

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعت آب و برق
(شهید عباسپور)

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
دانشکده برق

پایان نامه کارشناسی ارشد برق قدرت

ترکیب ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابرسانایی (SMES) و محدود کننده جریان خطای
نوع ابرسانایی (SFCL) برای بهبود پایداری اغتشاش کوچک

توسط:

عبدالوهاب باش قره

استاد راهنما:

دکتر حمید جوادی

آبان ۱۳۸۸

تعهد نامه اصالت اثر:

اینجانب عبدالوهاب باش قره تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می‌باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع شده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح، پایین‌تر و بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.

عبدالوهاب باش قره

تقدیم به:

پدر زحمتکش و مادر مهربان مرحوم که مشوق و پشتیبان من بودند
و همسر صبورم که مرا پاری کرد.

فهرست مطالب

| | |
|--|----|
| فصل اول - مقدمه | ۱ |
| ۱-۱- تاریخچه | ۲ |
| ۲-۱- هدف از انجام پروژه | ۵ |
| فصل دوم- مبانی ابرسانایی | ۶ |
| ۱-۲- مقدمه | ۶ |
| ۲-۲- اثر MEISSENER | ۹ |
| ۳-۲- خنک کننده‌ها | ۱۳ |
| فصل سوم- محدود کننده‌های جریان (FCLs) | ۱۵ |
| ۱-۳- دلایل افزایش سطح اتصال کوتاه | ۱۵ |
| ۲-۳- تاثیرات افزایش جریان اتصال کوتاه | ۱۶ |
| ۳-۳- لزوم بکارگیری محدود کننده جریان خطا | ۱۶ |
| ۴-۳- محدود سازی جریان خطا | ۱۷ |
| ۵-۳- انواع روشهای محدود سازی جریان خطا | ۱۷ |
| ۱-۵-۳- محدود کننده جریان خطای امپدانسی با کلید مکانیکی | ۱۸ |
| ۲-۵-۳- محدود سازی جریان خطا با استفاده از فیوز ها | ۲۱ |
| ۳-۵-۳- محدود کننده های امپدانسی و مدار تشدید با سوئیچ تریستوری | ۲۴ |
| ۴-۵-۳- محدود کننده های ابرسانا (SFCL) | ۲۹ |
| ۱-۴-۵-۳- محدود ساز جریان ابرسانای مقاومتی | ۳۰ |
| ۲-۴-۵-۳- محدود ساز جریان ابرسانای سلفی | ۳۳ |
| ۳-۴-۵-۳- رفتار امپدانسی SFCL | ۳۴ |
| فصل چهارم- ذخیره گر انرژی مغناطیسی ابرسانا (SMES) | ۳۷ |
| ۱-۴- مقدمه | ۳۷ |

| | |
|----|--|
| ۳۸ | ۲-۴- اصول عملکرد |
| ۴۱ | ۳-۴- توان اکتیو و راکتیو خروجی SMES |
| ۴۳ | ۴-۴- ناحیه کنترلی P و Q توسط SMES |
| ۴۴ | ۱-۴-۴- کانورترهای کموتاسیون خط (SCR) |
| ۴۶ | ۲-۴-۴- کانورترهای خاموش شونده با گیت (GTO) |
| ۴۷ | ۵-۴- طرح‌های کنترل SMES |
| ۴۷ | ۱-۵-۴- طرح کنترل حلقه باز |
| ۴۸ | ۲-۵-۴- طرح کنترل حلقه بسته |
| ۵۰ | ۳-۵-۴- طرح تصحیح برای نواحی کنترلی |
| ۵۲ | ۴-۵-۴- روشهای تصحیح بهینه در نواحی کنترلی |
| ۵۵ | ۶-۴- مدلسازی کنترل SMES در پایداری سیستم‌های قدرت |
| ۵۵ | ۱-۶-۴- مدل‌های مجزا |
| ۵۶ | ۲-۶-۴- مدل‌های دارای تزویج |
| ۶۰ | فصل پنجم- مدلسازی |
| ۶۰ | ۱-۵- مدلسازی SFCL |
| ۶۴ | ۲-۵- مدلسازی SMES |
| ۶۵ | ۱-۲-۵- کنترلر PI |
| ۶۶ | ۱-۲-۵- کنترلر فازی |
| ۶۶ | ۱-۲-۲-۵- مقدمه |
| ۶۷ | ۲-۲-۲-۵- اصول کنترل فازی |
| ۶۹ | ۳-۲-۲-۵- بکارگیری کنترل فازی در SMES |
| ۷۳ | فصل ششم- شبیه‌سازی |
| ۷۳ | ۱-۶- مقدمه |
| ۷۳ | ۲-۶- شبکه، پیشامد مورد مطالعه و پارامترهای بررسی پایداری |
| ۷۶ | ۳-۶- شبیه‌سازی شبکه بدون SMES و SFCL |
| ۷۷ | ۴-۶- تاثیر SMES با کنترلر PI در عملکرد شبکه |
| ۸۰ | ۵-۶- تاثیر SFCL در عملکرد شبکه |

