تعادل بار فشار ضعیف با استفاده از توان متوسط مشترکین

محمد مهدی قنبریان
شرکت مهندسی مشاوران شیراز انرژی(مشیران)
صندوق پستی 496-71855

طناز زارع
شرکت مهندسی مشاوران شیراز انرژی (مشیران)
صندوق پستی 496-71855

مهدی رئوفت
دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز بخش مهندسی برق - الکترونیک

کلمات کلیدی : تعادل بار ، توان متوسط ، قدرت قراردادی

چکیده:

یکی از معضلات موجود در شبکه‌های توزیع که باعث ایجاد عوارض و اثرات نامطلوبی در سیستم می‌گردد، نامتعادلی بار می‌باشد. در واقع امروزه میزان عدم تعادل بار به عنوان یکی از شاخص‌های کیفیت انرژی الکتریکی مطرح می‌باشد.

از عوامل ایجاد کننده نامتعادلی بار در شبکه‌های توزیع می‌توان به توزیع ناهمگون و غیر یکنواخت مشترکین تک فاز بین فازهای فیدر و رفتار تصادفی و غیر همزمان مشترکین تک فاز اشاره کرد. به طوریکه حتی اگر بار بطور یکنواخت بین مشترکین توزیع گردد باز هم نامتعادلی بار تا حدودی ظاهر می‌گردد. در این مقاله با بررسی روشهای متفاوت متعادل سازی بار و با استفاده از نتایج اندازه‌گیری شده بر روی چند فیدر از شبکه واقعی روشهای مختلف مقایسه و بهترین روش انتخاب گردیده است .

مقدمه:

بدلیل عدم آشنایی از الگوی بار مشترکین مختلف ، وجود مشترکین سه فاز نامتعادل ، غیر یکنواخت بودن مصرف مشترکین و عدم توزیع مناسب مشترکین بین فازهای مختلف شبکه بار فازهای شبکه برابر نبوده و سبب ایجاد نامتعادلی می‌گردد .

از اثرات و عوارض سوء ناشی از نامتعادلی بار می‌توان به افزایش تلفات انرژی الکتریکی، اشغال ظرفیت شبکه، برق‌دار شدن سیم نول، نامتعادلی ولتاژهای سه فاز و افزایش تلفات مسی و آهنی ترانسفورماتور اشاره کرد. به منظور متعادل‌سازی بار مشترکین روشهای متفاوتی وجود دارد که هر کدام به نوبه خود دارای نواقص و مزیتهایی می‌باشد. از روشهایی که در شبکه‌های توزیع می‌توان به منظور متعادل‌سازی به کار گرفت به شرح زیر می‌باشد:

1- استفاده از قدرت قراردادی مشترکین:

در این روش مشترکین روی فیدر با استفاده از نوع مصرف (قدرت قراردادی) متعادل می‌شوند. به این ترتیب که قدرت قراردادی مشترکین روی فیدر آورده می‌شوند و سپس تعادل بار به صورتی انجام می‌گیرد که مجموع قدرت‌های قراردادی روی سه فاز به صورت مساوی تقسیم شده باشد.

این روش با وجود اینکه روش ساده و به ظاهر معقولی به نظر می‌رسد اما به دلیل عدم استفاده مشترک به اندازه قدرت قراردادی‌اش و همچنین مصرف متغیر با زمان مشترکین و همچنین متفاوت بودن مصارف مشترکین با یک قدرت قراردادی، این روش، روش مناسبی برای تعادل بار نمی‌باشد.

2- استفاده از روش مشترک شماری:

برای بکارگیری این روش لازم است که تعداد مشترکین روی هر فیدر مشخص باشد و نیازی به نوع مصرف، قدرت قراردادی و میزان مصرف مشترکین نمی‌باشد. به منظور اجراء این روش، تعداد مشترکین روی یک فیدر به نحوی به سه فاز تقسیم می‌گردد که روی هر فاز تعداد مساوی از مشترکین قرار داشته باشد. این روش با وجود اینکه نیازمند اطلاعات کمتری نسبت به روشهای دیگر می‌باشد ولی با توجه به اینکه مشترکین روی یک فیدر از لحاظ مصرف متفاوت می‌باشند و نمی‌توان آنها را در یک سطح قرار داد، روش خوبی به شمار نمی‌رود.

