ششمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق
۱۷ اسفند ۹۶-دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

# شبیه سازی منبع تغذیه DC ولتاژ پایین-جریان بالا با حداقل ریپل جریان خروجی

عبدالرضا اسماعیلی[۱]، محمد رهبر[۲]
[۱] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.
[۲]دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، ساوه، ایران و کارخانه داروسازی دانا، تبریز، ایران.

**چکیده - امروزه در صنایع بسیار پیشرفته از قبیل باتری اسیدی زیردریایی‌ها نیاز به شارژ با جریان بالا و ولتاژ کم بدلیل ظرفیت بالای خود دارند. از آنجا که مکان نصب مبدل‌ها بسیار کم می‌باشد در این موارد به یک مبدل با حجم کم و راندمان بالا نیاز می باشد. همچنین شارژ باتری‌ها نیاز به یک ولتاژ کم و جریان با ریپل کم می‌باشند و باید پایداری مناسبی داشته باشند و پاسخ دینامیکی آن‌ها نیز بالا باشد. برای اینکه بتوان به این مهم دست یافت از مبدل تمام پلی استفاده شده است که در روش سوییچینگ آن از روش شیفت فاز استفاده شده است که سبب افزایش چگالی توان می‌شود. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از روش شیفت فاز و بکارگیری مبدل‌های الکترونیک قدرت یک منبع تغذیه مناسب طراحی می‌گردد که بدون شک با بکارگیری روش‌های نوین و توپولوژی جدید دارای نوآوری‌هایی در زمینه مورد اشاره خواهد بود.**

کلید واژه- شیفت فاز، منبع تغذیه جریان زیاد ولتاژ پایین، مبدل تمام پل.

## ۱- مقدمه

امروزه در صنایع بسیار پیشرفته از قبیل شتاب‌دهنده (LHC) و همین‌طور شارژ باتری اسیدی در زیردریایی‌ها و بسیاری از صنایع دیگر به سیستم تغذیه با ولتاژ کم و جریان بالای DC نیاز است. یکسو ساز سنتی توپولوژی ساده و معمولی در سیستم تغذیه باطری‌ها دارند. ولی اغلب این منابع تغذیه برای عملکرد شارژر چند مرحله ای مناسب نمی‌باشند، به ویژه اینکه سطح ولتاژ باطری‌ها پایین و جریان شارژ بالایی داشته باشند، مشکل توپولوژی توان و کنترل سطوح شارژ سخت تر می‌گردد. بنابراین با ساختار پاسخ کند سیستم و سطوح ریپل بالا یکسوسازهای معمولی راه حل مناسبی برای مدل منابع تغذیه باطری ولتاژ پایین-جریان بالا نمی‌باشد. لذا راهکارهای دیگری همانند بکارگیری از مبدل‌های DC/DC پیشنهاد می‌گردد. بعنوان مثال در LHC آهنرباهای بکار رفته در آن نیاز به جریان زیاد و ولتاژ زیاد دارند و باتری اسیدی زیردریایی‌ها بدلیل ظرفیت بالا، نیاز به شارژ با جریان بالا و ولتاژ کم دارند. از آنجا که مکان نصب این مبدل‌ها در کاربردهای گوناگون بسیار کم می‌باشد به یک مبدل با حجم کم و راندمان بالا نیاز داریم. یکی از مبدل‌هایی که می‌تواند این کار را انجام دهد مبدل DC-DC می‌باشد ولی از آنجا که در مبدل DC-DC توان از ۳۰ وات تا ۵۰ کیلو وات می‌باشد به این دلیل نیاز است تا چند ماژول بصورت موازی قرار گیرند تا توان مورد نیاز را تامین کنند و این موضوع سبب پیچیدگی در روش کنترلی خواهد شد. برای اینکه بتوان چنین مبدلی ساخت باید یا از تکنیک سوییچینگ مناسب استفاده شود یا باید از ترانسفورماتور استفاده شود. در این پایان نامه از روش اول یعنی سوییچینگ استفاده می‌شود. با توجه به هدف پایان نامه در طراحی یکسوساز ۵۰ ولت ، ۲ کیلوآمپر با حداقل ریپل جریان در خروجی توپولوژی مورد نظر برای مبدل به سه قسمت اصلی می‌تواند تقسیم گردد [۱].

