Archive of SID

No. F-15-AAA-0000

مدلسازی تصادفی ریزشبکه با استفاده از سیستم هایبرید تصادفی*

صادق احمدیان، دکتر علی اکبر افضلیان

پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور دانشگاه شهید بهشتی تهران

تهران، ایران

چکیده — ریزشبکه ها شبکه های انرژی محلی مقیاس کوچک هستند که مختص نیازهای توان محلی هستند و ساختار و کارکرد آنها نسبتا پیچیده است. توربین بادی یک واحد تولیدی کنترل ناپذیر با رفتار تصادفی است و تحلیل دقیق آن نیاز به مدلی کارآمد و قوی دارد. سیستم هایبرید تصادفی سیستمی دینامیکی است که تغییرات پیوسته وآنی را در بر می گیرد و اثرات تصادفی در آن دیده می شود.

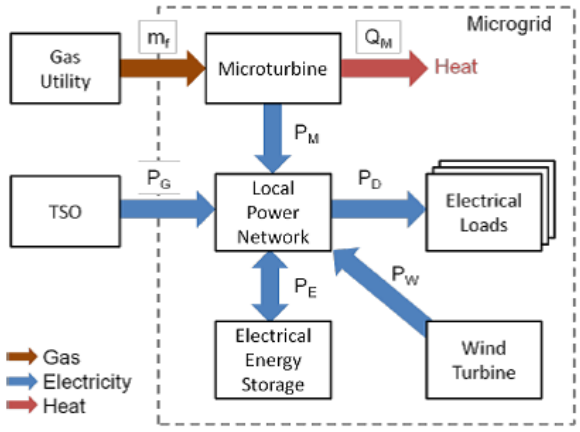
واژه‌های کلیدی — ریز شبکه ؛ سیستم های هایبرید؛مدلسازی؛معادلات دیفرانسیل تصادفی

۱. مقدمه

ریزشبکه ها شبکه های انرژی محلی مقیاس کوچک هستند که مختص نیازهای توان محلی هستند و ساختار و کارکرد آنها نسبتا پیچیده است. شکل ۱ پیکره بندی ریزشبکه درنظرگرفته شده را نشان میدهد. ربز شبکه به شبکه توزیع اصلی که شبکه برق محلی را تغذیه می کند متصل شده است. میکروتوربین و توربین باد به عنوان منابع محلی تولید انرژی الکتریکی در نظر گرفته شده است. میکروتوربین یک واحد قابل کنترل است که گاز طبیعی را از واحد کمکی تامین گاز از طریق خطوط لوله دریافت کرده و انرژی الکتریکی و انرژی گرمایی برای مصارف گرمایشی تولید می کند. انرژی حرارتی به واحد گرمایش منتقل می گردد. در این پروژه برای سادگی کار فقط بخش الکتریکی میکرووتوربین در نظر گرفته شده است. توربین بادی یک واحد تولیدی کنترل ناپذیر با رفتار تصادفی است. در حالت جزیره ای تا زمان راه اندازی میکروتوربین و همچنین در هنگام پیک بار برای توازن توان از ذخیره ساز انرژی الکتریکی استفاده می گردد. چندین بار الکتریکی که ذاتا تصادفی و غیرقابل محدود سازی هستند نیز به شبکه برق محلی متصل هستند.

واحدهای تولید پراکنده و ریزشبکه

اتصال واحد های تولید پراکنده به شبکه برق می تواند احداث خطوط جدید را به تعویق بیاندازد. از طرفی با تولید و ارسال توان بیشتر راندمان شبکه را نیز افزایش می دهد. کاهش فیدر های پربار شبکه و همچنین کاهش مسیر های انتقال توان شبکه نیز از دیگر ویژگی هایی است که می توان ذکر کرد، که البته کاهش تلفات شبکه نیز نباید فراموش شود.بر اساس تعریف منابع تولید پراکنده به منابعی اطلاق می گردد که ظرفیت تولید آنها از چند کیلو وات تا چند مگاوات است. به طور کلی این واحد ها در پست ها وفیدرهای توزیع در نزدیکی بارها قرار میگیرند.



شکل ۱: مدل گرافیکی میکروگرید

تکنولوژی واحد های تولید پراکنده شامل فوتوولتائیک ها، توربین بادی، پیل های سوختی، توربین های کوچک گازی و میکروتوربین ها بر ژنراتور-

www.SID.ir

Archive of SID

موتورهای احتراق داخلی و... می باشد. محدود شدن شبکه های توزیع بین تولید و انتقال از یک سو و مراکز بار از سویی دیگر آن را تبدیل به یک شبکه پسیو نموده است.لیکن استفاده از واحد های تولیدی کوچک همچون توربین های گازی بادی پیل های سوختی و ... در سالهای اخیر باعث تغییر وضعیت این شبکه از یک شبکه پسیو به یک شبکه اکتیو شده است.

