تجدید آرایش شبکه های توزیع

غلامرضا کامیاب [1] ابراهیم احمدی پور [2]
(۱) شرکت توزیع نیروی برق مشهد و دانشگاه آزاد- واحد گناباد (۲) شرکت توزیع نیروی برق مشهد

کلیدواژه ها : تجدید آرایش شبکه های توزیع، روشهای جستجوی ابتکاری، روشهای جستجوی بهینه.

چکیده

تجدید آرایش شبکه های توزیع به منظورهای متفاوتی نظیر کاهش تلفات خطوط، برگرداندن سرویس دهی مشترکان و به حداقل رساندن نواحی بدون برق، بهبود پروفایل ولتاژ، بالانس کردن بار، کاهش تواتر خاموشیهای مصرف کنندگان و افزایش امنیت شبکه بکار می رود. تجدید آرایش شبکه های توزیع یک مساله بهینه سازی با اهداف و محدودیتهای متعدد است و بدست آوردن یک حل بهینه مطلق برای آن مشکل است. برای تجدید آرایش شبکه های توزیع تاکنون روشهای متعددی ارائه شده است ولی چون تعداد آرایشهای یک شبکه توزیع خیلی زیاد است در همه روشهای فوق تمام آرایشها مورد بررسی و کاوش قرار نمی گیرند.

در این مقاله نشان داده می شود که علیرغم اینکه تعداد آرایشهای یک شبکه توزیع بسیار زیاد است ولی از آنجائیکه شبکه های توزیع دارای حلقه های کم بوده و بیشتر خطوط آن بصورت سری هستند؛ تعداد بسیار کمی از این آرایشها، آرایش شعاعی ممکن هستند. همچنین روشی ارائه می شود که توسط آن می توان بدون بررسی تک تک آرایشها، کلیه آرایشهای شعاعی ممکن را بطور مستقیم و ساده بدست آورد. سپس با بررسی هر یک از آرایشها و انجام پخش بار سریع مناسب، آرایش بهینه تعیین می شود. خصوصیات روش پیشنهادی در این مقاله این است که اولا برای تعیین آرایش بهینه، می توان تمامی محدودیتها و اهداف را همزمان در نظر گرفت. ثانیا آرایش بهینه حاصل، بهینه مطلق است. ثالثا حجم و زمان محاسبات این روش نسبتا کم و قابل قبول می باشد. روش پیشنهادی برای یک شبکه توزیع نمونه بررسی می شود.

۱- مقدمه

سیستمهای توزیع در کشورمان و در سایر کشورها در مقیاس بسیار بالائی وجود دارند و روزانه حجم بزرگی از انرژی برق را به مصرف کنندگان تحویل می دهند. با توجه به گستردگی شبکه های توزیع و حجم بالای انرژی توزیع شده توسط آنها، انجام تحقیقات وپژوهش در زمینه بهره برداری موثر و اقتصادی

Archive of SID
www.SID.ir

از این سیتمها سبب صرفه جوئی عظیمی خواهد شد. یکی از روشهای مدرن بهره برداری بهینه از سیستمهای توزیع، تجدید آرایش (بازآرائی) شبکه های توزیع در هنگام بهره برداری است یعنی با تغییر شرایط بهره برداری مثل تغییر بارها و یا وقوع یک خطا، آرایش شبکه را چنان تغییر دهیم که از نظر فنی و اقتصادی بهینه باشد. اهداف فنی و اقتصادی متعددی برای تجدید آرایش شبکه های توزیع مطرح است. یکی از اهداف اصلی و مهم تجدید آرایش، کاهش تلفات اهمی خطوط توزیع است[۱و۳و۵و۶و۷و۸]. با توجه به گستردگی و همچنین پایین بودن ولتاژ در شبکه های توزیع، تلفات انرژی در این شبکه ها قابل توجه است. همچنین تجدید آرایش ممکن است به منظور ایجاد توازن بارگذاری روی فیدرها انجام می گیرد[۲]. در شرایطی که خطای دائم ایجاد شده است، تجدید آرایش شبکه برای برگرداندن سرویس دهی مشترکان و به حداقل رساندن نواحی بدون برق بکار می رود[۲]. بهبود پروفایل ولتاژ، بالانس کردن بار، کاهش تواتر خاموشیهای مصرف کنندگان و افزایش امنیت شبکه از جمله اهداف دیگری هستند که تا کنون برای تجدید آرایش شبکه های توزیع مورد توجه قرار گرفته اند.

در سیستمهای توزیع سنتی، تجدید آرایش شبکه به صورت فصلی انجام می شد. برای تغییر آرایش این شبکه ها از کلیدها و جداکنندهای دستی و اتوماتیک استفاده می شد. اما اکنون با توجه به تمایل روزافزون به خودکار سازی (اتوماسیون) شبکه های توزیع، امکان کنترل و تغییر آرایش این شبکه ها روز به روز سهل تر می شود و لذا تجدید آرایش ممکن است بطور روزانه و یا حتی ساعتی و با استفاده از کلیدهای اتوماتیک و کنترل از راه دور صورت گیرد.

شبکه های توزیع عموما شبکه های شعاعی هستند. شبکه های شعاعی جریان اتصال کوتاه پائین تری دارند. کلیدها و سیستم حفاظت آنها ساده تر و ارزانتر اند. همچنین تشخیص خطا در شبکه های شعاعی آسانتر بوده و بهره برداری از آنها راحت تر است. از طرفی برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه های توزیع، این شبکه ها را با حلقه های کم طراحی می کنند ولی بصورت شعاعی بهره برداری می شوند. در هر حلقه، یک یا تعدادی سوئیچ نصب می شوند که بوسیله آنها می توان هر حلقه را باز نموده و به شبکه شعاعی تبدیل نمود. در یک شبکه معمولا همه شاخه ها (خطوط) را می توان باز کرد. بدیهی است هرچه تعداد سوئیچها در حلقه بیشتر باشد، قابلیت مانور بیشتر خواهد شد. بنابراین در شبکه های توزیع برای تغذیه هر بار چندین مسیر وجود دارد که با باز و بسته کردن سوئیچهای موجود در شبکه می توان یکی از این مسیرها را انتخاب نمود بطوریکه تمامی بارها بصورت شعاعی تغذیه شوند. بدین ترتیب آرایشهای مختلف برای یک شبکه توزیع وجود دارد و می توان آرایشی را انتخاب نمود که از نظر فنی و اقتصادی بهینه باشد. اما یکی از مشکلات یافتن بهترین آرایش این است که تعداد آرایشها بسیار زیاد است.

تجدید آرایش شبکه های توزیع یک مساله بهینه سازی با اهداف و محدودیتهای متعدد است و امکان استفاده از روشهای مشتق گیری در آن وجود ندارد. بنابراین بدست آوردن یک حل بهینه مطلق برای آن مشکل است. برای تجدید آرایش شبکه های توزیع تاکنون روشهای متعددی ارائه شده است. اولین روش، روش شاخه و تحدید (Branch and Bound) است که توسط Merlin و Back پیشنهاد شد و سپس توسط شیر محمدی و Hang بهبود یافت [۱]. این روش در حقیقت با یک "جستجوی ابتکاری" آرایش بهینه را پیدا می کند. به دنبال این روش، روشهای جستجوی ابتکاری متعدد دیگری ارائه شده اند. در این روشها ابتدا شبکه بسته فرض شده و سپس به نوبت یکی از شاخه ها طوری باز می شود که نسبت به شاخه های دیگر تلفات کمتری ایجاد کند و یا اینکه ابتدا یک شبکه ممکن باز را در نظر می گیرند و سپس شاخه های باز را طوری تعویض می کنند که تلفات کمتری ایجاد کنند. روشهای ابتکاری، روشهای نسبتا سریعی هستند ولی اشکال آنها این است که اولا تضمینی وجود ندارد که به آرایش بهینه دست یابند و ممکن است به یک بهینه محلی برسند. ثانیا امکان در نظر گرفتن همه اهداف بهینه سازی و همه محدودیتها را ندارند.

