

# کنترل دیمینگ الکترونیکی فیدر تغذیه لامپ‌های تخلیه گازی خیابانی با استفاده از کنترل توان راکتیو

حامد رضازاده، سیروس مجدی و محمد منفرد

گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی

دانشگاه فردوسی مشهد

مشهد، ایران

[h.rezazadeh@mail.um.ac.ir](mailto:h.rezazadeh@mail.um.ac.ir), [sirous.majdi@gmail.com](mailto:sirous.majdi@gmail.com), [m.monfared@um.ac.ir](mailto:m.monfared@um.ac.ir)

روش‌هایی برای صرفه‌جویی در مصرف برق باشیم. باید به این نکته توجه داشت که سیستم روشنایی سهم قابل توجهی از برق تولیدی (حدود ۲۵٪ انرژی الکتریکی تولیدی در سطح جهان [۱]) را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در تحقیقاتی انرژی مصرف شده برای سیستم‌های روشنایی خیابانی در سال ۲۰۰۷ در اتحادیه اروپا حدود ۳۷ تراوات (حدود ۱٫۳٪ انرژی الکتریکی مصرف شده در اروپا) با هزینه‌ای نزدیک به ۲٫۵ بلیون یورو تخمین زده شد [۲]. سیستم روشنایی خیابانی مناسب نقش مهمی در آسایش و امنیت شهروندان از جمله کاهش ترافیک و تصادفات، پیشگیری از وقوع جرم، افزایش فعالیت‌های اقتصادی، زیبایی شهر و سایر عوامل دارد. اما در مکان‌ها و زمان‌هایی که شدت نور خروجی اهمیت کمتری دارد، می‌توان با کاهش آن صرفه‌جویی الکتریکی را انجام داد. این عمل کاهش شدت نور بارهای روشنایی کنترل دیمینگ<sup>۱</sup> نام دارد. استفاده از سیستم روشنایی خیابانی قابل دیمینگ<sup>۲</sup> می‌تواند مصرف انرژی را بین ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش دهد و همچنین اگر از سیستم روشنایی هوشمند استفاده کنیم این ذخیره انرژی می‌تواند به ۷۰ درصد هم برسد [۳].

در این مقاله ابتدا انواع بالاست لامپ‌ها و روش‌های مختلف کنترل شدت نور لامپ‌ها به طور خلاصه مقایسه خواهد شد و سپس روش کنترل دیمینگ با استفاده از کنترل توان راکتیو بحث و نتایج شبیه‌سازی آن ارائه خواهد شد.

چکیده — در این مقاله در ابتدا روش‌های مختلف کنترل دیمینگ به منظور کنترل شدت روشنایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی یک شبکه از لامپ‌های روشنایی مورد بررسی قرار گرفته است. هر کدام از روش‌های معمول کنترل دیمینگ معایبی از جمله تلفات توان اکتیو، هزینه بالا، پیچیدگی زیاد و کنترل ولتاژ نامناسب لامپ را دارند. در این مقاله کنترل دیمینگ توسط کنترل توان راکتیو به منظور حل مشکلات اشاره شده انجام شده است. از ویژگی‌های این روش می‌توان به عدم مصرف توان اکتیو و هزینه کمتر ساخت مدار اشاره کرد. با استفاده از این روش می‌توان به سطوح پیوسته از ولتاژ سینوسی اعمال شده به لامپ رسید در نتیجه می‌توان شدت نور لامپ را بطور پیوسته تا حد مطلوبی کاهش داد. واژه‌های کلیدی — لامپ‌های تخلیه گازی؛ کاهش مصرف برق؛ دیمینگ؛ کنترل توان راکتیو.

## ۱. مقدمه

امروزه با توجه به بالا بودن رشد جمعیت و نیاز به تقاضای بیشتر انرژی، محدودیت منابع انرژی به دلیل تجدیدنپذیر بودن آن، رشد بالای مصرف انرژی به دلیل الگوی ناصحیح مصرف، صرفه‌جویی اقتصادی و همچنین آلودگی محیط زیست به علت مصرف بالای انرژی، بهینه‌سازی انرژی ضرورت می‌یابد. در صنعت برق نیز علاوه بر عوامل فوق گسترش سریع بارهای مصرفی نسبت به واحدهای تولیدی باعث شده تا برقراری توازن بین تولید و مصرف بسیار مشکل‌تر نسبت به گذشته شود. از این رو باید به دنبال

<sup>1</sup> Dimming

<sup>2</sup> Dimmable

جدول ۱: مقایسه بین بالاست مغناطیسی و الکترونیکی [۴] و [۵]

