

قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو

و روشهای بهبود کیفیت سرویس

دکتر علی پیروی

استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

گسترده‌گی شبکه های توزیع نیرو و کثرت تعداد عناصر و تجهیزات این شبکه ها و ضرورت توسعه شبکه های توزیع نیرو تا دورترین روستاها و نقاط کشور با عنایت به اهداف و برنامه های توسعه جمهوری اسلامی ایران مطالعه و دقت بیشتری در وضعیت این شبکه ها و مشکلات یا نقاط ضعف آنها را می طلبد. گرچه بر خلاف سایر بخشهای سیستم قدرت سرمایه گذاری در این بخش از سیستم قدرت کم انجام می شود اما در مجموع بلحاظ گسترده‌گی این بخش سهم عمده‌ای از کل سرمایه گذاری را بخود اختصاص داده است. بدون شک کیفیت عملکرد این بخش از سیستم قدرت بیش از سایر بخشها مورد توجه مشترکین است زیرا عملاً حد فاصل بین مشترکین و سیستم های انتقال و تولید می باشد. در این مقاله معیارها و روشهای بررسی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو و عوامل ایجاد خطا و روشهای بهبود کیفیت سرویس ارائه می گردند.

مقدمه.

بررسی آمار خاموشی های مشترکین نشان می دهد که درصد عمده‌ای از این خاموشیها ناشی از رخدادهای مربوط به شبکه توزیع نیرو بوده [۱] لذا سرمایه گذاری جهت بهبود کیفیت

این مقاله در تاریخ ۷۳/۳/۲ دریافت شد، در تاریخ ۷۳/۸/۲۹ نسخه تصحیح شده به دفتر نشریه رسید و در تاریخ ۷۳/۹/۵ برای نشر در نشریه تصویب گردید.

سرویس دهی شبکه های توزیع بیش از سرمایه گذاری در سایر بخشهای سیستم در بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت سرویس دهی کل سیستم قدرت اثر می گذارد. طرحهای توسعه سیستم توزیع نیرو و هرگونه سرمایه گذاری در این بخش از سیستم می بایستی با هدف بهبود کیفیت سرویس و افزایش میزان قابلیت اطمینان شبکه صورت پذیرد زیرا تنها در اینصورت است که ضمن افزایش رضایت مشترکین از کیفیت سرویس از مزایای دیگر یک سیستم قابل اطمینان مثل کاهش میزان درآمد از دست رفته ناشی از قطع برق مشترکین و کاهش خسارات وارده به تجهیزات شبکه و تاسیسات مشترکین و سایر صرفه جوئیهای ممکن بهره مند می شویم.

کیفیت سرویس^(۱) نه تنها در گرو حفظ سیستم در یک محدوده بسیار باریک از ولتاژ و اضافه بار خطوط است بلکه وابسته به آمادگی سیستم برای مقابله با خطاهای اتفاقی یا عمدی و رخدادهای غیر مترقبه به منظور شناسایی و جایابی خطا و محدود نمودن اثرات سوءخرابی و بازگرداندن سریع سرویس مشترکین بکمک تجهیزات قطع دستی و اتوماتیک می باشد. ساختار عمدتاً شعاعی شبکه های توزیع نیرو و کاستی های موجود در این سیستم ها از نظر تعداد وسایل قطع کننده حفاظتی در ایران عوامل اساسی در کاهش میزان قابلیت اطمینان این سیستم ها می باشند. لذا نگرشی اساسی به قابلیت اطمینان سیستم های توزیع نیرو امری حیاتی در شناخت نقاط ضعف و راهگشای مهندسین طراح و و مدیریت های برق منطقه ای و راهنمای مسئولین این صنعت جهت بهینه سازی سرمایه گذاری های آتی در توسعه این سیستم ها خواهد بود.

قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو

برای تامین رشد آتی بار و جوابگویی به تقاضای روزافزون برای مصرف انرژی الکتریکی طراحان و مجریان طرحهای توسعه شبکه های توزیع نیرو با توجه به وضعیت موجود شبکه و دستورالعمل های موجود و روشهای جاری و با هدف بهینه سازی اقتصادی ترکیب های مختلفی از تجهیزات و خطوط را طراحی و اجرا می کنند. شناخت و بکارگیری

1 - Quality of service

معیارها و روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های توزیع نیرو می تواند زمینه های لازم را برای انجام مطالعات اساسی و دستیابی به اهداف فوق فراهم آورد. نرم افزار محاسبات مکانیکی و الکتریکی شبکه های توزیع توسط مولف تدوین شده است.

برای جوابگویی به این تقاضا ترکیب های مختلفی با عملکرد متفاوت حسب نظر طراحان توسعه شبکه بکار گرفته می شوند. اهم این ترکیبات عبارتند از شعاعی، شعاعی با اتصال اضطراری، شعاعی با حلقه، حلقوی، غربالی، سیستم انشعاب نقطه ای، شعاعی مجموعه ای و شعاعی انتخابی و هریک بسته به عملکرد مورد نظر در سطوح مختلف و لتاز سیستم های توزیع نیرو بکار می رود.

چنانچه بخواهیم در مطالعه قابلیت اطمینان سیستم توزیع از همان روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان که در سیستم انتقال نیرو استفاده می کنیم [۴، ۳، ۲] بهره جوئیم گستردگی شبکه توزیع منجر به پیچیدگی شدید مساله خواهد شد. اگر در شبکه انتقال سراسری یک کشور حدود ۵۰ شین داشته باشیم در مدلسازی قابلیت اطمینان یک تغذیه کننده^(۱) فشار متوسط از یک پست با همین تعداد شین مواجه می شویم، لذا حجم محاسبات قابلیت اطمینان سیستم توزیع ممکن است دهها برابر سیستم انتقال شود. از این رو باید از ویژگیهای ساختاری شبکه توزیع بهره گرفت و از روشهایی استفاده نمود که ضمن برخورداری از دقت کافی بتوانند حجم محاسبات را به حداقل ممکن کاهش دهند.