تعدادی از روشهای دیگر با استفاده از الگوریتمهای جستجوی بهینه مانند الگوریتم ژنتیک[۳و۵]، شبیه سازی ذوب فلزات[۴]، الگوریتم دایسترا [۸] آرایش بهینه را معرفی می کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

این روشها محاسبات طولانی و زمانبر دارند و همچنان تضمینی قطعی برای رسیدن به پاسخ بهینه مطلق ندارند. بعلاوه برخی از آنها امکان در نظر گرفتن همه اهداف بهینه سازی و همه محدودیتها را ندارند.

مشکل اصلی همه روشهای مزبور این است که تمام آرایشهای ممکن را بررسی نمی کنند و این بدان علت است که تعداد آرایشهای شبکه بسیار زیاد است. مثلا در یک شبکه توزیع نمونه که معمولا برای بررسی مساله تجدید آرایش شبکه توزیع بکاربرده شده است، تعداد آرایشها 2^{35} عدد می باشد. البته با توجه به ساختار کم حلقه بودن شبکه های توزیع، تعداد بسیار کمی از این آرایشها، جزء آرایشهای شعاعی ممکن هستند. منظور از یک آرایش شعاعی ممکن، آرایشی است که تمامی بارها بطور شعاعی تغذیه شوند. در حقیقت اکثر آرایشها، آرایشهای غیرممکن می باشند. مثلا در شبکه نمونه مزبور، تعداد آرایشهای شعاعی ممکن فقط ۱۵۵۱۰ عدد یعنی کمتر از ۰,۰۰۰۰۵ درصد کل آرایشها می باشد. یکی از مشکلات اصلی الگوریتمهای تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک که تا کنون در رابطه با تجدید آرایش بیان شده است، این است که در هر مرحله از تکامل باید آرایشهای ممکن ایجاد گردد. برخی از روشهای تجدید آرایش، ممکن بودن آرایش را بعنوان یک محدودیت در نظر گرفته اند. اگر بتوان روشی مستقیم و سریع برای یافتن تمامی آرایشهای ممکن بدست آورد می توان با بررسی تک به تک آرایشها (تمام فضای جستجو)، بهترین آرایش را انتخاب نمود. بدیهی است در اینصورت می توان تمامی اهداف فنی و اقتصادی و تمامی محدودیتها را در نظر گرفت.

در این مقاله روشی مستقیم و سریع برای یافتن تمام آرایشهای شعاعی ممکن ارائه می شود و نشان داده می شود که بر خلاف تصور، تعداد آرایشهای ممکن بسیار کم بوده بطوریکه با بررسی تمامی آنها، می توان آرایش بهینه را بدست آورد. در این روش پیشنهادی، از خاصیت سری و موازی بودن خطوط (شاخه ها) استفاده کرده و با معادل گذاری متوالی برای شاخه ها، گراف شبکه را به یک گراف بسیار ساده تبدیل نموده و توسط آن و با یک جایگذاری متوالی برگشتی، تمامی آرایشهای شعاعی ممکن را می یابیم.

در این مقاله هدف بهینه سازی را کاهش تلفات در نظر می گیریم و فقط محدودیتهای افت ولتاژ را در نظر می گیریم و نتایج روش پیشنهادی را برای یک شبکه توزیع نمونه بررسی می کنیم. البته در نظر گرفتن سایر اهداف و محدودیتها بر طبق روش پیشنهادی به سادگی امکان پذیر است.

۲- آرایش بهینه شبکه توزیع

شبکه های توزیع عموما شبکه های شعاعی هستند که از فیدرهای پستهای فوق توزیع تغذیه می شوند. شبکه های خروجی از فیدرها معمولا تعداد زیادی بار را در طول مسیرهای اصلی و انشعابی خود تغذیه می کنند و سپس در نقاط مختلف به هم می رسند و امکان اتصال آنها به یکدیگر و مانور کردن آنها وجود دارد. بنابراین شبکه های توزیع از تعداد زیادی شاخه های سری تشکیل می شوند و دارای حلقه های کم هستند. منظور از سری بودن دو شاخه آن است که آن دو شاخه در یک گره مشترک باشند و از گره مشترک آنها شاخه دیگری گرفته نشده باشد. در صورتیکه تمام حلقه های یک شبکه توزیع، بسته فرض شوند یک شبکه بسته با حلقه های کم داریم و در صورتیکه به جای هر دو شاخه سری یک شاخه معادل بگذاریم یک شبکه بسته ساده با تعداد حلقه های کم خواهیم داشت که ممکن است تعدادی از شاخه های این شبکه معادل، با هم موازی باشند و با جایگذاری یک شاخه معادل برای چند شاخه موازی، به یک شبکه ساده تر می رسیم. منظور از شاخه های موازی آن است که یک انتهای آنها با هم و انتهای دیگرشان نیز با هم گره مشترک داشته باشند.

در این مقاله به دنبال آرایش بهینه هستیم. آرایش بهینه، آرایشی از شبکه است که اولا شعاعی بوده و تمامی بارها تغذیه شوند و ثانیا کمترین تلفات توان را داشته باشد. برای یافتن آرایش بهینه ابتدا شبکه را بسته فرض می کنیم. سپس با باز کردن شاخه های مختلف بترتیبی که در ادامه خواهد آمد، کلیه آرایشهای شعاعی ممکن را بدست می آوریم. منظور از یک آرایش شعاعی ممکن آرایشی از شاخه ها است که تمامی بارها فقط از یک طرف تغذیه شوند. آنگاه برای هر یک از آرایشهای

Archive of SID

www.SID.ir

شعاعی ممکن بدست آمده، تلفات را با پخش بار پیشرو-پسرو محاسبه نموده و آرایش دارای کمترین تلفات را بدست می آوریم. پخش بار مزبور یک پخش بار بسیار ساده و سریع است که برای شبکه شعاعی امکان پذیر می باشد.

تعداد کل آرایشهای یک شبکه بسیار زیاد است ولی تعداد بسیار کمی از آنها شعاعی ممکن هستند. در اینجا ما برای یافتن کلیه آرایشهای شعاعی ممکن، ابتدا شبکه را بسته فرض نموده و با معادل گذاری برای شاخه های سری و موازی، آن را به یک شبکه ساده تبدیل می نمائیم. شاخه های شبکه ساده مزبور ممکن است مجددا سری و یا موازی باشند که در اینصورت مجددا برای آنها شاخه های معادل می گذاریم و این کار را آنقدر ادامه می دهیم تا نهایتا به یک شبکه بسیار ساده که فقط دارای یک شاخه باشد، برسیم. شبکه ساده شده نهائی که یک شاخه است اگر بین دو گره مجزا قرار گیرد، باید بسته باشد و اگر دو انتهای آن به یک گره متصل باشند، باید باز شود. بدین ترتیب آرایشهای شعاعی ممکن شبکه ساده شده نهائی به سادگی تعیین می شود. سپس بصورت برگشتی شاخه های اصلی را برای هر یک از شاخه های معادل جایگذاری می کنیم و با استفاده از آرایشهای ممکن شاخه های معادل، آرایشهای ممکن شاخه های اصلی را می یابیم. بدین ترتیب کلیه آرایشهای شعاعی ممکن شبکه بسته اولیه بدست می آیند. جزئیات این روش در قسمتهای بعدی بیان خواهد شد. این روش، یک روش مستقیم است یعنی لازم نیست تعداد کل آرایشها را بررسی کنیم و آرایشهای شعاعی را از میان آنها تعیین نمائیم بلکه بطور مستقیم به همه آرایشهای شعاعی ممکن خواهیم رسید. لذا روش بسیار ساده و سریع است.

