

طراحی و ساخت اولین نمونه آزمایشگاهی ذخیره ساز انرژی مبتنی بر هوای فشرده در کشور

حامد مسکنی، سعید علیشاهی

دفتر تحقیقات

شرکت توزیع نیروی برق شهرستان مشهد

مشهد، ایران

maskani@gmail.com

۱. مقدمه

امروزه هوای فشرده، در کنار انرژی برق، در کارخانجات صنعتی و در کارگاههای کوچک در ابعاد وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلایل انتخاب هوای فشرده بعنوان یکی از رایج ترین حامل های انرژی مورد استفاده در صنعت را می‌توان به صورت زیر فهرست کرد:

- هوا قابلیت تراکم پذیری بسیار زیادی دارد.
- امکان ذخیره سازی هوای فشرده وجود دارد.
- هوای فشرده به سادگی تولید، کنترل و توزیع می‌شود.
- هوا نسبت به بسیاری از سیستم ها و فرآیندهای صنعتی خنثی است.
- هوای مورد نیاز سیستم هوای فشرده، فراوان و در دسترس است.
- امکان استفاده تلفیقی از هوای فشرده به عنوان هوای مصرفی فرآیند، محرکه ابزارهای بادی و سیستم های کنترلی و ... وجود دارد.

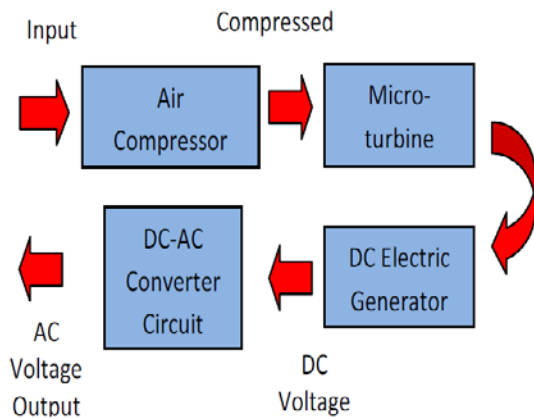
در کنار تمام مزایای ذکر شده در بالا، مصرف بالا و راندمان پایین دستگاه های تولید هوای فشرده به عنوان مهم ترین عیب این سیستم ها می باشد [۱].

با توجه به خصوصیات ذکر شده، هوای فشرده، در صنایع کاربردهای متنوعی دارند که شاخص ترین آن ها، استفاده به عنوان حامل انرژی، کنترل

چکیده — از آنجا که هزینه تولید برق و قیمت فروش آن در ساعات مختلف شبانه روز با توجه به راه افتادن بازار برق، تفاوت های چشمگیری دارد، بنابراین ایده ذخیره سازی برق در ساعات غیر پیک (برق ارزان قیمت) و استفاده از آن در ساعات پیک (برق گران قیمت) مطرح شد. امروزه روش های مختلفی مانند استفاده از باتری های شیمیایی، ذخیره ساز هوای فشرده، ذخیره سازی چرخ طیار، ذخیره ساز حرارتی، ذخیره ساز مغناطیسی ابر رسانا و ذخیره ساز ابرخازن برای ذخیره سازی انرژی استفاده می‌شود، که به جز باتری های شیمیایی، بقیه روش ها گسترش چشمگیری نداشته و مراحل تحقیق و توسعه در مورد آن ها ادامه دارد.

در این مقاله، ابتدا به معرفی سیستم های ذخیره ساز هوای فشرده پرداخته شده و اجزای یک سیستم ذخیره ساز هوای فشرده معرفی می‌گردد. در ادامه به معرفی نمونه هوای فشرده، طراحی شده در دفتر تحقیقات شرکت توزیع برق شهرستان مشهد پرداخته شده و خروجی های سیستم در نمودارهای مختلفی نمایش داده شده است.

واژه های کلیدی — باتری هوای فشرده؛ پیک سایه؛ ذخیره ساز انرژی؛ کمپرسورهای هوا؛ میکروتوربین بادی؛



شکل ۱: اجزای اصلی یک سیستم ذخیره ساز هوای فشرده

۲.۱. کمپرسور هوا

در ته‌ی کمپرسورها بایستی به ۴ پارامتر مهم توجه نمود. اولین مورد فشار تولیدی کمپرسور می‌باشد که با توجه به اینکه حوزه عملکرد توجه نجات بادی معمول در بازار ماکزیمم ۱۰ بار می‌باشد، بایستی کمپرسوری انتخاب می‌شد که مناسب سیستم بوده و حدود ۱۰ بار فشار بتواند تأمین نماید. کمپرسورهای موجود در بازار معمولاً در دو رنج فشار ۸ و ۱۰ بار موجود می‌باشند.

