دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

بهینه‌سازی توان راکتیو در خطوط انتقال به منظور کاهش تلفات بر اساس الگوریتم رقابت استعماری

نگارش:

مجتبی قاسمی

استاد راهنما:

دکتر علیرضا روستا

استاد مشاور:

دکتر طاهر نیکنام

بهمن ماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

بهینه‌سازی توان راکتیو در خطوط انتقال به منظور کاهش تلفات بر اساس الگوریتم رقابت استعماری

پایان‌نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

توسط:

مجتبی قاسمی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه قدرت دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان‌نامه توسط هیات داوران با درجه: .....

دکتر علیرضا روستا استادیار در رشته مهندسی برق - قدرت (استاد راهنما)

دکتر طاهر نیکنام دانشیار در رشته مهندسی برق - قدرت (استاد مشاور)

دکتر مجید نیری پور دانشیار در رشته مهندسی برق- قدرت (داور)

دکتر جمشید آقایی استادیار در رشته مهندسی برق - قدرت (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب مجتبی قاسمی دانشجوی رشته برق-قدرت مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۸۹۱۱۴۰۲۵ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه ، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مجتبی قاسمی

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان‌نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر علیرضا روستا

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

به مادر و پدر مهربانم و تمامی عزیزانم.

تشکر و قدردانی:

اکنون که این رساله به پایان رسیده است برخود واجب می دانم که از استاد ارجمند آقای دکتر علیرضا روستا کمال تشکر و قدردانی بکنم.

چکیده

در این تحقیق، الگوریتمی جامع برای انجام بهینه‌سازی توان راکتیو در شبکه‌های الکتریکی استاندارد استفاده شده است. الگوریتم طراحی شده، حداقل سازی تلفات خطوط شبکه برای سطوح بار مختلف سیستم و نیز شرایط مختلف را میسر می‌سازد، بدین مفهوم که کلیه قیود بهره‌برداری سیستم را از جمله افت ولتاژ باس‌ها، توان خطوط و حدود توان پایدار منابع توان راکتیو مناسب را برای کلیه سطوح بارها و سیستم‌های مختلف برآورده می‌کند. برای حل مسائل بهینه‌سازی موجود در سطوح مختلف از الگوریتم رقابت استعماری(ICA) استفاده شده است.

مزایای الگوریتم مورد استفاده در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر که در پایان‌نامه مورد بررسی قرار گرفته را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- توانایی بهینه‌سازی هم‌تراز و حتی بالاتر در مقایسه با الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی، در مواجهه با انواع مسائل بهینه‌سازی
- سرعت مناسب یافتن جواب بهینه

در روش استفاده شده تلفات خطوط شبکه انتقال با استفاده از در نظر گرفتن قیود مختلف مورد استفاده گرفته شده است. در حل مسئله بهینه‌سازی توان راکتیو فرض بر این است که پخش بار اقتصادی صورت گرفته و میزان تولید توان حقیقی توسط هر ژنراتور مشخص می باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی توان راکتیو، تلفات توان ، الگوریتم های تکاملی.

فهرست مطالب

۱.فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف تحقیق و اهمیت آن ۳

۱-۳- بخش‌های پایان‌نامه ۴

۲.فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده ٦

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مروری بر ادبیات در زمینه بهینه‌سازی توان راکتیو ۷

