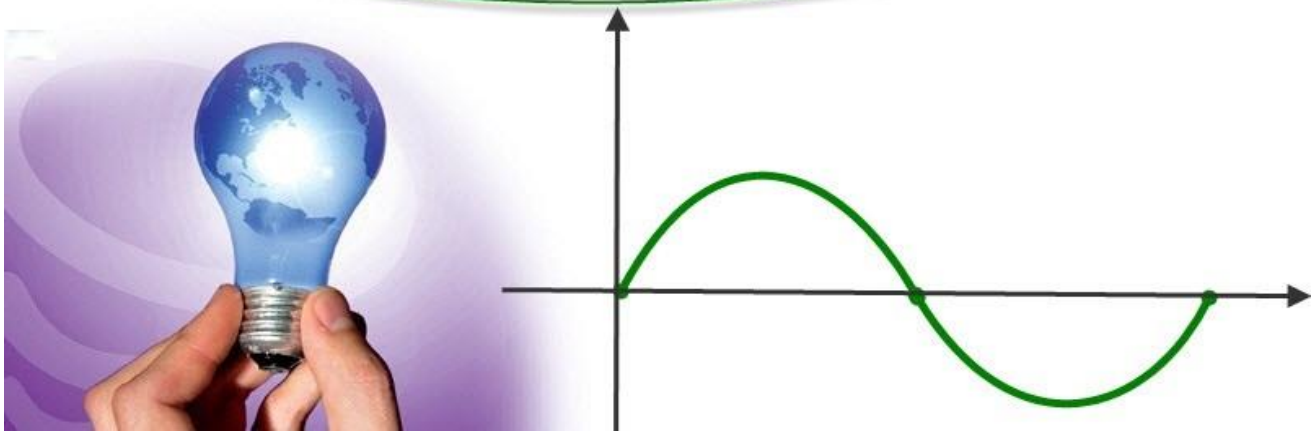
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم



برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

بررسی تکنیک های نوین کنترل برای STATCOM و اثرات آن بر روی مزارع بادی

WikiPower.ir

برای خرید فایل wordاین پروژه اینجا کلیک کنید.

(شماره پروژه = ۲۸۲)

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

پیشگفتار

با توجه به اهمیت شایان انرژی در زندگی امروز و افزایش قیمت ونیز محدودیت سوختهای فسیلی موجود، دنیای امروز به سمت استفاده از انرژی های تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز خود حرکت می کند. یکی از انواع انرژی های تجدیدپذیر، انرژی بادی است که در این پروژه، انواع روشهای استفاده از آن و تبدیل آن به انرژی الکتریکی و نیز تزریق آن به شبکه قدرت مورد بررسی قرار گرفته است.توربینهای بادی به عنوان بخش تبدیل انرژی بادی به مکانیکی و سپس به الکتریکی نقش اصلی را ایفا می کنند.

معمولاً نیروگاههای بادی در مناطق دوردست و شرایط خاص جغرافیایی ایجاد می گردند و از اهمیت و حساسیت بسزایی برخوردار هستند. با توجه به ماهیت متغیر و غیر یکنواخت سرعت باد، بطور متداول در توربین های بادی از ژنراتور القایی جهت تبدیل انرژی جنبشی باد به انرژی الکتریکی استفاده می گردد. طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری ژنراتورهای القایی نسبت به ژنراتورهای سنکرون بسیار ساده تر می باشد. ولی معایبی هم دارد، همانا مقدار زیادی از جریان راکتیو شبکه را مصرف می نماید، که موجب افت پروفیل ولتاژ و ناپایداری در شبکه می گردد.

کنترل ولتاژ در یک شبکه قدرت همواره یکی از مهمترین چالش های صنعت برق بوده است .

در سیستمهای قدرت، به دلایل مختلف از جمله محدودیتهای ولتاژ و انواع پایداریها، بهره-برداری از ظرفیت کامل خطوط امکان پذیر نیست. ایجاد بازار آزاد رقابتی در سیستمهای تجدید ساختار یافته، ایجاب می‌کند که از حداکثر ظرفیت خطوط استفاده شود. استفاده حداکثر از ظرفیت خطوط، ممکن است باعث ایجاد اضافه بار در برخی خطوط، خارج از ظرفیت مجاز آنها شود. گرفتگی در خطوط باعث می‌شود که برخی از محدودیتها از حد مجاز خود خارج شوند. بنابراین لازم است که گرفتگی بوجود آمده، به نحو صحیحی مدیریت شود.

یکی از راههای اصلی و مهم پیشنهاد شده برای مدیریت گرفتگی، بهبود کیفیت توان ، پایداری ولتاژ ، بهبود ضریب توان ، استفاده از ادوات FACTS در شبکه قدرت است.

این پایان‌نامه شامل **دو بخش** است:

۱) تولید برق از انرژی باد

۲) ادوات FACTS

بخش اول « تولید برق از انرژی باد» شامل ۷ فصل است :

فصل اول با عنوان «**تاریخچه ی استفاده از توربین بادی**»، به تشریح تاریخچه استفاده از انرژی باد در ایران و جهانو سیر تکاملی توربین های بادی (در قسمت تحقیقات) پرداخته شده است.

فصل دوم با عنوان «**مکانیسم پیدایش باد و انواع آن**»، نحوه شکل گیریباد و انواع آن و مزایا و معایب استفاده از این انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل سومبا عنوان « **توربین های بادی و چگونگی عملکرد آنها** » ، توربین های بادی و انواع آن ، چگونگی عملکرد و مزایا و معایب هر کدام به تفصیل گفته شده است.

فصل چهارمبا عنوان « **ژنراتورهای بادی**»، انواع ژنراتورهای بادی ، مدل تحلیلی و نحوه کنترل آنها و مبدل های مورد استفاده در توربین بادی بیان شده است.

فصل پنجم با عنوان «**انتخاب مولد مناسب**» ، با توجه به توضیحات داده شده در فصل های قبلی ، به بررسی و مقایسه کاربردی انواع مولد و انتخاب بهینه آن در نیروگاه بادی، پرداخته شده است.

فصل ششم با عنوان « **طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای نحوه ارتباط آنها با شبکه سراسری**» ، به طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای ارتباط آنها با شبکه ،اشاره شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

و در **فصل هفتم**(فصل آخربخش اول)، با عنوان «**طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای ظرفیت تولید انرژی الکتریکی** » ،طبقه بندی انواع توربین های بادی بر مبنای ظرفیت تولید انرژی الکتریکی مد نظر قرار گرفته است.

بخش دوم « ادوات FACTS » شامل۳ فصل است :

فصل هشتم با عنوان «**معرفی ادوات FACTS** »، همانطوری که از عنوان این فصل مشخص است به توضیح اجمالی در مورد انواع ادوات FACTS ، مشخصه های مداری آنها و نحوه قراری گیری در شبکهپرداخته شده است.

فصل نهم با عنوان « **مزایای ادواتFACTS** » ، شامل بررسی مزایا ، کاربردها ، هزینه های سرمایه گذاری (با ارائه جداول مربوطه و نمودارها) و درونما و آینده ای از ادوات FACTS ، است.

فصل دهم(فصل آخر) با عنوان « **STATCOM** » ، به صورت ویژه و تخصصی به بررسی لزوم جبرانسازی و مقایسه ی انواع آنها با STATCOM، در نیروگاه بادی و نتیجه گیری کلی ، پرداخته شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فهرست

عنوان

صحفه

بخش اول : تولید برق از انرژی باد

مقدمه ۸

۱ تاریخچه استفاده از توربین بادی

۱-۱ تحقیقات ۱۵

۱-۲ تاریخچه استفاده انرژی باد در ایران ۳۵

۱-۳ پتانسیل انرژی باد در ایران ۳۹

۲ مکانیسم پیدایش باد و انواع آن

۲-۱ انواع باد ۴۲

۲-۲ مزایا و معیب استفاده از انرژی باد ۴۶

۳ توربین های بادی و چگونگی عملکرد آنها

۳-۱ انواع توربینهای بادی و مکانیسم کار آنها ۴۹

۳-۱-۱ توربین های بادی بادی با محور چرخش عمودی (VAWT) ۴۹

۳-۱-۲ توربین های بادی بادی با محور چرخش افقی (HAWT) ۵۰

۳-۱-۳ ماشین های بادی با محور عمودی پسایی ۵۱

۳-۱-۴ طبقه بندی توربین های بادی ۵۲

۳-۲ مزیت های عمده توربین های بادی محور عمودی ۵۳

۳-۳ محدودیت و محاسن توربین های بادی محور افقی ۵۴

۳-۴ انواع کاربرد توربین بادی..... ۵۵

٤ ژنراتورهای بادی

۴-۱ ساختار کلی مبدل های فرکانسی مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی ۶۰
۴-۱-۱ مبدل های مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی پراکنده ۶۰
۴-۱-۲ مبدل های مورد استفاده برای مزارع بادی ۶۵
۴-۱-۳ مبدل های مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی خودگردان ۶۶
۴-۲ مدل سازی ژنراتورهای بادی ۶۶
۴-۲-۱ مدل برداری ماشین القایی با روتور سیم پیچی شده ۶۹
۴-۲-۲ مدل ماشین سنکرون مغناطیس دائم ۶۹
۴-۳ کنترل ژنراتورهای بادی سرعت متغییر ۷۱
۴-۳-۱ ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۷۱
۴-۳-۲ ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده ۷۳
۵ انتخاب مولد مناسب
۵-۱ مقایسه ی کاربرد ژنراتورخای القایی و سنکرون ۷۶
۵-۲ مقایسه ی برخی مشخصات ژنراتور سنکرون و آسنکرون ۷۷
۵-۳ مروری بر مطالعات مربوط به کاربرد ژنراتورهای القایی و سنکرون ۸۲
۵-۳-۱ نتیجه گیری با استفاده از جدول ۸۴
٦ طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای نحوه ارتباط آنها با شبکه سراسری
۶-۱ توربین بادی جدا از شبکه ۸۶
۶-۲ توربین بادی متصل به شبکه ۸۷
۶-۲-۱توربین های متصل به شبکه منفرد ۸۷
۶-۲-۲ توربین های متصل به شبکه گروهی (مزارع بادی) ۸۷
۷ طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای ظرفیت تولید انرژی الکتریکی
۷-۱ تورین های کوچک بادی مستقل از شبکه ۸۸
۷-۲ توربین های متوسط بادی مستقل از شبکه ۸۸

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۷-۳ توربین های بزرگ بادی متصل به شبکه ۸۹

بخش دوم : ادوات FACTS

مقدمه
.....۹۰

۸ معرفی ادوات FACTS

۸-۱ جبرانساز VAR استاتیک (SVC)
.....۹۷

۸-۲ خازن سری کنترل تریستوری (TCSC)
.....۹۹

۸-۳ جبرانساز استاتیک (STATCOM)
.....۱۰۰

۸-۴ ترانسفورماتور شیفت دهنده ی فاز (PST / PAR)
.....۱۰۱

۸-۵ جبرانساز سری سنکرون استاتیک (SSSC)
.....۱۰۳

۸-۶ کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)
.....۱۰۴

۸-۷ کنترل کننده توان بین خطوط (IPFC)
.....۱۰۴

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۸-۸ جبرانساز استاتیک تغییر پذیر (CSC)..... ۱۰۵

۹ مزایای ادوات FACTS

۹-۱ کاربردهای ادوات FACT..... ۱۱۱

۹-۱-۱ کاربردهایحالتماندگارادواتFACTS..... ۱۱۱

۹-۱-۲ کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS..... ۱۱۳

۹-۲ هزینه های سرمایه گذاری ادوات FACTS..... ۱۱۶

۹-۲-۱ هزینههایتجهیزاتادواتFACTS..... ۱۱۶

۹-۲-۲ هزینه‌های زیربنایی ادوات FACTS..... ۱۱۶

۹-۳ دورنمایی از اینده ادوات FACTS..... ۱۱۹

۱۰ STATCOM

۱۰-۱ لزوماستفادهازجبرانسازهایتوانراکتیودرنیروگاههایبادی..... ۱۲۰

۱۰-۱-۱ بانکهایخازنیسوئیچشونده..... ۱۲۳

۱۰-۱-۲ جبرانسازهایاستاتیکیوارSVC..... ۱۲۴

۱۰-۱-۳ جبرانسازاستاتیکیسنکرونSTATOM..... ۱۲۵

۱۰-۲ مقایسهبینجبرانسازهایتوانراکتیودرنیروگاههایبادی..... ۱۲۶

۱۰-۳ نتیجهگیری..... ۱۲۹

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بخش اول : تولید برق از انرژی باد

مقدمه

امروزه اکثر انرژی الکتریکی مورد نیاز در دنیا توسط نیروگاه‌های فسیلی تولید می‌شود. اثرات مخرب زیست محیطی نیروگاه‌های سوخت فسیلی، کاهش منابع سوختی و در نتیجه افزایش بی رویه قیمت سوخت و هزینه انرژی تولید شده، تولید کننده‌گان را به سمت استفاده از منابع تجدید پذیر سوق داده است. بخش عمده انرژی تولید شده از منابع تجدید پذیر توسط نیروگاه‌های آبی و سپس نیروگاه‌های بادی تولید می‌شود. استفاده از نیروگاه‌های بادی به دلیل کم بودن نسبت هزینه اولیه به میزان انرژی تولیدی در مقایسه با سایر روش‌های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی محبوبیت خاصی پیدا کرده است. کشورهای دانمارک و آلمان پیشگامان استفاده از این انرژی می‌باشند به طوری که تقریباً ۳۰٪ کل انرژی الکتریکی دانمارک از نیروگاه‌های بادی تأمین می‌شود. ژنراتورهای بادی به صورت خود گردان[۱] و یا متصل به شبکه، پراکنده و متمرکز (مزرعه باد[۲])، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دلیل ساختار خاص ژنراتورهای بادی و نحوه کنترل و اتصال آن‌ها به شبکه، که ناشی از متغیر و غیر قابل پیش بینی بودن سرعت باد می‌باشد، استفاده از این نوع ژنراتورها و میزان گسترش آن‌ها در شبکه چه در سطح انتقال و چه در سطح توزیع با مسایل و مشکلات زیادی از جمله کنترل توان رآکتیو و ولتاژ، ایجاد فلیکر و نوسانات ولتاژ، کنترل توان تولیدی و در نتیجه کنترل فرکانس، پایداری

[۱] Stand Alone
[۲] Wind Farm

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

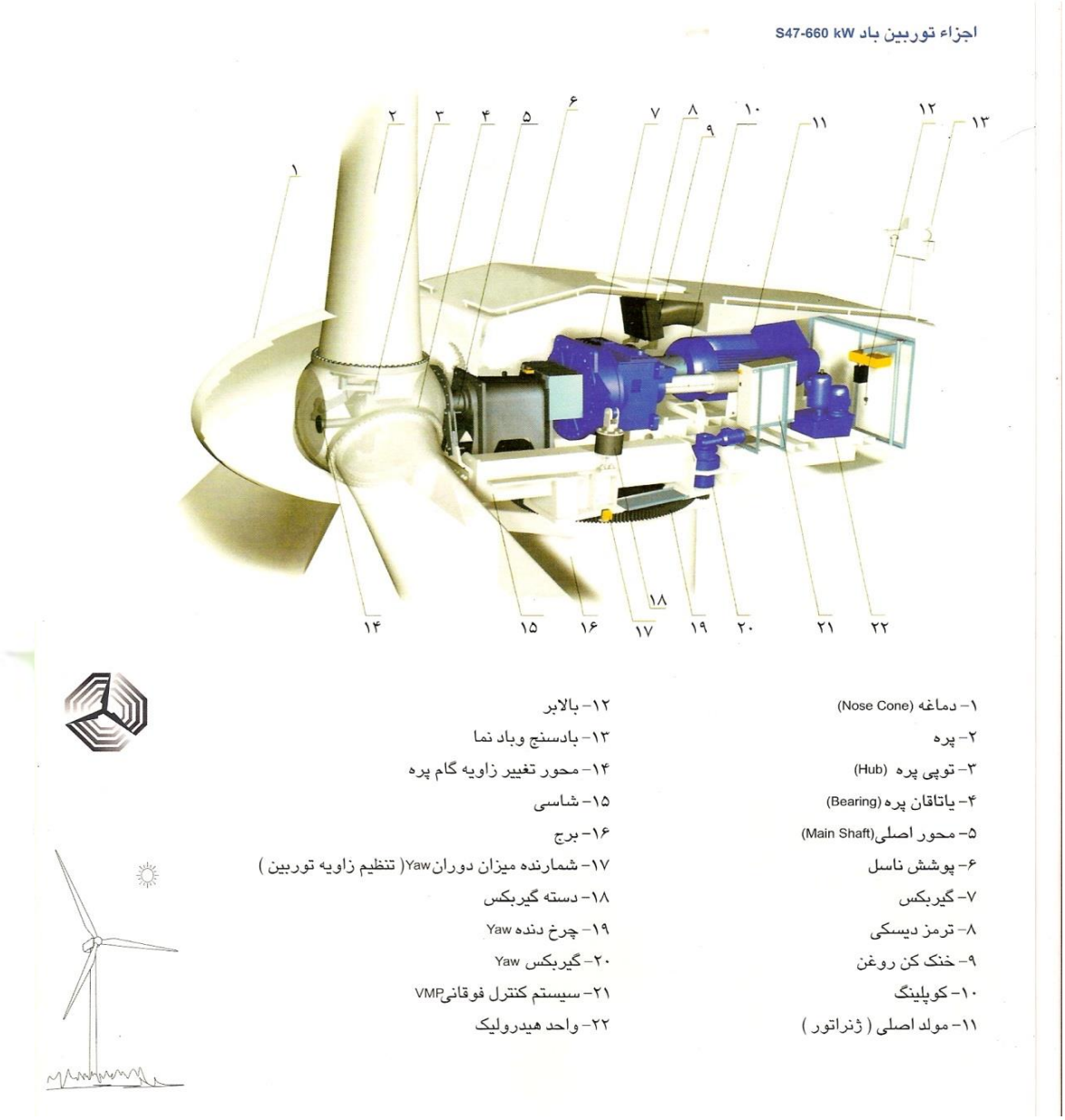
ژنراتور و شبکه، عملکرد مناسب در شرایط عدم تعادل جریان و ولتاژ و همچنین در شرایط بروز خطا[1]، قابلیت اطمینان و غیره ... مواجه می‌باشد.

شاید بتوان مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته در زمینه استفاده از ژنراتورهای بادی را به پنج دسته کلی مطالعات ماشینی و کنترل سرعت، مطالعات کیفیت توانی، مطالعات دینامیکی، قابلیت اطمینان و مطالعات اقتصادی و بازار برق تقسیم بندی نمود. در ادامه موارد بالا مورد بررسی قرار می گیرد.

WikiPower.ir

[1] Fault Ride Through

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



۱ـ پرها: بیشتر تورین‌ها ۲ یا ۳ پره دارند، باد به پره‌ها برخورد می‌کند و باعث چرخش آنها می‌شود.

۲ـ ترمز: با استفاده از سیستم ترمز دیسکی می‌توان توربین را به طور هیدرولیکی در مواقع عادی و حتی اضطراری متوقف کرد.

۳ـ بخش کنترل: بخش کنترل توربین را هنگامی که سرعت باد بین ۴ تا ۲۵ متر بر ثانیه است بکار می‌اندازد و هنگامی که سرعت باد به بالاتر از ۲۵ متر بر ثانیه می‌رسد آن را متوقف

می‌کند. توربین‌ها نمی‌توانند در سرعتهای بیشتر از ۲۵ متر بر ثانیه به کار خودادامه دهند در سرعت بالای ۳۰ متر برثانیه امکان سقوط برج‌ها نیز وجود دارد.

۴ـ جعبه دنده (گیربکس):گیربکس توربینهای بادی می‌تواند سرعت کم چرخش محور پره‌ها را باضریب تبدیل مثبت به سرعت بالا که در ژنراتور استفاده می‌شود تبدیل کند.

۵ـ ژنراتور: ژنراتور در حقیقت بخش تبدیل انرژی مکانیکی باد به انرژی برق (الکتریکی)است. ژنراتورهای بکار برده شده، ژنراتورهای آسنکرون و سنکرون می‌باشند.

۶ـ ناسل: قسمت اصلی توربین بادی که روتور به آن متصل است را ناسل می‌گویند . ناسل در بالای برج قرار دارد و شامل جعبه دنده، شفت اصلی، ژنراتور، بخش کنترل و ترمز است. بعضی از ناسل‌ها آن قدر بزرگند که تکنسین‌ها می‌توانند داخل آن بایستند.

در گذشته توربینهای بادی با یک سرعت دورانی ثابت (دور روتور) کار می‌کردند، اما مدلهای امروزی تقریباً سیستم یک سرعته را کنار گذاشته‌اند. از میان ۵۸ مدل توربین موجود،۲ مدل یک سرعته، ۲۲ مدل دو سرعته و ۳۴ مدل با سرعت متغیر وجود دارند.

۷ـ روتور: به مجموعه تیغه‌هاو توپی وسط آن روتور می‌گوییم.

۸ـ دکل: دکلها معمولاً از فولادهای استوانه‌ای یا شبکه‌ای از میله‌های فولادی ساخته می‌شوند، چون سرعت باد با افزایش ارتفاع زیاد می‌شود، دکلهای بلند باعث می‌شوند توربین انرژی بیشتری بگیرد و الکتریسیته بیشتری تولید کند.

۹ـ سنسورهای اندازه‌گیری: شامل دو سنسور سرعت سنج و جهت نما می‌باشد که اولی سرعت با دو دومی جهت باد را با دقت مشخص می‌کند و اطلاعات حاصل را به بخش کنترل می‌دهد. بر اساس این اطلاعات زمان کار توربین زاویه چرخ انحراف (Yaw system) مشخص می‌شود. که این چرخ، توربین را دقیقاً در جهت وزش باد قرار می‌دهد.

۱۰ـ موتور انحراف: سیستم (Yaw) یک سیستم ترکیبی الکتریکی مکانیکی است. هدایت این سیستم توسط واحد کنترل انجام می‌شود. بر اساس اطلاعات رسیده از قسمت اندازه‌گیری، واحد کنترل جهت باد غالب را تعیین کرده و به موتور انحراف فرمان می‌دهد که این موتور توربین را در راستای مناسب بچرخاند. این سیستم فقط در توربینهای بزرگ متصل به شبکه کاربرد دارد. در توربین‌های بادی سایز کوچک به جای چرخ انحراف (Yaw system) از

بالچه استفاده می‌کنند. این بالچه، توسط جریان باد خود به خود توربین را در راستای مناسب قرار می‌دهد

۱) تاریخچه طراحی توربین بادی و استفاده از انرژی باد

چرا باید به تاریخ طراحی ماشینهای بادی پرداخت؟ پاسخ اینست که چیزهای بسیاری می‌توان از تلاشهای گذشته در این راه آموخت. وقتی که برای اولین بار یک توربین بادی ساخت ناسا *(NJF-NASA MOD0)* به کار افتاد:

به سرعت و همزمان چندین مطالعه در مورد عمر خستگی پره‌ها انجام شد. صاحبان پروژه و طراحانی که آنرا طراحی کرده بودند مشاهده کردند که روتورهایی که در باد پایین کار می‌کنند و نیز یک برج مؤثر در جلوی آنها تعداد دارد نمی‌توانند به خوبی و با راندمان بالا کار کنند.

ماشینهای بادی تاریخچهٔ قابل توجهی در بسیاری کشورها دارند. دوره‌ای از اطلاعات تاریخی این ماشینها در کتابهای "ماشینهای بادی و ماشینهای آبی" نوشته جان رینولدز *(John Reynolds)*و "ماشینهای بادی" نوشته بیدل *(S. Beedell)* آمده است. یک تاریخچه علمی و جامع توسط گلدینگ *(E.W. Golding)* نوشته شده است. کتاب "ماشینهای بادی" به زیبایی یک دورهٔ تاریخی از این ماشینها را تشریح کرده است. یک گزارش جامع که توسط چامپلی *(R. Champly)* نوشته شده، توضیحاتی در مورد مشخصات، اندازه‌ها، داده‌های آزمایشگاهی، نقشه‌ها و بحثهایی در مورد کاربردهای مکانیکی تعداد زیادی از پمپهای بادی و ژنراتورهای الکتریکی در آمریکا و اروپا درطی سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۳۰ می‌دهد. این گزارش همچنین شامل

توضیحاتی در مورد آزمایشات همراه با ترمزهای نوک‌پر، پرچهای قابل انحراف، گیربکسها و شفتها برای انتقال توان مکانیکی به پایین برج در یک توربین محور افقی، تنظیم کننده‌های ولتاژ و بسیار موارد دیگر است.

نوع طراحی مهندسی بر تحلیلهای ابتدایی فهمیده شده بنا شده است. البته تا وقتیکه ریاضیات مورد نیاز مسأله و نیز کاربردهای مهندسی آن هم قابل تصور و ادراک باشد. مطالعه و درک مهندسی طراحی آسیابهای بادی قدیمی، اثر غیر قابل انکاری در چگونگی طراحی ماشینهای بادی آتی داشته است.

تعدادی از این طرحهای قدیمی در کشورهای انگلیس، هلند و دانمارک موارد مناسبی جهت مطالعه هستند. تعدادی از آنها بوسیله گلدینگ *(Golding)* و نیز در کتاب "بررسی توربینهای هلندی" مطالعه شده‌اند. این کتاب توسط کمیته‌ای بنام پرنس مولن *(Princenmolen)* نوشته شده است. این کمیته که شامل تعدادی از افراد متخصص بود جهت بررسی و تحقیق در مورد یکی از توربینهای بادی قدیمی هلند که در سال ۱۶۲۸ ساخته شده بود تشکیل گردید. کمیته مزبور یک ارزیابی در مورد نوسازی توربین و تحقیقاتی در مورد طرح و کارآیی دیگر توربینهای قدیمی هلند براساس تئوریهای جدید بالواره انجام داد. برای به کارگیری این تئوریها، آنها یک مدل یک چهارم از توربین را با ۴ پره و سطح مقطع بالواره ساختند و آزمایش کردند. نتایج حاصله از این آزمایشها بسیار جالب بود.

مروری بر ماشینهای بادی گذشته انگلیس و هلند کیفیت طرحهای استاندارد قدیمی را روشن می‌سازد. این طرح شامل یک روتور رو به باد که بر روی یک برج با قطر زیاد قرار دارد می‌باشد. در طرحهای ابتدایی، برج بر روی یک دیرک ثابت می‌چرخید و رو به باد قرار می‌گرفت. در طرحهای بعدی فقط کلاهک بالای برج می‌چرخید. یک پرسپکتیو از توربین بادی انگلیس *(Hernemill)* در شکل (۱ـ۱) آمده است. ۴ پرده توربین این توربین یک صلبیت

متغیر دارد که بطور خودکار توسط یک سیستم مکانیکی کرکره‌ای کنترل می‌شود. تا نیروی اعمالی روی پره‌ها بوسیله وزنه‌ها متوازن گردد.

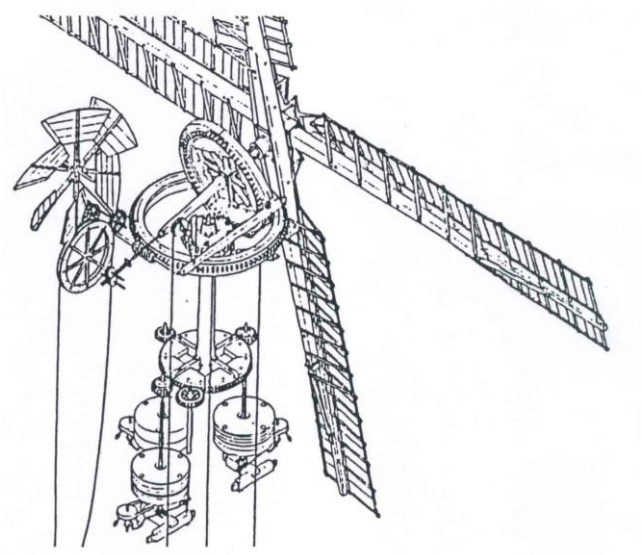
اعضای سازهٔ اصلی روتورهای خیلی قدیمی اغلب از یک چهارم وتر پره عبور می‌کرد این محل اکنون به نام "محل برای مؤثر" شناخته شده است. قرارگیری چوب‌بستها *(Stoks)* در این نقطه، گشتاوری را که باعث پیچش پره‌ها می‌شود کمینه می‌کند.

بنابراین آنچه که اکنون توسط آزمایشات تونل باد فهمیده می‌شود قبلاً در آسیابهای بادی به تجربه دریافت شده بود. از آنجا که عضوهای پره *(whips)* به چوب‌بستها متصل می‌شوند و قابلیت تعویض و جابجایی را دارند. یک قابلیت تعمیر خوبی به پره‌ها می‌دهند و بدون نیاز به یک مهندس تعمیرکار در اینگونه پره‌ها می‌توان هر قسمت از پره را تعمیر و تعویض نمود.

برخی از این ماشینها حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ سال باقی ماندند و چندین سازه ساخته شدهٔ بیش از سه قرن قبل هنوز در شرایط کاری هستند یک توربین بادی انگلیسی در اوت وود *(out wood)* که قدیمی‌ترین ماشین بادی در بریتانیای کبیر است در سال ۱۶۶۵ ساخته شد. ماشین بادی هلندی *(Prinsen molen)* که قبلاً بحث شد در سال ۱۶۲۸ ساخته شد. فلسفه طراحی این ماشینهای ساده، جایگزینی و تعمیر آسان قطعات است. ابتدا اساس طراحی بر خراب نشدن است و محافظت قطعات اصلی از خراب شدن در مرحله بعدی است.

توان از محور اصلی به یک محور عمودی با استفاده از یک چرخ دندهٔ بزرگ چوبی انتقال می‌یابد که چرخ ترمز هم نامیده می‌شود. این چرخ بزرگ با یک چرخ دندهٔ کوچکتر است. این لنگه، شامل یک چرخ دندهٔ مایل چوبی با زاویهٔ منفرجه و نیز دندانه‌های قابل تعویض است. ماشینهای قدیمی از چرخ دنده‌هایی استفاده می‌کردند که دندانه‌های آنها از چوبهای سخت ساخته می‌شد.

یک سیستم اتوماتیک و البته عضوهای انعطاف‌پذیری در چرخهای گردان مورد نیاز است تا اثرات گردبادها و بادهای ناگهانی را یکنواخت کند.



شکل (۱ـ۱) توربین بادی انگلیسی قدیمی *Herne mill*

توسعهٔ توربینهای بادی از سال بحران انرژی یا بحران نفت (۱۹۷۳) با شتاب بیشتری همراه شد. کاربرد روشهای طراحی پیشرفته، مثل مدل رایانه‌ای رفتار دینامیکی و آیرودینامیکی، به همراه اطلاعات طراحی بدست آمدهٔ آزمایشگاهی، سیستمهای تبدیل انرژی باد را به سمت پیشرفت سریع سوق داد. در همین سال و بوسیلهٔ ایالت متحدهٔ آمریکا یک برنامه انرژی باد بنیان نهاده شد که اولین نتیجه کارهای آنها ساخت توربین بادی *mod0* در سنداسکی اوهایو (۱۹۷۵) با قطر پره ۳۸ متر و با دو پره و توان خروج ۱۰۰ کیلو وات بود. بین سالهای ۱۹۷۷ و ۱۹۸۰ و در نواحی هاوایی ماشین بادی *mod 0A* نصب گردید که دارای قطر پره ۳۸ متر بود، و قابلیت تولید توان تا ۲۰۰ کیلو وات را داشت (شکل ۱ـ۲). در سال ۱۹۸۲ توربینهای بادی ۳ مگاواتی *WTS 3* در سوئیس و ۴ مگاواتی *WTS4* در آمریکا ساخته شد و در همین سال توربین سوئیسی چند مگاواتی و با همکاری یک شرکت آلمانی ساخته شد که دارای قطر پره ۷۵ متر بود.

توسعهٔ توربینهای بادی محور ـ افقی همچنان ادامه یافت و در گروهی موسوم به گروه انرژی باد، یک توربین بادی ۲ پره، با قطر ۶۰ متر و توان ۳ مگاوات ساخته شد. این گروه همچنین یک توربین بادی محور ـ افقی ۲۵۰ کیلوواتی را با قطر خارجی ۲۵ متر و سه پره ساخت و در

سال ۱۹۸۶، ۲۰ عدد از این توربینها در کالیفرنیا نصب شدند همچنین توسط این گروه یک خانواده از ماشینهای بادی در محدودهٔ ۶۰ کیلووات و با قطر ۱۵ متر تا توان اسمی ۷۵۰ کیلووات و با قطر ۴۵ متر ساخته شد و نصب گردید.

شکل (۱ـ۲) توربین بادی *mod 0A* (۱۹۸۰)

علاوه بر توربینهای بادی محور افقی، توربینهای بادی محور ـ عمودی نیز به عنوان یک طرح پیشرو در اوایل سال ۱۹۷۰ در کانادا مطرح شدند و اخیراً نیز یک نوع از این توربین (داریوس) با ارتفاع روتور ۹۴ متر و قطر ۶۴ متر و توان خروج ۴ مگاوات در کانادا ساخته شده است. جاذبه‌های اصلی طرح داریوس عبارتند از اینکه، این توربینها همه جهتی هستند و همچنین حرکت عمودی شفت نیز نصب گیربکس و ژنراتور را ساده می‌کند. به هر حال پیکربندی داریوس دارای این اشکال اساسی است که توان خروجی‌اش در سرعتهای بالای باد، همچنانکه در بیشتر توربینهای محور افقی متداول، بطور ساده بوسیله تغییر شیب پره کنترل می‌شود قابل کنترل نیست. سیر صعودی طراحی و استفاده از توربینهای بادی همچنان ادامه یافت به‌طوریکه

در دهۀ هشتاد و بین سالهای ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۵ حدود ۱۷ برابر شد و ۳۴ مگاوات ظرفیت نصب شدۀ توربینهای بادی در سال ۱۹۸۲ به بیش از ۵۶۷ مگاوات در سال ۱۹۸۵ افزایش یافت.

ایالت متحده، ساخت و بهره‌برداری از توربینهای بادی با قدرت متوسط ۵۰ تا ۷۵۰ کیلو وات را در دهۀ هشتاد آغاز نمود. در محدودۀ سالهای ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۶ بیش از ۹۰ درصد انرژی برق تولیدی از باد در جهان را در کالیفرنیا تولید کرد.

در پایان سال ۱۹۹۰ ظرفیت توربینهای بادی متصل به شبکه در جهان حدود ۲۰۰۰ مگاوات و با توانایی تولید سالیانه ۳۲۰۰ گیگاوات ساعت برق بوده که تقریباً تمامی آن در کالیفرنیا و دانمارک بوده است. هم‌اکنون نیز کشورهایی نظیر آلمان، هلند، انگلیس، ایتالیا، هند و چین، برنامه‌های ملی جهت توسعه و تولید هر چه بیشتر الکتریسیته از باد را دنبال می کنند.

طبق آمارهای منتشره در سال ۱۹۹۵ در اروپا ۲۵۰۰ مگاوات برق از باد تولید کرد. در همین سال آمریکا ۱۶۵۰ مگاوات و هند ۷۳۰ مگاوات تولید برق از باد داشته‌اند.

هم‌اکنون انرژی باد یکی از سریعترین انرژیهای رو به توسعه در جهان است. در پایان سال ۱۹۹۵ ظرفیت تولید برق از باد در جهان به ۴۹۰۰ مگاوات رسید. رقمی که نسبت به سال ۱۹۹۴، ۳۴ درصد رشد داشته است.

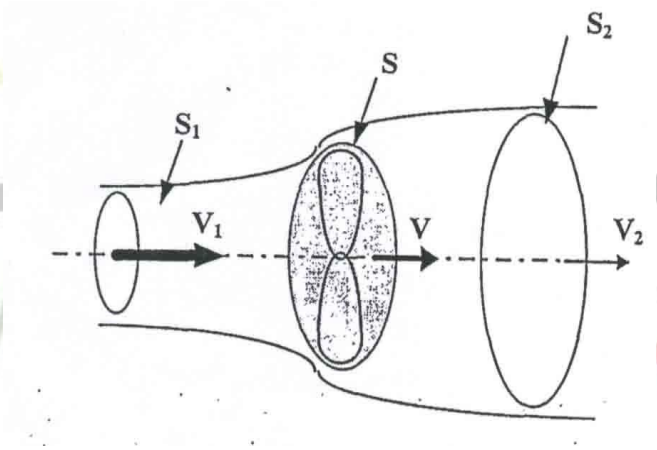
برطبق گزارش سازمان ملل، در سال ۱۹۹۶ ظرفیت تولید برق از باد در جهان ۵۰۰۰ مگاوات بوده است و پیش‌بینی می‌شود که رشدی ۲۰ درصدی داشته باشد. شورای جهانی انرژی پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۰۲۰ سهم انرژی بد در تأمین انرژی جهان حدود ۳۷۵ تراوا ساعت *(TWh)* در سال خواهد بود. که معادل ۱/۵ درصد مصرف برق کلی جهان است. این تولید انرژی باعث ۳/۵ اگزاژول *(Ej)* صرفه‌جویی در انرژی و ۳۳۰۳۳۰ میلیون تن کاهش Co_2 تولیدی در سال می گردد. توان نهایی انرژی باد به عنوان یک منبع انرژی در درازمدت تقریباً دو برابر مصرف فعلی انرژی الکتریکی جهان تخمین زده می‌شود.

۱-۱) تحقیقات

بتز *(Betz 1927)* **و بیلاو** *(Bilau 1925)* مدلی را که براساس تئوری مومنتم شکل گرفته بود و در مورد پروانه کشتیها به کار می‌رفت در مورد توربینهای بادی ارائه دادند.

توربین بوسیله یک صفحه صاف متحرک که در مسیر لوله‌ای از هوا قرار دارد، نشان داده می‌شود. این صفحه، اختلاف فشاری را در دو قسمت لوله موجب می‌شود. (شکل ۱-۱-۱)

برای استفاده از خواص مکانیک نیوتنی فرض می‌شود که هوا سیالی تراکم ـ ناپذیر و غیر لزج بوده و جریان هوا بصورت یکنواخت و محوری است باتوجه به اینکه توربین انرژی جنبشی هوا را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند، لذا سرعت V_2 کمتر از V_1 خواهد بود.



شکل (۱-۱-۱)

با استفاده از فرض گفته شده که هوا را تراکم ناپذیر در نظر گرفتیم، بنا به پیوستگی جریان و با استفاده از روابط اولر و بتز مقدار توان بدست آمده برابر است با:

$$P = 1/4\,\rho S (V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2)$$

در این رابطه:

V_1: سرعت باد پیش از رسیدن به توربین

V_2: سرعت باد پس از عبور از توربین

ρ: جرم حجمی هوا

S: سطح چرخش توربین

برای بدست آوردن توان ماکزیمم:

$$dP/dV_2 = 0 \Rightarrow V_2 = V_1/3$$

بنابراین بیشترین توانی که می‌توان از باد گرفت برابر خواهد بود با:

$$P_{MAX} = 8/27\,\rho S V_1^3$$

ضریب توان عبارت است از نسبت توان دریافت شده توسط توربین به توان باد. براین اساس ضریب توان تئوری برابر است با:

$$C_p = \frac{8/27\,\rho S V_1^3}{1/2\,\rho S V_1^3} = \frac{16}{27} = 0.59$$

دو نتیجه جالب توجه از روابط فوق بدست می‌آید:

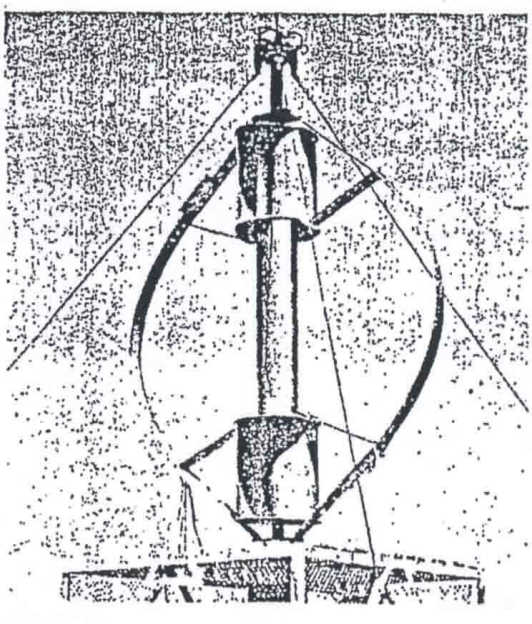
۱ـ هیچگاه نمی‌توان تمام انرژی جنبشی باد را تبدیل به انرژی مکانیکی کرد چون در اینصورت باید V_2 صفر شود و صفر شدن V_2 یعنی گسترش S_2 به بینهایت که عملاً غیرممکن است.

۲ ـ هیچگاه نمی‌توان توربینی ساخت که ضریب توان (C_p) آن از ۰/۵۹ بیشتر باشد.

توان توربین از رابطه $P = 1/2 C_p \rho S V^3$ بدست می‌آید که $C_p < 0.59$ می‌باشد.

ساونیوس *(Savonious 1931)* توربینی با محور عمودی به شکل دو نیم استوانه به هم چسبیده به شکل S را ابداع کرد (شکل۱-۱-۲). این توربینها دارای گشتاور زیادی می‌باشند. به خاطر گشتاور زیاد و سرعت باد راه‌انداز کم، از این توربینها می‌توان در کمک به راه‌اندازی توربینهای داریوس استفاده کرد و آنها را بصورت تؤام بکار گرفت.

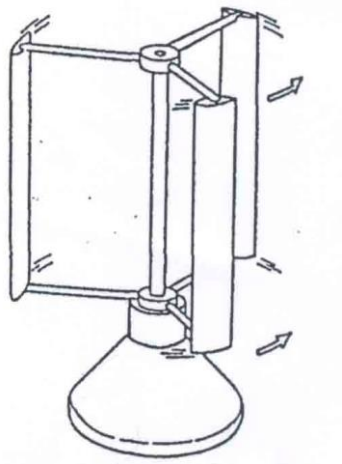
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



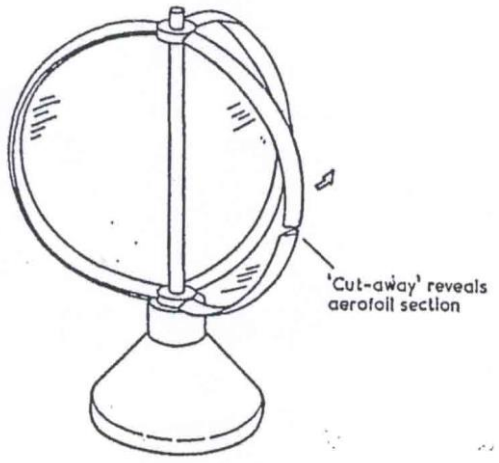
شکل (۱-۱-۲) ترکیب توربین داریوس با ساونیوس

داریوس *(Darrieus)* با استفاده از اصول آیرودینامیک نوع دیگری از توربینهای بادی را ابداع کرد که به شکل‌های قفس سنجابی و تخم‌مرغ همزن ساخته می‌شوند .