دومین موردی که بایستی به آن توجه نمود حجم مخزن متصل به کمپرسورها می‌باشد. کمپرسورهای موجود در بازار معمولاً سلیندر ذخیره ساز هوای فشرده را نیز همراه دارند. این سلیندرها معمولاً در حجم‌های ۳۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ لیتر برای کمپرسورهای با فشار ۸ بار، و در حجم‌های بالای ۵۰۰ لیتر برای کمپرسورهای ۱۰ بار موجود می‌باشند.

سومین پارامتر مهم در انتخاب کمپرسور، قدرت موتور کمپرسور می‌باشد. برای کمپرسورهای با فشار ۸ بار معمولاً از موتورهای ۱.۵ تا ۲.۵ اسب استفاده می‌شود و کمپرسورهای فشار ۱۰ بار، موتورهای بالاتر دارند که وابسته به حجم مخزنی می‌باشد که به همراه دارند. در یک حجم مخزن ثابت، افزایش قدرت کمپرسور سبب می‌گردد که کمپرسور سریع‌تر شارژ شده و نرخ تولید هوای فشرده افزایش می‌یابد. طبیعتاً برق مصرفی این موتورهای بیشتر می‌باشد.

چهارمین پارامتر مهم در انتخاب کمپرسور نیز قیمت آن می‌باشد. برای کمپرسورهای با فشار ۸ بار معمولاً با قیمت‌های ۲.۵۰۰.۰۰۰ ریال تا ۷.۰۰۰.۰۰۰ ریال پرداخت نمود. و قیمت کمپرسورهای با فشار ۱۰ بار نیز مبلغی حدود ۷.۰۰۰.۰۰۰ تا چند ده میلیون ریال می‌باشد.

سیستم‌ها، گاز تنفسی، تمیزکاری، خنک‌کنندگی، استفاده در تونل‌ها، تولید ازت، اتومبیل‌های هوای فشرده و نیروگاه‌های هوای فشرده می‌باشند.

در چند سال اخیر باتری‌های هوای فشرده به عنوان کاربردی جدید از هوای فشرده مطرح شده و چندین گروه تحقیقاتی در دانشگاه‌های مطرح دنیا و همچنین چند شرکت معتبر صنعتی مطالعاتی را جهت ساخت این باتری‌ها آغاز نموده و نمونه‌های آزمایشی را تولید نموده‌اند.

گروهی از محققان و دانشجوین دانشگاه UTeM در کشور مالزی در سال ۲۰۱۰ در [۲] مشخصات یک سیستم ذخیره ساز انرژی هوای فشرده را مطرح نمودند که در همان سال به صورت آزمایشگاهی آن را ساخته بودند. همین گروه در سال ۲۰۱۱ سیستم قبلی خود را بهبود داده و در [۳] مشخصات باتری هوای فشرده جدید تولیدی و خروجی‌های آن را منتشر نمودند.

در همین راستا، گروهی از محققین مرکز تحقیقاتی iCAST در کشور آمریکا، با مشارکت دانشکده کشاورزی کلرادو، پروژه‌ای را در زم‌ینه طراحی و ساخت یک سیستم ذخیره ساز انرژی الکتریکی هوای فشرده اجرا نمودند که نتایج اولیه آن‌ها در سال ۲۰۱۰ در [۴] منتشر گردید.

در این مقاله در ابتدا به معرفی اجزای تشکیل‌دهنده یک باتری هوای فشرده پرداخته شده و در ادامه باتری هوای فشرده، ساخته شده در شرکت توزیع برق شهرستان مشهد معرفی می‌گردد. در انتها نیز خروجی‌های باتری هوای فشرده ساخته شده ارائه شده است.

