



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال مبتنی بر پخش بار AC

پایان نامه دوره کارشناسی رشته برق - قدرت

استاد راهنما: دکتر امیر باقری

غلامرضا علوی

بهمن ۹۵

با سپاس و تقدیر از سه وجود مقدس :

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم ...

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم ...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند ...

پدرانمان

مادرانمان

و استادانمان

شکر کسایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از

استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر باقری به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد

لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر را دارم.

هم چنین از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که دریای بی کران فداکاری و عشق بودند و وجودم

برایشان همه رنج و وجودشان برایم همه مهر بود و آرامش روحی و آسایش فکری بنده را فراهم

نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب ، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به

نحو احسن به اتمام برسانم ؛ سپاسگزاری نمایم

چکیده

هدف از برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال TNEP، مشخص کردن مکان احداث خطوط جدید می‌باشد. تا اینکه تحویل انرژی الکتریکی به مراکز بار ضمن لحاظ نمودن مجموعه‌ای از قیدها، بهره‌برداری و قابلیت اعتماد به اقتصادی ترین نحو ممکن صورت گیرد. با توجه به پیچیدگی و دشواری بیش از حد این مسئله، پژوهش‌های معدود و ناقصی در این زمینه انجام شده است. در این پایان نامه ضمن بررسی تاثیر پارامترهای گوناگون بر

مسئله مزبور، مباحث جدید و ابزار کارآمدتری جهت حل آن ارائه شده است که از جمله آن می‌توان به: تعریف تابع هدف با پارامترهای هزینه احداث خطوط جدید، هزینه تجاوز مقدار ولتاژ از محدوده‌ی استاندارد، هزینه

تلفات خطوط و هزینه تجاوز توان انتقالی از ظرفیت خطوط اشاره کرد که با استفاده از نرم افزار MATLAB و

پخش بار AC و همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله با کدگذاری جدید و کاهش قابل توجه

طول کروموزوم و نهایتاً اتخاذ تدابیر ویژه دیگر جهت بهبود عملکرد الگوریتم مزبور سعی بر آن بوده است تا مقدار این تابع هدف به مینیمم مقدار ممکن برسد. نتایج حاصل از اجرای TNEP بر روی شبکه شش باسه گارور اجرا شده است.

فهرست مطالب

فصل اول	۱
۱-۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲-۱ تاریخچه شبکه انتقال	۲
۱-۳-۱ انتقال انرژی در مقیاس های کلان	۴
۱-۳-۱-۱ توان ورودی شبکه انتقال (سمت تولید)	۵
۱-۳-۲-۱ خروجی شبکه انتقال (سمت مصرف)	۵
۱-۳-۳-۱ محدودیت های موجود در شبکه انتقال	۶
۱-۴-۱ HVDC	۶
۱-۵-۱ خط انتقال هوایی	۷
۱-۶-۱ روشهای مختلف برای محاسبه پخش بار	۸
۱-۶-۱-۱ روش گوس سایدل	۸
۱-۶-۲-۱ روش نیوتن رافسون	۹
۱-۶-۳-۱ روش Decoupled	۱۰
۱-۶-۴-۱ روش Fast Decoupled	۱۰
۱-۶-۵-۱ روش پخش بار DC	۱۰
۱-۶-۶-۱ روش پخش بار پیشرو/پسرو	۱۱
۱-۶-۶-۱-۱ جاروب پیشرو	۱۱
۱-۶-۶-۲-۱ جاروب پسرو	۱۲
فصل دوم	۱۳
۲-۱ مقدمه	۱۴
۲-۲-۱ آشنایی با TNEP	۱۴
۲-۳-۱ طبقه بندی TNEP	۱۶

