دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی قدرت

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت

عنوان

تحلیل و مدل‌سازی شبکه های توزیع انرژی الکتریکی با در نظر گرفتن ادغام منابع تولید پراکنده و سیستم‌های مدیریت تقاضا

استاد راهنما:

دکتر سعید قاسم‌زاده

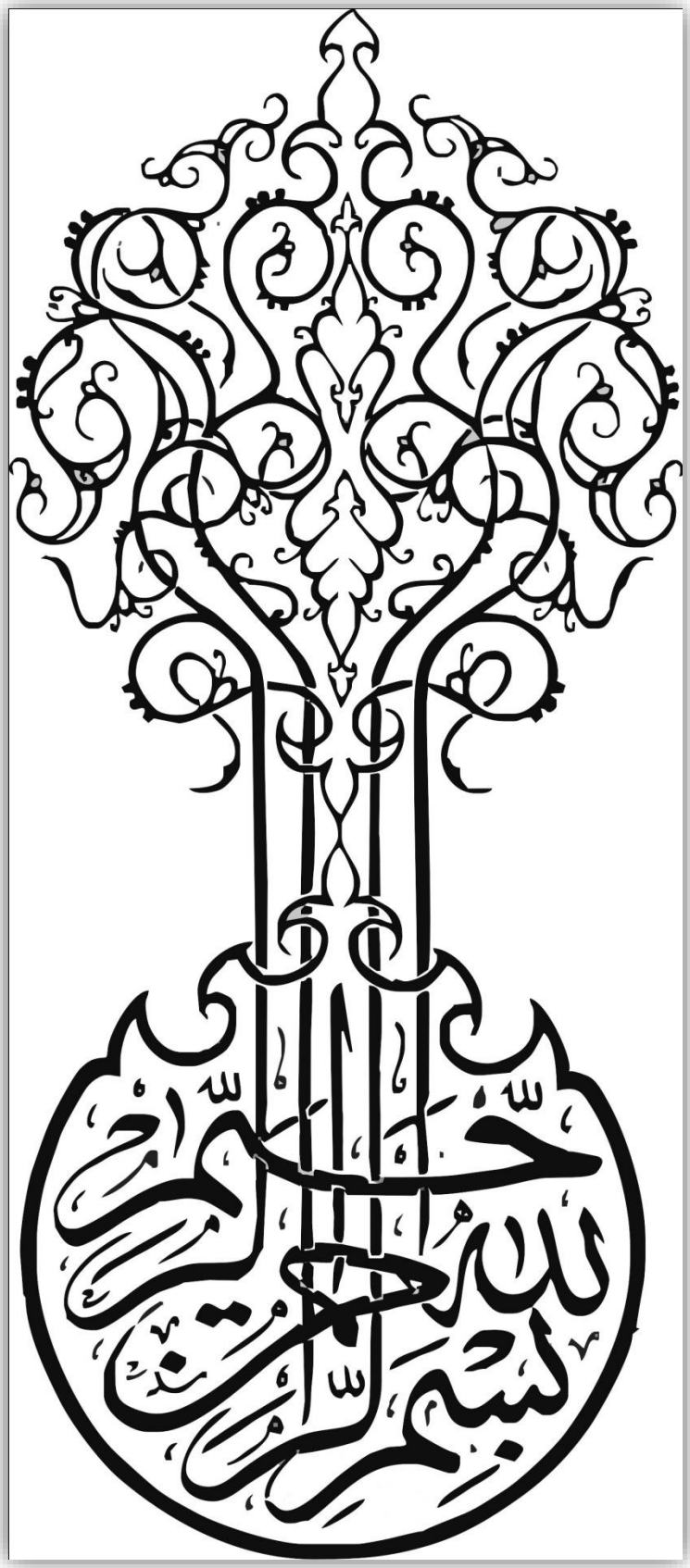
استاد مشاور:

دکتر کاظم زارع

پژوهشگر:

سجاد عبداله زاده

بهمن ۹۲


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس پروردگار عالم را که مرا موفق گردانید تا در عرصه علم و دانش، پله‌های سعادت و تعالی را طی کنم و در این راه پر فراز و نشیب خالصانه و دلسوزانه تأثیر کوچکی داشته باشم، را بر خود واجب می‌دانم.

از پدر دلسوز و مادر مهربانم که صبورانه مرا تحمل کرده و اصلی‌ترین مشوق‌های من در این راه بودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از برادر عزیزم نیز به خاطر زحمات بی دریغشان در ضمینه تدوین و ویراست پایان نامه تشکر می‌نمایم.

بهترین تشکراتم را تقدیم استادان گرانقدرم، آقایان دکتر سعید قاسم زاده و دکتر کاظم زارع می‌نمایم که در طول این دورهٔ تحصیلی با صبر و حوصله یاریم نموده و همواره پشتیبان و راه‌گشایم بودند.

در نهایت از دوستان عزیزم و همه کسانی که در نگارش این پایان‌نامه مدیون آنها می‌باشم کمال تشکر را دارم.

سجاد عبداله زاده

بهمن ۱۳۹۲

نام خانوادگی: عبداله زاده **نام**: سجاد

عنوان: تحلیل و مدل‌سازی شبکه های توزیع انرژی الکتریکی با در نظر گرفتن ادغام منابع تولید پراکنده و سیستم‌های مدیریت تقاضا

استاد راهنما : دکتر سعید قاسم‌زاده **استاد مشاور: دکتر کاظم زارع**

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی برق قدرت **گرایش: سیستم** **دانشگاه**:تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی**: بهمن ۱۳۹۲ **تعداد صفحه: ۹۹**

کلیدواژه‌ها: منابع پراکنده، تولید پراکنده، مدیریت سمت تقاضا، برنامه ریزی تلفیقی.

