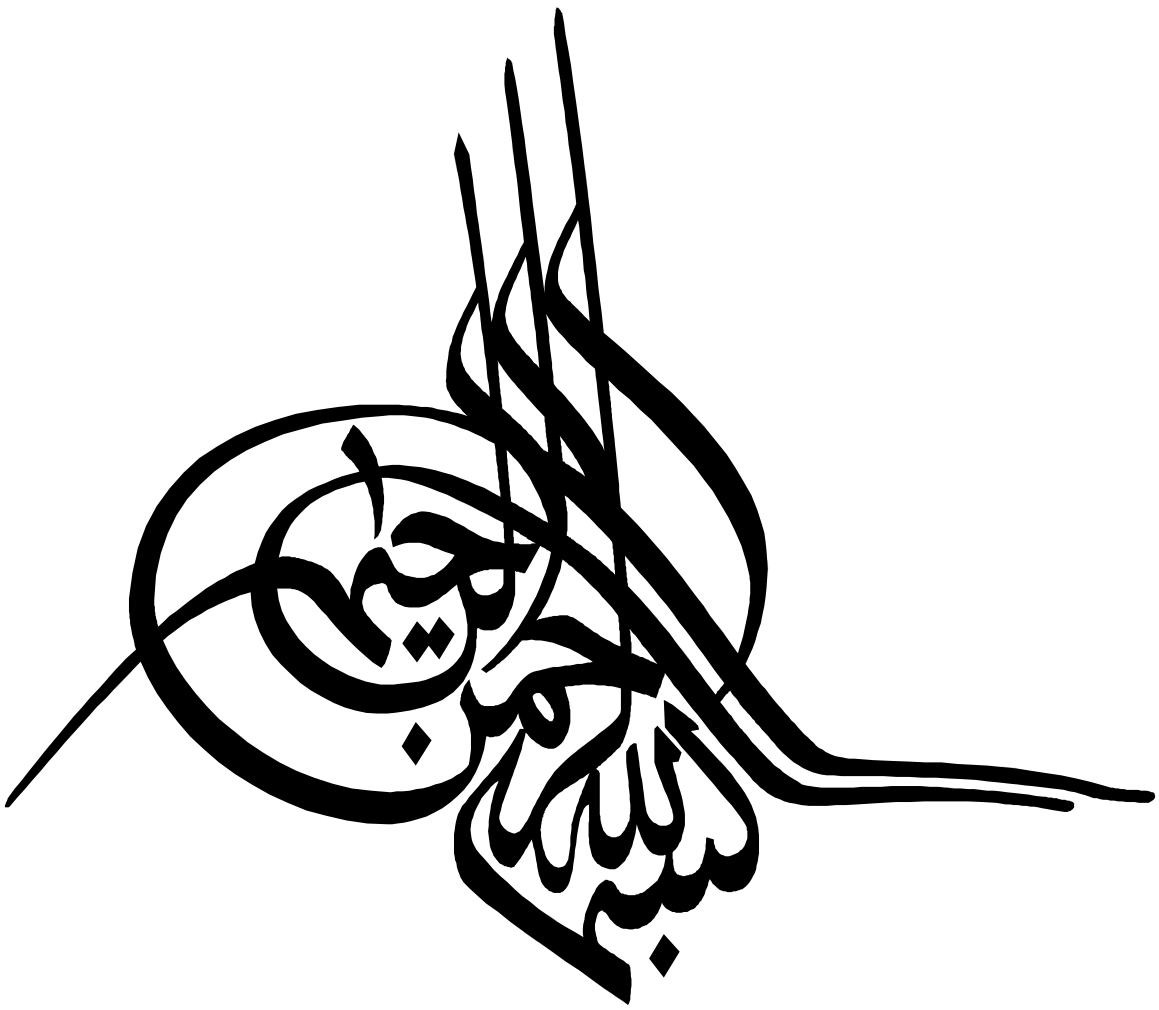
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر

موضوع:

مکان یابی بهینه خازن و منبع تولید پراکنده برای کاهش تلفات، کاهش اعوجاج هارمونیکی کل(THD) و بهبود پروفایل ولتاژ با در نظر گرفتن هارمونیک در شبکه های توزیع

استاد راهنما:

دکتر سید مهدی حسینی

دکتر سید اصغر غلامیان

نام دانشجو: محمدرضا حیدری شرفدارکلایی

تابستان ۱۳۹۲

تقدیم به:

به دامان سبز مادر و دست های خسته ی پدرم

دو عشق پاک زندگیم.....