3- استفاده از روش Pave:

در این روش مبنای محاسبات بر اساس توان متوسط مشترکین می‌باشد .مقادیر توان متوسط از میزان مصرف مشترکین که در اطلاعات Billing آورده شده است، بدست می‌آید.

در این روش می‌بایست اطلاعات تعداد مشترکین روی فیدر، نوع مصرف و میزان مصرف هر کدام از مشترکین را داشته باشیم. بنابراین روشی است که نسبت به روشهای قبل به اطلاعات گسترده‌تری نیاز می‌باشد. اما با توجه به اینکه در شبکه‌های توزیع به علت رفتار تصادفی و غیر همزمان مشترکین تکفاز نامتعادلی بار دارای ماهیتی دینامیکی و متغیر با زمان می‌باشد، این روش دارای این مزیت است که چون با مصرف واقعی مشترکین سر و کار داریم نسبت به دو روش بالا بهتر می‌باشد.

اما این روش دارای این عیب می‌باشد که ممکن است در منطقه‌ای تمام این اطلاعات موجود نباشد.

در روش مذکور سعی می‌شود که روی هر سه فاز به اندازه مساوی Pave قرار داشته باشد.

4- به کار گیری جبران‌ساز به منظور متعادل‌سازی بار

همانطور که می‌دانیم با بکارگیری خازنها در شبکه‌های توزیع با جبران بخشی از جریان راکتیو مصرفی، علاوه بر کاهش تلفات انرژی و تلفات پیک مصرف، می‌تواند باعث آزادسازی ظرفیت تجهیزات نصب شده در سیستم توزیع و نیز بهبود پروفیل ولتاژ گردد و در عین حال می‌تواند بیشترین منافع اقتصادی را نیز در بر داشته باشد. به منظور بررسی نحوهٔ تأثیر خازن بر کاهش تلفات می‌توان توان تلفی یک فیدر نمونه را مثال زد.

اما استفاده از خازن ثابت در شبکه‌های توزیع باعث نامتعادلی جریان به علت رفتار تصادفی و غیر همزمان مشترکین و تغییر بار در طول شبانه‌روز می‌گردد.

با استفاده از خازنهای کنترل شونده نه تنها مسائل مربوط به جبران توان راکتیو و کاهش تلفات را حل می‌کند، بلکه می‌تواند در متعادل‌سازی بار نقش مهمی را ایفا کند.

با توجه به اینکه یکی از ویژگیهای مهم جریان سه فاز نامتعادل حضور مولفه‌های منفی و صفر جریان می‌باشد، بنابراین اساس متعادل‌سازی بار به کمک جبران‌سازی توان راکتیو بر حذف مولفه‌های منفی و صفر موجود در جریان فیدر می‌باشد.

کنترل کننده جبران ساز با اندازه‌گیری فازور جریان‌های سه فاز در هر لحظه و پردازش آنها توسط کنترل کنندهٔ جبران ساز، میزان عدم تعادل بار بر حسب مولفه‌های منفی و صفر جریان اندازه‌گیری شده و بر اساس آن جبران‌ساز توان راکتیو به قسمی کنترل می‌گردد تا بتواند جریان‌های برابر با مقادیر مؤلفه‌های منفی و صفر فیدر را با 180 درجه اختلاف فاز به شین مورد نظر تزریق نماید در نتیجه عملکرد جبران ساز باعث حذف و خنثی شدن مولفه‌های منفی و صفر جریان و در نتیجه متعادل‌سازی جریان‌های سه فاز خواهد شد. همچنین با کنترل مناسب جزء موهومی مولفه مثبت جریان، جبران ساز قادر به کنترل و تنظیم ضریب قدرت جریان بار فیدر می‌باشد.