| | |
|----|---|
| ۸۳ | ۶-۶- تاثیر SFCL و SMES با کنترلر PI در عملکرد شبکه..... |
| ۸۶ | ۶-۷- تاثیر ترکیب SFCL و SMES با کنترلر فازی در عملکرد شبکه..... |
| ۸۸ | فصل هفتم- نتیجه گیری و پیشنهاد برای کارهای آتی |
| ۸۹ | ۷-۱- نتیجه گیری |
| ۹۰ | ۷-۲- پیشنهاد برای کارهای آتی |
| ۹۱ | پیوست |
| ۹۲ | مراجع..... |

فهرست اشکال

- ۱-۱- انواع پایداری سیستم قدرت ۲
- ۲-۱- نمایش محدودکننده جریان ابررسانا با اثر اشباع ۴
- ۳-۱- اصول عملکرد محدودکننده جریان ابررسانا با اثر اشباع ۵
- ۱-۲- تغییر مقاومت فلزات با دما ۸
- ۲-۲- تغییر مقاومت ابررسانا با دما ۸
- ۳-۲- رفتار ابررسانای نوع ۱ ۱۰
- ۴-۲- منحنی تغییرات میدان بحرانی با دمای فلزات ۱۱
- ۵-۲- رفتار ابررسانای نوع ۲ در میدان مغناطیسی ۱۲
- ۶-۲- دیاگرام نشان‌دهنده محدودیت سه بعدی در حالت ابررسانایی ۱۳
- ۷-۲- دیاگرام مراحل سرد کردن اولیه با سرد کن خارجی و داخلی ۱۴
- ۱-۳- مدار الکتریکی محدودساز جریان خطا با متوقف کننده های موازی و کلید مقاومتی ۱۸
- ۲-۳- اجزای محدود کننده جریان خطا (چند تیر) ۲۰
- ۳-۳- ساختمان اصلی محدود ساز ۲۱
- ۴-۳- محدود کننده فیوز انفجاری ۲۲
- ۵-۳- مشخصه مقاومت - دمای PTC ۲۳
- ۶-۳- ساختمان محدودساز PTC ۲۳
- ۷-۳- محدود کننده جریان خطا با امیدانس کنترل شده با تریستور ۲۵
- ۸-۳- محدود کننده مدار رزونانس LC موازی ۲۶
- ۹-۳- عناصر تشکیل دهنده محدود ساز جریان خطا از نوع رزونانس سری ۲۷
- ۱۰-۳- محدودساز رزونانس سری - موازی ۲۷
- ۱۱-۳- آرایش محدودساز رزونانسی به کمک کلیدهای GTO ۲۹
- ۱۲-۳- شکل سه بعدی یک نوع SFCL سه فاز ۳۰
- ۱۳-۳- منحنی J-R بر حسب دماهای مختلف برای دو نوع ابررسانا ۳۲
- ۱۴-۳- آرایش FCL های مدار و مقاومت های شنت ۳۲
- ۱۵-۳- FCL۱ در ربع سیکل اول مقاومت بیشتری نشان میدهد ۳۳

| | |
|----|--|
| ۳۳ | ۳-۱۶-FCL و FCL۲ محدود کنندگی مشابهی دارند |
| ۳۳ | ۳-۱۷- اصول عملکرد SFCL |
| ۳۴ | ۳-۱۸- دیاگرام مداری SFCL سلفی |
| ۳۵ | ۳-۱۹- تکه‌ای از ابررسانا که روابط آن ذکر شده |
| ۳۹ | ۴-۱- SMES با دو واحد کانورتر |
| ۳۹ | ۴-۲- ولتاژ یکسو شده و شکل موج جریان متغیر |
| ۴۰ | ۴-۳- کانورتر اتصال سری ۱۲ پالسه |
| ۴۱ | ۴-۴- شکل موج کانورتر ۱۲ پالسه |
| ۴۵ | ۴-۵- ناحیه کاری کانورتر کموتاسیون خط |
| ۴۵ | ۴-۶- ناحیه کاری کانورتر کموتاسیون خط |
| ۴۶ | ۴-۷- دامنه کنترل توان توسط کانورتر GTO |
| ۴۷ | ۴-۸- ناحیه کارکرد کانورتر GTO |
| ۴۸ | ۴-۹- روش کنترلی حلقه باز |
| ۴۹ | ۴-۱۰- روش کنترلی حلقه بسته |
| ۵۱ | ۴-۱۱- توان اکتیو و راکتیو در نواحی کنترلی |
| ۵۱ | ۴-۱۲- روش تقدم برای توان عملی |
| ۵۲ | ۴-۱۳- روش بهینه ۱ برای توان عملی |
| ۵۴ | ۴-۱۴- روش بهینه ۲ برای توان عملی |
| ۵۷ | ۴-۱۵- بلوک دیاگرام کنترل SMES با فیدبک انحراف جریان سلف |
| ۵۹ | ۴-۱۶- بلوک دیاگرام کنترل SMES با کنترلر PI |
| ۶۰ | ۵-۱- مقاومت بر حسب دما (R-T) مربوط به یک تکه کریستال $(Bi, Pb)_2Sr_2CaCu_2O_y$ |
| ۶۱ | ۵-۲- دمای محدود کننده بر حسب زمان در J/J_{c77K} های مختلف |
| ۶۲ | ۵-۳- مشخصه SFCL مورد استفاده در شبیه‌سازی بصورت تابعی از زمان و جریان |
| ۶۳ | ۵-۴- مدل SFCL مقاومتی |
| ۶۴ | ۵-۵- مثالی از وابستگی گذرای دمایی مقاومت فیلم ابررسانا |
| ۶۷ | ۵-۶- تابع عضویت یک مجموعه فازی نمونه |
| ۶۷ | ۵-۷- شمای یک کنترل کننده فازی |

| | |
|----|---|
| ۶۹ | ۸-۵- تقسیم بندی فازی |
| ۷۰ | ۹-۵- تابع عضویت $\Delta\omega$ |
| ۷۱ | ۱۰-۵- تابع عضویت α |
| ۷۴ | ۱-۶- نمایش پارامترهای تعریف شده در ارزیابی و مقایسه عملکرد شبکه |
| ۷۴ | ۲-۶- دیاگرام سیستم مورد مطالعه و محل خطا |
| ۷۵ | ۳-۶- دیاگرام شبکه در PSCAD و اتصال SFCL و SMES |
| ۷۶ | ۴-۶- زاویه روتور پس از اغتشاش بدون SFCL و SMES |
| ۷۷ | ۵-۶- جریان اتصال کوتاه خط بدون SMES و SFCL |
| ۷۷ | ۶-۶- زاویه روتور پس از اغتشاش با SMES و کنترلر PI |
| ۷۹ | ۷-۶- جریان اتصال کوتاه خط با SMES و کنترلر PI |
| ۷۹ | ۸-۶- توان اکتیو و راکتیو SMES در بروز خطا |
| ۸۰ | ۹-۶- تناسب انحراف سرعت زاویه‌ای با توان خروجی SMES |
| ۸۱ | ۱۰-۶- جریان اتصال کوتاه خط با SFCL |
| ۸۲ | ۱۱-۶- مقاومت متغیر با زمان SFCL |
| ۸۲ | ۱۲-۶- زاویه روتور پس از اغتشاش با SFCL |
| ۸۳ | ۱۳-۶- زاویه روتور پس از اغتشاش با SFCL و SMES با کنترلر PI |
| ۸۵ | ۱۴-۶- جریان اتصال کوتاه خط با SFCL و SMES با کنترلر PI |
| ۸۵ | ۱۵-۶- توان اکتیو و راکتیو SMES در حالتیکه از ترکیب آن با SFCL استفاده شده |
| ۸۶ | ۱۶-۶- ارتباط انحراف سرعت با زاویه آتش و توان خروجی SMES |
| ۸۷ | ۱۷-۶- زاویه روتور پس از اغتشاش با SMES با کنترلر PI و SMES با کنترلر فازی |

فهرست جداول

| | |
|----|---|
| ۱۱ | جدول ۱-۲- مشخصه چند نوع ابررسانای نوع ۱ و نوع ۲ |
| ۷۱ | جدول ۱-۵- جدول قاعده فازی SMES |
| ۷۸ | جدول ۱-۶- مقایسه پارامترها |
| ۸۳ | جدول ۲-۶- مقایسه پارامترها |
| ۸۴ | جدول ۳-۶- مقایسه پارامترها |
| ۸۷ | جدول ۴-۶- مقایسه پارامترها |
| ۹۰ | جدول ۱-۷- برخی مشخصه‌های زاویه روتور |

چکیده:

در این پایان‌نامه اثر ترکیب ذخیره‌گر مغناطیسی ابررسانا (SMES) و محدودکننده جریان خطای ابررسانا (SFCL) نزدیک ژنراتور و روی شبکه فشار قوی در دینامیک سیستم قدرت با وقوع خطا روی خط بررسی می‌شود. جهت این تحلیل از دو کنترلر کلاسیک (PI) و فازی با فیدبک سرعت ژنراتور استفاده شده و میزان تاثیرگذاری هر کدام به تنهایی و بصورت ترکیبی مقایسه می‌شود. جهت این مطالعات مدل‌سازی جدید و کاربردی از SFCL ارائه شده است. مطالعات با نرم افزار PSCAD انجام شده و در تحلیل با کنترلر فازی از نرم‌افزار MATLAB کمک گرفته شده است. برخی پارامترهای مهم مانند زاویه روتور و جریان اتصال کوتاه، مقایسه شده است. نتایج جالبی در تبادل توان اکتیو و راکتیو حاصل شده و برخی زوایای پنهان استفاده از این ترکیب مانند تاثیر SMES در جریان اتصال کوتاه و تاثیر در مقادیر ویژه اشاره شده است.

فصل اول

مقدمه

در سالهای اخیر مطالعات زیادی روی خاصیت ابررسانایی انجام شده است. یک مورد که بصورت اقتصادی در آمده است کاربرد در SMES^۱ می باشد. این وسیله با قابلیت ذخیره انرژی زیاد در حالت های گذرای سیستم با تزریق و جذب توان اکتیو و راکتیو در جهت حفظ پایداری سیستم عمل می کند. در مقایسه با انواع دیگر روش های ذخیره انرژی مزایای قابل توجه دارد از قبیل: بازده تبدیل انرژی بالا، سرعت پاسخ بالا، قابلیت تبادل توان اکتیو و راکتیو بصورت مستقل و لحظه ای در دو جهت.

ولی SMES در حال حاضر یک ضعف عمده دارد و آن اینکه در یک ظرفیت معین قیمت بالایی دارد [۴]. محدود کننده جریان (FCL)^۲ یک کاربرد مهم دیگر ابررسانا در مهندسی برق می باشد که امروزه به سرعت در حال گسترش است.

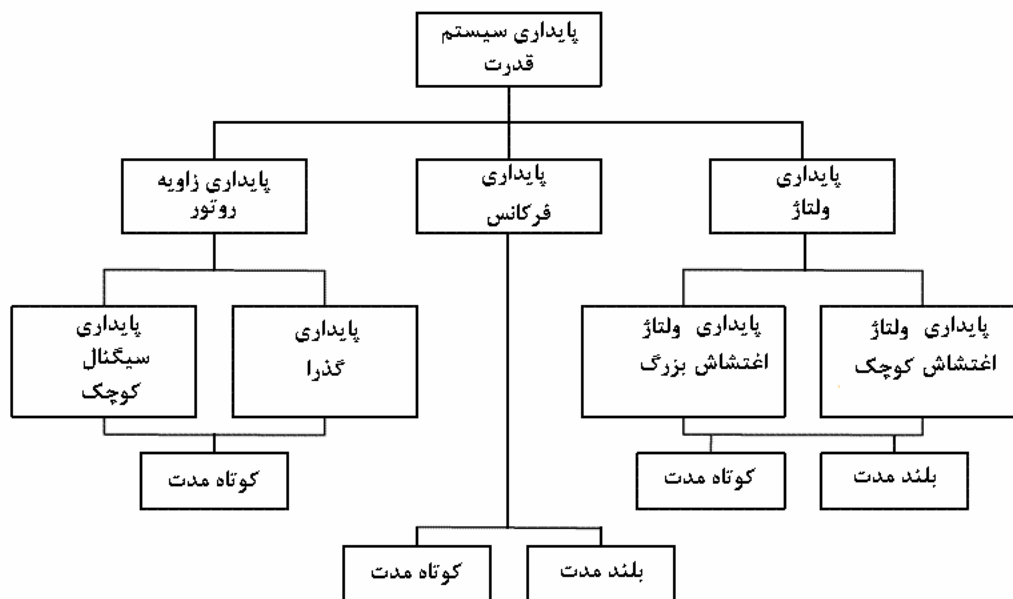
در شبکه های الکتریکی انتقال و توزیع نیاز اساسی جهت حفاظت کابل ها، ترانسفورماتورها، سوئیچ ها و تجهیزات در مقابل خطاهای اتصال کوتاه وجود دارد. در حقیقت زمانیکه شبکه توسعه پیدا می کند یا واحدهای تولید اضافه می شوند، سطح اتصال کوتاه افزایش یافته و از ظرفیت تجهیزات مانند بریکرها و دیگر تجهیزات پست بالاتر می رود. محدود کننده جریان خطای ابررسانا یک نوع تجهیز محدود کننده جریان اتصال کوتاه با هدف کاهش در

^۱ - Superconducting Magnetic Energy Storage

^۲ - Fault Current Limiter

زمان‌های بسیار کوتاه می‌باشد که عملکرد بسیار موثری دارد بگونه‌ای که سوئیچگیر موجود بتواند شبکه را محافظت کند.

دسته بندی پایداری سیستم قدرت به صورت شکل (۱-۱) می‌باشد [۳۶]. در این پروژه پایداری زاویه روتور سیگنال کوچک مد نظر می‌باشد.



۱-۱- انواع پایداری سیستم قدرت

ترکیب SMES و SFCL نیازهای توسعه شبکه را چه از نظر گسترش توزیع بار و چه از نظر افزایش تولید با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان سیستم را تا حد زیادی تامین می‌کند که در این پروژه بصورت تک‌تک و همچنین ترکیبی مورد مطالعه قرار گرفته اند.

۱-۱- تاریخچه

با اضافه شدن واحدهای تولیدی جدید به سیستم الکتریکی در سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰، نوسانات کم دامنه و فرکانس پایین در سیستم، اغلب برای دوره‌ای از زمان دوام می‌آوردند ولی در بعضی موارد در قابلیت‌های انتقال توان مشکل ایجاد می‌کردند، به همین دلیل پایداری‌سازهای سیستم قدرت از طریق تحریک ژنراتور برای کمک به میرایی این نوسانات توسعه یافتند. سیستم PSS بیش از ۴۰ تا ۴۵ سال گذشته از وقتی که اولین کاربردش در سیستم قدرت و سترن ایالات متحده بود، توسعه داده شده است. در ۵ دهه گذشته PSS برای فراهم کردن

شرایطی که احتیاج به پایداری دارد استفاده شده است. پایداری ژنراتور سنکرون به تعدادی از ضرایب از قبیل تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ و.... وابسته می‌باشد. همچنین دستگاه AVR با عملکرد سریع برای نگه داشتن سنکرونیزم ژنراتور با سیستم قدرت در حین شرایط خطای گذرا طراحی شده بودند. اما این بهره بالای سیستم تحریک می‌توانست گشتاور میرا کننده ژنراتور را کاهش دهد. به همین دلیل یک کنترلر تحریک اضافی بعنوان PSS برای میرایی بهتر به ژنراتور سنکرون اضافه شده است [۱۳].

سیستم‌های قدرت دارای خطوط انتقال طولانی بین مرکز عمده بار و تولید، ممکن است نوسانات را در شرایط اغتشاش بطور ضعیفی میرا کنند یا حتی میرایی نداشته باشند. این نوسانات بطور نرمال نتایج الکترومکانیکی سیستم قدرت با خطوط طولانی می‌باشد که تا کنون چندین روش پایداری از قبیل تحریک ژنراتور، SVC در خطوط انتقال و غیره گزارش شده است.

مشکلات پایداری در سیستم‌های قدرت توجه زیادی را به خود جلب کرده که یک نمونه از آنها را می‌توان شکست شفت ژنراتور در سالهای ۱۹۷۰ و ۱۹۷۱ را نام برد که برای رفع این مشکل پیشنهادهای زیادی از قبیل استفاده از جبران ساز استاتیکی، فیلتر پایین گذر و... داده شد. ولی با توسعه ابررسانای دما بالا و ساخت SMES موجب شد تا برای غلبه بر مشکلات اخیر و همچنین پایدار سازی سیستم قدرت از SMES استفاده زیادی شود [۱۴].

ذخیره گرهای مغناطیسی SMESها در اصل بعنوان واحدهای ذخیره کننده انرژی پیشنهاد شده بودند، که این پیشنهاد همانند ذخیره کننده‌های انرژی متداول بود. اما واحد SMES برای ذخیره کردن توان الکتریکی در سیم پیچ ابررسانایی با تلفات پایین نیز طراحی شده که توان الکتریکی از کویل مطابق با نیاز سیستم می‌توانست جذب یا تزریق شود. به غیر از بهبود پایداری سیستم، واحد SMES برای کنترل میرایی هم در سیستم‌های قدرت استفاده شده است. اولین نظریه در مورد سیستم SMES در سال ۱۹۶۹ توسط فریه مطرح شد. وی طرح ساخت سیم پیچ مارپیچی بزرگی که توانایی ذخیره انرژی روزانه برای فرانسه را داشت ارائه کرد، که به خاطر هزینه ساخت بسیار زیاد آن پیگیری نشد. اولین SMES ۳۰ مگاژول که بطور موفقیت آمیزی در ایستگاه^۱ BPA در تومکومای واشنگتن بکار رفت، برای میرایی نوسانات شبکه استفاده شد [۱۴].

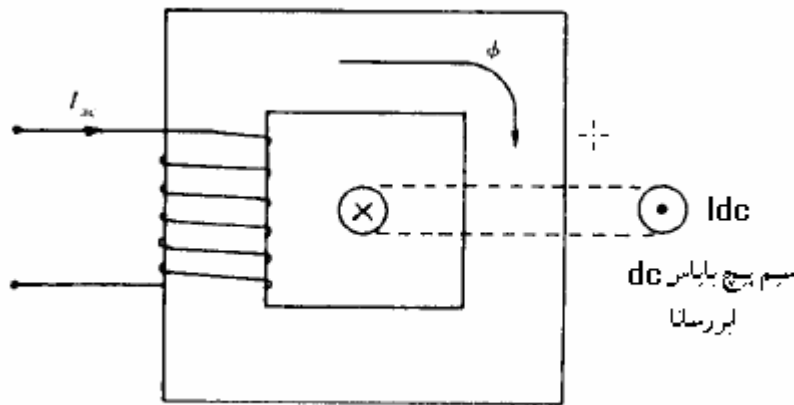
در سال ۱۹۷۱ تحقیقات در آمریکا در دانشگاه ویسکانسین برای فهمیدن بحثهای بنیادی اثر متقابل بین انرژی ذخیره شده و سیستم‌های چند فاز به ساخت اولین دستگاه در این ارتباط انجامید. شرکت هیتاچی در سال ۱۹۸۶ یک دستگاه SMES به ظرفیت ۵ مگاژول را آزمایش کرد. در سال ۱۹۹۸ نیز ذخیره ساز ۳۶۰ مگاژول توسط شرکت ایستک در ژاپن ساخته شد. در سال ۲۰۰۰ در انستیتو تحقیقات تکنولوژی برق کره یک واحد ذخیره

^۱ - Bonneville Power Administration

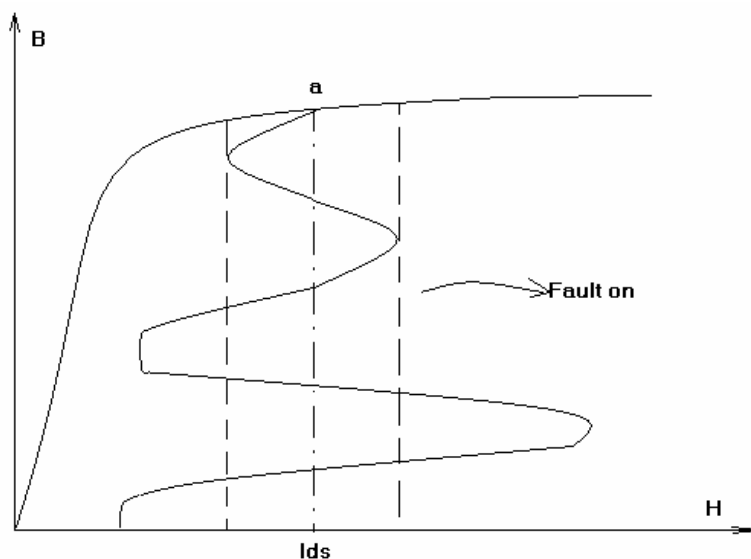
کننده انرژی مغناطیسی ابرسانایی در ظرفیت ۱/۲ مگاژول ساخته شد و مراحل آزمایش آن نیز انجام شد که یکی از مزیت‌های مهم این ذخیره کننده انرژی نسبت به سایر المانهای مشابه را می‌توان سرعت بسیار بالای آنها نام برد [۱۵].

علاوه بر موارد بالا اتصال کوتاه نیز یکی از خطاهای مهم در سیستم قدرت می‌باشد که در زمان وقوع خطا تا بیشتر از ۱۰ برابر جریان نامی می‌رسد و با رشد شبکه‌های برق به قدرت و دامنه اتصال کوتاه نیز افزوده می‌شود. آقای Falcone در سال ۱۹۷۳ نشان داد که به سه دلیل افزایش ظرفیت تجهیزات حفاظت با توسعه شبکه درست نیست که این دلایل عبارتند از:

- ۱- هزینه زیاد؛
 - ۲- پایین آمدن قابلیت اطمینان سیستم در طول عملیات ساخت و ترمیم؛
 - ۳- دوباره کاری تعویض بریکرها در آینده‌ای نزدیک بدلیل ناکافی شدن آنها.
- در دهه‌های اخیر با پیشرفت ابرسانا محدودکننده‌های جریان خطای ابرسانا (SFCLها) معرفی شدند که بصورت سری با تجهیزات شبکه می‌باشند و اتصال کوتاه را که یک اغتشاش گذرا می‌باشد، محدود می‌کنند [۶]. آقای Parton در سال ۱۹۷۸ محدود کننده جریانی را توصیف کرد که شامل سیم پیچ ac و سیم پیچ بایاس ابرسانا با جریان dc بود (شکل ۱-۲). در این طرح سیم پیچ ابرسانا برای به اشباع بردن هسته آهنی استفاده می‌شود (نقطه a در شکل ۱-۳)، بگونه‌ایکه اندوکتانس دیده شده توسط سیم پیچ ac کوچک است. در طول خطا m.m.f تولید شده توسط سیم پیچ ac باعث می‌شود در یک نیم سیکل هسته از اشباع خارج شده و با دیدن امپدانس بالا، جریان محدود شود. البته اصول عملکرد محدود کننده جریان با این روش از سالهای ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ میلادی مطرح بوده است [۹].



شکل ۱-۲- نمایش محدود کننده جریان ابرسانا با اثر اشباع



شکل ۱-۳- اصول عملکرد محدودکننده جریان ابرسانا با اثر اشباع (فقط برای نیم سیکل مثبت نشان داده شده)

هزینه بالای دو المان ابرسانایی SMES و SFCL که می تواند بیشترین کاربرد را در سیستمهای قدرت داشته باشد، مانع از استفاده گسترده آنها در سیستم قدرت شده است. غلبه بر این مشکل با ترکیب این دو وسیله که منجر به وسیله ترکیبی پیشنهاد شده SMES-SFCL شد، حل شده است [۹]. چنانچه از این کنترل پذیری به خوبی برای کاهش تغییرات توان و همچنین به منظور پایداری بیشتر ژنراتور سنکرون استفاده شود، برآیند آن یک المان ابرسانایی با ماهیت پایدارساز سیستم قدرت به منظور افزایش پایداری ژنراتور سنکرون از یک طرف و محدودسازی جریان اتصال کوتاه از طرف دیگر می تواند باشد.

۱-۲- هدف از انجام پروژه

در حال حاضر در مورد SMES مطالعات مختلفی انجام شده و نیز در مورد SFCL مقاله هایی ارائه شده است. در مورد ترکیب SMES و SFCL نیز مطالعات محدودی انجام شده که از این تعداد قلیل، بیشتر مربوط به کاربرد آنها در سیستم توزیع می باشد [۶]، [۷] و [۱۶]. همچنین در طراحی کویل ابرسانا در کاربرد تکی و نیز مشترک مطالعات موردی انجام شده است [۲۷]، [۲۸].

در این پروژه سعی شده است مدل دقیقتری از SFCL با توجه به حقایق موجود ساخته شده و نیز روابط حاکم بر ابررساناهای استفاده شده ارائه گردد که با تفکیک انواع مختلف SFCL و پیشنهاد مدل‌سازی آن، استفاده از ترکیب آن با SMES در شبکه نزدیک ژنراتور نیز بحث و بررسی گردیده است. بنابراین این بررسی در نوع خود تحلیل جدیدی به حساب می‌آید. در این پروژه دو نوع کنترل PI و فازی روی SMES پیاده شده و نقاط ضعف و قوت آنها و تاثیرشان در حفظ پایداری و محدودسازی جریان خطای سیستم قدرت مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی در این پروژه بررسی تاثیر ترکیب SMES و SFCL بر پایداری سیگنال کوچک زاویه روتور می‌باشد. در این راستا با ارائه مدلی جدید برای SFCL که مخصوصا در نرم افزارها قابلیت اعمال و استاندارد سازی داشته باشد به تحلیل پرداخته می‌شود. نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق برای انجام شبیه‌سازیها PSCAD است که برای بررسی حالت گذرا با وجود ادوات الکترونیک قدرت از ابزار قدرتمند در مهندسی برق محسوب می‌گردد.

فصل دوم :

مبانی ابرسانایی

۲-۱- مقدمه

در سال ۱۹۰۸ وقتی کمرلینگ اونز هلندی در دانشگاه لیدن موفق به تولید هلیوم مایع گردید که با استفاده از آن توانست به درجه حرارت حدود یک درجه کلوین برسد. یکی از اولین بررسی‌هایی که اونز با این درجه حرارت پایین قابل دسترسی انجام داد مطالعه تغییرات مقاومت الکتریکی فلزات بر حسب درجه حرارت بود. چندین سال قبل از آن معلوم شده بود که مقاومت فلزات وقتی دمای آنها به پایین‌تر از دمای اتاق برسد کاهش پیدا می‌کند. اما معلوم نبود که اگر درجه حرارت تا حدود کلوین تنزل یابد مقاومت تا چه حد کاهش پیدا می‌کند. آقای اونز که با پلاتینیم کار می‌کرد متوجه شد که مقاومت نمونه سرد تا یک مقدار کم کاهش پیدا می‌کرد که این کاهش به خلوص نمونه بستگی داشت.

در آن زمان خالص‌ترین فلز قابل دسترس جیوه بود و در تلاش برای بدست آوردن رفتار فلز خیلی خالص، اونز مقاومت جیوه خالص را اندازه گرفت. او متوجه شد که در درجه حرارت خیلی پایین مقاومت جیوه تا حد غیر قابل اندازه‌گیری کاهش پیدا می‌کند که البته این موضوع زیاد شگفت‌انگیز نبود اما نحوه از بین رفتن مقاومت غیر منتظره می‌نمود. موقعی که درجه حرارت به سمت صفر تنزل داده می‌شود بجای اینکه مقاومت به آرامی کاهش یابد در درجه حرارت ۴ کلوین ناگهان افت می‌کرد و پایین‌تر از این درجه حرارت جیوه هیچگونه مقاومتی از خود نشان نمی‌داد. همچنین این گذار ناگهانی به حالت بی‌مقاومتی فقط مربوط به خواص فلزات نمی‌شد و حتی اگر جیوه ناخالص بود اتفاق می‌افتاد. آقای اونز قبول کرد که پایین‌تر از ۴ کلوین جیوه به یک