

طراحی و ساخت سیستم پیل سوختی پلیمری ده کیلووات

محمد رضا اشرف خراسانی^۱، هادی گورابی^۲، ایثار دشتی^۳، سعید اصغری^۴، مینو غلامی^۵

تاریخ دریافت مقاله:

۹۳/۸/۹

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۴/۱/۲۵

چکیده:

طراحی و ساخت سیستم پیل سوختی پلیمری با توان ده کیلووات از جمله اقدامات میان مدت سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور بوده که پیش از شروع این دوره محقق گردید. در این مقاله، مراحل طراحی، ساخت و آزمایش اجزای توده پیل و سیستم ده کیلووات، در بخش های جداگانه ارائه و در پایان، برتری های این نمونه در مقایسه با نخستین نمونه ساخته شده در کشور با ظرفیت پنج کیلووات بررسی خواهد شد.

کلمات کلیدی:

پیل سوختی پلیمری، توده پیل سوختی، صفحات دوقطبی، باتری، مبدل

khorasani@fuelcell.ir

hgurabi@gmail.com

Isar.dashti@hotmail.com

asghari@fuelcell.ir

m.gholami@iranenergy.org.ir

(۱) مدیر پروژه، پژوهشگاه فضای ایران، پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان، نویسنده مسئول

(۲) کارشناس ارشد پژوهشگاه فضای ایران، پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان

(۳) کارشناس ارشد پژوهشگاه فضای ایران، پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان

(۴) مدیر بخش مکانیک، پژوهشگاه فضای ایران، پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان

(۵) کارشناس مسئول سازمان انرژی های نو ایران

مقدمه

از بخش‌های مهم اقدامات کوتاه‌مدت سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی در کشور، تسلط بر فناوری طراحی و یکپارچه‌سازی سیستم پیل سوختی غشای پلیمری تبادل یونی و تولید نمونه آن می‌باشد. در راستای رسیدن به این هدف، پروژه پژوهشی طراحی و ساخت پیل سوختی پلیمری پنج کیلووات با هدف تدوین دانش فنی در سازمان انرژی‌های نو ایران تعریف شد. در سال ۱۳۸۹ اولین سیستم تولید همزمان برق و حرارت با پایه پیل سوختی پنج کیلووات به دست محققان مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان ساخته شد و زیر نظر کارشناسان سازمان انرژی‌های نو ایران در سایت طالقان نصب گردید [۱].

ساخت یک مجموعه ده کیلووات، در ادامه پروژه طراحی و ساخت پیل سوختی پنج کیلووات در سال ۱۳۸۹ مجدداً به این مرکز با نام جدید پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان واگذار شد. تسلط بر فناوری طراحی، ساخت و آزمایش توده پیل سوختی غشاء پلیمری با ظرفیت بالاتر، بومی سازی بیشتر، افزایش راندمان، کاهش حجم، کاهش هزینه و ساده کردن استفاده از سیستم از جمله اهداف اجرای این پروژه بود. در سال ۱۳۹۱ طراحی و ساخت نمونه پیل سوختی ۱۰ کیلووات با در نظر گرفتن اهداف فوق‌الذکر محقق گردید و نمونه مورد نظر در سایت انرژی‌های نو طالقان نصب و راه اندازی شد.

طراحی و ساخت سیستم پیل سوختی پلیمری به توان ده کیلووات از جمله اقدامات میان مدت سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور می باشد که در انتهای برنامه ۵ ساله اول (اقدامات کوتاه مدت) پیش از شروع دوره میان مدت، محقق گردید [۲]. علاوه بر این، تسلط بر فناوری توده پنج کیلووات و صفحات دوقطبی با عنوان بخشی از اهداف کوتاه مدت برنامه عملیاتی سند در این پروژه محقق گردید. به این ترتیب ضمن تکمیل اقدامات مرتبط با پیل سوختی پلیمری در بازه ۵ ساله اول، قدم مهم در بازه ۵ ساله دوم نیز با موفقیت برداشته شد.

نحوه تولید صفحات پلیمری

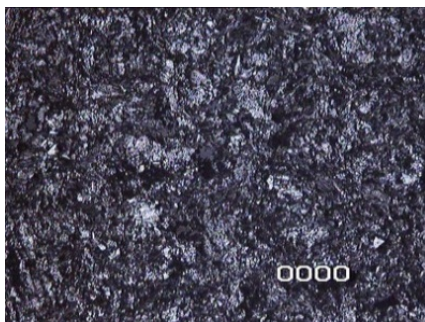
صفحات دوقطبی باید گاز هیدروژن و اکسیژن را در سطح موثر پیل به طور یکنواخت پخش نمایند و جریان الکتریسته و گرما را از یک واحد به واحد دیگر هدایت کنند. با توجه به اینکه در این نمونه پیل‌ها از هیدروژن و اکسیژن برای تولید الکتریسته استفاده می شود، این صفحات باید مانع نشت گاز هیدروژن به محیط خارج از توده پیل شوند و در عین حال از اختلاط دو گاز هیدروژن و اکسیژن (هوا) جلوگیری نمایند. صفحات دو قطبی همچنین سهم موثری بر کاهش حجم، وزن و هزینه یک مجموعه پیل خواهند داشت. بنابراین، تعیین جنس این صفحات در بازه و قیمت نهایی پیل سوختی تاثیر بسزایی خواهد داشت.

