بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه کردستان
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی برق

عنوان:

کنترل توان راکتیو در شبکه‌های توزیع هوشمند

پژوهشگر:

لیلا رشیدی

استاد راهنما:

دکترجمال مشتاق

استاد مشاور:

مهندس وحید ملکی می‌آبادی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق گرایش قدرت

اسفند ماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب لیلا رشیدی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت دانشگاه کردستان، دانشکده 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

لیلا رشیدی

۱۳۹۲ /۱۲ / ۲۰

دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

کنترل توان راکتیو در شبکه‌های توزیع هوشمند

پژوهشگر:
لیلا رشیدی

در تاریخ ۲۰/ ۱۲/ ۱۳۹۲ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

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

مهر و امضاء گروه دانشکده

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

پدرم، اول استادم، که همواره چتر محبتش بر سرم است

بزرگواری که الفبای زندگی از او آموختم.

مادرم، بلندترین تکیه‌گاهم، که دامان پر مهرش یگانه پناهم است

مهربانی که عشق ورزیدن را از او آموختم.

تشکر و قدردانی

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

لیلا رشیدی

اسفند ۱۳۹۲

چکیده:

به دلیل کمبود منابع انرژی، آلاینده‌های زیست محیطی، عدم وجود حاشیه امنیت کافی در حین بروز خطا و دلایل متعدد دیگر در شبکه‌های سنتی، شبکه‌های برق به سمت هوشمند شدن متمایل هستند. به دلیل نفوذ روز افزون منابع تولید پراکنده، شبکه‌های سنتی به دلیل ساختار سلسله مراتبی و پخش‌بار یک‌طرفه جوابگوی نفوذ این منابع در شبکه نمی‌باشند. همچنین، جایابی بهینه این منابع از اهمیت بالایی برخوردار است، اگر این منابع در جای مناسبی نصب نشوند معایب زیادی را برای شبکه قدرت به همراه خواهند داشت. در شبکه‌های هوشمند از اینورترهایی که منابع تولید پراکنده را به شبکه وصل می‌کنند، بارها و خیلی دیگر از تجهیزات که در قسمت مسکونی وجود دارند به عنوان منبع قابل کنترل راکتیو برای کنترل ولتاژ استفاده می‌گردد.امروزه با کمک ساختار مدیریتی و کنترلی ایجاد شده در شبکه‌های هوشمند، روش‌های جدیدی برای کنترل تجهیزات به وجود آمده است. در این پایان‌نامه از یک ساختار کنترلی غیرمتمرکز که بر اساس تجهیزات هوشمند است برای مدیریت تجهیزات استفاده شده است. مکان DGها و میزان توان راکتیو تزریقی به هر باس توسط الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شود. شبیه‌سازی بر روی یک شبکه توزیع متعادل ۶۹ باس و یک شبکه نامتعادل ۳۳ باس صورت گرفته است و بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات توان اکتیو، کاهش انحرافات ولتاژ و کاهش نامتعادلی جریان شاخه‌ها به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده‌اند.

در فصل ۱، یک مرور کلی بر مقالات ارائه شده در زمینه کنترل توان راکتیو در شبکه‌های توزیع ارائه گردیده است. در فصل ۲، به بررسی تفاوت‌های بین شبکه‌های سنتی و شبکه‌های هوشمند و بررسی تمایل به سمت هوشمند ساختن شبکه‌ها پرداخته شده است. همچنین، به بررسی راه‌های کنترل ولتاژ در شبکه‌های توزیع و راه‌های بهبود نامتعادلی بار پرداخته شده است. در فصل ۳، به بررسی تفاوت‌های بین ساختارهای کنترلی متمرکز و غیرمتمرکز و بررسی دو روش ریزش بار و هماهنگ‌سازی منابع تزریق توان راکتیو برای کنترل ولتاژ در شبکه‌های هوشمند پرداخته شده است، همچنین الگوریتم مورد استفاده در این پایان‌نامه که بر اساس ساختار کنترلی غیرمتمرکز و الگوریتم ژنتیک است ارائه گردیده است. در فصل ۴، نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش ارائه شده بر روی دو شبکه متعادل و نامتعادل توزیع ارائه گردیده است و سرانجام در فصل ۵، نتیجه‌گیری از نتایج به دست آمده، ارائه شده است.