تاثیر عدم تعادل بار بر روی تلفات

با داشتن مقاومتهای مربوط به هر کدام از فازهای فیدر می‌توان تاثیرات نامتعادلی بار را بر روی افزایش تلفات محاسبه کرد . با فرض نامتعادلی بار مقادیر زیر برای جریانها در نظر گرفته می‌شود.

$$I_a = I$$
$$I_b = I + m$$
$$I_c = I + n$$

m و n معرف میزان تغییرات جریان فازهای b و c از فاز a می‌باشد. با در نظر گرفتن این میزان تغییرات مقدار متوسط جریان‌های سه فاز برابر خواهد شد با :

$$I_{ave} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} = I + \frac{m+n}{3}$$

در این حالت میزان تلفات اهمی مربوط به سیم های فاز و سیم نول در اثر بار نامتعادل برابر خواهد شد با:

$$P_{loss_{nonunb}} = RI_a^2 + RI_b^2 + RI_c^2 + R_n I_n^2$$

با فرض k برابر بودن مقاومت سیم نول نسبت به مقاومت سیمهای فاز میزان تلفات اهمی در شرایط بار نامتعادل برابر خواهد شد با :

$$P_{loss_{nonunb}} = 3RI^2 + 2R(m+n)I + R\left[m^2 + n^2 + \frac{1}{4}K(m+n)^2\right]$$

اما میزان تلفات اهمی سیمهای فاز و نول در حالت بار متعادل برابر است با :

$$P_{loss_{unb}} = RI_a^2 + RI_b^2 + RI_c^2$$

با توجه به اینکه در حالت بار متعادل جریان فازها برابر مقدار متوسط جریان در حالت بار نامتعادل می‌باشد میزان تلفات بار اهمی برابر است با:

$$P_{loss_{unb}} = 3RI^2 + 2R(m+n)I + \frac{1}{3}R(m+n)^2$$

با توجه به مقادیر بدست آمده ، تفاوت تلفات حالت بار نامتعادل و بار متعادل برابر است با:

$$\Delta P_{loss} = P_{loss_{nonunb}} - P_{loss_{unb}} = R(m^2 + n^2) + R(\frac{1}{4}K - \frac{1}{3})(m+n)^2$$

به منظور محاسبه درصد افزایش تلفات نسبت به حالت بار متعادل خواهیم داشت :

$$\Delta P\% = (2 + \frac{3}{2}K)(\frac{I_{ave} - I}{I_{ave}})^2 - \frac{2}{3} * \frac{mn}{I_{ave}^2}$$

با استفاده از رابطه بالا می‌توان به راحتی میزان افزایش تلفات را در اثر عدم تعادل بار بدست آوریم .

نرم‌افزار متعادل‌ساز بار

روش به کار گرفته شده در این مقاله به منظور متعادل‌سازی بار استفاده از روش Pave می‌باشد. از اطلاعات Billing به منظور محاسبات توان متوسط استفاده شده است . به منظور شبیه‌سازی پدیدهٔ عدم تعادل بار فیدرهای توزیع و پیاده‌سازی الگوریتم متعادل‌سازی بار در این فیدرها نرم‌افزاری در محیط MATLAB تهیه شده است.

این نرم‌افزار توانایی بررسی رفتار نامتعادلی فیدر توزیع فشار ضعیف را بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده، شبیه‌سازی نموده و با انجام پخش بار ولتاژ شین‌ها، جریان شاخه‌ها، تلفات انرژی، بار نامتعادلی، ظرفیت اشغال شده فیدر و شاخصهای نامتعادلی را محاسبه و مشخص نماید.

s در این نرم‌افزار نحوه اجرا به این صورت می‌باشد که یک فیدر فشار ضعیف مشخص می‌گردد و سپس مشترکین و گره تغذیه کننده آنها در آورده می‌شوند. برنامه از گره پایانی فیدر شروع به متعادل‌سازی می‌کند به نحوی که روی هر گره مشترکین را پیدا نموده و میزان مصرف آنها را با هم جمع می‌کند و روی سه فاز به اندازه مساوی تقسیم می‌کند به طوریکه روی هر سه فاز Pave به طور یکسان قرار می‌گیرد. سپس در ادامه مقدار اضافه و یا کمبود بار روی هر فاز را بعد از تقسیم کردن مشترکین روی فازها محاسبه کرده و این مقدار ثبت می‌شود و در گره بعدی در حین اینکه تقسیم بار به صورت مساوی تقسیم می‌گردد اضافه بارها لحاظ می‌شوند و به همین صورت تا ابتدای فیدر پیش روی انجام می‌شود.

این نرم‌افزار قابلیت لینک شدن به نرم‌افزار Modec را دارد و به راحتی می‌تواند اطلاعات را برداشت کند.