با بکارگیری معیارهای مناسب قابلیت اطمینان می توان طراحی توسعه شبکه توزیع را بطور بهینه، ترکیبی هم از نظر اقتصادی هم از نظر کیفیت سرویس دهی انجام داد. با مطالعات قابلیت اطمینان به تخمین یا پیش بینی نرخ متوسط حوادث محتمل در شبکه و تواتر خاموشی و میزان بار قطع شده و مدت خاموشی و اثرات آن می پردازیم. همچنین براساس این مطالعات می توانیم تاثیر شرایط مختلف آب و هوا را در عملکرد تجهیزات و خطوط مدلسازی نموده و برنامه ریزی مناسبی جهت حفاظت و نگهداری این تجهیزات ارائه نمائیم [۵]. در مطالعه قابلیت اطمینان شبکه می بایستی به نکات زیر توجه نمود:

- ۱- عوامل موثر در میزان قابلیت اطمینان سیستم
 - ۲- معیارهای مشخص کننده میزان قابلیت اطمینان سیستم
 - ۳- الگوریتمها^(۱) و روشهای محاسباتی
 - ۴- تعیین میزان حداقل قابل قبول قابلیت اطمینان سیستم
 - ۵- توجه به توجیه اقتصادی در بهینه سازی قابلیت اطمینان سیستم [۶]
 - ۶- توجه به تنوع مصرف کننده ها و میزان نیاز ایشان به سرویس برق قابل اطمینان [۷]
 - ۷- توجه به اثر سطح در نظر گرفته شده قابلیت اطمینان شبکه در عملکرد آتی در ۱۰ سال آینده با عنایت به عوامل موثر در رشد بار مناطق و سیاستهای توسعه شبکه مبتنی بر اهداف برنامه های توسعه اقتصادی کشور
 - ۸- داده های مورد نیاز جهت انجام مطالعات قابلیت اطمینان شبکه توزیع نیرو و روشهای ثبت و گردآوری آنها [۸]
 - ۹- کاربرد مناسب نتایج مطالعات قابلیت اطمینان شبکه توزیع نیرو [۹، ۱۰]
 - ۱۰- شناسایی قطعاتی از سیستم توزیع نیرو که بهبود قابلیت اطمینان آن بیشترین تاثیر را در افزایش قابلیت اطمینان شبکه دارد [۱۱]
 - ۱۱- توجه به ارزش سرویس^(۲) برق برای انواع مصرف کننده ها و احتساب زیانهای اقتصادی و غیر اقتصادی ناشی از قطع سرویس [۶، ۷]
 - ۱۲- توجه به روشهای هماهنگ در حفاظت شبکه توزیع نیرو [۱۲]
- روشهای متعددی برای انجام محاسبات بکمک کامپیوتر در گذشته پیشنهاد شده اند [۱۳، ۱۴] اما با توجه به امکانات موجود و توانائی های کامپیوترهای شخصی بسته نرم افزاری جامعی برای انجام مطالعات قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو توسط مولف در دست تهیه می باشد.

عوامل خطا و حالات غیر معمولی در شبکه توزیع

در صد عمده‌ای از خطاهای شبکه های توزیع نیرو خطاهای لحظه ای بوده و در صد کمتری از نوع خطاهای دائمی هستند. عوامل خروج لحظه‌ای یا دائم و یا کاهش کیفیت سرویس را می‌توان بشرح زیر خلاصه کرد [۱۳]:

۱ - خطای تجهیزات شبکه مثل ترانسفورماتور، برقگیر یا ریکلوزر^(۱)

۲ - خطای تجهیزات مشترکین مثل پست های خصوصی یا تجهیزات برق کارخانه ها

۳ - اضافه بار

۴ - برخورد هادیها با شاخه های درخت

۵ - اتصال زمین یا اتصال بین فاز توسط حیوانات

۶ - خروج برنامه ریزی شده به منظور نصب تاسیسات جدید

۷ - خروج برنامه ریزی شده به منظور نگهداری

۸ - ناشی از خطای پرسنل شرکت توزیع نیرو

۹ - ناشی از خطای مردم مثل برخورد اتومبیل با تیر برق در اثر تصادف

۱۰ - در نتیجه دزدی

۱۱ - در اثر عامل ناشناخته

خطای تجهیزات شبکه یا مشترکین ممکن است در اثر رعد و برق، طراحی، ساخت، نصب یا کاربرد غلط یا بععل استهلاک عایق بلحاظ فرسودگی یا ناشی از وجود ناخالصی رخ دهد. عمده ترین حالات غیر معمولی در شبکه توزیع عبارتند از اتصال کوتاه روی خطوط، اضافه بار سیستم و خرابی تجهیزات. عمده ترین علل این اتفاقات عبارتند از شرایط جوی، حیوانات و یا انسان. عمده ترین دلایل اتصال کوتاه روی خطوط عبارتند از بادهای تند که موجب بهم خوردن هادیها می‌شود و یا موجب برخورد شاخه های درختها با خطوط می‌شود، برف و یخبندان که موجب تجمع تدریجی یخ روی هادی خطوط شده و منجر به قطع خط و افتادن آن روی زمین می‌شود. رعد و برق می‌تواند سبب اعمال امواج با ولتاژ بالا و در نتیجه موجب عملکرد وسائل

حفاظتی و باز شدن خطوط یا موجب آغاز جرقه بین خطوط شود. همچنین سوچینگ^(۱) و فرورزونانس^(۲) نیز می‌توانند منشاء اضافه ولتاژ باشند. عوامل اصلی ایجاد اضافه بار رشد بی‌رویه جمعیت، کوچ روستانشینان به شهرها و عدم رعایت اصول علمی پیش‌بینی رشد بار در برنامه ریزی توسعه شبکه هستند.

