فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
صفحات ۷-۱۰
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

ارائه راهکاری برای بهبود مصرف انرژی در LED های روشنایی

بهمن مصطفوی
سرپرست فروش_ لیسانس برق
BAHMAN MOSTAFAVI _ Head of sales, bachelor degree in Electrical
ادرس ایمیل : QC@NAMANOORASIA.COM

چکیده

در طی سال های اخیر تحقیقات بسیاری بر روی لامپ های روشنایی LED انجام شده است و از عمده دلایل این امر گسترش استفاده از این لامپ ها به جای لامپ های معمول می باشد. کاربرها و قابلیت های زیادی از لامپ های LED مشخص شده است ولی همواره مدیریت مصرف انرژی با وجود مصرف کم این لامپ ها مد نظر بوده است در این راستا تحقیق حاضر با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی در این لامپ های روشنایی ارائه شده است. در این تحقیق با انتخاب بهینه پارامترهای مدار معادل LED در نرم افزار متلب و با استفاده از الگوریتمی فراابتکاری و هوشمند راهکاری مطلوب برای بهبود مصرف انرژی در LED ها ارائه شده است که نتایج کار نیز از مطلوب بودن روش مورد نظر گواهی می دهد.

واژه‌های کلیدی: بهبود مصرف انرژی، LED های روشنایی

مقدمه

انرژی همواره در طول تاریخ مورد توجه بشر بوده است و همواره راه ها و ترفندهایی برای کاهش مصرف انرژی ارائه شده است. در این پژوهش نیز ما با محوریت بهینه سازی و مدیریست مصرف انرژی سعی در ارائه راه کاری برای بهبود مصرف انرژی در LED های روشنایی داریم. می دانیم که دیود قطعه ای الکترونیکی است که با عبور جریان الکتریکی از آن نور تولید می شود. اولین LED ها تنها یک درصد از انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می کردند اما در طی سال های اخیر این بازدهی بسیار بالا رفته است و به بالای نود درصد نیز رسیده است. همانطور که اشاره شد در میان قطعات الکترونیکی که تا به حال کشف شده و عمومیت پیدا کرده و باعث انقلاب بزرگی در سیستم های روشنایی ایجاد کرده است بی شک ال ای دی ها بدون رقیب خودنمایی می کنند. این قطعات کوچک با مصرفی بسیار کم و نوری بسیار خیره کننده و قوی و حجمی کوچک و عمری به مراتب بسیار طولانی تر از لامپ های رشته ای و کم مصرف، بی شک انقلابی در صنعت روشنایی دنیا به وجود آورده اند. طبق تحقیقات به عمل آمده و آزمایشات انجام شده، علاوه بر نور قابل قبول و مصرف کم به نسبت لامپ های رشته ای و کم مصرف، تقریبا آلودگی محیط زیستی و تاثیرات منفی آن بر روی انسان، بسیار کم و در برخی موارد صفر است. عمر طولانی این لامپ ها باعث گردیده است که در صورت استفاده از مدارات مرغوب و به کار گیری صحیح و اصولی ال ای دی ها در ساختمان های معمولی و هوشمند، نیاز به تعویض در صورت سوختگی لامپ، تا مدت های طولانی وجود نداشته باشد.

طول عمر مهمترین ویژگی در یک پارامتر به حساب می آید که LED دارای طول عمری بین سی هزار تا پنجاه هزار ساعت می باشد. لامپ های LED به محض اعمال ولتاژ به آنها و در کمتر از ۲۰ میکرو ثانیه روشن می شوند. طول عمر لامپ های LED به هیچ وجه به تعداد دفعات روشن و خاموش شدن آن وابسته نیست. این به این معنتی است که می توان لامپ های LED را میلیون ها بار روشن و خاموش کرد. در واقع طول عمر LED ها تنها به مدت زمان روشن ماندن آن ها بستگی دارد، ولی طول عمر سایر لامپ ها با تعداد دفعات روشن و خاموش شدن آن ها کم می شود. همچنین توان مصرفی لامپ های LED بسیار پایین بوده که این امر موج کاهش هزینه های انرژی می گردد. تغییر رنگ در لامپ های LED به راحتی قابل انجام است و نیاز به هیچ وسیله مکانیکی از قبیل فیلتر یا محور دوار که باعث تغییر رنگ نور در سایر لامپ ها می شود ندارد. همانطور که قبلا اشاره شد، جهت تغییر رنگ در لامپ هتای LED با تغییر ترکیبات شیمیایی در آن می توان رنگ را به دلخواه تغییر داد. همچنین لامپ های LED جهت روشن شدن به جریان مصرفی بسیار کمی در حد چند میلی آمپر نیاز دارند که این باعث کاهش میزان انرژی مصرفی لامپ و هزینه های جانبی خواهد شد.