چکیده

در این پایان‌نامه برنامه‌ریزی سیستم‌های توزیع انرژی الکترکی با درنظر گرفتن تلفیق منابع تولید پراکنده و سیستم‌های مدیریت سمت تقاضا ارائه شده است. برنامه‌ریزی پیشنهادی برخلاف برنامه‌ریزی‌های مرسوم که با دید تامین تقاضا از طریق افزایش تولید و ساخت زیرساخت توزیع و انتقال صورت می‌گرفتند دید جدیدی به منابع سمت تقاضا دارد. استفاده از منابع تولید پراکنده و برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا به عنوان منابع موجود در سمت تقاضا وارد برنامه‌ریزی سیستم توزیع شده است. دید حاکم بر برنامه‌ریزی برخلاف کارهای صورت گرفته قبلی که عمدتا دید اقتصادی و بازار برقی دارند دید شبکه‌ای می‌باشد.

در این پایان‌نامه منابع تولید پراکنده به صورت نوین و با هدف استفاده بهینه از خروجی این منابع جهت کمک به شبکه استفاده شده‌اند. صرف نظر از نوع منبع تولید پراکنده سعی شده است مشکلات عمومی این منابع در مدل پیشنهادی منعکس و درصدد رفع آنها برآید.

برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا برخلاف کارهای صورت گرفته که دید بالا به پایین و مقیاس بزرگ به این برنامه‌ها داشتند به صورت مقیاس کوچک و در سطح تجهیزات مدل شده‌اند تا راحتی و آسایش مشترکین در نظر گرفته شود. دید مقیاس کوچک به این برنامه‌ها چگونگی و روند اجرا و اعمال آنها را نیز واضح‌تر و ملموس‌تر ساخته است.

برنامه‌ریزی پیشنهادی روشی جدید با درنظر گرفتن تلفیق منابع تولید پراکنده و برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا با هدف استفاده بهینه از خروجی منابع تولید پراکنده، پیک‌سایی جهت بهبود ضریب بار شبکه و حفظ راحتی مشترکین با اعمال برنامه‌های سمت تقاضا در سطح تجهیزات می‌باشد. جهت اعمال برنامه‌ریزی تولیدات پراکنده، برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا و شبکه متناسب با هدف پایان‌نامه و دید شبکه‌ای مدل‌سازی شده‌اند.

جهت انجام شبیه‌سازی و پیاده‌سازی برنامه‌ریزی از نرم‌افزار مطلب (MATLAB) استفاده شده است. برنامه‌ریزی پیشنهادی روی شبکه نمونه اعمال شده، نتایج حاصل با برنامه‌ریزی‌های مرسوم مورد مقایسه قرار گرفته و ارزیابی و تحلیل شده است.

فهرست مطالب

چکیده ..... أ

فهرست مطالب ..... ب

فهرست شکل‌ها ..... ه

فهرست جدول‌ها ..... ز

فصل اول: برنامه‌ریزی تلفیقی منابع (وضعیت کنونی و چالشهای موجود)

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲) مرور وضعیت کنونی ۴

۱-۲-۱) برنامه‌ریزی‌های مرسوم ۵

۱-۲-۲) برنامه‌ریزی نوین ۸

۱-۲-۲-۱) برنامه‌ریزی تلفیقی منابع ۹

۱-۲-۲-۱-۱) برنامه‌های IRP ۱۱

۱-۲-۲-۱-۲) ارزیابی IRP ۱۳

۱-۲-۳) مرور کارهای صورت گرفته ۱۴

۱-۳) میانی نظری مدیریت سمت تقاضا (DSM) ۱۷

۱-۳-۱) سیر تحولی DSM ۱۷

۱-۳-۲) طبقه‌بندی برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا ۲۰

۱-۳-۲-۱) بهبود بهره‌وری انرژی ۲۰

۱-۳-۲-۲) مدیریت بار ۲۲

۱-۳-۲-۲-۱) دسته‌بندی برنامه‌های مدیریت بار ۲۳

۱-۳-۲-۲-۲) محدودیت‌های برنامه‌های مدیریت بار ۲۹

۱-۳-۲-۲-۳) ارزیابی برنامه‌های مدیریت بار ۳۰
۱-۳-۳) اهداف منحنی بار ۳۰
۱-۳-۴) دلایل ترویج DSM ۳۳
۱-۳-۵) محرکهای DSM ۳۴
۱-۳-۶) DSM شرکت برق محور ۳۵
۱-۴) مبانی نظری منابع تولید پراکنده ۳۷
۱-۴-۱) تاریخچه DG ۳۷
۱-۴-۲) محرک‌های استفاده از DG ۳۸
۱-۴-۱-۱) آزاد سازی بازار برق ۳۸
۱-۴-۱-۲) نگرانی‌های زیست محیطی ۴۰
۱-۴-۲) مشکلات و چالش های منابع تولید پراکنده و راه‌حل‌ها ۴۲
۱-۵) برنامه‌ریزی تلفیقی DG و DSM ۴۳