	بلاست مغناطیسی	بلاست الکترونیکی
قیمت	کم	زیاد
طول عمر	بیشتر از ۳۰ سال	کمتر از ۵ سال
تلفات الکتريکی	زیاد	کم
قابلیت دیمینگ	ندارد	دارد
پایداری در مقابل شرایط آب و هوایی	زیاد	کم
خود بازبایی <sup>۲</sup>	ندارد	دارد
هزینه نگهداری	کم	زیاد
نگهداری	ساده	پیچیده
اثرات سوسو زدن <sup>۳</sup>	دارد	ندارد
هزینه دفع <sup>۴</sup>	کم	زیاد
بازیافت	بسیار ساده	پیچیده
تأثیر بر روی محیط زیست	مناسب	نامناسب

### ۳. کنترل دیمینگ لامپ‌های تخلیه گازی

کنترل دیمینگ به معنای کنترل شدت نور یک منبع نوری مانند لامپ است و وسیله‌ای که این عمل را انجام می‌دهد دیمر نام دارد. نوع دیمر و نحوه‌ی کارکردن آن به نوع لامپ بستگی دارد. اندازه دیمرها بسته به نوع کاربردشان متفاوت است، از دیمرهای کوچک به اندازه کلید برق برای روشنایی داخلی تا واحدهای بزرگ. عمل کنترل دیمینگ می‌تواند هم به صورت کاهشی و هم به صورت افزایشی انجام گیرد اما در اکثر اوقات هدف از دیمینگ صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد پس با کاهش نور لامپ به دنبال این هدف هستیم. در حالت کلی با کنترل دو مشخصه لامپ می‌توان عمل کنترل دیمینگ را انجام داد. روش اول کنترل ولتاژ یعنی با تغییر ولتاژ اعمال شده به لامپ می‌توان شدت نور خروجی و توان مصرفی آن را تغییر داد [۷]. در روش دوم که کنترل فرکانس می‌باشد، با تغییر در فرکانس تغذیه لامپ می‌توان کنترل دیمینگ را انجام داد [۸].

#### ۳.۱. مزایای کنترل دیمینگ

کنترل دیمینگ دارای مزیت‌های فراوانی است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

## ۲. بالاست الکترونیکی و مغناطیسی

برای راه اندازی لامپ‌های فلورسنت نیاز به بالاست می‌باشد. دو وظیفه بالاست، ایجاد ولتاژ بالا در موقع روشن شدن و کنترل جریان می‌باشد.

بلاست مغناطیسی نوع قدیمی بالاست می‌باشد که از یک سیم پیچ حول هسته آهنی تشکیل شده و برای راه اندازی لامپ فلورسنت نیاز به استارت دارد. بالاست مغناطیسی معایبی همچون مصرف برق بالا، کاهش راندمان نوری لامپ، ایجاد حرارت و صدا و ... دارد. بالاست الکترونیکی از قطعات الکترونیک درست شده است و با فرکانس بالا کار می‌کند. عملکرد در فرکانس بالا باعث شده تا معایب بالاست مغناطیسی در این بالاست دیده نشود. جدول ۱ خلاصه‌ای از مقایسه بالاست مغناطیسی و الکترونیکی است که در [۴] و [۵] جمع‌آوری شده است.

همانطور که در جدول ۱ آمده است بالاست‌های الکترونیکی و مغناطیسی مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر دارند. از جمله مزیت‌های بالاست الکترونیکی تلفات پایین، راندمان بالا و داشتن قابلیت دیمینگ می‌باشد و یکی از معایب آن عمر کم آنها به علت استفاده از خازن الکترولیتی و همچنین کاهش طول عمر به علت افزایش دما طبق قانون ۱۰ درجه می‌باشد. از طرفی از بالاست مغناطیسی با توجه به قابلیت اطمینان بالا، طول عمر زیاد و پایداری در برابر موج‌های گذرای ولتاژ در لامپ‌های تخلیه گازی استفاده می‌شود. یکی از معایب بالاست مغناطیسی این است که قابلیت دیمینگ ندارند. اخیراً رشد استفاده از بالاست الکترونیکی به جای بالاست مغناطیسی باعث ایجاد مشکلات زیادی از جمله جمع شدن مقدار زیادی از زباله‌های الکترونیکی سمی به خاطر طول عمر کم آنها شده است. پس باید به دنبال روشی بهتر برای کاهش مصرف انرژی باشیم. نتایج گزارشی نشان می‌دهد که بالاست مغناطیسی با قابلیت دیمینگ دارای ویژگی‌های مناسبی از نظر ذخیره انرژی و حفظ محیط زیست می‌باشند [۶].

