دانشگاه کردستان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی برق

عنوان:

تجدید ساختار در شبکه فشار متوسط سیستم توزیع برق

پژوهشگر:

ساسان قاسمی

استاد راهنما:

دکترجمال مشتاق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

اسفند ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب ساسان قاسمی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی برق تعهد می نماییم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

ساسان قاسمی

۱۳۹۱/۱۲/۱۸

دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

تجدید ساختار در شبکه فشار متوسط سیستم توزیع برق

پژوهشگر:
ساسان قاسمی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۱۶ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ۲۰ و درجه عالی به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر جمال مشتاق	استادیار	
۲ـ استاد داور خارجی	دکتر حمدی عبدی	استادیار	
۳ـ استاد داور داخلی	دکتر حسن بیورانی	دانشیار	

مهر و امضاء گروه

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

تقدیم به :

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

تشکر و قدردانی

در اینجا جا دارد از زحمات جناب آقای دکتر مشتاق عضو هیات علمی گروه مهندسی برق دانشگاه کردستان، که به عنوان استاد راهنمای بنده، با کمال صبر و پیگیری در راه تکمیل این پایان‌نامه به اینجانب راهنمایی‌های لازم را ارائه نمودند، کمال تشکّر و قدردانی را بنمایم. همچنین لازم می‌بینم از خانواده عزیزم که در تمام دوران تحصیل به اینجانب کمک نموده‌اند سپاسگذاری نمایم.

ساسان قاسمی

بهار ۱۳۹۲

چکیده:

مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع، یک پروسه بهینه‌سازی پیچیده با هدف کاهش تلفات شبکه است به گونه‌ایی که رضایت هر دو طرف، شرکت‌های توزیع و مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی، برآورده شود. قیود شعاعی بودن شبکه توزیع و انرژی دار بودن تمام باس‌های شبکه بعد از هر تغییر در ساختار شبکه توزیع مخصوصاً برای شبکه‌های بزرگ، خود مسئله تجدید ساختار را بیش از پیش مشکل می‌کند. در این پایان نامه سعی شده است که مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع با یک سری روش جدید حل شود.

در فصل اول این پایان‌نامه یک مرور کلی بر مقالات ارائه شده در زمینه تجدید ساختار شبکه توزیع ارائه گردیده است. در فصل ۲، روش‌های پخش‌بار متداول در شبکه‌های توزیع مورد بحث قرار گرفته‌اند. در فصل ۳ یک روش ابداعی جدید برای حل مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع ارائه گردیده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان دهنده کارآیی و دقت بالای روش ارائه شده در مقایسه با سایر روش‌های موجود در زمینه تجدید ساختار بهینه می‌باشد. همچنین یک کدنویسی ابتکاری جدید نیز ارائه گردیده است که از ایجاد حلقه و بی انرژی شدن بارهای شبکه در حین پروسه تجدید ساختار توسط روش‌های فرا ابتکاری در شبکه‌های توزیع خودداری می‌کند. در فصل ۴، به منظور اقتصادی کردن سود حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ شبکه، یک سری فرمول جدید ارائه گردیده است، بعلاوه، در این فصل، مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع با در نظر گرفتن هزینه تلفات و سود حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ نیز حل شده است. در فصل ۵ الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب نسخه دوم برای حل مسئله تجدید ساختار پیشنهاد شده است. در فصل ۶، یک روش ابداعی جدید برای حل مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع به منظور کاهش هزینه تلفات و خسارت ناشی از قطع انرژی مشترکین ارائه گردیده است. سرانجام در فصل ۷ یک نتیجه‌گیری از نتایج بدست آمده، ارائه شده است.

