منافع اقتصادی نصب خازن درشبکه‌های‌توزیع

حسین‌حاتمی

برق‌منطقه‌ای خراسان ـ بجنورد

بارهادرسیستم‌قدرت شامل دو مولفه‌هستند ۱)قدرت اکتیو ۲)قدرت راکتیو قدرت اکتیو رافقط درنیروگاه میتوان تولیدکرد اما قدرت راکتیو رامیتوان توسط‌نیروگاه ویاخازن تامین‌کرد ، مسلم‌است‌که‌خازنهای قدرت،اقتصادیترین‌منبع برای‌تامین توان راکتیو مورد نیاز سیستم است ، وقتی قدرت راکتیو توسط‌نیروگاهها تامین شود تمام‌تجهیزات سیستم ازقبیل ژنراتورها ، ترانسفورماتورها خطوط انتقال وتوزیع ، سوییچ گیرها وتجهیزات حفاظتی ازنظر ظرفیت وبعبارتی‌قدرت باید رشدکنند خازنهامیتوانند باکاهش انتقال توان راکتیو خطوط بعداز ژنراتور تامحل نصب خازن این وضعیت را بهبودبخشند ، جریان خطوط ازمحل نصب خازن درتمام خطوط منتهی به‌تجهیزات تولید کننده‌کاهش میابد ودرنتیجه‌تلفات وبار خط درخطوط توزیع و پستهای ترانسفورماتور وخطوط انتقال کاهش میابد .

متناسب باضریب قدرت تصحیح نشده سیستم ، نصب‌خازن میتواند ظرفیت ژنراتورها وپستهاراافزایش دهد وتوانایی آنهارا برای تامین باراضافی تا ۳۰٪ فراهم آورد ونیزتوانائیهای مدار را ازنقطه‌نظر تنظیم ولتاژ تقریبا " بین ۳۰٪ تا ۱۰۰٪ افزایش دهد .

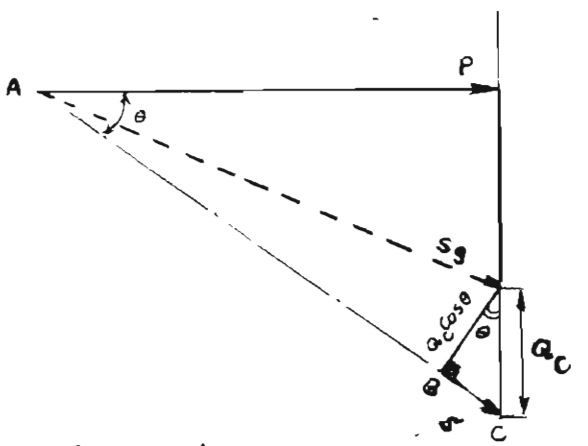
علاوه براین‌کاهش جریان درترانسفورماتورها وتجهیزات توزیع وخطوط موجب کاهش بار درتجهیزاتی که‌ازنظر کیلوولت آمپر (KVA) درمحدودیت هستند شده ولذا نصب تجهیزات جدید را به‌تاخیر می‌اندازد بطور کلی منفعت اقتصادی که‌ازنصب خازن بدست می‌آید در زیر خلاصه شده‌است :

۱) آزاد شدن ظرفیت تولید ۲) آزاد شدن ظرفیت انتقال ۳) آزادشدن ظرفیت پستهای‌توزیع

۴)مزایای اضافی درسیستم توزیع شامل (a) کاهش تلفات انرژی (تلفات مسی) (b) کاهش افت ولتاژ ودرنتیجه بهبود تنظیم ولتاژ (c) آزاد شدن ظرفیت فیدرها وتجهیزات وابسته (d) به تعویق انداختن ویا حذف کردن هزینه‌های سرمایه‌ای مربوط به بهبود وتوسعه است (e) افزایش بازده است بخاطر بهبود ولتاژ .