فصل دوم : مدلسازی و مبانی نظری برنامه‌ریزی پیشنهادی

۲-۱) مقدمه ۴۹
۲-۲) مبانی نظری برنامه‌ریزی پیشنهادی ۴۹
۲-۳) روند برنامه‌ریزی پیشنهادی ۵۲
۲-۳) مدل‌سازی مدیریت سمت تقاضا و تولیدات پراکنده و شبکه ۵۵
۲-۴-۱) مدل‌سازی مدیریت سمت تقاضا ۵۵
۲-۴-۱-۱) جابه‌جایی بار ۵۶
۲-۴-۱-۲) کنترل سمت تقاضا ۵۶
۲-۴-۲) مدل‌سازی تولید پراکنده ۵۸

۲-۴-۳) مدل‌سازی شبکه ۵۹

فصل سوم : شبیه‌سازی نرم‌افزاری و پیاده‌سازی برنامه‌ریزی پیشنهادی

۳-۱) مقدمه ۶۱

۳-۲) سیستم مورد مطالعه ۶۱

۳-۳) پیاده‌سازی برنامه‌ریزی پیشنهادی بصورت نرم‌افزاری و شبیه‌سازی ۶۸

۳-۴) نتایج حاصل از اعمال برنامه‌ریزی پیشنهادی ۶۹

۳-۴-۱) سیستم نمونه بدون DG و DSM ۶۹

۳-۴-۲) سیستم نمونه با حضور DG ۷۰

۳-۳-۳) سیستم نمونه با حضور DG و DSM ۷۱

فصل چهارم : نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

نتیجه‌گیری ۷۸

پیشنهادات ۸۰

مراجع ۸۱

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱): مدل برنامه‌ریزی مرسوم با هدف کمترین هزینه ۷

شکل (۱-۲): مدل برنامه‌ریزی تلفیقی و تقاضا با هدف کمترین هزینه ۱۰

شکل (۱-۳): دسته‌بندی برنامه‌های مدیریت بار ۲۳

شکل (۱-۴): میزان ریسک‌پذیری مشترک-شرکت بر حسب نوع نرخ ۲۸

شکل (۱-۵): اهداف منحنی بار ۳۱

شکل (۱-۶): چشم انداز برنامه‌ریزی و کنترلی سیستم‌های قدرت در آینده ۴۶

شکل (۲-۱): فلوچارت کلی روند برنامه‌ریزی ۵۳

شکل (۲-۲): فلوچارت اعمال جابه‌جایی بار ۵۵

شکل (۲-۳): مدل درنظر گرفته شده برای تولید پراکنده ۶۴

شکل (۲-۴): نمونه مدل منحنی مصرف مشترک ۶۵

شکل (۲-۵): منحنی مصرف مشترک به تفکیک تجهیزات ۶۵

شکل (۳-۱): سیستم مورد مطالعه (بخشی از شبکه توزیع) ۶۸

شکل (۳-۲): منحنی تولید خروجی تولید پراکنده ۶۸

شکل (۳-۳): منحنی مصرف مشترک اول ۶۹

شکل (۳-۴): منحنی مصرف مشترک اول به تفکیک تجهیزات ۶۹

شکل (۳-۵): منحنی مصرف مشترک دوم ۷۰

شکل (۳-۶): منحنی مصرف مشترک دوم به تفکیک تجهیزات ۷۰

شکل (۳-۷): منحنی مصرف مشترک سوم ۷۱

شکل (۳-۸): منحنی مصرف مشترک سوم به تفکیک تجهیزات ۷۱

شکل (۳-۹): منحنی مصرف مشترک چهارم ۷۲
شکل (۳-۱۰): منحنی مصرف مشترک چهارم به تفکیک تجهیزات ۷۲
شکل (۳-۱۱): منحنی مصرف مشترک پنجم ۷۳
شکل (۳-۱۲): منحنی مصرف مشترک پنجم به تفکیک تجهیزات ۷۳
شکل (۳-۱۳): منحنی مصرف کل مشترکین ۷۵
شکل (۳-۱۴): تاثیر حضور DG روی تقاضا در برنامه‌ریزی مرسوم ۷۶
شکل (۳-۱۵): بازه اضافه تولید DG از تقاضا ۷۷
شکل (۳-۱۶): تاثیر اعمال برنامه‌ریزی پیشنهادی در استفاده بهینه از DG ۷۸
شکل (۳-۱۷): چگونگی جابه‌جایی بار از پیک بار به بازه اضافه تولید DG ۷۹
شکل (۳-۱۸): تاثیر برنامه‌ریزی پیشنهادی روی نوسانات ایجاد شده توسط DG روی منحنی مصرف . ۸۰
شکل (۳-۱۹): نتیجه اعمال مدیریت سمت تقاضای برنامه‌ریزی پیشنهادی روی منحنی مصرف ۸۱
شکل (۳-۲۰): تغییر در منحنی بار به تفکیک اقدامات ۸۲
شکل (۳-۲۱): منحنی بار مصرفی مشترکین در برنامه‌ریزی پیشنهادی نسبت به حالت مرسوم ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱): اولویت بار برای برخی از تجهیزات خانگی ۶۲
جدول (۲-۲): روش کنترلی برای برخی از تجهیزات خانگی ۶۲
جدول (۲-۳): مدت زمان کنترل برای برخی از تجهیزات خانگی ۶۳

فصل اول

مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی تلفیقی در شبکه توزیع

۱-۱ مقدمه

پیشرفت روزافزون بشر در تمامی ابعاد زندگی نیازمندی به منابع انرژی را بیشتر نمایان‌گر کرده است. گستردگی استفاده از انرژی الکتریکی و گسترش روزافزون آن اهمیت این انرژی را نشان می‌دهد. استفاده کارامد و بهینه از تمامی منابع انرژی یکی از مقوله‌های مهم می‌باشد که در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های قدرت سنتی از چهار بخش اصلی تشکیل می‌شدند: تولید، شبکه انتقال، شبکه توزیع و مصرف. سیستم مدیریتی آنها به صورت مرکزی بود و تنها جنبه مورد اهمیت جنبه فنی سیستم بود.

