دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی،گروه برق

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی در رشته برق

گرایش کنترل

عنوان:

کنترل مبدل تشدیدی به همراه کلید های ثانویه کنترل شده با کنترل PI

استاد راهنما:

دکتر اصغر طاهری

نگارش:

امیرحسین مهدی زاده

تابستان ۹۶

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل اول: کلیات تحقیق ۲

۱-۱ مقدمه ۳

فصل دوم: مبانی و مستندات الکترونیک قدرت ٦

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ کلیاتی راجع به الکترونیک قدرت ۷

۲-۳ تاریخچه الکترونیک قدرت ۸

۲-۴ کلیدهای الکترونیک قدرت فرکانس بالا ۸

۲-۴-۱ دیودهای نیمه‌هادی قدرت ۸

۲-۴-۲ ماسفت‌های قدرت (Power MOSFETs) ۱۲

۲-۴-۲-۱ معرفی ماسفت قدرت ۱۲

۲-۴-۲-۲ دیود درین-سورس ماسفت ۱۳

۲-۵ مدارهای راه‌انداز و ایزولاسیون ماسفت ۱۵

۲-۵-۱ راه‌انداز ماسفت در کاربردهای منابع تغذیه سوئیچینگ ۱۵

۲-۵-۲ ایزولاسیون سیگنال‌های کنترل از مدار قدرت ۱۸

۲-۶ تلفات هدایتی و کلیدزنی درکلیدها ۱۹

۲-۷ اسنابرها ۲۳

فصل سوم: اصول و کنترل مبدل‌های DC-DC الکترونیک قدرت ٤٤

۳-۱ مقدمه ٤٥

۳-۲ مبدل DC-DC ٤٥

۳-۲-۱ رگولاتورهای خطی ٤٦

۳-۲-۲ مبدل DC-DC کلیدزنی ٤٧

۳-۲-۲-۱ اساس کار مبدل‌های DC-DC کلیدزنی ٤٩

۳-۳ ساختارهای مبدل‌های DC-DC کلیدزنی ۵۱
۳-۳-۱ ساختار مبدل‌های غیرایزوله ۵۲
۳-۴ مبدل تشدیدی ۵۳
۳-۴-۱ انواع ساختار اصلی مبدلهای تشدیدی ۵٤
۳-۴-۲ مزایای مبدل‌های تشدیدی ۵٤
۳-۴-۳ تحلیل مبدل تشدیدی موازی ۵۵
۳-۴-۴ کلیدزنی نرم ۵۹
۳-۴-۵ کنترل مبدل تشدیدی ٦۰
۳-۴-۵-۱ روش‌های کنترل کلاسیک مبدل تشدیدی ٦۱
۳-۴-۵-۲ روش‌های کنترل مدرن مبدل تشدیدی ٦۲
۳-۴-۶ تنظیم ولتاژ خروجی در مبدل تشدیدی ۷۱
فصل چهارم: تجزیه و تحلیل و بیان نتایج حاصل از تحقیق ۷۳
۴-۱ مقدمه ۷٤
۴-۲ مشکلات تنظیم ولتاژ و کنترل مبدل تشدیدی ۷٤
۴-۳ تحلیل مبدل تشدیدی با مدولاسیون فرکانس و عرض پالس ۷۵
۴-۴ آنالیز کنترل‌کننده مدار ۷۹
۴-۴-۱ کنترل‌کننده مدولاسیون فرکانس ۸۰
۴-۵ نتایج شبیه‌سازی ۹۱

چکیده

پیدایش قطعات الکترونیک قدرت سبب افزیش کاربرد مبدل‌های کلیدزنی DC-DC برای تأمین خروجی مطلوب گردیده است. یکی از این مبدل‌ها، مبدل‌های تشدیدی می‌باشد. در مبدل‌های تشدیدی به‌علت اینکه ولتاژ و جریان به‌صورت تشدید در می‌آیند، کلیدزنی می‌تواند در ولتاژ و یا جریان صفر انجام پذیرد که این امر سبب بهبود عملکرد این مبدل‌ها می‌شود. در این پایان نامه از مبدل تشدیدی LLC استفاده شده است و هدف بهینه‌سازی و تنظیم دقیق ولتاژ خروجی در برابر تغییرات بار و تغییر ولتاژ ref می باشد. در ابتدا این عمل به صورت حلقه باز سپس با کنترل کننده ی PI ودر نهایت توسط ساختار پیشنهادی شبیه سازی شده است که نتایج حاصل از این شبیه سازی در این پایان نامه ضمیمه شده است.

