Archive of SID

مقاله نامه هفتمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه مازندران
۲۰و۲۱ آبان ۱۳۹۴

طراحی سامانه خنک‌سازی نیتروژن مایع تا دمای پایین‌تر از دمای اشباع ۷۷K

علی نژاد ، ناصر ؛ سهرابی، داود

پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

چکیده

برای خنک‌سازی ادوات کرایوژنیک و کویل های ابررسانای دما بالا روش های مختلفی وجود دارد. برای کاهش هزینه و انرژی مصرفی، بهترین گزینه استفاده از نیتروژن فرو سرد است. برای تولید نیتروژن فرو سرد شده از خود نیتروژن به عنوان ماده مبرد استفاده می شود. در این مقاله طراحی و ساخت سامانه خنک سازی نیتروژن مایع فرو سرد بررسی شده است.

Design and Manufacturing of Cryogenic System for Sub-Cooled LN_2 Below Saturation Point of 77K.

Alinejad, Naser; Sohrabi, Davood

Plasma Physics And Nuclear Fusion Division, Nuclear Science And technology Research Institute, Tehran

Abstract

There are different methods to cool down cryogenic systems and superconducting coils. The best choice for cooling is to use sub-cool nitrogen. Nitrogen is used as a coolant to produce the sub-cooled nitrogen. In this paper design and manufacturing of cryogenic system for sub-cooled LN_2 below saturation point of 77K are studied.

مقدمه

با توجه به اینکه انجام گداخت هسته‌ای به روش محصورسازی مغناطیسی نیاز به میدان‌های قوی مغناطیسی دارد و برای ایجاد چنین میدان‌هایی انرژی بسیار زیادی لازم است، استفاده از ابررسانا راه حل مناسبی برای کاهش مصرف انرژی و ایجاد میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌باشد. در سامانه‌های ابررسانای جدید از نوارهای ابررسانای دما بالا که در محدوده دمایی نیتروژن مایع عمل می‌نمایند استفاده می‌شود.

دمای اشباع نیتروژن مایع در فشار اتمسفر حدود ۷۷K می‌باشد. این دما برای اینکه سیم‌های ابررسانای دما بالا وارد فاز ابررسانایی شوند کافی می‌باشد ولی به دو دلیل حتما باید دمای نیتروژن مایع فروسرد شود یا بعبارتی دمای آن از دمای اشباعش در همان فشار پایین‌تر بیاید.

دلیل اول اینکه دمای ۷۷K مرز بین حالت مایع و گاز نیتروژن است و به همین دلیل با کمترین انتقال حرارت این مایع شروع به جوشش و تبخیر شدن می‌نماید. این پدیده باعث ایجاد حباب درون مایع می‌گردد، این حباب‌ها مشکلات بسیار فراوانی در روند سردسازی کویل های ابررسانا ایجاد می‌نمایند بطوری که استفاده از نوارهای ابررسانا غیرممکن می‌گردد. حباب‌ها هنگام عبور از پره-های پمپ نیتروژن مایع ترکیده و موجب خرابی پره‌های پمپ می-شوند یا در اصطلاح کاویتاسیون رخ می‌دهد. از سویی افزایش تعداد حباب‌ها در لوله‌های عمودی باعث پیوستن آنها به یکدیگر شده و حباب‌های بزرگ‌تر تشکیل می‌شوند. این حباب‌ها تا جایی پیش می‌روند که حباب‌های بزرگ‌تری شبیه کلاه ایجاد می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

این حباب به نام حباب تیلور معروف است. اگر سطح مقطع اشغال شده توسط این حباب از ۰.۵۵ کل سطح مقطع لوله بیشتر شود پدیده گایزرینگ یا فوران رخ خواهد داد. این پدیده باعث می‌شود دبی جریان نیتروژن درون لوله‌های عمودی کاهش یابد و عمل خنک‌کاری سیم‌ها با نرخ مناسب انجام نپذیرد و در پی آن سیم‌ها از فاز ابررسانا خارج شده و بدلیل وجود جریان بسیار زیاد الکتریکی درون آن‌ها پدیده کوئنچ یا انفجار سیم‌ها روی دهد. با چند درجه فروسردسازی نیتروژن مایع به زیر دمای اشباع آن به راحتی می‌توان از بروز پدیده گایزرینگ جلوگیری نمود[1].