۲. ساختار کلی یک باتری هوای فشرده

به طور کلی یک سیستم ذخیره ساز انرژی الکتریکی هوای فشرده دارای ۴ جزء اصلی مطابق شکل ۱ می‌باشد. که عبارتند از:

- کمپرسور هوا
- میکروتوربین بادی
- ژنراتور الکتریکی
- اینورتر (در صورت نیاز به ولتاژ AC)

۲.۲. میکروتوربین بادی

میکروتوربین بادی، تجهیزی است که انرژی موجود در هوای فشرده ورودی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌نماید. میکروتوربین بادی عنوان کلی است که برای تمام انواع توربین‌های بادی با ابعاد و تکنولوژی‌های مختلف استفاده می‌شود. میکروتوربین یکی از مهم‌ترین اجزای باتری هوای فشرده بوده و راندمان آن تأثیر به‌سزایی در راندمان کل سیستم دارد.

یکی از بهترین میکروتوربین‌های بادی موجود در جهان، میکروتوربین‌های ساخت شرکت PSI Automation می‌باشد. شرکت PSI Automation یکی از سازندگان اصلی تجهیزات پمپاژ در جهان می‌باشد که محصولات آن در صنایع پیشرفته‌ای مانند شاتل‌های فضایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ میکروتوربین استفاده شده در پروژه دانشگاه UTeM مالزی [۲] نشان داده شده است. در جدول ۱ مشخصات فیزیکی این تجهیز آورده شده است. لازم به ذکر است تجهیز مذکور در بازار جهانی قیمتی حدود ۳۵۰۰ دلار دارد و به علت تحریم در بازار ایران تهیه آن امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۲.۳. ژنراتور الکتریکی

جهت تبدیل انرژی مکانیکی میکروتوربین بادی به انرژی الکتریکی، باید از یک یا چند ژنراتور الکتریکی مناسب استفاده نمود. ژنراتور الکتریکی می‌تواند از نوع DC و یا AC بوده و ظرفیت آن باید متناسب با گشتاور تولیدی توسط میکروتوربین باشد.

جهت سهولت کار و کنترل مناسب بر خروجی، معمولاً از ژنراتورهای DC جهت ساخت باتری هوای فشرده مناسب‌تر می‌باشند.

۲.۴. اینورتر

در صورتی که در خروجی سیستم، نیاز به ولتاژ AC باشد، می‌توان از اینورترهای موجود در بازار، متناسب با ظرفیت دستگاه استفاده نمود. با توجه به اینکه معمولاً باتری‌ها دارای خروجی DC می‌باشند، در پروژه‌های سایز کوچک معمولاً از اینورتر استفاده نمی‌شود و خروجی DC مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳. کمپرسور - اکسپندر

کمپرسور/اکسپندرها، کمپرسورها می‌هستند که توانایی عملکرد در سیکل معکوس را داشته و می‌توانند عملکرد هر دو تجهیز کمپرسور و توربین بادی را در زمان‌های مختلف از عملکرد خود داشته باشند.

اسکرول کمپرسورها، دسته‌ای از کمپرسورها هستند که با توجه به ساختار حلزونی شکل خود، توانایی عملکرد به عنوان اکسپندر را دارند. در شکل ۳ شماتیکی از نحوه عملکرد یک اسکرول کمپرسور نشان داده شده است.



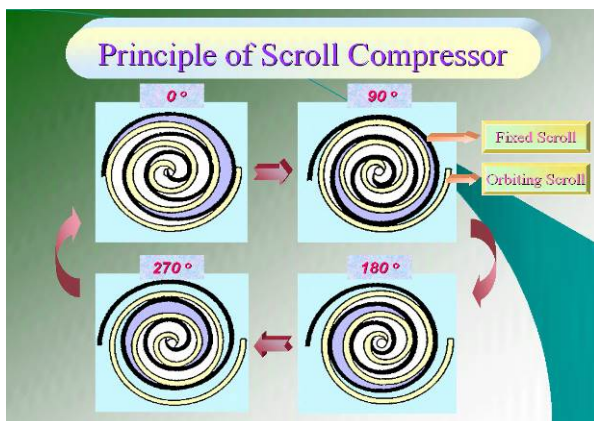
شکل ۲: میکروتوربین شرکت آمریکایی PSI Automation استفاده شده در

