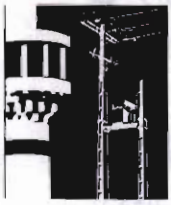


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

تعیین شکل بهینه شبکه توزیع جهت کمترین تلفات در بهره‌برداری

همایون برهمندپور ـ مهدی اسلامی

مرکز تحقیقات نیرو

چکیده:

توزیع بهینه و متناسب بار بین فیدرهای مختلف یک پست در شبکه توزیع انرژی الکتریکی، یکی از مهمترین ابزارهای بهره‌برداری بهینه جهت کاهش تلفات و استفاده مؤثر از تجهیزات پست است. در این مقاله، روشی جدید جهت تعیین شکل بهینه شبکه توزیع در هر آرایش بار برای دسترسی به کمترین تلفات و با رعایت محدودیتهای بهره‌برداری از شبکه ارائه گردیده است.

شرح مقاله :

به دلیل تغییرات روزانه، هفتگی و ماهانه بار مصرف‌کننده‌های شبکه توزیع، لازم است جهت هر سطح و آرایش بار در شبکه، شکل مناسب شبکه جهت توزیع متناسب و متعادل جریان در شاخه‌های شبکه و اخذ کمترین میزان تلفات بدست آید. این کار با بازکردن یا بستن کلیدهایی که در وسط و یا انتهای فیدرهای شبکه توزیع موجود است، انجام می‌پذیرد. این عمل یکی از کم هزینه‌ترین روشهای کاهش تلفات و بهره‌برداری بهینه از شبکه می‌باشد.

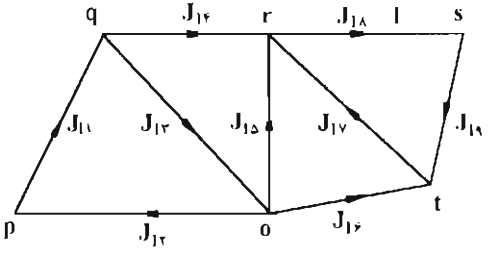
جهت تعیین شکل بهینه شبکه توزیع روشهای متفاوتی ارائه گردیده که تعدادی از آنها در مراجع این مقاله ذکر شده است. روشی که در این مقاله به آن پرداخته شده، بر مبنای روش ارائه شده در مرجع [۱] می‌باشد که با تغییرات و تصحیحاتی که در آن انجام شده، بهبود قابل ملاحظه‌ای را دریافتن نقطه بهینه با پایه استدلالی قوی‌تر و نتایج مطمئن‌تر نشان می‌دهد.

در روش مذکور، ابتدا به هر شبکه مورد مطالعه، یک شبکه صرفاً مقاومتی و با همان شکل شبکه اصلی وابسته می‌گردد و ثابت می‌شود که توزیع جریان در شبکه مقاومتی، در هر آرایش باری، جهت کمترین تلفات شبکه، بهینه است. سپس توسط الگوریتم ارائه شده، با کلیدزنی بهینه در شبکه مقاومتی، شبکه شعاعی با کمترین تلفات یافته می‌شود. از آنجا که در شبکه شعاعی نهایی، توزیع جریان در شبکه صرفنظر از مقادیر امپدانس شاخه‌های شبکه، یکسان است، بدین صورت شکل بهینه شبکه اصلی نیز جهت کمترین تلفات یافته می‌شود.

در پایان توسط یک مثال عددی، درستی و دقت جوابهای حاصل از روش ارائه شده و روش موجود در مرجع [۱] مقایسه می‌گردد.

شرح روش :

برای شروع بیان روش، شبکه‌ای غربالی مطابق شکل (۱) در نظر گرفته می‌شود.



