

آنالیز و شبیه‌سازی بالاست الکترونیکی لامپ‌های HID با روش موج مربعی فرکانس پایین

احمد انتظاری^۱، آرش دهستانی کلاگر^{۲*}، محمدرضا علیزاده پهلوانی^۳

^۱ دانشجوی مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ahmad_entezari6@yahoo.com

^{۲*} Corresponding Author, a_dehestani@mut.ac.ir، دانشگاه صنعتی مالک اشتر،

^۳ دانشیار مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mr_alizadehp@mut.ac.ir

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر

چکیده

با توجه به بهره‌وری، طول عمر و شدت نور لامپ‌های HID، این لامپ‌ها در کاربردهای نظامی، امنیتی، فرودگاه، هواپیما و نیز محوطه‌های باز کاربرد زیادی دارند. در این مقاله یک بالاست الکترونیکی کاربردی به منظور تنظیم توان و جریان این لامپ‌ها ارائه می‌شود. این بالاست قابلیت استفاده در لامپ‌های هالاید-فلزی و بخار سدیم فشار بالا با توان ۷۰ وات را داشته و مدار مربوطه از ترکیب مدارهای باک-بوست، باک و اینورتر تشکیل شده است. مدار باک-بوست جهت تصحیح ضریب توان استفاده می‌شود. این مدار در مود ناپیوسته کار کرده و جریان ورودی شبکه را با فرکانس ۳۰ kHz، طوری شکل‌دهی می‌کند که ضریب توان بالا و THD پایین به دست آید. مدار باک از ترکیب بخش اینورتری، یک سلف و خازن تشکیل شده است. این مبدل به روش موج مربعی فرکانس پایین (۵۰ هرتز) کلیدزنی می‌گردد؛ تا لامپ با فرکانس پایین تعدیه شده و از تشدید آکوستیکی جلوگیری شود. توان لامپ بوسیله‌ی تنظیم سیکل وظیفه‌ی سیگنال کنترل گیت ماسفت در فرکانس بالا کنترل می‌شود. برای روشن شدن ابتدایی لامپ احتیاج به مدار مشتعل‌کننده (Igniter) است که از مدار بوست، دیود سیلیکونی جریان متناوب (SIDAC) و ترانسفورماتور برای اعمال ولتاژ بالا به لامپ استفاده می‌نماید. در این مقاله، مدار اشتعال لامپ ارائه شده و نحوه‌ی عملکرد آن تحلیل و بررسی می‌گردد. این بالاست ضریب توان ۰/۹۹ و THD کمتر از چهار درصد را تضمین می‌نماید. مدارهای ارائه شده، در نرم‌افزار PSIM شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی با نتایج تئوری مقایسه گردیده است.

کلیدواژه

لامپ HID، بالاست، بالاست الکترونیکی، موج مربعی فرکانس پایین

مقدمه

بالا^۴ و لامپ سدیم فشار پایین^۵ اشاره نمود. با توجه به عمر طولانی، شدت نور زیاد در هر وات و سایز مناسب، این لامپ‌ها در کاربردهای صنعتی و خارج از ساختمان کاربرد زیادی دارند [۳]. شکل ۳ چند نمونه از این لامپ‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴ نیز سه نوع لامپ HID را از نظر نوع نور و تفکیک‌پذیری نور نشان می‌دهد.



شکل ۱. لامپ HID استفاده شده در هواپیما [۲]

شکل ۵ لامپ‌های مختلف HID را از نظر بازده مقایسه می‌کند. این شکل نشان می‌دهد که بازده لامپ سدیم فشار پایین از بقیه‌ی لامپ‌ها بیشتر است. ولی با توجه به نداشتن نور

یکی از کاربردهای لامپ‌های HID^۱، در بال‌های ثابت هواپیما و در هلیکوپترها می‌باشد. همچنین با توجه به شدت نور مناسب می‌تواند برای مشخص کردن مسیر فرود و فرودگاه مورد استفاده قرار گیرد. این لامپ‌ها می‌توانند در عملیات نجات و جستجو، گشت‌زنی مرزی، کاربردهای فضایی و نظامی، در شرایط هوای سرد و زمینی استفاده شوند. کاربری در صنایع حمل و نقل، نظامی، ریلی و دریایی از جمله موارد استفاده‌ی این لامپ-ها می‌باشد [۱]. شکل ۱ لامپ HID استفاده شده در یک نوع هواپیما را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز لامپ HID استفاده شده در نقاط مرزی را نشان می‌دهد.

این لامپ‌ها دارای انواع مختلفی هستند که از آن جمله می‌توان به لامپ بخار جیوه^۲، متال هالاید^۳، لامپ سدیم فشار

^۴ High Pressure Sodium

^۵ Low Pressure Sodium

^۱ High Intensity Discharge

^۲ Mercury Vapor

^۳ Metal Halide

طبیعی، کمتر استفاده می‌شود. لامپ‌های متال-هالاید و سدیم فشار بالا در رده‌های بعدی قرار دارند.



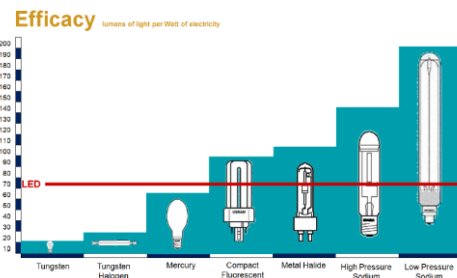
شکل ۲. لامپ HID استفاده شده در نقاط مرزی [۲]



شکل ۳. لامپ‌های HID شامل متال-هالاید و سدیم فشار بالا



شکل ۴. مقایسه‌ی لامپ‌های HID شامل متال-هالاید، سدیم فشار بالا و سدیم فشار پایین از نظر تفکیک رنگ [۲]



شکل ۵. مقایسه‌ی لامپ‌های مختلف از نظر بازده [۲]

برای روشن شدن این لامپ‌ها نیاز به ایجاد قوس الکتریکی می‌باشد. با توجه به مقاومت منفی این لامپ‌ها، استفاده از بالاست نیز ضروری می‌باشد [۴]. لامپ متال هالاید مانند همه‌ی لامپ‌های قوسی، برای مشتعل کردن اولیه‌ی لامپ، ایجاد محدودیت جریان در هنگام گرم شدن آن و نیز تثبیت جریان در طول زمان عملکرد عادی لامپ، به بالاست نیاز دارد. با گرم شدن لامپ، در حالی که ولتاژ و توان افزایش می‌یابد، جریان کاهش پیدا می‌کند. در نهایت ولتاژ AC لامپ تثبیت می‌شود و توان لامپ در حد مناسب تنظیم می‌شود. با

استفاده از یک بالاست الکترونیکی با سیستم موج مربعی با فرکانس بالا یا فرکانس کم، ایجاد شدت نور بهتر، عمر طولانی‌تر، محافظت از شکست و تخریب لامپ و تنظیم توان امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین امکان تنظیم نور لامپ و کنترل بهتر رنگ ممکن می‌شود [۴]. بالاست الکترونیکی باید بتواند پالس آتش برای راه‌اندازی اولیه لامپ را فراهم نماید. جریان ثابتی را در لامپ و در شرایط پایدار به وجود آورد. در شرایط خطا و بحرانی بتواند شرایط را پایدار نماید. در نهایت باید پارامترهایی از جمله تصحیح ضریب توان، اعوجاج هارمونیک، تداخل فرکانس‌های رادیویی و نیز ایمنی را بهبود بخشد [۵]. لامپ‌های سدیم فشار بالا مانند هر لامپ HID دیگر برای عملکرد صحیح به بالاست نیاز دارند. بالاست یک وسیله کمکی است که بین خط برق و لامپ تخلیه متصل است. بالاست دارای دو عملکرد اصلی است: اشتعال لامپ را از طریق استفاده از یک پالس ولتاژ بالا بین الکتروده‌های لامپ تضمین می‌کند و جریانی را که از آن می‌گذرد محدود می‌نماید. لامپ بدون محدودیت جریان، سریع از بین می‌رود، چرا که دارای مقاومت منفی می‌باشد [۶]. در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت الکترونیک قدرت، بالاست‌های مرسوم الکترومغناطیسی، جای خود را به بالاست الکترونیکی داده است. چرا که حجم و وزن قطعات مورد نیاز کمتر بوده و هزینه‌ی آن نیز کمتر است. همچنین مشخصه‌ی بهره‌وری و نور در بالاست‌های الکترونیکی بیشتر است [۷]. فرکانس بالا در بالاست می‌تواند موجب تشدید آکوستیکی، ناپایداری قوس الکتریکی، نوسان نور، خاموش شدن لامپ و حتی شکستن لوله‌ی قوس شود [۸]. برای از بین بردن تشدید آکوستیکی روش‌های مختلفی استفاده شده است که در زیر به آن اشاره می‌شود [۹]:

- ۱- یک روش استفاده از موج سینوسی فرکانس پایین است که فرکانس آکوستیکی از بین می‌رود ولی قطعات الکترونیکی بزرگ شده و حجم بالاست افزایش می‌یابد.
- ۲- بالاست‌های الکترونیکی که از موج سینوسی با فرکانس خیلی بالا استفاده می‌نمایند. فرکانس این بالاست، در حدود یک مگاهرتز می‌باشد. این بالاست دارای مشکلات تداخل الکترومغناطیسی و مشکلات تلفات سوئیچینگ می‌باشد.
- ۳- بالاست‌هایی که از یک موج سینوسی در فرکانس خاص که از محدوده‌ی تشدید آکوستیکی دور است، استفاده می‌کنند. از آنجا که فرکانس تشدید آکوستیکی به ابعاد لامپ و پارامترهای گاز داخلی لامپ بستگی دارد، فرکانس آکوستیکی برای لامپ‌های مختلف متفاوت بوده و بنابراین نمی‌توان پنجره‌ی فرکانسی مشخص برای تمامی لامپ‌ها در تمامی زمان‌ها یافت.