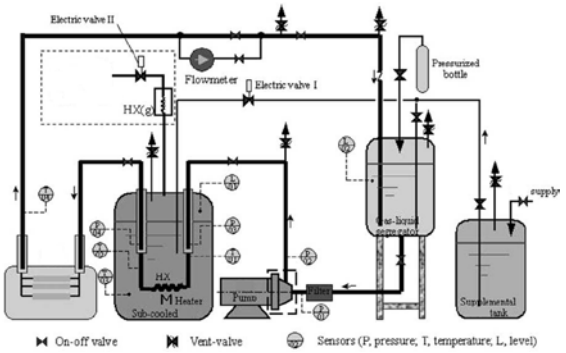
دلیل دوم برای این که نیتروژن حتما باید فروسرد شود این است که با کاهش دمای سیم‌های ابررسانا راندمان آنها افزایش می‌یابد. لذا با فروسردسازی نیتروژن مایع می‌توان آنرا چگال‌تر و سیم‌های ابررسانا را بیشتر سرد نموده و کارایی‌شان را افزایش داد.

بنابر دلایل بیان شده تصمیم گرفته شد یک سامانه فروسردسازی نیتروژن مایع طراحی و ساخته شود.

روش کار

در این روش برای کاهش دمای نیتروژن مایع از خود نیتروژن به عنوان مبرد استفاده می‌گردد. اصول کار به این صورت است که نیتروژن مایع درون یک مخزن در دمای اشباع نگه‌داری می‌شود. این مایع توسط یک پمپ به درون یک مبدل حرارتی پمپ می‌گردد. این مبدل حرارتی غوطه‌ور درون سیال نیتروژن مایعی است که داخل مخزن عایق‌بندی شده دیگری قرار گرفته است. این مخزن به صورت بسته بوده و قابلیت تنظیم فشار دارد. یک پمپ خلا فشار درون مخزن را پایین آورده و در نتیجه نیتروژن مایع که در حالت اشباع قرار دارد شروع به تبخیر می‌نماید و برای تبخیر شدن گرمای مورد نیاز خود را از مابقی سیال اشباع می‌گیرد که این عمل موجب کاهش دمای نیتروژن مایع می‌گردد. مبدل حرارتی درون این نیتروژن سرد شده قرار دارد و در نتیجه نیتروژن مایع خروجی از پمپ که برای سرد کردن ابررساناها استفاده می‌شود در حالت فروسرد قرار خواهد گرفت. شماتیک کلی طرح در شکل ۱ نمایش داده شده است.

.



شکل۱ : شماتیک سامانه فروسردکننده نیتروژن مایع[2]

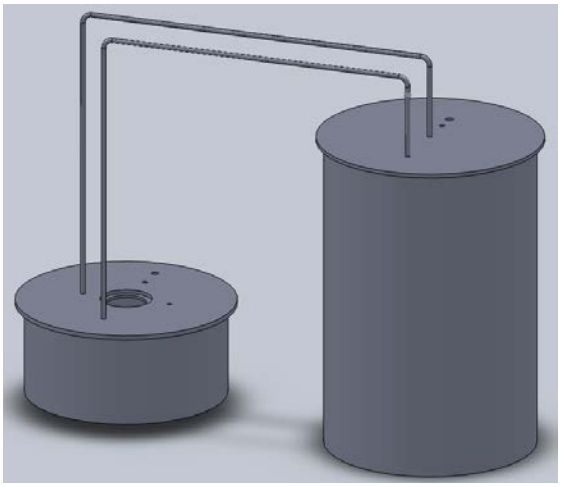
در این سامانه از سه مخزن یا دوئر نیتروژن مایع، یک مبدل حرارتی گازی، یک مبدل حرارتی مایع، یک کپسول فشار گاز نیتروژن به همراه رگولاتور و شیر کنترل دبی، فشار سنج‌ها، انواع شیرهای ورود و خروج مایع، شیر تخلیه گاز، شیر یک‌طرفه، شیر اطمینان، شیر شستشو، شیر برقی، فیلتر، لرزه‌گیرها، سطح‌سنج مایع، دماسنج، دبی‌سنج، پمپ نیتروژن مایع، رایانه، و... استفاده می‌شود.