« شکل (۱) »

در این شبکه تابع تلفات را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{L} R_i J_i J_i \qquad (۱)$$

در رابطه فوق J_i و R_i، به ترتیب جریان عبوری و مقاومت شاخه L از شبکه است. "*"، نیز عملکرد مزدوج مختلط می‌باشد. رابطه بین جریانهای شاخه‌ها و جریانهای تزریقی به شینه‌ها نیز بدین شکل است:

$$I = CJ \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، نمادهای J و I، بردارهای جریان به ترتیب عبوری از شاخه‌ها و تزریقی به شینه‌های شبکه است. C نیز ماتریس اتصالات شبکه می‌باشد. بدین صورت، لاگرانژین تابع تلفات، با قید محدودیت رابطه (۲)، بدین صورت تشکیل می‌گردد:

$$LG = \sum_{i=1}^{L} R_i J_i^* J_i + \lambda (CJ - I) \qquad (۳)$$

λ بردار متغیرهای کمکی است. با تفکیک بردارهای J و I، به دو جزء حقیقی و موهومی و محاسبهٔ مشتقات رابطهٔ فوق نسبت به اجزاء حقیقی و موهومی عناصر بردار J در نهایت رابطه زیر برای هر عنصر این بردار حاصل می‌گردد [۱].

$$2R_iJ_i + C (\lambda_p - \lambda_q) = 0 \qquad (۴)$$

p و q، شماره شینه‌های دو سر خط i است. حال حلقه دلخواهی در شکل (۱) در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود حلقه با گره‌های o، p و q مدنظر باشد. در این صورت با تشکیل رابطهٔ (۴)، جهت سه شاخه موجود در این حلقه و جمع روابط حاصل، رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$R_{i1} J_{i1} + R_{i2} J_{i2} + R_{i3} J_{i3} = 0 \qquad (۵)$$

رابطه فوق مبین قانون ولتاژ کیرشف در حلقه مذکور است، مشروط بر آنکه فقط مقاومت هر شاخه، به عنوان امپدانس شاخه منظور شود. به عبارت دیگر اگر در یک شبکه امپدانسی، توزیع جریان شبکه مشابه توزیع جریان در شبکه مقاومتی متناظر گردد، تلفات شبکه امپدانسی مینیمم است.

انتخاب خطوط بهینه جهت قطع :

بدین صورت و با توجه به مطالب فوق، لازم است ابتدا شبکه غربالی با بستن تمام کلیدهای موجود در شبکه توزیع تشکیل گردد و سپس مناسبترین خط جهت قطع در شبکه مقاومتی متناظر با شبکه اصلی با کمترین افزایش در تلفات شبکه انتخاب گردد. سپس با قطع متوالی خطوط منتخب در نهایت شبکه شعاعی با کمترین میزان تلفات بدست می‌آید.

در مرجع [۱]، قاعده‌ای ذهنی[۱]، جهت قطع خطوط پیشنهاد گردیده است که در آن، در هر مرحله، خط با کمترین جریان عبوری قطع می‌گردد. ولی روشی که در این مقاله ارائه شده، شامل تعیین حساسیت تابع تلفات نسبت به قطع هر یک از خطوط شبکه می‌باشد که منطقاً دقیق‌تر از روش قبل می‌باشد.

تابع تلفات در شبکه مقاومتی، به شکل زیر نمایش داده می‌شود.

$$P_{loss} = I^t V = I^t RI \qquad (۶)$$

که در آن R ماتریس مقاومت شبکه و برابر عکس ماتریس کندوکتانس (جزء حقیقی ماتریس ادمیتانس) و V نیز بردار ولتاژ شینه‌های شبکه است. در این الگوریتم فرض می‌شود بارها با منابع جریان ثابت نمایش داده شوند. در این صورت، تغییرات توان تلفاتی در اثر قطع خط k با مقاومت R^k بدین صورت خواهد بود.

$$\Delta P_{loss} = I^t \Delta R^k I \qquad (۷)$$

که در آن، ΔR^k برابر است با:

$$\Delta R^k = \frac{1}{R_{ij} + R_{ij} + 2R_{ij} - R_k} (R_i - R_j)^t (R_i - R_j) \qquad (۸)$$

در رابطه فوق، i و j به ترتیب معرف شماره شینه‌های دو سر خط k و R_i و R_j، به ترتیب ستون iام و jام ماتریس R می‌باشد. "t" نیز نماد ماتریس مزدوج و جابجا شده[۲] است [۲].

