

فهرست مطالب

فصل اول	۱
بررسی منابع	۱
بررسی منابع	۲
۱.۱. مقدمه	۲
۲.۱. پیل سوختی چیست؟	۲
۳.۱. مزایا، معایب و کاربردها	۳
۴.۱. انواع پیل سوختی، منحنی مشخصه و عوامل مؤثر بر کارایی و طول عمر آنها	۵
۵.۱. حالت‌های اتصال و کاربرد پیل سوختی	۸
۱.۵.۱. MIC با لینک dc	۱۱
۲.۵.۱. MIC با لینک dc مجازی	۱۲
۳.۵.۱. MIC بدون لینک dc	۱۵
۴.۵.۱. ساختارهای متداول	۱۸
۶.۱. مبدل‌های dc-dc برای پیل سوختی	۱۹
۱.۶.۱. مبدل dc-dc بوست اصلاح شده نوعی	۱۹
۲.۶.۱. مبدل تمام موج با چند سیمپیچ ثانویه	۱۹
۳.۶.۱. مبدل مستقیم با سوئیچینگ نرم	۲۰
۳.۶.۱. مبدل دو برابرکننده ولتاژ	۲۱
۴.۶.۱. مبدل push-pull	۲۱

۲۲	۷.۱. ساختارهای جدید طراحی شده برای پیل سوختی
۲۲	۱.۷.۱. مبدل فوق افزاینده dc-dc با سلف تزویج:
۲۲	۲.۷.۱. تنظیم کننده توان پیل سوختی با ورودی رنج گسترده
۲۴	۳.۷.۱. مبدل dc-dc ایزوله شده با ترانسفورمر سه فاز
۲۴	۸.۱. مبدلهای dc-dc تغذیه با جریان
۲۶	۹.۱. اینورترها
۲۶	۱.۹.۱. اینورتر منبع امیدانسی
۲۷	۱۰.۱. مجموعه‌های از چند پیل سوختی برای کاربرد ولتاژ بالاتر / توان بالاتر
۲۷	۱.۱۰.۱. سری کردن
۲۸	۲.۱۰.۱. توزیع dc
۳۱	۳.۱۰.۱. توزیع ac فرکانس بالا (HFAC)
۳۲	۴.۱۰.۱. ساختار چندسطحی
۳۳	۱.۱۱.۱. ساختار کلی مبدلهای چند ورودی
۳۳	۱.۱۱.۱. سلول منبع پالسی (PSC)
۳۴	۲.۱۱.۱. ساختار سلول بافر (BC)
۳۵	۳.۱۱.۱. ساختار فیلتر خروجی
۳۶	۱.۱۲.۱. مبدل‌های با طراحی خاص
۳۶	۱.۱۲.۱. مبدل چند ورودی تغذیه با منابع ولتاژ بالا و پایین
۳۶	۲.۱۲.۱. مبدل dc-dc چند ورودی مدولار برای سیستم مخابراتی
۳۷	۳.۱۲.۱. مبدل چند ورودی براساس تجمیع شار

- ۴.۱۲.۱. مبدل dc-dc چند ورودی برای واحدهای ذخیره انرژی ۳۹
- ۵.۱۲.۱. مبدل dc-dc چند ورودی برای خودرو برقی ۳۹
- ۱۳.۱. روشهای مختلف ارائه شده برای سوئیچینگ نرم ۳۹
- ۱.۱۳.۱. اسنابرها ۴۰
- ۲.۱۳.۱. اسنابره‌های پسیو با اتلاف ۴۱
- ۳.۱۳.۱. اسنابره‌های پسیو بدون اتلاف ۴۳
- ۴.۱۳.۱. اسنابره‌های اکتیو ۴۶
- ۵.۱۳.۱. یک سلول اسنابر پسیو با حداقل استرس و رنج وسیع سوئیچینگ نرم ۴۶
- ۶.۱۳.۱. یک سیستم تنظیم توان با بازده بالا برای پیل سوختی با کاهش ریپل جریان ورودی ۴۶
- ۷.۱۳.۱. مبدل فوق افزاینده با سلف تزویج ۴۷
- ۸.۱۳.۱. یک مبدل dc-dc جدید از نوع buck-boost با بازده بالا با روش سوئیچینگ نرم ۴۸
- مواد و روش‌ها ۵۲
- ۱.۲. مقدمه: ۵۲
- ۲.۲. مبدل ارائه شده ۵۲
- ۱.۲.۲. اهداف ساختار ارائه شده: ۵۲
- ۲.۲.۲. چرا روش تقسیم جریان ۶۰
- ۳.۲.۲. افزایش سطح ولتاژ و ایجاد ایزولاسیون ۶۰
- ۳.۲. یکسوسازی ۶۳
- ۱.۳.۲. یکسوساز تغذیه با جریان ۶۳
- ۲.۳.۲. تأمین توان مورد نیاز توسط مدول‌ها ۷۱