رنج وسیعی از تکنولوژی های تولید پراکنده در حال حاضر استفاده شده یا تحت بررسی و توسعه می باشند تا به عنوان منابع تولید پراکنده به کار آیند.این تکنولوژی ها عبارتند از:

- توربین های تحریق کوچگ و میکروتوربین ها
- توربین های بخار کوچک
- سلولهای سوختی
- فوتوولتائیک
- انرژی الکتریکی خورشید-گرمایی
- توربین های بادی
- تکنولوژی های ذخیره سازی انرژی برخی از آنها همچون موتور

های چرخان به سطحی از بلوغ رسیده و رشدی مبتنی بر تجربه دارند و برخی مانند سلولهای سوختی، در فاز های ابتدائی تجاری شدن بوده و همچنان توسعه های تکنولوژیکی که جهت کاربردهای اقتصادی مفید است را تجربه می کند.

استفاده بهینه از منابع می تواند بصورت موثری سطح نیاز را در سیستم های انتقال و فوق توزیع کاهش داده ، تلفات سیستم را کاهش داده ، تنظیم ولتاژ را بهتر کرده و در بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان سیستم موثر است. میزان اثر بخشی هر یک از فن آوری ها به محل نصب و میزان ظرفیت هر یک از منابع در سیستم وابسته است. فاصله زمانی تا زمان پیک بار شبکه نیز در این امر موثر است. تحقیقات نشان میدهد که هزینه انرژی برای هر کیلو وات-ساعت در سطح توزیع دو برابر هزینه آن در سطح تولید می باشد .این نشان دهنده این حقیقت است که بهای انرژی که به دست مصرف کننده می رسد تنها ناشی از تولید آن نبوده و بخش بزرگی به هزینه های انتقال انرژی مربوط می شود. در حالیکه تولید در محل مصرف می تواند ظرفیت های سیستم را تا حدود زیادی آزاد نموده و نیاز به احداث سیستم های جدید جهت انتقال انرژی را مرتفع می نماید. اگرچه در نصب منابع تولیدات پراکنده می بایست دقت کافی را مبذول داشت چراکه عدم انتخاب و نصب مناسب آنها می تواند نتایج منفی را بر قابلیت اطمینان و یا کیفیت توان سیستم داشته باشد.از جمله آنها می توان تنظیم ضعیف ولتاژ در برابر فلیکر و هارمونیک ها را نام برد که گاهی در اثر ورود این منابع به سیستم صورت میگیرد.

افزایش هزینه ها و سخت گیری آیین نامه های زیست محیطی، هزینه ساخت نیروگاه های بزرگ را افزایش داده است. همچنین بالا بودن هزینه های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی گسترش شبکه های کنونی را با مشکلات زیادی روبرو ساخته است. از این رو پیش بینی می شود که در آینده منابع تولید پراکنده نقش بسیار مهمی را در سیستم های الکتریکی بر عهده خواهند داشت. منابع تجدید پذیر چگالی انرژی بسیار کمتری را در مقایسه با سوختهای فسیلی دارند، بنابراین نیروگاههای کوچکتری داشته و با توجه به شرایط جغرافیایی نصب می شوند. به عنوان مثال، مزرعه های بادی در محلهای بادگیر ساخته می شوند و واحدهای فتوولتائیک و برق آبی نیز نیاز به شرایط جغرافیایی خاص دارند. این منابع تولیدی کوچک بصورت پراکنده به شبکه های توزیع متصل شدهاند. از این رو تحت عنوان منابع تولید پراکنده شناخته می شوند. البته در مناطق مختلف جهان واژگان مختلفی را برای این تکنولوژی جدید استفاده می کنند. منابع تولید پراکنده الکتریسیته را در مقایس کوچکتر و در یا نزدیک محل بار تولید می کنند. بیشتر این طرحهای تولیدی سوختهای فشرده مصرف می کنند مثل گازوئیل، پروپان و یا بیوماس، در حالیکه بقیه از گاز طبیعی، انرژی خورشید و نیروی باد استفاده می کنند.

