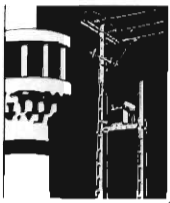


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

ضرورت برنامه‌ریزی و مراعات ظرفیت‌های ذخیره‌ای عقلائی در سیستم توزیع نیرو

احمد علی بهمن پور

شرکت برق منطقه‌ای تهران

چکیده:

برای امر مهم تداوم سرویس برق و کاهش خاموشیهای موضعی سیستم توزیع نیرو درجات مختلفی وجود دارد که درجه متوسط آن که برای شهرهای کوچک و متوسط پیشنهاد می‌گردد، متناظر با زمانهای خاموشی حدود نیم تا حداکثر دو ساعت مورد لزوم برای کشف عنصر معیوب و یا دچار حادثه شده و انجام کلیدزنی‌های دستی لازم، می‌باشد. اما حتی همین درجهٔ تداوم سرویس هم مستلزم رعایت اضطرار مرتبه اوّل (Single contingency) در شبکه توزیع نیرو می‌باشد که به معنی اوّلاً پیش‌بینی و مراعات حداقل میزانی حساب شده از ظرفیت ذخیره در عناصر شبکه و ثانیاً برقراری ترتیبات ارتباطی توام با نوعی کلید قطع و وصل فی‌مابین اجزاء است به نحوی که به میزانی معقول و اقتصادی امکانات جابجائی بار با کلیدزنی در شبکه ایجاد شود. با رعایت نحوهٔ بهره‌برداری شعاعی، دو الزام (اوّلاً) و (ثانیاً) فوق در حد گنجایش یک مقاله مختصر مورد بحث قرار گرفته و آرایشهای گوناگون با مدلها و اشکال ساده‌ای تشریح و مقایسه گردیده‌اند و آرایشهای مطلوب‌تر و مناسب‌تر معرفی شده‌اند.

شرح مقاله :

یکی از ضروریات تهیه و تصویب طرح جامع توزیع در هر منطقه بدون تردید فلسفه سیستم توزیع نیرو می‌باشد که خود استراتژی بلند مدت آن سیستم است [۱]. از کلیت فلسفه سیستم توزیع که خود مقوله‌ای مهم و شایان بحث مفصل می‌باشد، چون موضوع این مقاله نیست در می‌گذریم و خوانندهٔ علاقمند را به مراجع [۱ و ۲] ارجاع می‌دهیم اما یکی از بخشهای مهم فلسفه سیستم توزیع درجه قابلیت اعتماد این شبکه و شاخص تداوم سرویس برق می‌باشد. کوششهای مطالعاتی پراکنده‌ای که ظرف یک دو سال اخیر در این مورد صورت پذیرفته عمدتاً صرف تهیه الگوریتم‌ها یا برنامه‌های کامپیوتری به منظور تعیین درجه قابلیت اعتماد یا انرژی تأمین نشده (E.N.S = Energy Not Supplied) گردیده و کمتر بطور ریشه‌ای و کاربردی به نحوهٔ بهبود اساسی این ضعف مهم شبکه‌های توزیع کشورمان که بطور ساده می‌توان آن را قطع برق و خاموشیهای موضعی طولانی به ویژه در ماههای حداکثر مصرف دانست پرداخته شده است. مقاله حاضر تلاشی است در این زمینه مهم که سعی دارد به نحوی ساده و کاربردی طرق و شیوه‌های ممکن افزایش شاخص تداوم سرویس برق در شبکه توزیع را بیان نماید. با اقتباس از مراجع [۳] اظهار می‌داریم که کیفیت و مرغوبیت سرویس برق اوّلاً به درجه تداوم سرویس و ثانیاً به میزان تغییرات شکل موج ولتاژ اعم از افت ولتاژ یا پدیدهٔ فلیکر و یا تغییر شکل آن در اثر هارمونیک‌ها بستگی دارد که از بحث ثانیاً بالا در می‌گذریم ولی بخش اوّلاً یعنی درجه تداوم سرویس در سیستم توزیع با توجه به زمان مصروفه برای بازیابی شبکه واعاده سرویس برق مشترکین پس از قطع برق در اثر حوادث (عیب و اتصالی) را می‌توان با ترتیب صعودی به پنج درجه متفاوت مشروح زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱ ـ **الف** : زمانهای خاموشی چندین ساعته (وگاه تا ۲۰ ساعت و حتی بیشتر) لازم برای عیب‌یابی و رفع عیب، که متناظر با پایین‌ترین درجه تداوم سرویس است.

۱ ـ **ب** : زمانهای خاموشی حدود نیم تا حداکثر دو ساعت لازم برای کشف عنصر معیوب و برقراری سرویس از طریق مسیر دیگر یا به کمک ظرفیتهای ذخیره‌ای سایر اجزاء، که متناظر با درجه متوسط تداوم سرویس است.

۱ ـ **ج** : زمانهای خاموشی حدود چند دقیقه لازم برای قطع و وصل کلیدها و بازیابی سرویس از مرکز دیسپاچینگ توزیع، که متناظر با درجه خوب تداوم سرویس است.

۱ ـ **د** : زمانهای خاموشی حدود چند ثانیه لازم برای قطع و وصلهای اتوماتیک کلیدها. در نوع سیستم انتخابی برای عمل اتوماتیک کلیدها به منظور بازیابی، مراتب مختلف پیچیدگی می‌تواند وجود داشته باشد، که بطور کلی متناظر با درجه بسیار خوب تداوم سرویس می‌باشد.

