

ارائه یک روش جدید جهت کاهش عدم تعادل بار در شبکه‌های توزیع مسکونی و تجاری

لعیا زاهدی مهدی صلاهی نادری گئورگ قره‌پتیان
دانشکده برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران - ایران

واژه‌های کلیدی: عدم تعادل - شبکه توزیع - تلفات توزیع - شاخص عدم تعادل - کنترل بار

چکیده

در شبکه‌های توزیع مسکونی و تجاری اکثر بارها تکفاز بوده و بنابراین اتصال آنها بین یکی از سیمهای فاز و سیم نول می‌باشد. اغلب تعداد انشعابها، در روی هر یک از فازها مساوی نیست و در صورت تساوی نیز مصرف آنها، به علت مصارف متفاوت مصرف‌کننده‌های تکفاز متفاوت است. بنابراین، معمولاً جریانی از سیم نول می‌گذرد و به همین دلیل شبکه توزیع عموماً شبکه نامتعادلی است. عدم تعادل این سیستم تبعات مختلفی از قبیل افزایش تلفات، گرم شدن تجهیزات سه‌فاز، افت ولتاژ در اثر نامتعادلی، جریان‌دار شدن سیم نول و کاهش کیفیت برق را به دنبال دارد. خصوصاً از دیدگاه معیارهای کیفیت توان این مساله خود را بصورت نسبت اندازه توالی صفر به توالی مثبت خارج از حد استاندارد نشان می‌دهد. در این مقاله روشی بیان شده است که با استفاده از آن، اثرات سوء عدم تعادل کاهش می‌یابد. در این روش تعدادی از بارهای روی فیدر به عنوان بار کنترلی تعیین شده و به نحوی بر روی فازها با کلیدزنی جابجا می‌شوند که شاخص

عدم تعادل ولتاژ در محدوده مجاز استاندارد شبکه‌های توزیع قرار گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش کنترلی بیان شده اثرات سوء منتجه از عدم تعادل را کاهش می‌دهد.

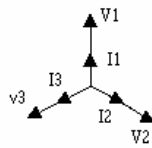
۱- مقدمه

بدلیل عدم اطمینان از الگوی بار مشترکین مختلف، وجود مشترکین سه فاز نامتعادل، غیر یکنواخت بودن مصرف مشترکین تکفاز و عدم توزیع مناسب بار مشترکین بین فازهای مختلف و احیاناً وجود مصارف غیر مجاز، بار فازهای سه‌گانه شبکه توزیع برابر نبوده و سبب ایجاد عدم تعادل در شبکه مصرف می‌شود. عدم تعادل در شبکه توزیع بدین معناست که توزیع بار بر روی فازهای شبکه در هر گره برابر نبوده و جمع برداری جریانهای سه‌فاز در هر گره شبکه برابر صفر نمی‌گردد. این امر سبب می‌گردد تا یک جریان برگشتی در سیم نول جاری شود که این خود به نوبه خود سبب جابجایی نقطه صفر در هر گره شده و با تولید مولفه‌های صفر و منفی

علاوه بر مسائل یاد شده، زیاد بودن نامتعادلی بار شبکه باعث وضعیت نامطلوب کارکرد در اجزاء دیگر شبکه از جمله ترانسفورماتورها خواهد شد. بعنوان مثال بعلت عدم تعادل بار ممکن است، بار یکی از فازهای ترانسفورماتور از بار نامی فاز افزایش یابد. این امر در زمانی که حتی بار سه فاز ترانسفورماتور کمتر از بار نامی آن است، سبب عدم بهره برداری بهینه از ترانسفورماتور، گرم شدن و فرسوده شدن آن و در نتیجه خسارتهای زودرس خواهد شد. [۳]

۳- محاسبه به تلفات ناشی از نامتعادلی بار

در این بخش تلفات در حالت متعادل و نامتعادل در شبکه‌ای با بار کاملاً اهمی و متمرکز در یک نقطه بررسی و دو حالت با یکدیگر مقایسه شده است. اگر دیاگرام برداری ولتاژ و جریان مطابق شکل (۱) زیر باشد [۳و۴]:



شکل (۱) دیاگرام برداری ولتاژ و جریان در شبکه اهمی

پس از تصویر کردن بردارهای جریان بر محور افقی و عمودی مقدار جریان نول برابر خواهد بود با:

$$I_n = \sqrt{(I_n)_x^2 + (I_n)_y^2} \quad (1)$$

یا

$$I_n = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - I_1 I_2 - I_1 I_3 - I_3 I_2}$$

اگر جریانه‌ها متعادل باشند در آن صورت جریان جاری شده در سیم نول صفر و مقدار تلفات برابر است با:

$$3RI^2 = \frac{R}{3}(I_1 + I_2 + I_3)^2 \quad (2)$$

اگر جریانه‌ها متعادل نباشند، با این فرض که سطح مقطع سیم‌های فاز یکسان باشد مقدار تلفات برابر است با:

$$RI_1^2 + RI_2^2 + RI_3^2 = \text{تلفات نامتعادل} \quad (3)$$

تفاوت تلفات در دو حالت متعادل و نامتعادل برابر است با:

باعث کاهش کیفیت برق و افزایش تلفات شبکه های فشار ضعیف می‌گردد.

۲- مروری بر اثرات سوء نامتعادلی بار

در این بخش مروری بر اهم اثرات سوء ناشی از نامتعادلی بار در شبکه‌های توزیع خواهیم داشت.

۱-۲- افزایش تلفات قدرت

تلفات قدرت در اثر نامتعادلی بار شبکه را باید در دو حالت جداگانه یعنی تلفات قدرت در فازها و تلفات قدرت در سیم نول جستجو نمود. قابل توجه آنکه تلفات قدرت در فازها در حالت عدم تعادل بار بیش از تلفات در حالت تعادل بار بوده که به آن تلفات در نول هم اضافه خواهد شد [۱]. همچنین اکثراً مقطع سیم در نول نصف مقطع سیم فاز می‌باشد. با توجه به این امر مقاوت اهمی سیم نول حدود دو برابر مقاوت سیم فاز شده و تلفات در صورت جریانه‌های کم عبوری از آن باز هم قابل توجه است. البته قابل ذکر است که در تعدادی از مقالات [۲و۳و۴] مقطع سیم نول و سیمهای فاز مساوی در نظر گرفته شده است.

۲-۲- افت ولتاژ در اثر نامتعادلی

حتی اگر مقاطع سیمهای فاز در شبکه را یکسان فرض کنیم در اثر عبور جریانهای نابرابر، خطوط، افت ولتاژ متفاوتی خواهند داشت، و در نتیجه ولتاژ در طرف مصرف کننده‌ها بخصوص سر موتورهای سه فاز نامتعادل خواهد بود. این موضوع اثرات نامطلوب بر مصرف کننده‌های سه فاز خواهد گذاشت [۳و۴].

۲-۳- خطرات ناشی از جریان دار شدن سیم نول

با نامتعادل شدن جریان در سیستم سه فاز و عبور جریان از سیم نول، سیم نول نسبت به زمین دارای ولتاژی می‌شود که در صورت عبور از حد مجاز، از نظر ایمنی نامطلوب بوده و چنانچه مصرف کننده با سیم نول تماس حاصل کند خطر برق گرفتگی مطرح می‌باشد.

کمتری نسبت به روشهای دیگر می باشد ولی با توجه به اینکه مشترکین روی یک فیدر از لحاظ مصرف متفاوت می باشند و نمی توان آنها را در یک سطح قرار داد، روش خوبی به شمار نمی رود.

۳-۴- استفاده از روش Pave

در این روش مبنای محاسبات بر اساس توان متوسط مشترکین می باشد. مقادیر توان متوسط از میزان مصرف مشترکین که در اطلاعات صورتحساب^۱ آورده شده است، بدست می آید. در این روش می بایست 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 گسترده تری نیاز دارد. اما با توجه به اینکه در شبکه های توزیع به علت رفتار تصادفی و غیر همزمان مشترکین تکفاز نامتعادلی بار دارای ماهیتی دینامیکی و متغیر با زمان است، این روش دارای این مزیت است که چون با مصرف واقعی مشترکین سرو کار دارد نسبت به دو روش بالا بهتر است. اما عیب این روش در این عیب است که ممکن است در منطقه ای تمام این اطلاعات موجود نباشد. در روش مذکور سعی می شود که روی هر سه فاز به اندازه مساوی بار قرار گیرد.

