



دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی - گروه برق

پایان نامه کارشناسی رشته مهندسی برق - قدرت

شبکه های هوشمند

استاد راهنما : دکتر رضا نوروزیان

نگارش : سید مهدی رفیعی

علی باقری

تیرماه ۱۳۹۰

پایان نامه کارشناسی

تقدیر و سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که

از زحمات بی‌دریغ، تلاش بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند

استاد گرانقدر

جناب آقای دکتر رضا نوروزیان

در راستای انجام این پایان‌نامه تشکر و قدردانی نمایند

تقدیم به

پدران و مادران مهربانان

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین

روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در

پناهمان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

فهرست :

فصل اول : مقدمه ۱

۱.۱ نسل بعدی شبکه تولید و توزیع برق ؛ تا حد زیادی شبیه به اینترنت!..... ۱

۲.۱ شبکه هوشمند دقیقاً چیست؟ ۲

۳.۱ هوشمندی چه معنایی برای مصرف کنندگی مسکونی یا صنعتی خواهد داشت؟..... ۲

۴.۱ چرا صنایع برق می خواهند به سمت شبکه ی هوشمند حرکت کنند؟..... ۳

۵.۱ پردازش سیگنال دیجیتال چگونه کمک می کند تا یک شبکه نیروی هوشمند ساخت؟..... ۳

۶.۱ کیفیت برق در شبکه های هوشمند ۵

۷.۱ منابع انرژی توزیعی در شبکه های هوشمند..... ۶

فصل دوم : ضرورت استفاده از شبکه های هوشمند ۸

۱.۲ معایب شبکه های موجود..... ۸

۲.۲ مشکلات و محدودیت های موجود در شبکه ۱۰

۳.۲ چالش توسعه پایدار ۱۲

۴.۲ بحران انرژی و آب و هوا ۱۱

۵.۲ چرا شبکه های هوشمند ؟ ۱۴

۶.۲ اولین شهرها با شبکه الکتریکی هوشمند..... ۱۷

فصل سوم : ارزیابی اقتصادی شبکه های هوشمند ۱۹

۱.۳ میزان سرمایه گذاری ۲۰

۲.۳ بهینه سازی سرمایه ۲۱

۳.۳ منافع شبکه توزیع هوشمند برای مشترکین ۲۱

۴.۳ انگیزه های اقتصادی در پیاده سازی شبکه های الکتریکی هوشمند ۲۱

۵.۳ هزینه های امنیت سایبری شبکه هوشمند ۲۳

۶.۳ سیستم های ذخیره سازی و تولید غیرمتمرکز ۲۳

فصل چهارم : مبانی ساختاری شبکه های هوشمند ۲۵

۱.۴ مفهوم شبکه انتقال انرژی الکتریکی ۲۵

۲.۴ قدرت و آسیب پذیری در شبکه های هوشمند ۲۶

۳.۴ خلاصه نیازمندی های لازم تغییرات بنیادی ۳۲

۴.۴ ویژگیهای شبکه هوشمند ۳۵

۵.۴ نیاز مبرم به ذخیره سازی برق در ابعاد وسیع ۳۷

۶.۴ مزایای شبکه الکتریکی هوشمند ۳۸

۷.۴ کارکرد های شبکه هوشمند ۴۱

۸.۴ پیاده سازی شبکه ی هوشمند ۴۳

۹.۴ گام های لازم برای ایجاد تحول در شبکه برق ۴۴

۱۰.۴ شبکه های کوچک DC برای سیستم توزیع ۵۴

فصل پنجم : عملکرد موازی سیستم های ذخیره انرژی الکتریکی با منابع پراکنده..... ۵۵

۱.۵ معرفی ۵۶

۲.۵ بازار برق اسپانیا ۵۷

۳.۵ فن آوری های ذخیره باتری ۵۷