مزایای ناشی از آزاد شدن ظرفیت تولید

اگر کل توان اکتیو مصرفی سیستم P وکل توان راکتیو مصرفی Q باشد انگاه میتوان شکل زیر رابرای نمایش توان اکتیو و راکتیو بکار برد، بانصب خازن مقداری ازتوان راکتیو مورد نیاز توسط خازن تامین شده ودر کل باعث کاهش ظرفیت تولید از S به S_g میگردد :



$$S = AB + BC = (S_g^2 - Q_c^2 \cos^2\theta)^{\frac{1}{2}} + Q_c \sin\theta$$

$$\Delta S = S - S_g = (S_g^2 - Q_c^2 \cos^2\theta)^{\frac{1}{2}} + Q_c \sin\theta - S_g$$

$$\Delta S_g = \left[\left(1 - \frac{Q_c^2 \cos^2\theta}{S_g^2}\right) + \frac{Q_c \sin\theta}{S_g} - 1\right] S_g$$

برای مقادیر کوچك Q_c , $Q_c \leq 0.1 S_g$ میتوان گفت که $AB \simeq S_g$ است لذا :

$$\Delta S_g = Q_c \cdot \sin\theta \qquad Q_c \leq 0.1\, S_g$$

قدرت راکتیو تولیدی توسط خازنها = Q_c ظرفیت تولید $S_g = KVA$

ضریب قدرت اولیه قبل ازنصب خازن = $\cos\theta$ ظرفیت آزادشده $\Delta S_g = KVA$

ظرفیت آزادشده تولید ناشی از نصب خازن رامیتوان بطور تقریبی از رابطه زیر محاسبه کرد :

$$\Delta S_g = \begin{cases} [(1 - \frac{Q_c^2 \cos^2\theta}{S_g^2})^{\frac{1}{2}} + \frac{Q_c \sin\theta}{S_g} - 1]\, S_g & Q_c > 0.1\, S_g \\ Q_c \sin\theta & Q_c \leq 0.1\, S_g \end{cases}$$

ظرفیت تولید $S_g = KVA$ • ظرفیت آزادشده تولید نسبت به ماکزیمم ظرفیت تولید درضریب قدرت

ΔS_g ==

ضریب قدرت اولیه قبل‌از استفاده ازخازن == $\cos\theta$

قدرت راکتیو ناشی‌از نصب خازن $Q_c = Kvar$ ==

بنابراین سود سالیانه ناشی از آزاد شدن ظرفیت تولید توسط رابطه زیر بیان میشود .

$\Delta \$_g = \Delta S_g \cdot C_g \cdot i_g$

مزایای سالیانه ناشی‌از آزاد شد ظرفیت تولید $\Delta \$_g = \$ / yr$

ظرفیت آزادشده‌تولیدنسبت به‌ماکزیمم ظرفیت تولید درضریب قدرت اولیه $\Delta S_g = (KVA)$

نرخ بهره‌ثابت سالیانه مربوط به تولید = i_g . بهای‌تولید (بیشترین‌مقدار) $C_g = \$ / KVA$

مـــــزایا ی‌ناشی‌از آزادشدن‌ظرفیت خطوط‌انتقال :

ظرفیت آزادشده‌خطوط‌انتقال ناشی‌ازنصب خازن‌ها رامیتوان از رابطه زیر محاسبه‌کرد :

$$\Delta S_t = \begin{cases} [(1 - \frac{Q_c^2 \cos^2\theta}{S_t^2}) + \frac{Q_c^2 \sin\theta}{S_t} - 1]\, S_t & Q_c > 0.1\, S_t \\ Q_c \sin\theta & Q_c \leq 0.1\, S_t \end{cases}$$

ظرفیت آزاد شده خطوط انتقال نسبت به‌ظرفیت خطوط انتقال درضریب قدرت اولیه $\Delta S_t = KVA$

ظرفیت خطوط انتقال $S_t = KVA$

بنابراین منافع سالیانه ناشی ازآزاد شدن ظرفیت‌خطوط انتقال توسط رابطه زیر بیان‌میشود :

$\Delta \$_t = \Delta S_t \cdot C_t \cdot i_t$

منافع سالیانه‌ناشی‌ازآزادشدن‌ظرفیت خطوط انتقال $\Delta \$_t = \$ / yr$

ظرفیت آزادشده‌خطوط انتقال نسبت به‌ظرفیت خطوط انتقال درضریب قدرت اولیه $\Delta \$_t = KVA$

هزینه‌خطوط انتقال ووسایل مربوطه $C_t = \$/KVA$

نرخ بهره ثابت سالیانه مربوط به خطوط انتقال $i_t =$

مزایای‌ناشی‌ازآزاد شدن ظرفیت پستهای توزیع :

