‌های فرعی تک فاز (سه سیمه) وجود ندارد ، در مدل شبکه باید بارهای متصل به این شاخه‌ها به شاخه اصلی منتقل گردد .

2-3- مدل بار :

علاوه بر اطلاعات فیزیکی فیدر فشار ضعیف ، بار راکتیو فیدر نیز جهت برنامه مورد نیاز می‌باشد . چنانچه حداقل توان راکتیو برای خازنگذاری انتخاب گردد ، نصب خازن تأثیر قابل توجهی در کاهش تلفات نخواهد داشت . زیرا بیشترین مقدار جریان در پیک بار می‌باشد و تلفات نیز با توان دوم جریان ارتباط دارد . بنابراین سهم تلفات در بار پایه بسیار کم است . نصب خازن بر اساس پیک بار نیز صحیح نمی‌باشد زیرا در ساعات کم باری و یا حتی بار پایه ممکن است تلفات شبکه افزایش یابد[5] . از این رو باید میانگین بار سالیانه فیدر مد نظر قرار گیرد زیرا در آن نه تنها حداقل و حداکثر بار روزانه دیده شده بلکه تغییرات فصلی بار نیز منظور شده است .

در این تحقیق رفتار بار انواع مختلف فیدر های فشار ضعیف در نقاط مختلف استان خراسان و در همه فصول توسط دستگاههای ثبت اطلاعات (آنالایزر) برداشت شده و جداولی جهت تعیین ضریب نوع فیدر ، روزهای هفته و فصول سال تدوین گردیده است . بنابراین با برداشت منحنی بار 24 ساعته هر فیدر و استفاده از ضریب نوع فیدر برای فیدرهای تجاری و خانگی ، ضریب روز هفته برای روزی که اطلاعات برداشت شده و ضریب فصلی می‌توان میانگین بار راکتیو سالیانه فیدر را استخراج نمود .

می توان در مدل بار فیدرها رشد سالیانه بار را نیز در نظر گرفت . بدین صورت که با توجه به اینکه عمر خازنها 8 سال می باشد بجای میانگین بار راکتیو سالیانه از میانگین بار راکتیو در 8 سال آینده استفاده نمود . اما پیشنهاد می شود با توجه به تغییرات غیر خطی تعداد و مصرف مشترکین در طی 8 سال در مناطق مختلف ، هر دو سال یک مرتبه بار راکتیو فیدر اندازه گیری شده و برنامه خازن گذاری برای آن اجرا گردد و تعداد و محل جدید خازنها تعیین و خازنهای قبلی به محل جدید انتقال یابد .

2-4- تابع هدف :

خازنگذاری و جبران توان راکتیو دو اثر اصولی کاهش جریان و افزایش ولتاژ را در پی دارد . و چنانکه می‌دانیم نقطه بهینه این دو اثر بر هم منطبق نیست . یعنی چنانچه خازنگذاری با هدف حداقل نمودن جریان عبوری انجام شود ، لزوماً حداقل افت ولتاژ حاصل نمی‌شود و برعکس چنانچه هدف از خازنگذاری حداقل نمودن افت ولتاژ باشد ، جریان عبوری لزوماً حداقل نمی‌شود . بنابراین باید خازنگذاری با یکی از این دو هدف انجام پذیرد و در کنار آن هدف ثانوی نیز تا حدی محقق خواهد شد . یکی از اثرات بسیار مهم کاهش جریان عبوری کاهش مضاعف تلفات است و اثر دیگر آن آزاد سازی ظرفیت تولید و انتقال می‌باشد . با توجه به اینکه شیب منحنی Q-V بسیار کم و تأثیر خازنگذاری بر افزایش ولتاژ ناچیز می‌باشد ، و از طرفی نیز انرژی تلفاتی در شبکه‌های توزیع دارای اهمیت زیادی بوده و باعث هدر رفتن منابع بسیاری می‌گردد و نیز کاهش تلفات با توان دوم کاهش جریان رابطه دارد (فرمول 1). انتخاب هدف کاهش جریان در خازنگذاری نه تنها می‌تواند هزینه‌های

$$P_{loss} = R\, I^2 \qquad (1)$$

خرید ، نصب و نگهداری خازنها را جبران نماید بلکه می‌تواند سودی نیز عاید شرکتهای توزیع نیروی برق نماید [5] . در حالی که خازنگذاری با هدف کاهش افت ولتاژ اقتصادی نبوده و در شرایطی حتی ممکن است باعث افزایش جریان عبوری و افزایش تلفات نیز گردد . در تابع هدف سود ناشی از کاهش تلفات بعنوان سود ناخالص و مخارج مربوط به خرید ، نصب ، نگهداری و غیره بعنوان هزینه‌های طرح در نظر گرفته شده است . تابع هدف طبق رابطه 2 معرفی شده است .

$$F = \Delta P_{loss} * K - C \qquad (2)$$

در این رابطه :

F تابع هدف

ΔP_{loss} تغییرات تلفات شبکه در اثر نصب خازن در فیدر

C هزینه‌های خازنگذاری در فیدر

و K ضریب ریالی تلفات شبکه می‌باشد .