۴.۵ سناریوی مطالعه ۵۷

۵.۵ مدل کردن سیستم ۵۸

۶.۵ راهبردهای کنترل ۵۹

۷.۵ شبیه سازی ۶۰

فصل ششم : کیفیت توان و سازگاری مغناطیسی شبکه هوشمند ۶۵

۱.۶ توانمند سازی منابع توزیع شده برای اتصال به شبکه های محلی ۶۶

۲.۶ ویژگی های اساسی یک سیستم ذخیره ۶۸

۳.۶ سیستم های ذخیره کننده ۶۹

مدل کردن و شبیه سازی ۷۲

عملکرد مفرد جبران کننده ۷۳

عملکرد با ژنراتور سنکرون ۷۴

۴.۶ کیفیت ولتاژ و EMC در شبکه هوشمند ۸۰

۵.۶ سازگاری الکترومغناطیسی در سیستم های قدرت ۸۲

۶.۶ شبکه هوشمند ، EMC و کیفیت برق ۸۴

فصل هفتم : زمینه های توسعه و گسترش شبکه های هوشمند ۸۶

۱.۷ استفاده از انرژی های تجدیدپذیر جهت حل مشکلات انرژی و تغییرات آب و هوا ۸۷

۲.۷ زمینه های توسعه و گسترش سیستم های ذخیره انرژی ۹۰

سلول های سوختی ۹۰

چرخ های گردان ۹۲

ابرخازن ها ۹۳

ذخیره ساز حرارتی برق ۹۴

سیستم هوای فشرده ۹۴

ذخیره کننده های مغناطیسی (ابرساناها) ۹۶

ذخیره ای تلمبه ای ۱۰۰

۳.۷ مقایسه ای میان سیستم های ذخیره انرژی ۱۰۱

۴.۷ زمینه های توسعه و گسترش انرژی های نو و تجدید پذیر ۱۰۳

انرژی بادی ۱۰۳

محدودیت ها ۱۰۵

آماری از بهره برداری برق بادی ۱۰۶

برق بادی در مقیاس کوچک ۱۰۸

سیستم های الکتریکی خورشیدی ۱۰۸

تولید همزمان برق و حرارت ۱۱۱

۵.۷ برق و حمل و نقل ۱۱۳

۶.۷ خطوط ولتاژ بالای جریان مستقیم ۱۱۳

فصل اول :

مقدمه

- ۱-۱- نسل بعدی شبکه تولید و توزیع برق ؛ تا حد زیادی شبیه به اینترنت!
- ۱-۲- شبکه هوشمند دقیقا چیست؟
- ۱-۳- این هوشمندی در کل چه معنایی برای مصرف کننده ی مسکونی یا صنعتی خواهد داشت؟
- ۱-۴- چرا صنایع برق می خواهند به سمت شبکه ی هوشمند حرکت کنند؟
- ۱-۵- زمینه پردازی سیگنال دیجیتال چگونه کمک می کند تا یک شبکه نیروی هوشمند بسازید؟

۱-۱- نسل بعدی شبکه تولید و توزیع برق ؛ تا حد زیادی شبیه به اینترنت!

امروزه صنعت برق ، نه تنها با فراهم کردن منابع ، جهت برآورده سازی انرژی مورد تقاضا صنایع مواجه هستند ، بلکه از طرفی حداقل سازی و کاهش اثراتی که بشر بر روی محیط در ارتباط با تولید این انرژی دارد نیز یکی دیگر از موارد مورد توجه می باشد و Smart Grid راه حلی برای این چالش است که سود و بازدهی بسیار زیادی دارد . برای سمت مصرف کننده Smart Grid بدین معنی است که آنها می توانند انرژی مصرف خود مدیریت هوشمندانه انجام دهند تا در ساعات پیک که قیمت انرژی گران می باشد ، هزینه کمتری بپردازند و برای کارشناسان محیط زیست ، این شبکه به معنی استفاده از تکنولوژی جهت کمک به حل تغییرات مضر آب و هوایی و اجتناب از تولید گازهای کربن بیش از اندازه می باشد و برای همکاران صنعت برق پیک سازی و تصمیم گیری هوشمندانه و ارائه اطلاعات دقیق از وضعیت شبکه است .

آینده توزیع نیروی برق در جهان را شبکه های هوشمند تشکیل خواهند داد . پیشرفت تکنولوژی و رشد سریع بار باعث شده تا این اتفاق بسیار زودتر از آنچه انتظار می رفت به وقوع بپیوندد . بسیاری از کشورهای

جهان اعم از کشورهای پیشرفته صنعتی و کشورهای در حال توسعه و حتی کشورهای جهان سوم برنامه ریزی و اجرای شبکه های هوشمند را شروع و یا در دستور کار خود قرار داده اند . در این مقاله به تشریح مزایای انرژی های تجدید پذیر و معایب شبکه های موجود در بهره برداری از آن منابع ، با نگرش اقتصادی پرداخته شده است و راه حل این مشکل مورد بررسی قرار گرفته شده است. در حضور شبکه های هوشمند الکتریکی بهره برداری از منابع تجدید پذیر و بهره وری آنها بهبود خواهد یافت . در این مقاله نشان داده شده است که استفاده از شبکه های هوشمند جهت بهره برداری موثر از منابع تجدید پذیر راهی برای رسیدن به هدف کاهش ۵۰ درصدی انتشارات گازهای گلخانه ای تا سال ۲۰۵۰ می باشد .

۱-۲- شبکه هوشمند دقیقا چیست؟

در شبکه کنونی ، یک زیر ساخت توزیع وجود دارد که شامل ایستگاه های تولید نیرو ، خطوط انتقال و لتاژ بالا برای حمل حجم بالایی از توان به سمت نقاط تحویل، ایستگاه های فرعی برای کاهش سطح و لتاژ ، مدارات تغذیه کننده ، و در آخر ترانسفورماتورهای توزیع برای کاهش بیشتر و لتاژ و مناسب استفاده در توزیع ، می باشد . هم اکنون ، شبکه برق احتمالا در مورد زمان قطع برق چیزی متوجه نمی شود مگر پس از اینکه تعداد کافی از کاربران اطلاع دهند . یک شبکه برق هوشمند ابزارآلاتی به دستگاه های شبکه می افزاید ، به ایستگاه های فرعی، و به خطوط انتقال، و حجم انبوهی از داده ها را جمع آوری می کند و سپس این داده ها را پردازش کرده، قادر خواهد بود تا بصورت یک شبکه خودکار عمل کند .

۱-۳- این هوشمندی در کل چه معنایی برای مصرف کننده ی مسکونی یا صنعتی خواهد داشت؟

ابعاد مختلفی در مورد منافع وجود چنین شبکه هوشمندی می توان در نظر گرفت که برخی تاثیر مستقیم و برخی اثر غیرمستقیم دارند . می توان در مورد تاثیرات مشتری به موارد زیر اشاره کرد : آیا شما مایلید که بدانید چه زمانی برق شما قیمت بالاتری و چه زمانی قیمت پائین تری دارد و بتوانید استفاده ی خود را بر این اساس بهینه کنید؟ آیا مایلید تا بدانید که ، در طول ساعات مشخصی از روز، برق شما گران تر است؟ آیا دوست دارید که شبکه شما با شما تماس بگیرد و اطلاع دهد که برق در خانه شما قطع است و این امکان را

به شما بدهد تا گام های اولیه را انجام دهید؟ آیا تمایل دارید که حتی یک قطعی برق را تجربه نکنید چرا که شبکه، پیش از اتفاق افتادن این امر، راهی برای مدیریت آن دارد؟ همه ی این ها با یک شبکه ی هوشمند در دسترس خواهند بود.

۱-۴- چرا صنایع برق می خواهند به سمت شبکه ی هوشمند حرکت کنند؟

هنگامی که سنسورهای توزیع شده به سیستم انتقال و توزیع اضافه می شوند، شبکه می تواند بطور خودکار تمام آن داده ها را به منظور اهداف کنترلی، پایش دارائی ها، پایش کیفیت برق، و برای هوشمندی قطعی برق مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. علاوه بر این، ایجاد اعتماد در مشتری نسبت به هشدار های قطعی برق از دیگر اهداف است؛ شبکه دقیقاً می داند که قطع برق در کجا خواهد بود، چه تجهیزاتی تحت تاثیر قرار خواهد گرفت، و علت اصلی چیست و بطور خودکار گروه تعمیر مورد نیاز را ارسال خواهد کرد. البته، حتی پیش از اینکه گروه تعمیر شروع به کار کنند، شما مایلید که این نقطه ی خطا را بوسیله سوئیچینگ خودکار ایزوله کنید و تا حد امکان، حداکثر مصرف کنندگان را از طریق دور زدن نقطه مشکل ساز در شبکه نگه دارید. شبکه هوشمند قادر به انجام تمام این کارها است.

۱-۵- زمینه پردازش سیگنال دیجیتال چگونه کمک می کند تا یک شبکه نیروی هوشمند بسازید؟

پارامترهای زیادی وجود دارند که شما باید از داده های waveform خام استخراج کنید. سیستم توزیع قدرت یک سیستم سه فاز با اتصالات پیچیده می باشد. waveform اسمی این سیستم باید بصورت موج سینوسی ساده باشد اما در عمل اینطور نیست و باید پردازش سیگنال پیچیده ای انجام داد تنها برای اینکه پارامترهایی را استخراج کنید که به مشخص می کنند چه اتفاقاتی در حال وقوع است. از طریق پردازش سیگنال دیجیتال، ما اطلاعاتی را بدست می آوریم که به ما جریان توان اکتیو و راکتیو را نشان می دهد که موجب آشکارسازی و مکان یابی مشکلات موجود در نقاط خطا می شود. می توان آن داده ها را در سرتاسر چندین سنسور و چندین خط با هم تلفیق کرد.

برای مثال، یک کلید^۱ معمولی می تواند چندین بار قطع و وصل شود تا ببیند که آیا خطایی به سمت "خود ترمیمی" پیش می رود یا نه. فرض کنیم شاخه ای خراب شده و دو خط را از شبکه قطع می کند. این امر ممکن است موقتی بوده و رفع شود؛ شما نمی خواهید که به خاطر یک خطای موقت بارها بی برق شوند بنابراین، کلید مدار را باز می کند، منتظر می ماند و دوباره آن را می بندد و بررسی می کند که آیا خطا رفع شده یا نه. این فرآیند می تواند چندین بار تکرار شود و هر بار کلید بسته می شود، جریان زیادی را از کلید، ترانسفورماتور و خطوط عبور می دهد که باعث ایجاد تهدید جدی برای تجهیزات می گردد. اگر شما بتوانید از روی شکل موج توان تشخیص دهید که این مشکل، یک نقص و خطای ثابت و پایدار خواهد بود،

دیگر نیازی نیست که سیکل دوباره بستن کلید را انجام دهید. آگاهی از عملکرد شبکه قدرت تماما با اعدادی آغاز می شود که از طریق پردازش سیگنال دیجیتال بدست می آید. پردازش سیگنال دیجیتال در قلب یک شبکه قدرت جای می گیرد و درک پیشرفته سیگنال از طریق تجزیه و تحلیل ها، داده های سیگنالی را به اطلاعاتی مبدل می سازد که بر اساس آنها می توان به خوبی عمل کرد، چه بوسیله ی سیستم های خودکار و چه بوسیله ی افراد.

در نهایت، شبکه ی هوشمند امکان اندازه گیری و حفاظت از کیفیت و اطمینان پذیری شبکه قدرت، انجام کنترل های شبکه ای پیچیده، ماکزیمم سازی بکارگیری امکانات موجود، پاسخگوئی سریع، و در اغلب موارد خودکار، به مشکلات شبکه را مهیا می سازد.

ایده ساخت شبکه ای هوشمند که بتواند هوشمندانه جریان برق را هدایت کند، در حال پیوستن به واقعیت است. در واقع شبکه های الکتریکی کشورها نیازمند ترمیم و بهبودی عظیم هستند تا توانایی انطباق با منابع متعدد انرژی پاک را که عملکرد آنها ارتباط مستقیمی با شرایط زیست محیطی دارد، به دست آورند.

شبکه هوشمند الکتریکی^۲ می تواند اوج مصرف را در طول روز تعیین کرده و خود را با منابع مختلف انرژی نیاز کاربران انطباق دهد. چنین شبکه ای از حسگرها و رایانه های متعددی تشکیل خواهد شد که مصرف کنندگان در این شبکه به راحتی قادر به کنترل میزان مصرف خود خواهند بود. لذا با توجه به نیاز مبرم به

¹ - circuit breaker

² - Smart Grid

انرژی ، از دستگاه‌های اندازه گیری با تکنولوژی روز که اصطلاحاً هوشمند نامیده می شود گامی موثر و کارا در جهت کاهش مصرف انرژی ، تلفات شبکه توزیع و مدیریت مصرف خواهد بود . در این مقاله با نگاهی به مدرن سازی^۱ در صنعت برق و لزوم توجه به این مسئله ، قابلیت‌های شبکه هوشمند بیان شده است.

شبکه هوشمند به عنوان ابزاری برای تسهیل استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر سازگار با محیط زیست (انرژی های تجدیدپذیر) و کاربرد مؤثر برق در نظر گرفته می شود . مثلاً شبکه‌های مدرن الکتریکی می توانند انرژی برق خورشیدی یا بادی را با خودروهای برق مرتبط سازند .

یکی از پیامدهای شبکه هوشمند افزایش شدید کاربرد الکترونیک در سیستم قدرت است . این امر کارکرد رضایت بخش تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را برای دستیابی به شبکه هوشمند قدرتمند حیاتی می سازد. این مقاله بر کارکرد رضایت بخش تجهیزات برای شبکه هوشمند با توجه به تداخل های الکترومغناطیسی یعنی EMC ، سازگاری الکترومغناطیسی که کیفیت برق را در برمی گیرد تمرکز دارد. در نهایت چارچوبی برای تقسیم مسئولیت ها بین اپراتورهای شبکه و طرف های مسئول اتصال تجهیزات پیشنهاد می گردد.

نوآوری های فنی که در حال ظهور هستند می توانند در ۱۰ سال آینده سطح بنی سابقه ای از یکپارچگی سیستم برق را امکان پذیر نمایند . این تحول به سیستم توزیع اجازه می دهد تا با توجه به توسعه رقابت در مقیاس خرده فروشی ، به یک تامین کننده عمومی و فراگیر تبدیل شود .

رسیدن به این مقصد نیاز به سرعت بخشیدن به سه مسیر توسعه فن آوری می باشد . اولین مسیر ، اتوماسیون توزیع می باشد . این فن آوری براساس پیشرفت های حاصل در تولید سنسورها و نرم افزارهای کنترل شبکه ، برای بهبود توانایی های تامین کنندگان برق جهت آشکار سازی و اصلاح اغتشاشات سیستم به صورت هرچه سریع تر ایجاد شده است . استفاده از این فن آوری کاهش قطع برق مشتری و مشکلات کیفیت توان را سبب خواهد گردید . دومین مسیر توسعه فن آوری برق بر مبنای نیاز مشتری است ، که خانواده ای از کنترل کننده های الکترونیک قدرت برای استفاده در سیستمهای توزیع می باشد . این وسایل و سیستمها زمینه کنترل بلادرنگ شبکه ، محافظت از وسایل حساس مشتریان در مقابل اغتشاشات شبکه و

¹ - Modernization

محافظت از فیدرهای توزیع در برابر اغتشاشات ناشی از وسایل و تجهیزات مشتریان برق را فراهم می نمایند .

این سیستمها ، کیفیت برق تحویلی به مشتریانی که نیازهای خاصی دارند را افزایش می دهد .

مسیر سوم توسعه فن آوری های تولید و ذخیره سازی برای کاربردهای غیرمتمرکز می باشد . این وسایل ،

منبع تولید برق را به محل مصرف نزدیک تر کرده و از این رو باعث افزایش کیفیت و قابلیت اطمینان برق

شده و انعطاف پذیری لازم را برای پاسخگویی به نیازهای مختلف مشتریان و سیستم توزیع ایجاد می نماید .

بسیاری از فن آوری های تولید غیر متمرکز ، گرمای قابل بازیافتی را تولید می کند که برای کاربرد توام برق

و گرما مناسب هستند از این رو کارایی کلی سیستم افزایشی یافته و ارزش عملکرد اقتصادی و زیست

محیطی بهبود می یابد .

در ارتباط با توسعه سیاست های جدید استفاده از منابع انرژی توزیعی (DER) تعداد واحد های DG متصل

به ولتاژ متوسط و ولتاژ پائین در شبکه های توزیع به طور زیادی افزایش یافته است . شرکت های توزیع رقم

های مختلفی برای مشتری های DG با توجه به کیفیت سیگنال و منحنی زمانی پیشنهاد می کند، چرا که

قیمت فروش انرژی تولیدی متأثر از منحنی تقاضای بار است . استفاده از سیستم های ذخیره انرژی می تواند

کمک زیادی و یک جاسازی DG و کنترل جریان توان در نقطه اتصال می کند . با نگاه های اقتصادی،

امکان ذخیره انرژی الکتریکی هنگامیکه قیمت فروش پائین است و فروختن زمانی که گران است ، امری مهم

برای صاحبان DG است. در این مقاله با توجه به ابزار کنترلی برای ارتقا منافع اقتصادی و بیمه کردن کیفیت

منابع، برای کارکرد عملکرد سیستم های ذخیره ای موازی با واحدهای DG ، بحث خواهد شد .

در این مقاله در مورد نحوه طراحی یک سیستم ذخیره انرژی برای استفاده در شبکه توزیع صحبت شده است

، که دارای منابع توزیع شده مختلف است . هدف از ذخیره سازی در توزیع توانمند کردن عملگرها (اپراتورها

) برای مدیریت شبکه به عنوان یک سیستم کارآ، است . سیستم کنترل نیز در حین شبیه سازی طراحی و

مورد آزمایش قرار گرفته است .

در کنار وسایل ذخیره با ظرفیت بالا که بر اساس تکنولوژی نیروی برق آبی کار می کنند ، راه حل های

الکتروشیمیایی امروزه نماینده ذخیره منابع انرژی تجدیدپذیر است . با این وجود محدودیت چرخه زندگی و

قابلیت تحمل باتری ها اغلب فاکتورهای تعیین کننده ای هستند . این مقاله سیستم ذخیره کننده انرژی

هیبریدی با چرخه عمر طولانی را بر اساس ذخیره انرژی هوای فشرده توضیح می دهد. ذخیره سازی و

دشارژ در بالاترین بازده انجام می پذیرد. میزان بازده مقدار نیروی تبدیل شونده را معین می کند، یک عملکرد مدولاسیون متناوب به یک مبدل ترمودینامیکی اعمال می شود تا نیروی متغیر تبدیلی را تولید کند.

توان خروجی متغیر به آرامی و به وسیله ی یک ذخیره کننده تا ظرفیت بسیار بالای معین به دست می آید.

این مقاله مفهوم این سیستم را توضیح می دهد، چرخه های تداخلی الکترونیک قدرت و بخصوص الگوریتم مسیره های با بازده حداکثر و راهبردی برای تغییر دادن قدرت خروجی را توضیح می دهد. علاوه، این مقاله

در مورد اساس سیستم های ذخیره کننده با بازده بالا که در آن ها از هوا به جای مبدل روغنی

هیدروپنوماتیکی استفاده می شود نتایج عملی آورده شده است و ...