بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق قدرت

عنوان:

بررسی ساختار،عملکرد و کاربرد کابلهای ابررسانا در سیستمهای قدرت

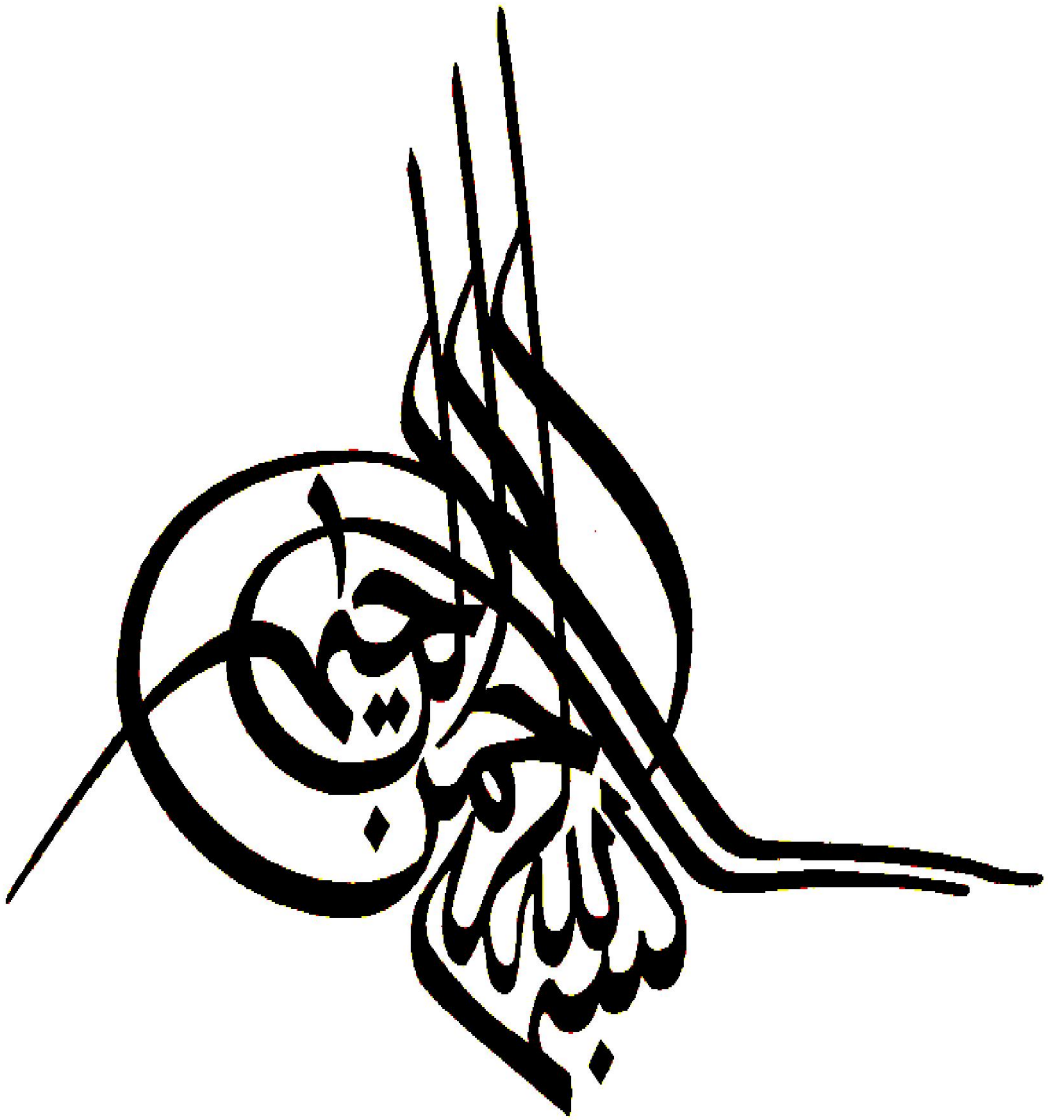
استاد راهنما :

دکتر مرتضی فرسادی

تنظیم و نگارش :

بهنام امیری جاهد

اسفند ماه ۱۳۹۲


بسم الله الرحمن الرحيم

فرم شماره 9

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ :

شماره :

پایان‌نامه خانم / آقای [illegible] به شماره دانشجویی 9021620.2 رشته [illegible] گرایش [illegible]