سپاسگذاری

×××××من لم یشکرالمخلوق لم یشکرالخالق×××××

با سپاس از سه وجود مقدس:

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

موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

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

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

برخود لازم می دانم از زحمات و حمایت های استادان گرانقدرم جناب آقای **دکتر سید مهدی حسینی** و

جناب آقای **دکتر سید اصغر غلامیان** که صمیمانه مرا در پیشبرد این پایان نامه راهنمایی فرمودند نهایت سپاس و قدر دانی را داشته باشم.

چکیده

تحقیقات نشان داده است که ۱۳درصد توان تولیدی در نیروگاه ها به صورت تلفات در سیستم های توزیع تلف می‌گردد و با افزایش روزافزون مصرف کننده ها پروفایل ولتاژ افت می‌کند و حتی پایین تر از مقدار قابل قبول می‌رسد. همچنین میزان تقاضا برای انرژی الکتریکی روز به روز در حال افزایش می‌باشد که برای تامین انرژی آنها باید تجهیزات کنونی را به روز نمودکه چنین کاری نیازمندصرف بودجه عظیم می‌باشد. در چنین شرایطی ورود DG نقش مهمی را در شبکه ایفا نمود. DG ها منابع تولید انرژی کوچکی هستند که در نزدیکی محل مصرف کننده ها نصب می‌گردند. همچنین با جبران توان راکتیو به وسیله نصب خازن های موازی در شبکه می توان باعث کاهش تلفات، تنظیم ولتاژ و تصحیح ضریب قدرت در سیستم های توزیع گشت. دستیابی به این ویژگی ها به شدت بستگی به انتخاب مکان و اندازه مناسب DG و خازن دارد و انتخاب نادرست آنها باعث بدتر شدن تلفات و پروفایل ولتاژ و هارمونیک می‌گردد. در بسیاری از کارهایی که در زمینه مکان یابی خازن ها انجام گرفته است تمامی بارهای متصل به سیستم را خطی در نظر گرفته اند که امروزه با رشد روز افزون ادوات الکترونیک قدرت چنین فرضی موجب دور شدن از فضای واقعیت می شود. نباید از نقش بارهای غیر خطی که مهمترین ویژگی آن ها تولید هارمونیک و آلوده کردن شبکه می باشد غافل شد. مخصوصا به علت ماهیت رفتاری خاص خازن که در هارمونیک ها امپدانس کمی از خود نشان می دهد و مسیری ایده آل برای جاری شدن جریان های هارمونیکی فراهم می کند و در مواردی با به وجود آوردن رزونانس، جریان و یا ولتاژ های هارمونیکی را چندین برابر تقویت نموده و آسیب هایی جدی به تجهیزات وارد می سازد. بنابراین باید نقش بارهای غیر خطی را در مکان یابی خازن ها کاملا جدی در نظر گرفت و هرگونه غفلت از این امر ممکن است به مکان یابی اشتباه بیانجامد. منابع تولید پراکنده معمولا توسط ادوات الکترونیک قدرت (کانورتر) به سیستم های توزیع متصل می گردند. این کانورترها را طوری طراحی می کنند که خروجی منبع یک موج تقریبا سینوسی کامل باشد و موجب انتشار هارمونیک در سیستم نگردد. اما امروزه سعی می کنند از ویژگی تولید هارمونیک این کانورترها استفاده بهینه ای کنند. به این صورت که با طراحی سیستمی کنترلی در این کانورترها، هارمونیک هایی را تولید کنند که با هارمونیک های بار از لحاظ دامنه برابر اما از لحاظ زاویه ۱۸۰ درجه اختلاف داشته باشند و به این ترتیب موجب حذف هارمونیک ها گردند. در این پایان نامه از الگوریتم اصلاح شده PSO که DPSO نام دارد و مناسب مسایل گسسته می باشد برای مکان یابی بهینه خازن ها و منابع تولید پراکنده استفاده شده است. از سیستم ۳۳ باس IEEE به عنوان سیستم نمونه استفاده شده است و مکان خازن ها و منابع تولید پراکنده به گونه ای تعیین می شوند تا تلفات و اعوجاجات هارمونیکی سیستم کاهش یافته و پروفایل ولتاژ در سیستم بهبود یابد. در این پایان نامه از ۴ حالت استفاده شده است. در ۲ حالت فقط بارهای خطی در نظر گرفته شده است

