استفاده از نورافکن‌ها و چراغ‌های خیابانی LED در طراحی شهری با تمرکز بر رعایت الزامات فنی در طراحی و ساخت مدار کنترل‌کننده

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۴
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۱۲/۱

سینا شاه محمدی* ـ عبدالرضا رحمتی**

چکیده

در این مقاله مشخصات فنی و قسمت‌های مختلف مدار کنترل‌کننده‌ی ماژول LED با توان اسمی ۶۵ وات که در شرکت صنایع الکترونیک افراتاب ساخته شده است، تشریح شده است. این مدار شامل بخش‌های اصلی مدار حفاظت و فیلتر EMI ورودی، مدار اصلاح ضریب‌توان با توپولوژی Boost و مدار درایور ماژول LED است که به صورت یک کنترل‌کننده جریان ثابت در محدوده تغییرات ولتاژ ورودی و بار خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب‌توان اندازه‌گیری شده در این مدار به ازای ولتاژ ورودی 230VAC بیش از ۰/۹۶ و اعوجاج هارمونیکی کل (THD) جریان ورودی آن کمتر از ٪۱۰ است. برخلاف مدارهای کنترل‌کننده و منابع تغذیه بدون اصلاح ضریب‌توان، در این مدار پیک‌های شدید جریان ورودی و شکل موج غیر سینوسی با اعوجاج بالا وجود ندارد و شکل موج جریان ورودی شبه سینوسی و با مؤلفه‌های اعوجاج هارمونیکی با دامنه بسیار کم است و الزامات کلاس C استاندارد IEC61000-3-2 را به طور کامل بر آورده می‌سازد. با توجه به انتخاب مدارهای مجتمع به‌کار رفته و نحوه کارکرد این مدار، بازدهی بالا نیز از دیگر خصوصیات این کنترل‌کننده است.

واژگان کلیدی: اصلاح ضریب‌توان، اعوجاج هارمونیکی، مدار کنترل‌کننده ماژول LED.

* دانشجوی دکتری مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
Email: shahmohammadi@iust.ac.ir
** دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

مقدمه

امروزه با گسترش فن‌آوری ساخت منابع نوری نیمه هادی و LEDهای توان بالا، طراحی و ساخت مدارهای کنترل‌کننده ماژول LED با جریان ثابت، بازدهی بالا، ضریب‌توان بالا و هارمونیک‌های جریان پایین یکی از نیازهای اصلی جهت به کارگیری LEDهای توان بالا به منظور کاربرد در مصارف روشنایی و نورپردازی محسوب می‌شود. لازم به ذکر است که مشخصات نورسنجی و شارنوری LEDها برحسب جریان اعمالی به آن‌ها تعیین می‌گردند؛ به عبارت دیگر، با اعمال ولتاژ ثابت به LEDها نمی‌توان پیش‌بینی درستی از کیفیت نور تولید شده و شار نوری آن‌ها داشت. درحالی که در مدار کنترل‌کننده جریان ثابت، با تنظیم و تثبیت جریان خروجی، می‌توان برای LEDهای سازنده‌های مختلف، شارنوری و مشخصات نور سنجی مطلوب را به دست آورد (Maxim Integrated, 2004). همچنین طول عمر LEDها توسط درایور با جریان ثابت بیشتر می‌گردد (Huang et al., 2011).

لازم به ذکر است که در مدارهای کنترل‌کننده جریان ثابت، مشخصات نورسنجی درحین کارکرد علی‌رغم تغییرات دمای محیط و نیز افزایش دمای LED در حین کارکرد ثابت است، زیرا جریان عبوری از LEDها ثابت می‌ماند. در حالی که در درایورهای ولتاژ ثابت در حین کارکرد، با توجه به منحنی جریان برحسب ولتاژ LED ، جریان عبوری از LED به میزان قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند که این امر باعث تغییر شار نوری و مشخصات نورسنجی در حین کارکرد مدار می‌گردد (Gupta & Prasad, 2011).

