بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دانشکده فنی ومهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

تخصیص تلفات در سیستم های قدرت تجدید ساختار یافته

استاد راهنما

دکتر مصطفی صدیقی زاده

استاد مشاور

دکتر حسن سیاهکلی

محقق

حسام الدین عرب بافرانی

زمستان 90

بسمه تعالی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی دانشگاه- مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب **حسام الدین عرب بافرانی** دانشجوی رشته **مهندسی برق- قدرت** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه / تز تحصیلی خود، با عنوان **تخصیص تلفات در سیستم های قدرت تجدید ساختار یافته** را تأیید کرده، اعلام می‌نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامهٔ و یا هیچ یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی، نبوده و تعهد می نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهدنامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء و تاریخ

حسام الدین عرب بافرانی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی – مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۳۰

فرم تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان نامه کارشناسی ارشد/ ~~دکتری~~ آقای حسام الدین عرب یاوری دانشجوی رشته برق گرایش قدرت تحت عنوان تخصیص بهینه در سیستم های قدرت تجدید ساختار یافته در تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۶ در دانشگاه بر گزار گردید و این پایان نامه با نمره ۱۸/۵ و درجه بسیار خوب مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	مصطفی صفی الله	استادیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی	
۲	استاد مشاور	—	—	—	—
۳	داور خارج	سید ابراهیم آقاجانی	استاد	دانشگاه شهید بهشتی	
۴	داور داخل	کریم افتار	استادیار	بین المللی امام خمینی	
۵	نماینده تحصیلات تکمیلی	رضا ضیائی حمید	دانشیار	بین المللی امام خمینی (ره)	

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) می باشد

تقدیم به زیباترین وارثگان هستی

مادر، تجلی گر راستین عشق

و

پدر، استوارترین تکیه گاه زندگی

چکیده :

تجدید ساختار در صنعت برق با تفکیک بخش‌های مختلف و ایجاد رقابت در بخش‌های تولید و فروش همراه شده است. لیکن طبیعت انحصاری بخش انتقال باعث شده است تا برای حفاظت از رقابت عادلانه و منصفانه در سایر بخش‌ها، تدابیری به منظور کاهش این انحصار ذاتی اندیشیده شود. از جمله این تدابیر می‌توان به تلاش برای تعیین و تخصیص شفاف و عادلانه‌ی هزینه انتقال اشاره نمود.

طرح مناسب و صحیحی برای قیمت گذاری انتقال که تراکم انتقال را در نظر بگیرد، می‌تواند انگیزه لازم برای سرمایه گذاران در ساخت ظرفیتهای انتقال و یا تولید را به منظر بهبود بازدهی، ایجاد کند. در یک فضای رقابتی، قیمت گذاری صحیح انتقال می تواند انتظارات درآمدی را برآورده ساخته، عملکرد موثر بازارهای برق را تشویق کرده، سرمایه گذاری در مکان های بهینه تولید و خطوط انتقال را ترغیب کرده و به طور مناسبی دارائیهای مالکان انتقال را جبران کند.

در این تحقیق،عوامل عمده و اصلی تعیین کننده هزینه تبادلات توان در محیط های سنتی و تجدید ساختار یافته مورد بررسی قرار گرفته، روش های مختلفی برای محاسبات تلفات در سیستم های تجدید ساختار یافته معرفی و در نهایت الگویی جهت تخصیص عادلانه تلفات بین مشترکان خطوط در نظر گرفته شده و نحوه محاسبات آن ها بیان شده است.

کلمات کلیدی :

بازار برق، تجدید ساختار، تخصیص تلفات، مدیریت تراکم، هزینه انتقال

راهنمایی اساتید گرامی در انجام این تحقیق را ارج می نـهـم و از ایـشـان سـپاسـگـزارم