همچنین بالاست لامپ‌های تخلیه گازی<sup>۱</sup> (HID) خیابانی موجود مغناطیسی می‌باشد و جایگزینی بالاست الکترونیکی برای آنها از نظر اقتصادی به صرفه نیست. مشکل دیگر استفاده از بالاست الکترونیکی برای لامپ‌های HID، رزونانس صوتی در فرکانس‌های بالا است. پس می‌توان نتیجه گرفت که اگر بتوانیم روشی را پیدا کنیم که توانایی دیمینگ بالاست مغناطیسی را داشته باشد، بسیاری از مشکلات مطرح شده حل خواهد شد.

در ادامه روشی برای کنترل دیمینگ بالاست مغناطیسی ارائه خواهد شد.

<sup>2</sup> Self-Recovery

<sup>3</sup> Flickering Effect

<sup>4</sup> Disposal Cost

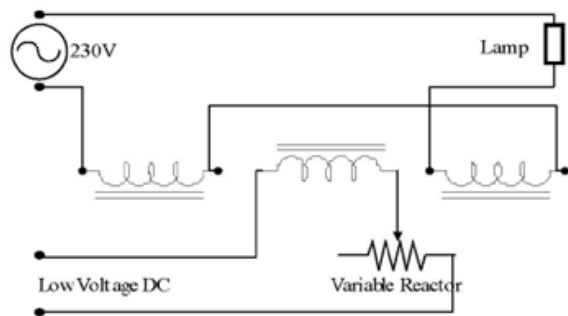
<sup>1</sup> High Intensity Discharge

این دیمرها حجم بسیار بزرگ آنها و نیاز داشتن به خنک کننده‌های بزرگ می‌باشد. همچنین این دیمرها به علت کنترل مکانیکی آنها بسیار کند می‌باشند. به دلیل معایب فوق این دیمرها امروزه معمولاً کاربرد ندارند.

اتوترانسفورماتور توان ثابت یکی دیگر از ساده‌ترین دیمرهای مکانیکی است. این دیمر به علت اینکه تنها توانایی تغییر توان بین دو سطح (سطح نامی و کمتر از آن) را دارد به دیمر دو سطحی هم معروف است. بزرگترین عیب این روش عدم توانایی در کنترل پیوسته دیمینگ می‌باشد به همین علت این دیمر هم امروزه کاربرد چندانی ندارد.

یکی دیگر از روش‌های مکانیکی کنترل دیمینگ استفاده از اتوترانسفورماتور ولتاژ متغیر برای کاهش ولتاژ اولیه که به بالاست اعمال می‌شود، است. در این روش تقریباً تا ۶۰ درصد توان نامی لامپ می‌توان عمل کنترل دیمینگ را انجام داد. با استفاده از اتوترانسفورماتور، کنترل دیمینگ به صورت پیوسته انجام می‌شود. دیگر مزیت این روش عدم وجود هارمونیک‌های ولتاژ به علت سینوسی بودن ولتاژ خروجی است. از معایب این روش هم می‌توان به بزرگ، سنگین و گران بودن اتوترانسفورماتور اشاره کرد که به همین علت از اتوترانسفورماتور فقط در کنترل دیمینگ در روشنایی در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود.

یک روش دیگر کنترل دیمینگ مکانیکی اضافه کردن یک راکتور متغیر (اشباع شدنی) به صورت سری با لامپ می‌باشد. این راکتانس متغیر همانطور که در شکل ۱ مشخص است نیاز منبع تغذیه DC جداگانه دارد. در این روش راکتانس بدون تأثیر گذاشتن بر روی ولتاژ لامپ، جریان آن را کنترل می‌کند. با استفاده از راکتانس سری تا ۷۰ درصد توان نامی لامپ قابل کنترل است. در عمل راکتانس متغیر یک روش موثر و نسبتاً ارزان برای رسیدن به کنترل دیمینگ است [۸].



شکل ۱: مدار دیمینگ با راکتانس متغیر [۸]

• کاهش مصرف برق در شبکه‌های روشنایی خیابانی باعث کاهش بار شبکه و کاهش تقاضا در زمان پیک مصرف می‌شود که این خود باعث ایجاد تعادل بین تولید و مصرف و افزایش قابلیت انعطاف در فضای چندکاره می‌شود.

• از دیگر مزایای کنترل دیمینگ می‌توان به صرفه‌جویی در مصرف انرژی اشاره کرد. زمانی که ولتاژ کاهش می‌یابد چون توان مصرفی تابعی درجه ۲ از ولتاژ اعمالی است، پس می‌توان بدون تغییر زیاد در نور خروجی بین ۳۰ تا ۴۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد [۶]. همچنین کاهش ولتاژ اعمال شده به لامپ باعث افزایش طول عمر لامپ می‌شود.

