دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

کلیدزنی بهینه خطوط انتقال در مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن امنیت N-۱

نگارش:

احمد نیکوبخت

اساتید راهنما:

دکتر جمشید آقایی

دکتر محمــد مردانه

شهریورماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

کلیدزنی بهینه خطوط انتقال در مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن امنیت N-۱

پایان‌نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

نگارش:

احمد نیکوبخت

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه قدرت دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان‌نامه توسط هیات داوران با درجه خوب

دکتر جمشید آقایی، استادیار در رشته مهندسی برق - قدرت (استاد راهنما)

دکتر محمد مردانه، استادیار در رشته مهندسی برق - قدرت (استاد مشاور)

دکتر طاهر نیکنام، دانشیار در رشته مهندسی برق - قدرت (داور)

دکتر محسن گیتی‌زاده حقیقی، استادیار در رشته مهندسی برق - قدرت (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه صحت و اصالت نتایج

اینجانب احمد نیکوبخت دانشجوی رشته برق- قدرت مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۱۴۰۳۵ ، تأیید می‌نمایم کلیه نتایج این پایان‌نامه بدون هیچگونه دخل و تصرف، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیرمستقیم از سایر آثار علمی اعم از کتاب، مقاله، پایان‌نامه و با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق به تشخیص مقامات ذیصلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین‌نامه‌های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را نسبت به رأی صادره از خود ساقط می‌کنم. همچنین هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان‌نامه در برابر اشخاص ذینفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذیصلاح (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 می‌نمایم بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان‌نامه را منتشر نکنم و یا در اختیار دیگران قرار ندهم.

احمد نیکوبخت

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

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

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.

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

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

اساتید راهنما:

دکتر جمشید آقایی

دکتر محمـد مردانه

تاریخ:

امضا:

تقدیم به

مادر مهربانم

که هیچ کدام از موفقیت‌های زندگی‌ام بدون حمایت، تشویق و عشق بی‌پایانش ممکن نبود

تشکر و قدردانی

"من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق"

اکنون که به فضل الهی این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می دانم که از زحمات بزرگوارانه و راهنمایی های استادانه

جناب آقایان دکتر محمد مردانه و دکتر جمشید آقایی

تشکر نمایم که در همه حال با راهنمایی هایشان حامی من بودند.

سپاسگزار همه ی استادان و معلمانی هستم که مرا از باغ دانش خود ثمری دادند.

چکیده

کلیدزنی بهینه خطوط انتقال در مسئله در مدار قرارگرفتن نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن امنیت N-۱

نگارش:

احمد نیکوبخت

امروزه شبکه‌های انتقالی که کنترل‌پذیرتر و ایمن‌تر باشند و بتوان تغییرات بیشتری در ساختار آنها ایجاد کرد، دارای بازده بیشتر می‌باشند. به طوری که شرکت‌های تولیدکننده توان الکتریکی در بازار برق بیشتر به سرمایه‌گذاری در این گونه شبکه‌ها تمایل دارند، زیرا این گونه از شبکه‌ها سود بیشتری عاید تولیدکنندگان می‌کنند. برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر کلیدزنی بهینه خطوط و امنیت N-۱ با تغییر ساختار شبکه به یک ساختار بهینه، می‌تواند بازده شبکه را بالا برده و هزینه پرداختی مصرف‌کنندگان را پایین آورد. اما مشکلی که در اینجا وجود دارد اجرای برنامه برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر کلیدزنی بهینه خطوط و امنیت N-۱ می‌باشد، که زمان بسیار زیادی برای اجرا می‌برد، و این امر باعث بوجود آمدن مشکلی برای برنامه‌ریزی بازار برق برای روز بعد می‌شود. با کلیدزنی بهینه خطوط می‌توان تراکم در خطوط را مدیریت نمود. در این پایان‌نامه با الگوریتم‌های پیشنهادی سرعت اجرای برنامه‌ها افزایش پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی: در مدار قرار گرفتن نیروگاهها، کلیدزنی بهینه خطوط، امنیت N-۱.