کلمات کلیدی- بهبود پروفیل ولتاژ، تجدید ساختار شبکه توزیع، سیستم توزیع، کاهش تلفات، کاهش خسارت ناشی از قطع انرژی مشترکین، متعادل کردن بار فیدرهای شبکه.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱: مروری بر مقالات ارائه شده در زمینه تجدید ساختار شبکه توزیع ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- روش‌های بهینه سازی ابتکاری ۳

۱-۳- روش‌های تکاملی ۷

۱-۳-۱- الگوریتم ژنتیک ۷

۱-۳-۲- منطق فازی ۸

۱-۳-۳- شبکه‌های عصبی ۹

۱-۳-۴- سیستم خبره ۱۰

۱-۳-۵- روش مهاجرت گروهی پرندگان ۱۰

۱-۳-۶- روش جستجوی ممنوعه ۱۰

۱-۳-۷- روش شبیه‌سازی بازپخت فلزات ۱۱

۱-۳-۸- روش تجمع مورچگان ۱۱

۱-۴- نتیجه‌گیری ۱۲

مراجع ۱۴

فصل ۲: روش‌های مرسوم پخش‌بار در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی ۱۸

۲-۱-مقدمه ۱۹

۲-۲- روش نیوتن رافسون ۲۰

۲-۳- روش گوس سایدل ۲۱

۲-۴- روش پخش‌بار جاروب رفت و برگشتی ۲۲

۲-۵- روش پخش‌بار ساده شده شبکه توزیع ۲۳

۲-۶- نتیجه‌گیری ۲۴

۲۵ مراجع .....

فصل ۳: تجدید ساختار سیستم توزیع به منظور کاهش تلفات سیستم ۲۶

۳-۱-مقدمه ۲۷

۳-۲- فرموله کردن مسئله تجدید ساختار ۲۸

۳-۳- محاسبه تلفات توان اکتیو ۲۸

۳-۴- تشریح روش ابداعی ارائه شده برای تجدید ساختار بهینه سیستم توزیع ۲۹

۳-۵- روش ابتکاری جدید برای تشخیص صلاحیت ساختار شبکه توزیع ۳۲

۳-۶- مطالعه عددی ۳۶

۳-۶-۱- شبکه ۳۳ باسه IEEE ۳۷

۳-۶-۲- شبکه ۳۳ باسه اصلاح شده ۳۸

۳-۶-۳- شبکه ۶۹ باسه IEEE ۳۹

۳-۶-۴- شبکه‌های ۸۶ و ۱۱۹ باسه توزیع ۴۳

۳-۷- نتیجه‌گیری ۴۳

مراجع ۴۴

عنوان	صفحه

فصل ۴: تجدید ساختار شبکه توزیع با در نظر گرفتن هزینه تلفات و سود حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ شبکه ۴۶

۴-۱- مقدمه ۴۷

۴-۲- مدل‌سازی ریاضی مسئله تجدید ساختار با درنظر گرفتن هزینه تلفات و سود حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ شبکه ۴۸

۴-۲-۱- محاسبه هزینه تلفات ۴۸

۴-۲-۲- محاسبه سود حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ شبکه ۴۹

۴-۲-۲-۱- بارهای امپدانس ثابت ۵۰

۴-۲-۲-۲- بارهای توان ثابت ۵۱

۴-۲-۲-۳- بارهای جریان ثابت ۵۱

۴-۳- روش ارائه شده برای تجدید ساختار بهینه سیستم توزیع با در نظر گرفتن هزینه تلفات و سود حاصل از بهبود پروفیل ولتاژ ۵۲

۴-۴- مطالعه عددی ۵۲

۴-۴-۱- شبکه ۳۳ باسه ۵۳

۴-۴-۲- شبکه ۱۱۹ باسه ۵۵

۴-۵- نتیجه‌گیری ۵۵

مراجع ۵۶

فصل ۵: تجدید ساختار شبکه‌های توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نا مغلوب (NSGA-II) ۵۷

۵-۱-مقدمه ۵۸

۵-۲- الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) ۵۹

۵-۳- نحوه عملکرد الگوریتم NSGA-II ۶۱

۵-۴- تعریف توابع هدف ۶۴

۵-۵- پیاده سازی مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع توسط الگوریتم NSGA-II ۶۵

۵-۶- نتایج شبیه‌سازی ۶۵

۵-۶-۱- شبکه ۳۳ باسه ۶۶

۵-۶-۲- شبکه ۶۹ باسه ۷۱

۵-۷- نتیجه‌گیری ۷۳

مراجع ۷۴

فصل ۶: تجدید ساختار سیستم توزیع به منظور کاهش هزینه تلفات و خسارت ناشی از انرژی توزیع نشده ۷۵