پروژه دانشگاه UTeM

جدول ۱: مشخصات فیزیکی میکروتوربین شرکت آمریکایی PSI Automation

استفاده شده در پروژه دانشگاه UTeM

Manufacturer		PSI Automation		
Model	Power Flow At 90 lbf/in ² (hp@rpm)	Flow Rating At 90 lbf/in ² At MAX hp (scfm)	Input Air Pressure Range (lbf/in ²)	Input Air Pressure (lbf/in ²)
DV4-008	4.0 @ 710	125	10-120 (0.69bar-8.3bar)	30(2.1bar) 60(4.1bar) 80(5.5bar)
Stall Torque (lbf ft)	Starting Torque (lbf ft)	High Running Torque (lbf ft @rpm)	Mid Range Torque (lbf ft @rpm)	Maximum Continuous Speed (lbf ft @rpm)
20	15	14@285	8.5@570	3.8@800
39	30	30@285	21@570	13@800
53	39	41@285	31@570	21@800



شکل ۳: شماتیکی از نحوه عملکرد یک اسکرول کمپرسور

تعبیه شده است. سایر سطوح و دیواره ها عاری از هرگونه دریچه و یا زبانه می باشد. در ادامه به معرفی هر یک اجزای سیستم پرداخته می شود.



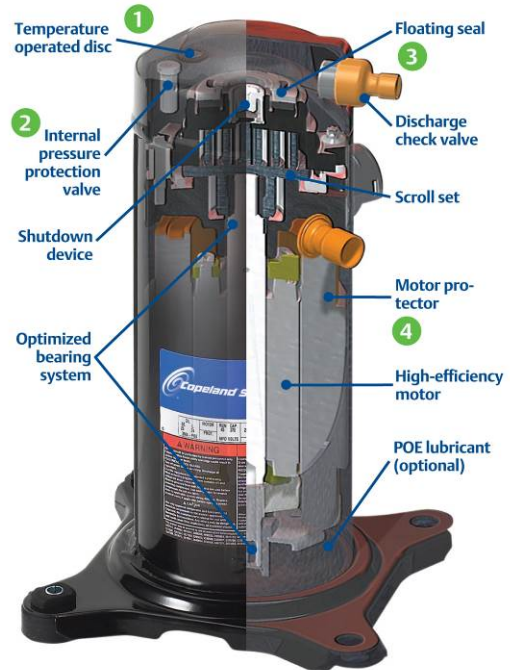
شکل ۵: نمای جانبی باتری هوای فشرده ساخته شده در شرکت توزیع برق شهرستان مشهد

۴.۱. میکرو توربین بادی استفاده شده در پروژه

همان طور که در قسمت های قبل بیان شد، توربین بادی یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده باتری هوای فشرده می باشد. در هنگام طراحی و ساخت این باتری، در ابتدا تصمیم بر آن بود که از یک کمپرسور/اکسپندر استفاده گردد. اما با توجه به نیاز به طراحی مجدد و عدم وجود کارگاه ریخته گری مناسب جهت این کار در شهرستان مشهد، این طرح متفی شد. یادآور می شود که کمپرسورهای Copeland در صورت عدم طراحی مجدد نیز امکان عملکرد اکسپندری دارند، اما دبی بالایی از هوا را دریافت نموده ولی گشتاور مناسبی ارائه نمی دهند.

در ادامه و پس از بررسی چندین نمونه توربو شارژر، انواع ابزارهای بادی و Air Motor های موجود در بازار، از یک دریل کوچک بادی ساخت شرکت JIT به عنوان میکرو توربین بادی استفاده گردید. دریل بادی JIT 3800 نسبت به سایر انواع ابزارهای بادی موجود در بازار، مصرف هوای فشرده پایینی داشته و با بهینه سازی های انجام گرفته در ساختار آن، توانایی گردش ۲۲۰۰ دور در دقیقه در حالت آزاد را داراست. البته پس از کوپل نمودن این میکروتوربین با ژنراتور الکتریکی، سرعت آن حدود ۱۴۰۰ دور بر دقیقه کاهش می یابد.

مهم ترین سازنده اسکروول کمپرسورها در جهان، شرکت Copeland می باشد. این کمپرسورها در یخچال های صنعتی و چیلرها استفاده می گردد و در بازار ایران نیز موجود می باشند. در شکل ۴ نمایی از یک کمپرسور Copeland و اجزای آن نشان داده شده است.



شکل ۴: ساختار یک اسکروول کمپرسور Copeland

با توجه به اینکه کمپرسورهای Copeland تنها جهت عملکرد کمپرسوری طراحی شده اند، جهت بهره گیری از آن ها به عنوان اکسپندر باید طراحی مجدد گردند. شرکت Pnu Power انگلستان، تنها سازنده باتری های هوای فشرده به شکل تجاری، از این تکنولوژی در ساخت باتری های خود استفاده نموده است.