- یک یکسوساز دیودی در قسمت AC همراه با یک فیلتر L-C (50 هرتز)
- اینورتر یکسوساز شیفت فاز (۲۰ کیلو هرتز)
- ترانسفورماتور فرکانس بالا و فیلتر خروجی.

در اینورتر شیفت فاز بجای آنکه سوییچ‌ها در اینورتر تمام پل بصورت قطری خاموش یا روشن شوند بصورت شیفت فاز که در پایه پل‌ها تعریف می‌شود کلیدزنی انجام می‌پذیرد. این روش میزان توان خروجی را مشخص می‌کند و در یک فرکانس ثابت کنترل می‌شود. برای سوییچ پایه مقدم، انرژی مورد نظر برای

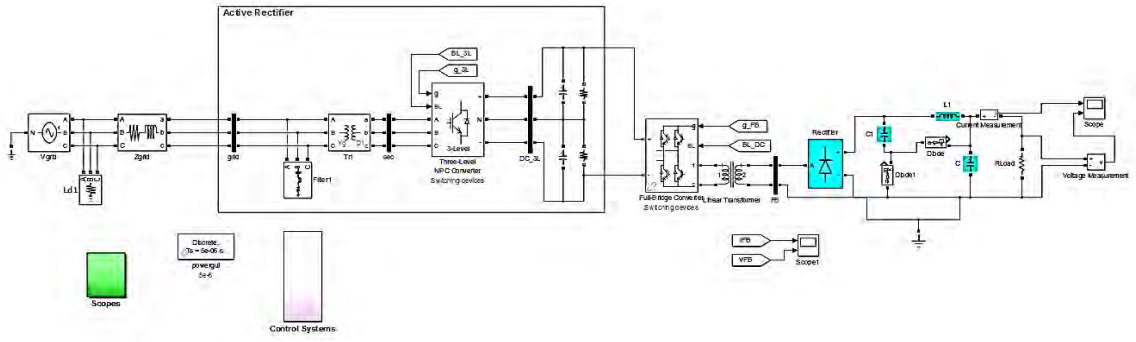
خازن‌های موازی با استفاده از سلف‌های سری، اندوکتانس نشتی و اندوکتانس فیلتر خروجی تامین می‌شود،این بدان معنا می‌باشد که انرژی ذخیره شده بسیار زیاد می‌باشد. اما برای سوییچ‌های متاخر،(کلید زنی در ولتاژ صفر ZVS) با این شرط بدست می‌آید که خازن‌ها فقط از انرژی موجود در سلف سری و اندوکتانس نشتی استفاده کنند. این نامتقارنی سبب می‌شود تا نتوان در بارهای کم هم این سوییچینگ نرم را حفظ کرد. اندازه اندوکتانس کموتاسیون نرم نیز با در نظر گرفتن دو موضوع اول اندوکتانس بزرگ، تا تاثیر زیادی از سیکل کاری کوچک تاثیر نپذیرد و دوم ZVS نیز در گستره زیاد جریان بدست آید [۱]. طراحی منبع DC جریان بالا و ولتاژ پایین برای شارژ باتری به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده است. حداقل ابعاد سیستم تغذیه به عنوان هدف دیگر در طراحی باید در نظر گرفته شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