۷۲	..... ۴.۲. حالت چند ورودی- تک خروجی
۷۲	..... ۱.۴.۲. مبدل دو ورودی، مثال پنج کیلووات
۷۳	..... ۲.۴.۲. قابلیت افزایش تعداد ورودی‌ها
۷۳	..... ۵.۲. اسنابرها و سوئیچینگ نرم
۷۴	..... ۱.۵.۲. اسنابر مبدل بوست
۷۵	..... ۲.۵.۲. اسنابر ارائه شده برای مبدل buck-boost
۸۶	..... ۳.۵.۲. اسنابر مشترک برای مدول تقسیم‌کننده جریان
۱۰۰	..... نتیجه‌گیری و بحث
۱۰۰	..... ۱.۳. مقدمه:
۱۰۰	..... ۲.۳. محیط شبیه‌سازی
۱۰۰	..... ۳.۳. نتایج شبیه‌سازی
۱۰۱	..... ۱.۳.۳. مدول تقسیم‌کننده جریان
۱۰۳	..... ۲.۳.۳. یکسوساز کنترل‌شده تغذیه با جریان
۱۰۷	..... ۳.۳.۳. حالت چند ورودی- تک خروجی
۱۰۸	..... ۴.۳.۳. مقایسه مبدل تقسیم‌کننده جریان با مبدل Z-Source
۱۲۲	..... ۵.۳.۳. سوئیچینگ نرم
۱۲۲	..... ۶.۳.۳. اسنابر مشترک
۱۲۵	..... ۴.۳. نتیجه‌گیری
۱۲۶	..... ۵.۳. پیشنهاد برای ادامه کار
۱۲۸	..... مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱.۱. طرح کلی و پایه یک پیل سوختی ۳
- شکل ۲.۱. (a) منحنی عملکرد در دمای حدود ۸۰۰ درجه
(b) منحنی عملکرد پایتتر از ۲۵۰ درجه ۵
- شکل ۳.۱. پیل سوختی با خازن ذخیره جریان معکوس ۸
- شکل ۴.۱. پیل سوختی با ذخیره‌سازهای انرژی ۸
- شکل ۵.۱. MIC با ترانسفورمر فرکانس خط ۱۰
- شکل ۶.۱. MIC با ترانسفورمر فرکانس بالا ۱۰
- شکل ۷.۱. MIC با لینک dc ۱۱
- شکل ۸.۱. MIC با لینک dc بدون ایزولاسیون ۱۱
- شکل ۹.۱. ساختار دارای ایزولاسیون و مبدل نیم‌پل ۱۲
- شکل ۱۰.۱. استفاده از مبدل flyback ۱۲
- شکل ۱۱.۱. مبدل بوست با جفت سلف ۱۳
- شکل ۱۲.۱. MIC با لینک dc مجازی ۱۳
- شکل ۱۳.۱. استفاده از ترانسفورمر سه سیم‌پیچ ۱۳
- شکل ۱۴.۱. استفاده از push-pull منبع جریانی ۱۳
- شکل ۱۵.۱. استفاده از مبدل flyback تلفیقی ۱۳
- شکل ۱۶.۱. استفاده از مبدل سری-موازی تشدید با اسنابر بدون تلف ۱۳
- شکل ۱۷.۱. استفاده از پشت هم‌بندی buck-boost و flyback ۱۴
- شکل ۱۸.۱. حالت بهبود یافته شکل قبلی ۱۴