روش تحقیق :

در راستای بهینه سازی و بهبود مصرف انرژی در LED های روشنایی لازم است به تجزیه و تحلیل پارامترها و معادلات لازم بپردازیم.

شدت نور: می دانیم که چنانچه نور منتشر شده از لامپ تحت زاویه معینی هدایت شود، آن را شدت نور می نامند و واحد آن کاندل یا cd شمع می باشد.

لومینانس: لومینانس در واقع عبارت است از مقدار شار نوری تابیده شده بر واحد سطحی که به طور عمود بر آن می تابد، که واحد آن لومن بر متر مربع یا لوکس می باشد و به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$E = \frac{Q}{A}$$

نسبت شار خروجی مفید به کل شار اسمی لامپ را ضریب بهره گویند و آن را با CU نمایش می دهند. علاوه بر کاهش نور خروجی بر اثر انعکاس در محفظه لامپ، عواملی دیگر نیز باعث کاهش نور خروجی می شوند، از قبیل کاهش نور بر اثر کثیف بودن سطح چراغ، کاهش نور بر اثر فرسودگی و... که همه این عوامل با ضریبی تحت عنوان ضریب کاهش نور نشان داده می شود. با توجه به پارامترهای ضریب بهره و ضریب کاهش نور رابطه شار خروجی مفید یا Q و کل شار اسمی لامپ Q' به صورت زیر بررسی می شود.

$$\emptyset = \emptyset' \times LLF \times CU$$

با توجه به روابط بالا شدت نور با شار اسمی به صورت زیر ارزیابی می شود.

$$E = \frac{Q}{A} = \frac{\emptyset' \times LLF \times CU}{A}$$

ضریب بهره یا CU برای لامپ های گازی بسته به شکل چراغ، معمولاً ۳. تا ۴. می باشد در حالی که این مقدار برای لامپ های LED حداقل ۸. می باشد.

راندمان نوری: راندمان نوری یا لومن بر وات عبارت است از نسبت شار نوری یک لامپ بر توان الکتریکی آن که با واحد زیر نمایش داده می شود.

$$\eta = \frac{Lm}{w}$$

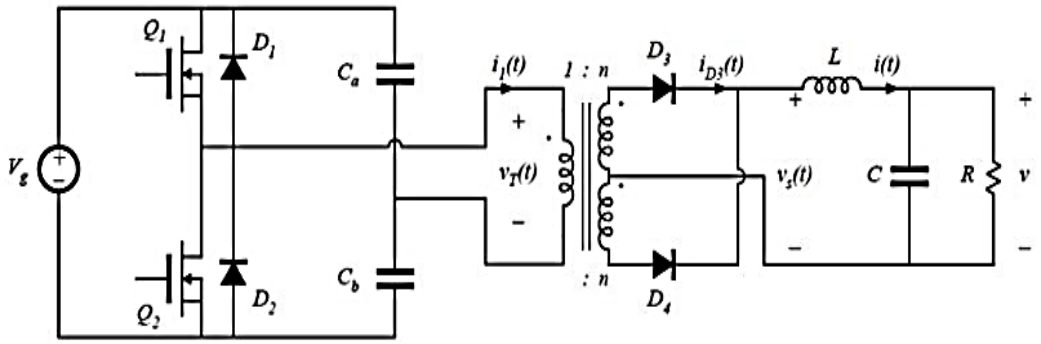
هر چه میزان شار نوری خروجی یک لامپ بیشتر باشتد، آن لامپ دارای بهره نوری بیشتری است. به عنوان مثال زمانی که بیان می شود یک لامپ دارای بهره نوری $\frac{Lm}{w}$ ۸۰ است، یعنی به ازای یک وات، هشتاد لومن نور می دهد.