در مرجع [۱] دو مدار پیشنهاد شده است که با استفاده از مبدل تمام پل و سوییچینگ نرم یک ولتاژ DC مناسب با ورودی ۲۰۰ و ۴۰۰ ولت AC بدست آید. یکی از روش‌ها ترکیبی از یک مبدل تمام پل معمولی واستفاده از یک سوییچ سری در سمت DC ورودی بهمراه یک خازن اسنابر بدون تلفات کار می‌کند. تمام سوییچ‌ها چه در پایه‌های مبدل تمام پل و چه در سمتDC در حالت کلیدزنی در جریان صفر (ZCS) و ZVS دارند و این سبب می‌شود تا تلفات سوییچینگ بسیار کاهش یابد. بهمین دلیل می‌توان فرکانس سوییچینگ را از ۲۰ کیلوهرتز نیز افزایش داد.
در مرجع[۲] روش جدیدی برای عملکرد یکسو ساز ارائه شده است که از یک سوییچ برای اولیه ترانسفورماتور استفاده شده است و برای یکسوسازی از تپ مرکزی ثانویه و یک دیود استفاده شده است. چنین روشی برای مبدل جریان بالا و ولتاژ پایین مناسب می‌باشد.
در مرجع [۳] نیز سعی شده است با استفاده از ترانسفورماتور و روش سوییچینگ شیفت فاز یک مبدل تمام پل با مشخصه جریان بالا و ولتاژ کم طراحی کند و همچنین از این منبع تغذیه در ابر رسانای LHC استفاده کند.
باتری اسیدی زیردریایی‌ها نیاز به شارژ با جریان بالا و ولتاژ کم بدلیل ظرفیت بالای خود دارند[۴]. از آنجا که مکان نصب مبدل‌ها بسیار کم می‌باشد در زیردریایی به یک مبدل با حجم کم و راندمان بالا نیاز داریم. همچنین شارژ باتری‌ها نیاز به یک ولتاژ کم و جریان با ریپل کم می‌باشند و همچنین باید پایداری مناسبی داشته باشند و پاسخ دینامیکی آن‌ها نیز بالا باشد. برای اینکه بتوان به این مهم دست یافت از مبدل تمام پلی استفاده شده است که در روش سوییچینگ آن از روش شیفت فاز استفاده شده است که سبب افزایش چگالی توان می‌شود.

## ۳- ساختار شبیه‌سازی

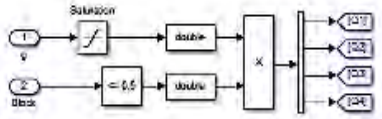
در شکل ۱ نمای کلی شبیه‌سازی نمایش داده شده است. همانطور که مشخص می‌باشد ابتدا ولتاژ با استفاده از کانورتر سه سطحی از AC به DC تبدیل می‌شود پس از آن یک مبدل تمام پل قرار دارد که با کمک مدار رکتیفایر تجدید ساختار یافته بار را با جریان زیاد و ولتاژ کم با حداقل ریپل تغذیه می‌کند.

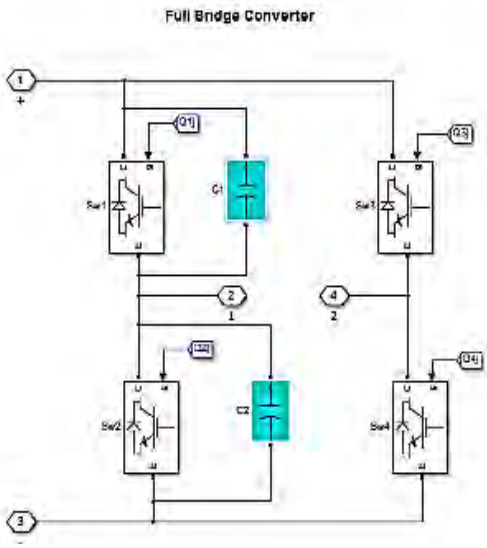



شکل ۱: نمای کلی شبیه سازی

است ۲ خازن به دو خازن با سوییچ‌های پایه اول موازی قرار گرفته‌اند.