از طرف دیگر، معمولاً برای LEDها میزان جریان قابل تحمل برحسب دمای محیط در برگه اطلاعات آن‌ها قید می‌گردد. لذا تحریک ماژول LED با مدار کنترل‌کننده جریان ثابت این اطمینان را به همراه خواهد داشت که جریان عبوری، از حداکثر جریان قابل تحمل ماژول بیشتر نمی‌گردد. در حالی که در صورت تحریک ماژول LED با یک مدار کنترل‌کننده ولتاژ ثابت، با افزایش دما و کاهش ولتاژ هدایت مستقیم LEDها، احتمال تجاوز از حداکثر جریان قابل تحمل LEDها و درنتیجه سوختن آن‌ها وجود دارد.

علاوه بر ثابت بودن جریان ماژول LED که پیشتر به آن اشاره شد، داشتن بازدهی بالا نیز از دیگر موارد مورد توجه است، زیرا یکی از مهم‌ترین انگیزه‌های کاربرد LEDها در روشنایی، بازدهی نوری بالای آن‌ها است و این مهم زمانی منجر به تولید محصول نهایی با بازدهی بالا می‌گردد که مدار کنترل‌کننده ماژول LED نیز دارای کمترین میزان اتلاف توان باشد. از این رو استفاده از مدارهای سوئیچینگ جایگزین استفاده از مدارهای خطی شده است تا علاوه بر ابعاد کمتر، بازدهی بالاتری را در مقایسه با مدارهای کنترل‌کننده خطی ایجاد نماید (Pressman et al., 2009 & Broeckl et al., 2007).

نکته مهم دیگری که در طراحی مدار کنترل‌کننده ماژول LED اهمیت فراوانی دارد، داشتن مداری با ضریب‌توان بالا و هارمونیک‌های جریان ورودی پایین است. لازم به توضیح است که نسبت توان اکتیو به توان ظاهری در یک مدار را ضریب‌توان مدار می‌نامند. لذا هرچه ضریب‌توان در یک مدار کنترل‌کننده ماژول LED به یک نزدیک‌تر باشد و شکل موج جریان ورودی به شکل موج سینوسی شبیه‌تر باشد، مدار کنترل‌کننده از نظر شبکه برق، بار مناسب‌تری خواهد داشت. به همین دلیل، معمولاً از طرف شرکت‌های متولی نظارت بر کیفیت برق شبکه و بر اساس استانداردهای تدوین شده، توصیه می‌شود تا مصرف‌کنندگان با مدار اصلاح ضریب‌توان، ضریب‌توان را افزایش و هارمونیک‌های جریان ورودی را کاهش دهند.

به منظور یکسوسازی ولتاژ متناوب برق شهر در مدارهای کنترل‌کننده‌ای که مدار اصلاح ضریب‌توان ندارند، غالباً از یک پل دیودی به همراه یک خازن با ظرفیت بالا به صورت یک فیلتر پایین گذر در خروجی پل دیودی استفاده می‌شود. هر چه خازن استفاده شده ظرفیت بزرگتری داشته باشد، ولتاژ مستقیم (DC) تولید شده در خروجی یکسوکننده ریپل کمتری خواهد داشت.

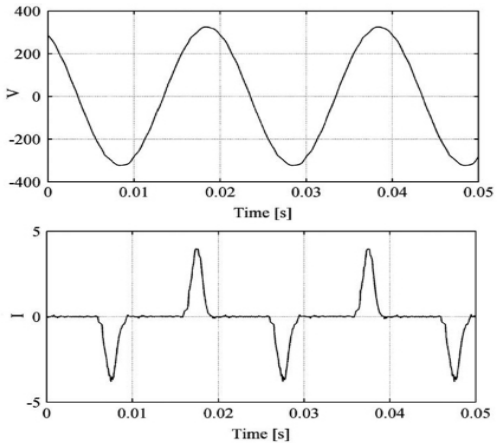
ریپل ولتاژ کمتر به این معناست که ولتاژ یکسو شده خروجی پل دیودی، در بیشتر مواقع کمتر از ولتاژ دو سر خازن است؛ از این رو دیودهای یکسوکننده تنها در بازه محدودی از نیم سیکل‌های ورودی هدایت می‌شوند. درنتیجه شکل موج جریان ورودی به صورت قله‌هایی با پهنای کم و با پیک شدید خواهد بود. شکل ۱ جریان و ولتاژ یک مدار کنترل‌کننده ماژول LED فاقد مدار اصلاح ضریب‌توان را نشان می‌دهد؛ این مدار به صورت یک بار غیر خطی عمل می‌کند.