۲. سیستم های هایبرید تصادفی

سیستم هایبرید تصادفی سیستم دینامیکی است که تغییرات پیوسته وآنی را در بر می گیرد و اثرات تصادفی در آن دیده می شود. مراجع [۱] [۲][۳] [۴][۵][۶] اولین تحقیقات در مورد این سیستم های با این ویژگی است. چند زیربخش مهم از سیستم های هایبرید تصادفی بصورت گسترده در منابع چند دهه اخیر دیده می شود. در اکثر مدل های عمومی تغییر آنی هم بصورت تصادفی در زمان و هم ممکن است وقتی حالت به ناحیه مشخصی از فضای حالت میرسد تحریک شود. علاوه بر این تغییرات پیوسته ممکن است بخش پخششی داشته باشند و مقادیر حالت ها پس از تغییر لحظه ای ممکن است توسط یک توزیع احتمال تعیین گردد. کاربرد های اصلی برای مدل سیستم های هایبرید تصادفی که در مقالات این حوزه آمده است به صورت زیر می باشد:

سیستم های مالی، سیستم های مدیریت خطوط هوایی، شبکه های مخابراتی و سیستم های کنترل شبکه، سیستم های بیولوژیکی و سیستم های قدرت.

www.SID.ir

Archive of SID

برای سیستم های مالی نرخ افزایش و کاهش بازارهای مالی ممکن است تصادفی باشد و تغییرات ناگهانی مبتنی بر احساس سرمایه گذاران و جبهه های مدل نشده اقتصادی رخ دهد. سیستم های مدیریت ترافیک خطوط هوایی با تغییر مد پروازی و اثرات تصادفی پراکنده بر دینامیک هواپیما مواجه می شود. جریان داده شبکه های مخابراتی می تواند دچار تراکم یا گرفتگی یا حذف تصادفی داده شود همچنین پروتکل های مخابراتی برای شرایط کاری متفاوت مدهای متفاوتی را در بر می گیرند. بعضی از دینامیک سیستم های تغلیظ بیولوژیکی شامل تکامل پیوسته قطعی با رخدادهای تولد و مرگ تصادفی و ارتقا سوییچ شونده [1] می باشند. سیستم های قدرت شامل بارهای تغییرپذیرتصادفی، نویزهای الکتریکی و سوییچ مد ها می باشد. سیستم های هایبرید تصادفی تعمیم مهمی بر سیستم های هایبرید غیر تصادفی هستند که موجب دستیابی به نتایج قابل توجهی در نظریه پایداری در دهه اخیر شده است. سیستم های هایبرید ترکیبی از تغییر پیوسته که به آن جریان و تغییر آنی که به آن پرش می گویند است. در سیستم هایبرید تصادفی جریان و پرش تصادفی هستند و زمان پرش ها نیز تصادفی است. سیستم های هایبرید تصادفی که تاکنون در مقالات آمده به صورت زیر دسته بندی می شوند:

۱ - معادلات دیفرانسیلی تصادفی ایمپالسی و سوییچ شونده

۲ - سیستم ها با پرش های آنی شامل

a) سیستم های پرش مارکوفی

b) انتشار سوییچینگ هایبرید

c) سیستم های تصادفی ایمپالسی تولید شده با فرایند تجدید

d) معادلات دیفرانسیل تصادفی تولید شده توسط فرایند لوی

e) معادلات دیفرانسیل تصادفی ایمپالسی با سوییچ مارکوفی

۳ - فرایندهای مارکوفی تکه ای معین

۴ - سیستم های هایبرید تصادفی عمومی

۵ - ترکیب سیستم های هایبرید

کلاس ۱ و ۲ قسمت b تا e و ۴ معادلات دیفرانسیل تصادفی را شامل می شوند در حالیکه کلاس a و کلاس ۳ دارای معادلات دیفرانسیل معمولی هستند و کلاس ۵ شامل ترکیب دیفرانسیلی می شود. کلاس ۲، ۳، ۴ و ۵ غیر مستقیم پرش های آنی دارند. کلاس های ۱ و e و ۳–۵ به حالت اجازه پرش را می دهند اگر تحریک شوند یا با زمان پرش از قبل تعیین شده در کلاس های e،۱، یا عموما با مقدار حالت در کلاس های ۳–۴. کلاس a-d اجازه پرش تنها به صورت تصادفی در زمان را می دهند. سیستم های هایبرید تصادفی رنج وسیعی از مدل های مورد استفاده تاکنون را در بر می گیرد. در این روش تغییر تحولات پیوسته تصادفی است وبا معادلات دیفرانسیل تصادفی بیان می شود و پرش های تصادفی می تواند انی روی دهد یا وقتی حالت به ناحیه خاصی در فضای حالت رسید روی دهد. این روش مدلسازی بسیار قوی و کاراست و بسیاری از کاربردهای جالب را پوشش می دهد.

۳. منابع موجود در ریز شبکه

تعدادی از ساختارهای تولید پراکنده متصل به شبکه توزیع از قرار زیر است:

۳ ـ ۱ توربینهای بادی و مزرعه های بادی کوچک

امروزه نیروگاههای بادی برای تولید انرژی پاک و اقتصادی در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجائیکه این تکنولوژی تولیدی براساس نیروهای طبیعی است، نمی تواند تولید را مطابق تقاضا کنترل کرد. از طرف دیگر، شرکتهای برق باید انرژی را متعادل با تقاضای مصرف کنندگان تولید کنند. بنابراین افزایش اتصال توربینهای باید به شبکه های برق نیاز به توجه و مراقبت بیشتری دارد. مشکل دیگر قابلیت انتقال است. بدین دلیل که گاهی اوقات بهترین محل برای احداث مزرعه های بادی در مناطق دوردستی است که نزدیک به خطوط انتقال انرژی نمی باشند.