عمده ترین تجهیزات حفاظت پست ها و شبکه توزیع نیرو عبارتند از فیوز فشارقوی، فیوز محدودکننده جریان، فیوزکات اوت^(۳)، کلیدهای فشارقوی بدون بار یا سکسیونر، کلیدهای قطع بار یا سکسیونر قطع بار، کلیدهای قدرت یا دژنکتور، ریکلوزر و انواع رله های حفاظتی مثل رله دیفرانسیل و متاسفانه در شبکه های توزیع نیرو در ایران خصوصاً در شبکه های هوایی بلحاظ قابلیت دسترسی بیشتر و به استناد در معرض دید بودن تجهیزات حفاظتی کافی نصب نمی‌شوند و یا در بعضی موارد بلحاظ مشکلات هماهنگی عملکرد تجهیزات حفاظتی آنها را از خط خارج می‌کنند. چنانچه با تمهیداتی مثل تقویت حفاظت، اتوماسیون^(۴) توزیع و تحلیل رخدادهای و شناسائی عوامل خطا در جهت بهبود روشهای مقابله با خطا اقدام کنیم سطح قابلیت اطمینان شبکه توزیع نیرو ارتقاء می‌یابد.

روشهای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه توزیع نیرو

در انجام محاسبات قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو از روشهای متعددی می‌توان استفاده کرد. اهم این روشها عبارتند از:

۱- روش فضای حالت [۵]

۲- روش شبیه سازی مونت کارلو^(۵) [۲]

۳- روش شبکه [۱، ۲]

۴- روش تخمین [۱۰]

۵- روش تحلیلی مبتنی بر مدل RELRAD [۱۴]

1 - Switching

2 - Ferroresonance

3 - Cut out fuse

4 - Automation

5 - Monte Carlo

نقاط ضعف روش فضای حالت

در ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع نیرو بدلائل زیر باید حتی المقدور از استفاده از روش فضای حالت اجتناب کرد:

۱ - معمولاً تعداد عناصر شبکه‌های توزیع آنقدر زیاد است که حتی با فرض یک مدل دو حالتی برای هر عنصر در شبکه تعداد حالات بسیار زیاد شده و حل آنها نیاز به حافظه فوق العاده زیادی دارد.

۲ - معمولاً تاثیر شرایط مختلف آب و هوا، نگهداری، زمانهای سوییچینگ و خطای لحظه‌ای در محاسبات قابلیت اطمینان نقش دارند ولی برای لحاظ نمودن آنها مجبوریم از مدل‌های بیش از دو حالتی برای عناصر استفاده کنیم و این امر شدیداً منجر به افزایش ابعاد ماتریس فضای حالت می‌شود. برای مثال اگر مدل یک شبکه دارای ۱۰ عنصر ۲ حالتی باشد سیستم دارای ۱۰۲۴ حالت بوده و باید معادلات ماتریسی ۱۰۲۴ در ۱۰۲۴ را حل کنیم. برای همین سیستم فرض مدل ۳ حالتی سیستم دارای ۵۹۰۴۹ حالت شده و ماتریس فضای حالت دارای ابعاد ۵۹۰۴۹ در ۵۹۰۴۹ است. تعداد حالات سیستم با فرض ۲۰ عنصر دو حالتی برابر با ۱۰۴۸۵۷۶ و ۲۰ عنصر ۳ حالتی برابر با ۳۴۸۶۷۸۴۴۰۱ است.

۳ - معمولاً در روش فضای حالت برای کاهش تعداد حالات مورد مطالعه و حجم محاسبات از کلیه ترکیب‌های رخداد بیش از دو واقعه بطور همزمان صرفنظر می‌شود اما خطای حاصله با اضافه خطای مربوط به گرد کردن اعداد آنقدر زیاد است که استفاده از این روش را غیر منطقی می‌سازد.

۴ - نیاز به استفاده مکرر از برنامه نوشته شده برای قسمت‌های مختلف شبکه توزیع نیرو. لذا محاسبه قابلیت اطمینان بر اساس روش فضای حالت بلحاظ حجم زیاد محاسبات و حافظه بجز در مورد شبکه‌های خیلی کوچک عملاً غیر ممکن است.

روش شبیه سازی مونت کارلو

یکی از عمده ترین مشکلات در بررسی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع نیرو در

دسترس نبودن آمار دقیق خاموشی‌ها و علل آنهاست در نتیجه نمی‌توان بطور دقیق نرخ متوسط زمان خروج (زمان تا تعمیر^(۱)) یا زمان تا جداسازی^(۲)) قطعات شبکه را بدست آورد. از طرفی در مدلسازی با روش‌های شبکه یا فضای حالت معمولاً فرض می‌شود که توابع چگالی احتمال زمان خروج و زمان تا خرابی هر دو توزیع نمائی هستند. این فرض برای زمان تا خرابی قطعاتی که آزمون‌های کنترل کیفیت مربوط به دوره اولیه عمر خود را قبل از تهیه و نصب در شبکه گذرانده باشند قابل قبول است اما برای زمان خروج بلحاظ دخالت عوامل متعددی مثل فرهنگ کار، مدیریت تعمیر و نگهداری و سیستم تدارکات و انبارداری قطعات یدکی مورد سؤال است.

با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو می‌توان با استفاده از یک نگاهت مناسب و یک مولد اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت هر توزیع مورد نظر برای چگالی احتمال زمان تا تعمیر، زمان تا جداسازی، زمان تا خرابی یا زمان سویچینگ هر یک از قطعات شبکه را شبیه‌سازی نمود و سپس با توجه به ساختار منطقی عملکرد شبکه معیارهای قابلیت اطمینان مورد نظر را محاسبه نمود. این نوع شبیه‌سازی متکی به کامپیوتر بوده و نیازمند تکرار محاسبات در دفعات زیاد و میان‌گیری نتایج بدست آمده می‌باشد.