- شکل ۱۹.۱. استفاده از مبدل flyback تلفیقی
- شکل ۲۰.۱. استفاده از مبدل flyback روی ترانسفورمر با سر وسط ۱۴
- شکل (a.۲۱.۱) استفاده از تک مبدل flyback
- (b) استفاده از مبدل تمام موج (c) استفاده از دو مبدل flyback ۱۴
- شکل ۲۲.۱. پشت هم بندی مبدل‌های همگام باک و بوست
- شکل ۲۳.۱. ساختار شکل قبلی با سوئیچینگ نرم ۱۴
- شکل ۲۴.۱. مبدل باک-بوست بدون ترانسفورمر
- شکل ۲۵.۱. مبدل باک بدون ترانسفورمر ۱۵
- شکل ۲۶.۱. مبدل بوست بدون ترانسفورمر
- شکل ۲۷.۱. مبدل های باک و بوست تلفیقی ۱۵
- شکل ۲۸.۱. مبدل flyback دو سویه
- شکل ۲۹.۱. مبدل کنترلشده تلفیقی باک و بوست ۱۵
- شکل ۳۰.۱. دو مبدل باک-بوست روی دو منبع
- شکل (a.۳۱.۱) ساختار بر اساس مبدل Cuk ۱۶
- شکل (b.۳۱.۱) ساختار بر اساس مبدل Zeta
- شکل (c.۳۱.۱) ساختار بر اساس مبدل D2 ۱۶
- شکل ۳۲.۱. ساختار بر اساس ترکیب مبدل‌های Cuk و Zeta
- شکل ۳۳.۱. ساختار بر اساس عملکرد مبدل flyback ۱۶
- شکل ۳۴.۱. دیاگرام عمومی MIC بدون لینک dc
- شکل ۳۵.۱. تبدیل ولتاژ فرکانس بالا به جریان توسط شبکه امپدانس-ادمیتانس ۱۶
- شکل ۳۶.۱. کموتاسیون اجباری بعد از مبدل Push-Pull
- شکل ۳۷.۱. مبدل بوست دو سلفی در کنار سه ساق شامل سوئیچ دو جهته ۱۷

- شکل ۳۸.۱. مبدل بوست متداول
- شکل ۳۹.۱. مبدل تمامپل متداول
- شکل ۴۰.۱. مبدل تمامپل با چند سیم پیچ ثانویه ۱۹
- شکل ۴۱.۱. ساختار مبدل مستقیم با سوئیچینگ نرم
- شکل ۴۲.۱. مبدل **dc-dc** تمامپل بدون لینک **dc** ۲۱
- شکل ۴۳.۱. مبدل دو برابرکننده ولتاژ
- شکل ۴۴.۱. مبدل با افزایش ولتاژ توسط سلف‌های تزویج ۲۳
- شکل ۴۵.۱. تنظیم‌کننده توان **FC** با ورودی رنج گسترده
- شکل ۴۶.۱. مبدل **dc-dc** چند فاز ۲۴
- شکل ۴۷.۱. **a** مبدل **dc-dc** تغذیه با جریان
- شکل ۴۷.۱. **b** مبدل **dc-dc** تغذیه با جریان با دو برابر کنندگی ولتاژ ۲۶
- شکل ۴۸.۱. مبدل منبع امیدانسی (**Z.S.I**)
- شکل ۴۹.۱. سری کردن مدول‌های پیل سوختی ۳۰
- شکل ۵۰.۱. روش توزیع روی باس **dc**
- شکل ۵۱.۱. مبدل کاسکاد **dc-dc** چند سطحی ۳۱
- شکل ۵۲.۱. توزیع **AC** فرکانس بالا (**HFAC**)
- شکل ۵۳.۱. اینورتر چند سطحی کاسکاد ۳۲
- شکل ۵۴.۱. **a** تحویل توان بدون سلول بافر
- شکل ۵۴.۱. **b** تحویل توان به واسطه سلول بافر ۳۴
- شکل ۵۵.۱. **a** سلول منبع ولتاژ پالسی
- شکل ۵۵.۱. **b** سلول منبع ولتاژ پالسی ۳۴

- شکل ۵۶.۱. سلول منبع جریان پالسی
- شکل ۵۶.۱. سلول منبع جریان پالسی ۳۴
- شکل ۵۷.۱. فیلتر خروجی نوع ولتاژ
- شکل ۵۷.۱. فیلتر خروجی نوع جریان ۳۵
- شکل ۵۸.۱. مبدل چند ورودی تغذیه با ولتاژ بالا و پایین
- شکل ۵۹.۱. مبدل dc-dc چند ورودی مدولار برای سیستم‌های مخابراتی ۳۷
- شکل ۶۰.۱. مبدل چند ورودی تغذیه با جریان بر پایه تجمیع شار
- شکل ۶۱.۱. مبدل چند ورودی برای باتری‌ها و خازن‌های پیشرفته ۳۸
- شکل ۶۲.۱. مبدل چند ورودی ۳۸
- شکل ۶۳a.۱. on شدن BJT نوعی
- شکل ۶۳b.۱. off شدن BJT نوعی ۴۱
- شکل ۶۴. مسیر تحت سوئیچینگ سخت، با اسنابر
- شکل ۶۵a.۱. مدار اسنابر RC ۴۲
- شکل ۶۵b.۱. مدار اسنابر RCD
- شکل ۶۵c.۱. مدار اسنابر RCD بازنگری شده ۴۳
- شکل ۶۶.۱. مدارهای پایه اسنابرهاى تلف‌کننده جریان (a) مدار اسنابر RL (b) مدار اسنابر RLD
- ۴۴
- شکل ۶۷a.۱. مدار اسنابر دو ترمینال بدون اتلاف جریان
- شکل ۶۷b.۱. مدار اسنابر سه ترمینال بدون اتلاف جریان ۴۴
- شکل ۶۸.۱. اسنابر ولتاژ با ولتاژ میانی
- شکل ۶۹a.۱. اسنابر با ریست flyback برای ساختارهای buck و flyback ۴۵