۴- بالاست‌هایی که از موج سینوسی با فرکانس متغیر و روش FM^۶ استفاده می‌کنند. در این روش با توجه به فرکانس متغیر، طراحی فیلتر EMI^۷ با توجه به تغییرات فرکانس سوئیچینگ دشوار است.

۵- روش استفاده از موج مربعی فرکانس بالا روش مناسبی برای استفاده در بالاست می‌باشد. چرا که در موج مربعی کامل، انحراف توان کم می‌باشد و تشدید آکوستیکی ایجاد نمی‌شود. هر چند که به دست آوردن موج مربعی کامل و بازده بالا در این طراحی دشوار است.

۶- روش آخر که در این مقاله نیز به آن پرداخته شده است، استفاده از موج مربعی فرکانس پایین می‌باشد. جهت برطرف شدن مشکل تشدید آکوستیکی از روش موج مربعی فرکانس پایین (LFSW) استفاده می‌شود. چرا که دسترسی به آن آسان و مدار کنترلی آن نیز ساده است [۱۰]. با توجه به اینکه در این روش از فرکانس بالا برای مدار تصحیح ضریب توان استفاده می‌شود، حجم قطعات مغناطیسی و الکترونیکی کاهش می‌یابد و حجم بالاست بسیار مناسب است. برای کاهش هارمونیک‌های جریان و تامین الزامات استاندارد IEC61000-3-2 و افزایش ضریب توان، استفاده از مبدل AC به DC به عنوان تصحیح‌کننده ضریب توان در مورد بالاست الزامی است. با توجه به بالابودن ولتاژ کاری بخش تصحیح ضریب توان، از مبدل باک برای کاهش ولتاژ در محدوده ولتاژ کاری لامپ استفاده می‌شود. با توجه به این موضوع، بیشتر مدارات ارائه شده دارای سه بخش باک-بوست، باک و اینورتر می‌باشند [۱۱]. در مدارات بالاست سه مرحله‌ای، مدارات باک-بوست و باک، با فرکانس بالا کار می‌کنند تا حجم قطعات مغناطیسی کاهش یابد و بخش اینورتر در فرکانس پایین کار می‌کند تا لامپ دستخوش رزونانس آکوستیکی نشود. مدارات سه مرحله‌ای از نظر هزینه مقرون به صرفه نیستند. چرا که تعداد قطعات زیادی نیاز دارند. برخی از مقالات بخش باک و اینورتر را ترکیب کرده و بالاست دو مرحله‌ای ساخته‌اند. این مدارات نیز دارای دو مدار کنترل متفاوت و قطعات زیادی هستند [۱۲]-[۱۳]. بسیاری از مقالات نیز بالاست تک مرحله‌ای ارائه کرده‌اند که در فرکانس بالا عمل کرده و در نتیجه الزامات تشدید آکوستیکی رعایت نمی‌شود [۱۴]. در مراجع [۱۵] و [۱۶] مدارهای تک مرحله‌ای با عملکردی مطلوب ارائه شده است. در این مدارها، بخش بوست و یا باک به‌عنوان بخش تصحیح ضریب توان به کار رفته‌اند. استفاده از بوست به‌عنوان بخش ضریب تصحیح باعث ایجاد ضریب توان واحد می‌شود و در عین حال باعث می‌شود که ولتاژ لینک DC

از دامنه‌ی ولتاژ AC ورودی بیشتر شود. این امر موجب ایجاد تلفات بیشتر بر روی کلیدها می‌شود. اگر از باک به‌عنوان تصحیح ضریب توان استفاده شود، مقدار ولتاژ DC از ولتاژ AC ورودی کمتر بوده و برای جبران آن نیاز به ترانسفورماتور است. در این مقاله، یک مدار تک مرحله‌ای ارائه شده که منجر به کاهش قطعات و هزینه می‌گردد. فقط چهار کلید فعال در این ساختار وجود دارد. مبدل باک و پل اینورتری به‌صورت مبدل باک دو جهته ارائه شده است. برای روشن کردن اولیه‌ی لامپ نیاز به مداری است که ولتاژ دو سر لامپ را به حدود ۳۰۰۰ ولت برساند تا اشتعال در لامپ برقرار شود. در مرجع [۱۷] از روش رزونانسی برای ایجاد ولتاژ بالا استفاده شده است. این مدار مشتعل‌کننده، از دو کلید و یک سلف و خازن برای ایجاد رزونانس و افزایش ولتاژ دو سر لامپ و اشتعال استفاده می‌نماید. در همین راستا، در مرجع [۱۸] نیز از یک مدار رزونانسی به همراه SIDAC^۸ برای مشتعل کردن لامپ استفاده شده است. در این مدار قبل از اشتعال ولتاژ اینورتر از ولتاژ شکست SIDAC بالاتر بوده و باعث روشن شدن آن می‌شود و بنابراین مدار رزونانس شامل خازن و ترانسفورماتور فعال شده و ولتاژ بالای لامپ را برای اشتعال تأمین می‌نماید. پس از گرم شدن لامپ، ولتاژ خروجی اینورتر از ولتاژ شکست SIDAC کمتر شده و بنابراین SIDAC خاموش شده و مدار رزونانس غیر فعال می‌شود و لامپ در حالت پایدار به کار خود ادامه می‌دهد. در مرجع [۱۳] نیز از یک مدار افزایش‌دهنده ولتاژ شامل خازن، دیاک، تریستور و ترانسفورماتور افزایش‌دهنده برای ایجاد اشتعال لامپ استفاده شده است. در مقابل، در مرجع [۱۹] از مدار افزایش‌دهنده ولتاژ برای مدار مشتعل‌کننده استفاده شده است. این مدار شامل دو خازن، یک سلف، یک کلید ترانزیستوری، SIDAC (دیاک با ولتاژ شکست بالا) و ترانسفورماتور افزایش‌دهنده می‌باشد. در این مرجع روش عملکرد دقیق و نیز روابط مشتعل‌کننده و شکل موج‌ها تحلیل و بررسی نشده است. و مقادیر خازن‌ها و مقاومت‌های مدار ارائه نشده است. در این مقاله، مشتعل‌کننده مذکور به‌طور کامل تحلیل شده و روابط مربوطه، به همراه مقادیر پارامترهای مدار، ارائه می‌گردد. در بخش دوم مقاله، ساختار مدار بالاست ارائه می‌شود. در بخش سوم نیز روابط مداری مربوطه بیان شده و تحلیل می‌گردد. پارامترهای مدار با توجه به روابط، در بخش چهارم محاسبه می‌شوند. نحوه طراحی و استخراج روابط حاکم بر مدار مشتعل‌کننده و تحلیل آن و نیز ارائه‌ی مقادیر و ملزومات آن، در بخش پنجم انجام می‌گیرد. در ادامه، نتایج شبیه‌سازی مدار بالاست و مشتعل‌کننده در بخش ششم ارائه شده و در نهایت نتیجه‌گیری مقاله آورده می‌شود.

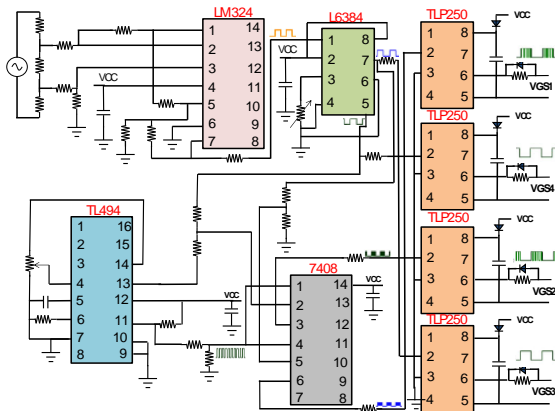
^۸ Silicon Diode Alternative Current

^۶ Frequency Modulation

^۷ Electromagnetic Interference

ساختار و عملکرد مدار

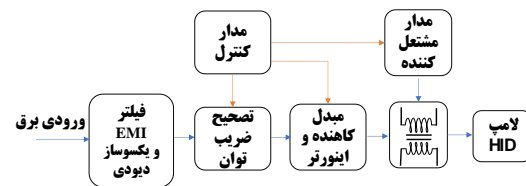
توسط کلیدها می‌باشد. ولتاژهای کنترلی V_{GS1} و V_{GS2} با فرکانس بالای ۳۰ کیلوهرتز و متناسب با کلیدهای ۳ و ۴ کنترل می‌شوند. مدار کنترل در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹. مدار کنترل بالاست الکترونیکی ارائه شده

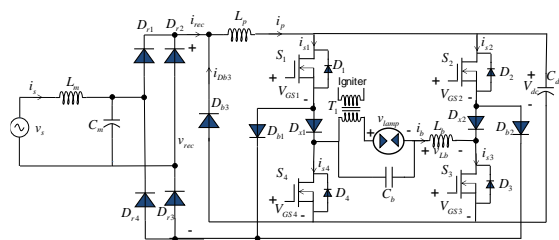
در این مدار، دو آپ‌امپ در آی‌سی LM324 برای تشخیص نقطه‌ی عبور از صفر سیگنال AC ورودی و ایجاد شکل موج مربعی فرکانس پایین و سنکرون با سیگنال AC ورودی به کار می‌رود. آی‌سی TL494 برای ایجاد موج مربعی فرکانس بالا با قابلیت کنترل سیکل وظیفه به کار می‌رود. آی‌سی L6384 موج مربعی را از LM324 دریافت کرده و دو موج مربعی مکمل با زمان مرده‌ی مشخص که از طریق مقاومت پایه‌ی ۳ و زمین به دست می‌آید، ایجاد می‌نماید. سیگنال فرکانس بالا و فرکانس پایین در آی‌سی 7804 با هم AND شده و سیگنال‌های حاصل از طریق درایورهای TLP250 گیت ماسفت‌ها را راه‌اندازی می‌نماید. برای افزایش کیفیت نوردی و کاهش ابعاد المان‌های مدار، کلیدهای S1, S2 در فرکانس بالا کار می‌کنند. توان ورودی لامپ بوسیله‌ی کنترل سیکل وظیفه‌ی سیگنال فرکانس بالا انجام می‌شود. توان لامپ به‌صورت حلقه باز و از طریق مقاومت متغیر متصل به پایه‌ی ۴ آی‌سی TL494 کنترل می‌شود. در صورت کنترل حلقه بسته با توجه به تغییرات ولتاژ ورودی، مقاومت متغیر حذف شده و فیدبکی از V_{dc} به تقویت‌کننده‌ی خطای TL494 اعمال می‌شود. تصحیح توان بوسیله‌ی مبدل باک-بوست تشکیل شده از کلیدهای S1, S2 صورت می‌گیرد. با عملکرد این مبدل در مود ناپیوسته ضریب توان واحد در خط ورودی به دست می‌آید. توان لامپ بوسیله‌ی مبدل باک دو جهته‌ی تشکیل شده از خازن C_{dc} ، کلیدهای S1 تا S4، دیودهای D_{x1} , D_{x2} و فیلتر لامپ شامل سلف L_b و خازن C_b تشکیل می‌شود. با توجه به اینکه کلیدهای S1, S2 در فرکانس بالا کار می‌کنند، ابعاد سلف و خازن‌های مدار کوچک می‌شود. مدار مشتعل‌کننده‌ی لامپ از طریق ترانسفورماتور T1 ولتاژ

