بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان پایان نامه :

کنترل بار- فرکانس در سیستم قدرت چند ناحیه ای در حضور خط HVDC

استاد راهنما : **دکتر مهدی اخباری**

نگارش : **محسن شاه حسینی**

زمستان ۱۳۸۷

مراعات حقوق دانشگاه

این پروژه در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، و در جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد، انجام شده است و هرگونه استفاده از مطالب این پایان‌نامه، منوط به کسب اجازه از این دانشکده می‌باشد.

تقدیم نامه

آنچه نزدم مسلمی در تسلیم عینیت است ، حق بی چون و چرا و بس سنگینیست کـه والـدینم بـر گردنم دارند و دین چه بسا ثقیلتری که ایقان به بر نیامدن از زیر آن دارم. هر چـه باشـد و نباشـد ، احترام بدیشان که ناموس هستی را جاری نموده و این حقیر بنده ناچیز را پرورانیده و در این مسـیر صعب از هیچ امکانی نگذشته و هر آنچه را که ممکن بوده و نیاز ، تدارک دیده و حتی بسی بیشتر از آن ، توجهی دقیق و بی نقص مبذول داشته و از سر سلامت و مراقبت خویش گذشته و به حراسـت و حمایت فرزندان خود پرداخته – امری لازم و اساسی می نماید . پس آنچه ، یـک وجـدان بیـدار و تربیت شده سلیم دست انگشت می گذارد ، تنها سر فرودآوردن و رضایت گرفتن و در تفهیم صحیح واژه " نیکی و احسان " است که در مراتب متکثر بشری مفهـومی بتغـایر حسـی – شخصـیتی دارد ولی در ذات ، آمیخته ای بسوی یک قصد است که همانا ، خشـنود نگـه داشـتن از ثمـره زنـدگی و ایجاد حس رضایت مندی از شکوفه های آن نهال کاشته و داشته شده است.

تقدیرها

از استاد گرامی ، جناب آقای دکتر اخباری که جهت راهنمایی ایـن پـروژه را پذیرفتنـد و در مسـیر سـخت آن همواره مشوقی پابرجا بودند و معضلات حادثه را یاری رسان ، خالصانه تشکر می کنم .

همچنین ، همه دانشجویان مقطع ارشد که هـم دوره اینجانـب بـوده انـد دوسـتانی پرلطـف و خـوش نشـین و فراموشی ناپذیر محسوب می شوند که همه ایشان را دوستانه و صمیمانه دست فشار و سپاسگذارم.

چکیده:

با تغییرات بار در در شبکه های الکتریکی که به عنوان یک اغتشاش در نظر گرفته می شود، فرکانس شبکه نیز دچار انحراف از مقدار نامی خود می گردد که منجر به نوسانات فرکانس سیستم و اختلال در عملکرد آن می شود. لذا کنترل بار- فرکانس به منظور تحویل مناسب توان الکتریکی حائز اهمیت است. از سویی، نوسانات فرکانس سیستم ممکن است به نوسانات توان در خطوط ارتباطی منجر شود. در نتیجه در یک سیستم قدرت که شامل چندین ناحیه است، علاوه بر کنترل بار- فرکانس، نوسانات عبور توان در خط ارتباطی نیز باید کنترل شود. هدف این پروژه کنترل خط ولتاژ بالای جریان مستقیم (HVDC) به عنوان یکی از راه کار های موثر برای کنترل بار فرکانس است که می تواند سبب بهبود میرایی سیستم و کنترل نوسانات فرکانس در سیستم قدرت شود. مدلی که در این پروژه برای خط DC ارائه شده است، مبتنی بر معادلات مداری و کنترلی دو طرف خط HVDC است. این مدل برای سیستم های قدرت دو و سه ناحیه ای مورد بررسی قرار گرفته است. از الگوریتم جستجوی هارمونی (Harmony Search Algorithm) نیز برای تعیین مقادیر بهینه پارامتر های کنترل کنندهشامل کنترل کننده PI و کنترل کننده های مبدل های HVDC استفاده شده است. طرح کنترلی پیشنهادی با مدل سازی در محیط نرم افزار MATLAB/SIMULINK پیاده سازی شده و به کمک ان عملکرد سیستم قدرت دو ناحیه ای و سه ناحیه ای با در نظر گرفتن یک لینک HVDC تحت شرایط مختلف تغییر بار در نواحی شبیه سازی شده شبیه سازی شده و نتایج آن مورد تحلیل و بررسی قرار است. نتایج بدست آمده از این مدل و شبیه سازی های ارائه شده نشان می دهند که وجود لینک HVDC در سیستم قدرت در هر حال موجب بهبود عملکرد سیستم قدرت در کنترل فرکانس نواحی می شود. نوسانات فرکانس بالای فرکانس حذف شده و سیستم با مد های نوسانی با فرکانس پایین تر به سمت نقطه پایدار جدید می رود. بهینه سازی به کار گرفته شده در تعیین پارامتر های کنترل کننده ها در مجموع موجب کاهش خطای فرکانس و میرایی سریع تر نوسانات توان و فرکانس می شود.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- سیستم انتقال HVDC و کاربرد آن در کنترل بار- فرکانس ۱