بدلیل استفاده از نرم افزار مدک فرض شده است که فاز مشترکین وارد شده در نرم افزار صحیح می‌باشد . اما در واقعیت ممکن است فاز مشترک با آنچه در مدک وارد شده ، متفاوت باشد . همچنین دیگر ، تغییرات جابجایی در فیدرهای فشار ضعیف در نظر گرفته نمی‌شود . با وجود این موارد بعضی از اختلافات مشاهده شده در جدول از این مسائل ناشی می‌شوند .

در مقایسه بین دو روش توان متوسط و قدرت قراردادی از 9 فیدر به صورت نمونه اندازه گیری بعمل آمده است . نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول (1) آورده شده است.

از مقادیر ارائه شده در جداول (2)و(3) مشاهده می‌گردد که روش استفاده از P_{av} بیشتر به مقادیر واقعی نزدیک است تا روش قدرت قراردادی . بنابراین بهتر است به منظور نزدیک شدن به متعادل سازی بار بجای استفاده از روش قدرت قراردادی از روش توان متوسط استفاده گردد .

همچنین برای نمونه این نرم افزار بر روی یک فیدر به صورت آزمایشی (نه به صورت عملی) شکل (1) اجرا شده است و خروجی‌های بدست آمده مطابق آنچه که در جدول(4) آورده شده است، می‌باشد.

بر اساس نتایج محاسبات نشان داده شده ، میزان تلفات انرژی در منطقه نمونه برای حالت قبل از متعادل سازی برابر 37.5 کیلو وات ساعت و برای حالت بعد از متعادل سازی 22.1 کیلو وات ساعت می‌باشد. در نتیجه میزان کاهش تلفات ناشی از متعادل سازی بار 16.4 کیلو وات ساعت می‌باشد که معادل 21٪ تلفات فیدر می‌باشد .

با توجه به اینکه حداکثر بار برآورد شده منطقه نمونه 1148 کیلووات بوده و ضریب قدرت آن برابر 0.8 می‌باشد ، با فرض اینکه سهم تلفات شبکه توزیع در حدود 8 درصد کل انرژی یکساله در نظر گرفته شود در این صورت سهم تلفات انرژی یکساله منطقه خواهد شد

$$W_{loss} = .0.08 \times 1148 \times 0.8 \times 24 \times 365 = 643614.72 \text{ Kwh}$$

در نتیجه سهم کاهش تلفات در منطقه نمونه به واسطه متعادل سازی بار برابر خواهد شد با:

$$W_{loss} = 0.21 \times 804518.4 = 168948.8 \text{ kwh}$$

همانگونه که ملاحظه می‌گردد سهم کاهش تلفات ناشی از متعادل سازی نسبتا قابل توجه بوده و می‌تواند نقش بسزایی در کاهش تلفات کل شبکه توزیع داشته باشد .

نتیجه گیری:

نتایج بررسیها با استفاده از نرم افزار تهیه شده برروی منطقه نمونه کارآیی و تاثیر استفاده از روش P_{av} را نسبت به روشهای دیگر برای اصلاح عدم تعادل بار به خوبی نشان می‌دهد .

میزان کاهش تلفات ناشی از متعادل سازی بار رقم قابل توجهی است که انگیزه‌های لازم را برای متعادل سازی بار در شبکه‌های توزیع با استفاده از بهترین روش ایجاد می‌کند . گرچه استفاده از روش P_{av} نیاز به کلیه مشترکین روی فیدر دارد اما نتایج حاصله از این روش نقش بسیار مهمی را در متعادل سازی بار ، کاهش تلفات و جنبه‌های اقتصادی ایفا می‌کند .

جدول(1) نمونه های اندازه‌گیری شده و مقادیر بدست آمده با روش توان متوسط و قدرت قراردادی