با قرار دادن ΔR^k از رابطه (۸) در رابطه (۷)، در نهایت رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$\Delta P^k_{loss} = a^t_k S_k a_k \qquad (۹)$$

که در آن:

$$a_k = I^t (R_i - R_j) \qquad (۱۰\text{-}a)$$

---

1 - *Heuristic.*

2 - *conjugate transposed.*

$$S_k = \frac{1}{R_{ij} + R_{ij} + 2R_{ij} - R_k} \qquad (10-b)$$

به این صورت، رابطه تغییرات تابع تلفات برحسب خروج خطوط مختلف به شکل ساده رابطه (۹)، خواهد بود.

الگوریتم بهینه‌سازی :

با توجه به مطالب فوق، الگوریتم بهینه‌سازی شکل شبکه توزیع را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱ ـ تشکیل شبکه غربالی با بستن تمام کلیدهای موجود در شبکه.

۲ ـ نمایش بارها موجود در سیستم با مدل جریان ثابت با توجه به نقطه کار شبکه غربالی.

۳ ـ یافتن شبکه مقاومتی وابسته.

۴ ـ محاسبه رابطه (۹)، جهت تک‌تک خطوط شبکه و یافتن خط منتخب با کمترین میزان افزایش در تابع تلفات.

۵ ـ انجام پخش بار در شبکه اصلی با قطع خط منتخب و یافتن نقطه کار جدید شبکه.

۶ ـ تکرار مراحل ۲ تا ۵ تا رسیدن به شبکه شعاعی.

چنانچه در یکی از تکرارهای الگوریتم فوق، قطع خطی باعث منفک شدن تعدادی از نقاط بار و یا موجب نقض محدودیتهای دامنه ولتاژ شینه‌ها و جریان عبوری از شاخه‌های شبکه گردد، از قطع آن چشم‌پوشی می‌گردد و خط بعدی با کمترین افزایش تلفات آزمایش می‌شود.

مثال :

جهت بررسی صحت و دقت روش ارائه شده، الگوریتم حاصل از این روش با الگوریتم روش ارائه شده در مرجع [۱] جهت یک شبکه تست اجرا و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده است. شبکه مورد نظر، شبکه‌ای شعاعی است که در اکثر مقالات معتبر معرفی شده است [۳]. در این مثال با ایجاد ارتباط بین چند شینه از این شبکه، به صورت شبکه غربالی و از چند سو تغذیه تبدیل شده است. شکل و اطلاعات این شبکه در پیوست موجود است.

نتایج حاصل از روش ارائه شده در این مقاله و روش موجود در مرجع [۱] در جدول صفحه بعد مقایسه شده است.

	روش ارائه شده			روش مرجع [1]		
	خط	ΔPloss (pu)	I line (pu)	خط	ΔPloss (pu)	I line (pu)
انتخاب اوّل	۲۲	۷/۱۴E – ۷	۶/۳۱E – ۴	۲۲	۷/۱۴E – ۷	۶/۱۳E – ۴
انتخاب دوّم	۲۷	۳/۱۴E – ۶	۰/۰۰۱۲۴	۲۷	۳/۱۴E – ۶	۰/۰۰۱۲۴
انتخاب سوّم	۱۹	۵/۰۷E – ۶	۰/۰۰۱۷	۱۹	۵/۰۷E – ۶	۰/۰۰۱۷
انتخاب چهارم	۹	۱/۱۷E – ۵	۰/۰۰۲۶۳	۱۱	۱/۱۷E – ۷	۰/۰۰۲۶۳
انتخاب پنجم	۱۰	۸/۱۲E – ۵	۰/۰۰۹۰۱۴	۱۰	۸/۱۱E – ۵	۰/۰۰۹۰۱۴
تلفات نهایی	P_{loss} = ۰/۰۰۱۶۰۲۳(pu)			P_{loss} = ۰/۰۰۱۶۲۳۷(pu)		
نسبت کاهش تلفات به شبکه ابتدایی	٪۳/۵۸			٪۲/۲۹		

« جدول ۱ ـ مقایسه نتایج »

نتیجه‌گیری :

در این مقاله، روشی جدید جهت کلیدزنی مناسب در شبکه توزیع به منظور تعیین شکل بهینه شبکه با کمترین میزان تلفات ارائه گردید. از آنجا که اجرای چنین روشی مستلزم صرف هیچگونه هزینه‌ای جهت تعویض و یا اضافه کردن تجهیزات در شبکه نمی‌باشد، یکی از روشهای کم هزینه در کاهش تلفات شبکه به شمار می‌رود و کاربرد آن جهت کاهش تلفات در شبکه توزیع بسیار مفید خواهد بود.