۱۷	۲-۴-۲-۳-۲-۱۷	دسته‌بندی پژوهش‌های انجام شده از نظر روش حل
۱۷	۲-۴-۲-۱-۴-۲-۱۷	روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک
۱۸	۲-۴-۲-۲-۴-۲-۱۸	روش‌های ابتکاری
۱۹	۲-۴-۲-۳-۴-۲-۱۹	روش‌های فوق ابتکاری
۲۰	۲-۴-۲-۵-۲-۲۰	طبقه‌بندی موضوعی پژوهش‌های مرتبط با TNEP
۲۲	۲-۴-۲-۶-۲-۲۲	جمع‌بندی
۲۳	۳-۲۳	فصل ۳
۲۴	۱-۳-۲۴	مقدمه
۲۴	۲-۳-۲۴	انواع روش‌های کدگذاری اطلاعات TNEP در GA
۲۵	۱-۲-۳-۲۵	کدگذاری دودویی برای هر کریدور
۲۶	۲-۲-۳-۲۶	کدگذاری دودویی با ژن‌های مجزا برای هر کریدور
۲۶	۳-۲-۳-۲۶	کدگذاری دودهی برای هر کریدور
۲۷	۳-۳-۲۷	روند انجام TNEP با استفاده از GA
۲۷	۱-۳-۳-۲۷	تولید جمعیت اولیه
۲۷	۲-۳-۳-۲۷	تعریف برازش هر فرد
۲۸	۳-۳-۳-۲۸	عملگر انتخاب
۲۸	۴-۳-۳-۲۸	عملگر ترویج
۲۹	۵-۳-۳-۲۹	عملگر جهش
۳۱	۴-۳-۳۱	راهکارهایی جهت بهبود عملکرد GA
۳۱	۱-۴-۳-۳۱	تزیق بهترین فرد به دست آمده به هر نسل
۳۱	۲-۴-۳-۳۱	اعمال جهش
۴۸	۵-۳-۴۸	جمع‌بندی
۳۳	فصل ۴	

۱-۴	مقدمه	۳۴
۲-۴	معرفی شبکه مورد مطالعه	۳۵
۳-۴	کروموزوم‌ها و ژن‌های الگوریتم ژنتیک تعریف شده برای شبکه	۳۷
۴-۴	تابع fitness	۳۸
۵-۴	پارامترهای تابع fitness	۳۸
۱-۵-۴	هزینه احداث خطوط	۳۸
۲-۵-۴	محدوده ولتاژ	۳۹
۳-۵-۴	تلفات	۳۹
۴-۵-۴	Loading	۳۹
۶-۴	نتیجه‌گیری	۴۰
۷-۴	شبکه سال افق	۴۱
۸-۴	شبکه سال افق در صورتی که رشد بارها بیش از مقدار آرایش بینی شده باشد	۴۲
۹-۴	شبکه سال افق در صورتی که تمایل بر این باشد که تلفات خطوط ناچیز باشد	۴۵
	منابع	۴۸

۱-۱- مقدمه

فرایند جابجایی توان الکتریکی را انتقال انرژی الکتریکی گویند. این فرایند معمولاً شامل انتقال انرژی الکتریکی از مولد یا تولید کننده به پست‌های توزیع نزدیک شهرها یا مراکز تجمع صنایع است و از این پس یعنی تحویل انرژی الکتریکی به مصرف کننده‌ها در محدوده توزیع انرژی الکتریکی است. انتقال انرژی الکتریکی به ما اجازه می‌دهد تا به سادگی و بدون پذیرفتن هزینه حمل سوخت‌ها و همچنین جدای از آلودگی تولید شده از سوختن سوخت‌ها در نیروگاه، از انرژی الکتریکی بهره بگیریم. حال آنکه در بسیاری موارد انتقال منابع انرژی مانند باد یا آب سدها غیرممکن است و تنها راه ممکن انتقال انرژی الکتریکی است.

به علت زیاد بودن میزان توان مورد بحث، ترانسفورماتورها کمابیش در ولتاژهای بالایی کار می‌کنند (۱۱۰ کیلوولت یا بیشتر). انرژی الکتریکی معمولاً در فواصل دراز به وسیله خطوط هوایی انتقال می‌یابد. از خطوط زیر زمینی فقط در مناطق پر جمعیت شهری استفاده می‌شود و این به دلیل هزینه بالای راه‌اندازی و نگهداری و همچنین تولید توان راکتیو اضافی در این گونه خطوط است.