۱ـ ه : درجه نهائی و افراطی تداوم سرویس که زمان خاموشی صفر بوده و مستلزم موازی نمودن مداوم تعداد کافی ترانسفورماتورها و فیدرهای کابلی و خط هوائی و غیره توام با تجهیزات حفاظتی انتخاب‌گر می‌باشد.

در حال حاضر درجه تداوم سرویس شبکه‌های توزیع نیرو در مناطق روستائی و شهرهای کوچک کشورمان عموماً از نوع (۱ ـ الف) و در مناطق شهری بزرگ منجمله تهران مخلوطی از انواع (۱ ـ الف) و (۱ ـ ب) می‌باشد. طی مقاله حاضر تلاش خواهد شد که نظم و نسقی برای درجه (۱ ـ ب) فوق‌الاشاره تداوم سرویس ارائه داده و پیشنهاد گردد که این درجه کیفی برای عموم شهرهای کوچک و متوسط الزامی شود. برای شهرهای بزرگ منجمله تهران، درجات بالاتر تداوم سرویس از نوع (۱ ـ ج) یا (۱ ـ د) یا (۱ ـ ه) ضرورت دارد که انشاالله موضوع تحقیق آتی سایر محققین و کارشناسها خواهد بود. مقاله را طی بخشهای ۱ تا ۴ ادامه داده و در خاتمه نتیجه‌گیری خواهد شد.

۱ ـ نحوه ایجاد درجه متوسط (۱ ـ ب) تداوم سرویس = رعایت اضطرار مرتبه اوّل :

منظور از اضطرار مرتبه اوّل (Single or First Contingency) وقوع تنها و تنها یک عیب و اتصالی (Fault) در یک مجموعه از عناصر همگن شبکه توزیع بوده و چنانچه حداقل تعداد و نحوهٔ ارتباط عناصر باقی‌مانده سالم به نحوی باشد که مأمورین بهره‌برداری بعد از یافتن عنصر معیوب و جداسازی آن و انجام کلیدزنی مقتضی بتوانند سرویس برق را پس از مدت زمان لازم برای اقدامات فوق که نیم یا دو ساعت به طول می‌انجامد، برقرار نمایند می‌توان اظهار داشت که در آن مجموعه اضطرار مرتبه اوّل رعایت گردیده و درجه تداوم سرویس نوع (۱ ـ ب) را داراست، تعریف کلی مزبور به مفهوم و مستلزم این است که در عناصر و تجهیزات سالم مقداری ظرفیت ذخیره برای این گونه مواقع اضطراری موجود بوده و در مدت زمانی که سرویس برق با این گونه ترتیبات اضطراری برقرار می‌شود، بار اضطراری از ظرفیت مجاز تأسیسات تجاوز ننموده و موجب بروز صدمات یا کاهش شدید طول عمر تأسیسات نگردد. حالات و شیوه‌های مختلف نحوهٔ پیش‌بینی‌های لازم برای رعایت اضطرار مرتبه یکم شبکه خطوط و کابلهای (فیدرهای) فشار متوسط و ضعیف را در فصل (۲) و از آن پستهای توزیع را در فصل (۳) و مقایسه آنها را با یکدیگر در فصل (۴) ملاحظه خواهید فرمود.

۲ ـ نحوه رعایت اضطرار مرتبه اوّل در شبکه فشار متوسط و ضعیف :

با توجه به اینکه نحوهٔ بهره‌برداری از شبکه توزیع در کشورمان شعاعی می‌باشد، آرایشهای مختلف حلقوی اعم از یک سو تغذیه یا دو سو تغذیه هم در نهایت باید به صورت فیدرهای شعاعی مورد بهره‌برداری واقع شوند و لذا انواع آرایشهای شبکه بهم پیوسته از دو سو تغذیه یا غربالی خارج از بحث ما خواهد بود، حالات مختلف فیدرها در شبکه فشار متوسط و ضعیف و در انواع کابلی و خط هوائی اشتراکات زیادی باهم داشته و در مواردی که متفاوت باشند ذکر خواهد شد. این حالات به شرح زیر می‌باشند:

۱ ـ ۲ ـ فیدر کاملاً شعاعی و بدون نقطه مانور :

در این نوع فیدر که هم در فشار متوسط و هم در فشار ضعیف کاربرد زیادی یافته است به هیچوجه رعایت اضطرار مرتبه یکم امکان ندارد و در هر محلی از فیدر که عیب و اتصالی بروز نماید، به اندازه کل ظرفیت فیدر که منبعد آن را D فرض می‌کنیم خاموشی ایجاد شده و تا خاتمه عملیات رفع عیب که ممکن است یک شبانه‌روز هم به طول انجامد تداوم می‌یابد. ظرفیت ذخیره نیز در آن ضرورت ندارد و از کل ظرفیت فیدر در مواقعی که معیوب نباشد می‌توان بهره گرفت.