مراجع :

1 - D.Shirmohammadi, H. Wayne Hong, "Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Loss Reduction", IEEE PWRD, Vol. 4, No. 2, April 1989-99. 1492-1498.

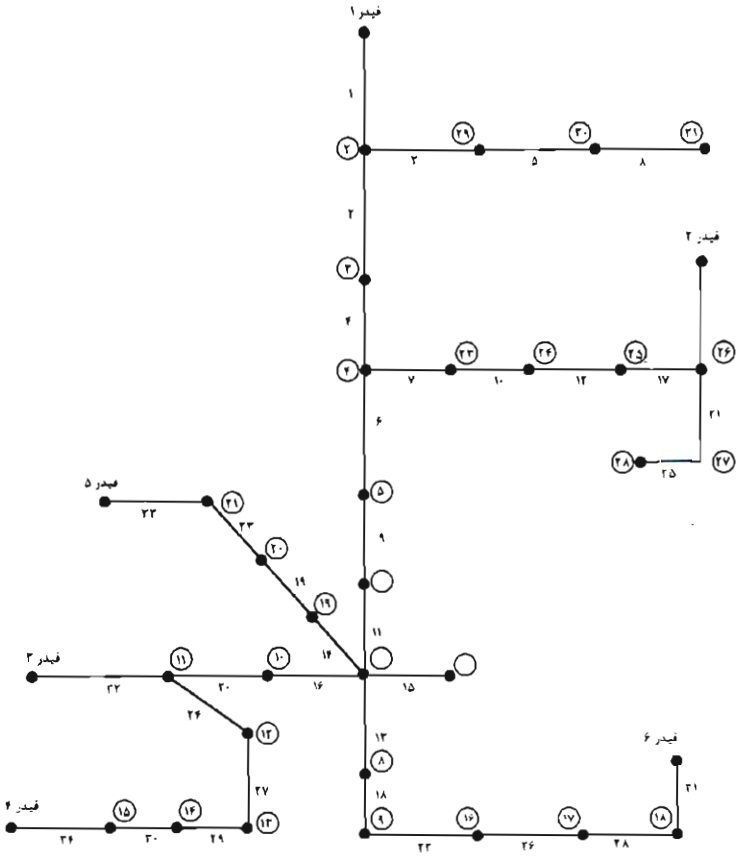
2 - W.D. Stevenson, "Elements of Power System Analysis", Mc Grow-Hill, 1982.

3 - N. Iwan Santoso, Owen T. Tan, "Piecewise Method for Optimal Sizing of Distribution Capacitors", International Journal of Energy Systems, Vol. 12, No. 3, 1992, PP. 115-118.

4 - Mesut E.Baran, Felix F.Wa, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE PWRD, Vol. 4, No. 2, April 1989, PP. 1401-1407.

5 - Chen Ching Liu, Seung J.Lee, Khoivu, "Loss Minimization of Distribution Feeders: Optimaly and Algorithm", IEEE PWRD, Vol. 4, No. 2, April 1989, PP. 1281-1289.

6 - T.P. Wagner, A.Y. Chikhani, R.Hacham, "Feeder Reconfiguration for Loss Reduction: An Application of Distribution Automation", IEEE PWRD, Vol. 6, No. 4, Oct 1991, PP. 1922-1933.