۴. طراحی و ساخت سیستم نمونه

در این قسمت باتری هوای فشرده ساخته شده در شرکت توزیع برق شهرستان مشهد معرفی می گردد. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، باتری هوای فشرده ساخته شده شامل محفظه ای از جنس کامپوزیت با ابعاد 300mm*400mm*170mm می باشد که کلیه اجزای تشکیل دهنده آن درون محفظه قرار گرفته و در سطح فوقانی آن پنل مخصوص مانیتورینگ باتری قرار گرفته است. در دیواره سمت راست نیز ورودی هوای فشرده به همراه یک شیر پنومات جهت کنترل ورودی هوای فشرده

موتور خریجاری شده با نام تجاری Wiper Engine (WM-8245-2S) در بازار جهانی موجود بوده و قیمت آن نفی حدود ۱۲۰ یورو می باشد [۵].

۴.۳. کمپرسور استفاده شده در پروژه

با توجه به نطفه‌های پروژه و فضای کارگاهی که برای اجرای پروژه در اختیاف گروه قرار داده شده، یک کمپرسور ۵۰ لیتری، با فشار ۸ بار، و موتور ۲.۵ اسب خریجاری شد. این کمپرسور محصول شرکت Shimge چین بوده و قیمت آن در بازار ایران حدود ۳.۵۰۰.۰۰۰ تا ۴.۰۰۰.۰۰۰ ریال می باشد.

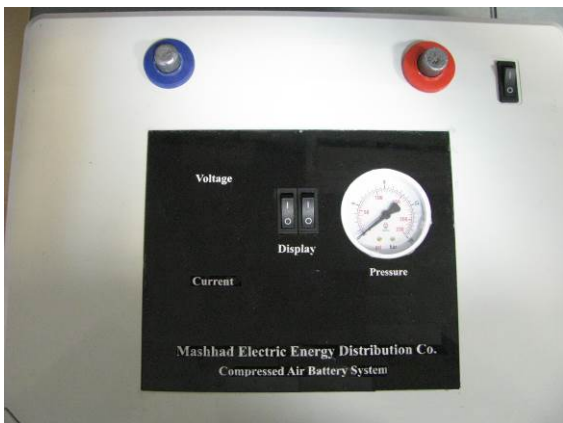
۴.۴. طراحی سنسورهای ولتاژ، جریان و فشار جهت

سیستم

با توجه به اینکه این سیستم به عنوان سیستم نمونه و آزمایشی ساخته خواهد شد، گروه مناسب دبی که یک مانیتورینگ مختصر در حد، نمایش ولتاژ خروجی، جریان خروجی، و فشار هوای ورودی سیستم را طراحی و بر روی سیستم مکانیکی و نصب نماید.

صفحه فوقانی محفظه جهت نصب سیستم مانیتورینگ انتخاب گردید. به همین جهت شماتیک جهت پیل کاربری و مانیتورینگ سیستم طراحی گردید و توسط دستگاه برش لثری بر روی دو صفحه فلکسری آماده گردید.

همان طور که در شکل ۷ دیده می شود، سیستم مانیتورینگ شامل یک ولت متر و آمپر متر DC بوده که توانایی اندازه گیری و نمایش ولتاژ و جریان تا دو رقم اعشار را نیز دارا می باشند. به علاوه یک سنسور فشار شامل یک گیج فشار نیز بر روی پیل مانیتورینگ تعبیه شده است که فشار ورودی به سیستم را نمایش می دهد.



شکل ۷: نمایشی از پیل کاربری و مانیتورینگ سیستم باتری هوای فشرده

۴.۲. ژنراتور الکتریکی استفاده شده در پروژه

پس از انتخاب توربین بادی، انتخاب ژنراتور الکتریکی یکی از مهم ترین بخش های مرحله انتخاب تجهیزات می باشد. ژنراتورها و موتورهای الکتریکی دارای تنوع بسطی زیادی می باشند و همین مسأله انتخاب را بسطی مشکل نموده است. جهت اجرای پروژه های سیستم های هوای فشرده معمولاً از ژنراتورهای DC و الکتروموتورهای با مغناطیس دائم استفاده می شود.