۳- نمایش آرایشهای شبکه

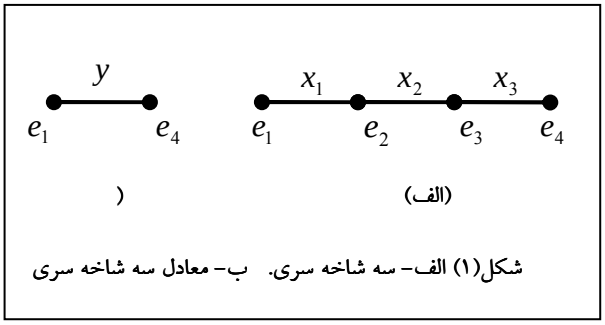
یک شبکه توزیع در حقیقت ترکیبی از شاخه ها و گره ها است. هر شاخه یک خط توزیع است که بین دو گره قرار می گیرد. هر شاخه می تواند توسط سوئیچهایی که بر روی آن قرار دارد، باز یا بسته باشد. بنابراین هر شاخه دو آرایش ممکن دارد. آرایش باز بودن و آرایش بسته بودن دو آرایش ممکن برای یک شاخه است. برای نمایش آرایش یک شاخه، آن شاخه را با یک متغیر حرفی بدون پریم و یا پریم دار نشان می دهیم. در صورتیکه شاخه بسته باشد آن را با حرف بدون پریم نشان داده و اگر شاخه باز باشد، آن را با حرف پریم دار نمایش می دهیم. مثلا اگر برای یک شاخه حرف x_1 را در نظر گرفته باشیم. آرایش بسته بودن این شاخه را با x_1 و آرایش باز بودن آن را با x_1' نشان می دهیم.

حال یک شبکه با چند شاخه را درنظر می گیریم. با توجه به امکان باز و بسته بودن هر یک از شاخه ها، آرایشهای مختلفی برای شبکه بوجود می آید. هر آرایش یک شبکه را بوسیله دنباله ای از متغیرهای حرفی شاخه های آن نشان می دهیم. بدیهی است که برای شاخه های بسته، متغیرهای حرفی آنها را بدون پریم و برای شاخه های باز، متغیرهای حرفی آنها را پریم دار بکار می بریم. مثلا دنباله $x_1x_2x_3'x_4$ آرایشی از یک شبکه را نشان می دهد که در این آرایش شاخه های ۱، ۲ و ۴ بسته و شاخه ۳ باز است. اما برای نمایش چند آرایش مختلف یک شبکه، دنباله های هر آرایش را نوشته و بین آنها علامت جمع (" + ") را قرار می دهیم. مثلا عبارت زیر سه آرایش مختلف از یک شبکه چهار شاخه ای را نشان می دهد:

$$x_1x_2'x_3x_4 + x_1x_2x_3'x_4 + x_1x_2x_3x_4'$$

۴- معادل گذاری برای شاخه های سری و موازی

شکل (۱-الف) سه شاخه سری را نشان می دهد که بین دو گره ابتدا و انتهائی e_1 و e_4 قرار گرفته اند. شکل (۱-ب) شاخه y را بعنوان معادل سری آنها نشان می دهد که بین همان دو گره انتهائی e_1 و e_4 قرار گرفته است. این معادل گذاری را با عبارت $y = (x_1 - x_2 - x_3)$ بیان می کنیم. در این عبارت سه خط سری را با علامت خط تیره افقی بین آنها در داخل یک پرانتز نشان داده ایم.



شکل(۱) الف- سه شاخه سری. ب- معادل سه شاخه سری

Archive of SID

www.SID.ir

شاخه های سری شکل (۱–الف) در صورتیکه متعلق به یک شبکه شعاعی باشند، یا باید هر سه بسته باشند و یا فقط یکی از آنها باز باشد. زیرا اگر دو تا از آنها باز باشند مثلا x_1 و x_2 باز باشند، امکان تغذیه گره e_2 وجود ندارد و این یک آرایش غیر ممکن پدید می آورد. درصورتیکه هر سه شاخه بسته باشند، ارتباط بین گره های e_1 و e_4 از طریق آنها برقرار است و لذا شاخه y معادل هم باید بسته باشد و در صورتیکه یکی از سه شاخه مزبور باز باشد، ارتباط بین گرههای e_1 و e_4 قطع شده و لذا شاخه y معادل هم باید باز باشد. بنابراین باز بودن و بسته بودن شاخه y معادل را می توان برحسب آرایشهای مختلف ممکن شاخه های x_1، x_2 و x_3 بیان کرد. رابطه (۱) آرایش بسته بودن شاخه y معادل را بر حسب آرایشهای x_1، x_2 و x_3 بیان می کند. این رابطه نشان می دهد که بسته بودن شاخه y، معادل آرایش بسته بودن هر سه شاخه x_1، x_2 و x_3 است.

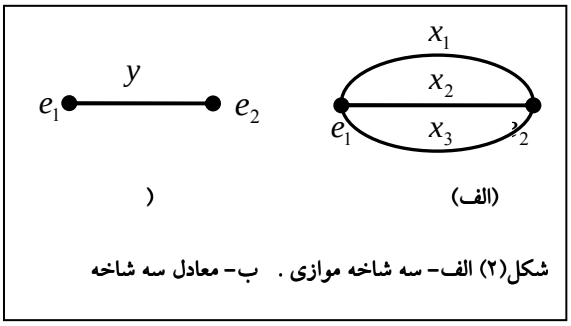
$$y = x_1 x_2 x_3 \qquad (۱)$$

رابطه (۲)، آرایش باز بودن شاخه y معادل را برحسب آرایشهای x_1، x_2 و x_3 بیان می کند، این رابطه نشان می دهد که باز بودن شاخه y، معادل سه آرایش مختلف از سه شاخه x_1 و x_2 x_3 است که در هر یک از این سه آرایش، فقط یکی از سه شاخه مزبور باز هستند.

$$y' = x_1' x_2 x_3 + x_1 x_2' x_3 + x_1 x_2 x_3' \qquad (۲)$$

بنابراین معادل گذاری بیان شده با عبارت $y = (x_1 - x_2 - x_3)$ را توسط روابط (۱) و (۲) تعریف می کنیم. بطریق مشابه می توان برای تعداد دیگری از شاخه های سری معادل گذاری نمود.

شکل (۲–الف) سه شاخه موازی x_1، x_2 و x_3 را نشان می دهد که بین دو گره e_1 و e_2 قرار گرفته اند. شکل (۲–ب) شاخه y را بعنوان معادل موازی آنها نشان می دهد که بین همان دو گره انتهائی e_1 و e_2 قرار گرفته است. این معادل گذاری را با عبارت $y = (x_1 \mid x_2 \mid x_3)$ بیان می کنیم. در این عبارت سه شاخه موازی را با علامت خط تیره عمودی بین آنها در داخل پرانتز نشان داده ایم.