در برخی موارد، مقدار پیک جریان ۵ تا ۱۰ برابر مقدار جریان متوسط مدار خواهد بود که این شکل موج جریان باعث ایجاد مشکلاتی نظیر اعوجاج ولتاژ برق شبکه، عبور جریان اضافی از سیم خنثی در سیستم سه فاز و در نتیجه کاهش کیفیت توان شبکه برق می‌گردد. یک مدار کنترل‌کننده ماژول LED بدون مدار اصلاح ضریب‌توان، ضریب‌توان پایینی در حدود ۰/۵ تا ۰/۷ و اعوجاج هارمونیکی کل (THD) جریان ورودی بزرگتر از ٪۱۰۰ دارد.

این در حالی است که با استفاده از مدار اصلاح ضریب‌توان با توپولوژی Boost در این مدار کنترل‌کننده، ضریب‌توان اندازه‌گیری شده بیش از ۰/۹۶ و THD کمتر از ٪۱۰ به دست آمده است و علاوه بر آن تک تک مؤلفه‌های هارمونیکی جریان نیز از میزان تعیین شده در کلاس C استاندارد IEC61000-3-2 کمتر می‌باشد (IEC, 2009). در این مقاله ابتدا به توصیف قسمت‌های مختلف و تشریح نحوه عملکرد مدار کنترل‌کننده ماژول LED پرداخته می‌شود و در ادامه نحوه

ساخت و نتایج اندازه‌گیری مشخصات فنی تبیین می‌گردد.

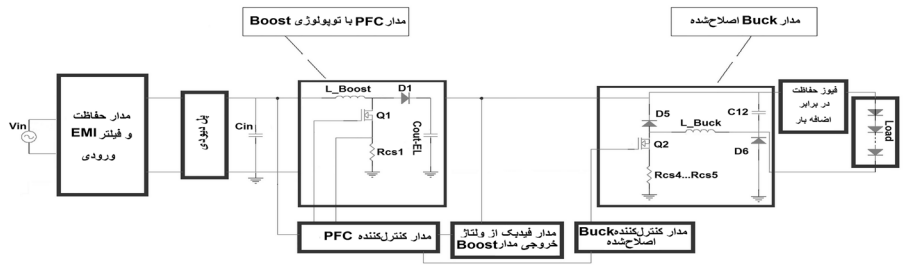
شکل ۱: شکل موج جریان و ولتاژ یک مدار کنترل‌کننده‌ی ماژول LED فاقد مدار اصلاح ضریب‌توان



۱. توصیف قسمت‌های مختلف مدار کنترل‌کننده ماژول LED

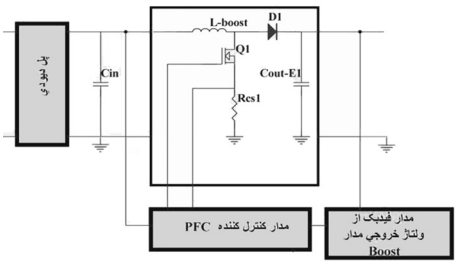
مدار کنترل‌کننده ماژول LED از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که عبارتند از: مدار حفاظت و فیلتر EMI ورودی، مدار اصلاح ضریب‌توان با پیکره بندی Boost به انضمام مدار کنترل‌کننده آن و مدار فیدبک از ولتاژ خروجی مدار اصلاح ضریب‌توان، مدار درایور LED که دارای پیکره بندی Buck اصلاح شده است به انضمام مدار کنترل‌کننده آن. در شکل ۲ قسمت‌های مختلف مدار کنترل‌کننده ماژول LED نشان داده شده است.