روش شبکه

روش شبکه بر فرض دو حالت بودن عناصر و سیستم استوار بوده و با توجه به قابلیت تعمیر و یا تعویض قطعات سیستم توزیع نیرو یکی از مناسبترین روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان این شبکه‌ها بشمار می‌روند. در این روش با توجه به معیار مورد نظر و ساختار شبکه مدل‌های منطقی قابلیت اطمینان برای شبکه تعریف شده و سپس محاسبات انجام می‌شوند. پارامترهایی که برای توصیف قابلیت اطمینان شبکه بکارگرفته می‌شوند عبارتند از:

۱- نرخ متوسط خرابی سیستم

۲- متوسط زمان خروج

۳- میزان متوسط عدم آمادگی^(۱) سیستم

قابلیت اطمینان عناصر شبکه

عناصر تشکیل دهنده شبکه توزیع نیرو قابل تعمیر و یا تعویض هستند. معمولاً در صورت از کار افتادن قطعه ای از این سیستم آن قطعه تعمیر و مجدداً نصب می‌شود و چنانچه تعمیر قطعه مورد نظر غیر اقتصادی باشد و یا نیاز به زمان زیادی داشته باشد آن قطعه با یک قطعه سالم جایگزین می‌شود. از این رو برای مدلسازی عملکرد آنها در طول زمان از مدل ریاضی فرآیند بازسازی مکرر^(۲) که معرف تکرار مکرر تعمیر یا بازسازی (تعویض یا در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای شناسایی و تعویض و بازگرداندن به سرویس) و کار مجدد آنها در شبکه می‌باشد. در این نوع مدلسازی کلیه عناصر سیستم را مستقل از یکدیگر و زمان تا خرابی و (با توجه به لزوم رعایت برنامه نگهداری تجهیزات شبکه) زمان تا تعمیر را نیز دارای مدل توزیع نمایی فرض می‌کنیم. در صورتیکه خرابی قطعه منجر به قطع سرویس بخشی از شبکه گردد تلاش می‌شود تا در اسرع وقت سرویس برق به این مصرف کننده‌ها بازگردانده شود.

برای مدتی از زمان که طی آن n خطا رخ دهد بفرض آنکه r_i زمان تا i امین تعمیر و m_i زمان تا i امین دوره کار قطعه باشد پارامترهای زیر را برای هر یک از عناصر سیستم تعریف می‌کنیم:

۱- متوسط زمان کار m

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}$$

۲- متوسط زمان خروج r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$$

1 - Unavailability

2 - Renewal process

1 - Time

۳- نرخ متوسط خروج

$$\lambda = \frac{1}{m}$$

۴- نرخ متوسط بازسازی

$$\mu = \frac{1}{r}$$

۵- متوسط زمان کار و خروج T

$$T = m + r$$

۶- تواتر خروج f

$$f = \frac{1}{T}$$

۷- عدم آمادگی A

$$\bar{A} = \frac{r}{T} = f \cdot r$$

نقش حفاظت^(۱) در ارتقاء قابلیت اطمینان

متأسفانه حفاظت در شبکه های توزیع نیرو در ایران که عمدتاً شعاعی با اتصال اضطراری باز هستند ضعیف است مخصوصاً در شبکه های هوایی که بدلیل در معرض دید و در دسترس بودن، کمتر به امر حفاظت توجه شده است. بسیاری از انشعابات فرعی نیز فاقد حفاظت کات اوت بوده و معمولاً بجز در ابتدای خط قسمتهای مختلف خط فاقد وسایل قطع کننده هستند. البته معمولاً انشعابات فرعی کوتاه در زمان تاسیس فاقد فیوز در نظر گرفته می شوند ولی بعد از مدتی با رشد منطقه این انشعاب فرعی گسترش می یابد و چون از قبل فاقد فیوز بوده این مساله در بسیاری موارد نادیده گرفته می شود. در نتیجه ضعف حفاظت در اکثر موارد رخداد خطا بجای خاموشی موضعی منجر به قطع کامل سرویس تغذیه کننده می شود و این امر موجب پائین بودن شدید سطح قابلیت اطمینان شبکه است.

مدلسازی سری

در صورتیکه ساختار منطقی شعاعی باشد مدل سری برای قابلیت اطمینان سیستم کفایت می‌کند زیرا در این نوع سیستم سرویس هر مشترک تنها در صورت صحت عملکرد تمام خطوط و تجهیزاتی که بین آن مشترک و پست تغذیه کننده است تامین می‌شود. اما برای حصول سیستمی با چنین ساختار منطقی لازم است حفاظت شبکه توزیع طوری طراحی شود که خرابی در هریک از انشعابات فرعی نتواند روی سرویس تغذیه کننده اصلی به سایر انشعابات اثر بگذارد. مضافاً خط تغذیه کننده اصلی بایستی در حد فاصل بین انشعابات فرعی به کمک وسایل حفاظتی به بخشهای مختلفی چنان تقسیم شود که در صورت خرابی یکی از قسمت‌های خط تغذیه کننده اصلی تنها آن قسمت از خط از شبکه جدا شود و در نتیجه سرویس کلیه مشترکین روی آن قسمت از خط و مشترکین بعد از آن قسمت قطع شود ولی مشترکین قسمت‌های نزدیکتر به پست متاثر از این رخداد نگردند و در صورت وجود اتصال اضطراری با بستن این اتصال مشترکین بعد از قسمت جدا شده خط نیز در زمان کوتاهی برقرار شوند. بدین صورت هم تعداد مشترکینی که سرویس آنها قطع می‌شود شدیداً کاهش می‌یابد و هم متوسط زمان خاموشی و مقدار انرژی تامین نشده بطور قابل ملاحظه‌ای کم می‌شود.

مدلسازی سری موازی

در صورت پیچیدگی ساختار شبکه و عدم کفایت مدل سری برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه با بکارگیری روشهای مدلسازی قابلیت اطمینان، سیستم را به ترکیبات سری موازی تبدیل نموده و سپس پارامترهای فوق را بکمک روابط زیر محاسبه می‌نمائیم.

۱- نرخ متوسط خروج از سرویس برای n قطعه سری

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

۲- عدم آمادگی برای n قطعه سری

$$\bar{A}_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i$$

۳- متوسط زمان تا تعمیر برای n قطعه سری

$$r_s = \frac{\bar{A}_s}{\lambda_s (1 - \bar{A}_s)} \approx \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

۴- نرخ متوسط خروج برای n قطعه موازی

$$\lambda_p \approx \frac{\prod_{i=1}^n \lambda_i r_i}{1 - \prod_{i=1}^n \lambda_i r_i}$$

۵- عدم آمادگی n قطعه موازی

$$\bar{A}_p \approx \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i r_i}{1 + \lambda_i r_i} \approx \prod_{i=1}^n \lambda_i r_i$$

۶- متوسط زمان خروج برای n قطعه موازی

$$r_p = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}}$$

سپس با ترکیب روابط مطابق بامدل شبکه میزان قابلیت اطمینان شبکه محاسبه می شود.