شکل(۲) الف– سه شاخه موازی . ب– معادل سه شاخه

شاخه های موازی شکل (۲–الف) درصورتیکه متعلق به یک شبکه شعاعی باشند، یا باید هر سه باز باشند و یا فقط یکی از آنها بسته باشد. زیرا اگر دو یا هر سه آنها بسته باشند، حلقه بوجود می آید و این یک آرایش غیر شعاعی را بوجود می آورد. درصورتیکه هر سه شاخه باز باشند ارتباط بین گره های e_1 و e_2 از طریق آنها برقرار نبوده و لذا شاخه y معادل هم باید باز باشد و در صورتیکه یکی از آنها بسته باشد، ارتباط بین گره های e_1 و e_2 از طریق آنها برقرار بوده و شاخه y معادل هم باید بسته باشد. بنابراین باز و بسته بودن شاخه y معادل را می توان برحسب آرایشهای مختلف ممکن شاخه های x_1 ، x_2 و x_3 بیان نمود. رابطه (۳) زیر آرایش بسته بودن شاخه y معادل را برحسب آرایشهای x_1 ، x_2 و x_3 بیان می کند. این رابطه نشان می دهد که بسته بودن شاخه y، معادل سه آرایش مختلف از سه شاخه موازی x_1 ، x_2 و x_3 است که در هر یک از این سه آرایش، فقط یکی از سه شاخه مزبور بسته است و دو شاخه دیگر باز می باشند.

$$y = x_1 x_2' x_3' + x_1' x_2 x_3' + x_1' x_2' x_3 \qquad (۳)$$

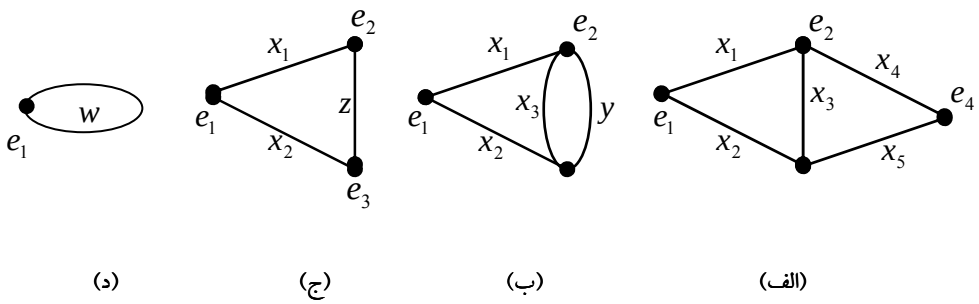
رابطه (۴) زیر آرایش باز بودن شاخه y معادل را برحسب آرایشهای شاخه های موازی x_1 ، x_2 و x_3 بیان می کند. این رابطه نشان می دهد که باز بودن شاخه y، معادل آرایش باز بودن هر سه شاخه x_1 ، x_2 و x_3 است.

$$y' = x_1' x_2' x_3' \qquad (٤)$$

بنابراین معادل گذاری بیان شده با عبارت $y = (x_1 \mid x_2 \mid x_3)$ توسط روابط (۳) و (۴) تعریف می شود. بطریق مشابه می توان برای تعداد دیگری از شاخه های موازی نیز معادل گذاری نمود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(۳) الف– یک شبکه بسته اولیه. ب، ج، د– ساده سازی پی در پی شبکه بسته اولیه

۵- تعیین کلیه آرایشهای ممکن یک شبکه با استفاده از معادل گذاری

یک شبکه بسته در نظر می گیریم و نشان می دهیم می توان با معادل گذاریهای پی در پی به یک شبکه ساده رسید و با اعمال شرط شعاعی بودن برای شبکه ساده مزبور و جایگذاری آرایشهای معادل، می توان کلیه آرایشهای شعاعی ممکن شبکه بسته اولیه را بدست آورد. برای این منظور شبکه شکل (۳–الف) را در نظر می گیریم. این شبکه پنج شاخه دارد و گره e_1 گره مرجع است. گره مرجع، گره مربوط به پستهای فوق توزیع است که منبع تغذیه اصلی گره های دیگر در آنجا قرار دارد. در این شکل شاخه های x_4 و x_5 سری هستند و با معادل گذاری $y=(x_4-x_5)$ به شکل (۳–ب) تبدیل می شود. در شکل (۳–ب) نیز شاخه های x_3 و y موازیند و با معادل گذاری $z=(x_3\mid y)$ به شکل ساده (۳–ج) می رسیم. در این شکل نیز سه شاخه سری وجود دارد که بصورت $w=(x_1-x_2-z)$ معادل گذاری می کنیم و شکل (۳–د) بدست می آید که یک شبکه با یک شاخه به شکل طوقه است و این شبکه ساده شده نهائی می باشد. شرط شعاعی بودن الزام می دارد که طوقه w باز باشد یعنی آرایش شعاعی ممکن برای شبکه، w' است زیرا باز بودن یک شاخه را با پریم نشان دادیم. بنابراین رابطه (۵) آرایشهای ممکن را می دهد.

$$w'=(x_1-x_2-z)'=x_1'x_2z+x_1x_2'z+x_1x_2z' \qquad (۵)$$

با توجه به معادل گذاری موازی $z=(x_3\mid y)$ داریم:

$$z=x_3'y+x_3y' \qquad (۶)$$

$$z'=x_3'y' \qquad (۷)$$

مجددا با توجه به معادل گذاری سری $y=(x_4-x_5)$ داریم:

$$y=x_4x_5 \qquad (۸)$$

$$y'=x_4'x_5+x_4x_5' \qquad (۹)$$

اکنون رابطه (۹) را در رابطه (۷) جایگذاری می نمائیم و به رابطه زیر می رسیم:

$$z'=x_3'(x_4'x_5+x_4x_5') \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰) از ضرب صوری استفاده نموده و آرایشهای رابطه (۱۱) را بدست می آوریم:

$$z'=x_3'x_4'x_5+x_3'x_4x_5' \qquad (۱۱)$$

بطریق مشابه با جایگذاری روابط (۸)و (۹) در (۶) و استفاده از ضرب صوری داریم:

$$\begin{aligned}z&=x_3'(x_4x_5)+x_3(x_4'x_5+x_4x_5')\\&=x_3'x_4x_5+x_3x_4'x_5+x_3x_4x_5'\end{aligned} \qquad (۱۲)$$

اکنون با جایگذاری روابط (۱۱) و (۱۲) در رابطه (۵) و استفاده از ضرب صوری، کلیه آرایشهای ممکن شبکه بسته اولیه شکل (۳–الف) با رابطه (۱۳) بدست می آید.

$$\begin{aligned}w'=&x_1'x_2x_3'x_4x_5+x_1'x_2x_3x_4'x_5+x_1'x_2x_3x_4x_5'\\&+x_1x_2'x_3'x_4x_5+x_1x_2'x_3x_4'x_5+x_1x_2'x_3x_4x_5'\\&+x_1x_2x_3'x_4'x_5+x_1x_2x_3'x_4x_5'\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

Archive of SID

www.SID.ir

بر طبق رابطه (۱۳) هشت آرایش شعاعی ممکن بدست آمد که در هر آرایش دو شاخه باز و چهار شاخه بسته وجود دارد. برای اینکه نمایش این آرایشها ساده تر شود، در رابطه (۱۳) فقط شاخه های باز را می نویسیم و رابطه (۱۴) بدست می آید.

$$w' = x_1'x_3' + x_1'x_4' + x_1'x_5' + x_2'x_3' + x_2'x_4' + x_2'x_5' + x_3'x_4' + x_3'x_5' \qquad (۱٤)$$

با بررسی هر هشت آرایش رابطه (۱۴) ملاحظه خواهد شد که هریک از این آرایشها، یک آرایش شعاعی ممکن است که همه گرهها نیز تغذیه می شوند. اما شبکه بسته اولیه شکل (۳–الف)، چون ۵ شاخه دارد و هر شاخه دو آرایش باز و بسته می تواند داشته باشد، پس $2^5 = 32$ آرایش دارد که در صورت بررسی همه ۳۲ آرایش مشاهده خواهد شد که فقط هشت آرایش بدست آمده در رابطه (۱۴)، آرایش شعاعی ممکن خواهند بود. بدین ترتیب ملاحظه می گردد که روش فوق تمامی آرایشهای شعاعی ممکن را مستقیما در اختیار می گذارد.