۳.فصل سوم: ضرورت کنترل توان راکتیو، اهداف و روش‌های آن ۹

۳-۱- مقدمه ۱۰

۳-۲- دلایل کنترل توان راکتیو ۱۱

۳-۳- اهداف کنترل توان راکتیو در جبران‌سازی بار ۱۳

۳-۳-۱- ثابت نگه‌داشتن ولتاژ در یک سطح معین ۱۳

۳-۳-۲- اصلاح ضریب توان ۱۵

۳-۳-۳- متعادل کردن بار ۱۶

۳-۴- جبران‌کننده ایده‌آل ۱۹

۳-۵- روش‌های جبران‌سازی ۱۹

٤.فصل چهارم: الگوریتم رقابت استعماری و روش‌های بهینه‌سازی تکاملی ۲۰

۴-۱- مقدمه ۲۱

۴-۲- الگوریتم رقابت استعماری و بهبود آن ۲۳

۴-۲-۱- مقدمه ۲۳

۴-۲-۲- نحوه عملکرد الگوریتم رقابت استعماری ۲۳

۴-۲-۲-۱- شکل دهی امپراطوری‌های اولیه ۲۵

۴-۲-۲-۲- مدل‌سازی سیاست جذب: حرکت مستعمره‌ها به سمت امپریالیست ۲۸

۴-۲-۲-۳- جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست ۳۰

۴-۲-۲-۴- قدرت کل یک امپراطوری ۳۱

۴-۲-۲-۵- رقابت استعماری ۳۲

۴-۲-۲-۶- سقوط امپراطوری ضعیف ۳۵

۴-۲-۲-۷- همگرایی ۳۶
۴-۲-۳- بهبود الگوریتم رقابت استعماری..... ۳۷
۴-۳- الگوریتم بهینه‌سازی علف هرز مهاجم..... ۳۷
۴-۴- ترکیب الگوریتم رقابت استعماری با الگوریتم علف‌های هرز مهاجم..... ۳۹
۴-۵- الگوریتم ژنتیک..... ۴۰
۴-۶- الگوریتم تفاضلی ۴۳
۴-۷- الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات..... ۴۵
۴-۸- الگوریتم قورباغه جهنده..... ۴۷
۴-۸-۱- روند کار الگوریتم قورباغه جهنده..... ۴۷

۵.فصل پنجم: فرمول‌بندی بهینه‌سازی توان راکتیو ۵۰
۵-۱- پخش بار..... ۵۱
۵-۱-۱- رابطه تلفات اکتیو و راکتیو..... ۵۲
۵-۱-۲- متغییرهای اغتشاش(مصرف)..... ۵۳
۵-۱-۳- متغییرهای کنترل..... ۵۳
۵-۱-۴- متغییرهای حالت..... ۵۴
۵-۱-۵- معادلات پخش بار برای سیستم با تعداد شین n_{bus}..... ۵۴
۵-۱-۶- محدودیت‌های عملی(قیدهای عملی)..... ۵۶
۵-۱-۷- کنترل پخش بار در خطوط انتقال..... ۵۷
۵-۲- بهینه‌سازی توان راکتیو..... ۵۸
۵-۲-۱- مدل کوپل‌شده ORPD..... ۵۸
۵-۲-۱- تعریف مسئله ORPD..... ۶۱

٦.فصل ششم: نتایج شبیه‌سازی ٦٤
۶-۱- شبکه ۱۴ باس..... ۶۵
۶-۲- شبکه ۳۰ باس..... ۶۸
۶-۲-۱- مورد آزمایشی اول..... ۶۹
۶-۲-۲- مورد آزمایشی دوم..... ۷۲