سال‌های نخستین صنعت برق را می‌توان سال‌های استفاده بدوی از این عالی‌ترین شکل انرژی نامید. سال‌هایی که نه تنها درکی از لزوم بهره‌برداری بهینه از منابع اولیّه انرژی به چشم نمی‌خورد بلکه "تعرفه[۱]"های تشویقی بر مصرف بی‌رویه بنا شده است. در دهه ۷۰ میلادی بود که مصرف بهینه انرژی، از جمله انرژی الکتریکی مورد توجه قرار گرفت. در طی این سال‌ها راه‌کارهایی از قبیل استفاده از انرژی‌های جایگزین، افزایش بهره‌وری ادوات الکتریکی، ارتقا سطح آگاهی عمومی در استفاده از انرژی الکتریکی و "مدیریت بار[۲]" مورد توجه قرار گرفت. در این دوره راه‌کارهای فوق، منابع پنهان انرژی نام گرفت. در اوایل دهه بعد مقوله مدیریت سمت تقاضا از سوی محققان EPRI[۳] مطرح شد. در صنعت برق مفهوم "مدیریت سمت تقاضا[۴]" در مقابل مفهوم "مدیریت سمت تولید[۵]" قرار می‌گیرد. اکنون بیش از چهار دهه از آغاز بحث مدیریت تقاضا در صنعت برق می‌گذرد.

توسعه روز افزون سیستم‌های قدرت، تامین تمام انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان از طریق ایجاد ظرفیت‌های نیروگاهی و توسعه شبکه‌ها یک گزینه غیر اقتصادی می‌باشد. این مساله بویژه موقعی که رشد بار پیک در مقایسه با رشد بار پایه زیاد باشد حائز اهمیت است. در حقیقت تامین کل نیاز مصرف‌کنندگان از طریق نصب ظرفیت جدید به مفهوم استفاده غیر بهینه از سرمایه است، زیرا بخشی از منابع عموماً در زمان‌های غیر پیک بدون استفاده باقی می‌مانند. علاوه بر جنبه اقتصادی از لحاظ زیست محیطی، تامین سوخت، ایجاد زیرساخت جدید در سیستم و ظرفیت جدید در شبکه جهت تامین بار پیک مشکلات و چالش‌هایی را ایجاد می‌کند در حالی که در زمان‌های

---

[1] Tarrifs
[2] Load management
[3] Electric Power Research Institute
[4] Demand side management
[5] Supply side management

غیرپیک این ظرفیت عملا بلااستفاده بوده و متغیرها و پارامترهای اضافی به سیستم تحمیل می‌کند. بنابراین نصب نیروگاه جدید نباید به عنوان اولین راه‌حل جهت تبعیت از منحنی بار باشد.

بطور کلی برنامه‌ریزی برای تامین تقاضا به صورت نوین، "برنامه‌ریزی تلفیقی منابع (IRP)[۶]" است که مشتمل بر دو گزینه می‌باشد:

- ساخت نیروگاه جدید
- مدیریت سمت تقاضا

در صنعت برق مدیریت سمت تقاضا به فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که میزان یا زمان تقاضای انرژی الکتریکی را در سیستم تغییر می‌دهند. با توجه به آموخته‌های چندین ساله از اجرای برنامه‌های مدیریتی در هر دو سمت تقاضا و تولید منابع بالقوه فراوانی در هر دو سمت وجود دارد که قابلیت استفاده و بهبود دارند. منابع موجود در سمت تقاضا که به منابع نهان معروفند طی چند دهه اخیر مورد توجه قرار داشته‌اند و فعالیت‌هایی در جهت استفاده و بهبود این منابع صورت گرفته است. با توجه به قابلیت بالقوه‌ای که در سمت تقاضا برای بهبود و تغییر منحنی بار جهت به تعویق انداختن تاسیس نیروگاه و ظرفیت جدید وجود دارد مدیریت منابع موجود در این سمت و اصلاح الگوی مصرفی راه‌حل بهتری می‌باشد. این تحقیق بیشتر روی مدیریت تقاضای شبکه محور تاکید دارد. مدیریت تقاضای شبکه محور با کاهش تقاضای شبکه با روش‌های مخصوص سعی در ایجاد منافع شبکه‌ای در کوتاه مدت و در بلند مدت به تعویق انداختن گسترش شبکه دارد.

همراه با مدیریت سمت تقاضا، منابع تولید پراکنده (DG)[۷] نیز نقش مهمی در برنامه‌ریزی تلفیقی ایفا می‌کنند. امروزه تولید پراکنده به منابع تولیدی اطلاق می‌شود که یا در سمت مصرف‌کننده کنتور قرار داشته باشند یا در محل مصرف‌کننده نصب شده باشند[۱]. منابع تولید پراکنده که روزبه‌روز در حال گسترش و توسعه هستند امروزه در اکثر کشورهای جهان جزء مهمی از سیستم انرژی الکتریکی محسوب می‌شوند. به دلیل رشد روز افزون منابع پراکنده انرژی، نفوذ این منابع در سیستم توزیع اجتناب‌ناپذیر می‌باشند. سیاست‌های انرژی باعث ارتقا منابع پراکنده انرژی مانند بازدهی انرژی(EE)[۸]، تجهیزات ذخیره انرژی (ES)[۹]، تولید پراکنده و منابع انرژی تجدیدپذیر

[6] Integrated Resource Planning
[7] Distributed Generations
[8] Energy Efficiency
[9] Energy Storages

(RE)[10] شده و تعداد تاسیسات تولید پراکنده مخصوصاً منابع خروجی متغیر (تاحدی قابل کنترل) مثل انرژی بادی، خورشیدی (PV)[11]، توربین‌های آبی کوچک و ترکیبی گرما و انرژی (CHP)[12] را افزایش داده است. هر کدام از این منابع انرژی دارای ویژگی‌ها و تاثیرات متفاوتی می‌باشند که اتصال آنها به شبکه را تابع شرایط خاصی می‌کند.

