بهینه سازی محل و مقدار خازنهای شنت در شبکه شعاعی جهت کاهش تلفات

همایون برهمندپور
مرکز تحقیقات نیرو (بخش توزیع)

چکیده :

یکی ازجنبه های مهم طراحی شبکه های توزیع ،طراحی بهینه خازنهای شنت در شبکه بمنظور جبران جریان راکتیو بارها وخطوط در سطوح بار مختلف است.اصولا دو عامل شعاعی بودن شبکه های توزیع و بالا بودن نسبت مقاومت به راکتانس القایی خطوط در آنها نسبت به شبکه انتقال ، باعث افزایش تلفات در این شبکه ها نسبت به شبکه انتقال میگردد .دراین مقاله روشی جهت طراحی بهینه محل و مقدار خازنهای شنت دائم در شبکه های شعاعی و از یکسو تغذیه بمنظور کاهش تلفات شبکه و با قیدمحدودیتهای فنی و عملی موجود ارائه گردیده است.

شرح مقاله :

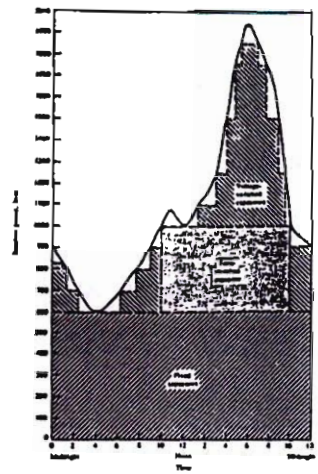
خازنهای مورد کاربرد در شبکه های توزیع ،بر حسب نحوه ورود به شبکه ،به سه دسته مهم قابل تقسیم میباشند.[۱]

۱ـ خازنهای دائم

۲ـ خازنهای غیر دائم (قطع و وصل زمانی)

۳ـ خازنهای کنترل شونده (توسط ولتاژ،جریان و یا ضریب قدرت)

در شکل ۱ نحوه عملکرد هر یک از این سه دسته خازن بر روی منحنی تغییرات بار روزانه دیده میشود:



شکل ۱

مطابق شکل ۱ ،خازنهای دائم برای بار پایه شبکه طراحی میگردند و همیشه در مدار قرار دارند. در مقابل خازنهای غیر دائم برای محدوده‌ای از بار پیک در مدار قرار میگیرند.بقیه سطح زیر منحنی نیز باید توسط خازنهای کنترل شونده پر شود.

تابع هدف کلی جهت بهینه سازی محل و مقدار خازنها،توان تلفاتی شبکه میباشد.در بهینه سازی تابع مورد نظر،محدودیتهای فنی مانند عدم اضافه ولتاژ شینه ها،محدودیتهای عملی مانند عدم امکان نصب خازن بر روی بعضی از شینه ها ومحدودیتهای اقتصادی مانندهزینه نصب و نگهداری خازنها باید مورد توجه قرار گیرد.

روشهای مختلف و متعددی جهت بهینه سازی محل و مقدار خازنهای شنت در شبکه های شعاعی ارائه گردیده است که تعدادی از آنها در مراجع این مقاله آورده شده است .یکی از روشهای عمومی در این زمینه، روشی است که در مرجع [۷] جهت فیدرهای شعاعی با بار توزیع شده یکنواخت بیان شده است . محدودیتها و نقایص عمده این روش را میتوان بترتیب اهمیت بصورت زیر عنوان کرد:

۱- محل تزریق جریانهای خازنی در حالت عملی محدود به پستهای شبکه میگردد و بنابراین تعیین محل نصب خازن بصورت متغیر پیوسته‌ای از فاصله بی معنی است .

۲- با تزریق جریان خازنی ،نقطه کار شبکه و در نتیجه جریانهای راکتیو بار تغییر می نمایند که باعث تغییر مجدد در نتیجه محاسبات میگردد.

۳- چنین روشی برای تحلیل‌شبکه‌های شعاعی با انشعابات‌جانبی‌ناتوان است.

۴- درصورتیکه نتوان بار فیدرهای موجود در شبکه رابه صورت پیوسته و

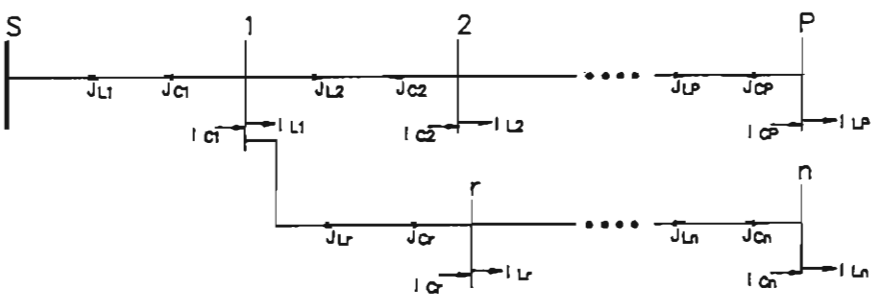
یکنواخت مدل نمود و نیاز به مدلسازی بارهای نقطه‌ای در شبکه باشد ،روش مذکور به کار نمی‌آید.

