



کارگاه فناوری‌های تولیدات پراکنده

دکتر معین معینی اقطاعی

توربین‌ها و مزارع بادی

عملکرد توربین‌های بادی

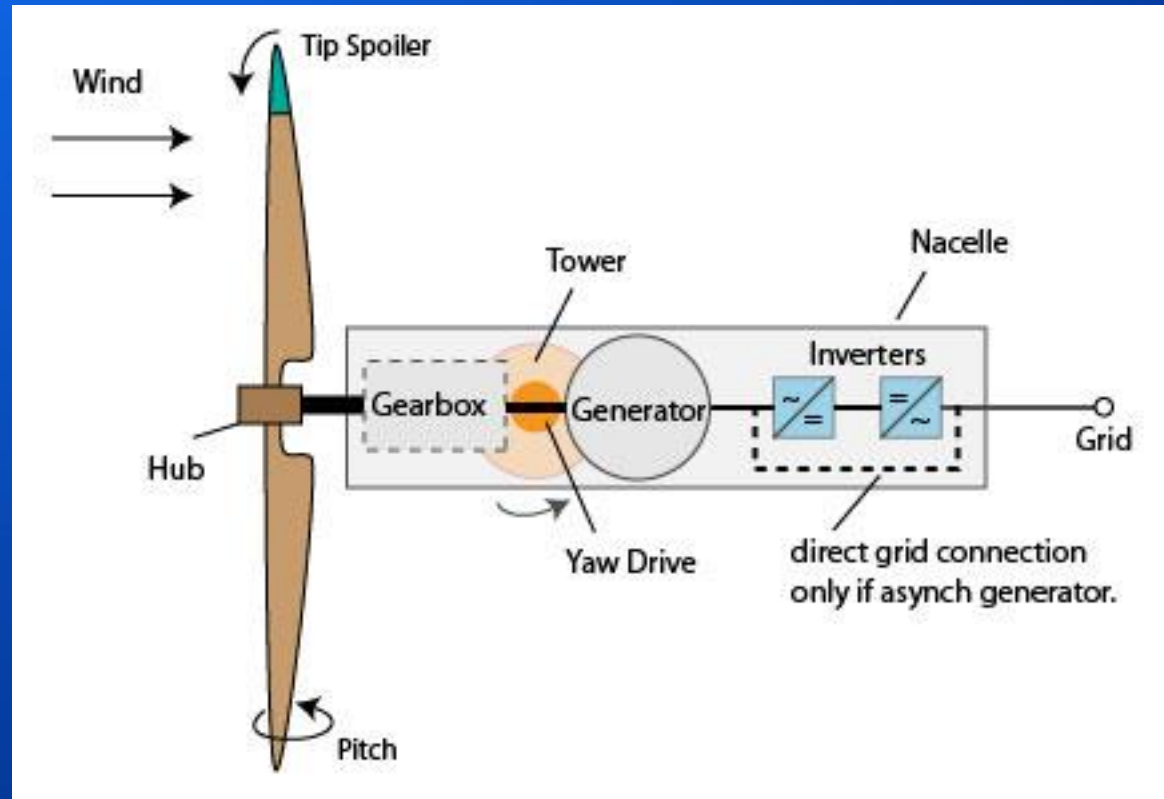
بهره‌برداری از توربین‌های بادی

هزینه‌ها و منافع اتصال توربین‌های بادی به شبکه



عملکرد توربین

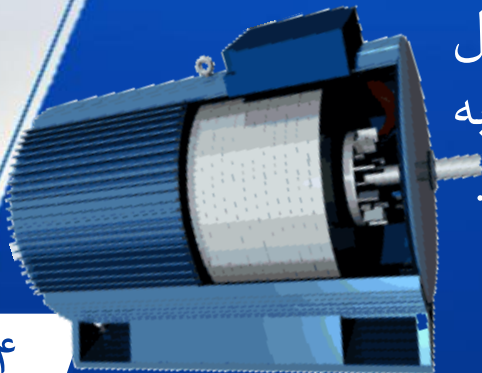
ژنراتور:



عملکرد توربین

ژنراتور:

- ژنراتور توربین بادی انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.
- ژنراتور توربین‌های بادی متفاوت از ژنراتور سایر واحدهای تولیدی متصل به شبکه است زیرا از یک منبع با نیروی مکانیکی نوسانی تغذیه می‌گردد.
- اولین توربین‌های بادی دارای ژنراتورهای سنکرون بودند که مستقیماً به شبکه متصل می‌شدند و دارای سیستم کنترل پره برای محدود کردن توان مکانیکی در هنگام افزایش سرعت باد بودند.
- با توجه به پیچیدگی طراحی بهینه اقتصادی و قابل اطمینان، ثابت بودن سرعت روتور، تبدیل تغییرات سرعت باد به تغییرات توان و گشتاور، و همچنین نیاز به سنکرون شدن قبل از اتصال به شبکه با وجود نیروی محرکه غیرقابل کنترل، استفاده از این توربین‌ها به کلی منسوخ شده است.



عملکرد توربین

ژنراتور:

- ژنراتورهایی مانند ژنراتور القایی قفس سنجابی و ژنراتورهای سرعت متغیر به عنوان سیستم تبدیل الکترومکانیکی جایگزین ژنراتورهای سنکرون شدند.
- ژنراتورهای القایی قفس سنجابی نسبت به ژنراتورهای سنکرون، ارزان‌تر و نیز دارای منحنی گشتاور-سرعت بسیار مطلوب‌تر بودند. این نوع ژنراتورها امروزه نیز مورد استفاده می‌باشند.
- پس از مدتی علاوه بر ژنراتورهای القایی قفس سنجابی، ژنراتورهای سرعت متغیر نیز مورد استفاده قرار گرفتند. توربین‌های سرعت متغیر دارای سیستم پیچیده‌ای هستند.
- انواع دیگر توربین‌های بادی مانند توربین بادی با ژنراتور سنکرون متصل به شبکه از طریق مبدل الکترونیک قدرت تمام موج و نیز توربین بادی دارای ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه با مبدل منبع جریان تریستوری جهت تغذیه سیم‌پیچی روتور، طراحی و ساخته شده‌اند.



عملکرد توربین

ژنراتور:

- امروزه، دو نوع توربین بادی سرعت ثابت و سرعت متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- توربین‌های بادی سرعت ثابت، توربین‌هایی هستند که دارای ژنراتور القایی قفس سنجابی می‌باشند. این توربین‌ها با نام توربین‌های بادی SCIG شناخته می‌شوند.
- دو نوع توربین بادی سرعت متغیر نیز امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از توربین‌های بادی با ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه (DFIG) و توربین‌های بادی با ژنراتور سنکرون با محرکه مستقیم (DDSG).

توربین‌ها و مزارع بادی

عملکرد توربین‌های بادی

بهره‌برداری از توربین‌های بادی

هزینه‌ها و منافع اتصال توربین‌های بادی به شبکه



بهره‌برداری از انرژی باد:

- بهره‌برداری بهینه از سطوح نفوذ بالای انرژی باد، نیازمند تغییر در شیوه‌های بهره‌برداری از بخش‌های مختلف سیستم قدرت مثل تولید و انتقال، می‌باشد.
- انرژی باد به دلیل خروجی متغیرش، عملکرد سایر نیروگاه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و علاوه بر کاهش توان خروجی موردنیاز از آنها، موجب به تغییر در برنامه‌ریزی آنها می‌گردد.
- به منظور استفاده بهینه از انرژی باد، سیستم بایستی دارای انعطاف بیشتری باشد که از طریق موارد زیر مهیا می‌گردد:
 - واحدهای تولید انعطاف‌پذیر
 - انعطاف‌پذیری در سمت تقاضا
 - اتصالات و ارتباطات بین شبکه‌ای
 - قوانین منعطف‌تر در بازار برق

تأثیر انرژی باد بر برنامه‌ریزی رزروها:

❖ رزرو اولیه:

- توان تولیدی انرژی باد تقریباً تأثیری روی رزرو اولیه سیستم نمی‌گذارد.
- در مقیاس‌های زمانی ثانیه و دقیقه، تغییرات سریع در خروجی توان انرژی باد، مانند تغییرات در بار، به صورت تصادفی اتفاق می‌افتد.
- هنگامی که تغییرات کوتاه‌مدت باد با تغییرات بار و تولید جمع می‌شود، تأثیر اندکی در مجموع تغییرات دارد. لذا میزان رزرو اولیه سیستم بیشتر تحت تأثیر خروج ناگهانی واحدهای حرارتی است و به راحتی می‌تواند تغییرات سریع و جزئی انرژی باد را جبران نماید.

تأثیر انرژی باد بر برنامه‌ریزی رزورها:

❖ رزرو ثانویه و ثالثیه:

- نیاز انرژی باد به رزرو ثانویه تنها در نفوذهای بیش از ۱۰ درصد قابل توجه است.
- از آنجا که خروجی نیروگاه بادی برای یک یا دو روز آینده قابل پیش‌بینی دقیق نیست، اصلی‌ترین اثر آن بر چگونگی برنامه‌ریزی واحدهای سنتی برای پیروی از بار (در بازه‌های ساعتی و روزانه) می‌باشد و عدم قطعیت آن را علاوه بر عدم قطعیت ناشی از پیش‌بینی بار، بیشتر می‌کند.
- در نتیجه ممکن است یک واحد تولیدی بدون ضرورت روشن باشد و یا برعکس در مواقع ضروری خاموش باشد. لذا هرچه انعطاف‌پذیری واحدهای تولیدی بیشتر باشد، تصمیمات سریعتر و تازه‌تری در رابطه با روشن/خاموش بودن آنها می‌توان گرفت.
- میزان رزرو موردنیاز برای نفوذ ۱۰ درصدی انرژی باد در حدود ۲-۴ درصد ظرفیت نصب شده آن تخمین زده شده است.

بهره‌برداری از سیستم:

❖ سطح انتقال:

- بهره‌برداری متعادل و مطمئن از سیستم توسط بهره‌بردار شبکه انتقال شامل استفاده از خطوط انتقال منطقه و تبادلات با شبکه‌های همسایه می‌باشد.
- مسائل مطرح در این بخش شامل مدیریت گرفتگی خطوط، الویت‌بندی دسترسی و الویت قطع باد در شرایط بحرانی مثل تقاضای پایین یا توان تولیدی بالای باد می‌باشد.
- نفوذ بالای انرژی باد بهره‌برداری از شبکه انتقال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عنوان مثال در نزدیکی مزارع بادی بزرگ به دلیل خروجی متغیر توان باد، کنترل ولتاژ جهت مقابله با تغییرات ناخواسته ولتاژ ضروری است.
- مسأله دیگر، مدیریت پخش بار و جلوگیری از پرشدگی خطوط است. برای این منظور ممکن است بهره‌بردار شبکه انتقال نیازمند ابزار پیش‌بینی دقیق، ادوات FACTS، و ترانسفورماتورهای تغییر فاز باشد.

بهره‌برداری از سیستم:

❖ سطح توزیع:

— تاکنون اتصال انرژی باد به شبکه اغلب در سطح توزیع اتفاق افتاده است که مزایای زیادی برای شبکه دارد:

- بهبود شبکه‌های ضعیف
- سرویس‌رسانی بهتر به مشترکین
- کنترل ولتاژ شبکه
- بهبود کیفیت توان توسط تجهیزات الکترونیک قدرت
- عدم نیاز به شبکه انتقال و کاهش هزینه‌ها
- قابلیت تغذیه شبکه در مواقع رخداد خطا در شبکه انتقال

— افزودن انرژی باد در سطح توزیع دارای برخی اثرات مشابه سطح انتقال مثل تغییر در جهت و کیفیت توان اکتیو، و راکتیو می‌باشد که ممکن است با تجهیزات حفاظتی و کنترلی شبکه تداخل پیدا کند. لذا با افزودن تولیدات پراکنده ممکن است طراحی و بهره‌برداری سطح توزیع نیاز به اصلاح داشته باشد و به صورت فعال مدیریت شود.