تحت عنوان : بررسی ساختار، عملکرد و کاربرد کامل ابررسانا در سیستم‌های قدرت

به تاریخ 11/12/92 و به شماره پایان‌نامه ..... و با رتبه [illegible] و نمره 17 توسط هیئت محترم داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

ردیف	کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	تاریخ و امضاء
۱	استاد راهنمای اول و رئیس هیات داوران	مرتضی زیاری	
۲	استاد راهنمای دوم	—	—
۳	استاد مشاور (در صورت وجود)	—	—
۴	داور خارجی	[illegible]	
۵	داور داخلی	[illegible]	
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	[illegible]	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تقدیم به :

پشتیبانان همیشگی زندگی ام ، پدر و مادر عزیزم

چکیده:

پیشرفت‌های تکنیکی و اقتصادی درشبکه‌های انتقال و توزیع، مرهون توسعه فن‌آوریهای نو میباشد. در حال حاضر با ظهورکابلهای ابررسانا، انتظار می رود که این بخش از صنعت با تحولی عظیم روبرو شود. در این تکنولوژی جدید کمبود تجربه وجود دارد و طراحان شبکه، مشتاق به دانستن موارد اقتصادی و فنی آن می‌باشند. در این پروژه، ضمن نگاه کوتاه به مشخصات فنی انواع کابل‌های ابررسانا، تاریخچه ابررسانا، مروری به تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر، شده است. دو مطالعه موردی جهت بررسی فنی کابل های ابررسانا صورت گرفته است. در مطالعه موردی اول ، بررسی فنی به منظور جایگزینی کابلهای XLPE با کابلهای HTS در دو فیدر واقعی شبکه ۲۰ کیلو ولت در محیط پژوهش شهرستان ارومیه با در نظر گرفتن رشد بار آینده ارائه شده است. در مطالعه موردی دوم ، رفتار کابل‌های ابررسانا در شرایط اغتشاشات کوچک و اتصال کوتاه بر روی، پایداری گذرا در شبکه انتقال نمونه، با انجام شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته و به مقایسه آنها با کابل‌های معمولی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: کابل‌های ابررسانا، سیستم‌های قدرت، تلفات الکتریکی، پایداری گذرا، جریان اتصال کوتاه

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول- مقدمه ۱-۵

فصل دوم - مروری برتاریخچه ابررساناها، ساختار و مشخصات الکتریکی و مغناطیسی کابلهای ابررسانا و کاربردها و تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مروری بر تاریخچه ابررساناها ۷

۲-۳- شرکتهای تولید کننده کابلهای ابررسانا 10

۲-۳-۱- شرکت AMSC ۱۰

۲-۳-۲- شرکت SuperPower ۱۰

۲-۳-۳- شرکت Sumitomo ۱۱

۲-۴- ابررساناهای HTS تجاری ۱۲

۲-۵- ابررسانایی ۱۵

۲-۵-۱- تئوری عبور جریان درابررساناها ۱۵

۲-۵-۲- تغییر فاز در ابررسانا ۱۶

۲-۶- انواع کابلهای ابررسانا ۱۷

۲-۶-۱- انواع کابلهای ابررسانای دمای بالا از نظر عایقی ۱۷

۲-۶-۱- ۱- کابلهای دی الکتریک گرم ۱۸

۲-۶-۱- ۱- کابلهای دی الکتریک سرد ۱۹

۲-۷- مشخصات الکتریکی ابررساناها ۲۱

۲-۷-۱- مقاومت ناچیز در مقابل عبور جریان و توانایی عبور چگالی جریان بالا ۲۱

۲-۸- مشخصات مغناطیسی ابررساناها ۲۳

۲-۸-۱- میدان مغناطیسی صفر ۲۳

۲-۸-۲- توانایی در تولید میدانهای مغناطیسی قوی ۲۳

۲-۸-۳- خاصیت تونل‌زنی 25
۲-۹- خواص میکروسکوپی ابررساناها ۲۵
۲-۹-۱- ابررساناهای نوع I ۲۶
۲-۹-۲- ابررسانای نوع II ۲۷
۲-۱۰- کاربردهای فناوری HTS ۲۸
۲-۱۰-۱- کاربرد ابررسانا در ذخیره سازهای مغناطیسی ۲۸
۲-۱۰-۲- محدود کننده جریان خطا ۳۱
۲-۱۰-۳- سوئیچ های ابررسانا ۳۳
۲-۱۰-۴- آهنربای مغناطیسی ۳۴
۲-۱۰-۵- کابل HTS ۳۴
۲-۱۰-۶- موتورها و ژنراتورها ۳۵
۲-۱۰-۷- ژنراتورهای هیدرودینامیک مغناطیسی ۳۶
۲-۱۰-۸- ترانسفورماتورهای HTS ۳۷
۲-۱۰-۸- کاربرد ابررسانا در فیلترهای رادیویی ۳۷
۲-۱۱- مروری بر تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر ۳۷
۲-۱۲- جمع بندی ۴۶