شکلهای : (۱-۱-۳) و (۱-۱-۴)



شکل (۱-۱-۳) نوع قفس سنجابی



شکل (۱-۱-٤) نوع تخم‌مرغ بهمزن

توربینهای داریوس گشتاور کمی در محور توربین ایجاد کرده و مشکل شروع به حرکت می‌کنند اما سرعت خوبی دارند. علت حرکت این توربینها، بیشتر بودن مؤلفه نیروی بالا روی

نسبت به نیروی بازدارنده می‌باشد. معمولاً در ساخت این توربینها از ایرفویل‌های متقارن استفاده می‌شود.

چنی و اسپیرینگز *(Cheny and Spierings 1976)* از طرح روتورهای مرکب بدون یاتاقان *(CBR)* که در مورد هلیکوپتر بکار می‌رود، در ساخت توربینهای بادی استفاده کرد. این طرح به منظور کاهش وزن، هزینه و پیچیدگی ساختمان توربین بکار گرفته شد. در این سیستم دیگر به یاتاقان و لولا جهت چرخش پره حول تیک اصلی آن نیازی نمی‌باشد.

مواد مرکبی که در ساخت پره‌ها از آنها استفاده می‌شود دارای الیافی در جهت طول هستند که تحمل پره را در برابر نیروهای محوری زیاد می‌کند اما پره در برابر پیچش بسیار نرم و قابل انعطاف است.

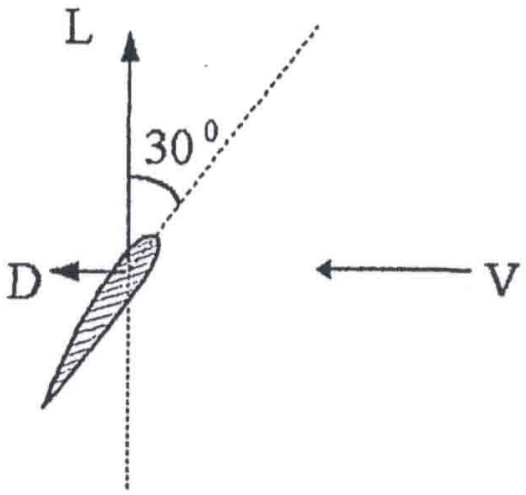
جنس پره از *Epoxy resin* و الیاف کربن می‌باشد. از این مواد تیرک اصلی را ساخته و در فاصله ۲۰ درصد قطر بعد از محور چرخش، پره‌ها را روی تیرک اصلی نصب کردند.

در ساخت این قسمت از پره‌ها از همان مواد مرکب استفاده شد با این تفاوت که الیاف تقویت کننده در زوایای ۴۵ درجه قرار داده شدند تا سازه نسبت به پیچش مقاوم و صلب باشد.

در قسمت ۲۰ درصد اولیه از مواد مرکب با همان ترکیب اولیه که نسبت به پیچش انعطاف‌پذیر بود استفاده شد.

در حالت شروع به حرکت پره‌ها در زاویه ۳۰ درجه نسبت به جهت حرکت قرار می‌گیرند. بدین شکل پره‌ها از حالت *Stall* خارج شده و با نیروی بالا روی زیادی که حاصل شده است براحتی شروع به چرخش می‌کنند. (شکل ۱-۱-۵)

پس از شروع به حرکت کم‌کم زاویه پره‌ها افزایش می‌یابد تا به مقدار بهینه خود می‌رسد.



شکل (۱-۱-۵) وضعیت پره توربین با گام متغیر در لحظه شروع به حرکت

هیگن وبراون *(Higgen and Brown 1977)* در تحقیقی که در انتاریو انجام دادند، سه توربین بادی تجاری ۶ـ۴ کیلووات را از نظر کارآیی و مسایل اقتصادی مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. این سه مدل توربین عبارت بودند از:

Aerowatt 4100FP7
Electro WVG 50G
DAF 6 kW

با آزمایش این سه مدل و رسم مقدار انرژی سالیانه بدست آمده مشخص شد که توربین *Aerowatt* نسبت به دو مدل دیگر از برتری قابل ملاحظه‌ای برخوردار است اما هزینه اولیه آن بسیار بالا است (۵۵۰۰۰ دلار) و در مقایسه با *Electro* و *DAF* (۶۰۰۰ دلار) مقرون به صرفه نیست. لذا دو توربین دیگر در مناطق مختلفی از انتاریو مورد استفاده قرار گرفتند، از جمله یکی از ایستگاه‌های مخابرات انتاریو.

توان مصرفی این ایستگاه در زمستان ۳/۳ کیلووات و در تابستان ۴/۵ کیلووات بطور پیوسته می‌باشد. مصرف انرژی سالیانه این ایستگاه ۳۶۰۰۰ کیلووات ساعت می‌باشد.

۹ ترکیب مختلف از توربینهای بادی، دیزل و باتری در این طرح مورد مقایسه قرار گرفت. داده برداری از سیستمها، هر یک ساعت صورت گرفت، نتیجه آزمایشات نشان داد که ترکیب

سیستم به شکلی که شامل توربین بادی ۶ کیلووات، دیزل ژنراتور ۱۰ کیلووات و باتری با ظرفیت ۱۷۵ کیلووات ساعت باشد بهترین ترکیب است و تا ۲۳٪ توان توسط توربین تأمین می‌شود.

چنین ترکیبی که شامل توربین، دیزل ژنراتور و باتری است، اصطلاحاً به «ذخیره کننده سوخت»[۱] مشهور است.

راماکومر *(Ramakumar 1997)*استفاده از سیستم «ژنراتورهای با میدان میزان شده»[۲] را مورد بررسی قرار داد. در این سیستم، با تغییر سرعت دورانی توربین، فرکانس برق تولید شده تغییر نمی‌کند به همین جهت به این سیستمها «سرعت متغیر ـ فرکانس ثابت»[۳] *(VSCF)* می‌گویند.

اگر برای تولید برق با فرکانس ثابت از یک «ژنراتور همزمان»[۴] که به شبکه متصل است استفاده شود، هم فرکانس برق ثابت خواهد ماند و هم سرعت دورانی توربین، صرفنظر از اینکه سرعت باد چقدر باشد.

بنابراین کنترل کننده‌هایی باید در مدار قرار داده شوند تا حالت کار را مشخص کنند که ژنراتور درحال تولید برق است یا مصرف آن، تا بدین وسیله مکانیزمهای لازم نظیر تغییر زاویه پره‌ها یا سایر تغییرات روی پره‌ها وارد عمل شوند.

ژنراتورهای القایی نیز سرعت توربین را در حد بسیار خوبی ثابت نگه می‌دارند زیرا میزان لغزش حدود ۱ تا ۵ درصد است.

در بهترین حالت، توربین با سرعت دورانی که با تغییر سرعت باد تغییر می‌کند، کار می‌کند. در این حالت، به یک سیستم سرعت متغیر ـ فرکانس ثابت نیاز است. چهار روش مختلف که می‌توان چنین سیستمی را تعبیه کرد، عبارتند از:

۱- Fuel Saver

۲- Field modulated generators

۳- Variable speed constant frequency

۴- Synchronous generator

۱ـ سیستم ژنراتور با میدان میزان شده

۲ـ مدار *AC-DC-AC*

۳ـ ژنراتورهای القایی با خروجی دوتایی

۴ـ ژنراتورهایی با کموتاتور *AC*

در این تحقیق مزایای استفاده از روش اول مورد بررسی قرار گرفته است. در روشهای معمولی، هنگامی که سرعت ژنراتور به مقدار متعارفی آن می‌رسد، دیگر افزایش سرعت باد موجب تغییر سرعت ژنراتور نمی‌شود و سرعت توربین ثابت می‌ماند. این مسأله منجر به از دست رفتن مقدار زیادی انرژی که در سرعتهای بالاتر قابل استحصال بود می‌شود.

یک ژنراتور با میدان میزان شده تشکیل شده است از یک آلتر ناتور سه فاز با فرکانس بالا که برقی تک‌فاز با فرکانس مورد نیاز تولید می‌کند. این سیستم از یک میزان کننده الکترومغناطیسی به شکل یک تحریک کننده سیم‌پیچ میدان متحرک استفاده می‌کند با جریان متناوبی با فرکانس پایین که از آن می‌گذرد بجای روشهای موسوم که از جریان مستقیم استفاده می‌شود.

مزایای دیگر این سیستم عبارتند از: هزینه کمتر نسبت به سایر روشهای تولید برق با فرکانس ثابت (نظیر روش *CSCF*) که در آن به مکانیزمهای تغییر زاویه پره‌ها نیاز است. علاوه بر این مقدار انرژی بدست آمده از این روش، بسیار بیشتر از سیستمهای با سرعت ثابت می‌باشد.

گریلز *(Grylls 1978)* **و برول** *(Brulle 1977)* از یک «بادامک مرکزی»[۱] که توسط پره‌ای جهت‌گیری می‌شد استفاده کردند و بدینوسیله توانستند مکانیزم «گام متغیر»[۲] را ایجاد کنند. با تغییر گام به این شکل، می‌توان به ضریب توان بیشتری دست یافت.

[۱]- Centeral cam

[۲]- Variable pitch

بادامک توسط یک میله فشار دهنده به هر کدام از پره‌ها وصل شده است و گام توربین را در حین چرخش تغییر می‌دهد. تغییر زاویه حمله پره‌ها به شکلی طراحی شده است که در هر حالت مناسبترین زاویه برخورد را داشته باشد. این طرح در مورد توربینهای محور عمودی اجرا شد.

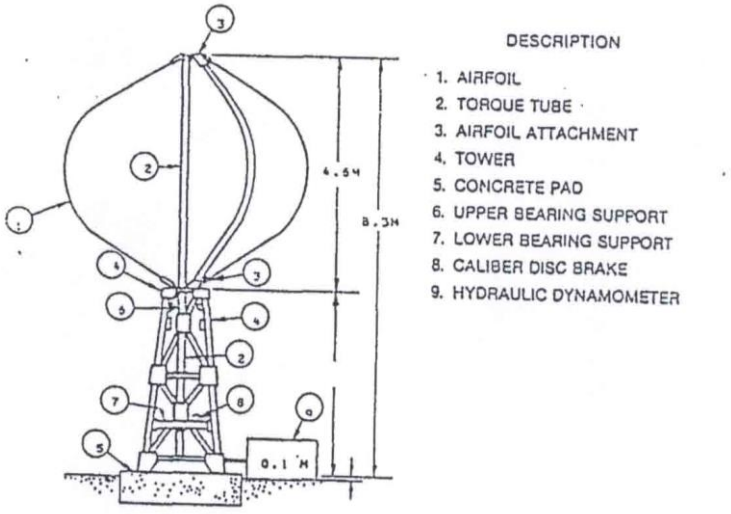
مازگروف *(Musgrove 1978)* توربینهای با محور عمودی را به شکل تجاری توسعه داد. در شروع این طرح از توربینی به قطر ۶ متر استفاده شد. در ساده‌ترین شکل آن، توربین پره‌هایی دارد که در نقطه‌ای غیر از گرانیگاه، سوار شده‌اند.

بنابراین در هنگام چرخش، با افزایش سرعت، در اثر نیروی اینرسی: نوک هر پره در جهت شعاع به خارج حرکت می‌کند. این حرکت موجب می‌شود تا نسبت سرعت نوک پره از مقدار بهینه خود خارج شود و گشتاور کاهش یابد. بدین شکل سرعت توربین ثابت می‌ماند. این سیستم برای ژنراتورهای با فرکانس ثابت مناسب است.

کلر *(Clare 1981)* روشی را ارائه داد که در آن مرکز هر پره لولایی بوده و هر نیمه پره یک بست و میله کششی دارد که پره را قادر می‌سازد تا در محدوده‌ای از زوایا قابلیت تحرک داشته باشد و یک شکل پیکان مانند به پره می‌دهد.

اگر چه این طرح برای توربینهای بزرگ در نظر گرفته شده بود ولی به علت هزینه زیاد، در مورد توربینهای کوچک اجرا شد.

ابوت و همکاران *(Abbott et al. 1983)* توربین داریوسی با سه پره را مورد آزمایش قرار دادند و آزمایشی را بمنظور تعیین وجود لرزش در هنگام کار ترتیب دادند. همچنین بازده توربین را در سرعتهای دورانی مختلف اندازه‌گیری کردند.



شکل (۱-۱ـ٦) توربین طراحی شده توسط *Abbott*

توربین مذکور به قطر ۴/۶ متر بر بالای برجی به ارتفاع ۳/۷ متر سوار شده بود. طراحی و ساخت توربین در سال *1982* توسط ابوت و همکاران انجام گرفته بود. شکل (۱-۱ـ٦)

لرزش و «تشدید»[۱] در هنگام کار توربین در سرعتهای بین ۶۰ تا ۱۸۰ دور در دقیه مشاهده نشد، اما در هنگام شروع به حرکت و توقف در دور ۵۰*rpm* لرزش پدید آمد. ولی از آنجا که توربین در این سرعت کار نمی کند این مسأله اهمیتی ندارد.

برای اندازه‌گیری توان، از یک دینامومتر هیدرولیکی استفاده شد. با تنظیم میزان مانع دینامومتر، نسبت سرعت نوک، ثابت و در حد ۵ که مطابق با سرعت ۱۸۰*rpm* می‌باشد نگه داشته شد.

گشتاور توسط یک «مبدل گشتاور» اندازه‌گیری شد. جمع‌آوری داده‌ها توسط یک ولتمتر دیجیتالی، *scanner* و مینی کامپیوتر انجام گرفت. ولتاژ خروجی به تعداد ۲۰ عدد در ثانیه خوانده شد. برای تعیین توان در سرعتهای دورانی مختلف، (در سرعتهای باد متغیر)، سرعت توربین را بتدریج افزایش دادند تا حدی که برای توربین قابل تحمل باشد.

[۱]- Resonance

نتایج آزمایشات نشان داد که در سرعتهای بیش از ۱۸۰pm و کمتر از ۵۰rpm بعلت لرزشهای زیاد، عملکرد توربین مناسب نیست. بیشترین بازده در سرعت ۱۲۰rpm بدست آمد و بازده توربین بین ۳۰ تا ۳۵ درصد تغییر می کرد.

کلارک *(Clark 1983)* در تکزاس یک توربین با محور عمودی طراحی کرد که مشخصات آن به شرح زیر بود:

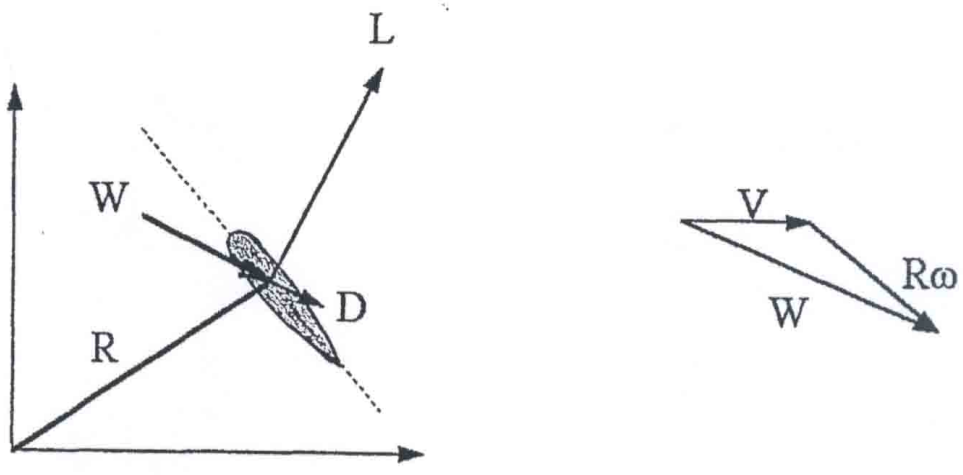
سرعت بادراه انداز، سرعت باد متعارفی، سرعت نهایی[۱] بترتیب ۵/۵، ۱۴ و ۲۰ متر بر ثانیه بودند. توربین از جنس آلومینیم اکسترود شده با طول وتر ۶۱۰ میلی‌متذ بود.

در شکل (۱-۱-۷)، نیروهای وارد بر تربین نشان داده شده است.

W: سرعت نسبی باد نسبت به پره L: نیروی برآ

V: سرعت باد D: نیروی پسا

R_ω: سرعت خطی پره



شکل (۱-۱-۷) نیروهای وارد بر توربین داریوس

علت حرکت در این نوع توربینها بزرگتر بودن مؤلفه هم راستای نیروی بالا برنده نسبت به نیروی بازدارنده می‌باشد.

۱- Shut down wind speed

ژنراتور مورد نظر از نوع القایی با توان ۱۱۲ کیلووات در دور ۱۸۲۵rpm می‌باشد. برق خروجی متناوب، سه فاز با ولتاژ ۴۶۰ ولت، فرکانس ۶۰ هرتز است.

بیشترین بازده این توربین در ۴۳٪ نسبت سرعت نوک برابر با ۶ و در ساعت ۸ متر بر ثانیه اتفاق افتاد که حدود دو برابر بازده توربینهای مشابه خود بود. علت این امر شکل آیرودینامیکی مناسب پره‌ها تشخیص داده شد.

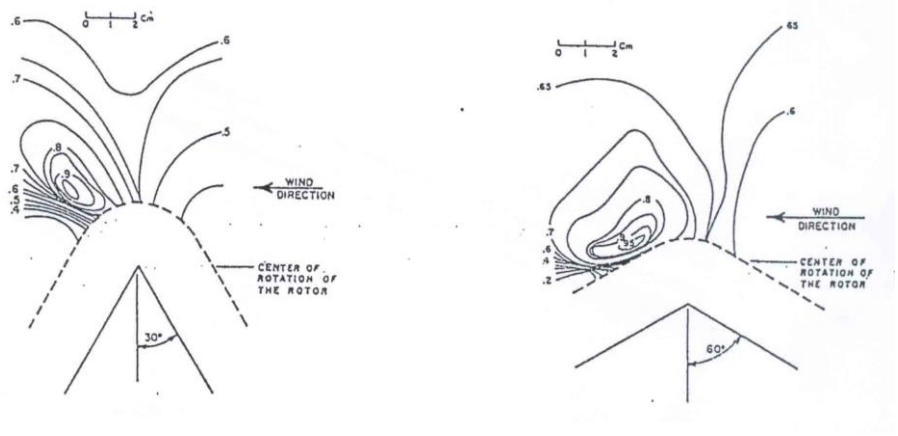
توربین ساونیوس عمودی به دو دلیل، چندان توسعه نیافته است:

۱ـ گشتاور واژگون کننده و لرزش زیاد به مشکل بزرگ بودن سیستم افزوده شده و موجب بروز مشکلاتی در ساخت توربینهای با ارتفاع زیاد می‌شود درحالیکه سرعت باد در ارتفاع بالا بیشتر است.

فرسایی و همکاران *(Farsaie et al.)* طرحی جدید ارائه دادند که در آن، توربین بشکل افقی قرار می گیرد. قرار دادن توربین ساونیوس بشکل افقی برخی از مشکلات آنرا برطرف می‌سازد. بدین شکل که بازوی گشتاور واژگون کننده تا حد امکان کاهش می‌یابد و نیز اضافه یک تکیه گاه موجب از بین رفتن لرزشها می‌شود. علاوه براین وی در این آزمایش پشت بامهای شیبدار ساختمانها را بعنوان محلی جهت نصب توربینها و اثرات شیب آن بر سرعت دورانی توربین را مورد ارزیابی قرار داد.

در شکل (۱-۱-۸) می‌بینیم که خطوط هم سرعت رسم شده در مورد توربین ساونیوس افقی، بسیار نزدیک بهم هستند. بنابراین مقدار کمی خطا در قرارگیری صحیح توربین موجب تغییرات زیادی در توان خواهد شد.

منطقه بیشترین سرعت دورانی، در سقف یا شیب ۳۰ درجه از سقف با شیب ۶۰ درجه قرار گرفته است. بنابراین برای استفاده بیشتر، باید در بامهای با شیب کم توربین را بالاتر نصب کرد.



شکل (۱-۱-۸) خطوط هم سرعت توربین ساونیوس افقی روی بامهای ۳۰ و ۶۰ درجه

توان خروجی بصورت تابعی از زاویه برخورد باد بصورت زیر بدست می‌آید:

$$F(\theta) = A + B\cos\theta + 1/2\,C(3\cos^2\theta - 1)$$

A و B و C ضرایب حاصل از آزمایش هستند و θ زاویه برخورد باد می‌باشد. توان حاصل از ماکت توربین ساونیوس عمودی، ۱/۷۶۴ میلی‌وات بود در حالیکه در مورد توربین ساونیوس افقی این مقدار تا حد ۴/۵ میلی‌وات اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایشات بشرح زیر بود:

۱ـ مناسب‌ترین موقعیت روتور، با شیب بام تغییر می‌کند. هر چه شیب بیشتر می‌شود موقعیت توربین دورتر از بام قرار می‌گیرد.

۲ـ کاهش معنی‌دار در توان خروجی، با انحراف کمی از موقعیت بهینه مشاهده می‌شود.

۳ـ توان خروجی بشدت به زاویه برخورد باد وابسته است.

۴ـ اگر سیستم بشکل صحیح جهت‌گیری شود می‌تواند توان را تا ۹۹ درصد نسبت به سیستم مرسوم عمودی افزایش دهد.

گریب و همکاران *(Grebe et al. 1988)* یک سیستم باد ـ دیزل را در آلمان طراحی کردند. این سیستم متشکل از دو توربین بادی نوع *Aeroman* بود با قدرت اسمی ۳۰ کیلووات و یک دیزل ژنراتور *MAN* با قدرت اسمی ۷۲kW و یک سری باتری با ظرفیت ۱۰۰kWh.

در ابتدا انرژی الکتریکی توسط دو دستگاه دیزل ژنراتور به قدرت ۱۰۰kWh و ۱۶۴kWh تأمین می‌شد. مصرف سالیانه انرژی در جزیره مورد آزمایش ۲۵۰۰۰۰kWh می‌باشد.

منحنی بار وارد بر شبکه، کمترین میزان مصرف را در صبح زود، حدود ۱۵kW نشان می‌دهد و بیشترین مصرف حدود ۸۰ تا ۱۲۰ کیلووات در اوایل شب.

هدف از این طرح، تأمین انرژی الکتریکی جزیره کیپ کلیر، بصورت کاملاً مطمئن و عمر زیاد با مخارج کم می‌باشد.

دیزل ژنراتور تشکیل شده است از یک موتور دیزلی MAN با قدرت اسمی ۸۰kW که به یک ژنراتور همزمان متصل شده است. سیستم مذکور به یک باتری مجهز شده است تا از استارت زدن‌های مکرر موتور جلوگیری شود. باتری شامل ۱۶۵ خانه با ظرفیت اسمی ۳۰۰ آمپر ساعت می‌باشد که انرژی برابر با ۱۰۰ کیلووات ساعت را در خود ذخیره می کند.

مزیت دیگر باتری این است که در زمانهایی مصرف به بیشترین مقدار خود می‌رسد باتری به کمک دیزل از عهده آن برمی‌آید و بدین شکل می‌توان از یک دیزل ژنراتور کوچکتر استفاده کرد.

WikiPower.ir

سیستم نظارت و کنترل، اعمال زیر را انجام می‌دهد:

۱ـ کنترل روشن و خاموش شدن دیزل

۲ـ کنترل شارژ شدن باتری

۳ـ نمایش موقعیت شارژ باتری

۴ـ کنترل فرکانس

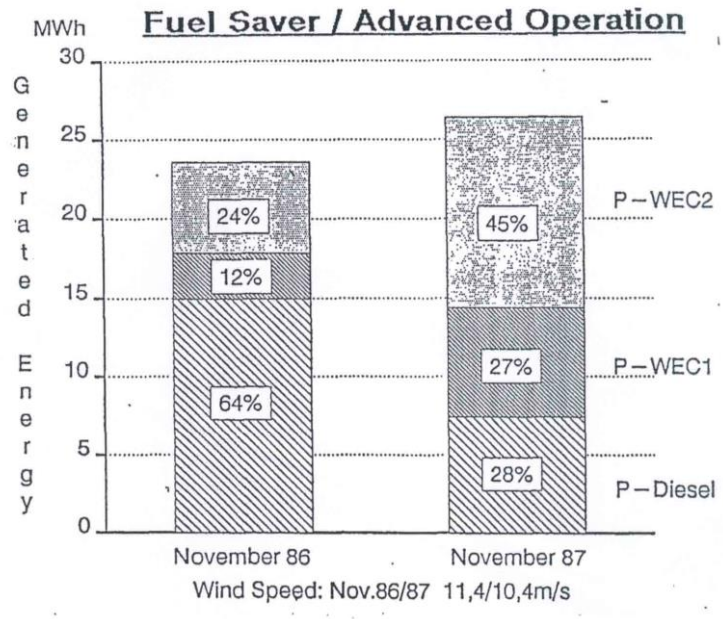
۵ـ کنترل جایگزین کردن

۶ـ نمایش و چک کردن خرابی در سیستم

در اوایل طرح (در نوامبر *1986*) تنها توربینها و دیزل تأمین کننده انرژی بودند و باتریها در این طرح وجود نداشتند. بررسی نشان داد که حدود ۱/۳ برق جزیره توسط توربینها تأمین شده است.

اما در مرحله بعد (در نوامبر *1987*) که باتریها اضافه شدند، مشاهده شد که توربینها سهم بیشتری از تولید انرژی را به عهده گرفتند و این مقدار برق تأمین شده توسط توربینها به ۷۰ درصد کل مصرف جزیره رسیده است. این عمل موجب صرفه‌جویی در ۶۰ تن سوخت سالیانه شد. علاوه بر آن عمر مفید دیزل ژنراتور نیز افزایش می‌یابد.

نکته قابل توجه در این طرح این است که با بکار بردن یک سیستم باد ـ دیزل، ۳۶ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود درحالیکه با تکمیل این سیستم و مجهز کردن آن به باتری، میزان صرفه‌جویی به ۷۲ درصد می‌رسد. (شکل ۱-۱-۹)



شکل (۱-۱-۹) انرژی بدست آمده از دو طرح نوامبر *86* و نوامبر *87*

هاپمن *(Hupman 1988)* یک سیستم مستقل بادی ـ دیزلی را طراحی کردند و در منطقه *Lemwerder* آلمان مورد ارزیابی قرار دادند. اهداف این طرح عبارت بودند از:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱ـ تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز یک سیستم فاضلاب

۲ـ آزمایش توان تولید شده توسط سیستم توأم باد ـ دیزل

۳ـ ارزیابی اقتصادی طرح

مقدار فاضلاب جابجا شده نزدیک به ۴۰۰۰۰ مترمکعب در سال می‌باشد. توربین با قدرت ۲۲ کیلووات به موازات دیزل ـ ژنراتور با قدرت ۲۰ کیلووات کار می کند.

توربین توسط یک کلاچ یک‌طرفه به دیزل متصل شده است و به ژنراتور اجازه می‌دهد که با سرعتی بیش از دیزل بچرخد اما عکس آن انجام نمی‌شود. چنین سیستمی موجب می‌شود تا بتوانیم موتور دیزلی را هنگامی که توان کافی از توربین به دست می‌آید متوقف کنیم. اگر دیزل متوقف شود فرکانس کل سیستم توسط یک کلید سریع کنترل می‌شود.

سایر مشخصات به قرار زیر است:

قطر توربین	۱۲/۵ متر
سرعت متعارفی	۱۰۰rpm
تعداد پره	۱ عدد
جنس پره‌ها	فایبرگلاس و پلاستیک
سرعت باد راه‌انداز	۴/۵m/s
سرعت باد نهایی	۲۰m/s

مسائلی که در ارزیابی عملکرد مجموعه، مشخص شد این بود که سیستم کنترل داخلی دیزل خراب شد و هنگامی که باد و توان تولیدی کافی بود، دیزل متوقف نمی‌شد. نتیجه کلی کارکرد دستگاه درطی یک سال به شرح زیر است:

ساعات کار توربین: ۱۰۵۰ ساعت	٪۳۵
ساعات کار دیزل: ۱۸۲۱ ساعت	٪۶۵
توان تولید شده توسط توربین:	٪۱۷

توان تولید شده توسط دیزل: ٪۸۳

درصد کم توان تولید شده توسط توربین بخاطر عوامل زیر است:

۱ـ خراب شدن سیستم کنترل دیزل، که آنرا هنگام باد کافی متوقف نمی‌کرد.

۲ـ باد کم در منطقه آزمایش

۳ـ مشکل تعیین بهترین تنظیم بمنظور راه‌اندازی دیزل به هنگام کار کرد کم توربین و توقف دیزل در هنگام کارکرد مناسب توربین که این مشکل موجب شد دیزل زمان کمتری نسبت به توربین کار کند.

طرح مذکور سپس توسعه پیدا کرد و پس از رفع نقایص در موارد زیر بکار گرفته شد:

۱ـ ایستگاه پمپاژ آب

۲ـ تأسیسات آب شیرین‌کنی از دریا

کلارک *(Clark 1991)* طراحی و ساخت یک توربین عمودی به قطر ۳۴ متر را انجام داد. پره‌ها از پنج قسمت تشکیل شده بودند که هرکدام از پره‌ها به دو شکل مختلف با دو اندازه مختلف ساخته شده بودند. سرعت محور توسط یک سیستم انتقال قدرت افزایش یافته و به یک ژنراتور با سرعت متغییر منتقل می‌شد. توربین در سرعت باد ۱۲/۵ متر بر ثانیه و با سرعت دورانی ۳۷/۵*rpm* کار می‌کند.

نتایج نشان دادند که بازده توربین از مقدار پیش‌بینی شده کمتر است. با رسم نمودارهای سرعت و توان در واحد سطح مشخص شد که توربین مورد نظر نسبت به نوع قبلی که وی در سال *1983* طراحی کرده بود، ۴۱ درصد توان بیشتری تولید می‌کند.

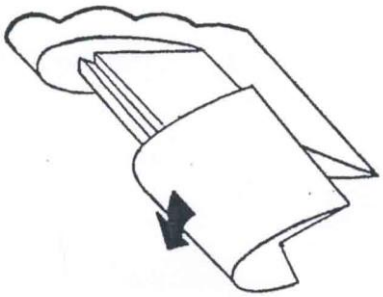
در یک *(Derrick 1992)* مقایسه‌ای بین توربین با لبه پیشانی معمولی و دو نمونه با لبه پیشانی جدید انجام داد. لبه‌های جدید به منظور تنظیم توان بکار می‌روند و «پیشانی

بازشونده»[۱](FIEDGE) و «پیشانی لغزشی»[۲](SLEDGE) نامیده شده‌اند و هر دو موضوع تنظیم دقیق توان سازمان انرژی بوده‌اند و مخترع آن Jamieson بوده است.

در نوع FLEDGEشکل (شکل۱-۱-۱۰) لبه هادی بصورت کشویی می‌تواند به سمت خارج حرکت کند که این عمل در اثر نیروی اینرسی می‌باشد.

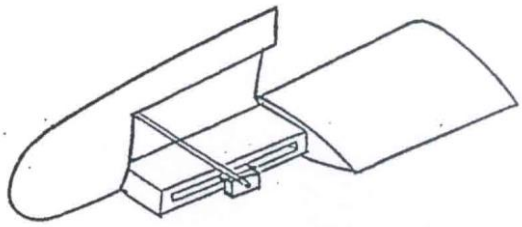
وقتی که نوک پره به خارج بلغزد، یک شیار مارپیچی موجب می‌شود تا لبه پیشانی به سمت پایین متمایل شود. با این عمل قسمتی از پره که روباز شده است، نیروی بازدارنده زیادی تولید می‌کند و در همین حال قسمت رویی که بیرون آمده است، نیرویی به سمت پایین به پره وارد می‌کند، در نتیجه این دو نیرو مثل ترمز عمل می‌کند و از افزایش سرعت پره جلوگیری می‌کند. البته هنگام خروج قسمت رویی نیروی کریولیس هم به پره وارد می‌شود که فقط در هنگام حرکت لغزشی این نیرو دوام خواهد داشت.

در نوع FLEDGE (شکل۱-۱-۱۱) یک ورقه به قسمت جلو پیشانی لولا شده است و تا ۹۰ درجه می‌تواند بچرخد. باز شدن اولیه در اثر مکش آیرودینامیکی روی سطح بالایی پره انجام می‌شود. پس از آن وزنه لغزشی درون پره در اثر نیروی اینرسی به سمت نوک پره حرکت می‌کند و توسط اهرمی ورقه را باز می‌کند و موجب پدید آمدن نیروی بازدارنده می‌شود.



SLEDGE

شکل (۱-۱-۱۰)



FLEDGE

شکل (۱-۱-۱۱)

[۱]- Flying leading adge

[۲]- Sliding leading edge

نتیجه مقایسه این دو سیستم بشرح زیر است:

در هر دو نوع، در راستای حرکت پره‌ها، گشتاور خمشی منفی بزرگی ایجاد می‌شود و در راستای محوری، در نوع *SLEDGE* مقدار گشتاور خمشی کاهش یافته و جهت آن نیز معکوس می‌شود اما در نوع *FLEDGE* مقدار گشتاور خمشی کاهش یافته اما جهت آن تغییر نمی‌کند. گشتاور سرازیر کننده[۱] در نوع *SLEDGE* دو برابر شده و در جهت آن به سمت پایین می‌باشد و در نوع *FLEDGE* مقدار آن دو برابر شده ولی جهت آن به سمت بالا می‌باشد.

میشرا و شارما *(Mishra and Sharma 1992)* در دانشکده مهندسی کشاورزی هند آزمایشاتی در مورد توربینهای بادی جهت پمپاژ آب انجام دادند. اهداف این آزمایشات عبارت بود از:

۱ـ تخمین میزان انرژی قابل استحصال از مناطق مختلف ساحلی

۲ـ تخمین میزان آب پمپاژ شده از این مناطق در طول سال

۳ـ محاسبه هزینه پمپاژ آب به این روش

برای این هدف شش منطقه ساحلی در اریسای هند مورد آزمایش قرار گرفتند. برای این مناطق از یک توربین بادی مدل *Apoly-12PU500* استفاده شد. با جمع‌آوری ارقام مربوط به باد این مناطق مشخص شد که این توربین در چهار ناحیه از شش ناحیه مورد نظر می‌تواند کار کند و آبکشی توسط توربین فوق‌العاده مقرون به صرفه و اقتصادی می‌باشد.

برخی از کارهایی که در کشور در زمینه طراحی و ساخت توربینهای بادی انجام گرفته است عبارتند از:

۱ـ ساخت توربین ۱۲ پره فلزی آبکش با قدرت ۱۸۰ وات در باد ۵ متر بر ثانیه.

۲ـ ساخت تربین ۱۶ پره فلزی آبکش با قدرت ۳۵۰ وات و نیز توربین ۶ پره برزنتی با قدرت ۱۳۰ وات.

---

[۱]- Pitching moment

۳ـ توربین ساونیوس با قدرت ۸۰ وات در باد ۵ متر بر ثانیه.

۴ـ توربین داریوس با قدرت ۲۳۰ وات در باد ۵ متر بر ثانیه و ساخت گیربوکس توربینهای بادی با قدرت ۱۵۰ وات.

شمس‌آبادی (۱۳۷۳) یک توربین بادی با محور عمودی، سه پره با مقطع ایرفویل متقارن را با استفاده از *NACA 0012* طراحی کرد که پره‌ها توسط شش بازو (سه بازو در بالا و سه بازو در پایین پره‌ها) دو به دو تحت زاویه ۱۲۰ درجه حول محور اصلی قرار داشتند.

حداقل سرعت باد برای به حرکت در آوردن توربین حدود ۵ـ۶ متر بر ثانیه بود. آب استحصال شده به منظور تأمین شرب دامها در مراتع سیستان (زابل) در نظر گرفته شده بود. طراحی و محاسبه ابعاد براساس حداکثر سرعت باد در منطقه (۲۵ متر در ثانیه) و محاسبه قدرت مناسب تولید شده براساس باد انرژی‌زا (۱۰ متر بر ثانیه) انجام گرفته است. نوع پمپ، تناوبی پیستونی به قطر ۶۵ میلی‌متر و دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و جابجایی حداکثر ۲۰ سانتیمتر انتخاب شده است.

توان مورد نیاز پمپ با احتساب بازده $\eta=\%۶۰$ معادل $P=۲۰۰w$ و توان توربین با احتساب بازده $\eta=\%۲۰$ حدود $P=۱۰۴۰w$ به دست آمده است. گشتاور مورد نیاز برابر است با $T=۵۲N-m$.

محاسبات برای توربین به ابعاد: طول پره[۱]= ۲/۵ متر، وتر[۲] و شعاع[۳] ۱/۵ متر برای بالا آوردن آب به ارتفاع دینامیکی کل ۲۵ متر انجام یافته است سپس طراحی و محاسبه بازوهای نگهدارنده پره‌ها، محور اصلی توربین، یاتاقانها و سیستم پمپاژ در این رساله، انجام شده است.

اسلام و همکاران *(Islam et al. 1995)* یک توربین بادی محور عمودی مطابق شکل (۱-۱-۱۲) طراحی کردند که برای پمپاژ آب در مناطقی از بنگلادش مورد استفاده قرار گیرد. در شکل، این توربین با ۶ بازو در بالا و پایین و دو بادبان نشان داده شده است.

۱- Span

۲- Chord

۳- Radious

بازوها به دو ورقه دایره‌ای شکل به قطر ۳۰۰ میلیمتر در بالا و پایین محور عمودی جوش داده شده‌اند. طول هر بازو ۱/۵۲ متر و برابر با محور عمودی است. بازوها از لوله فولادی به ضخامت ۱/۵۹ میلیمتر و قطر خارجی ۲۵/۴ میلیمتر ساخته شده‌اند.

جنس بادبانها از گونی کنفی و ابعاد بادبانها ۰/۷۶ × ۱/۲۲ متر می‌باشد. انتهای محور اصلی به یک میل‌لنگ به قطر ۹/۳۳ میلیمتر و طول ۷۶/۲ میلیمتر از جنس فولاد نرم وصل شده است. میل‌لنگ به محور اصلی بصورت خارج از مرکز متصل شده است و طول هر کورس ۳۸/۱ میلیمتر می‌باشد.

میله فشار دهنده به یک ورقه فولاد نرم دایره‌ای متصل شده و توسط پیچ لبه دیافراگم متصل شده است. دیافراگم بجای لاستیک از چرم ساخته شده است که عمر بیشتری دارد. قطر دیافراگم ۱۹۰ میلیمتر می‌باشد.

توربین در محلی نصب شد که هیچگاه سرعت آن از ۲/۶۸ متر بر ثانیه بیشتر نمی‌شود. باد راه‌انداز این توربین ۱/۵ متر بر ثانیه تشخیص داده شد.

بازده کل سیستم از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\eta = \frac{gHQP_w}{1/2\,\rho AV^3}$$

که در آن: Q= سرعت تخلیه آب، m^3/s

P_w = جرم حجمی آب، kg/m^3

H= ارتفاع کل، m

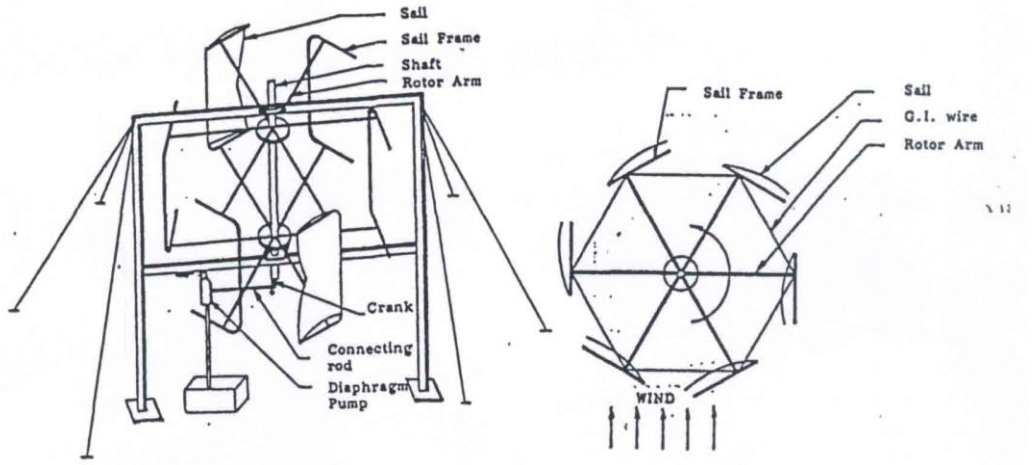
ρ = جرم حجمی هوا، kg/m^3

V= سرعت باد، m/s

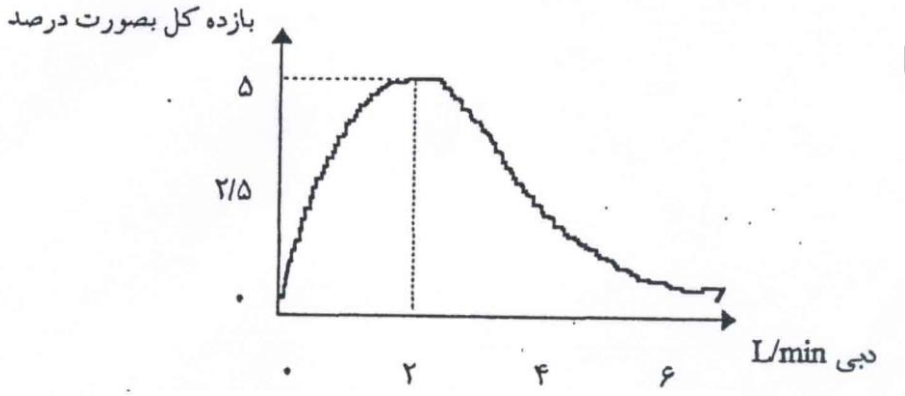
A= سطح مؤثر توربین، m^2

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بازده کل، حاصلضرب بازده توربین و بازده پمپ می‌باشد. مشاهده شد که بازده کل با افزایش دبی از صفر شروع شده، به حداکثر رسیده و مجدداً کاهش می‌یابد. بیشترین بازده حدود ۵ درصد و در دبی ۲ لیتر بر دقیقه مشاهده شد. شکل (۱-۱-۱۳)



شکل (۱-۱-۱۲) توربین بادی محور عمودی ارائه شده توسط *Islam*



شکل (۱-۱-۱۳) نمودار بازده توربین برحسب دبی

بکلی و کلاوسن *(Bechly and Clausen 1996)* طراحی سازه، تولید و آزمایش پره‌های یک توربین ۵ کیلووات را مورد بررسی قرار دادند. این توربین در نزدیک اردوی دانشگاه نیوکاسل استرالیا نصب شده است.