حال در شکل مبدل تمام پل بکار رفته در این تحقیق مشاهده می‌شود که همانطور در فصل قبل روش اجرایی توضیح داده شده

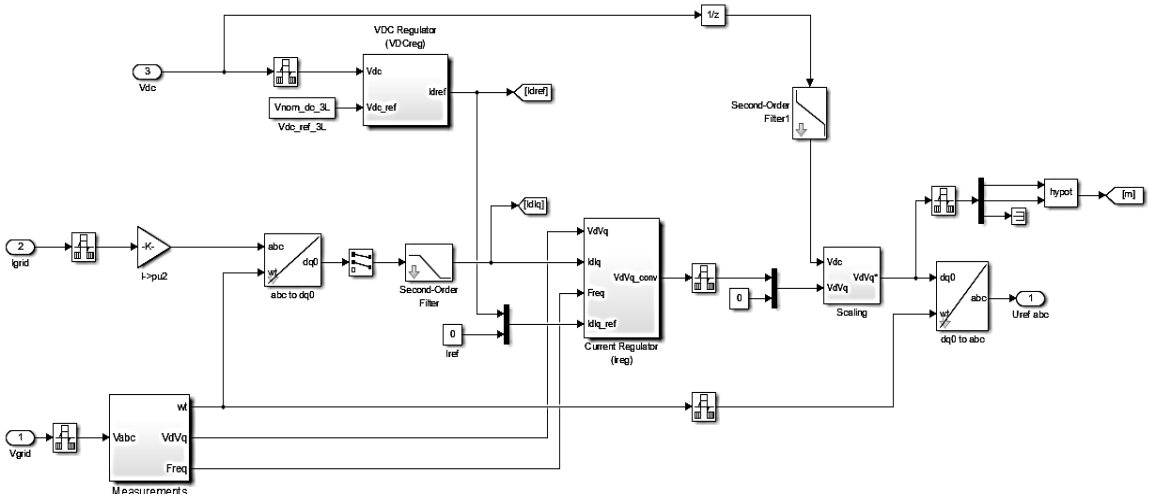



شکل ۲: مبدل تمام پل تغییر ساختار یافته

نحوه کنترل مبدل سه سطحی در شکل۳ نشان داده شده است بدین صورت که برای کنترل ولتاژ لینک DC، ولتاژ اندازه گیری شده لینک DC با ولتاژ مرجع مقایسه می‌گردد و خطای آن وارد PI می‌شود و خروجی PI جریان رفرنس محور d می‌باشد و طبق استاندارد IEEE مقدار جریان مرجع محور q برابر با صفر می‌باشد.

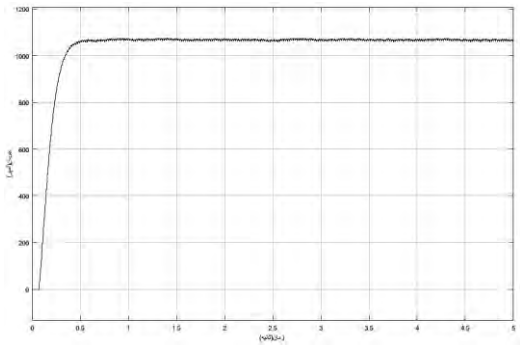
پس از بدست آوردن جریان مرجع آن را با جریان اندازه گیری شده مقایسه کرده و خروجی آن که مقدار ولتاژ تصحیح می‌باشد به ولتاژ بدست آمده با روش فیدفوروارد اضافه می‌گردد تا ولتاژ مورد تولید گردد و ولتاژ لینک DC ثابت بماند.



شکل ۳: نحوه کنترل مبدل سه سطحی

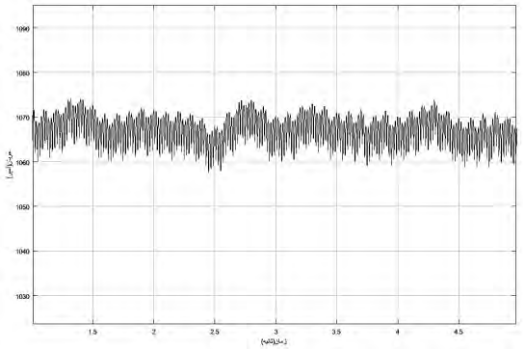
## ۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج شبیه سازی نشان داده می‌شوند و بررسی می‌گردند. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است جریان بار برابر ۱۰۷۰ آمپر می‌باشد که قسمت اول شبیه سازی که جریان بالا می‌باشد محقق گردیده است.