واژه‌های کلیدی: مبدل تشدیدی، تنظیم ولتاژ،کلیدزنی جریان صفر،کنترل کننده ی PI

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

پیدایش قطعات نیمه‌هادی در الکترونیک قدرت سبب افزایش بازدهی مدارهای الکترونیک قدرت گردیده است. در این مدارها، قطعات نیمه‌هادی عموماً به‌صورت کلید کار می‌کنند که یا در حالت وصل و یا در حالت قطع می‌باشند. در بسیاری از کاربردهای صنعتی احتیاج به تبدیل مستقیم یک منبع DC ولتاژ ثابت به یک منبع DC ولتاژ متغیر می‌باشد. برای این‌کار از مبدل‌های سوئیچینگ DC-DC استفاده می‌شود. این‌کار را می‌توان معادل DC یک ترانسفورماتور AC با نسبت حلقه قابل تغییر به‌صورت پیوسته در نظر گرفت. از طرفی اگر ولتاژ ورودی مستقیم ثابت بوده و قابل کنترل نباشد، می‌توان با تغییر بهره مبدل، یک ولتاژ متغیر در خروجی به‌دست آورد. این موضوع معمولاً به‌وسیله کنترل مدولاسیون پهنای پالس در داخل مبدل‌های سوئیچینگ صورت می‌گیرد.

یکی از این مبدل‌های DC-DC، مبدل تشدیدی می‌باشد. مبدل‌های تشدیدی براساس نوسان جریان تشدید ساخته می‌شوند. اجزای کموتاسیون تشدید و عناصر کلیدزنی بسته به نوع تانک تشدید، با بار قرار می‌گیرند. این مبدل‌ها قادرند با تغییرات کم فرکانس، بازه وسیعی از تغییرات بار و ولتاژ ورودی را پوشش دهند. از آنجا که اندازه و وزن اجزاء مغناطیسی (القاگر و ترانسفورماتورها) و خازن‌ها در یک مبدل تشدیدی به‌طور معکوس متناسب با فرکانس کلیدزنی می‌باشد، وجود فرکانس کاری بالا در این مبدل‌ها باعث می‌شود تا اندازه و وزن آنها کاهش یابد. در یک منبع کلیدزنی برای تنظیم و کنترل ولتاژ، تغییر سطح ولتاژ و جریان خروجی از طریق تغییر در نسبت روشن به خاموش یا اصطلاحاً زمان کارکرد انجام می‌گیرد. اما در منابع تغذیه تشدیدی به جز زمان کارکرد، با تغییر در فرکانس کلیدزنی نیز می‌توان کنترل ولتاژ و جریان را انجام داد. در مقایسه با مبدل‌های خطی و مبدل‌های سوئیچینگ، مزیت بالقوه مبدل‌های تشدیدی کلیدزنی نرم وکموتاسیون طبیعی کلیدهای قدرت می‌باشد. این‌کار باعث کاهش تلفات قدرت شده و بنابراین رسیدن به فرکانس کلیدزنی بالا و چگالی قدرت بالا را فراهم آورده و سبب افزایش بهره مبدل نیز می‌شود. این مهمترین مزیت در مبدل‌های تشدیدی بوده که در ادبیات الکترونیک قدرت با نام مبدل‌های تشدیدی با کلیدزنی نرم شناخته شده‌اند. کلیدزنی نرم بدین معنی می‌باشد که در یک یا چند کلید به‌کار رفته در مبدل، تلفات کلیدزنی روشن شدن یا خاموش شدن حذف می‌گردد. دو تکنیک بزرگ برای رسیدن به کلیدزنی نرم به‌خدمت گرفته می‌شود که آنها را کلیدزنی جریان صفر و کلیدزنی ولتاژ صفر می‌نامند. از این رو مبدل‌های تشدیدی می‌توانند در فرکانس‌های کلیدزنی بالاتری نسبت به مبدل‌های سوئیچینگ عمل نمایند. به‌علاوه به‌واسطه فرکانس کلیدزنی بالاتر، چنین مبدل‌هایی پاسخ گذرای سریع‌تری را از خود نشان می‌دهند. در مبدل‌های سنتی هارمونیک‌ها در فرکانس‌های پایینی ظاهر می‌شوند..