شکل ۲: قسمت‌های مختلف تشکیل‌دهنده مدار کنترل‌کننده ماژول LED



مدار حفاظت و فیلتر EMI ورودی وظیفه حفاظت از مدار در برابر شرایط خطا، جلوگیری از انتقال نویز شبکه سراسری برق به مدار و نیز جلوگیری از انتقال نویز از مدار به شبکه را به عهده دارد. نویزهای مود مشترک و مود تفاضلی توسط اندوکتانس‌ها و خازن‌های این مدار حذف می‌شوند. همچنین از فیوز جهت حفاظت مدار در برابر جریان اضافی، مقاومت حساس به دما با ضریب دمایی منفی جهت حفاظت از مدار در لحظه راه‌اندازی و در برابر جریان‌های هجومی و وریستور جهت حفاظت از مدار در برابر افزایش ناگهانی و ناخواسته ولتاژ ورودی استفاده شده است.
برای مدار اصلاح ضریب‌توان پیکره بندی‌های مختلفی پیشنهاد شده است که با استفاده از تکنیک‌های سوئیچ‌زنی مختلف، شکل موج جریان ورودی را وادار می‌کند تا تغییرات شکل موج ولتاژ ورودی را دنبال کند، تا بدین وسیله علاوه بر افزایش ضریب‌توان، THD جریان ورودی نیز کاهش یابد. در انتخاب یک مدار اصلاح ضریب‌توان مناسب، تعداد عناصر مداری مورد نیاز، توان مصرفی مدار و کیفیت کارکرد مدار نقش مهمی دارند. در این مدار اصلاح ضریب‌توان، از مدار سوئیچ‌زنی با پیکره بندی Boost استفاده شده است که با کنترل سوئیچ‌زنی و با استفاده از مدارهای فیدبک مورد استفاده، جریان ورودی بسیار نزدیک به شکل موج سینوسی و همفاز با ولتاژ برق شبکه است. در شکل ۳ طرحواره مدار اصلاح ضریب‌توان به همراه مدار فیدبک از ولتاژ خروجی آن و مدار کنترل‌کننده اصلاح ضریب‌توان نشان داده شده است.

شکل ۳: طرحواره مدار اصلاح ضریب‌توان به همراه مدار فیدبک از ولتاژ خروجی آن و مدار کنترل‌کننده اصلاح ضریب‌توان

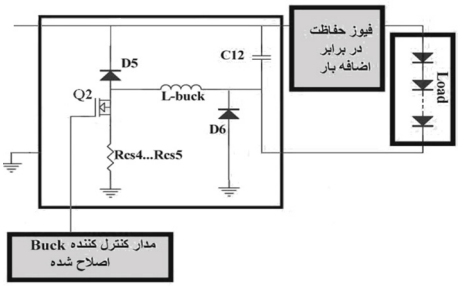


این مدار به تعداد قطعات کمی جهت ساخت نیاز دارد که در نتیجه باعث کاهش قیمت تمام شده محصول می‌گردد. همچنین اندوکتانس Boost بین پل دیودی و سوئیچ قرار دارد تا تغییرات جریان ورودی بر حسب زمان (dI/dt) را کاهش دهد. از این رو، با کاهش تغییرات شدید جریان عبوری از المان‌ها، می‌توان سوئیچ و دیود قدرت با قیمت کمتری را انتخاب کرد و نیز عمر المان‌ها به خاطر کاهش تغییرات شدید جریان عبوری از آن‌ها افزایش می‌یابد.

لازم به ذکر است که اندوکتانس Boost، نویز ایجاد شده در ورودی مدار را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد که این مسأله منجر به ساده‌تر شدن مدار فیلتر EMI ورودی می‌گردد. نکته این طرح سهولت کنترل جریان سوئیچ توسط مقاومت‌های حسگر جریان است، زیرا سورس سوئیچ مستقیماً به زمین متصل شده است.

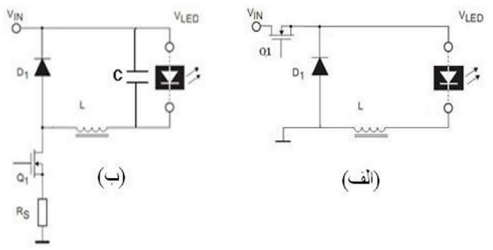
قسمت درایور ماژول LED دارای ساختار Buck اصلاح شده است که کنترل روشن و خاموش شدن سوئیچ درایور، با توجه به جریان عبوری از مقاومت‌های حسگر جریان را بر عهده دارد و جریان ثابتی را برای کارکرد ماژول LED فراهم می‌کند که با تغییر ولتاژ ورودی و تغییر بار در گستره کارکرد، تقریباً ثابت می‌ماند. در شکل ۴ طرحواره مدار درایور Buck اصلاح شده به همراه مدار کنترل‌کننده آن نشان داده شده است.