۶-۱- مقدمه ۷۶

۶-۲- انواع روش‌های بهره‌برداری در شبکه‌های توزیع ۷۶

۶-۳- اهداف و پارامترهای قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع ۷۷

۶-۴- شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع ۷۸

۶-۴-۱- شاخص‌های قابلیت اطمینان مربوط به المان‌های شبکه ۷۸

۶-۴-۲- شاخص‌های قابلیت اطمینان مربوط مصرف‌کننده‌ها ۷۸

۶-۵- تشریح مسئله تجدید ساختار سیستم توزیع به منظور کاهش هزینه تلفات و خسارت ناشی از انرژی توزیع نشده ۸۱

عنوان **صفحه**

۶-۶- مدل‌سازی ریاضی مسئله تجدیدساختار با در نظر گرفتن پارامترهای قابلیت اطمینان شبکه ۸۲
۶-۷- محاسبه تابع هدف ۸۳
۶-۷-۱- محاسبه هزینه تلفات ۸۳
۶-۷-۲- محاسبه خسارت ناشی از قطع انرژی مصرف‌کنندگان ۸۳
۶-۸- روش ابتکاری ارائه شده برای حل مسئله تجدید ساختار ۸۸
۶-۸-۱- کاربرد روش ابتکاری ارائه شده در یافتن ساختار با کمترین هزینه تلفات برای شبکه ۸۸
۶-۸-۲- کاربرد روش ارائه شده در یافتن ساختار با کمترین هزینه انرژی توزیع نشده ۸۹
۶-۸-۳- کاربرد روش ارائه شده در یافتن ساختار با کمترین هزینه تلفات و انرژی توزیع نشده ۹۰
۶-۹- مطالعه عددی ۹۱
۶-۹-۱- شبکه مورد مطالعه ۱ ..... ۹۱
۶-۹-۲- شبکه مورد مطالعه ۲ ..... ۹۴
۶-۹-۳- شبکه مورد مطالعه ۳ ..... ۹۶
۶-۱۰- نتیجه‌گیری ۹۸
مراجع ۹۹

فصل ۷: نتیجه‌گیری ۱۰۰

ضمیمه (الف). مشخصات سیستم Baran and Wu test system ۱۰۳
ضمیمه (ب). مشخصات سیستم ۶۹ باسه ۱۰۴
ضمیمه (ج). مشخصات شبکه ۳۳ باسه اصلاح شده..... ۱۰۵
ضمیمه (د). مشخصات شبکه ۱۱۹ باسه اصلاح شده ۱۰۶