جهت استفاده از منابع مختلف پراکنده انرژی تلفیق مناسب این منابع و اصلاح برنامه‌ریزی مرسوم سیستم ضروری می‌باشد. برنامه‌ریزی تلفیقی باید هم منابع تولید پراکنده و هم مدیریت سمت تقاضا را در برگیرد.

در تلفیق منابع انرژی پراکنده در شبکه توزیع بصورت محلی و کلی سه هدف باید درنظر گرفته شود:

- نقطه نظر مدیریت شبکه
- اهداف بازار برق
- اهداف محیط زیستی و اجتماعی

تلفیق ویژگی‌های مختلف منابع انرژی پراکنده در افزایش ارزش این منابع در سیستم‌های بزرگ انرژی و بازار برق ضروری می‌باشد. تلفیق موفق این منابع تاثیرات بسزایی در بهبود کیفیت توان، انعطاف‌پذیری شبکه، افزایش قابلیت اطمینان و ... دارد. هدف اصلی دستیابی به تلفیق بهتر تقاضای منعطف (پاسخگویی بار) به همراه تولید پراکنده می‌باشند.

در ادامه مدیریت سمت تقاضا، منابع تولید پراکنده و برنامه‌ریزی تلفیقی منابع مفصل‌تر مورد بررسی قرار گرفته و انواع اقدامات و اهداف بیان می‌شوند.

۱-۲ بررسی منابع و روش‌ها

در گذشته سیستم‌های قدرت در مالکیت دولت بود. به این صورت که تولید، انتقال و توزیع این انرژی در یک منطقه توسط یک واحد انجام می‌شد و مصرف‌کنندگان کوچک و بزرگ، انرژی مورد نیازشان را از دولت خریداری می‌کردند. در واقع دولت‌ها با احداث نیروگاه‌های کوچک و بزرگ در نقاط مختلف کشور و احداث خطوط انتقال و توزیع، انرژی تولیدی را به مصرف‌کننده‌ها می‌رساندند. در دهه‌های اخیر با گسترش علوم و مطرح شدن

[10] Renewable Energies
[11] Photovoltaic
[12] Combined Heat And Power

موضوعاتی همچون خصوصی‌سازی و افزایش بهره‌وری، دولت‌ها به فکر کاهش تصدی‌گری خود در امور کلان اقتصادی و افزایش سهم بخش خصوصی در اجرای این امور افتادند. در این راستا صنعت برق هم مانند دیگر صنایع زیر بنایی کشور شامل تغییراتی در رویکردهای اقتصادی و ملاحظات فنی گردید.

سیستم قدرت مرسوم براساس تولید مرکزی در نیروگاه‌های بزرگ و رساندن انرژی الکتریکی تولیدی از طریق سیستم انتقال و توزیع به مصرف‌کنندگان نهایی طراحی شده‌اند.

نقش نیروگاه‌های تولید، تبدیل منابع انرژی مختلف به انرژی الکتریکی می‌باشد. نقش سیستم‌های انتقال و توزیع وابسته به هم بوده و هر دو سعی در انتقال انرژی الکتریکی تولیدی به مصرف‌کنندگان را دارند. سیستم انتقال وظیفه انتقال انرژی الکتریکی در مسافت‌های طولانی و با توان بالا را در سرتاسر کشور به عهده دارد. علاوه براین سیستم انتقال وظیفه بهینه‌سازی انتقال انرژی از لحاظ اقتصادی و منابع شبکه‌ای را دارد. انتقال انرژی الکتریکی به مناطق مختلف به صورت بهینه کمک به نیروگاه‌های تولید در مواقع اضطراری و تعمیرات و ایجاد قابلیت انعطاف در شبکه از نقش‌های مهم سیستم انتقال می‌باشد.

سیستم توزیع بخش انتهایی سیستم قدرت می‌باشد که وظیفه تحویل انرژی الکتریکی را به مصرف‌کنندگان نهایی داشته و در ارتباط مستقیم با بارها می‌باشد. حد واصل بین سیستم انتقال و توزیع پست توزیع می‌باشد. سیستم توزیع از نقطه اتصال به سیستم انتقال تا نقطه تحویل انرژی الکتریکی به مصرف‌کنندگان از فیدرهای اولیه، ترانسفورمرها، مدارات ثانویه و اندازه‌گیرها تشکیل می‌شود. عموماً سیستم‌های توزیع دارای ساختار شعاعی از سمت سیستم انتقال به سمت مصرف‌کننده نهایی می‌باشند و در طول بازه عملکردی فرض بر کافی بودن تولید در سمت ولتاژ بالا جهت تامین مصرف‌کنندگان دارند.