راهکار پیشنهادی تحقیق:

در این تحقیق در یک راه کار بهینه برای برای افزایش راندمان و بهینه سازی انرژی ارائه می شود، در این راهکار از یک مدار بهینه برای راه اندازی و درایو led استفاده می شود. راه انداز مدار led نیز از یک سیستم نیم پل استفاده می نمایید. دلیل ارائه مبدل پیشنهادی، بررسی و مقایسه مبدل های قبلی می باشد چراکه در این مبدل ها معایب بسیاری وجود دارد که باعث پدید آمدن اتلاف انرژی می شود.

مبدل نیم پل :

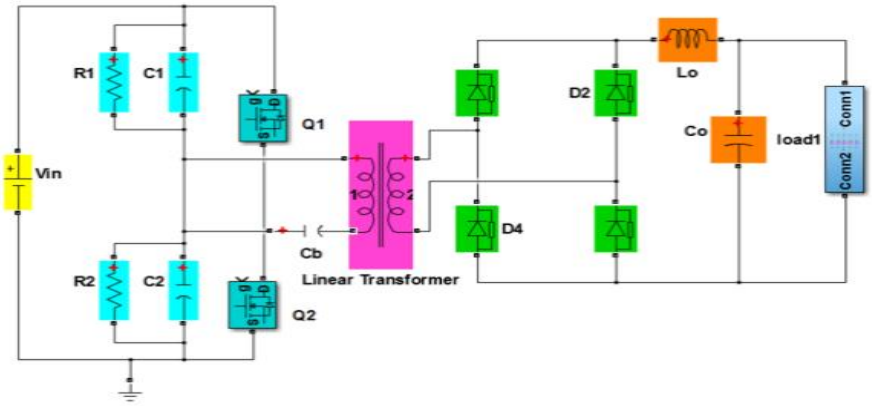
می دانیم که نمی توان led ها را به طور مستقیم به خط dc متصل کرد چراکه ویژگی ها و مشخصه الکتریکی این منابع به گونه ایی است که می بایست آن ها را تحت ولتاژ و جریان dc تغذیه کرد. در کاربردهایی که تغذیه از طریق خط صورت می گیرد نیاز به یک درایور dc است. در شکل زیر یک مبدل با ترانسفورماتور ایزوله با آرایش نیم پل مشاهده می شود.



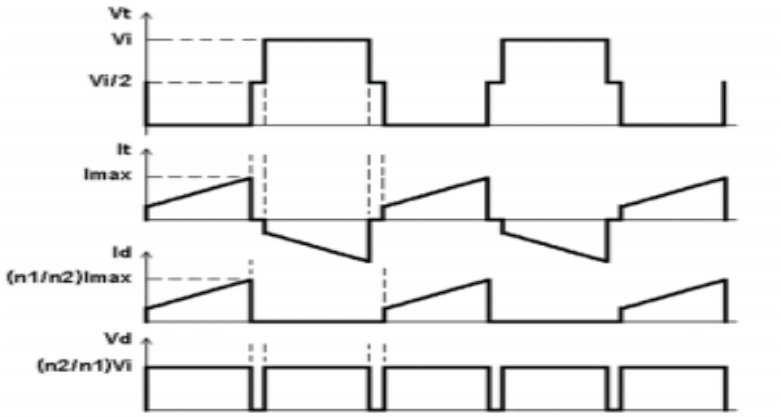
مبدل نیم پل پیشنهادی

مطابق شکل تنها یک سیم پیچ وجود دارد که در کوپلاژ با یک ترانسفورمر سر وسط افزاینده یا کاهنده قرار می گیرد. سیم پیچ اولیه این ترانس توسط دو سوئیچ قدرت به طور متناوب به زمین یا vin وصل می شود. پایه دیگر سیم پیچ اولیه به مخل اتصال یک جفت خازن که تقریبا در ولتاژ نصف vin روی سیم پیچ اولیه می افتد. بیشتر ولتاژی را که سوئیچ های قدرت باید تحمل کنند vin است همچنین در این توپولوژی سوئیچ هایی مورد استفاده قرار می گیرد که دارای کمترین ولتاژ شکست باشد.