صفحات دو قطبی پلیمری مورد استفاده در پیل‌های سوختی باید دارای خواصی باشند که در جدول (۱) به آنها اشاره شده است. با توجه به این خواص، کامپوزیت‌های پلیمری به دلیل عدم خوردگی و استحکام مناسب در مقایسه با صفحات فلزی و گرافیتی متداول گشته اند.

جدول (۱) خواص مطلوب در صفحات دو قطبی

| خواص فیزیکی | واحد | مقدار |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| (Through-plane) Electric Conductivity | s/cm | >100 |
| (in-plane) Electric Conductivity | s/cm | >50 |
| H ₂ permeability | cm ³ /(cm ² s) | <2x10 ⁻⁶ |
| Flexural Strength | MPa | 35 |
| Compressive Strength | MPa | 70 |
| Density | gr/cm ³ | <2 |
| Cost | \$/Kw | <150 |

کامپوزیت‌های پلیمری به دو گروه ترموست [۴-۶] و ترموپلاست [۴ و ۵] تقسیم می‌گردند. به دلیل دمای کارکرد پیل سوختی و گرایش به سمت پیل‌های دمای بالا استفاده از کامپوزیت‌های ترموست متداول تر است. در بین رزین‌های ترموست، رزین اپوکسی به دلیل خواص مکانیکی عالی و مقاومت شیمیایی بالا اولین گزینه انتخابی در ساخت صفحات بوده است [۴]. همچنین جهت بهبود اختلاط مواد، رزین اپوکسی با ویسکوزیته کم انتخاب گردید. با توجه به رزین‌های متداول در بازار، اپوکسی نوع EPON828 (از تولیدات شرکت Shell) انتخاب شد. برای اختلاط مواد ترکیبی ابتدا اپوکسی و گرافیت و دوده با یکدیگر مخلوط شدند. از طرف دیگر، برای اپوکسی، هاردنر دما بالا نوع دی آمینو دی فینیل سولفون انتخاب شد. پس از قالب‌گیری و تولید صفحه کامپوزیت پلیمری، نمونه‌ها تحت آزمایش‌های مکانیکی، الکتریکی و بررسی تصاویر میکروسکوپی قرار گرفته و سپس برای بهبود خواص این صفحات، اصلاحاتی در نحوه پخت و چگونگی اختلاط آنها صورت گرفت. در شکل (۱) تصویر توزیع ذرات نمونه دیده می‌شود. یکنواختی توزیع و نبود مک در بهبود مراحل اختلاط و پخت موثر بوده است.



شکل ۱) چگونگی توزیع ذرات گرافیت و رزین در نمونه ساخته شده

مطلوب‌ترین شرایط عملیاتی پخت و ترکیب درصد اجزای کامپوزیت، پس از بهینه سازی در ۲۲۰ درجه سانتی گراد و فشار ۲۷۰ بار بوده است.

یکی از مشکلات موجود برای ساخت صفحات بر پایه اپوکسی، زمان بالای پخت صفحه کامپوزیت می‌باشد. به همین دلیل، به رغم استفاده از اپوکسی در نمونه های اولیه، در تولید انبوه صفحات به منظور افزایش سرعت پخت از رزین وینیل‌استر استفاده شده که از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی به اپوکسی بسیار نزدیک است.

معرفی سیستم پیل سوختی ده کیلووات

از انواع پیل‌های سوختی مورد استفاده در ساخت نیروگاه‌های متمرکز و سیستم‌های ایستگاهی غیر متمرکز پیل‌های سوختی پلیمری (PEMFC) هستند [۱،۳].

توده پیل‌های بکار رفته در سیستم پیل سوختی ده کیلووات از نوع پلیمری و کاربرد این سیستم به صورت ایستگاهی غیر متمرکز است. این سیستم دارای دو توده پیل پلیمری با ۶۵ عدد سلول می باشد. توان ناخالص این دو توده پیل مجموعاً چهارده کیلووات می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲) نمایی از کامپوزیت‌های ساخته شده در استک ۱۰ کیلووات

سیستم پیل سوختی ده کیلووات از نظر تجهیزات جانبی دارای شش بخش مجزا می باشد که عبارتند از:

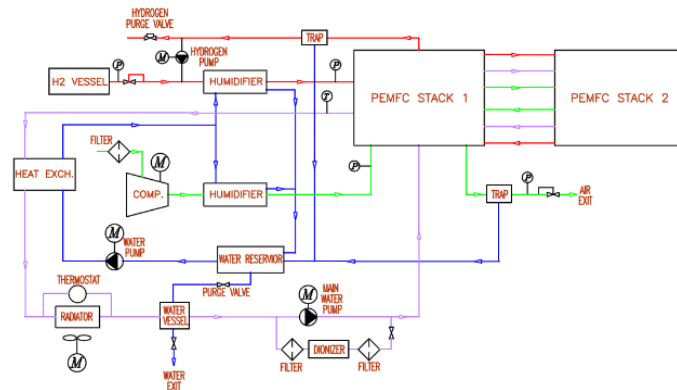
- ✓ سیستم مدیریت سوخت
- ✓ سیستم مدیریت اکسیدان
- ✓ سیستم خنک کننده
- ✓ سیستم کنترل و مانیتورینگ
- ✓ سیستم ایمنی و کنترل نشتی
- ✓ سیستم تبدیل انرژی

در شکل (۳) نمایی از پکیج مربوط به این سیستم که در سایت طالقان در حال بهره‌برداری است، نشان داده شده است.



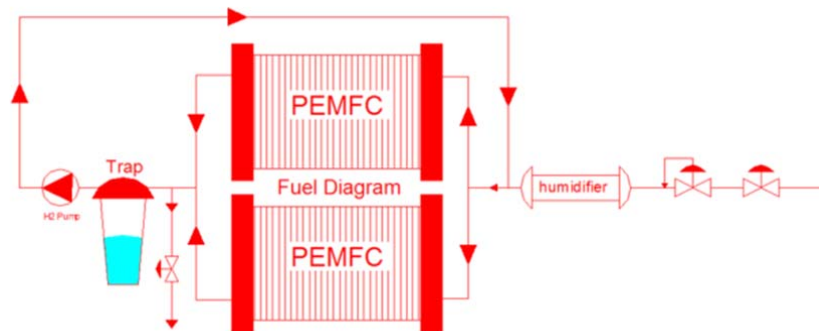
شکل (۳) پکیج تجهیزات جانبی سیستم پیل سوختی ده کیلووات

در شکل (۴) تصویر شماتیک مدار مجتمع تامین سوخت، گاز اکسیدان و سیستم خنک کننده مربوط به این سیستم نشان داده شده است.



شکل ۴) مدار تامین گاز اکسیدان، سوخت و سیال خنک کننده

وظیفه سیستم مدیریت سوخت و اکسیدان، تامین هیدروژن و هوا در فشار، دما، رطوبت و دبی کنترل شده به توده پیل‌های سیستم می باشد [۱]. سیستم تامین هیدروژن شامل مخزن هیدروژن، شیر برقی ورودی هیدروژن به سیستم، مرطوب ساز، فشارسنج، دماسنج، تله آب، پمپ هیدروژن و شیر تخلیه یا پرچ هیدروژن است. طراحی و انتخاب این تجهیزات به گونه ای است که در فشار کاری سیستم که بین ۰/۱ barg تا ۰/۵ barg تنظیم شده، اختلاف فشار سمت آند و کاتد از ۰/۲ barg تجاوز ننماید. ضریب استوکیومتری هوا ۲/۵ و ضریب استوکیومتری هیدروژن ۱/۵ می باشد. خروجی هوا به صورت مسیر باز (Flow trough) و خروجی هیدروژن به صورت انتها بسته (Dead end) با پرچ متناوب می باشد. در شکل (۵) تصویر شماتیک مدار تامین سوخت مشاهده می گردد.

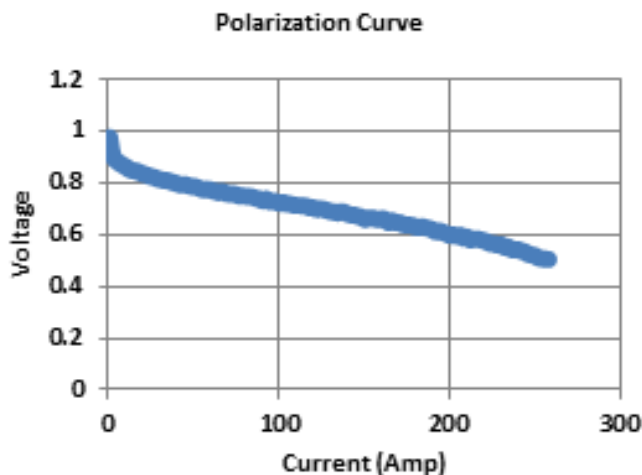


شکل ۵) تصویر شماتیک مدار تامین سوخت

سیستم مدیریت اکسیدان تقریباً شبیه به سیستم تامین سوخت است، با این تفاوت که هوای مورد نیاز توسط یک کمپرسور ولتاژ مستقیم تامین و قبل از ورود به توده پیل مرطوب می‌گردد. مرطوب ساز هیدروژن در آزمایش نهایی سیستم، به دلیل کافی بودن میزان رطوبت موجود ناشی از واکنش در سمت آند به دلیل تعداد زیاد سلول‌ها حذف گردیده است.