بلوک دیاگرام کلی بالاست الکترونیکی برای لامپ HID در شکل ۶ نشان داده شده است. در این مدار ولتاژ ورودی پس از عبور از فیلتر EMI^9 و پل دیودی یکسو می‌شود. قسمت تصحیح ضریب توان باعث هم‌فاز شدن تقریبی ولتاژ و جریان ورودی خواهد شد. بخش مبدل کاهنده و اینورتر، ولتاژ مستقیم را به ولتاژ متناوب، متناسب با مشخصات فنی لامپ تبدیل نموده و ولتاژ و جریان آن را نیز کنترل می‌نماید. همچنین، جهت اشتعال اولیه‌ی لامپ و گرم شدن آن، به یک مدار مشتعل-کننده، همراه با ترانسفورماتور افزایش‌دهنده نیاز است.



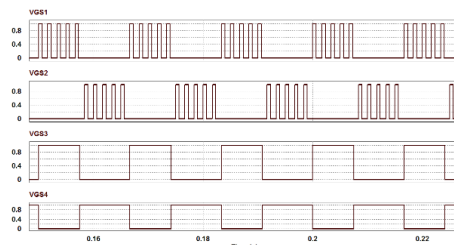
شکل ۶. بلوک دیاگرام کلی بالاست الکترونیکی

مدار پیشنهادی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. بالاست الکترونیکی پیشنهادی

ماسفت‌های S1, S2, S3, S4 به‌همراه دیودهای بدنه‌ی $D1, D2, D3, D4$ مدار اینورتر را تشکیل می‌دهند. این کلیدها با ولتاژهای کنترلی V_{GS1} , V_{GS2} , V_{GS3} , V_{GS4} کنترل می‌شوند. ولتاژهای کنترلی در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.



شکل ۸. ولتاژهای کنترلی گیت ماسفت‌ها

ولتاژهای کنترلی V_{GS3} , V_{GS4} در فرکانس ۵۰ هرتز خط و به‌صورت مکمل هم و با زمان مرده‌ی کوچک بین هم عمل می‌کنند. زمان مرده به‌دلیل جلوگیری از بروز اتصال کوتاه

⁹ Electro Magnetic Interference

فرکانس پایین عمل می‌کند و روشن است. بنابراین ولتاژ $V_{dc} - v_{lamp}$ بر روی سلف L_b قرار می‌گیرد. مبدل باک نیز در مود ناپیوسته کار می‌کند. لذا سلف L_b نیز با شیب ثابت شروع به شارژ شدن می‌کند. خازن Cdc از طریق کلید S1، دیود D_{x1} و کلید S3 خازن C_b را شارژ می‌کند.

مود II ($t_1 < t < t_2$):

در این مود کلید S1 خاموش می‌شود و جریان i_p از طریق دیود هرزگرد D_{b3} خازن Cdc را شارژ می‌کند. جریان i_b نیز از طریق کلید S3 و دیود D4، جریان لامپ و خازن C_b را تامین می‌نماید. ولتاژ L_p برابر $-V_{dc}$ و L_b برابر $-v_{lamp}$ است و بنابراین جریان i_b با شیب مشخص کاهش می‌یابد. مقدار بیشینه جریان i_p به مقدار ولتاژ یکسوساز وابسته است. لذا زمان کاهش این جریان به صفر نیز ثابت نیست و به مقدار ولتاژ یکسوساز وابسته است. با توجه به اینکه ولتاژ دو سر L_b ثابت است، لذا شیب افزایش و کاهش جریان i_b ثابت می‌باشد. با توجه به این قضیه، مود II دارای دو حالت است. با توجه به اینکه کدام جریان i_p و یا i_b زودتر صفر شود، دو حالت به وجود می‌آید.

مود III-A ($t_2 < t < t_3$):

در مواقعی که ولتاژ یکسوساز v_{rec} کوچک است، مقدار پیک i_p نیز کم می‌باشد. در این صورت مقدار i_p زودتر از i_b صفر می‌شود و فقط جریان i_b در لامپ جریان دارد.

مود III-B ($t'_2 < t < t'_3$):

وقتی مقدار v_{rec} بزرگ است. پیک ولتاژ i_p نیز زیاد است. در چنین مواقعی i_p بعد از جریان i_b صفر می‌شود. در این مود جریان i_p از طریق D_{b3} خازن Cdc را شارژ می‌کند و خازن C_b جریان لامپ را تامین می‌کند.

مود IV ($t_3 < t < t_4$):

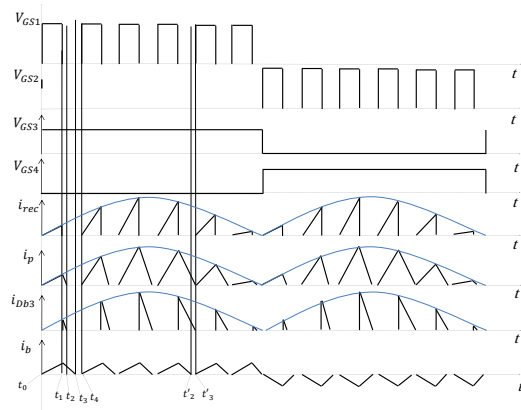
وقتی جریان i_p و i_b هر دو صفر می‌شود، جریان لامپ از طریق خازن C_b تامین می‌شود. وقتی کلید S1 روشن می‌شود، مدار دوباره وارد سیکل بعدی فرکانس بالا در مود I می‌شود.

مودهای عملکردی بالا برای حالتی که کلیدهای S2 و S4 عمل می‌کنند، تکرار می‌شود و با توجه به تشابه بین حالت‌های عملکرد آنها، از بیان آن خودداری می‌شود. این مودها در شکل ۱۱ (b) نشان داده شده‌اند.

بالای اشتعال را ایجاد می‌نماید. فیلتر پایین‌گذر کوچک ورودی، هارمونیک‌های فرکانس بالای جریان را حذف می‌کند. خازن C_b به اندازه‌ای بزرگ در نظر گرفته می‌شود که ولتاژ دو سر لامپ در فرکانس‌های بالا تقریباً ثابت شود. برای تحلیل مدار فرض‌های زیر در نظر گرفته می‌شود.

- تمام المان‌های مدار ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود.
- مقدار خازن Cdc، به اندازه‌ای بزرگ در نظر گرفته می‌شود که ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت باشد.
- مقدار C_b طوری است که ولتاژ دو سر لامپ در فرکانس بالا تقریباً ثابت باشد.
- مقاومت لامپ قبل از اشتعال بسیار زیاد و بعد از اشتعال در حدود ۱۰۰ اهم در نظر گرفته شده است.