توربین در طی سه ماه در یک منطقه با وزش باد کم حدود ۲/۵ کیلووات ساعت انرژی در هر روز تولید کرد. پره‌های ۲/۵ متری، سطح مقطعی با وتر و پیچش غیر یکنواخت داشته و ابتدا بصورت دست‌ساز ساخته شدند. وزن هر پره حدود ۵ کیلو گرم می‌باشد.

آزمایشات مزرعه‌ای در استرالیا، شکستهای سازه‌ای نابهنگام را نشان دادند. برای بهبود کیفیت پره‌ها، روش جدیدی با استفاده از «ریخته‌گری انتقالی رزین»[۱] *(RTM)* برایر تولید پره‌ها انجام شد. مقدار و مکان فایبرگلاس درون پره‌ها با نرم‌افزار عناصر محدود *Strand* طراحی شد. پره‌های جدید هم از لحاظ پیچش و هم خمش از پره‌های قبلی محکمترند.

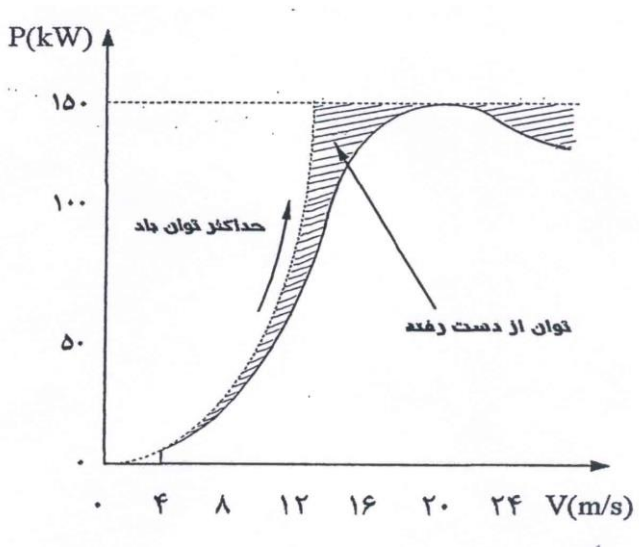
اولیور و همکاران *(Oliver et al. 1996)* روش جدیدی بمنظور بهبود عملکرد و کنترل توربینهای بادی نوع *Stall regulated* ارائه دادند و آنرا در مورد توربینهای ۱۵۰*kW* در مقیاس اصلی آزمایش کردند.

در توربینهای *Stall regulated*، منحنی توان بدست آمده از باد، در نزدیکی توان متعارفی، خمیدگی دارد که نشان دهنده مقداری توان از دست رفته می‌باشد.

توربینهای با گام متغیر چنین مشکلی ندارند. البته مکانیزمهای تغییر گام معمولاً نمی‌توانند به سرعت تغییر باد عکس‌العمل نشان دهند. اما توربینهای *Stall regulated* ارزانتر و ساده‌ترند.

در نمودار (۱-۱-۱۴) فوق مقدار توانی که از دسترس این توربینها خارج می‌شود نشان داده شده است. در این طرح از شیارهای موربی روی پره‌ها بعنوان جت‌های هوا استفاده شده است.

[۱]- Resin transfer moulding



شکل (۱-۱-۱۴) نمودار توان برحسب سرعت باد در توربینهای *stall regulated*

هوای تحت فشار از درون این جت‌ها روی سطح پره بیرون می‌زند و لایه مرزی ایرفویل را فعال می‌کند و جریان پیچشی که روی پره پدید می‌آید موجب می‌شود تا از سرعت جریان مستقیم روی پره کاسته شود که علت آن مومنتم زیاد جریان پیچشی است. کلاً این عمل موجب افزایش لصطکاک سطحی و کاهش رشد لایه مرزی و در پی آن کاهش شدید فشار مخالف و کاستن از «پدیده جدا شدن»[۱] و «برگشت جریان»[۲] می‌شود.

هوای دمیده شده در سه فشار آزمایش شد:

۱ـ ۱psi و ۰/۵psi

۲ـ معادل فشار دینامیکی درون تونل باد

۳ـ فشار اتمسفر

نتایج آزمایش به شرح زیر بود:

ـ با استفاده از روش جت هوا ماکزیمم ضریب بالا روی ($C_{1\ MAX}$)، ۵۶ درصد افزایش یافت.

[۱]- Seperation

[۲]- Reversal

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ـ نتیجه جالب توجه دیگر اینکه، با باز گذاشتن لوله‌های هوا و قطع آنها از هوای تحت فشار، مکشی که در سطح پره پدید می‌آید موجب جریان یافتن هوا شده و همان پیچشها را پدید می‌آورد. بنابراین با یک سیستم ساده براحتی می‌توان کنترل را انجام داده و بازده را بالا برد.

ـ این روش موجب شده تا نیروی بازدارنده کاهش یابد و در کل، استفاده از این سیستم موجب افزایش توان گشته است.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱ـ۲) تاریخچه استفاده از انرژی باد در ایران

تاریخ استفاده از انرژی باد در ایران به زمانهای قبل از میلاد مسیح برمی‌گردد. در استانهای شرقی ایران مثل سیستان و بلوچستان و همچنین خراسان، از انرژی باد برای آسیاب کردن غلات که با نام «آسیاب بادی پارسی» شناخته می‌شود. شکل (۱-۲-۱) و بالا کشیدن آب از چاه استفاده می‌شده است.

مشاهدات و تحقیقات نشان می‌دهد که برخلاف سایر کشورها، در اغلب نواحی خشک و بی‌آب در ایران، در تابستان و گاهی در ماههای پاییز که احتیاج به آب بیشتر است، شدت وزش باد بیشتر می‌باشد و این خود یک عامل بسیار مؤثر و مهم در بکارگیری صحیح از انرژی باد می‌باشد.

در گذشتهٔ نزدیک موارد متعددی از بکارگیری انرژی باد دیده شده است، که در زیر نمونه‌های از آن بیان می گردد:

قبل از جنگ جهانی دوم، یک دستگاه توربین بادی در سواحل رود کارون در اهواز توسط مهندسان آلمانی برای بالا کشیدن آب رودخانه نصب شده است، که برای مدتی مشغول به کار بوده است.

تا قبل از سال ۱۹۴۰ در منطقه بادخیز منجیل، از انرژی باد به منظور پمپاژ آب و روشنایی استفاده می‌کرده‌اند. تأمین آب مورد نیاز دام در مراتع کشور، از عواملی است که نقش مهمی در پراکندگی صحیح دام داشته و می‌تواند از راهپیمایی احشام برای دستیابی به آب که سبب کاهش وزن دام می‌شود جلوگیری کند. استفاده از تلمبه‌های بادی برای تهیه و ذخیره کردن آب یکی از روشهای اقتصادی و ساده می‌باشد. به همین منظور سازمان جنگلها و مراتع کشور، در سال ۱۳۴۸ اقدام به خرید یک تلمبه بادی از کارخانه سوترن‌کراس استرالیا کرد، که در سال ۱۳۴۹ در منطقه زرند ساوه نصب گردید.

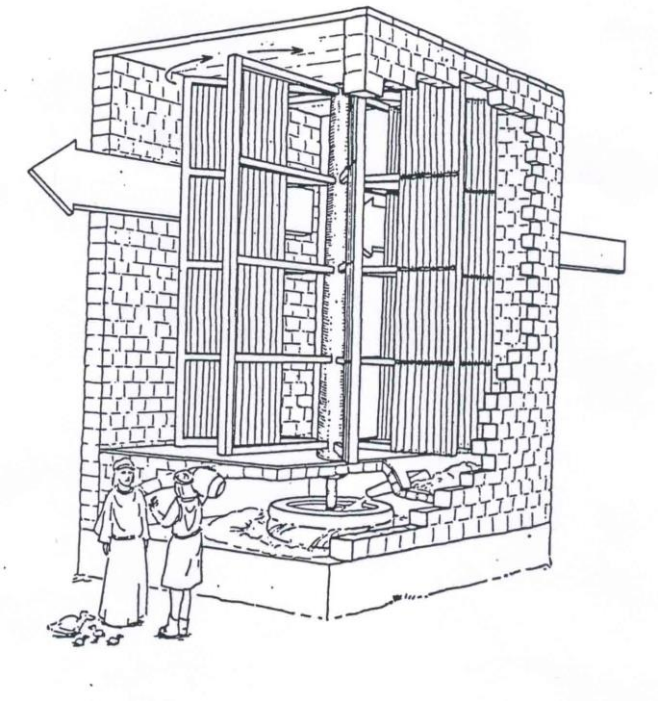
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

این سازمان در سال ۱۳۵۰ به نصب سه دستگاه دیگر از این تلمبه‌ها در منطقه فارس نمود. برای نصب و بهره‌برداری از این تلمبه‌های بادی، تعدادی از کارشناسان و کمک کارشناسان سرجنگلداریها آموزش عملی را فرا گرفتند و از آن تاریخ تا کنون بیش از ۲۰۰ دستگاه از این تلمبه‌ها در نقاط مختلف کشور، توسط کادر دفتر فنی مرتع نصب گردیده است، (۵۰ دستگاه قبل از انقلاب و ۱۵۰ دستگاه بعد از انقلاب).

چهل دستگاه آسیاب بادی در منطقهٔ خواف در استان خراسان در سالهای گذشته نصب گردیده است، که درحال حاضر تعدادی از آنها کار می کنند.

در اطراف شهر کرمان چهار مبدّل بادی مدل *AERO MOTOR* از نوع چند پره‌ای وجود دارند، که برای کشیدن آب از چاه مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند.

با مطالعه تاریخچه استفاده از انرژی باد در ایران دیده می‌شود که در گذشته، در ایران تنها از انرژی باد در زمینه‌های کشاورزی، (آسیاب کردن غلات ـ آبیاری مزارع ـ کشیدن آب از چاه) و دامداری، (تأمین آب برای حیوانات) استفاده می‌شده است و مواردی از کاربرد انرژی باد در جهت تولید توان الکتریکی مشاهده نمی‌شود.



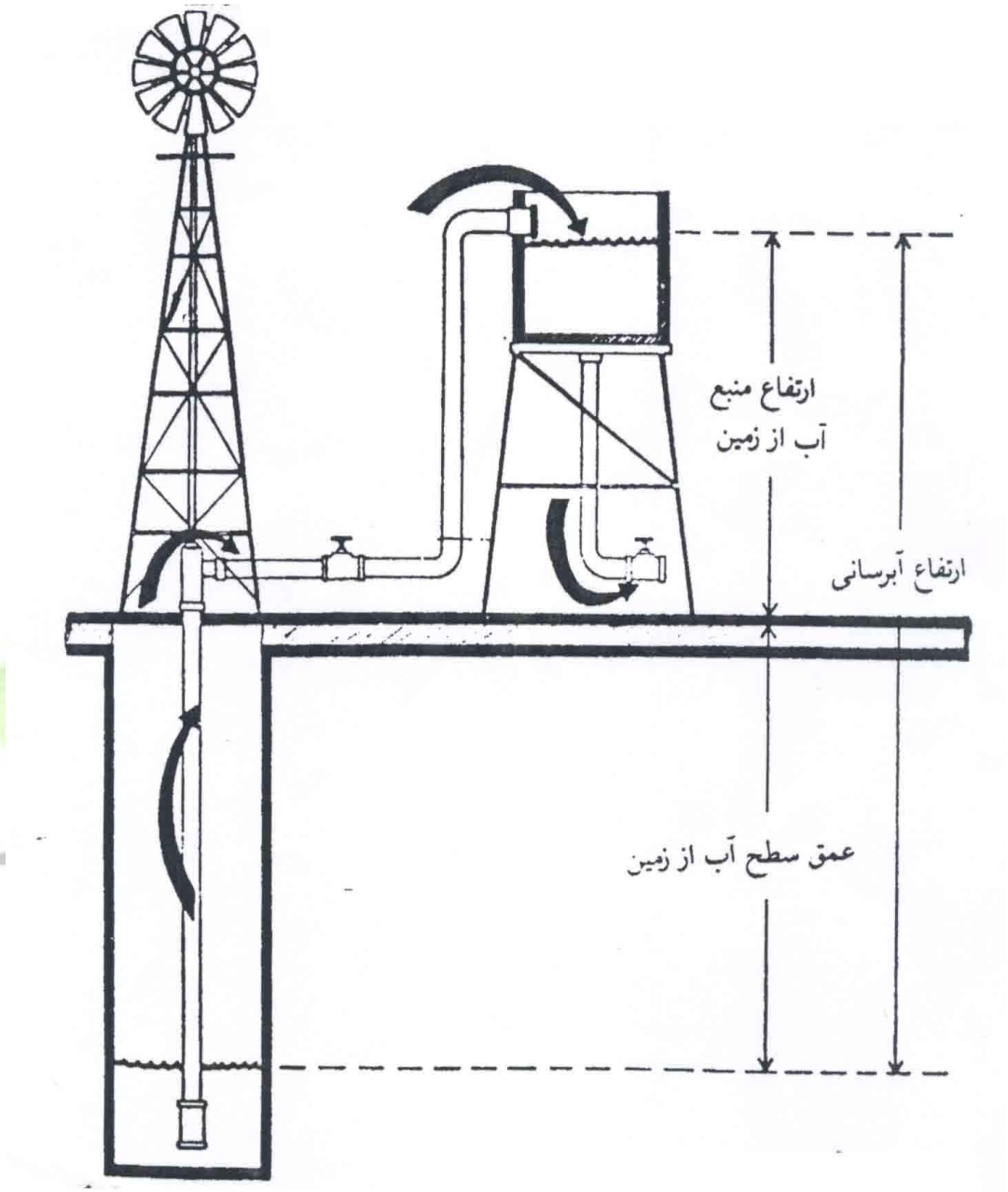
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل (۱-۲-۱) آسیاب بادی پارسی *(Park, 1981)*

توربینهای بادی محور افقی چند پره امریکایی و استرالیایی که هم‌اکنون در ایران برای پمپاژ آب در برخی از مراتع استفاده می‌شود، حدود قرن ۱۲ م. در اروپا ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است؛ البته این توربینها، جزو طرحهای تکمیلی تولیدات اولیه آن کشورهاست .

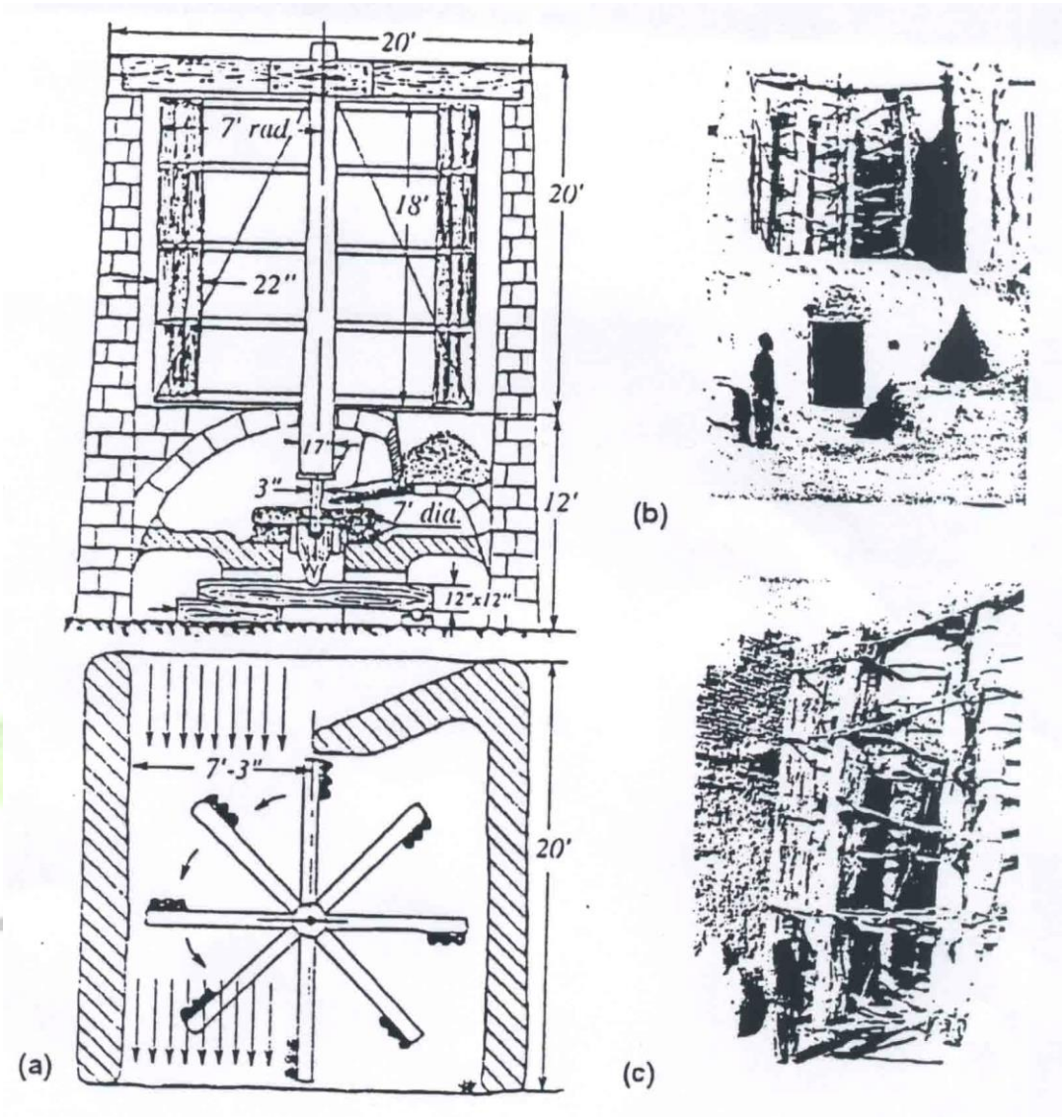
WikiPower.ir

www.wikipower.ir
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۲-۲) نمودار توربین بادی محور افقی برای آبکشی از چاه

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱-۲-۳) چند توربین بادی ایرانی موجود

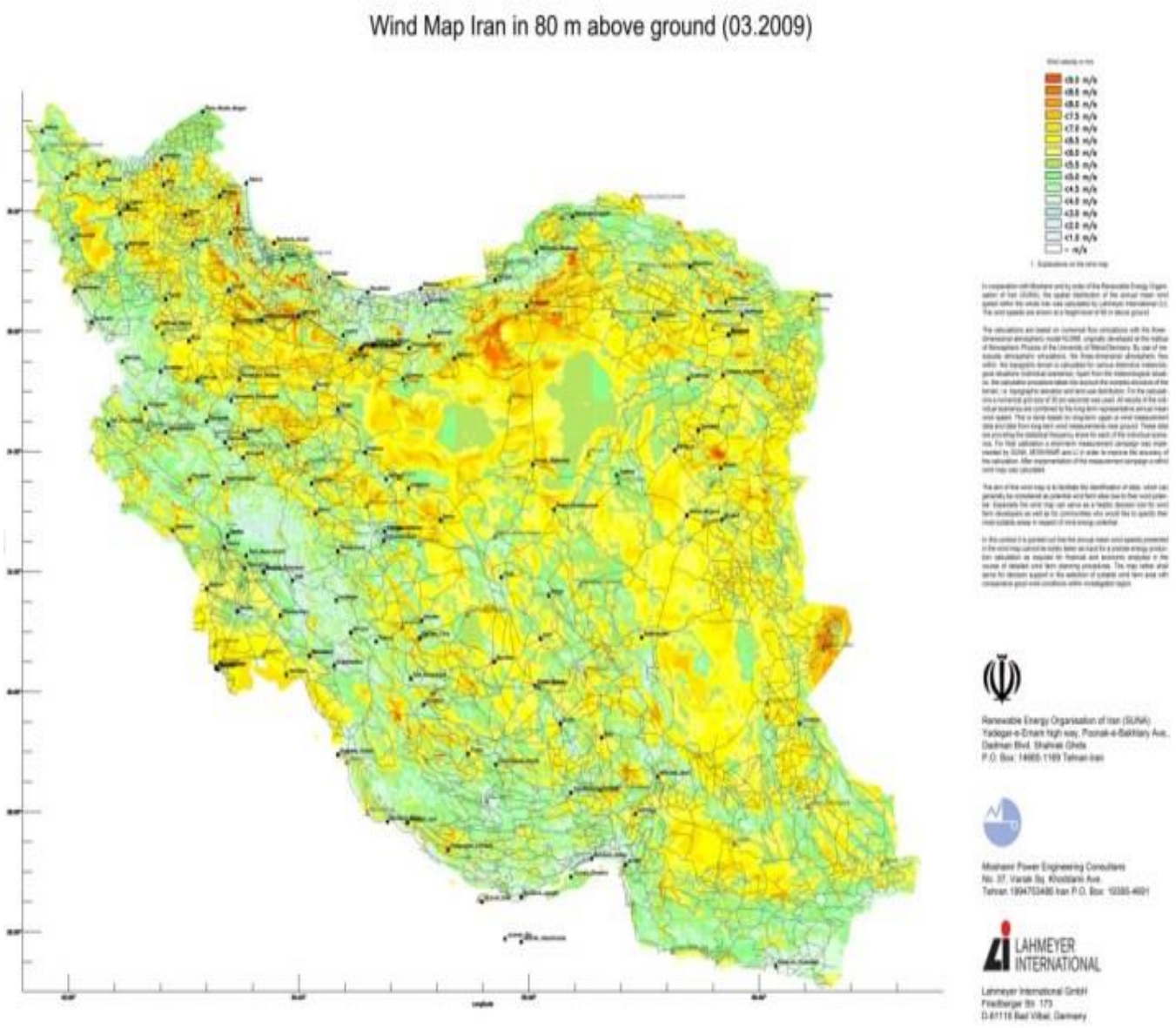
۱-۳) پتانسیل انرژی بادی در ایران

جمهوری اسلامی ایران در بخش غربی فلات و در جنوب غرب آسیا واقع شده است. ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی شرقی ۴۴ تا ۶۳/۹۹ درجه و عرض شمالی ۲۵ تا ۳۹/۹۹ درجه قرار گرفته و بیش از نیمی از مساحت آن را نواحی کوهستانی پوشانده است.

این کشور با تنوع آب و هوایی زیادی روبروست. نواحی شمالی ایران دارای آب و هوای معتدل و بارندگی قابل ملاحظه به ویژه در نواحی غربی استان گیلان است .آب و هوای نواحی غربی ایران در فصول سرد، سرد و مرطوب و در فصول گرم، خشک و معتدل است. در نواحی جنوبی، دمای هوا و رطوبت بیشتر است، تابستانهای بسیار گرم و زمستانهای معتدل از مشخصات آب و هوایی این ناحیه است و تغییرات روزانهٔ دما کمتر محسوس می باشد. نواحی شرقی و جنوب شرقی دارای آب و هوای بیابانی با تغییرات قابل ملاحظهٔ دما در طول روز است. برای اینکه بتوان از منابع باد موجود جهت تولید برق استفاده نمود، وجود اطلاعات باد قابل اعتماد در خصوص پتانسیل باد منطقهٔ مورد نظر جهت احداث نیروگاه بادی ضروری است .در ایران با توجه به وجود مناطق بادخیز، بستر مناسبی جهت گسترش بهره برداری از توربین های بادی فراهم می باشد. یکی از مهمترین پروژه های انجام شده در زمینه انرژی بادی تهیه اطلس بادی کشور بوده است که پروژه مذکور در سازمان انرژیهای نو ایران صورت گرفته و به عنوان یکی از پروژه های ملی در صنعت انرژی باد محسوب می گردد .طبق اطلس بادی تهیه شده و بر اساس اطلاعات دریافتی از ۶۰ ایستگاه و در مناطق مختلف کشور، میزان ظرفیت اسمی سایتها در حدود ۶۰۰۰۰ مگاوات می باشد. بر پایه پیش بینی های صورت گرفته، میزان انرژی قابل استحصال بادی کشور از لحاظ اقتصادی بالغ بر ۱۸۰۰۰ مگاوات تخمین زده می شود که موید پتانسیل قابل توجه کشور در زمینه احداث نیروگاههای بادی و همچنین اقتصادی بودن سرمایه گذاری در صنعت انرژی بادی می باشد.

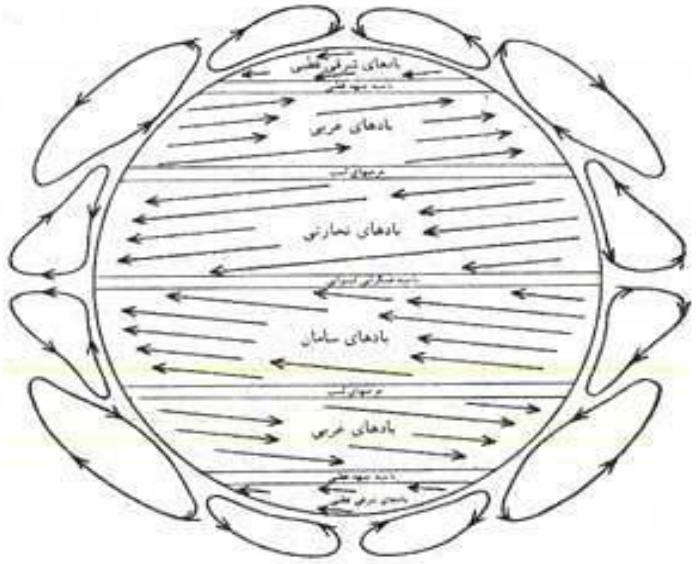
برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در انجام پروژه پتانسیل سنجی بادی در ایران شرکت لامایر آلمان نیز به عنوان مشاور همکاری داشته است و و بر اساس مطالعات شرکت مذکور پتانسیل بادی قابل استحصال در کشور در حدود ۱۰۰ هزار مگاوات برآورد گردیده است.



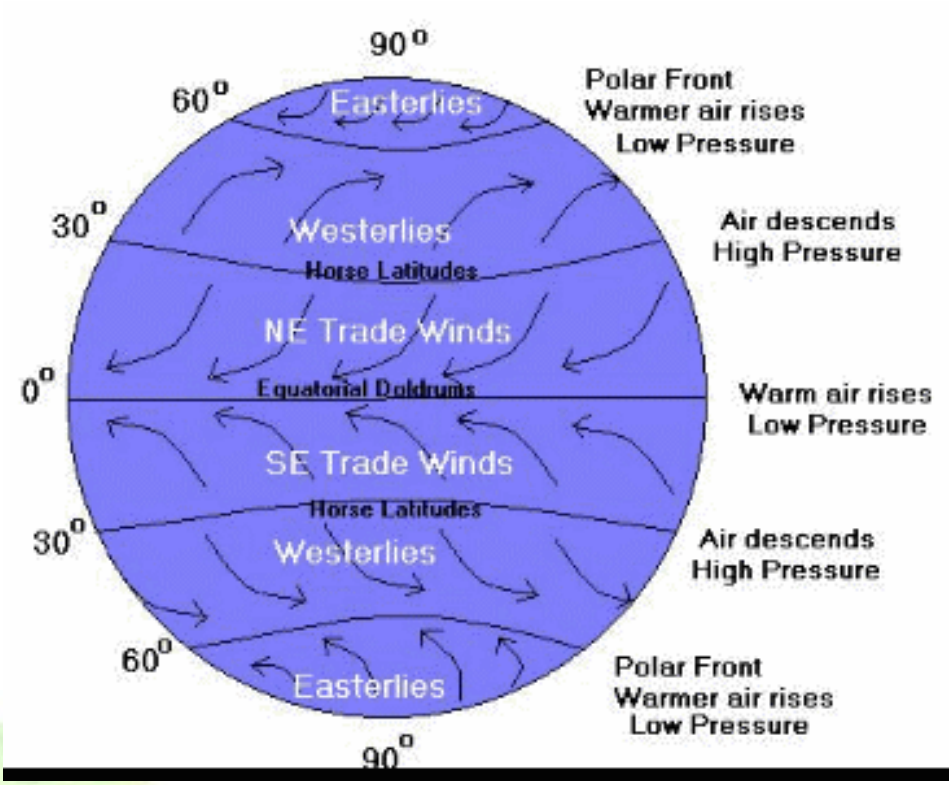
شکل (۱-۳-۱)

۲) مکانیزم پیدایش باد و انواع آن

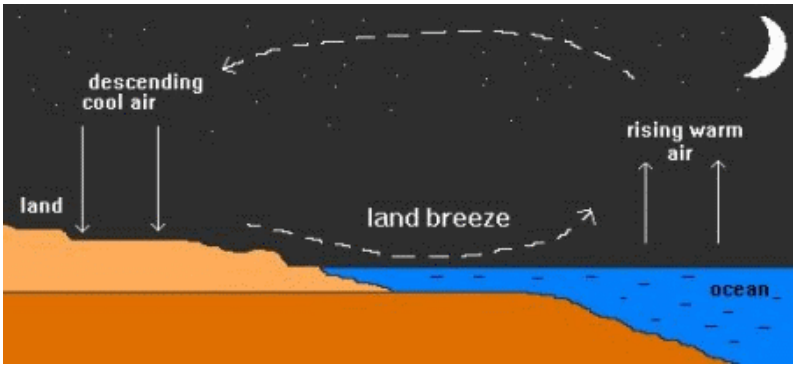


تشعشعات دریافتی خورشید توسط زمین، موجب گرم شدن هوای اتمسفر شده و به همین دلیل هوا به سمت بالا حرکت می کند. شدت این گرمایش در استوا؛ جایی که خورشید عمود می تابد؛ بیشتر از هوای اطراف قطبین؛ جایی که زاویه تابش خورشید تند می باشد؛ خواهد بود و هوای اطراف قطبین نسبت به هوای استوا کمتر گرم می گردد. دانسیته هوا با افزایش دما کاهش پیدا کرده و بنابراین هوای سبکتر استوا به سمت بالا حرکت کرده و در اطراف پخش می گردد. این عمل موجب افت فشار در این ناحیه گردیده و موجب می گردد هوای سرد از قطبین به سمت استوا جذب گردند.

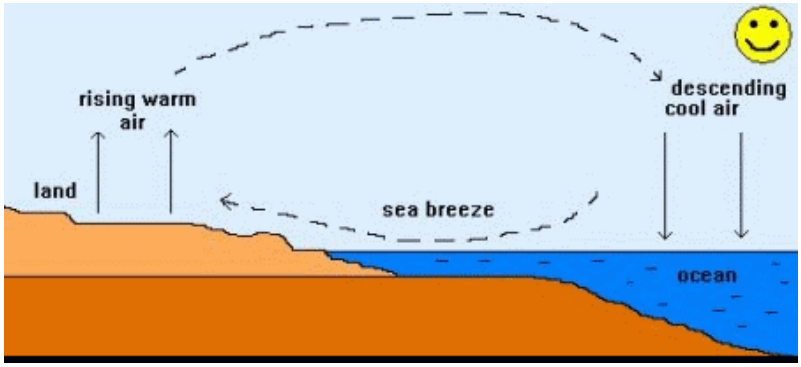
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



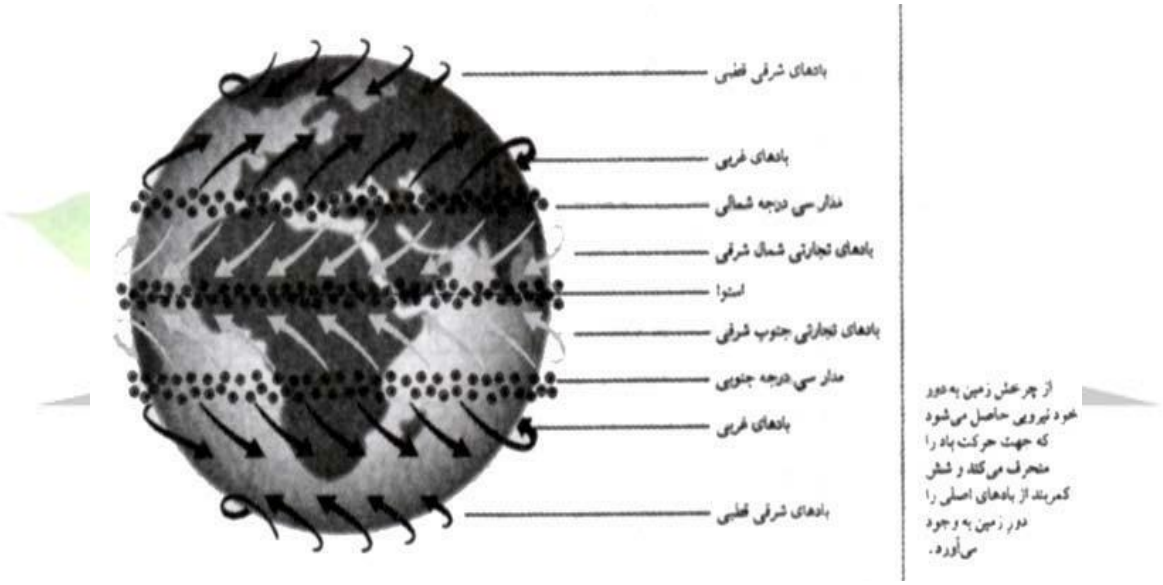
همچنین وقتی خورشید در طول روز می‌تابد، هوای روی سرزمین‌های خشک سریعتر از هوای روی دریا ها و آب ها گرم می‌شود. هوای گرم روی خشکی بالا رفته و هوای خنک تر و سنگین تر روی آب جای آنرا می‌گیرد که این فرآیند بادهای محلی را می‌سازد این به آن معناست که روز از سمت دریا به سمت ساحل باد می وزد. در شب، از آنجا که هوا روی خشکی سریعتر از هوای روی آب خنک می‌شود، جهت باد برعکس می‌شود.بنابراین باد به علت گرادیان فشار به وجود آمده از تابش غیر یکنواخت خورشید به سطح زمین به وجود می آید.



برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



۲-۱) انواع باد :



باد جریان هوایی است که از مراکز پرفشار به طرف مراکز کم فشار به حرکت در می‌آید. هر چه شیب فشار (تفاوت فشار) بین دو نقطه بیشتر باشد شدت جریان هوا نیز بیشتر خواهد بود. تفاوت فشار دو نقطه را گرادیان فشار می‌گویند.

بادهای آلیزه (تجارتی) :

این بادها در نیمکره‌های شمالی و جنوبی به ترتیب از شمال‌شرقی به جنوب‌غربی و از جنوب‌شرقی به شمال‌غربی در حال وزشند بادهای تجارتی در زبان‌های اسپانیولی- ایتالیایی و

فرانسوی به ترتیب *Alisios* و *Alisei* و *Alizes* در زبانهای آلمانی تحت عنوان *Passat* می‌نامند. تمام این اسامی فاقد منشاء شناخته شده‌ایی هستند.

این بادها در بین منطقه پرفشار جنب حاره و همگرایی میان حاره‌ایی در بخش اعظمی از این مناطق در تمام طول سال می‌وزد و با ثبات‌ترین بادهای کره زمین هستند. در نیمکره جنوبی به علت مداومت فشار زیاد جنب حاره، بادهای تجارتی به طور منظم وزیده و طوقه‌ایی را تشکیل می‌دهند. از این رو تجارتی‌های سطحی در نیمکره شمالی حالات منظم‌تر و قویتری دارنده وسعت نفوذ کمربند تجارتی‌ها در نیمکره شمالی در حدود ۲۵۰۰ کیلومتر و در نیمکره جنوبی در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر است.

در سطح فوقانی کمربند حاره در حدود ۱۰ کیلومتری از سطح زمین، بادهایی با جهت مخالف تجارتی‌ها می‌خورند، که آنها را آنتی‌ترید (ضد تجارتی) می‌گویند.

۲- بادهای موسمی

کلمه موسم دارای ریشه عربی است و به معنی فصل است. به بادهایی که در فصول متضاد سال با جهات مخالف می‌وزند موسمی‌ها گفته می‌شود.

این بادها در زمستان، به صورت جریان سردی از خشکی به دریا و در تابستان به صورت جریان هوای مرطوب و گرمی از دریا به خشکی می‌وزند.

در تابستان‌ها، قاره آسیا گرم شده و به علت تشکیل کم‌فشارهای حرارتی گسترده در خلیج فارس و آسیای مرکز و دشت راجستان هند، از اقیانوس هند و آرام بادهایی به جهت این مراکز کشیده می‌شوند این شرایط همزمان با استرالیا و توأم با تشکیل یک آنتی‌سیلکون در روی آن می‌باشد که بادهای خروجی از آن، ضمن عبور از استوا با جهت جنوب غربی به جهت آسیا کشیده می‌شوند و موسمی‌های تابستانی در آسیا را بوجود می‌آورند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳- بادهای غربی:

در گستره جهانی اغلب در عرض های میانه و بین حدود ۳۵ تا ۶۵ درجه عرض جغرافیایی و یا به عبارت دیگر از پر فشار جنب حاره به مناطق کم فشار جنب قطب شیوع دارند.

این بادها از نظر جهت و استمرار دارای خصوصیات متغیرند در سرعت و جهت حرکت آنها جریانات موجی بویژه سیلکون‌های سیار و آنتی سیلکون‌هایی که در منطقه نفوذ این بادها از غرب به شرق حرکت می‌کنند اثر عمده‌ای دارند از اینرو ممکن است بادهای مذکور ضمن وزش از غرب به شرق خصوصیات طوفانی هم داشته باشند در زمستان‌های نیمکره شمالی توسعه آنتی‌سیلکون‌های قاره‌ایی و بعضاً حتی سیکلون‌ها از توسعه بارز بادهای غربی ممانعت به عمل آورده و بدین جهت بادهای مزبور به نحو بارزی بر روی اقیانوس‌ها توسعه می‌یابند ، ولی چون در عرض‌های میانه نیمکره جنوبی، شرایط قاره‌ایی تقریباً حاکمیتی ندارد. بادهای غربی هم تقریباً حالت کمربند جهانی بخود گرفته‌اند

WikiPower.ir

٤- بادهای محلی :

این بادها منطقه کوچکی را در برگرفته و معمولاً منحصر به لایه‌های بسیار پایین اتمسفر است.

٥- نسیم دریاو خشکی :

این بادها حاصل تفاوت روزانه درجه حرارت بین دریاها و خشکی‌ها است. به هنگام روز، میزان فشار هوای دریاها در مقایسه با خشکی‌های همجوار به علت پایین بودن نسبی درجه حرارت بیشتر است از این رو جریان هوایی از طرف دریا به طرف خشکی برقرار می‌شود و شب هنگام خشکی‌ها سرد شده و به علت افزایش فشار هوای سطوح آنها جریان بادی از خشکی به سوی دریا می‌وزد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

٦- بادهای کوه و دره :

این بادها در اتمسفر آزاد، در نتیجه تفاوت گرمای حاصله بین دره‌ها و دشت‌ها که منجر به اختلاف فشار بین نواحی یاد شده می‌شود، بوجود می‌آیند.

۷- فون (*Foehn*) :

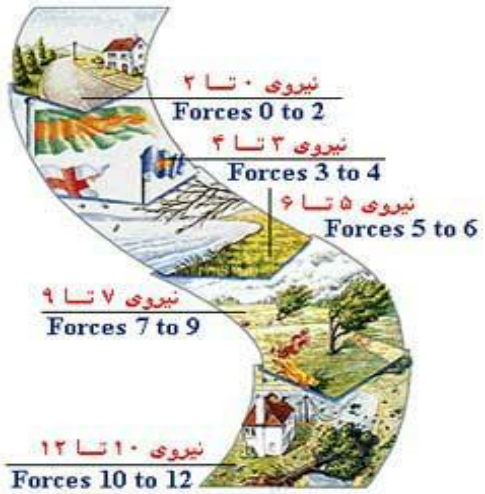
باد گرم و خشکی است که در سمت پشت به باد یک پشته کوهستانی بروز می‌کند و این نام منشاء خود را از آلپ گرفته است.

زمانی که هوای نسبتاً مرطوبی بر پشته کوهی صعود می‌کند سرد شده، تراکم حاصل از این امر به صورت بارندگی در جهت رو به باد ظاهر می‌شود و چنانچه در ارتفاعات ذخیره‌ایی از هوای سرد انباشته نباشد جریان هوا ضمن گذر از پشته کوهستانی به تدریج در شرایط بی در رو، در داخله پشت به باد گرم و خشک می‌شود به طور کلی، در زمان جریان این باد، میزان نم نسبی به طور ناگهانی پایین می‌آید بارندگی قطع می‌شود.

در زمان حداکثر شدت باد، درجه حرارت به حداکثر خود می‌رسد و عموماً از میزان فشار هوا کاسته می‌شود. ذوب برف‌های زمستانی، خشکی و سوزاندن مزارع و ایجاد شرایط مساعد برای حریق جنگل‌ها از دیگر نشانه‌های بروز بادهایی با خصوصیات باد «فون» است

انواع بادها طبق تصویر:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



نیروهای صفر تا ۲

سرعت باد تا ۱۱ کیلومتر (صفر تا ۷ مایل) در ساعت ؛ هوا آرام یا دارای حرکت آهسته بوده و همراه با غبار و حرکت آهسته برگها می باشد.

نیروهای ۳ تا٤

سرعت باد از ۱۲ کیلومتر (۸مایل) در ساعت تا ۲۹ کیلومتر (۱۸ مایل) در ساعت می باشد. نسیم یا باد متوسط وجود دارد که پرچمها را به هم میزند ، کاغذها را به هوا بلند می کند و به اطراف می برد و برگها و شاخه های کوچک درختان را حرکت می دهد.

نیروهای ٥ تا٦

سرعت باد از ۳۰ کیلومتر (۱۹ مایل) در ساعت تا ۵۰ کیلومتر (۳۱ مایل) در ساعت است. باد نیمه قوی یا قوی وجود دارد و درختان کوچک و شاخه های بزرگ به حرکت در می آیند و اشیاء سبک در سطح زمین به اطراف پرتاب می شوند.

نیروهای۷ تا ۹

سرعت باد از ۵۱ کیلومتر (۳۹ مایل) تا ۸۷ کیلومتر (۵۴ مایل)در ساعت است. تند باد یا طوفان شدید وجود دارد. تمام درختان تکان می خورند ، شاخه ها می شکنند و دودکشها و سقفهای خانه ها از جا کنده می شوند.

نیروهای ۱۰ تا۱۲

سرعت باد از ۸۸ کیلومتر (۵۵ مایل) در ساعت تا بیش از ۱۱۸ کیلومتر (۷۴ مایل) در ساعت می باشد . طوفان یا طوفان شدید وجود دارد. درختها از ریشه کنده می شوند و خرابی های گسترده ایجاد می شود.