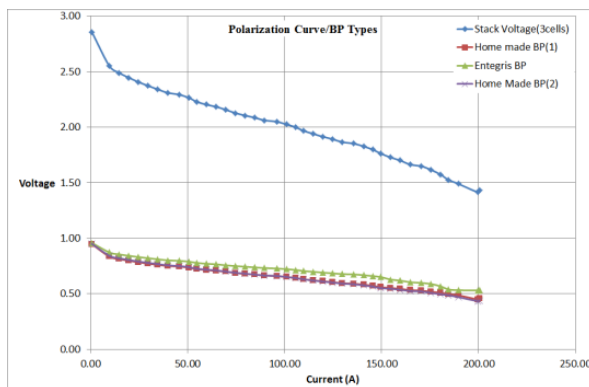
مراحل آزمایش سیستم پیل سوختی ده کیلووات

قبل از ساخت دو توده پیل با ۶۵ عدد سلول برای سیستم پیل سوختی ده کیلووات، یک تک پیل و یک توده پیل ۳ تایی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. هدف از آزمایش تک پیل، بررسی عملکرد غشاء برای ساخت سیستم نهایی بود. در شکل (۶) نمودار پلاریزاسیون (V-I) مربوط به این تک پیل مشاهده می‌گردد.



شکل ۶) نمودار پلاریزاسیون (V-I) مربوط به تک پیل

هدف از ساخت توده پیل ۳ تایی، مقایسه کیفیت صفحات دو قطبی پلیمری تولید شده با صفحات مشابه تولید خارج از کشور بود. در این توده پیل، همه غشاهای یکسان ولی صفحات مربوط به سلول اول، از نوع ساخت خارج و صفحات مربوط به سلول‌های دوم و سوم از صفحات تولید داخل بودند. در شکل (۷) نمودار مقایسه‌ای سلول‌های توده پیل ۳ تایی مشاهده می‌گردد.



شکل ۷) مقایسه عملکرد صفحات پلیمری در استک ۳ تایی

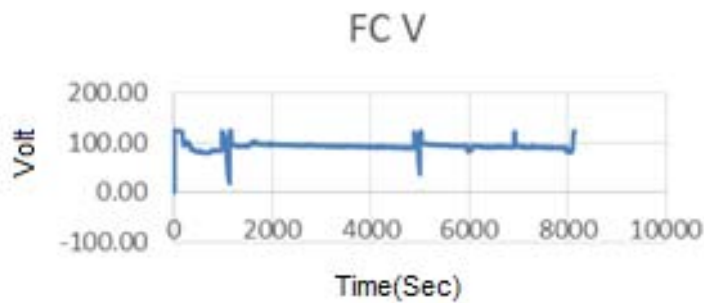
همانطور که در نمودار شکل (۷) مشاهده می‌شود، عملکرد صفحات تولید داخل، بسیار نزدیک به عملکرد صفحات تولید شده توسط شرکت آمریکایی Entegris است. پس از تایید نمونه‌ها و تولید صفحات دو قطبی مورد نیاز برای ۱۳۰ عدد سلول، دو توده پیل سوختی با ۶۵ عدد سلول برای استفاده در سیستم پیل سوختی ده کیلووات مونتاژ شد و بر روی هر یک آزمایش‌های نشتی و آماده سازی غشاء (Break-In) و آزمایش پایداری ولتاژ انجام گرفت.

پس از نصب توده‌های پیل سوختی، سیستم ده کیلووات با اعمال بارهای الکتریکی متفاوت آزمایش گردید. در هر یک از این آزمایش‌ها میزان پایداری ولتاژ در جریان ثابت، دبی و دور کمپرسور، دور پمپ هیدروژن، میزان اختلاف فشار بین آند و کاتد، دمای سلول‌ها و میزان آب‌گرفتگی در آزمایش‌های طولانی مدت مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۲) مشخصات کلی سیستم آزمایش شده ارائه شده است.