شکل موج‌های تئوری مدار در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

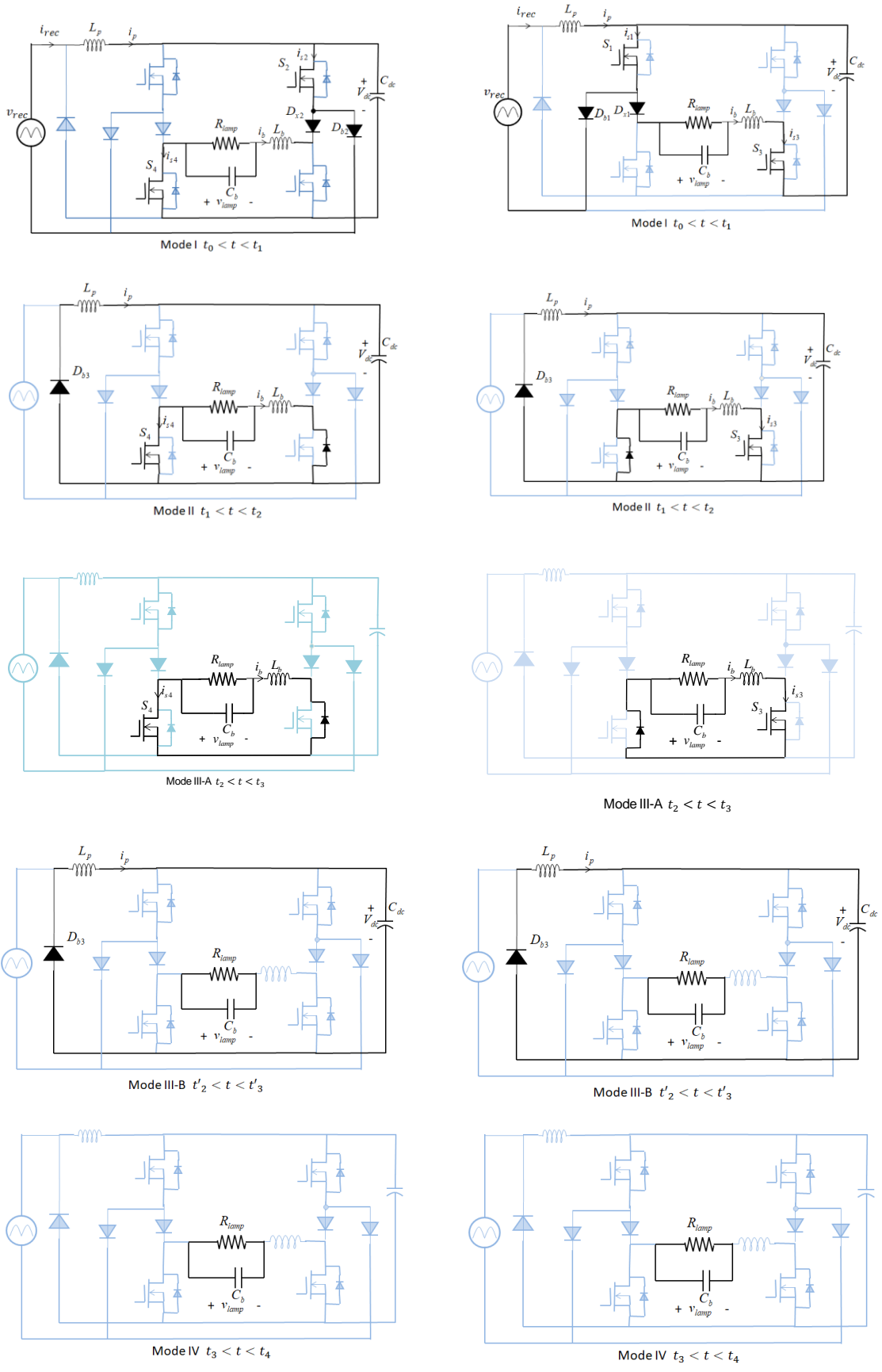


شکل ۱۰. شکل موج‌های مدار بالاست به صورت تئوری

هر دو مدار باک و باک-بوست در مود ناپیوسته کار می‌کند. مود عملکردی مدار با توجه به وضعیت روشن بودن کلیدهای S3 و S4 به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود. در مود عملکردی فرکانس بالا حالت مدار به چهار قسمت تقسیم می‌شود. مودهای عملکردی مختلف در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه کدامیک از کلیدهای S1, S3 و یا کلیدهای S2, S4 عمل نمایند، مودهای عملکردی شکل ۱۱ (a) و یا ۱۱ (b) ایجاد می‌شوند. در این شکل اجزای غیرفعال در هر مود با رنگ آبی کمرنگ مشخص شده‌اند.

مود I ($t_0 < t < t_1$):

در این مود کلید S1 روشن می‌شود. ولتاژ یکسوساز به سلف L_p اعمال می‌شود. لذا مبدل باک-بوست در مود ناپیوسته طراحی می‌شود. بنابراین جریان L_p با شیبی که متناسب با مقدار ولتاژ یکسوساز است، شارژ می‌شود. کلید S3 در مود



(b)

(a)

شکل ۱۱. مودهای عملکردی بالاست، شامل ۲ مود اصلی (a,b) ۴ حالت

تحلیل عملکرد مدار

با توجه به روابط ولتاژ و جریان خط، توان ورودی با متوسط‌گیری از حاصلضرب آنها در یک دوره تناوب به دست می‌آید.

$$P_{in} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_s(t) i_s(t) d(2\pi f_L t) = \frac{V_m^2 D_1^2}{4L_p f_s} \quad (5)$$

توان لامپ برابر است با:

$$P_{lamp} = \eta P_{in} = \eta \frac{V_m^2 D_1^2}{4L_p f_s} \quad (6)$$

که η نشان‌دهنده بازده مدار است.

برای این‌که این مبدل در مود ناپیوسته کار کند، باید رابطه‌ی زیر برقرار باشد.

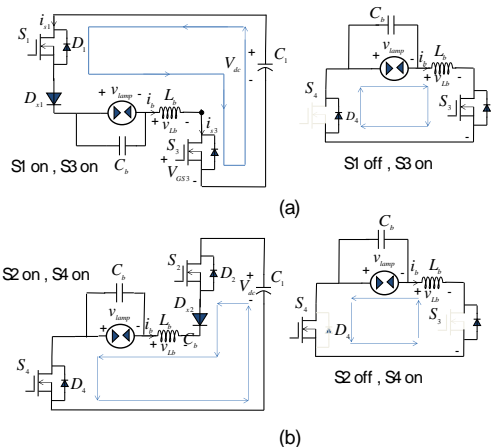
$$V_m |\sin 2\pi f_L t| D_1 T_s \leq V_{dc} (1 - D_1) T_s \quad (7)$$

یعنی مقدار ولتاژ باید آن قدر بزرگ باشد که مبدل در مود گسسته کار کند.

$$V_{dc} \geq V_m \frac{D_1}{1 - D_1} \quad (8)$$

مبدل باک دو جهته

همانطور که قبلاً گفته شد، کلیدهای S1 تا S4، دیودهای D_{x2} و D_{x1} ، سلف L_b و خازن C_b مبدل باک دو جهته را تشکیل می‌دهند. خازن C_b و سلف L_b فیلتری را تشکیل می‌دهند که فرکانس‌های بالای دو سر لامپ را حذف می‌کنند و باعث ایجاد سیگنال مربعی فرکانس پایین در دو سر لامپ می‌شوند. شکل ۱۳ مدار معادل باک دو جهته را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. مدار معادل مدار باک دو جهته - (a) برای زمان‌هایی که S3 روشن و S1 روشن و خاموش می‌شود. (b) برای زمان‌هایی که S4 روشن و S2 روشن و خاموش می‌شود.

در شکل a کلیدهای S2, S4 خاموش هستند. کلید S3 روشن و کلید S1 با فرکانس بالا کار می‌کند. با توجه به تشابه وضعیت a و b، تنها وضعیت a بررسی می‌شود.

مبدل باک - بوست تصحیح‌کننده‌ی ضریب توان

این مبدل از طریق منبع ولتاژ ورودی تغذیه می‌شود.

$$v_s(t) = V_m \sin(2\pi f_L t) \quad (1)$$

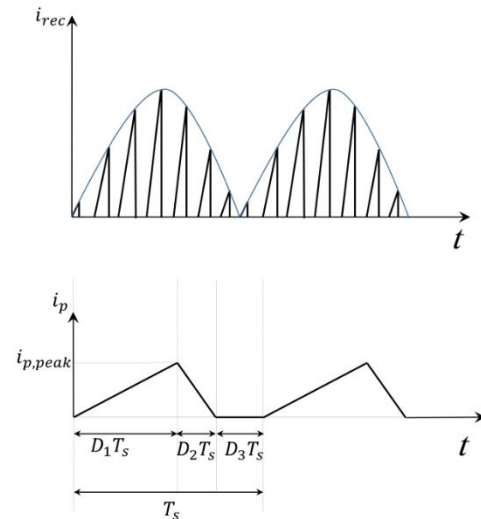
که در آن مقدار دامنه‌ی منبع و مقدار فرکانس آن است. از آنجایی که مقدار f_L بسیار کوچک‌تر از فرکانس سوئیچینگ کلیدهای S1, S2 است، منطقی است که مقدار ولتاژ یکسوسده را نسبت به فرکانس f_s ثابت در نظر گرفت. در مود یک کلیدهای S1, S2 روشن می‌شوند، مبدل باک-بوست در مود ناپیوسته کار می‌کند و جریان i_p با شیب ثابت طبق رابطه‌ی زیر افزایش می‌یابد.

$$i_p(t) = \frac{v_{rec}(t)}{L_p} t = \frac{V_m |\sin 2\pi f_L t|}{L_p} t \quad 0 \leq t \leq D_1 T_s \quad (2)$$

که در آن، T_s پریود سوئیچینگ فرکانس بالا و D_1 سیکل روشن شدن S1, S2 می‌باشد. مقدار پیک جریان i_p برابر است با:

$$i_{p,peak} = \frac{V_m |\sin 2\pi f_L t| D_1 T_s}{L_p} \quad (3)$$

جریان i_p و i_{rec} در نیز شکل ۱۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۲. شکل موجهای نظری برای i_p و i_{rec}

جریان i_p و i_{rec} در مود I با هم برابرند و در مودهای دیگر i_{rec} برابر صفر است. فرکانس بالای i_{rec} بوسیله فیلتر پایین‌گذر حذف می‌شود. بنابراین جریان ورودی i_s برابر متوسط جریان i_{rec} در یک سیکل فرکانس بالا می‌باشد.

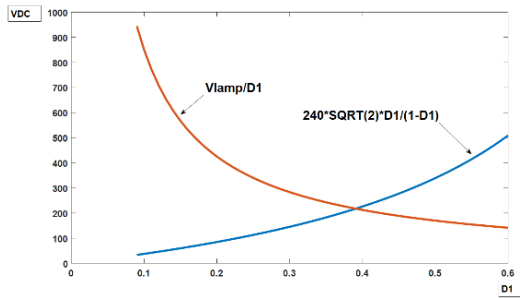
$$i_s(t) = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_{rec}(t) d(t) = \frac{V_m T_s D_1^2}{2L_p} \sin(2\pi f_L t) \quad (4)$$

جدول ۱. مشخصات لامپ جهت طراحی المان‌های مدار

v_s	$220 \pm 10\% v_{rms}, 50 \text{ Hz}$
f_{s1}, f_{s2}	3 kHz
f_{s3}, f_{s4}	50 Hz
p_{lamp}	70 W
v_{lamp}	85 V
i_{lamp}	0.82 A
R_{lamp}	103.6Ω

مرحله‌ی اول (محاسبه‌ی D_1 و V_{dc}):

شرایط مرزی برای ولتاژ dc طبق روابط ۸ و ۱۳ بیان می‌شود. این روابط با توجه به شرایط مرزی کارکرد مبدل‌ها در مود گسسته به‌دست آمده است. شکل ۱۴ شرایط مرزی برای ولتاژ ورودی $V_m = 240\sqrt{2}v$ و ولتاژ لامپ $V_{lamp} = 85v$ را نشان می‌دهد. در این شکل، نامعادله‌های ۸ و ۱۳ نشان داده شده است تا از روی آن بتوان مقادیر مرزی را برای D_1 و V_{dc} جهت عملکرد گسسته به‌دست آورد.