مقدار بهینه تابع هدف (F) حداکثر مقدار آن در فضای جواب می‌باشد . حداکثر مقدار F به معنی کسب بیشترین سود حاصل از نصب خازن در شبکه فشار ضعیف است . مقدار K طبق برآورد دفتر فنی تولید 1400 دلار بر کیلووات می‌باشد . با توجه به اینکه این عـدد برای طرحهای 30 ساله می‌باشد و عمر مفید خازنها 8 سال است ، مقدار K در رابطه 2 عدد 373/3 دلار بر کیلووات خواهد بود .

2-4-1- طریقه محاسبه ΔP_{loss}

کاهش تلفات کل فیدر ، مجموع کاهش تلفات سکشنهای آن است و مقدار کاهش تلفات برای هر سکشن از تفاضل مقدار تلفات قبل و بعد از نصب خازن بدست می‌آید .

$$\Delta P_{loss} = P_{loss1} - P_{loss2} \qquad (3)$$
$$\Delta P_{loss} = R (I_{p1}^2 + I_{q1}^2) - R (I_{p2}^2 + I_{q2}^2)$$

با توجه به اینکه از تغییر جریان اکتیو قبل و بعد از خازنگذاری می توان صرف نظر نمود ($I_{p1} = I_{p2}$) و نیز جریان

پس از خازنگذاری از تفاضل جریان قبل از خازنگذاری و جریان خازنها بدست می آید ($I_{q2} = I_{q1} - I_C$) که در آن I_C جریان تزریقی توسط خازنها می‌باشد) خواهیم داشت :

$$\Delta P_{loss} = R [I_{p1}^2 + I_{q1}^2 - I_{p1}^2 - (I_{q1} - Ic)^2]$$
$$\Delta P_{loss} = R\, Ic (2I_{q1} - I_c) \qquad (4)$$

بنابراین کاهش تلفات کل فیدر فشار ضعیف از مجموع کاهش تلفات (ΔP_{loss}) سکشنهای آن بدست می‌آید .

برنامه کلیه حالات ممکن ترکیب خازنها در شبکه را چک می کند و برای هر حالت ΔP_{loss} را بدست آورده ، تابع هدف را محاسبه می کند و بهترین حالت را که سود بیشتری دارد انتخاب می کند .

2-4-2- محاسبات اقتصادی

در تابع هدف (رابطه 2) C هزینه طرح می باشد که می تواند شامل هزینه های خرید ، نصب و نگهداری خازنها ، جمـع آوری اطلاعات فیدر و افزایش ارزش سرمایه باشد . اما با در نظر گرفتن کلیه این هزینه ها قیمت هر عدد خازن بیش از ششصد هزار ریـال خواهد شد .

چنانچه بر این اساس محاسبات اقتصادی تابع هدف انجام شود خازن‌گذاری در کمتر فیدری اقتصادی خواهد شد اما به لحاظ اینکه خازنهای فشار ضعیف خریداری شده و هدف ، نصب این خازنها در شبکه می‌باشد افزایش ارزش سرمایه‌گذاری از محاسبات حذف شده و قیمت هر عددخازن چهارصدهزار ریال درنظر گرفته می‌شود .

3- نتایج مثال عملی

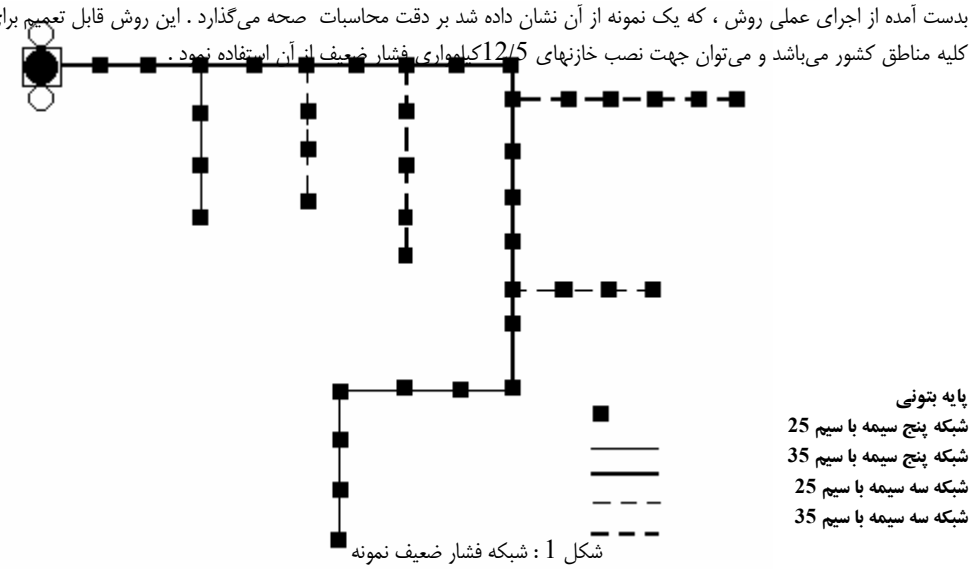
برنامه نوشته شده برای چندین فیدر فشار ضعیف در نقاط مختلف استان خراسان اجرا شده و تعداد خازن مشـخص شـده برای هر فیدر در محلهای تعیین شده نصب گردیده است . اطلاعات برداشت شده توسط دستگاه آنالایزر و نتایج بدست آمده بسیار راضی کننده بوده و نشان دهنده دقت و صحت محاسبات می‌باشد .