• یکی دیگر از مهم‌ترین مزیت‌های کنترل دیمینگ حفظ محیط زیست می‌باشد که از چند طریق حاصل می‌شود. کاهش شدت نور لامپ‌های خیابانی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. همچنین کاهش مصرف برق به معنای کاهش تولید در واحد تولیدی و سوزانده شدن کمتر سوخت‌های فسیلی برای تولید برق است. افزایش طول عمر لامپ نیز که یکی دیگر از مزیت‌های دیمینگ بود باعث می‌شود لامپ‌ها دیرتر نیاز به تعویض داشته باشند و این باعث می‌شود که زباله‌های کمتری ناشی از لامپ‌های سوخته نسبت به قبل تولید شود.

• مزیت دیگر کنترل دیمینگ در رابطه با امنیت جاده‌هاست. یک روش ذخیره انرژی در خیابان‌ها و جاده‌ها خاموش کردن تعدادی (مثلاً از هر سه لامپ یکی) از لامپ‌هاست. تحقیقاتی نشان می‌دهد که کم کردن نور لامپ‌ها در جاده‌ها بسیار امن‌تر از خاموش کردن تعدادی از آنها است [۹].

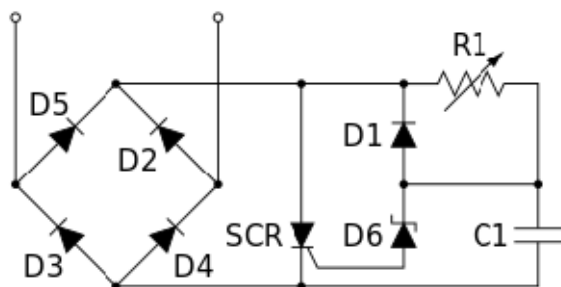
### ۳.۲. روش‌های کنترل دیمینگ لامپ‌های تخلیه گازی

همانطور که در تعریف دیمر گفته شد نوع دیمر و نحوه‌ی عملکرد آن به نوع بار و شرایطی که قرار است دیمر در آن کار کند بستگی دارد. پس می‌توان متوجه شد که دیمرها با توجه به نیازهای مختلف و نوع لامپ، مدارهای مختلفی نیز دارند که در ادامه به آنها اشاره خواهیم کرد. در حالت کلی روش‌های مختلف دیمینگ را می‌توان به دو روش مکانیکی و الکترونیکی دسته‌بندی کرد.

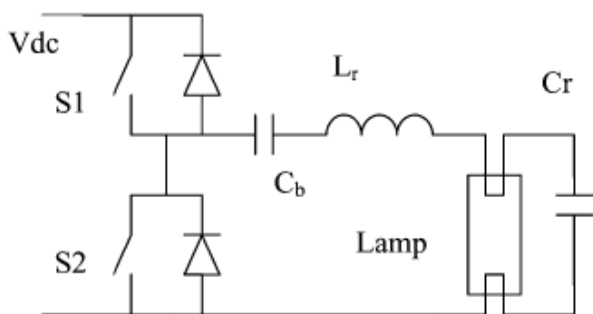
#### ۳.۲.۱. دیمرهای مکانیکی

روش استفاده از رثوستا از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین نوع دیمرهای مکانیکی هستند. مقاومت‌های متغیر به عنوان مقسم ولتاژ عمل می‌کنند. دیمرهای با استفاده از مقاومت متغیر به علت اینکه نسبت بزرگی از توان را به گرما تبدیل (تلف) می‌کنند، دارای راندمان پایینی هستند. از دیگر معایب

## ۳،۲،۲. دیمرهای الکترونیکی



شکل ۲: دیمر الکترونیکی با SCR



شکل ۳: مدار ساده شده ی بالاست الکترونیکی لامپ‌های CFL [۱۴]

روش دیگر کنترل دیمینگ الکترونیکی، کنترل توسط کنترل توان راکتیو (با استفاده از ولتاژ کمکی) می‌باشد که در بخش بعدی به طور مفصل به آن پرداخته خواهد شد.

## ۳،۳. کنترل دیمینگ توسط کنترل توان راکتیو (تولید

## ولتاژ کمکی)

در این روش همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید، دیمر به صورت سری بین منبع و لامپ‌ها قرار می‌گیرد و ولتاژ کمکی ( $V_a$ ) را برای کنترل دیمینگ ایجاد می‌کند. ولتاژ منبع ( $V_s$ ) در این حالت برابر جمع برداری ولتاژ اعمال شده به لامپ‌ها ( $V_L$ ) و ولتاژ کمکی می‌باشد، در نتیجه ولتاژ لامپ‌ها کمتر از ولتاژ منبع کمتر بوده و کنترل دیمینگ صورت گرفته است؛ پس با تنظیم ولتاژ کمکی می‌توان ولتاژ اعمال شده به لامپ‌ها را تغییر داد و مقدار دلخواه را بدست آورد.