شکل ۱۴. شرایط مرزی لامپ برای کارکرد مبدل‌ها در مود گسسته این نمودار نشان می‌دهد برای عملکرد لامپ در مود گسسته، مقدار D_1 باید از 0.39 کمتر باشد. با توجه به ولتاژ ورودی و نمودار، مقادیر $D_1 = 0.35$ و $V_{dc} = 200v$ در نظر گرفته می‌شود.

مرحله‌ی دوم (محاسبه‌ی L_p و L_b):

با در نظر گرفتن توان لامپ 70 وات، $f_s = 30k$ ، $D_1 = 0.35$ ، $V_m = 240\sqrt{2}v$ ، و بازده 85 درصد، مقدار L_p برابر است با:

$$L_p = \eta \frac{V_m^2 D_1^2}{4 P_{lamp} f_s} = 0.85 \times \frac{339.41^2 \times 0.35^2}{4 \times 70 \times 30 \times 10^3} = 1.428 \text{ mH}$$

و مقدار L_b نیز برابر خواهد شد با:

$$L_b = \frac{(V_{dc} - v_{lamp}) V_{dc} D_1^2 T_s R_{lamp}}{2 v_{lamp}^2} = \frac{(200 - 85) \times 200 \times 0.35^2 \times 33.33 \times 10^{-6} \times 103.6}{2 \times 85^2} = 0.673 \text{ mH}$$

با توجه به رابطه‌ی ۶ داریم:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 L_p T_s P_{lamp}}{\eta V_m^2}} \quad (17)$$

وقتی $S1$ و $S3$ روشن می‌شوند، ولتاژ دو سر L_b برابر است با:

$$v_{Lb} = V_{dc} - v_{lamp} \quad (9)$$

جریان i_b به‌صورت خطی افزایش یافته و در لحظه‌ی خاموش شدن $S1$ به مقدار بیشینه‌ی خود می‌رسد:

$$i_{b,peak} = \frac{(V_{dc} - v_{lamp}) D_1 T_s}{L_b} \quad (10)$$

وقتی که $S1$ خاموش می‌شود، جریان i_b از طریق دیود هرزگرد D_4 جریان می‌یابد. ولتاژ دو سر L_b برابر است با:

$$v_{Lb} = -v_{lamp} \quad (11)$$

ولتاژ منفی باعث کاهش جریان i_b می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا این جریان از مقدار بیشینه به صفر برسد از قانون ولت-ثانیه به‌دست می‌آید:

$$T_{off} = \frac{(V_{dc} - v_{lamp}) D_1 T_s}{v_{lamp}} \quad (12)$$

برای کارکرد مدار در مود ناپیوسته، T_{off} باید از $(1 - D_1) T_s$ کوچک‌تر باشد. لذا داریم:

$$\frac{(V_{dc} - v_{lamp}) D_1 T_s}{v_{lamp}} \leq (1 - D_1) T_s \Rightarrow$$

$$V_{dc} \leq \frac{v_{lamp}}{D_1} \quad (13)$$

از آن‌جا که i_b به صورت شکل موج مثلثی می‌باشد، مقدار متوسط این جریان از تقسیم مقدار مساحت زیر منحنی جریان بر پریود T_s به‌دست می‌آید:

$$\bar{i}_b = \frac{0.5 i_{b,peak} (D_1 T_s + T_{off})}{T_s} = \frac{(V_{dc} - v_{lamp}) V_{dc} D_1^2 T_s}{2 L_b v_{lamp}} \quad (14)$$

از طرف دیگر، در شرایط دائمی، مقدار متوسط جریان i_b برابر است با:

$$\bar{i}_b = \frac{v_{lamp}}{R_{lamp}} \quad (15)$$

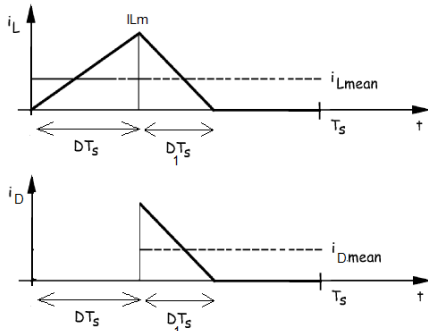
با برابر قرار دادن این دو رابطه مقدار L_b حاصل می‌شود:

$$L_b = \frac{(V_{dc} - v_{lamp}) V_{dc} D_1^2 T_s R_{lamp}}{2 v_{lamp}^2} \quad (16)$$

طراحی مقادیر مدار

به‌عنوان مثال، یک لامپ متال هالاید یا سدیم فشار بالا برای طراحی مقادیر المان‌ها در نظر گرفته می‌شود. مشخصات این لامپ در جدول ۱ نشان داده شده است.

خازن باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که ولتاژ را تقریباً ثابت نگه دارد. با استفاده از روش سعی و خطا، مقادیر خازن‌های C1 و C2، $4700 \mu F$ ، در نظر گرفته می‌شود. این مبدل در مود ناپیوسته عمل نموده و جریان سلف و جریان عبوری از دیود در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۶. جریان سلف و دیود در مدار مشتعل‌کننده

با مراجعه به مرجع [۱۹]، مقدار $L_1 = 2mH$ ، فرکانس سوئیچینگ $f_s = 30 kHz$ و سیکل وظیفه $D=0.333$ در نظر گرفته شده‌اند.

$$T_s = \frac{1}{f_s} = 33.33 \times 10^{-6} \quad (19)$$

در ابتدا با وصل شدن کلید، سلف L_1 تا جریان I_{Lm} شارژ می‌شود. در این زمان دیود D10 قطع است.

$$I_{Lm} = \frac{v_{dc} D T_s}{L_1} = \frac{120 \times 0.333 \times 33.33 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-3}} = 0.666 A \quad (20)$$

وقتی کلید قطع می‌شود، دیود وصل شده و انرژی ذخیره شده در سلف به خازن منتقل می‌شود. با فرض ولتاژ v_o برابر ۳۶۰ ولت، به‌منظور اطمینان از روشن شدن دیپاک SIDAC، داریم:

$$v_o - V_{dc} = L_1 \times \frac{I_{Lm}}{D_1 T_s} \Rightarrow \quad (21)$$

$$D_1 = \frac{2 \times 10^{-3} \times 0.666}{(360 - 120) \times 33.33 \times 10^{-6}} = 0.167$$

جریان متوسط دیود، خازن را شارژ می‌کند. بنابراین مقدار متوسط جریان شارژ خازن برابر است با:

$$I_{Dmean} = \frac{0.5 \times I_{Lm} \times D_1 \times T_s}{T_s} = 0.5 \times 0.666 \times 0.167 = 0.0556 A \quad (22)$$

$$v_o = R_1 \times I_{Dmean} \Rightarrow R_1 = \frac{360}{0.0556} = 6.47 k\Omega \quad (23)$$

با رسیدن ولتاژ خازن به ولتاژ شکست SIDAC (یک دیپاک با ولتاژ شکست ۳۵۰ ولت)، این قطعه روشن شده و اتصال کوتاه می‌شود. برای درک بهتر عملکرد، شکل ۱۷ نمودار جریان-ولتاژ SIDAC را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده

لذا به ازای ولتاژ ورودی $V_m = 240 \pm 10\%$ ، به‌منظور داشتن توان خروجی ثابت، درخصوص سیکل وظیفه داریم:

$$0.32 \leq D_1 \leq 0.39$$

مرحله‌ی سوم (محاسبه‌ی خازن C_b):

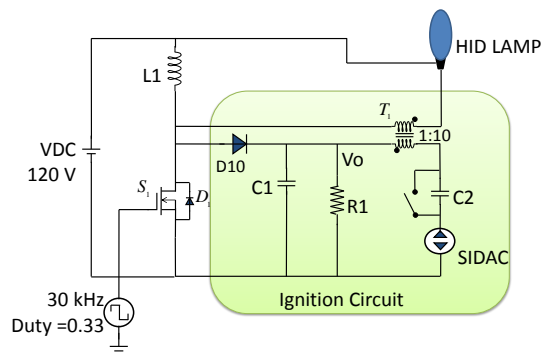
برای جلوگیری از تشدید آکوستیکی، نوسانات فرکانس بالای لامپ باید فیلتر شود. برای کاهش نوسانات تا ۱۰٪ مقدار ولتاژ لامپ، طبق مرجع [۲۰] داریم:

$$\frac{\Delta v_{lamp}}{v_{lamp}} = \frac{(1-D_1) T_s^2}{8 L_b C_b} \times 100 \quad (18)$$

با توجه به رابطه‌ی فوق، مقدار خازن باید از $1/3 \mu F$ بیشتر باشد. اما این خازن نمی‌تواند خیلی بزرگ انتخاب شود. با توجه به اینکه پلاریته‌ی ولتاژ در فرکانس پایین تغییر پیدا می‌کند، باید طوری انتخاب شود که با فرکانس پایین مدار تداخل نکند. لذا برای این خازن همان مقدار $1/3 \mu F$ در نظر گرفته می‌شود.