شکل ۴: طرحواره مدار درایور Buck اصلاح شده به همراه مدار کنترل‌کننده آن



در این مدار یک پتانسیومتر در قسمت مقاومت حسگر جریان قرار داده شده است که جریان خروجی درایور را با تغییر مقاومت آن می‌توان به دلخواه تنظیم کرد. تنظیم جریان خروجی توسط پتانسیومتر به این دلیل است که جریان LEDهای سازنده‌های مختلف به منظور حصول شارنوری و مشخصات نور سنجی مطلوب قابل تنظیم گردد. در مدار درایور Buck اصلاح شده، سورس سوئیچ توسط مقاومت حسگر جریان به زمین مدار متصل است و در نتیجه کنترل کردن سوئیچ در این مدار به مراتب ساده‌تر از مدار Buck معمولی است که سوئیچ بین ورودی و اندوکتانس قرار می‌گیرد (STMicro-electronics, 2009). در شکل ۵ تفاوت پیکره‌بندی مدار Buck اصلاح شده و مدار Buck معمولی نشان داده شده است.

شکل ۵: ا لف : پیکربندی مدار Buck معمولی ب: پیکربندی مدار Buck اصلاح شده



جهت داشتن نوری یکنواخت با توجه به مشخصه جریان ـ ولتاژ LEDها، جریان عبوری از LEDها باید ثابت باشد و در صورت تغییر ولتاژ هدایت (V_F) برای LED، با تغییر دما نیز توسط فیدبک مناسبی جریان اعمالی به LEDها ثابت بماند، لذا مدار درایور به صورت یک منبع جریان ثابت طراحی شده که جریان مورد نیاز برای روشنایی LEDها را فراهم می‌آورد.

۲. تشریح نحوه عملکرد مدار کنترل‌کننده ماژول LED

در حین کارکرد مدار اصلاح ضریب‌توان، سوئیچ MOSFET (Q_2) که در شکل ۳ نشان داده شده است، توسط مدار کنترل‌کننده اصلاح ضریب‌توان، با توجه به فیدبک‌های دریافتی از ولتاژ ورودی و خروجی مدار مذکور و جریان عبوری از سوئیچ، روشن و خاموش می‌گردد. در این مدار از روش مدولاسیون پهنای پالس استفاده شده است که در ناحیه گذار کار می‌کند. منظور از ناحیه گذار، مرز بین عملکرد مدار در ناحیه پیوسته و ناپیوسته است.

مدار کنترل‌کننده اصلاح ضریب‌توان از یک مدار مجتمع جهت کنترل سوئیچ بهره می‌گیرد. مدار فیدبک از ولتاژ خروجی مدار اصلاح ضریب‌توان، نمونه‌برداری کرده و به مدار مجتمع اعمال می‌کند. تقویت کننده خطای داخل مدار مجتمع، سیگنالی متناسب با تفاضل ولتاژ مرجع داخل مدار مجتمع و ولتاژ فیدبک تولید می‌کند. در صورتی که پهنای باند تقویت کننده خطا به اندازه کافی کوچک باشد سیگنال خطای خروجی تقویت کننده یک مقدار ثابت در هر سیکل خواهد بود. سیگنال خطای ایجاد شده در درون مدار مجتمع به ورودی یک ضرب کننده وارد می‌شود و با درصدی از ولتاژ یکسو شده ورودی مدار اصلاح ضریب‌توان ضرب می‌شود. نتیجه حاصل‌ضرب، یک سیگنال سینوسی یکسو شده است که مقدار پیک آن به پیک ورودی و میزان سیگنال خطا بستگی دارد. خروجی ضرب کننده به پایه ورودی منفی مقایسه‌گر داخل مدار مجتمع متصل است که به عنوان یک مرجع سینوسی برای مدولاسیون پهنای پالس به کار می‌رود.

هرگاه ولتاژ مقاومت حسگر جریان (Rcs1) به مقداری برسد که ولتاژ ورودی مثبت مقایسه‌گر بزرگ‌تر از ولتاژ ورودی منفی آن گردد، مدار مجتمع فرمان خاموش شدن (Reset) سوئیچ را صادر می‌کند و با توجه به این که جریان عبوری از مقاومت حسگر جریان همان جریان عبوری از اندوکتانس (L-Boost) در زمان روشن بودن سوئیچ است، لذا مقدار پیک جریان عبوری از اندوکتانس و سوئیچ بر روی یک شکل موج سینوسی یکسو شده قرار می‌گیرد.