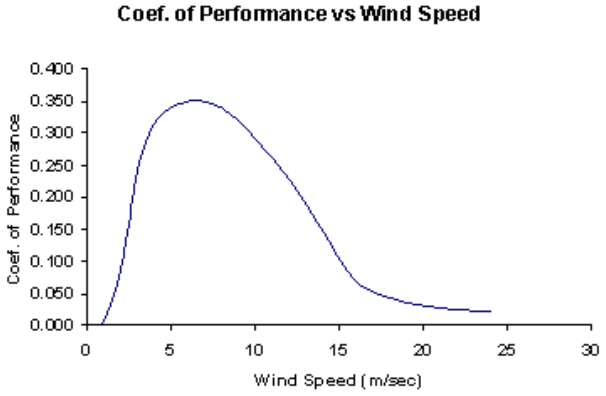
کشورهای دانمارک با ۲۱٪، پرتغال با ۱۸٪، اسپانیا با ۱۶٪،ایرلند با ۱۴٪ و آلمان با ۹٪ از نظر درصد تولید برق بادی از کل تولید انرژی الکتریکی در جایگاه‌های نخست قرار دارند. انرژی بادی در مقادیر زیاد در مزارع بادی تولید و به شبکه الکتریکی متصل می‌شود. از توربین‌ها در تعداد کم معمولاً فقط برای تامین برق در مناطق دور افتاده استفاده می‌شود. منشا باد یک موضوع پیچیده‌است. از آنجاییکه زمین بطور نامساوی به وسیله نور خورشید گرم می‌شود بنابراین در قطب‌ها انرژی گرمایی کمتری نسبت به مناطق استوایی وجود دارد همچنین درخشکی‌ها تغییرات دما با سرعت بیشتری انجام می‌پذیرد و بنابراین خشکی‌ها زمین نسبت به دریاها زودتر گرم و زودتر سرد می‌شوند. این تفاوت دمای جهانی موجب به وجود آمدن یک سیستم جهانی تبادل حرارتی خواهد شد که از سطح زمین تا هوا کره، که مانند یک سقف مصنوعی عمل می‌کند، ادامه دارد. بیشتر انرژی که در حرکت باد وجود دارد را می‌توان در سطوح بالای جو پیدا کرد جایی که سرعت مداوم باد به بیش از ۱۶۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد و سرانجام باد انرژی خود را در اثر اصطکاک با سطح زمین و جو از دست می‌دهد. یک برآورد کلی اینگونه می‌گوید که ۷۲ تراوات (TW) انرژی باد بر روی زمین وجود دارد که پتانسیل تبدیل به انرژی الکتریکی را دارد و این مقدار قابل