مجموعه های کمینه قطع و تحلیل حالات خطا

در صورتیکه ساختار منطقی شبکه پیچیده تر باشد و مدل های فوق کفایت نکنند می توانیم از مجموعه های کمینه قطع و یا مجموعه های کمینه وصل برای توصیف سیستم استفاده کنیم. با تحلیل حالات خطا و اثرات آن نیز می توان با توجه به نوع تجهیزات حفاظتی و ساختار شبکه تمامی حالات خطا و اثر هر یک را روی عملکرد شبکه بررسی نمود.

معیارهای قابلیت اطمینان سیستم

معیارهای مختلفی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو بکار می روند. این معیارها از نقطه نظر کیفیت سرویس مشترکین در نقاط بار یا در سطح هر یک از تغذیه کننده ها و یا در سطح کل سیستم توزیع نیرو در یک منطقه یا شهر محاسبه می شوند. معیارهای متداول برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع نیرو در نقاط بار عبارتند از:

قابلیت اطمینان

۱- نرخ قطع

این معیار بر

۲- متوسط

این معیار بر

۳- عدم آمادگی

این معیار بر

چنانچه به

تغذیه کننده

۴- تواتر متور

این معیار بر

حاصل جمع

(جمع روی

۵- مدت متور

این معیار برابر

تعداد مشترکین

از خروج

بمنظور

معیارهای زیر

تعریف می شوند

۱- نرخ قطع سرویس در نقاط بار (LIR)

این معیار برابر است با متوسط تعداد دفعات قطع سرویس مشترکین در نقاط بار در سال

۲- متوسط زمان قطع سرویس نقاط بار (LID)

این معیار برابر است با متوسط زمان قطع سرویس مشترکین در نقاط بار در سال

۳- عدم آمادگی سالانه نقاط بار (LAU)

این معیار برابر است با احتمال عدم آمادگی سرویس برق در نقاط بار در سال

چنانچه به معیارها در سطح یک تغذیه کننده توجه شود [۹] دو معیار زیر را می‌توان برای هر تغذیه کننده تعریف نمود:

۴- تواتر متوسط قطع تغذیه کننده (FAIF)

این معیار برابر است با متوسط تعداد دفعات قطع تغذیه کننده و مقدار آن مساویست با نسبت حاصل جمع نرخ سالانه خروج هر قطعه از تغذیه کننده ضربدر تعداد مشترکین متأثر از خروج (جمع روی کلیه عناصر تغذیه کننده) به تعداد کل مشترکین متأثر از خروج

$$FAIF = \frac{\sum_i \lambda_i C_i}{\sum_i C_i}$$

۵- مدت متوسط قطع تغذیه کننده (FAID)

این معیار برابر است با نسبت حاصل جمع سالانه زمان خروج هر قطعه از تغذیه کننده ضربدر تعداد مشترکین متأثر از خروج (جمع روی کلیه عناصر تغذیه کننده) به تعداد کل مشترکین متأثر از خروج

$$FAID = \frac{\sum_i U_i C_i}{\sum_i C_i}$$

بمنظور در نظر گرفتن شدت و اهمیت خروج های اضطراری در کل سیستم توزیع معیارهای زیر نیز با بکارگیری معیارهای فوق و تعداد مشترکین یا مقدار بار نقاط مورد مطالعه تعریف می‌شوند:

$$r_s = \frac{1}{\lambda_s}$$

$$\lambda_p \approx$$

$$\bar{A}_p \approx \int$$

$$r_p = \frac{1}{\sum_{i=1}^n}$$

شود.

یت نکنند
ف سیستم
حفاظتی و

ار می‌روند.
تغذیه کننده
معیارهای

۶- متوسط تواتر قطع سیستم (SAIF)

این معیار برابر است با نسبت تعداد کل دفعات قطع سرویس مشترکین به تعداد کل مشترکین

$$SAIF = \frac{\sum_i \lambda_i C_i}{\sum_i C_i}$$

۷- متوسط زمان قطع سیستم (SAID)

این معیار برابر است با نسبت کل زمان قطع سرویس مشترکین به تعداد کل مشترکین

$$SAID = \frac{\sum_i U_i C_i}{\sum_i C_i}$$

۸- متوسط تواتر قطع مشترکین (CAIF)

این معیار برابر است با نسبت تعداد کل دفعات قطع سرویس مشترکین به تعداد کل مشترکین متاثر شده، در محاسبه تعداد کل مشترکین متاثر شده C_i مشترکینی که سرویس آنها بیش از یک بار قطع شود تنها یک بار محسوب می شوند.

$$CAIF = \frac{\sum_i \lambda_i C_i}{\sum_i C_i'}$$

۹- متوسط زمان قطع مشترکین (CAID)

این معیار برابر است با نسبت حاصل جمع کلیه زمان های قطع سرویس مشترکین به تعداد کل دفعات قطع سرویس مشترکین

$$CAID = \frac{\sum_i U_i C_i}{\sum_i \lambda_i C_i}$$

۱۰- متوسط عدم آمادگی سیستم (SAU)

این معیار برابر است با نسبت کل ساعات قطع سرویس مشترکین به کل ساعات تقاضای سرویس

$$SAU = \frac{\sum_i U_i C_i}{\sum_i ۸۷۶۰ C_i}$$

۱۱- انرژی تامین نشده (ENS)

این معیار برابر است با مقدار کل انرژی تامین نشده توسط سیستم که از حاصل ضرب متوسط بار در زمان سالانه قطع سرویس نقاط بار (جمع روی کلیه نقاط بار) محاسبه می‌شود.

$$ENS = \sum_i La_i U_i$$

۱۲- متوسط انرژی تامین نشده (AENS)

این معیار برابر است با مقدار متوسط انرژی تامین نشده توسط سیستم و برابر است با نسبت انرژی تامین نشده به تعداد کل مشترکین، در محاسبه تعداد کل مشترکین متاثر شده مشترکینی که سرویس آنها بیش از یک بار قطع شود تنها یک بار محسوب می‌شوند.