برنامه‌ریزی برای سیستم قدرت از زمان پیدایش این سیستم روند تحولی داشته است. ظهور تکنولوژی‌ها، فن‌آوری‌ها، سیر تحولات قانونی و ... همواره این سیستم را از لحظه برنامه‌ریزی و طراحی تا اجرا مورد تحول و چالش قرار داده است. این تحولات به صورت تدریجی و طی چند سال اخیر برنامه‌ریزی مرسوم سیستم قدرت را نیازمند تغییر نگرشی اساسی در تمامی زمینه‌ها کرده است. خروج برنامه‌ریزی از حالت مرسوم و ایجاد یک پروسه نوین به صورت تدریجی در اکثر کشورها در حال صورت گرفتن است.

۱-۲-۱ برنامه‌ریزی مرسوم

برنامه‌ریزی مرسوم سیستم‌های قدرت عموماً براساس تقسیمات سه‌گانه مذکور صورت می‌گرفت. این برنامه‌ریزی عموماً شامل سه قسمت برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی انتقال و برنامه‌ریزی توزیع می‌شود.

برنامه‌ریزی تولید بر مبنای پیش‌بینی تقاضا با درنظر گرفتن ارزیابی قابلیت اطمینان و بازه‌های نیاز به تولید اضافی صورت می‌گرفت. سرانجام افزایش تولید و ایجاد نیروگاه‌ها براساس ملاحظات اقتصادی صورت می‌گرفت.

پیش‌بینی بار که اولین قدم در برنامه‌ریزی تولید می‌باشد از طریق روشهای مختلفی انجام می‌پذیرد. تمامی این پیش‌بینی‌ها به لطف وجود سابقه اطلاعات مصرفی صورت می‌گیرد. منحنی بار مصرفی در کوتاه مدت جهت برنامه‌ریزی در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها از طریق اطلاعات روزهای قبل و مشابه، با دقت بسیار بالایی پیش‌بینی می‌شود. برنامه‌ریزی تولید باید به دلیل شامل شدن برنامه‌ریزی گسترش نیروگاه‌ها، پیش‌بینی بار بلند مدت بین ۲ تا ۱۰ سال را نیز مدنظر داشته باشد. پیش‌بینی بار سالانه و بلند مدت همچنین در تعیین قیمت انرژی و ارزیابی اقتصادی نیز موثر می‌باشد. دقت پیش‌بینی وابسته به دقت اندازه‌گیرهای سمت مصرف دارد. یکی از نکات مهم و اساسی در پیش‌بینی بار، پیش‌بینی زمان و میزان پیک‌بار می‌باشد. عملاً برنامه‌ریزی توسعه نیروگاه‌ها و نیز تولید براساس پیش‌بینی پیک‌بار صورت می‌گیرد. علاوه بر تامین تقاضا، هدف اصلی در برنامه‌ریزی تولید، انتقال و توزیع براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته تامین بار در زمان‌های پیک می‌باشد. پیک بار از زمان‌های بحرانی و مهم در سیستم قدرت می‌باشد که قابلیت اطمینان، امنیت و پایداری شبکه را بشدت به چالش می‌کشد.

در برنامه‌ریزی انتقال هدف استفاده بهینه از پروفیل تولید نیروگاه‌ها می‌باشد. سیستم انتقال وظیفه تامین تقاضا را از بهینه‌ترین نیروگاه از نظر اقتصادی دارد. بنابراین برنامه‌ریزی انتقال باید تامین تقاضا از طریق تولید و عملکرد سیستم و زیرساخت انتقال در شریط عادی و اضطراری شبکه در بازه محدودیت‌های عملکردی شبکه را تضمین کند. منظور از موارد اضطراری شبکه بروز عیب و نقص در هر قسمت از شبکه می‌باشد مانند: خروج قسمتی از خط انتقال از شبکه، خروج نیروگاه از مدار، عیب و نقص در ترانسفورماتورها و ... که بصورت ناگهانی اتفاق افتاده و نقطه عملکرد سیستم را تغییر می‌دهند. برنامه‌ریزی سیستم انتقال در رابطه نزدیکی با برنامه‌ریزی تولید

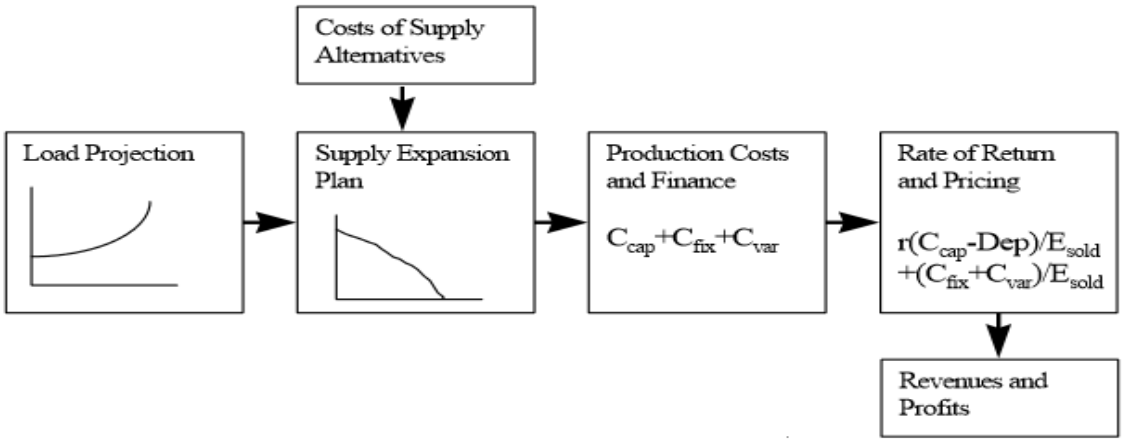
می‌باشد. براساس برنامه‌ریزی تولید میزان و جهت پخش توان در سیستم تعیین می‌شود که پخش و انتقال این توان بر عهده سیستم انتقال می‌باشد. البته محدودیت‌های عملکردی سیستم انتقال نیز باید در برنامه‌ریزی انتقال درنظر گرفته شود. حفظ پایداری زاویه روتور، پایداری گذرا، پایداری دینامیکی و پایداری ولتاژ و فرکانس نیز از جمله پارامترهایی می‌باشند که در روند برنامه‌ریزی انتقال مد نظر گرفته می‌شود[۲].