[1] promoter switching

www.SID.ir

Archive of SID

ترقی نیز هست. از آنجای که انرژی باد در زمستان با توجه به وزش باد بیشتر می باشد و همین وزش شدید باعث میشود که الکتریسیته بیشتری تولید گردد. یکی از مسائل مهم در ناکارآمدی انرژی باد مساله زیست محیطی می باشد، با توجه به اینکه این مولدهای برق دارای ظاهر ناخوشایند و دارای سر و صدای بالای هستند. انرژی موجود در باد را می‌توان با عبور آن از داخل پره‌های و سپس انتقال گشتاور پره‌ها به روتور یک ژنراتور استخراج کرد. در این حالت میزان توان تبدیلی با تراکم باد، مساحت ناحیه جاروب شده توسط پره و مکعب سرعت باد بستگی دارد. به این ترتیب میزان توان قابل تبدیل در باد را می‌توان به این ترتیب به دست آورد $P = \frac{1}{2}\alpha\rho\pi r^2 v^3$ که در این فرمول P توان تبدیلی به وات، αضریب بهره‌وری (که به طراحی توربین وابسته‌است(، ρتراکم باد بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، rشعاع پره‌های توربین برحسب متر و v سرعت باد برحسب متر بر ثانیه‌است. زمانی که توربین انرژی باد را می‌گیرد سرعت باد کم خواهد شد که این خود باعث جدا شدن باد می‌شود. آلبرت بتز (Albert Betz) فیزیکدان آلمانی در ۱۹۱۹ اثبات کرد که یک توربین حداکثر می‌تواند ۵۹ درصد از انرژی بادی را که در مسیر آن می‌وزد را استخراج کند و به این ترتیب α در معادله بالا هرگز بیشتر از ۰،۵۹ نخواهد شد. از ترکیب این قانون با معادله بالا می‌توان اینگونه نتیجه گرفت حجم هوایی که از منطقه جاروب شده توسط پره‌ها عبور می‌کند به میزان سرعت باد و چگالی هوا وابسته‌است. برای مثال در روزی سرد با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در سطح دریا، چگالی هوا برابر ۱،۲۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. در این حالت عبور بادی با سرعت ۸ متر بر ثانیه در روتوری به شعاع ۱۰۰ متر تقریباً موجب عبور ۷۷،۰۰۰ کیلوگرم باد در منطقه جاروب شده توسط پره‌ها خواهد شد. انرژی جنبشی حجم مشخصی هوا به مجذور سرعت آن وابسته‌است و از آنجایی که حجم هوای عبور از توربین به صورت خطی با سرعت رابطه دارد، میزان توان قابل دسترسی در یک توربین با مکعب سرعت نسبت مستقیم دارد. مجموع توان در مثال بالا در توربینی با شعاع جاروب ۱۰۰ متر برابر ۲،۵ مگاوات است که بر طبق قانون بتز بیشترین میزان انرژی استخراج شده از آن تقریباً برابر ۱،۵ مگاوات خواهد بود. میزان باد دائماً تغییر می‌کند میزان متوسط مشخص شده برای یک منطقه خاص صرفاً نمی‌تواند میزان تولید توربین بادی نصب شده در آن منطقه را مشخص کند. برای مشخص کردن فراوانی سرعت باد در یک منطقه معمولاً از یک ضریب توزیع در اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به منطقه استفاده می‌کنند. مناطق مختلف دارای مشخصه توزیع سرعت متفاوتی هستند. مدل رایلی (Rayleigh model) به طور دقیقی میزان ضریب توزیع سرعت در بسیاری مناطق را منعکس می‌کند. از آنجاییکه بیشتر توان تولیدی در سرعت بالای باد تولید می‌شود، بیشتر انرژی تولیدی در بازه‌های زمانی کوتاه تولید می‌شود. بر طبق الگوی لی رنچ نیمی از انرژی تولیدی تنها در ۱۵٪ از زمان کارکرد توربین تولید می‌شود و در نتیجه نیروگاه‌های بادی مانند نیروگاه‌های سوختی دارای تولید انرژی پایداری نیستند. تاسیساتی که از برق بادی استفاده می‌کنند باید از ژنراتورهای پشتیبانی برای مدتی که تولید انرژی در توربین بادی پایین است استفاده کنند. از ذخیره‌سازی با استفاده از نیروگاه‌های آب تلمبه‌ای یا دیگر روش‌ها ذخیره سازی برق در شبکه می‌توانند برای به وجود آوردن تعادل در میزان تولید نیروگاه‌های بادی استفاده کرد اما در مقابل استفاده از این روش‌ها موجب افزایش ۲۵٪ هزینه‌های دائم اجرای چنین طرح‌هایی می‌شوند. ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی موجب به وجود آمدن تعادل بین دو بازه زمانی کم مصرف و پر مصرف خواهد شد و از این جهت میزان صرفه‌جویی عاید از ذخیره‌سازی انرژی هزینه‌های اجرای آن را جبران می‌کند. با استفاده از توزیع رایلی انرژی بازیابی شده توسط توربین بادی را تخمین می زنند. برای ارزیابی پروژه می بایست پارامترهای مشخص سایت بادی اهمیت بالایی دارد. تمام انرژی توسط جریان باد قابل بازیابی نیست. ماکزیمم مقدار نظری برای ضریب عملکرد ۰.۵۹۳ است. یک توربین بادی ایده آل با بیشترین عملکرد ماشین رایلی بتز نام دارد.در عمل ماکزیمم مقدار ضریب بین ۰.۲۵ تا ۰.۴۵ است. به طور کلی هرچه ماشین بزرگتر باشد ضریب عملکردی بزرگتر است. برای مثال منحنی زیر ضریب عملکرد را به ازای سرعت باد نشان میدهد.