دیمرهای الکترونیکی که جدیدتر از نوع مکانیکی هستند از نیمه هادی‌ها و قطعات الکترونیک قدرت ساخته می‌شوند. این دیمرها با تغییر شکل موج ولتاژ یا جریان ورودی و تا ۵۰ درصد توان نامی لامپ عمل کنترل دیمینگ را انجام می‌دهند.

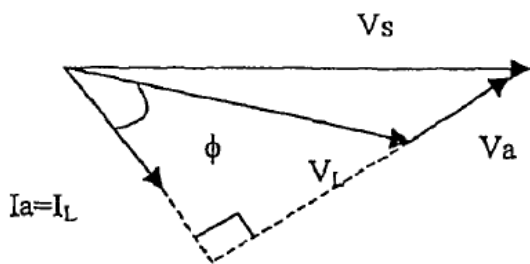
دیمر الکترونیکی با SCR<sup>۱</sup> از اولین دیمرهای الکترونیکی ساخته شده می‌باشد. شکل ۲ یک دیمر الکترونیکی با SCR را نشان می‌دهد. از ویژگی‌های این دیمرها می‌توان به ساده بودن آن اشاره کرد. با تنظیم زاویه آتش بخشی از شکل موج سینوسی برش خورده و مقداری از آن به لامپ اعمال می‌شود. با این روش می‌توان تا ۵۰ درصد توان نامی لامپ کنترل دیمینگ را انجام داد. عیب این روش این است که تنها برای بارهای مقاومتی مناسب است.

روش دیگر کنترل دیمینگ الکترونیکی کنترل دیمینگ با برش زدن شکل موج سینوسی می‌باشد. این روش با استفاده از SCR یا تریاک قابل انجام است. بسته به نوع لامپ مورد استفاده، این برش دادن می‌تواند حالات مختلفی را دربر گیرد. برای لامپ‌های تخلیه گازی شکل موج برش خورده نباید دارای مولفه DC باشد.

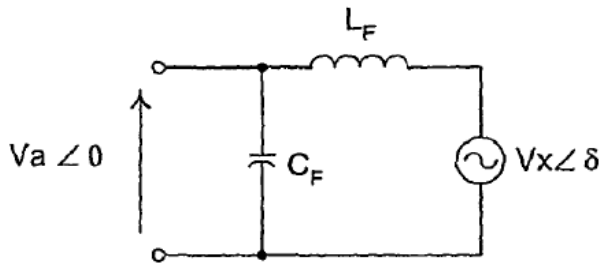
شکل ۳ مدار ساده شده بالاست الکترونیکی لامپ فلورسنت فشرده که به لامپ کم مصرف (CFL) مشهور است را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان به این نکته پی برد که جریانی که به لامپ می‌رسد به سه عامل بستگی دارد که کنترل این سه عامل می‌تواند باعث ایجاد سه روش مختلف برای کنترل دیمینگ شود. این سه روش، کنترل دیمینگ با تغییر دوره اشتغال<sup>۲</sup> (D)، کنترل دیمینگ با کنترل فرکانس سوئیچینگ و کنترل دیمینگ با تغییر ولتاژ لینک DC می‌باشد.

یکی از روش‌های جدید و موثر در کنترل دیمینگ استفاده از ماتریس کانورتر است. این روش هزینه‌ها را کاهش داده و باعث افزایش طول عمر لامپ می‌شود. مزیت دیگر این روش نسبت به روش اتوترانسفورماتور کاهش حجم سیستم می‌باشد. همچنین عدم نیاز به مدار لینک dc و منبع انرژی بزرگ باعث محبوبیت این روش در برابر سایر روش‌ها شده است. ماتریس کانورتر، یک مبدل ac-ac است که از یک آرایه کنترلی دوطرفه برای ایجاد ولتاژ خروجی متغیر استفاده می‌کند.