۶- شاخه های غیر سری و غیر موازی

در طی مراحل ساده سازی شبکه بسته اولیه ممکن است به حالتی برسیم که امکان سری و یا موازی کردن شاخه ها نباشد و دیگر نتوان شبکه را ساده نمود. در این حالت حداقل سه شاخه وجود دارند که تشکیل ستاره یا مثلث داده اند. مثلا گراف شبکه شکل (۴–الف) را در نظر می گیریم. در این شبکه شاخه های سری و موازی وجود نداشته و امکان ساده سازی نیست. در این حالت برای یکی از شاخه های تشکیل دهنده ستاره یا مثلث (مثلا شاخه x_6)، دو حالت در نظر می گیریم.

در حالت اول فرض می کنیم شاخه x_6 باز باشد. زیرگراف حاصل از حذف شاخه x_6 در شکل (۴–ب) نشان داده شده است. در حالت دوم فرض می کنیم x_6 بسته باشد و گره های e_2 و e_3 که x_6 در بین آنها قرار گرفته است را به یک گره تبدیل می کنیم. در اینصورت زیرگراف شکل (۴–ج) بدست می آید. آرایشهای شبکه بسته اولیه برابر مجموع آرایشهای حاصل از زیرگراف اول با فرض باز بودن شاخه x_6 و آرایشهای حاصل از زیرگراف دوم بافرض بسته بودن شاخه x_6 است.

زیرگراف شکل (۴–ب) را می توان بصورت رابطه (۱۵) معادل سازی سری و موازی نموده و به یک شاخه wg_1 تبدیل نمود.

$$wg_1 = (x_2 \mid (x_1 - x_5) \mid (x_3 - x_4)) \qquad (۱۵)$$

برای بدست آوردن آرایشهای شعاعی ممکن این زیرگراف باید شاخه wg_1 که بین دو گره e_1 و e_4 واقع می شود حتما بسته باشد. زیرا در غیر اینصورت گره e_4 را نمی توان تغذیه نمود. بنا به این فرض و پس از انجام عملیات لازم، کلیه آرایشهای شعاعی آن طبق رابطه (۱۶) بدست می آید. در این رابطه فقط آن شاخه هائی از زیرگراف شکل(۴–ب) نوشته شده که باز هستند.

$$wg_1 = x_1'x_3' + x_1'x_5' + x_3'x_6' + x_5'x_6' + x_2'x_3' + x_2'x_5' + x_1'x_2' + x_2'x_6' \qquad (۱٦)$$

زیرگراف شکل (۴–ج) را نیز می توان بصورت رابطه (۱۷) معادلسازی‌سری‌و موازی نموده و به یک شاخه wg_2 تبدیل نمود.

$$wg_2 = (x_1 \mid x_3 \mid (x_2 - (x_4 \mid x_5))) \qquad (۱۷)$$

برای بدست آوردن آرایشهای شعاعی ممکن زیرگراف اخیر نیز، باید شاخه wg_2 که بین گره e_1 و گره مشترک e_2 و e_3 واقع می شود، حتما بسته باشد. زیرا در غیر اینصورت گره مشترک را نمی توان تغذیه نمود. با اعمال فرض بسته بودن wg_2 و پس از انجام عملیات لازم، کلیه آرایشهای شعاعی آن طبق رابطه (۱۸) بدست می آید. در این رابطه فقط آن شاخه هائی از زیرگراف شکل(۴–ج) نوشته شده که باز هستند.

$$wg_2 = x_1'x_2'x_4' + x_1'x_2'x_5' + x_1'x_4'x_5' + x_2'x_3'x_4' + x_2'x_3'x_5' + x_3'x_4'x_5' + x_1'x_3'x_4' + x_1'x_3'x_5' \qquad (۱۸)$$

اکنون کلیه آرایشهای شعاعی شبکه بسته شکل (۴–الف) با استفاده از آرایشهای شعاعی ممکن دو زیرگراف آن بدست می آید که با wg نشان می دهیم و در رابطه (۱۹) بیان می شود.

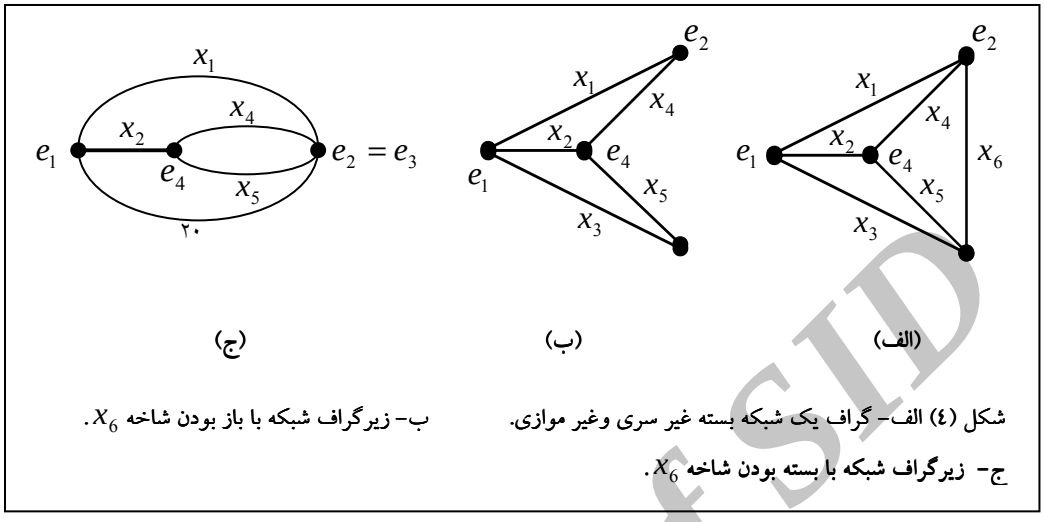
$$wg = x_6'wg_1 + x_6wg_2 \qquad (۱۹)$$

که wg_1 و wg_2 در روابط (۱۶) و (۱۸) بدست آمده اند.

Archive of SID

www.SID.ir

شبکه بسته شکل (۴–الف)، تعداد ۶ شاخه دارد و لذا کلا $2^6 = 64$ آرایش دارد که با توجه به روابط (۱۶) و (۱۸) و (۱۹) ،تعداد ۱۶ آرایش از آنها، آرایش شعاعی ممکن اند. با بررسی کلیه ۶۴ آرایش به سادگی ملاحظه خواهد شد که فقط ۱۶ آرایش بدست آمده به روش ارائه شده در این قسمت، آرایش شعاعی ممکن هستند.



شکل (٤) الف– گراف یک شبکه بسته غیر سری وغیر موازی.
ب– زیرگراف شبکه با باز بودن شاخه x_6.
ج– زیرگراف شبکه با بسته بودن شاخه x_6.