شکل ۲: منحنی ضریب عملکرد توربین بر حسب سرعت باد

ماکزیمم مقدار ضریب برای مدل باد با میانگین های رایلی نزدیک به ۵–۷ متر بر ثانیه است که در طراحی روتور این مساله لحاظ می گردد. مساحت سطحی است که پره های روتور جاروب می کند. چگالی هوا در سطح دریا برابر ۱.۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب است. اگر چه چگالی با افزایش ارتفاع

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش پیدا می کند. مثلا توربین باد در ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح دریا تقریبا ۸۰ ٪ توان در سطح دریا تولید خواهد داشت.برای سرعت های کم(مثلا کمتر از ۲ متر بر ثانیه) توربین نمی چرخد و برای سرعت های بالا (مثلا بیشتر از ۲۵ متر برثانیه) لازم است توربین متوقف گردد تا از خسارت ناشی از سرعت بیش از حد جلوگیری گردد. برای سادگی محاسبات فرض می شود توربین در بازه عملکردی ۲–۲۵ متر بر ثانیه کار می کند و خارج از این بازه تولیدی ندارد. توربین بادی توسط منحنی های بی بعد C_p تعریف می گردد. C_p یک ضریب در تابع توان باد بر حسب نرخ سرعت نوک پره(λ) و زاویه برخورد باد و توربین است.

$$\lambda = \frac{r w_m}{V_w}$$

r شعاع روتور بر حسب متر، w_m سرعت زاویه ای روتور و V_w سرعت باد می باشد. معادله تغییرات سرعت باد به صورت زیر مدل می گردد که یک فرایند تصادفی می باشد.

$$du(t) = -\frac{u(t) - \overline{u(t)}}{T}.dt + k\bar{u}.\sqrt{\frac{2}{T}}.dW(t).$$

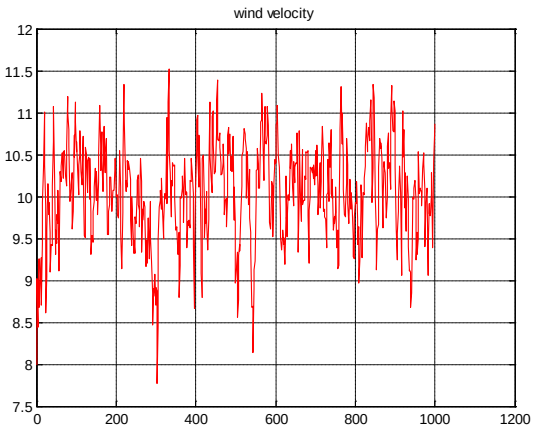
در حالت توربین بادی وصل تغییرات توان آن به صورت زیر می باشد.

$$\frac{dP_W}{dt} = \frac{3}{2}.\rho.R^2.u^2.du(t).C_p + \frac{1}{2}.\rho.R^2.u^3.\frac{dC_p}{dt}$$

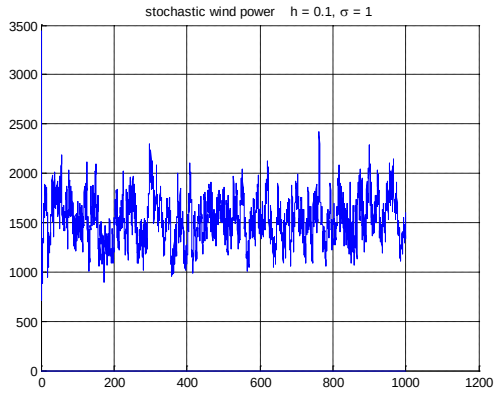
و در حالت قطع طبیعتا تغییرات توان بادی به فرم زیر خواهد شد.

$$\frac{dP_W}{dt} = 0, P_W = 0$$

نکته بسیار حیاتی آنست که حل این معادله از طریق روش های حل عددی مرسوم در ریاضیات منجر به پاسخ غلط خواهد شد و باید از روش های حل معادلات دیفرانسیل اتفاقی بهره برد.



شکل۳: منحنی سرعت در مکان نصب توربین بادی



شکل۴: منحنی توان تولیدی توربین بادی

۳ ۲ میکروتوربین ها

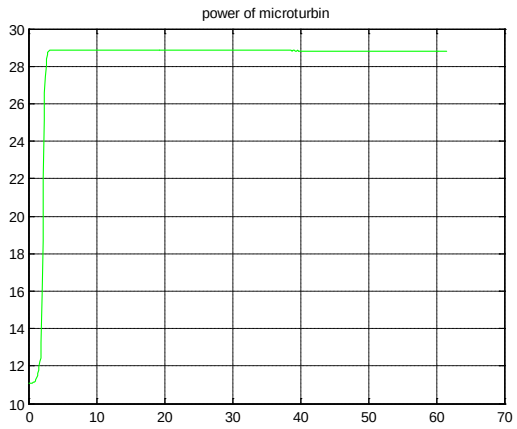
میکروتوربین ها تکنولوژی توربین گازی را در مقایس کوچکتر محقق ساخته اند. این تکنولوژی تولیدی اساساً برای کاربردهای حمل و نقل گسترش یافته است، ولی امروزه سهم کوچکی هم در تولید انرژی الکتریکی دارد. یکی از برجسته ترین مشخصات میکروتوربین، سرعت چرخش خیلی زیاد آن است. توربین با سرعت 120000 rpm و ژنراتور با سرعت 4000rpm می چرخد. میکروتوربینها توان ac فرکانس بالا تولید می کنند. با استفاده از یک مبدل الکترونیک قدرت این توان فرکانس بالا به فرکانس قابل استفاده تبدیل می شود. میکروتوربین‌ها در واقع توربین‌های گازی کوچکی هستند که معمولاً ظرفیت آنها بین 30 تا 500 کیلووات می‌باشد. در یک میکروتوربین هوا توسط یک کمپرسور جریان شعاعی (سانتریفوژ) متراکم شده و سپس در یک مبدل حرارتی رکوپراتور، توسط گازهای گرم خروجی از توربین، پیش گرم می‌شود. آنگاه هوای گرم شده در محفظه