بهره‌برداری از سیستم:

❖ مدیریت گروهی انرژی باد (Wind Power Cluster Management):

- گردآوری چندین مزرعه بادی در گروه‌های چند گیگاواتی، گزینه‌های جدیدی برای بهینه‌سازی تجمیع توان تولیدی متغیر مزارع بادی با سیستم‌های قدرت فراهم می‌آورد.
- مفاهیم مدیریت گروهی شامل تجیع مزارع بادی پراکنده بر اساس معیارهای متنوع، برای مدیریت بهینه شبکه، و برنامه‌ریزی واحدهای سنتی تولیدی است.
- این گروه‌ها همانند نیروگاه‌های بزرگ سنتی کنترل و بهره‌برداری می‌شوند.
- بکارگیری چنین شیوه‌هایی در بهره‌برداری، با حداقل کردن هزینه‌های بالانس، موجب افزایش چشمگیر ارزش اقتصادی انرژی باد برای شبکه می‌شود.
- براساس این روش یک واحد کنترلی میان بهره‌بردار سیستم و گروه‌های مزارع بادی، تولید توان بر اساس یک پروفیل مشخص را میسر می‌سازد. این واحد سیستم‌های کنترلی مزارع بادی را بر اساس پیش‌بینی‌ها، اطلاعات بهره‌برداری، توان خروجی موردنیاز و پیش‌فرض‌های بهره‌بردار سیستم، ادغام و تنظیم می‌کند.

افزایش انعطاف‌پذیری شبکه:

- وجود منابع انعطاف‌پذیر در شبکه قدرت عاملی تسهیل‌کننده برای نفوذ انرژی باد می‌باشد. با وجود اینکه متعادل‌سازی سیستم قدرت مبحث جدیدی نیست اما نفوذ بالای انرژی باد به دلیل ذات متغیرش چالش‌های جدیدی به وجود می‌آورد که نیازمند انعطاف‌پذیری بیشتر شبکه است.
- هرچه شبکه انعطاف‌پذیرتر باشد، نفوذ انرژی باد در آن کم‌هزینه‌تر خواهد بود؛ کشورهایی مثل دانمارک به دلیل ارتباطات قوی شبکه‌ای و پرتقال به دلیل داشتن نیروگاه‌های پاسخ سریع آبی، قابلیت بالایی برای بهره‌گیری از انرژی باد دارند.
- منابع اصلی انعطاف‌پذیری عبارتند از:
 - بازارهای سریع
 - نیروگاه‌های انعطاف‌پذیر (مانند آبی و گازی)
 - مدیریت سمت تقاضا
 - سیستم‌های ذخیره
 - اتصالات (Interconnections)

افزایش انعطاف‌پذیری شبکه

❖ بازارهای سریع:

- بازار روز بعد رایج‌ترین بازار در سیستم‌های قدرت است. با اینکه پیشرفت‌های خوبی در روش‌های پیش‌بینی به وجود آمده است، با این حال هنوز خطاهای پیش‌بین‌های روزانه بالاست.
- به منظور کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی، در نفوذهای بالای انرژی باد بایستی بازار در زمان‌های کمتری بسته شود.
- بستن بازار در بازه‌های ۳ ساعته، نفوذهای بالای انرژی باد را توجیه‌پذیر می‌کند.
- یک مطالعه در ایالت Minnesota آمریکا نشان داده است که تنظیم بازار در بازه‌های ساعتی، میزان توان موردنیاز بالانس را تا ۱۰ درصد کاهش می‌دهد و برای بازه‌های ۵ دقیقه‌ای این عدد به ۲۰ درصد می‌رسد که تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌ها خواهد داشت.