۶-۲-۳- مورد آزمایشی سوم ۷۵
۶-۳- سیستم ۵۷ باس ۷۹
۶-۴- سیستم ۱۱۸ باس ۸۳

۷.فصل هفتم: جمع‌بندی و پیشنهادات **۸۶**
۷-۱- نتیجه‌گیری ۸۷
۷-۲- پیشنهادات ۸۷

مراجع **۸۹**

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱: بار وجبران‌کننده به همراه مدار معادل تونن سیستم قدرت ۱۴
شکل ۳-۲ متعادل کردن بار و تصحیح ضریب توان به مقدار واحد ۱۷
شکل۴-۱ اعمال سیاست جذب از طرف استعمارگران بر مستعمرات ۲۳
شکل ۴-۲ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ۲۵
شکل ۴-۳ اجزای اجتماعی-سیاسی تشکیل دهنده یک کشور ۲۵
شکل ۴-۴ چگونگی شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه ۲۸
شکل ۴-۵ شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست ۲۹
شکل ۴-۶ حرکت واقعی مستعمرات به سمت امپریالیست ۳۰
شکل ۴-۷ تغییر جای استعمارگر و مستعمره ۳۱
شکل ۴-۸ کل امپراطوری، پس از تغییر موقعیت‌ها ۳۱
شکل ۴-۹ شمای کلی رقابت استعماری: امپراطوری‌های بزرگ‌تر، با احتمال بیشتری، مستعمرات امپراطوری‌های دیگر را تصاحب می‌کنند ۳۲
شکل۴-۱۰ سقوط امپراطوری ضعیف؛ امپراطوری شماره ۴، به علت از دست دادن کلیه مستعمراتش، دیگر قدرتی برای رقابت ندارد و باید از میان بقیه امپراطوری‌ها حذف شود ۳۵
شکل ۴-۱۱ شبه کد مربوط به الگوریتم رقابت استعماری ۳۶
شکل ۴-۱۲ حرکت امپریالیست‌ها به سمت قویترین امپریالیست ۳۷
شکل۶-۱ دیاگرام شبکه ۱۴ باسه استاندارد IEEE ۶۵
شکل۶-۲ مشخصه همگرایی برای سیستم ۱۴ باس استاندارد IEEE ۶۶
شکل۶-۳ پروفیل ولتاژ برای سیستم ۱۴ باس ۶۸
شکل۶-۴ شکل تک‌فاز سیستم ۳۰ باسه استاندارد IEEE ۶۹
شکل۶-۵ همگرایی الگوریتم‌ها برای سیستم ۳۰ باسه مورد اول ۷۰
شکل۶-۶ پروفیل ولتاژ برای سیستم ۳۰ باسه مورد اول ۷۲
شکل۶-۷ مشخصه همگرایی الگوریتم‌ها برای سیستم ۳۰ باسه مورد دوم ۷۳
شکل۶-۸ پروفیل ولتاژ برای مورد دوم ۷۵
شکل۶-۹ مشخصه همگرایی برای مورد سوم ۷۸
شکل۶-۱۰ سیستم ۵۷ باسه استاندارد IEEE ۸۰

شکل۶-۱۱ همگرایی الگوریتم‌ها در طول بهینه‌سازی برای سیستم ۵۷ باسه..... ۸۱
شکل۶-۱۲ سیستم ۱۱۸ باسه استاندارد IEEE..... ۸۴
شکل۶-۱۳ همگرایی الگوریتم‌ها در طول بهینه‌سازی برای سیستم ۱۱۸ باسه..... ۸۴

فهرست جدول‌ها

جدول ۶-۱ : بهترین متغییرهای کنترلی بهینه شده برای سیستم ۱۴ باس..... ۶۷
جدول ۶-۲ مقایسه بین نتایج نهایی (بر حسب مگاوات) شبیه‌سازی الگوریتم‌ها برای سیستم ۱۴ باس..... ۶۸
جدول ۶-۳ پارامترهای سیستم ۳۰ باسه مورد اول..... ۷۰
جدول ۶-۴ متغییرهای بهینه شده برای مورد اول..... ۷۱
جدول ۶-۵ مقایسه بین نتایج نهایی (بر حسب مگاوات) شبیه‌سازی الگوریتم‌ها برای سیستم ۳۰ باسه مورد اول..... ۷۱
جدول ۶-۶ پارامترهای سیستم ۳۰ باسه مورد دوم..... ۷۲
جدول ۶-۷ متغییرهای بهینه شده برای مورد دوم..... ۷۴
جدول ۶-۸ مقایسه بین نتایج نهایی (بر حسب مگاوات) شبیه‌سازی الگوریتم‌ها برای سیستم ۳۰ باس مورد دوم..... ۷۴
جدول ۶-۹ داده‌های شاخه‌های سیستم مورد سوم..... ۷۶
جدول ۶-۱۰ مقادیر اولیه ژنراتورهای سیستم مورد سوم..... ۷۷
جدول ۶-۱۱ پارامترهای بهینه شده برای مورد سوم..... ۷۸
جدول ۶-۱۲ مقایسه بین نتایج نهایی (بر حسب مگاوات) الگوریتم‌ها برای مورد سوم..... ۷۸
جدول ۶-۱۳ محدوده پارامترهای سیستم ۵۷ باسه..... ۸۰
جدول ۶-۱۴ پارامترهای بهینه شده برای سیستم ۵۷ باسه..... ۸۱
جدول ۶-۱۵ مقایسه بین نتایج نهایی (بر حسب مگاوات) الگوریتم‌ها برای سیستم ۵۷ باسه..... ۸۲
جدول ۶-۱۶ مقایسه بین نتایج نهایی (بر حسب مگاوات) الگوریتم‌ها برای سیستم ۱۱۸ باسه..... ۸۵