۲ ـ ۲ ـ فیدر کاملاً شعاعی و دارای چند نقطه مانور :

چند نقطه مانور این نوع فیدر در کابلهای فشار ضعیف شالترها ـ در کابلها و خطوط فشار متوسط سکسیونرهای قابل قطع زیر بار هستند. تنها تفاوت این نوع فیدر با قبلی در این است که میزان خاموشی طولانی به محل عیب و اتصالی بستگی دارد. اگر تعداد تکه‌های فیدر را n و طبعاً تعداد نقاط مانور را (n ـ ۱) فرض کنیم و عیب و اتصالی روی قطعه (m) ام اتفاق افتاده باشد، قطعه (m) ام و کلیه تکه‌های پائین دستی فیدر که جمعاً (n-m+1) تکه هستند، خاموش خواهند بود و لذا میزان خاموشی D ($\frac{n-m+1}{n}$) می‌باشد. مثلاً اگر فیدر چهار قطعه شده (n=4) و اتصالی روی قطعه دوّم (m=2) بروز نماید میزان خاموشی ($\frac{۳}{۴}$ D) خواهد بود.

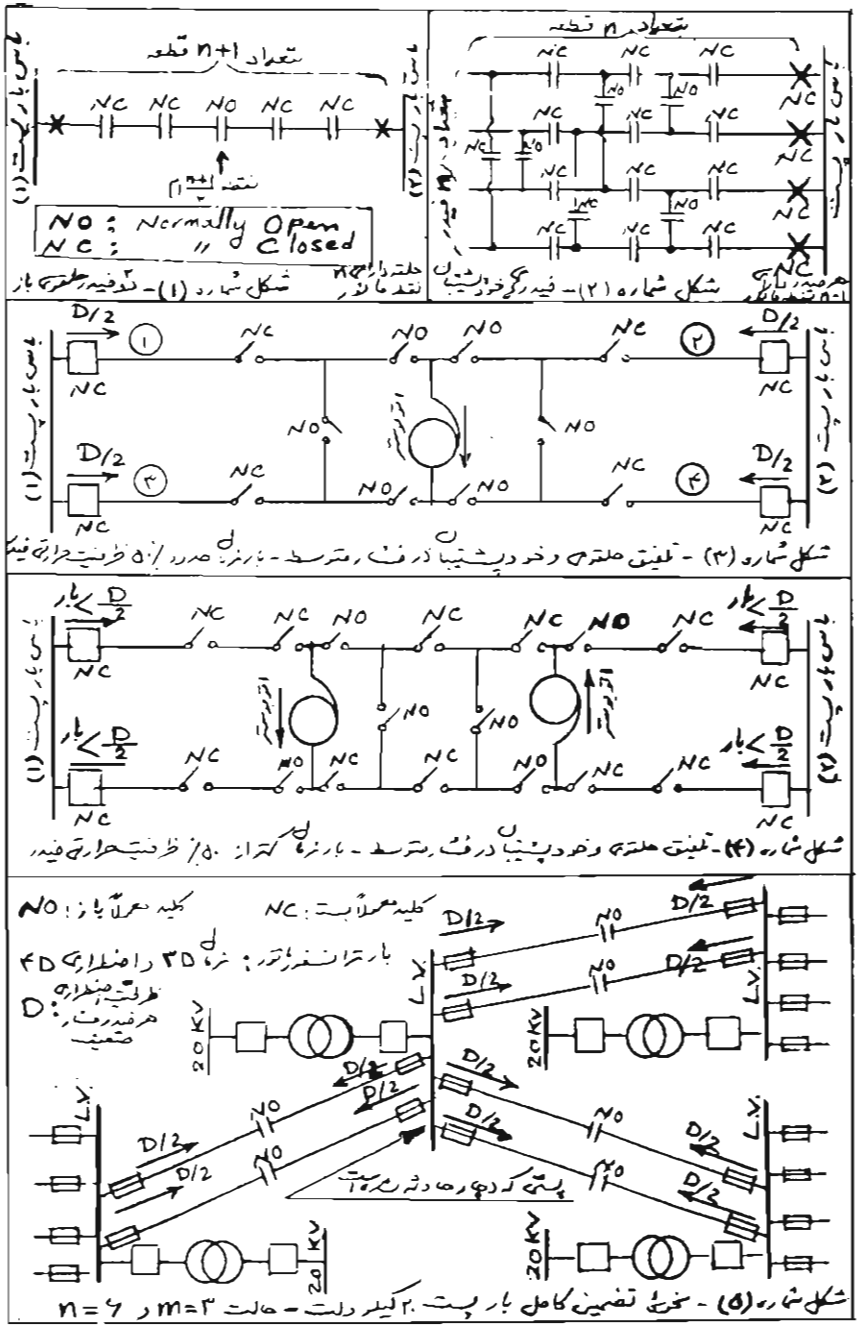
۳ ـ ۲ ـ فیدر حلقوی باز از دو سو تغذیه دارای چند نقطه مانور :

نقاط مانوری این فیدر مشابه ردیف (۲ ـ ۲) می‌باشد. چنانچه تعداد نقاط مانور را (n) فرض کنیم فیدر حلقوی دارای (n + 1) تکه بوده که بخاطر تقارن باید (n + 1) زوج و طبعاً (n) فرد باشد. مطابق شکل (۱) بطور معمول نقطه مانور شماره ($\frac{n+1}{2}$) ام باز و سایر نقاط بسته هستند. هرگاه بر روی هر یک از