۵- مدلسازی شبکه توزیع

در شبکه توزیع برای برقرسانی به مشترکین از سیستم سه فاز چهار سیمه استفاده می شود. شکل (۲) دیاگرام مداری یک شبکه توزیع نمونه را نشان می دهد. در شبکه توزیع مسکونی و تجاری اکثر بارها تک فاز بوده و بارها بین یکی از سیم های فاز و سیم نول وصل می شوند. فرضیاتی که در ادامه این بررسی صورت گرفته است عبارتند از:
الف- بارهای شبکه توزیع بصورت متمرکز در نظر گرفته شده اند.

$$\frac{2}{3}R(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - I_1I_2 - I_1I_3 - I_3I_2) \quad (4)$$

چون نا مساوی زیر همواره برقرار است، بنابراین رابطه بالا همواره مثبت و تلفات در حالت نامتعادل

$$I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \geq I_1I_2 + I_1I_3 + I_3I_2 \quad (5)$$

بیشتر از تلفات در حالت متعادل می باشد. این محاسبه بدون احتساب تلفات در سیم نول می باشد و چنانچه سطح مقطع سیم نول را برابر سیم فاز در نظر بگیریم، در آن صورت تلفات سیم نول یعنی:

$$RI_n^2 = R(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - I_1I_2 - I_1I_3 - I_3I_2) \quad (6)$$

نیز به آن اضافه می شود و خواهیم داشت:

$$\frac{5}{3}R(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 - I_1I_2 - I_1I_3 - I_3I_2) \quad (7)$$

۴- روشهای توزیع بار بر روی فازهای سه گانه در شبکه های توزیع [۵]

۴-۱- استفاده از قدرت قراردادی مشترکین

در این روش مشترکین روی فیدر با استفاده از نوع مصرف (قدرت قراردادی) متعادل می شوند. به این ترتیب که قدرت قراردادی مشترکین روی فیدر آورده می شوند. سپس تعادل بار به صورتی انجام می گیرد که مجموع قدرت های قراردادی روی سه فاز به صورت مساوی تقسیم شده باشد. این روش با وجود اینکه روش ساده و به ظاهر معقولی به نظر می رسد اما به دلیل تفاوت مقدار واقعی مصرف مشترک از اندازه قدرت قراردادی، روش مناسبی برای تعادل بار نمی باشد.

۴-۲- استفاده از روش مشترک شماری

برای به کارگیری این روش لازم است که تعداد مشترکین روی هر فیدر مشخص باشد و نیازی به نوع مصرف، قدرت قراردادی و میزان مصرف مشترکین نمی باشد. به منظور اجراء این روش، تعداد مشترکین روی یک فیدر به نحوی به سه فاز تقسیم می گردد که روی هر فاز تعداد مساوی از مشترکین قرار داشته باشد. این روش با وجود اینکه نیازمند اطلاعات

¹ Billing

لذا بار متصل به هر فاز را در عمل می‌توان به صورت زیر مدل‌سازی نمود.

$$Z_{Da} = Z_{pha} \mid \Delta Z_a \Rightarrow Z_{pha} = \frac{\Delta Z_a \times Z_{Da}}{\Delta Z_a - Z_{Da}} \quad (1-10)$$

$$Z_{Db} = Z_{phb} \mid \Delta Z_b \Rightarrow Z_{phb} = \frac{\Delta Z_b \times Z_{Db}}{\Delta Z_b - Z_{Db}} \quad (2-10)$$

$$Z_{Dc} = Z_{phc} \mid \Delta Z_c \Rightarrow Z_{phc} = \frac{\Delta Z_c \times Z_{Dc}}{\Delta Z_c - Z_{Dc}} \quad (3-10)$$

در روابط فوق Z_{Da}, Z_{Db}, Z_{Dc} مدل امپدانس بار دیماند و $\Delta Z_a, \Delta Z_b, \Delta Z_c$ مدل تغییرات بار (کاهش بار) در سه فاز شبکه توزیع می‌باشد.

هنگام توزیع بار بر روی سه فاز سیستم توزیع، بر اساس یکی از روشهای بند (۴) بار بصورت مساوی بین سه فاز تقسیم می‌شود. لذا معمولاً داریم: $Z_{Da} = Z_{Db} = Z_{Dc}$

۶- شاخصه عدم تعادل در شبکه های توزیع

مطابق استاندارد صنعت برق ایران [۵] عدم تعادل ولتاژ به شرایطی اطلاق می‌گردد که مقادیر مؤثر ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف فاز زاویه ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد. درصد عدم تعادل ولتاژ با نسبت اندازه مؤلفه توالی صفر به اندازه مؤلفه توالی مثبت مشخص می‌گردد. حدود در صد مجاز عدم تعادل ولتاژ در شینه های مختلف طبق جدول (۱) توصیه می‌گردد.