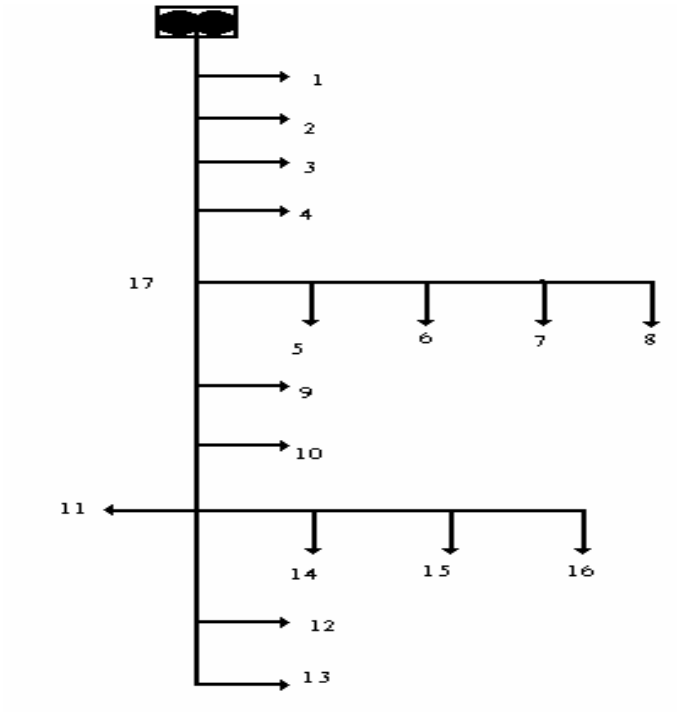
مقادیر بدست آمده با استفاده ازروش قدرت قراردادی			مقادیر اندازه گیری شده			مقادیر بدست آمده با استفاده ازروش توان متوسط		
It	Is	Ir	It	Is	Ir	It	Is	Ir
28.2	61.2	70.9	55	70	87	12.89	38.62	79.44
45.7	73.3	49.6	35	36	37	19.39	33.25	31.03
104.4	131.8	132.7	57	83	135	69.75	96.30	139.23
108	165	117	71	100	93	78.60	117.18	95.49
70.7	47.1	37.6	77	40	31	52.41	33.59	28.64
65.9	84.8	75.3	42	61	50	44.37	76.71	60.60
89.5	103.7	94.2	43	78	57	69.34	77.28	57.50
18.8	76.2	23.5	15	53	21	14.67	59.89	32.48

جدول(2) : مقایسه روشهای متعادل سازی

انحراف معیار جریان‌های سه فاز بدست آمده با روش قدرت قراردادی از مقادیر اندازه‌گیری شده	انحراف معیار جریان‌های سه فاز بدست آمده با روش توان متوسط از مقادیر اندازه‌گیری شده
46.6 A	29.5 A

جدول (3) : ماکزیمم اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقادیر بدست آمده

با استفاده ازروش قدرت قراردادی	با استفاده ازروش توان متوسط
65	42



شکل (1) : شمای تک خطی شبکه

جدول (4) : نتایج بدست آمده در شرایط قبل و بعد از متعادل سازی

SEC	شرایط بعد از تعادل			شرایط قبل از تعادل		
	Ir	Is	It	Ir	Is	It
12-13	8.40	7.54	7.19	9.43	0.00	13.71
11-12	8.40	11.30	13.11	9.43	3.76	19.63
15-16	4.57	4.81	4.18	0.00	7.46	6.10
14-15	9.90	9.87	8.36	1.61	16.24	10.28
11-14	14.52	13.81	14.52	3.39	23.65	15.79
10-11	25.50	27.11	27.63	12.82	29.42	38.00
9-10	29.15	30.41	30.07	15.27	33.07	41.30
17-9	30.75	30.41	30.07	16.86	33.07	41.30
7-8	8.54	8.04	9.62	3.32	15.85	7.03
6-7	13.60	14.41	12.83	6.53	22.19	12.12
5-6	16.58	16.80	16.88	8.10	28.62	13.54
17-5	21.34	19.39	18.99	10.21	31.21	18.29
4-17	52.08	49.80	49.07	27.07	64.28	59.60
3-4	59.28	59.72	60.35	44.87	71.95	62.52
2-3	66.18	66.35	65.49	53.26	76.86	67.90
1-2	66.44	66.35	68.79	56.82	76.86	67.90

0-1	68.31	67.03	68.79	57.50	77.28	69.34

مراجع:

[1] . A .Ghosh , A . Joshi ,"A New Approach to Load Balancing and Power factor Correction in power Distribution System" , IEEE Transactions on power Delivery , Vol . 15 , No , January 2000

[2] .Czarnecki , L .S ." minimization of reactive power under nonsinusoidal condition " IEEE Trans . , 1987 , IM . 36 , pp . 18-22

[3] . J. Zhu , G.Bilbro , M. chow ," phase Balancing using simulated Anealing " IEEE Transaction on power system , vol .14 , No .4 , November 1999