کلمات کلیدی- شبکه‌های هوشمند، کنترل توان راکتیو، کنترل ولتاژ، منابع تولید پراکنده، ساختار کنترل غیرمتمرکز

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱: مروری بر مقالات ارائه شده در زمینه کنترل توان راکتیو در شبکه‌های توزیع ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری در شبکه‌های سنتی..... ۳

۱-۳- الگوریتم‌های تکاملی در شبکه‌های سنتی..... ۵

۱-۳-۱- الگوریتم ژنتیک..... ۵

۱-۳-۲- شبکه‌های عصبی..... ۶

۱-۳-۳- روش اجتماع ذرات..... ۶

۱-۳-۴- منطق فازی..... ۷

۱-۳-۵- روش جست‌وجو کننده..... ۸

۱-۴- کنترل متمرکز در شبکه‌های هوشمند..... ۸

۱-۵- کنترل غیرمتمرکز در شبکه‌های هوشمند..... ۱۰

۱-۶- نتیجه‌گیری..... ۱۲

فصل :۲ شبکه‌های هوشمند..... ۱۳

۲-۱- مقدمه..... ۱۴

۲-۲- شبکه‌های سنتی..... ۱۵

۲-۳- شبکه‌های هوشمند..... ۱۷

۲-۳-۱- کاربری‌های شبکه‌های هوشمند..... ۱۹

۲-۳-۱-۱- دستگاه‌های اندازه‌گیری پیشرفته AMI/AMR ۱۹

۲-۳-۱-۲- اتوماسیون توزیع..... ۱۹

۲-۳-۲- مزایای شبکه‌های هوشمند..... ۲۱

۲-۴- متعادل‌سازی بار..... ۲۲

۲-۴-۱- نامتعادلی ولتاژ و جریان سه فاز ۲۲
۲-۴-۲- عوارض سوء ناشی از عدم تعادل بار در شبکه‌های توزیع ۲۳
۲-۴-۳- روش‌های متعادل‌سازی بار ۲۴
۲-۴-۳-۱- روش مشترک‌شماری روی هر فاز ۲۴
۲-۴-۳-۲- استفاده از قدرت قراردادی مشترکین ۲۴
۲-۴-۳-۳- استفاده از توان متوسط مصرفی مشترکین ۲۵
۲-۴-۳-۴- متعادل‌سازی بار با کمک کنترل توان راکتیو ۲۵
۲-۵- کنترل ولتاژ ۲۶
۲-۵-۱- روش‌های کنترل ولتاژ ۲۷
۲-۵-۱-۱- جبران توان راکتیو ۲۸
۲-۵-۱-۲- کنترل ولتاژ با ضریب توان ۲۸
۲-۵-۱-۳- تپ‌چنجر ترانسفورماتور OLTC ۲۸
۲-۵-۱-۴- قطع تولید یا قطع بار ۲۹
۲-۶- نتیجه‌گیری ۳۱
فصل ۳: کنترل ولتاژ در شبکه‌های هوشمند به روش کنترل غیرمتمرکز و الگوریتم ژنتیک ۳۲
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- ساختارهای کنترل ولتاژ در شبکه‌های هوشمند ۳۴
۳-۲-۱- سیستم مدیریتی سه لایه ۳۴
۳-۲-۲- ساختار کنترل متمرکز ۳۵
۳-۲-۳- ساختار کنترل غیرمتمرکز ۳۶
۳-۲-۴- کنترل ولتاژ در شبکه توزیع هوشمند ۳۷
۳-۲-۴-۱- کاهش میزان مصرف بارها ۳۷

