بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد برق مکاترونیک

کنترل هوشمند نیروگاه بادی با استفاده از مدلسازی شبکه‌پتری

دانشجو: **مرضیه سادات هاشمی**

اساتید راهنما: **جناب آقای دکتر دیدبان**

جناب آقای دکتر کی‌پور

مهر ۱۳۹۱

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که همواره بهترین پشتیبانم بودند

این مجموعه را به

پدر و مادر عزیزم

تقدیم می کنم.

با تشکر از اساتید عزیزم

جناب آقای دکتر دیدبان

و

جناب آقای دکتر کی پور

که راهنمایی هایشان در این مسیر روشنگر راهم بود.

چکیده

نگرانی‌های زیست محیطی و افزایش تقاضای انرژی، همزمان با پروسه تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر، فرصت‌های جدیدی را برای استفاده از این منابع انرژی بازنموده، که در این میان استفاده از انرژی‌های باد و خورشید کاربرد بیشتری پیدا کرده است. در این پروژه از شبکه‌های پتری به عنوان ابزار پیاده‌سازی استراتژی کنترلی هوشمند برای کنترل سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، شامل توربین بادی، پنل فتوولتائیک، دیزل ژنراتور و باتری استفاده شده است. با توجه به نزدیک بودن زبان برنامه‌نویسی SFC به شبکه‌های پتری، با تبدیل مدل نهایی پتری به برنامه SFC و تعیین جزئیات عملکردی در حالت‌های مختلف، کنترل‌کننده سیستم طراحی شده است. برای اطمینان از عملکرد صحیح کنترل‌کننده طراحی شده در شرایط مختلف تولید و مصرف توان، سیستم مورد نظر پس از سایزبندی بهینه و اقتصادی در نرم‌افزار HOMER، در محیط نرم‌افزار مانیتورینگ WinCC پیاده‌سازی شده است.

کلید واژه: سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، شبکه‌های پتری، نرم‌افزار WinCC.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱ مقدمه ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی ترکیبی ۲
۱-۲-۱ سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی ترکیبی بر پایه DC ۳
۱-۲-۲ سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی ترکیبی بر پایه AC ۴
۱-۳ مدلسازی ۴
۱-۴ کنترل نظارتی ۵
۱-۵ جمع‌بندی ۵
۲ بررسی اجزای سیستم تولید انرژی الکتریکی ترکیبی ۷
۲-۱ مقدمه ۸
۲-۲ توربین‌های بادی ۸
۲-۲-۱ انرژی، گشتاور و توان توربین بادی ۹
۲-۲-۲ اجزای مختلف توربین بادی ۱۱
۲-۳ سیستم‌های‌فتوولتائیک ۱۲
۲-۳-۱ ساختار سلول فتوولتائیک ۱۳
۲-۳-۲ مدل استاتیکی سلول فتوولتائیک ۱۴
۲-۳-۳ اجزای سیستم‌های فتوولتاییک ۱۵
۲-۴ دیزل ژنراتور ۱۶
۲-۵ باتری ۱۷
۲-۶ مبدل الکترونیک قدرت ۱۸
۲-۷ پیل سوختی ۲۰
۲-۸ جمع‌بندی ۲۱
۳ تئوری کنترل نظارتی با استفاده از شبکه‌های پتری ۲۲
۳-۱ مقدمه ۲۳
۳-۲ عناصر شبکه‌های پتری ۲۳

۳-۳ مفاهیم شبکه‌های پتری ۲۴
۳-۴ ویژگی‌های شبکه پتری ۲۷
۳-۴-۱ محدود بودن ۲۷
۳-۴-۲ زنده بودن ۲۷
۳-۴-۳ ناوردائی ۲۸
۳-۴-۴ همزمانی و تداخل ۲۹
۳-۵ کاربرد تئوری شبکه‌های پتری ۲۹
۳-۶ انواع شبکه‌های پتری ۳۰
۳-۶-۱ شبکه‌های پتری زمانی ۳۰
۳-۶-۲ شبکه‌های پتری تعمیم یافته ۳۱
۳-۶-۳ شبکه‌های پتری اولویت دار ۳۳
۳-۶-۴ شبکه‌های پتری پیوسته و هیبرید ۳۴
۳-۷ جمع‌بندی ۳۵
۴ مروری بر مطالعات انجام شده ۳۷
۴-۱ مقدمه ۳۸
۴-۲ بررسی، مدلسازی و مدیریت انرژی سیستم‌های تولید انرژی ترکیبی ۳۸
۴-۳ ابزارهای مختلف جهت پیاده‌سازی استراتژی‌های کنترلی هوشمند در مدلسازی سیستم‌های هیبرید تولید انرژی ۳۹
۴-۳-۱ شبکه‌های عصبی ۳۹
۴-۳-۲ منطق فازی ۴۱
۴-۳-۳ اتوماتا و شبکه‌های پتری ۴۱
۴-۴ جمع‌بندی ۵۰
۵ طراحی کنترل‌کننده با استفاده از مدلسازی با شبکه پتری ۵۱
۵-۱ مقدمه ۵۲
۵-۲ مدلسازی اجزای سیستم ۵۲
۵-۲-۱ مدل وضعیت عملکردی توربین بادی ۵۳
۵-۲-۲ مدل پنل فتوولتائیک ۵۶
۵-۲-۳ مدل دیزل ژنراتور ۵۷
۵-۲-۱ مدل باتری ۵۷
۵-۳ ضوابط ۵۸

۵-۴ مدل نهایی ۶۰
۵-۴-۱ ترکیب همزمان ۶۱
۵-۴-۲ اجرای ترکیب همزمان برای سیستم مورد نظر ۶۱
۵-۵ جمع‌بندی ۶۴
۶ پیاده‌سازی کنترل‌کننده و آنالیز سیستم ۶۵
۶-۱ مقدمه ۶۶
۶-۲ زبان برنامه‌نویسی SFC ۶۷
۶-۳ تبدیل مدل پتری کنترل‌کننده سیستم به برنامه SFC ۶۸
۶-۴ پیاده‌سازی در محیط مانیتورینگ WinCC ۷۳
۶-۵ بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار HOMER ۷۶
۶-۶ شبیه‌سازی و مطالعات عددی در WinCC ۷۸
۶-۷ جمع‌بندی ۸۳
۷ بحث و نتیجه‌گیری ۸۴
نتیجه‌گیری ۸۵
پیشنهادات ۸۶
مراجع ۸۷
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۹۰
پیوست‌ها ۹۱

کلمات اختصاری

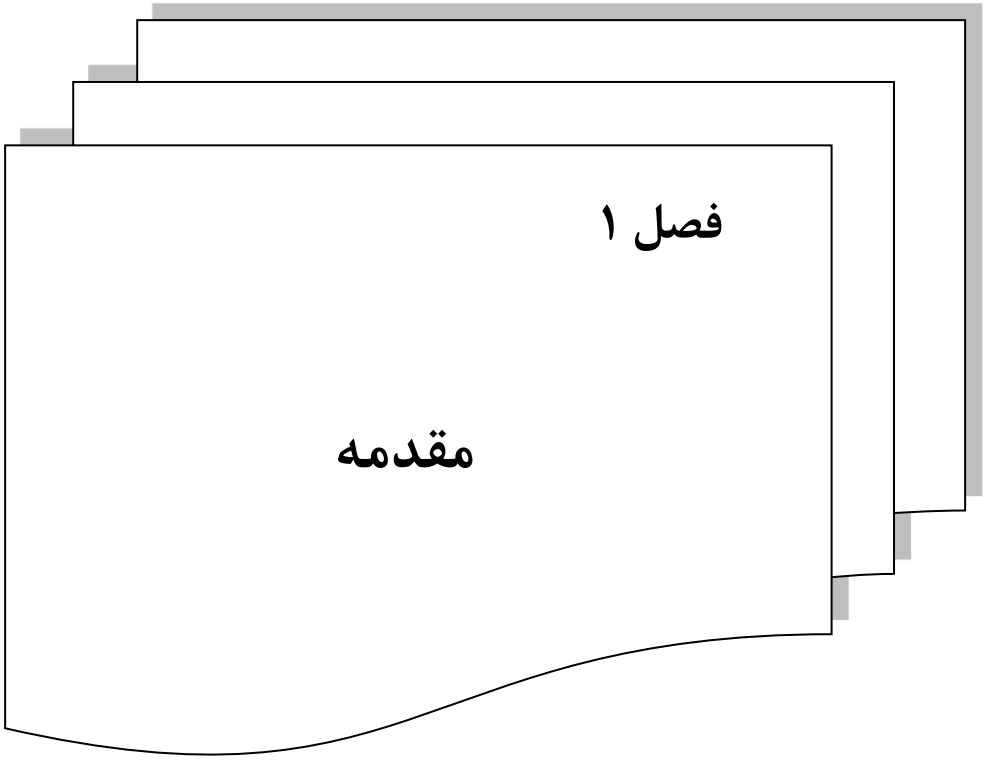
PN	Petri Net
HRES	Hybrid Renewable Energy System
SMES	Systems of Multiple Sources of Energy
DES	Discrete Event System
STC	Standard Test Condition
PV	Photovoltaic
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
MPPT	Maximum Power Point Tracker
WTG	Wind Turbine Generator
SOC	State Of Charge
PLC	Programmable Logic Controller
SFC	Sequential Function Chart
HMI	Human Machine Interface
HOMER	Hybrid Optimization Model Energy Resources

فهرست اشکال و نمودارها

شماره شکل	توضیح شکل	صفحه
شکل (۱-۱)	سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی هیبرید بر پایه DC	۳
شکل (۱-۲)	سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی هیبرید بر پایه AC	۴
شکل (۲-۱)	منحنی $C_p - \lambda$	۱۰
شکل (۲-۲)	منحنی سرعت باد- توان برای یک توربین بادی	۱۰
شکل (۲-۳)	اجزای مختلف توربین بادی	۱۲
شکل (۲-۴)	ساختار سلول فتوولتائیک	۱۳
شکل (۲-۵)	مدل استاتیکی سلول فتوولتائیک	۱۴
شکل (۲-۶)	منحنی V-I یک مدول فتوولتائیک در تابش‌های مختلف	۱۵
شکل (۲-۷)	مبدل buck-boost	۱۵
شکل (۲-۸)	منحنی P-V یک پنل فتوولتائیک در دماهای مختلف	۱۶
شکل (۲-۹)	منحنی مصرف سوخت بر حسب توان در دیزل ژنراتور 50kW	۱۷
شکل (۳-۱)	عناصر شبکه پتری	۲۳
شکل (۳-۲)	مثالی از یک گراف شبکه پتری	۲۴
شکل (۳-۳)	مفهوم آتش شدن در شبکه پتری	۲۵
شکل (۳-۴)	ساختارهای متداول برنامه‌نویسی با استفاده از شبکه پتری	۲۵
شکل (۳-۵)	ماتریس تلاقی	۲۶
شکل (۳-۶)	الف) شبکه پتری محدود ب) شبکه پتری نامحدود	۲۷
شکل (۳-۷)	مثالی از زنده بودن در شبکه پتری	۲۸

شکل (۳-۸)	مثالی از ناوردایی در شبکه پتری	۲۹
شکل (۳-۹)	مثالی از همزمانی و تداخل در شبکه پتری	۲۹
شکل (۳-۱۰)	شبکه پتری زمانی	۳۱
شکل (۳-۱۱)	شبکه پتری تعمیم یافته	۳۲
شکل (۳-۱۲)	شبکه پتری اولویت‌دار	۳۳
شکل (۳-۱۳)	شبکه پتری گسسته و پیوسته	۳۴
شکل (۳-۱۴)	شبکه پتری هیبرید	۳۵
شکل (۴-۱)	مدل اتوماتای ترکیبی ژنراتور القایی دوسوتغذیه	۴۳
شکل (۴-۲)	گراف پتری برای اتوماسیون مرکز کنترل اصلی	۴۵
شکل (۴-۳)	مفهوم کمان"Database "	۴۷
شکل (۴-۴)	مدل پتری تصادفی رنگی پنل فتوولتائیک با استفاده از کمان "Database"	۴۸
شکل (۴-۵)	سیستم تولید انرژی الکتریکی ترکیبی	۴۹
شکل (۴-۶)	کنترل کننده نظارتی برای سیستم تولید انرژی ترکیبی	۵۰
شکل (۵-۱)	سیستم تولید توان ترکیبی	۵۳
شکل (۵-۲)	منحنی سرعت باد- توان برای یک توربین	۵۳
شکل (۵-۳)	مدل پتری توربین بادی	۵۴
شکل (۵-۴)	مدل پتری پنل فتوولتائیک	۵۶
شکل (۵-۵)	مدل پتری دیزل ژنراتور	۵۷
شکل (۵-۶)	مدل پتری باتری	۵۸
شکل (۵-۷)	مدل پتری ضوابط (حالت اول)	۵۹
شکل (۵-۸)	مدل پتری ضوابط (حالت دوم)	۵۹
شکل (۵-۹)	مدل پتری ضوابط (حالت سوم)	۶۰

شکل (۵-۱۰)	مدل نهایی سیستم	۶۳
شکل (۶-۱)	ساختار برنامه‌نویسی در محیط SFC	۶۹
شکل (۶-۲)	برنامه SFC مربوط به کنترل توربین بادی	۷۱
شکل (۶-۳)	برنامه SFC مربوط به کنترل پنل خورشیدی	۷۲
شکل (۶-۴)	صفحه توربین بادی (Turbine Screen)	۷۴
شکل (۶-۵)	صفحه پنل فتوولتائیک (Turbine Screen)	۷۴
شکل (۶-۶)	صفحه کنترل (HRES Control)	۷۵
شکل (۶-۷)	صفحه مدل پتری اجزای سیستم	۷۵
شکل (۶-۸)	پروفیل بار روزانه	۷۷
شکل (۶-۹)	میانگین ماهانه سرعت باد	۷۷
شکل (۶-۱۰)	میانگین تابش ماهانه خورشید	۷۷
شکل (۶-۱۱)	توان الکتریکی تولیدی ماهیانه سیستم ترکیبی	۷۸
شکل (۶-۱۲)	اطلاعات ورودی برای کنترل‌کننده	۷۹
شکل (۶-۱۳)	پارامترهای خروجی	۸۰
شکل (۶-۱۴)	توان تولیدی توربین بادی و پنل فتوولتائیک	۸۰
شکل (۶-۱۵)	توان مصرفی و توان تولیدی	۸۱
شکل (۶-۱۶)	تفاضل توان مصرفی و توان تولیدی در حضور باتری	۸۱
شکل (۶-۱۷)	وضعیت شارژ باتری	۸۲
شکل (۶-۱۸)	حالت‌های مختلف عملکردی اجزای سیستم در طی شبانه‌روز	۸۲


فصل ۱
مقدمه

۱-۱ مقدمه

انرژی الکتریکی یک فاکتور اساسی در توسعه جوامع بشری است. محدودیت‌های سوخت فسیلی، قیمت ناپایدار آنها، نوآوری‌های تکنولوژیکی و تغییرات اقتصادی و زیست محیطی در دهه‌های اخیر، سبب افزایش قابل توجه علاقه به منابع انرژی‌های تجدیدپذیر شده است[۱]. بکارگیری سیستم‌های تولید پراکنده ترکیبی، روشی کارآمد در راستای بهره‌برداری از انرژی الکتریکی ارزان و با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد. بدین ترتیب با استفاده از این منابع گام مؤثری در کاهش مصرف برق شبکه سراسری که خود منجر به کاهش هزینه‌های مربوط به احداث نیروگاه‌های جدید، خطوط انتقال و توزیع آلاینده‌های محیط زیست خواهد شد، برداشته می‌شود[۲]. مباحثی از جمله بررسی کیفیت توان، پایداری شبکه، کنترل نظارتی شامل زمانبندی و هماهنگی واحدهای تولیدی، مدلسازی و بهینه‌سازی سیستم و بررسی عملکرد سالیانه سیستم از موضوعات مهمی است که در بررسی سیستم‌های تولید انرژی ترکیبی می‌توان به آنها اشاره کرد.

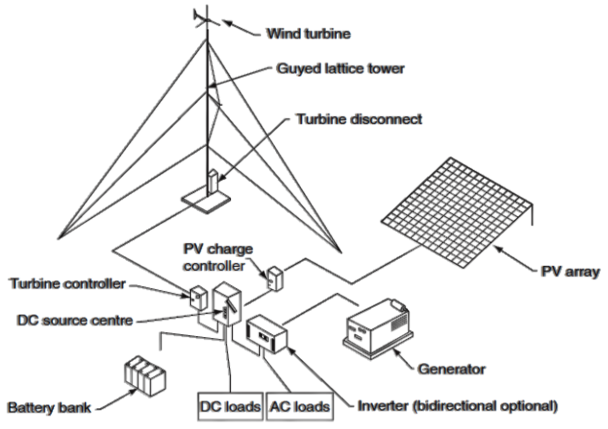
۱-۲ سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی ترکیبی

گروهی از سیستم‌های تولید برق که از منابع مختلف انرژی تغذیه می‌شوند و به صورت ترکیبی و مکمل یکدیگر کار می‌کنند، به عنوان سیستم‌های ترکیبی شناخته می‌شوند. از آنجا که این سیستم‌ها از دو یا چند منبع مختلف انرژی تغذیه می‌شوند، در مقایسه با سیستم‌هایی که یک منبع برای تولید برق دارند، از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار هستند. خورشید، باد، بیوماس، گاز و سوخت‌های فسیلی عمومی‌ترین منابع انرژی هستند. سیستم‌های تولید انرژی ترکیبی معمولاً ترکیبی از منابع انرژی باد و خورشید همراه با باتری‌ها می‌باشند. توربین‌های بادی، با توجه به اینکه قیمت کمتری نسبت به سایر منابع انرژی نو دارند، انرژی زیادی تولید می‌کنند، تعمیر و نگهداری آسانتری دارند و هزینه سوخت ندارند، اولین انتخاب برای سیستم‌های تولید انرژی ترکیبی به شمار می‌آیند. هم‌چنین با توجه به پیشرفت‌های قابل توجه تکنولوژی ساخت توربین‌ها و در نتیجه کاهش هزینه تمام شده نهایی آنها، استفاده از سیستم‌های کامپیوتری به منظور نظارت بر عملکرد و کاربرد توربین‌ها، ساخت توربین‌های بزرگ، افزایش تولید برق توسط هر توربین و کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در انرژی بادی به سبب استقبال مردم از انرژی‌های پاک و اقبال دولت‌ها به آن، سبب شده است تا استفاده از این منبع برای تولید توان روز به روز در حال افزایش باشد. یکی دیگر از راه‌های مناسب برای استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی، سیستم فتوولتاییک می‌باشد. سلول‌های فتوولتائیک به عنوان واحد دریافت کننده انرژی خورشیدی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی دارای اهمیت

ویژه‌ای در تأمین انرژی برق از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند. پنل‌های خورشیدی معمولاً در کنار توربین‌های بادی در سیستم‌های شامل چند منبع انرژی[1] به کار می‌روند. اما با توجه به وابستگی شدید توان خروجی پنل خورشیدی و توربین بادی به شرایط جوی و تصادفی بودن سرعت باد، معمولاً در این سیستم‌ها از ذخیره‌کننده‌های انرژی چون باتری و هم‌چنین از دیزل ژنراتورها استفاده می‌شود. در ساعاتی از روز که توربین‌های بادی و آرایه‌های خورشیدی به تنهایی قادر به تأمین بار نمی‌باشند، باتری‌ها با تولید برق در تأمین بار مصرفی سهیم می‌گردند. همچنین بسیاری از سیستم‌های ترکیبی برای پاسخ‌گویی به پیک بار در زمان‌های کوتاهی که انرژی تولید شده از منابع انرژی موجود قادر به تأمین تقاضا نمی‌باشند به دیزل ژنراتور مجهز شده‌اند. اما همچنان سیستم‌های ترکیبی شامل منابع انرژی نو بهترین گزینه برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی می‌باشند[۳]. این سیستم‌ها سبب کاهش آلودگی هوا و افزایش قابلیت اطمینان برای تغذیه سیستم قدرت خواهند شد. سیستم‌های ترکیبی تولید انرژی را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم کرد:

۱-۲-۱ سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی ترکیبی بر پایه DC [۴]

در این سیستم‌ها توان تولیدی ناشی از منابع متناوب نیز با استفاده از مبدل‌ها به توان DC تبدیل شده و برای شارژ باتری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف کلی در این نوع از سیستم‌های ترکیبی، ثابت نگهداشتن ولتاژ بانک باتری است. در مواقع ضروری که نیاز به ولتاژ AC است، از دیزل‌ژنراتور استفاده می‌شود. شکل زیر نمای کلی سیستم ذکر شده را نشان می‌دهد.

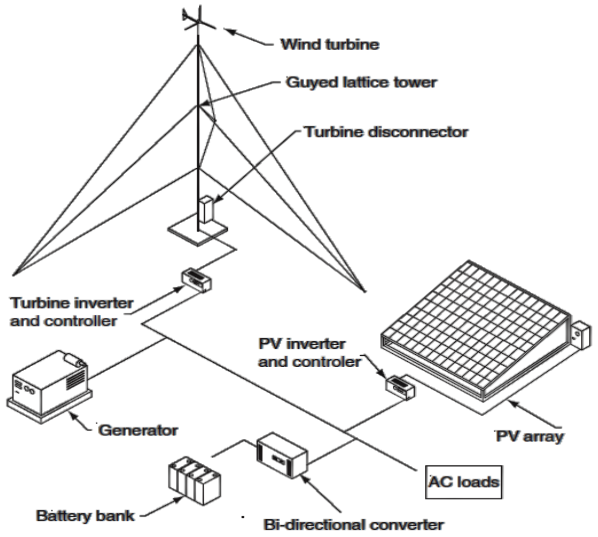


شکل ۱-۱: سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی هیبرید بر پایه DC

[1]SMSE: System of Multiple Source of Energy

۱-۲-۲ سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی هیبرید بر پایه AC [۴]

در این سیستم‌ها توان تولیدی همه منابع به توان AC تبدیل شده و به باس AC متصل می‌شوند و برای تأمین بارهای متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف در این سیستم‌ها، ثابت نگهداشتن ولتاژ باس AC است. هم‌چنین باتری‌ها برای مواقع نیاز به توان DC، شارژ می‌شوند. شکل زیر یک سیستم تولید انرژی هیبرید AC را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی هیبرید بر پایه AC

۱-۳ مدلسازی

امروزه استفاده از روش‌های مدلسازی در کارهای صنعتی خصوصاً با گسترش علوم رایانه‌ای و افزایش سرعت پردازنده‌ها، کاربرد وسیعی پیدا کرده است. هر نوع ارائه یا بیان یک سیستم که رفتار آن را بیان کند، مدل نامیده می‌شود. از خواص مدلسازی، ساده‌سازی وایجاد یکنواختی ویگانگی است. هدف از شبیه‌سازی، مطالعه و بررسی سیستم مرجع می‌باشد و اساس و رکن مدلسازی، انتخاب مدل مناسب است که پارامترتعیین کننده‌ای است، لذا در ابتدا باید مدل را خوب شناخت.

با توجه به افزایش روزافزون استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در راستای تأمین توان در سیستم قدرت، مدلسازی، کنترل و هماهنگی بین واحدهای تولیدی سیستم‌های ترکیبی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. در این زمینه از ابزارهای مختلفی جهت مدلسازی این سیستم‌ها استفاده می‌شود. یکی از این ابزارها شبکه‌های پتری است. شبکه‌پتری یک ابزار گرافیکی و ریاضی است که اساساً برای آنالیز سیستم‌های گسسته پیشامد به کار می‌رود. نمایش واضح تمام جنبه‌های دینامیکی به صورت گرافیکی (شامل

جنبه‌های سنکرون و غیر سنکرون)، استفاده از روابط ریاضی و تئوری در گراف‌های مارک‌دار و وجود روش‌هایی برای اجرای نرم افزاری و سخت افزاری سیستم از دلایل انتخاب شبکه‌های پتری برای مدلسازی این سیستم‌ها می‌باشد. علاوه بر این با استفاده از مدلسازی با شبکه‌های پتری به راحتی می‌توان کنترل‌کننده را برای سیستم طراحی نمود[۵]. روش‌های زیادی برای طراحی و کنترل و اجرای روش‌های مدیریت انرژی در سیستم‌های تولید توان ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. از این روش‌ها می‌توان به استفاده از شبکه‌های عصبی [۶-۷]، منطق فازی [۸-۹] و اتوماتا [۱۰] اشاره کرد. استفاده از شبکه‌های پتری، با توجه به گویا بودن دینامیک سیستم در آن، به عنوان ابزار مناسبی برای مدلسازی مباحث مدیریت انرژی، قابلیت اطمینان و ایمنی و هماهنگی بین واحدها در سیستم‌های تولید انرژی رو به افزایش است[۱۱-۱۳].

۱-۴ کنترل نظارتی

تئوری کنترل نظارتی که با نام تئوری Ramadge-Wonham هم شناخته می‌شود، روشی خودکار برای پیاده‌سازی ناظران است به صورتی که رفتار پروسه، به آنچه امکان وقوعش در ضوابط وجود دارد، محدود می‌شود. پیشامدهای موجود در یک پروسه به دو دسته قابل کنترل و غیرقابل کنترل تقسیم می‌شوند. ناظر، مجموعه پیشامدهای پروسه را مشاهده می‌کند و از وقوع پیشامدهای قابل کنترلی که سبب ورود به حالات ممنوع می‌شود، جلوگیری می‌کند. با توجه به این تئوری، با ایجاد یک حلقه توسط یک پروسه و یک ناظر، فرمان ورودی با توجه به لیست پیشامدهای مجاز و غیر مجاز، شرایط سیستم را تعیین می‌کند. خروجی پروسه مجموعه پیشامدهایی است که به وسیله سنسورها و فرمان‌های اعمال شده به سیستم تعیین می‌گردند. مدل پروسه از ترکیب مدل اجزای سیستم بدست می‌آید. با ترکیب همزمان مدل اجزای سیستم و مدل ضوابط، در صورتی که مدل کنترل‌پذیر باشد، مدل نهایی بدست می‌آید[۱۴].

۱-۵ جمع‌بندی

هدف اصلی این پروژه اجرای کنترل نظارتی بین واحدهای تولیدی به منظور زمانبندی و هماهنگی بین منابع مختلف تولید انرژی است. برای این کار از شبکه‌های پتری برای مدلسازی سیستم استفاده شده است. با استفاده از تئوری کنترل نظارتی، یک روش سیستماتیک و ساده برای طراحی کنترل‌کننده در سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر ترکیبی به منظور کنترل و هماهنگی بین واحدهای تولیدی ارائه شده

است. همچنین سیستم مورد نظر پس از بهینه‌سازی و سایزبندی تجهیزات با کمک نرم‌افزار HOMER، در نرم‌افزار مانیتورینگ WinCC پیاده‌سازی شده است.

در ادامه این پایان‌نامه، در فصل دوم به بررسی اجزای مختلف سیستم هیبرید از جمله، توربین‌های بادی و سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان اصلی‌ترین اجزای این سیستم‌ها پرداخته شده است. مفاهیم اساسی تئوری کنترل نظارتی و شبکه‌های پتری به عنوان ابزار مورد استفاده در مدلسازی سیستم و پیاده‌سازی کنترل نظارتی در فصل سوم مطرح خواهد شد. فصل چهارم به بررسی و دسته‌بندی تحقیقات انجام‌شده در حیطه کنترل و مدلسازی سیستم‌های ترکیبی می‌پردازد. طراحی کنترل‌کننده برای سیستم موردنظر در فصل پنجم آورده شده است. فصل ششم به بحث پیاده‌سازی کنترل‌کننده و آنالیز سیستم خواهد پرداخت. در نهایت جمع‌بندی مباحث و نتیجه‌گیری در فصل هفتم آمده است.

فصل ۲

بررسی اجزای سیستم تولید انرژی الکتریکی ترکیبی

۲-۱ مقدمه

سیستم ترکیبی قدرت به صورت ترکیب دو یا چند تکنولوژی برای تولید توان معرفی می‌شود. از جمله این تکنولوژی‌ها می‌توان به مولدهای بادی، فتوولتائیک، پیل سوختی، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، دیزل ژنراتورها و میکروتوربین‌ها اشاره کرد. این سیستم‌ها می‌توانند به صورت مستقل و یا متصل به شبکه قدرت در نظر گرفته شوند. سیستم‌های تولید انرژی ترکیبی معمولاً ترکیبی از منابع انرژی باد و خورشید همراه با باتری‌ها می‌باشند[۴].

۲-۲ توربین‌های بادی

انرژی باد از دیر باز ذهن بشر را به خود معطوف کرده بود به طوری که بشر همواره به فکر کاربرد این انرژی در صنعت بوده است. در گذشته، بشر از انرژی باد برای به حرکت درآوردن قایق و کشتی‌های بادبانی و آسیاب‌های بادی استفاده می‌کرد. انرژی باد، انرژی حاصل از هوای متحرک است. هنگامی که تابش خورشید بطور نامساوی به سطوح ناهموار زمین می‌رسد، سبب ایجاد تغییرات دما و فشار می‌گردد و در اثر این تغییرات باد بوجود می‌آید. همچنین اتمسفر زمین به دلیل حرکت وضعی زمین، گرما را از مناطق گرمسیری به مناطق قطبی انتقال می‌دهد که این امر باعث بوجود آمدن باد می‌گردد. جریان اقیانوسی نیز به صورت مشابه عمل نموده و عامل ۳۰٪ انتقال حرارت در جهان می‌باشد. در مقیاس جهانی این جریان‌های اتمسفری بصورت یک عامل قوی جهت انتقال حرارت و گرما عمل می‌نمایند. دوران کره زمین نیز می‌تواند در برقراری الگوهای نیمه دائم جریان‌های سیاره‌ای در اتمسفر، انرژی مضاعف ایجاد نماید[۱۵]. برخی از مزایای بهره‌برداری از انرژی باد به شرح زیر است:

- عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت که در نتیجه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی
- رایگان و در دسترس بودن انرژی باد
- نداشتن آلودگی محیط زیست نسبت به سوخت‌های فسیلی
- کمتر بودن هزینه‌های سرمایه گذاری انرژی باد در بلند مدت
- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی
- قدرت مانور زیاد جهت بهره برداری در هر ظرفیت و اندازه از چند وات تا چندین مگاوات
- عدم نیاز به آب و زمین زیاد برای نصب