و در ۲ حالت علاوه بر بارهای خطی بارهای غیر خطی نیز در نظر گرفته شده است. در این پایان نامه از سیستمی در اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه استفاده شده است که به سیستم تزریق هارمونیک معروف بوده و موجب تعدیل هارمونیک در شبکه توزیع می شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه..... **۱**

فصل دوم: تولیدات پراکنده و خازن ها

۲-۱- تعریف منابع تولید پراکنده..... ۶

۲-۲- DG و مشکلات حفاظتی..... ۷

۲-۲-۱- عملکرد بی مورد رله..... ۷

۲-۲-۲- کور شدن حفاطت..... ۸

۲-۲-۳- خطای ریکلوزر..... ۹

۲-۲-۴- جزیره ای شدن..... ۱۰

۲-۳- تلفات..... ۱۱

۲-۳-۱- ضرورت مساله مکان یابی..... ۱۱

۲-۴- قابلیت اطمینان..... ۱۳

۲-۴-۱- جزیره ای شدن..... ۱۴

۲-۵- استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در اتصال منابع تولید پراکنده..... ۱۴

۲-۵-۱- نوسانات ولتاژ..... ۱۵

۲-۵-۲- رزونانس..... ۱۸

۲-۵-۳- روش تزریق هارمونیک..... ۱۹

۲-۶- خازن..... ۲۷

۲-۷- اولویت کاهش تلفات شبکه های فشار ضعیف نسبت به سطوح ولتاژی دیگر.....۲۸

۲-۸- انواع جبران سازی های خازنی.....۲۸

۲-۸-۱- جبران سازی انفرادی.....۲۸

۲-۸-۲- جبران سازی گروهی.....۲۹

۲-۸-۳- جبران سازی مرکزی.....۳۰

۲-۹- اثر نحوه اتصال بر مشخصات مجموعه.....۳۱

فصل سوم: مروری بر کارهای انجام شده

۳-۱- مقدمه ۳۵

۳-۲- چند نمونه از کارهای انجام شده در زمینه بهینه یابی منابع تولید پراکنده و خازن ها.....۳۶

فصل چهارم: الگوریتم تجمع ذرات

۴-۱- مقدمه.....۳۹

۴-۲-الگوریتمPSO.....۴۱

فصل پنجم: شبیه سازی

۵-۱- مقدمه.....۴۴

۵-۲- تشریح مساله.....۴۵

۵-۳- تابع هدف.....۴۶

۵-۴- تعیین شاخص های مختلف تابع هدف.....۴۷

۵-۴-۱- شاخص ولتاژ $(VD-I)$ ۴۷

۵-۴-۲- شاخص تلفات $(PL\text{-}I, QL\text{-}I)$ ۴۷

۵-۴-۳- شاخص اعوجاج $(THD-I)$.....۴۷

۵-۴-۴- شاخص تشدید *(RES-I)*..... ۴۸

۵-۵- حالت الف..... ۵۲

۵-۶- حالت ب..... ۵۶

۵-۷- حالت ج..... ۶۰

۵-۸- حالت د..... ۶۲

فصل ششم:نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری..... ۷۱

۶-۲- ارایه پیشنهادات..... ۷۳

مراجع..... ۷۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱- فیدر نمونه..... ۸