جدول (۱): حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ

ولتاژ شبکه	۴۰۰ ولت و ۲۰ و ۳۳ کیلو ولت	۴۰۰، ۲۳۰، ۱۳۲، ۶۳ کیلو ولت
در صد عدم تعادل ولتاژ	۲	۱

۷- تبیین روش پیشنهادی جهت کاهش عدم تعادل در شبکه‌های توزیع

در روش پیشنهادی این مقاله بخشی از دیماند به عنوان باری در نظر گرفته می‌شود که این بار را می‌توان بین فازهای شبکه توزیع با کلیدزنی جابجا نمود. این بار که در این مقاله

ب- مدار معادل شبکه توزیع به سمت شبکه بالادست (شبکه تغذیه) یک مدار تونن می‌باشد.

ج- ولتاژ منبع در مدار معادل تونن، سه فاز و متقارن می‌باشد.

د- امپدانس خطوط و فازها یکسان در نظر گرفته شده‌اند.

اکنون براساس شکل (۲) روابط زیر را می‌توان نوشت:

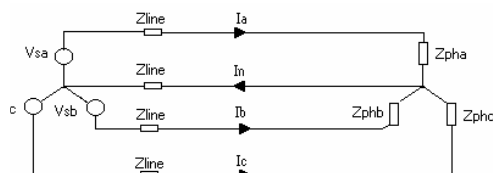
$$V_{La} = V_{sa} - Z_{line}(I_a + I_n) = Z_{pha} \times I_a \quad (1-8)$$

$$V_{Lb} = V_{sb} - Z_{line}(I_b + I_n) = Z_{phb} \times I_b \quad (2-8)$$

$$V_{Lc} = V_{sc} - Z_{line}(I_c + I_n) = Z_{phc} \times I_c \quad (3-8)$$

و یا

$$\begin{bmatrix} Z_{pha} + 2Z_{line} & Z_{line} & Z_{line} \\ Z_{line} & Z_{phb} + 2Z_{line} & Z_{line} \\ Z_{line} & Z_{line} & Z_{phc} + 2Z_{line} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (9)$$



شکل (۲): دیاگرام مداری شبکه توزیع چهار سیمه مورد مطالعه

در روابط (۸) و (۹)، I_n, I_c, I_b, I_a به ترتیب جریان فازهای سه گانه و جریان نول، $V_n, V_{Lc}, V_{Lb}, V_{La}$ به ترتیب ولتاژ دو سر بار در فازهای سه گانه و ولتاژ نقطه نول در اتصال ستاره بار، V_{sc}, V_{sb}, V_{sa} به ترتیب ولتاژ فاز به نول منابع، Z_{line} مجموع امپدانس خط و امپدانس مدار معادل تونن در فازها و سیم نول و در نهایت، $Z_{phc}, Z_{phb}, Z_{pha}$ مجموع کل امپدانس متصل بین فاز و نقطه نول بارها در سه فاز می‌باشند.

در محاسبات برآورد درخواست نیروی برق مشترکین (Demand) معمولاً بیشترین مقدار مصرف در نظر گرفته می‌شود [۸]. بنابراین در عمل بار متصل به شبکه توزیع، کمتر از مقدار دیماند خواهد بود. با توجه به اینکه در شبکه توزیع بار بصورت موازی متصل می‌شود [۶]، لذا کاهش بار به معنای برداشتن یک امپدانس موازی از امپدانس دیماند خواهد بود.