- شکل ۶۹b.۱. اسنابر با ریست flyback برای ساختار boost
- شکل ۷۰. اسنابر جریان از نوع بازیابی تشدید ۴۵
- شکل ۷۱.۱. سلول اسنابر پسیو (سلول A)، (سلول B) ۴۷
- شکل ۷۲.۱. سلول اسنابر پسیو به کار رفته برای مبدل بوست ۴۸
- شکل ۷۳.۱. سلول اسنابر پسیو به کار رفته برای مبدل buck-boost ۴۸
- شکل ۷۴.۱. سیستم تنظیم توان با بازده بالا برای پیل سوختی با کاهش ریپل جریان ورودی ۴۹
- شکل ۷۵.۱. مبدل فوق افزاینده با سلف تزویج شکل
- ۷۶.۱. مبدل جدید buck-boost بازده بالا و با سوئیچینگ نرم ۴۹
- شکل ۷۷.۱. طرح پایه برای اغلب اسنابرها شکل
- ۷۸.۱. اسنابر پسیو بدون تلف برای مبدل بوست ۵۰
- شکل ۱.۲. مبدل buck-boost
- شکل ۲.۲. ساختار مدول ارائه شده ۵۶
- شکل ۳.۲. شکلموج جریان دو مبدل (محور پایین) و جریان منبع (محور بالا) ۵۷
- شکل ۴.۲. شکل موج جریان هرکدام از مدولها (محور پایین) و جریان پیل سوختی (محور بالا) ۵۸
- شکل ۸۵. شکل موج جریان هرکدام از سه مدول (محور پایین) و جریان پیل سوختی (محور بالا) ۵۹
- شکل ۶.۲. دیاگرام بلوکی افزایش سطح ولتاژ در دو مرحله ۶۱
- شکل ۷.۲. دو طبقه افزاینده سطح ولتاژ و نحوه اتصال طبقه دوم به خازنهای مدول به منظور دو برابرکنندگی ولتاژ ۶۱
- شکل ۸.۲. حالت اتصال دو مدول به طبقه دوم و نحوه اتصال خازنهای و جفتسوئیچهای وصل شونده به هر مدول ۶۲

شکل ۹.۲. حالت بکارگیری سه مدول و نحوه اتصال شبکه سوئیچها به خازنهای خروجی مدولها	۶۲
شکل ۱۰.۲. مدول ارائه شده یکسوساز کنترلشده تغذیه با جریان	۶۵
شکل ۱۱a.۲. حالت کاری نیم‌سیکل مثبت (a)	۶۷
شکل ۱۱b.۲. حالت کاری نیم‌سیکل منفی (b)	۶۷
شکل ۱۲.۲. ساختار ارائه شده برای دریافت و تحویل توان توسط سه مدول	۶۹
شکل ۱۳.۲. تابع سوئیچزنی اینورتر با هدایت ۱۸۰ درجه و شکل موج‌های ولتاژ اولیه و ثانویه ...	۷۰
شکل ۱۴.۲. دیاگرام بلوکی تحویل توان به بار توسط دو پیل سوختی متفاوت	۷۳
شکل ۱۵.۲. اسنابر ارائه شده برای مبدل	
buck-boost شکل ۱۶.۲. مدل ساده شده اسنابر ارائه شده برای مبدل buck-boost	۷۵
شکل ۱۷.۲. حالت کاری اول	
شکل ۱۸.۲. حالت کاری دوم	۷۶
شکل ۱۹.۲. حالت کاری سوم	
شکل ۲۰.۲. حالت کاری چهارم	۷۷
شکل ۲۱.۲. حالت کاری پنجم	
شکل ۲۲.۲. حالت کاری ششم	۸۱
شکل ۲۳.۲. حالت کاری هفتم	
شکل ۲۴.۲. حالت کاری هشتم	۸۲
شکل ۲۵.۲. مدول تقسیم‌کننده جریان به همراه مدار اسنابر مشترک	۸۷
شکل ۲۶.۲. حالت کاری اول	۸۸
شکل ۲۷.۲. حالت کاری دوم	۸۸