ظرفیت آزاد شده‌پستهای توزیع ناشی‌ازنصب خازن رامیتوان مشابه آنچه دربخـــــــش ۱

عنوان شد ازرابطه زیرمعین کرد:

$$\Delta S_S = \begin{cases} [(1 - \frac{Q_C^2 \cos^2\theta}{S_S^2})^{\frac{1}{2}} + \frac{Q_C \sin\theta}{S_S} - 1]\, S_S & Q_C > 0.1 S_C \\ Q_C \cdot \sin\theta & Q_C \leq 0.1\, S_C \end{cases}$$

ظرفیت آزاد شده پستهای توزیع نسبت به ظرفیت آنها درضریب قدرت اولیه $\Delta S_S = KVA$

ظرفیت پستهای توزیع $S_S = KVA$

بنابراین منافع سالیانه ناشی از آزادسازی ظرفیت پستهای توزیع از رابطه زیرمحاسبه میشود:

$$\Delta \$_S = \Delta S_S \cdot C_S \cdot i_S$$

منافع سالیانه ناشی از آزاد سازی ظرفیت پستهای توزیع $\Delta \$_S = \$ / yr$

ظرفیت آزادشده پستهای توزیع نسبت به ظرفیت آنها درضریب قدرت اولیه $\Delta S_S = KVA$

نرخ بهره ثابت سالیانه مربوط به پستهای توزیع i_S هزینه پستهای توزیع ووسایل مربوطه C_S

مزایای ناشی از کاهش تلفات انرژی

تلفات انرژی سالیانه بعنوان نتیجه مستقیمی ازکاهش تلفات می ناشی ازنصب خازن کاهش میابد انرژی ذخیره شده باین روش بدست میآید:

$$\Delta ACE = \frac{Q_{C,3ph} \cdot R(2S_{L,3ph} \cdot \sin\theta - Q_{C,3ph})\, 8760}{1000\, V_{l-l}^2} \quad KWH / yr$$

$KVAR$

قدرت راکتیو سه فازناشی ازنصب خازن $Q_{C,3ph}$ = کاهش انرژی سالیانه $\Delta ACE = KWH/yr$

توان ظاهری بار $S_{L,3ph}$ ، کل مقاومت خط تا مرکز بار R

ولتاژ خط به خط V_{l-l} . سینوس زاویه ضریب قدرت اولیه (تصحیح نشده) $\sin\theta$

اثبات رابطه : باتوجه به اینکه جریان راکتیو عبوری ازفیدر بانصب خازن کاهش میابد لذا تلفات انرژی (RI^2) نیزکاهش میابد به عبارت دیگر بانصب خازن جریان راکتیو از $I \sin\theta$ آوَرد :

$$\Delta ACE = \text{کاهش تلفات انرژی سالیانه} = 3[RI^2 \cdot \sin^2\theta - R(I\sin\theta - I_C)^2]\, 8760$$

$$= 3[RI^2 \cdot \sin^2\theta - RI^2\sin^2\theta + 2RII_C \sin\theta - RI_C^2]\, 8760$$

$$= 3[2RII_C \cdot \sin\theta - RI_C^2]\, 8760$$

$$= 3RI_C[2I\sin\theta - I_C]\, 8760$$

$$= \frac{3RQ_{C,3ph}}{\sqrt{3}\, V_{l-l}} [\frac{2 S_{L,3ph} \cdot \sin\theta}{\sqrt{3}\, V_{l-l}} - \frac{Q_{C,3ph}}{\sqrt{3}\, V_{l-l}}] = \frac{Q_{C,3ph} R(2S_{L,3ph}\sin\theta - Q_{C,3ph})\, 8760}{1000\, V_{l-l}^2} = \frac{KWH}{yr}$$

توان ظاهری بار = $S_{L,3ph}$ کاهش انرژی سالیانه برحسب $\Delta ACE = KWH/yr$

سینوس زاویه‌ضریب باقدرت اولیه $Sin\ \theta$= قدرت راکتیوتولیدی‌سه‌فازناشی‌ازنصب‌خازنها= $Q_{c,3ph}$

ولتاژ خط به‌خط = V_{l-l} کل‌مقاومت فیدر تامرکز بار R

مزایای‌سالیانه ناشی‌ازکاهش تلفات انرژی ازرابطه زیر بدست می‌آید :

$$\Delta \$ = \Delta ACE \times EC$$

هزینه‌انرژی EC= $/KW$ مزایای‌سالیانی‌ناشی‌ازکاهش انرژی $\Delta \$_{ACE}$ = $ / yr

مزایای‌ناشی‌ازکاهش افت ولتاژ

مزایای ناشی‌زیر ازنصب خازن دریك مدار میتوانند بدست آیند :

۱) جریان موثر خط‌کم شده‌ونتیجتا " افت ولتاژ ناشی‌از RI و X_1I کاهش میابند وبه‌طبع، تنظیم ولتاژ بهتری‌خواهیم‌داشت .