۳-۲-۴-۲- هماهنگی منابع ۳۸
۳-۳- تشریح ساختار کنترلی مورد استفاده برای کنترل توان راکتیو ۳۹
۳-۳-۱- تشریح عملکرد سنسور و اسیلاتورهای ساختار کنترلی ۳۹
۳-۴- مدل‌سازی ریاضی مسئله ۴۳
۳-۴-۱- مدل‌سازی بار ۴۴
۳-۴-۱-۱- بارهای امپدانس ثابت ۴۴
۳-۴-۱-۲- بارهای توان ثابت ۴۵
۳-۴-۱-۳- بارهای جریان ثابت ۴۵
۳-۴-۲- مدل‌سازی منابع تولید پراکنده ۴۶
۳-۴-۲-۱- مدل‌سازی منابع به صورت مدل PV ۴۶
۳-۴-۲-۲- مدل‌سازی منابع به صورت مدل PQ ۴۶
۳-۴-۳- تابع هدف مسئله ۴۷
۳-۴-۴- قیود مسئله ۴۹
۳-۵- الگوریتم ژنتیک ۴۹
۳-۵-۱- نحوه نمایش کروموزوم‌ها ۵۱
۳-۵-۲- جمعیت اولیه ۵۱
۳-۵-۳- ارزیابی میزان برازندگی ۵۱
۳-۵-۴- انتخاب ۵۱
۳-۵-۵- تقاطع ۵۳
۳-۵-۵-۱- روش تقاطع تک نقطه‌ای یا تک مکانی ۵۳
۳-۵-۵-۲- روش تقاطع چند نقطه‌ای ۵۳
۳-۵-۶- جهش ۵۴
۳-۵-۶-۱- جهش تک نقطه‌ای ۵۴

۳-۵-۶-۲- جهش چند نقطه‌ای ۵۵
۳-۶- نحوه کنترل توان راکتیو شبکه‌های توزیع توسط الگوریتم ژنتیک ۵۵
۳-۶-۱- تولید جمعیت اولیه ۵۵
۳-۶-۲- محاسبات پخش بار ۵۶
۳-۶-۲-۱- رابطه کمیت‌های الکتریکی در یک شین ۵۶
۳-۶-۲-۲- انواع شین‌ها از دید مسئله پخش بار ۵۷
۳-۶-۲-۳- روش گوس سایدل ۵۸
۳-۶-۲-۴- روش نیوتن‌رافسون ۵۹
۳-۶-۲-۵- روش پسرو پیشرو سه فاز نامتعادل ۶۲
۳-۶-۳- بررسی روابط بین اسیلاتورها و همگرا شدن شبکه ۶۳
۳-۶-۴- محاسبه توابع هدف ۶۴
۳-۶-۵- اعمال عملگرهای ژنتیک و تولید جمعیت جدید ۶۵
۳-۶-۶- بررسی شرط توقف ۶۵
۳-۷- نتیجه‌گیری ۶۵
فصل ۴: شبیه‌سازی ۶۶
۴-۱- مقدمه ۶۷
۴-۲- مطالعه عددی ۶۷
۴-۲-۱- شبکه ۶۹ باس توزیع ۶۷
۴-۲-۱-۱- میانگین دامنه ولتاژ شبکه در ۶۹ باس ۶۸
۴-۲-۱-۲- تلفات توان اکتیو در شبکه ۶۹ باس توزیع ۷۱
۴-۲-۱-۳- میانگین انحرافات ولتاژ در شبکه ۶۹ باس توزیع ۷۳
۴-۲-۱-۴- تابع هدف نهایی در شبکه ۶۹ باس توزیع ۷۵
۴-۲-۲- شبکه ۳۳ باس سه فاز نامتعادل ۷۸