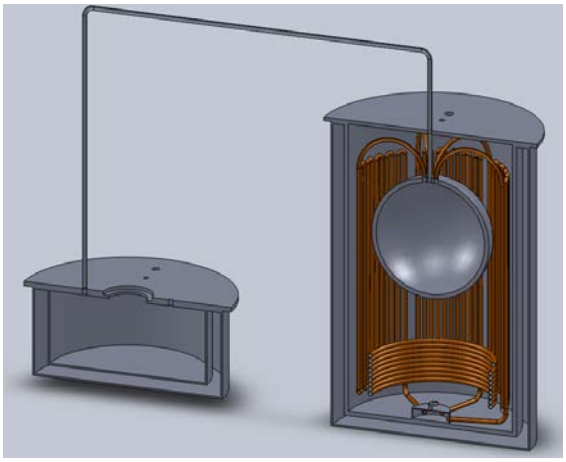
این سامانه با توجه به قرار گرفتن یکی از مخازن نیتروژن در درون مخزن دیگر و در کنار مبدل حرارتی نسبت به نمونه مشابه خارجی آن دارای مزیت است. این مخزن به صورت کروی طراحی شده تا بیشترین تحمل فشار را داشته باشد و در صورت از کار افتادن پمپ بتوان با پرفشارسازی برای مدتی نیتروژن را درون مسیر سردسازی به جریان انداخت. همچنین این مخزن به عنوان یک جمع کننده برای جدا کردن گازهای موجود در مسیر از مایع و خروج آنها از سامانه بکار برده می‌شود(شکل۲). پارامترهای طراحی این سامانه در جدول ۱ آورده شده‌اند. در شکل ۳ آزمایش چند نمونه عایق تشعشعی چندلایه با نیتروژن مایع نشان داده شده است. این عایق‌ها با ضخامت‌های متفاوت و از انوع مایلار یا فوم آلومینیوم با لایه‌های عایق رسانشی می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

سطح لوله های مسی	6 m^2
دمای حمام نیتروژن	64
فشار حمام	0.1 bar
حجم حمام	0.6 m^3
عایق	MLI+ Vacuum





شکل۲ : مبدل حرارتی مسی درون مخزن نیتروژن مایع و کرایواستات دوجداره خلاء شده برای سردسازی نمونه سیم‌های ابررسانا

شکل3 : آزمایش عایق‌های چندلایه تشعشعی با نیتروژن مایع

جدول۱ : پارامترهای طراحی

شار ورودی نیتروژن	0.1-0.6 kg/s
دمای ورودی نیتروژن	77 K
فشار وردی	1 bar
فشار خروجی	68 K
طول کل لوله ها	96 m
تعداد لوله های موازی	30
کل سطح دیواره مخزن	5.4 m^2

نتیجه گیری

سامانه ساخته شده قادر است نیتروژن مایع با دمای ورودی 77K را تا دمای 68K سرد کند. کرایواستات این سامانه بگونه‌ای طراحی شده است که قابلیت سردسازی سیم-های ابررسانای دمابالا را داشته باشد و با ایجاد کمترین تغییرات، امکان سردسازی کویل‌های ابررسانای سیستم

www.SID.ir

Archive of SID

ذخیره‌سازی انرژی مغناطیسی ابررسانا (SMES) را نیز داشته باشد. از نیتروژن فروسردسازی شده می توان در ترانس‌های قدرت ابررسانا، محدودکننده‌های جریان ابررسانا و موتورهای ابررسانا نیز استفاده کرد.

مرجع‌ها

[۱]محمودیان و همکاران، "طراحی و ساخت تراستر فضایی با پیشران کرایوژنیک اکسیژن-کروسین" دهمین کنفرانس هوافضا، ۱۳۸۹.

[2] Y.F. Fan, L.H. Gong, X.D. Xu, L.F. Li, L. Zhang, L.Y. Xiao. "Cryogenic system with the sub-cooled liquid nitrogen for cooling", *Journal of Cryogenics*, Vol. **45** 2005, pp. 272–276.

www.SID.ir