طراحی تنظیم کننده ولتاژ خروجی پیل سوختی PEM

مهرداداوری فر[۱]، زهرا دانشی فر[۲]، محمد توکلی بینا[۳]، بهمن اسکندری[۴]

شرکت آب و برق کیش ،دفتر مشاور مدیر عامل در امور برق

Davarifar@gmail.com

چکیده :

در پیل های سوختی ولتاژ خروجی تابع جریان آن می باشد که با افزایش بار، ولتاژ خروجی به سرعت کاهش می یابد.لذا جهت تنظیم ولتاژ خروجی پیل سوختی در خودرو های هیبرید از مبدل های قدرت استفاده می گردد. بدین منظور بسامد ولتاژ خروجی مبدل باید بیش از ۱۲۰ هرتز و ضریب موجک آن کمتر ۴ درصد باشد . لذا با توجه به بالا بودن بسامد کلید زنی در مبدلهای کلید زنی (بسیار بالا تر از ۱۲۰ هرتز) برای استفاده از این مبدلها کافی است ضریب ریپل را بطریقی در این مبدلها کاهش داد. برای این منظور در این مقاله یک مبدل چهار شاخه افزاینده با استفاده از روش همپوشانی فاز ها (چهار فازه) جهت کاهش موجک جریان ورودی طراحی و پیاده سازی شده است که با داشتن خاصیت (LOAD SHARING) قادر خواهد بود با کم کردن تعداد شاخه ها در بارهای سبک موجب کاهش تلفات و در نتیجه افزایش بازده شود .

واژه‌های کلیدی: پیل سوختی ، مبدل افزاینده ، چند کا ناله ، همپوشانی فاز

1 – مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون قیمت انرژی در این سالها تلاش برای جایگزینی انرژی های نو جایگاه ویژه ای در تحقیقات پژوهشگران پیدا کرده است . علاوه بر مسئله تامین انرژی، سازگاری آن با محیط زیست و قابلیت اعتماد به آن جزء شرایط الزامی برای استفاده از آن می باشد .

با توجه به مزیت های پیل های سوختی، یکی از بهترین راهکارها در سیستم های تجدید ساختار یافته استفاده از این پیل ها به عنوان تولیدات پراکنده (DG) پاک می باشد. همچنین با توجه به اینکه عمده آلودگی در شهرها توسط سیستم های حمل و نقل

1- مشاور مدیر عامل در امور برق شرکت آب و برق جزیره کیش
2- سرپرست گروه طراحی و نظارت و بازرسی فنی شرکت آب و برق کیش
3- دانشیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
4- دانشجوی دکتری برق قدرت دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

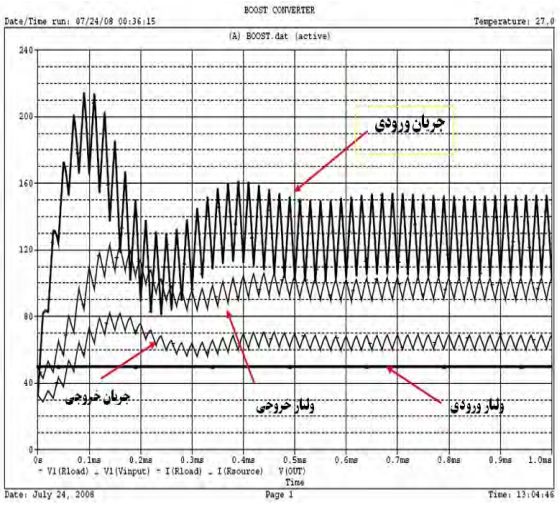
ایجاد می شود، پیل سوختی بهترین گزینه برای جایگزینی سوختهای فسیلی مصرفی خودرو هاست.همچنین افزایش قیمت سوخت های فسیلی در سالهای اخیر توجیه دیگر در استفاده از پیل سوختی می باشد .

