چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

تعیین مکان و ظرفیت بهینه خازن در شبکه های توزیع با استفاده از روش گرادیان برداری

سید محمد مدنی
دانشگاه تهران

محمود رضا حقی فام
دانشگاه تربیت مدرس

غلامرضا صفارپور
شرکت قدس نیرو

چکیده :

معمولا" ۵ تا ۱۳ درصد توان الکتریکی درشبکه های توزیع بصورت حرارتی تلف میشود .علت این تلفات انرژی،بالابودن جریان درکابلهای فشار متوسط وضعیف در مقایسه باخطوط انتقال فشارقوی میباشد .روشهای متعددی جهت کاهش تلفات شبکه توزیع وجود دارد . یکی ازروشها ، کاهش جریان شاخه های شبکه توزیع جبران قدرت راکتیو بارهای مصرفی توسط نصب خازنهای موازی درپستهای توزیع می باشد .

ابتدا به معرفی تابع هزینه شامل هزینه تلفات انرژی ، هزینه نصب خازنهای نصب شده وهمچنین هزینه متناظربا افت ولتاژگره های شبکه توزیع می پردازیم .سپس الگوریتم مکان وظرفیت بهینه ارائه می گردد .درخاتمه مثال نمونه ومقایسه آن با روشهای دیگر آمده است .

شرح مقاله :

چون بخش اعظم تلفات سیستم های قدرت درشبکه های توزیع صورت می گیرد لذاکاهش تلفات دراین شبکه ها از اهمیت خاصی برخوردار است . یکی از روشهای مناسب در کاهش تلفات شبکه توزیع نصب خازن در پستهای توزیع میباشد .از آنجاکه نصب خازن هزینه دربردارد لذا این عمل باید به گونه ای انجام شود که اضافه برکاهش افت ولتاژ گره ها و تلفات ازنظر اقتصادی نیز مقرون بصرفه باشد .

جهت بر آوردن اهداف فوق تابع هزینه یا هدف تعریف میشودکه در آن هزینه نصب خازن درشبکه ها ، هزینه کاهش تلفات شبکه وهمچنین تاثیرکاهش افت ولتاژ گره ها درنظر گرفته شده است .

در الگوریتم بهینه سازی ارائه شده در هر مرحله حساسیت گره ها نسبت به تزریق بار راکتیو محاسبه شده ،مقدار کل توان تزریقی به شبکه بر آوردوسپس درهرگره متناسب باحساسیت آن بار راکتیو تزریق میگردد این کارتاجایی که دیگردر اثرتزریق توان راکتیو کاهش هزینه قابل توجهی نداشته باشیم ادامه مییابد .مزیت این روش بر روشهای دیگر موجود (۱)این است که اولا" درهرمرحله بار راکتیوبه تمامی گره های شبکه تزریق میگردد وبدینوسیله ازتعدادحلقه های محاسبات بشدت کاسته میشود .ثانیا" درهر مرحله باتوجه به طول بردارگرادیان تابع هزینه مقدار بار راکتیوتزریقی کل تعیین میگرددکه این کارباعث میشود که درحلقه های اولیه مقدارخازن زیادتری به شبکه تزریق گردد ومدارکل حلقه ها بازهم کاهش یابد .

۱ـ تابع هزینه مسئله بهینه سازی

تابع هزینه مورد استفاده در این مقاله بصورت زیر میباشد :

$$F(Q1,Q2,\ldots,Qn)=KLoss \sum Loss+KQ\sum -(Qi-Qoi)+Kv \sum (1-vi)^2$$

که در آن :

Qi = توان راکتیو مصرفی باس iام
$\sum$LOSS= کل تلفات شاخه های شبکه توزیع
Qoi = توان راکتیو باس iام قبل ازپروسه خازن گذاری
(Qi-Qoi) = مقدار توان راکتیو (خازن)تزریقی به باسi ام
(1-Vi)^2 = مربع افت ولتاژ ویا اضافه ولتاژ باس i ام
KLoss = ضریب وزنی تلفات
KQ = ضریب وزنی هزینه خازن
KV = ضریب وزنی افت ولتاژهای شبکه توزیع

تلفات کل شاخه های شبکه توزیع پس ازهربارپخش باربصورت زیر انجام میگیرد .

$$LOSS=\sum PG-\sum PD$$

که در آن :

$\sum$PG= مقدار کل توان تحویلی به شبکه توزیع
$\sum$PD= مقدار کل توان مصرفی بارها

مقادیرولتاژگره های شبکه توزیع (vi)درهرمرحله با انجام پخش بارمحاسبه میگرددضریب وزنی تلفات با استفاده ازمقادیرهزینه دیماندانرژی (هزینه مصرفی جهت احداث نیروگاه)وهزینه جاری تلفات بصورت زیرمحاسبه میگردد .