۴-۲-۲-۱- میانگین دامنه ولتاژ در شبکه ۳۳ باس سه فاز نامتعادل..... ۷۹
۴-۲-۲-۲- تلفات توان اکتیو در شبکه ۳۳ باس سه فاز نامتعادل..... ۸۲
۴-۲-۲-۳- میانگین انحرافات ولتاژ در شبکه ۳۳ باس سه فاز نامتعادل..... ۸۴
۴-۲-۲-۴- میانگین نامتعادلی جریان در شبکه ۳۳ باس سه فاز نامتعادل..... ۸۶
۴-۲-۲-۵- تابع هدف نهایی در شبکه ۳۳ باس سه فاز نامتعادل..... ۹۰
۴-۳- نتیجه‌گیری..... ۹۵
فصل ۵: نتیجه‌گیری..... ۹۷
کارهای بیشتر..... ۹۹
ضمیمه (الف) مشخصات سیستم ۶۹ باس متعادل..... ۱۰۰
ضمیمه (ب) مشخصات شبکه نامتعادل ۳۳ باس..... ۱۰۳
مقالات استخراج شده از پایان‌نامه..... ۱۰۶
مراجع..... ۱۰۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱). ساختار شبکه‌های سنتی ۱۶

شکل (۲-۲). ساختار شبکه‌های هوشمند ۱۸

شکل (۲-۳). دیاگرام عملکرد جبران‌ساز توان راکتیو در متعادل‌سازی بار ۲۶

شکل (۲-۴). مدل شبکه توزیع مجهز به DG و جبرانساز ۲۷

شکل (۳-۱). ساختار ارتباطی سنسورها و اسیلاتورهای شبکه ۴۰

شکل (۳-۲). ساختار اسیلاتور ۴۱

شکل (۳-۳). چرخ رولت برای نمایش روش گزینش چرخ رولت برای ۴ کروموزوم ۵۲

شکل (۳-۴). روش ادغام تک نقطه‌ای ۵۳

شکل (۳-۵). روش ادغام دو نقطه‌ای ۵۴

شکل (۳-۶). روش ادغام سه نقطه‌ای ۵۴

شکل (۳-۷). جهش تک نقطه‌ای ۵۵

شکل (۳-۸). جهش دو نقطه‌ای ۵۵

شکل (۳-۹). جهش سه نقطه‌ای ۵۵

شکل (۳-۱۰). ساختار شبکه توزیع ساده ۵۷

شکل (۳-۱۱). فلوچارت کنترل توان راکتیو ۶۴

شکل (۴-۱). دیاگرام تک‌خطی شبکه ۶۹ باس ۶۸

شکل (۴-۲). میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۶۹ باس قبل از بهینه‌سازی ۶۹

شکل (۴-۳). میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۶۹ باس بعد از جایابی DG ۷۰