مدار مشتعل‌کننده و تعیین مقادیر آن

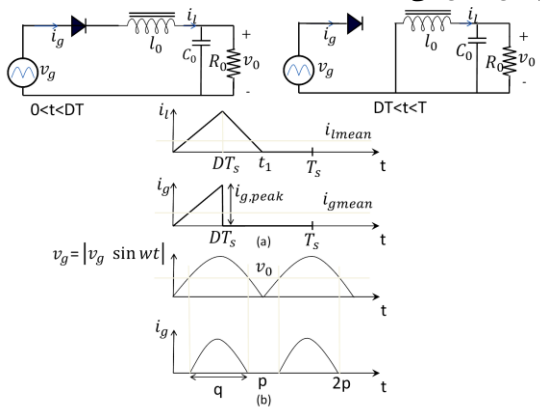
مدار مشتعل‌کننده در شکل ۱۵ نشان داده شده است. روش عملکرد مدار به این صورت است که ولتاژ ۱۲۰ ولت با اتصال کلید در دوسر سلف L_1 قرار می‌گیرد. هنگامی که کلید قطع می‌شود، انرژی ذخیره شده در سلف از طریق دیود D10 به خازن C1 منتقل می‌شود. دیود از برگشت ولتاژ خازن به سلف و ایجاد رزونانس جلوگیری می‌کند.



شکل ۱۵. مدار مشتعل‌کننده

مقادیر خازن و مقاومت طوری تعیین می‌شوند که ولتاژ دو سر خازن به ولتاژ شکست SIDAC برسد. ولتاژ شکست SIDAC برابر ۳۵۰ ولت است. اگر مقدار خازن خیلی کم باشد، با توجه به ثابت زمانی کوچک‌تر، انرژی شارژ شده در خازن C1 در مقاومت R_1 تخلیه شده و ولتاژ خازن به مقدار ۳۵۰ ولت نمی‌رسد و یا اینکه ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت نمی‌ماند و اگر خیلی هم بزرگ باشد، مدت زمان زیادتری برای شارژ آن نیاز است. بنابراین، باید به یک مقدار بهینه با این روش دست یافت. مقدار

لینک dc برابر ۲۲۰۰ میکروفاراد است. فیلتر ورودی برای حذف هارمونیک‌های فرکانس بالا و افزایش ضریب توان به کار می‌رود. این فیلتر شامل سلف ۲ میلی‌هائری و خازن ۰/۵ میکروفاراد می‌باشد. وقتی کلید وصل است سلف به‌صورت خطی شارژ می‌شود و وقتی کلید قطع است جریان سلف از دیود هرزگرد عبور می‌کند و به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. این عملکرد مدار در مود فرکانس بالا است. در مود فرکانس پایین (فرکانس خط ۵۰ هرتز)، تا زمانی که ولتاژ یکسوسوده از ولتاژ خروجی بیشتر باشد، جریان ورودی برقرار می‌شود و اگر ولتاژ یکسوسوده از خروجی کمتر باشد، جریان ورودی صفر می‌شود. شکل ۱۹، شکل موج‌های این مبدل را برای فرکانس‌های بالا و فرکانس‌های پایین نشان می‌دهد.

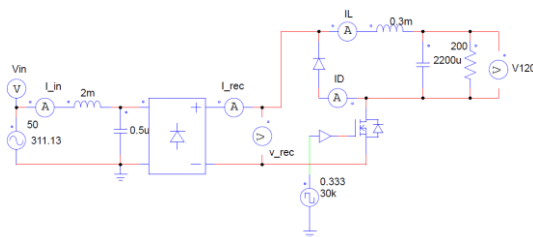


شکل ۱۹. a - مدار مبدل باک در مدهای وصل و قطع ماسفت-جریان سلف و ورودی در مود فرکانس بالا b - جریان ورودی در مود فرکانس پایین

با فرض ثابت بودن ولتاژ خروجی، جریان متوسط ورودی برابر است با:

$$i_{g,mean} = \frac{0.5 i_{g,peak} D T_s}{T_s} = 0.5 D i_{g,peak} = 0.5 D \frac{D T_s (v_g(t) - v_o)}{L} = \frac{0.5 D^2 (v_g(t) - v_o)}{L f_s} \quad (24)$$

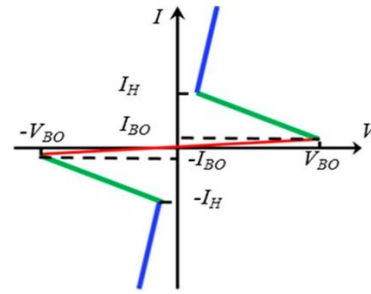
مدار باک برای ایجاد ولتاژ ۱۲۰ ولت در نرم افزار PSIM شبیه‌سازی شده است. شکل ۲۰ مدار شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰. مبدل باک برای تولید ولتاژ ۱۲۰ ولت مشتعل‌کننده، شبیه‌سازی شده در نرم افزار PSIM

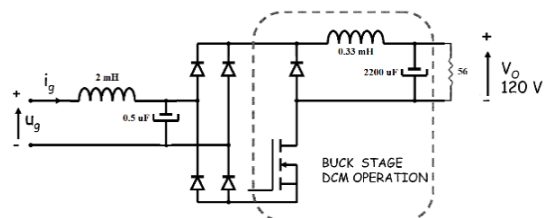
در شکل ۲۱ ولتاژ خروجی مبدل (۱۲۰ ولت)، ولتاژ خروجی یکسوساز (v_rec)، جریان خروجی یکسوساز (I_rec)، ولتاژ ورودی و جریان ورودی (با ضریب ۲۰۰ برابر) ترسیم شده

می‌شود که با افزایش ولتاژ و رسیدن آن به مقدار VBO جریان به شدت افزایش یافته و SIDAC اتصال کوتاه می‌شود.

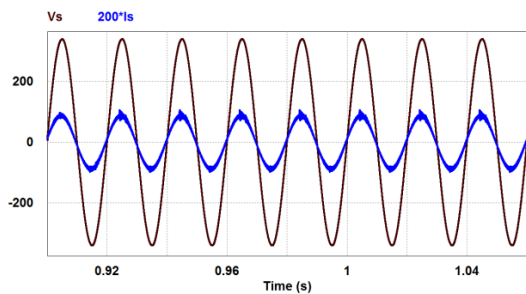


شکل ۱۷. مشخصه‌ی جریان-ولتاژ SIDAC

با اتصال کوتاه‌شدن دیاک، ولتاژ دو سر خازن C1 از طریق ترانسفورماتور شروع به شارژ کردن خازن C2 می‌کند. البته خازن C2 قبل از شروع به کار مشتعل‌کننده توسط مدار کنترل و کلید دو سر آن، دشارژ می‌شود. با اتصال کوتاه‌شدن آنی دیاک و خالی بودن خازن C2، ولتاژ ۳۵۰ ولت در یک لحظه به روی سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور می‌افتد. ترانسفورماتور این ولتاژ را ده برابر کرده و به دو سر لامپ اعمال می‌نماید و لامپ مشتعل می‌شود. قبل از اشتعال، مقاومت لامپ مقدار زیادی است (مدار باز فرض می‌شود). پس از برقراری اشتعال و ایجاد جریان در لامپ و گرم شدن آن، مقدار مقاومت آن به حدود ۱۰۰ اهم می‌رسد. هنگامی که خازن C2 شارژ می‌شود، ولتاژ دو سر دیاک کاهش یافته و دوباره خاموش می‌شود. با شارژ شدن کامل خازن C2 ولتاژ اولیه‌ی ترانسفورماتور به حدود صفر ولت می‌رسد. پس از اعمال سیگنال‌های اصلی کنترلی به لامپ، ترانسفورماتور مانند سیم عمل می‌نماید. البته مقادیر سلف نشستی ترانسفورماتور در مسیر لامپ قرار دارند. با خاموش شدن لامپ، مدار کنترل ولتاژ دو سر خازن C2 را از طریق کلید موازی با آن تخلیه می‌کند تا لامپ برای اشتعال مجدد آماده باشد. ولتاژ ۱۲۰ ولت dc از طریق مبدل باک با ضریب توان بالا قابل دستیابی است. این مبدل در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

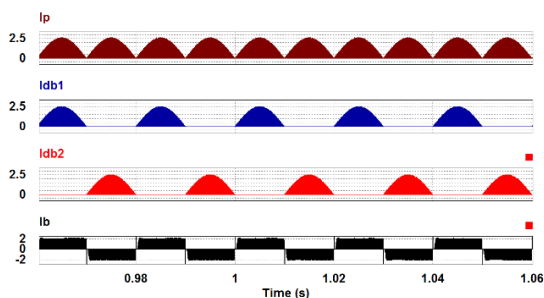


شکل ۱۸. مبدل باک برای تولید ولتاژ ۱۲۰ ولت مشتعل‌کننده ماسفت با فرکانس ۳۰ کیلوهرتز عمل می‌کند. سیکل وظیفه‌ی فرکانس سوئیچینگ برابر ۰/۳۳ می‌باشد. مقدار خازن



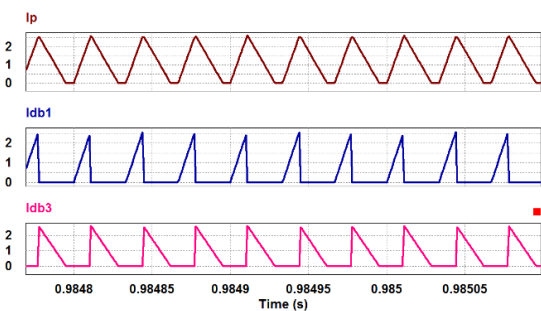
شکل ۲۴. ولتاژ و جریان ورودی بالاست با ضریب توان بالای ۰/۹۹ و THD حدود ۴ درصد

شکل ۲۵ جریان‌های مبدل باک-بوست و باک را نشان می‌دهد. این شکل شامل جریان I_p ، I_{db1} ، I_{db2} و I_b می‌باشد.