در این پروژه نطفه به ژنراتوری بود که در عین حال که توانی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ وات داشته باشد، بتواند در دور نامی توربین بادی، بخری حدود ۱۵۰۰ دور بر دقیقه نفی تولیف داشته باشد. پس از بررسی موتورهای موجود در بازار، یک الکتروموتور DC اسقاطی که مربوط به موتور برف پاک کن یک دستگاه اتوموبیل هوندا شاتل محصول سال ۱۹۹۸ بود، از یک تعمیرگاه خودرو تهیه گردید.

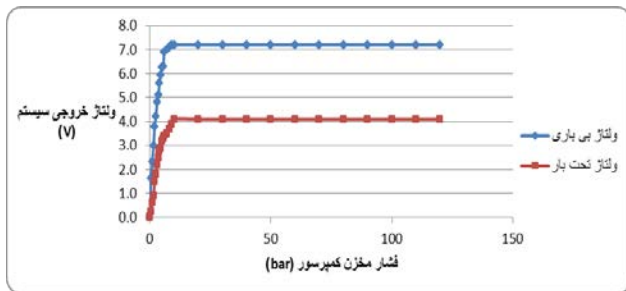
در شکل ۳۵ تصویری از الکتروموتور مربوطه آورده شده است. موتور برف پاک کن معمولاً دارای سرعت پایینی می باشد و البته این امر توسط گیج بکس قدرتمندی است که با شافت آن کوپل شده است. همان طور که در شکل ۳۵ نفی مشاهده می گردد، الکتروموتور خریجاری شده به همراه یک گیج بکس می باشد. این الکتروموتور ۵۰ وات بوده و با ولتاژ ۱۲ ولت DC کار می کند.



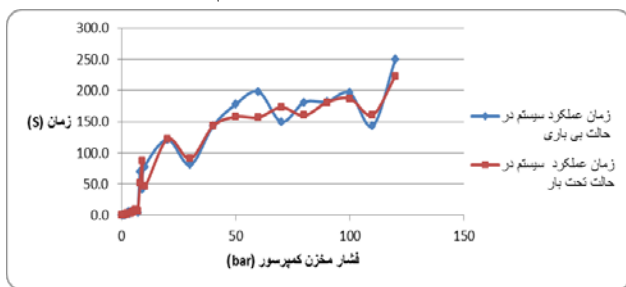
شکل ۶: الکتروموتور با نام تجاری Wiper Engine (WM-8245-2S)

تست های ابتدایی نشان داد که در صورتی که بتوان نئوی مناسبی را به محور این الکتروموتور وارد نمود و آن را به چرخش درآورد، در دو سر پائنه های الکتریکی آن ولتاژی حدود ۵ تا ۸ ولت ایجاد می گردد.

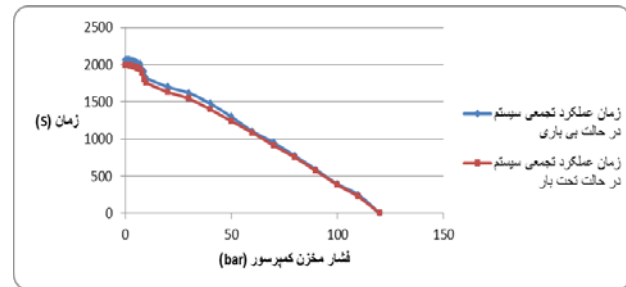
حسب فشار مخزن ژنراتور، و توان خروجی سیستم در حالت تحت بار بر حسب زمان عملکرد جمع‌عی در حالت تحت بار، جهت سیستم نهایی آورده شده است.



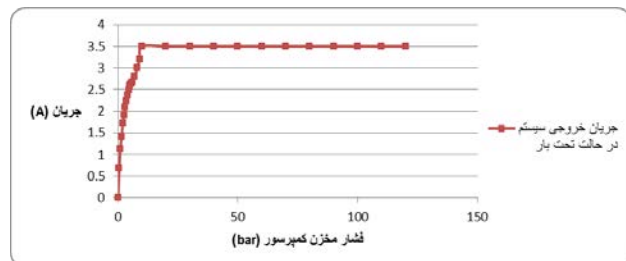
شکل ۸: نمودار ولتاژ خروجی سیستم در حالت بی باری و تحت بار بر حسب فشار مخزن کمپرسور جهت سیستم نهایی