از آنجا که ولتاژ خروجی پیلهای سوختی در اثر بار گیری از آنها دارای نوسانات زیادی می باشد برای آنکه بتوان از آنها در خودروهای هیبرید استفاده کرد بایستی ولتاژ خروجی را تثبیت ، صاف کرد. در این مقاله یک رگولاتور ولتاژ با توان نامی 1.2kw طراحی شده است که طبق **[1]** رگولاتو رمورد نیاز بسته آموزشی پیل سوختی شرکت NEXA می باشد.البته در طرح ارائه شده در این پروژه با توجه به طراحی چند شاخه ای آن قابلیت افزایش توان تحویلی بیشتر را نیز دارد .

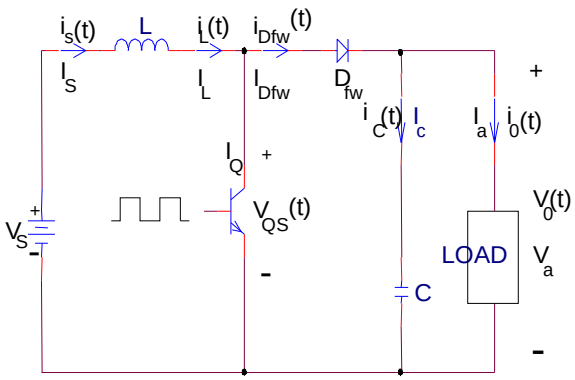
شکل (۱)نمای نرم افزار ارائه شده همراه بسته آموزشی شرکت BALLARD NEXA

۲-انتخاب آرایش مبدل افزاینده

در این طرح پیوسته بودن جریان ورودی بسیار حائز اهمیت است ،چراکه این پیوستگی باعث کم شدن موجک جریان ورودی می شود . از میان تمامی آرایشهای مبدلهای کلید زنی مختلف فقط مبدل افزاینده(BOOST) است که جریان ورودی آن در مد پیوسته به صورت پیوسته است. در سایر آرایشها موجک جریان ورودی بسیار زیاد بوده و برای رسیدن به حداقل کمتر از ۴٪ ناچار به استفاده از خازنهای بسیار زیادی هستیم که در عمل قابل پیاده سازی نمی باشد . همچنین مبدل افزاینده جزء یکی از کم قطعه ترین رگولاتور هاست . در این طرح نیازی به جداسازی ورودی از خروجی نمی باشد (ایزولاسیون) و این مغایرتی با انتخاب آرایش ندارد . در عین حال در این مقاله با اعمال روشهای کنترلی بهتر و تغییر ساختار اصلی رگولاتور افزاینده ، راهکار هایی برای رسیدن به هدف ارایه می دهیم. شکل ۱ جریان ورودی یک مبدل افزاینده را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود جریان ورودی هیچگاه به صفر نمی رسد.[2]