فصل سوم- مطالعات موردی ۴۸
۳-۱ - مطالعه موردی بررسی تلفات توان و انرژی در فیدرهای ۲۰ کیلوولت ٤۹
۳-۲-۱- مشخصات فیدرهای ۲۰ کیلو ولت نمونه ٤۹
۳-۲-۲- روش برآورد رشد بار ۵۱
۳-۲-۳- مشخصات الکتریکی کابل های HTS و معمولی ۵۱
۳-۲-۴- پارامترهای تلفات الکتریکی کابلهای معمولی و HTS ۵۲

۳ -۲-۵- ارتباط پارامتری تلفات الکتریکی و راندمان خنک ساز ۵۳
۳-۲-۶- روش برآورد تلفات انرژی ۵۸
۳-۳- روش محاسبات پخش بار در نرم افزار نپلن ۵۸
۳-۳-۱- روش تکرار جریانی با ضریب، ماتریس Y کاهش یافته ۵۹
۳-۳-۲- روش نیوتن- رافسون ۶۰
۳-۳-۳- روش نیوتن- رافسون بسط یافته ۶۱
۳-۴-روش محاسبات اتصال کوتاه ۶۱
۳-۵- مطالعه موردی تاثیر کابلهای HTS روی پایداری گذرا ۶۵
۳-۵-۱- شبیه سازی پایداری ولتاژ ۶۵
۳-۵-۱-۱- شبیه سازی پایداری ولتاژ در شرایط اغتشاشهای کوچک ۶۵
۳-۵-۱-۲- شبیه سازی پایداری ولتاژ در شرایط اغتشاشهای بزرگ ۶۶
۳-۵-۲- شبیه سازی پایداری زاویه رتور ۶۶
۳-۵-۲- ۱- شبیه سازی پایداری زاویه ای روتور در اغتشاش های کوچک ۶۷
۳-۵-۲- ۲- شبیه سازی پایداری زاویه ای روتور در اغتشاش های بزرگ ۶۷
۳-۵-۳- مشخصات جامع سیستم قدرت ۶۸
۳-۶- تئوری محاسبات پایداری گذرا ۶۹
۳-۶-۱- روش شبیه سازی پایداری گذرا ۶۹
۳-۷- جمع بندی ۷۳

فصل چهارم - نتایج شبیه سازی ۷۴
٤-۱- نتایج مطالعه موردی اول ۷٦
۴-۱-۱- نتایج برآورد رشد بار آینده در شهرستان ارومیه ۷۶
۴-۱-۲- نتایج پخش بار با افزایش سطح مقطع کابلهای XLPE ۷۷
۴-۱-۳- نتایج پخش بار با جایگزینی کابلهای HTS ۷۸

۴-۱-۴- مقایسه تلفات توان حاصل از شبیه سازی با کابلهای XLPE و HTS ۷۹
۴-۱-۵- برآورد قدرت مصرفی دستگاه خنک کننده و نتایج کلی تلفات توان ۸۱
۴-۱-۶- برآورد صرفه جویی تلفات انرژی ۸۳
۴-۱-۷- تاثیر نرخ تورم سی و پنج درصدی ۸۳
٤-۱-۸- سرمایه گذاری جهت تولید هر کیلو وات انرژی ۸۳
۴-۱-۹- سرمایه گذاری جایگزینی کابل XLPE با کابل HTS ۸۵
۴-۱-۱۰- نتایج تاثیرات کابل ابررسانا بر روی افت ولتاژ ۸۵
۴-۲- نتایج مطالعه موردی دوم (پایداری گذرا) ۸۷
۴-۲-۱- نتایج شبیه سازی در اغتشاش های کوچک ۸۷
۴-۲-۱-۱- نتایج شبیه سازی در اغتشاش های کوچک با هادی معمولی ۸۸
۴-۲-۱-۲- نتایج شبیه سازی در اغتشاش های کوچک با کابل HTS ۹۱
۴-۲-۲- نتایج شبیه سازی در اغتشاش های بزرگ ۹۵
۴-۲-۲-۱- نتایج شبیه سازی در اغتشاش های بزرگ با هادی معمولی ۹۶
۴-۲-۲-۲- نتایج شبیه سازی در اغتشاش های بزرگ کوچک با کابل HTS ۹۹
۴-۳- نتیجه گیری ۱۰۱

فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۰۳
۵-۱- نتیجه گیری ۱۰۴
۵-۱- پیشنهادها ۱۰۵

ضمائم ۱۰۶
مراجع و منابع ۱۱۶

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه فن‌آوریهای ابررسانا به طور وسیعی در حال گسترش هستند. این فن‌آوریها پتانسیل‌های بالایی دارد که می‌تواند تغییرات شدیدی را در میادین وابسته به آن ایجاد کند. صرفه‌جویی در مصرف انرژی، یکی از مهم‌ترین نیازهای کشورهای صنعتی بوده و بودجه‌های زیادی صرف تحقیقات در زمینه کشف راه‌های تازه و موثرتر برای یافتن انرژی‌های ارزان می‌شود. با توجه به ویژگی‌های کابل‌های ابررسانا، جریان الکتریکی می‌تواند بدون تلفات از یک هادی عبور کند. بنابراین ابررسانایی با نقشی که می‌تواند در زمینه صرفه‌جویی در تولید و انتقال انرژی الکتریکی بازی کند، در آینده بشر نقشی اساسی خواهد داشت. به همین دلیل در سالهای اخیر بیش از ده هزار پژوهشگر با صرف هزینه‌های زیاد، تحقیقات خود را روی موضوع ابررسانایی و کاربردهای آن در علوم مختلف متمرکز ساخته‌اند. با رشد روزافزون مصرف الکتریسیته و محدودیتهای مختلفی که در بخشهای تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی وجود دارد باید راههای جدید را در مقابله با محدودیت های هر بخش جستجو کرد. کابلهای ابررسانای دمای بالا که دارای امپدانس پایین و جریان مجاز بالا می باشند، می توانند مشکل بخش انتقال و توزیع را مرتفع نمایند. در این صورت با انتقال مقدار بیشتر انرژی تولید شده که بطور معمول در کابلهای معمولی تلف میشود، به تولید انرژی الکتریکی کمتری نیاز خواهد بود.

کابلهای ابررسانای دمای بالا همچنین دارای این پتانسیل هستند که قابلیت اطمینان و پایداری شبکه را توسط ظرفیت بیشتر انتقال توان در مقایسه با کابلهای معمولی بهبود بخشند. همچنین به خاطر ابعاد کم آنها، میتواند به آسانی جایگزین کابلهای متداول در شهرهای بزرگ گردد.

کشف متحول کننده ابررساناهای دمای بالا در سال ۱۹۸۶ منجر به تحول و تولید نوع جدیدی از کابلها در سیستمهای قدرت شد. در ایالات متحده، اروپا و ژاپن رقابت سختی بر روی تجارت و تولید کابلهای ابررسانا وجود دارد و امروزه تولیدکنندگان تجهیزات الکتریکی در سراسر دنیا سعی دارند با استفاده از تکنولوژی ابررسانای دمای بالا باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش ظرفیت انتقال و قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت شوند.

برای بهره‌برداری کابل‌های ابررسانای دمای پایین، نیاز به سرمایش نزدیک صفر درجه مطلق هست که بعلت هزینه‌های بالای خنک‌سازی غیراقتصادی بودن آنها جهت استفاده در سیستم‌های قدرت ثابت شده است. ولی در کابل‌های ابررسانای دمای بالا با توجه به دمای عملکرد بالاتر، با توجه به خنک سازی ارزان توسط نیتروژن مایع و استفاده از سیستم‌های ترمودینامیکی با راندمان بالا با گذشت زمان ، هزینه‌های سرمایش بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