شکل ۹: نمودار زمان عملکرد سیستم در حالت های تحت بار و بی باری بر حسب فشار مخزن کمپرسور جهت سیستم نهایی



شکل ۱۰: نمودار تجمعی زمان عملکرد سیستم در حالت های تحت بار و بی باری بر حسب فشار مخزن کمپرسور جهت سیستم نهایی



شکل ۱۱: نمودار جریان خروجی سیستم در حالت تحت بار بر حسب فشار مخزن ژنراتور جهت سیستم نهایی

۵. بهبود سیستم نمونه و بهینه سازی در عملکرد آن

با توجه به آنچه که در قسمت قبل ارائه شد، سیستم نمونه اولیه به کمک هوای فشرده شده با فشار ۸ بار، در مخزن ۵۰ لیتری کمپرسور تغذیه شده و مدت زمان عملکرد آن چنانچه حدود ۱۵۰ ثانیه می باشد. به علاوه در ۵۰ ثانیه آخر، توان تولدی مقداری کمتر از ۱ وات می باشد. با توجه به موضوع ذکر شده، لزوم تغییراتی در سیستم جهت بهبود عملکرد آن احساس می شود.

یکی از مهم ترین مواردی که جهت بهبود مدت زمان عملکرد سیستم می توان به آن اشاره کرد، تغییر در مخزن ذخیره ساز هوای فشرده می باشد. مسلماً با افزایش حجم مخزن و طی افزایش فشار هوای محبوس در آن می توان مدت زمان عملکرد سیستم را افزود. پس از بررسی های لازم یک کیپسول ۴۰ لیتری ازت که توسط کارخانجات اکسیژن سازی مورد استفاده قرار می گیرد تهیه گردید. فشار داخلی این کیپسول در حالت شارژ کامل حدود ۱۲۰ بار می باشد که با کمک یک رگولاتور فشار، فشار خروجی به حدود ۱۰ بار تقلیل پیدا می کند. این مقدار فشار جهت راه اندازی سیستم بسیار مناسب بوده و به علاوه مدت زمان عملکرد سیستم نیز افزایش پیدا می کند.

۶. خروجی سیستم بهینه شده

باتری هوای فشرده ساخته شده، با اتصال مخزن هوای فشرده جدید تحت شرایط بی باری و تحت بار مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به اینکه ورودی سیستم به کمک یک رگولاتور فشار تأمین می شود، در طی مدت زمان عملکرد مفید سیستم، فشار هوای ورودی ثابت بوده و در نسخه خروجی های سیستم نیز مقداری ثابت می باشند.

باتری هوای فشرده با اتصال به مخزن ۴۰ لیتری نیتروژن فشرده که فشار اولیه آن حدود ۱۲۰ بار می باشد، حدود ۳۰ دقیقه عملکرد مفید دارد. در هنگام آزمایش فشار خروجی از سمت فشار ضعیف بر روی ۱۰ بار تنظیم شده است و ولتاژ تولدی در حالت بی باری حدود ۶ ولت می باشد.

در شکل های ۸ تا ۱۲ به ترتیب، نمودار ولتاژ خروجی سیستم در حالت های بی باری و تحت بار بر حسب فشار مخزن کمپرسور، زمان عملکرد سیستم در حالت های تحت بار و بی باری بر حسب فشار مخزن کمپرسور، نمودار تجمعی زمان عملکرد سیستم در حالت های تحت بار و بی باری بر حسب فشار مخزن کمپرسور، جریان خروجی سیستم در حالت تحت بار بر

۷. نتیجه گیری

امروزه پژوهشگران حوزه انرژی در سراسر دنیا به دنبال ارائه راهکارهایی جهت تغییر در سیستم های سنتی تولید، ذخیره سازی و مصرف انرژی هستند. سیستم های مبتنی بر هوای فشرده یکی نمونه ای از این دست تلاش ها جهت تغیر در ساختار سنتی می باشد. در این مقاله سعی بر آن بود که به بررسی سیستم های ذخیره ساز انرژی هوای فشرده، با تمرکز بر سیستم های ذخیره ساز هوای فشرده در ابعاد کوچک، یعنی اصطلاح باتری های هوای فشرده پرداخته شود. در قسمت ابتدایی این مقاله به معرفی انواع کاربردهای سیستم های هوای فشرده پرداخته شده و در انتها سیستم طراحی شده در شرکت توزیع برق شهرستان مشهد تشریح شده است و چگونگی عملکرد این سیستم نمونه مورد بررسی قرار گرفت.