۲-۲) مزایا و معایب استفاده از انرژی باد

یکی از مزایای انرژی باد آن است که وزش باد در زمستانها سریعتر است و هنگامی که نیاز بیشتری به برق داریم،الکتریسیته بیشتری تولید می‌شود این انرژی بدون ایجاد آلودگی ، دارای منبع انرژی پایان ناپذیر و فن آوری آزموده شده است. پیشرفتهای اخیر در صنعت ، همواره سبب کاهش هزینه الکتریسیته تولید شده توسط مولدهای بادی می‌باشد؛زغال سنگ و شکافت هسته ای ، الکتریسیته تولید شده توسطاین مبلغ ،کمتر از هزینهاست و از نظر اقتصادی قابل رقابت با سایر موارد می‌باشد.همچنین مانند دیگر انرژیهای قابل تجدید و ادامه دار مخالفان زیادی ندارد. بریتانیا دارای موقعیتهای خوبی از نظر منبع باد در اروپا است. دانمارک در مقایسه با انگلستان که فقط ۲۵٪ درصد الکتریسیته مورد نیاز خود را از نیروی باد تأمین می کند۳,۷ درصد۶۰۰ میلیون وات الکتریسیته مورد نیاز را از انرژی باد تهیه می‌کند؛ در صورتی که منبع باد انگلستان ۲۸ برابر بیش از دانمارک است .

- توربینهای بادی به سوخت نیاز ندارند ومصرف سوختهای فسیلی را کاهش می یابد.
- رایگان بودن انرژی باد

- توانایی تأمین بخشی از تقاضای انرژی برق
- کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد در بلندمدت
- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی
- قدرت مانور زیاد جهت بهره‌برداری در هر ظرفیت و اندازه (از چند وات تا چندین مگاوات)
- عدم نیاز به آب
- عدم نیاز به زمین زیاد برای نصب
- ایجاد اشتغال
- نداشتن آلودگی زیست محیطی

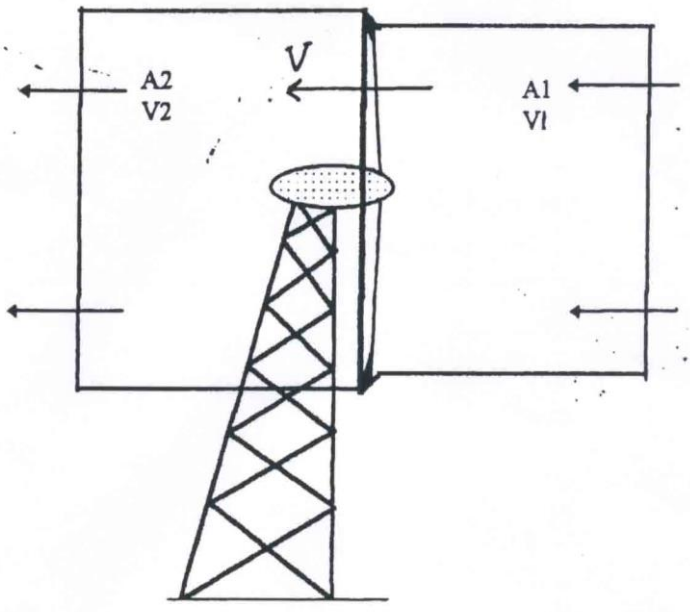
گفته می‌شود که یکی از بزرگترین موانع بهره برداری از نیروی باد در بریتانیا ، مسأله تأثیر زیست محیطی آن است. بسیاری از مردم می‌گویند مولدهای بادی از نظر ظاهری ناخوشایند بوده و پر سر و صدا می‌باشند؛ بخصوص چون در نواحی زیبای خارج از مناطق شهری قرار دارند اما باید گفت مولدی که سوخت آن زغال سنگ است، مسلما پر سر و صداتر و زشت تر از دکلهای آسیاب بادی خواهد بود. صدای متوالی توربینهای دکلهای آسیاب بادی برای کسانی که در نزدیکی آنها می‌باشند، یک موضوع مهم به شمار می‌رود. اکنون صدای این مولدها به کمک فناوری چرخ دنده‌ها توربینهای سه تیغه‌ای قابل کنترل می‌باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳) توربینهای بادی و چگونگی عملکرد آنها

انرژی باد گذرنده از واحد سطح A توانی با $P=\frac{1}{2}\rho AV^3$ تولید می‌کند. این سطح A می‌تواند روتور یک توربین بادی باشد که جهت اخذ انرژی در مقابل این لولهٔ جریانی قرار می‌گیرد. شکل (۳ـ۱) بنابراین توربینهای بادی وسایلی هستند برای اخذ انرژی جنبشی از باد. وقتی که سرعت هوای نزدیک شده به روتور (سطح A) کند می‌شود، انرژی فشاری آن افزایش می‌یابد تا اینکه فشار هوا در ورود به پره‌های توربین به حداکثر مقدار خود می‌رسد. با عبور هوا از داخل توربین یک افت فشار در فشار استاتیک هوا ایجاد می‌شود به‌گونه‌ای که هوای خروجی از پره‌های توربین دارای فشار پایین‌تر از فشار اتمسفر می‌باشد.

همچنانکه هوا از توربین رد می‌شود و به سمت پایین دست جریان پیش می‌رود. مجدداً با کاهش سرعت جریان هوا فشار آن تا رسیدن به فشار اتمسفر افزایش می‌یابد.



شکل (۳ـ۱) جریان گذرنده از توربین بادی

فرمول گفته شد تمام انرژی بادگذرنده از سطح A را بیان می کند. یک مبدل مانند توربین بادی تنها بخشی از این انرژی را می‌تواند جذب کند. تئوری بتز *(Betz)* بیان می‌دارد که در حالت ایده‌آل یک گردندهٔ بادی فقط می‌تواند $\frac{16}{27}$ از این انرژی را جذب کند.

با استفاده از حجم کنترل شکل (۳ـ۱) و اعمال معادلات پیوستگی و اندازه حرکت مقدار نیروی اعمال شده بر روتور و توان تولید شده بدست می‌آیند (روتور ایده‌آل فرض شده است):

$$F = \tfrac{1}{2}\rho A(V_1 - V_2)^2 \qquad (۳ـ۱)$$

$$P = \tfrac{1}{2}\rho A(V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2)^2 \qquad (۳ـ۲)$$

از این روابط ضمن آنکه بازای هر سرعت بادی (V_1) تغییرات توان بصورت تابعی از سرعت خروج (V_2) بدست می‌آید توان حداکثر قابل اخذ با مشتق‌گیری از رابطه (۳ـ۲) نسبت به V_2 بدست می‌آید:

$$P_{\max} = \frac{8}{24}\rho A V_1^2 = \frac{16}{27}P_{wind}$$

WikiPower.ir

۳ـ۱) انواع توربین‌های بادی و مکانیسم کار آنها

توربینهای بادی انواع متفاوت دارند و به توربینهای بادی موازی با باد و یا محور افقی و توربینهای بادی محور عمودی اشاره شد. علاوه براین، تقسیم‌بندی‌های دیگری هم برای توربین‌های بادی وجود دارد. یکی اینکه توربین با استفاده از نیروی برآ کار می‌کند یا نیروی پسا (برآیی است یا پسایی). نوع دیگر تقسیم‌بندی براساس حرکت اجزا است. بدین ترتیب که یک دسته از توربینهای بادی دارای اجزای گردان (روتور) می‌باشند و دسته دیگر دارای اجزای با حرکت انتقالی می‌باشند. به‌طور کلی یک تقسیم‌بندی کلی از توربینها عبارت است از:

۳-۱-۱) توربینهای بادی با محور چرخش عمودی *(VAWT)*:

این توربینها از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند: یک میله اصلی که رو به باد قرار می‌گیرد و میله‌های عمودی دیگر که عمود بر جهت باد کار گذاشته می‌شوند. این توربینها شامل قطعاتی با اشکال گوناگون بوه که باد را در خود جمع کرده و باعث چرخش محور اصلی می‌گردد. ساخت این توربینها بسیار ساده بوده و همچنین بازده پایین نیز دارند. عمده‌ترین توربین‌های بادی محور عمودی عبارتند (ساوینیوس داریوس، صفحه‌ای و کاسه‌ای). در این نوع توربینها در یک طرف توربین، باد بیشتر از طرف دیگر جذب می‌شود و باعث می‌گردد که سیستم لنگر پیدا کرده و بچرخد. یکی از مزایای این سیستم وابسته نبودن آن به جهت وزش باد می‌باشد. این دسته از ماشین‌ها گشتاور راه‌اندازی پایین و ضریب توان ۰/۴ تا ۰/۵ دارند. روتور نوع داروس، توسط *G.J.M.Darrieus* در سال ۱۹۲۰ ساخته شده است. این روتور، پره‌های شکل داده شده با سطح مقطع بالواره دارد. نسبت سرعت نوک به سرعت باد در آنها بالا است. بنابراین بطور نسبی توان خروجی بالایی را نسبت به وزن و هزینه روتور مشخص تولید می‌کنند.

توربین بادی با محور چرخش عمودی

۳-۱-۲) توربینهای بادی با محور چرخش افقی *(HAWT)*:

این توربینها نسبت به مدل محور عمودی رایج‌تر بوده همچنین از لحاظ تکنولوژیک پیچیده‌تر و گرانتر نیز می‌باشند. ساخت آنها مشکلتر از نوع محور عمودی بوده ولی راندمان بسیار بالایی دارند. در سرعتهای پایین نیز توانایی تولید انرژی الکتریکی را داشته و توانایی تنظیم جهت در مسیر وزش باد را نیز دارند. این توربینها ۳ یا در مواردی ۲ پره می‌باشند که روی یک برج بلند نصب می‌شوند. این پره‌ها همواره در جهت وزش باد قرار می‌گیرند.

خود این گروه می‌تواند به دو گروه دیگر تقسیم گردد، یک دسته توربینهایی هستند که در آنها نیاز به گشتاور بالا و سرعت دورانی پایین است. نوع مزرعه‌ای و هلندی توربینها از این جمله هستند. دسته دیگر ماشینهایی که در آنها نیاز به سرعت دورانی بالا و گشتاور پایین است، این نوع ماشینها از نوع ملخی می‌باشند و ماشینهایی که برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شوند در این رده قرار می‌گیرند و ضریب توانی بین ۰/۴ تا ۰/۵ دارند.

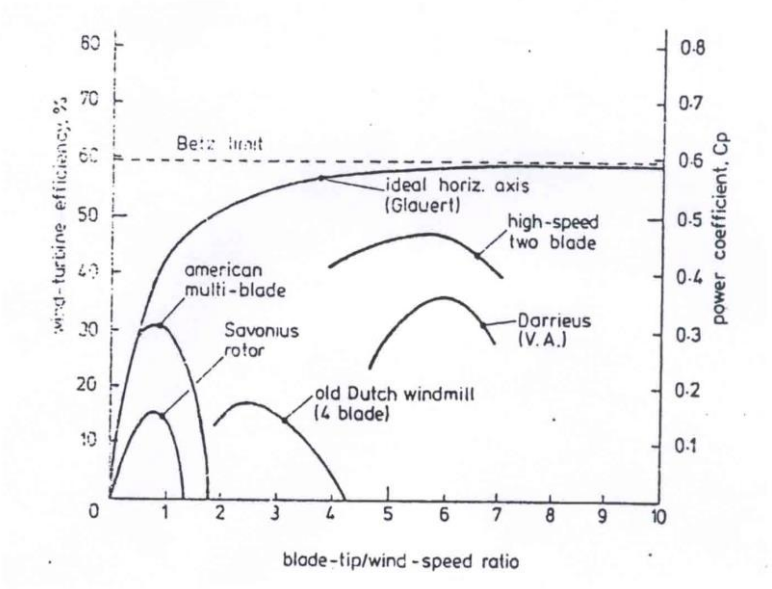
ماشینهای بادی گروه اول، صلبیت بالا و روتورهای سرعت پایین دارند و تعداد پره‌ها در آنها زیاد می‌باشد و در گروه دوم روتورها سرعت بالایی دارند و تعداد پره‌ها هم کم می‌باشد و عموماً این دسته از توربینها دارای ۲ پره یا ۳ پره می‌باشند. پرهٔ این توربینها مقطع بالواره *(Airfoil)* دارد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

توربین بادی با محور چرخش افقی

۳-۱-۳) ماشینهای بادی محور عمودی پسایی:

این نوع ماشینها گشتاور راه‌اندازی بسیار بالا و ضریب توان حدود ۰/۱ تا ۰/۱۵ و نوع ساوینوس پوسته‌ای و نیم استوانه‌ای با گشتاور راه‌اندازی بالا و ضریب توان ۰/۱۵ تا ۰/۳ دارند این سیستمها براساس تفاضل پسای پره‌هایی که در مقابل باد قرار گرفته‌اند باعث دوران روتور می‌شوند. بدلیل صلبیت بالا (نسبت سطح پره‌ها، سطح جاروب شده توسط روتور) دارای گشتاور آغازین بالا هستند و به‌طور نسبی دارای نسبتهای سرعت نوک به باد کمتر و توان خروجی پایین‌تری در واحد وزن سیستم و طبیعتاً هزینه توان بالاتری می‌باشند.



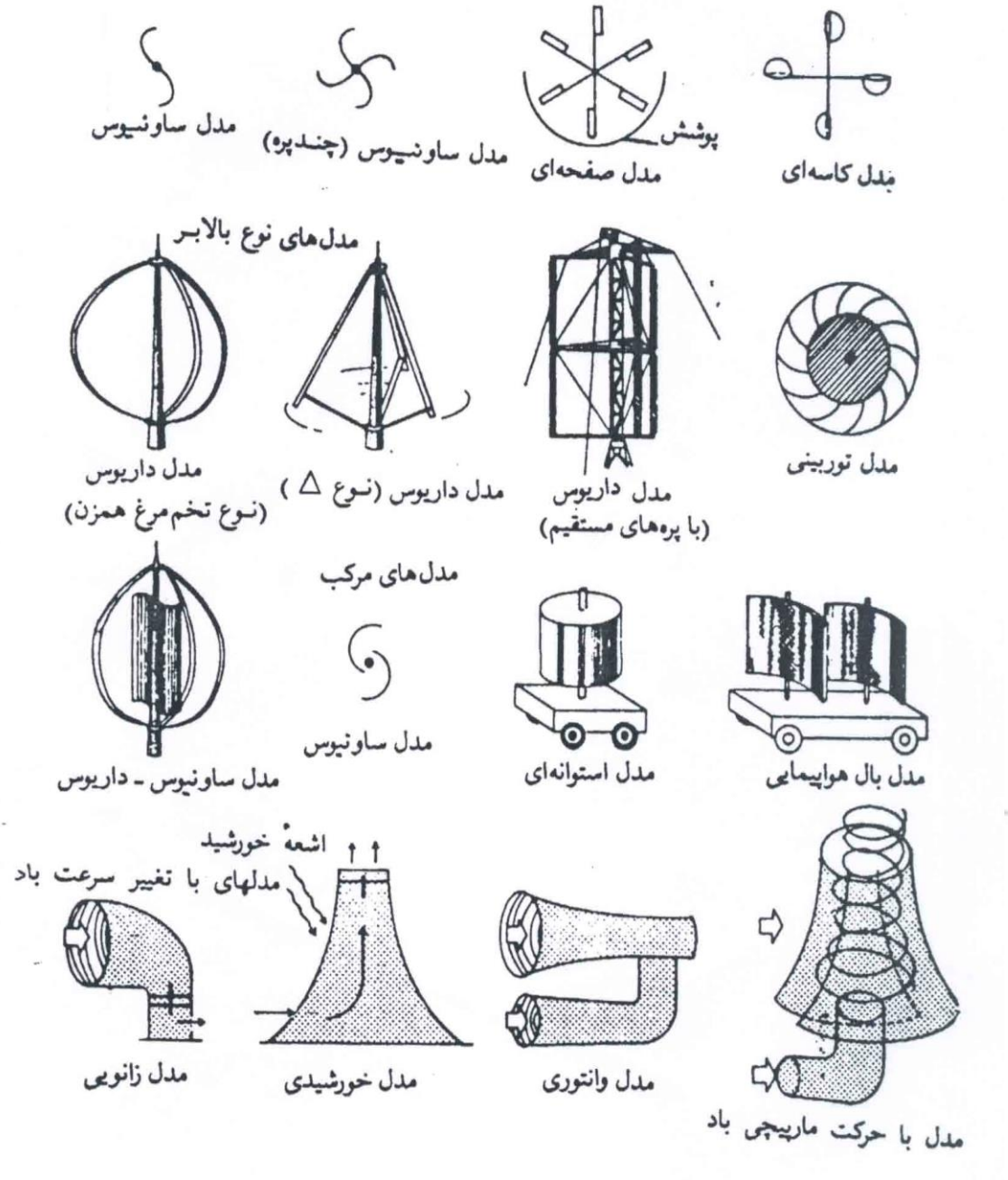
بازده و کارآیی تعداد از توربینهای بادی متداول

شکل بالا عملکرد تعدادی از ماشینهایبادی را براساس اطلاعات بدست آمده از آزمایش نشان می‌دهد. این شکل گویای آنست که روتورهای دو پره و با طراحی خوب آیرودینامیکی در سرعتهای چرخشی بالایی کار می‌کنند و این روتورها در جایی که نسبت سرعت نوک روتور در محدودهٔ ۵ تا ۶ باشد. ضریب توانی حدود ۰/۱۵ دارند. توربینهای بادی محور افق ۳ پره، نسبتهای سرعت نوک بهینه و ضریب توان پایین‌تری نسبت به نوع دو پره‌ای هستند. روتورهای داریوس در نسبت سرعت نوک حدود ۶ و ضریب توانی برابر ۰/۳۵ را تأمین می‌کنند، مدلهای تئوریکی پیشرفته که توسط مؤسسه تحقیقات ملی کانادا توسعه داده شده‌اند.

۳-۱-٤) طبقه‌بندی توربین‌های بادی :

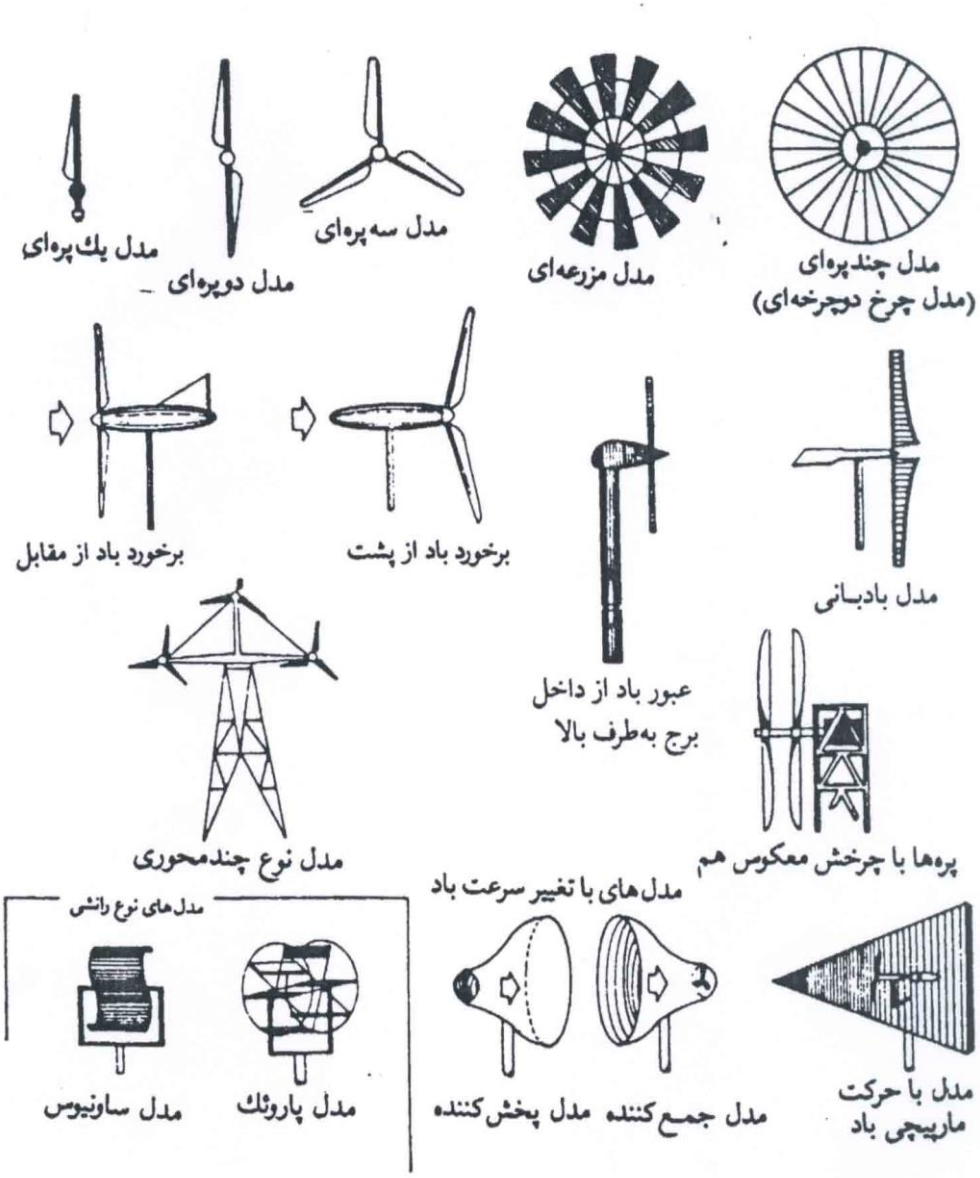
پروانه‌های با محور قائم (نوع رانشی)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



پروانه‌های با محور افقی (نوع بالابر)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۲) مزیتهای عمده توربینهای بادیمحور عمودی

الف ـ این توربینها نیاز به سیستم کنترلی که پره‌ها را همواره در مقابل باد نگهدارد، ندارند؛ یعنی در جهت باد از هر طرف که باشد، خواهند چرخید. این قابلیت به عنوان یک مزیت مهم برای توربینهای بادی محور عمودی محسوب می گردد.

ب ـ سهولت دستیابی به اجزایی از قبیل جعبه دنده انتقال قدرت و تغییر دهندهٔ جهت نیرو، ترمزها، ژنراتور الکتریکی، دستگاه کنترل و غیره به دلیل کارگذاری این دستگاهها در نزدیکی سطح زمین.

ج ـ قابلیت اطمینان بالا حتی در شرایط محیطی (جوّی) سخت به لحاظ استقرار قسمتهای حساس نزدیک به سطح زمین.

د ـ سهولت مونتاژ یا نصب قطعات

هـ ـ عدم نیاز به مکانیزمهای کنترل برای ایجاد نیروی گشتاور حداکثر در سرعتهای باد زیاد هنگامی که توربین در سرعت چرخشی ثابت عمل می کند.

WikiPower.ir

۳ـ۳) محدودیت و محاسن توربینهای بادی محور افقی

الف ـ این توربینها حتماً باید هنگام بهره‌برداری درست در مقابل (جهت) باد قرار گیرند؛ بنابراین باید به مکانیزمی مجهز شوند که کل روتور یا پره‌های توربین را در هنگام تغییر جهت باد، تغییر وضعیت دهد.

ب ـ در خلال تغییر یافتن وضعیت روتور، (در توقف و شروع مجدد چرخش روتور) پره‌های توربین متحمل تنشهایی می‌شوند. مواردی از قبیل ساخت فرم خاص پره‌ها، بالانس کردن آنها و همچنین نحوه اتصال آنها به توپی نیازمند تکنیکهای خاص می‌باشد که در ساخت این مبدلهای بادی باید در نظر گرفته شود.

ج ـ در اغلب توربینهای بادی محور افقی کنترل سرعت پره‌ها با چرخش اتوماتیک کل پره‌ها (روتور) نسبت به توپی و در بعضی از این سیستمها کنترل سرعت چرخش پره‌ها با چرخش اتوماتیک قسمت انتهای پره نسبت به بقیه پره صورت می‌گیرد. در اینصورت سطح جاروب شده توسط روتور کاهش می‌یابد. این نوع توربینها در مجموع به توربین بادی آئروستار[۱] موسوم هستند.

نتیجه حاصل از بررسی محاسن و محدودیتهای توربینهای بادی محور عمودی و محور افقی این است که نوع محور عمودی مناسبتر بوده و در نهایت برای طرح انتخاب می‌گردد.

۳ـ٤) انواع کاربرد توربینهای بادی

الف ـ کاربردهای غیرنیروگاهی شامل:

پمپهای بادی آبکش جهت:

- تأمین آب آشامیدنی حیوانات در مناطق دور افتاده
- آبیاری در مقیاس کم
- آبکشی از عمق کم جهت پرورش آبزیان
- تأمین آب مصرفی خانگی

- کاربرد توربینهای بادی کوچک بعنوان تولید کننده برق
- تأمین برق جزیره‌های مصرف
- شارژ باتری

ب ـ کاربردهای نیروگاهی

[۱]- Aerostar wind Turbine rotor blade

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- نیروگاههای بادی منفرد جهت تأمین انرژی الکتریکی واحدهای مسکونی، تجاری، صنعتی و یا کشاورزی
- مزارع برق بادی جهت تأمین بخشی از تقاضای انرژی برق شبکه

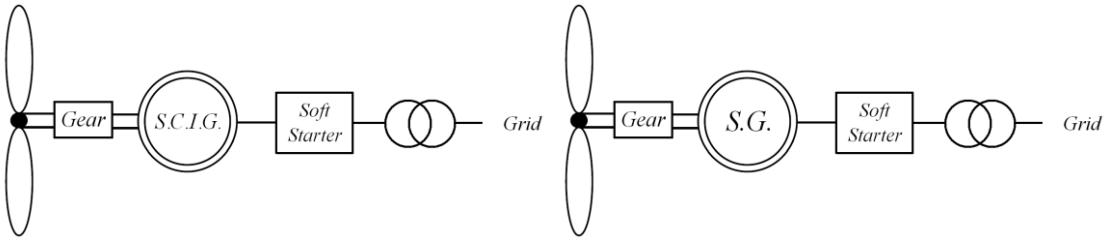
٤) ژنراتورهای بادی

WikiPower.ir

انواع مختلفی از ژنراتورهای AC به منظور تبدیل انرژی مکانیکی باد به انرژی الکتریکی، چه در سطح تحقیقات و چه در سطح صنعت، به کار گرفته شده است. از جمله این ژنراتورها می-توان به ژنراتورهای القایی با روتور قفسه سنجابی و سیم پیچی شده[۱]، ژنراتورهای سنکرون با روتور سیم پیچی شده و مغناطیس دایم و ماشین‌های خاص از جمله سوییچ رلوکتانس، دو ماشین القایی سری شده با تغذیه دوگانه[۲]، ماشین القایی بدون جاروبک با تغذیه دوگانه[۳]، ماشین رلوکتانسی بدون جاروبک با تغذیه دوگانه[۴] و ... اشاره کرد.

[۱] Doubly Fed Induction Generator
[۲] Cascaded DFIG and Single Frame Cascaded DFIG
[۳] Brushless Doubly fed Induction Machine
[۴] Brushless Doubly fed Reluctance Machine

مجموعه توربین و ژنراتورهای بادی از نظر سرعت، فرکانس، نحوه اتصال توربین به ژنراتور و نوع ژنراتور به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. ژنراتورهای بادی را می‌توان به دو دسته کلی سرعت ثابت و سرعت متغیر تقسیم نمود. ژنراتورهای سرعت ثابت به طور مستقیم و بدون استفاده از هیچ نوع مبدل فرکانسی به شبکه متصل می‌شوند. شکل (۱) دو نمونه از ژنراتورهای سرعت ثابت را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ژنراتورهای بادی سرعت ثابت

بیشتر ژنراتورهای سرعت ثابتی که تا کنون استفاده شده از نوع القایی قفسه سنجابی می‌باشند و از ژنراتورهای سنکرون به دلیل مشکلاتی از قبیل هزینه ساخت و نگهداری بیشتر به دلیل وجود سیم پیچی روتور، جاروبک، رینگ لغزان، سیستم تغذیه روتور و مشکلات پایداری به خصوص در هنگام بروز خطا کمتر استفاده شده است. به منظور کاهش تنش‌ها و گذراهای ناشی از قطع و وصل ژنراتور، پس از رسیدن سرعت توربین به سرعت سنکرون[۱]، ژنراتور با استفاده از راه انداز نرم[۲] به شبکه متصل شده و زمانی که سرعت باد از حد مجاز توان ژنراتور[۳] بیشتر شد از شبکه جدا می‌شوند. به منظور تأمین توان رآکتیو ژنراتورهای القایی از خازن‌های ثابت (در چندین پله خازن) و یا جبران کننده‌های کنترل شونده مانند SVC یا STATCOM استفاده می‌شود. در صورت استفاده از خازن ثابت، بدون امکان تغییر پله، به منظور جلو گیری

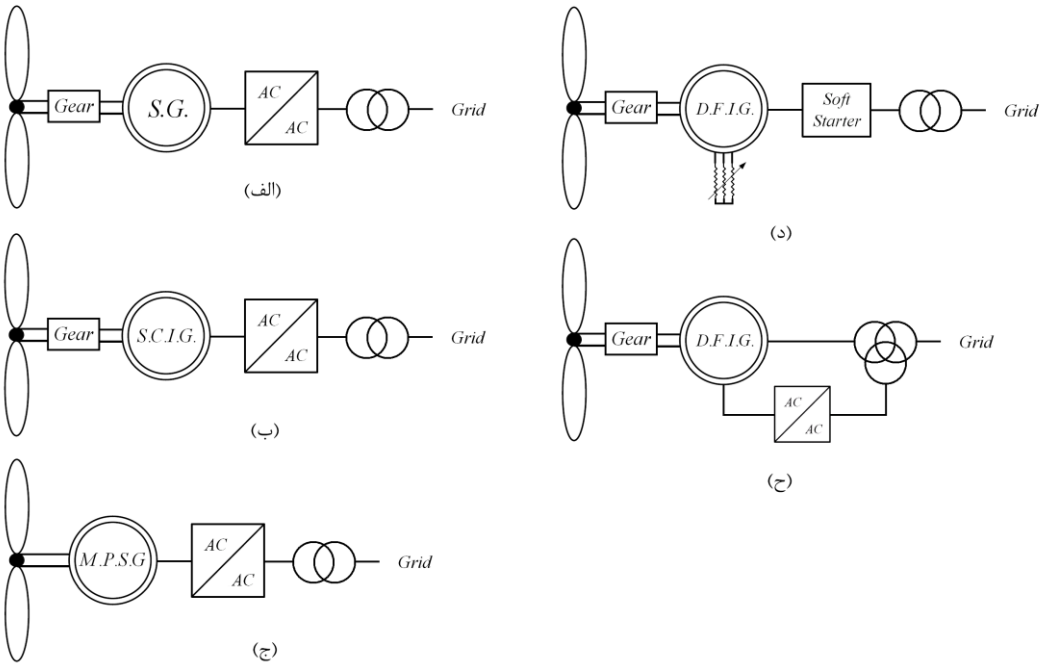
[۱] Cut in Speed
[۲] Soft Starter
[۳] Cut out Speed

از اضافه ولتاژ، در هنگام جدا شدن ژنراتور از شبکه، تنها توان راکتیو بی باری ژنراتور جبران می‌شود.

همان طور که در بخش قبل نیز اشاره شد، با توجه به شکلهای قبل ماکزیمم انرژی که از هر جریان هوای در حال وزش با سرعت V_w می‌توان دریافت نمود تنها به ازای λ_{opt} قابل حصول می‌باشد. بنابراین به منظور دریافت حداکثر انرژی از باد، سرعت ژنراتور باید متناسب با سرعت باد تغییر نماید. اما به دلیل صفر بودن لغزش در ژنراتورهای سنکرون و ناچیز بودن آن در ژنراتورهای القایی (علی رغم طراحی خاص این ژنراتورها برای لغزش‌های بزرگ‌تر، نسبت به ماشین‌های القایی معمولی)، سرعت توربین در ژنراتورهای سرعت ثابت تقریباً ثابت می‌باشد. بنابراین توان دریافتی از توربین همیشه در مقدار ماکزیمم خودش قرار ندارد. به همین دلیل به منظور افزایش بهره این ژنراتورها، از ژنراتورهای با دو دسته سیم پیچی با تعداد قطب متفاوت و یا دو ژنراتور با تعداد قطب و توان نامی متفاوت و در نتیجه دو سرعت مکانیکی ثابت متفاوت، برای یک توربین استفاده می‌شود. توربینی که با این دسته از ژنراتورها استفاده می‌شود می‌تواند از هر سه نوع Stall، Active Stall و یا Variable Pitch باشد، اما معمولاً استفاده از توربین با زاویه پره متغیر با این ژنراتورها مزیت چندانی. از مزایای این دسته از ژنراتورهای بادی می‌توان به سادگی ساختار و کنترل، هزینه کم و مقاومت بالا و از معایب آن‌ها بهره و راندمان پایین، نوسانات ولتاژ و توان راکتیو شدید، ایجاد فلیکر ولتاژ و مسایل پایداری را نام برد.

به منظور رفع نقایص ژنراتورهای سرعت ثابت، امروزه از ژنراتورهای سرعت متغیر استفاده می‌شود. در شکل (۲) انواع رایج ژنراتورهای سرعت متغیر نمایش داده شده است. ژنراتورهای سرعت متغیر به دو دسته ژنراتورهای با محدوده تغییرات سرعت محدود و ژنراتورهای با محدوده تغییرات سرعت کامل تقسیم می‌شوند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲: ژنراتورهای بادی سرعت متغیر

ژنراتورهای سرعت متغیر به منظور کنترل و محدود کردن توان مکانیکی ورودی همراه با توربین‌های با زاویه پره متغیر استفاده می‌شوند. چرا که استفاده از توربین‌های کنترل Stall همراه با ژنراتورهای سرعت متغیر در تضاد می‌باشد.

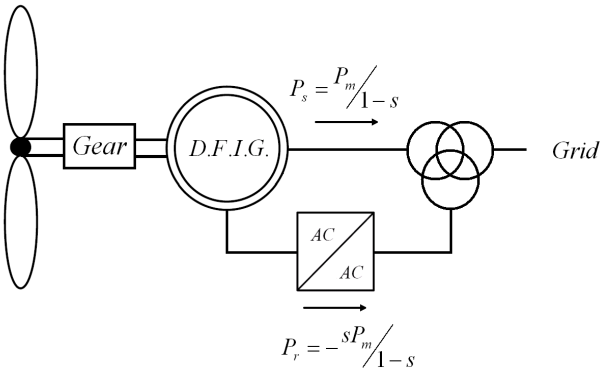
ژنراتورهای با محدوده تغییرات سرعت کامل از طریق یک مبدل AC/AC با توانی تقریباً برابر توان نامی ژنراتور به شبکه متصل می‌شوند. شکل‌های (۲-الف) تا (۲-ج) این دسته از ژنراتورها را نشان می‌دهند. به منظور کاهش تلفات و استهلاک قسمت مکانیکی می‌توان با استفاده از ژنراتورهای با تعداد قطب بالا جعبه دنده را حذف نمود. اما این امر تنها در مورد ژنراتورهای چند قطبی با روتور مغناطیس دایم مقرون به صرفه می‌باشد چرا که به منظور تحمل سازه و برج توربین، حجم و وزن ژنراتورهای با تعداد قطب بالا باید از مجموعه وزن و حجم ژنراتور و جعبه دنده خیلی بیشتر نباشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از مزایای این دسته از ژنراتورها می‌توان به کنترل توان حقیقی و دریافت بیشترین توان ممکن، کنترل توان راکتیو و ولتاژ، کاهش فلیکر ولتاژ، کاهش نوسانات توان و فرکانس به علت ذخیره انرژی جنبشی در روتور، کاهش تنش‌های وارد بر محور توربین و ژنراتور و بهبود پایداری شبکه و ژنراتور و از معایب آن‌ها به هزینه بالا، کنترل پیچیده در مقایسه با ژنراتورهای سرعت ثابت و تلفات بیشتر به علت عبور کل توان خروجی از مبدل فرکانسی اشاره کرد.

ژنراتورهای با محدوده تغییرات سرعت محدود که در شکل‌های (۲-د) و (۲-ح) نشان داده شده‌اند معمولاً برای ژنراتورهای القایی با روتور سیم پیچی شده استفاده می‌شوند. در ژنراتور نشان داده شده در شکل (۲-د) با تغییر مقاومت روتور با استفاده از یک جفت تایریستور موازی معکوس می‌توان میزان لغزش و در نتیجه سرعت توربین را به میزان کمی تغییر داد. مجموعه مقاومت روتور و مبدل تایریستوری روی روتور نصب می‌شود. از معایب این دسته از توربین‌ها به عدم قابلیت کنترل توان راکتیو و همچنین راندمان پایین به علت تلفات در مقاومت اضافی روتور می‌توان اشاره کرد.

در ژنراتور شکل (۲-ح) به منظور بازیافت انرژی لغزش روتور ژنراتور القایی از یک مبدل فرکانسی، که فرکانس آن برابر فرکانس لغزش می‌باشد، استفاده می‌شود. در صورتی که تغییرات سرعت ژنراتور تنها به $\pm 30\%$ سرعت سنکرون محدود شود، مطابق شکل (۳) میتوان گفت که توانی که از طریق مبدل روتور مبادله می‌شود تنها برابر $\frac{1}{3}$ توان مبادله شده از طریق استاتور ماشین می‌باشد. بنابراین توان مبدل سمت روتور به $\frac{1}{3}$ توان نامی ماشین محدود می‌شود. بیشتر ژنراتورهای توان بالا را به علت کوچک بودن مبدل فرکانسی و کم بودن هزینه آن، این دسته از ژنراتورها تشکیل می‌دهند.



شکل ۳: توان انتقالی از روتور و استاتور ماشین القایی DFIG

به دلیل محدود شدن تغییرات سرعت و در نتیجه عبور تنها بخشی از توان ماشین از مبدل فرکانسی، هزینه و تلفات این دسته از ژنراتورها، در مقایسه با ژنراتورهای با مبدل فرکانسی با توان نامی، کمتر می‌باشد که موجب محبوبیت زیاد این دسته از ژنراتورها شده است. به این نوع ژنراتورها ژنراتورهای فرکانس ثابت–سرعت متغیر نیز می گویند. در کنترل ژنراتورهای سرعت متغیر با مبدل فرکانسی با توان نامی، در توان‌های پایین به منظور کاهش تلفات مغناطیسی ماشین ولتاژ ترمینال ماشین و در نتیجه شار مغناطیسی ماشین را کاهش می‌دهند. در کنترل ژنراتورهای با تغذیه دوگانه نیز به منظور کاهش تلفات مغناطیسی در سرعت و توان‌های پایین می‌توان با تغییر اتصال ماشین از Δ به Y ولتاژ استاتور ماشین را کاهش داد و یا با اتصال کوتاه کردن استاتور ماشین، ماشین را مشابه یک ماشین القایی با روتور قفسه سنجابی کنترل کرد با این تفاوت که مبدل فرکانسی به جای استاتور به روتور متصل شده است.

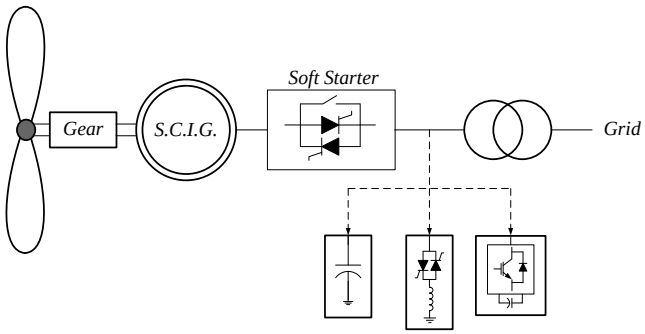
در بعضی از ژنراتورهای بادی نوع شکل (۲–ب)، به منظور کاهش حجم مبدل فرکانسی و در نتیجه هزینه و تلفات آن، از یک مبدل فرکانسی با توانی برابر 20%-30% توان نامی ژنراتور استفاده می‌شود. این مبدل در سرعت و در نتیجه توان‌های پایین انرژی الکتریکی ژنراتور را به شبکه انتقال داده و در سرعت و در نتیجه توان‌های بیشتر از توان مبدل فرکانسی، مبدل اتصال کوتاه شده و از ظرفیت آزاد آن به منظور جبران توان رآکتیو ژنراتور استفاده می‌شود.

۴-۱) ساختار کلی مبدل‌های فرکانسی مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی

به منظور استفاده از ژنراتورهای بادی، چه به صورت خودگردان و چه به صورت متصل به شبکه (به شکل پراکنده و یا مزرعه باد) و مناسب بودن کیفیت توان خروجی، فرکانس و دامنه ولتاژ تحویلی به بار و یا شبکه باید ثابت و بدون تغییر باشد. برای برآوردن این هدف، همان طور که در بخش قبل نیز اشاره شد، استفاده از ادوات الکترونیک قدرت به صورت مبدل‌های فرکانسی گریز ناپذیر بوده و موجب بالا رفتن کیفیت توان خروجی ژنراتورهای بادی و امکان افزایش استفاده از انرژی پر تغییر باد شده است. در این بخش به انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی متصل به شبکه به صورت پراکنده، مزرعه باد و ژنراتورهای بادی خود گردان به صورت کلی اشاره شده است.

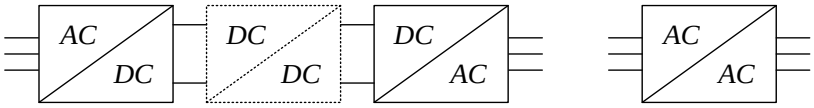
٤-۱-۱) مبدل‌های مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی پراکنده

همان طور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، ژنراتورهای بادی به سه دسته عمده سرعت ثابت، سرعت متغیر بدون محدوده تغییرات سرعت و سرعت متغیر با محدوده تغییرات سرعت تقسیم می‌شوند. ژنراتورهای بادی سرعت ثابت، مطابق شکل (۴) از نوع القایی با روتور قفسه سنجابی بوده و از طریق یک راه انداز نرم به طور مستقیم به شبکه متصل میشوند. برای جبران توان راکتیو این ژنراتورها از خازن‌های ثابت، SVC و یا STATCOM استفاده می‌شود.



شکل ٤: شمای ژنراتور القایی سرعت ثابت همراه با راه انداز نرم و جبران کننده‌های توان راکتیو

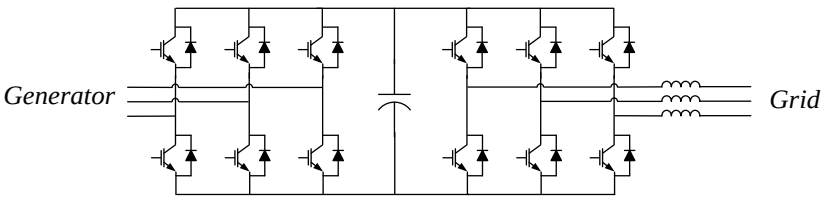
ژنراتورهای بادی سرعت متغیر از طریق یک مبدل AC/AC، به منظور تغییر فرکانس متغیر ژنراتور به فرکانس ثابت، به بار و یا شبکه متصل می‌شوند. مبدل‌های AC/AC مورد استفاده برای این ژنراتورها را مطابق شکل (۵) می‌توان به دو دسته کلی مبدل‌های تک مرحله‌ای و مبدل‌های دو یا چند مرحله‌ای تقسیم نمود.



شکل ۵: مبدل‌های AC/AC الف- تک مرحله‌ای ب- چند مرحله‌ای

در مبدل‌های تک مرحله‌ای جریان و ولتاژ فرکانس متغیر خروجی ژنراتور تنها با استفاده از یک مبدل تک مرحله‌ای AC/AC به جریان و ولتاژ فرکانس ثابت شبکه تبدیل می‌شود. اما در مبدل‌های دو یا چند مرحله‌ای خروجی فرکانس متغیر ژنراتور ابتدا از طریق یک مبدل AC/DC به DC تبدیل شده و سپس با استفاده از یک مبدل DC/AC جریان و ولتاژ DC به جریان و ولتاژی با فرکانس ثابت شبکه تبدیل می‌شود. در بین دو مبدل فوق ممکن است به منظور افزایش و کنترل ولتاژ باس DC از یک چاپر DC/DC نیز استفاده شود.

رایج‌ترین و پر کاربردترین مبدل AC/AC از دو اینورتر منبع ولتاژ تشکیل شده که مطابق شکل (۶) به صورت پشت به پشت[1] بسته شده‌اند.



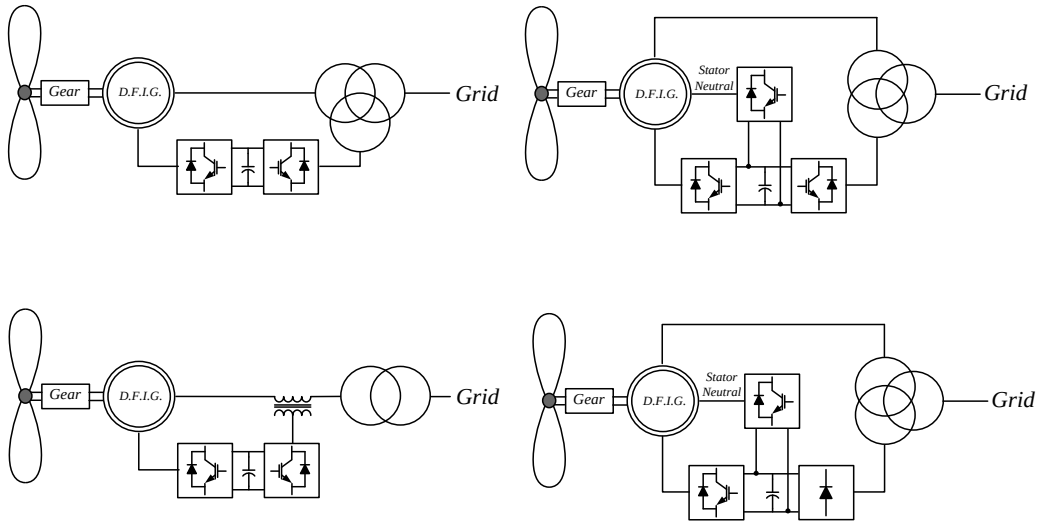
[1] Back to Back VSI

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ٦: شمای مبدل فرکانسی پشت به پشت

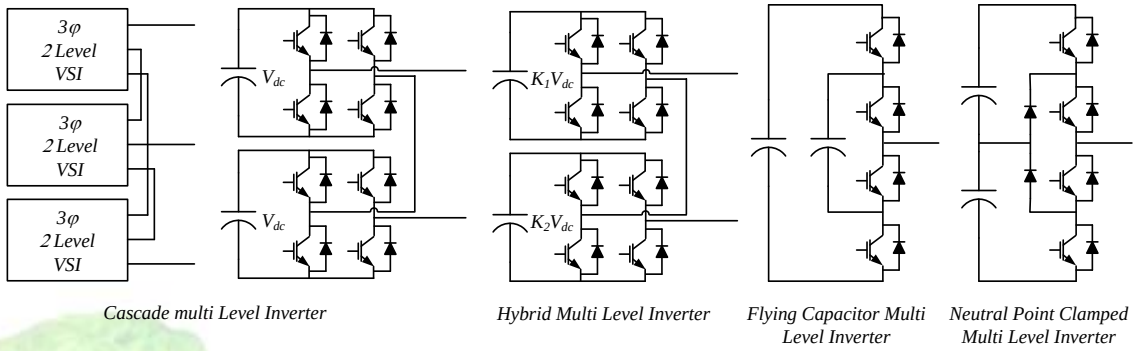
به علت تحقیقات گسترده‌ای که روی این مبدل انجام شده است تقریباً تمام مسایل آن حل شده و بسیاری از تولید کننده‌گان از این آرایش استفاده می‌کنند. از جمله مزایای بزرگ این مبدل می‌توان به مواردی همچون امکان کنترل کامل مبدل سمت شبکه و سمت ژنراتور، به طور مستقل از هم، به علت وجود خازن لینک DC، تعداد سوییچ کم و سادگی کنترل آن در مقایسه با سایر مبدل‌ها اشاره کرد. جریان تزریقی به شبکه در سمت شبکه توسط اندوکتانس-های فیلتر و در سمت ژنراتور توسط اندوکتانس‌های ژنراتور فیلتر می‌شود. از مزایای دیگر این فیلترها محدود کردن جریان اتصال کوتاه و حفاظت از سوییچ‌های مبدل می‌باشد. از معایب عمده این مبدل نیز می‌توان به مواردی همچون حجیم، بزرگ و پر هزینه بودن مبدل به علت وجود خازن حجیم لینک DC و تلفات نسبتاً زیاد آن به علت سوییچینگ سخت و تعداد سوییچ زیادی که در هر پریود در مسیر جریان قرار می‌گیرد، اشاره کرد.

این مبدل AC/AC به منظور اتصال ژنراتورهای بادی سرعت متغیر چه از نوع سنکرون و چه از نوع القایی به شبکه و یا بار استفاده می‌شود. به منظور اتصال ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده به شبکه نیز از این مبدل و یا آرایش‌های مشابه آن مطابق شکل (۷) استفاده می‌شود.



شکل ۷: آرایش‌های قابل استفاده برای ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه

به منظور کاهش هارمونیک‌های تزریقی به شبکه و همچنین کاهش ولتاژ شکست سوییچ‌ها و یا استفاده از مبدل در ولتاژهای بالا می‌توان هرکدام از اینورترهای منبع ولتاژ را با اینورترهای چند سطحی جایگزین نمود. شکل (۸) انواع مبدل‌های چند سطحی مناسب برای این کاربرد را نشان می‌دهد.

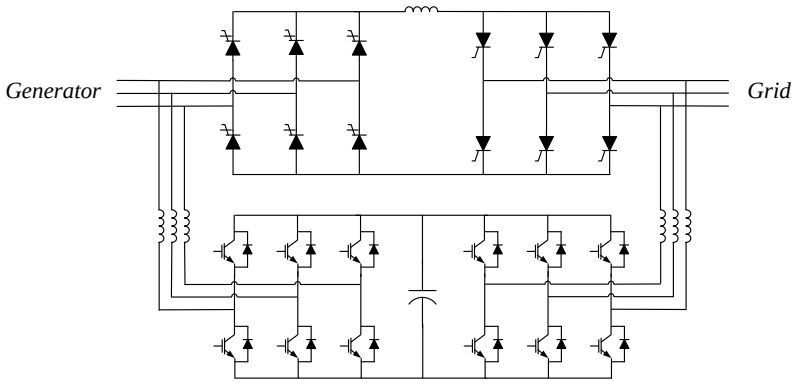


شکل ۸: شمای انواع مبدل‌های چند سطحی

استفاده از اینورترهای منبع جریان به جای اینورترهای منبع ولتاژ به علت مشکلات ناشی از وجود سلف لینک DC در توان‌های پایین مقرون به صرفه نبوده و تنها در توان‌های بالا توجیه اقتصادی پیدا می‌کند. در صورت استفاده از مبدل منبع جریان، از آنجا که کموتاسیون جریان زیاد سلف DC با فرکانس زیاد ممکن نمی‌باشد به منظور کاهش هارمونیک‌های تزریقی به شبکه از آرایش شکل (۹)، که به مبدل تاندم[۱] معروف است، می‌توان استفاده نمود. در این آرایش مبدل منبع ولتاژ، که توان بسیار کمتری در مقایسه با مبدل منبع جریان دارد، نقش فیلتر فعال موازی را بازی کرده و هارمونیک‌های تزریقی به شبکه و ژنراتور را جبران می‌کند.

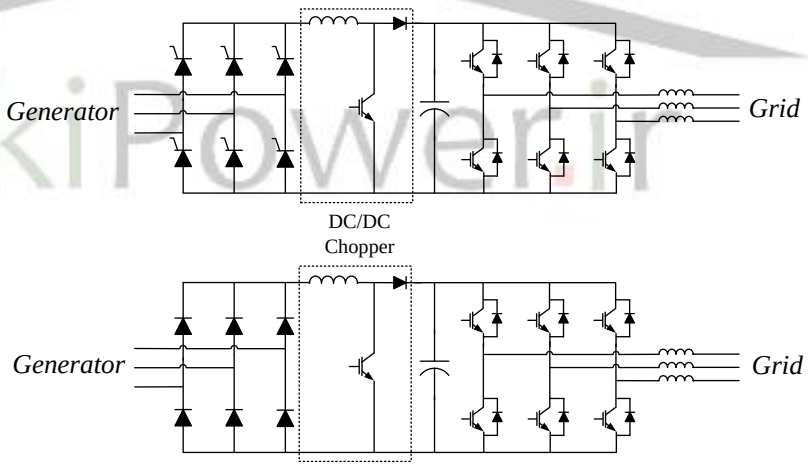
[۱] Tandem

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۹: شمای کلی مبدل تاندم

در صورتی که ژنراتور سرعت متغیر از نوع سنکرون باشد، مبدل سمت ژنراتور را می‌توان مطابق شکل (۱۰) با یک پل دیودی و یا تریستوری همراه با یک چاپر DC جایگزین نمود. در این صورت چاپر DC وظیفه کنترل سرعت ژنراتور و همچنین تطبیق ولتاژ خروجی یکسوکننده با ولتاژ باس DC اینورتر منبع ولتاژ را به عهده دارد.

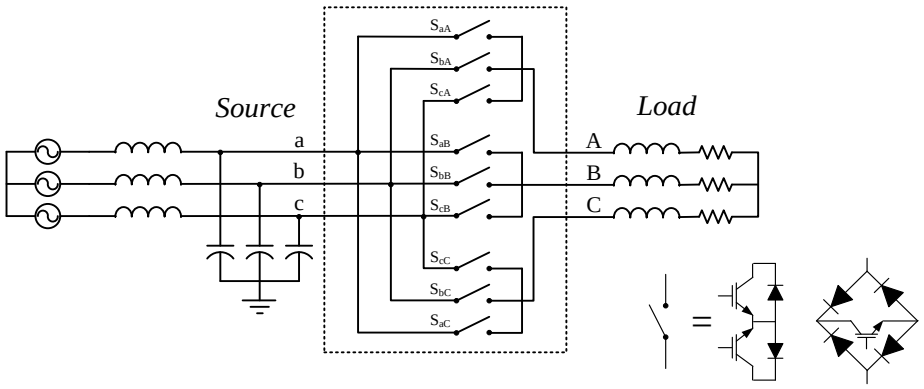


شکل ۱۰: مبدل‌های AC/AC مورد استفاده برای ژنراتورهای سنکرون

مبدل‌های ذکر شده رایج‌ترین مبدل‌های چند مرحله‌ای مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی سرعت متغیر می‌باشند. استفاده از مبدل‌های رزونانسی و مبدل‌های با سویچینگ نرم نیز به منظور

کاهش تلفات سوییچینگ در بعضی موارد پیشنهاد شده است که اشاره به این مبدل‌ها و مبدل-های خاص دیگر خارج از حوصله این گزارش می‌باشد .

از جمله مبدل‌های تک مرحله‌ای می‌توان به سیکلوکانورترها و مبدل‌های ماتریسی اشاره نمود. از سیکلوکانورترها به علت معایب زیادی همچون تولید زیرهارمونیک، محدود بودن فرکانس خروجی به تقریباً $\frac{1}{3}$ فرکانس ورودی و... به ندرت استفاده می‌شود. اما استفاده از مبدل ماتریسی، که ساختار آن در شکل (۱۱) نشان داده شده، توجه محققان را به خود جلب کرده است. همان طور که در این شکل مشخص است ورودی این مبدل منبع ولتاژ و خروجی آن منبع جریان می‌باشد. بنابراین فیلتر ورودی آن خازنی و فیلتر خروجی و یا بار آن سلفی می‌باشد. مبدل ماتریسی به علت نداشتن عنصر ذخیره کننده انرژی که موجب کاهش حجم این مبدل و بالا رفتن قابلیت اطمینان آن در مقایسه با مبدل Back to Back می‌شود، محبوبیت خاصی پیدا کرده است. همچنین تلفات این مبدل به علت قرار گرفتن تعداد سوییچ کمتری، در هر پریود سویچینگ در مسیر جریان، از مبدل Back to Back کمتر می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی ادوات الکترونیک قدرت، هزینه ساخت این مبدل، که تعداد سوییچ نسبتاً زیادی دارد، در مقایسه با مبدل Back to Back که خازن لینک DC آن حجیم و پرهزینه است، توجیه اقتصادی خواهد یافت.

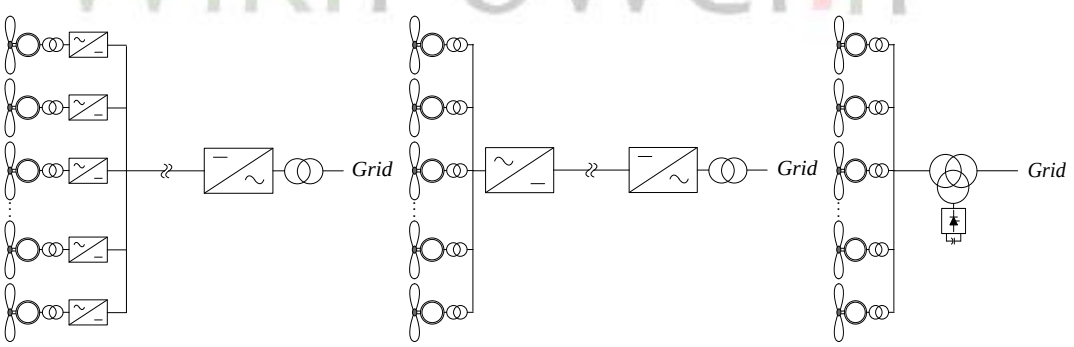


شکل ۱۱: شمای یک مبدل ماتریسی

علی رغم مزایای زیاد این مبدل معایب آن موجب شده است که استفاده از این مبدل تا کنون گسترش چندانی نیابد. از جمله معایب این مبدل به مواردی چون محدود بودن بهره ولتاژ به 0.866، محدود شدن ضریب توان منبع توسط ضریب توان بار، کنترل پیچیده، سوییچ زنی چهار مرحله‌ای و تعداد سوییچ زیاد می‌توان اشاره کرد.

٤-١-٢) مبدل‌های مورد استفاده برای مزارع باد

توان خروجی ژنراتورهای بادی به علت نامعین و نوسانی بودن سرعت باد به شدت نوسانی است و موجب بروز مشکلاتی همچون فلیکر و نوسانات ولتاژ و همچنین نوسانات توان و فرکانس شبکه می‌شود. به منظور کاهش نوسانات توان معمولاً نیروگاه‌های بادی به صورت مزارع بادی و به دلیل یکنواختی بیشتر جریان باد در دریا، در درون دریا و در فواصل دور از ساحل نصب می‌شوند. برای اتصال به مزارع باد درون دریا به دلیل عدم امکان انتقال توان توسط کابل‌های زیر دریا به صورت AC در فواصل دور معمولاً از انتقال HVDC استفاده می‌شود. شکل (۱۲) انواع روش‌های اتصال مزارع باد به شبکه را نشان می‌دهد .



شکل ۱۲: روش‌های اتصال مزارع باد به شبکه

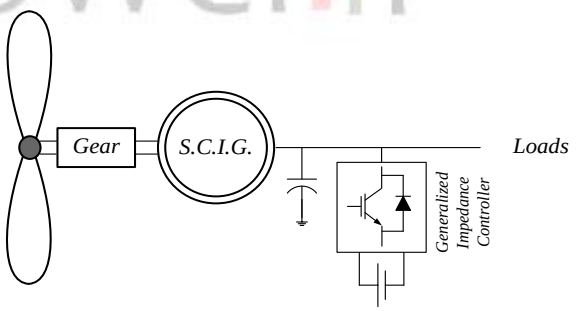
هر کدام از مبدل‌های AC/DC در شکل فوق می‌توانند از نوع منبع جریان و یا منبع ولتاژ باشند.

٤-١-٣) مبدل‌های مورد استفاده برای ژنراتورهای بادی خودگردان

ژنراتورهای بادی خودگردان به منظور تأمین توان مورد نیاز بارهای محلی دور از شبکه قدرت، که امکان اتصال آن‌ها به شبکه قدرت وجود نداشته و یا بسیار پر هزینه می‌باشد، به کار می-روند. ژنراتورهای القایی روتور قفسه سنجابی و سیم پیچی شده و ژنراتورهای سنکرون به صورت خود گردان نیز به کار برده می‌شوند. اما به دلیل ماهیت نوسانی و نامعین بودن انرژی باد به منظور کنترل و تثبیت توان و در نتیجه کنترل فرکانس بار باید همراه با عناصر ذخیره کننده انرژی همچون باتری، چرخ طیار و ... و یا با یک منبع توان قابل کنترل مثل یک دیزل ژنراتور استفاده شوند.

در صورتی که ژنراتور بادی از نوع القایی باشد، مطابق شکل (۱۳)، جهت راه اندازی و تحریک سیستم و همچنین تأمین توان راکتیو ماشین از خازن در خروجی ژنراتور استفاده می-شود. همچنین جهت تنظیم فرکانس (جریان حقیقی) و ولتاژ (جریان راکتیو) خروجی ژنراتور از یک اینورتر منبع ولتاژ که توسط باتری و یا چرخ طیار تغذیه می‌شود و کنترل کننده عمومی امپدانس[1] نامیده شده است، استفاده می‌شود.

WikiPower.ir



شکل ۱۳: نحوه اتصال ژنراتورهای بادی خودگردان به بار

٤-٢) مدل سازی ژنراتورهای بادی :

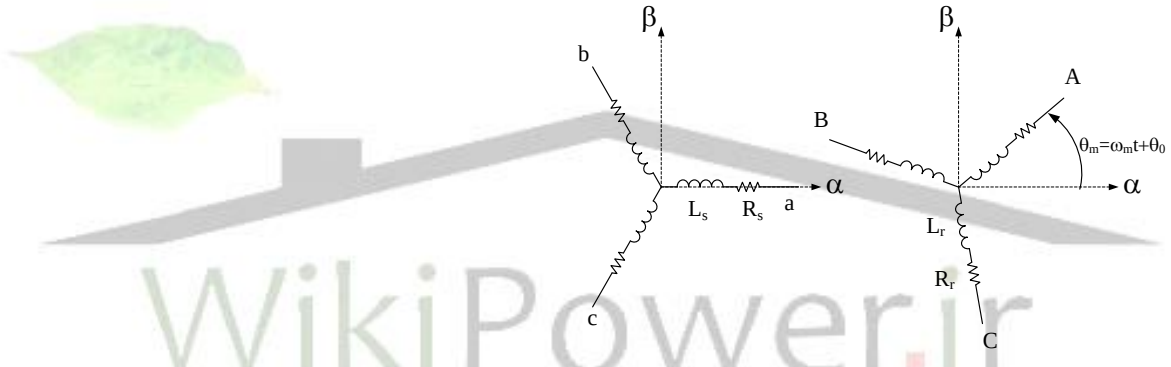
[1] Generalized Impedance Controller

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

به منظور شرح و بررسی خواص و روش‌های کنترل ژنراتورهای بادی نیاز به مدل سازی این ژنراتورها می‌باشد. بدین منظور در این بخش ابتدا به مدل سازی ماشین القایی روتور سیم پیچی شده، که به نوعی شکل تعمیم یافته ژنراتورهای القایی روتور قفسه سنجابی و سنکرون نیز می-باشد، پرداخته شده سپس از روی مدل این ماشین کامل، مدل ماشین القایی روتور قفسه سنجابی و سنکرون بدست آورده شده است.

٤-٢-١) مدل برداری ماشین القایی با روتور سیم پیچی شده

شکل (۱۴) شمای کلی سیم پیچی‌های روتور و استاتور یک ماشین القایی با روتور سیم پیچی شده نسبت به دستگاه ساکن استاتور را نشان می‌دهد.



شکل ١٤: شمای کلی سیم پیچی‌های روتور و استاتور یک ماشین القایی با روتور سیم پیچی شده

معادلات جریان و ولتاژ برای هر یک از سیم پیچی‌های روتور و استاتور به صورت ارایه شده در رابطه (۴) میباشد.

$$
\begin{aligned}
v_{as} &= R_s i_{sa} + \frac{d\psi_{as}}{dt} \\
v_{bs} &= R_s i_{bs} + \frac{d\psi_{bs}}{dt} \\
v_{cs} &= R_s i_{cs} + \frac{d\psi_{cs}}{dt} \\
v_{ar} &= R_r i_{ar} + \frac{d\psi_{ar}}{dt} \\
v_{br} &= R_r i_{br} + \frac{d\psi_{br}}{dt} \\
v_{cr} &= R_r i_{cr} + \frac{d\psi_{cr}}{dt}
\end{aligned}
\qquad (۴)
$$

در صورتی که با فرض صفر بودن مؤلفه توالی صفر، تمام کمیت‌ها را با استفاده از تبدیل رابطه (۵) به صورت بردار فضایی بیان کنیم به صورت رابطه (۶) ساده می‌شوند.

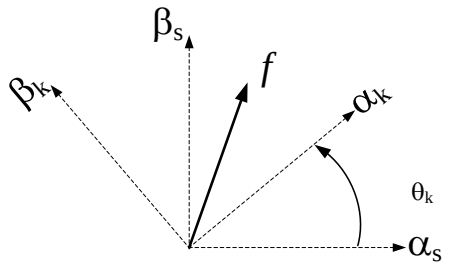
$$f_{\alpha\beta} = f_\alpha + jf_\beta = \frac{2}{3}\left(f_a + e^{j\frac{2\pi}{3}} f_b + e^{-j\frac{2\pi}{3}} f_c\right) \qquad (۵)$$

$$
\begin{aligned}
\vec{v}^{\,s}_{s,\alpha\beta} &= R_s \vec{i}^{\,s}_{s,\alpha\beta} + \frac{d\vec{\psi}^{\,s}_{s,\alpha\beta}}{dt} \\
\vec{v}^{\,r}_{r,\alpha\beta} &= R_r \vec{i}^{\,r}_{r,\alpha\beta} + \frac{d\vec{\psi}^{\,r}_{r,\alpha\beta}}{dt}
\end{aligned}
\qquad (۶)
$$

با صرف نظر از تلفات مغناطیسی می‌توان نوشت:

$$\begin{bmatrix} \vec{\psi}^{\,s}_s \\ \vec{\psi}^{\,s}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & L_m \\ L_m & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{i}^{\,s}_s \\ \vec{i}^{\,s}_r \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

در روابط فوق مؤلفه روتور بردار f در دستگاه استاتور می‌باشد. برای انتقال مؤلفه جریان و ولتاژ روتور از دستگاه استاتور (s) به دستگاه دلخواه (k) با توجه به شکل (۱۵) میتوان نوشت:



شکل ۱۵: انتقال بردار f از دستگاه ساکن استاتور به دستگاه k

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$f^k = f^s e^{-j\theta_k}$$
$$f^s = f^k e^{j\theta_k} \qquad (۸)$$

در صورتی که معادلات جریان و ولتاژ روتور و استاتور را به دستگاه دوّار با سرعت ω_k منتقل کنیم به صورت رابطه (۹) می‌شود.

$$\vec{v}_s^k = R_s\vec{i}_s^k + j\omega_k\vec{\psi}_s^k + \frac{d\vec{\psi}_s^k}{dt}$$
$$\vec{v}_r^k = R_r\vec{i}_r^k + j(\omega_k-\omega_m)\vec{\psi}_r^k + \frac{d\vec{\psi}_r^k}{dt}$$
$$\begin{bmatrix}\vec{\psi}_s^k\\ \vec{\psi}_r^k\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}L_s & L_m\\ L_m & L_r\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\vec{i}_s^k\\ \vec{i}_r^k\end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix}\vec{i}_s^k\\ \vec{i}_r^k\end{bmatrix} = \frac{1}{\sigma L_r L_s}\begin{bmatrix}L_r & -L_m\\ -L_m & L_s\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\vec{\psi}_s^k\\ \vec{\psi}_r^k\end{bmatrix} \qquad (۹)$$
$$\sigma = 1-\frac{L_m^2}{L_s L_r}$$

معادلات توان‌های خروجی استاتور و روتور و همچنین گشتاور الکتریکی نیز از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند.

$$p_s = \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{\vec{v}_s^k\vec{i}_s^{k*}\right\}$$
$$p_r = \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{\vec{v}_r^k\vec{i}_r^{k*}\right\} \qquad (۱۰)$$

با جایگزینی ولتاژهای روتور و استاتور از رابطه (۹) در دستگاه سنکرون می توان نوشت:

$$p_s = \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{(R_s\vec{i}_s + j\omega_s\vec{\psi}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt})\vec{i}_s^*\right\} = \frac{3}{2}R_s|\vec{i}_s|^2 + \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{j\omega_s\vec{\psi}_s\vec{i}_s^*\right\} + \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{\frac{d\vec{\psi}_s}{dt}\vec{i}_s^*\right\}$$
$$p_r = \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{(R_r\vec{i}_r + j\underbrace{(\omega_s-\omega_m)}_{\omega_r}\vec{\psi}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt})\vec{i}_r^*\right\} + \frac{3}{2}R_r|\vec{i}_r|^2 + \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{j\omega_r\vec{\psi}_r\vec{i}_r^*\right\} + \frac{3}{2}\mathrm{Re}\left\{\frac{d\vec{\psi}_r}{dt}\vec{i}_r^*\right\} \qquad (۱۱)$$

در روابط فوق ترم اول مربوط به تلفات اهمی روتور و استاتور و ترم سوم نیز مربوط به تغییرات انرژی مغناطیسی ذخیره شده در سیم پیچی‌های روتور و استاتور می‌باشد. ترم دوم در دو رابطه فوق مربوط به توان مکانیکی ماشین می‌باشد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$p_{mech} = -\frac{3}{2}\mathrm{Im}\left\{\omega_s\vec{\psi}_s\vec{i}_s^* + \omega_r\vec{\psi}_r\vec{i}_r^*\right\} \qquad (۱۲)$$

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اگر از رابطه (۹) شارهای مغناطیسی را بر حسب جریان‌های روتور و استاتور در رابطه (۱۲) جایگزین کنیم این رابطه به صورت رابطه زیر ساده می‌شود:

$$p_{mech} = -\frac{3}{2}\mathrm{Im}\left\{\omega_s L_m \vec{i}_r \vec{i}_s^{\,*} + \omega_r L_m \vec{i}_s \vec{i}_r^{\,*}\right\} = -\frac{3}{2} L_m \mathrm{Im}\left\{\omega_m \vec{i}_r \vec{i}_s^{\,*}\right\} \quad (۱۳)$$

از این رابطه می‌توان گشتاور الکتریکی ماشین را که در رابطه (۱۴) ارایه شده است استخراج نمود.

$$T_e = -\frac{3}{2} n_p L_m \mathrm{Im}\left\{\vec{i}_r \vec{i}_s^{\,*}\right\} = -\frac{3}{2} n_p L_m \vec{i}_s \times \vec{i}_r \quad (۱۴)$$

این رابطه که در آن n_pتعداد زوج قطب ماشین می‌باشد برای هر دستگاه دلخواهی صادق است و آن را به فرم‌های زیر نیز می‌توان نوشت:

$$T_e = \begin{cases} \frac{3}{2} n_p L_m \mathrm{Im}\left\{\vec{i}_s \vec{i}_r^{\,*}\right\} = \frac{3}{2} n_p \frac{L_m}{L_s} \mathrm{Im}\left\{\vec{\psi}_s \vec{i}_r^{\,*}\right\} = \frac{3}{2} n_p \frac{L_m}{L_r} \mathrm{Im}\left\{\vec{\psi}_r^{\,*} \vec{i}_s\right\} \\ \frac{3}{2} n_p \mathrm{Im}\left\{\vec{\psi}_r \vec{i}_r^{\,*}\right\} = \frac{3}{2} n_p \mathrm{Im}\left\{\vec{\psi}_s^{\,*} \vec{i}_s\right\} \end{cases} \quad (۱۵)$$

معادلات فوق به علاوه معادله مکانیکی ماشین که در رابطه (۱۶) آورده شده مدل کامل ماشین القایی را توصیف می‌کنند.

$$T_m - T_e = j\frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (۱۶)$$

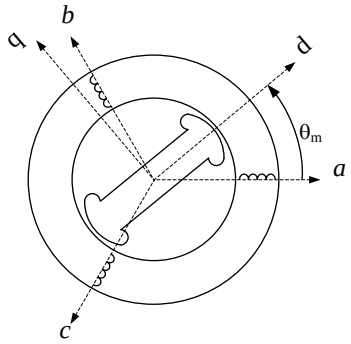
در صورتی که روتور در معادلات اتصال کوتاه فرض شود و در نتیجه ولتاژ ترمینال روتور برابر صفر جایگزین شود، معادلات ماشین القایی با روتور قفسه سنجابی حاصل می‌شود.

٤-۲-۲) مدل ماشین سنکرون مغناطیس دایم

ماشین‌های سنکرون چه از نوع روتور سیم پیچی شده و چه از نوع مغناطیس دایم به دو دسته قطب صاف و قطب برجسته تقسیم می‌شوند. در این بخش مدل ماشین سنکرون مغناطیس دایم قطب برجسته بدست آمده سپس از روی آن، مدل ماشین قطب صاف نیز محاسبه شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل زیر شمای یک ماشین سنکرون مغناطیس دایم قطب برجسته را در حالت کلی نشان می-دهد.



شکل ۱۶: شمای یک ماشین سنکرون مغناطیس دایم قطب برجسته

در این شکل محور d در راستای شار روتور بوده و محور q، 90^o از آن جلوتر می‌باشد. برای نوشتن معادلات روتور مشابه رابطه (۴) برای هر فاز استاتور می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} v_{as} &= R_s i_{sa} + \frac{d\psi_{as}}{dt} \\ v_{bs} &= R_s i_{bs} + \frac{d\psi_{bs}}{dt} \\ v_{cs} &= R_s i_{cs} + \frac{d\psi_{cs}}{dt} \end{aligned} \qquad (۱۷)$$

رابطه زیر معادلات فوق را به صورت بردار فضایی نمایش می‌دهد.

$$\begin{aligned} \vec{v}_{s,\alpha\beta} &= R_s \vec{i}_{s,\alpha\beta} + \frac{d\vec{\psi}_{s,\alpha\beta}}{dt} \\ \vec{\psi}_{s,\alpha\beta} &= L_1 \vec{i}_{s,\alpha\beta} + L_2 e^{j2\theta_m} \vec{i}^{\,*}_{s,\alpha\beta} + \psi_{PM} e^{j\theta_m} \end{aligned} \qquad (۱۸)$$

با انتقال این معادلات به دستگاه روتور به صورت زیر ساده می‌شوند:

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\vec{v}_{s,dq} = R_s\vec{i}_{s,dq} + j\omega_s\vec{\psi}_{s,dq} + \frac{d\vec{\psi}_{s,dq}}{dt}$$

$$\vec{\psi}_{s,dq} = L_1\vec{i}_{s,dq} + L_2\vec{i}^{*}_{s,dq} + \psi_{PM} = (L_d i_{sd} + \psi_{PM}) + jL_q i_{sq}, \begin{cases} L_d = L_1 + L_2 \\ L_q = L_1 - L_2 \end{cases} \quad (۱۹)$$

$$\begin{cases} i_{sd} = \dfrac{\psi_{sd} - \psi_{PM}}{L_d} \\ i_{sq} = \dfrac{\psi_{sq}}{L_q} \end{cases}$$

معادلات گشتاور نیز مشابه رابطه (۱۵) می‌باشند با این تفاوت که در اینجا دیگر جریان روتور معنی ندارد. بنابراین این معادلات را به صورت رابطه (۲۰) می‌توان بازنویسی کرد.

$$T_e = \frac{3}{2}n_p \operatorname{Im}\{\vec{\psi}_s^{*}\vec{i}_s\} = \frac{3}{2}n_p(\psi_{sd}i_{sq} - \psi_{sq}i_{sd}) = \frac{3}{2}n_p(\psi_{PM}i_{sq} + (L_d - L_q)i_{sd}i_{sq}) \quad (۲۰)$$

در رابطه فوق ترم دوم مربوط به گشتاور رلوکتانسی بوده و در ماشین قطب صاف به دلیل برابر بودن L_d و L_q حذف می‌شود. معادلات ماشین قطب صاف نیز مشابه معادلات ماشین قطب برجسته می‌باشد، با این تفاوت که به علت یکنواخت بودن فاصله هوایی، L_d و L_q با یکدیگر برابرند. معادله مکانیکی ماشین نیز مشابه رابطه (۱۶) می‌باشد.

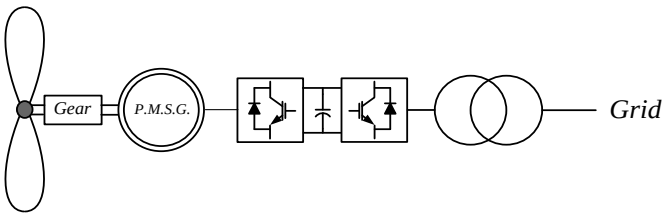
٤-۳) کنترل ژنراتورهای بادی سرعت متغیر

در این بخش نحوه کنترل ژنراتورهای بادی سرعت متغیر، برای ژنراتور سنکرون مغناطیس دایم (قطب صاف) و ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده، به صورت کلی شرح داده شده است. از آنجا که هدف کنترل مبدل AC/AC برآوردن نیازهای شبکه و ژنراتور می‌باشد، نوع مبدل در شرح نحوه کنترل این نیازها تأثیر چندانی نداشته و برای سادگی مبدل Back to Back، که به صورت صنعتی نیز از آن به وفور استفاده می‌شود، به عنوان مبدل فرکانسی در نظر گرفته شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

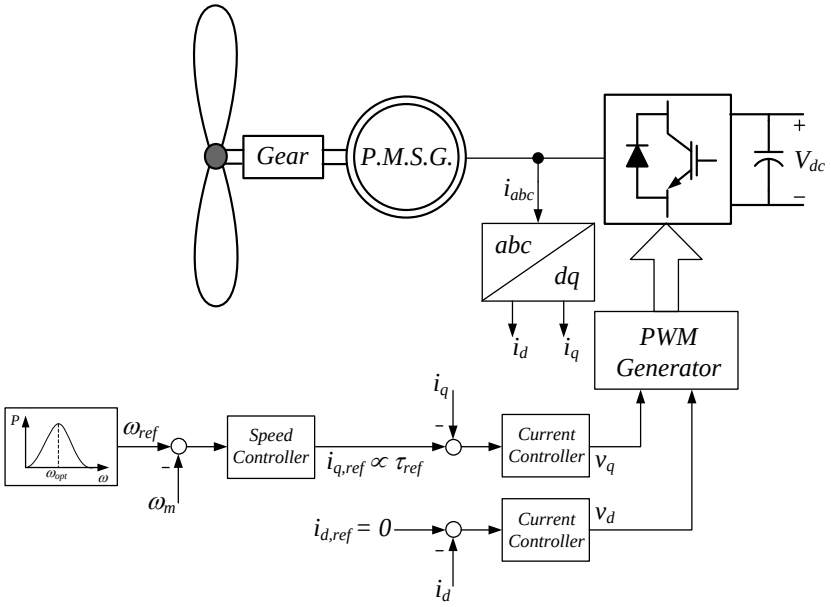
٤-٣-١) ژنراتور سنکرونمغناطیسدایم

شکل (۱۷) شمای یک ژنراتور سنکرون متصل به شبکه از طریق مبدل Back to Back را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷: ژنراتور سنکرون متصل به شبکه از طریق مبدل Back to Back

با توجه به رابطه (۲۰) گشتاور الکتریکی ماشین سنکرون تنها متناسب با i_{qs} بوده و به منظور کاهش تلفات ماشین i_{ds} معمولاً برابر صفر قرار داده می‌شود. همان طور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، ماکزیمم انرژی قابل دریافت از یک جریان باد با یک سرعت مشخص، تنها به ازای یک λ_{opt} قابل حصول می‌باشد. بنابراین گشتاور و یا مؤلفه q جریان استاتور به نحوی کنترل می‌شود که λ برابر λ_{opt} شود. شکل (۱۸) نحوه کنترل مبدل سمت ماشین را به صورت کلی نمایش می‌دهد.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

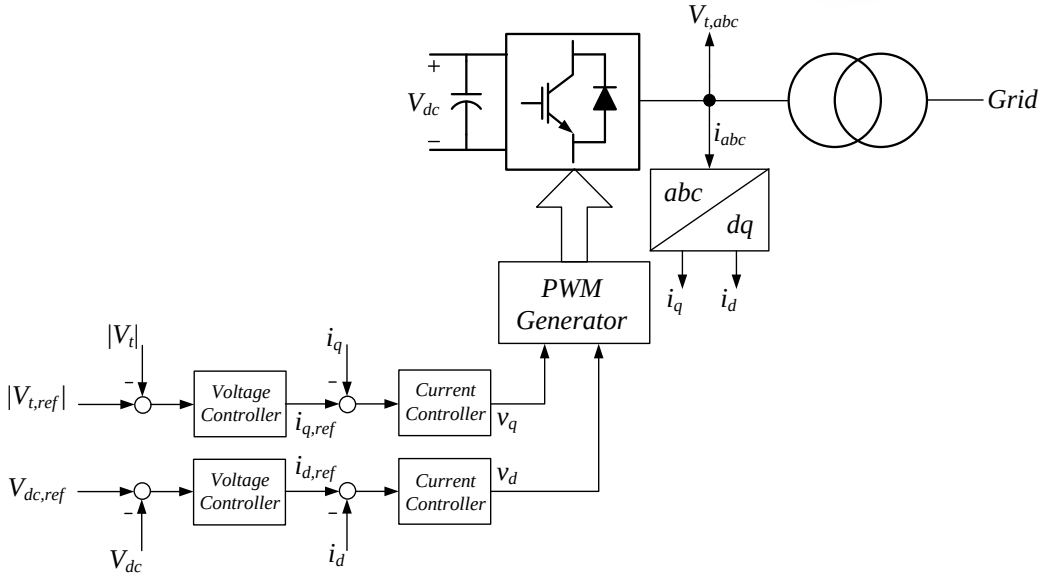
شکل ۱۸: بلوک دیگرام کنترلی مبدل سمت ماشین

توان خروجی ژنراتور توسط مبدل سمت ماشین به جریان DC تبدیل شده و موجب افزایش ولتاژ خازن می‌شود. بنابراین مبدل سمت شبکه جهت انتقال توان خروجی ژنراتور به شبکه از ولتاژ خازن لینک DC فیدبک گرفته و مؤلفه d جریان مبدل سمت شبکه را که هم راستا با ولتاژ شبکه می‌باشد، کنترل می‌کند. از طرف دیگر می‌توان طبق رابطه (۲۱) نشان داد که در صورتی که مقاومت امپدانس اتصال کوتاه شبکه در مقابل اندوکتانس آن خیلی کوچک باشد، دامنه ولتاژ شبکه متناسب با توان راکتیو تزریقی به شبکه و یا مؤلفه q جریان مبدل سمت شبکه می‌باشد.

$$V_t \approx E(1-\frac{Q_i}{S_{sc}}) = E(1-\frac{V_t}{S_{sc}} i_{qs}) \qquad (۲۱)$$

بنابراین جهت کنترل دامنه ولتاژ مبدل سمت شبکه می‌توان جریان راکتیو تزریقی به شبکه را کنترل نمود. شکل (۱۹) بلوک دیاگرام کنترل مبدل سمت شبکه را به صورت کلی نمایش می‌دهد.

WikiPower.ir

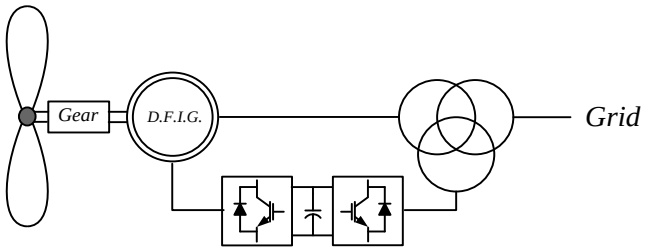


شکل ۱۹: بلوک دیگرام کنترلی مبدل سمت شبکه

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

٤-٣-٢) ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده

شکل (۲۰) شمای یک ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده متصل به شبکه را نشان میدهد که روتور آن از طریق یک مبدل Back to Back تغذیه می‌شود.



شکل ۲۰: ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه همراه با مبدل Back to Back

در این سیستم نیز کنترل مبدل سمت شبکه دقیقاً مشابه کنترل مبدل سمت شبکه ژنراتور سنکرون می‌باشد با این تفاوت که عمده نیاز توان راکتیو شبکه از طریق استاتور ژنراتور تأمین شده و توسط مبدل روتور کنترل می‌شود. البته ظرفیت آزاد مبدل سمت شبکه نیز می‌تواند در جبران توان راکتیو شبکه به کار گرفته شود.

به منظور کنترل گشتاور و توان راکتیو این ژنراتور رابطه (۱۵) را می‌توان به شکل زیر باز نویسی کرد:

$$T_e = \frac{3}{2} n_p \frac{L_m}{L_s} \mathrm{Im}\{\vec{\psi}_s \vec{i}_r^{\,*}\} = \frac{3}{2} n_p \mathrm{Im}\left\{\left(L_m(\vec{i}_s + \vec{i}_r) - \frac{L_m L_{ls} \vec{i}_r}{L_s}\right)\vec{i}_r^{\,*}\right\} = \frac{3}{2} n_p \mathrm{Im}\{\vec{\psi}_m \vec{i}_r^{\,*}\} \qquad (۲۲)$$

$$\vec{\psi}_m = L_m(\vec{i}_s + \vec{i}_r)$$

در رابطه فوق $\vec{\psi}_m$ شار فاصله هوایی می‌باشد. اگر مطابق شکل (۲۶) دستگاه سنکرون به نحوی انتخاب شود که شار فاصله هوایی همواره در راستای محور افقی آن قرار گیرد، با توجه به رابطه (۲۲) می‌توان رابطه (۲۳) را نتیجه گرفت.

$$\vec{\psi}_m = \psi_d + j\psi_q = L_m(i_{sd} + i_{rd}) + jL_m(i_{sq} + i_{rq})$$
$$\psi_q = 0 \Rightarrow \begin{cases} i_{sq} = -i_{rq} \\ T_e = -\frac{3}{2} n_p \psi_d i_{rq} = -\frac{3}{2} n_p \psi_m i_{rq} \end{cases} \quad (۲۳)$$

از طرفی دیگر، اگر از مقاومت و اندوکتانس نشتی استاتور صرف نظر شود، رابطه (۹) را با رابطه (۲۴) می‌توان تقریب زد.

$$\vec{v}_s \approx j\omega_s \vec{\psi}_m + \frac{d\vec{\psi}_m}{dt} \Rightarrow \begin{cases} v_{sd} \approx 0 \\ v_{sq} \approx -\omega_s \psi_m \end{cases} \quad (۲۴)$$

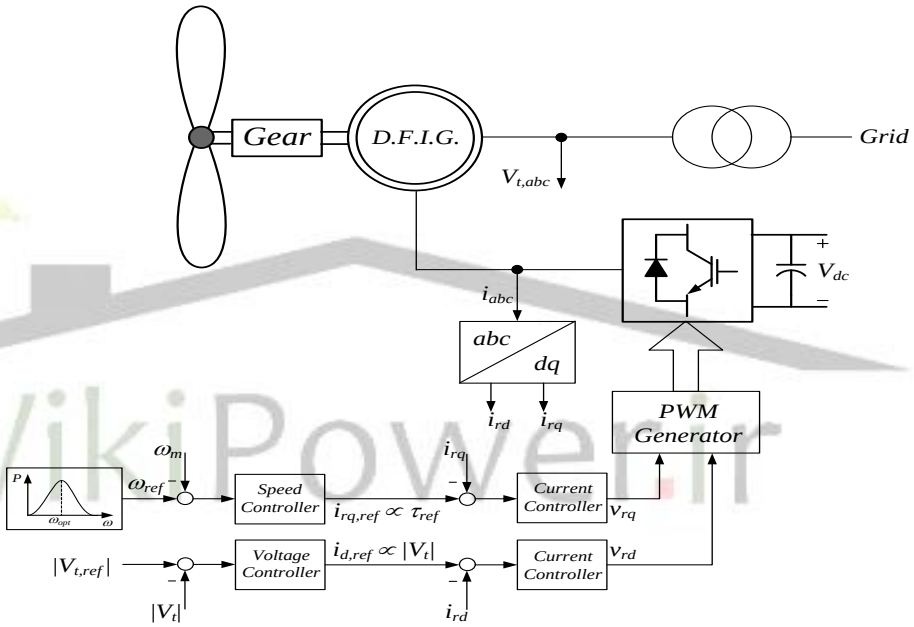
بنابراین می‌توان گفت که اولاً ولتاژ استاتور در راستای محور عمودی قرار می‌گیرد و ثانیاً به دلیل ثابت بودن ولتاژ استاتور در ژنراتور القایی روتور سیم پیچی شده، با توجه به رابطه فوق شار فاصله هوایی نیز تقریباً ثابت می‌باشد. بنابراین از رابطه (۲۳) می‌توان نتیجه گرفت:

$$\psi_m = L_m(i_{sd} + i_{rd}) \approx Cte \Rightarrow i_{sd} \approx \frac{\psi_m}{L_m} - i_{rd} \quad (۲۵)$$

اگر از روابط فوق توان حقیقی و راکتیو خروجی استاتور ژنراتور را بنویسیم به صورت زیر می‌شود:

$$\begin{cases} p_s = v_{sd} i_{sd} + v_{sq} i_{sq} \approx \omega_s \psi_m i_{rq} \\ q_s = v_{sq} i_{sd} - v_{sd} i_{sq} \approx (i_{rd} - \frac{\psi_m}{L_m})\omega_s \psi_m = \omega_s \psi_m i_{rd} - \omega_s \frac{\psi_m^2}{L_m} \end{cases} \quad (۲۶)$$
$$\psi_m = L_m(i_{sd} + i_{rd}) \approx Cte \Rightarrow i_{sd} \approx \frac{\psi_m}{L_m} - i_{rd}$$

با توجه به این رابطه و رابطه (۲۳)، با کنترل مؤلفه عمودی جریان روتور می‌توان گشتاور الکتریکی و در نتیجه توان خروجی استاتور و با کنترل مؤلفه افقی جریان روتور می‌توان توان راکتیو خروجی استاتور را کنترل کرد. همچنین همان طور که مشاهده می‌شود، توان راکتیو خروجی از یک ترم ثابت نیز تشکیل شده است که در واقع توان راکتیو جریان مغناطیس کننده ماشین می‌باشد. شکل (۲۰) بلوک دیاگرام کنترل مبدل سمت روتور را، برای ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه، به صورت کلی نمایش می‌دهد.



شکل ۲۰: بلوک دیگرام کنترلی مبدل سمت روتور برای ژنراتور القایی دو سو تغذیه

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵) انتخاب مولد مناسب

در فصول گذشته مهمترین مولدهایی که در سیستم سنکرون و آسنکرون قابلیت کار داشتندمورد بررسی قرار گرفتند که در تحلیل بررسی‌های انجام شده می‌توان مولدهایی که کارایی مطلوبی با توجه به الزامات یک نیروگاه بادی ارائه می‌نماید انتخاب نمود.

همانطور که اشاره شد، در نیروگاه بادی انرژی روند ورودی ثابتی نداشته و وابسته به تغییرات سرعت باد می‌باشد. تنظیم کردن این تغییرات به صورتی که بهترین کوپل ورودی را برای مولدهای بادی فراهم نماید با سیستم‌هایی نظیر تغییر گام پره، سیستم جعبه دنده و... انجام می‌گیرد. بعضی از مولدها این تغییرات را به طریق دیگر جبران می‌کنند مانند مولد dc که با استفاده از مجموعه باتری واینورتر قدرت ac را تولید می‌کنند.

بنابراین برای اینکه بتوان در تغییرات سرعت باد قدرت مطلوبی را به عنوان خروجی نیروگاه فراهم آورد باید سیستم‌ها را نیز به مولد ضمیمه نمود که هر چه اجزای این سیستم افزایش یابد فاکتور هزینه، ضریب بزرگتری خواهد یافت. بنابراین مولدی که به تغییرات سرعت ورودی و تنش‌های ناشی از آن حساس‌تر باشد هزینه بیشتری را به سیستم تحمیل خواهد نمود. بنابراین در انتخاب بهینه مولد نیروگاه بادی باید به نکات زیر توجه داشت:

۱- مولد ضمن سادگی باید در مقابل تنش‌های الکتریکی و مکانیکی مقاوم باشد.

۲- در محدوده‌ی وسیعتری از تغییرات قابلیت کار داشته باشد.

۳- بیشترین حد کنترل (کنترل ولتاژ و فرکانس) به عنوان قابلیتی در خود مولد وجود داشته باشد.

۴- سیستم‌های کنترل مربوطه حداقل بوده و در صورت وجود از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشند.

۵- کمترین حفاظت و نگهداری را طلب کند (با توجه به نصب مولد در ارتفاع زیاد)

با توجه به موارد فوق به بررسی اجمالی مطالب فصل‌های قبل خواهیم پرداخت.

در سیستم سنکرون، ژنراتورهای سنکرون و القایی مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به بحث‌های انجام شده نتایج نسبتا قابل قبولی از کار این مولدها در سیستم سنکرون حاصل شد. در سیستم آسنکرون مولد dc به دلیل وجود جاروبک و کموتاتور در آن که ژنراتور را آسیب‌پذیر نموده و مسایلی مانند حفاظت و نگهداری را به وجود می‌آورد و همچنین مشخصه dc آن که وجود مجموع باطری و سپس سیستم اینورتری را در تولید توان ac الزامی می‌سازد این مولد را جز در مصارف dc و آن هم در توان‌های کم توجیه نمی‌کند. ژنراتورهای مغناطیسی دائم با توجه به این عیب که فلوی قدرت راکتیو ژنراتور PM متصل به شبکه قابل تنظیم نیست آن را مساله‌دار می‌کند.

این نوع ژنراتورها در سیستم آسنکرون برای کار توربین‌های بادی کوچک طراحی می‌گردند. بارهای تحمیلی به این نوع ژنراتور با توجه به خاصیت ذکر شده نمی‌تواند از نوع راکتیو باشد. بنابراین بارهای موجود به صورت المان‌های حرارتی که در گرم کردن آب و محیط مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌باشد.

با توجه به بحث‌های انجام شده در مورد ژنراتورهای ac (سنکرون) و ژنراتورهای القایی این نوع ژنراتورها توانایی پاسخگویی به مشخصه‌های نیروگاه بادی را تا حدود زیادی دارند و مسائل موجود در آنها به حدی نیست که استفاده از آنها را ناممکن می‌سازد بلکه باید با بررسی جزئی‌تر انتخاب نهایی را از میان مولدهای فوق انجام داد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۱) مقایسه کاربرد ژنراتورهای القایی و سنکرون در نیروگاه‌های بادی

با توجه به این که سرعت باد در اوقات مختلف متفاوت می‌باشد می‌توان از ژنراتورهای القایی که قادرند در محدوده‌ی بیشتری از تغییرات سرعت روتور، توان مکانیکی را به توان الکتریکی تبدیل نمایند استفاده نمود. این ژنراتورها به دلیل داشتن سیستم تحریک، تعمیر و نگهداری ساده‌تر و همچنین تجهیزات اندازه‌گیری و حفاظتی کمتر و... دارای مزایایی نسبت به ژنراتورهای سنکرون می‌باشند. لیکن دارای این عیب هستند که به ازای تولید برق توان راکتیو جذب می‌کنند و در صورت وصل به شبکه توان راکتیوی به سایر ژنراتورهای سنکرون تحمیل می‌کنند. بدین منظور استفاده از این ژنراتورها فقط برای قدرت‌های پایین، حداکثر تا ۵ مگاوات قابل توجیه می‌باشد.

با استفاده از مدل درجه پنجم ماشین القایی که یکی از دقیق‌ترین مدلها برای بررسی رفتار گذرای ماشین القایی است نشان داده می‌شود در صورت بروز اتصال کوتاه در شبکه، ژنراتور القایی به عنوان یک منبع تولید جریان اتصال کوتاه عمل ننموده و فقط یک رفتار گذرا دارد و تحریک آن خود به خود قطع گشته و جریان به صورت سینوسی نمایی سریعا میرا می‌گردد.

در صورتی که این ژنراتورها به شبکه متصل نشده باشند و به صورت خود تحریک با استفاده از بانک‌های خازنی تحریک گردند ولتاژ و فرکانس آنها با تغییرات بار، ظرفیت خازنی و توان مکانیکی ورودی تغییر نموده و یک مقدار ثابتی نمی‌باشد.

۵-۲) مقایسه بعضی مشخصات ژنراتور سنکرون و آسنکرون

هر دو نوع ژنراتور سنکرون و آسنکرون در نیروگاه بادی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. قبل از انتخاب نوع ژنراتور، مطالعه عملکرد ژنراتور و وضعیت شبکه قدرت الکتریکی که ژنراتور به آن وصل خواهد شد ضروری است.

بعضی از مشخصات هر کدام از ژنراتورها در مقایسه با هم در زیر آمده است. لازم به توضیح است که در مقایسه موردنظر ژنراتور آسنکرون در حالتی که به شبکه سراسری وصل می‌شود مدنظر است.

از نظر ظرفیت:

ژنراتور سنکرون برای ظرفیت‌های بزرگ مناسب بوده و ژنراتور آسنکرون به علت مصرف زیاد قدرت راکتیو برای ظرفیت‌های کوچک مناسب می‌باشد.

از نظر سرعت:

هر چند ساختن ژنراتور سنکرون با ظرفیت بزرگ و سرعت بالا مشکل است ولی مسایل دیگری که ناشی از سرعت باشد ندارد. در مورد ژنراتورهای آسنکرون سرعت پایین باعث کاهش تحریک و در نتیجه ضریب قدرت پایین خواهد شد.

از نظر تحریک:

ژنراتورسنکرون برای تحریک به سیم‌پیچ‌های تحریک نیاز دارد در صورتی که ژنراتور آسنکرون به سیم‌پیچ تحریک نیاز ندارد و تحریک سیم‌پیچهای آرمیچراز شبکه‌هاست.

بهره‌برداری مستقل:

بهره‌برداری مستقل در مورد ژنراتور سنکرون ممکن بوده و در مورد ژنراتور آسنکرون بدون این که جریان تحریکی از شبکه قدرت تغذیه شود نمی‌توان قدرت تولید کرد.

تنظیم ولتاژ:

ولتاژ تولید شده ترمینال‌های ژنراتور سنکرون را می‌توان تنظیم نمود. اما در ژنراتور آسنکرون ولتاژ همیشه در همان سطح سیستم قدرت باقی می‌ماند.

کنترل ضریب قدرت:

در ژنراتور آسنکرون ضریب قدرت‌های پیش فاز و پس فاز را میتوان تنظیم کرد. توان راکتیو را نیز می‌توان تنظیم نمود. ژنراتور آسنکرون فقط با ضریب قدرت پس فاز کار می‌کند و برای اصلاح ضریب قدرت وجود یک کندانسور ضروری است.

WikiPower.ir

موازی کردن با شبکه قدرت الکتریکی:

در مورد ژنراتور سنکرون کنترل پیچیده است و برای موازی کردن احتیاج به تنظیم ولتاژ و فرکانس و فاز می‌باشد و در مورد ژنراتور آسنکرون کنترل آسانتر می‌باشد. بخاطر اینکه موازی کردن صرفا در حدود سرعت سنکرون انجام می‌شود.

ضربه در برخورد با شبکه قدرت الکتریکی در هنگام موازی کردن:

برای ژنراتور سنکرون تقیربا به هیچ وجه وجود ندارد اما ژنراتور آسنکرون به علت عدم تولید ولتاژ قبل از اتصال به شبکه همزمان به وصل به شبکه جریان‌های اضافی در آن جاری می‌شود ودراین هنگام لازم است بطورکامل اثر افت در شبکه در نظر گرفته شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از نظر ساختمان روتو:

ساختمان روتو ژنراتورهای سنکرون به علت احتیاج به اکسایتر و قطب میدان پیچیده می‌باشد و در ژنراتورهای آسنکرون بخاطر قفسی بودن ساده و محکم می‌باشد.

نگهداری و تعمیرات:

در مولد سنکرون برای تجهیزات میدان تحریک و سیستم کنترل نگهداری و تعمیرات اضافه‌تری در مورد آسنکرون نگهداری و تعمیرات بخاطر ساختمان ساده و نداشتن اکسایتر می‌باشد.

WikiPower.ir

هزینه:

ژنراتور سنکرون بالاتر از ژنراتور آسنکرون می‌باشد البته نکته حائز اهمیت این است که ماشینهای آسنکرون سرعت پایین، گران هستند.

ضریب قدرت:

ضریب قدرت استاندارد برای ژنراتور سنکرون ۹۰٪ پیش فاز می‌باشد و برای ژنراتور القاییاصولا بوسیله بار تعیین می‌شود و در توان خروجی نامی تقریبا ۷۵٪ تا ۹۰٪ پس فاز می‌باشد.

برآورد هزینه مولد آسنکرون در مقایسه با مولد سنکرون:

استفاده از ژنراتورهای القایی در کاهش هزینه تجهیزات مکانیکی و الکتریکی یک نیروگاه موثر است. گاورنر و سیستم تحریک حذف می‌شود، ژنراتور ساده و ارزان‌تر است و کنترل کننده‌های الکتریکی کاهش می‌یابند، برای برآورد مقدار کاهش هزینه‌ها ابتدا هزینه جزء به جزء هز یک از دستگاه‌ها محاسبه شده و درصد قیمت آنها نسبت به کل هزینه معلوم می گردد. با میانگین گرفتن از سه نیروگاه که اطلاعات هزینه‌ای آنها در اختیار می‌باشد حد متوسط این کاهش هزینه بدست می‌آید.

(در این نیروگاه‌ها ژنراتور سنکرون به کار رفته است) جدول (۵-۱) قیمت تجهیزات و درصد قیمت آنرا نسبت به تجهیزات مکانیکی و الکتریکی نشان می‌دهد. ستون مربوط به ظرفیت مربوط به کل تولید نیروگاه به کیلو وات بوده و نیروگاه‌های ۱ و ۲ دارای سه واحد ۲۵۰ کیلو ۵که ناشی از حذف قسمت گاورنر و تحریک در استفاده از ژنراتور آسنکرون حاصل می‌آید میزان صرفه‌جویی اقتصادی تقریبی را بدست خواهیم آورد.

WikiPower.ir

	نیروگاه ۱	نیروگاه ۲	نیروگاه ۳	متوسط
قیمت گاورنر	۱۲۰۰۰	۱۱۵۰۰	۷۰۰۰	
درصد قیمت	۴/۵	۵/۲	۸/۱	۵/۹
قیمت ژنراتور	۶۰۰۰۰	۶۸۲۰۰	۱۹۰۰۰	
درصد قیمت	۲۲/۵	۳۰/۹	۲۲/۱	۲۵/۲

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

قیمت توربین	۷۰۰۰	۹۱۶۰۰	۲۱۰۰۰	
درصد قیمت	۲۶/۵	۴۱/۵	۳۴/۴	۳۰/۸
قیمت تحریک	۱۳۰۰۰	۲۴۵۰۰	۱۵۰۰	
درصد قیمت	۴/۹	۱۱/۱	۱/۷	۵/۹
کل قیمت واحد	۲۶۶۷۰۰	۲۲۰۵۵۰	۸۶۰۰۰	
ظرفیت	۷۵۰	۷۵۰	۱۲۵	
قیمت کیلو وات	۳۵۶	۲۴۹	۶۸۸	۴۴۶
تعداد واحد	۳*۲۵۰	۳*۲۵۰	۱*۱۲۵	

جدول (۵-۱): قیمت تجهیزات به عنوان درصدی از کل قیمت نیروگاه (قیمت‌های جدول به واحد می‌باشد).

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

حال کاهش درصد قیمت را بصورت زیر بیان می‌کنیم. با توجه به این که خود ژنراتور آسنکرون نیز از نظر قیمت (۰/۵– ۰/۳) قیمت ژنراتور سنکرون را دارد. اگر این عامل را ما نیز ۰/۳ در نظر بگیریم درصد کاهش قیمت تجهیزات در استفاده از ژنراتور القایی بصورت زیر خواهد بود.

درصد کاهش قیمت ژنراتور + درصد کاهش قیمت تحریک + درصد کاهش قیمت گاورنر= درصد کاهش قیمت

۱۹/۳۶ = (۰/۳*۲۵/۲) + ۵/۹ +۵/۹ = درصد کاهش قیمت

از طرفی هزینه تجهیزات در نیروگاه ۴۰٪ - ۲۰٪ کل هزینه نیرگاه می‌باشد. اگر ما این عامل را۳۰٪ درنظر بگیریم،درصد کاهش قیمت درکل نیروگاه بصورت زیر قابل محاسبه است:

۵/۸۸٪ = ۳۰٪ * ۱۹/۳۶= درصد کاهش قیمت در کل نیروگاه

بنابراین یک نیروگاه بادی با ژنراتور آسنکرون حدودا ۵/۸۸٪ارزان‌تر از نیروگاه مشابه با ژنراتورهای سنکرون خواهد بود. به مقدار فوق کاهش هزینه نگهداری همچنین هزینه نیروی انسانی متخصص و بهره‌بردار و همچنین هزینه کنترل کننده‌ها و تعویض قطعات نیز باید اضافه شود که مقدار قابل توجهی خواهد بود.

۳-۵) مروری بر مطالعات مربوط به کاربرد ژنرتورهای القایی و سنکرون

از بین روشهای مختلفی که تا کنون برای استفاده از ژنراتورهای القایی و سنکرون در نیروگاههای بادی به کار رفته است چند مورد انتخاب شده که بشرح ذیل ارائه می‌شود.

روش اول: استفاده از ژنراتورهای القایی قفس سنجابی با تحریک خازنی در نیروگاه بادی قابلیت خوبی ایجاد می‌کند. این ژنراتورها، ارزان، محکم، ساده و بطور فراوان قابل دسترسی بوده و بدلیل نداشتن رینگ، جاروبک، کموتاتور، باطری، اینورتر و ... تعمیر و نگهداری خیلی ساده‌ای دارند. لیکن استفاده از این ژنراتورها بصورت *SEIG* بدلیل فقدان سیستم کنترل مناسب و ارزان چندان مورد استفاده قرار نگرفته است.

اتصال ژنراتورهای القایی به شبکه‌های ضعیف مشکل و خطرناک است. بخصوص زمانیکه به انتهای یک خط طویل و ضعیف متصل گردد. بدین ترتیب توصیه می‌گردد در نقاط دور از شبکه و مناطق روستایی دورا فتاده از ژنراتورهای القایی خود تحریک (*SEIG*) با سیستم کنترل مناسب استفاده شود و در صورت کشیده شدن خط انتقال به آن مناطق و یا قوی شدن شبکه آسانی می‌توان نیروگاه را به شبکه متصل نمود و به صورت *GCIG* (متصل به شبکه)مورداستفاده قرارگیرد ودرصورت هرگونه عیب در خط انتقال، نیروگاه را با استفاده از یک کلید به سادگی میتوان به وضعیت *SEIG* درآورد.

روش دوم: با توجه به اینکه ژنراتورهای القایی و سنکرون بر اساس استاندارد از لحاظ مکانیکی به گونه‌ای طراحی می‌گردند که تقریبا تا سه برابر سرعت نامی را می‌توانند تحمل نمایند، بدین ترتیب ژنراتورهای القایی و سنکرون را میتوان از این نقطه نظر با هر نوع توربین

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کوپل نمود. لیکن انتخاب یک ژنراتور مناسب برای نیروگاه‌های بادی تابع شرایط کاری مختلف و عوامل متعددی می‌باشد. بطوریکه مقایسه بین این دو ژنراتور کمک قابل توجهی به طراح جهت انتخاب نوع ژنراتور می‌نمایند.

ژنراتور القایی بدلیل این که قادر به تولید جریان تحریک نمی‌باشد بدین ترتیب هیچ‌گونه نقشی در تنظیم ولتاژ شبکه نمی‌تواند داشته باشد و تنظیم ولتاژ خروجی این ژنراتورها همواره توسط ژنراتورهای سنکرونی که با آن بطور موازی کار می‌کنند، انجام می‌گیرد. این روش استفاده از ژنراتورهای القایی و سنکرون را تحت شرایط کاری مختلف بصورت جدول زیر ارائه داده است.

a- تحت ورودی ثابت

b- تحت ورودی متغیر

c- تحت ولتاژ ثابت و بار متغیر

d - تحت بار متغیر و تولید توان راکتیو

نوع ژنراتور		GCIG					SEIG			
		a	b	c	d		a	b	c	d
القایی	بسیار عالی	*								
	خیلی مناسب	*	*							
	مناسب		*					*		
	نامناسب			*	*			*	*	*
سنکرون	مناسب	*	*	*	*		*	*	*	*

چنانکه جدول (۵-۲) نشان می دهد ژنراتور سنکرون قابلیت انعطاف مناسبی دارد لیکن تحت شرایطی ژنراتورهای القایی برتری دارند.

روش سوم: استفاده از ژنراتورهای القایی متاثر از دو عامل فنی و اقتصادی می‌باشد. مطالعات در این زمینه نشان داده است که از ژنراتورهای القایی میتوان به صورت مستقل (*SEIG*) و وصل به شبکه (*GCIG*) استفاده کرده و از نظر فنی مشکل حادی نخواهیم داشت. به طوری که تحلیل بر روی سیستم‌های (*GCIG*) با استفاده از مدار معادل معمولی ماشین القایی کاملا روشن است، آزمایشات در این زمینه نشان داده که استفاده از یک خازن که قدرت آن *Kvarpu* ۰/۳۵ باشد. باعث افزایش ضریب قدرت به حدود ۹۵٪ می‌شود و این عامل افزایش راندمان و کاهش تلفات را نیز به دنبال خواهد داشت و همچنین تحلیل بر روی سیستم‌ها *SEIG* نیز علیرغم مسائل اشباع بررسی است.

استفاده از موتورهای القایی معمولی به عنوان ژنراتور، یکی دیگر از مواردی است که در این روش مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج حاصل دلالت بر عملکرد صحیح موتورهای القایی بعنوان ژنراتور در قدرتهای کم دارد.

استفاده از موتورهای القایی به عنوان ژنراتور در سیستم‌های *GCIG* کاملا اقتصادی و مقرون به صرفه است و در سیستم *SEIG* با بررسی اقتصادی معادله ذیل می توان از این سیستم استفاده نمود.

قیمت *SEIG*= قیمت ژنراتور آسنکرون+ خازن+ سیستم کنترل

۵-۳-۱) نتیجه‌گیری کلی با ارائه یک جدول

با توجه به بحث‌هایی که در این فصل انجام شد تا حدود زیادی به انتخاب مولد بهینه نزدیک شدیم. اکنون با ارائه یک جدول شمای کلی مقایسه‌های انجام شده را به تصویر می کشیم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با مطالعه این جدول میتوان به این نتیجه رسید که اگرچه ژنراتور سنکرون تجربه خوبی در کاربردهای تولید انرژی از خود نشان داده است، اما ژنراتور آسنکرون با قیمت کم و قابلیت اطمینان بالا علی رغم مسایل موجود در جدول (۵-۳) انتخاب خوبی برای کار در نیروگاه بادی است.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نوع ماشین	جریان مستقیم	سنکرون	آسنکرون
قیمت	زیاد (۲-۱/۵)	متوسط (۱)	کم (۰/۵- ۰/۳)
قابلین اطمینان	کم	متوسط	زیاد
پایداری	مشکلی ندارد	تلفات پایداری و سنکرونیزم	تلفات پایداری
سنکرونیزم	مشکلی ندارد	نیاز به سیستم سنکرونیزاسیون دارد	حالت گذرای کلیدزنی دارد
کار موتوری	با مبدل *DC/AC* انجام پذیر است	فقط اگر سیم پیچ‌های میرا کننده داشته باشد امکانپذیر است	نیاز ب سیستم‌های راه‌اندازی دارد
توان راکتیو	با اینورتر جذب می کند	هم میتواند تولید و هم مصرف کند	فقط میتواند مصرف کند
هارمونیک زایی	با اینورتر دارد	فقط با مبدل *AC/DC/AC* دارد	فقط اگر از مبدل‌های الکترونیکی استفاده شود دارد
سرعت متغیر	مشکلی ندارد	فقط با *AC/DC/AC* امکان پذیر است	فقط با مبدلهای الکترونیکی امکان پذیر است
تغذیه بارمستقل	بااینورترکموتاسیون خود به خود امکان پذیر است.	مشکلی ندارد	با خازنهای خود تحریک امکان‌پذیر است
افزایش قدرت اتصال کوتاه	با اینورتر محدود می‌شود.	فقط با مبدل *AC/DC/AC* قابل ملاحظه است.	بدون مبدل *AC/DC/AC* قابل

			ملاحظه است

(جدول ۵-۳)

٦) طبقه بندی توربین هایبادی بر مبنای نحوه ارتباط آن ها با شبکه سراسری

توربین های بادی با توجه بهنوع ارتباط آنها با مصرف کننده وشبکه سراسری به دو دسته توربین های جدا از شبکه وتوربین های متصل به شبکه تقسیم می شوند که هر کدام در شرایط خاص و کاربردهای خاصاستفاده می شوند و در قسمت های بعد با نحوه کارکرد و کاربردهای هر یک از این سیستمها آشنا می شویم .

٦ -١)توربین های بادی جدا از شبکه

در سیستمتوربین های بادی جدا از شبکه همان طور که از نام آنها مشخص است برق تولید شده درتوربین به صورت جدا از شبکه برای تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز یک یا چند مصرفکننده استفاده می شود و در این نوع سیستم نیاز به احداث خطوط انتقال نیرو یا احداثپست های فشار قوی و فشار ضعیف نمی باشد و توان تولید شده در توربین در محل نیروگاهیا در همان حوالی مصرف می شود . کاربرد نیروگاههای بادی با توربین های مستقل ازشبکه شارژ باتری ، گرمایش آب ، تولید توان الکتریکی در نواحی دور افتاده ، تامینانرژی دستگاههای ناوبری دریائی و شیرین سازی آب می باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سیستم های شارژباتری پر مصرف ترین کاربرد سیستم نیروگاههای بادی با توربین جدا از شبکه می باشد وتوربین این سیستم ها اغلب با قطر حدود ۳ تا ۵ متر ساخته شده و توان نامی آنها اغلببین ۴۰ تا ۱۰۰۰ وات می باشد. سیستم های گرمایش آب اغلب در منازل مسکونی استفادهمیشوند و نحوه کار انها بدین صورت است که برق تولید شده در توربین بادی می تواند بهطور مستقیم به یک رادیاتور یا آب گرم کن و یا بخاری الکتریکی متصل می شود و جهتکاربردهای گرمایشی استفاده شود وهمین طور می توان از این فرآیند به صورت مشابه برایسرمایش در منازل مسکونی هم استفاده کرد.

سیستم های تامین برق مناطق دورافتاده به کمک نیروگاههای بادی با توربین جدا از شبکه بسیار مقرون به صرفه و باقابلیت اعتماد بالا می باشند و غالبا این سیستم ها دارای یک سیستم ذخیره کنندهانرژی (باتری) می باشند و مزیت این سیستم ها این است که می توان از توربین هایبادی با سایر منابع تولید انرژی مانند سلولهای فتوولتائیک و یا دیزل ژنراتورها برایتامین توان های بیشتر به صورت ترکیبی استفاده کرد.

WikiPower.ir

٦ -۲)توربین هایبادی متصل به شبکه

نیروگاههای بادی با توربین های بادی متصل به شبکه به دو دستهتقسیم بندی می شوند:

الف) توربین های بادی متصل به شبکه منفرد

ب) توربینهای بادی متصل به شبکه گروهی(مزارع بادی)

٦-۲-۱) توربین های بادیمتصل به شبکه منفرد

توربین های بادی منفرد معمولاً برای تامین بارهای الکتریکیاز نوع مسکونی ، تجاری ، صنعتی و یا کشاورزی استفاده می شوند. ظرفیت تولید انرژیالکتریکی این توربین ها در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ کیلووات می باشد و بار مصرفی معمولاً درنزدیکی محل توربین نیروگاه قرار دارد و بار مصرفی می توانند به شبکه برق سراسری وتوربین ژنراتور متصل شوند و تولید بیش از حد نیاز مصرف کننده ها را می توان به شرکتهای توزیع برق منطقه ای فروخت و در شرایطی که توربین ها قادر به تولید برق نمیباشند می توان انرژی مورد نیاز مصرف کننده ها را از شبکه سراسری دریافت کرد و نرخقبوض ماهیانه برق مشترکین از تفاوت نرخ بهای برق تولیدی و مصرفی آنهامحاسبه خواهدشد . کشورهای آمریکا ، آلمان ، دانمارک ، هلند و اسپانیا با فراهم کردن شرایط مناسببه مشترکین برق خود اجازه داده اند تا در صورت علاقه ، توربین های بادی را در تملکخود خریداری کرده و با بهره گیری از آنها برای تامین برق مصرف کننده های خود وفروشمازاد آن به شرکت های توزیع نقشی را در کمک به کاهش نرخ افزایش تقاضای مشترکین برقایفا کنند.

WikiPower.ir

۶-۲-۲) توربین های بادی متصل به شبکه گروهی (مزارع بادی)

در یک مزرعه بادی به دلیل نیاز به تولید توان الکتریکی با مقادیر بالا گروهیاز توربین های بادی را به طور متمرکز در یک منطقه نصب می کنند . امروزه مزارع بادیبا ظرفیت های تولید بیش از ۱۰۰ مگاوات احداث می شوند و ظرفیت متداول هر یک ازتوربین های موجود در یک مزرعه بادی بین ۵۰ تا ۵۰۰ کیلووات است و مقدار انرژی قابلتولید در هر مزرعه بادی به تعداد توربین ها و مشخصات توان نامی توربین ها و سرعت وتداوم وزش باد بستگی دارد.توان تولیدی در مزارع بادی معمولا توسط ترانسفورماتورهاتبدیل به ولتاژهای بالاتر شده و به سیستم های قدرت فشار متوسط تزریق می شود .

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۷) طبقه بندی توربین های بادی بر مبنای ظرفیت تولید انرژی الکتریکیآنها

توربین های بادی که برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می شوند بر مبنایظرفیت تولید انرژی به سه دسته تقسیم می شوند که عبارتست از:

۱) توربین هایکوچک بادی مستقل از شبکه.

۲) توربین های متوسط بادی مستقل از شبکه.

۳) توربین های بزرگ بادی متصل به شبکه

که در قسمت های بعد این سیستم ها را بهاختصار توضیح می دهیم.

۷-۱) توربین های کوچک بادی مستقل از شبکه

اینتوربین ها برای تامین انرژی الکتریکی مصرف کننده هایی مانند پمپ آب ، شارژ باتری ویا سیستم های گرمایش و سرمایش استفاده می شود واغلب در توان های کمتر از ۲۵ کیلوواتمورد بهره برداری قرار می گیرند و همیشه به صورت مستقل از شبکه کار می کنند . روتوراین توربین ها دارای قطر کمی بوده و از تعداد ۲ تا ۶ پره از جنس کربن و آلیاژهایآلومینیم ساخته می شود . این توربین ها اغلب فاقد جعبه دنده هستند و توربینمستقیماً به ژنراتور متصل است و در صورتی که کیفیت ولتاژ و فرکانس برق تولیدی برایمصرف کننده های مهم نباشد (مانند المنت های مقاومتی در سیستم های گرمایش) می توانبرق تولید شده در ژنراتور را مستقیماً به بار مورد نظرمتصل کرد ولی در زمانی کهمصرف کننده نیاز به ولتاژ و فرکانس ثابت و مشخصی دارد ، ابتدا ولتاژ خروجی ژنراتورتوسط سیستم یکسوساز به ولتاژ DC تبدیل شده و

سپس برای رسیدن به ولتاژ و فرکانس موردنظر از مبدل DC به AC کنترل شده استفاده می کنیم.

۷-۲) توربین های متوسطبادی مستقل از شبکه

از نیروگاههای بادی با سیستم توربین های متوسط بادی مستقل ازشبکه معمولاً در شبکه های کوچک در مناطق دور افتاده مانند روستاهای مرزی استفاده میشود و برای مناطق دور از شبکه سراسری یا مناطقی کوهستانی که امکان احداث شبکهانتقال در آن وجود ندارد و یا در مناطقی که به دلیل مشکلات زیست محیطی نمی توانینیروگاههای فسیلی را در آن جا احداث کرد استفاده می شود . ظرفیت تولید توانالکتریکی این نیروگاهها بین ۲۵ تا ۱۵۰ کیلووات می باشد و می توان در کنار توربینهای بادی از دیگر سیستم های تولید انرژی مانند سیستم های فتوولتائیک و یا دیزلژنراتور برای تولید انرژی الکتریکی استفاده کرد و مصرف کننده هایی که نیاز به برقبا کیفیت پایین دارند از توربین های بادی و مصرف کننده هایی که نیاز به انرژیالکتریکی با کیفیت ولتاژ و جریان بالا دارند را از دیزل ژنراتور یا سلول خورشیدیتغذیه کرد .

۷-۳) توربین های بزرگ بادی متصل به شبکه

توربین هایبزرگ متصل به شبکه ، در ظرفیت های ۱۵۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات در سطح جهان مورد ساخت وبهره برداری قرار گرفته و مشخصات نامی برای یک توربین ۵۰۰ کیلووات معمول در حدود ۳۷متر قطر روتور با وزن توربین در حدود ۴۸ تن ، ارتفاع برج ۳۵ متر ، و سرعت روتور ۳۰دور در دقیقه می باشد . در این نوع توربین با توجه به سرعت پایین چرخش محور توربین، نیاز به سیستم چرخ دنده برای تغییر میزان گشتاور و سرعت محور توربین ضروری است ودر این توربین ها به دلیل سنکرون شدن ژنراتور توربین با شبکه سراسری ، امکان تغییرمقادیر ولتاژ

و فرکانس وجود ندارد و نیاز به سیستم های مبدل DC به AC نمی باشد ولیبرای شرایط بحرانی افزایش دور توربین باید مکانیزمی تعبیه شود تا بتوان سرعت توربینرا کم و آن را ترمز کرد .

WikiPower.ir

بخش دوم : ادوات FACTS

مقدمه

پس از جنگ جهانی دوم پیشرفت بی سابقه فناوری منجر به رشد سریع صنایع و به طبع آن افزایش شدید تقاضای مصرف برق گردید ، به طوری که ظرفیت صنایع طی سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ ، ۱۰ برابر گردید. برای پاسخ گویی به این تقاضای عظیم ، ظرفیت تولید و خطوط انتقال افزایش یافته و سیستم های قدرت مستقل به یکدیگر متصل گردیده اند.

در دهه ۱۹۷۰ مشکلات زیادی برای صنعت برق پدید آمد. صادرات نفت در اواسط دهه ی ۱۹۷۰ قطع گردید، مخالفت عمومی با احداث نیروگاه های اتمی و توجه به محیط زیست افزایش یافت ، که این امر موجب نظارت بیشتر دولت ها و تصویب قوانین محدود کننده و در نتیجه افزایش هزینه ها گردید. در طی این سالها ضرورت استفاده از انرژی جایگزین مانند انرژی خورشیدی ، باد و زمین گرمایی مطرح شد ، به این نوع نیروگاه ها تولیدات پراکنده می گویند.

در صنایع نیز تغییرات عمده ای پدید امد ، کارخانه های بزرگ و متمرگز جای خود را به کارخانه های کوچک و پراکنده دادند. این امر همراه با تغییرات دموگرافیکی (مهاجرت مردم از مناطق سردسیر به مناطق گرمسیر) ، باعث ایجاد تغییرات جغرافیایی قابل ملاحضه ای در تقاضای مصرف برق پدید آمد.

در نتیجه بایستی خطوط انتقال و نیروگاههای جدید برای تامین برق مورد نیاز احداث می گردید ، اما شرکتهای برق به دلیل مسائل اقتصادی قادر به هماهنگ سازی نبودند. در واقع

توجه عمومی به مسائل زیست محیطی و سلامتی در جامعه و قوانین متعدد در مورد حریم ها موجب تاخیر زیادی در احداث نیروگاهها و خطوط انتقال گردید.

مشکلات جدید موجب به هم پیوستگی بیشتر سیستم های مجاور و تشکیل شبکه های سراسری گردید. از جمله دلایل این یکپارچگی را می توان به لزوم بهره برداری از بارهای پراکنده ، تغییر پیک مصرف به دلیل شرایط آب و هوایی و زمانی مختلف ، امکان استفاده از ظرفیت تولید مناطق دیگر ، تغییر قیمت سوخت و بالاخره تغییر قوانین اشاره کرد.

با این وجود ، سیستم های قدرت ، فاقد انعطاف پذیری لازم برای مواجه شدن با تغییرات تقاضای مصرف ناشی از تغییرات محیطی و اقتصادی بودند. در بعضی سیستم های به هم پیوسته ، انرژی فروخته شدهباید از محل تولید آن واقع در نقطه ای دور دست ارسال می گردید و پس از عبور از سیتم های انتقال چندین شرکت به محل مورد نظر جهت مصرف می رسید. این امر موجب عبور توان گردشی از خطوط (زیرا مقداری از توان ارسال شده متناسب ادمیتانس مسیرهای موازی خطوط انتقال در آنها جاری می شد) و در نتیجه باعث ایجاد اضافه بار و تغییرات ولتاژ و مسائل حرارتی و تلفات می گردید.

از طرفی به دلیل احتمال بالای وقوع خطا و امکان از دست رفتن توان انتقالی و در نتیجه بارگذاری سنگین خطوط ، نقطه ای که توان ارسالی به آن می رسید ، در معر خطر فروپاشی ولتاژ قرار می گرفت. بنابر این در سیستم های به هم پیوسته و در حال گسترش ، به دست آمدن حاشیه مناسب بدون تقویت سیستم انتقالی تقریبا غیر ممکن بود.

مشکلات موجود در سیستم های انتقال موجب بهره برداری نامناسب از سیستم می گردید ، راه حل سنتی برای مواجهه با این مشکلات ، تقویت شبکه انتقال از طریق احداث خطوط جذید می باشد. از طرف دیگر به دلیل مسائل اقتصادی ، حریم و مسائل زیست محیطی ، شبکه باید بر پایه ی ساختار کنونی خطوط انتقال بنا نهاده شود. از این رو موسسه تحقیقات صنعت برق آمریکا **EPRI** (*Electric Power Research Institute*) پس از سالها تحقیق و مطالعه ، در اواخر دهه

۸۰ میلادی ادوات **FACTS** را که مبتنی بر عناصر الکترونیک قدرت مباشند را به دنیا معرفی کرد.

عبارت **FACTS** به معنای بکارگیری کنترل کننده های مبتنی بر تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم های انتقال **AC** ، به منظور افزایش قابلیت انتقال توان و کنترل پذیری سیستم می باشد.

می توان گفت ادوات **FACTS** برای غلبه بر محدودیت های موجود در ساختار خطوط انتقال و نیز سهولت تبادل انرژی بین سیستم ها ، ابداع گردیده و دو هدف اصلی زیر را دنبال می کند :

الف) افزایش قابلیت انتقال توان در شبکه های انتقال

ب) انتقال توان از طریق مسیرهای مورد نظر شبکه انتقال

هدف اول به این معناست که اگر بتوان پایداری سیستم را در هنگام وقوع خطا و پس از آن از طریق کنترل بدون درنگ توان حفظ نمود ، می توان توان انتقالی خطوط را تا حد مجاز حرارتی آن افزایش داد. البته این هدف به آن معنا نیست که از خطوط ، همیشه در محدوده حرارتی آنها بهره برداری شود (زیرا تلفات انتقال زیاد و غیر قابل قبول خواهد بود) اما این امر در شرایط اضطراری ممکن است به کار گرفته شود. بنابراین با استفاده از ادوات **FACTS** می توان به جای در نظر گرفتن یک حاشیه پایداری بزرگ ، قابلیت انتقال توان را در وضعیت عادی بهره برداری سیستم به میزان قابل ملاحضه ای افزایش داد. بق مطالاعاط انجام شده این میزان در حدود ۵۰ درصد می باشد.

هدف دوم بیان می دارد که در صورت قابل کنترل بودن جریان خط (مثلا تغیر امپدانس موثر خط) می توان توان را از طریق مسیرهای دلخواه و مورد نظر عبور داده ودر نتیجه میزان عبور توان گردشی از خطوط را محدود کرد. همچنین این هدف به شکل ضمنی بیان می دارد که در صورت وقوع حادثه و خطا در سیستم ، می توان به سرعت مسیر عبور توان را تغییر داد ، به

گونه ای که عبور توان در کل سیستم انتقال به شکل مطلوبی انجام گیرد.

بدیهی است که تحقق دو هدف اشاره شده ، به طور قابل ملاحظه ای در بهره برداری از سیستم های انتقال موجود و آینده موثر خواهد بود. از طرفی تحقق دو هدف مذکور مستلزم توسعه فناوری کنترل کننده ها و جبران کننده های با توان بالا می باشد. فناوری مورد نیاز برای این مسائله در عناصر الکترونیکی ولتاژ بالا و کنترل بلادرنگ آنها نهفته است ، که در ادامه به آنها اشاره می شود.

هنگامی که تعداد مناسبی از این کنترل کننده ها و جبران کننده های سریع در سیستم قرار داده شود ، مساله هماهنگی و کنترل جامع سیستم به منظور دستیابی به حداکثر مزایای ممکن و جلوگیری از عکس العمل های نامناسب در شرایط مختلف بهره برداری سیستم ، بسیار حائز اهمیت خواهد بود. در این میان دستیابی به استراتژی کنترل بهینه سیستم و ارتباطات مخابراتی اهمیت ویژه ای خواهد داشت. بنابراین می توان تحقق کنترل بهینه ی چنین سیستمی را سومین هدف ادوات **FACTS** به شمار آورد.

WikiPower.ir

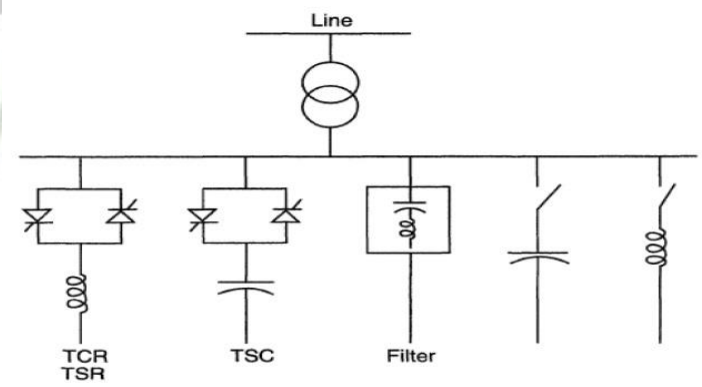
۸) معرفی ادوات FACTS

توسعه و تکامل ادوات **FACTS** منجر به پدید آمدن دو نوع فناوری مختلف در این

تجهیزات شده است . هر یک از این فناوری ها شامل گروهی از کنترل کننده های بوده که همه آنها قادر برآوردن اهداف مورد نظر می باشند. در گروه اول از امپدانس های راکتیو ، ترانسفورماتورهای تغییر دهنده تپ وکلیدهای تریستوری استفاده می شود و در گروه دوم از مبدل های استاتیکی با کموتاسیون خودی به عنوان منابع ولتاژ کنترل شده استفاده می شود.

ادوات **FACTS** مبتنی بر کلیدهای تریستوری :

در این مجموعه که شامل جبران کننده استاتیکی توان راکتیو (**SVC**) ، خازن سری کنترل شونده با تریستور (**TCSC**) ، و ترانسفورماتور جابه جا کننده فاز (**PST**) می باشد. از تریستورهای معمولی با کموتاسیون خودی (یعنی تریستورهای که توانایی ذاتی خاموش شدن را ندارند) استفاده می شود. شکل (۱) جبران کننده های **SVC** متصل به شبکه را نشان می دهد.



شکل (۱) : نماد مداری جبران کننده های **SVC**

آرایش این دسته از تجهیزات مشابه آرایش خازن ها و راکتور های قطع و وصل شونده توسط کلیدهای معمولی و ترانسفورمرهای تغییر دهنده ی تپ معمولی (مکانیکی) می باشد ، با این تفاوت که سرعت پاسخ آنها به تغییرات سیستم بسیار بیشتر بوده و دارای کنترل هوشمندتری

می باشند. مطابق رابطه ی معرف زیر که معادله ی توان عبوری از خط انتقال را نشان می دهد ، هر یک از سه پارامتری که در انتقال توان موثر است ، توسط یکی از این ادوات تغییر داده می شود. توسط **SVC** دامنه ولتاژ ، توسط **TCSC** امپدانس خط و توسط **PST** زاویه انتقال (و لتاژ) ، تغییر می کند.

$$P = \frac{V_S V_R}{X} \sin \delta$$

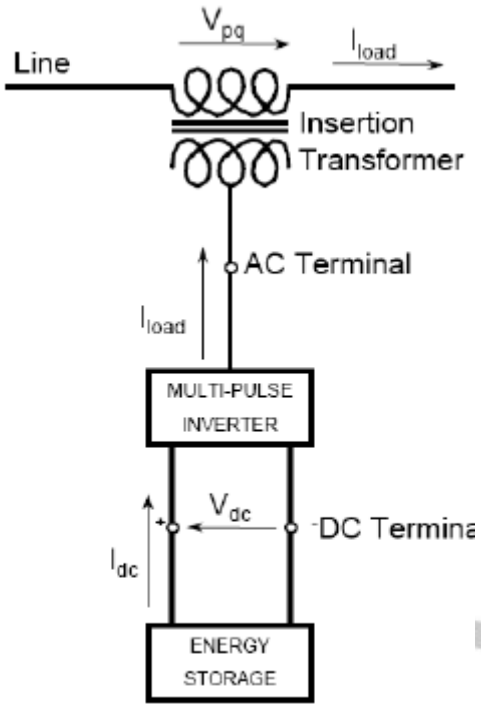
لازم به ذکر است در رابطه ی اخیر **P** ، توان اکتیو عبوری از خط و **Vs** و **Vr** ، دامنه ولتاژهای ابتدا و انتهای خط ، δ اختلاف فاز ولتاژ ابتدا و انتهای خط و بالاخره **X** راکتانس خط انتقال می باشد. نکته قابل توجه اینکه بجز تراسفورماتور جابجا کننده فاز ، دو تجهیز دیگر مشخصه مشترکی دارند ، به این صورت که توان راکتیو لازم برای جبران سازی توسط آنها بوسیله ی خازنی و سلفی معمولی تولید یا جذب می شود و کلید های تریستوری فقط برای کنترل امپدانس راکتیو ترکیبی این بانکها بکار می روند. در واقع جبران کننده هایی که توسط تریستور کنترل می شوند از دید سیستم انتقال در حکم یک ادمیتانس راکتیو متغیر بوده و عموما رفتار امپدانسی سیستم را تغییر می دهند.

ادوات **FACTS** مبتنی بر مبدلهای استاتیکی :

در این مجموعه ، از مبدلهای استاتیکی با کموتاسیون خودی ، به عنوان منابع ولتاژ کنترل شده استفاده می شود. این روش در مقایسه با روشهای جبران سازی مرسوم که در آنها از خازنهای دارای کلید تریستوری و راکتورهای کنترل شده تریستوری استفاده می شود ، برتری چشم گیری خواهد داشت. در این روش کنترل دامنه ولتاژ خط انتقال یکنواخت بوده و کنترل کاملی بر امپدانس موثر خط و زاویه انتقال خواهد بود. علاوه بر این ، امکان تبادل مستقیم توان اکتیو با سیستم فرآهم می باشد و جبران سازی توان راکتیو نیز به طور مستقل می تواند انجا گیرد ، در

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نتیجه به آسانی می توان توان عبوری از خطوط و اغتشاشات دینامیکی سیستم را تحت کنترل درآورد و نوسانات را میرا نمود. شکل زیر نماد ترسیمی یک منبع ولتاژ سنکرون استاتیکی را نشان می دهد.



شکل ( ): منبع ولتاژ استاتیکی سنکرون و نحو اتصال آن به سیستم

مجموعه این ادوات عبارتد از :

STATCOM(**Static Compensator**) جبران کننده سنکرون استاتیکی

SSSC (**Series Synchronous Static Compensat**) جبران کننده سری سنکرون استاتیکی

UPFC (**Unified Power Flow Contoroller**) کنترل کننده یکپارچه توان

IPFC(**Interline Power Flow Controller**) کنترل کننده عبور توان بین خطی

که همگی بر پایه ی سوئچینگ مبدلی می باشند و منبع جبران توان راکتیو در آنها راکتور یا خازن نمی باشد. **STATCOM** همانند **SVC** با جبرانسازی موازی ، دامنه ولتاژ خط

انتقال را کنترل می نماید. **SSSC** بوسیله ی جبرانسازی سری ، ولتاژ دو سر امپدانس سری خط انتقال و در نتیجه امپدانس موثر خط را کنترل می کند. **UPFC** موتواند هر سه پارامتر موثر خط انتقال (دامنه ولتاژ ، امپدانس خط و زاویه ی انتقال) را با هم و یا هر کدام را به تنهایی کنترل نموده و یا اینکه به طور مستقیم توان اکتیو و راکتیو عبوری از خطوط را کنترل نماید. **IPFC** علاوه بر جبرانسازی سری ، می تواند توان اکتیو عبوری از خطوط را کنترل نموده و در نتیجه مدیریت توان اکتیو و راکتیو یک سیستم انتقال دارای چندین خط موازی را به خوبی انجام دهد.

در حال حاضر انواع مختلفی از ادوات FACTS در سیستم‌های قدرت به کار می‌رود که مشهورترین آنها عبارتند از:

- SVC[۱] : جبرانساز Var استاتیک
- TCSC[۲] : خازن سری کنترل تریستوری
- STATCOM[۳] : جبرانساز استاتیک
- PST (PAR[۴]): ترانسفورماتور شیفت‌دهنده فاز (تنظیم‌کننده زاویه فاز)
- SSSC[۵] : جبرانساز سری سنکرون استاتیک
- UPFC : کنترل‌کننده یکپارچه توان
- IPFC[۱] : کنترل‌کننده توان بین خطوط

WikiPower.ir

۱. Static Var Compensator
۲. Thyristor Control Series Capacitor
۳. Static Compensator
۴. Phase Angle Regulator
۵. Series Synchronous Static Compensator

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- CSC[۲]: جبرانساز استاتیک تغییرپذیر

در ادامه عملکرد و ساختار این ادوات معرفی شده است.

۸-۱) جبرانساز Var استاتیک (SVC)

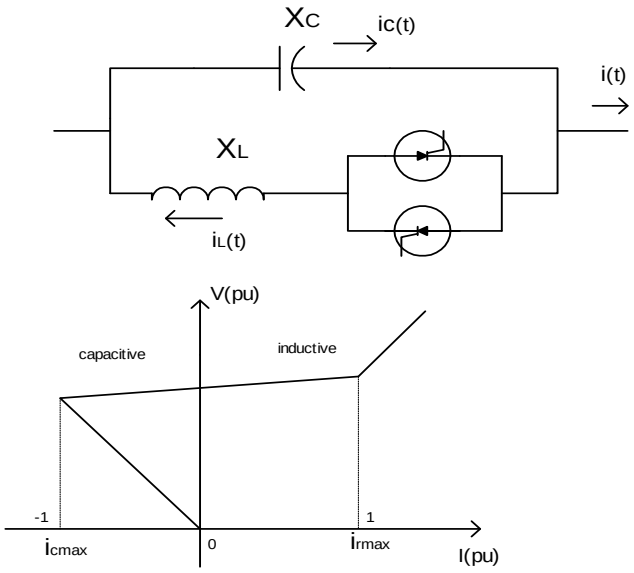
SVC یکی از مهمترین عناصر FACTS است که سالهاست به دلیل مزیت فنی و اقتصادی در حل مساله دینامیک ولتاژ مورداستفاده قرار می گیرد. دقت، دسترس‌پذیری و پاسخ سریع SVC در مقایسه با جبرانگرهای موازی کلاسیک آن‌را به وسیله‌ای بسیار کارآمد در کنترل ولتاژ حالت گذرا و حالت ماندگار تبدیل نموده است. شکل (۱) ساختمان SVC و مشخصه V-I آن را نشان می‌دهد.

---

۱. Interline Power Flow Controller

۲. Convertible Static Compensator

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۱): ساختمان SVC و مشخصه V-I آن

SVC به صورت موازی به شبکه وصل می‌شود و همانطور که از شکل پیداست می‌تواند در دو مود راکتیو سلفی یا خازنی ظاهر شود. در جریان خازنی بزرگتر از Icmax، SVC به یک خازن تبدیل می‌شود و توان راکتیو آن به صورت تابعی از ولتاژ شبکه تغییر می کند. شیب نمودار V-I بین Icmaxو Irmax- معمولاً ۲٪ تا ۵٪ درنظرگرفته می‌شود.

مهمترین کاربردهای SVC عبارتنداز :

- تثبیت ولتاژ در شبکه‌های ضعیف،
- کاهش تلفات انتقال،
- افزایش ظرفیت انتقال توان،
- افزایش میرایی اغتشاشات کوچک،
- بهبود پایداری ولتاژ،
- حذف نوسانات توان.

رایج‌ترین انواع SVC با توجه به عناصر به‌کاررفته در ساختمان آن‌ها به شرح زیر است:

- راکتور کنترل تریستوری TCR[۱]،
- خازن سوییچ تریستوری TSC[۲]،
- راکتور سوییچ تریستوری TSR[۳]،
- خازن سوییچ مکانیکی MSC[۴].

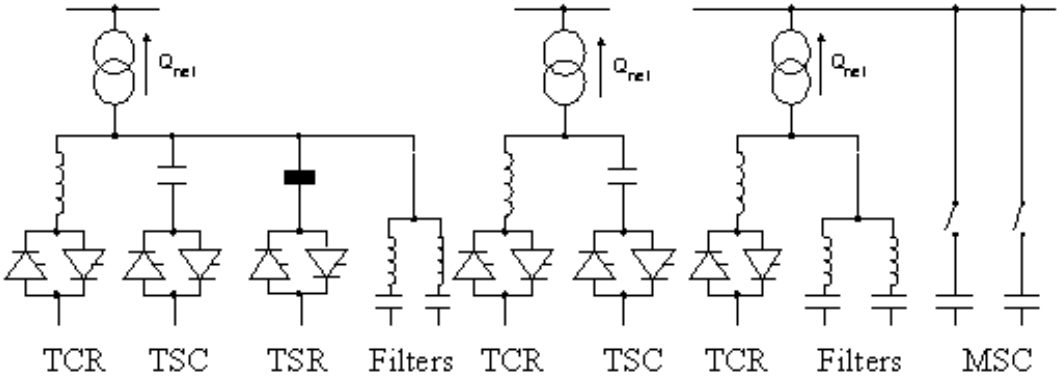
در شکل (۲) موارد فوق و نحوه اتصال آن‌ها به سیستم انتقال نشان داده شده است. با تنظیم زاویه آتش تریستورها، SVC در مود راکتیو سلفی یا خازنی ظاهر می‌شود.

معمولاً حوزه تغییرات ولتاژ سیستم توسط SVC ٪۵± لحاظ می‌شود. اغلب سه محل برای نصب SVC پیشنهاد می‌شود:

- در مجاورت بارهای عمده و بزرگ (نواحی وسیع شهری)،
- نزدیک به بارهای حساس به ولتاژ،
- در مجاورت بارهای صنعتی.

در واقع نصب SVC در سه محل مزبور بیشترین تاثیر را بر بارهای شبکه قدرت دارد. همان‌طور که گفتیم اگر SVC به حد توان راکتیو خود نزدیک شود (مثلاً به Icmax در شکل (۱)) به یک خازن ثابت تبدیل می‌شود و تولید توان راکتیو آن تابعی از ولتاژ شبکه می‌گردد. این پدیده از معایب SVC محسوب می‌شود.

۱. Thyristor Controlled Reactor
۲. Thyristor Controlled Capacitor
۳. Thyristor Switched Reactor
۴. Mechanically Switched Capacitor



شکل (۲): انواع SVC

۸-۲) خازن سری کنترل تریستوری(TCSC)

خازن‌های سری کنترل تریستوری همان خازن‌های سری معمولی هستند که با اضافه‌کردن راکتور کنترل‌شونده تریستوری توسعه داده شده‌اند. قراردادن راکتور کنترل‌شونده به صورت موازی با خازن‌های سری، سیستم جبرانسازی سری با تغییرات سریع و پیوسته را بوجود می‌آورد. بکارگیری خازن‌های سری قابل تنظیم موثرترین روش جبرانسازی راکتیو خطوط انتقال بلند است و ابزار سودمندی جهت کنترل توان انتقال یافته از این خطوط محسوب می‌شود. بدلیل اندوکتانس نسبتاً زیاد، در شرایط عادی (بدون جبرانسازی)، افزایش در توان انتقال‌یافته از خطوط انتقال بلند می‌تواند سبب ناپایداری شود. خازن‌های جبرانساز سری عامل موثری در تثبیت خطوط بلند می‌باشند. جبرانسازی خطوط انتقال توسط خازن‌های سری با اهداف زیر صورت می‌گیرد:

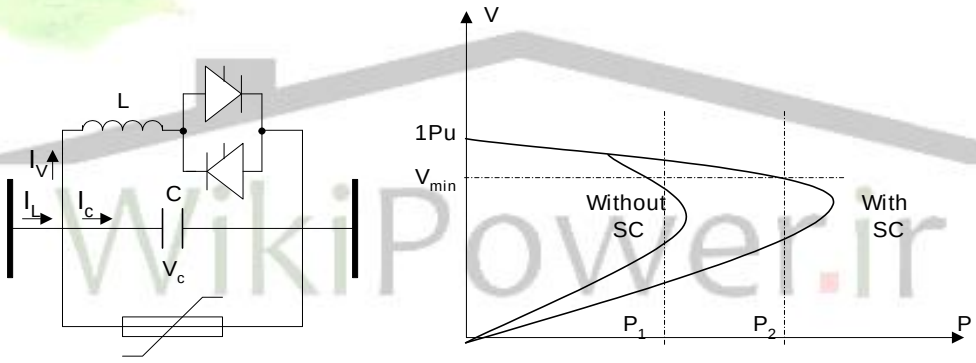
- افزایش ظرفیت انتقال و افزایش حد پایداری گذرا،
- کاهش تلفات (تقسیم توان بین خطوط موازی)،
- میراکردن رزونانس زیر سنکرون (SSR)[۱]: امکان رویداد این پدیده، در خطوط بلند

[۱]. Sub Synchronous Resonance

جبرانسازی شده با خازن‌های سری، وجود دارد،

- کنترل توان خطوط،
- کاهش افت ولتاژ وابسته به بار،
- میراکردن نوسانات توان[۱] و در نتیجه بهبود پایداری سیستم،
- کاهش زاویه و امپدانس خط انتقال.

شکل (۳) طرحی از TCSC و نمودار (P-V) مربوط به سیستم انتقال مجهز به TCSC را نشان می‌دهد. افزایش فاصله بین زانوی منحنی (P-V) و نقطه کار خط به معنای افزایش ظرفیت انتقال توان از خط است.



شکل (۳): TCSC و نمودار P-V

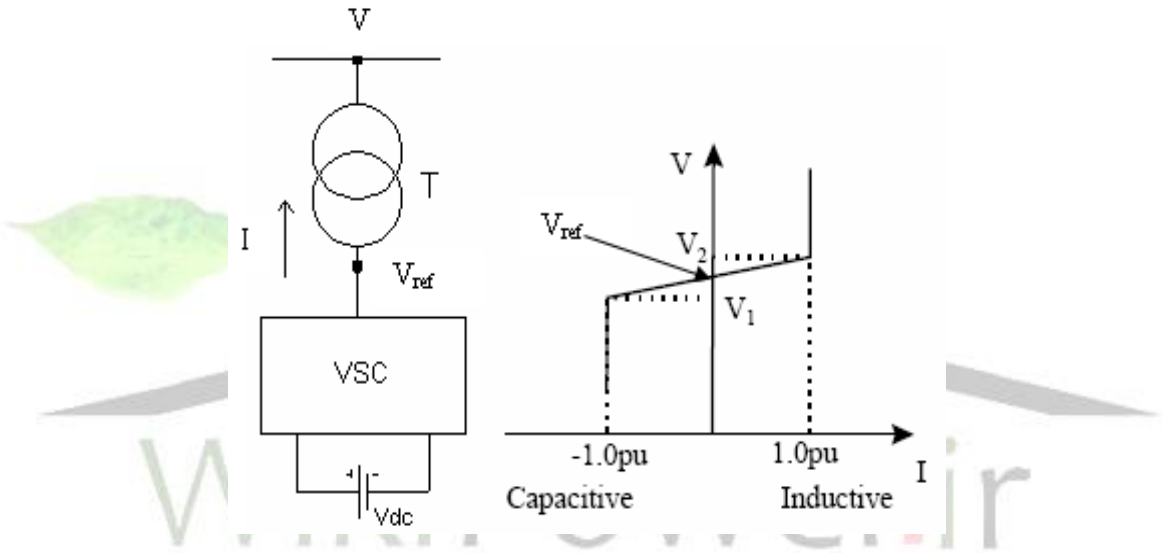
۳-۸) جبرانساز استاتیک (STATCOM)

اساس عملکرد STATCOM مشابه کندانسور سنکرون است. از آنجا که در ساخت این وسیله از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌شود به آن جبرانساز استاتیک می گویند. مبدل‌های به کاررفته در این جبرانساز توان راکتیو موردنیاز را بطور محلی (در محل اتصال STATCOM به

۱. Power Swing

شبکه) تأمین کرده و خروجی آن بطور پیوسته قابل تنظیم می‌باشد، به همین دلیل در مواردی که ولتاژ شبکه قدرت تغییرات وسیعی داشته باشد (در حالت بروز اغتشاش یا پس از رفع خطا) از این جبرانساز استفاده می‌شود.

شکل (۴) طرحی از STATCOM و مشخصه V-I آنرا نشان می‌دهد. تولید یا جذب توان راکتیو توسط مبدل منبع ولتاژ (VSC) با تنظیم ولتاژ V_{ref} صورت می‌گیرد.



شکل (۴): STATCOM و مشخصه V-I آن

مهمترین کاربردهای STATCOM به شرح زیر است:

- کنترل دینامیکی ولتاژ،
- بهبود پایداری گذرا،
- حذف نوسانات توان در شبکه انتقال،
- کنترل توان حقیقی و راکتیو.

۸-٤) ترانسفورماتور شیفت دهنده فاز(PST/PAR)

شکل (۵) دیاگرام شماتیکی یک PST را نشان می‌دهد. ترانسفورماتور شیفت دهنده فاز که به آن تنظیم‌کننده ولتاژ فاز نیز گفته می‌شود به منظور کنترل توان انتقال یافته از خطوط مورد استفاده قرار می‌گیرد.PST این کار را با تغییر در دامنه و زاویه فاز ولتاژ انجام می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست PST از دو ترانسفورماتور و یک مبدل تشکیل شده است. ورودی شیفت-دهنده فاز ولتاژ سه فازی است که توسط ترانسفورماتور تحریک (ET)[۱] فراهم می‌شود و خروجی آن ولتاژ سه فازی (Vp) است که بوسیله ترانسفورماتور سری تزریق (BT)[۲] به خط انتقال تزریق می‌گردد. مبدل نیز دامنه و زاویه فاز ولتاژ تزریقی را تعیین می‌کند. محدودیت‌ها و مزایای PST به مشخصات مبدل آن وابسته است. تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز سنتی را نیز می‌توان به صورت شکل (5(a)) نمایش داد گرچه مبدل آن را سوییچ‌های مکانیکی تشکیل می‌دهد که در ثانویه ترانسفورماتور قرار دارند و نمی‌توان آن‌ها را واحدی مجزا در نظر گرفت. شکل (۵(b)) نشان می‌دهد که چگونه با تغییر دامنه و فاز ولتاژ تزریقی (Vp) ولتاژ سیستم (V_2) نیز تغییر می‌کند. دایره شکل (۵ (b)) ناحیه‌ای که Vp می‌تواند درآن قرار گیرد را نمایش می‌دهد. بنابراین می‌توان توان اکتیو و یا راکتیو انتقالی از خط را با تزریق ولتاژ دینامیکی کنترل‌پذیر مدوله کرد. مدوله‌کردن توان اکتیو و یا راکتیو می‌تواند نوسانات سیگنال کوچک سیستم را میرا کند و پایداری سیستم در برابر اغتشاشات سیگنال بزرگ را بالا ببرد. مهمترین کاربرد PST کنترل توان حقیقی و میراسازی نوسانات توان است. معمولاً دامنه تغییرات ولتاژ بوسیله PST ناچیز و قسمت عمده کنترل توان با تغییر در زاویه ولتاژ خط صورت می‌گیرد. در PSTهای جدید زاویه ولتاژ تزریقی بین 0 تا ۲πقابل تنظیم است.

---

۱. Excitation Transformer

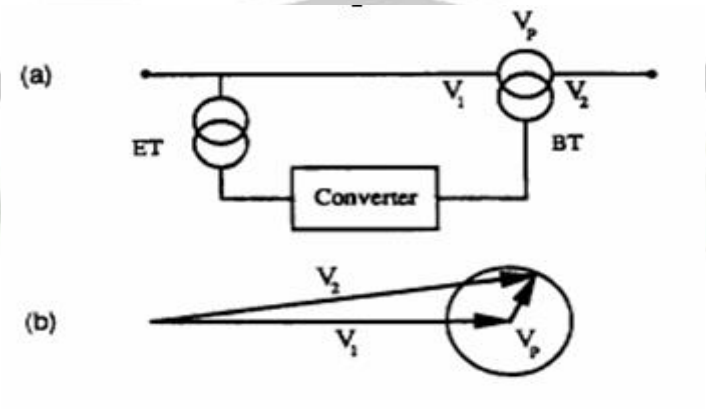
۲. Boosting (Series) Transformer

کاربردهای حالت ماندگار PST شامل موارد زیر است :

- کنترل توان خط انتقال،
- تقسیم مطلوب توان میان خطوط موازی،
- جلوگیری از گردش حلقوی توان میان خطوط.

کاربردهای دینامیکی و گذرا عبارتنداز:

- حذف نوسانات توان بین ناحیه‌ای،
- بهبود پایداری گذرا،
- کاهش فشارهای وارد بر شفت ژنراتور در حالت گذرا.



شکل (5): PST و نمودار فازوری ولتاژ

۸-۵) جبرانسازی سری سنکرون استاتیک (SSSC)

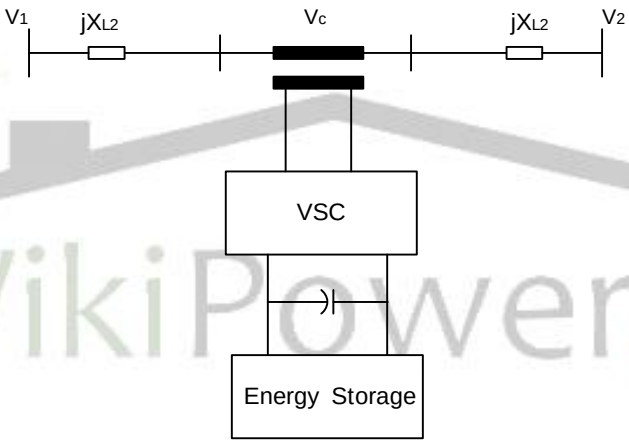
SSSC یک مبدل منبع ولتاژ سنکرون است که بطور سری با سیستم انتقال قرار می‌گیرد و از لحاظ عملکرد مشابه PST است. توان حقیقی موردنیاز SSSC جهت تبادل با شبکه قدرت از سوی یک منبع انرژی DC (باتری یا خازن که در سمت DC مبدل قرار دارد) تأمین می‌گردد. ولتاژ خروجی در SSSC با کنترل زمان هدایت سوییچ‌های واقع در مبدل منبع ولتاژ صورت

می گیرد. بنابراین تحت هر شرایطی (ماندگار/گذرا) با تنظیم ولتاژ خروجی SSSC توان خط انتقال کنترل می گردد.

عمده موارد کاربرد SSSC عبارتند از:

- کنترل دینامیکی پخش بار،
- کنترل دینامیکی ولتاژ،
- بهبود پایداری گذرا.

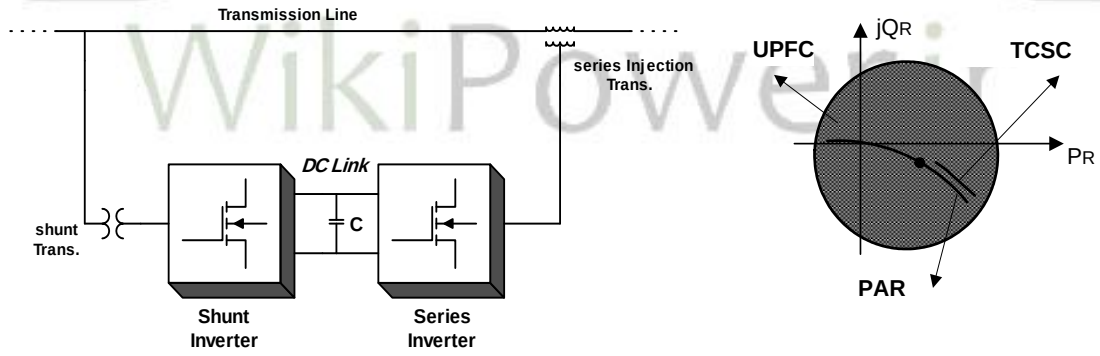
شکل (۶) ساختار و طرز اتصال SSSC به شبکه را نشان می‌دهد.



شکل (۶) ساختار SSSC

۶-۸) کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)

UPFC از اتصال STATCOM و SSSC پدید می‌آید. بخش‌های سری و موازی در UPFC مشترکاً با یک خازن DC تغذیه می‌شوند. از لحاظ توانمندی UPFC کلیه اعمال جبرانسازی سری و موازی را با هم انجام می‌دهد و می‌تواند بطور پیوسته زاویه فاز، امپدانس و دامنه ولتاژ را کنترل کند و بنابراین توان حقیقی و راکتیو خط انتقال را مستقلاً کنترل کند. بخش‌های سری و موازی در UPFC عملکرد مستقل دارند. از دیدگاهی UPFC را می‌توان با PST مقایسه نمود با این تفاوت که ولتاژ سری تزریق با هر فاز و دامنه (در محدوده تعریف‌شده) قابل دستیابی است. UPFC قابلیت‌های STATCOM و TCSC را یک‌جا در بر دارد و حوزه عملکرد آن در صفحه توان (P-Q) وسیعتر از سایرین است. شکل (۷) طرحی از UPFC را نشان می‌دهد. در این شکل همچنین حوزه کاری چند عنصر FACTS با یکدیگر مقایسه شده است و چنانکه دیده می‌شود UPFC نسبت به بقیه برتری دارد. ناحیه هاشور خورده متعلق به UPFC است.



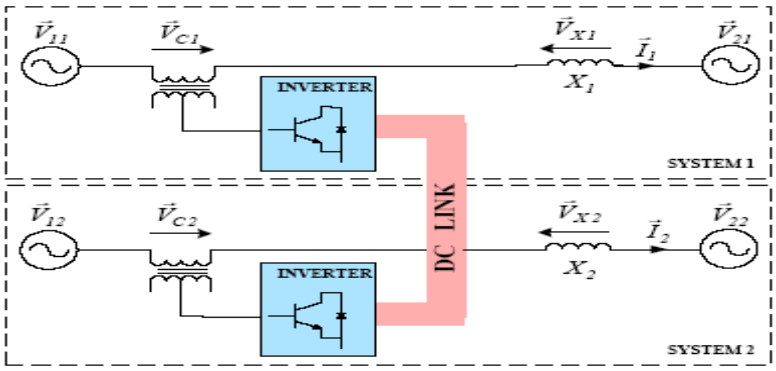
شکل (۷): UPFC و ناحیه کاری چند نوع FACTS در صفحه P-Q

۷-۸) کنترل‌کننده توان بین خطوط (IPFC)

مفهوم IPFC را می‌توان توسعه مفهوم جبرانسازی سری سنکرون استاتیک (SSSC) دانست.

SSSC وسیله‌ای مبتنی بر مبدل منبع ولتاژ (VSC)[۱] است که ولتاژی را به صورت سری با خط انتقال به آن تزریق می‌کند از آنجایی که شین DC مبدل منبع ولتاژ هیچ منبع توان حقیقی ندارد توان حقیقی تزریق‌شده بوسیله SSSC به خط انتقال به منظور اطمینان از بهره‌برداری مناسب وسیله باید صفر باشد (به غیر از مقدار کمی توان که در خود IPFC تلف می‌شود). این نشان می‌دهد که ولتاژ تزریق‌شده همیشه باید با جریان خط ۹۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد و تنها متغیر قابل کنترل دامنه ولتاژ است. اگر دو خط از یک شین پست خارج شود و روی هر کدام یک SSSC باشد، شین‌های DC مبدل منبع ولتاژ می‌توانند تزویج شوند تا اجازه دهند توان حقیقی بین دو VSC تغییر کند. این آرایش IPFC نامیده می‌شود و شکل (۸) این ساختار را نشان می‌دهد. با این ساختار توان حقیقی می‌تواند از یک طرف خط گرفته و به طرف دیگر تزریق شود. بنابراین برخلاف SSSC دیگر لزومی بر عمودبودن ولتاژ تزریقی بر جریان خط وجود ندارد. این نشان می‌دهد که هر دوی دامنه و فاز ولتاژ تزریق‌شده روی یک خط می‌تواند کنترل شود. اگرچه برای کارکرد مناسب عنصر، ولتاژ شین DC باید ثابت نگه داشته شود و توان تزریق‌شده به یک خط باید با توان جذب شده با خط دیگر برابر باشد. بنابراین تنها یکی از متغیرهای ولتاژ تزریق‌شده به خط دیگر می‌تواند به صورت مستقل کنترل شود. مقادیر نامی IPFC می‌تواند با دو کمیت حداکثر دامنه ولتاژی که می‌تواند تزریق شود و مقدار نامی VA تعیین گردد. وقتی IPFC به توان نامی می‌رسد که دامنه ولتاژ تزریقی و جریان خط هر دو در مقدار نامی باشند.

۱. Voltage Source Convertor



شکل (۸): ساختار IPFC

۸-۸) جبرانساز استاتیک تغییرپذیر(CSC)

تاکنون چند نوع عنصر FACTS معرفی گردید و دیده شد عناصر مختلف FACTS کاربردهای مختلفی در شبکه قدرت دارند. به عنوان مثال PST عمدتا برای کنترل توان، SVC برای کنترل سریع ولتاژ و غیره می‌باشند. موسسه EPRI به دنبال عنصری بود که بتواند در آن مجموعه خصوصیات عناصر مختلف FACTS را جمع کندتا از این طریق بر محدودیت‌های انتقال توان بیش از پیش غالب شود. برای این منظور موسسه EPRI توانست با همکاری NYPA[1]عنصر جدیدی از خانواده FACTS بسازد که این عنصر با توجه به نحوه ارتباط عناصر تشکیل‌دهنده آن به یکدیگر و به شبکه می‌تواند در مدهای مختلفی کار کند. با توجه به اینکه کارکرد این عنصر را با تغییر اتصالات می‌توان تغییر داد به آن جبرانساز استاتیکی تغییرپذیر (CSC) گویند.

CSC مذکور از دو مبدل منبع ولتاژ ۱۰۰مگا ولت آمپر، یک ترانسفورماتور موازی ۲۰۰ مگاولت آمپر (با دو سیم‌پیچی ولتاژ پایین هر کدام ۱۰۰ مگاولت آمپر) و دو ترانسفورماتور سری MVA ۱۰۰ تشکیل شده است. این CSC در سال ۲۰۰۳ بر روی خطوط خروجی (۲ خط)

[1]. New York Power Authority

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

از پست ۳۴۵kV مارسی[۱] نصب گردید و می‌تواند مانند STATCOM، UPFC، IPFC یا SSSC بهره‌برداری شود. از لحاظ عملکرد هر کدام از مبدل‌های MVA ۱۰۰متصل به سیستم مانند یک STATCOM ۱۰۰ مگاولت آمپر عمل خواهد کرد. بسته به نحوه اتصال مبدل‌ها به یکدیگر و به شبکه، ۱۱ کارکرد مختلف را می‌توان از CSC انتظار داشت. جدول (۱) کمیت-های کنترل‌شده این ساختارها را نشان می‌دهد.

جدول (۱): کمیات کنترل‌شده ۱۰ نوع ساختار CSC

	متغیرهای کنترل شده ساختارهای CSC	
ساختار	کمیت کنترل‌شده مبدل ۱	کمیت کنترل‌شده مبدل ۲
یک STATCOM	V_T	—
دو STOTCOM	V_T	V_T
SSSC #۱	P_1	—
SSSC #۲	—	P_2
دو SSSC	P_1	P_2

۱. Marcy

	متغیرهای کنترل‌شده ساختارهای CSC	
ساختار	کمیت کنترل‌شده مبدل ۱	کمیت کنترل‌شده مبدل ۲
IPFC	P_1 (یا P_1 و Q_1)	P_2 و Q_2 (یا P_2)
یک STATCOM و SSSC#۱	V_T	P_1
یک STATCOM و SSSC#۲	V_T	P_2
UPFC #۱	V_T	P_1 و Q_1
UPFC #۲	V_T	P_2 و Q_2

WikiPower.ir

۹) مزایای ادوات FACTS

استفاده از ادوات FACTS در سیستم انتقال انرژی الکتریکی مزایای زیادی را دربر دارد. در ادامه مرور مختصری بر برخی از مهمترین آنها شده است:

الف) استفاده موثر از تجهیزات موجود در سیستم انتقال

در بسیاری از کشورها افزایش ظرفیت حمل توان و کنترل فلوی توان در خطوط انتقال از اهمیت حیاتی برخوردار است. به خصوص در محیط‌های تجدید ساختار شده که موقعیت تولید و مراکز بار می‌تواند به سرعت تغییر کند اضافه‌کردن خطوط جدید جهت پاسخگویی به افزایش تقاضا بوسیله قیود محیطی و اقتصادی محدود است. اداوات FACTS در جهت پاسخگویی به این نیازها در سیستم انتقال موجود کمک می‌کند.

ب) افزایش قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری[۱] سیستم انتقال

قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سیستم انتقال متاثر از عوامل مختلفی است. اگرچه ادوات FACTS نمی‌توانند از وقوع خطا جلوگیری کنند ولی می‌توانند تاثیرات نامطلوب خطا را به طور قابل توجهی کاهش دهند. به عنوان مثال یک قطع بار عمده منجر به اضافه ولتاژ خط می‌شود که آن نیز به نوبه خود می‌تواند باعث خروج خط شود. SVC ها و STATCOMها اضافه ولتاژ را خنثی می‌کنند و از خروج خط جلوگیری می‌کنند.

پ) افزایش پایداری گذرا و دینامیکی شبکه و کاهش گردش حلقوی توان

خطوط انتقال بلند، شبکه متصل بهم، اثرات تغییر بار و خطاهای خطوط می‌تواند ناپایداری‌هایی را در سیستم انتقال ایجاد کند این امر می‌تواند منجر به کاهش توان خطوط، گردش حلقوی توان و یا حتی خروج خطوط دیگر شود. ادوات FACTS با افزایش ظرفیت حمل توان

۱. Availability

وکاهش ریسک خروج خطوط ، سیستم انتقال رپایدارمی‌سازند.

ت) افزایش کیفیت توان برای صنایع حساس

صنایع مدرن نیاز به انرژی الکتریکی با کیفیت بالا دارند، شامل ولتاژ و فرکانس ثابت و عدم قطعی در انرژی الکتریکی آنها، افت ولتاژ، انحراف فرکانس و یا از دست دادن منبع تامین انرژی الکتریکی می‌تواند منجر به وقفه‌هایی در پروسه‌های تولید و در نتیجه ضررهای اقتصادی بالایی شود. ادوات FACTS می‌توانند در جهت تأمین کیفیت لازم برای منابع مورداستفاده قرار گیرند.

ث) مزایای زیست محیطی

ادوات FACTS وسایلی سازگار با محیط زیست هستند و هیچ مواد خطرناکی در آن‌ها وجود ندارد و آلودگی نیز ایجاد نمی‌کنند. ادوات FACTS به توزیع انرژی الکتریکی اقتصادی‌تر ازطریق بهره‌برداری بهتر از تجهیزات موجود، با کاهش نیاز به اضافه‌کردن خطوط انتقال کمک می‌کند.

ج) مزایای مالی استفاده از ادوات **FACTS**

سه مورد وجود دارد که به آسانی می‌توان مزایای مالی استفاده از ادوات FACTS را برآورد کرد.

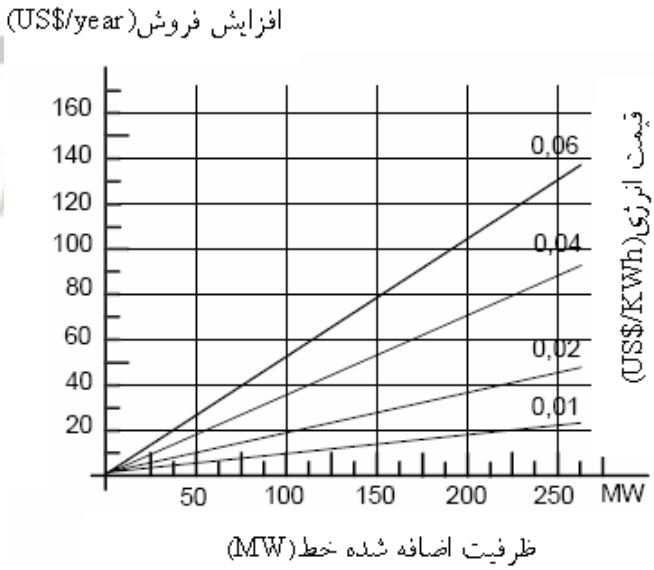
۱- افزایش فروش انرژی ناشی از افزایش ظرفیت انتقال

۲- افزایش بهای ترانزیت برق[۱] ناشی از افزایش ظرفیت انتقال

۳- اجتناب و یا تاخیر در سرمایه‌گذاری

شکل (۱) امکان افزایش فروش را برحسب US$/yearبا توجه به قیمت‌های مختلف برای انرژی، هنگامی که ظرفیت خط انتقال قابل افزایش باشد را نشان می‌دهد. شکل (۲) به طور نمونه هزینه‌های سرمایه‌گذاری خطوط انتقال AC ولتاژ بالا را نشان می‌دهد. در ادامه با دو مثال مزیت فوق توضیح داده می‌شود.

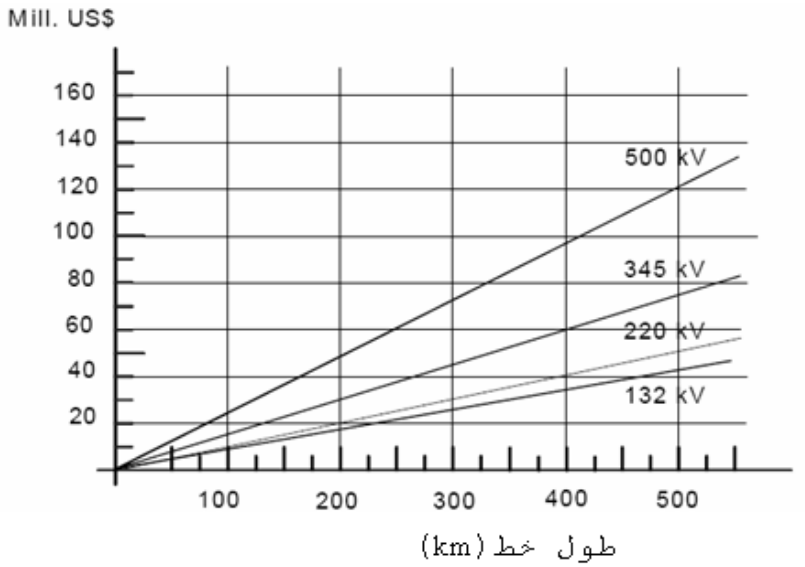
مثال ۱: اگر با استفاده از ادوات FACTS ظرفیت خط انتقال کاملاً بارگیری شده‌ای را بتوان به اندازه ۵۰ MWافزایش داد (به عنوان مثال خط انتقال ۱۳۲ kV و یا بالاتر) می‌توان فروش اضافی معادل ۵۰ MWرا بدست آورد. با فرض ضریب بار ۱ و قیمت فروش US$/kwh0.02افزایش فروش انرژی الکتریکی سالانه تا حداکثر US$Million8.8 را خواهیم داشت.



شکل (۱): افزایش فروش سالانه ناشی از افزایش ظرفیت خطوط انتقال

۱. Wheeling Charges

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۲): هزینه‌های نمونه‌ای احداث خطوط جدید انتقال AC

مثال ۲: فرض کنیم هزینه‌های سرمایه‌گذاری خط ۴۰۰kV به طول ۳۰۰km تقریباً ۴۵ میلیون US$ باشد به ازای نرخ بهره ۱۰٪، اجتناب از احداث این خط منجر به کاهش هزینه ۴/۵ میلیون US$ در سال می‌شود. نصب عنصر FACTS با هزینه ۲۰ میلیون US$ از لحاظ اقتصادی در صورتی موجه است که بتوان از احداث خط جلوگیری کرد یا حداقل ۵ سال احداث آنرا به تاخیر انداخت (۵*۴/۵ US$ =۲۲/۵ US$).

مثال‌های فوق محاسبات ساده‌ای است، برای نشان‌دادن مزایای مالی مستقیم که از نصب ادوات FACTS می‌تواند حاصل شود. همچنین مزایای غیرمستقیمی نیز از نصب ادوات FACTS حاصل می‌شود که محاسبه آنها پیچیده‌تر است، از جمله کاهش خسارت‌های ناشی از قطع برق صنایع بر اثر وقوع پیشامدهایی در شبکه و یا کاهش هزینه ناشی از قطع بار در شرایط پیک.

۹-۱) کاربردهای ادوات FACTS

با توجه به قابلیت ادوات FACTS در رفع مشکلات مربوط به شبکه قدرت این عناصر کاربردهای مختلفی در شبکه قدرت پیدا کرده‌اند. جدول (۱) مزایای فنی به کارگیری برخی از مهمترین عناصر FACTS در مطالعات مختلف را نشان می‌دهد. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان کاربردهای FACTS را به دو نوع کاربردهای حالت ماندگار و کاربردهای دینامیکی دسته‌بندی نمود.

جدول (۱): مزایای فنی بکارگیری ادوات FACTS

	کنترل پخش بار	کنترل ولتاژ	پایداری دینامیکی	پایداری گذرا
SVC	*	***	**	*
STATCOM	*	*	**	**
TCSC	**	***	**	***
UPFC	***	***	**	**

* تعداد نماینده میزان کارایی در مود کنترلی مشخص شده در جدول است.

WikiPower.ir

۹-۱-۱) کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS

منظور از کاربردهای حالت ماندگار، شرایطی است که در آنها از ادوات FACTS به منظور بهبود کارکرد حالت ماندگار سیستم بهره گرفته می‌شود. جدول (۲) برخی از مهمترین کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS را نشان می‌دهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول (۲): کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع مشکل	موضوع
VC, TCSC, STATCOM	خازن سری یا موازی	تزریق توان راکتیو	افت ولتاژ در بارگذاری شدید	حدود ولتاژ
SVC,TCSC, STATCOM	خروج خطوط EHV یا خازن‌های موازی	حذف منبع راکتیو	اضافه ولتاژ در بارگذاری کم	
SVC, STATCOM	وارد/خارج کردن راکتور و خازن	جذب توان راکتیو		
SVC, STATCOM	نصب راکتور	جذب توان راکتیو	اضافه ولتاژ در اثر پیشامد	
SVC	نصب برقگیر	تجهیزات محافظ		
SVC, STATCOM	وارد/خارج کردن راکتور و خازن موازی، خازن سری	تزریق توان راکتیو	افت ولتاژ در اثر پیشامد	
TCPST, TCSC	راکتور سری و PST	جلوگیری از اضافه بار		
TCSC,UPFC, STATCOM, SVC	ترکیب دو یا چند وسیله	تزریق توان راکتیو و کاهش اضافه بار	افت ولتاژ و اضافه بار	

www.wikipower.ir
برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ادامه جدول (۲): کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS

TCSC, UPFC,TCPST	اضافه‌نمودن خط یاترانسفورماتور	کاهش اضافه بار	اضافه بار خط یا ترانسفورماتور	حدودحرارتی
SVC, TCSC	اضافه‌کردن راکتور سری			
UPFC, TCSC	اضافه کردن راکتور و خازن سری	محدودسازی بارگذاری خط	توزیع نامناسب بار درخطوط موازی	
UPFC, TCSC	اضافه- نمودنخازن/راکتور	تنظیم راکتانس سری	تقسیم بار بین خطوط موازی	چرخش حلقوی توان
SVC,TCSC, UPFC,TCPST[1]	PST و خازن/راکتور سری	تغییر چیدمان شبکه یا اعمال حدود حرارتی	تقسیم بار پس از خطا	
UPFC,TCPST	PST	تنظیم زاویه فاز	معکوس‌سازی جهت توان	

۹-۱-۲) کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

منظور از کاربردهای دینامیکی، شرایطی است که در آنها از ادوات FACTS به منظور بهبود

[1]. Thyristor Control Phase Shifting Transformer

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

عملکرد دینامیکی سیستم قدرت در هنگام بروز اغتشاش یا پس از آن بهره گرفته می‌شود.

جدول (۳) برخی از مهمترین کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS را نشان می‌دهد.

جدول (۳): کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع سیستم	نوع کاربرد
TCSC, TSSC, UPFC	سیستم تحریک با پاسخ سریع خازن سری	افزایشگشتاور سنکرون کننده	A, B, D	پایداری گذرا
, BESS،TCBR, SMES	مقاومت متوقف‌کننده، توربین با سرعت باز و بسته شدن دریچه سریع	جذب انرژی جنبشی	A,D	
TCPAR, UPFC, TCSC	HVDC	کنترل پخش بار دینامیکی	B, C, D	
SVC,TCSC,STATCOM	سیستم تحریک، پایدارساز سیستم قدرت (PSS)	میراکردن نوسانات Hz1	A	میراکنندگی

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

SVC, TCPAR, UPFC, TCSC, STATCOM	پایدارساز سیستم قدرت (PSS)	میرا کردن نوسانات فرکانس پایین	B, D	

WikiPower.ir

ادامه جدول (۳): کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع سیستم	نوع کاربرد
SVC,STATCOM,UPFC	ـــــ	پشتیبانی دینامیکی ولتاژ	A, B, D	کنترل ولتاژ پس از وقوع پیشامد

ادامه جدول (۳) : کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

عنصر FACTS	راه حل متداول	عمل اصلاحی	نوع سیستم	نوع کاربرد
SVC, UPFC, TCSC	ــــــــ	کنترل توان و تامین ولتاژ دینامیکی		
SVC,TCSC,UPFC,STATCOM	خطوط موازی	کاهشاثرات پیشامد	A, B, C, D	
SVC, STATCOM, UPFC	جبرانساز موازی	تأمین توان راکتیو	B, C, D	پایداری ولتاژ
UPFC, TCSC, STATCOM	کنترل‌های HVDC، LTC[1] و بازبست مجدد	عملیات کنترلی شبکه		
ــــــــ	سیستم تحریک پاسخ سریع	کنترل تولید		
ــــــــ	قطع بار در شرایط ولتاژ پایین برنامه‌های مدیریت طرف مصرف	کنترل بار		

A: (Remote Generation-Radial Lines)
B: (Interconnected Areas)
C: (Tightly Meshed Network)
D: (Loosely Meshed Network)

[1]. Load Tap Changer

۹-۲) هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS

هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. هزینه‌های تجهیزات ادوات FACTS و هزینه‌های زیربنایی.

۹-۲-۱) هزینه‌های تجهیزات ادوات FACTS

هزینه تجهیزات ادوات FACTS علاوه بر مقادیر نامی کارکرد عنصر FACTS (ظرفیت نامی، ولتاژ نامی) به ملزومات خاص آن عنصر نیز بستگی دارد که در ادامه به آنها اشاره شده است:

- سیستم کنترل و حفاظت اضافی (پشتیبان) و یا حتی عناصر اصلی اضافه مانند راکتورها، خازن‌ها و ترانس‌ها
- شرایط زمین‌لرزه
- شرایط محدودکننده (مانند دمای محیط و سطح آلودگی)
- ارتباط با سیستم کنترل پست یا مرکز کنترل منطقه‌ای یا ملی

۹-۲-۲) هزینه‌های زیربنایی ادوات FACTS

این هزینه‌ها به موقعیت پستی که ادوات FACTS باید در آنجا نصب گردد، بستگی دارد. این هزینه‌ها به عنوان مثال شامل موارد زیر است.

- مالکیت زمین (اگر در پست موجود فضای کافی وجود نداشته باشد).
- تغییراتی در ساختار پست به عنوان مثال اگر سوییچ‌گیر ولتاژ بالای جدید نیاز باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- ساخت اتاق برای تجهیزاتی که باید درون اتاق نصب گردند (تجهیزات کنترلی، حفاظتی و غیره)
- عملیات ساختمانی آماده‌سازی پست مانند فونداسیون و غیره.
- اتصال به ارتباطات موجود.

در شکل (۱)و (۲) برای مقادیر نامی نمونه عناصر FACTS هزینه آن‌ها نشان داده شده است. قسمت پایین هر کدام از نواحی قیمت هزینه‌های تجهیزات FACTS را نشان می‌دهد و قسمت بالای هر ناحیه کل هزینه سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد که هزینه‌های زیربنایی را نیزدر برمی‌گیرد. برای مقادیر کارکرد نامی خیلی پایین،هزینه‌ها می‌تواند خیلی بالاتر و برای مقادیر کارکرد نامی خیلی بالا، هزینه‌ها می‌تواند خیلی پایین‌تر از مقدار نشان داده شده باشد.

هزینه کل نشان داده شده جدای از عوارض و مالیات است و در نتیجه ممکن است به دلیل تاثیر این فاکتورها هزینه از ٪۱۰- تا ٪۳۰+ تغییر کند. با درنظرگرفتن مالیات و عوارض که بین کشورهای مختلف دارای تفاوت‌های فاحشی است کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS ممکن است حتی بیشتر از این نیز تغییر کند.

شکل (۲۵-۴) بیان دیگری از هزینه‌های سرمایه‌گذاری ادوات FACTS است. قسمت پایین معادل حد بالا در شکل‌های(۲۳-۴) و (۲۴-۴) است و قسمت خط‌چین معادل حدپایین است. با منطبق کردن توابع درجه ۲ بر منحنی‌های شکل (۳) (قسمت پررنگ) توابع هزینه برای SVC، TCSC و UPFC بدست می‌آید که در ادامه به توضیح آن‌ها می‌پردازیم.

$$C_{UPFC} = ۰/۰۰۰۳S^{۲} - ۰/۲۶۹۱S + ۱۸۸/۲۲ \quad (US\$/kVAr)$$

$$C_{TCSC} = ۰/۰۰۱۵S^{۲} - ۰/۷۱۳S + ۱۵۳/۷۵ \quad (US\$/kVAr)$$

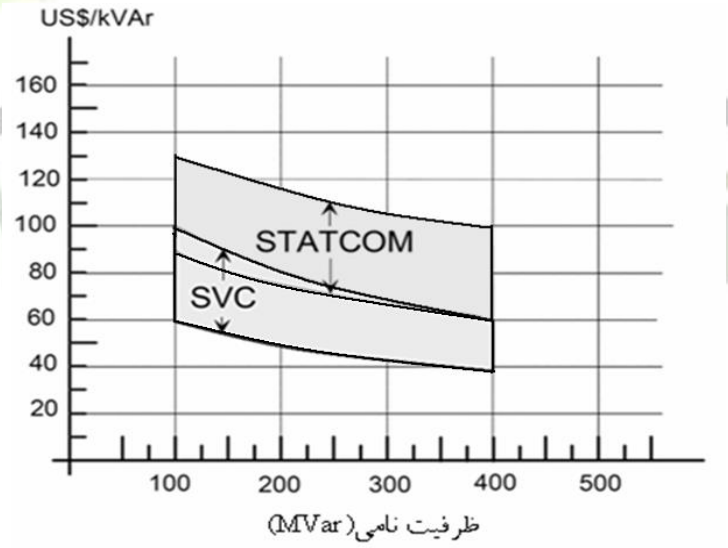
$$C_{SVC} = ۰/۰۰۰۳S^{۲} - ۰/۳۰۵S + ۱۲۷/۳۸ \quad (US\$/kVAr)$$

در روابط فوق C_{UPFC}، C_{TCSC} و C_{SVC} برحسب US$/kVAr هستند و S نیز حد کارکرد عنصر FACTS برحسب MVar است.

هزینه PST بیشتر به ولتاژ و جریان نامی کارکرد مدار آن وابسته است بنابراین هنگامی که PST نصب شد هزینه ثابت است و تابع هزینه می‌تواند به صورت زیر بیان گردد.

$$C_{PST} = d.P_{max} + IC \ (US\$)$$

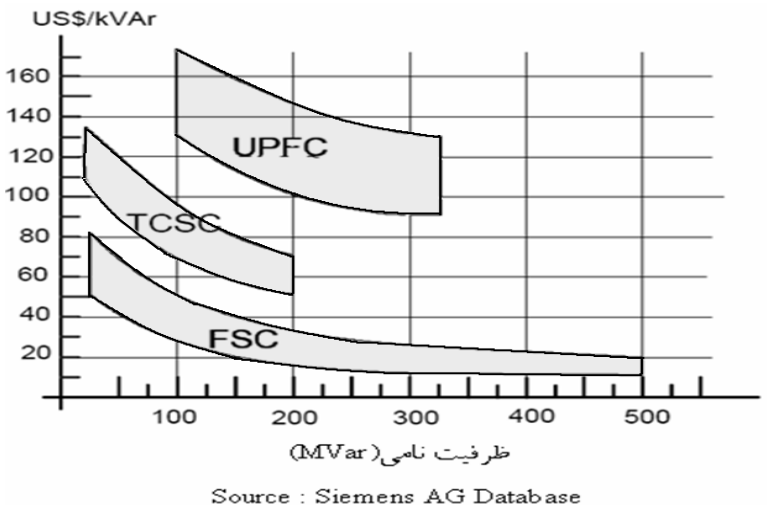
که d مقدار ثابت مثبتی است که هزینه سرمایه‌گذاری را بیان می‌کند و IC هزینه نصب می‌باشد. P_{max} حد حرارتی خط انتقالی است که PST در آن نصب می‌گردد.



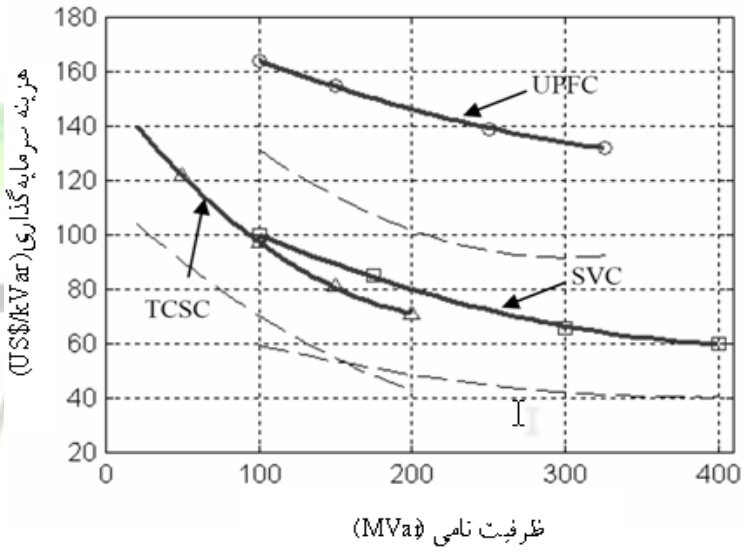
Source : Siemens AG Database

شکل (۱): هزینه‌های سرمایه‌گذاری نمونه برای SVC و STATCOM

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۲): هزینه‌های سرمایه‌گذاری نمونه برای TCSC، UPFC و FSC



شکل (۳): تابع هزینه ادوات FACTS

۹-۳) دورنمایی از آینده ادوات FACTS

پیشرفت این ادوات در آینده شامل ترکیب عناصر مختلف FACTS موجود به منظور توسعه دامنه عملکرد آنها خواهد بود، نظیر ترکیب STATCOM و TCSC. بعلاوه سیستم‌های کنترل پیچیده و مفصلتری به منظور بهبود عملکرد این ادوات توسعه خواهند یافت. پیشرفت در زمینه تکنولوژی نیمه‌هادی با ظرفیت هدایت جریان و ولتاژهای شکست بالا می‌تواند قیمت این ادوات را به خوبی کاهش دهد و دامنه عملکرد آنها را توسعه دهد سرانجام پیشرفت در زمینه

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

توسعه تکنولوژی ابررساناها راهی به سوی توسعه ادواتی نظیر SCCL[۱] و SMES[۲]خواهد بود. در سراسر جهان، تولید و انتقال انرژی الکتریکی به صورت اقتصادی و سازگار با محیط زیست به عنوان آینده‌ای روشن بوده و FACTS به عنوان راه گشای این آینده مطلوب می‌باشد.

WikiPower.ir

۱۰) statcom(جبران کننده سنکرون استاتیکی)

جبران کننده سنکرون استاتیکی، یک ژنراتور سنکرون (مبدل *ac/dc*) استاتیکی است که به عنوان یک جبران کننده شنت توان راکتیو (همانند *SVC*) مورد استفاده قرار می گیرد وجریان خازنی یا سلفی آن را می توان مستقل از ولتاژ شین محل اتصال ، کنترل کرد.

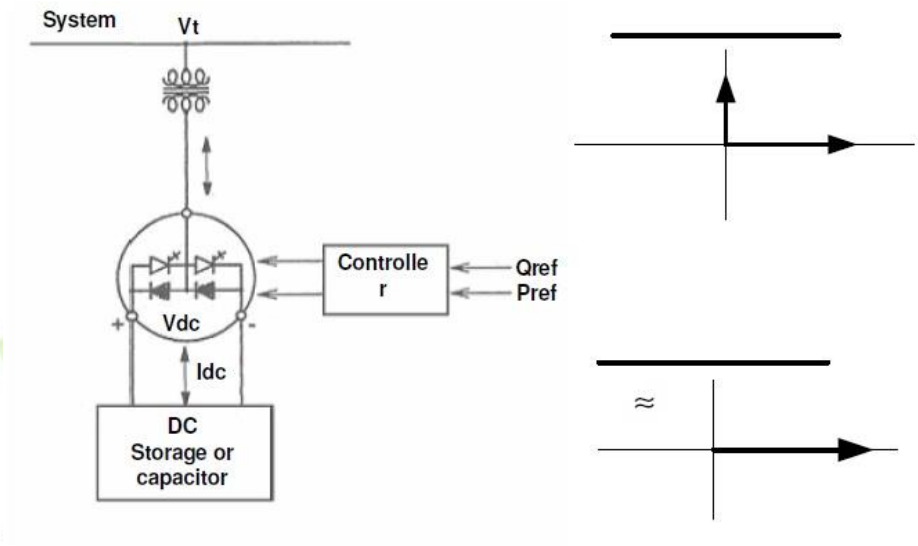
STATCOM دارای رفتاری شبیه به جبرانگر سنکرون چرخان ایده آل است (کندانسور سنکرون ایده آل). زیرا توانایی مبادله توان راکتیو ، در هر دو جهت را داراست ، ضمن اینکه

---

۱. Super Conducting Current Limitter.

۲. Super Conducting Magnetic Energy Storage.

توان مورد نیاز برا ی تلفات و مصارف داخلی مبدل مثل حفظ شارژ خازن ، از خود شبکه تامین می شود و به همین دلیل جبرانگر سنکرون استاتیکی نامیده می شود.



شکل (۱) : ولتاژ و جریان سمت AC وDC سمت *STATCOM*

همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است ، جریان سمت AC یک جریان کاملا راکتیو و هیچ توان اکتیوی با شبکه مبادله نمی کند ، به همین خاطر جریان ایده آل سمت DC برابر صفر است. اما در واقع این جریان مقدار اندکی است که متناسب با ریپل مبدل تغییر می کند. بنابراین ظرفیت خازن سمت DC باید متناسب با ریپلمبدل انتخاب شود.

بخشهای مختلف یک STATCOM ، در شکل (۲) به طور شماتیک نشان داده شده اند. این بخشها عبارتند از :

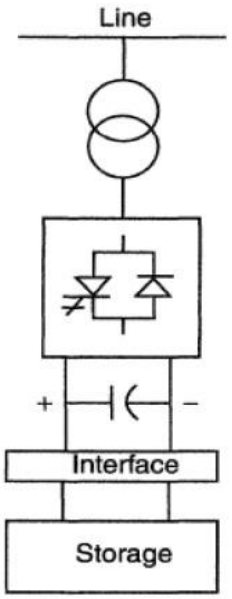
۱- ترانسفورماتور

۲- مبدل

۳- خازن DC

۴- ذخیره کننده انرژی

۵- کنترل کننده



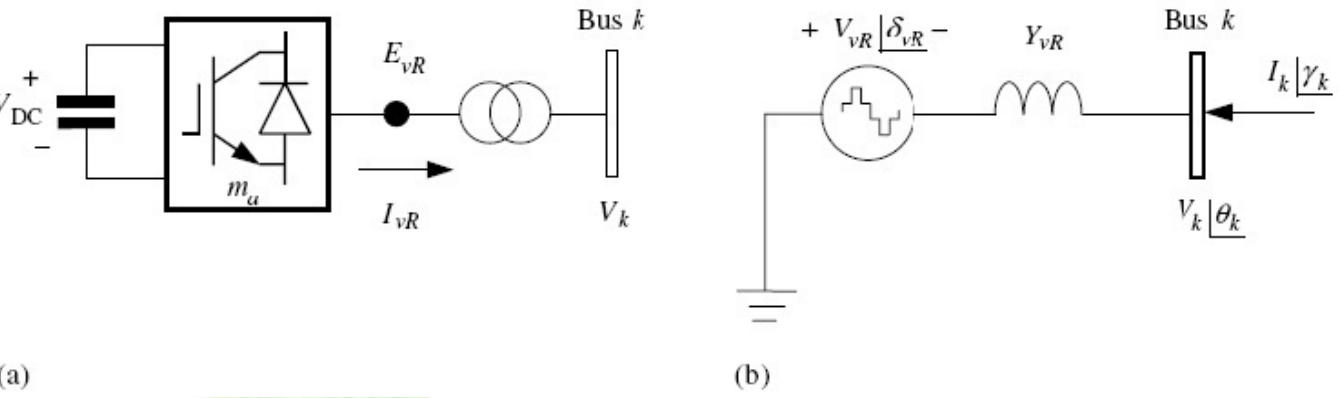
شکل (۲) : بخش های مختلف یک STATCOM

کنترل کننده با توجه به مقادیر اندازه گیری شده ، ورودی های مرجع و تنظیم پارامترها ، به مبدل فرمان می دهد و نوع (خازنی یا سلفی) و دامنه توان راکتیو تزریقی را کنترل می کند. توان راکتیو مورد نیاز از طریق خازن تامین میشود.

STATCOM ، ولتاژ DC را از طریق یک خازن شارژ شده دریافت و توسط مبدل به ولتاژ AC با قابلیت کنترل دامنه و زاویه فاز تبدیل می کند. نماد تک خطی STATCOM در شکل (۳) نشان داده شده است. STATCOM عمل تبدیل ولتاژ را دو طرفه انجام می دهد. به

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

همین دلیل می توان از آن برای جذب یا تولید توان اکتیو به طور موقت سود برد. در این صورت به منبع ذخیره ی انرژی در طرف DC نیاز خواهیم داشت ، که این منبع می تواند یک باطری یا یک ابر رسانای ذخیره کننده انرژی الکترو مغناطیسی ($SMES$) باشد.



شکل (۳) : نماد تک خط STATCOM

WikiPower.ir

۱۰-۱) لزوم استفاده از جبرانسازهای توان راکتیو در نیروگاههای بادی

بطور معمول در توربین های بادی، از ژنراتور القایی استفاده می گردد، ژنراتورهای القایی بدلیل مصرف توان راکتیو، موجب کاهش پروفیل ولتاژ نیروگاههای بادی می گردند، در گذشته جهت جبران توان راکتیو مورد نیاز، توربین های بادی را مستقیماً به شبکه برق متصل می‌نمودند و توان راکتیو مورد نیاز از طریق شبکه تامین می گردید.ولی با افزایش تعداد و ظرفیت نیروگاههای بادی، موجب بروز مشکلات دیگری نیز گردیدند. لذا سازندگان بدنبال راه حلهای

مناسبتری جهت تأمین توان راکتیو اقدام نمودند، ژنراتورهای القایی در هنگام راه اندازی جریانی حدود ۷ الی ۸ برابر بزرگتر از رنج نامی‌خود در زمان ۱/۵ ثانیه تحمل می‌نمایند . همین عامل موجب کاهش ولتاژ ناگهانی از شبکه قدرت می گردد، که این مقدار بسته به ظرفیت و توان توربین بادی متفاوت خواهد بود.

جبرانسازهای توان راکتیو در نیروگاههای بادی عبارتند از:

۱. بانکهای خازن سوئیچ شونده
۲. جبرانسازهای استاتیکی وار SVC[۱]
۳. جبرانساز استاتیکی سنکرون[۲]

WikiPower.ir

۱۰-۱-۱) بانکهای خازنی سوئیچ شونده

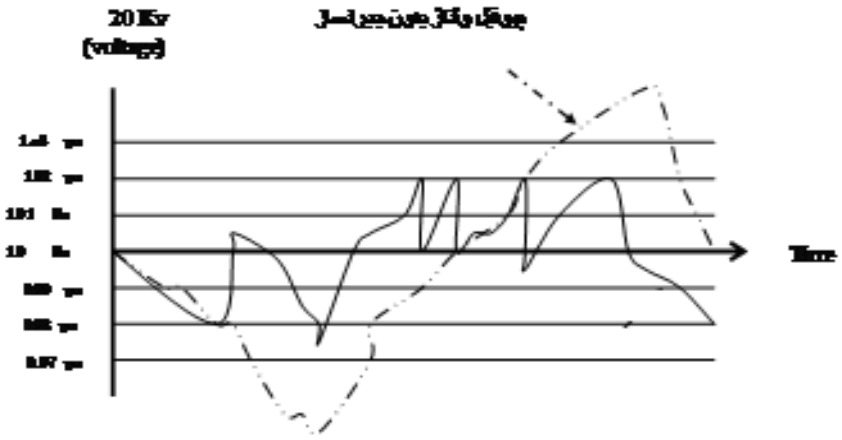
ارزانترین و ساده ترین روش برای تأمین توان راکتیو مورد نیاز، استفاده از خازنهای موازی متصل به ترمینالهای ژنراتور می‌باشند. در این روش از تعدادی خازن با ظرفیت های مختلف جهت تأمین توان راکتیو و اصلاح ضریب قدرت ژنراتور القایی استفاده می گردد. در این روش علیرغم بهبود پایداری ولتاژ و تامین توان راکتیو نسبت به روش اتصال مستقیم به شبکه، مشکلاتی را نیز دارا می باشد.

[۱] Static Var Compensator
[۲] Statcom

ارزانترین و ساده ترین روش برای تأمین توان راکتیو مورد نیاز، استفاده از خازنهای موازی متصل به ترمینالهای ژنراتور می‌باشند. در این روش از تعدادی خازن با ظرفیت های مختلف جهت تأمین توان راکتیو و اصلاح ضریب قدرت ژنراتور القایی استفاده می گردد. در این روش علیرغم بهبود پایداری ولتاژ و تامین توان راکتیو نسبت به روش اتصال مستقیم به شبکه، مشکلاتی را نیز دارا می‌باشد . همانگونه در شکل (۴) مشاهده می گردد، پروفیل ولتاژ نیروگاه بادی با جبرانساز بسیار بهبود یافته است.

از جمله مشکلات این روش می‌توان به وارد شدن خازنها با یک ظرفیت ثابت بصورت پله ای اشاره نمود. کلید زنی، قطع و وصل ناگهانی یک خازن با ظرفیت ثابت، موجب ایجاد ولتاژی گذرا و تأثیر مضر و مخربی روی توربین باد می گردد. تغییرات پله ای ولتاژ موجب تغییرات پله ای در گشتاور گیربکس توربینهای بادی گردیده و باعث استهلاک طبیعی اجزاء گیربکس و کاهش عمر مفید و افزایش هزینه تعمیر و نگهداری خواهد گردید.

از دیگر مشکلات بانکهای خازنی میتوان به زمان پاسخ کم به نوسانات گذرای سیستم اشاره نمود، چرا که گاهی اوقات افزایش یا کاهش ولتاژ بصورت لحظه ای می‌باشد. در اثر عملکرد متوالی این خازنها، عمر مفید آنها بسیار کاهش یافته و نیاز به تعمیر و نگهداری منظم دارند.



شکل (۴) : پروفیل نیروگاه بادی با و بدون جبرانساز

۲-۱-۱۰) جبرانسازهای استاتیکی وار *SVC*

یکی از روشهای دیگر برای جبران راکتیو مورد نیاز نیروگاههای بادی استفاده از *SVC* ها می‌باشد. *SVC* ها یک مولد یا جذب کننده استاتیکی وار توان راکتیو هستند که بصورت موازی به شبکه متصل می‌گردد و خروجی آن برای مبادله جریان خازنی یا سلفی تنظیم می‌گردد، از این طریق می‌توان ولتاژ را در محدوده مجاز حفظ و کنترل نمود. جبرانسازهای استاتیکی وار عبارتند از:

راکتور کنترل شده با ترسیتور *TCR*[۱]

خازنهای سویچ شونده با تریستور *TSC*[۲]

خازنهای ثابت و راکتیو کنترل شده با تریستور *TCR/FC*

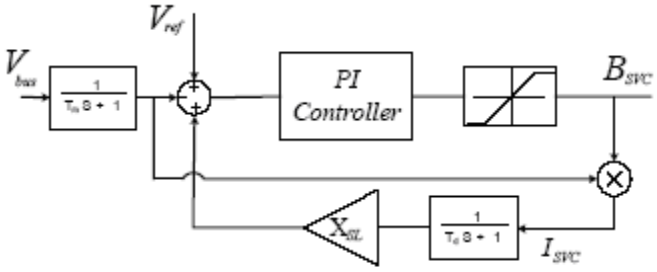
خازنهای کنترل شده با تریستور و راکتیو کنترل شده با تریستور *TSC/TCR*

در نیروگاههای بادی معمولاً از جبرانسازهای خازنی ثابت و راکتیو کنترل شده با تریستور *(TCR/FC)* استفاده می‌گردد.

[۱] Thyristor Controlled Reactor

[۲] Thyristor Switched Capacitors

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۵) : بلوک دیاگرام سیستم کنترلی مرسوم *SVC*

این جبرانسازها همچون یک دستگاه کنترل توان راکتیو دینامیکی عمل می‌نمایند. *SVC* ها دارای یک ظرفیت حداکثر و حداقلی می‌باشند که می‌توانند در این محدوده، توان راکتیو را کنترل نموده و در نهایت موجب پایداری ولتاژ در نیروگاه بادی شوند. *SVC* ها طوری طراحی و ساخته می‌شوند که بتوانند در محدوده مورد نظر بصورت پیوسته و آرام به تغییرات ناگهانی ولتاژ پاسخ داده و باعث جلوگیری از فروپاشی ولتاژ گردند. این جبرانسازها معمولاً در شین ارتباطی شبکه محلی نیروگاههای بادی نصب و موجب افزایش قابلیت اطمینان می‌شوند.بلوک دیاگرام سیستم کنترلی *SVC* در شکل (۵) آمده است.

با استفاده از *SVC* پروفیل ولتاژ نسبت به حالت بدون جبرانساز و جبرانساز خازنی بسیار بهبود یافته و اثرات مخربی که تغییرات پله ای بانکهای خازنی روی تجهیزات مکانیکی توربین های بادی ایجاد می‌نمود، در این روش به آرامی و نرمی صورت می‌پذیرد.

۱۰-۱-۳) جبرانساز استاتیکی سنکرون *STATOM*

یکی دیگر از جبرانسازها که در نیروگاههای بادی می‌توان استفاده نمود، جبران ساز *STATCOM* می‌باشد این جبرانسازها بر مبنای مبدل منبع ولتاژ یا منبع جریان کار می‌کنند، در این جبرانسازها از نیمه هادیهای الکترونیک قدرت *IGBT, IGCT* و *GTO* استفاده می‌شود.

بطوریکه ولتاژ AC خروجی کنورترهای منبع ولتاژ طوری کنترل می گردد که جریان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی در شین شبکه محلی نیروگاه بادی بصورت اتوماتیک و به اندازه مورد نیاز تنظیم میشود. همچنین این جبرانساز می تواند بعنوان یک فیلتر فعال هارمونیکی سیستم نیز عمل نماید.

این جبرانسازها موجب تنظیم ولتاژ خروجی توربین های بادی و بهبود پایداری ولتاژ در مقابل خطاهای گذاری سیستم میگردد و مشابه SVC ها زمان پاسخ سریعتری دارند و تاثیر خطای گذرا را ملایم تر مینماید . کنترل دائمی‌راکتیو بصورت دینامیکی پروفیل ولتاژ نیروگاه بادی را در حد مطلوب نگهداری می‌نماید.

۲-۱۰) مقایسه بین جبرانساز های توان راکتیو در نیروگاههای بادی

همانگونه که اشاره گردید استفاده از شبکه قدرت بعنوان تامین کننده توان راکتیو، نیروگاههای بادی روش مناسبی نبوده و مشکلات عدیده ای ایجاد می‌نماید. روش بعدی استفاده از بانکهای خازنی می‌باشد که هم اکنون در اکثر نیروگاههای بادی استفاده آن رایج می‌باشد. قیمت ارزان و هزینه پایین این خازنها یکی از مزایای کاربرد فراوان این روش می‌باشد، که نسبت به روش قبلی بسیار مناسب بوده و موجب بهبود پروفیل ولتاژ و اصلاح ضریب قدرت ژنراتورهای القایی می گردد. ولی همانطور که شرح داده شده مشکلاتی را پدید می‌آورد که از آن جمله تغییرات پله ای و ناگهانی خازنها و وارد شدن استرس و تغییرات ناگهانی در گیربکس توربین های بادی، موجب مستهلک و کاهش عمر مفید توربین های بادی می‌باشد و در نهایت زمان پاسخ آنها نسبت به خطاهای گذرا کم میباشد.

استفاده ازجبرانسازهای SVC و $STATCOM$ نسبت به روشهای قبلی ، بهبود قابل ملاحظه ای را شاهد بودیم. از آن جمله می‌توان به پاسخ سریع وآرام به تغییرات ناگهانی و گذرای سیستم،

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بهبود پایداری ولتاژ و پروفیل ولتاژ اشاره نمود. افزایش قابلیت اطمینان نیروگاههای بادی در مقابل اغتشاشات بزرگ و کوچک نیز از مزایای این جبرانسازها می‌باشد

جدول (۱) : مقایسه بین جبرانسازهای توان راکتیو

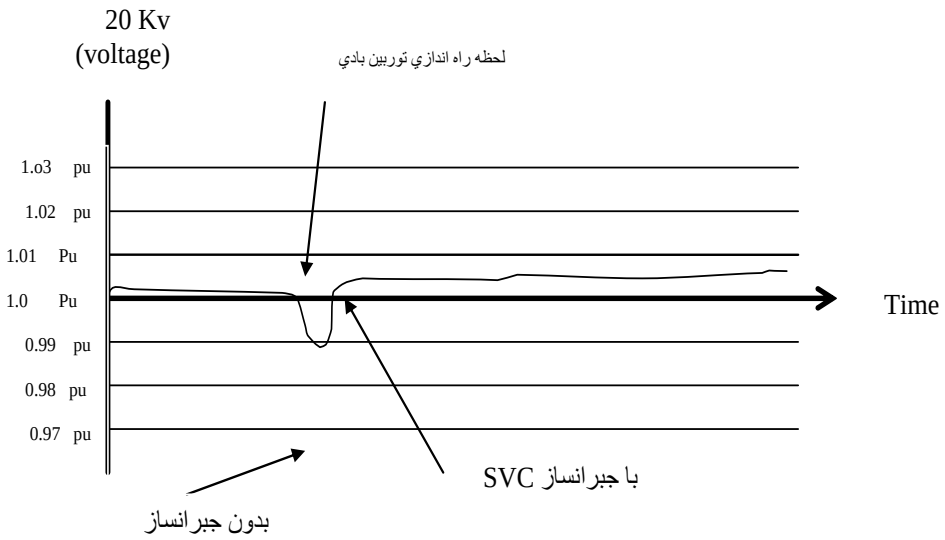
جبرانگرها / شرح	بانک خازنی	SVC		STATCOM
		TCR-FC	TCR-TSC	
نوع	استوانه ای	امپدانس کنترل شده		منبع ولتاژ سنکرون
مشخصه V-I	خطی	حداکثر جریان جبرانسازی متناسب با ولتاژ سیستم		حداکثر جریان جبرانسازی مستقل از ولتاژ سیستم
مشخصه V-Q	پله ای	حداکثر توان راکتیو خروجی خازنی با مجذور کاهش ولتاژ،		حداکثر توان راکتیو خروجی با

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

		کاهش می‌یابد		کاهش ولتاژ بصورت خطی کاهش می‌یابد
تلفات	کم	کم		متوسط
تولید هارمونیک	کم	زیاد	کم	بسیار کم
حداکثر تأخیر	چند سیکل	نیم سیکل	یک سیکل	قابل صرفنظر کردن
رفتار گذاری سیستم در اثر اغتشاشات ولتاژی	ضعیف	متوسط		خوب
هزینه تعمیر و نگهداری	کم	متوسط		متوسط

قابلیت تامین حداکثر جریان جبرانسازی در ولتاژ کاهش یافته سیستم (اغتشاشات بزرگ) ، جبرانسازی توسط *STATCOM* بهتر از *SVC* صورت می‌پذیرد و توانایی *STATCOM* در حفظ جریان خروجی کامل خازنی در ولتاژ های کم سیستم ، آنرا نسبت به *SVC* ثمر بخش تر در اصلاح پایداری گذرا می‌نماید .

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (۶)

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱۰-۳) نتیجه گیری

با گسترش روزافزون احداث نیروگاههای بادی در جهان و رشد سریع تکنولوژی نیاز به ارایه روشهای جدیدی برای بهبود پروفیل ولتاژ در نیروگاههای بادی را حائز اهمیت نموده است.

همانطور که اشاره گردید یکی از مهمترین چالش های موجود در نیروگاههای بادی کاهش پروفیل ولتاژ میباشد، با توجه به مزایای ژنراتورهای القایی بهترین روش برای حل مشکل افت ولتاژ استفاده از جبرانسازهای توان راکتیو میباشد. با توجه به مطالعات صورت گرفته استفاده از جبران سازهای استاتیکی وار و *STATCOM* ها از بهترین روش نسبت به روش اتصال مستقیم به شبکه و استفاده از بانک خازنی میباشد. زیرا تغییرات بصورت پله ای و ناگهانی نبوده و پاسخ بسیار نرم و آرام صورت میپذیرد و همچنین زمان پاسخ به خطاهای گذرا بسیار کاهش یافته و پایداری ولتاژ بهبود قابل ملاحظه ای خواهد یافت که همه این عوامل موجب افزایش قابلیت اطمینان در نیروگاههای باید را در پی خواهد داشت. بنابراین استفاده از جبرانسازهای *SVC* و *STATCOM* در نیروگاههای بادی امری اجتناب ناپذیر به نظر میرسد. با توجه به مشکلات اشاره شده لزوم برنامه ریزی جهت طراحی و ساخت داخل این جبرانسازها در سالهای آتی امری اجتناب پذیر به نظر میرسد.

منابع : شامل کتاب های زیر و دو مقاله فارسی pdf ۱۲ و ۱۳

۱- آشناییباFacts: مفاهیموفنآوریشبکههایانتقالنیرویانعطافپذیر

پدیدآوراصلی: هینگوراني،ناراین
ناشر: مهندسینمشاورقدسنیرو

۲- سیستمهایانتقالجریانمتناوبانعطافپذیر (FACTS) "مفاهیموکاربردها"

پدیدآوراصلی: جورابیان،محمود
ناشر: دانشگاهشهیدچمران

۳- مدلسازیوشبیهسازیعناصرFACTSدرشبکههایقدرت

پدیدآوراصلی: آچا،انریکو
ناشر: دانشگاهزنجان

۴- سیستمهایانتقالانعطافپذیرAC (Facts)

پدیدآوراصلی: سونگ،یونگهوآ
ناشر: دانشگاههرمزگان: شرکتسهامیبرقمنطقهایهرمزگان،کمیتهتحقیقات

WikiPower.ir