- شکل ۲۸.۲. حالت کاری سوم ۸۹
- شکل ۲۹.۲. حالت کاری چهارم ۹۰
- شکل ۳۰.۲. حالت کاری پنجم ۹۰
- شکل ۳۱.۲. حالت کاری ششم ۹۱
- شکل ۳۲.۲. حالت کاری هفتم ۹۲
- شکل ۳۳.۲. حالت کاری هشتم ۹۳
- شکل ۳۴.۲. حالت کاری نهم ۹۴
- شکل ۳۵.۲. حالت کاری دهم ۹۴
- شکل ۳۶.۲. حالت کاری یازدهم ۹۵
- شکل ۳۷.۲. حالت کاری دوازدهم ۹۶
- شکل ۳۸.۲. حالت کاری سیزدهم ۹۷
- شکل ۳۹.۲. حالت کاری چهاردهم ۹۷
- شکل ۴۰.۲. حالت کاری پانزدهم ۹۸
- شکل ۱.۳. جریان کشیده شده توسط یک مدول ۱۰۱
- شکل ۲.۳. جریان کشیده شده از منبع توسط دو مدول ۱۰۲
- شکل ۳.۳. جریان کشیده شده از منبع توسط سه مدول ۱۰۲
- شکل ۴.۳. ولتاژ اولیه و ثانویه ترانسفورمر سه فاز در حالت سه تایی ۱۰۳
- شکل ۵.۳. شکل موج ولتاژ اولیه و ثانویه ترانسفورمر در حالت دوتایی ۱۰۴
- شکل ۶.۳. شکل موج ولتاژ اولیه و ثانویه ترانسفورمر در حالت سه تایی ۱۰۴
- شکل ۷.۳. ولتاژ اولیه و ثانویه ترانسفورمر برای اتصال مثلث- ستاره ۱۰۵

- شکل ۸.۳. جریان هر یکسوساز و جریان بار ۱۰۵
- شکل ۹.۳. شکل موج ولتاژ و جریان و منحنی مسیر جریان-ولتاژ سوئیچ یکسوساز ۱۰۶
- شکل ۱۰.۳. جریان لحظه‌ای تحویلی به بار توسط دو منبع متفاوت ۱۰۸
- شکل ۱۱.۳. مبدل منبع امیدانسی (ZSI) ۱۰۹
- شکل ۱۲.۳. جریان شارژ و دشارژ خازن در ZSI برای تغذیه بار با ضریب توان پایین ۱۱۲
- شکل ۱۳.۳. جریان شارژ و دشارژ خازن در ZSI برای تغذیه بار اهمی ۱۱۲
- شکل ۱۴.۳. استرس ولتاژ و جریان روی سوئیچ مبدل ZSI ۱۱۴
- شکل ۱۵.۳. ولتاژ و جریان منبع و ولتاژ ورودی اینورتر در حالت تقویت‌کنندگی ZSI ۱۱۷
- شکل ۱۶.۳. ولتاژ و جریان منبع و ولتاژ ورودی اینورتر در حالت buck برای ZSI ۱۱۷
- شکل ۱۷.۳. ولتاژ خروجی اینورتر، جریان و ولتاژ منبع برای مبدل تقسیم‌کننده جریان ۱۱۸
- شکل ۱۸.۳. ولتاژ خروجی اینورتر، جریان و ولتاژ منبع برای مبدل تقسیم‌کننده جریان برای تقویت‌کنندگی نصف حالت نامی ۱۱۸
- شکل ۱۹.۳. ولتاژ خروجی اینورتر، جریان و ولتاژ منبع برای مبدل تقسیم‌کننده جریان برای تقویت‌کنندگی ۲۵٪ حالت نامی ۱۱۹
- شکل ۲۰.۳. ولتاژ و جریان یکی از خازن‌های مبدل تقسیم‌کننده جریان ۱۱۹
- شکل ۲۱.۳. ولتاژ خروجی اینورتر، ولتاژ و جریان منبع در حالتی که یکی از ساق‌ها از کار افتاده است ۱۲۰
- شکل ۲۲.۳. شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ با مدار اسنابر و مسیر سوئیچینگ آن ۱۲۴
- شکل ۲۳.۳. شکل موج جریان و ولتاژ سوئیچ‌ها با مدار اسنابر مشترک ۱۲۴
- شکل ۲۴.۳. مسیر سوئیچینگ سوئیچ‌ها با حضور مدار اسنابر مشترک ۱۲۵