فهرست مطالب **شماره صفحه**

فصل۱:اهمیت خطوط انتقال ۱

۱ -۱ مقدمه ۲

۱-۲ترانزیت برق در ساختار سنتی ۳

۱ -۳ تخصیص هزینه انتقال در سیستم های تجدیدساختار شده ۴

فصل۲:مبانی تجدیدساختار سیستم های قدرت ۷

۲-۱ تجدیدساختار و اثرات آن ۸

۲-۲ ساختار سیستم قدرت سنتی..... ۹

۲-۳ ساختار سیستم قدرت نوین ۹

۲-۴ اپراتور مستقل سیستم یا ISO ۱۰

۲-۵ مدیریت تراکم ۱۴

۲-۶ روش های تعیین هزینه ترانزیت برق ۱۵

۲-۶-۱ روش های هزینه فراگیر ۱۶

۲-۶-۲ روش نرخ تمبر ۱۸

۲-۶-۳ روش مسیر قرارداد ۱۹

۲-۶-۴ روش مگاوات-مایل ۲۰

۲-۶-۵ روش توان-کاهشی ۲۲

۲-۶-۶ روش فلوی مرزی ۲۳

۲-۶-۷ روش هزینه افزایشی ۲۶

۲-۷ روش های پخش بار جریان متناوب ۲۸

۲-۷-۱ روش ردیابی ۲۹

۲-۷-۱-۱ روش ردیابی بیالک ۲۹

۲-۷-۱-۲ روش ردیابی کرشن ۲۹

فصل۳: چگونگی تخصیص هزینه انتقال در سیستم های تجدیدساختار شده ۳۲

۳-۱ نحوه تخصیص هزینه انتقال ۳۳

۳-۲پخش بار ۳۴

۳-۳ حل پخش بار ۳۵

۳-۴پخش بار و تخصیص تلفات ۳۶

۳-۵ روش های نوین تخصیص تلفات ۳۸

۳-۵-۱ Prorata ۳۸

۳-۵-۲ Marginal ۳۹

۳-۵-۳ تخصیص حاشیه ای بدون سوبسیت ۴۲

۳-۵-۴ Pro portional sharing ۴۳

فصل چهارم : روش پیشنهادی در تعیین سهم مشارکت ۴۹

فصل پنجم : شبیه سازی روش پیشنهادی ۵۹

۵-۱ اجرای الگوریتم توسعه یافته بروی شبکه ۳۰ شینه IEEE ۶۰

۵-۲ تعیین سهم تلفات در بخش های تولید و انتقال ۶۶

۵-۳ در نظر گرفتن یک سناریو ۷۱

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهاد ادامه کار ۷۶

۶-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۷۷

۶-۲ پیشنهاد ادامه کار ۷۸

مراجع..... ۷۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱ خلاصه ای از روش های تخصیص تلفات ۳۱

جدول ۳-۱ مقایسه روش های نوین تخصیص تلفات ۴۸

جدول ۵-۱(الف) میزان سهم مشارکت ژنراتورها در خطوط شبکه ۶۱

جدول ۵-۱(ب) میزان سهم مشارکت ژنراتورها در بارها ۶۲

جدول ۵-۱(پ) میزان سهم مشارکت بارها در ژنراتورها ۶۳

جدول ۵-۱(ت) میزان سهم مشارکت بارها در خطوط شبکه ۶۴

جدول ۵-۲(الف) میزان تلفات ژنراتورها در خطوط شبکه ۶۷

جدول ۵-۲(ب) میزان تلفات بارها در خطوط شبکه ۶۸

جدول ۵-۳(الف) میزان تلفات ژنراتورها در خطوط شبکه با در نظر گرفتن سناریو ۷۲

جدول ۵-۳(ب) میزان تلفات بارها در خطوط شبکه با در نظر گرفتن سناریو ۷۳

فهرست اشکال

شکل ۴-۱ قاعده سهم تناسب ۵۱

شکل ۴ -۲ فلوچارت حل مسئله الگوریتم پیشنهادی ۵۸

شکل ۵-۱ دیاگرام تک خطی شبکه استاندارد ۳۰ باسه IEEE ۶۰

فصل اول

اهمیت خطوط انتقال

۱-۱ مقدمه

علیرغم این حقیقت که بهای انتقال[1]، درصد کوچکی از هزینه های بهره برداری در شرکت‌های برق را می پوشاند، شبکه انتقال، مکانیزم حیاتی در بازارهای رقابتی برق است. در یک سیستم قدرت تجدید ساختار شده، شبکه انتقال محلی است که تولید کنندگان برای تأمین مصرف کنندگان بزرگ و شرکت های توزیع به رقابت می پردازند. بنابراین قیمت انتقال باید شاخص منطقی اقتصادی مورد استفاده بازار را برای تصمیم گیری در خصوص تخصیص منابع، توسعه و تقویت سیستم باشد. تعیین هزینه انتقال و ترانزیت برق در سیستم های قدرت (بخصوص بعد از تجدید ساختار) یکی از مسائل مهم بهره برداران سیستم می باشد.