شکل (۴-۴). میانگین تلفات توان اکتیو قبل از بهینه‌سازی شبکه ۶۹ باس ۷۲

شکل (۴-۵). میانگین تلفات توان اکتیو شبکه ۶۹ باس بعد از جایابی DG ۷۲

شکل (۴-۶). میانگین انحرافات ولتاژ قبل از بهینه‌سازی شبکه ۶۹ باس ۷۴

شکل (۴-۷). میانگین انحرافات ولتاژ شبکه ۶۹ باس بعد از جایابی DG ۷۴
شکل (۴-۸). تابع هدف نهایی قبل از بهینه‌سازی شبکه ۶۹ باس ۷۶
شکل (۴-۹). تابع هدف نهایی شبکه ۶۹ باس بعد از جایابی DG ۷۷
شکل (۴-۱۰). پروفیل ولتاژ شبکه ۶۹ باس ۷۸
شکل (۴-۱۱). دیاگرام تک خطی شبکه ۳۳ باس توزیع ۷۹
شکل (۴-۱۲). میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۳۳ باس نامتعادل قبل از بهینه‌سازی ۸۰
شکل (۴-۱۳). میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۳۳ باس نامتعادل بعد از جایابی DG ۸۱
شکل (۴-۱۴). تلفات توات اکتیو شبکه ۳۳ باس نامتعادل قبل از بهینه‌سازی ۸۲
شکل (۴-۱۵). تلفات توات اکتیو شبکه ۳۳ باس نامتعادل بعد از جایابی DG ۸۳
شکل (۴-۱۶). میانگین انحرافات ولتاژ شبکه ۳۳ باس نامتعادل قبل از بهینه‌سازی ۸۴
شکل (۴-۱۷). میانگین انحرافات ولتاژ شبکه ۳۳ باس نامتعادل بعد از جایابی DG ۸۵
شکل (۴-۱۸). میانگین نامتعادلی جریان شبکه ۳۳ باس نامتعادل قبل از بهینه‌سازی ۸۷
شکل (۴-۱۹). میانگین نامتعادلی جریان شبکه ۳۳ باس نامتعادل بعد از جایابی DG ۸۸
شکل (۴-۲۰). میانگین نامتعادلی جریان شبکه ۳۳ باس نامتعادل بعد از جایابی DGهای بزرگتر .....
..... ۸۹
شکل (۴-۲۱). تابع هدف نهایی شبکه ۳۳ باس نامتعادل قبل از بهینه‌سازی ۹۱
شکل (۴-۲۲). تابع هدف نهایی شبکه ۳۳ باس نامتعادل بعد از جایابی DG ۹۱
شکل (۴-۲۳). پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باس نامتعادل ۹۳
شکل (۴-۲۴). میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۳۰ باس بعد از بهینه‌سازی ۹۴
شکل (۴-۲۵). تلفات توان اکتیو شبکه ۳۰ باس بعد از بهینه‌سازی ۹۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۳-۱). تفاوت ساختار متمرکز و غیرمتمرکز..... ۳۷

جدول (۴-۱). مشخصات DGهای شبکه ۶۹ باس..... ۶۸

جدول (۴-۲). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی در بهینه‌سازی میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۶۹ باس ۷۰

جدول (۴-۳). نتایج بهینه‌سازی میانگین دامنه ولتاژ روی تمام تابع هدف‌ها در شبکه ۶۹ باس.... ۷۱

جدول (۴-۴). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی در بهینه‌سازی تلفات توان شبکه ۶۹ باس..... ۷۱

جدول (۴-۵). نتایج بهینه‌سازی تلفات توان بر روی تمام تابع هدف‌ها در شبکه ۶۹ باس..... ۷۳

جدول (۴-۶). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی در بهینه‌سازی میانگین انحرافات ولتاژ شبکه ۶۹ باس..... ۷۵

جدول (۴-۷). نتایج بهینه‌سازی انحرافات ولتاژ بر روی تمام تابع هدف‌ها در شبکه ۶۹ باس..... ۷۵

جدول (۴-۸). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی در بهینه‌سازی تابع هدف شبکه ۶۹ باس..... ۷۶

جدول (۴-۹). نتایج بهینه‌سازی تابه هدف بر روی تمامی توابع در شبکه ۶۹ باس..... ۷۷

جدول (۴-۱۰). مشخصات DGهای شبکه ۳۳ باس..... ۷۹

جدول (۴-۱۱). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی سه‌فاز در بهینه‌سازی میانگین دامنه ولتاژ شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۸۱

جدول (۴-۱۲). نتایج بهینه‌سازی میانگین دامنه ولتاژ بر روی تمام تابع هدف‌ها شبکه ۳۳ باس نامتعادل ۸۱

جدول (۴-۱۳). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی سه‌فاز در بهینه‌سازی تلفات توان اکتیو شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۸۳

جدول (۴-۱۴). نتایج بهینه‌سازی تلفات توان بر روی تمامی توابع در شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۸۴

جدول (۴-۱۵). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی سه‌فاز در بهینه‌سازی انحرافات ولتاژ شبکه ۳۳