شگل۲ بیانگر جریان ورودی یک مبدل افزاینده است



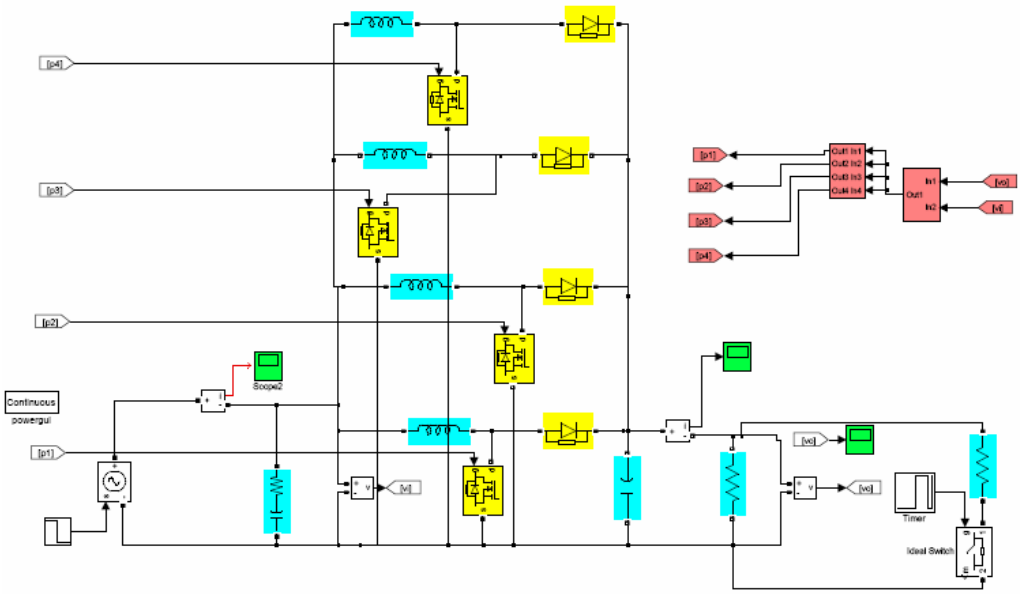
شکل۳ مبدل افزاینده یک کاناله

۳- طراحی تنظیم کننده ولتاژ چند کاناله مبدل افزاینده

در این بخش به طراحی یک مبدل افزاینده سلول سوختی چند شاخه می پردازیم . آرایش چند شاخه بکارگیری شده همراه با روش کلید زنی همزمان به نحو موثری در کاهش موجک جریان موثر است .باید دقت کرد که جریان ورودی همان جریان سلفهای ورودی هستند .دلیل عمده استفاده از این روش کاهش جریان موجک با خازن ورودی کمتر است . در حالیکه خازنهای خروجی برعملکرد ولتاژ خروجی تاثیر می گذارند سیستم طرح شده می تواند ظرفیت خازنی کمتری داشته باشد و آن بدین خاطر است که تکنیک هم زمانی و هم پوشانی فازها برای انتقال توان به بار زمان پر یا خالی شدن خازنها کم شده و خازنها توسط شاخه های مختلف با سرعت زیادی شارژ می شوند این کار باعث می گردد موجک جربان در ورودی وخروجی نسبت به مبدلهای معمول تک شاخه در صورتیکه از یک نمونه خازن مشابه استفاده کرده باشند بسیار کمتر شود**[2]** . در این مقاله با طراحی های مناسب مدار قادر خواهد بود بنا بر نیاز مدار تعداد شاخه را افزایش دهد.

کلید زنی همزمان یکی از روشها برای کم کردن موجک جریان منتجه از کلید زنی است .یک عامل دیگر برای داشتن کمترین موجک جریان انتخاب مقادیر مناسب اندوکتانس سلفهای ورودی می باشد (شکل۴) . اگرچه اضافه کردن خازن های ورودی حجیم یکی از متداول ترین روشها جهت کم کردن ریپل جریان می باشد ولی باید توجه داشت که این امر منوط به توانایی خازنها به تحمل جریان زیاد موجک است.و لذا در سیستم طراحی شده در این مقاله به جای استفاده از خازن از مبدلهای قدرت افزاینده چند شاخه استفاده شده است.

برای توضیح بیشتر، در یک مبدل دو شاخه ای هر دو فاز به صورت قرینه از هم در کانالها کلید زده می شود .و در مبـدل هـای ۴ کاناله هر فاز با تاخیریک چهارم در هر دوره زمانی کلید زده می شود که در نتیجه در هر دوره زمانی۴ بار کلید ها روشن و خاموش می شوند و فرکانس موجک نسبت به حالت یک فاز ۴ برابر می شود.