در این پایان‌نامه روشی بهینه وکاربردی برای تنظیم ولتاژ DC-DC مبدل تشدیدی LLC ارائه شده است. ابتدا با کنترل فرکانس کلیدها، ولتاژ خروجی در یک بازه مشخصی تنظیم می‌شود. سپس فرکانس کلیدزنی مطلوب با توجه به پارامترهای تانک تشدید و مقدار بار از طریق محاسبات ریاضی به‌دست می‌آید. برای تنظیم دقیق‌تر ولتاژ خروجی از کنترل کننده ی PI استفاده شده است. در مبدل‌های تشدیدی، کلیدزنی متعارف به‌همراه یک تانک می‌باشد که این تانک از عناصر سلف و خازن تشکیل شده است. بسته به‌ترتیب و نیز ترکیب قرار گرفتن سلف و خازن، نوع مبدل تشدیدی تعیین می‌شود. تانک تشدید مشخص کننده فرکانس تشدید کاری مدار بوده و براساس این فرکانس کلیدهای نیمه‌هادی عمل کلیدزنی را انجام می‌دهند. یکی دیگر از اهداف این نوشتار، ارائه روشی جدید برای متغیر بودن ولتاژ ref وبار می‌باشد.

در فرکانس کلیدزنی بالا نیاز به کلیدهای سرعت بالا می‌باشد. لذا در فصل دوم این پایان‌نامه به معرفی ادوات نیمه‌هادی قدرت فرکانس بالا پرداخته و نحوه راه‌اندازی آنها بیان شده است. اگر مقدار کمیت‌های اعمال شده به قطعات نیمه‌هادی قدرت در یک مبدل الکترونیک قدرت از محدوده مشخصات آنها تجاوز کند یا باید المان‌های قوی‌تری جایگزین کنیم یا مدارهایی کمکی به مبدل اصلی اضافه کنیم تا فشار را به سطوح مطمئن جهت کم نمودن تلفات کلیدها کاهش دهند. در بخش بعدی، مبحث اسنابرها و نقش حفاظتی آنها برای کلیدها جهت کاهش تلفات و نحوه مقابله با اثرات مخرب کلیدزنی بررسی می‌شود. سپس به بررسی ترانسفورماتورهای فرکانس بالا پرداخته که برای ایزولاسیون ورودی از خروجی و همچنین ایجاد سطح ولتاژ مورد نیاز در مبدل‌های الکترونیک قدرت استفاده می‌شوند. انتشار EMI نامطلوب و یا اختلال الکتریکی و الکترونیکی طبیعی یا ساخته شده به‌وسیله انسان، باعث بروز پاسخ نامطلوب در عملکرد تجهیزات الکتریکی می‌شود که در انتهای این فصل به این موضوع پرداخته شده است.

با پیشرفت تکنولوژی، روزبه‌روز مدارهای فشرده با کارایی بالا و حجم کمتر ساخته می‌شوند که بالتبع برای استفاده بهینه از این تکنولوژی باید تغذیه‌های مناسب‌تری هم برای آنها تأمین شود. در فصل سوم ابتدا به معرفی انواع مبدل‌های DC-DC پرداخته و مزایا و معایب این مبدل‌ها بررسی گردیده است. سپس ساختار مبدل‌های DC-DC کلیدزنی و انواع آنها از لحاظ ایزولاسیون معرفی شده است. یکی از مبدل‌های الکترونیک قدرت، مبدل‌های تشدیدی می‌باشند. با بررسی این مبدل‌ها در فصل فوق، مشخص می‌گردد که این مبدل‌ها می‌توانند در فرکانس‌های بالاتر از مبدل‌های کلیدزنی و با بازدهی بیشتری راه‌اندازی شوند.