کابلهای ابررسانای دما بالا به مرحله‌ای رسیده‌اند که می‌توان آنها را در شبکه های انتقال و توزیع بصورت گسترده مورد استفاده قرار داد. برای انتخاب کابلهای ابررسانا در طراحی شبکه‌ها بایستی پتانسیل فنی و اقتصادی کاربردی آنها شناخته شود. به دلیل توسعه سریع صنایع و تراکم مناطق مسکونی، سیستم‌های انتقال زمینی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. و همچنین به دلیل توسعه مناطق شهری و نگرانی‌های فزاینده در مورد میدان‌های الکترومغناطیسی، بسیاری از شبکه‌ها هوایی با شبکه-های زیرزمینی جایگزین میشوند. مقاومت فزاینده عمومی نیز مانع از احداث خطوط هوایی جدید می-شود. از نقطه نظر اقتصادی، کابل‌های زیرزمینی جذابیت کمتری نسبت به خطوط هوایی دارند. با این وجود، در مواردی که امکان احداث خطوط هوایی به دلیل برخی عوامل که اشاره شد، وجود نداشته باشد، ارزیابی انتخاب گزینه‌های دیگر حائز اهمیت خواهد بود.

برای استفاده عملی از کابلهای ابررسانای دمای بالا، مشکلاتی وجود دارد که باید حل شوند. از جمله این مشکلات میتوان: تلفات AC، مشخصه های مکانیکی، چگالی جریان بحرانی، ساخت هادی طویل‌تر و با ظرفیت بالاتر، توسعه عایق قابل اعتماد در دمای نیتروژن مایع، توسعه سیستم خنک‌سازی قابل اعتماد و پایداری را نام برد.

محدودیت‌های فزاینده در باره جایابی تولید، که حساسیت‌های زیست محیطی و تمایلات پدید آمده در مدل‌های بازار برق و ملزومات فزایندهٔ قابلیت اطمینان همراه شده است، صنعت برق را به چالش توسعه فن‌آوری‌های جدید برای سیستم‌های انتقال و توزیع کشیده است. این فن‌آوری‌های جدید باید خواص کلیدی متعددی مانند: انعطاف‌پذیری، سازگاری زیست محیطی، بازدهی و قابلیت اطمینان بالا داشته باشند. سیستم‌های کابل ابررسانای دمای بالا تمامی این خواص را دارا می‌باشند.

مقاومت اهمی بسیار پایین، خصیصه ابررسانایی است. در کابلهای ابررسانای دمای بالا، مقاومت تقریباً صفر است که در نتیجه آن تلفات انتقال بسیار کم خواهد شد. یک شیلد ابررسانا نه تنها برای حذف نشتی میدان الکترو مغناطیسی بلکه برای حذف تلفات جریان گردابی از میدان الکترو مغناطیسی به کار میرود.

برای عملکرد در حوزه ابررسانایی یک منبع خنک‌کننده لازم است. بعلاوه قدرت الکتریکی برای راه انداختن سیستم خنک‌کننده لازم است.

اندوکتانس پایین در کابلهای ابررسانای دمای بالا به علت وجود دی‌الکتریک سرد است که امکان میدهد تا یک لایه الکتریکی نازک و میدان مغناطیسی خارجی در حد صفر به وجود آید. در نتیجه یک لایه نازک از میدان مغناطیسی دور هادی را فرا گرفته و اندوکتانس پایین می‌آید.

با توجه به موارد ذکر شده کابلهای ابررسانای دمای بالا دارای مزایای زیاد بوده و لیکن بعضی محدودیتها را به همراه دارد. این تکنولوژی مانند سایر تکنولوژیهای در حال توسعه با بعضی موانع روبرو است. این موانع عبارتند از:

- هزینه بالای این تکنولوژی میتواند استفاده از آن را غیراقتصادی نماید.
- نبود تجربه در استفاده از این کابل، به نگرانی شرکتهای برق از بکارگیری آن می افزاید.

.

درفصل دوم این پایان نامه، شامل نگاه کوتاه به تاریخچه ابررساناها، مشخصات الکتریکی ومغناطیسی کابل‌های ابررسانا ، کاربردها و تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر می باشد. در فصل سوم، دو مطالعه موردی در خصوص پخش توان، تلفات توان و انرژی، افت ولتاژ و پایداری گذرا ، با حضور کابل ابررسانا و کابلها و هادیهای متداول انجام شده که مطالعه موردی اول تأثیر کابلهای ابررسانای دمای بالا بر روی تلفات توان و انرژی در دو فیدر ۲۰ کیلوولت واقعی شهرستان ارومیه را ارائه میکند و مطالعه موردی دوم مربوط به تأثیرات کابلهای ابررسانای دمای بالا بر روی پایداری‌گذرا در شبکه ۱۳۲ کیلوولت نمونه می‌باشد. کلیه شبیه‌سازی‌ها در محیط نرم افزار نپلن انجام شده که روش‌های محاسبات پخش بار در این نرم افزار روش تکرار جریانی با فاکتور، ماتریس Y کاهش یافته و روش نیوتن- رافسون و روش محاسبات اتصال کوتاه روش جمع آثار، روش استاندارد IEC و روش