$(\frac{D}{n+1})$ تکه این نوع فیدر، عیب و اتصالی پایدار بروز نماید، میزان خاموشی $(n+1)$ بوده و با انجام مانور، (n) قطعه سالم حلقه باز از یکی از دو منبع تغذیه طرفین برق‌دار خواهند شد. چون بدترین شرایط برای این نوع فیدر، بروز عیب و اتصالی بر روی یکی از دو قطعه انتهائی فیدر می‌باشد که در این حال (n) قطعه از کل $(n+1)$ قطعه از یکی از دو منبع تغذیه خواهد شد، لذا بار هر قطعه از فیدر بطور متوسط $(\frac{D}{n})$، بار اضطراری هر فیدر (D) و بار عادی آن $(\frac{n+1}{2n}.D)$ و ظرفیت ذخیره در آن $(\frac{n-1}{2n}.D)$ خواهد بود. حالت $(n=1)$ بیهوده و حالات $(n=3)$ و $(n=5)$ معادل با ظرفیتهای ذخیره به ترتیب ۳۳ و ۴۰ درصد بوده که درصد ذخیره‌ای بالا است و از جاذبیت این نوع فیدر می‌کاهد. با بزرگتر گرفتن (n)، ظرفیت ذخیره لازم به ۵۰ درصد میل نموده، جاذبیت این نوع فیدر را باز هم کاهش بیشتری خواهد داد، مگر اینکه خواسته باشیم که با انتخاب این نوع فیدر از طریق شبکه پائین دست ظرفیت ذخیره‌ای برای وضعیت اضطراری مرتبه یکم پست تغذیه کننده نیز تأمین کنیم که در فصل (۳) مورد بحث واقع خواهد شد.

۴ـ۲ـ گروه فیدرهای خود پشتیبان با بهره‌برداری اضطراری کماکان شعاعی :

مطابق شکل (۲) چند فیدر فشار متوسط یا فشار ضعیف را می‌توان به نحو خود پشتیبان به هم دیگر ارتباط داد. چنانچه تعداد فیدرهای گروه (n) باشد ضرورت دارد که هر فیدر هم به (n) قطعه تقسیم و بر روی آن $(n-1)$ نقطه مانور (معمولاً بسته NC) در نظر گرفته شده و آن چنان ارتباطات (معمولاً باز NO) فی‌مابین دو بدوی $(n-1)$ n تکه فیدرها برقرار گردد (ارتباطات برای قطعه اوّل فیدرها لازم نیست) که در مواقع بروز عیب و اتصالی پایدار برای هر قطعه از هر فیدر و در بدترین شرایط که اتصالی بر روی نزدیک‌ترین تکه به شینه منبع تغذیه وقوع یابد، بتوان $(n-1)$ قطعه سالم آن فیدر معیوب را فی‌مابین $(n-1)$ قطعه سالم به نحوی تقسیم و مرتبط نمود که بر روی هیچ فیدر سالمی بیش از یک قطعه سالم از فیدر معیوب نیفتد. در این صورت چنانچه بار حالت اضطراری هر فیدر (D) باشد، بارهر تکه فیدر $(\frac{D}{n+1})$ و بار حالت نرمال فیدر $(\frac{nD}{n+1})$ و ظرفیت ذخیره آن $(\frac{D}{n+1})$ خواهد بود. فی‌المثل برای گروه ۴ فیدر خود پشتیبان، ظرفیت ذخیره لازم $(\frac{D}{5})$ و بار نرمال فیدر $(\frac{4D}{5})$ است و برای گروه ۵ فیدر خود پشتیبان ظرفیت ذخیره ضروری $(\frac{D}{6})$ و بار نرمال فیدر $(\frac{5D}{6})$ می‌باشد.


تعداد n+1 قطعه
تعداد n قطعه
NO : Normally Open
NC : " " Closed
شکل شماره (۱) - تغذیه حلقوی بار
شکل شماره (۲) - فیدر رگولاتور خودکار
شکل شماره (۳) - تغذیه حلقوی و خودکار با افت متوسط - بار نقطه‌ای حدود ۵۰٪ ظرفیت حرارتی فیدر
شکل شماره (۴) - تغذیه حلقوی و خودکار با افت متوسط - بار نقطه‌ای کمتر از ۵۰٪ ظرفیت حرارتی فیدر
شکل شماره (۵) - مجموعه تضمین کامل بار پست ۲۰ کیلو ولت - حالت m=۳ و n=۶

۵ ـ ۲ ـ گروه فیدرهای خود پشتیبان با بهره‌برداری بهم پیوسته در حالت اضطراری :

تنها تفاوتی که این آرایش با حالت قبل دارد در این است که اوّلاً تعداد قطعات فیدر (m) را مخالف تعداد فیدرها (n) می‌گیریم و ثانیاً پس از وقوع یک عیب و اتصالی پایدار برای یکی از فیدرها، نیروی لازم (m - 1) قطعه سالم به توسط کلیه (n -1) فیدر سالم مجموعه به نحو بهم پیوسته تأمین می‌گردد. اگر بار حالت اضطراری هر فیدر (D) باشد بار نرمال آن D ($\frac{mn - m}{mn - 1}$) و ظرفیت ذخیره‌اش D ($\frac{m - 1}{mn - 1}$) و میزان خاموشی آن D ($\frac{n - 1}{mn - 1}$) خواهد بود. به عنوان مثال برای حالت (n = 3 و m = 2) بار نرمال هر فیدر ($\frac{4D}{5}$) و ظرفیتهای ذخیره و میزان خاموشی به ترتیب ($\frac{D}{5}$) و ($\frac{2D}{5}$) است و برای حالت (n = 5 و m = 4) بار نرمال هر فیدر ($\frac{16}{19}$ D = 84% D) و ظرفیت ذخیره آن (16% D = $\frac{3}{19}$ D) و میزان خاموشی ($\frac{4}{19}$ D = 21% D) خواهد بود. اشکالات این آرایش در سه نکته مهم زیر است:

۱ ـ تعداد نقاط مانور لازم افزایش می‌یابد.