۵- در این روش محدودیتهای ناشی از اضافه ولتاژ ومحدودیتهای جریانهای خازنی تزریقی در شینه ها و نیز محدودیت هزینه نصب و نگهداری خازنها منظور نمیگردد.

روشی که در این مقاله ارائه شده است ،محل و مقدار خازنهای بهینه دائم در شبکه های شعاعی و از یکسو تغذیه را با غلبه بر محدودیتها و نقایص فوق بدست میدهد.

اصول روابط ریاضی :

شبکه شعاعی شکل ۲ در نظر گرفته میشود:



شکل ۲

در این شکل ،نمادهای IL،Ic،JL و Jc بترتیب جریانهای راکتیو بار و تزریقی خازنی در شینه ها و اتصالات شبکه میباشند.یکی از خصوصیات منحصر به فرد شبکه های شعاعی وازیکسو تغذیه ، تناظر یک به یک بین جریانهای تزریقی به شینه ها و جریانهای اتصالات شبکه است .به بیان دیگر در این شبکه ها فقط توسط قانون جریان کیرشف میتوان از روی جریانهای تزریقی شینه ها، جریانهای اتصالات را بدست آورد.خاصیت فوق را میتوان بصورت روابط ریاضی زیر نمایش داد:

$$J_{Li} = \sum_{j=1}^{n} C_{ij}^{-1} I_{Lj} \qquad (۱-a)$$

$$I_{Li} = \sum_{j=1}^{n} C_{ij} J_{Lj} \qquad (۱-b)$$

$$J_{ci} = \sum_{j=1}^{n} C_{ij}^{-1} I_{cj} \qquad (۱-c)$$

$$I_{ci} = \sum_{j=1}^{n} C_{ij} J_{cj} \qquad (۱-d)$$

که در آن C ماتریس اتصالات شبکه است .

از آنجا که باتزریق جریان خازنی ،تنها مؤلفه راکتیو جریان بار تغییر میکند،رابطه کاهش توان تلفاتی شبکه برای قبل و بعد از نصب خازن به صورت زیر نوشته میشود:

$$\Delta P_{loss} = \sum_{i=1}^{n} J_{Li}^{2} R_i - \sum_{i=1}^{n} (J_{Li} - J_{ci})^2 R_i = \sum_{i=1}^{n} (2J_{Li} J_{ci} - J_{ci}^{2}) R_i \qquad (۲)$$

Ri مقاومت اتصال i است .

حال در صورتیکه میزان تزریق جریان خازنی در تعدادی از شینه ها برابر مقدار از پیش تعیین شده‌ای باشد (خصوصاً مقدار صفر جهت نمایش عدم امکان نصب خازن)،تابع هدف رابطه فوق باید با در نظر گرفتن این محدودیت مورد بهینه سازی قرار گیرد.بنابراین تابع زیرکه لاگرانژین تابع تلفات با قید محدودیت بالا میباشد برای بهینه سازی بکار میرود.

$$LG = \Delta P_{loss} + \sum_{i \in A} \lambda_i (I_{ci} - I^{o}_{ci}) \qquad (۳-a)$$

که در آن λiمتغیر کمکی و I^{o}_{ci} ،مقدار تثبیت شده جریان خازنی است ،A نیز مجموعه شینه های دارای محدودیت تزریق است .با افزودن تابع هزینه مربوط به نصب خازن در شینه های شبکه،شکل کلی تابع هدف جهت بهینه سازی بصورت زیر حاصل میگردد.

$$f = K_p \Delta P_{loss} + \sum_{i \in C} K_{ci} I_{ci} + \sum_{i \in A} \lambda_i (I_{ci} - I^{o}_{ci}) \qquad (۳-b)$$

در رابطه بالا،Kp هزینه واحد توان(انرژی) تلفاتی در طی عمر تاسیسات خازنی ،Kc هزینه مربوط به نصب و نگهداری واحد ظرفیت خازنی (و یا واحد توان راکتیو خازنی)و C مجموعه شینه های دارای خازن است .

با محاسبه مشتقات جزیی تابع هدف رابطه (۳-b) نسبت به دو سری متغیر Jc و λ و برابر صفر قرار دادن این مشتقات ،در نهایت رابطه ماتریسی زیر جهت یافتن این دو سری متغیر بدست می آید.