KLOSS=CD.A(r,n)+CE

که در آن :

CD = قیمت دیماندانرژی(سرمایه گذاری اولیه واحدتوان جهت نیروگاه)
CE = قیمت واحد انرژی تلفات
r = نرخ بهره سالیانه پول
n = عمرمفید شبکه توزیع
A(r,n) = ضریب تبدیل سرمایه اولیه به هزینه سالیانه

$$A(r,n)=\frac{r}{(1+r)[(1+r)^{n}-1]}$$

همچنین ضریب وزنی هزینه خازنها بصورت زیر محاسبه میگردد :

$$KQ=CQ.A(r,n)$$

که CQ هزینه سرمایه گذاری جهت توان راکتیو تزریقی و تجهیزات جانبی.

ضریب وزن افت ولتاژها (KV)درشبکه ازروش تجربی بدست می آید .بزرگ گرفتن این ضریب تاثیر مستقیم درکاهش افت ولتاژ گره های شبکه دارد .

تبصره : اگرچه تلفات شبکه ومجموع افت ولتاژدریک شبکه توزیع مستقل از یکدیگرنمی باشند لیکن در اینجاجهت کنترل بهتر آنها دو ضریب برای آنها درنظر گرفته شده است .

۲ـ الگوریتم تعیین ظرفیت بهینه خازن درپستهای توزیع انرژی

در این الگوریتم درهرمرحله محاسبه مقداربار راکتیو تزریقی به ترتیب مراحل زیر انجام میپذیرد :

۱ـ ۲ـ محاسبه تابع هزینه جهت وضعیت موجود : جهت محاسبه تابع هزینه ابتدا باید در وضعیت موجود مطالعه پخش بار انجام گرفته و مقادیر ولتاژ گره ها و همچنین توان تحویلی گره های تولیدی محاسبه گردد .محاسبه تابع هزینه مطابق قسمت قبل میباشد .

۲ـ ۲ـ محاسبه گرادیان برداری تابع هزینه نسبت به توان راکتیو گرهها گرادیان تابع هزینه نسبت به توان راکتیو مصرفی بصورت زیرتعریف میشود

$$\nabla F=(S1,S2,....,Si....Sn)$$

که در آن حساسیت تابع هزینه نسبت به توان راکتیو مصرفی گره iام :

$$Si=\frac{aF}{aQi} \quad :$$

محاسبه عددی si بصورت زیر انجام میپذیرد .

$$Si=\frac{F(Q1,Q2,....,Qi+\Delta Qi,....,Qn)-F(Q1,Q2,....,Qn)}{\Delta Q}$$

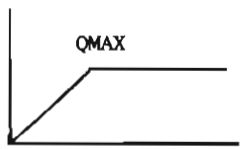
درنرم افزار کامپیوتری تهیه شده ΔQ جهت محاسبه رابطه فوق بصورت ورودی به نرم افزارداده میشود .یک مقدارنمونه جهت ΔQ برابر 0.02 P.U. میباشدبدیهی است جهت محاسبه ضریب حساسیت هرگره باید مقدارتابع هزینه جدیدی محاسبه گردد که این کارنیازمند انجام یک پخش بارمیباشد .

۳ـ ۲ـ بر آورد توان راکتیو تزریقی کل شبکه : در این مرحله ابتدا طول بردار گرادیان مطابق رابطه زیر محاسبه میگردد :

$$F = \sum Si^2$$

حال بر اساس طول بردار گرادیان مقدار کل توان راکتیو تزریقی بصورت زیر بر آورد میگردد .