فهرست کلمات اختصاری

AC	Alternating Current
BBO	Biogeography Based Optimization
DC	Direct Current
DE	Differential Evolution
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission Systems
GA	Genetic Algorithm
HVDC	High-Voltage Direct Current
ICA	Imperialist Competitive Algorithm
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IWO	Invasive Weed Optimization
OPF	Optimal Power Flow
ORPD	Optimal Reactive Power Dispatch
PSO	Particle Swarm Optimization
SFLA	Shuffle Frog Leaping Algorithm
SOA	Seeker optimization Algorithm

فصل اول: مقدمه

۱-۱-مقدمه

با رشد روز افزون مصرف انرژی الکتریکی، امروزه تامین انرژی الکتریکی با حداقل هزینه و با حداکثر راندمان و با قابلیت اطمینان بالا از جمله وظایف مهندسین سیستم های قدرت می باشد. وتوان راکتیو یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی و بهره برداری از سیستم های قدرت با ولتاژ بالا از اهمیت فوق‌العاده ای برخوردار می باشد. چون علاوه بر بارها، اغلب عناصر شبکه مصرف کننده توان راکتیو هستند، بنابراین بایستی توان راکتیو در بعضی نقاط سیستم تولید و سپس به محلهای مورد نیاز منتقل گردد و از آنجایی که امپدانس المانهای شبکه بیشتر راکتیو هستند، انتقال توان اکتیو بین دو نقطه مستلزم اختلاف زاویه ولتاژ بین آن دو نقطه می باشد

از لحاظ اقتصادی یک سیستم قدرت بایستی به نحوی باشد که بتوان از خطوط انتقال حداکثر توان الکتریکی ممکن را انتقال داد و انتقال مقدار زیاد انرژی الکتریکی .A.C در صورتی امکان پذیر است که شرایط زیر بر قرار گردد[۲۹]:

الف- ماشینهای سنکرون بزرگ بایستی در وضعیت سنکرون باقی بمانند.

ب- ولتاژ بایستی نزدیک مقدار نامی آنها نگه داشته شود.

طراحی هریک از اجزای سیستم انتقال حداقل با یکی از نیازمندیهای فوق مرتبط می باشد. نصب جبران کننده های توان راکتیو، قدرت انتقالی خطوط را افزایش داده و در حفظ پایداری سیستم کمک شایانی می نمایند. در خطوط انتقال بسیار طولانی که قدرتهای زیادی را منتقل می کنند کار انتقال بدون بدون نصب جبران کننده، در عمل امکان پذیر نسیت.

همانطور که گفته شد انتقال توان اکتیو مستلزم جابجائی فاز ولتاژ می باشد، لیکن مقدار ولتاژ نیز به همین میزان حائز اهمیت می باشد، زیرا در عمل تمام تجهیزات سیستم قدرت برای ولتاژ مشخص، طراحی می شوند. اگر ولتاژ از مقدار نامی خود منحرف گردد ممکن است باعث صدمه رساندن به تجهیزات سیستم و یا کاهش عمر و راندمان آنها گردد. بنابراین کنترل و تثبیت ولتاژ نقاط مختلف سیستم ضروری است که این عمل کنترل می تواند در سطح وسیعی بوسیله تولید یا مصرف توان راکتیو صورت بگیرد.