پس از خاموش شدن سوئیچ ، اندوکتانس (L-Boost) انرژی ذخیره شده خود را به مدار Buck اصلاح شده تحویل می‌دهد تا این که جریان اندوکتانس (L-Boost) به صفر برسد. فرمان مجدد برای روشن شدن سوئیچ به محض صفر شدن جریان اندوکتانس (L-Boost) صادر می‌گردد. تشخیص صفر شدن جریان اندوکتانس(L-Boost) توسط جریان عبوری از یک مقاومت تشخیص‌دهنده صفر است که به مدار مجتمع متصل شده است.

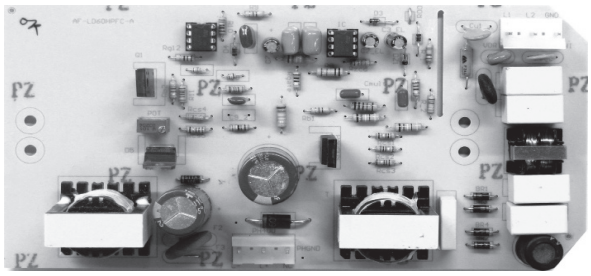
مدار Buck اصلاح شده که یک مبدل کاهنده سطح ولتاژ DC/DC است. این مدار سطح ولتاژ خروجی را کاهش می‌دهد و همچنین یک جریان خروجی ثابت را علی‌رغم تغییر ولتاژ ورودی و بار، برای ماژول LED فراهم می‌کند. با توجه به ساختار مدار Buck اصلاح شده و به وسیله کنترل روشن و خاموش شدن سوئیچ MOSFET (Q_2) با توجه به جریان عبوری از مقاومت‌های حسگر جریان (RCS4…RCS5) ، جریان ثابتی برای بار خروجی ایجاد و کنترل می‌گردد. مدار Buck اصلاح شده در مود پیوسته کار می‌کند و توسط مدار کنترل‌کننده Buck اصلاح شده با تغییر فرکانس سوئیچینگ و ثابت نگه داشتن زمان خاموش بودن سوئیچ، جریان عبوری از مدار Buck اصلاح شده کنترل می‌شود.

هنگامی‌که سوئیچ MOSFET (Q_2) که در شکل ۴ نشان داده شده است، روشن است، جریان از LEDها، اندوکتانس (L-Buck)، سوئیچ MOSFET (Q_2) و مقاومت‌های حسگر جریان (RCS4…RCS5) عبور می‌کند. با خاموش شدن سوئیچ MOSFET (Q_2) انرژی ذخیره شده از اندوکتانس (L-Buck) به صورت جریان باقیمانده در آن، در همان مسیر قبلی شروع به عبور از دیود (D5) و LEDها می‌کند ولی جریان مدار با گذشت زمان کاهش می‌یابد. مدار مجتمع مورد استفاده در مدار کنترل‌کننده Buck اصلاح شده، با مدار مجتمع مدار اصلاح ضریب‌توان، یکسان و از خانواده L6562N شرکت STMicroelelctronics است (Adragna, 2001 & STMicroelectronics, 2009).

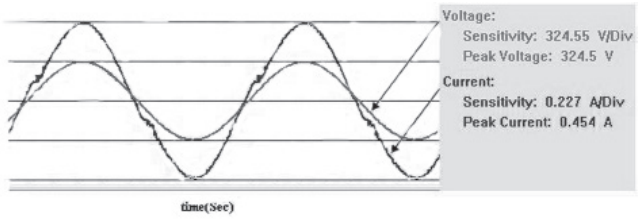
۲. نحوه ساخت و نتایج آزمون مدار کنترل‌کننده ماژول LED

انتخاب مقادیر مناسب برای عناصر مدار و طراحی اندوکتانس‌های مدار که قسمت اساسی این مدار محسوب می‌گردد، بر اساس برگه اطلاعات و یادداشت‌های کاربردی مدار مجتمع خانواده L6562N شرکت STMicroelectronics انجام گرفته و با توجه به نتایج شبیه‌سازی و آزمون عملکرد، اصلاحات لازم بر روی مقادیر نهایی این عناصر صورت گرفته است (Adragna 2001, STMicroelectronics 2009)، طراحی مدار PCB نیز با رعایت نکات لازم از نظر EMI و جلوگیری از نویز پذیری بالقوه انجام شده است (NXP Semiconductors, 2011 & Majeika, 2009). در شکل ۶ تصویر برد طراحی و ساخته شده مدار کنترل‌کننده ماژول LED، نمایش داده شده است. شکل موج جریان و ولتاژ ورودی به ازای ولتاژ ۲۳۰VAC درشکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل، موج جریان ورودی شبه سینوسی و با مؤلفه‌های اعوجاج هارمونیکی با دامنه بسیار کمی است.