شکل۲-۲- فیدر نمونه..... ۹

شکل۲-۳- فیدر نمونه..... ۱۰

شکل۲-۴- شبکه شعاعی..... ۱۱

شکل۲-۵- فیدر شعاعی با منبع ۴۰۰ کیلوواتی در باس B..... ۱۲

شکل۲-۶- فیدر شعاعی با منبع ۶۰۰ کیلوواتی در باس B..... ۱۲

شکل ۲-۷- فیدر شعاعی با منبع ۶۰۰ کیلوواتی در باس C..... ۱۳

شکل۲-۸- رفتار امپدانس منفی بارهای CPL..... ۱۶

شکل۲-۹- مدار ساده شامل یک بار CPL..... ۱۶

شکل۲-۱۰- منحنی ولتاژ-جریان منبع ولتاژ و بارCPL..... ۱۷

شکل۲-۱۱- منحنی ولتاژ-جریان بار مقاومتی و منبع ولتاژ..... ۱۸

شکل۲-۱۲- فصل مشترک منبع تولید پراکنده با سیستم شامل بارهای خطی و غیر خطی..... ۲۰

شکل۲-۱۳- جبران سازی افت ولتاژ هارمونیکی توسط جبران ساز سری..... ۲۱

شکل۲-۱۴- نمای کلی سیستم متصل به منبع تولید پراکنده مجهز به سیستم تزریق هارمونیک..... ۲۳

شکل۲-۱۵- سیستم کنترلی NSPWM..... ۲۳

شکل۲-۱۶- شکل موج های بخش های مختلف یک سیستم فاقد سیستم کنترلی *NSPWM*..... ۲۶

شکل۲-۱۷- شکل موج بخش های مختلف سیستم مجهز به *NSPWM*..... ۲۶..

شکل۲-۱۸- اتصال ستاره ومثلث خازن ها..... ۳۲

شکل۵-۲- سیستم ۳۳ باس..... ۵۰

شکل۵-۳- ساختار هر ذره در الگوریتم PSO..... ۵۴

شکل۵-۴- مقایسه ولتاژ باس ها قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ۵۶

شکل ۵-۵- مقایسه اعوجاج ولتاژ باس ها قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ۵۶

شکل۵-۶- ولتاژ سیستم قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ..... ۵۹

شکل ۵-۷- مقایسه اعوجاج ولتاژ باس ها قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ۶۰

شکل۵-۸- ولتاژ سیستم قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ..... ۶۲

شکل۵-۹- ولتاژ سیستم قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ۶۴

شکل۵-۱۰- مقایسه اعوجاج ولتاژ باس ها قبل و بعد از نصب تجهیزات..... ۶۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱- مقایسه دامنه هارمونیک های مختلف *PCC* با و بدون حضور سیستم *NSPWM*.....۲۷