فهرست جدول ها

- جدول ۱.۱. مزایا و گستره کاری پیلهای سوختی ۴
- جدول ۲.۱. مقایسه سه روش مطرح شده برای استفاده از MIC ۱۷
- جدول ۳.۱. مقایسه انواع مبدل‌های ارائه شده در [۱۰] ۲۹
- (ادامه جدول ۳.۱) ۳۰
- جدول ۱.۲. نمونه‌هایی از انتخاب مدول‌ها ۷۲

فصل اول

بررسی منابع

بررسی منابع

۱.۱. مقدمه

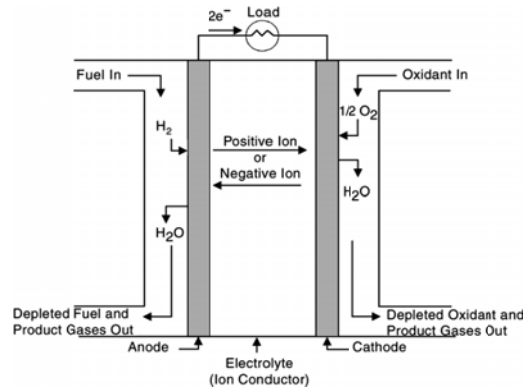
انتظار می‌رود که تولید پراکنده نقش اصلی در آینده تولید نیروی الکتریکی داشته باشد. بطور عمده پیل سوختی و میکروتوربین، منابع تولید پراکنده غالب در اتصال به شبکه خواهند بود. علاوه بر این، پیل سوختی به علت مدولار^۱ بودن، بازده و سازگاری با محیط‌زیست جذابیت بیشتری دارند [۱]. همچنین تولید ولتاژ dc با تغییرات کم در رنج ۳۰ - ۶۰ ولت، آن را برای کاربرد مسکونی مناسب می‌سازد. برای پیل‌های سوختی با کاربرد استاتیک، سیستم تنظیم توان^۲ که معمولاً شامل یک پیل سوختی ولتاژ پایین به عنوان منبع اولیه، یک مبدل dc/dc برای فراهم آوردن ولتاژ سطح بالای ایزوله شده و یک اینورتر dc/ac برای اتصال به ولتاژ متناوب تجاری، مورد نیاز است [۲].

۲.۱. پیل سوختی چیست؟

پیل‌های سوختی تجهیزات الکتروشیمیایی هستند که انرژی شیمیایی سوخت‌ها را به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند و نویدبخش تولید نیرو با بازده بالا و تأثیرات محیطی کم است (شکل ۱.۱). علت، اجتناب از مراحل میانی و واسط تولید حرارت برای تولید کار مکانیکی می‌باشد که به طور

1 Modular
2 Power conditioning system

بارز در روش‌های متداول تولید نیروی الکتریکی بکار می‌رود و اینکه پیل‌های سوختی توسط محدودیت‌های ترمودینامیکی موتورهای حرارتی مانند بازده در چرخه کارنو^۱ محدود نمی‌شوند [۳].



شکل ۱.۱. طرح کلی و پایه یک پیل سوختی

۳.۱. مزایا، معایب و کاربردها

در حال حاضر شاید مهمترین ایراد پیل‌های سوختی، مانند دیگر انرژی‌های نو، هزینه سرمایه‌گذاری آن است. این منبع اگر چه مزایای مختلفی دارد اما از ویژگی‌هایی که کم و بیش باعث کاربردهای متمایز آن نسبت به دیگر منابع می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **بازده:** پیل سوختی عموماً پربازده‌تر از موتورهای احتراقی، چه پیستونی و چه توربینی است. ویژگی دیگر در این مورد این که، سیستم‌های پیل سوختی در سایزهای کوچک به اندازه سیستم‌های بزرگ، پربازده می‌باشد و این برای کاربردهای تولید پراکنده کوچک (مانند مصارف مسکونی و خانگی) به منظور بهره‌برداری ترکیبی گرما و نیرو (CHP)^۲ بسیار مهم است.