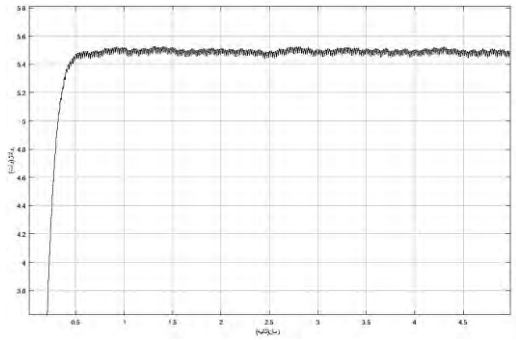
شکل ۴: جریان بار

اما در قسمت بعد باید میزان ریپل جریان محاسبه گردد زیرا یکی از اهداف شبیه سازی حداقل بودن ریپل می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد ریپل جریان در این طراحی برابر با ۱ درصد می‌باشد.

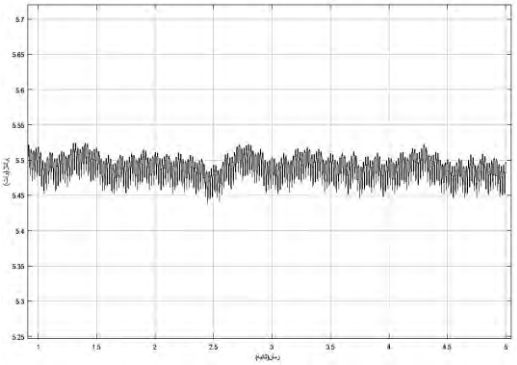


شکل ۵: جریان بار بزرگنمایی شده

همانطور که در شکل ۶ نمایش داده شده است ولتاژ بار برابر با ۵,۵ ولت می‌باشد که هدف بعدی تحقیق ولتاژ پایین بوده است محقق گردیده است. اما در قسمت بعد باید میزان ریپل ولتاژ محاسبه گردد زیرا یکی از اهداف شبیه سازی حداقل بودن ریپل می‌باشد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد ریپل ولتاژ در این طراحی برابر با ۲ درصد می‌باشد.

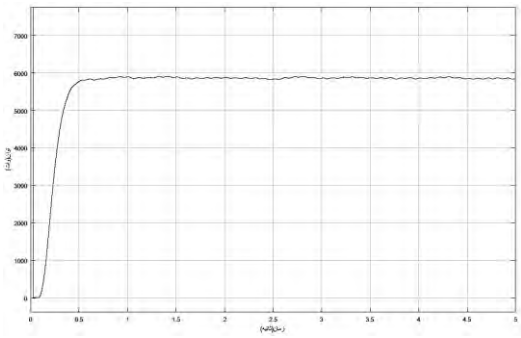


شکل ۶: ولتاژ بار



شکل ۷: ولتاژ بار بزرگنمایی شده

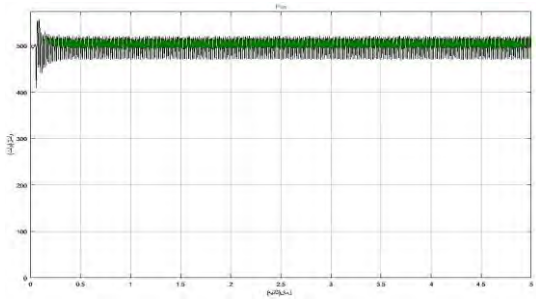
در شکل ۸ توان تحویلی به بار نشان داده شده است که تقریبا برابر با ۵۸۹۰ وات می‌باشد. دلیل ریپل در توان تحویلی به دلیل ریپل در ولتاژ و جریان می‌باشد که در نتایج قسمت قبل مشاهده گردیده است.