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_{c1} \\ J_{c2} \\ \vdots \\ J_{cn} \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J'_{L1} \\ J'_{L2} \\ \vdots \\ J'_{Ln} \\ I^e_{c1} \\ I^e_{c2} \\ \vdots \\ I^e_{cm} \end{bmatrix} \qquad (۴)$$

که در آن زیر ماتریسهای A1 تا A4 و بردار J'_L تعاریف زیر را دارند.

$$A1 = U \qquad \text{(ماتریس یکه)} \qquad (۵\text{-a})$$

$$A2_{ij} = -C_{ji}/(2R_i) \qquad (۵\text{-b})$$

$$A3_{ij} = C_{ij} \qquad (۵\text{-c})$$

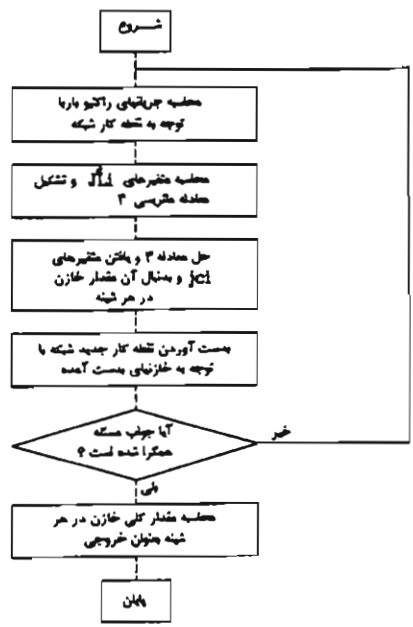
$$A4 = 0 \qquad \text{(ماتریس صفر)} \qquad (۵\text{-d})$$

$$J'_{Li} = J_{Li} - 1/(2R_i) \sum_{j \in C} K_{cj} C_{ji} \qquad (۵\text{-e})$$

پارامتر m ،برابر تعداد شینه های با جریان خازنی تثبیت شده است .با حل دستگاه معادلات خطی رابطه (۴) توسط روشهای متعارف ،مقادیر متغیرهای Jc بدست می آیند که با کمک رابطه (۱-d) ،متغیرهای Ic قابل محاسبه میباشند.

از آنجا که با تزریق جریانهای خازنی بدست آمده از حل دستگاه فوق ،نقطه کار شبکه و در نتیجه جریانهای راکتیو بار تغییر میکنند،جریانهای بدست آمده نیاز به تصحیح مجدد دارند.این ویژگی باعث میگردد که الگوریتم تعیین

خازنهای بهینه در شبکه ،روشی تکراری باشد که در آن در هر تکرار پس از یافتن جریانهای خازنی بهینه و نصب ادمیتانسهای خازنی مورد نیاز، نقطه کار جدید شبکه توسط روشهای سریع پخش بار و خاص سیستمهای شعاعی یافته شود.یکی از این روشهای سریع پخش بار که بر اساس ماتریس امپدانس شبکه استوارست و درالگوریتم موردبحث بکارگرفته‌شده ،درمرجع [۸] آورده‌شده است .به‌این صورت فلوچارت تکراری یافتن‌خازنهای بهینه درشبکه مطابق شکل۳ میباشد.



شکل ۳

محدودیتهای بهینه سازی :

محدودیتهای کلی در روند بهینه سازی ،به سه دسته کلی تقسیم میگردند:

۱ـ محدودیت اضافه ولتاژ شینه ها

۲ـ محدودیت جریانهای خازنی تزریقی شینه ها

۳ـ محدودیت اقتصادی (هزینه نصب و نگهداری خازنها)

چنانچه در یکی از تکرارهای الگوریتم توصیف شده در فلوچارت شکل ۳ ، دامنه ولتاژ یک یا چند شینه از حد مجاز خود تجاوز نماید ،لازم است جریان خازنی تزریقی در این شینه ها در آخرین حد مجاز تثبیت گردد.به این ترتیب این شینه ها بعنوان شینه های دارای محدودیت در تابع هدف رابطه (b-۳) و رابطه ماتریسی (۴) وارد میگردند.همین مسئله در مورد اضافه جریان خازنی نیز وجود دارد.هزینه نصب و نگهداری خازنها نیز با توجه به رابطه بین میزان ادمیتانس خازنی و هزینه های ثابت و متغیر خازن گذاری بسهولت در تابع هدف رابطه (b-۳) قابل اعمال است.نمونه ساده‌ای از تابع هزینه خازن گذاری که در آن هزینه مذکور مستقیماً متناسب با توان راکتیو خازنی میباشد، در قسمت قبل ارائه گردید.در صورتیکه تابع هزینه شکل مفصلتر و پیچیده تری داشته باشد،نحوه عملکرد مشابه است .