شکل ۲۵. جریان‌های مبدل باک-بوست و مبدل باک دوجهته

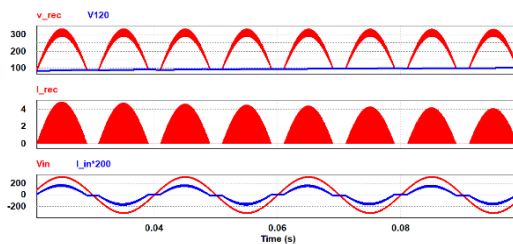
مقادیر پیک اندازه‌گیری شده برای جریان I_p برابر با ۲/۷۵ آمپر و برای جریان I_b برابر با ۲/۳ آمپر می‌باشد. شکل ۲۶ جریان‌های مبدل باک-بوست را در مود فرکانس بالا نشان می‌دهد. این شکل عملکرد صحیح مبدل باک-بوست را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۲۶. جریان‌های مبدل باک-بوست در مود ناپیوست

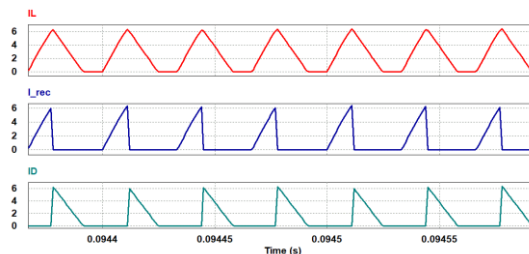
شکل ۲۷ جریان کلید S1، جریان مبدل باک-بوست و جریان مبدل باک را نشان می‌دهد. این شکل بیان می‌دارد که جریان کلید S1 در زمان روشن‌بودن، برابر مجموع جریان‌های I_b و I_p است.

است. نتایج شبیه‌سازی، مقدار ضریب‌توان را ۰/۹۷ نشان می‌دهد که به مقدار واحد نزدیک است.



شکل ۲۱. نمودارهای مبدل باک - ولتاژ ۱۲۰ ولت و ولتاژ خروجی یکسوساز - جریان خروجی یکسوساز - ولتاژ ورودی و جریان ورودی خط

در شکل ۲۲ جریان سلف، جریان خروجی پل دیودی و جریان دیود هرزگرد با وضوح بیشتر در مود فرکانس بالا نشان داده شده است.



شکل ۲۲. نمودارهای مبدل باک در مود فرکانس بالا- جریان سلف، جریان یکسوساز و جریان دیود هرزگرد

نتایج و بحث

مدار طراحی شده در نرم‌افزار PSIM با مقادیر زیر شبیه‌سازی شده است.

$$L_m = 2 \text{ mH}, C_m = 0.5 \mu\text{F}, L_p = 1.428 \text{ mH},$$

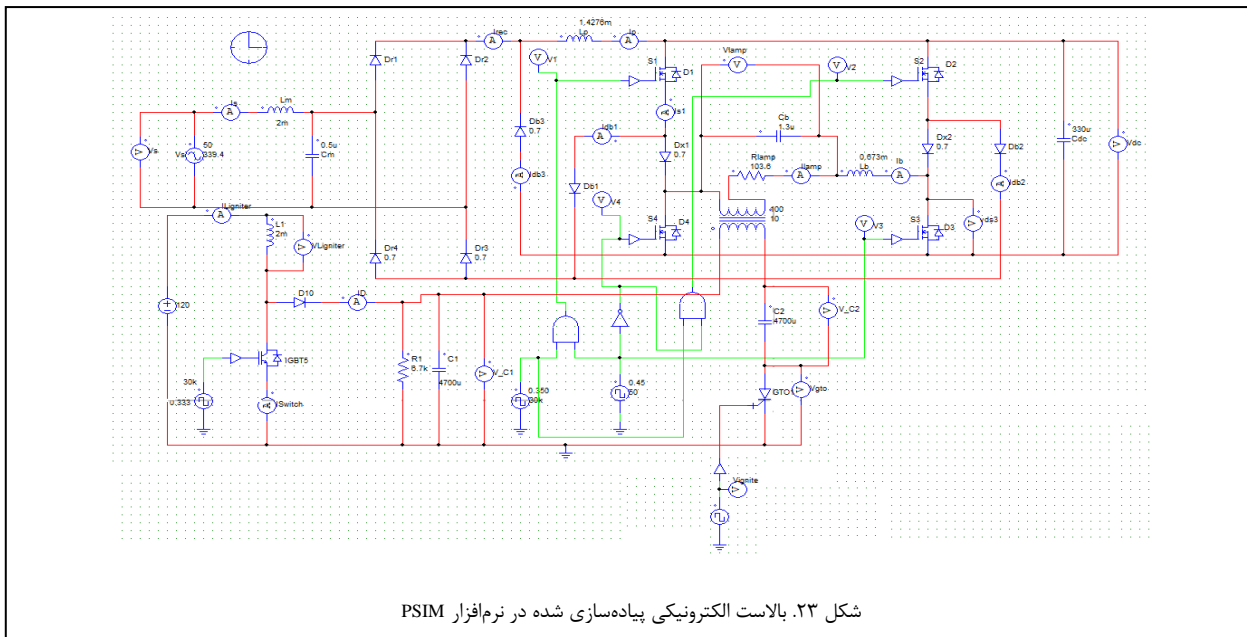
$$L_b = 0.673 \text{ mH}, C_b = 1.3 \mu\text{F}, C_{dc} = 330 \mu\text{F}$$

$$L_1 = 2 \text{ mH}, C_1 = C_2 = 4700 \mu\text{F}, R_1 = 6.47 \text{ k}\Omega$$

برای ماسفت‌ها می‌توان از ترانزیستور 2sk2843 و برای دیودها از قطعه MUR460 استفاده کرد.

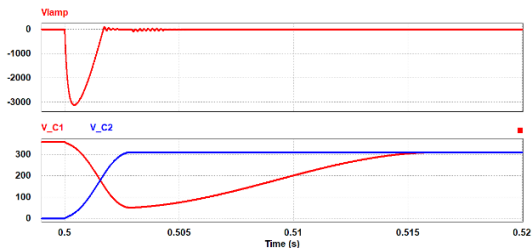
شکل ۲۳ مدار پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار PSIM را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴ ولتاژ ورودی و جریان ورودی مدار (با ضریب ۲۰۰) را نشان می‌دهد. در این شکل، مقدار ضریب‌توان بیشتر از ۰/۹۹ و مقدار THD حدود ۴ درصد است.

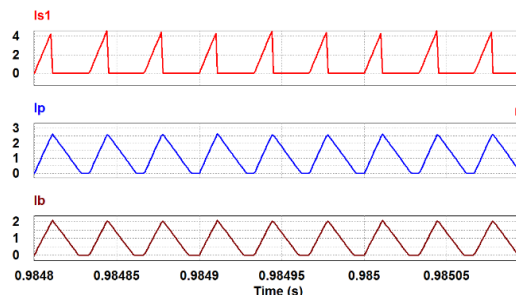


شکل ۲۳. بالاست الکترونیکی پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار PSIM

کنترل، تخلیه شده و برای اشتعال بعدی آماده می‌شود. اگر خازن C2 تخلیه نشود، امکان اشتعال مجدد وجود نخواهد داشت. چرا که با افزایش دوباره ولتاژ خازن C1، خازن C2 با توجه به پر بودن، اجازه‌ی افزایش ولتاژ SIDAC و روشن شدن مجدد آن را نخواهد داد. با توجه به اینکه در این شبیه‌سازی، رفتار لامپ در زمان روشن شدن (شامل حالت اشتعال و حالت پایدار) و با فرض مقدار اولیه‌ی ولتاژ خازن C2 برابر صفر، بررسی شده است، مدار دشارژ خازن C2 در شکل ۲۳ نشان داده نشده است. همچنین ولتاژ ۱۲۰ ولت ورودی مدار مشتعل کننده به صورت شماتیک در این مدار نشان داده شده است. ولی در نتایج شبیه‌سازی برای ایجاد ولتاژ ۱۲۰ ولت از مدار شکل ۲۰ استفاده شده است. شکل ۲۸ عملکرد مدار مشتعل کننده را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که ولتاژ دو سر لامپ به مقدار ۳۲۰۰ ولت رسیده و لامپ مشتعل شده است. ابتدا خازن C1 تا حدود ۳۶۰ ولت شارژ می‌شود. با روشن شدن GTO، ولتاژ خازن C1 افت ناگهانی داشته و سپس ولتاژ آن به همراه ولتاژ C2 شروع به افزایش کرده و سپس این ولتاژها به هم می‌رسند.



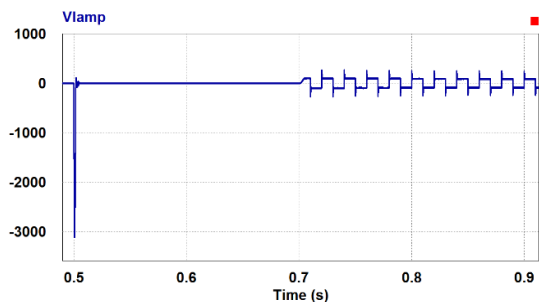
شکل ۲۸. ولتاژ دو سر لامپ و ولتاژهای دو سر خازن C1 و C2 در زمان اشتعال



شکل ۲۷. جریان‌های کلید S1، مبدل باک-بوست و مبدل باک

برای شبیه‌سازی مدار مشتعل کننده در PSIM از یک GTO با قابلیت روشن و خاموش شدن با سیگنال پالس استفاده شده است (با توجه به اینکه مدل SIDAC در نرم افزار PSIM وجود ندارد، رفتار این قطعه با یک GTO شبیه سازی شده است). بدین صورت که با شارژ شدن خازن C1، ولتاژ دو سر GTO (همان SIDAC در مدار واقعی) از ۳۵۰ ولت بالاتر رفته و در این هنگام فرمان وصل GTO با یک پالس صادر می‌شود (در واقعیت، این امر به صورت خودکار اتفاق می‌افتد. یعنی با افزایش ولتاژ دو سر خازن C1 و رسیدن این ولتاژ به مقدار شکست SIDAC، این قطعه روشن شده و اتصال کوتاه می‌شود. در حالی که در این شبیه‌سازی با رسیدن ولتاژ خازن به مقدار ۳۶۰ ولت، GTO با یک پالس روشن می‌شود تا رفتار مشابه با SIDAC حاصل شود). با روشن شدن GTO، مقدار ولتاژ خازن C2 شروع به افزایش می‌کند. بدین ترتیب، ولتاژ دو سر خازن C1، C2 با هم برابر می‌شود و ولتاژ دو سر GTO کاهش می‌یابد. در این زمان فرمان قطع پالس گیت GTO ارسال شده تا GTO (SIDAC) مدار واقعی در این زمان به طور خودکار خاموش می‌شود (خاموش شود. برای مشتعل کردن دوباره‌ی لامپ، ولتاژ دو سر خازن C2 توسط کلید موازی با آن و بوسیله‌ی مدار

رسید. بنابراین لامپ مشتعل می‌شود. در این هنگام با توجه به روشن شدن GTO و اتصال کوتاه شدن آن، خازن C2 شارژ شده و ولتاژ آن افزایش می‌یابد و با توجه به برابر شدن ولتاژ خازن‌های C1 و C2، ولتاژ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور صفر می‌شود و بنابراین ترانسفورماتور مانند سیم عمل می‌نماید. در ثانیه‌ی ۰/۷ سیگنال‌های مود پایدار به پایه‌های گیت-سورس مسافت‌ها اعمال می‌شوند. بنابراین لامپ وارد مود عملکرد پایدار می‌شود.