در اینجا بعنوان نمونه اطلاعات فیدر حجت9 از شهرستان مشهد و نتایج بدست آمده ارائه می‌گردد . شکل 2 نقشه این فیدر و تعداد مشترکین متصل به هر پایه را نشان می‌دهد .

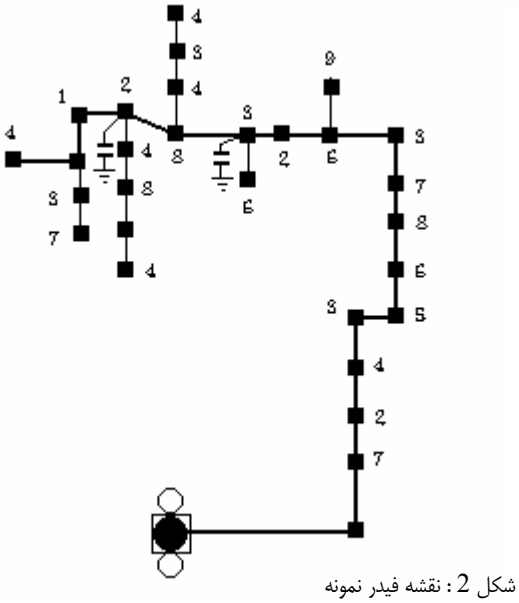
توان راکتیو متوسط سالیانه این فیدر 37/6 کیلووار می‌باشد و برنامه بهترین حالت را نصب دو عدد خازن در محلهای نشان داده شده روی شکل (2) ارائه نموده است . با نصب این دو عدد خازن ، بطور میانگین 407/6 وات از تلفات کاسته می‌شود . سود خالص حاصل از نصب این دو عدد خازن 617274 ریال می‌باشد . در شکلهای 3 ، 4 و 5 تأثیرات نصب خازن نشان داده شده است . لازم به توضیح است که این شکلها بر اساس اطلاعات واقعی برداشت شده از شبکه ترسیم گردیده‌اند .