باس نامتعادل.....۸۶
جدول (۴-۱۶). نتایج بهینه‌سازی میانگین انحرافات ولتاژ بر روی تمام تابع هدف‌ها در شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۸۶
جدول (۴-۱۷). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی سه فاز در بهینه‌سازی نامتعادلی جریان شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۸۸
جدول (۴-۱۸). نتایج بهینه‌سازی میانگین نامتعادلی جریان بر روی تمامی توابع شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۸۹
جدول (۴-۱۹). نتایج بهینه‌سازی میانگین نامتعادلی جریان با DGهای بزرگتر بر روی تمامی توابع شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۹۰
جدول (۴-۲۰). مکان DGها و توان راکتیو تزریقی سه فاز در بهینه‌سازی تابع هدف شبکه ۳۳ باس نامتعادل..... ۹۲
جدول (۴-۲۱). نتایج بهینه‌سازی تابع هدف نهایی بر روی تمامی توابع شبکه ۳۳ باس نامتعادل ۹۲
جدول (۴-۲۲). مشخصاتDGهای مورد استفاده در شبکه ۳۰ باس..... ۹۴
جدول (الف-۱). مشخصات خط و باس‌های شبکه ۶۹ باس متعادل..... ۱۰۰
جدول (ب-۱). مشخصات خط شبکه نامتعادل ۳۳ باس..... ۱۰۳
جدول (ب-۲). مشخصات باس شبکه نامتعادل ۳۳ باس..... ۱۰۴

فصل ۱

مروری بر مقالات ارائه شده در زمینه کنترل توان راکتیو در شبکه‌های توزیع

۱-۱- مقدمه

کنترل توان راکتیو به عنوان یک عامل حائز اهمیت در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت از دیرباز مورد توجه بوده است. در یک بیان بسیار ساده و کلی می‌توان گفت از آن‌جا که امپدانس‌های اجزاء سیستم قدرت به‌طور غالب راکتیو می‌باشند، انتقال توان اکتیو مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژهای ابتدا و انتهای خط است، در حالی‌که برای انتقال توان راکتیو لازم است که اندازه این ولتاژها متفاوت باشد. در سیستم قدرت نه تنها اجزاء سیستم توان راکتیو مصرف می‌کنند بلکه اکثر بارهای الکتریکی نیز توان راکتیو مصرف می‌نمایند، بنابراین توان راکتیو مصرفی بایستی از محلی تامین گردد.در ساعات پربار، بارها توان راکتیو بیشتری مصرف می‌کنند و اگر توان راکتیو مورد نیاز تامین نشود اجباراً ولتاژ نقاط مختلف شبکه کاهش یافته و ممکن است از محدوده مجاز خارج شود. نیروگاه‌ها دارای سیستم کنترل ولتاژ هستند که کاهش ولتاژ را حس می‌کنند و زمان کنترل لازم را برای بالا بردن تحریک ژنراتور و در نتیجه افزایش ولتاژ ژنراتور تا سطح ولتاژ نامی صادر می‌گردد. با بالا بردن تحریک، توان راکتیو توسط ژنراتورها تولید می‌شود، لیکن توان راکتیو تولیدی ژنراتورها به دلیل مسائل حرارتی سیم‌پیچ‌ها محدود بوده و ژنراتورها به تنهایی نمی‌توانند در ساعات پربار تمام توان راکتیو مورد نیاز سیستم را تامین کنند. بنابراین در این ساعات به وسائلی نیاز است که بتوانند توان راکتیو به شبکه تزریق نمایند تا سطوح ولتاژ در محدوده مجاز قرار بگیرد. در ساعات کم‌بار، بارها و عناصر شبکه توان راکتیو کمی مصرف می‌نمایند و کاپاسیتانس خطوط انتقال باعث اضافه شدن توان راکتیو تولیدی در شبکه می‌شود، در این حالت ژنراتورها به صورت زیرتحریک به کار رفته . مقداری از قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف می‌نمایند. لیکن به خاطر ملاحظات پایداری، توان راکتیو مصرفی ژنراتورها نیز محدود بوده و ژنراتورها نمی‌توانند به تنهایی اضافه تولید توان راکتیو و افزایش ولتاژ ناشی از آن را حل کنند. بنابراین به تجهیزاتی که بتوانند در این ساعات توان راکتیو اضافی را مصرف نمایند نیاز است.