مقالات استخراج شده از این پایان‌نامه ۱۰۸

کارهای بیشتر ۱۱۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱). دیاگرام تک خطی یک فیدر شبکه توزیع نوعی ۲۳
شکل (۳-۱).دیاگرام تک‌خطی یک شبکه توزیع ساده ۳۹
شکل (۳-۲). دیاگرام تک‌خطی شبکه ۱۴ باسه توزیع ۳۰
شکل (۳-۳). شبکه توزیع ۱۴ باسه ۳۴
شکل (۳-۴). ساختار شبکه مثال (۱) ۳۵
شکل (۳-۵). ساختار شبکه مثال (۲) ۳۵
شکل (۳-۶). فلوچارت روش ارائه شده برای تجدید ساختار شبکه توزیع ۳۶
شکل (۳-۷). دیاگرام تک‌خطی شبکه ۳۳ باسه توزیع IEEE ۳۷
شکل (۳-۸). دامنه ولتاژ باس‌های شبکه ۳۳ باسه قبل و بعد از تجدید ساختار..... ۳۸
شکل (۳-۹). دیاگرام تک‌خطی شبکه ۶۹ باسه توزیع IEEE ۴۱
شکل (۴-۱). دیاگرام تک خطی شبکه ۳۳ باسه توزیع ۵۳
شکل (۵-۱). ارزیابی جمعیت اولیه تولید شده ۶۲
شکل (۵-۲). . مرتب سازی نامغلوب اعضای جمعیت ۶۲
شکل (۵-۳). محاسبه پارامتر Crowding Distance ۶۳
شکل (۵-۴). شمای کلی تولید نسل در الگوریتم NSGA-II ۶۳
شکل (۵-۵). فلوچارت الگوریتم NSGA-II جهت تجدید ساختار شبکه‌های توزیع ۶۷
شکل (۵-۶). شبکه ۳۳ باسه توزیع IEEE ۶۷
شکل (۵-۷). شبکه ۶۹ باسه توزیع IEEE ۶۷
شکل (۵-۸). . مقادیر بهینه توابع هدف $f_1=LBI$ و $f_2=1-V_{min}$ در هر تکرار ۶۸
شکل (۵-۹). مقادیر بهینه توابع هدف $f_1=P_{loss}$ و $f_2=LBI$ در هر تکرار (شبکه ۳۳ باسه) ۷۰
شکل (۵-۱۰). مقادیر بهینه توابع هدف $f_1=P_{loss}$ و $f_2=LBI$ در هر تکرار (شبکه ۶۹ باسه) ۷۲
شکل (۶-۱). دیاگرام تک‌خطی یک فیدر از یک شبکه توزیع نمونه ۸۵
شکل (۶-۲). پارامترهای معادل قابلیت اطمینان یک شاخه نمونه ۸۵
شکل (۶-۳). بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان شاخه‌های سری ۸۷
شکل (۶-۴). فلوچارت روش ارائه شده برای یافتن ساختار با کمترین هزینه تلفات برای شبکه توزیع ۹۰
شکل (۶-۵). دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه ۱ ..... ۹۱
شکل (۶-۶). مقایسه نتایج بدست آمده از تجدید ساختار شبکه مورد مطالعه ۱ (بدون در نظر گرفتن انتقال بار).. ۹۴
شکل (۶-۷). مقایسه نتایج بدست آمده از تجدید ساختار شبکه مورد مطالعه ۱ (با در نظر گرفتن انتقال بار)..... ۹۴
شکل (۶-۸). دیاگرام تک‌خطی شبکه ۳۳ باسه اصلاح شده ۹۵
شکل (۶-۹). مقایسه نتایج بدست آمده از تجدید ساختار شبکه مورد مطالعه ۲ ..... ۹۵
شکل (۶-۱۰). دیاگرام تک‌خطی شبکه ۱۱۹ باسه ۹۷
شکل (۶-۱۱). مقایسه نتایج بدست آمده از تجدید ساختار شبکه مورد مطالعه ۳ ..... ۹۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱). الگوریتم کلی روش پخش‌بار رفت و برگشتی ۲۲
جدول (۳-۱). مقایسه نتایج روش‌های مختلف برای تجدید ساختار شبکه ۳۳ باسه توزیع ۳۸
جدول (۳-۲). جزئیات تمام تکرارهای الگوریتم ارائه شده برای رسیدن به جواب بهینه ۳۹
جدول (۳-۳). مقایسه نتایج روش‌های مختلف برای تجدید ساختار شبکه ۳۳ باسه اصلاح شده ۴۰
جدول (۳-۴). نتایج حاصل از تجدید ساختار شبکه ۶۹ باسه در سه سطح بار(کم باری، بار پایه، اضافه باری) ۴۱
جدول (۳-۵). مقایسه نتایج روش‌های مختلف برای تجدید ساختار شبکه‌های ۸۶ و ۱۱۹ باسه ۴۲