شکل ۶: تصویر برد طراحی و ساخته شده‌ی مدار کنترل‌کننده ماژول LED



شکل ۷: شکل موج جریان و ولتاژ ورودی به ازای ولتاژ ۲۳۰VAC مدار کنترل‌کننده ماژول LED



خروجی این مدار برای درایور کردن ۶۰ عدد LED توان بالا در نظر گرفته شده است. مشخصات مدار کنترل‌کننده ماژول LED با تغییرات ولتاژ ورودی، توسط دستگاه Analyzer مدل HB-3A شرکت Everfine اندازه‌گیری شده است. در جدول ۱ این نتایج نمایش داده شده است.

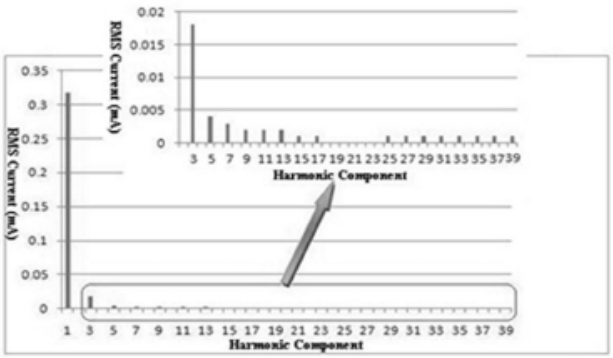
این مؤلفه‌های هارمونیکی جریان ورودی، الزامات کلاس C استاندارد IEC61000-3-2 را کاملاً برآورده می‌سازد. ضریب‌توان اندازه‌گیری شده در این مدار به ازای ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC برابر با ۰/۹۶۷ است. همچنین از آنجا که LEDها دارای بهره‌ی نوری بالایی هستند و برای این که محصولات روشنایی با این منابع دارای بهره‌نوری بالایی باشند، داشتن بازدهی بالا از دیگر نیازهای مدار کنترل‌کننده ماژول LED است که با توجه به جدول ۱، این مدار دارای بازدهی بالایی است. همچنین در ازای تغییر ولتاژ ورودی تا ۲۶۰VAC، جریان خروجی مدار تنها ۰/۱۷درصد نسبت به جریان خروجی در ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC تغییر می‌کند و در ازای تغییر ولتاژ ورودی تا ۱۷۰VAC، جریان خروجی مدار کمتر از ۰/۰۶درصد نسبت به جریان خروجی در ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC تغییر می‌کند. به علاوه، با کاهش تعداد LEDها از ۶۰ عدد به ۵۵ عدد (۸/۳درصد کاهش در تعداد LEDها) جریان خروجی تنها ۳/۳درصد افزایش می‌یابد.

جدول ۱: نتایج اندازه‌گیری مشخصات مدار کنترل‌کننده ماژول LED با تغییرات ولتاژ ورودی

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	Pin (Watt)	PF	THD%	I_{out} (mA)	V_{out} (V)	# of LEDs	Driver Efficiency
۲۶۰	۲۸۷	۷۰/۱۸	۰/۹۴۵	۸/۵	۳۴۳	۱۸۷	۶۰	۹۱/۳۹
۲۵۰	۲۹۴	۶۹/۷	۰/۹۵۲	۸/۴	۳۴۳/۸	۱۸۶	۶۰	۹۱/۷۵
۲۴۰	۳۰۴	۶۹/۸۷	۰/۹۵۹	۷/۳	۳۴۳/۷	۱۸۶	۶۰	۹۱/۵۰
۲۳۰	۳۱۸	۷۰/۲۲	۰/۹۶۷	۷/۲	۳۴۳/۶	۱۸۷	۶۰	۹۱/۵۰
۲۲۰	۳۳۱	۷۰/۳	۰/۹۷۲	۶/۷	۳۴۳/۶	۱۸۶	۶۰	۹۰/۹۱
۲۰۰	۳۶۳	۷۰/۶	۰/۹۸۱	۷	۳۴۳/۸	۱۸۶	۶۰	۹۰/۵۸
۱۹۰	۳۸۰	۷۰/۶۸	۰/۹۸۵	۶/۹	۳۴۳/۸	۱۸۶	۶۰	۹۰/۴۷
۱۸۰	۴۰۱	۷۰/۹۶	۰/۹۸۸	۶/۳	۳۴۳/۸	۱۸۶	۶۰	۹۰/۱۲
۱۷۰	۴۲۵	۷۱/۱۶	۰/۹۹۱	۶/۱	۳۴۳/۷	۱۸۶	۶۰	۸۹/۸۴