امروزه خطوط انتقال ولتاژ، بیشتر شامل خطوطی با ولتاژ بالاتر از ۱۱۰ کیلوولت می‌شوند. ولتاژهای کمتر، نظیر ۳۳ یا ۶۶ کیلوولت به ندرت و برای تغذیه بارهای روشنایی در مسیرهای طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولتاژهای کمتر از ۳۳ کیلوولت معمولاً برای توزیع انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از ولتاژهای

بیشتر از ۲۳۰ کیلوولت با نام «ولتاژهای بسیار بالا» (extra high voltage) یاد می‌شود چراکه بیشتر تجهیزات مورد نیاز در این ولتاژها با تجهیزات ولتاژ پایین کاملاً متفاوتند.

۱-۲- تاریخچه شبکه انتقال

سال‌ها پیش یعنی در سال‌های آغازین بهره‌گیری از انرژی الکتریکی، انتقال توان با همان ولتاژ مصرف کننده‌ها انجام می‌گرفت و این به دلیل استفاده از توان الکتریکی به صورت DC بود، چراکه در آن زمان هیچ راهی برای افزایش ولتاژ DC وجود نداشت و از آنجا که انواع مختلف مصرف کننده‌ها مثل لامپ‌ها یا موتورهای نیازمند

ولتاژهای مختلفی بودند برای هر یک باید از ژنراتوری جداگانه استفاده می‌شد که این خود امکان استفاده از یک شبکه بزرگ برای تغذیه کلیه مصرف کننده‌ها را از بین می‌برد.

در جلسه گروه AIEE در ۱۶ می ۱۸۸۸ نیکولا تسلا مقاله‌ای را با نام «سیستم جدید موتورها و ترانسفورماتورهای متناوب» ارائه کرد و به بیان مزایای استفاده از این سیستم پرداخت. مدتی بعد شرکت «وستینگ هوس»

پیشنهاد ساخت اولین سیستم جریان متناوب را داد. دانشگاه زنجان دانشمندی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق با استفاده از ترانسفورماتور امکان اتصال مولدها به خطوط انتقال ولتاژ بالا و همچنین امکان اتصال خطوط ولتاژ

بالا به شبکه‌های محلی توزیع فراهم شد. با انتخاب فرکانسی مناسب امکان تغذیه انواع بارها از جمله روشنایی‌ها و موتورها ایجاد می‌شد. مبدل‌های گردان و بعدها لامپ‌های قوس جیوه و دیگر یکسو کننده‌های جریان امکان

اتصال مصرف کننده‌های DC را با استفاده از یک نوع یکسو ساز به شبکه مهیا می‌ساختند. حتی مصرف کننده های با فرکانس‌های متفاوت هم می‌توانستند با استفاده از مبدل‌های گردان به شبکه متصل شوند. با استفاده از

نیروگاه‌های متمرکز برای تولید برق همچنین امکان صرفه‌جویی به وسیله تولید انبوه فراهم شد و ضریب بار در هر نیروگاه امکان تولید با راندمان بالاتر را نیز ایجاد کرد به طوری که امکان استفاده از برق با قیمت کمتری برای

مصرف کننده‌ها فراهم شد. بدین ترتیب امکان به وجود آمدن یک شبکه بزرگ برای تغذیه انواع مختلفی از مصرف کننده‌ها پدید آمد.