جدول (۴-۱). نتایج حاصل از تجدید ساختارشبکه ۳۳ باسه ۵۴
جدول (۴-۲). نتایج حاصل از تجدید ساختار شبکه ۱۱۹ باسه ۵۵
جدول (۵-۱). ده جواب برتر بدست آمده از الگوریتم NSGA-II برای بهینه‌سازی توابع هدف $f_1 = LBI$ $f_2 = 1 - V_{\min}$ ۶۹
جدول (۵-۲). نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف برای بهبود شاخص LBI ۶۹
جدول (۵-۳). مقایسه نتایج بدست آمده توسط روش پیشنهادی با سایر روش‌ها به منظور کاهش تلفات توان شبکه ۳۳ باسه ۷۱
جدول (۵-۴). نتایج حاصل از تجدید ساختار شبکه توزیع ۶۹ باسه توسط چند روش مختلف ۷۲
جدول (۶-۱). مشخصات خطوط و مصرف‌کننده‌های شبکه مورد مطالعه ۱..... ۹۲
جدول (۶-۲). پارامترهای قابلیت اطمینان شبکه مورد مطالعه ۱..... ۹۳
جدول (۶-۳). تجدید ساختار با در نظر گرفتن قید LC ۹۳
جدول (۶-۴). تجدید ساختار با در نظر گرفتن قید CIC..... ۹۳
جدول (۶-۵). جدید ساختار با در نظر گرفتن قید LC+CIC ۹۳
جدول (۶-۶). تجدید ساختار با در نظر گرفتن قیود مختلف (شبکه مورد مطالعه ۲) ۹۵
جدول (۶-۷). تجدید ساختار با در نظر گرفتن قیود مختلف (شبکه مورد مطالعه ۳) ۹۶

فصل ۱:

مروری بر مقالات ارائه شده در زمینه تجدید ساختار شبکه توزیع

۱-۱- مقدمه

اتوماسیون توزیع، یکی از مهمترین مسائل در سیستم‌های قدرت است که به منظور بهبود قابلیت اطمینان، کارایی و کیفیت سرویس‌دهی به مصرف کنندگان، انجام می‌شود. رشد خیره کننده میکروپروسسورهای کامپیوتری و تکنولوژی‌های ارتباط رادیویی، زمینه را برای کنترل پیشرفته بر روی سیستم‌های قدرت مهیا کرده است، که امکان احداث مراکز بهره‌برداری توزیع و انجام اعمال کنترلی از راه دور را میسر می‌کند. یکی از مزایای اتوماسیون توزیع، تجدید ساختار شبکه توزیع است که می‌تواند به منظورهای متفاوتی انجام گردد.

در یک سیستم توزیع، هر فیدر ترکیبی از انواع بارها از قبیل بارهای خانگی، تجاری، صنعتی و ... را تغذیه می‌کند. این مدل بارها هر کدام الگوی مصرف روزانه‌ی مختص به خود را دارند که سبب تغییر در زمان پیک بار فیدر می‌شوند، به گونه‌ایی که هر فیدر ممکن است در چند زمان مختلف در یک دوره زمانی (اغلب دوره زمانی یک روزه) در پیک بار باشد و زمان پیک بارهای فیدرهای مختلف، متفاوت باشند. در شرایط کار عادی سیستم، قسمتی از بارهای یک فیدر که در شرایط بارگیری سنگین است می‌تواند از طریق تغییر در ساختار شبکه، به فیدری که در شرایط بارگیری کمتری است، انتقال داده شود.

این تغییر در ساختار شبکه، باید با در نظر گرفتن قیودی همچون ظرفیت انتقال خطوط، ظرفیت حرارتی فیدرها، افت ولتاژ مجاز شبکه و قابلیت اطمینان شبکه انجام گیرد.

تجدید ساختار یک سیستم توزیع به منظور حصول اهداف زیر صورت می‌گیرد:

- کاهش تلفات توان اکتیو شبکه
- اجتناب از بارگیری بیش از حد مجاز خطوط و تجهیزات (متعادل کردن بار فیدرها)
- کاهش افت ولتاژ در شبکه (بهبود پروفیل ولتاژ شبکه)
- انرژی رسانی مجدد به بارهای قطع شده پس از وقوع خطا در سیستم

تحقیقات در حوزه تغییر در ساختار سیستم‌های توزیع به دو شاخه تقسیم شده است، یکی تجدید ساختار سیستم توزیع است که در حالت کار عادی سیستم، زمانی که تمام بارها انرژی دار هستند

انجام می‌شود (Reconfiguration) و دیگری بازیابی انرژی شبکه توزیع است که در زمان پس از پاکسازی خطا، که قسمتی از شبکه بی‌انرژی شده‌است انجام می‌گیرد (Restoration).