استاندارد IEEE/ ANSI میباشند. حل همزمان معادلات جبری شبکه و معادلات سیستمی المانهای دینامیکی در هر نقطه زمان، روش محاسبات اتصال کوتاه میباشد. در فصل چهارم، نتایج شبیه سازی در مطالعات موردی ارائه شده و در فصل آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم

مروری برتاریخچه ابررساناها،

ساختار و مشخصات الکتریکی و مغناطیسی کابلهای ابررسانا و

کاربردها و تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر

۲- ۱ مقدمه

از زمان کشف مواد ابررسانای دمای بالا[1] (HTS) در سال ۱۹۸٦ ، پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در جهت تجاری کردن فن‌آوری‌های کابل‌های ابررسانا برای کاربرد در شبکه‌های انتقال و توزیع انرژی برق صورت گرفته است. دهه گذشته شاهد خروج فن آوری کابل‌های ابررسانای دمای بالا از ردهٔ آزمایشگاهی به آزمایش‌های کاربردی و عملی در شبکه‌های انتقال بوده است. این فصل، ضمن نگاه کوتاه به تاریخچه ابررساناها به همراه توصیف مختصر از فن‌آوری کابلهای ابررسانای دمای بالا به مشخصات الکتریکی و مغناطیسی کابلهای ابررسانا ،کاربردهای ابررساناها و تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر پرداخته است.

۲-۲ مروری بر تاریخچه ابررساناها

قبل از کشف پدیدهٔ ابررسانایی، مشخص شده بود که مقاومت الکتریکی فلزات با کاهش دما به صورت خطی کاهش می‌یابد و تصور می‌شد که این رفتار تا دمای صفر مطلق نیز ادامه می‌یابد ولی با کشف تصادفی پدیدهٔ ابررسانایی توسط کامرلینگ انس[2] در سال ۱۹۱۱ میلادی زمینهٔ تحقیقات فیزیک در دماهای پایین ایجاد شد. سه سال بعد از آن تاریخ، وی مشاهده نمود که مقاومت DC جیوه در دمای پایین‌تر از ٤/۱۵ درجه کلوین به مقدار صفر افت پیدا میکند و همچنین مشخص گردید که یک میدان مغناطیسی قوی، جیوه را از حالت ابررسانایی خارج و به حالت اولیه باز میگرداند و همچنین دمای گذار ۷/۲ درجه کلوین برای سرب در این تاریخ کشف شد. با این کشف گسترش مطالعات در زمینه ابررساناها افزایش یافت. کشف مواد با دمای گذار بالا، از بعد زمانی پیشرفت کندی داشت برای مثال، کشف دمای ۹/۲ درجه کلوین برای نئوبیوم ۱۷ سال پس از کشف دمای گذار سرب بطول انجامید. این موضوع نه تنها منحصر به محدودهٔ بعضی از فلزات باقی نماند بلکه هم اکنون در

[1] High Temperature Superconductors

[2] H. Kamerlingh Onnes

مدت ۹۰ سال محدوده وسیعی از مواد شامل آلیاژها، ترکیبات اکسیدی و حتی ترکیبات آلی را در بر می‌گیرد. جالب توجه‌ترین ترکیبات ابررسانا، ابررساناهای اکسیدی میباشند که به عنوان نمونه می‌توان از ترکیباتی مانند اکسید نئوبیوم (Nbo_6) و اکسید استرانسیم- تیتانیم ($SrTio_{3\text{-}6}$) نام برد که دارای دمای گذار پایین می‌باشند. به تدریج با گسترش دامنه تحقیقات در این شاخه ترکیبات اکسیدی مانند اکسید سرب- باریم- بیسموت ($BaBi_{1-x}Pb_xO_3$) کشف شدند که دارای دمای گذار بالاتر ۱۰ درجه کلوین بودند[۱].