سومین بخش از برنامه‌ریزی در سیستم قدرت برنامه‌ریزی سیستم توزیع می‌باشد که وظیفه تغذیه بار را به صورت مستقیم بر عهده دارد. برنامه‌ریزی مرسوم توزیع با هدف تامین تقاضا به صورت قابل اطمینان و در کمترین هزینه ممکن صورت می‌گرفت. در این قسمت ارزیابی قابلیت اطمینان بیش از سایر موارد مورد توجه است. پیش‌بینی بار مهمترین و اساسی‌ترین بخش برنامه‌ریزی توزیع می‌باشد که باعث می‌شود تجهیزات اندازه‌گیری و پست‌ها در بهترین مکان ممکن جهت انجام پیش‌بینی بار دقیق قرار گیرند. شرکت‌های برق عموماً به صورت مستقیم و دقیق میزان مصرف مشترکین خود را اندازه‌گیری می‌کنند بنابراین اطلاعات نسبتا دقیقی از میزان انرژی الکتریکی مصرفی مشترکین و منحنی بار مصرفی دارند. آنها همچنین اطلاعات دقیقی از پروژه‌های توسعه‌ای در محدوده خود داشته و قادر به پیش‌بینی افزایش بار در آینده می‌باشند. علاوه براین آگاهی از نوع بارها باعث توانایی شرکت‌های برق جهت تخمین مدل بار مصرفی نیز می‌شود.

قطعا علاوه بر پیش‌بینی بار و ارزیابی قابلیت اطمینان، پارامترها و قیود بسیاری در روند برنامه‌ریزی توزیع وجود دارد. مهندسی بخش توزیع گستره وسیعی از قیود، محدودیت‌ها و پارامترها را جهت برنامه‌ریزی توزیع، جایابی، ترازیابی و.. را شامل می‌شود.

همانطور که مشاهده شد برنامه‌ریزی مرسوم سیستم‌های قدرت با هدف تبعیت تولید از تقاضا بوده و بیشترین تاکید در برنامه‌ریزی، تضمین تامین بار پیک بود. این عامل خود باعث می‌شد برنامه‌ریزی سیستم از حالت بهینه خود بشدت فاصله گیرد. امروزه تمامی زیرساخت سیستم‌های قدرت در اکثر کشورهای جهان بر پایه همین برنامه‌ریزی مرسوم طراحی و ساخته شده است. تبعیت از پیش‌بینی منحنی بار، برنامه‌ریزی را محدود به سمت تولید، بخش انتقال و توزیع می‌کرد و تمامی اقدامات بهینه‌سازی و بهبود بهره‌وری عملا در سمت تولید سیستم صورت می‌گرفت. بخش مدیریتی نیز محدود به سمت تولید بود و اَعمال مدیریتی خاصی در سمت تقاضا صورت

نمی‌گرفت. کل سیستم قدرت نیز با فلسفه تبعیت از منحنی بار و تامین تقاضای پیک به صورت قابل اطمینان و اقتصادی برنامه‌ریزی می‌شد.[۳]



شکل (۱-۱): مدل برنامه‌ریزی مرسوم با هدف کمترین هزینه [۳]

۱-۲-۲ برنامه‌ریزی نوین

سیر تحول سیستم‌های قدرت، تکنولوژی‌های موجود، ظهور فن‌آوری‌ها و توجه بیشتر به جنبه حقوقی که عامل وضع قوانین و سیاست‌های جدید جهت اداره شرایط نوین سیستم قدرت می‌باشند باعث حرکت سیستم مدیریتی مرسوم از حالت متمرکز مرکزی در سمت تولید، به مدیریت غیر متمرکز در سمت تولید و تقاضا شده است. این سیر تحول جنبه‌های مختلفی از سیستم قدرت را از لحظه تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی تا اجرا را مورد تحول قرار داده است. برخلاف رویه برنامه‌ریزی‌های مرسوم که با هدف تامین تقاضا از طریق افزایش تولید در کمترین هزینه ممکن بود امروزه عوامل متعدد اقتصادی، اجتماعی و محیطی باعث روی آوردن به استفاده از تکنولوژی‌ها و گزینه‌های بالقوه موجود شده است.[۴]

صنعت برق درحال تغییر، تحول و حرکت به سمتی است که با اجازه دادن به تولیدکنندگان برای رقابت و ایجاد بازار برق سعی در کاهش هزینه‌های تولید و توزیع انرژی الکتریکی، حذف ناکارآمدی‌های موجود، تفکیک

وظایف و افزایش حق انتخاب مشتری داشته است. این تحول به سوی بازار برق رقابتی معمولاً مقررات‌زدایی یا تجدیدساختار نامیده می‌شود و از جمله مزایای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- فراهم آوردن حق انتخاب برای مصرف‌کنندگان
- فراهم آوردن بستری مناسب در جهت ارائه خدمات بهتر
- رقابتی نمودن عرضه انرژی الکتریکی در سطوح مختلف و به تبع آن تعیین قیمت مناسب برای مصرف‌کننده
- جذب سرمایه‌های موجود در بخش خصوصی و هدایت آن در جهت انتفاع جمعی و عدم نیاز به سرمایه‌گذاری کلان دولتی
- افزایش کیفیت کالای ارائه شده با توجه به رقابت موجود و ...