در Reconfiguration شاخص‌های در نظر گرفته شده بیشتر شامل کاهش تلفات، کاهش افت ولتاژ در شبکه، متعادل کردن بار فیدرها، جلوگیری از اضافه باری ترانس‌ها و مسائل اقتصادی است. در این فاز زمان کافی برای برنامه‌ریزی وجود دارد، به همین دلیل مدت زمان لازم در رسیدن به جواب بهینه، به عنوان یک پارامتر مهم برای صلاحیت روش بکار برده شده، در نظر گرفته نمی‌شود.

در Restoration هدف، انرژی رسانی مجدد به بارهایی است که به دلیل وقوع خطا در سیستم، بی‌انرژی شده‌اند. انرژی رسانی مجدد، باید در کمترین زمان ممکن، با کمترین عمل سویچینگ و انرژی توزیع نشده انجام شود. بنابراین عامل زمان، پارامتر مهمی است. چون اغلب زمان خاموشی چندان زیاد نیست پس در این فاز از برنامه‌ریزی، تلفات به عنوان فاکتور مهمی در نظر گرفته نمی‌شود و تنها مسئله کنترل ولتاژ و اضافه باری تجهیزات، مورد توجه می‌باشد. انرژی رسانی به بارها باید طبق لیست حق تقدم (به منظور اولویت در انرژی رسانی به بارهای مهم و حیاتی) انجام شود.

پاسخ بهینه در بخش Reconfiguration شامل نصب تعدادی کلید و احداث خطوط جدید در نقاط خاصی از شبکه می‌باشد، در حالی که در بخش Restoration پاسخ بهینه، نحوه قطع و وصل شدن کلیدهای موجود در شبکه است.

تاکنون روش‌های گوناگونی برای حل مسئله تجدید ساختار ارائه شده است که در ادامه به بحث در مورد این روش‌ها می‌پردازیم.

۱-۲- روش‌های بهینه سازی ابتکاری[۱]

در سال ۱۹۷۵، Merlin و Back [۱] روش ابداعی شاخه و کران[۲] را برای تجدید ساختار سیستم‌های توزیع به منظور کاهش تلفات سیستم معرفی کردند. این روش با بستن تمام کلیدهای

---

۱. Heuristic Optimizations Methods

۲. Branch and Bound

موجود در سیستم کار خود را شروع می‌کند و در یک زمان، کلیدها به گونه‌ایی باز می‌شوند که یک ساختار شعاعی برای شبکه بدست آید. در این روش، کلیدها برای باز شدن به صورتی انتخاب می‌شوند که تلفات کل شبکه توزیع را کاهش دهند. مشخصه‌های اصلی این روش به قرار زیر هستند:

- ساختار نهایی بدست آمده توسط این روش به حالت اولیه کلیدهای موجود در سیستم وابستگی ندارد.
- فرایند ارائه شده، منجر به حصول جواب بهینه یا شبه بهینه می‌شود.

نقاط ضعف این روش عبارتند از:

- بارها به صورت منابع جریان ثابت در نظر گرفته شده‌اند که در طول تغییر ساختار شبکه بی تغییر باقی می‌مانند.
- از زاویه ولتاژ شبکه صرفنظر شده است.
- قیود بهره‌برداری شبکه در نظر گرفته نشده‌اند.

Shirmohammadi و Hong [۲] روش Merlin و Back را بهبود بخشیدند، به گونه‌ایی که مزایای روش قبلی را حفظ کردند و نقاط ضعف روش ارائه شده آنها را نیز، در نظر گرفتند.

Civanlar [۳] روش تعویض شاخه[۱] را معرفی کرد. در این روش، در هر مرحله یک جفت کلید، یکی برای باز کردن و دیگری برای بستن به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که این کلیدزنی، سبب کاهش تلفات شود و ساختار شبکه نیز شعاعی باقی بماند. نقاط ضعف اساسی این روش به قرار زیر است:

- ساختار نهایی به حالت ابتدایی شبکه بستگی دارد.
- رسیدن به جواب بهینه تضمینی نیست.
- زمان یافتن جواب شبکه بالاست.

Baran و Wu [۴] یک روش ابداعی جدید برای تجدید ساختار شبکه بر مبنای تعویض خطوط جهت کاهش تلفات شبکه و متعادل کردن بار فیدرها معرفی کردند.