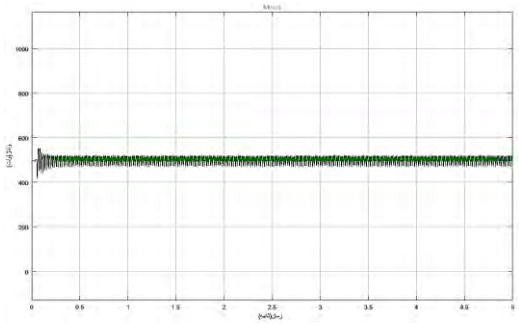
شکل ۸: توان تحویلی به بار

شکل۹ ولتاژ نیمه مثبت لینک DC را نمایش می‌دهد که تقریبا برابر با ۵۰۰ ولت می‌باشد و همچنین در ادامه شکل۱۰ نیمه منفی لینک DC را نمایش می‌دهد که تقریبا برابر با ۵۰۰ ولت

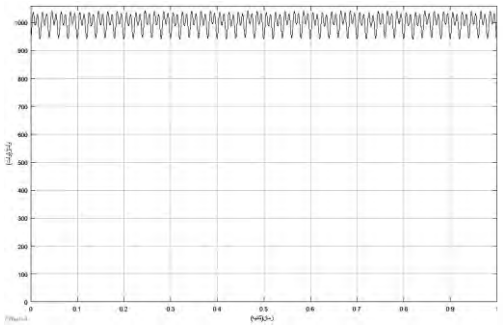
می‌باشد و شکل۱۱ ولتاژ کل لینک DC را نمایش می‌دهد که مقدار آن برابر با ۱۰۰۰ ولت می‌باشد و این نشان دهنده این می‌باشد که مبدل ۳ سطحی بخوبی توانسته است اندازه ولتاژ لینک DC را در مقدار معینی ثابت نگه دارد.



شکل ۹: ولتاژ نیمه مثبت لینک DC کانورتر سه سطحی

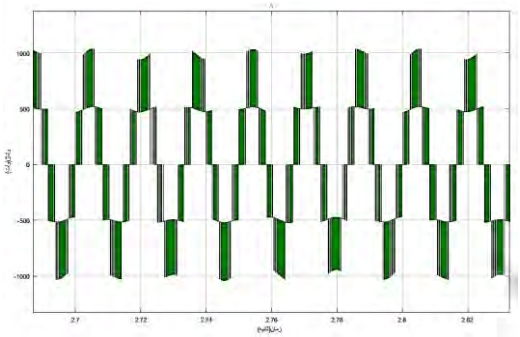


شکل ۱۰: ولتاژ نیمه منفی لینک DC کانورتر سه سطحی

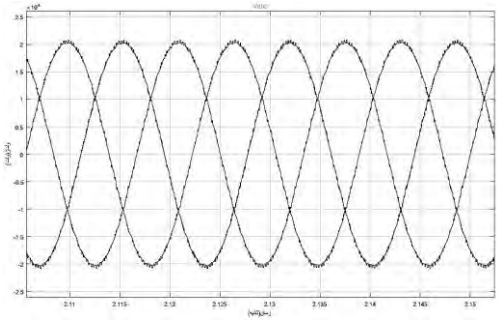


شکل ۱۱: ولتاژلینک DC

در شکل۱۲ ولتاژ فاز به فاز سه سطحی را نمایش می‌دهد. از آنجا که ولتاژ فاز سه سطحی می‌باشد ولتاژ فاز به فاز دارای ۵ سطح می‌باشد که در شکل مورد نظر این موضوع کاملا مشخص می‌باشد. همانطور که مشخص می‌باشد ولتاژ با عبور از فیلتر این ولتاژ کاملا سینوسی می‌باشد که در شکل۱۳ این موضوع نشان داده شده است.