برنامه‌ریزی مدرن انرژی الکتریکی که باید اهداف متفاوتی مانند اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی را برآورده کند نیازمند یک روند برنامه‌ریزی می‌باشد که بتواند این اهداف (که غالبا دارای تداخل باهم می‌باشند) را با درنظر گرفتن منابع مختلف انرژی، ادغام و تلفیق کند. برنامه‌ریزی تلفیقی منابع یکی از روش‌های برنامه‌ریزی نوین می‌باشد که سعی در انجام چنین کاری دارد.

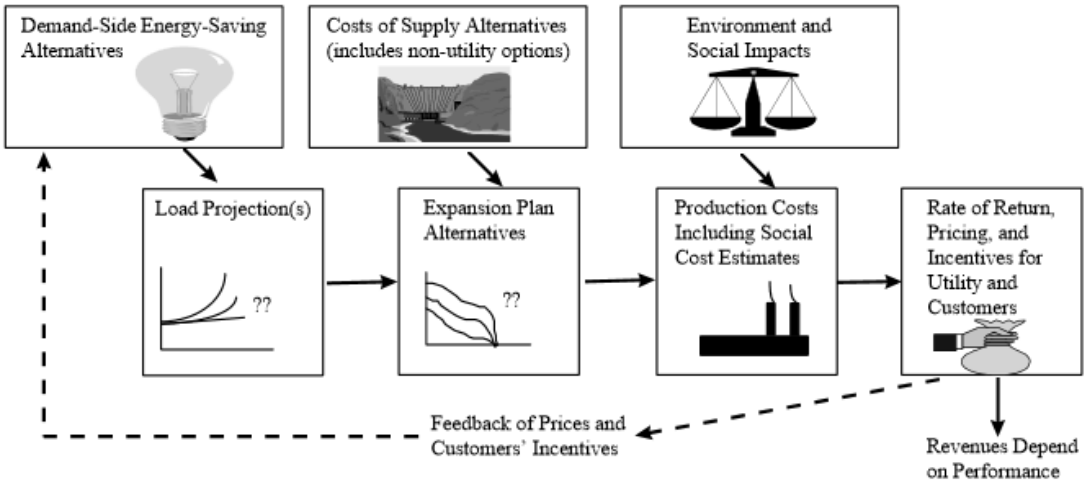
۱-۲-۳ برنامه‌ریزی تلفیقی منابع

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی با درنظر گرفتن انواع اقدامات مدیریت سمت تقاضا و منابع تولید پراکنده، برنامه‌ریزی تلفیقی منابع (IRP) نامیده می‌شود. برنامه‌ریزی تلفیقی منابع توسعه ترکیبی تولیدات انرژی الکتریکی و گزینه‌های مدیریتی سمت تقاضا با هدف عرضه سرویس‌های انرژی الکتریکی در کمترین هزینه ممکن اعم از هزینه‌های اجتماعی و محیطی می‌باشد.

برنامه‌ریزی تلفیقی منابع به دلیل استفاده از تمامی فرصت‌ها و منابع موجود در هر دو سمت تولید و تقاضا دارای اهمیت می‌باشد. رویه برنامه‌ریزی موسوم بر اساس توسعه منابع تولید جهت تامین رشد تقاضا با قابلیت اطمینان بالا و کمینه‌سازی هزینه‌های توسعه منابع بود. این روند برنامه‌ریزی تا چند سال اخیر بدون توجه به منابع موجود

در سمت تقاضا صورت می‌گرفت. اخیراً افزایش شدید هزینه‌های تولید و نیز ایجاد قیود زیست محیطی باعث شده تا شرکت‌های برق دست به اصلاحات اساسی بزنند.

یکی از اصلاحات اساسی، اصلاح تعریف "کم هزینه"[۱۳] بودن در روند برنامه‌ریزی مرسوم بود. در محاسبات اقتصادی، شرکت‌های برق بازه وسیعی از گزینه و فرصتها را شامل تکنولوژی‌های بهبود بهره‌وری انرژی و کنترل بار در سمت تقاضا و منابع تولید غیرمتمرکز و غیرشرکتی را نیز در روند برنامه‌ریزی درنظر گرفتند که این تغییرات و اصلاحات به سمت برنامه‌ریزی نوین و تلفیقی بود.



شکل (۱-۲): مدل برنامه‌ریزی تلفیقی و تقاضا با هدف کمترین هزینه [۳]

اهداف مطلوب بازار برق و غیر بازار برق با برنامه‌ریزی تلفیقی حاصل می‌شوند. مزیت برنامه‌ریزی تلفیقی منابع نسبت به برنامه‌ریزی مرسوم، درنظر گرفتن گزینه‌های مختلف موجود در سمت تقاضا و نیز قیود زیست محیطی می‌باشد. اجرای IRP به طور کلی نیازمند گام‌هایی می‌باشد:

- جمع آوری اطلاعات درباره الگوی مصرف نهایی و جایگزین‌های فنی جهت بهبود بازده انرژی و پرفیل بار

[13] Low Cost