www.SID.ir

Archive of SID

احتراق با سوخت مخلوط شده و محترق می‌گردند. گازهای داغ حاصل از احتراق که فشار و دمای بالایی دارند، در یک توربین منبسط شده و از این طریق روی توربین کار انجام می‌دهند. سپس این کار توسط یک ژنراتور به توان الکتریسیته تبدیل می‌شود. کار حاصل از انبساط با چرخاندن توربین، باعث حرکت دادن کمپرسور نیز می‌شود. سرانجام گازهای خروجی از توربین انبساط به مبدل حرارتی رکوپراتور رفته و باعث پیش گرم شدن هوای خروجی ازکمپرسور می شود. اکثر طرح‌های میکروتوربین‌ها تک محوره می‌باشد که از یک ژنراتور مغناطیس دائم سرعت بالا، برای تولید ولتاژ و فرکانس متغیر جریان متناوب (AC)استفاده می‌شود. بیشتر واحدهای میکروتوربین‌ها برای مصارف دائمی‌طراحی می‌شوند که می‌توان برای افزایش راندمان، گرما را نیز بازیافت کرد.

استفاده از میکرو توربین ها در سیستم های ترکیبی تولید توان الکتریکی و حرارتی می تواند بازده کلی آنها را در مقایسه با حالتی که تنها برای تولید الکتریسیته استفاده می شوند دو تا سه برابر کند . به کارگیری حرارت ایجاد شده توسط میکروتوربین جهت تولید توان حرارتی بازده کل آن را تا ۳ برابر افزایش می دهد(از حدود ۳۰ درصد تا حدود ۹۰ درصد).



شکل۵: منحنی تولید توان میکروتوربین

۳-۳ مدل باتری

میزان شارژ باتری در هر بازه زمانی وابسته به میزان شارژ در بازه قبلی و میزان تولید و مصرف انرژی از زمان t-1 تا t است. در مرحله شارژ هنگامیکه مجموع توان خروجی واحدهای تولیدی بزرگتر از توان موردنیاز بار می باشد ظرفیت باتری در زمان t را می توان توسط معادله زیر بیان نمود.

$$c_{bat}(t) = c_{bat}(t-1)(1-\sigma) - \eta_{bat}\left(\frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} - (E_M(t) + E_{WG}(t))\right)$$

از طرف دیگر هنگامیکه توان مورد نیاز بیشتر از توان تولیدی باشد باتری در حالت دشارژ قرار می گیرد. بنابراین ظرفیت باتری در زمان t توسط معادله زیر بیان می گردد.

$$c_{bat}(t) = c_{bat}(t-1)(1-\sigma) - \left(\frac{E_L(t)}{\eta_{inv}} - (E_M(t) + E_{WG}(t))\right)$$

$c_{bat}(t)$ و $c_{bat}(t-1)$ ظرفیت باتری در بازه های زمانی t و t-1 بوده و بازدهی باتری می باشد. در هنگام دشارژ باتری بازدهی برابر واحد می باشد و در هنگام شارژ با توجه به جریان شارژ برابر ۰.۶۵–۰.۸۵ است. σ نرخ دشارژ باتری می باشد. اطلاعات سازنده نشان میدهد σ در بازه ۶ ماهه و در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برابر ۲۵٪ می باشد که به عبارت دیگر برابر ۰.۱۴ در روز می باشد. $E_M(t)$ و $E_{WG}(t)$ انرژی تولیدی توسط به ترتیب ژنراتورهای میکروتوربین و توربین بادی است و $E_L(t)$ انرژی مورد نیاز بار در زمان t و η_{inv} بازده مبدل می باشد. η_{inv} در این مطالعه ثابت و برابر۹۲٪ در نظر گرفته می شود.