۲ ـ برخلاف محاسبات تئوریک و خوش بینانه فوق، تقسیم بار در فیدرهای بهم پیوسته یکسان نبوده و به امپدانس‌های فیدر و بار بستگی پیدا خواهد کرد و لذا احتمالاً تجاوز از ظرفیت مجاز که امر نامطلوب است پیشامد خواهد نمود.

۳ ـ اگر حسب نیاز شبکه بهم پیوسته برای فیدرها تجهیزات حفاظتی انتخاب‌گر که شدیداً هم هزینه بر هستند تأمین نشود، در صورت وقوع عیب و اتصالی بعدی در زمان بهره‌برداری اضطراری به یکباره همه مجموعه بی‌برق خواهد شد.

توضیح :

ـ اگر m > n باشد میزان ظرفیت ذخیره لازم بیش از میزان خاموشی خواهد بود.

ـ اگر m < n باشد میزان ظرفیت ذخیره لازم کمتر از میزان خاموشی خواهد بود.

ـ اگر m = n باشد میزان ظرفیت ذخیره لازم برابر با میزان خاموشی خواهد بود.

و در حالت اخیر حتی با وجود اشکالات (۱) تا (۳) فوق به ارقام مذکور در حالت (۴ـ۳) برگشت خواهیم کرد.

۶ ـ ۲ ـ تلفیق حالات حلقوی از دو سو تغذیه و گروه فیدرهای خود پشتیبان در فشار متوسط :

در شبکه‌های فشار متوسط هوائی که وضعیت غالب در کشورمان می‌باشد شاید تعداد فیدرهای هوائی ۲۰ کیلوولتی که در جهتهای جغرافیائی کم زاویه نسبت به یکدیگر احداث

شوند، بندرت به ۳ فیدر برسد و اکثراً از دوتا تجاوز نمی‌کند. در این صورت یعنی چنانچه مسیر این دو فیدر آن قدر از هم متباعد نبوده و ارتباط دادن آنها مستلزم احداث خط جدید طولانی نباشد می‌توان آرایش تلفیقی را مطابق شکلهای (۳) و (۴) بکار گرفت. توجیه و حسن این آرایش در این است که در خطوط هوائی فشار متوسط عامل محدود کنندهٔ میزان بار دهی، اکثراً افت ولتاژ بوده و عموماً بیش از حداکثر ۵۰ تا ۶۰ درصد ظرفیت حرارتی مجاز را نمی‌توان از خطوط کشید. دو حالت معقول برای این آرایش را می‌توان چنین ذکر نمود:

۱ـ۶ـ۲ـ اگر افت ولتاژ مجاز بار عادی خط را به ۵۰ تا ۶۰ درصد ظرفیت حرارتی محدود کند:

مطابق شکل (۳) چنانچه برای هر یک از ۴ فیدر شماره‌های (۱) تا (۴) عیب و اتصالی پایدار رخ دهد، می‌توان با باز و بسته کردن سکسیونرهای مربوطه، قطعه یا قطعه‌های سالم فیدر معیوب را روی فیدر پست مقابل انداخته، افت ولتاژ زیاد فیدر را با اتوبوستر جبران و ملاحظه نمود که حتی در مواقع اضطراری هم تجاوز از حد مجاز حرارتی فیدر رخ نخواهد داد.

۲ـ۶ـ۲ـ اگر بار عادی خط به سبب طول زیاد آن حدود $\frac{1}{3}$ ظرفیت حرارتی مجاز باشد:

مطابق شکل (۴) می‌توان با دو دستگاه اتوبوستر به آرایش خوبی که میزان خاموشی را در موارد بروز عیب و اتصالی پایدار باز هم کاهش می‌دهد رسید و از ظرفیت مجاز حرارتی خط نیز تجاوز ننمود.

۳ـ نحوه رعایت اضطرار مرتبه اوّل در پستهای توزیع نیرو:

هر پست توزیع ترکیبی است از چندین جزء نظیر فیوز یا دیژنکتور فشار متوسط ـ ترانسفورماتور ـ کابل ارتباط ـ کلید اتوماتیک فشار ضعیف ـ کلید فیوزهای فشار ضعیف که همچنان حلقه‌های یک زنجیر بطور متوالی با همدیگر بسته می‌شوند و لذا حداکثر درجه استحکام مجموعه برابر درجه استحکام ضعیف‌ترین جزء می‌باشد. از نقطه نظر تئوریک، رعایت اضطرار مرتبه یکم در پستهای توزیع معادل با دوبله نمودن کلیه اجزاء آن می‌باشد که هزینه بسیار هنگفتی را می‌طلبد. از طرف دیگر برخلاف شبکه خطوط و کابلها که در معرض حوادث خارجی قرار دارند (حفاریها و حیوانات جونده و ریزش زمین و بطور کلی صدمات مکانیکی برای کابلها ـ خطرات باد و طوفان و صاعقه، برف روبی و بطور کلی برف و یخ، تصادف وسائط نقلیه برای خطوط هوایی)، پستهای توزیع عمدتاً از این گونه حوادث مصون