در سال ۱۹۳۳ میلادی، مایسنر[۳] به این واقعیت دست یافت که در حالت ابررسانایی، ماده دیامغناطیس کامل است. این کشف برادران لندن[٤] را برانگیخت تا معادله‌ای کمی برای این اثر جستجو کنند و به این واقعیت دست یابند که میدان مغناطیسی در حالت استاتیک می‌تواند به طور نمایی به داخل جسم ابررسانا نفوذ کند.

در سال ۱۹۵۰ میلادی، گینزبرگ[۵] و لاندائو[٦] تئوری خودشان را که بر پایهٔ پارامتر نظم بنا نهاده شده بود و به توصیف ماکروسکوپیک ابررسانایی می‌پرداخت ارائه کردند. در این سال فرولیش نیز به طور نظری اثر ایزوتوپی را پیش بینی کرد. ساخت آلیاژهایی که دمای گذاری در حدود ۱۵ کلوین داشتند نیز در این سال انجام شد.

در سال ۱۹٦۲ میلادی، جوزفسون[۷] یک مدل تونل‌زنی کوانتومی را ارائه کرد که در آن ابرجریان از میان یک لایه نازک تونل می‌زند. این مدل بعد از یک سال به طور تجربی تأئید شد و امروزه تکنولوژی الکترونیک ابررسانایی بر پایه آن استوار است. کشف مواد ابررسانا با دمای بالاتر همچنان ادامه یافت اما هیچگاه به مرز ۳۰ درجه کلوین نرسید.

اولین توصیف میکروسکوپیک ابررسانایی توسط باردین[۸]، کوپر[۹] و شریفر[۱۰] در سال ۱۹۷۵ میلادی ارائه شد. در این تئوری فرض می‌شود که در حالت ابررسانایی جفت الکترونها که مسئول حمل ابر

[3] Meissner
[4] London
[5] Ginsberg
[6] Landau
[7] Josephson
[8] John Bardeen
[9] Leon Cooper
[10] Robert Schrieffer

جریان می‌باشد، تشکیل می‌شوند که این عمل منجر به ایجاد یک شکاف انرژی بین حالت هنجار و ابررسانا می‌شود. نتایج تئوریهای ماکروسکوپیک گینزبرگ، لاندائو و لندن با نتایج نظریه BCS [11] منطبق هست.

در ۱۷ آوریل سال ۱۹۸٦ میلادی، با ارائه مقاله‌ای تحت عنوان " امکان ابررسانایی دمای بالا در سیستم اکسید باریم- لانتان- مس (La – Ba O- Cu)" نوشته مولر[12] و بدنورز[13] زمینه ابررسانایی دمای بالا آغاز شد. منحنی مقاومت نمونه افت سریعی را نشان می‌داد ولی آنها پاسخ دیامغناطیسی لازم را پیدا نکردند. اما یک گروه در ژاپن (پوچیدا و همکارانش) و گروهی دیگر در آمریکا (چو و همکارانش)، کار مولر و بدنورز را تکرار و نتایج لازم را بدست آورده و بدین ترتیب صحت نتایج مولر و بدنورز به اثبات رسید.

در اوایل سال ۱۹۸۷ میلادی، دانشمندان ترکیبات لانتانیوم با دمای گذار نزدیک به ٤۰ درجه کلوین در فشار اتمسفری و۵۲ درجه کلوین در فشارهای بالا را کشف کردند. بعد از آن ترکیبات ایتریوم ـ باریم ـ مس، با دمای گذار۹۰ درجه کلوین توسط چو و همکارانش کشف شد. رفته رفته دمای گذار ابررسانایی افزایش یافت به گونه‌ای که دمای گذار ۱۱۰ درجه کلوین برای ترکیب اکسید مس -کلسیم - استرانسیم- بیسموت ($Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10-x}$) با دمای گذار ۱۲۰ الی ۱۲۵ درجه کلوین، برای ترکیب اکسید مس-کلسیم - باریم- تالیم ($Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10-x}$) با دمای گذار ۱۳۱ درجه کلوین و برای این ترکیب تحت فشارهای بالا، دمای بالاتر از ۱۳۰ درجه کلوین و برای ترکیب اکسید مس- کلسیم- باریم- جیوه ($HgBa_2Ca_2Cu_3O_x$) تحت فشارهای بسیار بالا، دمای گذار بیشتر از ۱۵۰ درجه کلوین گزارش شدند. در طول ٥٦ سال نئوبیم و آلیاژهای آن علاوه بر داشتن دمای گذار بالا دارای بالاترین میدان‌های بحرانی نیز بودند به گونه‌ای که دورهٔ سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۸٦ را عصر ابررسانایی نئوبیم نامیدند. با توجه باینکه که ابررسانایی با ترکیبات جیوه، تا به حال بهترین دمای گذار را دارا می-باشند[۱].