جدول۲-۲- مقایسه توان های راکتیو تولیدی خازن در اتصالات ستاره ومثلث.....۳۲

جدول۵-۱- اندازه شاخص های وزن.....۴۹

جدول۵-۲- طیف هارمونیکی کانورترهای شش پالسه.....۵۰

جدول۵-۳- مقدار بانک های خازنی.....۵۱

جدول۵-۴- مقدار منابع تولید پراکنده.....۵۱

جدول۵-۵- ولتاژ و اعوجاج باس ها قبل از نصب سیستم.....۵۲

جدول۵-۶- پارامترهای مختلف الگوریتم.....۵۳

جدول۵-۷- مکان ها ومقادیر خازن ها و منابع تولید پراکنده.....۵۴

جدول۵-۸- ولتاژ و THD باس ها بعد از نصب خازن ها و منابع تولید پراکنده.....۵۴

جدول۵-۹- مقایسه پارامترهای مختلف سیستم قبل از نصب و بعد از نصب.....۵۵

جدول۵-۱۰-ولتاژ و THD باس ها قبل از نصب.....۵۷

جدول۵-۱۱- مکان و اندازه منابع تولید پراکنده و خازن.....۵۸

جدول۵-۱۲- ولتاژ و THD باس ها بعد از نصب منابع تولید پراکنده و خازن.....۵۸

جدول۵-۱۳- مقایسه پارامترهای مختلف سیستم قبل از نصب و بعد از نصب.....۵۹

جدول۵-۱۴- مکان و اندازه منابع تولید پراکنده و خازن.....۶۱

جدول۵-۱۵- ولتاژ و THD باس ها بعد از نصب منابع تولید پراکنده و خازن.....۶۱

جدول۵-۱۶- مقایسه پارامترهای مختلف سیستم قبل از نصب و بعد از نصب.....۶۲

جدول۵-۱۷- مکان و اندازه منابع تولید پراکنده و خازن.....۶۳

جدول۵-۱۸- ولتاژ و THD باس ها بعد از نصب منابع تولید پراکنده و خازن.....۶۳

جدول۵-۱۹- مقایسه پارامترهای مختلف سیستم قبل از نصب و بعد از نصب.....۶۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

سیستم های توزیع از طریق خطوط انتقال به نیروگاه های تولید انرژی متصل می گردند. از آن جایی که سطح ولتاژ در سیستم های توزیع در مقایسه با سطح ولتاژ در سیستم های انتقال کمتر و جریان آن بیشتر می باشد، تلفات اهمی در سیستم های توزیع به مراتب بیشتر از سیستم های انتقال می باشد. به همین دلیل بیشتر تلاش هایی که در زمینه کاهش تلفات در سیستم انجام می گیرد مربوط به بخش توزیع می باشد. بیشتر مصرف کنندگان و تجهیزات متصل به سیستم توزیع از نوع اهمی سلفی می باشند. بارهای سلفی نیاز به توان راکتیو دارند و این جریان راکتیو از طریق خطوط انتقال از نیروگاه به سمت بار شارش می یابد. سلف ها دائما در حال شارژ و دشارژ می باشند. بنابر این جریان راکتیو دائما بین بار و نیروگاه رد و بدل می شود و بخشی از ظرفیت خط انتقال در اشغال جریان راکتیو قرار می گیرد. خازن ها دارای جریان پیش فاز هستند و زاویه جریان خازن نسبت به ولتاژ ۹۰ درجه جلوتر می باشد. اما سلف ها دارای جریان پس فاز می باشند و زاویه جریان نسبت به ولتاژ ۹۰ درجه عقب تر می باشد. در نتیجه جریان های خازن و سلف ۱۸۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند. اغلب خازن را به عنوان تولید کننده توان راکتیو می دانیم. اما واقعیت این است که خازن نیز توان راکتیو مصرف می کند. در یک زمان توان راکتیو را در خود ذخیره می کند و در زمانی دیگر این انرژی ذخیره شده را به سیستم پس می دهد. نکته جالب توجه اینجاست که به علت اختلاف زاویه ای ۱۸۰ درجه ای جریان سلف و خازن، وقتی که خازن در حال ذخیره سازی انرژی (شارژ) است، سلف در حال پس دادن انرژی ذخیره شده خود می باشد و وقتی خازن در حال آزاد سازی انرژی (دشارژ) است، سلف در حال ذخیره سازی این انرژی می باشد. بنابر این وقتی سلف و خازن کنار یکدیگر قرار گیرند انرژی راکتیو مورد نیاز به جای آنکه بین بار و منبع تولید (نیروگاه) دائما در حال رفت و برگشت باشد، بین خارن و سلف رد و بدل می گردد و فقط یک بار برای شارژ شدن خازن نیاز است که توان راکتیو از خط کشیده شود و بعد از آن، این توان راکتیو بین خازن و سلف ردو بدل می گردد و ظرفیت خط که بخشی از آن در اشغال جریان راکتیو بود آزاد می گردد.[۱] علاوه بر آزاد شدن ظرفیت خط انتقال، اندازه جریان عبوری از آن نیز کاهش یافته که این امر موجب کاهش تلفات در سیستم می گردد و با کاهش تلفات