« شکل شبکه مورد آزمایش »

شماره خط	باس ابتدا	باس انتها	R (pu)	X (pu)	توان راکتیو باس بار انتهای (pu)	توان راکتیو باس بار انتهای (pu)
۱	۱	۲	۰/۱۱۱۶	۰/۳۷۲۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۲	۲	۳	۰/۰۴۴۹	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۵۲۲	۰/۰۰۱۷۴
۳	۲	۲۹	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۸۸۲	۰/۰۰۲۹۴
۴	۳	۴	۰/۰۷۲۱	۰/۰۷۱۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۵	۲۹	۳۰	۰/۱۰۲۱	۰/۱۰۱۰	۰/۰۰۸۸۲	۰/۰۰۲۹۴
۶	۴	۵	۰/۲۴۷۱	۰/۱۲۵۶	۰/۰۰۹۳۶	۰/۰۰۳۱۲
۷	۴	۲۳	۰/۱۰۶۶	۰/۱۰۵۴	۰/۰۰۵۲۲	۰/۰۰۱۷۴
۸	۳۰	۳۱	۰/۲۱۰۶	۰/۲۱۸۷	۰/۰۰۸۸۲	۰/۰۰۲۹۴
۹	۵	۶	۰/۱۱۵۳	۰/۰۵۸۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۰	۲۳	۲۴	۰/۰۶۴۵	۰/۰۶۴۱	۰/۰۱۹۱۷	۰/۰۰۶۳۹
۱۱	۶	۷	۰/۳۳۷۶	۰/۱۹۰۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۲	۲۴	۲۵	۰/۱۱۱۶	۰/۰۹۷۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۳	۷	۸	۰/۲۷۷۴	۰/۱۵۶	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۴	۷	۱۹	۰/۱۰۲۶	۰/۰۹۲۹	۰/۰۰۴۳۲	۰/۰۰۱۴۴
۱۵	۷	۲۲	۰/۰۹۹۳	۰/۰۸۶۳	۰/۰۰۲۰۷	۰/۰۰۰۶۹
۱۶	۷	۱۰	۰/۲۴۶۰	۰/۱۶۵۶	۰/۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۶۳
۱۷	۲۵	۲۶	۰/۲۷۵۹	۰/۲۳۹۸	۰/۰۰۸۱۶	۰/۰۰۲۷۲
۱۸	۸	۹	۰/۲۹۳۸	۰/۱۶۵۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۱۹	۱۹	۲۰	۰/۳۴۹۰	۰/۳۰۳۴	۰/۰۰۶۷۲	۰/۰۰۲۲۴
۲۰	۱۰	۱۱	۰/۲۶۷۱	۰/۱۶۵۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۲۱	۲۶	۲۷	۰/۲۱۲۱	۰/۱۸۴۳	۰/۰۰۵۴۹	۰/۰۰۱۸۳
۲۲	۹	۱۶	۰/۰۹۱۹	۰/۰۷۹۹	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۰۱۵۹
۲۳	۲۰	۲۱	۰/۴۳۰۴	۰/۲۴۲۴	۰/۰۰۴۹۵	۰/۰۰۱۶۵
۲۴	۱۱	۱۲	۰/۸۳۴۵	۰/۴۷۰۱	۰/۰۰۳۳۶	۰/۰۰۱۱۲
۲۵	۲۷	۲۸	۰/۳۴۰/	۰/۱۹۱۷	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۰۱۵۹
۲۶	۱۶	۱۷	۰/۱۳۹۰	۰/۰۷۸۳	۰/۰۰۵۴۹	۰/۰۰۱۸۳
۲۷	۱۲	۱۳	۰/۳۸۴۴	۰/۲۱۶۵	۰/۰۰۶۵۷	۰/۰۰۲۱۹
۲۸	۱۷	۱۸	۰/۲۵۳۸	۰/۱۴۲۹	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۰۱۵۹
۲۹	۱۳	۱۴	۰/۱۵۶۹	۰/۰۸۸۴	۰/۰۰۷۸۳	۰/۰۰۲۶۱
۳۰	۱۴	۱۵	۰/۱۵۶۹	۰/۸۸۴	۰/۰۰۷۲۹	۰/۰۰۲۴۳
۳۱	۱۸	۱	۰/۴۳۰۴	۰/۲۴۲۴	–	–
۳۲	۱۱	۱	۰/۲۹۳۸	۰/۱۶۵۵	–	–
۳۳	۲۱	۱	۰/۳۴۹۰	۰/۳۰۳۴	–	–
۳۴	۱۵	۱	۰/۲۶۷۱	۰/۱۶۵	–	–
۳۵	۲۶	۱	۰/۲۱۲۱	۰/۱۸۴۳	–	–

« اطلاعات شبکه مورد آزمایش »