Δ QTOTAL



ΔQTOTAL=

QMAX $\quad |\nabla F| > \dfrac{\Delta QMAX}{SLOPEQ}$

در غیر اینصورت $\quad SLOPEQ \times |\nabla F|$

۴ـ ۲ـ محاسبه توان راکتیو تزریقی به هر باس - پس از محاسبه توان راکتیو تزریقی کل توان راکتیو تزریقی هرگره بصورت زیر محاسبه میشود .

$$Qi = -\left(\frac{Si}{F}\right) . \Delta QTOTAL$$

$$Qi^{K+1} = Qi^{K} + Qi$$

در این حالت چنانچه Qi بزرگتر از مقدار اولیه آن شود مقدار آنرا برابر مقدار اولیه قرار می دهیم . لازم به ذکر است که محدودیتهای شبکه در این مرحله اعمال میشود .

۵ـ ۲ـ محاسبه تابع هزینه با شرایط جدید

۶ـ ۲ـ محاسبه کاهش نسبی تابع هزینه :

$$RD = (F - FO)/FO$$

که در آن :
FO = مقدار تابع هزینه قبل از تزریق توان راکتیو مرحله جدید
F = مقدار تابع هزینه بعد از تزریق توان راکتیو در مرحله جدید

۷ـ ۲ـ در این مرحله :

اگر RD>RDMIN کنترل به مرحله ۲ الگوریتم هدایت میشود .
اگر RD<RDMIN کنترل به مرحله بعدی هدایت میشود .
در اینجا RDMIN حداقل کاهش هزینه قابل ملاحظه میباشد که بصورت ورودی نرم افزار تعریف میشود (مقدار نمونه آن 0.01).

۸ـ ۲ـ تهیه خروجی نهایی

۳ـ تعیین مکان بهینه خازن

تعیین مکان خازن با دو فرض زیر به دو شکل متفاوت بشرح زیر انجام میگیرد :

ـ هزینه اولیه نصب خازن متناسب با KVAR آن باشد . با این فرض تعیین مکان خازن ساده است ، بدین صورت که فقط گره هایی جهت خازن گذاری درنظر گرفته میشوندکه مقدار بار راکتیو تزریقی آنها درروش تعیین اندازه خازن ازمقدار مشخصی (کوچکترین بلوک خازنی موجود و یا هرمقدار مورد نظرکاربر) کوچکتر نباشد .

ـ هزینه نصب اولیه اضافه بر هزینه خازن که متناسب با KVAR آن است دارای یک هزینه ثابت تجهیزات نیز باشد .

در این حالت به تابع هزینه ،هزینه ثابت فوق الذکرنیز اضافه میشود . تعیین مکان خازن بصورت زیر انجام میشود :

۱ـ ۳ـ تمامی گره های شبکه بعنوان مکان خازن درنظر گرفته شده و خازن گذاری انجام وتابع هزینه شبکه محاسبه میگردد .

۲ـ ۳ـ فرض می کنیم که گره (۱) مکان خازن تزریقی نمی باشد وبا این فرض خازن گذاری را روی بقیه گره ها انجام داده وتابع هزینه را جهت آن محاسبه می نماییم . چنانچه تابع هزینه باحذف گره فوق کاهش یابدگره فوق جهت حذف خازن گذاری کاندید میشود .

۳ـ ۳ـ مرحله ۲ را برای تمامی گره ها انجام میدهیم و گره کاندیدی که کمترین تابع هزینه متناظر را دارد انتخاب وخازن تزریقی آن برابر صفر قرارداده میشود .

۴ـ ۳ـ مراحل ۲و۳ را تاجایی که دیگر گره ای جهت حذف کاندید نشود ادامه میدهیم .

۴ـ تعیین اندازه ومکان خازن برای شبکه نمونه

الگوریتم فوق الذکر روی یک شبکه نمونه با مقادیر واقعی مورد بررسی قرارگرفته است.این بررسی دردوحالت یکی با درنظر گرفتن ضریب وزنی افت ولتاژودیگری بدون آن میباشد .

اطلاعات خطوط شبکه موردبررسی در جدول(۱)آمده است. در این شبکه موردمطالعه طول کلیه خطوط شبکه ،یک کیلومتر است.همچنین مقادیر بار اکتیو و راکتیو معرفی گره ها مطابق جدول (۲) میباشد .