۷– تعیین کلیه آرایشهای شعاعی برای یک شبکه توزیع نمونه

برای بررسی مساله تجدید آرایش شبکه توزیع به روش پیشنهادی، یک شبکه توزیع را که معمولا برای همین منظور بکار برده شده [۵و۶و۷و۸]، انتخاب نموده ایم. اطلاعات این شبکه در مراجع [۷و۸] موجود است. این شبکه ۳۱ گره و ۳۵ شاخه دارد. گراف شبکه بسته این شبکه توزیع در شکل (۵) نشان داده شده است. در این قسمت کلیه آرایشهای شعاعی ممکن این شبکه را بدست می آوریم.

چنانکه در شکل (۵) ملاحظه می شود، شاخه های ۳، ۵، ۸، ۱۵، ۲۱ و ۲۵ بصورت انشعابی هستند و الزاما باید بسته باشند؛ زیرا در غیراینصورت یک یا چند تا از گره های ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۲۲، ۲۷ و ۲۸ تغذیه نخواهند شد. بنابراین شاخه های مزبور را بسته فرض نموده و آنها را از گراف شکل (۵) حذف می کنیم زیرا در تعیین آرایشهای شعاعی ممکن بقیه گراف تاثیری ندارند. اکنون در گراف باقیمانده عمل ساده سازی را انجام می دهیم. در اولین مرحله از ساده سازی، گراف شکل (۵) را به صورت گراف شکل (۶–الف) تبدیل می کنیم. یعنی به جای شاخه های سری معادلشان را قرار می دهیم. روابط (۲۰) تا (۲۷) تعریف کننده اولین مرحله از معادل سازی می باشند.

$$x_1 = (1-2-4) \quad (۲۰)$$

$$x_2 = (7-10-12-17-35) \quad (۲۱)$$

$$x_3 = (6-9-11) \quad (۲۲)$$

$$x_4 = (14-19-23-33) \quad (۲۳)$$

$$x_5 = (13-18-22-26-28-31) \quad (۲٤)$$

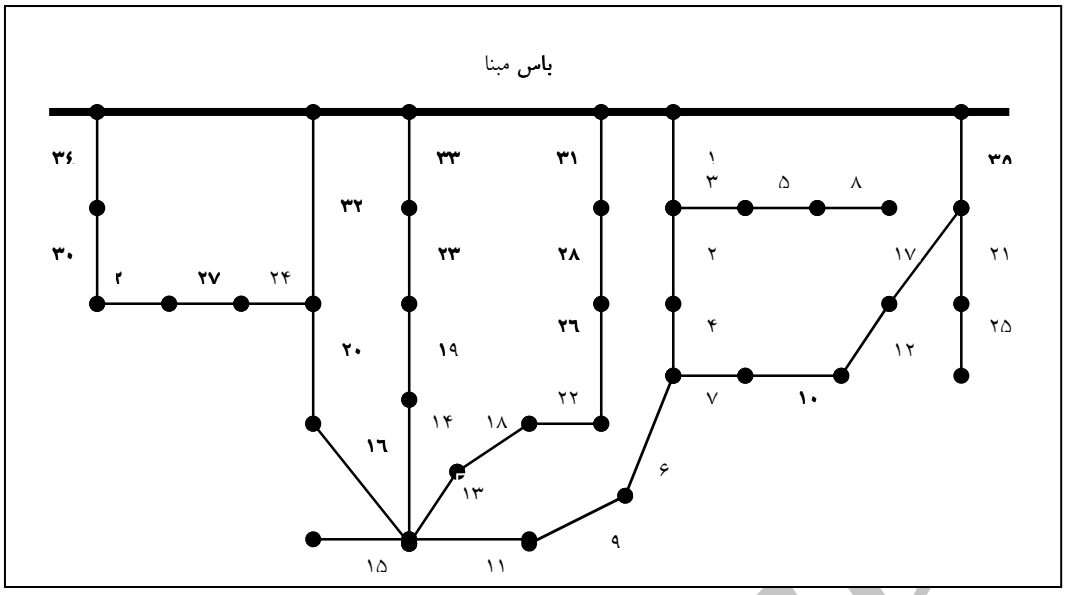
$$x_6 = (16-20) \quad (۲۵)$$

$$x_7 = (24-27-29-30-34) \quad (۲٦)$$

$$x_8 = (32) \quad (۲۷)$$

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۵): گراف بسته شبکه توزیع نمونه مورد مطالعه

در دومین مرحله از ساده سازی، گراف شکل (۶–الف) را با معادل سازی موازی تعریف شده در روابط (۲۸) تا (۳۰) به گراف شکل (۶–ب) ساده می کنیم.

$$y_1 = (x_1 \mid x_2) \qquad (۲۸)$$

$$y_2 = (x_4 \mid x_5) \qquad (۲۹)$$

$$y_3 = (x_7 \mid x_8) \qquad (۳۰)$$

در سومین مرحله از ساده سازی، گراف شکل (۶–ب) را با معادل سازی موازی تعریف شده در روابط (۳۱) و (۳۲) به گراف شکل (۶–ج) ساده می نمائیم.

$$z_1 = (x_3 - y_1) \qquad (۳۱)$$

$$z_2 = (x_6 - y_3) \qquad (۳۲)$$

نهایتا گراف شکل (۶–ج) را می توان با معادل سازی موازی تعریف شده در رابطه (۳۳) به گراف شکل (۶–د) که یک شاخه تنها w است، ساده نمود.

$$w = (z_1 \mid y_2 \mid z_2) \qquad (۳۳)$$

چنانکه در شکل (۶–ج) ملاحظه می شود، شاخه نهائی w باید بسته باشد تا گره ۷ را بتوان تغذیه نمود. اکنون با اعمال این شرط، آرایشهای شعاعی ممکن مطابق رابطه (۳۴) بدست می آید.

$$w = z_1 y_2' z_2' + z_1' y_2 z_2' + z_1' y_2' z_2 \qquad (۳٤)$$

با استفاده از روابط (۲۸) تا (۳۲) داریم:

$$z_1 = x_3 y_1 = x_3 (x_1 x_2' + x_1' x_2) = x_1 x_2' x_3 + x_1' x_2 x_3 \qquad (۳۵)$$

$$z_1' = x_3' y_1 + x_3 y_1' = x_3' (x_1 x_2' + x_1' x_2) + x_3 x_1' x_2' \qquad (۳٦)$$

$$y_2 = x_4 x_5' + x_4' x_5 \qquad (۳۷)$$

$$y_2' = x_4' x_5' \qquad (۳۸)$$

$$z_2 = x_6 y_3 = x_6 (x_7 x_8' + x_7' x_8) = x_6 x_7 x_8' + x_6 x_7' x_8 \qquad (۳۹)$$

$$z_2' = x_6' y_3 + x_6 y_3' = x_6' (x_7 x_8' + x_7' x_8) + x_6 (x_7' x_8') \qquad (٤۰)$$