با استفاده از نیروگاه‌های چند برابر بزرگ‌تر که به منطقه بزرگی اتصال داده شده بودند، قیمت تمام شده تولید برق کاهش یافت و امکان استفاده از نیروگاه‌های با راندمان بالاتر فراهم شد که می‌توانستند بارهای مختلف را

تغذیه کنند. همچنین بدین ترتیب ثبات تولید برق افزایش پیدا کرد و هزینه سرمایه‌گذاری در این بخش کاهش یافت و در نهایت امکان استفاده از منابع انرژی دور افتاده مثل نیروگاه‌های هیدروالکتریک و یا زغال سنگ معادن

دور دست، بدون نیاز به پرداخت هزینه حمل و نقل سوخت‌ها فراهم شد. در خطوط انتقال ابتدایی از مقره‌های «pin-and-sleeve» استفاده می‌شد. این مقره‌ها شبیه مقره‌هایی هستند

که امروزه برای خطوط تلفن هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این مقره‌ها دارای محدودیت بود که امروزه دانشمندی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشمندی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق

چراکه تا ولتاژ ۴۰ کیلوولت قابل استفاده بودند. در سال ۱۹۰۷ ابداع مقره‌های بشقابی به وسیله هارولد باک (Harold W. Buck) از شرکت «Power Niagara Falls» امکان استفاده از مقره‌ها در ولتاژهای بالاتر را هم

فراهم آورد به طوری که اولین خط انتقال برای مقادیر بالای انرژی الکتریکی در ایالات متحده بین نیروگاه هیدروالکتریک آبشار نیاگارا و «بافالو» در نیویورک به وجود آمد. هم اکنون تندیس نیکولا تسلا برای قدردانی از همکاری او در راه انتقال انرژی الکتریکی در کنار آبشار نیاگارا قرار دارد.

در طول قرن بیستم ولتاژ انتقال رفته رفته افزایش یافت. در سال ۱۹۱۴ پنجاه پنج خط انتقال با ولتاژ بیش از

۷۰ کیلوولت در حال استفاده بودند که در این میان بیشترین ولتاژ انتقال ۱۵۰ کیلوولت بود. اولین خط انتقال

سه فاز نیز با ولتاژ ۱۱۰ کیلو در آلمان بین لاجهامر و ریزا در سال ۱۹۱۲ راه‌اندازی شد. در هفدهم آوریل ۱۹۲۹

اولین خط انتقال ۲۲۰ کیلوولت در آلمان به بهره‌برداری رسید که در مسیرش از نزدیکی چهار شهر عبور

می‌کرد. در این خط دکل‌ها برای افزایش ولتاژ احتمالی تا ۳۸۰ کیلو ولت ساخته شده بودند. اولین خط انتقال

۳۸۰ کیلوولت در سال ۱۹۵۷ ساخته شد، ده سال بعد یعنی در سال ۱۹۶۷ اولین خط انتقال با ولتاژ بسیار

بالای ۷۳۵ کیلوولت ساخته شد. در نهایت در سال ۱۹۸۲ در اتحاد جماهیر شوروی خط انتقالی با ولتاژ ۱۲۰۰

کیلوولت ساخته شد؛ این ولتاژ بیشترین ولتاژ مورد استفاده قرار گرفته در خطوط انتقال در جهان است. علت

استفاده از چنین ولتاژ در شوروی پهناور بودن این کشور نسبت به تراکم شهرها بود.

۱-۳- انتقال انرژی در مقیاس‌های کلان

مهندسين طراح خطوط انتقال در محاسبات مربوط به طراحی این خطوط، میزان توان انتقال یافته را تا جای

ممکن افزایش می‌دهند، البته ملاحظات و محدودیت‌هایی نیز مانند ایمنی شبکه، امکان گسترش شبکه،

محدودیت‌های مربوط به مسیر و... در طراحی شبکه‌ها مدنظر قرار داده می‌شود.

راندمان خطوط انتقال با افزایش ولتاژ افزایش می‌یابد، چراکه این کار باعث کاهش یافتن جریان می‌شود. در

انتقال توان با مقیاس زیاد راندمان دارای اهمیت بسیار بالایی است و تلفات بیشتر از استاندارد می‌تواند خسارت

زیادی به یک شبکه وارد کرده و یا حتی اسفاده از آن را غیر اقتصادی کند و این اهمیت محاسبات و استانداردهای مربوط به تلفات را افزایش می‌دهد. بنابر این تلفات خطوط انتقال از پارامترهای اصلی محاسبات شبکه هستند.