مؤلفه‌های هارمونیک جریان ورودی در ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۸: مؤلفه‌های هارمونیکی جریان ورودی مدار کنترل‌کننده ماژول LED در ازای ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC



۳. نتیجه‌گیری

مدار کنترل‌کننده ماژول LED موصوف با توان اسمی ۶۵ وات برای درایور کردن ۶۰ عدد LED توان بالای سری شده طراحی و ساخته شده است. از جمله کاربردهای این مدار، استفاده در چراغ خیابانی LED، پروژکتور LED و ... می‌باشد. میزان مؤلفه‌های هارمونیکی جریان ورودی اندازه‌گیری شده الزامات کلاس C استاندارد IEC61000-3-2 را کاملاً برآورده می‌سازد. همچنین ضریب‌توان اندازه‌گیری شده در این مدار به ازای ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC برابر با ۰/۹۶۷ است. داشتن بازدهی بالا به دلیل طراحی مبتنی بر مدارهای سوئیچ‌زنی، از دیگر مشخصه‌های این مدار است. به علاوه، این مدار به صورت یک مدار کنترل‌کننده جریان ثابت است که در ازای تغییر ولتاژ ورودی تا ۲۶۰VAC، جریان خروجی مدار تنها ۰/۱۷٪ نسبت به جریان خروجی در ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC تغییر می‌کند و در ازای تغییر ولتاژ ورودی تا ۱۷۰VAC، جریان خروجی مدار کمتر از ۰/۰۶٪ نسبت به جریان خروجی در ولتاژ ورودی ۲۳۰VAC تغییر می‌کند. به علاوه، با کاهش تعداد LEDها از ۶۰ عدد به ۵۵ عدد (۸/۳% کاهش در تعداد LEDها) جریان خروجی تنها ۳/۳٪ افزایش می‌یابد. قابلیت تنظیم جریان مناسب با توجه به مشخصات LED مورد استفاده در ماژول LED، از دیگر ویژگی‌های این مدار است.

۴. سپاسگزاری

ساخت مدار کنترل کننده ماژول LED تشریح شده در این مقاله، در واحد تحقیق و توسعه شرکت صنایع الکترونیک افراتاب و با پشتیبانی مالی این شرکت انجام شده است. بدینوسیله از حمایت‌های ارزشمند این شرکت در پیشبرد این پروژه صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری می‌گردد.

References

- Adragna, C., (2001). *Enhanced Transition Mode Power Factor Corrector*.
- Broeckl, H. Van Der, Sauerlander, G. & Wendt, M., (2007). *Power Driver Topologies and Control Schemes for LEDs*, pp.1319–1325.
- Gupta, R.P. & Prasad, U., (2011). *Performance Comparison Of Different Led Driver*, 3(6).
- Huang, Z. et al., (2011). *A Small-Area Low-Mismatch Multi-Channel Constant Current LED Driver*, In 2011 IEEE International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits. IEEE, pp. 1–2.
- IEC, 2009. IEC 61000-3-2 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions.
- Majeika, M., (2009). *EMC Specifications and PCB Guidelines for SMPS Devices.*
- Maxim Integrated, (2004). *Why Drive White LEDs with Constant Current*.
- NXP Semiconductors, (2011). *SMPS EMC and Layout Guidlines*.
- Pressman, A., Billings, K. & Morey, T., (2009). *Switching Power Supply Design,* 3rd ed., McGraw-Hill Professional.
- STMicroelectronics, (2009). *Modified Buck Converter for LED Applications*.