فهرست مطالب

۱. فصل اول مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کلیات ۳

۱-۳- هدف تحقیق و اهمیت آن ۳

۱-۴- بیان کلیات مسأله ۵

۱-۵- بخش‌های پایان‌نامه ۵

۲.فصل دوم مروری بر تحقیقات انجام شده ٦

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- ساختار و بهره‌برداری بازار برق ۸

۲-۳- اهداف بازار برق ۹

۲-۴- عناصر کلیدی بازار برق ۱۰

۲-۴-۱- شرکتهای تولید برق (GENCOs) ۱۰

۲-۴-۲- شرکتهای توزیع برق (DISCOs) ۱۰

۲-۴-۳- اپراتور بازار (MO) ۱۱

۲-۴-۴- اپراتور مستقل بازار (ISO) ۱۱

۲-۴-۵- شرکت‌های انتقال برق (TRANSCOs) ۱۲

۲-۴-۶- مصرف‌کنندگان کوچک(Small Consumer) ۱۳

۲-۴-۷- مصرف‌کنندگان بزرگ (Large Consumers) ۱۳

۲-۵- مدل‌های بازار برق ۱۳

۲-۵-۱- مدل سنتی(انحصاری) ۱۴

۲-۵-۲- مدل رقابتی بازار برق ۱۴

۲-۶- برنامه‌ریزی مشارکت واحدها در بازارهای تجدید ساختارشده ۱۵

۲-۶-۱- برنامه‌ریزی مبتنی بر قیمت مشارکت واحدها ۱۵

۲-۶-۲- برنامه‌ریزی امنیت – مقید مشارکت واحدها (SCUC) ۱۷

۲-۷- مدیریت تراکم با استفاده از کلیدزنی بهینه خطوط ۱۷

۲-۸- نتیجه‌گیری ۱۹

۳.فصل سوم روش پیشنهادی برای حل مساله ۲۰
۳-۱- مقدمه ۲۱
۳-۲-فرمول‌بندی SCUC ۲۲
۳-۳-برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن امنیت N-۱ ۳۱
۳-۴- کلیدزنی بهینه خطوط (OTS) شبکه انتقال ۳۴
۳-۴-۱- کلیدزنی بهینه و تلفات ۳۶
۳-۴-۲- کلیدزنی بهینه خطوط در مسئله مشارکت واحدها ۳۶
۳-۵- مدیریت و قیمت‌گذاری تراکم انتقال ۳۸
۳-۵-۱-قیمت‌گذاری محلی نهایی (LMP) ۴۰
۳-۵-۲- بهای تراکم در خطوط ۴۰
۳-۶- فرمول‌بندی اولیه مسئله برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظرگرفتن کلیدزنی بهینه خطوط و امنیت N-۱ ۴۲
۳-۷- الگوریتم تجزیه بندر ۴۳
۳-۸- الگوریتم‌های پیشنهادی ۴۵
۳-۸-۱- الگوریتم حل مسئله مشارکت واحدها با در نظر گرفتن امنیت N-۱ ۴۵
۳-۸-۲- الگوریتم پیشنهادی برای برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط (OTS) ۵۰
۳-۸-۳- الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط و امنیت N-۱ ۵۵
۳-۹- نتیجه‌گیری ۵۶

٤. فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی و تفسیر آنها ۵۸
۴-۱- مقدمه ۵۹
۴-۲- برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن امنیت N-۱ ۵۹
۴-۳- برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط (OTS) ۶۹
۴-۴- برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه و امنیت N-۱ ۸۰
۴-۵- مدیریت تراکم در شبکه انتقال با استفاده از کلیدزنی بهینه خطوط ۸۲
۴-۶- نتیجه گیری ۸۷