بر اساس الگوریتم ریاضی ارائه شده در این مقاله ،نرم افزاری کامپیوتری توسعه یافته است که توسط آن محل و مقدار بهینه ادمیتانسهای خازنی جهت بهینه سازی تلفات در یک شبکه شعاعی و با قید محدودیتهای فوق حاصل میگردند.

مثال :

این مثال مربوط به شبکه تستی است که در اکثر مقالات معتبر معرفی شده است.([۲] و[۴] و[۵] و[۶]) اطلاعات این شبکه را میتوان در مرجع [۵] یافت . ضرایب هزینه برای این شبکه در مرجع مورد نظر چنین معرفی شده است :

K_p = 120 \$/KW K_e = .03 \$/KWh

K_c = 5 \$/KVAR T = 1 year

بعلاوه در مرجع فوق فرض شده است که تنها در شینه های ۱۳،۱۵،۱۹،۲۳و۲۵ امکان نصب خازن موجود است.به منظور مقایسه نتایج بدست آمده از روش اخیر با روش مورد بحث در مرجع [۵] ،در این مثال نیز مفروضات بالا مد نظر واقع شده است .جدول زیر مقایسه‌ای بین نتایج این دو روش را نشان میدهد:

VARIABLE	ALGORITM IN [5]	PROPOSED ALGORITM
Qc13 (KVAR)	856	943
Qc15 (")	790	760
Qc19 (")	409	553
Qc23 (")	729	0
Qc25 (")	567	849
TOTAL CAPACITOR	3351	3105
LOSS BEFORE COMPENSATION (KW)	1213	1213
LOSS AFTER COMPENSATION (KW)	1042	1036
SAVING ($)	47870	52230
Vmin (pu)	.891	.895

جدول ۱

نتیجه گیری :

در این مقاله روشی جهت تعیین محل و مقدار خازنهای دائم در شبکه شعاعی ارائه گردید.از آنجا که در این روش تابع هدف بصورت یک رابطه بسته بر حسب متغیرهای شبکه و کنترلی بیان میگردد،این قابلیت وجود دارد که صور مختلفی از تابع هدف را با در نظر گرفتن مزایای متنوع دیگری از نصب خازن در نظر گرفت . از این موارد میتوان به افزایش ظرفیت پست مرجع و خالی شدن هادیهای شبکه از جریان راکتیو و در نتیجه بالا رفتن ظرفیت سیستم و نیز جبران جریان راکتیو ناشی از اجزاء القایی خطوط اشاره نمود[۸]. الگوریتم تعیین خازنها نیز بالنسبه آسان و قابل برنامه ریزی کامپیوتری با تعداد نسبتاً زیاد شینه است.نتایج اخذ شده از این الگوریتم بوسیله اجرای متعدد آن جهت شبکه های نمونه، صحت و دقت مناسب آنرا آشکار ساخته است.

مراجع

1- "Electrical Power Distribution System Engineering"

Turan Gonen , 1986

2- "Optimal Capacitor Placement And Sizing On Radial Distribution Systems"

Mestu E.Baran , Felix F Wu

IEEE VOL 4 No 1 1989 pp.725-743

3- "Optimal Capacitor Placement And Sizing In Distribution Systems"
Hsiao - Dong Chiang , Jin-Cheng Wang , Orville Ccocking
IEEE VOL 5 No 2 1990 pp.634-649

4- "Volt/Var Control On Distribution Systems With Lateral Branches Using Shunt Capacitors And Voltage Regulators"
S.Civanlar , J.J.Grainger
IEEE Vol-104 1985 pp.3278-3297

5- "Piecewise Method For Optimal Sizing Of Distribution Capacitors"
N.Iwan Santoso , Owen T. Tan
International Journal Of Energy Systems, VOL.12,No.3,1992
pp.115-118

۶-"نصب بهینه خازنهای شابت و متغیر موازی در خطوط توزیع‌انرژی " مسعود علی اکبر گلکار - سومین کنفرانس سراسری برق ۱۳۶۷

۷- " تعیین بهینه ظرفیت و محل نصب خازن در سیستمهای توزیع " حمید معصومی - علی معمار دو قلعه - سومین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق ۱۳۷۲

۸- "بهینه سازی محل و مقدار خازنهای دائم و غیر دائم در شبکه شعاعی به منظور کاهش تلفات شبکه ", گزارش پروژه ،مرکز تحقیقات نیرو -آبان ماه ۱۳۷۱