شکل ۱۲: ولتاژ سه فاز کانورتر قبل از فیلتر



شکل ۱۳: ولتاژ سه فاز کانورتر بعد از فیلتر

## ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق همانطور که مشاهده گردید مداری طراحی شدکه ابتدا ولتاژ با استفاده از کانورتر سه سطحی از AC به DC تبدیل می‌شود پس از آن یک مبدل تمام پل قرار دارد که با کمک مدار رکتیفایر تجدید ساختار یافته بار را با جریان زیاد و ولتاژ کم با حداقل ریپل تغذیه می‌کند، که مقدار جریان برابر با ۱۰۷۰ آمپر با ریپل ۱ درصد و مقدار ولتاژ برابر با ۵,۵ ولت می‌باشد با ریپل ۲ درصد و مشاهده گردید هدف گذاری‌های اولیه که شامل طراحی و شبیه سازی مبدل با جریان زیاد، ولتاژ پایین و حداقل ریپل می‌بود بطور کامل محقق گردید.

در واقع با بررسی نتایج مشخص گردید که جریان بار برابر ۱۰۷۰ آمپر می‌باشد که قسمت اول شبیه سازی که جریان بالا می‌باشد محقق گردیده است.

همچنین مشاهده شد ریپل جریان در این طراحی برابر با ۱ درصد می‌باشد و ولتاژ بار برابر با ۵,۵ ولت بوده که هدف بعدی تحقیق ولتاژ پایین بوده است محقق گردیده است. همچنین مشخص شد که ریپل ولتاژ در این طراحی برابر با ۲ درصد می‌باشد و توان تحویلی به بار تقریبا برابر با ۵۸۹۰ وات می‌باشد.

ولتاژ نیمه مثبت لینک DC نیز تقریبا برابر با ۵۰۰ ولت می‌باشد و نیمه منفی لینک DC تقریبا برابر با ۵۰۰ ولت می‌باشد و در نهایت ولتاژ کل لینک DC برابر با ۱۰۰۰ ولت می‌باشد که در واقع این نشان دهنده این می‌باشد که مبدل ۳ سطحی بخوبی توانسته است اندازه ولتاژ لینک DC را در مقدار معینی ثابت نگه دارد.

همچنین با بررسی ولتاژ فاز به فاز سه سطحی مشخص می‌شود ولتاژ با عبور از فیلتر این ولتاژ کاملا سینوسی می‌باشد.

## ۶- پیشنهادات

پیشنهاد می‌گردد از روش‌های دیگر zvs استفاده گردد و نتایج با این تحقیق مقایسه گردد یا می‌توان از دیگر مبدل‌های DC به DC استفاده کرد و مشاهده گردد آیا می‌توان از مبدل‌های دیگر نیز استفاده کرد یا نه. یا می‌توان این مبدل را بطور عملی ساخت و مورد آزمایش قرار داد و پس از آزمایشات مختلف آن را بصورت صنعتی استفاده کرد.

## مراجع

[1] Lim, Michele Hui Fern, Jacobus Daniel van Wyk, and Fred C. Lee. "Hybrid integration of a low-voltage, high-current power supply buck converter with an LTCC substrate inductor." IEEE Transactions on Power Electronics 25.9, 2287-2298, 2010.

[2] Lee, Sangwon, Junsung Park, and Sewan Choi. "A three-phase current-fed push–pull DC–DC converter with active clamp for fuel cell applications." IEEE Transactions on Power Electronics 26.8, 2266-2277, 2011.

[3] York, Ben, Wensong Yu, and Jih-Sheng Lai. "An integrated boost resonant converter for photovoltaic applications." IEEE Transactions on Power Electronics 28.3, 1199-1207, 2013.

[4] York, Ben, Wensong Yu, and Jih-Sheng Lai. "An integrated boost resonant converter for photovoltaic applications." IEEE Transactions on Power Electronics 28.3, 1199-1207, 2013.