<sup>۱</sup> Silicon Controlled Rectifier<sup>۲</sup> Duty Cycle



شکل ۶: دیاگرام برداری ولتاژها در روش پیشنهاد شده



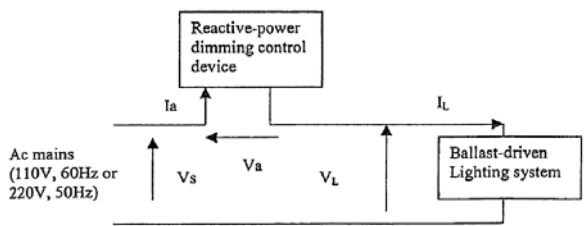
شکل ۷: فیلتر خروجی اینورتر

از رابطه (۱) می‌توان به این نکته پی برد که برای اینکه توان اکتیو مصرفی دیمر صفر شود باید  $\delta$  صفر باشد که این عمل توسط حلقه کنترلی انجام می‌شود. همچنین رابطه (۲) نشان می‌دهد که  $Va$  و  $Q$  با کنترل  $Vx$  قابل تنظیم‌اند. اندازه  $Vx$  هم با کنترل ولتاژ خازن لینک dc کنترل می‌شود که آن هم توسط حلقه‌ی کنترلی قابل کنترل است. پس بطور خلاصه می‌توان گفت حلقه‌ی کنترلی دو وظیفه را بر عهده دارد: (۱) ولتاژ خازن لینک dc را به ولتاژ مرجع خود برساند. (۲) فراهم کردن اختلاف فاز  $90^\circ$  یا  $270^\circ$  درجه‌ای بین  $Va$  و  $Ia$ .

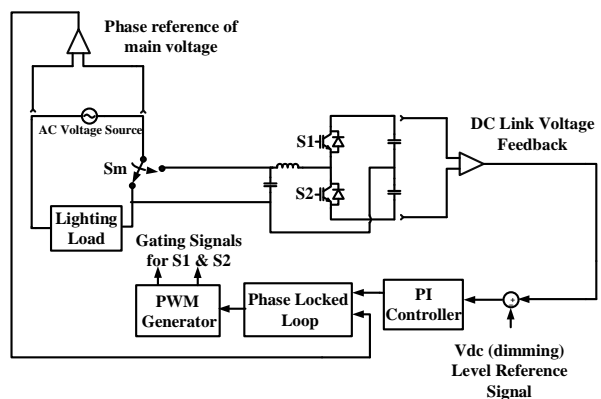
این روش می‌تواند بالاست مغناطیسی غیرقابل دیمینگ را به نوع قابل دیمینگ با صرفه‌جویی انرژی بالا تبدیل کند. همچنین این روش، یک روش بهینه برای کنترل دیمینگ لامپ‌های فلورسنت و HID که با بالاست الکترونیکی یا مغناطیسی کار می‌کنند، می‌باشد. دیگر مزیت این روش این است که می‌تواند هم برای کنترل دیمینگ یک لامپ و هم یک شبکه از لامپ‌ها (مثل روشنایی خیابانی) مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۴. نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی توسط نرم افزار متلب انجام شده است. این مدار از یک منبع ولتاژ سینوسی، یک اینورتر تمام پل و یک حلقه کنترلی برای کنترل ولتاژ خروجی اینورتر و همچنین مدار معادل یک شبکه از لامپ‌ها به عنوان بار تشکیل شده است. باری که در شبیه‌سازی استفاده شده است تعداد ۳۵ عدد



شکل ۴: بلوک دیاگرام روش کنترل دیمینگ توسط کنترل توان راکتیو



شکل ۵: شماتیک کلی روش پیشنهاد شده

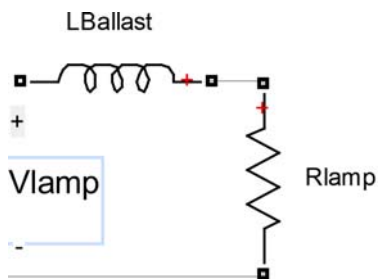
دیمر از یک اینورتر (نیم پل برای توان‌های پایین و تمام پل برای توان‌های بیشتر از ۲۰KVA) ساخته شده که سوئیچ‌های آن با فرکانس بالا برای تولید شکل موج PWM کار می‌کند. شکل موج PWM بعد از عبور از فیلتر LC سینوسی می‌شوند که به آن ولتاژ کمکی می‌گوییم.

در این روش با استفاده از حلقه کنترلی، ولتاژ خروجی دیمر (کمکی) با جریان دیمر  $90^\circ$  یا  $270^\circ$  درجه اختلاف فاز دارد. شکل ۵ شماتیک کلی این روش و حلقه کنترلی آن و شکل ۶ دیاگرام برداری ولتاژها را نشان می‌دهد که در آن عمود بودن  $Va$  بر  $Ia$  مشهود است. این اختلاف فاز یک ویژگی مناسب برای این روش است چون مطمئن می‌شویم که دیمر فقط با توان راکتیو کار می‌کند و توان اکتیوی مصرف نمی‌شود.