۱-۲-هدف تحقیق و اهمیت آن

در سیستم های قدرت .A.C به هم پیوسته بارها بصورت متمرکز نیستند و در تمام سیستم پخش شده اند. این بارها علاوه بر قدرت اکتیو، قدرت راکتیو هم با شبکه مبادله می کنند ، این امر منجر به پدید آمدن مشکلاتی در شبکه های قدرت می گردد که عمده ترین آنها را می توان بصورت زیر خلاصه کرد.

۱- سرمایه گذاری برای هر کیلو وات بار افزایش می یابد.

۲- رگولاسیون ولتاژ افزایش می یابد.

۳- قابلیت بارگیری از ژنراتور کم می شود.

۴- جریان عبوری در کل سیستم افزایش یافته و موجب افزایش تلفات و حجم و هزینه تجهیزات می گردد.

۵- قدرت انتقالی خطوط کاهش می یابد.

این مشکلات از جنبه های مختلف روی سیتم اثر می گذارند و در مجموع موجب کاهش راندمان سیستم قدرت می گردد. بنابراین برای رفع این مسائل باید بتوانیم روی قدرت راکتیو کنترل مناسب داشته باشیم.

با مدیریت صحیح قدرت راکتیو می توان به اهداف زیر رسید[۲۹] :

الف – کنترل پخش توان راکتیو در حالت کار دائمی شبکه به منظور:

- کاهش هزینه به واسطه کاهش تلفات سیستم
- کاهش تلفات کل سیستم باعث پائین آمدن هزینه سوخت می گردد و از آنجائی که توان واقعی ژنراتورها بایستی تامین کننده تامین کننده بارهای موجود در سیستم و تلفات گردد لذا کاهش تلفات موجب کاهش هزینه سوخت می گردد و در نتیجه راندمان سیستم افزایش می یابد.

ب– بهبود کیفیت انرژی

- اصلاح ضریب قدرت
- بهبود تنظیم ولتاژ
- متعادل کردن بار

ج – افزایش ظرفیت توان انتقالی خطوط

با کاهش توان راکتیو، بارگیری تجهیزات سیستم قدرت کاهش می یابد و در نتیجه ظرفیت توان واقعی افزایش یافته و ظرفیت انتقالی مبادله شده را افزایش می دهد.

گر چه نمی توان بطور همزمان به چندین هدف رسید اما تامین هر کدام از اهداف فوق باعث می شود که سیستم واقعی به سیستم قدرت ایده آل نزدیکتر گردد.

۱-۳-بخش‌های پایان‌نامه

بعد از اینکه که در فصل اول که به مقدمه‌ای بر کلیات موضوع پرداخته می‌شود، دلایل انجام و بررسی این موضوع ارائه می گردد، در فصل دوم مروری بر پیشینه مورد مطالعه و برخی از کارهایی که تاکنون در این زمینه انجام صورت گرفته، آورده می‌شود. در فصل سوم دلایل ضرورت این تحقیق و اهداف این مطالعه معرفی می‌شود. در فصل چهارم الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم‌هایی که در این مطالعه به منظور بهینه‌سازی استفاده می‌شوند، مطالعه می‌شوند. در فصل ششم موضوع پایان‌نامه(بهینه‌سازی توان راکتیو ...) تعریف و فرموله می‌شود. در فصل ششم نتایج شبیه‌سازی مسئله؛ همراه با جداول و اشکال آورده شده و کارایی الگوریتم مورد بررسی نشان داده شده است. و در فصل آخر نتایج کلی از تحقیق و پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده بیان می‌شود.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده