بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی
مطالعات سیستم‌های قدرت

سال اول، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۵

پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی مطالعات سیستم‌های قدرت

تأثیر شبکه‌های توزیع فعال بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای در کشور

محمدحسین شریعت‌خواه ، احمد اسماعیلی ، نیکی مسلمی

استفاده از کنترلر تطبیقی در توربین‌های بادی دو تغذیه‌ای به منظور بهبود نوسانات زیرسنکرون شبکه قدرت

محمد جعفریان

بارگذاری دینامیک خط (DLR): مفاهیم، فرصت‌ها و چالش‌ها

حبیب‌اله رؤفی

بررسی روش‌های مدیریت ریسک از جنبه‌های فنی، اقتصادی و حقوقی در بازارهای برق دنیا و تطبیق آن با شرایط بازار برق ایران

جوادنظافت نمینی، حسین رنجبر، محمد رضایی زاویه، مینا حسینی، امیر مشاری

بررسی مقاومت به خوردگی و مشخصات فنی تجهیزات تابلوهای شبکه توزیع برق مناسب با شرایط آب و هوایی شهرهای ساحلی استان هرمزگان

علیرضا شیخی فینی ، شایان وکیلی‌پور، احسان عباس‌نژاد

به‌نام خدا

گروه پژوهشی مطالعات سیستم‌های قدرت

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: نیکی مسلمی

سردبیر: امیر مشاری

مدیر اجرایی: امیر مشاری

➢ **همکاران این شماره:**

احمد اسماعیلی، محمد جعفریان، مینا حسینی، هادی خطیب‌زاده آزاد، محمد رضایی زاویه، حسین رنجبر، حبیب‌اله رئوفی، محمدحسین شریعت‌خواه، علیرضا شیخی فینی، احسان عباس‌نژاد، نیکی مسلمی، امیر مشاری، جواد نظافت، شایان وکیلی‌پور.

➢ **همکاران معاونت پژوهشی:**

مهندس ثریا رستمی

➢ **ناشر:**

نشانی الکترونیکی: nmoslemi@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی مطالعات سیستم-های قدرت

تلفن: ۸۸۰۷۹۳۸۵-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۰۷۹۴۳۹-۰۲۱

➢ **اعضای هیئت‌تحریریه:**

مهندس احمد اسماعیلی، دکتر محمد جعفریان، مهندس هادی خطیب‌زاده آزاد، مهندس مونا رنجبر، مهندس حبیب‌اله رئوفی، مهندس سعید سلیمی، دکتر علیرضا شیخی فینی، مهندس جعفر عباسی، مهندس نیکی مسلمی، دکتر امیر مشاری، مهندس جواد نظافت.

➢ **اعضای هیئت‌داوران:**

دکتر فرخ امینی‌فر، دکتر مصطفی عابدی، دکتر بابک مظفری.

➢ **اهداف و رویکرد:**

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی مطالعات سیستم‌های قدرت» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با مطالعات سیستم‌های قدرت به‌صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج‌شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست مطالب

- سخن سردبیر ۱
- مقاله مروری: تاثیر شبکه‌های توزیع فعال بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور ۲
- مقاله پژوهشی: استفاده از کنترلر تطبیقی در توربین های بادی دو تغذیه‌ای به منظور بهبود نوسانات زیرسنکرون شبکه قدرت ۱۵
- مقاله مروری: بررسی روش‌های مدیریت ریسک از جنبه‌های فنی، اقتصادی و حقوقی در بازارهای برق دنیا و تطبیق آن با شرایط بازار برق ایران ۲۶
- مقاله پژوهشی: بررسی مقاومت به خوردگی و مشخصات فنی تجهیزات تابلوهای شبکه توزیع برق مناسب با شرایط آب و هوایی شهرهای ساحلی استان هرمزگان ۳۹
- مقاله مروری: بارگذاری دینامیک خط: مفاهیم، فرصت‌ها و چالش‌ها ۵۲
- معرفی مؤسسات تحقیقاتی دنیا: EPRI ۶۵
- معرفی نخبگان علمی: دکتر محمود فتوحی فیروزآباد ۶۷
- معرفی رویدادهای علمی: یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حفاظت و اتوماسیون در سیستمهای قدرت ۶۹
- معرفی کتاب: Investment in Electricity Generation and Transmission ۷۱

سخن سردبیر

تأمین انرژی الکتریکی به‌صورت مطلوب و اقتصادی در جامعه امروزی امری غیرقابل انکار است که اهمیت فرآیندهای تحقیق و تصمیم‌گیری در مورد بهینه‌سازی و توسعه سیستم‌های قدرت را دوچندان نموده است. در کنار این موضوع، ظهور مسائل جدید در سیستم‌های قدرت، مانند لزوم بهبود بازدهی انرژی، به‌کارگیری منابع تولید تجدیدپذیر، پیدایش بارهای جدید با رفتاری متفاوت از بارهای سنتی و ... بر پیچیدگی‌های تصمیم‌سازی و تعیین استراتژی در این حوزه افزوده است. انجام تحقیقات و پژوهش‌های مؤثر و کاربردی از جمله ملزومات اساسی در حرکت صحیح به‌سوی بهبود و توسعه صنعت برق است. این امر از یک‌سو وابسته به سیاست‌ها و خط‌مشی‌های کشوری و جهانی بوده و از سوی دیگر نیازمند داشتن یک چشم‌انداز صحیح از تحولات و آینده پیش‌روی سیستم‌های قدرت خواهد بود. از این منظر، انجام تحقیقات راهبردی مانند مطالعه و پایش دقیق سیاست‌های جهانی و کشوری، آینده‌پژوهی، تدوین چشم‌انداز و تدوین نقشه راه می‌تواند نقشی کلیدی در راه انسجام‌بخشی و افزایش اثرگذاری تحقیقات در همه زمینه‌ها و به‌ویژه سیستم‌های قدرت ایفا نماید. چنین تحقیقاتی علاوه بر کمک به سیاست‌گذاران در راه تدوین سیاست‌های صحیح و رفع مشکلات و معضلات، در جهت‌دهی صحیح به مسیر تحقیقات و پژوهش در دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی بسیار راهگشا خواهد بود. بر همین مبنا، پژوهشگاه نیرو به عنوان یکی از شاخص‌ترین مؤسسات تحقیقاتی کشور و با مأموریت مدیریت تحقیقات در صنعت برق، انجام این دسته از تحقیقات راهبردی را در زمره‌ی فعالیت‌های خویش قرار داده است. گروه مطالعات سیستم‌های قدرت نیز به‌عنوان یکی از گروه‌های پژوهشی فعال پژوهشگاه نیرو، در راه تحقق اهداف این مجموعه اهتمامی جدی داشته و تلاش خواهد کرد تا با انجام تحقیقات بنیادی در حوزه مطالعات سیستم‌های قدرت و انتشار نتایج این تحقیقات نقشی فعال در این عرصه ایفا نماید. مجموعه حاضر، اولین شماره از نشریه تخصصی گروه مطالعات سیستم‌های قدرت است که در آن نتایج فعالیت‌های پژوهشی تعدادی از همکاران این گروه گردآوری شده است. امید است با یاری و همفکری تمامی علاقمندان و فعالان این حوزه، گروه مطالعات سیستم با انجام صحیح و مؤثر وظایف خود بتواند بخشی از خلأهای تحقیقاتی صنعت برق کشور را برطرف سازد.

امیر مشاری

عضو هیأت علمی گروه مطالعات سیستم‌های قدرت

مقاله مروری

تأثیر شبکه‌های توزیع فعال بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور

نویسندگان: محمدحسین شریعت‌خواه[۱]، احمد اسماعیلی[۲]، نیکی مسلمی[۳]

چکیده: توسعه اتصال منابع انرژی پراکنده به شبکه‌های توزیع منجر به پیدایش پارادایمی جدید در شبکه‌های توزیع و معرفی مفهوم شبکه‌های توزیع فعال شده است. در این مقاله مفهوم شبکه‌های توزیع فعال مورد بررسی و واکاوی قرار گرفته و عوامل ایجاد این شبکه‌ها تشریح خواهد شد. در ادامه جنبه‌های مختلف تاثیرگذاری این شبکه‌ها از دیدگاه زیست محیطی مورد تحلیل قرار گرفته و به بررسی ساز و کارهای طراحی این شبکه‌ها به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته خواهد شد.

کلیدواژه: خودرو برقی، ذخیره‌ساز، شبکه توزیع فعال، قیود زیست محیطی، منابع تولید پراکنده.

مقدمه

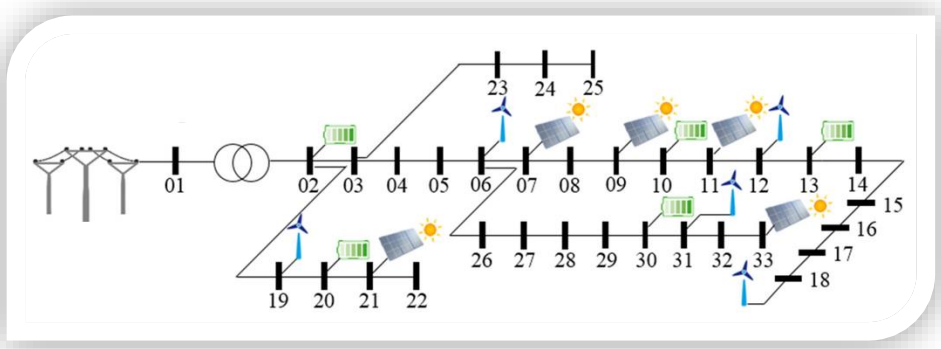
نقش اساسی انرژی الکتریکی به عنوان یک حامل پاک و ایمن و با قابلیت جابجایی آسان در زندگی جامعه بشری امروز انکارناپذیر است. بطور سنتی سهم عمده‌ای از تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های فسیلی و بصورت متمرکز انجام می‌شود. در سال‌های اخیر افزایش آلودگی‌های زیست محیطی و گرمایش زمین، دولت‌ها را وادار ساخته تا به سمت کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی حرکت نمایند. خوشبختانه رشد فن‌آوری و توسعه تکنولوژی سبب شده تا استفاده از منابع تولید انرژی در ابعاد کوچک و بصورت پراکنده در شبکه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر گردد [۱]. این منابع می‌توانند بصورت تجدیدپذیر و انرژی پاک بوده و یا با مصرف سوخت‌های مختلف تولید انرژی الکتریکی کنند. علاوه بر این، تغییرات دیگری در سیستم قدرت الکتریکی

۱- پژوهشگاه نیرو، گروه مطالعات سیستم، پست الکترونیک: m.shariatkhah@modares.ac.ir
۲- پژوهشگاه نیرو، گروه مطالعات سیستم، پست الکترونیک: aesmaieli@nri.ac.ir
۳- پژوهشگاه نیرو، گروه مطالعات سیستم، پست الکترونیک: nmoslemi@nri.ac.ir

در حال وقوع است. برای افزایش کارایی سیستم قدرت الکتریکی و فائق آمدن بر عدم قطعیت‌های منابع انرژی تجدیدپذیر، استفاده از ذخیره‌سازها در حال افزایش است [۲]. همچنین، در سیستم حمل و نقل، با توجه به لزوم کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیشرفت فن‌آوری باتری، استفاده از خودروهای برقی بجای خودروهای سوخت فسیلی بصورت روزافزون در حال افزایش است. نیاز به انرژی الکتریکی برای تامین نیروی محرکه این خودروها، تقاضای قابل توجه انرژی را به شبکه‌های برق تحمیل می‌کند که تمهیدات لازم برای مواجه با این نیاز باید اندیشیده شود.

این تحولات (افزایش منابع تولید پراکنده، ذخیره‌سازها و خودروهای برقی) در شبکه توزیع سبب ایجاد تغییراتی چون دوسویه شدن شارش توان خواهد شد که با توجه به ساختار کنونی شبکه‌های توزیع که بر مبنای شارش یک طرفه توان بنا شده است، عملا شبکه توزیع فعلی امکان جوابگویی به این تغییرات را ندارد. با توجه به ویژگی‌ها و محدودیت‌های شبکه توزیع سنتی، دو راه در پیش رو است یا باید افزایش منابع انرژی پراکنده محدود گردد و یا آنکه ساختار شبکه، سیستم پایش و کنترل شبکه ارتقا یابد. بر همین اساس، مفهوم شبکه‌های توزیع فعال مطرح شده است.

شبکه توزیع فعال به شبکه‌ای گفته می‌شود که در آن مشترکان صرفاً مصرف‌کننده انرژی نبوده و در آن برای حضور منابع انرژی پراکنده، و دو سویه شدن شارش توان در خطوط، محدودیتی وجود نداشته باشد [۳]. شکل (۱) یک شبکه توزیع فعال نمونه در حضور سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی و ذخیره‌سازها را نشان می‌دهد. در بخش‌های بعدی به بررسی تأثیر عوامل ایجاد شبکه‌های توزیع فعال بر قیود زیست محیطی پرداخته شده و نحوه کاهش انتشار CO_2 با تمهیدات در نظر گرفته شده در حوزه طراحی این شبکه‌ها تشریح می‌شود.



شکل (۱): شمای کلی یک شبکه توزیع فعال در حضور منابع انرژی پراکنده

عوامل ایجاد شبکه‌های توزیع فعال و تاثیرات زیست محیطی آنها

مفاهیم شبکه‌های هوشمند الکتریکی و شبکه‌های توزیع فعال، مفاهیم جداگانه‌ای با برخی مشابهت‌ها هستند که با توجه به جدید بودن این مفاهیم، تفاوت بین این دو مقوله در برخی از مواقع مورد چالش محققان بوده است.

بطور کلی تمرکز یک شبکه هوشمند بر ایجاد زیرساخت‌های پیشرفته مخابراتی، اطلاعاتی و مدیریت تصمیم‌گیری است و اگرچه یکی از دستاوردهای اصلی شبکه‌های هوشمند امکان استفاده از منابع انرژی پراکنده است ولی صرف افزایش نفوذ این منابع به معنای هوشمند شدن شبکه نیست. در مقابل، در شبکه‌های توزیع فعال، تمرکز بر افزایش نفوذ منابع انرژی پراکنده و امکان جاری شدن شارش دو طرفه توان در خطوط و همچنین مشارکت مشترکان در تولید انرژی الکتریکی است. بدیهی است برای فراهم نمودن امکان افزایش نفوذ این منابع، نیاز به بهبود زیرساخت‌های شبکه، مدیریت فعال شبکه و به بیان دیگر حرکت به سمت هوشمند کردن شبکه توزیع است. در ادامه سه مورد از عوامل اصلی فعال شدن شبکه توزیع و اثر هر یک از این عوامل بر بهبود یا بدتر شدن قیود زیست محیطی ارائه می‌شود:

توسعه منابع تولید پراکنده در شبکه

استفاده از منابع تولید انرژی الکتریکی در نزدیکی مشترکان و در سطح شبکه توزیع، از دیدگاه قیود زیست محیطی اثرات متفاوتی می‌تواند داشته باشد. برخی از این اثرات ناشی از نصب منبع در نزدیکی مشترکان است و برخی دیگر از این اثرات به ویژگی ذاتی خود منابع – برحسب تجدیدپذیر بودن یا تجدیدپذیر نبودن آنها – برمی‌گردد که در ادامه هر یک از این موارد توضیح داده خواهد شد.

الف) اثرات ناشی از قرار گرفتن منابع تولید در شبکه توزیع و در نزدیکی بارها

نصب منبع تولید (فارغ از نوع آن) در نزدیکی مشترکان می‌تواند فوائد مختلفی از نظر اقتصادی، قابلیت اطمینان، زیست محیطی و ... داشته باشد. در اینجا از دیدگاه زیست محیطی موارد موثر بیان می‌گردند.

- کاهش تلفات

هنگامی که منابع در نزدیکی مشترکان نصب شوند نیاز به انتقال توان از نیروگاه‌های متمرکز در دور دست کاهش می‌یابد و لذا علاوه بر اینکه نیاز به توسعه تجهیزات در سطوح تولید، انتقال و توزیع مرتفع می‌شود توان مورد نیاز بارها از فواصل نزدیک تامین شده و از تلفات بوجود آمده در طول مسیر جلوگیری می‌شود. این کاهش تلفات باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود [۴].

- افزایش بازده کلی فرایند تولید برق

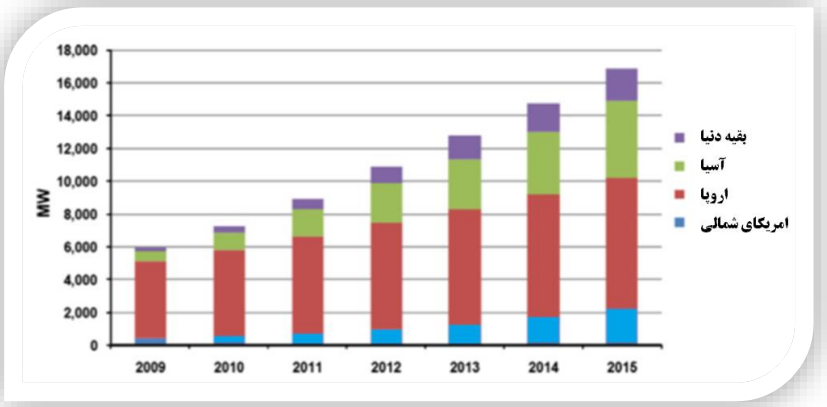
انتقال انرژی بصورت حامل‌های گرمایی و سرمایی بسیار هزینه‌بر بوده و عملاً برای فواصل دور غیراقتصادی و غیرممکن است. هنگامی که سیستم تولید به صورت نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز طراحی می‌شود معمولاً پس از تولید برق توسط توربین و ژنراتور در نیروگاه‌های حرارتی سنتی، گرمای تولید شده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و بخش عمده آن هدر می‌رود و لذا بازدهی این نیروگاه‌ها پایین است. براساس آمار منتشر شده

وزارت نیرو، نیروگاه‌های حرارتی کشور با مصرف ٪۳۰ از کل انرژی فسیلی (گاز، گازوییل، نفت کوره) کشور بیشترین سهم را در مصرف سوخت فسیلی دارند [۵]. نیروگاه‌های حرارتی کشور با بازده میانگین کمتر از ٪۴۰ کار می‌کنند و بیش از نیمی از انرژی که از سوزاندن سوخت‌های فسیلی آزاد می‌شود را به صورت گرما در هوا تلف می‌کنند. نصب منابع تولید پراکنده در مقیاس‌های کوچک و در نزدیکی نقاط مصرف، این امر را ممکن می‌سازد که با استفاده از منابع تولید همزمان، علاوه بر تولید برق، انرژی حرارتی تلف شده را بازیابی و حامل‌های انرژی شامل گرما و سرما را در اختیار مصرف کنندگان قرار داد. به این طریق تولید انرژی با بازدهی به مراتب بالاتر حاصل شده و در مصرف سوخت صرفه جویی قابل توجهی صورت خواهد گرفت [۶].

ب) اثرات ناشی از بکارگیری منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر

انرژی تجدیدپذیر به انواعی از انرژی می‌گویند که منبع تولید آن نوع انرژی، برخلاف انرژی‌های غیرتجدیدپذیر (فسیلی)، قابلیت آن را دارد که توسط طبیعت در یک بازه زمانی کوتاه مجدداً به وجود آمده یا به عبارتی تجدید شود. یکی از اهداف شبکه‌های برق در آینده، تسهیل یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر است. این منابع شامل انواع مختلف توربین‌های بادی، سلول‌های خورشدی، زمین گرمایی، زیست توده و ... است که در حال حاضر در سطح توزیع عمدتاً گرایش به سمت استفاده از سلول‌های خورشیدی، با توجه به ویژگی‌های این منابع، بیشتر است. به هر میزانی که نفوذ این منابع در شبکه برق افزایش یابد در مقابل نیاز به استفاده از منابع سنتی و سوخت فسیلی کاهش خواهد یافت [۷]. مهمترین موانع در گسترش استفاده از این منابع، یکی گران بودن تکنولوژی ساخت آنها و دیگری عدم قطعیت میزان تولید انرژی آنها است که عمدتاً بستگی به شرایط جوی چون سرعت باد و میزان تابش خورشید دارد. در رابطه با مانع اول، همزمان با پیشرفت

تکنولوژی، فن‌آوری ساخت این منابع نیز روز به روز در حال ارزان شدن است؛ و در رابطه با مانع دوم، راهکارهایی چون استفاده از ذخیره‌سازها و برنامه‌های پاسخگویی بار برای پوشش عدم قطعیت این منابع پیشنهاد شده است. شکل (۲) میزان افزایش ظرفیت توان منابع تجدیدپذیر در دنیا را نشان می‌دهد که از میزان ۶۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۰۹ به حدود مقدار ۱۷۰۰۰ در سال ۲۰۱۷ رسیده است [۸]. کشورهای مختلف اهداف متفاوتی را برای افزایش نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته‌اند. اتحادیه اروپا، هدف تولید ۲۰٪ از کل انرژی از طریق منابع تجدیدپذیر را برای سال ۲۰۲۰ تعیین کرده است. کشور دانمارک در نظر دارد تا سال ۲۰۵۰ همه انرژی خود را از طریق منابع انرژی تجدیدپذیر تامین کند.



شکل (۲): میزان افزایش ظرفیت توان نصب شده منابع انرژی تجدیدپذیر در طول سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ و به ازای مناطق مختلف دنیا [۸]

ج) اثرات ناشی از بکارگیری منابع تولید پراکنده غیرتجدیدپذیر

منابع غیرتجدیدپذیر (یا منابع کنترل‌پذیر) عمدتاً توسط سوخت‌ها تغذیه می‌شوند. اگرچه استفاده از انواع سوخت همراه با آلودگی خواهد بود ولی عمدتاً از گاز طبیعی در منابع تولید پراکنده کنترل‌پذیر استفاده می‌شود. از آنجا که این منابع در نقاط شهری نصب می‌شوند آلودگی‌های شیمیایی و صوتی آنها به مراتب نسبت به نیروگاه های متمرکز سنتی دوردست محسوس‌تر خواهد بود. بنابراین در کنار همه فوائد ناشی از نصب آنها

در نزدیکی مشترکان (که در قسمت الف بیان شد)، باید توجه کرد که افزایش نفوذ آنها در شبکه ممکن است منجر به اثرات منفی زیست محیطی خصوصا در شهرهای صنعتی و پرتراکم شود [۹].

ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی

در کنار منابع تولید پراکنده، ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی از عوامل ایجاد شار دو طرفه در شبکه توزیع و فعال شدن شبکه‌های توزیع هستند. ذخیره‌سازها از دیدگاه اقتصادی در زمان کم‌باری با انرژی ارزان شارژ می‌شوند و در زمان پرباری که قیمت انرژی بالاست به شبکه انرژی تزریق می‌کنند؛ و لذا ذخیره‌سازها به این ترتیب به بهبود کارایی و بهره‌وری شبکه کمک می‌کنند. همچنین، از دیدگاه قابلیت اطمینان، در هنگام کمبود انرژی و وقوع خطا در شبکه، می‌توان از ذخیره‌سازها کمک گرفت تا با تامین بخشی از تقاضای بار، از وقوع خاموشی جلوگیری کنند.

استفاده از ذخیره‌سازها این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان عدم قطعیت تولید منابع انرژی نو را پوشش داد و از حداکثر توان تولیدی آنها استفاده نمود [۲]. علاوه بر این، حتی در شبکه‌هایی که نفوذ منابع تجدیدپذیر بالا نیست، ذخیره‌ساز سبب می‌شوند تا بتوان تا حد امکان از ظرفیت نیروگاه‌های با ضریب بازدهی بالاتر – مثل نیروگاه‌های سیکل ترکیبی– استفاده کرد و نیاز به استفاده از نیروگاه‌های با بازده پایین – مانند نیروگاه‌های گازی– کاهش می‌یابد.

از طرفی همانگونه که ذکر شد این ذخیره‌سازها می توانند نقش موثری در تامین بخشی از پیک بار به صورت محلی داشته باشند. آنها با تامین محلی بخشی از انرژی مورد نیاز در زمان پیک بار باعث کاهش پرشدگی خطوط و بالتبع جلوگیری یا تعویق نیاز به توسعه خطوط شبکه و تاثیرات زیست محیطی منفی این

خطوط می شوند. بنابراین ذخیره‌سازها بصورت غیرمستقیم به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی کمک می‌کنند [۱۰].

گرایش به سمت استفاده از خودروهای برقی

خودروهای برقی در انواع مختلف هیبریدی و ... وجود دارند. با توجه به وجود باطری در این خودروها، بسیاری از محققان به دنبال آن هستند تا از این پتانسیل استفاده کرده و با شارژ آنها در زمان کم باری و تخلیه آنها در زمان پرباری مانند یک ذخیره‌ساز، کارایی و بهره وری شبکه را بالا ببرند. براین اساس تمامی فوائدی که در بخش قبل برای ذخیره‌سازهای انرژی بیان شد، در مورد خودروهای برقی دارای باطری و قابل اتصال به شبکه نیز صادق خواهد بود. علاوه بر این، حتی در صورتی که این خودروها قابلیت تزریق برق به شبکه را نداشته باشند می‌توان از آنها به عنوان بارهای قابل کنترل و انعطاف‌پذیر استفاده نمود؛ در این صورت می‌توان با بهینه‌یابی زمان شارژ آنها، ضمن بهبود کارایی سیستم، عدم قطعیت منابع انرژی نو را نیز تا حدودی پوشش داد. اما بدون شک مهمترین تاثیر خودروهای برقی بر محیط زیست، جایگزینی آنها بجای خودروهای سوخت فسیلی و کاهش آلودگی ناشی از خودروها در شهرها است. در حال حاضر بخش عمده‌ای از آلودگی شهرها مربوط به خودروهای با سوخت‌های معمول است که با گسترش استفاده از خودروهای برقی بدون شک این میزان کاهش خواهد یافت [۱۱]. باید به این نکته توجه نمود که تأمین توان خودروهای الکتریکی از شبکه برق سنتی و با نیروگاه‌های فسیلی متمرکز، باعث جابجایی آلاینده از درون شهر به محل نیروگاه‌ها می‌شود که اگرچه از یک زاویه امری راهگشاست اما بهرحال تولید آلاینده‌ها در این حالت با توجه ضریب بهره‌وری سیستم ممکن است افزایش پیدا کند. لذا صرفاً در شبکه‌ای که در آن ضریب نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با منابع فسیلی بالا باشد جایگزینی خودروهای فسیلی با خودروهای برقی به معنای کاهش تولید آلاینده‌ها خواهد بود.

روش‌های بهبود شاخص‌های زیست محیطی شبکه‌های توزیع فعال در حوزه نصب و طراحی شبکه

اعمال سیاست‌های تشویقی به منظور افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده

از آنجا که نصب منابع تولید پراکنده عموماً توسط مشترکان و بصورت شخصی انجام می‌شود، شرکت‌های توزیع و حاکمیت نمی‌توانند بصورت مستقیم مشترکان را وادار به نصب و استفاده از منابع تولید پراکنده نمایند. بنابراین باید از طریق تنظیم مقررات مناسب و اتخاذ سیاست‌های تشویقی آنها را به استفاده از منابع انرژی نو سوق داد. در همین راستا طرح‌های پیشنهادی مختلفی ارائه شده‌اند که البته بسیاری از آنها صرفاً در حوزه شرکت‌های توزیع نبوده و با توجه به ذینفعان زیاد این موضوع، کل مجموعه متولیان سیستم برق و نهادهای بالادستی درگیر آن خواهند بود. این سیاست‌ها شامل موارد زیر است [۱۲ و ۱۳]:

- پرداخت تسهیلات در هنگام نصب مولدها جهت خرید منابع انرژی نو بصورت ارزانتر؛
- پرداخت تسهیلات در هنگام بهره‌برداری از مولدها و خرید برق از آنها با قیمت تضمین شده؛
- تنظیم جریمه برای نیروگاه‌های با سوخت فسیلی و در نتیجه بالاتر رفتن قیمت انرژی حاصل از تولید این نیروگاه ها.

ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز شبکه برق جهت فراهم نمودن امکان نفوذ حداکثری منابع تولید پراکنده

مطالعات بسیاری به‌منظور بررسی مسائل فنی ناشی از گسترش منابع تولید پراکنده، ذخیره‌سازها و خودروهای برقی در شبکه توزیع در حال انجام است. این مطالعات تاثیر این منابع را بر پارامترهای مختلفی چون کارایی سیستم حفاظتی شبکه، کیفیت توان، کفایت ظرفیت خطوط و ترانسفورماتورها، جبران‌سازی توان راکتیو، قابلیت اطمینان، پایداری ولتاژ و ... مطالعه می‌کنند. در همین راستا، پیاده‌سازی مفهوم شبکه توزیع فعال ضمن انجام تغییرات لازم در شبکه، زیرساخت‌های مخابراتی و اطلاعاتی و مدیریت شبکه را نیز به گونه‌ای

فراهم می‌آورد که پاسخگوی نفوذ بالای منابع تولید پراکنده باشد. در صورتی که راه حل‌های لازم در این رابطه پیش‌بینی نشود مشکلات مختلف چون عدم کارایی سیستم حفاظتی در برابر شارش دو طرفه توان، افزایش بیش از حد هارمونیک ها، اضافه ولتاژ و ... می‌توانند مانع از گسترش نفوذ منابع تولید پراکنده شوند [۱۴].

جایابی منابع انرژی پراکنده شده در راستای حداکثرسازی مزایای استفاده از آنها

جایابی منابع انرژی پراکنده توسط شرکت‌های توزیع انجام می‌شود تا منابع در مکان‌هایی نصب شوند که حداکثر منافع – کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش آلودگی، جبران سازی توان راکتیو، تاخیر در توسعه شبکه و ... – حاصل شود و در عین حال اختلالی در شبکه – اختلال در سیستم حفاظتی، پرشدگی خطوط.– اتفاق نیافتد [۱۵]. در اکثر مطالعات انجام شده، صرفاً روش انجام جایابی بهینه منابع بیان شده است ولی اغلب سازوکار پیشنهاد آن مکان‌های بهینه به سرمایه‌گذاران خصوصی را ارائه نمی‌دهند. در [۱۶] به روش‌های قیمت‌گذاری گره‌ای جهت هدایت سرمایه‌گذاران مولدها به سمت نصب مولد در نقاط بهینه شبکه و نیل به حداکثر مزایای منابع تولید پراکنده اشاره شده است. در این روش، در هر مکان از شبکه، انرژی با یک قیمت متفاوت نسبت به سایر نقاط شبکه خریداری می‌شود و لذا سرمایه‌گذاران تشویق می‌شوند در مکانی منبع احداث کنند که بیشترین منفعت را برای شبکه داشته باشد.

جمع بندی و ارائه توضیحات

پیشرفت تکنولوژی و ظهور فن‌آوری های نوین همزمان با گرایش جامعه جهانی به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، استفاده از منابع تولید پراکنده، ذخیره‌سازهای انرژی و همچنین خودروهای برقی را توجیه‌پذیر کرده است. از میان سه بخش تولید، انتقال و توزیع در سیستم‌های قدرت الکتریکی، شبکه‌های توزیع بیشترین

اثرگذاری و تاثیرپذیری را در این رابطه خواهند داشت. در همین راستا، در این مقاله از منظر شاخص‌های زیست محیطی، اثرات مثبت و منفی افزایش منابع انرژی پراکنده و ایجاد شبکه‌های توزیع فعال بررسی گردید. مطالعات ارائه شده نشان می‌دهد که در اغلب موارد گسترش منابع انرژی پراکنده می‌تواند به بهبود شاخص‌های زیست محیطی بیانجامد ولی در عین حال در برخی موارد این امر ممکن است با اثرات منفی همراه باشد. بهرحال برای آنکه بتوان از حداکثر پتانسیل منابع انرژی پراکنده استفاده نمود لازم است با ایجاد ساز و کارهای مناسب سرمایه‌گذاران را به سرمایه‌گذاری در این بخش ترغیب نمود. همچنین از منظر فنی نیز، با توجه به ساختار فعلی شبکه توزیع، افزایش نفوذ منابع انرژی پراکنده همراه با چالش‌های متعدد خواهد بود و نیاز است تا با انجام مطالعات آینده‌پژوهی و بررسی‌های لازم، زمینه‌ی گذار از شبکه توزیع سنتی به شبکه توزیع فعال فراهم گردد.

مراجع

[1] Vandewalle J, Dhaeseleer W. “The impact of small scale cogeneration on the gas demand at distribution level” Energy Conversion and Management. 2014;78:137–150.

[2] P. Paliwal, NP. Patidar, RK. Nema. “A novel method for reliability assessment of autonomous PV-wind-storage system using probabilistic storage model” Electrical Power and Energy Systems, 2014;55:692–703.

[3] F Zhao, J Si, J Wang. “Research on optimal schedule strategy for active distribution network using particle swarm optimization combined with bacterial foraging algorithm” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016;78:637-646.

[4] Griffin T, Tomsovic K, Secrest D, Law A. “Placement of dispersed generation systems for reduced losses” In: Proceedings of the 33rd Hawaiian international conference on system sciences. 2000.

[۵] ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱. معاونت امور برق و انرژی .دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. وزارت نیرو.

[6] Longxi Li, Hailin Mu, Nan Li, Miao Li. "Economic and environmental optimization for distributed energy resource systems coupled with district energy networks" Energy. 2016;109:947-960.

[7] D. Haeseldonckx, W. D'haeseleer, "The environmental impact of decentralized generation in an overall system context" Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008;12:454-437.

[8] W.S. Tan, M.Y. Hassan, M.S. Majid, H.A. Rahman. "Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches" Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013;18:626–645.

[9] M. Esmaeili, M. Sedighizadeh, M. Esmaili, "Multi-objective optimal reconfiguration and DG (Distributed Generation) power allocation in distribution networks using Big Bang-Big Crunch algorithm considering load uncertainty" Energy 2016;103:86-99.

[10] MH. Shariatkhah, MR. Haghifam, G. Chicco, M. Parsa-Moghaddam. "Modelling the operation strategies of storages and hydro resources in adequacy analysis of power systems in presence of wind farms" IET Renewable Power Generation 2015;9(15):2117-25.

[11] S. Hong, Y. Chung, J. Kim , D. Chun. "Analysis on the level of contribution to the national green house gas reduction target in Korean transportation sector using LEAP model" Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016:60:549–559.

[12] R. Sioshansi. "Retail electricity tariff and mechanism design to incentivize distributed renewable generation policies" Energy Policy 2016;95:498–508.

[13] E.A.M. Cese˜na, V. Turnham, P. Mancarella. "Regulatory capital and social trade-offs in planning of smartdistribution networks with application to demand response solutions" Electric Power Systems Research 2016;141:63–72.

[14] Xiang, Y., Liu, J., Li, F., Liu, Y., Liu, Y., Xu, R., Su, Y. and Ding, L.,. Optimal active distribution network planning:a review. Electric Power Components and Systems, 2016;44 (10):1075-1094.

[15] P. Prakash, D.K. Khatod. "Optimal sizing and siting techniques for distributed generation in distribution systems: A review" Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016;57:111–130.

[16] SMM Larimi, MR Haghifam, M Zangiabadi, P Taylor, "Value based pricing of distribution generations active power in distribution networks" IET Generation, Transmission & Distribution 2015;9:2117-2125.

The impact of active distribution networks in reducing the amount of greenhouse gas emissions

Authors: M.H. Shariatkhah, A. Esmaili, N. Moslemi

Abstract: Development of distributed energy resources in distribution networks has led to a new paradigm in distribution networks and introducing the concept of active distribution networks. In this paper, the concept of active distribution networks has been issued and the causes of these networks are described. Furthuremore, from different poins of view the environmental impact of these networks are investigated, and then, the planning mechanisms of these networks in order to reduce greenhouse gas emissions will be presented.

مقاله پژوهشی

استفاده از کنترلر تطبیقی در توربین‌های بادی دو تغذیه‌ای به منظور بهبود نوسانات زیرسنکرون شبکه قدرت

نویسنده: محمد جعفریان[۱]

چکیده: در این مقاله میراسازی نوسانات زیرسنکرون شبکه، با استفاده از کنترلر تطبیقی در ساختار کنترلی توربین‌های DFIG متصل به شبکه بررسی می‌شود. با افزایش نفوذ توان بادی در شبکه و با توجه به کنترل انعطاف‌پذیر توربین‌های بادی، استفاده از این توربین‌ها به منظور افزایش پایداری دینامیکی سیستم قدرت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. یکی از جنبه‌های مهم در پایداری سیستم‌های قدرت، نوسانات زیرسنکرون است. این نوسانات حاصل از تبادل انرژی مجموعه‌ی توربین- ژنراتور سنکرون و شبکه‌ی الکتریکی در یک یا چند فرکانس مشخص است که می‌تواند سبب آسیب به روتور ژنراتور شود. میراسازی نوسانات زیرسنکرون با استفاده از توربین‌های بادی در مقالات زیادی بررسی شده است، این کار با اضافه کردن یک حلقه‌ی کنترلی به ساختار کنترلی توربین بادی انجام میگیرد. در اکثر پژوهش‌ها، این حلقه‌ی کنترلی از نوع خطی است. در این مقاله از کنترل تطبیقی بدین منظور استفاده می‌شود. به‌علت اینکه پارامترهای کنترل تطبیقی، به منظور حصول عملکرد بهینه‌ی کنترلی، با تغییر شرایط سیستم تغییر می‌یابد، استفاده از این کنترلر سبب می‌شود که در تمامی سرعت‌های باد توربین بادی نقش موثری در میراسازی نوسانات زیرسنکرون شبکه داشته باشد که این امر در این مقاله نشان داده خواهد شد. همچنین نشان داده خواهد شد که این کنترلر تاثیر ناچیزی بر پایداری دینامیکی خود توربین بادی دارد.

کلیدواژه: نوسانات زیرسنکرون (SSR)، ژنراتور القایی دو تغذیه‌ای (DFIG)، کنترل تطبیقی ساده (SAC)، توربین بادی.

مقدمه

نوسانات زیرسنکرون (SSR) یکی از پدیده‌های دینامیکی ناخواسته و مضر در سیستم‌های قدرت هستند [۱]. این نوسانات هنگامی در سیستم‌های قدرت پدید می‌آیند که شبکه الکتریکی با مجموعه توربین-ژنراتور

۱- عضو هیأت علمی گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: mjafarian @nri.ac.ir

سنکرون در یک یا چند فرکانس طبیعیِ سیستمِ ترکیبی تبادل انرژی انجام دهد. رزونانس زیرسنکرون معمولا در شبکه‌های جبران شده با خازن سری اتفاق می‌افتد و مطابق استاندارد IEEE به سه دسته‌ی اثر ژنراتور القایی، اثر تداخل پیچشی و گشتاور گذرا تقسیم می‌شود [۲].

با توجه به اثرات مضر نوسانات زیرسنکرون بر سیستم، تاکنون روش‌های گوناگونی برای کنترل و کاهش نوسانات SSR در سیستم قدرت پیشنهاد شده است. به عنوان مثال در [۳–۶] از کنترل تریستوری خازن سری برای کاهش نوسانات سنکرون شبکه استفاده شده است. در [۷–۹] نشان داده شده است که با استفاده از STATCOMمی‌توان میرایی نوسانات زیرسنکرون شبکه را افزایش داد .

با افزایش روز افزون توان بادی در شبکه قدرت، مطالعه بر روی تاثیر مزارع بادی بر پایداری دینامیکی سیستم قدرت از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. ژنراتور القایی دو تغذیه‌ای (DFIG) یکی از انواع اصلی ژنراتورهایِ توربین‌های بادی است که به دلیل دارا بودن سیستم کنترل انعطاف‌پذیر از محبوبیت بیشتری نسبت به سایر توربین‌های بادی برخوردار است [۱۰].

موضوعی که به تازگی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، استفاده از توربین DFIG به منظور کاهش نوسانات زیرسنکرون شبکه می‌باشد. در [۱۱–۱۴] امکان استفاده از مبدل‌های قدرتِ موجود در ساختار توربین های DFIG جهت میرا کردن نوسانات SSR در شبکه قدرت مورد بررسی قرار گرفته است. این کار با اضافه کردن یک حلقه‌ی کمکی به کنترل‌کننده‌ی توربین DFIG صورت گرفته است. حلقه‌ی اضافه شده از نوع خطی می‌باشد.

از آنجا که شرایط دینامیکی شبکه، با توجه به شرایط مختلف بهره‌برداری شبکه دائما درحال تغییر است و با توجه به این‌که سرعت چرخش روتور توربین‌های DFIG (با توجه به تغییرات سرعت باد) در رنج وسیعی تغییر می‌کند و دینامیک این توربین‌ها وابستگی بالایی به این پارامتر دارد، استفاده از یک کنترل خطی در

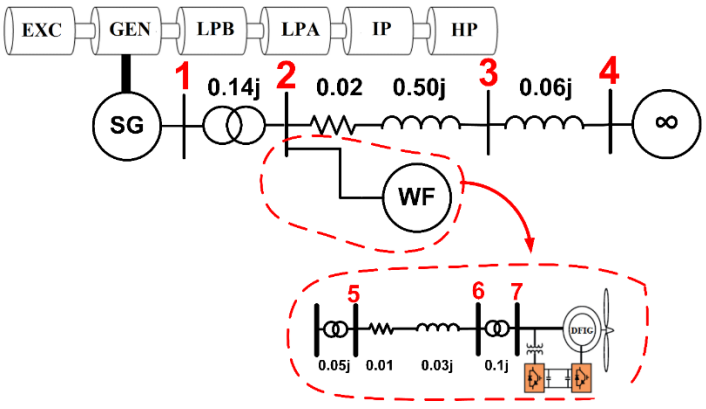
ساختار DFIG نمی‌تواند عملکرد بهینه‌ای را در کاهش SSR شبکه در همه‌ی سرعت‌های باد و همه‌ی شرایط شبکه فراهم آورد؛ زیرا طراحی کنترل‌های خطی فقط در یک نقطه‌ی کاری مشخص صورت می‌گیرد. در این مقاله با اضافه کردن یک حلقه‌ی کنترلی اضافی به ساختار کنترلی توربین DFIG، که با استفاده از نظریه‌ی کنترل تطبیقی طراحی می‌شود، نوسانات زیرسنکرون شبکه کاهش می‌یابد. به علت اینکه با تغییر شرایط سیستم، پارامترهای کنترل‌کننده‌ی تطبیقی به سمت مقادیر بهینه تطبیق می‌یابند، این کنترل‌کننده در شرایط مختلف کارکرد سیستم و توربین بادی عملکرد بهینه‌ای را فراهم می‌آورد.

معرفی سیستم مورد مطالعه و نحوه‌ی مدل‌سازی

در این فصل در ابتدا سیستم مورد مطالعه معرفی شده و در ادامه نحوه‌ی مدل‌سازی مزرعه‌ی بادی DFIG بیان می‌شود.

معرفی سیستم مورد مطالعه

در این مقاله مدل نمونه‌ی اول IEEE برای بررسی رزونانس زیرسنکرون به عنوان شبکه‌ی مورد مطالعه انتخاب گردید [۱۵]. این شبکه شامل یک خط انتقال است که ژنراتور سنکرون ۸۹۲٫۴ مگاولت‌آمپری را به یک شبکه‌ی بزرگ متصل می‌کند. شکل ۱ نمای تک‌خطی این سیستم را نشان می‌دهد.در این شکل امپدانس‌ها برحسب پریونیت در پایه‌ی مگاولت‌آمپر ژنراتور هستند.



شکل(۱) مدل نمونه‌ی IEEE برای بررسی رزونانس زیرسنکرون

سیستم مکانیکی ژنراتور شامل یک توربین بخار چهار مرحله‌ای، یک ژنراتور و یک تحریک گردان است. پارامترهای این شبکه در [۱۵] معرفی شده‌اند.

مدل‌سازی مزرعه‌ی بادی

فرض شده است، یک مزرعه بادی مبتنی بر توربین‌های بادی DFIG با ظرفیت ۳۵۰ مگاوات در باس ۲ به شبکه متصل می‌گردد. بررسی‌های مختلف نشان داده است که در مطالعات مربوط به تاثیر مزارع بادی بر دینامیک شبکه می‌توان از مدل تجمعی برای مدل‌سازی مزرعه‌ی بادی استفاده نمود [۱۶–۱۸]، زیرا از یک طرف مدت زمانی که تغییر سرعت باد در کل مزرعه‌ی بادی دیده می‌شود بسیار بزرگ‌تر از بازه‌های زمانی مربوط به نوسانات زیرسنکرون شبکه است و از طرف دیگر به‌طور معمول امپدانس سیستم اتصال توربین‌ها نسبت به امپدانسِ ترانسِ مزرعه ناچیز است [۱۹].

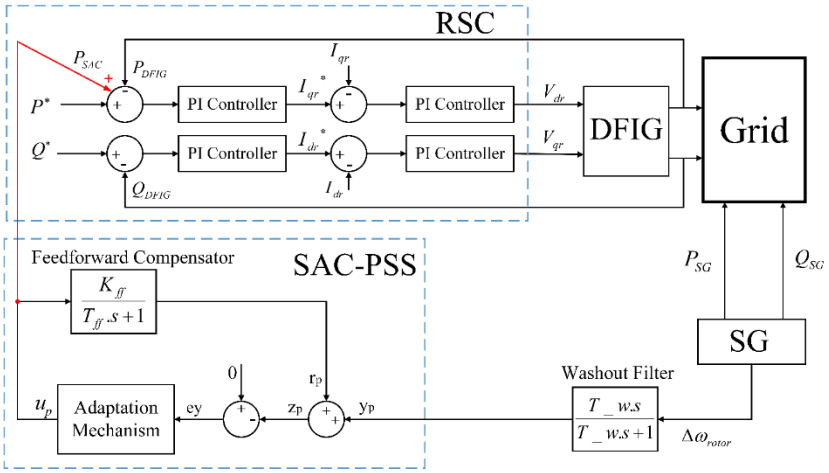
مدل‌سازی توربین DFIG

برای مدل‌سازی توربین DFIG در این مقاله از مدل توسعه داده شده در [۲۰] استفاده گردید.

کنترل‌کننده‌ی مکمل

اگر کنترل مکمل به حلقه کنترل توان حقیقی در مبدل سمت روتور متصل شود، اصطلاحا مدولاسیون توان اکتیو بدست می‌آید و اگر کنترلر مکمل به حلقه کنترل توان راکتیو در مبدل سمت روتور متصل شود، مدولاسیون توان راکتیو انجام می‌شود [۲۱]. در این مقاله، با اضافه شدن یک کنترلر مکمل به حلقه کنترل توان حقیقی در مبدل سمت روتور افزایش میرایی برای SSR فراهم می‌شود.

با توجه به‌این‌که به‌طور عملی سیگنال سرعت روتور ژنراتور دردسترس است، این سیگنال به‌عنوان ورودی برای کنترل مکمل انتخاب گردید. نحوه‌ی استفاده از کنترل‌کننده‌ی مکمل در ساختار کنترلی DFIG و نحوه‌ی تعامل آن با سیستم در شکل ۲ نشان داده شده است.

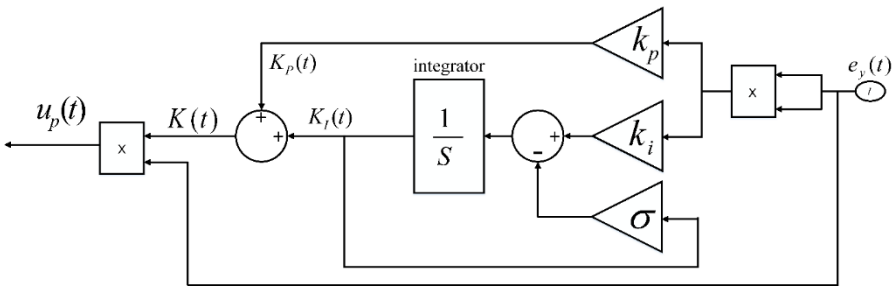


شکل (۲) بلوک دیاگرام SAC-PSS

طراحی کنترلر تطبیقی

در این مقاله از کنترلر تطبیقی ساده (SAC) برای طراحی کنترلر مکمل میرا کننده در حلقه اصلی کنترل توان DFIG، استفاده شده است. کنترل تطبیقی ساده (SAC) استفاده شده در واقع یک گونه‌ی ساده شده از کنترل تطبیقی مدل مرجع (MRAC) است که بر اساس نظریه ردیاب مولد فرمان (MRAC-CGT) طراحی شده است [۲۲].

شکل ۳ طریقه‌ی مدل‌سازی حلقه‌ی کنترل تطبیقی را نشان می‌دهد. در این شکل $e_y(t)$ سیگنال خطا، k_p، k_i و σ مقادیر ثابتی هستند که توسط اپراتور انتخاب می‌شوند و $u_p(t)$ سیگنال خروجی کنترلر تطبیقی است.



شکل (۳) بلوک دیاگرام مکانیزم تطبیقیِ طراحی شده

نتایج شبیه سازی:

برای شبیه سازی‌ها و بررسی میرایی SSR شبکه از نرم افزار MATLAB/Simulink استفاده شد. از آن‌جا که برای توربین‌های بادیِ دوتغذیه‌ای سه مود عملکردیِ زیرسنکرون ، سنکرون و فوق‌سنکرون قابل تعریف است؛ هر سه مد کاری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند (به‌ترتیب سرعت‌های باد ۱۱، ۱۲/۵ و ۱۹ متر بر ثانیه).

شکل۴ نشان دهنده توان اکتیو ژنراتور سنکرون بدون استفاده و با استفاده از SAC است. این شکل به خوبی نشان دهنده میرا شدن SSR، بعد از ورود SAC به مدار در سه مد عملکردی زیرسنکرون، سنکرون و فوق سنکرون توربین بادی می‌باشد. شکل ۵ نوسانات ولتاژ ژنراتور سنکرون، قبل و بعد از قرار دادن SAC در مدار را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، کنترلر تطبیقی تاثیر بسیار خوبی بر میراسازی نوسانات زیرسنکرون ولتاژ ژنراتور سنکرون در هر سه مد عملکردی داشته است (در این شکل در حالت سرعت باد برابر با ۱۱ متر بر ثانیه ولتاژ ژنراتور دارای نوسانات فرکانس پایین است که مربوط به نوسانات الکترومکانیکی سیستم است نه نوسانات زیرسنکرون). شکل ۶ نشان دهنده‌ی نوسانات توان اکتیو می‌باشد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، عملکرد مزرعه بادی با وجود کنترلر تطبیقی در مدار همچنان پایدار است و این کنترلر تاثیر ناچیزی بر دینامیک خود مزرعه‌ی بادی داشته است.

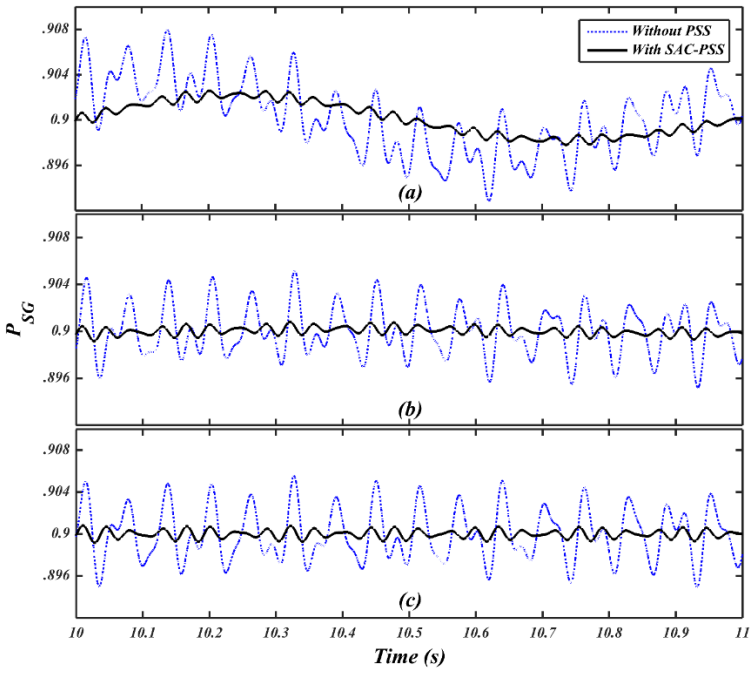
نتیجه‌گیری:

در این مقاله میرا کردن نوسانات SSR شبکه‌ی قدرت با استفاده از مزرعه‌ی بادی DFIG متصل به شبکه مطالعه گردید. این کار با اضافه کردن یک حلقه‌ی کنترلی به مبدل سمت روتور توربین DFIG صورت گرفت. این حلقه‌ی کنترلری با استفاده از نظریه‌ی کنترل‌کننده‌های تطبیقی طراحی شد. استفاده از کنترلر تطبیقی باعث

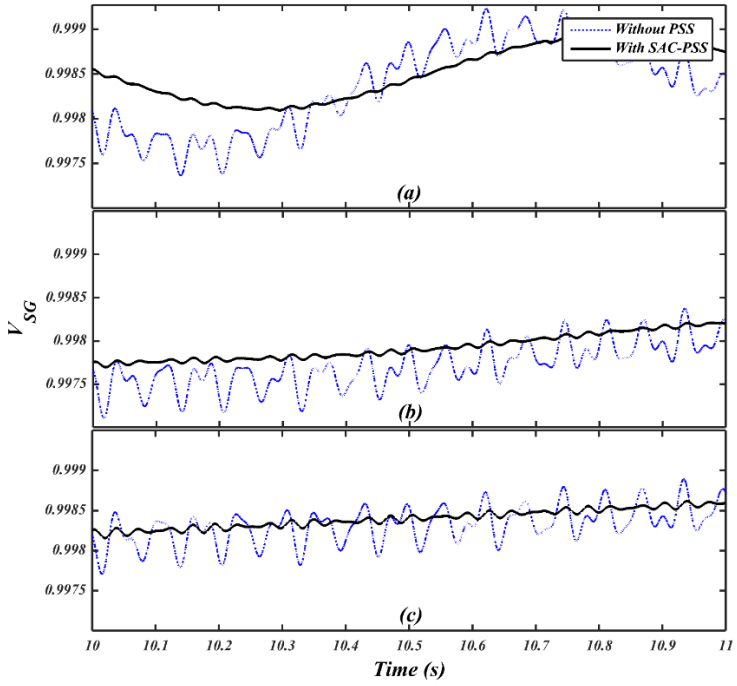
شد که در شرایط مختلف کاری شبکه و نیز در سرعت‌های باد متفاوت، مزرعه‌ی بادی مشارکت موثری در افزایش میرایی نوسانات زیرسنکرون شبکه داشته باشد.

مدل نمونه اول IEEE برای بررسی رزونانس زیرسنکرون به عنوان شبکه‌ی آزمون مورد استفاده قرار گرفت. فرض گردید یک مزرعه‌ی بادی از نوع DFIG به این شبکه متصل گردد. از آن‌جا که مشخصات دینامیکی توربین‌های دوتغذیه‌ای در سرعت‌های باد مختلف متفاوت است، کلیه‌ی مطالعات در سه سرعت باد ۱۱، ۱۲/۵ و ۱۹ متر بر ثانیه انجام گرفت که به‌ترتیب مربوط به مود عمل‌کردی زیرسنکرون، سنکرون و فوق‌سنکرون توربین هستند.

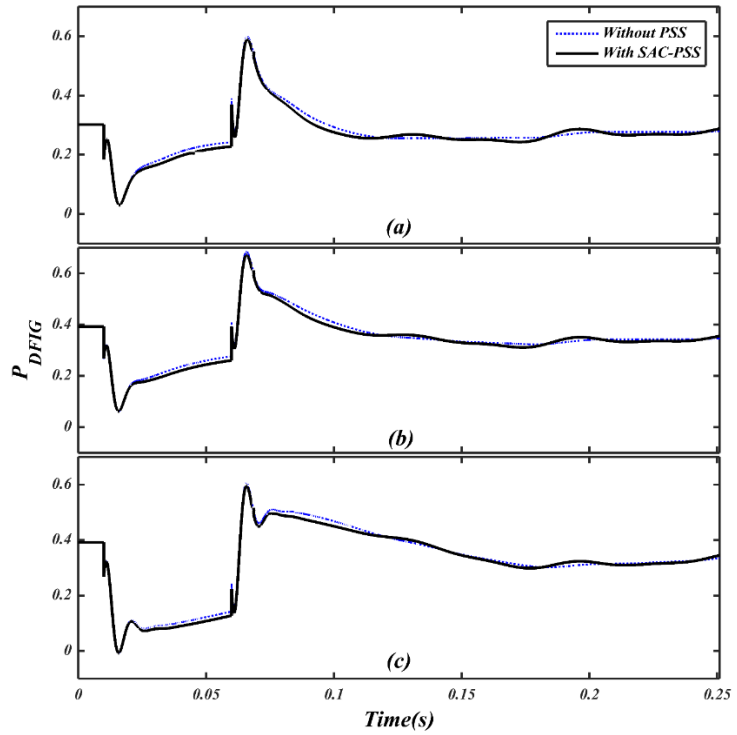
نوسانات توان اکتیو و ولتاژ ژنراتور سنکرون و همچنین توان تولیدی مزرعه بادی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که استفاده از کنترل تطبیقی در مبدل توربین‌های بادی DFIG، سبب کاهش موثر نوسانات زیرسنکرون شبکه در تمامی سرعت‌های بادی می‌شود. همچنین این کنترلر تاثیر ناچیزی بر رفتار دینامیکی خود توربین بادی دارد. همچنین پایداری کنترلر تطبیقی با اعمال یک اغتشاش بزرگ در شبکه نشان داده شد.



شکل (۴) نوسانات توان اکتیو ژنراتور سنکرون در مد عملکردی: الف) زیرسنکرون، ب) سنکرون، ج) فوق سنکرون



شکل (۵) نوسانات ولتاژ ژنراتور سنکرون در مد عملکردی: الف) زیرسنکرون، ب) سنکرون، ج) فوق سنکرون



شکل (۶) نوسانات توان اکتیو تولیدی مزرعه بادی قبل و بعد از قرار دادن SAC در مد عملکردی: الف) زیرسنکرون، ب) سنکرون، ج) فوق سنکرون

مراجع:

[1] Walker DN, Bowler CL, Jackson RL, Hodges DA. Results of sub-synchronousresonance test at Mohave. IEEE Trans Power System, 1975, 5, pp. 1878–89.

[2] Group, I.S.R.W., Terms, definitions and symbols for subsynchronous oscillations, IEEE Trans. power Appl. Syst., 1985, PAS-104, 6, pp. 1325-1334.

[3] Pilotto LA, Bianco A, Long WF, Edris A. Impact of TCSC control methodologies on subsynchronous oscillations. Power Delivery, IEEE Transactions on. 2003, 18, 1, pp. 243-52.

[4] Wang L, Huang C-W, editors. Suppression of subsynchronous resonance using robust H∞ TCSC damping controllers. Power Engineering Society 1999 Winter Meeting, IEEE; 1999.

[5] Rai D, Faried S, Ramakrishna G, Edris A. Hybrid series compensation scheme capable of damping subsynchronous resonance. IET generation, transmission & distribution. 2010, 4, 3, pp. 456-66.

[6] Joshi S, Cheriyan E, Kulkarni A. Output feedback SSR damping controller design based on modular discrete-time dynamic model of TCSC. IET generation, transmission & distribution. 2009, 3, 6, pp. 561-73.

[7] Salemnia A, Khederzadeh M, Ghorbani A, editors. Mitigation of subsynchronous oscillations by 48-pulse VSC STATCOM using remote signal. PowerTech, 2009 IEEE Bucharest; 2009.

[8] Padiyar K, Prabhu N. Design and performance evaluation of subsynchronous damping controller with STATCOM. Power Delivery, IEEE Transactions on. 2006, 21, 3, pp. 1398-405.

[9] Keshavan B, Prabhu N, editors. Damping of subsynchronous oscillations using STATCOM-a FACTS controller. Power System Technology, 2004 PowerCon 2004 2004 International Conference on; 2004.

[10] Carlin PW, Laxson AX, Muljadi EB. The history and state of the art of variable speed wind turbine technology. Natl Renew Energ Lab Tech Rep NREL/TP-500- 28 607; 2001.

[11] Fan L, Miao Z. Mitigating SSR using DFIG-based wind generation. IEEE Trans Sustainable Energy 2013, 3, pp. 349–58.

[12] Zhu C, Hu M, Wu Z. Parameters impact on the performance of a double-fed induction generator-based wind turbine for subsynchronous resonance control. IET Renew Power Gener 2012, 6, pp. 92–8.

[13] Faried, S. O., Unal, I., Rai, D., &Mahseredjian, J. Utilizing DFIG-based wind farms for damping subsynchronous resonance in nearby turbine-generators. Power Systems, IEEE Transactions on, 2013, 28, 1, pp. 452-459.

[14] Leon, A. E., Mauricio, J. M., &Solsona, J. (2013). Subsynchronous resonance mitigation using variablespeed wind energy conversion systems. Generation, Transmission & Distribution, IET, 2013, 7, 5, pp. 511-525.

[15] First benchmark model for computer simulation of subsynchronous resonance, IEEE Trans. power Appl. Syst., 1977, PAS-96, 5, pp. 1565-1572.

[16] Gautam, D., Vittal, V., Harbour, T., Impact of increased penetration of DFIG-based wind turbine generators on transient and small signal stability of power systems, IEEE Trans. Power Syst., 2009, 24, 3, pp. 1426-1434.

[17] Fan L, Kavasseri R, Miao Z, Zhu Ch. Modeling of DFIG-based wind farms for SSRanalysis. IEEE Trans Power Deliver 2010;25:2073–82.

[18] Fan L, Zhu Ch, Miao Z, Kavasseri R, Hu M. Modal analysis of a DFIG-based windfarms influenced with a series compensated network. IEEE Trans Energ Convers, 2011, 26, pp. 1010–20.

[19] Pourbeik, P., Wind Farm Integration in British Columbia – Stages 1&2 :Planning and Interconnection Criteria, ABB Report, 2005.

[20] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, Wind energy explained. Amherst, USA:: Wiley, 2002.

[21] Jafarian M, Ranjbar AM. The impact of wind farms with doubly fed inductiongenerators onpower system electromechanical oscillations. Renew Energ, 2012, 50, pp. 780–5.

[22] Howard Kaufman, Izhak Bar-Kana, and Kenneth Sobel, Directadaptive control algorithms,Springer Verlag, New York, 1994.

Power system subsynchronous oscillation damping using adaptive control in wind turbine systems

Author: Mohammad Jafarian

Abstract: In this paper additional damping is provided for power system subsynchronous oscillations using a supplementary control loop in connected wind turbines. DFIG wind turbines are considered in this study. With the increased wind power penetration level in modern power systems, using the flexible control ability of wind turbines to improve the power system dynamic behavior is getting more attractive for power system operators. One of the most important concerns about power system dynamics is the subsynchronous oscillations in system synchronous generators. Several research efforts have been conducted to provide additional damping for these oscillations. In this paper a supplementary control loop is suggested in the control structure of the DFIG wind turbines for this purpose. Adaptive control is used to design this supplementary loop. Results show that with the proposed supplementary control loop, the damping of system subsynchronous oscillations improves, while the dynamic performance of the wind turbine remains the same.

مقاله مروری

بررسی روش‌های مدیریت ریسک از جنبه‌های فنی، اقتصادی و حقوقی در بازارهای برق دنیا و تطبیق آن با شرایط بازار برق ایران

نویسنده: جوادنظافت نمینی[۱]، حسین رنجبر[۲]، محمد رضایی زاویه[۳]، مینا حسینی[۴]، امیر مشاری[۵]

چکیده: مشابه بازیگران سایر بازارهای رقابتی، بازیگران بازارهای برق نیز با ریسک‌های متعددی مواجه هستند. این ریسک‌هابرای گردانندگان بازار و مدیریت شبکه به سبب گستردگی و وسعت فعالیت‌ها، علاوه بر حوزه‌های فنی، شامل حوزه‌های اقتصادی و حقوقی نیز خواهد بود. این مقاله به بررسی ساختار و روش‌های مدیریت ریسک در حوزه‌های مورد اشاره، در سه بازار برق بزرگ و پیشرفته با ساختارهای متفاوت، شامل بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان می‌پردازد. در ادامه با مقایسه تطبیقی مابین این بازارها و بازار برق ایران، الگویی مناسب و تطبیقی جهت مدیریت ریسک و اصلاح روابط و ساختار بازار برق ایران، از دیدگاه فنی و بهره‌برداری، مالی و اقتصادی، و حقوقی و قراردادی، با محوریت کاهش ریسک‌های نهاد مدیریت بازار پیشنهاد شده است.

کلیدواژه:مدیریت ریسک، بازار برق، ریسک‌های فنی، ریسک‌های مالی، ریسک‌های حقوقی.

مقدمه

مانند سایر بازارهای رقابتی، در بازارهای برق نیز شرکت‌کنندگان و گردانندگان بازار با ریسک‌های متعددی مواجه هستند.برخی از این ریسک‌ها ناشی از طبیعت رقابت در چنین بازارهایی بوده و برخی دیگر ناشی از ساختار و فضای بازار برق است. وجود چنین ریسک‌هایی به طور خاص، برای گردانندگان بازار و مدیریت شبکه می‌تواند وظیفه ذاتی آنها در مدیریت و کنترل صحیح شبکه و بازار را با چالش روبرو سازد. همچنین

۱- کارشناس پژوهشی گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:jnezafat@nri.ac.ir
۲- کارشناس پروژه‌ای گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:shobair.ranjbar@gmail.com
۳- کارشناس پروژه‌ای گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:m.rezayi@gmail.com
۴- کارشناس پروژه‌ای گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:mina.hosseini@gmail.com
۵- عضو هیأت علمی گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:amoshari@nri.ac.ir

سایر بازیگران مانند شرکت‌های تولید و شرکت‌های توزیع به دلیل عوامل متغیری همچون قیمت برق، هزینه‌های عملیاتی، اجرایی، میزان تقاضا، خروج واحدهای تولید، شرایط سیستم‌های قدرت ومانند آن با انواع ریسک‌های مالی مواجه هستند. از سویی دیگر تصمیمات و عملکرد نهادهای مختلف می‌تواند ریسک‌های جانبی دیگری را برای بازیگران بازار ایجاد کند که از آن جمله می‌توان به ریسک‌های مقررات‌گذاری و ریسک‌های حقوقی اشاره کرد. چنین ریسک‌ها و عواملی می‌توانند تاثیر قابل توجهی بر منافع بازیگران و کیفیت عملکرد نهاد مدیریت شبکه داشته باشند. به همین دلیل، ضروری است مدیریت ریسک از دیدگاه‌های متفاوت و از دید بازیگران و نقش‌آفرینان مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

به‌طورکلی ریسک‌های موجود در بازار برق را می‌توان به سه دسته ریسک‌های ناشی از مسائل فنی و بهره‌برداری، ریسک‌های مالی و اقتصادی و ریسک‌های حقوقی و قراردادی تقسیم کرد. از آنجا که شرکت‌کنندگان بازار و روابط بین آن‌ها نقشی اساسی در شکل‌گیری فضای بازار و به‌وجود آمدن ریسک‌های مختلف دارد، در این مقاله در بخش اول، به‌طور خلاصه نتایج مطالعات تطبیقی میان بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان با بازار برق ایران از منظر ریسک‌های بهره‌برداری و فنی، اقتصادی و مالی، و حقوقی و قراردادی و همچنین راهکارهای مدیریت این ریسک‌ها ارائه شده است. در بخش دوم نیز با استفاده از نتایج بدست آمده، الگوها و راهکارهای تطبیقی مناسبی جهت مدیریت ریسک‌های فنی، اقتصادی و حقوقی نهاد مدیریت شبکه در بازار برق ایران پیشنهاد شده است.

مقایسه ریسک‌های مشترک مابین بازار برق ایران و بازارهای نوردیک، PJM و آلمان [۱و۲]

با بررسی ساختار و انواع روش‌های مدیریت ریسک در بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان با بازار برق ایران؛ ریسک‌های مشترک مابین آنها و روش‌های مدیریت آنها در هریک به اختصار در این بخش ارائه می‌گردد.

ریسک‌های فنی

با مطالعه ساختار بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان و مقایسه آن با ساختار بازار برق ایران، مسائل و ریسک‌های فنی مشترک بین این بازارها قابل شناسایی و استخراج خواهد بود [۱ و ۲]. در جدول ۱ ریسک‌های فنی موجود در بازارهای برق مورد مطالعه و راهکارهای مدیریت آن ها در مقایسه با بازار برق ایران ارائه شده است.

جدول(۱): ریسک‌های فنی موجود در بازارهای مختلف و راهکارهای مدیریت آنها

نوع ریسک		بازار نوردیک	بازار PJM	بازار آلمان	بازار ایران
عدم تعادل بار و تولید (ناپایداری فرکانس)		بازارهای تعادل و خدمات FCNOR	بازارهای لحظه‌ای، تنظیم	خدمات کنترل فرکانس اولیه	خدمات جانبی کنترل فرکانس
قابلیت اطمینان	کفایت	پیش‌بینی بلندمدت بار	بازار ظرفیت	پیش‌بینی بلندمدت بار	پرداخت بابت آمادگی به واحدها
	امنیت	خدمات FCDR و FADR	بازارهای ذخیره	خدمات کنترل فرکانس ثانویه وذخیره دقیقه‌ای	خدمات جانبی ذخیره بهره‌برداری
ناپایداری ولتاژ		خدمات جانبی توان راکتیو	خدمات جانبی توان راکتیو	خدمات جانبی توان راکتیو	خدمات جانبی توان راکتیو
محدودیت‌های شبکه انتقال		قیمت‌گذاری ناحیه‌ای در بازار	بازار FTR و قیمت‌گذاری در بازار براساس LMP	تغییر الگوی تولید تولیدکننده‌ها	بستن بازار در نقطه مرجع

بخش اقتصادی

با بررسی بازار برق ایران مشخص می‌شود همانند سایر بازارهای برق، ریسک قیمت و ریسک حجم[۱] به عنوان دو ریسک عمده مالی در این بازار حضور دارد. علاوه بر این، بازیگران بازار برق ایران با ریسک‌های اعتباری، تأمین مالی و عملیاتی نیز مواجه هستند. با مقایسه این ریسک ها با سه بازار بررسی شده مشخص می‌شود به جز ریسک تأمین مالی، سایر ریسک‌ها بین بازارهای گفته شده مشترک هستند.

[۱] ریسک حجم به دو صورت بروز می‌کند: عدم تأمین بخشی از تقاضا، عدم فروش بخشی از تولید.

در مقابل، ریسک‌های تفاوت قیمت منطقه‌ای، ریسک نرخ ارز و ریسک اثرگذاری بازار مالی بر بازار فیزیکی در بازارهای مورد بررسی وجود داشت اما در بازار ایران مشاهده نمی‌شود. ریسک نقدشوندگی در هر سه بازار مورد اشاره شناسایی شده بود؛ اما در ایران تنها در بورس انرژی قابل شناسایی است. سایر ریسک ها نیز (ریسک عملیاتی و اعتباری) به شکل متفاوتی در بازار برق ایران وجود دارد. به طور کلی ریسک‌های شناسایی شده را می‌توان مطابق جدول ۲ خلاصه نمود.

جدول(۲): ریسک‌های اقتصادی موجود در بازارهای مختلف و راهکارهای مدیریت آنها

نوع ریسک	بازار نوردیک	بازار PJM	بازار آلمان	بازار ایران
ریسک نوسان قیمت	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس
ریسک نوسان حجم	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس
ریسک اعتباری	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس
ریسک عملیاتی	این ریسک وجود ندارد	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	این ریسک وجود ندارد	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس
ریسک نقدشوندگی	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس
ریسک تأمین مالی	این ریسک وجود ندارد	این ریسک وجود ندارد	این ریسک وجود ندارد	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس
ریسک قیمت منطقه‌ای	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	این ریسک وجود ندارد	این ریسک وجود ندارد
ریسک اثرگذاری بازار مالی بر بازار فیزیکی	این ریسک وجود ندارد	- ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس - ابزارهای مشتقه خارج از بورس	این ریسک وجود ندارد	این ریسک وجود ندارد

همان‌طور که دیده می‌شود عمده‌ترین راهکار مقابله با ریسک‌های اقتصادی، استفاده از ابزارهای مشتقه[1] است. راهکارهای مورد استفاده در سه بازار نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان شامل انواع مختلف و متنوعی از ابزارهای مشتقه قابل معامله در بورس شامل قراردادهای آتی (سلف استاندارد) و اختیار معامله و ابزارهای خارج از بورس شامل قراردادهای سلف، معاوضه، سقف و کف معامله و ... است. اما در ایران تنها راهکارهای مبتنی بر بورس وجود دارد و از میان ابزارهای مشتقه، تنها قراداد سلف موازی استاندارد استفاده می‌شود [۲].

بخش حقوقی

به طور کلی، با بررسی ساختار حقوقی بازارهای برق نوردیک، پی جی ام و آلمان و بازار برق ایران و مقایسه ریسک‌های مشترک و راهکارهای به‌کاربرده شده در این بازارها، می‌توان شرایط این بازارها را از نظر انواع ریسک‌ها و راهکارهای بکار گرفته شده به صورت جدول ۳ خلاصه کرد.

جدول (۳): ریسک‌های حقوقی موجود در بازارهای مختلف و راهکارهای مدیریت آنها

نوع ریسک		بازار نوردیک	بازار PJM	بازار آلمان	بازار ایران
ریسک‌های قانونی		– قانون اوراق بهادار نروژ(۲۰۰۷) – مقررات مصوب نهاد مقررات‌گذار	– قوانین فدرال آمریکا – قوانین ایالت دلاور – مقررات مصوب فرک	– قانون بورس آلمان	– قوانین مصوب مجلس – مقررات مصوب هیئت تنظیم
ریسک‌های قراردادی	قالب قراردادی	– قرارداد عضویت(ذکر اجمالی تعهدات طرفین)	– موافقت نامه‌ی بهره‌برداری	– فرم عضویت (ذکر مختصر تعهدات)	– قراردادهای خرید، فروش و خرید خدمات انتقال
	ریسکهای ناظر به شروط	– مقررات ناظر بر شروط عمومی – شیوه تجارت در بازار – رفتار حرفه ای – مشخصات قراردادها	– موافقت نامه‌ی بهره‌برداری	– شرایط تجارت و الزامات قراردادی – رفتار حرفه‌ای – ثبت معاملات	– شروط ضمن قراردادهای خرید، فروش و خرید خدمات انتقال – مقررات بازار
نظام حل و فصل اختلافات		– ارجاع به قانون داوری نروژ	– مذاکره – میانجیگری – داوری	– نظام داوری منسجم ندارد	– کارشناسی هیئت تنظیم

در بازار برق ایران سه دسته ریسک حقوقی شامل ریسک‌های قانونی، قراردادی و قضایی وجود دارند. اساسنامه‌ی شرکت مدیریت شبکه یکی از مهم‌ترین اسناد قانونی و لازم الاجرای بازار برق ایران است که در

[1] *Derivative Contracts*

ماده‌ی ۲ آن مسئولیت ایجاد، اداره و توسعه‌ی بازار و بورس برق و ایجاد یک بازار رقابتی را به شرکت مدیریت شبکه برق ایران واگذار کرده است. نهاد مقررات گذار بازار برق ایران، هیات تنظیم بازار برق است که در آیین‌نامه‌ی تعیین روش، نرخ و شرایط خرید و فروش برق، ایجاد آن پیش‌بینی شده است.

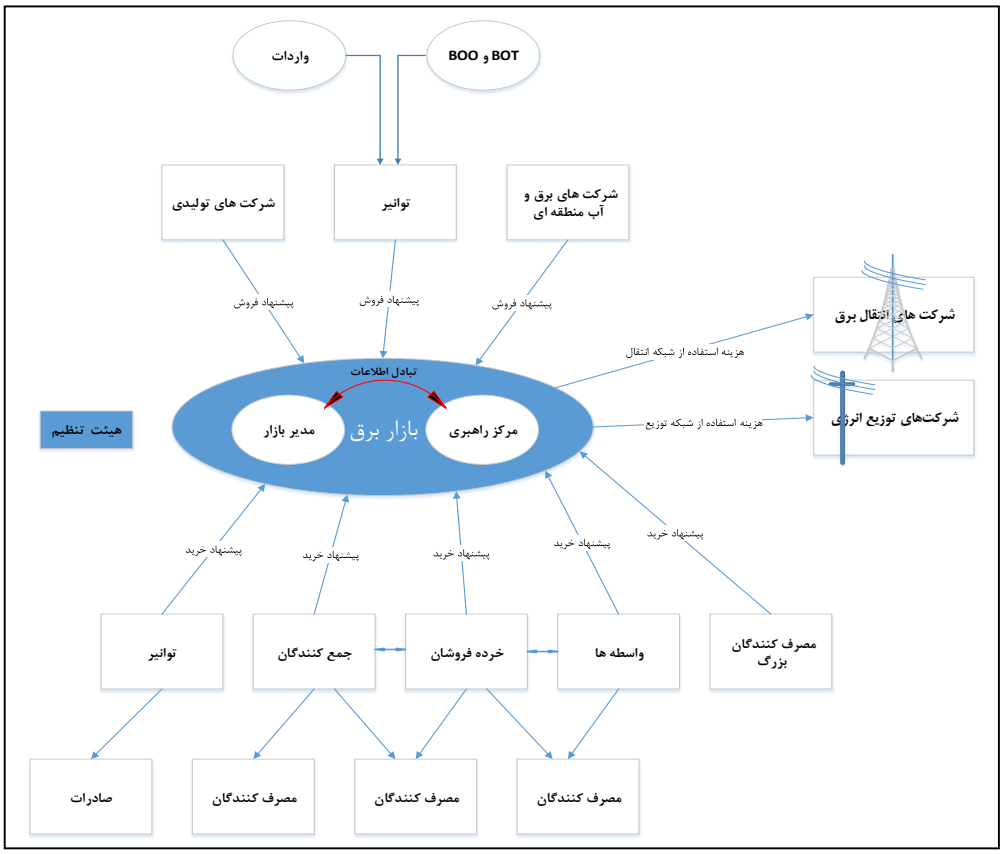
قوانین و مقررات حاکم بر بازار برق ایران شامل قوانین موضوعه مصوب نهادهای تقنینی مانند قانون سازمان برق ایران، قانون تأسیس وزارت نیرو، قوانین پنج‌ساله‌ی توسعه و قانون استقلال شرکت‌های توزیع برق در استان‌ها هستند. به‌علاوه، یکسری مقررات نیز در این زمینه وجود دارند که اگرچه ازنظر حقوقی در جایگاهی پایین‌تر قرار می‌گیرند، اما نقشی مؤثرتر را در بازار برق ایران بازی می‌کنند. این مقررات شامل آیین‌نامه‌ی اجرایی شرایط و تضمین خرید برق، آیین‌نامه‌ی تعیین روش، نرخ و شرایط خریدوفروش برق، آیین‌نامه‌ی نرخ، شرایط و روش خرید خدمات انتقال در شبکه برق و ... هستند. به دلیل پراکندگی قوانین و عدم مدون سازی منابع قانونی، عدم‌کفایت و به‌روز نبودن قوانین موضوعه و پراکندگی تعهدات مدیریت بازار و بازیگران در قوانین و مقررات مختلف، ریسک‌های قانونی قابل‌توجهی متوجه بازیگران بازار است.

بخش دیگری از ریسک‌های حقوقی، ریسک‌های قراردادی (در قراردادهای فروش، خرید و ...) است که طیف وسیعی داشته و مربوط به تعهدات قراردادی، موضوع قرارداد، حادثه قهریه، عدم افشای اطلاعات و فسخ قرارداد است. همچنین ریسک‌های قضایی بخش مهم دیگری از ریسک‌های بازیگران بازار را تشکیل می‌دهد که مهم‌ترین بخش آن نظام حل‌وفصل اختلافات است. درحال حاضر حل و فصل اختلافات در بازار برق ایران تحت نظام کارشناسی مستقر در هیئت تنظیم بازار برق عمل می‌نماید. نظام کارشناسی مذکور البته در مقایسه با بازارهای برق دنیا نظام ناقصی است و انتقاداتی به آن وارد است [۲].

الگوهای پیشنهادی و راهکارهای تطبیقی در جهت مدیریت ریسک در بازار برق ایران [۳]

بخش فنی

با توجه به ساختار بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان و همچنین ایران، ساختار کلی بازار برق ایران به صورت شکل ۱ پیشنهاد می‌شود. در این ساختار برخلاف ساختار قبلی، خریداران بازار نیز می‌توانند مانند فروشندگان وارد بازار شده و با توجه به استراتژی خود، پیشنهاد قیمت دهند. به علاوه در این ساختار نهادهای تجاری دیگری نظیر واسطه‌ها، خرده‌فروشان، جمع‌کننده‌ها و مصرف‌کنندگان بزرگ نیز به عنوان خریدار دیده می‌شوند. همچنین در این ساختار پیشنهاد شده است که شرکت‌های برق منطقه‌ای و شرکت‌های توزیع، تنها بهره‌برداری از شبکه‌های انتقال و توزیع را بر عهده داشته باشند. این نهادها می‌توانند شرکت‌های دولتی مانند بازار برق‌های نوردیک و آلمان و یا خصوصی مانند بازار برق پی جی ام باشند.



شکل (۱): ساختار پیشنهادی برای بازار برق ایران از دیدگاه کاهش ریسک‌های فنی

همچنین در این الگو، برای پیاده سازی بازار انرژی بازارهای ذیل نیز در نظر گرفته شده‌اند:

- ✓ بازار روز بعد: مکانیزم بازار روز بعد در ایران همانند رویه سابق اجرا می‌شود با این تفاوت که خریداران نیز پیشنهادات مربوط به ظرفیت و قیمت خود را نیز به بازار ارائه کرده و بازار با توجه به این پیشنهادات اجرا خواهد شد.
- ✓ بازار لحظه‌ای: در ساختار پیشنهادی، خریداران می‌توانند وارد بازار شده و پیشنهادات قیمتی خود را ارائه کنند. بنابراین وجود یک بازار لحظه‌ای (زمان واقعی) به منظور برقراری تعادل بین تولید و مصرف در زمان بهره‌برداری بسیار ضروری خواهد بود.

بخش اقتصادی

ساختار کنونی بازار برق ایران موجد ریسک‌های متعددی برای بازیگران و مدیر بازار است. بازیگران بازار برق (عرضه‌کنندگان و خریداران) در این بازار با ریسک نوسان قیمت و نوسان حجم مواجه هستند. عرضه‌کنندگان برق با ریسک اعتباری (ناشی از تأخیر در پرداخت‌ها و هزینه تراکنش‌های مالی) نیز مواجه‌اند. شرکت مدیریت شبکه خود به عنوان مدیر بازار ریسک‌های عملیاتی (امور مالیاتی و ...) و اعتباری را پیش روی خود می‌بیند.

در بخش ریسک‌های عملیاتی و اعتباری که شرکت مدیریت شبکه برق به عنوان مدیر بازار و تا حدودی عرضه‌کنندگان برق را تحت تأثیر قرار می‌دهد می‌توان پیشنهادات ذیل را معرفی نمود:

- ✓ تغییر ساختار از ISO حداکثری به ISO حداقلی

در حال حاضر شرکت مدیریت شبکه، نقش بسیار پررنگی در بازار برق عهده دار شده است که جایگاه این شرکت را از مدیریت بازار به اجری عملیاتی تغییر داده است. شرکت مدیریت شبکه یک ISO حداکثری

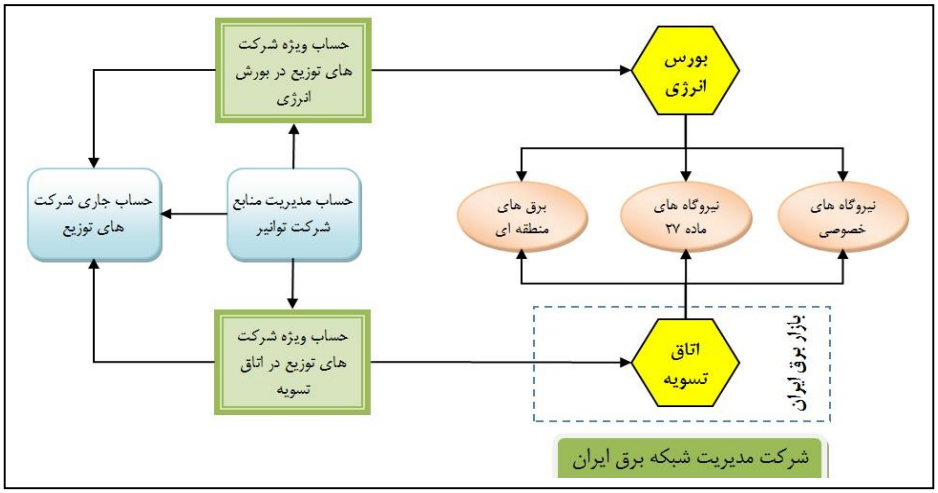
است. به این معنی که تمام اطلاعات، تراکنش‌ها، معاملات و برنامه‌ریزی‌ها یا به طور کلی توسط این شرکت انجام می‌گیرد و یا بدون هماهنگی و اطلاع وی قابل انجام نیست.

- ✓ راه اندازی اتاق تسویه

هر بازار توسعه یافته‌ای که امکان معامله مستقیم خریداران و فروشندگان را فراهم کند؛ ناگزیر از داشتن اتاق تسویه وجوه است. بدون وجود اتاق تسویه نه تنها بازیگران بازار در معرض ریسک‌های مالی قرار خواهند گرفت، بلکه تعدد و پیچیدگی تراکنش‌ها هزینه‌های قابل توجهی را متوجه فعالان بازار خواهد نمود.

متولی اتاق تسویه بازار برق شرکت جدیدی خواهد بود که توسط شرکت مدیریت شبکه راه‌اندازی شده اما مستقل از آن فعالیت می‌کند. منابع این شرکت از محل کارمزدهایی خواهد بود که از تسویه هر معامله دریافت می‌کند. این کارمزدها اگرچه به ازای هر معامله بسیار ناچیز خواهد بود اما با توجه به حجم بسیار بالای معاملات بازار برق ایران، درآمد قابل توجهی را ایجاد خواهد کرد.

پس از راه‌اندازی شرکت مذکور و ایجاد اتاق تسویه، تمامی معامله‌گران موظف خواهند بود حساب‌های بانکی و اعتباری خود را به وی اعلام نموده و در صورت نیاز ضمانت نیز بسپارند. ضمناً تمامی معاملات بازار برق با اطلاع این شرکت انجام شده و نهایی می‌شود.



شکل (۲): ساختار اتاق تسویه بازار جهت کاهش ریسک‌های اقتصادی

بخش حقوقی

به‌طورکلی و با الهام از راهکارهای مدیریت ریسک در بازارهای برق پی‌جی‌ام، نوردیک و آلمان، می‌توان در جهت بهبود ساختار حقوقی بازار برق ایران این اصلاحات را اعمال کرد:

- ✓ یکی از مواردی که در اصلاح ساختار بازار برق ایران و نقش مدیریت شبکه در انجام معاملات این بازار باید موردتوجه قرار بگیرد، تدوین و تصویب یک موافقت‌نامه‌ی عضویت است. موافقت‌نامه‌ی مذکور پیش‌شرط ورود به بازار برق ایران است. تدوین و تصویب چنین موافقت‌نامه‌ای می‌تواند بسیاری از ریسک‌های متوجه مدیریت بازار را قبل از اینکه بازیگران بازار وارد روند انعقاد معاملات شوند، مدیریت نماید.
- ✓ تغییر رویکرد فعلی به مسئله‌ی بودجه و مدیریت آن در بازار برق ایران: به جای اینکه بودجه‌ی مدیریت بازار (شرکت مدیریت شبکه) تماماً توسط دولت تعیین شود و استقلال این نهاد به‌نوعی زیر سؤال قرار بگیرد، می‌توان با روش‌های گوناگونی برای این شرکت درآمدزایی کرد. ازجمله این روش‌هامی‌توان به پرداخت حق عضویت سالانه برای عضویت در بازار، تعیین خسارت نقدی برای اعتراض به تصمیمات مدیریت شبکه در صورت رد اعتراض و ... اشاره کرد که علاوه بر درآمدزایی، ریسک‌های متوجه مدیریت بازار در اثر ناآگاهی اعضای بازار را نیز کاهش می‌دهد.
- ✓ تعیین شروط محدودکننده‌ی مسئولیت: شروط عدم مسئولیت و محدودیت مسئولیت یکی از برگ‌های برنده‌ی مدیریت بازار در دعاوی فی‌مابین این نهاد و بازیگران بازار است. در بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان استفاده از این شروط بسیار پرکاربرد است. شروط عدم مسئولیت می‌تواند شامل عدم مسئولیت مدیریت بازار در خصوص انواع خاصی از خسارات، مواردی که عدم انجام تعهد به‌واسطه‌ی اقدامات حاکمیتی است و موارد دیگری باشد.

- ✓ پرداخت هزینه برای اعتراض در قالب فرم های سه گانه: اعتراض در قالب فرم های سه گانه برای بازیگران بازار هزینه‌ای در بر ندارد و همین موضوع افزایش اعتراضات را در بر دارد. در نتیجه پیشنهاد می‌شود با الهام از سایر بازارهای برق دنیا، برای اعتراض در قالب فرم‌های سه‌گانه هزینه‌ای در نظر گرفته شود.
- ✓ اجباری شدن اخذ گواهی صلاحیت حرفه‌ای برای شرکت‌کنندگان در بازار: گواهی صلاحیت حرفه‌ای نشان از آشنایی بازیگران بازار با اصول و قواعد حقوقی و فنی حاکم بر بازار برق دارد و بهتر است که در بازار برق ایران نیز اخذ این گواهی اجباری شود. این گواهی می‌تواند پس از گذراندن دوره‌های آشنایی با عملکرد بازار و قبولی در آزمون صلاحیت حرفه‌ای به بازیگران بازار اعطا شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله ریسک‌های فنی، اقتصادی و حقوقی موجود در بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان با بازار برق ایران به اختصار مورد مقایسه قرار گرفت و تشابهات و تفاوت‌ها معرفی گردیدند. در ادامه با مقایسه تطبیقی مابین این بازارها و بازار برق ایران، در هر یک از بخش‌های فنی، اقتصادی و حقوقی پیشنهادها و الگوهای مناسبی جهت کاهش ریسک بازیگران بازار و به‌خصوص نهاد مدیریت بازار پیشنهاد گردید. از جمله این راهکارها می‌توان به راه‌اندازی بازار لحظه‌ای جهت کاهش ریسک‌های فنی، راه‌اندازی اتاق تسویه بازار جهت پوشش معاملات دوجانبه و کاهش ریسک‌های اقتصادی و تدوین و تصویب موافقت‌نامه‌ی عضویت و همچنین اجباری شدن گواهی صلاحیت حرفه‌ای جهت کاهش ریسک‌های حقوقی اشاره کرد. از دید گاه کلی نیز کاهش نقش نهاد مدیریت شبکه در بازار برق ایران از ISO حداکثری به ISO حداقلی می‌تواند به کاهش ریسک‌های این نهاد کمک شایانی نماید.

مراجع

[۱] "شناخت ساختار فنی، مالی و حقوقی بازار و بورس برق نوردیک، پی جی ام و آلمان به همراه شناخت مفهوم و انواع ریسک و شناسایی راهکارهای مدیریت و پوشش آنها در این بازارها"، گروه پژوهشی مطالعات سیستم، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، دی‌ماه ۱۳۹۳.

[۲] "بررسی ساختار فنی، اقتصادی و حقوقی بازار و بورس برق ایران به همراه شناسایی انواع ریسک و راهکارهای مدیریت و پوشش آنها در این بازار و بررسی تطبیقی راهکارهای مدیریت ریسک‌های مشترک مابین بازار برق ایران و بازارهای برق نوردیک، پی‌جی‌ام و آلمان"، گروه پژوهشی مطالعات سیستم، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، خردادماه ۱۳۹۴.

[۳] "بررسی روابط فنی، اقتصادی و حقوقی مابین ارکان بازار برق ایران و پیشنهاد الگوی مناسب جهت اصلاح این روابط در جهت مدیریت ریسک‌های مرتبط با آنها"، گروه پژوهشی مطالعات سیستم، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، مهرماه ۱۳۹۴.

Study of operational, economical and legal risk management strategies in the electricity markets around the world and its implementation in Iran electricity market

Authors: JavadNezafatNamini, Hossein Ranjbar, Mohammad Rezaei, Mina Hosseini, Amir Moshari

Abstract: As in other competitive markets, electricity market participants and market operators are faced with various risks. Some of these risks arising from the nature of competition in such markets and some of the electricity market structure and area. Along with such risks, in particular, market operators and network manager duty to manage and control system can be challenged. On the other hand, the decisions and performance of the network management entities could create other adverse risks for market players such as, regulatory and legal risks. Such risks and factors can impact on the interests of players and the quality of network manager. For this reason, it is essential to study risk management from the perspective of different market actors and players.

Generally, the risks involved in the electricity market can be divided into three categories of technical issues and operational risks, financial and economic risks, and legal and contractual risks. This paper investigates the risks and risk managements strategies which are employed in Nordic, P.J.M and Germany electricity markets, and also Iran electricity market. Based on these studies, this paper proposes effective and practical solutions for managing the operational, finantial, and legal risks which the market operator is faced with in Iran electricity market.

مقاله پژوهشی

بررسی مقاومت به خوردگی و مشخصات فنی تجهیزات تابلوهای شبکه توزیع برق مناسب با شرایط آب و هوایی شهرهای ساحلی استان هرمزگان

علیرضا شیخی فینی[۱]، شایان وکیلی‌پور، احسان عباس‌نژاد

چکیده: هدف از انجام این تحقیق، ارائه دستورالعملی برای طراحی مشخصات فنی تجهیزات تابلوهای فشار متوسط در پست‌های بیرونی جهت به حداقل رساندن هزینه تعمیرات، خرابی قطعات و اتلاف انرژی ناشی از سرعت خوردگی بسیار بالای استان هرمزگان و سواحل خلیج فارس است. در این تحقیق شرایط محیطی استان بررسی شده و بازدید دوره‌ای از تابلوهای موجود در نوارساحلی بندرعباس انجام می‌شود که موید وضعیت نامناسب تابلوها از لحاظ مقاومت به خوردگی است. این شرایط با استانداردهای بین المللی مقایسه شده و در نهایت با نمونه برداری از بدنه تابلوهای موجود و انجام آزمون‌های الکتروشیمیایی (طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی) بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه تخصصی خوردگی بهترین جنس بدنه برای استفاده در شرایط آب و هوایی استان تعیین گردیده و همچنین از پوشش‌های نانو که راهکار مناسبی برای به حداقل رساندن سرعت خوردگی است استفاده شده که نتایج آزمون الکتروشیمیایی نیز این مطلب را تایید کرده است.

کلیدواژه: تابلو برق، خوردگی، خلیج فارس،پوشش نانو، گالوانیزه گرم.

مقدمه:

با نگاهی به آمار منتشر شده از خسارات مستقیم و غیر مستقیم خوردگی به اقتصاد کشورها می‌توان به هزینه‌های سرسام‌آور این پدیده پی برد. بر اساس برخی بررسی‌های غیر رسمی، زیان اقتصادی مستقیم ناشی از خوردگی در ایران در سال ۱۳۷۳ حدود ۵۰۰۰ میلیارد ریال، در سال ۱۳۷۵ حدود ۹۰۰۰ میلیارد ریال و در سال ۱۳۷۹حدود ۲۷۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است.بنابراین جلوگیری از خوردگی و به حداقل رساندن آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۱].

[۱]- عضو هیأت علمی گروه مطالعات سیستم، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:asheikhi@nri.ac.ir

استفاده از تابلوهای با مشخصات فنی منطبق با شرایط آب و هوایی منطقه امری کاملاً ضروری است و عدم رعایت این مهم باعث کاهش طول عمر تابلو و هدر رفتن بخش عظیمی از سرمایه و بهره‌برداری نادرست از آن تجهیزات شده است. در چنین شرایطی جهت افزایش طول عمر تجهیزات (تابلو) و جلوگیری از استهلاک بیش از حد، ارائه استانداردهای منطبق با شرایط آب و هوایی شهرهای ساحلی استان ضروری است.

طراحی‌های انجام شده برای تجهیزات تابلوهای برق (به خصوص فشار متوسط) برای شرایط آب و هوایی معتدل ایران انجام شده است. از طرفی شرایط آب و هوایی استان هرمزگان به گونه‌ای است که علاوه بر گرمای زیاد و بالا بودن درجه حرارت در اغلب روزهای سال رطوبت بالا، کلر و آلودگی‌های صنعتی، گرد و غبار موجود در هوا نیز عاملی برای کاهش عمر مفید تجهیزات بوده و علاوه بر آن بر عملکرد درست تجهیزات تأثیرگذار است. علت بررسی خاص بر روی شرایط آب و هوایی استان هرمزگان این است که ممکن است این شرایط در کشور منحصر به فرد باشد؛ لازم به ذکر است بسیاری از مشکلات و مسائل مربوطه به صنعت برق کشور در این مناطق به ویژه در نواحی ساحلی در ارتباط با وجود خاکی خورنده و تأثیرگذاری آن بر تجهیزات و ادوات الکتریکی قرار گرفته در درون خاک نظیر پایه‌های فلزی، چوبی و بتنی و اتصالات ارت، کابل‌ها و لوله‌های مربوطه است. لذا با انجام این تحقیق می‌توان دریافت که نتایج به دست آمده از عملکرد و طول عمر تجهیزات با سایر نقاط کشور به چه میزان متفاوت خواهد بود. همچنین، علاوه بر مزایای اقتصادی این پروژه نظیر کاهش اتلاف سرمایه، با توجه به اینکه این تجهیزات دیرتر به بخش اسقاط ارسال می‌گردند، آسیب کمتری به محیط زیست وارد خواهد شد.

انواع خوردگی در تابلوهای برق

برای تشخیص نوع خوردگی در تابلوهای برق در اکثر موارد چشم غیر مسلح کافیست، اما در بعضی موارد نیز استفاده از ذره بین یا میکروسکوپ‌های با بزرگنمایی کم می‌تواند مفید باشد. بر اساس ظاهر خوردگی

تابلوها را به۳ دسته اصلی تقسیم بندی می‌کنند: ۱-خوردگی یکنواخت یا سراسری، ۲-خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی، ۳-خوردگی موضعی[۱][۲].

خوردگی یکنواخت[۲]

خوردگی یکنواخت معمول‌ترین نوع خوردگی است که در تابلوهای برق رخ می‌دهد. فرایندهای خوردگی یکنواخت بسیاری از پدیده‌های خوردگی را در ارتباط با علم و مهندسی خوردگی در بر می‌گیرد.

این خوردگی توسط یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی که به‌طور یکنواخت در سراسر سطحی که در تماس با محیط خورنده قرار دارد، دیده می‌شود و هیچ مکانی به مکان دیگر ارجح نیست، مانند زنگ زدن فولاد. فلز مورد نظر نازک و نازک‌تر شده و در پایان کاملاً فلز و یا تجهیزات مورد نظر از بین رفته و تخریب می‌شود. مانند خورده شدن قطعه فولادی یا روی در محلول اسید سولفوریک. شکل (۱) خوردگی‌های یکنواخت قسمت‌های مختلف تابلو را نشان می‌دهد.

شکل (۱) خوردگی یکنواخت در تابلوهای برق

[۱] این نوع خوردگی به شکل‌های حفره دار شدن، شیاری و رشته ای ایجاد می‌شود. خوردگی بین دانه‌ای نیز با توجه به ساختار متالورژیکی می تواند نوعی خوردگی موضعی در نظر گرفته شود

[۲] *Uniform Attack*

نکته قابل ذکر این است که این خوردگی از لحاظ اقتصادی و میزان فلز خورده شده اهمیت داشته و بالاترین رقم را دارد ولی از نقطه نظر فنی چندان اهمیت ندارد زیرا می‌توان با آزمایش‌های ساده‌ای، عمر تجهیزات مصرفی را دقیقاً محاسبه کرد. این خوردگی را می‌توان با انتخاب مواد و پوشش مناسب، ممانعت‌کننده‌ها و یا با استفاده از حفاظت کاتدی متوقف یا کم کرد [۳و۴].

خوردگی گالوانیکی[۱]

خوردگی گالوانیکی از نوع خوردگی الکتروشیمیایی است. زمانی که دو فلز غیر هم جنس در تماس با یکدیگر و در یک محیط هادی یا خورنده قرار بگیرند، اختلاف پتانسیل بین آن دو موجب برقراری جریان الکترون بین آن‌ها می‌شود. شکل (۲) خوردگی گالوانیلی را در قسمت‌های مختلف تابلوها نشان می‌دهد.

شکل (۲) خوردگی گالوانیکی در تابلوهای برق

در مقایسه با حالتی که این دو فلز در تماس یکدیگر نیستند، خوردگی فلزی که مقاومت کمتری دارد، افزایش یافته و برعکس، خوردگی فلز مقاوم‌تر، کاهش می‌یابد. از نظر خوردگی در کوپل گالوانیکی، فلز

[۱] *Galvanic Corrosion*

مقاوم‌تر کاتدی شده و فلز با مقاومت کمتر، آندی می‌شود. فلز کاتدی معمولاً یا خورده نمی‌شود یا خیلی کم دچار خوردگی می‌شود. سه شرط اساسی وقوع خوردگی گالوانیکی عبارتست از: ۱-وجود دو فلز ناهمسان از لحاظ الکتروشیمیایی، ۲- جود مسیر هدایت الکتریکی بین دو فلز، ۳-وجود مسیر هادی برای آنیون‌های فلزی جهت حرکت از فلز آندتر به فلز کاتدتر که اگر هر یک از شرایط فوق موجود نباشد، خوردگی گالوانیکی رخ نمی‌دهد [۳و۵].

آزمایش بر روی نمونه‌های استفاده شده در تابلو

نمونه‌های تهیه شده از انبار شرکت توزیع برق بندرعباس متشکل از ۵ نمونه، در شکل (۳) نشان داده شده است. نمونه‌ها در ابعاد ۷×۱۰ سانتیمتر بریده شده و به منظور عدم تماس کل نمونه با محیط خورنده، کل سطح با بیزواکس آغشته شده و فقط یک سطح ۱×۱ سانتیمتر به منظور انجام آزمون امپدانس الکتروشیمیایی در معرض محیط خورنده قرار میگیرد. به منظور تسریع در عملیات خوردگی و ایجاد شرایط لازم جهت انجام آزمون امپدانس الکتروشیمیایی نمونه‌ها را در محلول ۳/۵ درصد وزنی کلرید سدیم که محیط بسیار خورندهای است به مدت ۲۰ روز غوطه ور شده است.

ارزیابی آزمون اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌ها

ضخامت و سلامت پوشش و چسبندگی لازم بین پوشش و سطح فلز معیارهای بسیار مهم در عمر یک سازه در محیط خورنده است. افزایش ضخامت و سلامت پوشش می‌تواند سدی در برابر نفوذ عوامل خورنده به سطح فلز را ایجاد کند. جدول (۱) ضخامت پوشش‌ها که توسط دستگاه ضخامت‌سنج اندازه گرفته شده است را نشان می‌دهد.

جدول (۱) ضخامت پوشش‌ها

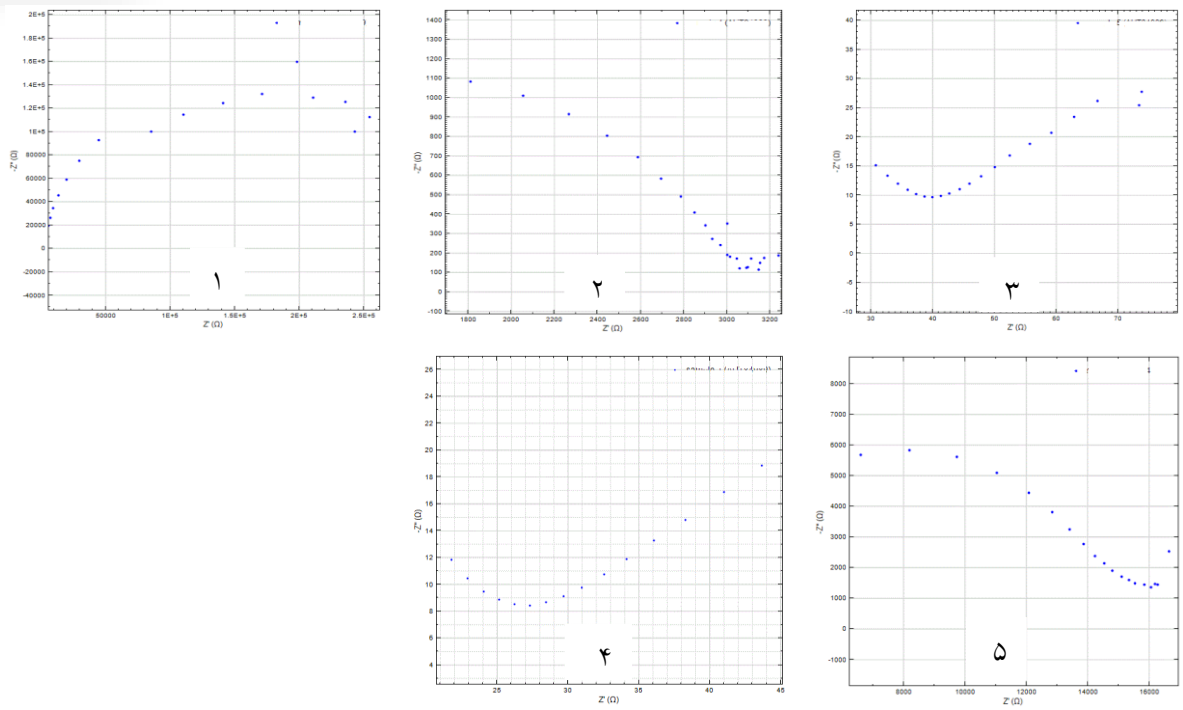
نمونه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
ضخامت (µ)	۱۲۰	۳۰	۶۰	۸۰	زیر ۱۰

همانگونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، نمونه ۱ و۴ بیشترین ضخامت و نمونه ۵ و ۲ کمترین ضخامت را دارا هستند و انتظار می‌رود که نمونه ۱ و ۴ مقاومت خوردگی بیشتری نسبت به دیگر نمونه‌ها داشته باشند[۱].

شکل (۳) نمونه‌های مورد آزمایش (تهیه شده از شرکت توزیع برق بندرعباس)

ارزیابی آزمون امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)

در آزمون EIS از دستگاه AutaLAB PGTAT12 مجهز به نرم‌افزار Nava در آزمایشگاه خوردگی دانشگاه صنعتی امیرکبیر استفاده شده است. محدوده فرکانسی انجام آزمون ۱۰ کیلوهرتزی تا ۰/۰۱ هرتز و نیز محدود نوسانات ولتاژی ۱۰± mV در نظر گرفته شد. نتایج آزمون EIS در شکل (۴) و جدول (۲) ارائه شده است.



شکل (۴) نمودارهای آزمون امپدانس الکتروشیمیایی EIS

جدول (۲) نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی EIS

نمونه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵
مقاومت (Ω)	۳/۵×۱۰^{۵}	۳۰۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰۰۰

نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی نشان می‌دهد که نمونه شماره ۱ به دلیل ضخامت نسبتاً مناسب و چسبندگی مناسب پوشش با سطح فلز زیرین مقاومت مناسبی در برابر محیط خورنده دارد و برای شرایط آب و هوایی استان در مقایسه با دیگر نمونه‌ها می‌تواند طول عمر بیشتری داشته باشد [۱].

آماده‌سازی نمونه‌ها برای اعمال پوشش آلی حاوی نانو ذره

نمونه‌های فولادی با ابعاد ۱۰×۷ cm^2 و ۱×۱ cm^2 با ضخامت ۶ mm که از جنس فولاد گرید A که در صنایع کشتی‌سازی کاربرد دارد از شرکت صنایع کشتی‌سازی بحرگسترش هرمز تهیه شدند و توسط دستگاه کواتیومتری ترکیب درصد عناصر موجود در فولاد تعیین گردید و در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) ترکیب درصد عناصر موجود در فولاد گرید A

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
۹۸/۷۰۹	۰/۱۱۵	۰/۲۲۱	۰/۷۵۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	۰/۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۴۰

به دلیل وجود لایه‌های اکسیدی از جنس اکسیدهای آهن[۱] بر روی نمونه‌های فولادی، آماده‌سازی نمونه‌ها قبل از اعمال پوشش تبدیلی و پوشش آل بر روی آن‌ها انجام شد. برای برطرف کردن لایه اکسیدی ابتدا لایه اکسیدی توسط سنگ مغناطیس از روی سطح برداشته شد و سپس برای جلوگیری از تشکیل مجدد لایه اکسیدی، نمونه‌ها در تینر فوری قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل گردید و در ادامه نمونه‌ها توسط حلال استون چربی‌زدایی شدند و با آب مقطر شسته شده و در دمای محیط خشک و در داخل دسیکاتور تا زمان اعمال پوشش تبدیلی و پوشش آلی نگهداری شدند.

اعمال پوشش تبدیلی

پوشش تبدیلی استفاده شده یک پوشش نانو سرامیک بر پایه زیرکونیوم بوده که جهت بهبود خواص چسبندگی و ارتقاء مقاومت که خوردگی پوشش آلی استفاده می‌شود. روش اجرایی این پوشش تبدیلی از طریق غوطه‌وری بوده که با آبکشی با آب مقطر تکمیل می‌شود. این پوشش تبدیلی شامل ۲ محلول است. ابتدا یک حمام یک لیتری که شامل ۹۰۰mL آب مقطر و ۱۰۰mL از یکی از محلول‌ها است تهیه گردید. دستگاه اندازه‌گیری pH را درون حمام قرار داده و با قطره‌چکان محلول دوم را آن‌قدر اضافه کرده تا pH محلول به عدد ۴ برسد. حمام فوق برای اعمال پوشش تبدیلی آماده است. قبل از اعمال پوشش تبدیلی هرگونه زنگ و با گردوغبار از سطح فولاد پاک کرده و بعد از آن آبکشی با آب مقطر فرآیند تمیز کردن تکمیل می‌گردد. نمونه‌ها را به مدت ۲ دقیقه در حمام قرار داده و بعد از آن با آب مقطر فراوان سطح نمونه را شسته و پس از آن نمونه‌ها خشک می‌گردد [۶].

[۱] *Mill Scale*

تهیه و اعمال پوشش آلی بر روی نمونه‌ها

پلی‌یورتان تهیه شده از شرکت تک‌رنگ بر پایه پلی‌الاکریلیک بوده و با اضافه کردن ایزوسیانات پخت می‌شود. رزین پلی‌یورتان مورد استفاده دارای محتوای گروه هیدروکسیل ۲/۸ درصد بوده و نسبت اختلاف وزنی رزین به هاردنر ۴ به ۱ است. ضمناً درصد جامد رزین و هاردنر ۷۵٪ بوده است. پس از تهیه پوشش آلی با استفاده از فیلم کش پوشش آلی را با ضخامت ۶۰ میکرون بر روی نمونه‌ها $10\times7\ cm^2$ اعمال می‌شود.

تهیه و اعمال نانوکامپوزیت پلی‌یورتان/ نانو سیلیکا

نانوذره اصلاح سطحی شده SiO_2 با اندازه ۳۰ نانومتر را با درصدهای مختلف ۱، ۲، ۳، ۴ درصد وزنی به رزین پلی‌یورتان اضافه کرده و سپس مخلوط به دست آمده توسط همزن مکانیکی با دور بالای ۱۰۰۰ دور بر دقیقه برای مدت ۵ دقیقه هم‌زده شد و بعد از آن با استفاده از دستگاه سونیکیشن پروبی به مدت ۲۰ دقیقه نانوذرات را در زمینه پلی‌یورتان پخش کرده و بعد از آن برای جلوگیری از تجمع دوباره نانوذرات بلافاصله با استفاده از فیلم کش فیلمی با ضخامت ۶ میکرون بر روی نمونه‌های $10\times7cm^2$ اعمال می‌گردد.

جداول (۴) تا (۶) اطلاعات آزمون EIS برای نمونه‌های فولادی با و بدون پوشش تبدیلی در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهند. با مشاهده و مقایسه این جداول می‌توان تأثیر پوشش تبدیلی بر بهبود رفتار خوردگی فولاد را مشاهده کرد.

جدول (۴) اطلاعات آزمون EIS برای فولاد با و بدون پوشش تبدیلی در محیط ۳/۵ درصد وزنی

زمان (دقیقه)	$R_{ct}+R_c(\Omega)$		$C_c(\mu F)$	
	با پوشش تبدیلی	بدون پوشش تبدیلی	با پوشش تبدیلی	بدون پوشش تبدیلی
۱	۱۱۸۵	۴۶۷/۲	۱۳/۳۳	۸۹/۰۵
۱۰	۱۰۶۶	۵۸۷/۲	۱۳/۱۹	۲۱/۱۱
۲۰	۱۱۱۰	۶۰۱/۹	۱۹/۴۴	۲۱/۵۸

جدول (۵) اطلاعات آزمون EIS برای فولاد با و بدون پوشش تبدیلی در محیط آب دریای مصنوعی

زمان (دقیقه)	$R_{ct}+R_c$ (Ω)		C_c (μF)	
	با پوشش تبدیل	بدون پوشش تبدیلی	با پوشش تبدیلی	بدون پوشش تبدیلی
۱	۸۲۳/۸	۴۷۳	۵۵/۸۵	۶۳/۱۳
۱۰	۹۳۹/۹	۴۹۹/۵	۳۱/۱۷	۶۱/۲۰
۲۰	۸۷۶/۳	۱۰۲۷	۵۱/۱۳	۲۷/۸۸

جدول (۶) اطلاعات آزمون EIS برای فولاد با و بدون پوشش تبدیلی در محیط آب دریای واقعی

زمان (دقیقه)	$R_{ct}+R_c$ (Ω)		C_c (μF)	
	با پوشش تبدیلی	بدون پوشش تبدیلی	با پوشش تبدیلی	بدون پوشش تبدیلی
۱	۱۲۲۵	۵۰۱/۱	۲۸/۴۳	۳۷/۳۳
۱۰	۷۵۰/۱	۱۳۰۰	۳۴/۵۵	۲۵/۶۸
۲۰	۸۵۳/۹	۱۳۹۰	۲۹/۵۰	۲۵/۵۶

با مشاهده جدول (۵) که اطلاعات آزمون EIS برای فولاد با و بدون پوشش تبدیلی در محیط ۳/۵ درصد وزنی NaCl را نشان می‌دهد می‌توان دید که در دقیقه اول غوطه‌وری مقاومت پلاریزاسیون برای فولاد بدون پوشش تبدیلی ۴۶۷/۲ اهم است اما در همین زمان مقاومت پلاریزاسیون برای فولاد با پوشش تبدیلی ۱۱۸۵ اهم است. اطلاعات آزمون EIS برای محیط‌های آب دریای مصنوعی بر آب دریای طبیعی نیز تأثیر آزمون اعمال پوشش تبدیلی بر مقاومت به خوردگی را تأثیر می‌کند.

نتیجه‌گیری

فلز آهن به‌صورت انواع مختلف فولاد گالوانیزه یا روکش‌دار یا پوشش‌دار در صنعت برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. خوردگی این فلز در اتمسفر به مقدار ناخالصی، ترکیب فولاد، آلودگی و رطوبت هوا بستگی شدید

دارد. در مناطق صنعتی، خوردگی در فولادی که توسط باران شستشو نمی‌شود نسبت به قطعه فولاد مشابهی که در معرض باران قرار دارد، ۵ برابر بیشتر است. این حالت در مناطق دریایی شدیدتر است. هر چه فاصله از دریا بیشتر شود، میزان نمک انتقالی کمتر می‌گردد. البته در شرایط وزش بادهای قوی و تند میزان آلودگی بالاتر بوده و دارای برد و عمق نفوذ زیادتری است.

استفاده از گالوانیزه گرم با شرایط تولید خاص از قبیل ضخامت روی تشکیل شده شرایط حمام گالوانیزه و ... می‌تواند برای استفاده در ساخت بدنه خارجی تابلوهای برق فشار ضعیف مناسب باشد. به دلیل مکانیزم ضد خوردگی گالوانیزه وجود خراش و آسیب به لایه روی ایجاد شده بر روی فولاد می‌تواند عمر مفید گالوانیزه را بسیار کاهش دهد به همین دلیل دقت و نظارت بر حمل و نقل و نصب تابلوهای برق اهمیت زیادی دارد اجتناب از مساعد کردن شرایط برای ایجاد خوردگی گالوانیکی و موضعی ضروری است اگر قرار است رنگ‌آمیزی صورت بگیرد لازم است که مطابق با استانداردهای بین‌المللی انجام شود در غیر این صورت رنگ‌آمیزی غیراصولی و نامناسب باعث خوردگی موضعی بر روی تابلوهای برق می‌شود. با استفاده از تابلوهای کامپوزیتی (در صورت مقرون به صرفه بودن) می‌توان خوردگی تابلوها را به شدت کاهش داد. اما در صورت عدم دسترسی به تابلوهای کامپوزیتی و استفاده از تابلوهای گالوانیزه، با رعایت استانداردهای بین‌المللی، بازدیدهای دوره‌ای و حذف شرایط مساعد برای خوردگی می‌توان با هزینه بسیار کمتر خوردگی را به میزان قابل توجهی کاهش داد. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از پوشش‌های آلی حاوی نانو ذرات به طور قابل توجهی خوردگی فلزات را کاهش می‌دهد.

مراجع

[۱] شایان وکیلی‌پور، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر، "بررسی عملکردهای ضد خوردگی پوشش‌های آلی بر پایه‌ی پلی‌یورتان بر روی زیرآیند فولادی همراه با نانو ذره سیلیکا در محیط‌های آب دریای مصنوعی و طبیعی"، بهمن ۱۳۹۳.

[۲] دکتر میرقاسم حسینی، ایرج احد زده، انتشارات انجمن خوردگی ایران، " طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیای (EIS) مبانی و کاربردها، ۱۳۸۹

[3] *Corrosion Engineering*. Front Cover. *Mars G. Fontana*. McGraw-Hill, 1986.

[4] Vourilias G. Pistofidis N, Stergioudis G, Tsipas D, " The effect of alloying elements on the crystallization behavior and on the properties of galvanized coating", Journal of Cryst. Res. Technol, 2004.

[5] Singh A.K., Jha G., Chkrabarti S, "Spangle formation on hot-dip galvanized steel sheet and its effects on corrosion-resistance propertice". Journal of corrosion.

[۶] وبر، جی. بیستک، تی. پوشش‌های تبدیلی شیمیایی و الکترولیتی، افشار، ع. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، چاپ دوم، ۱۳۸۲.

A corrosion resistance and technical assessment of MV panels in the coastal cities of hormozgan province

Authors: Alireza Sheikhi Fini, Shayan Vakilipour, Ehsan Abbasnezhad

Abstract: The purpose of this study is to provide a guideline for the design of technical equipment in outdoor MV panels to minimize the cost of maintenance, component failure and loss of energy due to high corrosion rate of the Hormozgan province and the shores of the Persian Gulf.

The study examined the environmental conditions of the province and the coastline of Bandar Abbas. Periodic observation of the panels proved weak corrosion resistance. Compared with international standards, and by using the electrochemical tests (electrochemical impedance spectroscopy), the best material of panel for use in this province has been determined. Nano coatings are also a good solution to minimize corrosion rate is used electrochemical test results also confirmed this.

مقاله مروری

بارگذاری دینامیک خط (DLR): مفاهیم، فرصت‌ها و چالش‌ها

نویسنده: حبیب‌اله رؤفی[1]

چکیده: پس از تعیین طرح توسعه برای اضافه شدن مزرعه بادی به شبکه، یکی از مواردی که می‌تواند از دیدگاه اقتصادی در نظر گرفته شود، بررسی امکان استفاده از بارگذاری دینامیک خطوط است که ممکن است منجر به تغییر در طرح توسعه شبکه گردد. در بارگذاری دینامیک خطوط، به جای استفاده از ظرفیت استاتیکی خط (محاسبه‌شده در بدترین شرایط) از ظرفیت دینامیکی خط (محاسبه‌شده در شرایط واقعی خط) استفاده می‌شود. از آنجا که با افزایش سرعت باد، از یک طرف توان تولیدی مزرعه بادی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر ظرفیت دینامیکی خطوط مجاور آن نیز افزایش می‌یابد (به علت اثر خنک‌کننده باد بر روی آن خطوط)، استفاده از بارگذاری دینامیک خطوط در بعضی موارد می‌تواند نیاز به طرح توسعه شبکه را منتفی کند و منجر به افزایش بهره‌وری اقتصادی این نیروگاه‌ها و نیز اتصال سریع‌تر آن‌ها به شبکه شود. در این مقاله، ضمن معرفی مفاهیم مرتبط با بارگذاری دینامیک خطوط، به معرفی فرصت‌ها و چالش‌های ناشی از به‌کارگیری آن در سیستم قدرت پرداخته می‌شود.

کلیدواژه: ظرفیت دینامیکی خط، ظرفیت استاتیکی خط، برنامه‌ریزی توسعه شبکه، مزارع بادی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، نرخ نفوذ[2] انرژی باد در بخش تولید انرژی الکتریکی به شدت افزایش یافته است. با ساخت مزارع بادی و اتصال آن‌ها به شبکه‌های قدرت، برخی از خطوط شبکه ممکن است در برخی مواقع دچار پرشدگی[3] شوند؛ به این ترتیب، برنامه‌ریزی برای افزایش ظرفیت شبکه‌های انتقال نیز اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. افزایش ظرفیت شبکه‌ی انتقال می‌تواند از طریق احداث خطوط جدید یا افزایش ظرفیت خطوط

۱ کارشناس پژوهشی گروه مطالعات سیستم‌های قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک hraoufi@nri.ac.ir

۲ Penetration

۳ Congestion

موجود انجام شود. برای افزایش ظرفیت خطوط انتقال موجود می‌توان از روش‌هایی مانند تعویض کامل سازه و هادی‌های خط، تعویض هادی خط با هادی دیگری با ظرفیت جریان[۱] بالاتر، کشش مجدد هادی‌ها[۲]، افزایش ارتفاع برج‌ها و ... استفاده کرد [۱-۲]. روش دیگر، استفاده از راه‌کارهای مبتنی بر بهره‌برداری مانند استفاده از ظرفیت دینامیکی خط[۳] (DLR) به جای ظرفیت استاتیکی خط[۴] (SLR) است [۳].

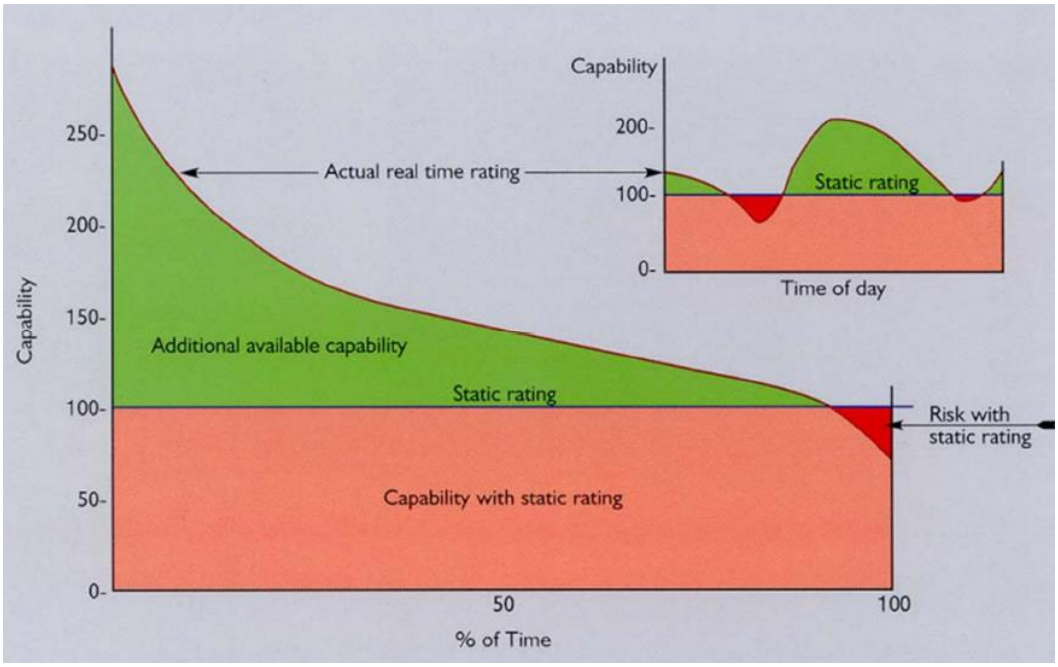
مفهوم ظرفیت دینامیکی خط (DLR)

ظرفیت انتقال توان یک خط، که به دلیل ثابت بودن ولتاژ خط عموماً به‌صورت ظرفیت جریان بیان می‌شود، عبارت است از حداکثر جریانی که می‌تواند از خط عبور کند، بدون این‌که دمای هادی‌های خط از حد مجاز تجاوز کند، و در نتیجه استقامت کششی هادی‌های خط بیش از حد مجاز کاهش یابد، و یا حداکثر شکم خط بیش از حد مجاز افزایش یابد (فاصله هادی با زمین یا اشیای زیر خط از حداقل مجاز کمتر شود) [۱]. این ظرفیت بستگی به شرایط آب و هوایی غالب، مقدار دمای محیط، تابش آفتاب، و سرعت و جهت وزش باد دارد. در بهره‌برداری سنتی شبکه‌ی انتقال، انتخاب این مقادیر بر اساس سخت‌ترین شرایط آب و هوایی (بیشترین دما و کمترین وزش باد) انجام می‌شود و ظرفیتی که با این روش محاسبه می‌گردد، ظرفیت استاتیکی خط (SLR) نامیده می‌شود؛ اما در بیشتر اوقات دمای محیط کمتر و وزش باد بیشتر از شرایط در نظر گرفته شده در طراحی خط است و ظرفیت واقعی خط بیشتر از SLR می‌باشد.

برخلاف ظرفیت استاتیکی، ظرفیت دینامیکی خط (DLR)، ظرفیت لحظه‌ای و واقعی آن می‌باشد و بیانگر حداکثر جریان مجاز برای عبور از هادی‌های خط است؛ به‌طوری‌که با توجه به شرایط آب و هوایی لحظه‌ای،

[۱] Ampacity
[۲] Conductor Retensioning
[۳] Dynamic Line Rating
[۴] Static Line Rating

دمای هادی‌ها از حداکثر دمای مجاز بیشتر نشود. در مطالعات مربوط به ظرفیت خطوط انتقال قدرت، علاوه بر DLR، اصطلاحات متعدد دیگری نیز برای بیان ظرفیت واقعی خطوط استفاده می‌شود، از جمله RTR[۱]، DTCR[۲]، DTRL[۳]. شکل (۱) ظرفیت دینامیکی را در مقایسه با ظرفیت استاتیکی برای یک خط نوعی و در طول یک روز نشان می‌دهد. طبق این شکل، در اکثر مواقع ظرفیت دینامیکی از ظرفیت استاتیکی بیشتر است؛ اما در برخی از زمان‌ها که وضعیت آب و هوایی از شرایط سخت‌گیرانه‌ی فرض‌شده در طراحی نیز بحرانی‌تر باشد، ظرفیت دینامیکی از ظرفیت استاتیکی کمتر است. در این شرایط، بهره‌برداری براساس ظرفیت‌های استاتیکی منجر به اضافه‌بار خط و قرار گرفتن سیستم در معرض خطر می‌شود. بنابراین، استفاده از ظرفیت دینامیکی علاوه بر این‌که در بیشتر زمان‌ها ظرفیت انتقال به مراتب بیشتری را در دسترس قرار می‌دهد، خطر بهره‌برداری بر اساس ظرفیت استاتیکی را نیز از بین می‌برد [۴-۶].



شکل (۱): مقایسه‌ی ظرفیت دینامیکی خط انتقال با ظرفیت استاتیکی [۵]

[۱] Real-Time Rating

[۲] Dynamic Thermal Circuit Rating

[۳] Dynamic Thermal Line Rating

البته لازم به ذکر است که در بهره‌برداری از سیستم قدرت، ظرفیت خطوط انتقال فشارقوی برای خطوط کوتاه (تا ۱۰۰ کیلومتر) توسط حد حرارتی، برای خطوط متوسط (۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر) توسط حد افت ولتاژ مجاز، و برای خطوط بلند (بلندتر از ۳۰۰ کیلومتر) توسط حد پایداری زاویه‌ای محدود می‌شود [۷]. در نتیجه، استفاده از DLR به جای SLR عمدتاً برای خطوط کوتاه و یا در شرایطی که مشکل افت ولتاژ و ناپایداری وجود نداشته باشد مفید خواهد بود.

عوامل مؤثر بر ظرفیت دینامیکی خط عبارتند از سرعت و جهت وزش باد، تابش خورشید، دمای محیط و دمای بحرانی هادی خط. برای تعیین دمای بحرانی، حداکثر دمای مجاز کار هادی با دماهای متناظر با حداکثر شکم[۱] مجاز و حداکثر کشش[۲] مجاز خط مقایسه شده و دمای کوچک‌تر به عنوان دمای بحرانی هادی انتخاب می‌گردد؛ اما معمولاً از حداکثر دماهای استاندارد (مثلاً بر اساس استاندارد EN 50341-3) استفاده می‌شود. حداکثر دمای مجاز برای کار دائمی هادی در کشورهای مختلف بین ۷۵ تا ۹۰ درجه سانتیگراد متغیر است. ظرفیت دینامیکی خط بر مبنای بخشی از طول خط که بحرانی‌ترین شرایط محیطی را دارد، تعیین می‌شود. در بهره‌برداری از شبکه‌های انتقال، معمولاً افزایش شکم خط مشخصه‌ی محدودکننده بوده و سرعت باد بیشترین تأثیر را بر ظرفیت جریان خطوط انتقال دارد.

نحوه محاسبه DLR

عوامل متعددی بر افزایش یا کاهش دمای خطوط انتقال قدرت تأثیر می‌گذارند:

- جریان عبوری از خط باعث گرم شدن هادی‌ها می‌شود؛
- تابش خورشید و بازتاب آن از محیط نیز دمای هادی‌ها را افزایش می‌دهد؛

[۱] Sag
[۲] Tension

- انتقال حرارت هادی‌ها به هوای اطراف از طریق همرفت (بسته به دمای هوا و سرعت وزش باد) و همچنین تابش حرارت از هادی به محیط اطراف باعث خنک شدن هادی‌ها می‌گردد.

با توجه به این موضوع، در منابعی مانند استاندارد IEEE 738-2006 [۸] و نیز منابع منتشرشده از سوی CIGRE Working Group 22.12 [۹- ۱۰]، نحوه محاسبه ظرفیت خط با استفاده از رابطه تعادل بین نرخ‌های دریافت حرارت (تلفات اهمی و تابش خورشید) و انتقال حرارت (همرفت و تابش) به طور تفصیلی ارائه شده است. روابط مورد استفاده برای محاسبه‌ی ظرفیت استاتیکی و دینامیکی کاملاً یکسان هستند؛ با این تفاوت که در محاسبه‌ی SLR، پارامترهای رابطه‌ی محاسبه‌ی ظرفیت خط تنها یک بار و با توجه به بدترین شرایط آب و هوایی ممکن در منطقه محاسبه می‌شوند؛ اما در محاسبه‌ی DLR، این پارامترها دائماً و با توجه به اطلاعات حاصل از پایش[۱] لحظه‌ای شرایط آب و هوایی تعیین می‌گردند. طبق این روابط، با افزایش نرخ انتقال حرارت از هادی به محیط از طریق همرفت (مثلاً با افزایش سرعت باد) یا تابش، و همچنین با کاهش حرارت جذب‌شده از تابش خورشید، DLR خط زیاد می‌شود. برای انجام این محاسبات، پارامترهای فیزیکی، جغرافیایی و آب و هوایی خط مورد نیاز هستند.

روش‌های تجاری تعیین DLR

روش‌های موجود برای تعیین DLR به طور کلی به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند [۱۱]:

- روش‌های غیرمستقیم: مبتنی بر پایش و اندازه‌گیری‌های آب و هوایی
- روش‌های مستقیم:
  - پایش شکم خط

[۱] Monitoring

- پایش سایر مشخصه‌های خط (دمای هادی، کشش هادی، زاویه‌ی انحنای هادی، فرکانس‌های پایه‌ی خط و ...) به طور مستقیم یا با استفاده از روش هادی مجازی
- روش‌های ترکیبی.

در جدول (۱)، مقایسه‌ای بین هزینه و دقت روش‌های تجاری مختلف تعیین DLR ارائه شده است [۱۱]. از سیستم‌های تجاری اندازه‌گیری DLR می‌توان به PowerDonut،CAT-1، Sagometer، Ampacimon SA، RT-TLM، LIOS و ThermalRate که از روش مستقیم استفاده می‌کنند و رله‌ی DLR P341 آلستوم که از روش غیر مستقیم استفاده می‌کند اشاره کرد.

جدول (۱): مقایسه بین روش‌های تجاری مختلف تعیین DLR بر اساس هزینه و دقت [۱۱]

روش/معیار	هزینه				دقت				
	هزینه‌ی خرید	هزینه‌ی نصب	هزینه‌ی نگه‌داری	نیاز به خروج خط از مدار	محدوده‌ی دیده‌شده در اندازه‌گیری	وزش متوسط باد و بارگذاری زیاد	وزش متوسط باد و بارگذاری کم	بارگذاری زیاد و وزش کم باد	بارگذاری زیاد و وزش شدید باد
پایش آب و هوا	کم	کم	کم	خیر	متغیر	خوب	خوب	پایین	خوب
پایش دمای هادی	زیاد	متوسط	زیاد	خیر	یک نقطه	خوب	پایین	خوب	خوب
پایش کشش	زیاد	زیاد	زیاد	بله	چند دهنه	خوب	پایین	بالا	خوب
پایش شکم	زیاد	متوسط	زیاد	خیر	چند دهنه	خوب	پایین	بالا	خوب
هادی مجازی	کم	کم	کم	خیر	متغیر	خوب	خوب	خوب	خوب
روش ترکیبی	کم	متوسط	متوسط	بله	چند دهنه	خوب	خوب	بالا	خوب

مزایا و فرصت‌های استفاده از DLR

در زمینه چالش مهم اتصال مزارع بادی به شبکه، به‌کارگیری DLR می‌تواند بسیار مفید باشد. دمای خطوط انتقال و مخصوصاً خنک‌شوندگی این خطوط (دمای محیط و انتقال حرارت توسط باد) تأثیر شدیدی بر DLR خط دارد. بنابراین، بهره‌برداری از DLR خطوط مجاور با مزارع بادی منطقی به نظر می‌رسد؛ زیرا بارگذاری بیشتر خطوط عموماً منطبق با خنک‌کنندگی بیشتر خطوط از طریق همرفت می‌باشد؛ به عبارت دیگر، با بیشتر شدن سرعت باد، از یک طرف توان تولیدی مزرعه بادی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر ظرفیت دینامیکی خطوط مجاور مزرعه به علت افزایش وزش باد افزایش می‌یابد و لذا امکان عبور توان بیشتری از این خطوط وجود دارد. به این ترتیب برای اتصال مزارع بادی به شبکه‌های قدرت، احتمالاً نیازی به افزایش ظرفیت شبکه بر اساس معیارهای محافظه‌کارانه‌ی ظرفیت استاتیکی نبوده و همچنین نیازی نیست که ظرفیت مزرعه‌ی بادی برای اتصال به شبکه، به ظرفیت استاتیکی موجود خطوط انتقال محدود گردد. در شکل (۲) برخی از مسائل مرتبط با استفاده از DLR برای اتصال مزارع بادی به شبکه‌ی قدرت بیان شده است [۱].

بهره‌گیری از DLR به عنوان راهی برای بهره‌برداری بهینه‌تر از دارایی‌های شبکه‌ی انتقال (در مقایسه با ساخت خطوط انتقال جدید)، سطح قابلیت اطمینان سیستم را حفظ کرده و حتی آن را افزایش می‌دهد، و همچنین موجب بهبود تصور افکار عمومی نسبت به فعالیت‌های شرکت‌های برق می‌شود. همچنین، استفاده از DLR در راستای هدف راهبردی هوشمندسازی شبکه‌های قدرت می‌باشد [۱]. تجهیزات پایش DLR در مقایسه با توسعه‌ی شبکه به هزینه سرمایه‌گذاری به مراتب کمتری نیاز دارند. همچنین، در صورتی که به دلیل عوض شدن شرایط بارگذاری شبکه در بلندمدت، نیاز به وجود آن‌ها در یک خط از بین برود، می‌توان آن‌ها را به نقاط دیگری منتقل کرده و بر روی خطوط دیگر نصب نمود. استفاده از DLR ممکن است باعث شود که تصمیم به ساخت خطوط کمتری گرفته شود [۱۲]. این صرفه‌جویی‌ها را می‌توان به عنوان بهبود بازدهی و

سودآوری زیرساخت‌های انتقال موجود در نظر گرفت. به علاوه، عدم ساخت خطوط جدید باعث صرفه‌جویی در زمین و در نتیجه کاهش اثرات زیست‌محیطی سیستم قدرت می‌شود.

شکل (۲): تحلیل SWOT[1] برای پایش DLR و استفاده از آن برای اتصال مزارع بادی به شبکه‌ی قدرت [۱]

روش‌های پایش DLR با توجه به کیفیت روش، قابلیت اجرای آن، مخابرات و زیرساخت‌های دیگر موردنیاز باید با دقت انتخاب گردد. انتخاب روش پایش DLR واحدها و سیستم‌های پایش DLR، حتی گران‌ترین آن‌ها، در واقع گران نیستند و اگر سرمایه‌گذاری به درستی انجام شود، دوره‌ی بازگشت سرمایه

[1] Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats

بسیار سریع خواهد بود. بنابراین مقایسه‌ی روش‌ها و تجهیزات برای انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها، بیشتر بر اساس جنبه‌های فنی و عملیاتی (به ویژه مصالحه بین دقت و منافع حاصل از روش) انجام می‌شود.

طبیعتاً بهتر است که به جای استفاده از فن‌آوری‌های مختلف برای پایش DLR، یک فن‌آوری یا تجهیز انتخاب شده و در تمام نقاط پایش DLR نصب گردد. در صورت استفاده از فن‌آوری‌ها و تجهیزات مختلف، علاوه بر این‌که پرسنل باید برای بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات مختلف آموزش ببینند، ممکن است مشکلاتی در سازگار کردن همه‌ی تجهیزات و واسط‌ها[۱] و سیستم‌های مخابراتی آن‌ها ایجاد شود [۱]. لذا بهتر است که روش، تجهیز یا سیستمی استفاده شود که در صورت نیاز (به هر دلیل)، قابل تغییر به روش یا سیستم پایش دیگر باشد و مشکل سازگار کردن تجهیزات به‌وجود نیاید. در انتخاب بهترین روش، برخی از مشخصه‌ها برای ارزش‌گذاری آن‌ها عبارتند از: کاربری ساده، نیاز کمتر به تعمیر و نگهداری، قابلیت اطمینان بالاتر، سیستم مخابراتی قابل اطمینان، و واسط کاربری[۲] ساده در اتاق کنترل.

در صورت استفاده از SLR خط، SLR به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که معیار N-1 را برآورده کند [۱]؛ اما در صورت استفاده از DLR، در شرایط کار عادی، بهره‌برداری می‌تواند بدون در نظر گرفتن معیار N-1 برای آن خط انجام شود و تنها در مواقع لزوم اقدامات اصلاحی انجام خواهند شد. به عنوان مثال، بهره‌بردار سیستم که از DLR خطوط برای انتقال توان بادی استفاده می‌کند، می‌تواند معیار آسان‌گیرانه‌تری را برای اتصال مزارع بادی برگزیند و محدودیت تزریق توان مزارع بادی را به جای معیار سخت‌گیرانه‌ی N-1، با معیار وضعیت N[۳]، اعمال کند [۱۳]. در صورت وقوع یک وضعیت اضطراری، می‌توان تولید مزرعه‌ی بادی را کاهش داد یا

[۱] Interfaces

[۲] User Interface

[۳] N-Situation

آن را قطع نمود. این فرآیند به تنهایی می‌تواند ظرفیت موجود شبکه‌ی انتقال را تا ۷۵ درصد افزایش دهد [۱، ۱۳].

چالش‌های استفاده از DLR

بهره‌برداری از DLR به جای SLR، به دلیل افزایش کار پرسنل بهره‌برداری، هزینه‌هایی ایجاد می‌کند. به علاوه اگر به پیش‌بینی DLR نیاز باشد، این پیش‌بینی نیز کمی هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. حال اگر در مواردی به دلیل خطای این پیش‌بینی‌ها، نیاز به انجام اقدامات اصلاحی مانند بازتوزیع[1] تولید یا قطع توان تولیدی نیروگاه‌های بادی باشد، هزینه‌ها باز هم افزایش می‌یابد. استفاده از DLR و بارگذاری بیشتر خطوط، ممکن است عمر مفید خطوط را اندکی کاهش داده و به عبارت دیگر فرسودگی آن‌ها را کمی تسریع کند [۱۴]. همچنین، در مواردی که DLR پایش و استفاده شده و ظرفیت بیشتری برای انتقال توان در دسترس است، ممکن است قبل از رسیدن به حداکثر ظرفیت خط انتقال، سایر ادوات شبکه مانند ترانسفورماتورها و کلیدها به حد ظرفیت خود برسند و دچار اضافه بار گردند. در نتیجه محدودیت احتمالی ظرفیت این ادوات نیز باید بررسی شود، و باید مشخص شود که آیا سایر ادوات شبکه نیاز به تقویت یا ارتقاء دارند یا خیر.

یکی دیگر از نکاتی که باید در نظر گرفته شود، خاموشی و قطعی‌های لازم برای نصب تجهیزات پایش DLR می‌باشد که البته معمولاً بسیار کوتاه است (حداکثر تا چند ساعت)، و در بیشتر موارد امکان نصب تجهیز روی خط گرم وجود دارد؛ اما اگر نیاز به تقویت یا تعویض ادوات دیگری از خط وجود داشته باشد، خط باید قطع شود. همچنین، استفاده از DLR ممکن است باعث شود که خطوط در شرایط نزدیک‌تر به حدود واقعی، یا نزدیک‌تر به حداکثر دمای مجاز هادی (مثلاً $80^{\circ}C$) بهره‌برداری شوند. بنابراین، هم به علت افزایش جریان و هم به علت افزایش دما (و افزایش مقاومت خط) تلفات خط افزایش می‌یابد؛ اما در مواردی که

[1] Redispatch

ظرفیت خط توسط معیار N-1 محدود شده و در عین حال نیاز به افزایش ظرفیت وجود دارد، در مقایسه‌ی گزینه‌های مختلف، افزایش تلفات مسأله‌ی مهمی نیست [۱].

بیشتر روش‌های پایش DLR، در شرایط بارگذاری پایین خط تحت پایش، تخمین دقیقی از ظرفیت دینامیکی خط نمی‌دهند. در حالت کلی هر چه بارگذاری خط بیشتر و به ظرفیت واقعی نزدیک‌تر باشد، عدد DLR دقیق‌تر تعیین می‌شود. در شرایط عادی این موضوع مشکلی ایجاد نمی‌کند؛ یعنی در شرایط بارگذاری کم، خطر اضافه‌بار شدن خط وجود ندارد؛ اما در صورت وقوع شرایط N-1، یک خط با بارگذاری کم نیز ممکن است دچار اضافه‌بار شود. بنابراین، یا باید روش‌هایی برای تخمین دقیق‌تر DLR در شرایط بارگذاری کم تدوین گردد، و یا باید DLR خطوط با بارگذاری اولیه‌ی پایین بعد از وقوع حالت اضطراری (شرایط N-1) نیز پایش و محاسبه شود. البته ممکن است یک خط با بارگذاری کم، با وقوع شرایط N-1 دچار اضافه‌بار شود. بنابراین، باید ظرفیت برخی از خطوط خاص بعد از وقوع حالت اضطراری (شرایط N-1) نیز پایش شود.

اضافه کردن خطوط انتقال جدید به شبکه‌ی انتقال، برای کل سیستم مزایایی به همراه دارد و قابلیت اطمینان آن را از جهات مختلف بهبود می‌بخشد. در واقع، مزایای ساخت خطوط جدید – مخصوصاً در شبکه‌های حلقوی– نباید تنها بر اساس تأثیر آن در افزایش ظرفیت انتقال موجود بین دو نقطه ارزیابی شود؛ زیرا این افزایش ظرفیت با استفاده از DLR خطوط موجود نیز قابل دست‌یابی است؛ اما سایر مزایای ساخت خطوط جدید، از جمله بهبود پایداری زاویه‌ای را نمی‌توان با استفاده از DLR به دست آورد. بنابراین هنگامی که نیاز به افزایش ظرفیت یک مسیر وجود دارد، و گزینه‌های موجود شامل تقویت شبکه با ساخت خطوط جدید و افزایش ظرفیت با استفاده از DLR هستند، مسائل مرتبط با پایداری نقش مهمی در تصمیم‌گیری دارند [۱۵].

از دیگر چالش‌های به‌کارگیری DLR به جای SLR می‌توان به پیچیده‌تر شدن محاسبات شبکه و بازار، لزوم پیش‌بینی DLR خطوط، هزینه‌های ناشی از خطای پیش‌بینی و تغییر در بهره‌برداری از شبکه اشاره کرد [۱].

مراجع

[1] "Maximizing Power Line Transmission Capability by Employing Dynamic Line Ratings: Technical Survey and Applicability in Finland", Report, Fingrid, 2012.

[2] T. O. Seppa, S. Damsgaard-Mikkelsen, M. Clemens, R. Payne, and N. Coad, "Application of Real Time Thermal Ratings for Optimizing Transmission Line Investment and Operating Decisions", CIGRE Session 22-301, 2000.

[3] "Oncor Electric Delivery Smart Grid Program", Technical Performance Report, Feb. 2012.

[4] Foss, D. Stephen, and R. A. Maraio. "Dynamic Line Rating in the Operating Environment", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, no. 2, pp. 1095-1105, 1990.

[5] "CAT-1 Transmission Line Monitoring System", Brochure, The Valley Group.

[6] K. E. Holbert and G. T. Heydt, "Prospects for Dynamic Transmission Circuit Ratings", IEEE International Symposium Circuits and Systems, vol. 3, 2001.

[7] F. Kiessling, P. Nefzger, J. F. Nolasco, and U. Kaintzyk, Overhead Power Lines: Planning, Design, Construction, Springer, 2003.

[8] "IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors", IEEE Power Engineering Society, IEEE Std 738-2006.

[9] "Thermal Behavior of Overhead Conductors", CIGRE Working Group 22.12, August 2002.

[10] "Guide for Selection of Weather Parameters for Bare Overhead Conductor Ratings", CIGRE Working Group B2.12, August 2006.

[11] "TNSP Operational Line Ratings", Report, Mar. 2009.

[12] "Strategic Energy Research: Dynamic Circuit Thermal Line Rating", Consultant Report, California Energy Commission, Oct. 1999.

[13] P. Schell, J-J. Lambin, B. Godard, N-H. Nguyen, and J-L. Lilien, "Using Dynamic Line Rating to Minimize Curtailment of Wind Power Connected to Rural Power Networks", Proc. 10th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems, Oct. 2011.

[14] M. W. Davis, "A New Thermal Rating Approach: The Real Time Thermal Rating System for Strategic Overhead Conductor Transmission Lines - Part I: General Description and Justification of the Real Time Thermal Rating System", IEEE Transactions Power Apparatus and Systems, vol. 96, no. 3, pp. 803-809, 1977.

[15] R. Puffer, M. Schmale, B. Rusek, C. Neumann, and M. Scheufen, "Area-Wide Dynamic Line Ratings based on Weather Measurements", CIGRE Session B2-106, 2012.

Dynamic Line Rating (DLR): Concepts, Challenges and Opportunities

Authors: Habibollah Raofi

Abstract: The Integration of wind farms to power system requires the increase of transmission system capacity. By using Dynamic Line Rating (DLR) systems, power system can be operated based on real capacity of transmission line or DLR (Dynamic Line Rating), instead of SLR (Static Line Rating). With the increase of the wind speed, in one hand, wind farm's power generation is increased and in other hand, dynamic ratings of neighbor lines are increased (due to cooling effect of wind). This can help to defer transmission expansion plans and leads to improved economic efficiency and integration of more wind power capacity to the grid. In this paper, basic concepts of DLR are reviewed and some challenges and opportunities regarding DLR implementation in power systems are presented.

معرفی مراکز تحقیقاتی دنیا

مؤسسه تحقیقاتی *EPRI*

هادی خطیب‌زاده آزاد[۱]

موسسه تحقیقاتی سیستم قدرت الکتریکی (*EPRI*)[۲] در سال ۱۹۷۳ به‌عنوان یک نهاد تحقیقاتی و مستقل در حمایت از فعالیت‌های صنعت برق ایالات متحده تاسیس شد. تاسیس این سازمان دلیلی بر به‌رسمیت‌شناختن تأثیر انرژی الکتریسیته بر زندگی مدرن بود. این سازمان یک نهاد غیرانتفاعی بوده که بودجه‌ی آن توسط صنعت برق تامین می‌گردد. *EPRI* در درجه اول یک سازمان مستقر در ایالات متحده می‌باشد، اما همکاری‌های بین‌المللی را نیز به‌طور گسترده انجام می‌دهد. این سازمان انجام تحقیقات بر روی مسائل مرتبط با صنعت برق ایالات متحده را عهده‌دار می‌باشد.

EPRI موضوعات مختلفی مانند تولید برق، تحویل و استفاده از انرژی الکتریسیته را مورد بررسی و تحقیق قرار داده و به نمایندگی از صنعت برق و مصرف‌کنندگان آن، به مدیریت برنامه‌های تحقیقاتی گسترده پرداخته

۱- کارشناس گروه پژوهشی مطالعات سیستم‌های قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: hkhatibzadeh@nri.ac.ir

۲- *Electric Power Research Institute*

و راه‌حل‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت برای چالش‌های موجود در زمینه‌های تحقیقاتی برای صنعت برق، مشتریان خود و جامعه ارائه می‌دهد. دانشمندان و مهندسان و همچنین کارشناسان دانشگاه‌ها و محیط‌های آکادمیک و صنعت در این سازمان برای کمک به چالش‌های موجود در صنعت برق گرد هم آمده‌اند. این سازمان در حال حاضر ارائه خدماتی به بیش از ۱۰۰۰ سازمان مرتبط با انرژی در ۴۰ کشور دنیا را بر عهده دارد.

سیستم قدرت آینده انعطاف‌پذیرتر و به هم پیوسته‌تر خواهد شد. *EPRI* این تغییرات را از طریق برنامه‌های تحقیقاتی و کاربردی، توسعه تکنولوژی، یکپارچه‌سازی، همراه با تحقیقات علمی و زیست محیطی پوشش می‌دهد. گستره تحقیقاتی این موسسه شامل موضوعات زیر می‌باشد:

تولید انرژی الکتریکی

- سوخت‌های فسیلی
- انرژی هسته‌ای
- انرژی‌های تجدیدپذیر

تحویل انرژی الکتریکی

- سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی
- مدرن‌سازی شبکه برق‌رسانی
- امنیت اطلاعات
- منابع انرژی تولید پراکنده

مصرف انرژی الکتریسیته

- بازدهی انرژی
- سیستم حمل و نقل الکتریکی

حفاظت از محیط زیست

- تاثیر انرژی الکتریکی بر محیط زیست
- سلامتی و ایمنی

معرفی نخبگان علمی

دکتر محمود فتوحی فیروزآباد

دکتر محمود فتوحی فیروزآباد در سال ۱۳۳۸ در فیروزآباد شهرستان صدوق یزد چشم به جهان گشود. وی تحصیلات ابتدایی و راهنمایی را به ترتیب در فیروزآباد و رضوانشهر به اتمام رساند. سپس به عنوان دانش آموز نمونه از فیروزآباد دوران متوسطه را در مدرسه زرگران یزد گذراند. پس از اخذ دیپلم از دبیرستان اسلامی زرگران یزد تحصیلات دانشگاهی را در دانشگاه صنعتی شریف آغاز کرد. در سال ۱۳۶۴ در رشته مهندسی برق گرایش قدرت با رتبه اول از این دانشگاه فارغ التحصیل شد.

در سال ۱۳۶۵ دوره کارشناسی ارشد را در دانشکده فنی دانشگاه تهران شروع کرده و همزمان در معاونت سازندگی و آموزش (دفتر آموزش) وزارت نیرو به عنوان کارشناس انتقال و توزیع مشغول به کار شد. پس از موفقیت در امتحان اعزام و اخذ بورس تحصیلی از وزارت علوم تحقیقات و فناوری تحصیلات خود را در دانشگاه ساسکاچوان کانادا آغاز کرد و موفق به اخذ درجه کارشناسی ارشد و دکترا از آن دانشگاه شد. از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۱ در دانشگاه ساسکاچوان به عنوان فوق دکتری و استاد مشغول تحقیق و تدریس بود. وی در حال حاضر استاد تمام دانشکده برق و رئیس دانشگاه صنعتی شریف می باشد.

فعالیت ها و تجربیات اجرایی:

- ❖ رئیس دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳
- ❖ مدیر گروه سیستم های قدرت دانشگاه صنعتی شریف از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴
- ❖ نایب رئیس انجمن شبکه‌های هوشمند انرژی ایران
- ❖ عضو شورای پایایی شبکه برق کشور از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱
- ❖ مجری بیش از ۲۵ پروژه صنعتی
- ❖ مشاور شرکت مدیریت شبکه برق کشور در پایایی و امنیت شبکه، از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳
- ❖ عضو هیئت مدیره شرکت مدیریت شبکه برق ایران از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳

جوایز و افتخارات:

- ➢ برنده جایزه شانزدهمین جشنواره بین‌المللی خوارزمی ۱۳۸۲
- ➢ برنده مدال طلای سازمان حمایت از دارایی‌های فکری ۱۳۸۲
- ➢ پژوهشگر برتر دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۹۰
- ➢ پژوهشگر برتر کشور در زمینه فنی و مهندسی ۱۳۹۱
- ➢ انتخاب به عنوان عضو ممتاز انجمن جهانی مهندسین برق و الکترونیک (IEEE Fellow) ۱۳۹۲
- ➢ برنده جایزه علامه طباطبایی ۱۳۹۳
- ➢ انتصاب به عنوان عضو شورای بنیاد ملی نخبگان توسط معاون رئیس جمهور و رئیس بنیاد ملی علوم و فناوری نخبگان۱۳۹۳
- ➢ پژوهشگر برتر دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۹۴
- ➢ برگزیده به عنوان ۱٪ دانشمندان برتر جهان از طرف ESI و سایت Science Thomson Reuters ISI1394

زمینه‌های تحقیقاتی:

- قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت
- شبکه‌های هوشمند
- منابع انرژی تجدیدپذیر و تولیدات پراکنده
- بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت

معرفی رویدادهای علمی

یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حفاظت و اتوماسیون در سیستمهای قدرت

علیرضا شیخی فینی[۱]

دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران و قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری سامانه قدرت با همکاری انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، در روزهای ۲۷ دی ماه (کارگاه‌های آموزشی) و ۲۸ و ۲۹ دی ماه ۱۳۹۵ (ارائه مقالات و سخنرانی‌ها) یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حفاظت و اتوماسیون در سیستم‌های قدرت را برگزار خواهد کرد. هدف از این کنفرانس رشد و توسعه دانش و فناوری در زمینه حفاظت و اتوماسیون شبکه‌های قدرت است.

محورهای کنفرانس:

حفاظت و اتوماسیون در نیروگاهها، شبکه های انتقال و توزیع	مکان‌یابی خطا در شبکه‌های انتقال و توزیع
امنیت و قابلیت اطمینان در سیستم های حفاظتی و اتوماسیون	نگهداری، تعمیرات و بهره‌برداری سیستم‌های اتوماسیون و حفاظت
اتوماسیون و حفاظت شبکه های هوشمند الکتریکی	سنسورهای هوشمند و زیرساخت های اندازه گیری پیشرفته (AMI)
کاربرد مفاهیم اینترنت اشیاء در حفاظت و اتوماسیون سیستم‌های قدرت	سیستم‌های سخت‌افزاری ونرم‌افزاری در سیستم‌های حفاظتی و اتوماسیون
طرح های حفاظت از سلامت شبکه برق (SIPS)	استانداردها و پروتکل‌های ارتباطی در سیستم‌های حفاظتی و اتوماسیون
سیستم های حفاظتی خاص(SPS)	کاربرد سیستم‌های نوین مخابراتی در حفاظت و اتوماسیون شبکه‌های برق
پایش،کنترل و حفظ گسترده سیستم های قدرت WAMPAC	سازگاری الکترومغناطیسی در سیستم‌های حفاظتی
ارائه روشها و الگوریتم های جدید اتوماسیون و حفاظت در سیستم‌های قدرت	سیستم زمین و سیستم حفاظتی
اثرات تولیدات پراکنده در حفاظت سیستم های قدرت	طراحی محدود کننده‌های جریان خطا (FCL)
امنیت سایبری در سیستم‌های حفاظتی و اتوماسیون و ارتباطات	قوس ناگهانی در تجهیزات برقی و راه‌های کاهش خطرات آن
بومی سازی سیستم‌های حفاظتی و اتوماسیون	حفاظت اضافه ولتاژ در شبکه‌های قدرت

۱- عضو هیأت علمی گروه پژوهشی مطالعات سیستم‌های قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: asheikhi@nri.ac.ir

سخنران کلیدی: **Professor Vladimir Terzija**

ایشان استاد دانشگاه منچستر و مدیر مسئول مجله Electrical Power and Energy Systems بوده و در زمینه WAMPAC تخصص دارند. عنوان سخنرانی ایشان:

Synchronized Measurement Technology Supported Future Smart Grid

سخنرانان تخصصی:

نام سخنران	موضوع سخنرانی
دکتر حسین عسکریان ابیانه	اصول و مبانی طراحی و ساخت دستگاه تست رله
دکتر محمودرضا حقی‌فام	رویکرد صنعت برق ایران در هوشمند سازی و اتوماسیون شبکه‌های توزیع
دکتر مجتبی خدرزاده	بهبود تاب آوری سیستم های توزیع در برابر حوادث طبیعی و نقش ریز شبکه ها و اتوماسیون در این راستا
دکتر محمود جورابیان	مکانیابی خطا در شبکه‌های قدرت از آغاز تا امروز
دکتر شهرام منتصر کوهساری	شبیه‌سازی زمان واقعی سیستم قدرت
مهندس همایون حائری	طراحی و تنظیم سیستم حفاظتی شبکه برق در حضور نیروگاههای بادی
دکتر داود فرخزاد	دستاوردها و برنامه‌های معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر شبکه، در ارتقای شاخص‌های عملکردی حفاظت شبکه برق ایران
دکتر محمداسماعیل همدانی گلشن	حفاظت ریزشبکه‌ها

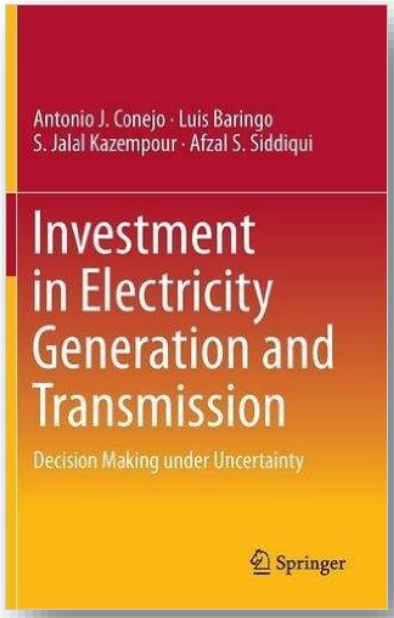
کارگاه‌ها:

در این کنفرانس چندین کارگاه تخصصی در زمینه‌های حفاظت و اتوماسیون سیستم قدرت برگزار خواهد شد. همچنین برای اولین بار دو رویداد اتفاق خواهد افتاد:

- ارائه دستاوردها و قابلیت‌های شرکت‌های داخلی تحت عنوان "توان ملی"؛
- انتخاب پایان نامه‌های برتر در این حوزه؛

معرفی کتاب

Investment in Electricity Generation and Transmission



Antonio J. Conejo, Luis Baringo Morales, S. Jalal Kazempour, Afzal S. Siddiqui

سرمایه‌گذاری در تولید و انتقال الکتریسیته

سال انتشار: ۲۰۱۶

ناشر : Springer

تعداد صفحات: ۳۸۴

کتاب سرمایه‌گذاری در تولید و انتقال به ارائه تحلیلی موشکافانه از مشکلات سرمایه گذاری در زیرساخت‌های انرژی الکتریکی در دو بخش تولید و انتقال پرداخته و مباحثی چون ابزارهای تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی توسعه/ تقویت شبکه و انتخاب/ زمان‌بندی گزینه‌های سرمایه‌گذاری را مطرح می‌سازد. از جمله پرسش‌هایی که در این کتاب پاسخ داده می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- چگونه می توان زیرساخت های فرسوده انتقال را توسعه داد و یا تقویت کرد؟
- چگونه می توان توسعه شبکه انتقال را با حجم قابل توجهی از منابع انرژی تجدیدپذیر انجام داد؟
- چگونه می توان توسعه تولید را با هدف رسیدن به شبکه‌ای کم‌کربن انجام داد؟
- چگونه می توان توسعه تولید را با انعطاف‌پذیری کافی و با هدف مقابله با عدم‌قطعیت‌های سمت تولید و عرضه انجام داد؟
- چگونه می توان سرمایه گذاری در تجهیزات تولید یا انتقال را در مناسب‌ترین زمان انجام داد؟

این کتاب توسط گروه مطالعات سیستم‌های قدرت در حال ترجمه به زبان فارسی است.