در فصل چهارم به‌علت حساسیت مبدل تشدیدی در برابر تغییرات بار و همچنین تغییرات پارامترهای تانک تشدید، روشی کاربردی برای تنظیم ولتاژ و بهینه‌سازی مبدل تشدیدی ارائه شده است. تنظیم ولتاژ از طریق کنترل هم‌زمان مدولاسیون فرکانس و پهنای پالس صورت می‌پذیرد. در تنظیم ولتاژ از طریق پهنای پالس

مشکلاتی وجود دارد که با تحلیل مبدل پیشنهادی، این موضوع بررسی و رفع گردیده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم افزار Matlab/Simulink بیانگر عملکرد صحیح طرح پیشنهادی می‌باشد. در ادامه با شرح نمونه عملی ساخته شده، با مشخصات ولتاژ ورودی۴۰۰ ولت، خروجی ۲۰۰ ولت و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده نتایج حاصل از نمونه عملی مورد تأیید قرار گرفته است.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری

با توجه به مشاهدات و نتایج شبیه سازی می توان نتیجه گیری کرد که مبدل تشدیدی پیشنهادی نسبت به حالت های قبل قابلیت تنظیم ولتاژ خروجی به ازای مرجع های مختلف و همچنین ریپل کمتر و زمان نشست سریعتر می باشد.همچنین در این حالت دامنهی مقادیر بار می تواند متغیر باشد.

parallel resonant converter, *Telecommunications Energy Conference,. INTELEC '91., 13th International /IEEE., Intel*, pp. 302-307.

[31] Sheng, Y., Pei, Y., and Wang, F., 2008, Impact of Resonant Tank Structures on Transformer Size for a High Power Density Isolated Resonant converter, *Power Electronics Specialists Conference/IEEE*, Rhodes, pp. 2975-2981.

[32] Fu, D., 2010, *Topology Investigation and System Optimization of Resonant Converters*, Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements.

[۳۳] فرهنگی، ش.، وفاخواه، ب.، فرهنگی، ب.، کنعان، پ. و منشی‌پور، س.، سیستم متصل به شبکه به قدرت ۵ کیلووات با استفاده از مبدل تشدیدی موازی، *هجدهمین کنفرانس بین‌المللی برق*، صص. ۳۹۹-۳۹۱.

[34] Kim, H., Yoon, C., and Choi, S., 2010, A three phase zero voltage and zero current switching DC-DC converter for fuel cell applications, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 25, no. 2, pp. 391-398.

[35] Zhang, X., Chung, H.S.H., Ruan, X., and Ioinovici, A., 2010, A ZCS full bridge converter without voltage overstress on the switches, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 25, no. 3, pp. 686-698.

[36] Lin B.R., Dong, J.Y., and Chen, J.J., 2011, Analysis and implementation of a ZVS/ZCS DC–DC switching converter with voltage step-up, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 58, no. 7, pp. 302-307.

[37] Malekjamshidi, Z., and Jafari, M., 2011, A hybrid ANN and PID classic controller applied to a cascade LC resonant converter, Control, Instrumentation and Automation,2nd International Conference on, Shiraz, Iran.

[38] Gopiyani, A., and Patel, V., 2011, A closed-loop control of high power LLC resonant converter for DC-DC applications, Engineering, Nirma University International Conference on, Ahmedabad, Gujarat.

[39] Kurokawa, F., and Murata, K., 2011, A new fast digital P-I-D control LLC resonant converter, Electrical Machines and Systems, International Conference on, Beijing.

[40] Alonso, J.M., Perdigao, M.S., Vaquero, D.G., Calleja, A.J., and Saraiva, E.S. 2012, Analysis, design, and experimentation on constant-frequency DC-

DC resonant converters with magnetic control, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 27, no. 3, pp. 1369–1382.

[41] Medini, D., and Ben-Yaakov, S., 1994, A current-controlled variable-inductor for high frequency resonant power circuits, *Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '94. Conference Proceedings, Ninth Annual/IEEE* , Orlando, FL, Vol. 1, pp. 219-225.

[42] Perdigao, M.S., Alonso, J.M., and Saraiva, E.S., 2009, Magnetically-controlled dimming technique with isolated output, Electronics Letters/IEEE, Vol. 45, pp. 756-758.

[43] Oruganti, R., and How, T.C., 1993, Resonant-tank control of parallel resonant converter, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 8, no. 2, pp. 127-134.