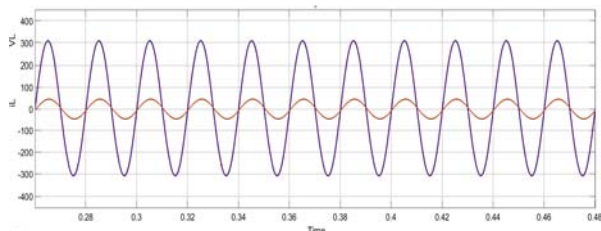
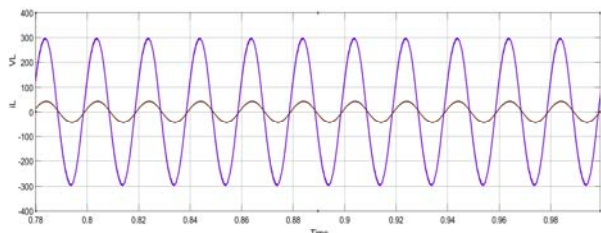
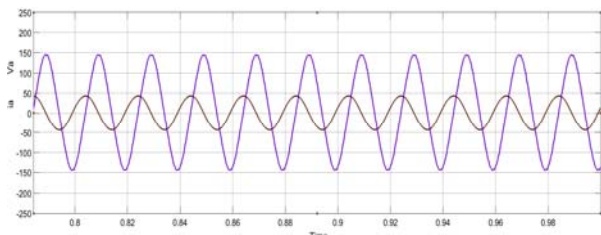
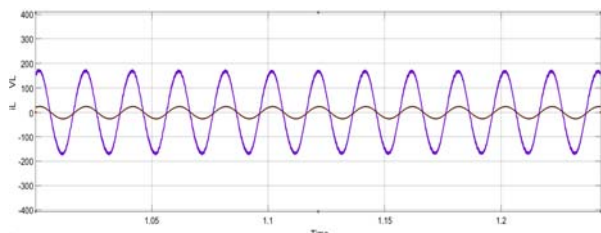
شکل ۷ مدار خروجی اینورتر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان به روابط (۱) و (۲) رسید.

$$P = \frac{Va \times Vx}{w \times L_f} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{w_x^2}{w \times L_f} - \frac{Va \times Vx}{w \times L_f} \cos \delta \quad (2)$$



شکل ۸: مدار معادل لامپ بخار جیوه

شکل ۹: ولتاژ و جریان بار به ازای  $V_{dim}=0V$ شکل ۱۰: ولتاژ و جریان بار به ازای  $V_{dim}=150V$ شکل ۱۱: ولتاژ و جریان خروجی اینورتر به ازای  $V_{dim}=150V$ شکل ۱۲: ولتاژ و جریان بار به ازای  $V_{dim}=290V$ 

از لامپ‌های تخلیه گازی بخار جیوه  $125W$  (که بیشتر در روشنایی معابر استفاده می‌شود) که به صورت موازی به منبع متصل می‌باشند. شکل ۱۰ مدار معادل یک لامپ بخار جیوه و بالاست آن را نشان می‌دهد. مقدار سلف بالاست پس از اندازه‌گیری در آزمایشگاه  $0.4mH$  بدست آمد. با توجه به مشخصات لامپ ولتاژ و جریان نامی آن به ترتیب  $110V$  و  $1.15A$  می‌باشد در نتیجه مقاومت لامپ از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$R_{Lamp} = \frac{P_{Lamp}}{I_{Lamp}^2} = \frac{125}{1.15^2} = 94.5\Omega \quad (3)$$

در جدول ۲ مقادیر المان‌های بکار رفته در شبیه‌سازی آمده است.

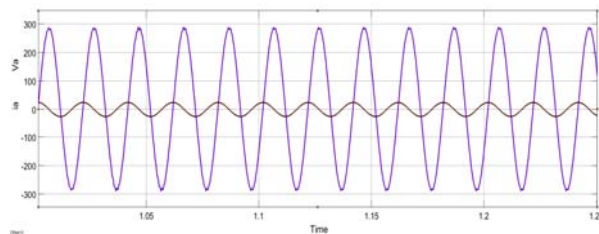
در نتایج شبیه‌سازی که در ادامه ارائه خواهد شد،  $V_{dim}$  همان ولتاژ  $dc$  مرجع،  $V_L$ ،  $i_L$  به ترتیب ولتاژ و جریان بار و  $V_a$  و  $i_a$  ولتاژ و جریان خروجی اینورتر (دیمر) می‌باشد و با توجه به اینکه منبع و دیمر و بار با هم سری هستند لذا  $i_L$  و  $i_a$  که به ترتیب جریان منبع، دیمر و بار هستند با هم برابرند.