4- نتیجه‌گیری

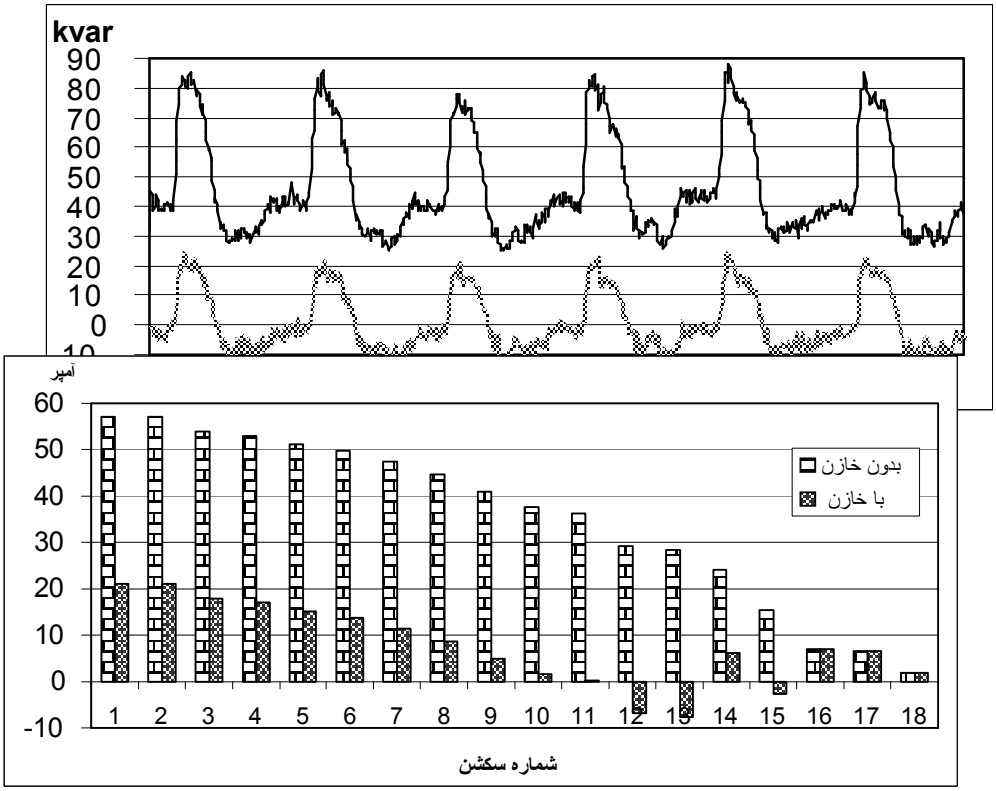
در این مقاله روشی علمی و عملی جهت نصب بهینه خازنهای 12/5 کیلوواری فشار ضعیف در شبکه ارائه گردیده است . در این روش اجزاء شبکه در قالب فرمولهای ریاضی محدود نشده‌اند و مدل واقعی آنها استفاده شده است . مقدار خازن و محل نصب پیشنهادی توسط این روش از نظر اقتصادی نیز بهینه است و چنانچه سود ناشی از کاهش تلفات کمتر از هزینه‌های نصب خازن باشد ، بعلت غیر اقتصادی بودن نصب خازن توصیه نمی‌گردد . قیمت خازنها بدون رشد سرمایه 400000ریال در نظر گرفته شده است . نتایج بدست آمده از اجرای عملی روش ، که یک نمونه از آن نشان داده شد بر دقت محاسبات صحه می‌گذارد . این روش قابل تعمیم برای کلیه مناطق کشور می‌باشد و می‌توان جهت نصب خازنهای 12/5کیلوواری فشار ضعیف از آن استفاده نمود .



شکل 1 : شبکه فشار ضعیف نمونه

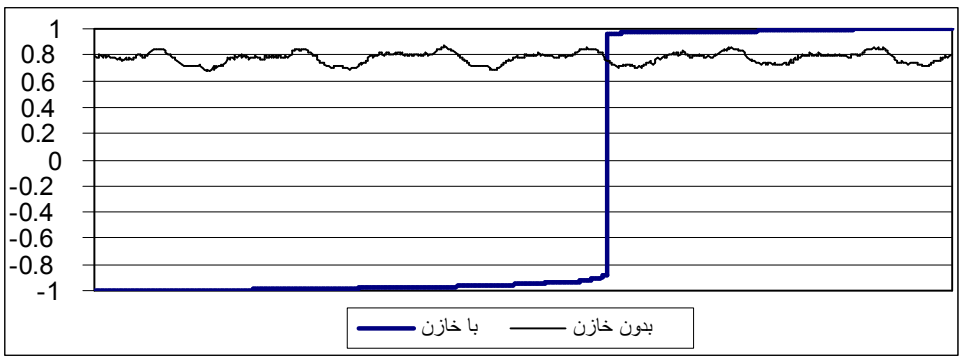


شکل 2 : نقشه فیدر نمونه



شکل 3 : نمودار توان راکتیو فیدر نمونه قبل و بعد از نصب خازن به مدت شش روز

شکل 4 : نمودار جریانهای راکتیو جاری روی سکشنهای فیدر نمونه قبل و بعد از خازنگذاری



شکل 5 : نمودارضریب قدرت فیدر نمونه قبل و بعد از خازنگذاری (نمودار بعد از خازنگذاری بصورت صعودی ترسیم شده است)

5- مراجع

1 – Fawsi T. H. “ New approach for the application of shunt capacitor to the primary distribution feeders ” IEEE T. V.102 N.1 1983

2 – Ponnavaikko M. & Prakasa K. S. “ Optimal choice of fixed and swiched shunt capacitors on radial distibution by the method of local variations “

3 – Chang N. E. “ Location shunt capacitors on primary feeder for voltage control and loss reduction “ IEEE T. V.88 N.10 1969

4 – Gonen T. “ Electrical power distribution system engineering “ 1986

5 – نظری ، محمود “ تعیین بهترین مکان و ظرفیت خازن در شبکه‌های توزیع با استفاده از آلگـوریتم ژنتیـک “ دانشـگاه صـنعتی اصفهان 1375

6- حسینیان ، سید حسین و وحیدی ، بهروز “ بهینه کردن تلفات در سیستمهای توزیع با استفاده از خازن “ اولین کنفرانس شبکه‌های توزیع 1370

7- معصومی ، حمید و معمار دو قلعه ، علی “ تعیین بهینه ظرفیت و محل خازن در سیستمهای توزیع “ سومین کنفرانس شبکه‌های توزیع 1372