بسیاری از تجهیزات قابل کنترل توان راکتیو در مراکز مسکونی و تجاری وجود دارند. با رشد روز افزون بسترهای شبکه‌های هوشمند، امکان بهره‌برداری هر چه بیشتر از تجهیزات قابل کنترل توان راکتیو(مانند PHEV[1]ها) در این مراکز وجود دارد. با بهره‌برداری از این تجهیزات می‌توان توان راکتیو شبکه و در نتیجه ولتاژ شبکه را تا حد مطلوب کنترل کرد.از طرفی دیگر،در شبکه‌های هوشمند با نفوذ روز افزون منابع تولید پراکنده روبه‌رو هستیم. توانی که منابع تولید پراکنده به شبکه تزریق می‌کنند به صورت تصادفی است و سبب اغتشاش در پروفیل ولتاژ می‌گردد. ورود منابع تولید پراکنده

1- Pluggable Hybrid Electric Vehicle

به سیستم قدرت سبب شده است که شبکه از حالت غیرفعال(پسیو) به حالت فعال(اکتیو) برود.در شبکه‌های اکتیو دو روش کنترل متمرکز و غیرمتمرکز جهت مدیریت تجهیزات استفاده می‌گردد. در مدیریت متمرکز تمام اجزای شبکه زیر نظر یک مدیر واحد کار می‌نمایند. به دلیل افزایش زمان تصمیم‌گیری، این روش برای استفاده در شبکه‌های کوچک مناسب است. از این شیوه مدیریتی می‌توان برای کنترل ولتاژ در سطح انتقال بهره گرفت. در این روش زمان پاسخگویی مرکز مدیریت به دلیل حجم بالای تصمیم‌گیری‌های مورد نیاز افزایش می‌یابد و امکان کنترل سریع تجهیزات مشکل می‌باشد. در روش مدیریت غیرمتمرکز، مدیریت تجهیزات در هر قسمت شبکه به یک مدیر سپرده می‌شود. این روش برای استفاده در شبکه‌های بزرگ بسیار مناسب است زیرا زمان پاسخگویی برای مدیریت تجهیزات کاهش می‌یابد.

بنابر مطالب گفته شده، کنترل ولتاژ یکی از مسائل مهم در شبکه‌های هوشمند می‌باشد. برای کنترل ولتاژ باید یک هماهنگی بهینه بین تجهیزات تنظیم کننده ولتاژ و منابع تولید پراکنده برقرار شود و هدف از این هماهنگی ایجاد پروفیل ولتاژ مناسب و بهبود کیفیت توان در شبکه می‌باشد.یکی از فاکتورهای کیفیت توان، نامتعادلی بار می‌باشد که عدم تعادل بار عوارض سوء فراوانی بر رفتار شبکه و سایر تجهیزات و مصرف کنندگان موجود در شبکه توزیع می‌گذارد و از عمده‌ترین این عوارض می‌توان به افزایش تلفات در شبکه‌های توزیع اشاره کرد.

با جبران بهینه توان راکتیو می‌توان پروفیل ولتاژ و کیفیت توان در شبکه را به میزان مطلوبی بهبود بخشید. در بخش بعد به بررسی روش‌های جبران توان راکتیو در شبکه‌های سنتی و هوشمند پرداخته شده است.

۱-۲- روش‌های بهینه سازی ابتکاری[1] در شبکه‌های سنتی

در [۱] از روش برنامه‌ریزی دینامیکی[2] برای کنترل ولتاژ استفاده کرده است. از تپ‌چنجر ترانسفورماتورهای تحت بار[3]،خازن پست‌ها و فیدرها برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات در سیستم استفاده کرده است و موقعیت تپ ترانسفورماتورهای ULTC و نصب بودن یا نبودن خازن به عنوان متغیر حالت در نظر گرفته شده است. در هر ساعت بهترین مسیر به عنوان مسیر مبنا برای مرحله بعد انتخاب می‌شود و این روند تا ۲۴ ساعت ادامه پیدا می‌کند که برای محاسبه این فرآیند به حافظه زیاد نیاز است و فرآیند بهینه‌سازی خیلی زمان‌بر و طولانی است.

1-Heuristic Optimizations Methods
2- Dynamic Programming
3-Transformer Under-Load Tap Chengers