شکل ۹ ولتاژ و جریان بار را به ازای  $V_{dim}=0V$  (حالتی که کنترل دیمینگ انجام نمی‌گیرد) نشان می‌دهد. در این حالت ولتاژ بار برابر ولتاژ منبع و برابر  $220V_{rms}$  و پیک جریان آن برابر  $42A$  می‌باشد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب ولتاژ و جریان بار و ولتاژ و جریان خروجی اینورتر را به  $V_{dim}=150V$  نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱۱ مشخص است مطابق انتظار ولتاژ و جریان خروجی اینورتر با یکدیگر  $90^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب ولتاژ و جریان بار و ولتاژ و جریان خروجی اینورتر را به  $V_{dim}=290V$  نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۲ می‌توان به کاهش ولتاژ اعمالی به لامپ پی برد.

جدول ۲: مقادیر المان‌های بکار رفته در شبیه‌سازی

مقادیر	المان
$220V_{rms}$	$V_s$
$50Hz$	فرکانس منبع (f)
$40\mu F$	$C_{dc}$
$1mH$	$L_f$
$25\mu F$	$C_f$
$10KHz$	فرکانس کلیدزنی (fs)
$0.4mH$	$L_{Ballast}$
$94.5\Omega$	$R_{Lamp}$

- [7] G. Velasco-Quesada, M. Román-Lumbreras, and A. Conesa-Roca, "Comparison of central dimmer systems based on multiple-tapped autotransformer and high-frequency switching converter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 4, pp. 1841–1848, 2012.
- [8] P. Dong, K. W. E. Cheng, S. L. Ho, D. H. Wang, B. P. Divakar, and K. Ding, "General discussion on dimming control method used for discharge lamp," in *2006 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, ICPEA, 2006*, vol. 44, pp. 178–181.
- [9] P.C. Box, 'Freeway accidents and illumination', Highway research record 416, Highway Research Board, 1972.



شکل ۱۳: ولتاژ و جریان خروجی اینورتر به ازای  $V_{dim}=290V$

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی ما به دنبال روشی بهینه جهت کنترل دیمینگ لامپ‌های تخلیه گازی روشنایی خیابانی بودیم. پس از مطالعه روش‌های مختلف، روش کنترل توان راکتیو به عنوان روش بهینه ارائه شد. مهم‌ترین مزیت این روش عدم مصرف توان اکتیو توسط دایمر و همچنین داشتن قابلیت دیمینگ مرکزی برای بالاست مغناطیسی و الکترونیکی می‌باشد. در شبیه سازی ولتاژ  $dc$  مرجع می‌تواند از صفر تا  $290V$  تغییر کرده و ولتاژ موثری که به لامپ‌ها می‌رسد از  $220V$  تا  $120V$  متغیر است. اما با توجه به ویژگی رفتار لامپ‌های HID تحت دیمینگ ولتاژ، این لامپ‌ها نهایتاً تا ولتاژ حدود  $170V$  رفتار مناسبی در برابر کنترل دیمینگ از خود نشان می‌دهند و کاهش ولتاژ بیشتر از این مقدار علاوه بر کاهش بیش از اندازه میزان روشنایی، باعث ایجاد مشکلاتی در لامپ‌ها می‌شود. در تمامی نتایج شبیه سازی کاملاً مشخص است که در تمام حالت‌ها، ولتاژ و جریان دایمر با یکدیگر  $90^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند. ضمناً با توجه به تجهیزات بکار رفته در این روش، کنترل دیمینگ با استفاده از این روش بسیار کم هزینه‌تر از سایر روش‌های معمول می‌باشد.

## منابع

- [1] P. Flesch, *Light and Light Sources: "High-Intensity Discharge Lamps."* Springer, 2006, pp. 1–350.
- [2] P. Bertoldi and B. Atanasiu, "Electricity consumption and efficiency trends in European Union—Status report 2009," *Eur. Comm., JRC Inst. Energy, Renewable Energy Unit, Brussels, Belgium*, 2009.
- [3] Intelligent Energy Europe, "Guide for energy efficient street lighting installations" *European Commission Executive Agency for Competitiveness & Innovation (EACI)*, 2007.
- [4] "Technical guide 5: High performance fluorescent lighting: The next steps—Including the cases for high-performance magnetic vs. high performance electronic ballasts," *Ecospecifier Technical Guides*, 2008.
- [5] H. S.-H. Chung, N.-M. Ho, W. Yan, P. W. Tam, and S. Y. Hui, "Comparison of dimmable electromagnetic and electronic ballast systems—An assessment on energy efficiency and lifetime," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 6, pp. 3145–3154, Dec. 2007.
- [6] W. Yan, S. Y. R. Hui, and H. S. H. Chung, "Energy saving of large-scale high-intensity-discharge lamp lighting networks using a central reactive power control system," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 8, pp. 3069–3078, 2009.