Safri و Chikhani [۵] یک دسته جدید از روابط ابداعی برای مسئله تجدید ساختار در سیستم توزیع ارائه دادند. این روابط به منظور کاهش تلفات شبکه ارائه شده‌اند. این روش از یک پروسه خاص برای تغییر در ساختار شبکه استفاده می‌کند به گونه‌ایی که کلیدزنی‌های غیر ضروری را بدون نیاز به

---

۱. Branch exchange

آنالیز پخش بار، کنار می‌زند.

Peponis [۶] از ترکیب روش‌های تعویض خطوط[۱](SEM) و باز کردن ترکیبی سوئیچ [۲](SSOM) برای تجدید ساختار شبکه به منظور کاهش تلفات شبکه استفاده کرده است. این روش دو ویژگی مهم دارد که به ترتیب زیر می باشند:

- جواب بهینه یا شبه بهینه توسط یکی از دو روش SEM یا SSOM بدست می‌آید.
- سایز و مکان بهینه خازن برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه، بدست می‌آید.

SEM به زمان کمتری برای رسیدن به جواب نیاز دارد و SSOM به حالت اولیه شبکه برای رسیدن به جواب، وابسته نیست. بنابراین ترکیب روش‌های SEM و SSOM می‌تواند به جواب بهینه کلی برسد.

Broadwater و Khan [۷] یک الگوی جدید برای تجدید ساختار معرفی کردند که نحوه باز و بسته شدن کلیدها را به صورت تابعی از زمان در نظر می‌گرفت. در این الگوریتم می‌توان هر دو دوره زمانی روزانه و فصلی را در مسئله تجدید ساختار دخیل کرد.

Chiang و Darling [۸] یک روش کارآمد و مؤثر را برای تجدید ساختار شبکه‌های واقعی ارائه دادند. این روش، ساختار شبکه را به منظور کاهش تلفات و متعادل کردن بار فیدرها، با در نظر گرفتن تغییرات بار، تغییر می‌دهد.

Fan و Zhang [۹] یک روش بر مبنای توصیف آنالیزی و تفهیمی را در مورد بهینه سازی یک حلقه در شبکه، معرفی کردند. این روش، مسئله تجدید ساختار را به صورت معادله‌ایی برای کاهش تلفات و یک معادله بهینه‌سازی آمیخته عدد صحیح با یک تابع هدف مرتبه چهار فرموله کرده است.

Brozan [۱۰] تأثیر نامتعادلی بار را در پروسه تجدید ساختار در نظر گرفت و یک روش ابداعی جدید را برای تجدید ساختار شبکه‌های توزیع نامتعادل ارائه داد.

Rudnick [۱۱] روش پیشنهاد شده توسط Baran و Wu را که به محاسبه تعداد زیادی پخش‌بار

---

۱. Switch Exchange Method (SEM)
۲. Sequential Switch Opening Method (SSOM)

نیاز داشت، در نتیجه منجر به صرف زمان زیادی برای رسیدن به جواب می‌شد، را بهینه کرد. روش پیشنهاد شده بدون نیاز به محاسبات پخش‌بار رفت و برگشتی، توان عبوری از خطوط و ولتاژ باس‌ها را با دقت قابل قبولی مشخص می‌کند که همین امر سبب کاهش زمان رسیدن به جواب مسئله می‌شود.

Zhou [۱۲] ترکیبی از روش‌های بهینه سازی با روابط ابتکاری و الگوریتم فازی[۱] برای رسیدن به جوابی با کارایی قدرتمند[۲] و مؤثر، برای تجدید ساختار شبکه توزیع پیشنهاد داد.

Kashem [۱۳] روش اندازه‌گیری فاصله (DMT)[۳] بر مبنای الگوریتم تعویض خطوط را برای متعادل کردن بار فیدرها ارائه داد. این روش در دو مرحله عمل می‌کند. در ابتدا یک توصیف گرافیکی از شبکه برای مشخص کردن حلقه‌ایی که بیشترین تأثیر را بر روی متعادل کردن بار دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس در مرحله بعدی، کلیدزنیی که در این حلقه سبب بیشترین ایجاد تعادل در بار می‌شود، تعیین می گردد. استفاده از این روش، سبب رسیدن به جواب بهینه یا شبه بهینه، با بهبود تعادل بار فیدرها و در عین حال کاهش محاسبات می‌شود.