روش پیشنهادی مقداری از بار کل روی فیدر به عنوان بار کنترلی (Z_{ctl}) تعیین می‌شود و بقیه بار به یکی از روشهای بند (۴) بین سه فاز بطور مساوی تقسیم می‌شود، یعنی:

$$Z'_{Da} = Z'_{Db} = Z'_{Dc}$$

که در این رابطه:

Z'_{Da} : بار دیماندا مشترکین متصل به فاز A بدون وجود Z_{ctl}

Z'_{Db} : بار دیماندا مشترکین متصل به فاز B بدون وجود Z_{ctl}

Z'_{Dc} : بار دیماندا مشترکین متصل به فاز C بدون وجود Z_{ctl}

مقدار Z_{ctl} به نحوی تعیین می‌شود که با اتصال بار کنترلی بر روی هر یک از فازها، شاخص عدم تعادل از حد مجاز استاندارد بیشتر نباشد. بطور مثال اگر امپدانس کنترلی به فاز A متصل باشد، امپدانس متصل به فازها بصورت زیر می‌باشند:

$$Z'_{pha} = Z'_{Da} \parallel Z_{ctl} \quad (1-11)$$

$$Z'_{phb} = Z'_{Db} \quad (2-11)$$

$$Z'_{phc} = Z'_{Dc} \quad (3-11)$$

و فرض می‌شود که در شرایط فوق شاخص عدم تعادل از ۲ درصد تجاوز ننماید [۷]. در رابطه فوق Z'_{pha} ، Z'_{phb} و Z'_{phc} به ترتیب امپدانسهای متصل به فازهای A، B و C در حالت استفاده از روش بار کنترلی می‌باشند.

۳-۷- انتخاب یک الگوی تغییر بار

تغییر بار فازهای سه‌گانه شبکه توزیع بصورت تصادفی است. همانطور که بیان شد، مقدار بار واقعی معمولاً از بار دیماندا کمتر است. لذا جهت مطالعه دامنه وسیعی از ترکیب‌بندی بار شبکه توزیع، از الگوی نمونه زیر استفاده شده است.

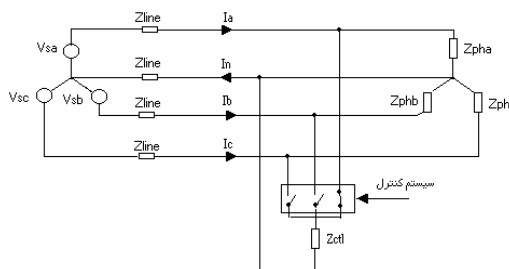
الف- بار روی فاز A ثابت و معادل بار دیماندا می‌باشد.

ب- بار روی فاز B ثابت و به اندازه ΔZ_b کمتر از مقدار دیماندا می‌باشد. (کاهش بار به میزانی در نظر گرفته شده است که در حالت عدم استفاده از روش پیشنهادی، اگر تنها تغییر در فاز B باشد، شاخص عدم تعادل از ۲ درصد بیشتر نباشد).

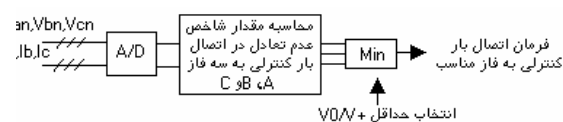
بار کنترلی نامیده شده در شکل (۳) با Z_{ctl} نمایش داده شده است. در شکل اخیر شبکه توزیع مورد مطالعه، همراه با دیاگرام شماتیک نحوه اتصال بار کنترلی به شبکه توزیع نمایش داده شده است. هدف تعیین فازی است که با اتصال این بار به آن فاز، شاخص عدم تعادل حداقل گردد.

۷-۱- سیستم کنترل در روش پیشنهادی

در شکل (۴) بلوک دیاگرام سیستم کنترل در روش پیشنهادی نمایش داده شده است. ورودی‌های سیستم کنترل، ولتاژهای فاز به نول و جریان فازها می‌باشند. پارامترهای اخیر در پستهای توزیع توسط VT یا PT و CT قابل اندازه‌گیری می‌باشند. این پارامترها با استفاده از یک A/D به عنوان ورودی‌های یک سیستم ریزپردازنده می‌باشند. ریزپردازنده با شبیه‌سازی سیستم، مقدار عدم تعادل شبکه را برای حالتی اتصال بار کنترلی به هر کدام از فازها محاسبه می‌کند. خروجی ریزپردازنده، فرمان اتصال بار کنترلی به فازی است که حداقل شاخص عدم تعادل را داشته باشد.