1 Carnot efficiency
2 Combined heat and power

- سادگی: اصول و لوازم جانبی پیل سوختی بسیار ساده هستند و حداقل قطعات متحرک را دارند، در نتیجه سیستمی با قابلیت اطمینان و طول عمر بالایی داریم.
- خروجی و دفعیات کم: در صورت استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت، خروجی فقط آب است یعنی دفعیات صفر. این مزیت اصلی در خودروهاست.
- عملکرد بی‌صدا: پیل سوختی حتی با وجود تجهیزات پردازش و کنترل سوخت، بسیار بی‌صداست و این برای کاربردهای سیار و تولید پراکنده محلی در حالت CHP بسیار مهم است.

این مزایا بویژه برای کاربرد CHP بسیار تأثیرگذار است. چارت کاربرد پیل‌های سوختی به همراه مزیت مورد نظر و نوع کارآمد برای آن کاربرد در جدول ۱.۱ آورده شده است [۴].

جدول ۱.۱. مزایا و گستره کاری پیل‌های سوختی

Typical applications	Portable electronics equipment			Cars, boats, and domestic CHP			Distributed power generation, CHP, also buses	
POWER in Watts	1	10	100	1k	10k	100k	1M	10M
Main advantages	Higher energy density than batteries Faster recharging			Potential for zero emissions Higher efficiency			Higher efficiency less pollution quiet	
Range of application of the different types of fuel cell	DMFC			AFC		MCFC		
	PEMFC						SOFC	
							PAFC	

۴.۱. انواع پیل سوختی، منحنی مشخصه و عوامل مؤثر بر کارایی و طول عمر آنها

کلاس بندی عمومی پیل های سوختی بر اساس نوع الکترولیت بکار رفته انجام می شود که عبارتند از:

- AFC : alkaline fuel cells
- PAFC : phosphoric acid fuel cells
- PEMFC : proton exchange membrane fuel cells
- MCFC : molten carbonate fuel cells
- SOFC : solid oxide fuel cells

کلاس بندی متداول دیگر، بر اساس دمای عملکرد پیل های سوختی انجام می شود که در این صورت دو

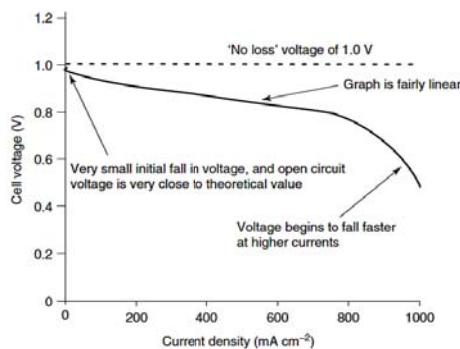
نوع پیل سوختی داریم، نوع دما بالا که شامل MCFC و SOFC است و در دمای بالاتر از ۵۰۰ درجه

سلسیوس عمل می کنند و نوع دما پایین که در دمای پایین تر از ۲۵۰ درجه سلسیوس عمل می کنند و

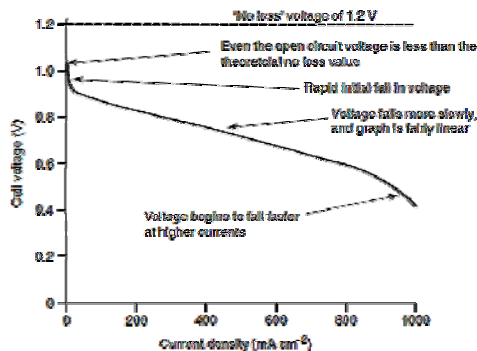
شامل انواع AFC ، PAFC و PEMFC می باشد. منحنی مشخصه این دو نوع به ترتیب در شکل ۲a.۱ و

شکل ۲b.۱ نشان داده شده است. نوع PEMFC و PAFC برای کاربردهای ترکیبی گرما و نیرو (CHP)

نیز استفاده می شوند.