[44] Chia C.L., and Sng, E.K.K., 2009, A novel robust control method for the series-parallel resonant converter, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 24, no. 8, pp. 1896-1904.

[45] Beiranvand, R., Rashidian, B., Zolghadri, M.R., and Alavi, M.H., A design procedure for optimizing the LLC resonant converter as a wide output range voltage source, 2012, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 27, no. 8, pp. 3749-3763.

[46] Beiranvand, R., Zolghadri, M.R., Rashidian, B., and Alavi, M.H., Optimizing the LLC-LC resonant converter topology for wide-output-voltage and wide-output-load applications, 2011, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 26, no. 1, pp. 3192-3204.

[47] Kim, B.C., Park, K.B., and Moon, G.W., 2012, Asymmetric PWM control scheme during hold-up time for LLC resonant converter, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 59, no. 7, pp. 2992-2997.

[۴۸]پارساپور،ب. و جباری، م.، ۱۳۹۱، مبدل‌های افزاینده-کاهنده رزونانسی جدید، *اولین کنفرانس ایده‌های نو در مهندسی برق*، دانشگاه آزاد اسلامب واحد خوراسگان، اصفهان، صص. ۲۱۹-۲۱۳ .

[49] Cho, K.M., Oh, W.S., Yeon, J.E., and Kim, H.J., 2003, A new switching scheme for resonant inverters using a resonant-frequency tracking algorithm, *Industrial Electronics Society, IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE*, Vol. 3, pp. 2580-2585.

[50] Sheng, H., Pei, Y., and Wang, F., 2008, Impact of Resonant Tank Structures on Transformer Size for a High Power Density Isolated Resonant Converter, *Power Electronics Specialists Conference, IEEE*, Rhodes, pp. 2975-2981.

[51] Nathan, B.S., and Ramanarayanan, V., 2000, Analysis, simulation and design of series resonant converters for high voltage applications, *Industrial Technology, Proceedings of IEEE International Conference on*, Bangalore, India,Vol. 2, pp. 688-693.

[52] Lee, C.Q., Sooksatra, S., and Liu, R., 1991, Constant frequency controlled full-bridge LCC-type parallel resonant converter, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, APEC '91, Conference Proceedings, Sixth Annual, Dallas, TX, pp. 587-593.

[53] Shafiei, N., Pahlevaninezhad, M., Farzanehfard, H., and Motahari, S.R., 2011, **Analysis and implementation of a fixed-frequency LCLC resonant converter with capacitive output filter**, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 58, no. 10, pp. 4773-4782.

[۵۴]فردوسی، م.، ۱۳۷۸، *طراحی و ساخت مبدل DC به DC رزونانسی موازی*، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی شریف.

[۵۵] فرهنگی، ش. و محسنی، ع.، ۱۳۷۵، تحلیل مبدل تشدیدی سری-موازی با در نظر گرفتن سلف مغناطیس کننده ترانسفورماتور، *چهارمین کنفرانس مهندسی برق ایران*، دانشگاه تهران، ایران، صص. ۶۶-۵۷

[56] Grbovic, P.J., Delarue, P., Le-Moigne, P., and Bartholomeus, P., 2010, A bidirectional three-level DC-DC converter for the ultracapacitor applications,*IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 57, no. 10, pp. 3415-3430.

[57] Jung, J.H., and Kwon, J.G., Theoretical analysis and optimal design of LLC resonant converter, *SAMSUNG Electronics Co*.

[58] Kim, B.C., Park, K.B., Kim, C.E., Lee, B.H., and Moon, G.W., 2010, LLC resonant converter with adaptive link-voltage variation for a high-power-density adapter, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 25, no. 9, pp. 2248-2252.

[59] Steigerwald, R.L., 1988, A Comparison of half bridge resonant converter topologies, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 3, no. 2, pp. 174–182.

[60] Alldatasheet, 2013, http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/67443/ INTERSIL/ICL8038.htm,(2013/02/10).

[61] Alldatasheet, 2013, http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/82793/ IRF /IR2110.html,(2013/02/22).

[62] Alldatasheet, 2013, http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/74406/ MCC/ UF5408.html,(2013/02/12).