در یک محیط رقابتی، قیمت گذاری صحیح انتقال می تواند انتظارات درآمدی را تأمین کرده، بهره برداری مؤثر از بازارهای برق را ترویج نموده، سرمایه گذاری تولید و خطوط انتقال در محل های بهینه را تشویق کرده و به اندازه کافی، دارایی های[2] مالکین انتقال را جبران هزینه کند. مهمتر از همه این است که طرح قیمت گذاری باید منصفانه و عملی باشد. با این وجود مشکل است که طرح قیمت گذاری مؤثر انتقالی را یافت که برای تمام ساختارهای برق در مناطق مختلف، مناسب باشد. تحقیق پیوسته در حال انجام در خصوص قیمت گذاری انتقال، مبین آن است که توافق عمومی در خصوص روش قیمت گذاری وجود ندارد. در عمل به هر کشور یا هر مدل تجدید ساختار شده، بر اساس مشخصه های ویژه شبکه خود، روشی را برگزیده است.

---

[1] . charge
[2] . Assets

معمولا ترانزیت توان در یک سیستم قدرت بر اساس یک قرار داد تبادل توان ایجاد می گردد. بنابراین هزینه ی ایجاد شده و همچنین هزینه استفاده از خطوط سیستم به قرار داد یا قراردادهای منعقد شده، وابسته است[۱]

آشنایی با چگونگی شکل گیری بحث های مربوط به ترانزیت توان با استفاده از تاریخچه بهره برداری از صنعت برق آمریکا می تواند به فهم بهتر مطلب بیانجامد.

تا قبل از سال ۱۹۷۸ صنعت برق در امریکا به صورت کاملاً سنتی بهره برداری می شد و ارتباط نواحی مختلف و تبادل توان بین آن ها از طریق خطوط بین ناحیه ای صورت می گرفت. با تصویب لایحه PURPA[۳] در سال ۱۹۷۸ (که پایه و اساس تجدید ساختار در صنعت برق آمریکا گردید) تولید کنندگان مستقل انرژی الکتریکی نیز قادر به تولید و فروش انرژی الکتریکی تحت شرایط معینی گردیدند.

در سال ۱۹۹۲ دومین گام عبور از انحصار در صنعت برق آمریکا با تصویب قانون سیاست انرژی EPACT[۴] برداشته شد. در این شرایط اختیارات و آزادی های بیشتری به تولید کنندگان مستقل برای تولید و فروش انرژی الکتریکی به مناطق غیر همجوار داده شد، بدیهی است با شرایط و اختیارات ایجاد شده برای تولید کنندگان مستقل انرژی الکتریکی، امکان فروش برق به مصرف کنندگان نواحی غیر همجوار به وجود آمد که این مسئله موجب گردید تا خطوط انتقال بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. به منظور تبادل انرژی الکتریکی بین یک تولید کننده و یک مصرف کننده توان باید از خطوط انتقال به هم پیوسته و در هم تنیده یک ناحیه عبور کند تا به نواحی دیگر برسد.که در این شرایط باید هزینه های خطوط انتقالی که توان در آنها گردش نموده به صورت مجزا محاسبه گردند. این موضوع با توجه به اینکه هر خط انتقال ممکن است دارای یک مالک اختصاصی باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار می گردد[۱].

---

[3] . Public utility Regulatory Policy Act (PURPA)
[4] . Energy Policy Act (EPACT)

۱-۲ ترانزیت برق در ساختار سنتی[۵]

دیدگاه های مطرح در بحث تعیین هزینه انتقال توان در دو سیستم تجدید ساختار شده و سنتی متفاوت می باشد. در سیستم های سنتی که سه مجموعه تولید، انتقال و توزیع در اختیار یک شرکت می باشد، هزینه تولید و انتقال و توزیع بین مصرف کنندگان تقسیم و از آن ها دریافت می گردد.

در سیستم های سنتی هنگامی محاسبات هزینه انتقال مطرح می گردد که یک سیستم قدرت (شامل ژنراتورها، خطوط و بارها) به عنوان ترانزیت کننده توان به کار گرفته شود. در این شرایط، سیستم مزبور به عنوان ترانزیت کننده توان شناخته می‌شود و در اثر عبور توان از این سیستم (دریافت توان از یک نقطه و تحویل آن در یک نقطه دیگر)، هزینه‌های اضافی به سیستم تحمیل می‌گردد که مسئولیت آن بر عهده ترانزیت کنندگان توان یا به اصطلاح، قرارداد تبادل توان می‌باشد. همچنین ترانزیت‌کنندگان، از خطوط انتقال این سیستم قدرت برای عبور توان استفاده می‌نمایند که هزینه‌های متداول سیستم انتقال در محاسبات نیز باید به ترانزیت‌کنندگان توان اختصاص یابد. به طور کلی عبور توان از یک سیستم، ترانزیت توان و هزینه‌های مربوط به آن هزینه ترانزیت توان[۶] و سیستم مزبور، ترانزیت کننده نامیده می‌شود.