لازم به ذکر است که کلیه اطلاعات جداول شامل مقاومت و اندوکتانس خطوط ،قدرت اکتیو و راکتیوبار ، قدرت راکتیو تزریقی ، توان تلفاتی ، بار راکتیو تزریقی و افت ولتاژ کل برحسب ولتاژ پایه ۲۰ کیلوولت و توان پایه 1 MVA یکه شده اند .

۴-۱ـ جبران بار راکتیو بدون درنظر گرفتن ضریب وزنی افت ولتاژ - در این قسمت ضریب وزنی افت ولتاژ KV=0 قرارداده شده و بهینه سازی فقط بر اساس هزینه تلفات وهزینه توان راکتیو توزیعی بهینه گردیده است .دیده میشود با توزیع حدود 3.7 MVAR بار راکتیو (خازن) تلفات شبکه ۲۱ درصد ومجموع افت ولتاژ های شبکه ۲ درصد کاهش یافته است . مقادیر توان راکتیو توزیعی و ولتاژ گره ها درجدول (۳)آمده است.

۴-۲ـ جبران بار راکتیو با در نظرگرفتن ضریب وزنی افت ولتاژ - در این حالت ضریب وزنی افت ولتاژ KV=1000 در نظرگرفته شده است دیده میشود که با توزیع حدود 5.2 MVAR به شبکه تلفات کل ۲۶ درصد ومجموع افت ولتاژ ها حدود ۴ درصدکاهش یافته است. مقادیر توان راکتیو توزیعی وولتاژ گره ها درجدول (۴) آمده است.

۴-۳- مقایسه حالتهای ۴-۱ و ۴-۲ - با مقایسه جداول (۳) و (۴) مشاهده میشود که با توجه به اینکه ولتاژ گره ها در شبکه توزیع مورد بررسی از وضعیت نسبتا " خوبی برخوردار است درنظرگرفتن ضریب وزنی (KV) جهت افت ولتاژها تاثیرچندانی روی کاهش افت ولتاژ شبکه ندارد . لیکن از آنجایی که افت ولتاژو تلفات دریک شبکه مستقل از یکدیگر نیستند ،این ضریب باعث کاهش بیشتر تلفات شبکه با بالا رفتن هزینه گردیده است .

۵ ـ نتیجه

جبران بهینه توان راکتیو باعث حداقل کردن تلفات و افت ولتاژهای شبکه میگردد . روش ارائه شده برای تعیین مکان و ظرفیت بهینه خازن در پستهای شبکه توزیع دارای مزایای زیر است :

۵-۱ـ در این روش درهرمرحله تکرارخازن گذاری روی تمامی پستهای توزیع انجام میگیرد ، بنابراین سرعت کارنسبت به تعداد پستهای شبکه درمقایسه با روشهای تک شینه [۱] افزایش مییابد .

۵-۲ـ در این روش مقدار کل توان راکتیو توزیعی درهرحلقه تکرار شده ، مقدار ثابتی نیست و براساس حساسیت کل شبکه محاسبه میگردد .این کارباعث تسریع بیشتر عمل خازن گذاری درمقایسه با روشهای مشابه [۱] میگردد .

۵-۳ـ در این روش با تعیین ضریب افت ولتاژ کل شبکه کنترل میگردد . بنابراین روش فوق علاوه برکارایی ودقت بالاتر ازسرعت بیشتری نیز برخوردار است .

۶- مراجع

۱- بهروز برخوردار و ..... " تعیین ضریب قدرت اقتصادی بر اساس خازن گذاری در شبکه توزیع " شرکت مشانیر ، دومین کنفرانس شبکه های توزیع ، اردیبهشت ۱۳۷۰.