به طور کلی شبکه انرژی الکتریکی از نیروگاه یا تولیدکننده، مدار یا شبکه انتقال و پست‌های تغییر ولتاژ تشکیل شده است. انرژی معمولاً در طول خطوط انتقال به صورت سه فاز AC جابه‌جا می‌شود. استفاده از جریان DC برای انتقال نیازمند تجهیزات پرهزینه برای تبدیل نوع جریان است. البته استفاده از این تجهیزات برای بعضی طرح‌های بزرگ قابل توجیه است. استفاده از انرژی الکتریکی به صورت تک فاز AC تنها در توزیع به مصرف کننده‌های خانگی و اداری کاربرد دارد چراکه در صنایع به دلیل استفاده از موتورهای سه فاز استفاده از انرژی الکتریکی به صورت سه فاز به صرفه‌تر است. البته استفاده از سیستم‌های با بیشتر از سه فاز نیز برای برخی کاربردهای خاص رایج است.

۱-۳-۱- توان ورودی شبکه انتقال (سمت تولید)

در نیروگاه‌ها توان الکتریکی با ولتاژ نسبتاً کمی (در نهایت ۳۰ کیلوولت) تولید می‌شود و سپس به وسیله ترانسفورماتورهای پست قدرت با توجه به طول مسیر و دیگر ملاحظات شبکه تا ولتاژی بین ۱۱۵ تا ۷۶۵ کیلوولت (در ایران این ولتاژ معمولاً ۴۰۰ کیلو ولت است) افزایش می‌یابد تا امکان انتقال آن در طول مسیرهای طولانی فراهم شود.

۱-۳-۲- خروجی شبکه انتقال (سمت مصرف)

با نزدیک شدن خطوط انتقال به شهرها و مراکز تجمع جمعیت برای ایجاد ایمنی، ولتاژ در چند مرحله کاهش می‌یابد. مراحل کاهش یافتن ولتاژ در شبکه‌های استاندارد ایران به ترتیب از ۴۰۰/۲۳۰kV، ۲۳۰/۱۳۲kV، ۱۳۲/۶۳kV و ۶۳/۲۰kV است. در مرحله نهایی یا مرحله توزیع ترانسفورماتورهای توزیع ولتاژ را از ۲۰kV به

برق مصرفی یا ۴۰۰/۲۳۱ ولت کاهش می‌دهند. در دیگر کشورها نیز ولتاژ مصرف‌کننده‌ها بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ ولت است.

۱-۳-۳- محدودیت‌های موجود در شبکه انتقال

مقدار توان قابل انتقال در یک خط انتقال یک مقدار محدود است و این محدودیت به ویژه با توجه به طول خط انتقال تغییر می‌کند. برای یک خط انتقال کوتاه حرارت تولید شده بر اثر عبور جریان محدودیتی را ایجاد می‌کند چراکه هرچه حرارت سیم‌ها بیشتر شود بیشتر خم می‌شوند و بیشتر به زمین نزدیک می‌شوند که این نزدیکی به زمین در نهایت می‌تواند خطر آفرین شود همچنین ممکن است هادی‌ها بر اثر عبور جریان بالا ذوب شوند.

برای خطوط انتقال با طول متوسط (حدود ۱۰۰ کیلومتر) محدودیت بیشتر در رابطه با میزان افت ولتاژ در طول

خط است و در خطوط انتقال طولانی مهم‌ترین مسئله حفظ ثبات در شبکه است. زاویه بین فازها در یک سیستم

سه فاز مقدری ثابت است که تغییر بیش از حد آن در قسمتی از شبکه می‌تواند به بی‌ثباتی در کل شبکه

الکتریکی بینجامد و در طول خطوط انتقال بسیار طولانی اختلاف فاز با توجه به توان و تولید شبکه تغییر

می‌کند و این نکته موجب محدودیت در میزان جریان قابل انتقال در یک خط طولانی انتقال خواهد شد. برای

بهبود ضریب توان در طول خطوط انتقال از تجهیزات اصلاح ضریب توان مانند خازن‌ها استفاده می‌شود. در

خطوط انتقال HVDC محدودیتی در رابطه با ضریب توان وجود ندارد و تنها محدودیت مربوط به افت ولتاژ

و تلفات ژولی خط می‌شود.