شکل ۶: منحنی شارژ و دشارژ باتری

۴. مدل تصادفی تقاضای بار

بارهای الکتریکی چون دینامیک ذاتی اشان تصادفی است با معادلات دیفرانسیل اتفاقی بیان می گردند. برای توصیف این دینامیک پیوسته از معادله دیفرانسیل تصادفی اهلنبک–ارنستین استفاده می گردد که به صورت معادله زیر می باشد.

$$dP_D = \alpha.(m - P_D).dt + \sigma_D.dW$$

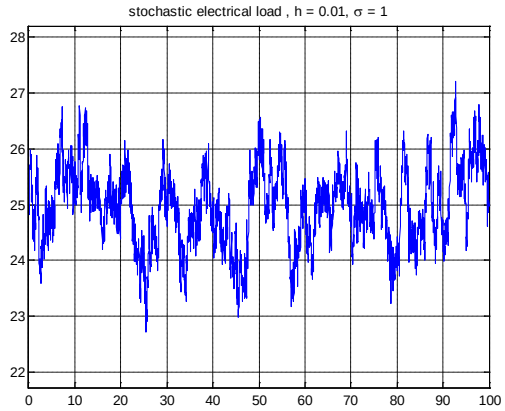
www.SID.ir

Archive of SID

در این معادله m پروفیل بار داده شده، α ضریب ردیابی، σ_D ضریب تغییرات و dW فرایند وینر می باشد. در حالت قطع و مجزا بودن بار از شبکه معادلات بارهای الکتریکی بدیهتا به صورت زیر می گردد.

$$P_D = 0$$

$$\frac{dP_D}{dt} = 0$$



شکل۷: میزان تقاضای بار مصرفی

۵. نتیجه گیری

با توجه به این که کارهای انجام گرفته در این زمینه مدلسازی هایبرید تصادفی در سیستم قدرت بسیار کم و نادر است می توان با در نظر گرفتن توان تولیدی ماژول های فتوولتاییک، پیل سوختی و ابرخازن به بررسی جامع تر و کامل تری در این زمینه پرداخت. برای انتقال توان سطح ولتاژ را افزایش داده تا تلفات توان را کاهش دهد. تلفات خط با کاهش ولتاژ افزایش بسیار قابل توجهی پیدا می کند. مساله مدل کردن تلفات و درنظرگیری کنترل ولتاژ در شبکه علاوه برمعادله توازن توان میتواند به بررسی مسایل پایداری در سیستم هایبرید تصادفی ریزشبکه بیانجامد.

منابع

1. K. Macek and M. Strelec, “Micro-grid as a stochastic hybrid system two formal frameworks for advanced computing,” in Proceedings of SMARTGREENS, 2012, pp. 141–144.
2. Veerachary M, Senjyu T, Uezato K. Voltage-based maximum power point tracking control of PV system. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 2002;38(1):262–70.
3. M.E. Hamedani.Golashan,S.A.Arefifar,”Distributed Generation,Reactive Sources and Network Configuration Planing for Power And Energy Loss Reduction”,IEEE procgenre Transm. Vol.153,No.2,March 2006.
4. Sergiu St. ILIESCU, Ioana FĂGĂRĂŞAN, Victor POPESCU annd Călin SOARE4GAS, "TURBINE MODELING FOR LOAD-FREQUENCY CONTROL", U.P.B. Sci. Bull., series C, Vol. 70, Iss. 4, 2008.
5. R. Bellman, “Limit theorems for non-commutative operations. I.,” *Duke Math. J.*, vol. 21, no. 3, pp. 491–500, 1954.
6. A. R. Bergen, “Stability of systems with randomly time-varying parameters,” *Autom. Control. IRE Trans.*, vol. 5, no. 4, pp. 265–269, 1960.
7. A. Rosenbloom, “Analysis of linear systems with randomly time-varying parameters,” in *Proc. Symp. Inf. Nets*, 1954, vol. 3, p. 145.
8. S. V Dhople, Y. C. Chen, S. Member, L. Deville, and A. D. Domínguez-garcía, “Analysis of Power System Dynamics Subject to Stochastic Power Injections,” vol. 0, pp. 1–13, 2013.
9. R. Malhamé and C. Chong, “Stochastic hybrid state systems for electric load modeling,” in *Decision and Control, 1983. The 22nd IEEE Conference on*, 1983, pp. 1143–1149.
10. R. Malhamé, “A jump-driven Markovian electric load model,” *Adv. Appl. Probab.*, pp. 564–586, 1990.
11. R. Malhame and C.-Y. Chong, “Electric load model synthesis by diffusion approximation of a high-order hybrid-state stochastic system,” *Autom. Control. IEEE Trans.*, vol. 30, no. 9, pp. 854–860, 1985.
12. V. Ugrinovskii* and H. R. ota, “Decentralized control of power systems via robust control of uncertain Markov jump parameter systems,” *Int. J. Control*, vol. 78, no. 9, pp. 662–677, 2005.
13. K. Wang and M. L. Crow, “Numerical Simulation of Stochastic Differential Algebraic Equations for Power System Transient Stability with Random Loads,” no. 2, 2011.

www.SID.ir