2-S.Civanlar,j.j. Grainger
" A MATRIX METODE FOR OPTIMAL VAR SITING "
IEEE,TRANS.ON P.A.S VOL.PAS 94, NO 4,TULY/AUG.1975

۳- " گزارش بررسی خازنهای شبکه توزیع " دفتر برنامه ریزی برق ، بخش مطالعات فنی و سیستم ، مهر ماه ۱۳۶۵

4-S.CIVANLAR, J.J. GRAINGER
" VOLT/VAR CONTROL ON DISTRIBUTION SYSTEM WITH LATERAL BRANCHES"
IEEE TRANS ON P.A.S ,VOL.PAS-104 NO 11,NOV.1985

LINE NO.	END BUS 1	END BUS 2
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	5	6
6	2	7
7	7	8
8	4	9
9	9	10
10	5	11
11	10	12
12	1	13
13	13	14
14	14	15
15	15	16
16	13	17
17	17	18
18	14	19
19	19	20
20	15	21
21	21	22
22	22	23
R(Lines)=0.001 P.U X(Lines)=0.0007 P.U		

جدول (۱)- اطلاعات خطوط شبکه نمونه

BUS NO.	S(i) (MVA)	P.F (Lag)
2	1.0	.84
3	0.9	.80
4	0.6	.75
5	1.2	.80
6	0.7	.85
7	1.0	.84
8	0.9	.80
9	0.6	.75
10	1.2	.80
11	1.2	.80
12	1.2	.80
13	1.0	.80
14	0.7	.75
15	1.2	.85
16	0.7	.80
17	1.2	.84
18	0.9	.80
19	0.6	.75
20	1.2	.80
21	1.0	.80
22	0.9	.85
23	1.2	.90

جدول (۲)- مشخصات بارهای شبکه نمونه

BUS	P(i)	Qo(i)	Q(i)	Qins(i)	Vo(i)	V(i)
2	.840	.542	.542	0	.987	.989
3	.720	.540	.540	0	.977	.981
4	.450	.396	.203	.194	.969	.974
5	.960	.720	.419	.301	.965	.971
6	.595	.368	.048	.321	.964	.970
7	.840	.542	.543	0	.984	.986
8	.720	.540	.540	0	.983	.985
9	.450	.396	.100	.297	.965	.971
10	.960	.720	.335	.385	.962	.968
11	.960	.720	.369	.351	.963	.969
12	.960	.720	.290	.430	.960	.967
13	.800	.600	.600	0	.987	.988
14	.525	.463	.463	0	.977	.979
15	1.020	.632	.462	.170	.971	.974
16	.560	.420	.223	.197	.970	.973
17	1.000	.651	.651	0	.984	.985
18	.720	.540	.540	0	.983	.984
19	.450	.396	.397	0	.975	.977
20	.960	.720	.571	.149	.974	.976
21	.800	.600	.336	.264	.967	.971
22	.765	.474	.152	.322	.965	.969
23	1.080	.523	.169	.384	.963	.968

TOTAL	cost($)	loss(KW)	V. drops(%)	Q Ins.(MVAR)
INITIAL	338905	492.59	13.53	0
FINAL	313657	388.034	11.67	3.735

جدول (۳) نتایج خازن گذاری شبکه نمونه با فرض KV = 0

BUS	P(i)	Qo(i)	Q(i)	Qins(i)	Vo(i)	V(i)
2	.840	.542	.542	0	.987	.989
3	.720	.540	.540	0	.977	.982
4	.450	.396	.097	.299	.969	.975
5	.960	.720	.303	.416	.965	.972
6	.595	.368	0	.368	.964	.972
7	.840	.542	.542	0	.984	.987
8	.720	.540	.54	0	.983	.986
9	.450	.396	0	.396	.965	.973
10	.960	.720	.214	.505	.962	.970
11	.960	.720	.252	.467	.963	.971
12	.960	.720	.166	.553	.960	.969
13	.800	.600	.6	0	.987	.988
14	.525	.463	.463	0	.977	.981
15	1.020	.632	.367	.264	.971	.976
16	.560	.420	.123	.296	.970	.975
17	1.000	.651	.651	0	.984	.986
18	.720	.540	.54	0	.983	.985
19	.450	.396	.222	.174	.975	.979
20	.960	.720	.486	.233	.974	.977
21	.800	.600	.231	.368	.967	.972
22	.765	.474	.041	.432	.965	.970
23	1.080	.523	.054	.468	.963	.970

TOTAL	cost($)	loss(KW)	V. drops(%)	Q Ins.(MVAR)
INITIAL	338905	492.59	13.53	0
FINAL	315554	362.096	10.98	5.247

جدول (۴) نتایج خازن گذاری شبکه نمونه با فرض KV = 1000