۱-۴-۴ HVDC

انتقال با جریان مستقیم برای انتقال انرژی الکتریکی در مقیاس‌های بسیار بزرگ و در طول مسیرهای طولانی یا

برای اتصال دو شبکه ناهم‌بند AC مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمانی که انتقال انرژی الکتریکی باید در

منابع و مأخذ

- [1] X. Wang, J. R. McDonald, "Modern power system planning", New York: McGraw-Hill Publication, 1994.
- [2] Willis H L. Power Distribution Planning Reference Book, 2nd Ed. New York: Marcel Dekker, 2004, p. 1217.
- [3] Ault G W, Foote C E T, McDonald J R. Distribution system planning in focus. IEEE Power Eng. Review 2002; 22(1): 60-62.
- [4] S. C. Tripathy, G. D. Prasad, O. P. Malik, G. S. Hope, "Load Flow Solution for Ill-conditioned Power Systems by a Newton like Method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 10, pp. 3648-3657, Oct. 1982.
- [5] T. H. Chen, M. S. Chen, K. J. Hwang, P. Kotas, and E. A. Chebli, "Distribution System Power Flow Analysis: A Rigid Approach", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no. 3, pp. 1146-1152, Jul. 1991.
- [6] H. Seifi, M. S. Sepasian, Electric Power System Planning Issues, Algorithms, and Solutions, Springer, 2011.
- [7] H. Chen, M. S. Chen, K. J. Hwang, P. Kotas, and E. A. Chebli, "Distribution System Power Flow Analysis: A Rigid Approach", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, no. 3, pp. 1146-1152, Jul. 1991.
- [8] H. Shayeghi, M. Mahvai, A. Bagheri, "An improved DPSO with mutation based on similarity algorithm for optimization of transmission lines loading", Journal of Energy Conversion and Management, Elsevier, 2010.
- [9] H. Shayeghi, A. Bagheri, "Dynamic Sub-transmission System Expansion Planning Incorporating Distributed Generation Using Hybrid DCGA and LP Technique", Electrical Power & Energy Systems, vol. 48, pp. 111-122, Jun. 2013.
- [10] J. S. Arora, Introduction to Optimum Design, Chapter 16: Genetic Algorithms for Optimum Design, 3rd Ed., 2012, University of Iowa.
- [11] M. Gen, R. Cheng, Genetic Algorithms and Engineering Design, Wiley: New York, 1997.
- [12] V. Rashtch, A. Shabani, A. Bagheri, "Optimal design of measurement-type current transformer using genetic algorithm", 2nd International IEEE Power and Energy Conference, PECon 2008, 1-3 Dec. 2008.

[۱۳] امیر باقری، حسین شایقی، حیدر علی شایانفر، "برنامه ریزی توسعه دینامیکی سیستم فوق توزیع با در نظر گرفتن

تولیدات پراکنده"، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، PSC2010.

[۱۴] امیرباقری، حسن منصف، حمید لسانی، "برنامه ریزی جامع توسعه دینامیکی شبکه توزیع با در نظر گرفتن منابع

تولید پراکنده، قابلیت اطمینان و ملاحظات بهره برداری"، بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق، پژوهشگاه نیرو، آبان

۱۳۹۳.

[۱۵] امیر باقری، سید هادی حسینی، محسن پارسا مقدم، "برنامه ریزی توسعه توأم پستها و خطوط فوق توزیع با در

نظر گرفتن امکان احداث منابع تولید پراکنده در پستهای فوق توزیع"، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق،

PSC2009.