$$AENS = \frac{\sum_i La_i U_i}{\sum_i C_i}$$

۱۳- متوسط انرژی تامین نشده مشترکین (ACC)

این معیار برابر است با نسبت انرژی تامین نشده توسط سیستم به تعداد کل مشترکین متاثر از قطع سرویس

$$ACC = \frac{\sum_i La_i U_i}{\sum_i C_i}$$

روش تخمین

عملکرد مدارات اصلی توزیع و آماریکه می‌بایستی در تحلیل کیفیت سرویس دهی شبکه بکار گرفته شوند متاثر از عوامل عدیده‌ای هستند. بر اساس تجربه عملی شرکتهای توزیع نیرو عموماً با نحوه عملکرد سیستم و عوامل ریسک^(۱) متوجه عناصر مختلف شبکه بخوبی آشنا هستند و انجام اصلاحات روی شبکه را با اتکاء به شناخت و ارزیابی عملکرد بخشهای مختلف آن انجام می‌دهند. ایرادی که به این روش وارد است آنست که اصلاحات معمولاً پس از رخ دادن خرابی انجام شده و نمی‌توانند بصورت سازمان یافته‌ای در اصلاح و بهینه سازی شبکه بکار گرفته شوند. از طرفی آمار دقیق و جامعی که بتوان به اتکاء آن نرخهای خرابی عناصر سیستم

را محاسبه نمود در دست نمی باشد. نظر به اینکه قابلیت اطمینان شبکه توزیع وابسته به ساختار و عناصر آن شبکه است می بایستی با توجه به عوامل فوق نقاط ضعف شبکه شناسایی و جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم عناصر شبکه بهینه سازی گردند.

روش تخمین قابلیت اطمینان شبکه را بدون اتکاء به آمار خرابیها بر اساس ساختار شبکه، کیفیت عناصر و روشهای حفاظتی و میزان عوامل تهدید کننده شبکه بطور تقریبی ارزیابی می نماید. برای هر یک از تغذیه کننده های شبکه تاثیر عوامل طول و نوع هادی، ابزار قطع کننده مثل سکسیونر یا کات اوت فیوز یا بریکر وصل مجدد و تعداد مشترکین هر بخش از مدار یا کل مدار تغذیه کننده را می توان با استفاده از برنامه های مدیریت پایگاه اطلاعاتی یا صفحه گسترده مثل dbase, 1-2-3, lotus یا foxpro محاسبه نمود.

برای تخمین قابلیت اطمینان هر قسمت از مدار توزیع به عوامل زیر باید توجه شود:

۱- طول خط به کیلومتر L

با توجه به اینکه هر چه خط طولانی تر باشد بیشتر در معرض خطا قرار دارد طول خط رابطه مستقیم با نرخ خرابی دارد.

۲- نوع هادی W

برای منظور نمودن احتمال پارگی سیم تحت شرایط طوفان بسته به نوع هادی نصب شده این ضریب برابر با ۰/۱ برای کابل و ۰/۶ تا ۱ برای سیم منظور می گردد.

۳- ضریب در معرض خطا بودن T

خطاهای سیستم توزیع شدیداً روی کیفیت و امنیت و قابلیت اطمینان شبکه اثر می گذارند. بهترین روش برای برخورد با مساله خطاهای شبکه توزیع روشهای تحلیل عوامل خطا و مقابله اصولی از طریق اعمال برنامه های مناسب نگهداری و بکارگیری طرحهای بهتر خط و تجهیزات شبکه است.

ضریب در معرض خطا بودن بسته به وضعیت درختها عددی بین ۰/۱۵ و ۱ منظور می شود. این ضریب از ۰/۱۵ برای یک کیلومتر خط در شرایط بدون درخت شروع شده و بصورت یک تابع نمایی بشکلی افزایش می یابد که با ۱۲۵ درخت در هر یک کیلومتر خط به مقدار ۱ می رسد.

۴- روش حفاظت S

بسته به روش حفاظتی اعمال شده در طول مسیر شبکه برای حفاظت خط مورد مطالعه نرخ خرابی متفاوت خواهد بود زیرا وسائل حفاظتی می‌توانند با رفع خطاهای موقت مانع خروج قسمتی از شبکه از مدار شده و تواتر خروج اضطراری را کاهش دهند. لذا بمنظور لحاظ نمودن این نکته برای ریکلوزر ضریب ۰/۵۵ و برای بریکر مدار ۰/۶ و برای فیوز محافظت شده^(۱) ضریب ۰/۷۵ و برای فیوز محافظت نشده^(۲) ضریب ۰/۸۵ و برای انشعاب فاقد حفاظت ضریب ۱ منظور گردد.

۵- تعداد مشترکین تغذیه شده از خط C

مشترکین تغذیه شده از خط مورد مطالعه از خروج اضطراری آن خط متاثر می‌شوند لذا در تعیین معیار مشترک - ساعت قطع سرویس تعداد مشترکین بعنوان یک ضریب مد نظر قرار می‌گیرد.

بدین ترتیب K متناسب است با زمان قطع سالانه و KC متناسب است با مشترک ساعت سالانه قطع سرویس

برای انشعاب یا بخش J ام K_j برابر است با

$$K_j = L_j \cdot T_j \cdot W_j \cdot S_j$$

لذا چنانچه تعداد مشترکین روی کلیه بخشها یا انشعاب های شبکه را نیز منظور نمائیم KC برابر است با

$$KC = \sum_{j=1}^J K_j C_j$$

روش تحلیلی مبتنی بر مدل RELRAD

روش تحلیلی مبتنی بر مدل RELRAD برای محاسبه معیارهای قابلیت اطمینان نقاط بار در شبکه‌های شعاعی توزیع ارائه شده [۱۴] و مبتنی بر مدلسازی کامپیوتری توابع توزیع است. در این روش شبکه توزیع بر اساس موقعیت تجهیزات قطع اتومات به بخش‌های مختلف تقسیم بندی می‌شود. ابتدا مدل منطقی برای توصیف هر بخش تهیه و سپس محاسبات قابلیت

اطمینان نقاط بار با توجه به امید ریاضی نرخ خروج، زمان تا تعمیر و زمان تا جداسازی برای کلیه عناصر این بخش از شبکه بر اساس مدل ریاضی توابع توزیع چگالی احتمال هر قطعه محاسبه می‌شود.