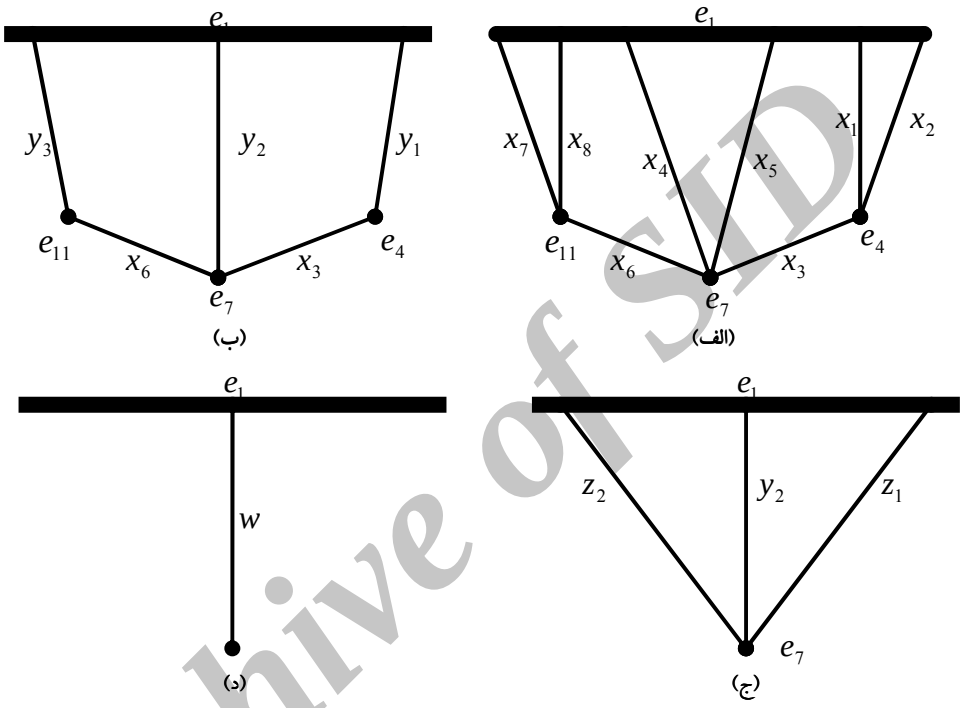
حال روابط (۳۵) تا (۴۰) را در رابطه (۳۴) جایگذاری کرده و پس از انجام ضرب های صوری به رابطه (۴۱) می رسیم:

$$\begin{aligned} w = {} & x_1 x_3 x_6 + x_1 x_3 x_7 + x_1 x_3 x_8 + x_2 x_3 x_6 + x_2 x_3 x_7 \\ & + x_2 x_3 x_8 + x_1 x_4 x_6 + x_1 x_4 x_7 + x_1 x_4 x_8 + x_1 x_5 x_6 \\ & + x_1 x_5 x_7 + x_1 x_5 x_8 + x_2 x_4 x_6 + x_2 x_4 x_7 + x_2 x_4 x_8 \\ & + x_2 x_5 x_6 + x_2 x_5 x_7 + x_2 x_5 x_8 + x_3 x_4 x_6 + x_3 x_4 x_7 \\ & + x_3 x_4 x_8 + x_3 x_5 x_6 + x_3 x_5 x_7 + x_3 x_5 x_8 + x_1 x_6 x_7 \\ & + x_1 x_6 x_8 + x_2 x_6 x_7 + x_2 x_6 x_8 + x_3 x_6 x_7 + x_3 x_6 x_8 \end{aligned} \qquad (۴۱)$$

Archive of SID

www.SID.ir

شایان ذکر است که در رابطه فوق، فقط شاخه های بسته هر آرایش بیان شده است. چنانکه در رابطه (۴۱) ملاحظه می شود؛ گراف شکل (۶-الف)، تعداد ۳۰ آرایش شعاعی ممکن دارد که در هر آرایش فقط ۳ شاخه از گراف مزبور بسته و ۵ شاخه دیگر باز خواهند بود. اکنون اگر معادل گذاری تعریف شده در روابط (۲۰) تا (۲۷) را رابطه (۴۱) جایگذاری کنیم؛



شکل (۶) (الف)، (ب) ، (ج) و (د): مراحل ساده سازی گراف شبکه شکل ۵.

تعداد کل آرایشهای شبکه اصلی شکل (۵) بدست می آید. این کار توسط یک برنامه کامپیوتری انجام شده و تعداد ۱۵۵۱۰ آرایش ممکن برای آن بدست آمده است که در اینجا بعلت طولانی بودن از ذکر آن خودداری شده است. در هر آرایش ۵ شاخه باز و ۳۰ شاخه بسته وجود دارد.

تعداد کل آرایشهای شعاعی ممکن را می توان از رابطه (۳۴) و یا از رابطه (۴۱) محاسبه نمود. به همین منظور اگر تعداد آرایش هر شاخه معادل را با $n(.)$ نشان دهیم. با توجه به معادل سازی های انجام شده در روابط (۲۰) تا (۲۷) داریم:

$$n(x_1)=n(x_2)=n(x_3)=n(x_4)= n(x_5)=n(x_6)=n(x_7)=n(x_8)=1 \quad (۴۲)$$

$$n(x_1')=n(x_3')=3 \quad (۴۳)$$

$$n(x_2')=n(x_7')=5 \quad (۴۴)$$

$$n(x_4')=4 \quad (۴۵)$$

$$n(x_5')=6 \quad (۴۶)$$

$$n(x_6')=2 \quad (۴۷)$$

$$n(x_8')=1 \quad (۴۸)$$

حال با توجه به روابط (۳۴) تا (۴۸)، تعداد کل آرایشهای شعاعی ممکن بشرح زیر محاسبه می شوند:

$$n(w)=n(z_1).n(y_2').n(z_2')+ n(z_1').n(y_2).n(z_2')+n(z_1').n(y_2').n(z_2)= 8*24*17+39*10*17+39*24*6=15510 \quad (۴۹)$$

چنانکه ملاحظه می شود در شبکه مورد مطالعه تعداد کل آرایشهای شعاعی ممکن ۱۵۵۱۰ آرایش می باشد که با روش

Archive of SID

www.SID.ir

ارائه شده در این مقاله بطور مستقیم بدست می آیند. این در حالی است که تعداد کل آرایشهای همین شبکه ۳۵ شاخه ای، برابر 2^{35} آرایش می باشد که بیش از ۳۴ میلیارد آرایش خواهد بود. بنابراین تعداد آرایشهای شعاعی ممکن بسیار کمتر از تعداد کل آرایشها است. این در حقیقت بخاطر کم حلقه بودن شبکه های توزیع است. بنابراین می توان با تحلیل همه آرایشهای ممکن، آرایش بهینه را تعیین نمود.

۸- تعیین آرایش بهینه دارای کمترین تلفات

در بخشهای قبل چگونگی تعیین کلیه آرایشهای شعاعی ممکن از یک شبکه توزیع بسته را ارائه دادیم. اکنون برای یافتن آرایشی که کمترین تلفات را داشته باشد؛ تلفات هر کدام از آرایشهای شعاعی ممکن را محاسبه می کنیم. از آنجائیکه تمام آرایشها شعاعی هستند، می توانیم از پخش بار پیشرو–پسرو (Forward-Backward) استفاده کنیم، این پخش بار دارای همگرائی و سرعت بسیار بالائی می باشد بطوریکه حتی با یک بار تکرار می توان به دقتی نسبتا خوبی دست یافت. از طرفی چون می خواهیم شبکه ای را بیابیم که کمترین تلفات را دارد، و محاسبه دقیق تلفات منظور نمی باشد؛ ابتدا پخش بار پیشرو–پسرو را فقط با یکبار تکرار برای کلیه آرایشها اجرا می کنیم و تلفات تمامی آرایشها را بدست می آوریم. سپس آرایشها را بر حسب تلفات شبکه بصورت صعودی مرتب می کنیم. آنگاه محاسبات پخش بار را با تعداد تکرارهای بیشتر برای تعداد محدودی از آرایشها ی بالای لیست، انجام داده و تلفات دقیق آنها را می یابیم. اکنون مجددا این تعداد محدود آرایش را بر حسب تلفات بصورت صعودی مرتب می کنیم. سپس از اولین آرایش شروع نموده و محدودیتهای فنی شبکه (در اینجا محدودیت افت ولتاژ مجاز)، را بررسی می کنیم. اولین آرایشی که تمامی محدودیتهای شبکه را برآورده سازد، بعنوان آرایش بهینه معرفی می کنیم. بدیهی است که بر طبق این روش می توان کلیه محدودیتها، نظیر محدودیت افت ولتاژ مجاز و محدودیت جریان مجاز هر شاخه را در نظر گرفت.