۲) بهبود ضریب قدرت ، اثرافت ولتاژ ناشی از جریان راکتیو راکاهش میدهد .

درصد افت ولتاژ دریك مدار مفروض توسط رابطه زیر بیان میشود :

$$\% VD = \frac{S_{1,3ph}\ (r \cos\theta + X \sin\theta)\ L}{10\ V^2_{l-l}}$$

قدرت ظاهری بارسه فاز $S_{1,3ph}$ = KVA درصد افت ولتاژ $\% VD$

راکتانس واحد طول‌خط X = Ω / km مقاومت واحد طول خط r = Ω/km

ولتاژ خط به خط V_{l-l} = kv طول هادی انتقال L = km

افت ولتاژی که ازرابطه فوق محاسبه میشود مبنای برای کاربرد خازن است ، بعداز کاربردخازن سیستم افزایش ولتاژ یخواهدداشت‌که‌بخاطر بهبود ضریب قدرت وکاهش مقدارموثر جریان خط است .

بنابراین افت ولتاژ ناشی‌از RI ، X_1I کم‌خواهدشد ، مقدار تقریبی درصد افزایش ولتاژ درطول خط عبارت است از

$$\% VR = \frac{Q_{c,3ph}\ X.L}{10\ V^2_{l-l}}$$

همچنین یك پدید افزایش ولتاژ درهرترانسفورماتور درحد فاصل منبع تولید تا خازنها رخ میدهد که‌بخاطر کاربرداین‌خازنها است این‌افزایش ولتاژ مستقل ا زبار وضریب قدرت‌خط‌است ومیتوان آنرا بصورت زیر بیان کرد :

$$\% VR_t = \left(\frac{Q_{c,3ph}}{S_{t,3ph}}\right) X_t$$

مقدارنامی‌ظرفیت‌ترانسفورماتور = $S_{t,3ph}$ KVA درصدافزایش ولتاژ درترانسفورماتور $\% VR_t$

درصد راکتانس ترانسفورماتور (تقریبا " برابر با امپدانس ثبت شده در پلاك) X_t

مزایای ناشی از آزاد شدن ظرفیت فیدرها

بطورکلی ظرفیت فیدرها توسط مقدار درصد افت ولتاژ مجاز، بیشتر ازمحدودیتهای حرارتی محدود میشود لذانصب خازن‌ها باعث کاهش افت ولتاژوبالا رفتن ظرفیت فیدر میگردد، بدون درنظرگرفتن آزاد سازی رگولاتورها وظرفیت پستها، این آزاد سازی ظرفیت ناشی از نصب خازن توسط رابطه زیرمحاسبه میشود:

$$\Delta S_F = \frac{(Q_{C,3ph})x}{x\sin\theta + r\cos\theta}$$

لذا سودسالیانه ناشی ازآزاد شدن ظرفیت فیدرها طبق رابطه زیرمحاسبه میشود:

$$\Delta \$_F = \Delta S_F \cdot C_F \cdot i'_F$$

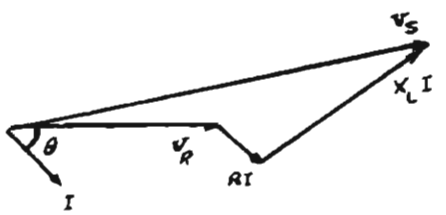
هزینه‌نصب فیدر $C_F = \$/KVA$ منافع سالیانه‌ناشی‌ازآزادسازی ظرفیت‌فیدرها $\Delta \$_F = \$/Yr$

نرخ بهره‌ثابت سالیانه‌مربوطبه فیدر i'_F آزاد سازی ظرفیت فیدر $\Delta S_F = KVA$

اثبات رابطه

شکل‌مقابل‌دیاگرام برداری‌یك فید ر رانشان‌میدهد

افت ولتاژ تقریبی درطول فیدر از رابطه زیربدست میآید:



$$VD = RI\cos\theta + X_L I\sin\theta = I(r\cos\theta + x\sin\theta)L$$

$$VD = [S_{L,3ph}(r\cos\theta + x\sin\theta)\ell\,]/\sqrt{3}\,V_{L-L}$$

$$\%VD = [VD/(\frac{1000\,V_{L-L}}{\sqrt{3}})] \times 100 = VD\,(10\,V_{L-L}/\sqrt{3})$$

$$\%VD = [S_{L,3ph}(r\cos\theta + x\sin\theta)L\,] / 10\,V^2_{L-L}$$

سود مالی‌ناشی‌از بهبود ولتاژ:

درآمدشرکتهای برق‌بعنوان نتیجه‌ای ازافزایش کیلوو ات ساعت انرژی ناشی‌ازایجادافزایش ولتاژ یك سیستم با بکارگیری بانکهای خازنی تصحیح کننده‌افزایش میبابد ،این‌مسئله مخصوصا" برای فیدرهای‌تغذیه کننده مصارف خانگی صادق‌است.

افزایش انرژی مصرفی‌وابسته به‌تجهیزات مورد استفاده‌است ، برای‌مثال مصرف انرژی برای‌روشنایی باتوان‌دوم‌ولتاژ افزایش میبابد.

درجدول ذیل تغییرات افزایش‌کیلووات ساعت انرژی (به‌درصد) به‌عنوان‌تابعی‌ازنسبت ولتاژ متوسط قبل‌ازنصب خازن ارائه شده است لذا میتوان افزایش درآمد ناشی ازافزایش‌کیلووات ساعت انرژی‌مصرفی راتوسط رابطه زیرمحاسبه‌کرد:

$\Delta \$_{BEC} = \Delta BEC \times BEC \times EC$

$\Delta \$_{BEC}$ = افزایش درآمد سالیانه ناشی از افزایش کیلووات ساعت انرژی =

ΔBEC = تغییرات افزایش کیلووات ساعت انرژی به درصد =

$BEC = \frac{kwH}{yr}$ = کیلووات ساعت انرژی مصرفی سالیانه اصلی =

جدول :

V_{av} , after	ΔkwH , Increase
V_{av} , before	%
1,00	0
1,05	8
1,10	16
1,15	25
1,20	34
1,25	43
1,30	52

جمع سود مالی ناشی از نصب خازن :

بنابراین جمع سود مالی ناشی از نصب خازن را میتوان از رابطه زیر حساب کرد :

$$\Sigma \Delta \$ = \Delta \$_g + \Delta \$_t + \Delta \$_s + \Delta \$_{ACE} + \Delta \$_{BEC} + \Delta S_F$$

$\Delta \$_G + \Delta \$_t + \Delta \$_s + \Delta \$_F$ = سود ناشی از کاهش مصرف =

$\Delta \$_{ACE}$ = سود ناشی از کاهش انرژی =

$\Delta \$_{BEC}$ = سود ناشی از افزایش مصرف =

مجموع سود بدست آمده از معامله منکور باید با مجموع هزینه نصب بانکهای خازنی مقایسه شود .

مجموع هزینه نصب بانکهای خازنی در رابطه زیر حساب میشود :

$$\Delta EIC_c = \Delta Q_c \cdot I \cdot i_c$$

هزینه نصب بانکهای خازنی: $IC_c = \frac{\$}{kvar}$ معادل سالیانه مجموع هزینه نصب بانک خازن : $\Delta EIC_c = \frac{\$}{yr}$

نرخ بهره ثابت سالیانه مربوط به خازنها (افزایش قیمت) : i_c

تعداد مورد نیاز بانک خازنی اضافی : $\Delta Q_c = kvar$

بطور خلاصه خازنها میتوانند درآمد صنعت برق را با کاهش هزینه وسایل بهبود بخشند ، با درنظر گرفتن هزینه نیروگاهها و هزینه رو به رشد سوخت، برای شرکتهای برق مفید است که سرمایه گذاری را برای نیروگاهها به تعویق انداخته و یا حذف کنند .

لذا استفاده از خازنها با توجه به آزادسازی ظرفیت سیستم این امکان را فراهم می آورد تا بدون سرمایه گذاری برای نیروگاهها پاسخگوی مقداری از مشترکین جدید باشیم .

امروزه شرکتهای برق در آمریکا تقریبا " به ازاء هر 2 kw قدرت تولیدی نصب شده 1 kvar خازنهای نصب شده دارند تا به سودهای ناشی از نصب خازن و مزایای اقتصادی آن دست یابند .

منابع :

1. Electric Power Distribution System Engineering Gonen .