۱-۲- مطالب ارائه شده در این گزارش ۶

فصل دوم: خطوط انتقال ولتاژ بالای DC (HVDC) **۷**

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- اجزای یک سیستم انتقال HVDC ۱۰

۲-۲-۱- ایستگاه کانورتر ۱۰

۲-۲-۱-۱- کلیدهای تریستوری ۱۱

۲-۲-۱-۲- ترانسفورمر کانورتر ۱۳

۲-۲-۱-۳- فیلتر ها ۱۴

۲-۲-۱-۴- منبع توان راکتیو ۱۵

۲-۲-۱-۵- راکتور های صاف کننده جریان DC ۱۵

۲-۲-۱-۶- کلید های DC ۱۵

۲-۲-۲- الکترودها ۱۶

۲-۲-۳- محیط انتقال ۱۷

۲-۳- انواع سیستمهای HVDC ۱۷

۲-۳-۱- سیستم HVDC پشت به پشت (Back-to-Back) ۱۷

۲-۳-۲- سیستم HVDC تک قطبی ۱۸

۲-۳-۳- سیستم HVDC دو قطبی ۱۹
۲-۳-۴- سیستم HVDC چند ترمیناله ۱۹
۲-۴- مقایسه انواع سیستم های HVDC ۲۱
۲-۵- مقایسه انتقال dc با ac ۲۲
۲-۶- انواع کانورتر ۲۶
۲-۷- عملکرد کانورترهای خطوط HVDC ۲۷
۲-۷-۱- عمل یکسو ساز ۲۷
۲-۷-۲- عمل اینورتور ۲۹
۲-۸- خلاصه فصل دوم ۳۱
فصل سوم: کنترل بار– فرکانس درسیستمهای قدرت چند ناحیه ای ۳۲
۳-۱- مقدمه : ۳۲
۳-۲- کنترل بار- فرکانس ۳۴
۳-۳- اجزای تشکیل دهنده سیستم کنترل بار- فرکانس ۳۴
۳-۳-۱- سیستم تنظیم سرعت توربین یا گاورنر ۳۴
۳-۳-۲- مدل گاورنر ۳۵
۳-۳-۳- مدل توربین ۳۷
۳-۳-۴- مدل سیستم الکتریکی ۳۸
۳-۳-۵- بلوک دیاگرام کامل سیستم کنترل LFC ۳۹
۳-۴- تحلیل و بررسی سیستم کنترل LFC در حالت مانا ۳۹
۳-۵- کنترل خودکار تولید (AGC) در یک سیستم یک ناحیه ای ۴۳
۳-۶- کنترل خودکار تولید (AGC) در یک سیستم چند ناحیه ای ۴۵
۳-۷- کنترل گرایشی خط ارتباطی ۴۸
۳-۸- خلاصه فصل سوم ۵۶
فصل چهارم: کنترل بار– فرکانس درسیستمهای قدرت چند ناحیه ای با لینک HVDC ۵۷
۴-۱- مقدمه: ۵۷
۴-۲- مدل سازی خط DC در کنترل بار - فر کانس ۶۶
۴-۳- استراتژی کنترل ۶۸

۴-۴- الگوریتم جستجوی هارمونی ۷۷
۴-۵- شبیه سازی کنترل بار- فرکانس ۸۰
۴-۵-۱- مدل شبکه دو ناحیه ای ۸۱
۴-۵-۲- پیاده سازی الگوریتم ۸۲
۴-۵-۳- نتایج شبیه سازی برای سیستم دو ناحیه ای ۸۴
۴-۵-۴- مدل شبکه سه ناحیه ای ۹۱
۴-۵-۵- نتایج شبیه سازی برای سیستم سه ناحیه ای ۹۴
۴-۶- خلاصه فصل چهارم ۱۱۷
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات **۱۱۸**
پیوست **۱۲۰**
مراجع **۱۳۴**

فهرست جداول

جدول ۳-۱- اطلاعات سیستم دو ناحیه ای ۵۰

جدول ۴-۱- پارامتر های سیستم دو ناحیه ای ۸۲

جدول ۴-۲- پارامتر های الگوریتم بهینه ۸۳

جدول ۴-۳- پارامتر های بهینه سیستم دو ناحیه ای ۸۴

جدول ۴-۴- تغییرات بار نواحی ۸۵

جدول ۴-۵- مقایسه نتایج شبکه دو ناحیه ۹۰

جدول ۴-۶ - پارامتر های سیستم سه ناحیه ای ۹۳

جدول ۴-۷ پارامتر های بهینه سیستم سه ناحیه ای ۹۴

جدول ۴-۸- تغییرات بار نواحی ۹۵

جدول ۴-۹- مقایسه نتایج ۱۱۱

جدول ۴-۱۰- مقایسه نتایج ۱۱۷

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- دیاگرام سیستم HVDC ۷

شکل ۲-۲- نحوه استفاده از دو ترانس سه فاز همراه با یک سمت DC با اتصالات سیم پیچی ستاره زمین نشده و مثلث درسمت دیگر ۹

شکل ۲-۳- اجزای یک سیستم انتقال HVDC ۱۰

شکل ۲-۴- ساختار یک کلید تریستوری ۱۲

شکل ۲-۵- ترانسفورمر کانورتر در یک پست HVDC ۱۳

شکل ۲-۶- نصب یک فیلتر AC در یک پست HVDC ۱۴

شکل ۲-۷- راکتور صاف کننده جریان DC ۱۶

شکل ۲-۸- سیستم قدرت HVDC با آرایش پشت به پشت همراه با کانورترهای ۱۲ پالسه ۱۸

شکل ۲-۹- سیستم انتقال قدرت HVDC، تک قطبی براساس کانورترهای ۱۲ پالسه ۱۸

شکل ۲-۱۰- سیستم اتصال HVDC دو قطبی بر مبنای کانورترهای ۱۲ پالسه ۱۹

شکل ۲-۱۱- سیستم چندپایانه موازی و سری ۲۰

شکل ۲-۱۲- سیستم اتصال HVDC چند پایانه بر مبنای کانورترهای ۱۲ پالسه ۲۰
شکل۲-۱۳ - مدار معادل یکسوساز ۲۷
شکل ۲-۱۴ - شکل موج ولتاژ و دوره های هدایت تریستور ۲۸
شکل ۲-۱۵ - شکل موج ولتاژ و دوره های هدایت تریستور ۳۰
شکل ۲- ۱۶- مدارهای معادل اینورتور (با V_{di} مثبت) ۳۱
شکل ۳-۱- نمایش ساده LFC و AVR یک ژنراتور سنکرون ۳۳
شکل ۳-۲- سیستم تنظیم کننده سرعت ۳۵
شکل ۳-۳ - بلوک دیاگرام یک گاورنر ۳۷
شکل ۳-۴- توربین بخار دو مرحله ای ۳۸
شکل ۳-۵- مدل توربین بخار ۳۸
شکل۳- ۶- بلوک دیاگرام سیستم الکتریکی ۳۹
شکل ۳-۷- بلوک دیاگرام کامل سیستم LFC ۳۹
شکل ۳-۸- منحنی مشخصه بار – فرکانس یک گاورنر در حالت مانا ۴۲
شکل۳-۹- کنترل AGC برای یک سیستم قدرت یک ناحیه ای ۴۴
شکل ۳-۱۰- نمایش بلوکی معادل AGC برای یک سیستم قدرت یک ناحیه ای ۴۴
شکل ۳-۱۱- شبکه معادل برای یک سیستم قدرت دو ناحیه ای ۴۵
شکل ۳-۱۲- سیستم دو ناحیه ای با حلقه LFC اولیه ۴۷
شکل ۳-۱۳- مدل کنترل فرکانس برای یک شبکه دو ناحیه ای با خط ارتباطی AC ۵۰
شکل ۳- ۱۴- مدل سیستم کنترل LFC برای دو ناحیه ای ۵۲

شکل ۳-۱۵- تغییرات فرکانس ناحیه ۱و۲ ۵۳
شکل ۳-۱۶- تغییرات توان مکانیکی ناحیه ۱و۲ و تغییرات توان خط ارتباطی ناحیه ۱ و ۲ ۵۳
شکل ۳-۱۷- مدل سیستم AGC برای دو ناحیه ۵۴
شکل ۳-۱۸- تغییرات فرکانس ناحیه ۱و۲ ۵۵
شکل ۳-۱۹- تغییرات توان مکانیکی ناحیه ۱و۲ و تغییرات توان خط ارتباطی ناحیه ۱ و ۲ ۵۵
شکل ۴-۱- مدل ارائه شده برای خط DC در مدل سازی کنترل فرکانس در [۲۲] ۶۰
شکل ۴-۲- مدل و طرح کنترلی ارائه شده برای خط DC در مدل سازی کنترل فرکانس در [۲۳] ۶۲
شکل ۴-۳- - الف) مدل ارائه شده برای خط DC در مدل سازی کنترل فرکانس ب) شبکه سیستم مورد بررسی ج) شبکه ۳۰ شینه IEEE د) نتایج شبیه سازی ارائه شده برای خط DC در مدل سازی کنترل فرکانس در [۲۴] ۶۵
شکل ۴-۴- مدار معادل سیستم ۶۶
شکل ۴-۵- مشخصه های ایده آل حالت ماندگار V-I ۷۸
شکل۴-۶- مشخصه های واقعی حالت ماندگار کنترل کانورتر ۷۰
شکل ۴-۷- تنظیم کننده جریان ۷۰
شکل ۴-۸- کنترل کننده یکسو کننده [۳۱] ۷۱
شکل ۴-۹ کنترل کننده اینورتر ۷۲
شکل ۴-۱۰ شبیه سازی معادلات (۴-۵) و (۴-۲۱) و (۴-۲۲) ۷۴
شکل ۴-۱۱ شبیه سازی معادلات (۴-۱۹) و (۴-۲۰) ۷۵
شکل ۴-۱۲ کنترل کننده های PI برای تنظیم نقاط مرجع جریان و زاویه خاموشی ۷۶

شکل ۴-۱۳ سیستم دو ناحیه ای ۸۱
شکل ۴-۱۴ پیاده سازی تابع هدف در Simulink ۸۲
شکل ۴-۱۵ همگرایی تابع هدف ۸۴
شکل ۴-۱۶ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت اول ۸۵
شکل ۴-۱۷ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت اول ۸۶
شکل ۴-۱۸- توان خط DC و AC برای حالت اول ۸۶
شکل ۴-۱۹ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت دوم ۸۷
شکل ۴-۲۰ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت دوم ۸۷
شکل ۴-۲۱ توان خط DC و AC برای حالت دوم ۸۸
شکل ۴-۲۲ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت سوم ۸۸
شکل ۴-۲۳ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت سوم ۸۹
شکل ۴-۲۴- توان خط DC و AC برای حالت سوم ۸۹
شکل ۴-۲۵- سیستم سه ناحیه ای ۹۲
شکل ۴-۲۶ پیاده سازی تابع هدف در Simulink برای سیستم سه ناحیه ای ۹۳
شکل ۴-۲۷ همگرایی تابع هدف ۹۴
شکل ۴-۲۸ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت اول ۹۵
شکل ۴-۲۹ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت اول ۹۶
شکل ۴-۳۰ انحرافات فرکانس ناحیه ۳ برای حالت اول ۹۶
شکل ۴-۳۱- توان خط DC و AC برای حالت اول ۹۷

شکل ۴-۳۲- توان خط AC بین ناحیه ۲و۳ برای حالت اول ۹۷
شکل ۴-۳۳- توان خط AC بین ناحیه ۱و۳ برای حالت اول ۹۸
شکل ۴-۳۴ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت دوم ۹۸
شکل ۴-۳۵ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت دوم ۹۹
شکل ۴-۳۶ انحرافات فرکانس ناحیه ۳ برای حالت دوم ۹۹
شکل ۴-۳۷ توان خط DC و AC برای حالت دوم ۱۰۰
شکل ۴-۳۸ توان خط AC بین ناحیه ۲و۳ برای حالت دوم ۱۰۰
شکل ۴-۳۹ توان خط AC بین ناحیه ۱و۳ برای حالت دوم ۱۰۱
شکل ۴-۴۰ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت سوم ۱۰۱
شکل ۴-۴۱ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت سوم ۱۰۲
شکل ۴-۴۲ انحرافات فرکانس ناحیه ۳ برای حالت سوم ۱۰۲
شکل ۴-۴۳ توان خط DC و AC برای حالت سوم ۱۰۳
شکل ۴-۴۴- توان خط AC بین ناحیه ۲و۳برای حالت سوم ۱۰۳
شکل ۴-۴۵- توان خط AC بین ناحیه ۱و۳ برای حالت سوم ۱۰۴
شکل ۴-۴۶ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت چهارم ۱۰۴
شکل ۴-۴۷ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت چهارم ۱۰۵
شکل ۴-۴۸ انحرافات فرکانس ناحیه ۳ برای حالت چهارم ۱۰۵
شکل ۴-۴۹ توان خط DC و AC برای حالت چهارم ۱۰۶
شکل ۴-۵۰ توان خط AC بین ناحیه ۲و۳ برای حالت چهارم ۱۰۶

شکل ۴-۵۱ توان خط AC بین ناحیه ۱و۳ برای حالت چهارم ۱۰۷
شکل ۴-۵۲ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت پنجم ۱۰۷
شکل ۴-۵۳ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت پنجم ۱۰۸
شکل ۴-۵۴ انحرافات فرکانس ناحیه ۳ برای حالت پنجم ۱۰۸
شکل ۴-۵۵ توان خط DC و AC برای حالت پنجم ۱۰۹
شکل ۴-۵۶ توان خط AC بین ناحیه ۲و۳ برای حالت پنجم ۱۰۹
شکل ۴-۵۷ توان خط AC بین ناحیه ۱و۳ برای حالت پنجم ۱۱۰
شکل ۴-۵۸ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت اول ۱۱۲
شکل ۴-۵۹ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت اول ۱۱۳
شکل ۴-۶۰- توان خط DC و AC برای حالت اول ۱۱۳
شکل ۴-۶۱ انحرافات فرکانس ناحیه ۱ برای حالت سوم ۱۱۴
شکل ۴-۶۲ انحرافات فرکانس ناحیه ۲ برای حالت سوم ۱۱۴
شکل ۴-۶۳ انحرافات فرکانس ناحیه ۳ برای حالت سوم ۱۱۵
شکل ۴-۶۴ توان خط DC و AC برای حالت سوم ۱۱۵
شکل ۴-۶۵- توان خط AC بین ناحیه ۲و۳برای حالت سوم ۱۱۶
شکل ۴-۶۶- توان خط AC بین ناحیه ۱و۳ برای حالت سوم ۱۱۶

فصل اول: مقدمه

۱-۱- سیستم انتقال HVDC و کاربرد آن در کنترل بار- فرکانس

اولین اختراعات و اکتشافات به همراه اولین کاربردهای عملی در انتقال انرژی الکتریکی با نوع جریان مستقیم DC صورت گرفته است. با این وجود، صنعت AC بسیار سریع توانست به اوج برسد و در آغاز قرن بیستم با پیشرفتهایی که در زمینه موتورهای القایی، ژنراتورهای سنکرون و قابلیت استفاده از ترانسفورماتورها به انجام رسید، به این اوج دست یافت . احیای مجدد صنعت DC به خاطر شماری از برتریهای آن حادث شد که نیاز به انتقال انرژی در مسافتهای طولانی و نیز انتقال توسط کابل مزیتها را پر رنگ نمود .[۱].

در واقع ، محدودیتهای پایداری در انتقال برق به صورت DC و در مسافتهای طولانی وجود نداردو از طرفی عدم وجود جریان شارژکنندگی مداوم برای خازنها در انتقال انرژی از نوع DC باعث می شود که در مسافتهای بسیار طولانی تر ، انتقال انرژی از زیر زمین ممکن شود . با همه این مزیتها ادعای غالب در انتقال انرژی الکتریکی به صورت HVDC[1]، هزینه کمتر آن برای مسافتهای طولانی بوده البته ، در حال حاضر شاخص قابلیت کنترل نقش اساسی تری را نسبت به فاکتور هزینه بازی کرده و شاهد این ادعا افزایش تعداد لینکهای

[1]- High Voltage Direct Current

پشت به پشت[1] در سراسر جهان می باشد. با تمام این احوال ، انتخاب میان آلترناتیوهای انتقال بر اساس دو معیار هزینه و قابلیت کنترل به انجام می رسد. در مجموع می توان گفت سه عامل عمده "نیاز، رجحان و پیشرفت" احیای مجدد صنعت DC و ظهور صنعت HVDC را باعث شدند. اولین سیستم قدرت الکتریکی به صورت DC و توسط ادیسون به بهره برداری رسید . اما احیای مجدد صنعت DC را باید از سال ۱۹۲۹ میلادی دانست ، چرا که از این زمان بود که طرحها و برنامه های آزمایشگاهی در دو کشور سوئد و آمریکا به جهت تحقیق در امر استفاده از سوئیچهای قوس جیوه ای در فرایندهای تبدیل برای انتقال انرژی الکتریکی و تغییر فرکانس به مرحله انجام رسیدند و در همین سال بود که مطالعات و تحقیقات در کشور سوئد منجر به بهبود سوئیچهای قوس جیوه ای کنترل شده با شبکه ای از چند الکترود[2] ، برای استفاده در ولتاژها و توانهای بالا شد . عمده ترین مشکل در تکنولوژی مبدلهای قوس جیوه ای[3] خطای برگشت قوس بود که باعث از بین رفتن خاصیت یکسوکنندگی سوئیچ و در نتیجه مسبب ایجاد مشکلات دیگری می شد در اواخر دهه ۶۰ میلادی که تکنولوژی جدید ساخت مبدلها با سوئیچهای حالت جامد[4] پا به صحنه گذاشت برتمام مشکلات حاصله از تکنولوژی لامپ های قوس جیوه ای غلبه شد. در ادامه پیشرفت تکنولوژی و در اواخر دهه ۶۰ میلادی و اوایل دهه ۷۰ ، تریستورها به روی کار آمده و سوئیچهای حالت جامد ، به یک واقعیت مبدل شدند . اولین کاربرد این سوئیچها در انتقال به صورت HVDC در طرح رودخانه ایل[5] در کانادا بود . پس از آن ، استفاده از این سوئیچها و به طور اخص تریستورها رو به تزاید گذاشته و در انتقال به صورت HVDC ، در هر دو قسمت یکسوساز و اینورتر از برجهای تریستوری بهره می بردند[۲] . در سال ۱۹۷۰ میلادی ، اولین سیستم تجاری HVDC که در سال ۱۹۵۴ با تکنولوزی قوس جیوه ای به بهره برداری رسیده بود با تکنولوژی تریستورها بازسازی و ارتقاء

---

[1] - Back to Back
[2] - Multi-Electrode Grid Controlled Mercury-Arc Valves
[3] - Arc-Back Fault
[4] - Solid-State Valves
[5] - Eel River Project

یافت . لینک جدید دارای سطح ولتاژ ۱۵۰ کیلوولت و ظرفیت انتقالی ۳۰ مگاوات شد . از آن پس گامهای بزرگی در پیشرفت تکنولوژی تریستورها برداشته شد تا اینکه در حال حاضر ، تنها تکنولوژی غالب در ساخت مبدلها همین تکنولوژی تریستوری است و به کلی جایگزین لامپهای قوس جیوه ای شده است . رایج ترین فن ساخت تریستورهای مورد استفاده در مبدلهای HVDC بر پایه ساخت یک واحد تریستور با سیلیکونی به قطر ۱۰۰ میلی متر بود که تحمل ۸-۶ کیلوولت ولتاژ را در حالت بلوکه شدن داشت . با پیشرفتهایی که در فن ساخت تریستورها به وقوع پیوست ، قطر سیلیکون به ۱۵۰-۱۲۰ میلی متر افزایش یافت و تریستور ، تحمل ۱۲-۱۰ کیلوولت ولتاژ را در حالت معکوس پیدا کرد . البته این آخرین پیشرفتی است که تا سال ۱۹۹۷ میلادی در تکنولوژی ساخت تریستورها به عمل آمده است . پس از آن تاریخ و حتی هم اکنون ، با پیشرفتهای زیاد و سریعی که در تکنولوژی الکترونیک قدرت و حالت جامد انجام گرفته است و می گیرد ، این انتظار می رود که در عملکرد ، قابلیت اطمینان و نرخ توان تریستورها ارتقای بیشتری عاید گردد و هزینه ساخت پستهای اینورتری و یکسوکنندگی پیوسته در حال کاهش باشد که البته چنین نیز هست [۳] .

با این همه باید پذیرفت که استفاده از سیستمهای HVDC در کنار این مزیتها دارای نقاط ضعفی نیز می باشد و این مختص همه شاخه های علم و فن است و وظیفه محققان است که در مرتفع کردن ایرادات برآیند و بهره برداری از سیستمهای قدرت AC/DC را با حداکثر بازده محقق سازند . در هر حال سیستمهای HVDC نیز در نوع خود از ساختار متفاوتی برخوردار بوده و مسائل و مشکلات خاص خود را دارند یکی از مسائل مهم در صنعت برق برای مشترکین تحویل انرژی الکتریکی تحت ولتاژ و فرکانس ثابت است. این امر سبب شده که توجه عمده ای به سوی مسئله کنترل بار - فرکانس در سیستم قدرت معطوف شود. در یک سیستم قدرت باید پس از وقوع اغتشاشاتی از قبیل افزایش یا کاهش بارشبکه تحت فرکانس نامی خود کار کند که این امر از طریق یک سیستم منظم به نام کنترل بار- فرکانس انجام میگیرد. از سویی نوسانات توان نیز می تواند به تدریج سبب ناپایداری شبکه و بروز مشکلات شود. لذا لازم است تا سیستم کنترل بار - فرکانس برای میرا سازی نوسانات و

بهبود پایداری به طرز مناسبی کنترل شود. در [۱۲] رفتار یک سیستم شامل توربین های بادی، بخار، انبساطی و آبی مورد تحلیل قرار گرفته و تاثیرات آنها بر سیستم کنترل فرکانس شبکه بررسی شده است. در این بررسی نشان داده شده است که ثابت زمانی، اندازه و ثابت اینرسی ژنراتور ها فاکتور های بسیار تاثیر گذاری در رفتار شبکه هستند. راه کار های موثری مبتنی بر تئوری کنترل کلاسیک، بهینه، تطبیقی و مقاوم برای بهبود عملکرد سیستم کنترل فرکانس ارائه شده است. در [۱۳] برای کنترل بار در سیستم های چند ناحیه ای یک کنترل کننده با استفاده از تئوری سیستم های ساختار متغیر طراحی شده است. این کنترل کننده ضمن بهبود پاسخ گذرا خطای حالت دائمی آن را به طرز چشمگیری کاهش می دهد. علاوه بر آن از کنترل کننده مد لغزشی برای بهبود پاسخ سیستم کنترل فرکانس استفاده شده است. شبیه سازی های ارائه شده در این مرجع تاثیر کنترل کننده را برای کاهش خطای ماندگار و نوسانات گذرا نشان می دهد. در [۱۴] روشی سیستماتیک برای یافتن مقادیر بهینه کنترل کننده انتگرالی با استفاده از تئوری کنترل لیاپانوف ارائه شده است. در این بررسی به مدلسازی سیستم به صورت فضای حالت پرداخته شده است. همچنین مدل باند مرده[1] گاورنر مورد بررسی قرار گرفته و پس از خطی سازی معادلات در مدل فضای حالت لحاظ شده است. در این مقاله نشان داده شده است که غیر خطی بودن باند مرده گاورنر سبب بروز نوسانات در فرکانس شده و با کنترل فیدبک تناسبی می توان این نوسانات را کاهش داد. در [۱۵] روش پیشنهادی برای کنترل بار - فرکانس مبتنی بر استفاده از شبکه های عصبی است. این شبکه عصبی دارای نرون های دینامیکی در لایه پنهان و نرون های خطی در سایر لایه هاست. این شبکه به عنوان یک کنترل کننده برای سیستم کنترل بار - فرکانس مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه عملکرد این شبکه عصبی با شبکه های عصبی مرسوم برتری آن را نشان می دهد. در [۱۶] عملکرد کنترل کننده فازی برای کنترل بار - فرکانس در یک سیستم دو ناحیه ای مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی دینامیک بویلر و مدل باند مرده گاورنر هم مدل سازی شده اند. شبیه سازی ارائه شده نشان می دهد که این

1 -Dead Band