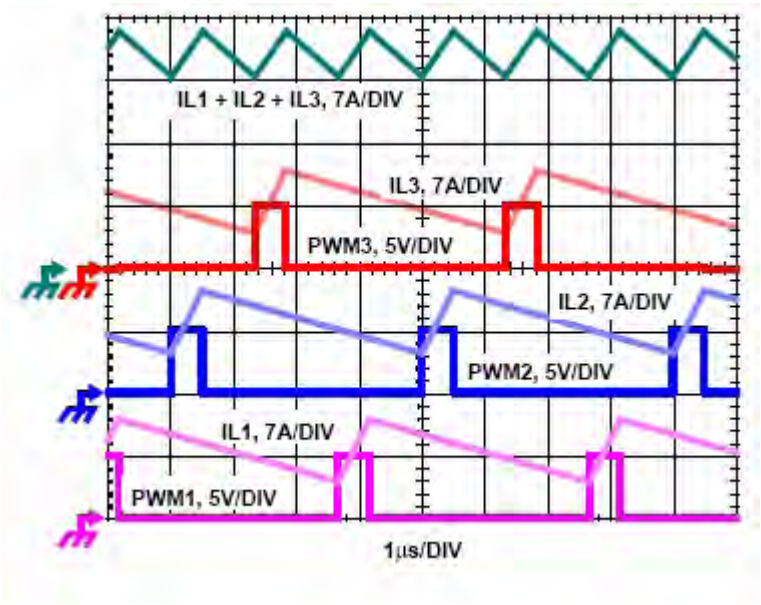


شکل ۴ :مدل شبیه سازی شده مبدل ۴ شاخه افزاینده

علاوه بر این دامنه جریان سلف ها نیز بر تعداد شاخه های هر فاز تقسیم می شود معادلات ۱ و ۲ خاطر نشان می کند**[3]** که بـا استفاده از این روش طراح می تواند هم اندازه سلف ها را کوچک کند هم میزان موجک را کاهش دهد که به طبـع ظرفیـت خـازنی مورد نیاز برای فیلتراسیون و صاف کردن ورودی و خروجی کاهش می یابد .برای مثال شکل۳ نشان می دهد که چگونـه ۳ جریـان (I_{L1} و I_{L2} و I_{L3}) با هم ترکیب شده و بسامد AC موجک و جریـان DC بـار را ایجـاد مـی کننـد . در شـکل مقـدار بـسامد AC موجک ۳ برابر بسامد ACموجک هر فاز و جریان بار نیز ۳ برابر جریان هر فاز می باشد .

$$I_{L,PP} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})\,V_{OUT}}{L f_S V_{IN}} \qquad (۱)$$

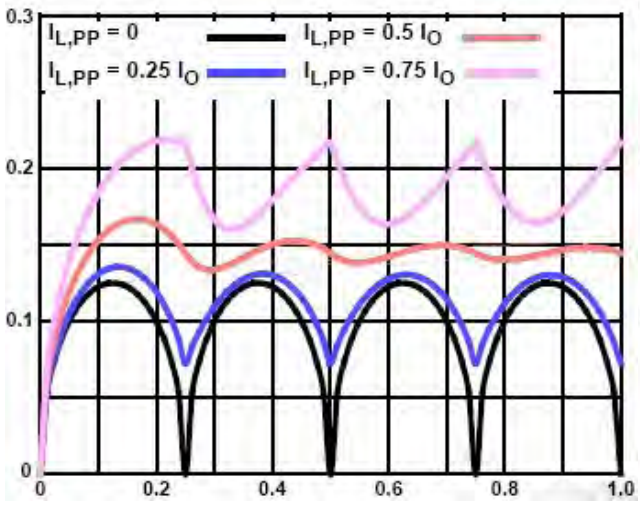
$$I_{PP} = \frac{(V_{IN} - N\,V_{OUT})\,V_{OUT}}{L f_S V_{IN}} \qquad (۲)$$

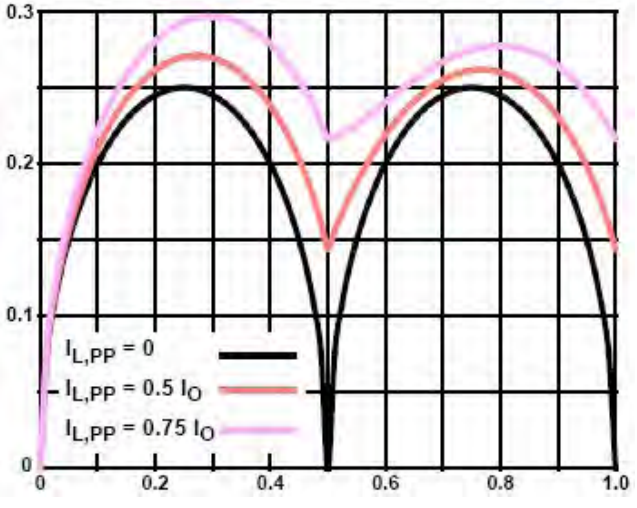


شکل ۳ و جریان سلف ها برای یک مبدل ۵ فاز

برای محاسبه جریان هر فاز و مقایسه آن با حالت N فاز از فرمولهای بالا می توان استفاده کرد که در فرمول V_{IN} و V_{OUT} بـه ترتیب ولتاژهای ورودی و خروجی و L سلف هر شاخه و f_S بسامد کلید زنی می باشد .

.مقدار جریا ن rms کشیده شده از خازن های ورودی به مقدار دوره کاری و تعداد شاخه های فعال بستگی دارد .





شکل (۴):مقدار موثرجریانهای نرمالیزه شده ورودی در حالت ۲ فاز

شکل(۵):مقدار موثرجریانهای نرمالیزه شده ورودی در حالت ۴ فاز

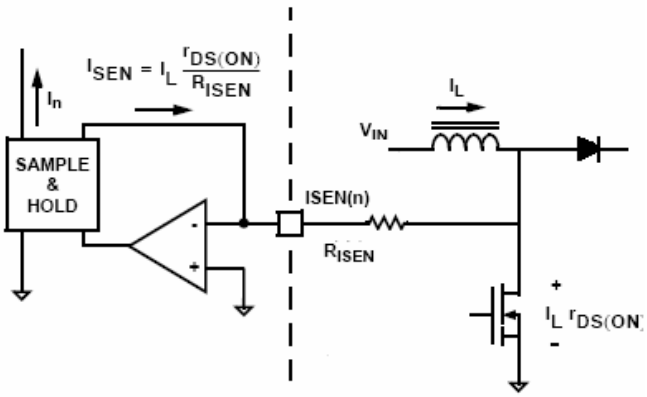
شکلهای فوق مقدار جریان موثر گذرنده از خازن را برای تعداد فازهای مخالف و دوره کاری یکسان نشان می دهد مقدار ماکزیمم جریان خروجی I_o و مقدار ماکزیمم بار دائمی I_{LPP} است که از معادله ۱ بدست می آید .در این شکلها چگونگی کاهش ماکزیمم جریان از خازنهای ورودی را نشان داده شده است.

۴- استفاده از مد کنترل جریانی پیشرفته به منظور کم کردن تعداد شاخه ها

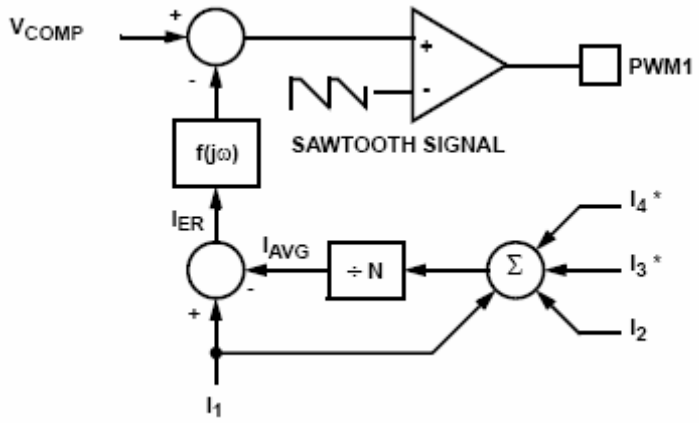
در پیاده سازی عملی این طرح از تراشه ای جهت ساخت مبدل دو ، سه و چهارشاخه در مبدلهای BUCK که در طراحی منابع تغذیه (Main Board) کامپیوتر به منظور تامین جریان بالای هسته های با قدرت پردازش بالا استفاده می شوند به خدمت گرفته شده است .

جریان I_{SENS} محاسبه شده هر شاخه با یک مقاومت R_{SENS} سری شده و به پایه یک تقویت کننده عملیاتی (آپ امپ) درون تراشه متصل میشود .(شکل۶) بعد از گذشت زمان کافی نشست (پایان PWM ها) جریان نمونه برداری شده توسط تراشه پردازش می شود .

.در مدار زیر چگونگی اندازه گیری جریان مربوط به هر شاخه، I_L ، نمایش داده شده در شکل ۴ نشان داده شده است. این مدار برای هر شاخه تکرار می شود .



شکل (۶)مدار داخلی و خارجی اندازه گیری جریان



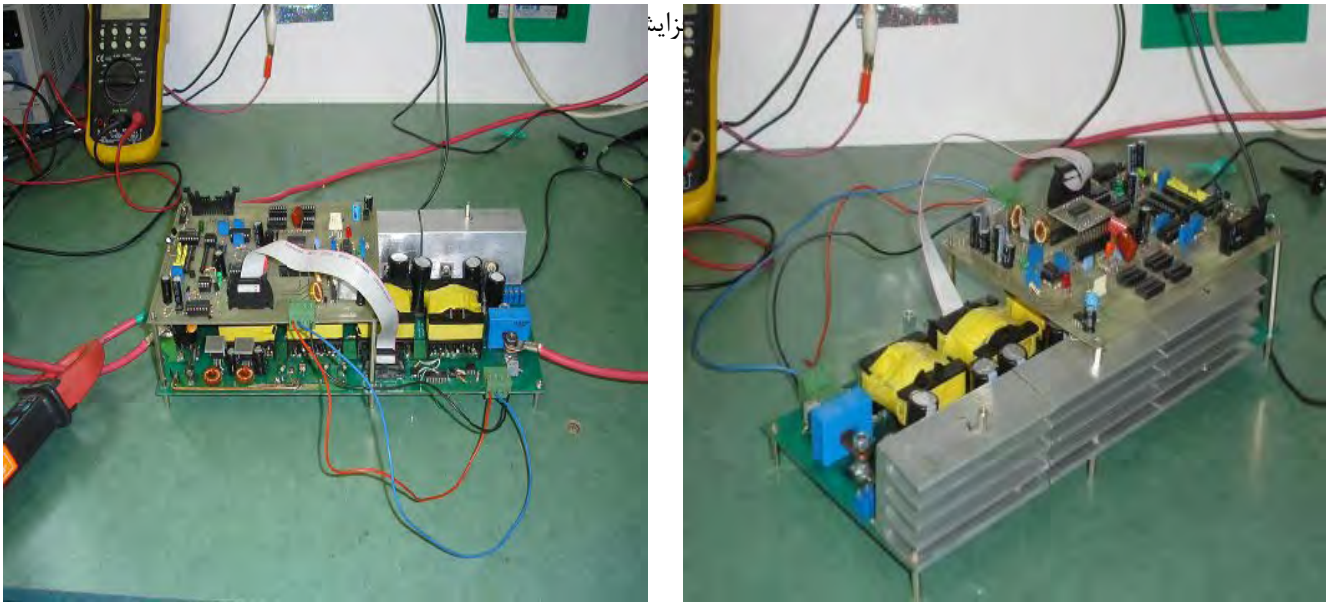
شکل (۷)روش متعادل سازی جریان شاخه

یکی دیگر از مزیتهای استفاده از این تکنیک پخش کردن و مدیریت دمای برد طرا حی شده (میزان تلفات گرمایی خنک کننده های نصب شده روی برد) به صورت بهینه است. در نتیجه در سایز و اندازه و فشرده سازی مدار نقش بسیار بسزایی دارد زیرا هر شاخه قادر است به صورت کاملا مستقل سهم مشخصی از توان تحویلی به بار را بر عهده بگیرد . با استفاده بهینه از هیتسینکها

صرفه جویی قابل ملاحظه ای در هزینه خرید مواد هیتسینک نیز می شود .حتی در بعضی از مواقع شاخه ای که بادخوری بهتری دارد و تبادل انرژی بیشتری با محیط دارد با تنظیم R_{ISENS} میتوان سهم بیشتری در انتقال توان به آن نسبت داد تا حداکثر استفاده را از فضای موجود انجام دهیم که برای خنک تر کردن بعضی از شاخه ها می توان با زیاد تر Rsens آن شاخه را خنک تر کرد .

روش متعادل سازی به این صورت است که مقدار جریان متوسط I_{AVG} تولید شده که برابر مجموع نمونه جریان شاخه ها است دائما با جریان هر یک از شاخه ها مقایسه می شود(شکل۷) هر گاه جریان هر شاخه از مقدار I_{AVG} بیشتر شود مبدل را خاموش می کند همه خروجی PWM مربوط به آن شاخه امپدانس بالا می شود و در نتیجه خروجی های درایور ها خاموش خواهد شد. سیستم در این حالت باقی می ماند تا شمارنده کنترل کننده ۲۰۴۸ پالس با فرکانس سوییچ بشمرد .در اینجا وارد زیر برنامه soft start می شود . در این فاصله زمانی اگر خطا بر طرف شد ، مبدل به صورت نرمال کارش را ادامه می دهد .در غیر این صورت دوباره وارد زیربرنامه soft start شده و شمارنده دو باره شروع به شمردن می کند . با توجه به فرکانس بالای کاری در یک لحظه کوتاه شاخه مورد نظر کلید زنی نمی شود و در نتیجه جریان تزریقی این شاخه به بار کاهش می یابد .

در این مدار جریان خروجی به وسیله یک سنسور اثر هال اندازه گیری شده و با مقایسه آن در مواقعی که بار سبک می شود شاخه ها را از مدار خارج کرده تا با خارج شدن آن شاخه تلفات نیز کاهش یابد.[4] همچنین با استفاده از این خاصیت اگر یکی از



شکل(۸ و۹)نمونه اول ساخته شده در آزمایشگاه نمای راست.

۵- نتیجه گیری

در این پروژه با استفاده از یک مبدل BOOST چهار شاخه تنظیم کننده ولتاژ پیل های سوختی ساخته شد ه است.با بکارگیری سنسور اثر هال در مدار جریان خروجی، با سبک شدن بار ، شاخه ها از مدار خارج شده و با خارج شدن شاخه ها از مدار تلفات

کاهش می یابد.برای استحصال توانهای بالاتر می توان از خاصیت LOAD SHARING تراشه استفاده شده در این مقاله در آرایشهای دیگر مبدلها مانند تمام پل (FULL BRIDGE) و نیم پل (HALF BRIDGE) استفاده کرد.

مراج

[1] NexaTM Power Module User's Manual Proprietary Notice/Declaration Copyright © 2003 Ballard Power Systems Inc.All rights reserved.This document is subject to change without noticeDocument Number: MAN5100078Revision: 0E .Release Date: June 16, 2003

[2] M.H. Rashid, " Power Electronics: Circuits, Devices and Applications" , Prentice-Hall, Englewood Cli5s, NJ, 1988.

[3] Jonq-Chin Hwang, Li-Hsiu Chen, Sheng-Nian Yeh **"**Comprehensive analysis and design of multi-leg fuel cell boost converter"

[۴] **مهرداد داوری فر** ، " رگولاسیون ولتاژخروجی پیلهای سوختی استفاده شده در خودروهای هیبرید" **، پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته برق قدرت,** شهریور **۸۷**.