مدل نیم پل در مقایسه با سایر مبدل ها دارای کمترین تعداد سوئیچ و استرس سوئیچ با توجه به نوع کارکرد می باشد همچنین سادگی و ارزانی کنترل کننده ها و نیز ایزوله بودن مدار از سایر ویژگی های مدار است که طراح را به انتخاب و استفاده از مدار نیم پل سوق می دهد. در شکل های زیر می توان شماتیک مدل در نرم افزار متلب و نمودار جریان و ولتاژ ورودی و خروجی را مشاهده کرد.



طرح شماتیک مدار در نرم افزار متلب



نمودار جریان و ولتاژ

در این مدار سوئیچ q1 با چرخه وطیفه d عمل می کند. با توجه به ولتاژ ورودی و جریان بار سوئیچ q2 با چرخه وظیفه d1 عمل می کند. در مدت زمان dts ولتاژ vin-vcd به طرف اولیه ترانسفورماتور اعمال شده و دیود d1 و d3 روشن می شوند. به دلیل افزایش هم زمان جریان مغناطیسی ترانسفورمر و جریان سلف خروجی ilo جریان اولیه ipri نیز افزایش می یابد. در مدت زمان d*ts1 ولتاژ vcd به طرف اولیه ترانسفورمر اعمال شده و دیود d2 و d4 روشن می شود. خازن cd در مدت زمان d*ts1 فقط به عنوان یک منبع ولتاژ عمل نمی کند بلکه یک خازن بلوکه کننده dc است و از اشباع هسته نیز جلوگیری می کند.

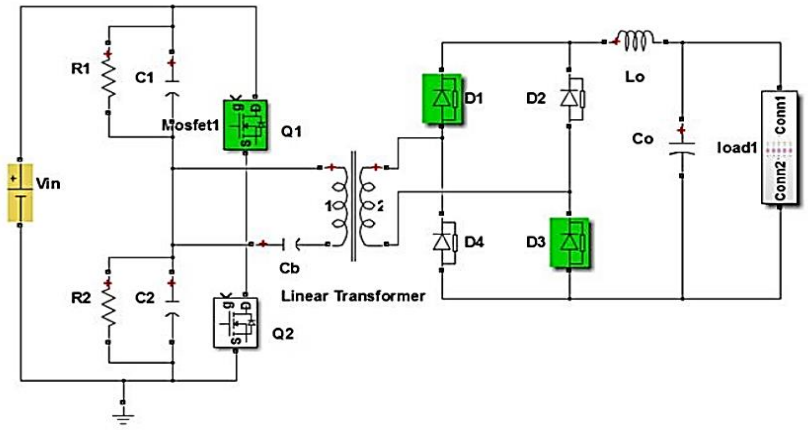
حالت اول :

$0 < t \leq DT$

خاموش و روشن بودن سوئیچ در جدول زیر قابل ارزیابی است.

Q1	Q2	D1	D2	D3	D4
on	off	on	off	on	off

عملکرد مدار نیز در بازه زمانی $0 < t \leq DT$ به صورت زیر است.



$$\frac{v_p(t)}{v_s(t)} = \frac{N_p}{N_s} \Rightarrow v_s(t) = v_p(t) * \frac{N_s}{N_p}$$

Vp و vs و Np و Ns به ترتیب ولتاژ اولیه و ثانویه و تعداد دور اولیه و ثانویه هسته می باشد.

$$v_{Lo}(t) = -v_o(t) + v_s(t)$$

Vo و Vlo ولتاژ خروجی و سلف می باشد.

$$i_{Co}(t) = i_{Lo}(t) - \frac{v_o(t)}{R}$$

Ico و ilo و R به ترتیب جریان خازن و جریان سلف و مقدار مقاوت می باشد.