بنابراین مقوله محاسبه هزینه انتقال توان در سیستم های سنتی هنگامی مطرح می گردد که موضوع ترانزیت توان در یک سیستم قدرت ترانزیت کننده بوجود آید.

بدین لحاظ کلیه هزینه های تحمیلی (هزینه تغییر آرایش تولید و بهره برداری سیستم) به عنوان هزینه ترانزیت برق در نظر گرفته می شود[۲].

---

[5] . Wheeler
[6] . Wheeling charge

۳-۱ تخصیص هزینه انتقال در سیستم های تجدید ساختار شده

تغییر قوانین رایج در سیستم های قدرت و سیاست انتقال با دسترسی باز، محاسبه میزان مشارکت ژنراتورها و بارها در انتقال توان اکتیو و راکتیو را هر چه بیشتر مهم و نمایان می‌سازد. نتایج بدست آمده می‌تواند به تخصیص هزینه انتقال در میان همه کاربران به صورت یک روش منصف و منطقی کمک کند.

به طور کلی هزینه انتقال شامل ۴ قیمت اصلی است[۳]:

- تلفات انتقال
- تعمیر و نگهداری شبکه
- برگشت و کاهش سرمایه‌گذاری تجهیزات
- هزینه رفع و برطرف کردن قیود انتقال

تلفات ایده آل شبکه های توزیع معمولاً بین ۳ تا ۶ درصد در نظر گرفته می‌شود. در کشورهای توسعه‌یافته این عدد کمتر از ۱۰ درصد است، در حالیکه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران تلفات توان اکتیو حدود ۲۰ درصد است. بخش اعظمی از این تلفات در بخش توزیع ایجاد می شود، همچنین مسئله لزوم سرمایه‌گذاری های بیشتر در این بخش را خاطرنشان می‌نماید. به همین علت طراحان شبکه توزیع به دنبال ابزاری هستند که با ارائه طرح های بهینه، هزینه های شبکه را نیز کاهش دهد. ارائه روش خاصی به منظور طراحی شبکه توزیع کاری بسیار مشکل و پیچیده است که بدون استفاده از کامپیوتر و برنامه نویسی کامپیوتری غیرممکن به نظر می رسد. در نظر گرفتن حالت های مختلف طراحی شبکه به همراه پارامترهای تأثیرگذاری مانند شرایط جغرافیای، قیود فنی، هزینه‌های احداث و بهره برداری شبکه، هزینه تلفات انرژی و توان شبکه، قابلیت اطمینان شبکه، استانداردهای طراحی شبکه، وضعیت فرهنگ مصرف

انرژی الکتریکی، میزان و جهت گسترش تقاضا در آینده، میزان پراکندگی و تعداد مصرف کننده‌گان، توجه به مسائل زیبایی شناسی شهری و ... و همچنین سنجش آنها مسأله ای پیچیده، غیر خطی و با حجم بالایی از اطلاعات و محاسبات را ایجاد می کند.

تلاش های فراوانی در طول سالیان اخیر بخصوص از دهه ۱۹۹۰ به بعد صورت گرفته تا بتوان مسائل طراحی شبکه را با الگوریتم های چند منظوره شبیه سازی و حل نمود. کشمکشی که در طول این دوران بین روش های مختلف بوده است در واقع تقابل بین دو عامل مهم یعنی دقت مدل و بازده محاسباتی آن بوده است.

در این میان روش های مبتنی بر شبیه‌سازی عوامل طبیعی و یا نحوه زندگی موجودات زنده (مانند روش های الگوریتم ژنتیک، آب کاری شبیه سازی شده[۷]، شبکه های عصبی، جستجوی تابو[۸] و تئوری مورچگان) و روش های ابتکاری ریاضی برای حل مسائل ترکیبی بهینه سازی پیشنهاد شده و توجه زیادی را به خود معطوف داشته است.

مفهوم مشترکی که در این روش ها به کار می رود بدین صورت است که از یک طرح اولیه قابل قبول شروع می شود، ساختار جدید با همسایه ای جایگزین می شود که به وسیله اصلاح ابتدایی ساختار کنونی به دست می آید[۴].

هزینه تلفات

1.Simulated Annealing
2.Tabu search