برای شبکه توزیع مورد مطالعه که گراف آن در شکل (۵) ارائه شد، تلفات به روش ذکر شده در بالا برای تمامی آرایشها محاسبه شد و آرایشها بر اساس میزان تلفات آنها بصورت صعودی رتبه بندی شدند. در جدول (۱) ده آرایش اول که کمترین تلفات را دارند، آورده شده است. در این جدول هر آرایش با شمارهٔ شاخه های باز آن مشخص شده است. چنانکه ملاحظه می شود ۶ آرایش اول جدول دارای تلفات یکسان هستند و محاسبه پخش بار آنها نشان می دهد که حداکثر افت ولتاژ هر یک از این آرایشها کمتر از ۳ درصد است. بنابراین این شش آرایش همگی آرایش بهینه مطلق هستند. شایان ذکر است که مراجع مختلفی که همین شبکه را با روشهای ابتکاری و روش الگوریتم ژنتیک مطالعه نموده اند هر یک به یکی از شش آرایش فوق رسیده اند [۵و۶و۷و۸].

زمان کل محاسبه برای بررسی تمامی ۱۵۵۱۰ آرایش شبکه مورد مطالعه و تعیین آرایش بهینه توسط یک کامپیوتر شخصی پنتیوم ۲,۴ گیگا هرتز و توسط نرم افزار Matlab، ۳دقیقه و ۳۲ ثانیه بود. بنابراین ملاحظه می شود که روش فوق از نظر سرعت هم مناسب است.

جدول(۱) ده آرایش شبکهٔ مورد مطالعه که کمترین تلفات را دارند

تلفات شبکه (PU)	خطوط قطع شده
۰,۰۰۱۵۰۶۵۶	۹–۱۰–۱۳–۱۹–۲۷
۰,۰۰۱۵۰۶۵۶	۹–۱۰–۱۸–۱۹–۲۷
۰,۰۰۱۵۰۶۵۶	۹–۱۰–۱۹–۲۲–۲۷
۰,۰۰۱۵۰۶۵۶	۱۰–۱۱–۱۳–۱۹–۲۷
۰,۰۰۱۵۰۶۵۶	۱۰–۱۱–۱۸–۱۹–۲۷
۰,۰۰۱۵۰۶۵۶	۱۰–۱۱–۱۹–۲۲–۲۷
۰,۰۰۱۵۳۹۸۱	۱۰–۱۱–۱۹–۲۶–۲۷
۰,۰۰۱۵۵۶۴۲	۱۰–۱۱–۱۳–۱۹–۲۴
۰,۰۰۱۵۵۶۴۲	۱۰–۱۱–۱۸–۱۹–۲۴
۰,۰۰۱۵۵۶۴۲	۱۰–۱۱–۱۹–۲۲–۲۴

Archive of SID

www.SID.ir

۹- نتایج

از این مقاله نتایج زیر حاصل می گردد:

۱- تعداد آرایشهای یک شبکه توزیع بسیار زیاد است ولی از آنجائیکه شبکه های توزیع دارای حلقه های کم بوده و بیشتر خطوط آن بصورت سری هستند؛ بر خلاف تصور تعداد بسیار کمی از این آرایشها، آرایش شعاعی ممکن هستند.

۲- با روشی که در این مقاله ارائه شد، می توان بدون بررسی تک تک آرایشها، کلیه آرایشهای شعاعی ممکن را بطور مستقیم و ساده بدست آورد.

۳- با توجه به اینکه تعداد آرایشهای شعاعی ممکن یک شبکه زیاد نیست، می توان با بررسی تک به تک همه آنها، آرایش بهینه را بدست آورد.

۴- با توجه به اینکه هر آرایش مورد بررسی، شعاعی است می توان از پخش بار پیشرو-پسرو استفاده کرد. از طرفی چون این نوع پخش بار همگرائی بسیار سریعی دارد؛ می توان برای محاسبه و مقایسه تلفات آرایشها، پخش بار مزبور را فقط با یک تکرار انجام داد و بر سرعت محاسبات افزود.

۵- چون برای تعیین آرایش بهینه، تمام آرایشهای شعاعی ممکن بررسی می شوند لذا آرایش بهینه حاصل، بهینه مطلق است و لذا نسبت به روشهای ابتکاری و تکاملی که رسیدن به آرایش بهینه را تضمین نمی کنند؛ برتری دارد.

۶- چون هر آرایش تک به تک مورد بررسی قرار می گیرد؛ لذا در نظر گرفتن تمام محدودیتها نظیر محدودیتهای افت ولتاژ مجاز و جریان مجاز خطوط، امکان پذیر است. بنابراین روش پیشنهادی نسبت به روشهای ابتکاری و روشهای جستجوی بهینه تکاملی برتری دارد.

۷- با توجه به تعداد نه چندان زیاد آرایشهای ممکن و با توجه به سرعت بالای پخش بار بکار برده شده، لذا در این روش در یک زمانی قابل قبول، می توان آرایش بهینه را تعیین نمود. این موضوع در بررسی شبکه مورد مطالعه هم نشان داده شد.

۱۰- مراجع

[1] D Shirmohammadi, H. Wayne Hong, "Reconfiguration of Electric Distribution Network for Resistive Losses Reduction", IEEE Trans. on PWRD, April 1989, pp. 1402-1408.

[۲] Q. Zheu, D. Shirmohammadi, and W-H E. Liu, "Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing", IEEE Trans. on Power System, Vol. 12, No.2, pp. 724-729.

[3] K. Nara, A. Shioshi, M. Kitagawa, T. Ishihara, "Implementation of Genetic Algorithm for Distribution System Loss Minimization Reconfiguration", IEEE Trans. on Power System, Vol. 7, No.3, pp. 1044-1051, 1992.

[4] H-C. Chang, C-C. Kuo, "Network Reconfiguration in Distribution Systems using Simulated Annealing", Electric Power Research, Vol. 29, pp. 227-238, 1994.

[۵] کاوه مقدم تبریزی و مهرداد مستقیمی، " آرایش مجدد شبکه های توزیع بوسیله الگوریتم ژنتیک"، ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، ۱۳۷۵.

[6] همایون برهمندپور و مهدی اسلامی، " تعیین شکل بهینه شبکه توزیع جهت کمترین تلفات در بهره برداری"، پنجمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، ۱۳۷۴.

[۷] غلامرضا کامیاب و مهدی اسلامی، " تجدید آرایش شبکه های توزیع برای کاهش تلفات با استفاده از مفهوم نقطه ژرف"، هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، ۱۳۸۲.

[۸] غلامرضا کامیاب و محمود فتوحی، " تجدید آرایش شبکه‌های توزیع برای کاهش تلفات با استفاده الگوریتم دایسترا"، نهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، ۱۳۸۳

Archive of SID

www.SID.ir