افزایش انعطاف‌پذیری شبکه

❖ نیروگاه‌های انعطاف‌پذیر:

- راه حل اصلی موجود برای بالانس توان، واحدهای تولیدی سنتی آبی، پمپ‌آبی و حرارتی هستند.
- نیروگاه آبی به دلیل نرخ بالای ramp-up و ramp-down، به عنوان راه بسیار سریع برای جبران نامتعادلی به حساب می‌آید و هزینه حاشیه‌ای نزدیک به صفر آن، باعث شده است که راه حلی رقابتی بشمار آید.
- ذخیره انرژی در واحدهای پمپ‌آبی این امکان را فراهم می‌سازد که انرژی الکتریکی ارزان، در ساعات کم‌باری خریداری شود و در ساعات پرباری با قیمت بیشتر به فروش برسد.
- واحدهای حرارتی معمولاً برای متعادل‌سازی سیستم (کنترل اولیه و کنترل ثانویه) بکارگرفته می‌شوند. از میان نیروگاه‌های حرارتی، واحدهای گازی انعطاف‌پذیری بیشتری دارند و تنظیم سریع تولید را میسر می‌سازند.

افزایش انعطاف‌پذیری شبکه

❖ سیستم‌های ذخیره:

- استقبال از بکارگیری سیستم‌های ذخیره بزرگ در سطح انتقال و نیز واحدهای کوچکتر در سطح توزیع، رو به افزایش است.
- فناوری‌های ذخیره دارای طیف گسترده‌ای هستند؛ سیستم‌های ذخیره بزرگ، شامل واحدهای پمپ‌آبی و سیستم‌های ذخیره هوای فشرده هستند.
- سیستم‌های ذخیره در مقیاس‌های پراکنده عبارتند از:
 - چرخ‌های گردان (Flywheels)
 - باتری‌ها (به صورت مجزا و یا در ماشین‌های الکتریکی)
 - پیل‌های سوختی
 - ابرخازن‌ها
- راه حل دیگر استفاده از بویلرهای حرارتی در واحدهای CHP جهت افزایش انعطاف‌پذیری است.
- لازم به ذکر است ذخیره انرژی با تلفات همراه است و در نفوذهای زیر ۲۰ درصد اقتصادی نیست.

افزایش انعطاف‌پذیری شبکه

❖ مدیریت سمت تقاضا:

- با مدیریت مصرف، بارها جهت پاسخ به نامتعادلی‌های توان با کاهش یا افزایش میزان مصرف، کنترل می‌شوند.
- بر اساس سیگنال‌های قیمت، بخشی از تقاضا مثل نیازهای گرمایشی و سرمایشی قابلیت جابجایی زمانی و بخشی قابلیت خاموش/ روشن شدن دارند. این امر امکان برقراری تعادل میان تولید و مصرف بدون نیاز به تنظیم سطح تولید را فراهم می‌کند.
- امروزه تنظیم سطح تولید متداول‌تر از مدیریت سمت تقاضاست. دسترسی به این راه حل وابسته به امکانات مدیریت بار (مثل فرآیندهای صنعتی از جمله صنعت فولاد) و منافع اقتصادی آن (هزینه‌های قطع و وصل توان در مقایسه با درآمد حاصله) می‌باشد.
- راه‌های جذاب مدیریت تقاضا که با استفاده از سیستم‌های ذخیره پراکنده، زمان مصرف انرژی الکتریکی را از زمان بکارگیری وسیله مجزا می‌نمایند، عبارتند از:
 - واحدهای CHP در سطوح محلی و خانگی
 - خودروهای برقی با قابلیت اتصال به شبکه

افزایش انعطاف‌پذیری شبکه

❖ اتصالات:

- ظرفیت اتصالات موجود برای تبادل توان میان کشورها یکی از منابع اصلی انعطاف‌پذیری در سیستم‌های قدرت است.
- اتصالات موجود نه تنها از لحاظ فنی بلکه از لحاظ تجاری نیز بایستی دارای قابلیت تبادل توان باشند.

با سپاس از توجه شما