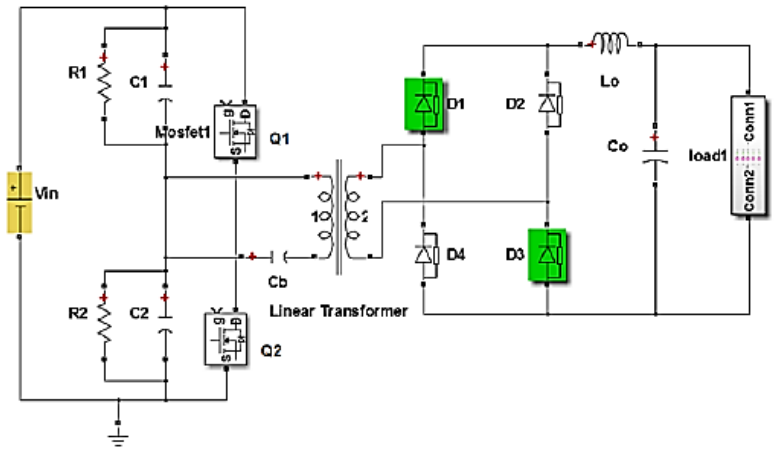
حالت دوم :

در این حالت سوئیچ D1 **و** D3 **روشن بوده و** Q1 و Q2 و D2 و D3 خاموش اند. مد سوم و چهارم مشابه حالت اول و دوم می باشد اما سوئیچ خاموش و روشن خاموش می گردد.

$$DT < t \leq \frac{t}{2}$$

Q1	Q2	D1	D2	D3	D4
off	off	on	off	on	off

می توان عملکرد مدار در بازه زمانی مشخص را در شکل زیر ارزیابی کرد.



مشخصات طراحی:

بازه تغییر چرخه کاری ۵.- می باشد در این مقاله مقدار ۲۵. در نظر گرفته می شود تا دسترسی به بهترین بازه امکان پذیر باشد، فرکانس کلید زنی نیز ۲۰ کیلو هرتز تعیین گردیده است. به دلیل اینکه چراغ LED حساس به ولتاژ ورودی می باشد بیشتر از این مقدار باعث صدمه به خود چراغ و همچنین تاثیر منفی در نور خروجی می گردد بنابراین ریپل خروجی ولتاز برابر با ۵. تعیین گردیده است.

طراحی ترانس:

برای طراحی ترانس نیز می توان نسبت تبدیل را از رابطه زیر حساب کرد که d نشانگر سیکل کاری است.

$$V_o = V_s * \frac{N_s}{N_p} * D = \frac{N_s}{N_p} = \frac{4}{13}$$

طراحی خازن ورودی:

در طراحی خازن می دانیم که عدم تقارن می تواند سبب بروز اشباع شود از این رو علاوه بر روش کنترل جریان برای این مبدل ها خازن کوچک برای حذف جریان dc در ترانس قرار داده می شود.

$$C_b = \frac{I_o * \Delta t}{\Delta V_i} * \frac{N_s}{N_p}$$

$$\Delta V_i = 0.1 * \frac{V_i}{2}$$

$$\Delta t = DT_s$$

Cb ظرفیت خازن جهت حذف جریان dc در بازه زمانی دلتا می باشد و vi ولتاژ ورودی و ts دوره تناوب کلید زنی به حساب می آید.

طراحی سلف و خازن خروجی :