۵. فصل پنجم جمع‌بندی و پیشنهادها ۸۸
۵-۱- مقدمه ۸۹
۵-۲- جمع‌بندی ۸۹

۵-۲-۱- نوآوری‌های انجام شده..... ۹۰
۵-۲-۲- پیشنهادها..... ۹۱

مراجع **۹۷**

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظرگرفتن امنیت N-1 ..... ۵۰
شکل ۳-۲ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظرگرفتن کلیدزنی بهینه خطوط ۵۴
شکل ۳-۳ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه و امنیت N-1 ..... ۵۶
شکل ۴-۱ درصد بار در هر ساعت ۶۰
شکل ۴-۲ تعداد واحدهای در هر ساعت ۶۷
شکل ۴-۳ تعداد خطوط باز در هر ساعت ۷۴
شکل ۴-۴ الگوی بار و تعداد خطوط باز در هر ساعت ۷۵
شکل ۴-۵ تعداد خطوط باز در هر ساعت ۷۹
شکل ۴-۵ حقوق مالی انتقال هر خط قبل و بعد از کلیدزنی بهینه ۸۵
شکل ۴-۶ قیمت‌گذاری گرهی قبل و بعد از کلیدزنی بهینه خطوط ۸۵
شکل ۴-۷ توان تولید واحدها قبل و بعد از کلید زنی بهینه خطوط ۸۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ بودن نبودن واحدهای شبکه ۲۴ باسه ۶۱
جدول ۴-۲ زمان روشن شدن واحدها شبکه ۲۴ باسه ۶۲
جدول ۴-۳ بودن و نودن واحدهای شبکه ۲۴ باسه با در نظر گرفتن امنیت N-۱..... ۶۲
جدول ۴-۴ زمان روشن شدن واحدهای شبکه ۲۴ باسه با در نظر گرفتن امنیت N-۱..... ۶۲
جدول ۴-۵ هزینه بهره‌بردای (برحسب دلار) در هر ساعت در حالت پایدار (ستون ۲) و با در نظر گرفتن امنیت N-۱ (ستون ۱)..... ۶۵
جدول ۴-۶ هزینه کل بهره‌برداری در حالت پایدار و با امنیت N-۱..... ۶۵
جدول ۴-۷ زمان حل مسئله امنیت N-۱ با الگوریتم پیشنهادی و بدون الگوریتم پیشنهادی برای شبکه ۷۳ باسه..... ۶۶
جدول ۴-۸ هزینه بهره‌برداری (برحسب دلار) در هر ساعت برای امنیت N-۱ (ستون ۲) و حالت پایدار (ستون ۱)..... ۶۸
جدول ۴-۹ بودن و نبودن واحدها شبکه ۲۴ باسه با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط..... ۷۰
جدول ۴-۱۰ راه‌اندازی واحدها شبکه ۲۴ باسه با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط در هر ساعت..... ۷۰
جدول ۴-۱۱ بودن و نبودن خطوط یک شبکه ۲۴ باسه در طول ۲۴ ساعت..... ۷۲
جدول ۴-۱۲ هزینه بهره‌برداری (برحسب دلار) واحدها بدون کلیدزنی بهینه خطوط (ستون ۱) و با کلیدزنی بهینه خطوط (ستون ۲) در ۲۴ ساعت..... ۷۶
جدول ۴-۱۳ هزینه کل بهره‌برداری واحدها در ۲۴ ساعت..... ۷۷
جدول ۴-۱۴ زمان اجرای برنامه با الگوریتم پیشنهادی و بدون الگوریتم پیشنهادی برای شبکه ۷۳ باسه..... ۷۷
جدول ۴-۱۵ هزینه بهره‌برداری (برحسب دلار) بدون کلیدزنی بهینه (ستون ۱) و با کلیدزنی بهینه (ستون ۲) در هر ساعت برای شبکه ۷۳ باسه..... ۷۸
جدول ۴-۱۶ هزینه کل بهره‌برداری (برحسب دلار) برای شبکه ۷۳ باسه ۷۹
جدول ۴-۱۷ بودن و نبودن خطوط با در نظرگرفتن کلیدزنی بهینه خطوط و امنیت N-۱ در شبکه ۲۴ باسه برای دوره ۲۴ ساعته ۸۰

جدول ۴-۱۸ هزینه بهره‌برداری امنیت N-۱ با کلیدزنی بهینه و بدون کلیدزنی بهینه در هر ساعت ۸۱
جدول ۴-۱۹ هزینه کل بهره‌برداری امنیت N-۱ در دوحالت با کلیدزنی بهینه خطوط و بدون در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط..... ۸۱
جدول ۴-۲۰ زمان اجرای برنامه امنیت N-۱ با در نظر گرفتن کلیدزنی بهینه خطوط با الگوریتم پیشنهادی و بدون الگوریتم پیشنهادی ۸۲
جدول ۴-۲۱ هزینه تولیدکنندگان، درآمد تولیدکنندگان، سود تولیدکنندگان، پرداختی مصرف‌کنندگان، مازاد تراکم قبل و بعد از کلیدزنی بهینه خطوط..... ۸۷