بجای استفاده از مجموعه کمینه قطع در این روش از تاثیر خطای هر قطعه روی سرویس نقطه بار مورد نظر استفاده می‌شود. ضمناً در این مدل امکان اتصال حلقه باز، کابل رزرو متحرک و پست یا مولد متحرک نیز پیش بینی شده است. در این مدل قطعات به دو گروه تقسیم بندی می‌شوند. گروه اول قطعاتی هستند که خروج آنها منجر به خروج سرویس نقطه بار به میزان زمان تا تعمیر آنها می‌شود و گروه دوم قطعاتی هستند که خروج آنها منجر به خروج سرویس نقطه بار به میزان زمان تا جداسازی می‌شود. در فرمول زیر تابع جمعی توزیع یک قطعه F_i با احتساب توابع جمعی توزیع زمان تا تعمیر F_{ii} و زمان تا جداسازی F_{kj} و نرخهای مربوطه داده شده است.

$$F_i(t) = \frac{\sum_i F_{ii}(t) \lambda_i + \sum_j F_{kj}(t) \lambda_j}{\sum_i \lambda_i + \sum_j \lambda_j}$$

رتبه بندی عناصر در شبکه

مقادیر دقیق نرخ های خروج اضطراری عناصر شبکه و متوسط زمان تا تعمیر و متوسط زمان تا جداسازی معمولاً در دسترس نمی‌باشند لذا یا از آماری که در نتیجه مطالعات قبلی تهیه شده [۱۸] باید استفاده نمود و یا با بررسی آمار محدود موجود از رخدادهای شبکه نرخ های مورد نیاز را بطور تقریبی بدست آورد. بدیهی است که آمار بکار گرفته شده در محاسبات قابلیت اطمینان عموماً بدقت گویای رفتار واقعی قطعات شبکه در شرایط اضطراری نیستند بلکه معمولاً متوسط رفتار قطعات سیستم در زمان محدودی که آمار رخدادها ثبت شده و موجود می‌باشد بکار گرفته می‌شود. از طرفی اتفاقات در شبکه‌های هوایی معمولاً بیشتر در شرایط طوفان و یا یخبندان رخ می‌دهند و در این شرایط از یک سو بلحاظ شرایط بد جوی عیب یابی و تعمیر یا تعویض قطعه آسیب دیده توسط پرسنل اتفاقات شبکه بیشتر بطول می‌انجامد و از سوی دیگر سایر بخشهای شبکه در این شرایط بیشتر تحت فشار بوده و احتمال خرابی آنها

بیشتر از میزان متوسط آماری است. ضمناً متوسط زمان تا تعمیر نیز بسته به هوایی یا زمینی بودن شبکه و بسته به شرایط آب و هوا کاملاً متفاوت با مقدار متوسط آماری است. بدین دلیل چنانچه با استفاده از معیارهای نسبی نقش قطعات در قابلیت اطمینان سیستم بعنوان مکمل معیارهای قابلیت اطمینان سیستم قطعات را رتبه بندی نمائیم دیدگاه بهتری نسبت به نقاط ضعف شبکه بدست آورده و می‌توانیم با صرف حداقل هزینه بیشترین میزان بهبود کیفیت سرویس را بدست آورد.

دو معیار زیر را می‌توان بدین منظور بکار گرفت:

۱- معیار اهمیت ساختاری

اهمیت ساختاری ساده ترین معیار نسبی نقش قطعات در قابلیت اطمینان سیستم است. مقدار این معیار برای هر قطعه مساویست با مشتق جزئی احتمال خرابی سیستم نسبت به احتمال خرابی آن قطعه و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$IST_j \equiv \frac{\partial P_{sf}}{\partial P_j} = P[S_f | j \text{ failed}] - P[S_f | j \text{ operates}]$$

۲- معیار اهمیت بحرانی

این معیار با توجه به اینکه معمولاً بهبود قابلیت اطمینان قطعاتی که قابلیت اطمینان بیشتری دارند مشکل تر از افزایش قابلیت اطمینان قطعاتی است که دارای قابلیت اطمینان کمتری هستند تعریف شده است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ICR_j \equiv \frac{P_i IST_j}{P_{sf}}$$

روشهای بهبود کیفیت سرویس

در شبکه های هوایی بجز خطاهای ناشی از تجهیزات شبکه عمده ترین عامل خطا برخورد با درخت است و در شبکه های زمینی حیوانات عامل عمده خطا محسوب می‌شوند. خطای ناشی از درخت در شرایط برف و یخ و طوفان بیشتر رخ می‌دهد. تعداد درختهای موجود در مسیر خط و میزان رشد آنها و احتمال برخورد شاخه ها با خط، میزان رعایت حریم خط و کیفیت برنامه نگهداری در خصوص زدن شاخ و برگ مزاحم درختها همه عوامل تعیین کننده در

طراحی برای
مال هر قطعه

روی سرویس
وزن متحرک

تقسیم بندی
بار به میزان

و ج سرویس
ک قطعه F_j با

های مربوطه
 $F_i(t) =$

$F_i(t) =$

سیر و متوسط
ت قبلی تهیه

که نرخ های
ساعات قابلیت

یستند بلکه
و موجود

در شرایط
عیب یابی و

انجامد و از
خرابی آنها

نرخ خطای ناشی از برخورد با درخت می‌باشند.