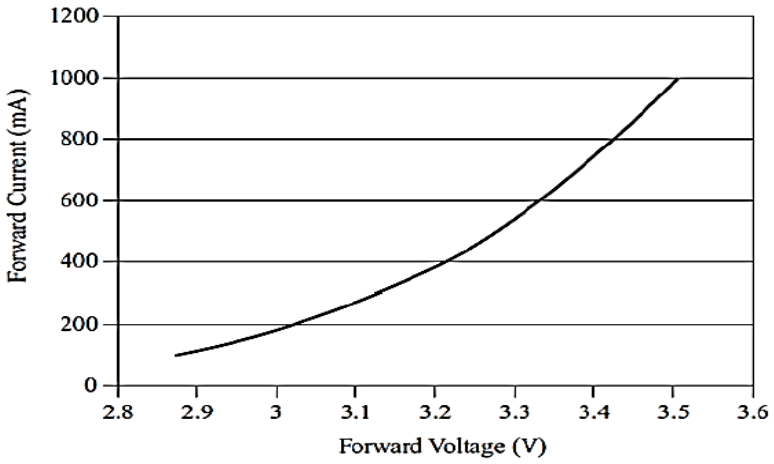
در طراحی سلف و خازن خروجی ابتدا مبدل را در حالت مرزی طراحی و کنترل می گردد زیرا وجود مبدل در CCM سبب می شود، رابطه ولتاژ ورودی و خروجی ساده تر شود، از طرف دیگر به دلیل نزدیکی به حالت DCM سرعت مبدل و دینامیک آن بالاتر خواهد بود. علاوه بر این چناچه در حالت مرزی مدار به کار گرفته شود، جریان کلید پس از روشن شدن از صفر زیاد می شود همچنین در صورتی که مدار در حالت کاری CCM قرار گیرد جریان کلید بایستی پس از روشن شدن در کم ترین زمان ممکن به به Imin رسد. ویژگی مطلوب دیگر این است اگر در زمان روشن کردن کلید دیود دارای جریان باشد به طور

ناگهانی جریان بازیابی معکوس از آن عبور کرده و سبب ایجاد تلفات زیادی روی دیود می شود و در این حالت بهتر است با صفر کردن جریان قبل از روشن شدن سوئیچ اثر بازیابی معکوس را از بین ببریم.

$$\begin{cases} I_o = \dfrac{V_o}{2L}(1-\mathrm{D})\mathrm{T}_S \Rightarrow L = 225*10^{-6} \\ C_o = \dfrac{V_o \times (1-D)}{8*\mathrm{L}*\Delta V_o * \mathrm{f}_s^2} \Rightarrow C = 52083*10^{-9} \end{cases}$$

مدل سازی LED:

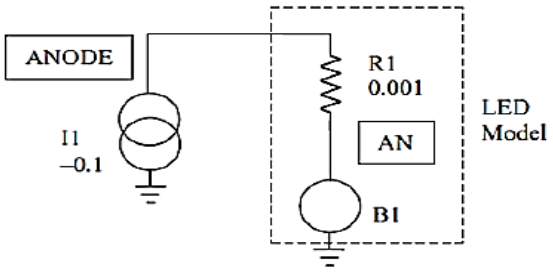
در ادامه به معرفی کلی مدل لامپ های روشنایی LED برای استفاده در بخش شبیه سازی می پردازیم. رابطه ولتاژ جریان این لامپ ها مطابق شکل های زیر می باشد. درصورتی که ولتاژ و جریان عبوری از این لامپ ها در بازه کوچکی از نقطه کار تغییر کند، می توان بار را با تقریب خوبی با مقاومت استاتیکی آن مدل کرد؛ اما در صورتی که کمی از نقطه کاری فاصله گرفته شود، این تقریب با خطای زیادی همراه خواهد بود.



منحنی ولتاژ جریان لامپ led

محاسبات تقریب:

بهترین تقریبی که برای این لامپ ها می توان در نظر گرفت یک تقریب خطی مرتبه اول از منحنی ولتاژ-جریان آنها می باشد که در نهایت این معادله خطی با یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری شده مدل می شود. می توان معادل سازی LED را در شکل زیر با یک منبع و مقاومت مشاهده کرد.