تاکنون چند نمونه باتری هوای فشرده در دنیا ساخته شده است که همگی آن ها راندمانی بین ۰.۵ تا ۲ درصد دارند. مسلماً این راندمان مقدار قابل توجهی نبوده و از دیدگاه اقتصادی توجیح پذیری نمی باشد. اما در شرایطی که با اهداف مشخص دیگر، هوای فشرده و یعنی گاز بی اثر دیگر موجود باشد، می توان ضمن بهره گیری از هوا و یعنی گاز در فشار بالا، به کمک باتری هوای فشرده تولید انرژی الکتریکی نمود و از آن بهره برداری نمود.

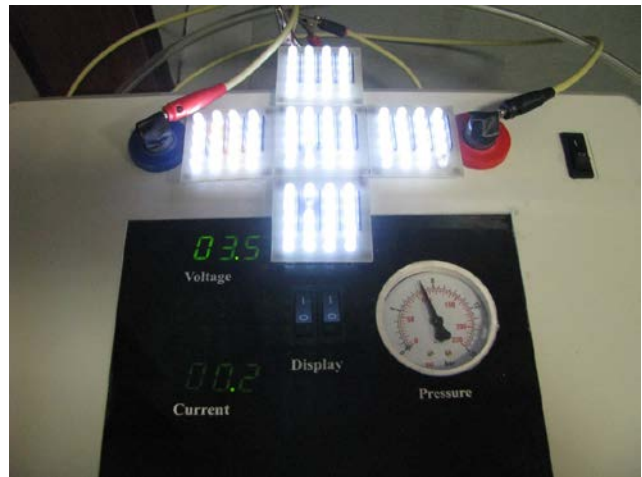
منابع

- [۱] ب. حق جو، پ. نداف، "بهینه سازی عملکرد و بازدهی انرژی در سیستم های تولید هوای فشرده"، شرکت مهندسی پردازان، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت ایران، www.ifco.ir.
- [2] A. Khamis, Z. M. Badarudin, A. Ahmad, A. Ab Rahman, M. H. Hairi, "Overview of Mini Scale Compressed Air Energy Storage System", The 4th International Power Engineering and Optimization Conf. (PEOCO2010), Shah Alam, Selangor, MALAYSIA, pp. 458-462, 23-24 June 2010.
- [3] A. Khamis, Z. M. Badarudin, A. Ahmad, A. Ab Rahman, N. Abu Bakar, "Development of Mini Scale Compressed Air Energy Storage System", IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET, pp. 151-156, 2011.
- [4] "Final Report: Energy Storage Presented to The Colorado Department Of Agriculture", International Center for Appropriate & Sustainable Technology (ICAST), February 2010.
- [5] "Easy auto Parts Price List", (<http://www.easyautoparts.eu/en/spareparts/honda/honda-shuttle-97/washer---wiper/wiper-engine/c9tezy-wm-8245-2s>)



شکل ۱۲: نمودار توان خروجی سیستم در حالت تحت بار بر حسب زمان

عملکرد تجمعی سیستم در حالت تحت بار جهت سیستم نهایی جهت تست عملکرد سیستم، یک بار الکتریکی مشتمل بر ۱۰۰ عدد LED نئونی طراحی و آماده گردید که در شکل ۶۳ نمایی از بار الکتریکی مذکور نشان داده شده است. این بار الکتریکی توسط باتری هوای فشرده تأمین انرژی گردید و سیستم در ناحیه عملکرد خود، ولتاژ خروجی ۳.۵ ولت و جریان خروجی ۰.۲ آمپر را تأمین نمود. در شکل ۱۳ نمایی از عملکرد سیستم در بار مذکور را نشان می دهد. پیش بینی می شود این سیستم بتواند بار الکتریکی تا ۱۰ برابر، بار طراحی شده را تأمین نماید. مسلماً در شرایطی که امکان بهره گیری از انواع متداول باتری های الکتریکی فراهم نباشد، باتری هوای فشرده می تواند گزینه مناسبی جهت تأمین روشنایی باشد.



شکل ۱۳: نمایی از عملکرد سیستم در بار الکتریکی طراحی شده شامل ۱۰۰

عدد LED