برای بهبود عملکرد شبکه توزیع می‌توان از تمهیداتی مثل شاخه زنی و تقویت حفاظت شبکه استفاده نمود یا تغییرات فیزیکی ساختاری اعمال نمود. از ساده ترین روشهای افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع نیرو می‌توان قطع شاخه های تهدید کننده درختها و همچنین نصب فیوز روی شاخه های فرعی از مدار اصلی را نام برد. اقدامات عمده تری مثل تعویض هادی یا انتقال بار یک یا چند شاخه انشعابی از مدارات اصلی شبکه به مدار دیگر نیز می‌توانند برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه مد نظر قرار گیرند. همچنین می‌توان شبکه را به درجه اتصال بالاتری ارتقاء داد. مثلاً می‌توان ساختار شبکه را به حلقوی باز ارتقاء داد و بدین منظور لازم است برای رعایت معیار قابلیت سرویس سطح مقطع خط اصلی تغذیه کننده متناسب با چگالی بار مورد نظر منطقه انتخاب شده و از پست تا پست یکسان باشد [۱۸].

بطور خلاصه عمده ترین اقدامات جهت بهبود کیفیت سرویس دهی شبکه توزیع نیرو بشرح زیر است:

- ۱- افزایش وسایل قطع کننده دستی و اتومات برای جداسازی بخش‌های مختلف خط تغذیه کننده اصلی
- ۲- نصب فیوز برای انشعاب‌ها و نصب فیوز پشتیبان
- ۳- تعویض کابل‌های قدیمی و متعلقات آنها
- ۴- برنامه منظم شاخه زنی
- ۵- نگهداری مرتب و نصب حفاظت مناسب برای ترانس توزیع
- ۶- تقویت مدیریت اتفاقات شبکه برای کاهش متوسط زمان خروج
- ۷- آموزش پرسنل تعمیرات و تقویت انبار به منظور کاهش متوسط زمان تعمیر تجهیزات شبکه
- ۸- تحلیل خطاها و شناسایی عوامل خطا
- ۹- شناسایی ضعیف ترین قطعات شبکه و تعویض آنها
- ۱۰- ارتقاء سطح درجه اتصال شبکه

۱۱- نصب سیستم های عیب نما برای تعیین سریع محل خطا

۱۲- تجهیز وسائل قطع کننده به کنترل از راه دور

۱۳- اتوماسیون دیسپاچینگ توزیع

نتیجه گیری:

در این مقاله روشهای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع نیرو با عنایت به ویژگیهای ساختاری این شبکه‌ها ارائه شد و معیارهای سنجش حساسیت برای رتبه‌بندی عناصر شبکه معرفی گردید. همچنین روشهای بهبود کیفیت سرویس دهی شبکه‌های توزیع نیرو ارائه گردیده و به نقاط ضعف شبکه‌های توزیع نیرو در ایران اشاره شد. در این راستا پیشنهادات زیر جهت تقویت و ارتقاء کیفیت سرویس این شبکه‌ها مورد تاکید است: ارتقاء حفاظت شبکه، تعویض هادیهای قدیمی، برنامه منظم شاخه‌زنی، تقویت مدیریت‌های اتفاقات و تعمیرات شبکه.

مراجع:

[1] R. Billinton and R. N. Allan , " Reliability Evaluation of Power Systems " , Plenum Press, New York, 1984 .

[2] R. Billinton and R. N. Allan , "Reliability Assessment of Large Electric Power Systems " , Kluwer Academic Publishers, 1988 .

[۳] علی پیروی - محسن نایب زاده، "بهبود سازی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت"، دومین کنفرانس شبکه سراسری برق، کنفرانس توانیر، تهران، ۲۳ و ۲۴ آبان ۱۳۶۶، ص ۵۷ الی ۶۸.

[۴] علی پیروی - محسن نایب‌زاده، "روشهای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم های قدرت"، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۱ شماره ۱۳۶۸۱ ص ۲۷ الی ۴۷.

- [5] R. N. Allan, E. N. Dialynas and I. R. Homer, "Modelling and Evaluating the Reliability of Distribution Systems" , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 6, Nov./Dec. 1979, pp. 2181 - 2189 .
- [6] N. E. Chang, "Evaluate Distribution System Design by Cost Reliability Indices", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, No. 5, September/October 1977 .
- [7] E. Wojczynski, R. Billinton and G. Wacker, "Interruption Cost Methodology - A Canadian Commercial and Small Industry Survey" , Presented at the IEEE/PES 1983 summer meeting, L.A. , CA. July 17-22, 1983.
- [8] IEEE Recommended Practice for Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, ANSI/IEEE Standard 493-1980 .
- [9] Saul Goldberg, William F. Horton, "Analysis of Feeder Service Reliability Using Component Failure Rates," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 4, October 1987, pp. 1292-1295.
- [10] Sidney R. Gilligan, "A Method for Estimating the Reliability of Distribution Circuits" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 694 - 696 .
- [11] G. J. Anders, "Evaluation of Importance and Related Reliability Measures for Electric Power Systems" , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 3, March 1983, pp. 527 - 537.
- [12] Application and Coordination of Reclosers, Sectionalizers, and Fuses, IEEE Tutorial Course 80 EH0157-8-PWR.

- [13] R. N. Allan, R. Barazesh and S. Sumar, "Reliability Evaluation of Distribution Systems Using Graphic-Based Interactive Computational Methods" , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 1, January 1982, pp. 212-218 .
- [14] M. Padopoulos, N. D. Hatziargyriou and M. E. Paradakis, "Graphic Aided Interactive Analysis of Radial Distribution Networks" ,IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 4, October 1987, pp. 1297-1302 .
- [15] R. Billinton and M. S. Grover, "Reliability Assessment of Transmission and Distribution Schemes" , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No. 3, May/June 1975, pp. 724-732 .
- [16] Mo-yuen Chow, Leroy S. Taylor, "A Novel Approach for Distribution Fault Analysis" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, October 1993, pp. 1882-1888 .
- [17] Gerd Kjolle, Kjell Sand, "RELRAD- An Analytical Approach for Distribution System Reliability Assessment" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. No. 199 , pp. 809 - 814 .
- [18] "Open Loop Distribution System Design" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, October 1993, pp. 1900-1906.

- [5] R. N.
the F
Power
pp. 2
- [6] N. E.
Indice
Vol.
- [7] E.
Metho
Preser
1983.
- [8] IEEE
Comm
- [9] Saul
Using
Vol.
- [10] Sid
Distri
No.
- [11] G.
Meas
Appa
- [12] Ap
IEEE