شکل (۳) دیاگرام شماتیک نحوه اتصال بار کنترلی به شبکه توزیع



شکل (۴) بلوک دیاگرام سیستم کنترل

۷-۲- محاسبه مقدار بار کنترلی (Z_{ctl})

همانطور که بیان شد بار کنترلی با استفاده از یک سیستم کلیدزنی به یکی از فازهای شبکه توزیع وصل می‌شود. نکته‌ای که باید در نظر داشت آن است که بار کنترلی باید همواره برقرار باشد زیرا جزو دیماندا مشترکین است. در

امپدانس بار به قسمی تعیین شده است که در حالت توزیع یکسان بار در فازها، ولتاژ دو سر بار در سه فاز بیش از ده درصد افت ولتاژ نسبت به منبع تغذیه نداشته باشد، لذا داریم:

$$Z_{Da} = Z_{Db} = Z_{Dc} = 0.5 + i \times 0.5 \Omega$$

در شبکه‌های توزیع معمولاً ضریب قدرت برابر ۰/۷ می‌باشد [۶].

براساس روش محاسبه بیان شده برای Z_{ctl} و ΔZ_b به ترتیب در بخشهای (۷) و (۸) خواهیم داشت:

جدول (۲): مقادیر بار کنترلی و بارهای متغیر

$2.36 + i \times 2.36$	امپدانس بار کنترلی
$2.45 + i \times 2.45$	امپدانس تغییر بار در فاز B
$1 + i$	مینیمم امپدانس بار متغیر در فاز C
$5 + i \times 5$	ماکزیمم امپدانس بار متغیر در فاز C

۹- شبیه‌سازی و نتایج حاصل از اعمال روش بار کنترلی

جهت نشان دادن میزان کارایی روش پیشنهادی، تاثیری که استفاده از این روش بر روی اثرات سوء نامتعادلی بار دارد، مورد بحث قرار گرفته است. در شکل‌های (۵) الی (۹) محور افقی اندازه تغییر بار را در فاز C نشان می‌دهد (ضریب قدرت برابر ۰/۷ است). در شکل‌های (۵) الی (۸) دو منحنی مشاهده می‌شود. منحنی خط چین مربوط به حالت عدم استفاده از روش پیشنهادی بوده و منحنی تو پر تاثیر استفاده از روش کنترلی را نشان می‌دهد. در شکل (۵) میزان تاثیر استفاده از روش کنترلی در بهبود شاخص عدم تعادل (نسبت مولفه صفر به مثبت) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که شاخص عدم تعادل برای تغییر بار برای محدوده ۳ الی ۱۰ برابر امپدانس دیمانس، در محدوده مجاز باقی مانده است. در شکل (۶) تلفات شبکه توزیع برای دو حالت ترسیم شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که برای تمام مقادیر تغییر بار، استفاده از روش بار کنترلی، باعث می‌شود تا شبکه توزیع دارای تلفات کمتری باشد. از سوی دیگر ابزار مورد نیاز برای اجرای طرح پیشنهادی یک ترانسفورماتور جریان و یک ترانسفورماتور ولتاژ متناسب با توان فیدر و یک ریزپردازنده و سویچهای قدرت است که معمولاً هزینه خرید بسیار پایین

ت- بار روی فاز C متغیر بوده و امپدانس آن بین ۲ الی ۱۰ برابر بار دیمانس فاز C تغییر می‌کند

$$(2 \times Z_{Dc} \leq \Delta Z_c \leq 10 \times Z_{Dc})$$

به بیان ریاضی در حالتی که از روش بار کنترلی استفاده نمی‌شود، مجموع امپدانس‌های متصل به فازها بصورت ذیل خواهد بود:

$$Z_{Da} = Z_{pha} \quad (1-12)$$

$$Z_{Db} = Z_{phb} \mid \Delta Z_b \Rightarrow Z_{phb} = \frac{\Delta Z_b \times Z_{Db}}{\Delta Z_b - Z_{Db}} \quad (2-12)$$

$$Z_{Dc} = Z_{phc} \mid \Delta Z_c \Rightarrow Z_{phc} = \frac{\Delta Z_c \times Z_{Dc}}{\Delta Z_c - Z_{Dc}} \quad (3-12)$$

$$\& 2 \times Z_{Dc} \leq \Delta Z_c \leq 10 \times Z_{Dc}$$

در حالتی که از روش بار کنترلی استفاده می‌شود، اگر بطور مثال با اتصال Z_{ctl} به فاز B شاخص عدم تعادل حداقل گردد، مجموع امپدانس‌های متصل به فازها بصورت زیر خواهند بود:

$$Z'_{Da} = Z'_{pha} \quad (1-13)$$

$$Z'_{Db} \mid Z_{ctl} = Z'_{phb} \mid \Delta Z_b \Rightarrow Z'_{phb} = \frac{\Delta Z_b \times Z'_{Db} \mid Z_{ctl}}{\Delta Z_b - Z'_{Db} \mid Z_{ctl}} \quad (2-13)$$

$$Z'_{Dc} = Z'_{phc} \mid \Delta Z_c \Rightarrow Z'_{phc} = \frac{\Delta Z_c \times Z'_{Dc}}{\Delta Z_c - Z'_{Dc}} \quad (3-13)$$

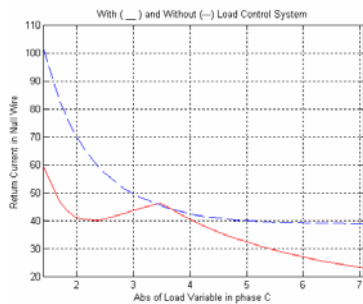
$$\& 2 \times Z_{Dc} \leq \Delta Z_c \leq 10 \times Z_{Dc}$$

۸- محاسبه مقادیر عددی پارامترهای سیستم مورد مطالعه

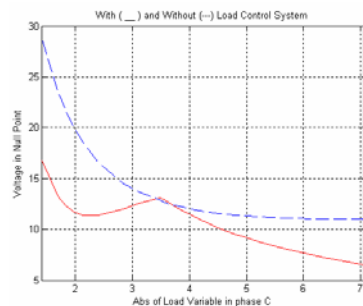
با توجه به فرض‌های بیان شده در بند (۵) منبع ولتاژ سه فاز متعادل می‌باشد لذا خواهیم داشت:

$$\begin{cases} V_{sa} = \sqrt{2/3} \times 400 \sin(\omega t) \\ V_{sb} = \sqrt{2/3} \times 400 \sin(\omega t - 120) \\ V_{sc} = \sqrt{2/3} \times 400 \sin(\omega t + 120) \end{cases} \quad (14)$$

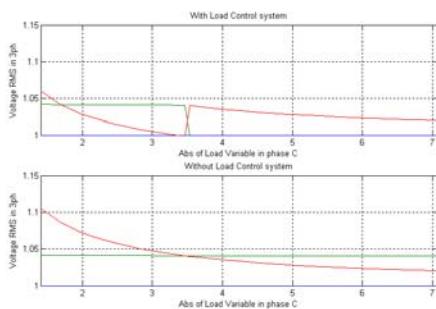
امپدانس مدار معادل تونن دیده شده از سر بار به سمت شبکه تغذیه در فازها و نول برابر $Z_{line} = 0.05 + i \times 0.05 \Omega$ می‌باشد [۶].



شکل (۷): تاثیر استفاده از روش بار کنترلی در کاهش جریان برگشتی از سیم نول



شکل (۸): تاثیر استفاده از روش بار کنترلی در کاهش ولتاژ نقطه نول سمت بار

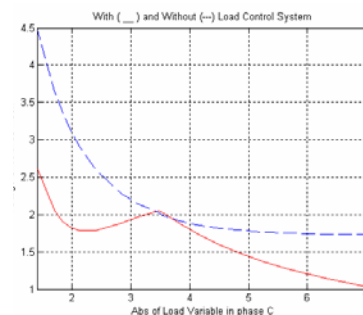


شکل (۹): تاثیر استفاده از روش بار کنترلی در متعادل کردن اندازه ولتاژ سه‌فاز

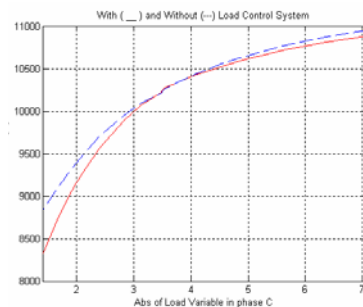
۱۰- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش جدید جهت کاهش میزان عدم تعادل در شبکه‌های توزیع ارائه شده است. در این روش تعدادی از بارها روی فیدر به عنوان بار کنترلی در نظر گرفته شده است. سیستم کنترلی به نحوی طراحی شده است که با جابجایی بار کنترلی بین فازها، شاخص عدم تعادل کمترین مقدار را داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این روش، در کاهش تلفات ناشی از عدم تعادل سیستم، کاهش شاخص عدم تعادل و بهبود کیفیت برق، کاهش جریان

دارند. این در حالی است که تلفات در شبکه توزیع دارای بیشترین سهم در تلفات شبکه سراسری می‌باشد. لذا با اتخاذ و انجام طرح پیشنهادی از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه خواهد بود. در شکل (۷) اندازه جریان برگشتی از سیم نول و در شکل (۸) ولتاژ نقطه نول در سمت مصرف‌کننده نمایش داده شده‌اند. برای هر دو پارامتر مذکور استفاده از سیستم کلید زنی بار کنترلی، کاهش جریان برگشتی سیم نول و نیز ولتاژ نقطه نول را به دنبال داشته است. شکل (۹) نشان دهنده ولتاژ دو سر بار در فازهای سه‌گانه در دو حالت مورد مطالعه می‌باشد. در شکل (۹) مقدار مؤثر ولتاژ فاز A یک پریونیت در نظر گرفته شده و ولتاژ فازهای B و C نسبت به آنها برای هر حالت ترسیم شده است. با دقت در شکل مذکور مشاهده می‌شود که مقدار مؤثر ولتاژ سه فاز و جریانهای سه فاز نسبت به حالتی از روش کنترلی استفاده نمی‌شود، به همدیگر نزدیکتر می‌باشند (متعادل‌تر اند). این امر یکی از مزایای مهم استفاده از روش کنترلی برای مصرف‌کننده‌های سه فاز از قبیل موتورهای القایی سه فاز [۳ و ۹] و ترانسفورماتورهای سه فاز [۴] است.



شکل (۵): تاثیر استفاده از روش بار کنترلی در بهبود شاخص عدم تعادل



شکل (۶): تاثیر استفاده از روش بار کنترلی در کاهش تلفات شبکه توزیع

[9] Paulo Vinicius Santos Valois, Carlos Marcio Vieira Tahan, Nelson Kagan, Voltage Unbalance in Low Voltage Distribution Networks, IEE, 18-21 June 2001, Conf. Pub., No. 482

برگشتی از سیم نول، کاهش ولتاژ نقطه نول و نیز متعادل کردن اندازه ولتاژ سه فاز برای مصرف‌کننده‌های سه‌فاز تاثیر مثبت داشته است.

۱۱- مراجع

- [۱] صفر نورا...، عدم تعادل در شبکه‌های توزیع، اولین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، گیلان
- [۲] علی اکبر محسنی شوشتری، بررسی اثرات عدم تعادل بار و ارائه روشهای عملی به منظور متعادل نگهداشتن بار شبکه، پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۳ و ۴ خردادماه ۱۳۷۴، صفحه ۲۱۹ الی ۲۳۲.
- [۳] نورا... دهبندی، مهدی متقی مجد، بررسی تلفات بخاطر عدم تعادل بار و نقش جابجایی کابل سرویس مشترکین در کاهش آن، ششمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۱۹ و ۲۰ اردیبهشت ماه ۱۳۷۵، صفحه ۵۶۴ الی ۵۷۶.
- [۴] مهدی معلم، بررسی اثرات عدم تعادل بار در شبکه توزیع، انتشارات دفتر ستاد سازندگی و آموزش، وزارت نیرو و جهاد دانشگاهی اصفهان، ۱۳۵۹
- [۵] محمد مهدی قنبریان، طناز زارع، تعادل بار فشار ضعیف با استفاده از توان متوسط مشترکین، نهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۹ و ۱۰ اردیبهشت ۱۳۸۳، صفحه ۶۸۹ الی ۶۹۶
- [۶] مقررات ملی ساختمان، مبحث سیزدهم، طرح و اجرای تاسیسات برقی ساختمان‌ها، چاپ اول، شهریور ۱۳۸۲، صفحه ۲۳ الی ۲۴
- [۷] استاندارد صنعت برق ایران - مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق)، قسمت اول، چاپ اول، اردیبهشت ۱۳۸۱، صفحه ۱۲-۱۵
- [۸] عبدالامیر یاقوتی، استفاده از جبران‌سازهای خازنی جهت متعادل سازی ولتاژ و بهبود کیفیت توان، هشتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۲، صفحه ۴۵۵ الی ۴۶۳.