می‌باشند و لذا اگر هم برای پست توزیع اصراری بر رعایت اضطرار مرتبه یکم باشد عمدتاً به منظور مقابله با حوادث حاصل از بهره‌برداری نامطلوب است که نه چاره درد است و نه قابل توجیه بهر حال حتی اگر برای مقاصد آموزشی هم باشد دو آرایش امکان‌پذیر با استفاده از ظرفیت ذخیره شبکه فشار ضعیف را به شرح زیر ارائه می‌دهیم:

۱ ـ ۳ ـ تضمین کامل ظرفیت پست توزیع :

با انتخاب شبکه فشار ضعیف حلقوی باز از دو سو تغذیه چنانچه هر پست توزیع (دارای n فیدر فشار ضعیف که ظرفیت اضطراری هر فیدر D است) با (m) پست توزیع مجاور خود ارتباط داشته باشد، تعداد فیدرهای ارتباطی بین هر دو پست مجاور ($\frac{n}{m}$) خواهد بود. حال چنانچه بار اضطراری ترانسفورماتور را T فرض نمائیم (که می‌تواند معادل ظرفیت اسمی ترانسفورماتور و تعدیل شده اوّلاً با ضریب کاهشی به خاطر ارتفاع محل نصب و ثانیاً با ضریب افزایشی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد با قبول اندکی کاهش طول عمر پس از هر دفعه وقوع حادثه و بروز اضافه بار تا به میزان درصد فوق باشد) و نسبت بار نرمال هر فیدر فشار ضعیف به بار اضطراری آن را K (عددی کوچک‌تر از واحد) فرض کنیم، بار نرمال هر فیدر (KD) و هر ترانسفورماتور (nKD) خواهد بود. بار نرمال هر پست ترانسفورماتور توزیعی که دچار حادثه شود باید از طریق m پست توزیع مجاورش و به کمک ظرفیت ذخیره (1 - K) D موجود در هر یک از n فیدر حلقوی باز فشار ضعیف که به پست حادثه دیده ارتباط دارند تأمین شود و لذا:

$$nKD = n\,(1 - k)\,D \Rightarrow k = \frac{1}{2}$$

یعنی تضمین کامل ظرفیت پست تنها و تنها با وجود ۵۰ درصد ظرفیت ذخیره در هر فیدر فشار ضعیف قابل اجرا است. بار اضطراری هر پست توزیع چنین خواهد بود:

$$T = nKD + \frac{n}{m}(1 - K)\,D = \frac{nD}{2} + \frac{1}{m} \times \frac{nD}{2} = \frac{nD}{2}\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

جمله اول بار نرمال و جمله دوم اضافه بار موارد اضطراری هر پست توزیع اطراف پست حادثه دیده می‌باشد. شکل شماره (۵) حالت ($m = 3 , n = 6$) را نشان می‌دهد. بار نرمال این پست توزیع ۶ فیدری برابر (3D) و بار اضطراری آن برابر (4D) می‌باشد ولی بعد از وقوع حادثه برای هر پست توزیع و پس از کلیدزنی‌های لازم کل خاموشی مشترکین آن پست بر طرف خواهد شد.

۲ ـ ۳ ـ تضمین بخشی از بار نرمال پست توزیع :

چنانچه با همان نمادهای بخش (۱ ـ ۳) خواسته باشیم بخشی معادل K' (عددی کوچک‌تر از واحد) از بار نرمال پست توزیع و نه همهٔ آن را تضمین کنیم باید داشته باشیم:

$$K'(nKD) = n(1-K)D \Rightarrow K = \frac{1}{1+k'} \; ; \; K' = \frac{1-K}{k}$$

مثلاً چنانچه خواسته باشیم که ۳۳ درصد بار نرمال پست تضمین شود خواهیم داشت:

$$K' = \frac{1}{3} \; , \; K = \frac{1}{1+K'} = \frac{3}{4} = 75\% = (100-25)\%$$

یعنی هر فیدر فشار ضعیف لازم است به اندازه ۲۵ درصد ظرفیت خود ذخیره داشته باشد.

و یا مثلاً چنانچه هر فیدر فشار ضعیف به اندازه ۳۳ درصد ظرفیت خود ذخیره داشته باشد:

$$K = 1 - 33\% = \frac{2}{3} \Rightarrow K' = \frac{1-k}{k} = \frac{1}{2} = 50\%$$

که بدین مفهوم است که به میزان ۵۰ درصد بار نرمال پست برای مواقع بروز حادثه قابل تضمین می‌باشد.

۴ ـ مقایسه حالتها و آرایشهای مختلف شبکه توزیع برای رعایت اضطرار مرتبه اوّل :

در این فصل حالتها و آرایشهای مختلف شبکه توزیع که در فصل (۲) مورد بحث قرار گرفتند با یکدیگر مقایسه خواهند شد. مقایسه بر مبنائی کم و بیش تقریبی و با توجه به ساده‌سازی‌های لازم و معمول در مدلهای ارائه شده برای شبکه توزیع صورت خواهد پذیرفت که مسلماً خالی از فایده نبوده اما بی‌نقص نیز نیست. لکن کارشناسان علاقمند با توجه به این مدلها خواهند توانست شبکه‌های واقعی توزیع نیرو با توپولوژی مشخص و معین را به کمک نرم‌افزارهای تعیین شاخص قابلیت اعتماد و (ENS) مورد بررسی کامل‌تر و جامع‌تر قرار داده و آرایش بهینه را در هر مورد مشروط به اینکه بهاء و ارزش واقعی آیتم‌های مورد مقایسه که ذیلاً ذکر می‌گردند کاملاً معلوم باشد بدست آورند، بهر حال آیتم‌هائی که مورد مقایسه قرار خواهند گرفت چنین خواهند بود:

الف ـ میزان ظرفیت ذخیره مورد لزوم (به مبنای ظرفیت یک فیدر) ـ ستون ۳ جدول.