افت ولتاژ نیز کمتر شده و به این ترتیب خازن با جبران سازی جریان راکتیو موجب تثبیت ولتاژ در سیستم می شود. همچنین استفاده از منابع تولید پراکنده[1] یکی دیگر از روش های موثر برای حل مشکلاتی نظیر تلفات بالا، قابلیت اطمینان پایین و غیره می باشد. سیستم های تولید پراکنده پدیده نو ظهوری نیستند. قبل از ورود جریان های AC و توربین های بخار عظیم، تمامی نیازهای الکتریکی وسایل خنک کننده و گرم کننده و روشنایی، توسط منابع تولید انرژی الکتریکی در محل مصرف کننده ها تامین می گردید. پیشرفت های فنی، مسایل محیطی، سوخت های ارزان قیمت و گسترش الکتریسیته در جامعه سبب شد تا این منابع تولید الکتریسیته کوچک به سمت نیروگاه های متمرکز با ظرفیت بالا که در جایی دور از مرکز شهرها نصب می گردند سوق پیدا کنند. اولین نیروگاه های احداث شده در دنیا از لحاظ نوع منبع به سه گروه عمده تقسم می‌شوند: آبی (استفاده از انرژی آب جاری رودخانه‌ها یا آب ذخیره‌شده در مخزن سدها)، حرارتی (استفاده از انرژی سوخت‌ها نظیر نفت، گاز یا ذغال سنگ) وهسته‌ای (استفاده از انرژی اتمی).

نیروگاه های عظیم با توان بالا و از هر یک از انواع فوق نیاز به اختصاص مکانی مناسب برای ساخت دارند که یافتن این مکان، مشکلاتی را به همراه دارد. به عنوان مثال نیروگاه های آبی باید در محدوده جغرافیایی مشخصی بر سر راه رودخانه های با دبی آب بالا ساخته شوند و یا اینکه نیروگاه های اتمی در محلی حفاظت شده و دور از مراکز تجمع با امنیت بالا احداث شوند. رساندن سوخت به نیروگاه های حرارتی نیز هزینه هایی را بر روند کلی تولید برق تحمیل می‌کند که نزدیکی آنها به محل تأمین سوخت این هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر برای رساندن انرژی الکتریکی به مصرف‌کنندگان، طراحی و احداث شبکه های حجیم انتقال و توزیع برق ضروری است که در مناطقی با جمعیت پراکنده و غیرمتمرکز سرمایه‌گذاری قابل توجهی را می‌طلبد و برق تأمین شده در محل مصرف را به برقی پرهزینه و گران تبدیل می‌کند. از شروع انقلاب صنعتی مصرف انرژی در جهان به طور چشمگیری افزایش یافت و ظرف مدت کوتاهی استفاده از منابع سوخت فسیلی به اوج خود رسید و این منابع خصوصا نفت و گاز کم کم رو به کاهش یافت که این امر باعث افزایش قیمت این سوخت ها گردید. چون در نیروگاه ها از سوخت های

[1] Distributed Generation(DG)

فسیلی برای تولید برق استفاده می شود، با افزایش قیمت این سوخت ها، قیمت برق نیز افزایش یافت و هزینه بسیاری از کالاهایی که صنایع تولیدی آنها بر پایه برق استوار بود نیز افزایش یافت. این امر باعث گردید تا فکر استفاده از منابع انرژی کم هزینه تر مانند انرژی های تجدید پذیر همچون آب، باد، خورشید و... برای تولید برق رونق گیرد. بالا بردن راندمان با استفاده از انرژی های نو همچون باد، خورشید و نیز انرژی بازیافت شده از سیستم های ترکیب هم زمان حرارت و انرژی[1] یکی از دلایل اصلی مطرح شدن DG بود. در سیستم های CHP بیشتر گرمای اضافی به جای هدر رفتن در مقاصد مفید مورد استفاده قرار می گیرد. مثلا در سیستم های گرمایشی علاوه برانرژی الکتریکی به انرژی گرمایی نیز نیاز می باشد که در سیستم های CHP از این گرما می توان استفاده کرد. بنابر این راندمان سیستم بالا می رود و هزینه ها کاهش می یابد. به طور کلی دلایل اصلی گرایش به سمت تولید پراکنده را می توان به صورت عوامل زیر بیان کرد.