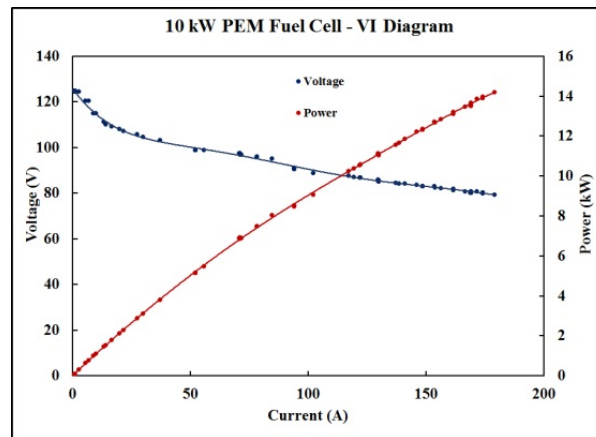
جدول ۲) مشخصات کلی سیستم ۱۰ کیلو وات

| | | |
|-----------------|------|-----------------------------------|
| 14 | KW | حداکثر توان ناخالص خروجی |
| 10 | KW | حداکثر توان خالص خروجی |
| 14 | KW | توان حرارتی |
| 78-120 | VDC | محدوده ولتاژ |
| 220VAC @ (0-45) | Amp | محدوده جریان خروجی سیستم |
| 300(Stc=1.5) | Slpm | حداکثر دبی هوای |
| 1020(Stc=2.5) | Slpm | حداکثر دبی هوای |
| 0.2 | bar | حداکثر اختلاف فشار بین آند و کاتد |

پس از تنظیم پارامترهای مختلف، الگوریتم نرم‌افزار کنترل خودکار پیل سوختی تهیه و در سیستم بارگذاری شد. سپس سیستم به دفعات تحت آزمایش‌های پایداری قرار گرفت. در شکل‌های (۸) و (۹) نمودار ولتاژ-زمان (ثانیه) و نمودار ولتاژ-جریان مربوط به یکی از این آزمایش‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۸) نمودار ولتاژ- زمان مربوط به یکی از آزمایش‌های پایداری سیستم



شکل ۹) نمودار پلاریزاسیون سیستم ده کیلووات در یکی از آزمایش‌ها

سیستم کنترل پیل سوختی

سیستم کنترل پیل سوختی با توجه به شش مدار اشاره شده در بخش ۴ این مقاله به موارد ذیل تقسیم می‌گردد:

- کنترل کننده سیستم تامین هیدروژن
- کنترل کننده سیستم تامین هوا
- مدار کنترل تجهیزات خنک سازی توده پیل
- سیستم حفاظت و ایمنی
- مدار کنترل کلی سیستم
- مدار کنترل تجهیزات تبدیل و انتقال انرژی

در ادامه به معرفی کلی هر کدام از مدارها و تجهیزات فوق پرداخته می شود.

کنترل کننده سیستم تامین هیدروژن

تجهیزاتی از مدار سوخت رسان که نیاز به کنترل دارند در این قسمت مورد بحث قرار می گیرد:

الف) کنترل پمپ هیدروژن

کنترل دبی گاز مورد نیاز سیستم توسط کنترل پمپ هیدروژن انجام می شود. این کنترل توسط یک ولتاژ آنالوگ صفر تا پنج ولت که تغذیه مناسب برای موتور را فراهم می کند، انجام می شود. کنترل کننده سیستم تامین هیدروژن، وظیفه ارسال فرمان آنالوگ و قرائت بازخورد کنترلر موتور و ارسال آن به کنترلر اصلی سیستم را به عهده دارد.

ب) شیر ورودی و پرچ هیدروژن

فرمان باز شدن شیرهای برقی سیستم، توسط سیستم کنترل به رله مربوطه ارسال می گردد و این رله تغذیه مورد نیاز را برای باز شدن شیر فراهم می کند.

ج) فشارسنج

وظیفه دیگر مدار کنترل تجهیزات تامین سوخت، همسان سازی فشار در دو سمت غشاء است که با قرائت پیوسته میزان فشار دو طرف توسط فشارسنج های تعبیه شده در سیستم، می توان تصمیمات کنترلی مناسب جهت رسیدن به فشار مطلوب اتخاذ نمود.

د) دماسنج

جهت فراهم آوردن شرایط مناسب کاری برای پیل سوختی، دمای گاز هیدروژن و هوا، همچنین دمای آب خنک‌ساز توسط حسگرهای دما سنجیده شده و به کنترلر سیستم اعلام می‌شود.

کنترل کننده سیستم تامین هوا

اجزای اصلی سیستم تامین هوا که با سیستم کنترل در ارتباط هستند شامل کمپرسور، مرطوب ساز، دماسنج و فشارسنج در ادامه بطور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرند.

الف) کنترل کمپرسور

برای راه‌اندازی کمپرسور باید تغذیه مورد نظر برای کنترلر آن فراهم شود. نقطه کار کمپرسور با سیگنال درخواست سرعت مشخص شود که یک سیگنال صفر تا پنج ولت می‌باشد و از طریق یک برد خروجی آنالوگ به کمپرسور ارسال می‌شود.

ب) دماسنج و فشارسنج

وظیفه دماسنج و فشارسنج در سیستم کنترل هوا مشابه نقش این تجهیزات در سیستم تامین سوخت است.