ب ـ میزان و وسعت خاموشی در صورت بروز عیب و اتصالی پایدار برای هر فیدر (به مبنای ظرفیت هر فیدر) ـ ستون ۴ جدول.

ج ـ تلفات توان (به مبنای تلفات توان فیدر شعاعی کامل) ـ ستون ۵ جدول.

د ـ افت ولتاژ انتهای شبکه در حالت نرمال (به فرض که افت ولتاژ حالت اضطراری هنگام

وقوع یک عیب و اتصالی پایدار در هر فیدر حداکثر ۱۰ درصد باشد) ـ ستون ۶ جدول.

هـ ـ تعداد جعبه‌های ارتباطی NO و NC (در حالت فشار ضعیف) و سکسیونر (در حالت فشار متوسط) مورد لزوم به‌ازاء هر فیدر ـ ستون ۷ جدول.

و ـ تعداد مدارهای ارتباطی بین فیدری مورد نیاز (به‌ازاء هر فیدر) ـ ستون ۸ جدول.

ز ـ تعداد عملیات مانور و کلیدزنی مورد لزوم برای انداختن قسمتهای سالم یک فیدر معیوب بر روی فیدر سالم (تعداد به‌ازاء هر فیدر) ـ ستون ۹ جدول.

ح ـ میزان تضمین بار نرمال پست توزیع به توسط آرایش خاص شبکه فشار ضعیف انتخابی (درصد از بار نرمال پست) ـ ستون ۱۰ جدول.

جدول شماره (۱) موارد فوق‌الذکر را برای کلیه آرایشهای فصل (۲) مورد مقایسه قرار می‌دهد. از مقایسه ستونها به خوبی معلوم است که آرایشی نمی‌توان یافت که از همه لحاظ بهترین مقدار را داشته باشد. از لحاظ بعضی از آیتم‌های مهم مقایسه بهترین‌ها چنین هستند:

ـ از لحاظ میزان ظرفیت ذخیره لازم، ردیف ۷ گروه فیدرهای خود پشتیبان واجد حداقل ۱۷ درصد است.

ـ از لحاظ میزان خاموشی در مواقع بروز معایب پایدار چند آرایش واجد حداقل ۱۷ درصد می‌باشند (ردیف ۴ حلقوی باز ۶ تکه‌ای ـ ردیف ۷ گروه ۵ فیدری خود پشتیبان ـ ردیف ۱۱ تلفیق حلقوی و خود پشتیبان).

ـ از لحاظ تلفات توان، آرایش حلقوی باز ۶ تکه‌ای ردیف ۴ واجد حداقل ۴۴ درصد می‌باشد.

ـ از لحاظ افت ولتاژ نرمال (به شرط اینکه حداکثر افت ولتاژ حالت اضطراری ۱۰ درصد فرض شود) آرایش حلقوی باز ۶ تکه‌ای (ردیف ۴) واجد حداقل ۳/۶ درصد می‌باشد.

ـ از لحاظ تعداد جعبه‌های ارتباطی (یا سکسیونرها) و تعداد مدارهای ارتباطی و تعداد عملیات مانور (Switching)، ارقام به نحوی است که در گروههای N فیدری خود پشتیبان با افزایش N، تعداد مزبور بطور تصاعدی افزایش پیدا می‌کند که خود بهائی است که در ازاء میزان ذخیره پائین مورد لزوم باید پرداخت شود.

ـ از لحاظ امکان تضمین بار پست بالا دستی، آرایش حلقوی باز ۶ تکه‌ای ردیف (۴) واجد حداکثر امکان (۶۶) درصد است. آلترناتیوهای خوب بعدی ردیف (۳) یعنی حلقوی باز ۴ تکه‌ای و ردیفهای (۱۰ و ۱۱) یعنی تلفیق آرایش حلقوی و خود پشتیبان هر سه با امکان تضمین ۵۰ درصد می‌باشند.

آرایشهای گروه فیدرهای خود پشتیبان به سبب ظرفیت ذخیره کم موجود در خود، اکثراً امکان زیادی برای تضمین بار و ظرفیت پست بالا دستی ندارند.

ـ چنانچه خاموشی ـ تلفات توان و انرژی ـ افت ولتاژ و این قبیل معیارهای کیفی قابل تبدیل به کمیت، ارزش و جایگاه و منزلت واقعی خود را نداشته باشند و همچنان وضعیت حاضر بخش توزیع صنعت برق، تنها ملاک و معیار هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تأسیسات باشد. ردیف (۱) یعنی فیدر کاملاً شعاعی بهترین است.