فهرست نشانه‌های اختصاری

سوسپتانس خط kام	B_k
مقدارخطای برش بندر در تکرارITام و زمان tام پیشامدsام	Cut_t^{IT}
مقدارخطای برش بندر در تکرارITام و زمان tام پیشامدsام	$Cut_{t,s}^{IT}$
مقدار بار در باس nام و در ساعتtام	d_{nt}
مقدارخطا در الگوریتم پیشنهادی	$error$
هزینه ثابت واحد gام	c_g
هزینه ثابت راه‌اندازی واحد gام	c_g^{SU}
هزینه ثابت راه‌اندازی واحد gام	c_g^{SD}
هزینه مازاد تراکم در شبکه	CS
نشان‌دهنده پیشامد احتمالی	c
نشان‌دهنده المان در شبکه (خط و ژنراتور)	e
تعداد تکرار	IT
قیمت‌گذاری باس nام	LMP_n
عدد خیلی بزرگ خط kام	M_k
پیشامد احتمالی cام برای المان eام	$N1_{ec}$
پیشامد احتمالی cام برای واحد gام	$N1_{gc}$
پیشامد احتمالی cام برای واحد kام	$N1_{kc}$
توان تولید واحد gام در ساعت tام	P_{gt}
توان تولید واحد gام در پیشامداحتمالیcام در ساعت tام	P_{gct}
توان تولید واحد gام در حالت پایدار در ساعت tام	P_{gc_0t}
توان عبوری خط kام	P_k

توان عبوری خط kام در ساعت tام	P_{kt}
مقدار توان عبوری از خط kام پیشامد احتمالی cام در ساعت tام	P_{kct}
حداقل توان تولیدی واحد gام	$P_g^{\min}$
حداکثر توان تولیدی واحد gام	$P_g^{\max}$
حداقل توان عبور از خط kام	$P_k^{\min}$
حداکثر توان عبوری از خط kام	$P_k^{\max}$
مقدار توان اکتیو باس nام در ساعت tام	P_{nt}
مقدار بار اکتیو باس nام در ساعت tام	P_{dt}
مقدار توان راکتیو واحد gام در ساعت tام	Q_{gt}
مقدار بار راکتیو باس n ام در ساعت tام	Q_{dt}
اختلاف توان حداکثر و حداقل برای تجزیه بندر	q_{gt}
نرخ شیب افزایشی توان واحد gام	R_g^+
نرخ شیب کاهشی توان واحد gام	R_g^-
نرخ شیب لحظه راه‌اندازی واحد gام	R_g^{SU}
نرخ شیب لحظه خاموش شدن واحد gام	R_g^{SD}
بهای تراکم خط kام	R_k^{FTR}
درآمد تولیدکننده gام	R_g
نرخ شیب افزایش توان واحدgام	R_g^+
هزینه راه‌اندازی واحد gام در زمان tام	S_{gt}
متغیر مثبت اسلک شماره یک واحد gام در زمان tام	$SL1_{gt}$
متغیر مثبت اسلک شماره دو واحد gام در زمان tام	$SL2_{gt}$
متغیر مثبت اسلک شماره یک واحد gام در زمان tام	$SL1_{nt}$
متغیر مثبت اسلک شماره دو واحد gام در زمان tام	$SL2_{nt}$

مقدار تابع هدف زیر مسئله در پیشامد احتمالی sام	SB^S
مقدار خطای زیر مسئله	ST
مقدار تابع هدف زیر مسئله الگوریتم کلیدزنی در ساعت tام	SBT_t
کل درآمد تولیدکنندگان	TR
کل سود تولیدکنندگان	TS
کل هزینه بهره‌برداری تولیدکنندگان	TC
کل هزینه پرداختی مصرف‌کنندگان	TCD
متغیر مربوط به بودن و نبودن واحد gام در ساعت tام	u_{gt}
متغیر مربوط به راه‌اندازی واحد gام در ساعت tام	v_{gt}
ولتاژ باس nام در ساعت tام	V_{nt}
متغیر مربوط به خاموش شدن واحد gام در ساعت tام	w_{gt}
راکتانس واحد kام	x_k
ادمیتانس متصل به باس nام و mام	Y_{nm}
متغییر مربوط به بودن و نبودن خط kام در ساعت tام	z_{kt}
زاویه ادمیتانس متصل به باس nام و mام	θ_{nm}
متغیر مربوط به اندازه زاویه باس nام در ساعت tام	δ_{nt}
حداقل محدوده زاویه‌ای	$\delta^{\min}$
حداکثر محدوده زاویه‌ای	$\delta^{\max}$

فهرست کلمات اختصاری

ACOPF	Alternating Current Optimal Power Flow
DCOPF	Direct Current Optimal Power Flow
DISCO	Distribution Company
FTR	Firm Transmission Right
GENCO	Generation Company
HT	Heuristic Technique
ISO	Independent System Operator
LP	Linear Programming
LMP	Locational Marginal Price
MO	Market Operation
MIP	Mix Integral Programming
OPF	Optimal Power Flow
OTS	Optimal Transmission Switching
PBUC	Price-based Unit Commitment
SCUC	Security-constrained Unit Commitment
TRANCO	Transmission Company
UC	Unit Commitment

فصل اول:

مقدمه