مدار کنترل تجهیزات خنک‌سازی توده پیل

برای خنک‌سازی رادیاتور مربوط به آب خنک‌کننده، از دو عدد فن استفاده شده که کنترل آنها، توسط یک برد جداگانه انجام می‌شود. در این برد، یک میکروکنترلر تعبیه شده که موج مربعی با پالس‌های مشخص تولید شده را به آی سی TLP250 ارسال می‌کند. خروجی آی سی به پایه گیت ماسفت متصل شده است. این ماسفت نقش سویچ قطع و وصل تغذیه فن را به عهده دارد. با خاموش و روشن شدن این ماسفت با یک سیکل معین و با بکارگیری الگوریتم‌های کنترلی، دمای آب خروجی در مقدار دلخواه تنظیم می‌گردد.

سیستم حفاظت و ایمنی

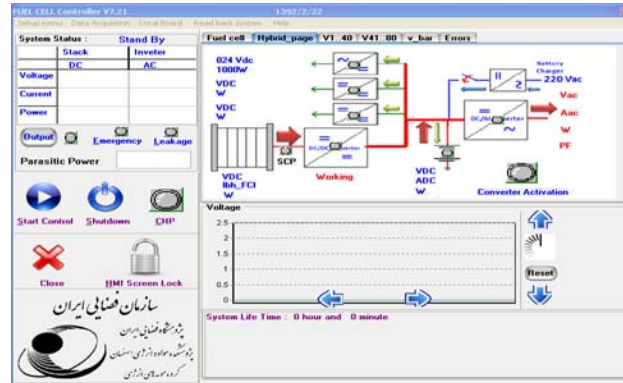
مطابق با استاندارد NFPA، سیستم پیل سوختی باید مجهز به آشکار ساز گاز هیدروژن باشد. این آشکار سازها باید در زیر سقف اتاق و بالای سیستم پیل سوختی و یا در بالای محلی که بیشترین احتمال نشتی هیدروژن وجود دارد، نصب گردد. سیستم تشخیص گاز باید در ۲۵٪ از میزان حد پایین انفجار هیدروژن، هشدار و در ۶۰٪ از میزان حد پایین انفجار هیدروژن، به صورت خودکار سیستم پیل سوختی را خاموش کند. علاوه بر این، یک حسگر پرتابل برای تشخیص نشتی‌های جزئی هیدروژن در داخل سیستم پیل سوختی تعبیه شده است [۷].

مدار کنترل کلی سیستم

کنترل کننده مرکزی سیستم وظیفه کنترل سیستم بر اساس الگوریتم‌های از پیش تعریف شده را بر عهده داشته و این عمل را از طریق عمل‌گرهایی مانند پمپ‌ها و شیرهای برقی و با دریافت اطلاعات حسگرها انجام می‌دهد. کنترل کننده می‌تواند آنالوگ باشد و یا به صورت دیجیتال و توسط رایانه و پردازشگرهای عددی پیاده سازی شود که در این حالت توسط مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ به سیستم متصل می‌شود.

طراحی سیستم کنترل به این صورت انجام می‌شود که پس از بررسی مشخصات الکتریکی اجزاء سیستم کنترل و مشخص شدن نوع و سیگنال‌های اجزای آن، پیکربندی کلی سیستم تعیین می‌گردد. سپس سیگنال‌های اجزاء طبقه بندی می‌شوند و با توجه به نوع و تعداد سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال، بردهای کنترلی مناسب به آن اختصاص داده می‌شود. پردازنده سیستم باید قابلیت انعطاف بالایی داشته باشد. بدین منظور، پردازنده‌های صنعتی قابل کار به صورت لمسی در اولویت انتخاب قرار گرفتند.

در شکل (۱۰) نرم افزار کنترل سیستم پیل سوختی ده کیلووات نشان داده شده است.

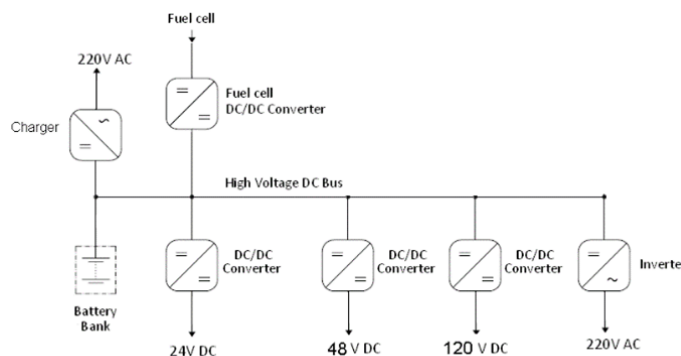


شکل (۱۰) نرم افزار کنترل سیستم پیل سوختی ده کیلووات

مدار کنترل تجهیزات تبدیل و انتقال انرژی

محدوده ولتاژ پیل سوختی در سیستم ده کیلووات حدود ۶۵ الی ۱۵۰ ولت است. این محدوده ولتاژ با مشخصات تغذیه تجهیزات موجود در سیستم که ۲۴ و ۱۲۰ ولت است، سازگار نمی‌باشد. بنابراین، به چند مبدل داخلی نیاز می‌باشد. از طرفی، این ولتاژ برای مصرف کننده نهایی سیستم پیل سوختی نیز مناسب نمی‌باشد. بنابراین، به مبدلی نیاز است که ولتاژ