۱- محدودیت های محیطی و جغرافیایی

۲- مسایل تکنیکی شبکه همچون پایداری، قابلیت اطمینان و ...

۳- روند رو به رشد بار در شبکه توزیع و نیاز به احداث نیروگاه های جدید و توسعه شبکه

۴- گرایش به سمت انرژی های پاک و سازگار با محیط زیست

۵- قطع وابستگی به سوخت های فسیلی به دلیل نوسانات قیمت های سوخت

نکته ای که باید به آن اشاره نمود این است که دستیابی به این ویژگی های مثبت به شدت وابسته به مکان و اندازه نصب این تجهیزات می باشد. تا کنون از روش های مختلفی برای بهینه یابی این ادوات در سیستم های توزیع استفاده شده است که در فصل های آتی به آن پرداخته می شود. ادامه این پایان نامه به این صورت تنظیم شده است.

[1] CHP(combined heat and power)

در فصل دوم آثار مثبت و منفی به کارگیری خازن ها و منابع تولید پراکنده در سیستم مورد بحث قرار می گیرد. شرح مختصری در مورد کارهایی که تا کنون در زمینه بهینه یابی منابع تولید پراکنده و خازن ها انجام شده است در فصل سوم ارائه می گردد و اهدافی که در این پایان نامه به دنبال آن هستیم مشخص می گردد. در فصل چهارم، در مورد روش بهینه یابی استفاده شده در این پایان نامه بحث می شود. در فصل پنجم، سیستم مورد مطالعه، تابع هدف، محدودیت ها و غیره که در این پایان نامه از آن ها استفاده شده است به طور کامل شرح داده شده و شبیه سازی های لازم انجام می گیرد و در نهایت نتایج به دست آمده از کارهای انجام شده در این پایان نامه در فصل ششم گردآوری می شود.

فصل دوم

تولیدات پراکنده

و

خازن ها

۲-۱- تعریف منابع تولید پراکنده

منابع تولید پراکنده در مراجع، گزارشها، نشریات و مقالات مختلف با اصطلاح‌های‌گوناگونی معرفی شده است، که از جمله آن می‌توان به این موارد اشاره کرد.[۲]

Embedded Generation

Dispersed Generation

Distributed Generation

Distributed Resources

ولی تاکنون تعریف جامع و کاملی برای‌تولیدات پراکنده ارائه نشده است.

در زیر به ذکر چند نمونه از تعریف هایی که در زمینه DG ارائه گردیده است می پردازیم.

۱- موسسه تحقیقات گاز[۱] واژه DG را برای ژنراتورهایی با توان نامی بین ۲۵کیلو وات تا ۲۵ مگاوات به کار می برد.

۲- IEEE ، تولید برق توسط وسایلی را که به اندازه کافی از نیروگاه‌های مرکزی کوچکتر بوده و قابل نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده معرفی کرده است.

۳- IEA، واحدهای تولید پراکنده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع که توان را به‌طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می کنند را DG معرفی می‌کند.

از جمله مزایای استفاده از DG از دید شبکه توزیع می توان به موارد زیر اشاره کرد.[۳]

۱- به تعویق انداختن احداث خطوط جدید

DG به عنوان یک منبع کمکی می تواند نیاز شبکه به انرژی بیشتر را تامین نماید و در نتیجه نیاز به احداث خطوط جدید را به تعویق بیاندازد.

[۱] Gas research institute