McDermott [۱۴] یک الگوریتم ابتکاری را پیشنهاد کرد که با تمام کلیدهای قابل کلیدزنی که در حالت باز قرار دارند، کار خود را شروع می‌کند و در هر مرحله، با بستن کلیدی جلو می‌رود که بیشترین بهبود را در تابع هدف مورد نظر داشته باشد. یک سری فرمول‌های ساده شده برای مشخص کردن کلیدهای کاندید برای عملیات کلیدزنی در هر مرحله بکار برده شده است که پس از هر کلیدزنی، یک پخش‌بار کامل در کل شبکه انجام می‌شود تا مقدار دقیق تلفات و مشخصات قیود بهره‌برداری بدست‌آیند.

Kashem [۱۵] یک روش کارآمد ابتکاری برای مشخص کردن بهترین ساختار برای شبکه، به منظور رسیدن به ساختاری با کمترین تلفات توان، ارائه داده است. این روش در ابتدا ترکیبی از تمام کلیدهای باز شبکه و دو کلید همسایه آنها را در نظر می‌گیرد، سپس ترکیب‌هایی را که عملی نیستند حذف می‌کند. سرانجام، یک جستجوی کامل با تغییر در وضعیت یک کلید باز، با باز کردن کلید

---

۱. Fuzzy Logic
۲. Robust Performance
۳. Distance Measurment Technique

سمت چپ یا راست آن، انجام می‌شود و ساختاری که بیشترین کاهش تلفات را دارد، بدست می‌آورد.

Radha [۱۶] ، ترکیبی از دو الگوریتم، یعنی الگوریتم پخش بار سه فاز بر مبنای توپولوژی شبکه و الگوریتمی برای مشخص کردن تلفات یک شبکه توزیع شعاعی را ارائه نمود.

Wu و Yu در [۱۷] یک الگوریتم بهینه‌سازی کلی را برای حل مسئله تجدید ساختار شبکه‌های توزیع بزرگ، با در نظر گرفتن تغییرات بار ارائه کرده‌اند.

در [۱۸]، از یک روش ابداعی برای یافتن ساختار بهینه برای شبکه توزیع استفاده شده است، این روش در هر تکرار، به گونه‌ای ساختار جدید را برای شبکه پیشنهاد می‌دهد که از تشکیل حلقه در شبکه و قطع انرژی بارهای شبکه خودداری می‌کند.از میان سایر روش‌های ابتکاری که برای حل مسئله تجدید ساختار شبکه توزیع بکار رفته است می‌توان به روش‌های ارائه شده در [۱۹]، [۲۰] و [۲۱] اشاره کرد.

۱-۳- روش‌های تکاملی[۱]

۱-۳-۱- الگوریتم ژنتیک[۲]

Nara در [۲۲] از الگوریتم ژنتیک که بر مبنای انتخاب طبیعی ژن‌ها عمل می‌کند، برای تجدید ساختار شبکه توزیع استفاده کرده است. این روش ترکیبی از طبیعت تکاملی ژن‌ها و یک تابع بهینه‌سازی است. خصوصیات ساده و ویژه الگوریتم ژنتیک، این الگوریتم را برای مسائل بهینه‌سازی چند منظوره مناسب و کارآمد جلوه داده است. مسئله اصلی در الگوریتم ژنتیک، نحوه کد کردن و کد گشایی مکانیزم کروموزوم معرف شبکه توزیع و ساختار تابع صلاحیت[۳] است.

Fudou و Fukuyama در [۲۳] از الگوریتم ژنتیک برای پخش‌بار سه فاز نامتعادل استفاده کرده‌اند. یک رشته مناسب را برای معرفی بارها و منابع انرژی شبکه معرفی کرده‌اند و همچنین از یک جبرانگر برای اصلاح رشته، به گونه‌ای استفاده کرده‌اند که تابع هدف را بهبود می‌بخشد و قید شعاعی ماندن

---

۱. Evolutionary Algorithms
۲. Genetic Algorithm (GA)
۳. Fitness Function