پیل سوختی را به یک ولتاژ مطلوب برای مصرف کننده تبدیل نماید. مدار شماتیک سیستم تبدیل و انتقال انرژی در شکل (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱۱) مدار شماتیک سیستم تبدیل و انتقال انرژی

همان طور که در مدار شکل (۱۱) مشاهده می شود، خروجی پیل سوختی توسط یک مبدل DC/DC به باس ولتاژ بالا تحویل داده می شود. خروجی سیستم تبدیل و انتقال انرژی، ولتاژ متناوب تک فاز می باشد که به وسیله مبدل DC به AC از ولتاژ ثابت موجود در باس ولتاژ بالا ساخته می شود. توان مورد نیاز اجزای سیستم پیل سوختی توسط مبدل های نشان داده شده در شکل (۱۱)، از باس ولتاژ بالا تامین می شود. تغییرات سریع جریان درخواستی بار در خروجی سیستم پیل سوختی می تواند سبب آسیب به پیل سوختی گردد. برای کاهش تاثیر این شوک ها به پیل سوختی از باتری استفاده می گردد. به عبارت دیگر، باتری با ذخیره انرژی در خود در صورت نیاز سبب کاهش نوسانات بار بر روی پیل سوختی می گردد. علاوه بر این، در راه اندازی اولیه سیستم که توان خروجی پیل سوختی صفر است، تغذیه مدارهای داخلی و تجهیزات سیستم بر عهده باتری های سیستم است. [۸].

موارد برتری سیستم پیل سوختی ده کیلووات نسبت به سیستم پنج کیلووات

پیشرفت فناوری پیل سوختی در داخل کشور یکی از اهداف مهم اشاره شده در سند ملی راهبردی پیل سوختی است و لذا سعی شد سطح فناوری طراحی و ساخت سیستم ده کیلووات نسبت به سیستم پنج کیلووات بالاتر باشد. برتری های قابل توجه سیستم پیل سوختی ده کیلووات نسبت به سیستم پیل سوختی پنج کیلووات عبارتند از :

- ✓ کسب فناوری تولید توده های پیل سوختی با تعداد سلول بالا
- ✓ حفظ ابعاد خارجی سیستم همزمان با دو برابر شدن توان خروجی

- ✓ امکان تولید همزمان برق و حرارت برای یک محیط اداری یا مسکونی به مساحت ۱۰۰ متر مربع
 - ✓ توسعه نرم افزار کنترل و مانیتورینگ و قابلیت کنترل خودکار
 - ✓ راه اندازی مبدل به صورت دیجیتال
 - ✓ توسعه مدار کنترل اتوماتیک همزمان با کوچک سازی آن
- موارد دیگر برتری سیستم ده کیلووات نسبت به پنج کیلو وات در ذیل شرح داده شده است.

کاهش هزینه و زمان تمام شده

ساخت نمونه ده کیلووات با هزینه ای معادل با نمونه پنج کیلووات انجام شد در حالی که ظرفیت، مواد و تجهیزات بکار رفته در نمونه ده کیلووات دو برابر نمونه پنج کیلووات می باشد. همچنین کاهش زمان انجام پروژه از سه سال برای پروژه پنج کیلووات به دو سال جهت اجرای پروژه ده کیلووات محقق گردید.

- افزایش درصد ساخت داخلی و کاهش هزینه و زمان ساخت توده پیل سوختی

در اثنای اجرای پروژه ده کیلووات، با طراحی و ساخت قالب‌های صفحات دو قطبی پلیمری در ابعاد صنعتی و استفاده موفق از آن در توده پیل سوختی، امکان تولید انبوه این صفحات در ابعاد و اندازه‌های دلخواه در کشور ایجاد شد. با امکان ساخت این صفحات به صورت ساده و شیاردار، هزینه و زمان ساخت توده‌های پیل سوختی بشدت کاهش یافته است.

با طراحی و ساخت قالب و فیکسچر مربوط به تولید صفحات دو قطبی در ابعاد صنعتی و با کاهش زمان پخت این صفحات به کمتر از ۱۰ دقیقه، امکان تولید نیمه انبوه این صفحات و استفاده از آنها در سیستم پیل سوختی به دست آمد.

این صفحات از نوع ترموست هستند و با توجه به استانداردهای تدوین شده برای پیل‌های سوختی تولید شده‌اند و حتی در برخی از ویژگی‌ها در مقایسه با نمونه‌های خارجی، دارای کارکرد بهتری هستند. به‌عنوان نمونه، برای سطح فعال ۲۲۵ سانتی متر مربع، تک پیل مجهز به صفحات تولید داخل در ۰/۶ ولت قادر به تولید جریان ۲۲۵ آمپر بوده که این عدد در شرایط مشابه و با صفحات تولید شرکت Entegris، ۲۰۰ آمپر بوده است. همچنین صفحات تولید داخل از نظر استحکام مکانیکی و کاهش وزن بخصوص در پیل‌های با توان بالاتر قابل رقابت با نمونه خارجی می باشند.