نتیجه‌گیری :

چنانچه بخواهیم در مواقع بروز عیب و اتصالی‌های پایدار در شبکه توزیع نیرو، میزان و مدت خاموشی در مقایسه با وضعیت فعلی کاهش یافته و درجهٔ متوسطی از تداوم سرویس به شرح (۱ـب) را داشته باشیم، ضرورتاً باید به میزانی عقلائی و اقتصادی ظرفیتی ذخیره در پستها و فیدرهای فشار متوسط و ضعیف در نظر بگیریم. اهمیت و حساسیت پیش‌بینی و مراعات این ظرفیت ذخیره در فیدرها که در معرض انواع حوادث خارجی هستند پس بیشتر از پستها می‌باشد. چنانچه برای پستها ظرفیت تضمینی بالائی مورد نیاز تشخیص داده شود الزاما باید آرایشهای حلقوی باز برگزیده شود اما در صورتی که ظرفیتهای تضمینی کم (۲۰ تا ۳۳درصد) برای پستهای توزیع قابل قبول باشد یکی از آرایشهای گروههای خود پشتیبان که ظرفیتهای ذخیره‌ای پائینی در حدود ۱۸ تا ۲۵ درصد را نیز دارند برای شبکه فشار ضعیف و یکی از حالات تلفیقی حلقوی و خود پشتیبان را با توجه به چگالی بار منطقه و توپولوژی شبکه برای شبکه فشار متوسط می‌توان برگزید.

از دید کارشناسی، اینجانب برای عموم شهرهای کوچک و متوسط با جمعیتهائی در حدود ۵۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰نفر در فشار ضعیف ردیف ۸ و در فشار متوسط ردیف ۱۰ یا ۱۱ را مناسب دانسته و توصیه می‌نمایم. برای شهرهای با جمعیت بیشتر از ۵۰۰۰۰۰نفر منجمله شهر تهران ترتیبات مشروح در این مقاله کفایت نداشته و درجاتی بالاتر از ردیف (۱ـب) را به عنوان تداوم سرویس باید برگزید که خارج از محدودهٔ بحث این مقاله بوده ولی خود بدین مفهوم است که درجه تداوم سرویس شهرهای بزرگ نباید کمتر از آنی باشد که در این مقاله مورد بحث قرار گرفت.

شماره ردیف	موارد مقایسه / نوع آرایش فیدر	میزان ظرفیت ذخیره لازم (درصد)	میزان خاموشی (درصد)	تلفات توان حالت نرمال (درصد)	افت ولتاژ حالت نرمال (درصد)	تعداد جعبه‌های ۷۰ و ۷۵ (یا سکسیونرها)	تعداد مدارهای ارتباطی	تعداد عملیات مانور	میزان تضمین بار پست بالا دستی (درصد)
۱	کاملاً سعاعی بدون نقطه مانور ـ ردیف ۳-۱	–	۱۰۰	۱۰۰	۱۰	–	–	–	–
۲	کاملاً سعاعی دارای چند مانور ـ ردیف ۳-۲	–	۱۰۰	۱۰۰	۱۰	–	–	–	–
۳	حلقوی باز ۴ تکه‌ای ـ ردیف ۳-۳	۳۳	۳۳	۶۰	۴/۴	۱/۵	–	۱/۵	۵۰
۴	حلقوی باز ۶ تکه‌ای ـ ردیف ۳-۳	۴۰	۱۷	۴۴	۳/۶	۳/۵	–	۱/۵	۶۶
۵	گروه ۳ فیدری خود پشتیبان ($m = n$) ـ ردیف ۳-۴	۲۵	۲۵	۵۶	۵/۶	۱/۷	۰/۷	۱	۳۳
۶	گروه ۴ فیدری خود پشتیبان ($m = n$) ـ ردیف ۳-۴	۲۰	۲۰	۶۴	۶/۴	۳	۱	۱/۳	۲۵
۷	گروه ۵ فیدری خود پشتیبان ($m = n$) ـ ردیف ۳-۴	۱۷	۱۷	۶۹	۶/۹	۴/۸	۲/۳	۱/۴	۲۰
۸	گروه فیدرهای خود پشتیبان ($n = 3$ و $m = 2$) ـ ردیف ۳-۵	۲۰	۴۰	۶۴	۶/۴	۳/۳	۱/۳	۱/۷	۲۵
۹	گروه فیدرهای خود پشتیبان ($n = 4$ و $m = 3$) ـ ردیف ۳-۵	۱۷	۲۷	۶۷	۶/۷	۴/۳	۲/۳	۱/۸	۲۲
۱۰	تلفیق حلقوی و خود پشتیبان در فشار متوسط شکل (۳)	ذخیره	۲۵	۱۰۰	وابسته	۲/۵	۰/۸	۱	۵۰
۱۱	تلفیق حلقوی و خود پشتیبان در فشار متوسط شکل (۴)	اجباری دارد	۱۷	۱۰۰	به اتوماسیون	۴	۱	۱	۵۰

جدول شماره (۱) ـ مقایسه انواع آرایشهای شبکه فشار ضعیف و متوسط از جهات گوناگون

مراجع :

۱ ـ احمدعلی بهمن‌پور: «ضرورت رسیدگی جدی به امر کاهش تلفات در شبکه توزیع نیرو»، مجله علمی و فنی برق شماره دوازدهم، پاییز سال ۱۳۷۳، صفحات ۳۸ و ۳۹.

۲ ـ احمدعلی بهمن‌پور: «سیستم توزیع نیرو، معضل همیشگی و عنصر فراموش شده شرکتهای برق منطقه‌ای»، چاپ برق تهران، بهمن ماه ۱۳۶۹، ضمیمه‌های شماره ۵ تا ۸

3. J.Buzenet, "Technical Management of Distribution Networks", Electricite'de France International, PP. 23-24, 1992.