[11] Bardeen ، Cooper ، Schrieffer

[12] Alex Mueller

[13] George Bednorz

۲-۳- شرکتهای تولید کننده کابل‌های ابررسانا

در این بخش، سه شرکت مهم تولیدکننده تجهیزات ابررسانا در جهان که سابقه همکاری در ساخت ترانس های HTS را نیز دارند، معرفی می شوند .

۲-۳- ۱- شرکت AMSC

شرکت آمریکایی AMSC یکی از شرکت های مهم در زمینه تولید سیم، نوار و کابل های HTS است. در واقع این شرکت عرضه کننده ماده اولیه محصولاتی است که در آنها از تکنولوژی HTS استفاده می‌شود، مانند کابل های قدرت، موتورها، ژنراتورها، آهنرباهای الکتریکی و ... . این شرکت عمدتاً سیم های HTS نسل اول خود را در بازار عرضه می کند، اخیراً با تولید نسل دوم سیم های HTS، به موفقیت بزرگی در زمینه تولید این سیم ها دست یافته است. محصولات جدید AMSC می توانند حدود ۱۵۰ برابر سیم های مسی با همان ابعاد، از خود جریان الکتریکی عبور دهند.[۲]

نمونه محصولات و مشخصات فنی این شرکت درجداول ۱۱ الی ۱۶ پیوست شماره ۱ آمده است.

۲-۳- ۲- شرکت SuperPower

محصول اصلی این شرکت آمریکایی سیم ابررسانای نسل دوم (YBCO) با طول زیاد می باشد که در کاربردهای مختلفی مثل کابل قدرت، ترانسفورماتور، ژنراتور، موتور، محدودکننده های جریان و آهنرباهای الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد. البته این شرکت سابقه همکاری در ساخت سیستم تبرید برای یک ترانسفورماتور HTS را با شرکت Waukesha Electric Systems نیز دارد.[۳]

۲-۳-۳- شرکت Sumitomo

این شرکت به عنوان اولین شرکت تولید کننده سیم های ابررسانای نسل اول یا مبتنی بر بیسموت (BSCCO)، از سال ۱۹۸٦ تحقیقات خود را در زمینه ابررسانای با دمای بالا شروع کرد. این شرکت موفق به ابداع روشی به نام[۱٤] COP در تولید سیم های نسل اول شده است که بکارگیری آن منجر به افزایش کیفیت و بازده در سیم هایHTS مبتنی بر بیسموت می شود. در این قسمت به این مزایا اشاره شده است:

۱. افزایش جریان بحرانی
۲. افزایش پنجاه درصدی استحکام مکانیکی
۳. افزایش طول سیم به بیش از ۱۰۰۰ متر
٤. افزایش بهره وری تا بیش از چهار برابر

سیم های نسل دوم نیز توسط این شرکت تولید می شوند.[٤]

شرکتها و موسسات دیگری از قبیل پیرلی[۱۵] ایالات متحده آمریکا ، زیمنس[۱٦]، پیرلی اروپا ، فوروکاوا[۱۷] و فوجیکورا[۱۸] در ژاپن، از جمله موسساتی هستند که در زمینه تولید کابل‌های ابررسانا در دماهای بالا، فعالیت وسیعی دارند. در ژاپن هر یک از شرکت‌ها، نوارهای HTS را خود تولید میکنند. شرکت زیمنس نیز از نوارهای HTS ساخت خود استفاده می‌کند. اما در ابتدای کار، این مواد را از دیگران خریداری می‌کردند. شرکت پیرلی بـا شرکت ابـررسـاناها در آمریکا[۱۹] همکاری نزدیکی داشته و نوارهایHTS را از طریق این مجمع دریافت می‌نماید. درکلیه کابل‌های HTS از نوار مولتی فیلامان با مشخصات (BSCCO-2223)[۲۰] استفاده شده است.

1- Controlled Over Pressure

[15]Pirelli
[16] Siemens
[17]Furukawa
[18]Fujikura
[19]American Superconductor Corporation
[20]Bismuth strontium calcium copper oxide