- افزایش راندمان مبدل الکتریکی

راندمان مبدل الکتریکی در پروژه پیل سوختی پنج کیلووات حدود ۷۹ درصد و در مبدل مربوط به پروژه پیل سوختی ده کیلووات با اعمال تغییرات و بهینه سازی مبدل تا ۸۳ درصد افزایش داده شد.

- کاهش فشار و نویز سیستم

اگر سیستم پیل سوختی در فشار پایین تری کار کند، امکان ایجاد نشتی در سیستم، کمتر و همچنین کنترل آن آسان تر خواهد بود و علاوه بر آن، استهلاک اجزایی مانند کمپرسور و پمپ نیز کمتر می شود. در طراحی پیل سوختی پنج کیلووات، فشار حداکثر سیستم در قسمت آند 0.7 barg و در قسمت کاتد 0.5 barg بود ولی با توجه به مزایای عملکرد سیستم در فشار پایین تر، انتخاب اجزای سیستم و طراحی مدار گازرسانی به گونه ای انجام شد که ضمن حفظ عملکرد سیستم در حد مطلوب، فشار هوای سمت کاتد از 0.3 barg تجاوز ننماید.

در پروژه پیل سوختی پنج کیلووات، استفاده از دو پمپ با دامنه صدای 85 dB باعث افزایش صدای کلی سیستم شده بود در حالی که در پروژه پیل سوختی ده کیلووات از یک پمپ هیدروژن با دامنه صدای 70 dB استفاده شده است که علاوه بر کم کردن صدای سیستم، به اندازه 200 وات از توان مصرفی سیستم نیز کاسته شد.

نتیجه گیری

در راستای توسعه استفاده از واحدهای کوچک غیر متمرکز پیل سوختی در ایران و پس از تولید موفقیت آمیز یک سیستم پنج کیلووات با پایه پیل سوختی پلیمری در مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان، سیستم پیل سوختی ده کیلووات با امکان استفاده همزمان گرما و حرارت طراحی، ساخته و با موفقیت آزمایش گردید. این سیستم مجهز به دو توده پیل 65 تایی است که در ولتاژ کاری 78 ولت مقدار 180 آمپر جریان تولید می نماید. ولتاژ خروجی این سیستم به وسیله مجموعه ای از مبدل های $DC-DC$ و $DC-AC$ به ولتاژ متناوب تک فاز تبدیل شده است. خروجی سیستم 10 کیلووات، برق 220 ولت متناوب و 14 کیلووات توان حرارتی می باشد. یکی از پیشرفت های مهم در طراحی و ساخت سیستم پیل سوختی ده کیلووات، تولید صفحات دوقطبی پلیمری می باشد. این صفحات با روش ترموست تولید شده و در سال 1390 در این مرکز پژوهشی به تولید انبوه رسیده و اولین بار در توده پیل سوختی ده کیلووات با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته اند. این سیستم از سال 1392 در سایت طالقان سازمان انرژی های نو ایران راه اندازی و مورد بهره برداری قرار گرفته است. در ضمن بسیاری از دانشگاه ها و پژوهشگاه های کشور از این صفحات برای ساخت تک پیل و توده پیل استفاده می کنند.

منابع

- [۱] اشرف خراسانی، محمدرضا، زمانی، مهدی، اصغری، سعید، فقیه ایمانی، باقر، (۱۳۸۸)، طراحی و ساخت سیستم پیل سوختی 5 کیلووات، نشریه انرژی ایران، دوره 12 ، شماره 4 .
- [۲] سند راهبرد ملی توسعه پیل سوختی کشور. وزارت نیرو، سازمان انرژی های نو ایران، 1386 .

- [۳] رشیدی رنجبر، ن. (۱۳۸۰)، پیل های سوختی انرژی سبز، چاپ اول، اصفهان، انتشارات ارکان، مرکز تحقیقات مهندسی اصفهان،.
- [4] Hermann A, Chaudhuri T, and Spagnol P, 2005."Bipolar plates for PEM fuel cells: A review". International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, 1297-1302.
- [5] Li X and Sabir I, 2005, "Review of bipolar plates in PEM fuel cells Flow-field designs", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, 359-371.
- [6] L.Due, 2007, "High conductive epoxy/graphite.", J.Power source, Vol. 172, 734-741.
- [7] NFPA 853, "Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Plants", 2000 Edition.
- [8] Peter Ide, Wetzel, H, Wallmeier, P, Margaritis, B. 2004, "Parallel Operation of single-Phase Inverter Stage", Proc. of Power Electronics, PCIM, Nuremberg, Germany.
- [9] *jiang University SCIENCE*, ISSN 1009-3095.