شکل ۲a.۱ (a) منحنی عملکرد در دمای حدود ۸۰۰ درجه



شکل ۲b.۱ (b) منحنی عملکرد پایین تر از ۲۵۰ درجه

عملکرد پیل سوختی از لحاظ داشتن دو الکتروود آند^۱ و کاتد^۲ و این که ولتاژ dc تولید می‌کند مانند باتری می‌باشد. مزیت کلیدی پیل سوختی نسبت به باتری، مقدار قدرت ظاهراً نامحدود است تا وقتی که سوخت‌اش تأمین شود. متأسفانه با افزایش جریان کشیده شده، افت ولتاژ نیز افزایش می‌یابد. به همین دلیل، پیل‌های سوختی اغلب به صورت یک منبع ولتاژ ایده‌آل dc و یک مقاومت سری با آن مدل می‌شود. عوامل عمده در این افت ولتاژ عبارتند از: تلفات فعالسازی^۳، تلفات اهمی^۴ و تلفات غلظت و تراکم‌شدگی^۵. همچنان که در منحنی‌های مشخصه فوق دیده می‌شود، برای چگالی‌های جریان کم، تلفات غالب، تلفات فعالسازیست. تلفات اهمی با شارش الکترون‌ها از طریق الکتروولیت و الکتروودها شروع می‌شود. در حالت ایده‌آل الکتروولیت باید فقط به انتقال یون‌ها از طریق سلول الکتروولیتی اجازه دهد اما مقدار اندکی از سوخت از طریق ممبران^۶ منتشر می‌شود. برخلاف تلفات فعالسازی که غیرخطی است تلفات اهمی ذاتاً خطی می‌باشد و به طور مستقیم متناسب با چگالی جریان است. پیل‌های سوختی در کل جریان معکوس را قبول نمی‌کنند بنابراین دیودی به صورت سری با مدول پیل سوختی برای سد کردن جریان معکوس قرار می‌دهند. در مواردی که حالت بازبایی و جریان معکوس مورد انتظار است یک خازن C_{dc} می‌تواند به صورت شکل ۳.۱ اعمال شود تا جریان را جذب کند. در این صورت طراح بایستی استرس تحمیلی از سیستم روی خازن را در نظر داشته باشد [۵]. به منظور عملکرد بهینه برای پیل سوختی، جریان بار کاملاً dc ترجیح داده می‌شود. هرگونه اغتشاش روی جریان dc خروجی پیل

1 Anode
 2 Cathode
 3 Activation losses
 4 Ohmic losses
 5 Concentration losses
 6 Membrane

سوختی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی عملکرد لایه دیفیوژن^۱ داشته باشد. متأسفانه مبدل dc-dc که به پیل سوختی وصل می‌شود می‌تواند تزریق‌کننده ریپل باشد. مقداری از این ریپل‌های جریان می‌تواند توسط افزودن یک خازن رفع گردد که باعث افزایش هزینه، اندازه (حجم) و نیز قابلیت اطمینان مبدل می‌شود. خوشبختانه یک مطالعه انجام شده در [۶] پیشنهاد می‌کند که ریپل جریان با فرکانس‌های بالاتر از ۴۰۰Hz کمترین تأثیر را بر عملکرد پیل سوختی دارد. همچنین ضریب ریپل^۲ کمتر از ۰.۴٪ برای جریان خروجی پیل سوختی، تأثیر محسوسی روی عملکرد لایه دیفیوژن آن نمی‌گذارد و در نتیجه تأثیر شدید و محسوسی روی طول عمر پشته^۳ پیل سوختی نخواهد گذاشت. با توجه به پاسخ‌دهی کند پیل سوختی یک منبع انرژی ثانویه برای کمک به حفظ ولتاژ باس طی حالت‌های گذرا و شروع به کار مطلوب است. باتری‌ها و ابرخازن‌ها گزینه‌های مناسبی برای این منظور هستند و می‌توانند به خروجی پیل سوختی (ولتاژ پایین) یا از طریق یک مبدل دوسویه^۴ به لینک dc ولتاژ بالا وصل شود (شکل ۴.۱). برای برخی کاربردها این منبع انرژی ثانویه به عنوان فیلتر اکتیو و نیز به عنوان تغذیه لوازم جانبی پیل سوختی مانند پمپ‌ها، مبادله‌کننده حرارت، واحد پردازش سوخت و از این قبیل را که اصطلاحاً BOP^۵ نامیده می‌شود را تأمین می‌کند و باعث بالا آمدن سریع‌تر پیل سوختی می‌شود. این منبع انرژی ثانویه تا بالا آمدن پیل سوختی، بار را نیز تأمین می‌کند [۵] و [۷-۱۰]. به منظور محافظت از پیل سوختی، ایزولاسیون الکتریکی بین ولتاژ پایین پیل سوختی و ولتاژ بالای لینک dc ضروری به نظر می‌رسد، بویژه وقتی که اختلاف بین این دو سطح ولتاژ قابل توجه باشد. اغلب ترانسفورمرها در مبدل‌های dc-dc بدین منظور

1 Diffusion
 2 Ripple factor
 3 Stack
 4 Bidirectional
 5 Balance of plant
 ۷