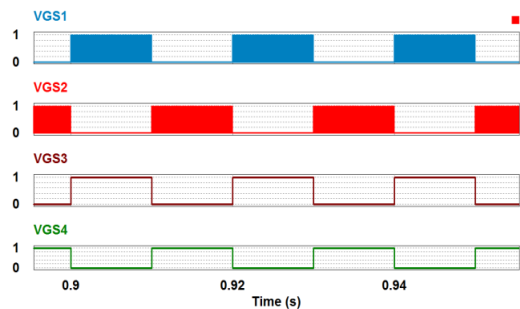


شکل ۳۱. ولتاژ دو سر لامپ در مود اشتعال و پایدار به صورت ترکیبی

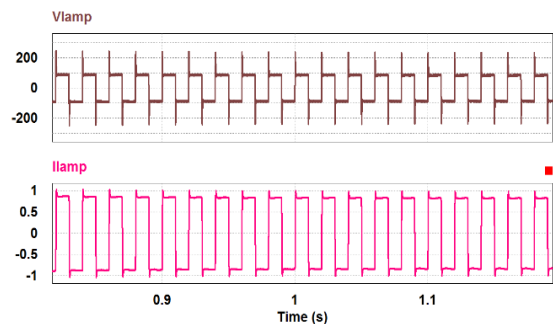
نتیجه‌گیری

در این مقاله مدار بالاست الکترونیکی برای لامپ HID با توان ۷۰ وات (متال-هالاید و سدیم فشار بالا) با روش موج مربعی فرکانس پایین ارائه شده است. این مدار از مبدل باک-بوست، باک و اینورتر به صورت مجتمع استفاده نموده است. برای به‌دست آوردن ضریب توان بالا از روش سوئیچینگ در مود گسسته استفاده شده است، تا ضریب توان بالا و اعوجاج هارمونیک پایین به‌دست آید. مدار مشتعل‌کننده‌ی لامپ به طور کامل تحلیل و بررسی شده است و مدار مورد نظر به همراه مبدل باک برای تولید ولتاژ ۱۲۰ ولت مدار مشتعل‌کننده ارائه شده است. مدارهای تحلیل‌شده، در نرم‌افزار PSIM شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی با تئوری مقایسه شده است. با توجه به عمر طولانی، شدت نوردی بالا، تفکیک‌پذیری نور و ابعاد مناسب، این لامپ‌ها و مدار بالاست ارائه شده به طور کاملاً عملی در صنایع نظامی و فضایی مثل بال‌های ثابت هواپیما و هلیکوپترها، مسیر فرود و فرودگاه، فضاهای امنیتی، گشت‌زنی مرزی، عملیات نجات و جستجو، سالن‌ها و فضاهای باز کاربرد دارد.

با برابری ولتاژ خازن‌های C1 و C2، فرمان قطع GTO ارسال شده و لامپ وارد مود عملکرد پایدار می‌شود. در این مود سیگنال‌های گیت کلیدها مطابق شکل ۲۹ اعمال می‌شود. با اشتعال لامپ و اعمال سیگنال‌های گیت، مدار وارد مود عملکردی پایدار می‌شود. شکل ۳۰ ولتاژ و جریان عملکردی لامپ را در مود پایدار نشان می‌دهد.



شکل ۲۹. ولتاژ اعمالی به کلیدهای S1 تا S4 در مود عملکردی حالت پایدار



شکل ۳۰. ولتاژ و جریان عملکردی لامپ در مود پایدار

همچنین میزان نوسانات لامپ در مود فرکانس بالا برابر ۸ ولت اندازه‌گیری شد که برابر ۹/۴ درصد ولتاژ نامی لامپ می‌باشد. در این شکل ولتاژ دو سر لامپ ۸۵ ولت و جریان عبوری از آن حدود ۰/۸۲۵ آمپر اندازه‌گیری شد که نشان‌دهنده‌ی توان متوسط ۷۰ وات برای لامپ است. شکل ۳۱ ولتاژ دو سر لامپ در مود اشتعال و پایدار را به صورت ترکیبی نشان می‌دهد. در این شکل، قبل از ثانیه‌ی ۰/۵ ولتاژ خازن C1 به مقدار حدود ۳۶۰ ولت شارژ شده است. در ثانیه‌ی ۰/۵ فرمان وصل GTO ارسال شده است. بنابراین ولتاژ دو سر اولیه‌ی ترانسفورماتور به‌صورت ناگهانی به مقدار حدود ۳۵۰ ولت رسیده است و با توجه به نسبت ترانسفورماتور، این ولتاژ در ثانویه‌ی ترانسفورماتور به مقدار ۳۲۰۰ تا ۳۵۰۰ ولت خواهد

مراجع

- [12] M. Shen, Z. Qian, and F. Z. Peng, "Design of a two-stage low-frequency square-wave electronic ballast for HID lamps", *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol. 39, No. 2, pp. 424–430, Mar. Apr. 2003.
- [13] H. Li, M. Shen, Y. Jiang, and Z. Qian, "A novel low-frequency electronic ballast for HID lamps", *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol. 41, No. 5, pp. 1401–1408, Sep./Oct. 2005.
- [14] T. J. Liang and C. M. Huang, "Interleaving controlled three-leg electronic ballast for dual-HID-lamps", *IEEE Trans. Power Electron.* Vol. 23, No. 3, pp. 1401–1409, May 2008.
- [15] R. Orletti, M. A. Co, D. S. L. Simonetti, and J. L. F. Vieira, "HID lamp electronic ballast with reduced component number", *IEEE Trans. Ind. Electron.* Vol. 56, No. 3, pp. 718–725, Mar. 2009.
- [16] M. A. Dalla Costa, J. M. Alonso, J. Cardesin, J. García, and D. G. Lamar, "A Single-stage high-power-factor electronic ballast based on integrated buck flyback converter to supply metal halide lamps", *IEEE Trans. Ind.*
- [17] Chin-Sien Moo, Chun-Kai Huang, Kuo-Hsing Lee and Dai-Jie Huang, "Repeatedly Resonating Ignition Circuit for HID Lamp Electronic Ballast", *IEEE Trans on Industrial Electronics*, Vol. 58, No 1, Jan 2011.
- [18] Chin-Sien Moo, Chun-Kai Huang, Kuo-Hsing Lee, Dai-Jie Huang, "Repeatedly Resonating Ignition Circuit for HID Lamp Electronic Ballasts", *IEEE Trans on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 1, Jan. 2011.
- [19] Manuel Rico-Secades, Emilio L. Corominas, J. Marcos Alonso, Javier Ribas, Jesús Cardesin, Antonio J. Calleja and Jorge García-García, "Complete Low-Cost Two-Stage Electronic Ballast for 70-W High-Pressure Sodium Vapor Lamp based on current mode control of buck-boost inverter", *IEEE Trans on Industry Applications*, Vol. 41, No. 3, May/June 2005.
- [20] I. Batarseh, "Power Electronic Circuits, NJ. Wiley", 2004.
- [1] J. Q. Duowen, "HID and LED Lightening for Aerospace, Marine, Military and Industry", www.Xevision.com.
- [2] W. G. Smarf, "Security Lighting, Guidance for Security Managers", CPNI. 2015.
- [3] J. A. Dutton, "Types of Lighting, High Intensity Discharge", Penn State College of Earth and Mineral.
- [4] "High-Intensity Discharge Lamp", Wikipedia.
- [5] M. Bairanzade, "Electronic Lamp Ballast Design-N1543/D", www.onsemi.com.
- [6] F. S. Dos Reis, R. Tonkoski, "Electronic Ballast Design Systems", IECON Conference. 2003.
- [7] M. A. Dalla Costa, J. M. Alonso, J. García, J. Cardesin, M. RicoSecades, "Acoustic Resonance Characterization of Low-Wattage Metal halide Lamps Under Low-Frequency Square-Waveform Operation", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol.22, pp. 735–743,2007.
- [8] T. J. Liang, C. M. Huang, "Interleaving Controlled Three-Leg Electronic Ballast for Dual-HID-Lamps", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol.23, pp.1401–1409, 2008.
- [9] Chun. Cheng, Hung-Liang. Cheng, Chen Wei. Ku, Tsung Yuan. Chung, "Design and Implementation of a Single-Stage Acoustic-Resonance-Free HID Lamp Ballast with PFC", *IEEE Trans. Power Electron.* Vol.29, 2014.
- [10] D. H. J. vanCasteren, M.A.M.Hendrix, and J. L. Duarte, "Controlled HID lamp-ballast interaction for low-frequency square-wave drivers", *IEEE Trans. Power Electron.* Vol. 22, No. 3, pp. 780–788, May 2007.
- [11] Y. T. Huang, H. C. Hsiao, Y. H. Liu, C. R. Lee, and L. L. Lee, "A novel constant-power control for metal-halide lamp electronic ballasts with dimming", Jun. 2010.