مدار معادل led

$V = 0.27474*(LnI + 5.756)$

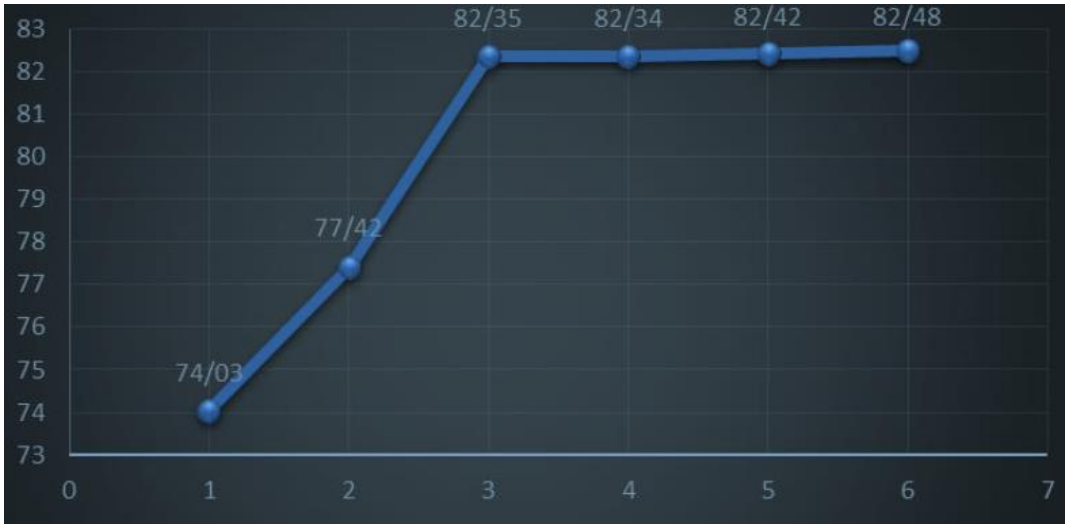
یک روش کاربردی در خطی سازی معادلات غیر خطی سیستم بر اساس بسط سری تیلور است. با استفاده از چند جمله اول یک بسط تیلور مقدار تقریبی یک تابع مشتق پذیر را در همسایگی یک نقطه به دست می آورد. با توجه به بسط تیلور در نقطه کار ۰،۴ پس از جایگذاری رابطه زیر:

$$V=0.27474\left(-1.91629+\frac{i}{400}\right)+1.58140$$

$$V=0.00068685i+2.95275497$$

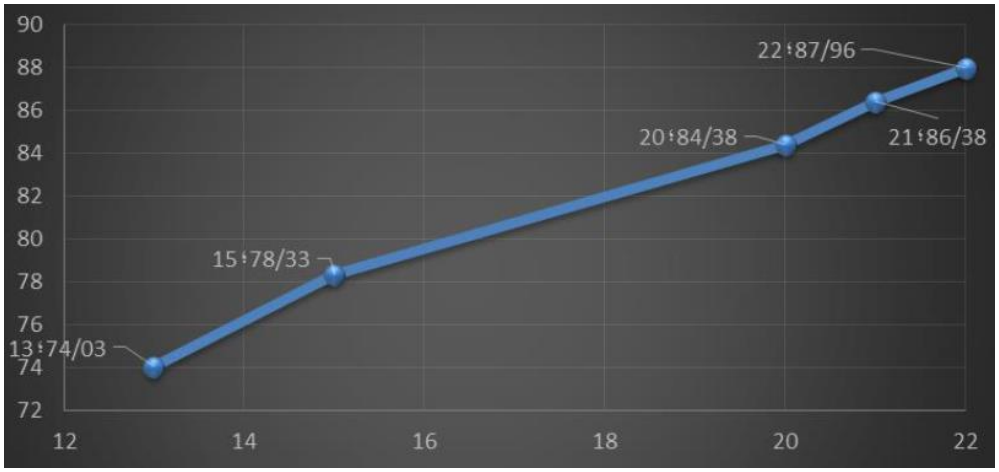
تعداد ۸ عدد LED سری ۵ شاخه موازی می باشد. در کل به ۴۰ عدد LED نیاز داریم که مقدار بار مورد نظر است. حال در ادامه و بعد از انجام آنالیز حساسیت مقادیر سلف و خازن به بررسی عملکرد مدار می پردازیم.

با تغییر مقادیر سلف می توان به تاثیر مستقیم بر روی راندمان و افزایش آن دست یافت. شکل زیر میزان تاثیر پذیری افزایش ظرفیت اندوکتانس را نمایش می هد. با تغییر سلف طراحی نامی به مقدار ۳ برابر راندمان خروجی ۸،۲۳ درصد می باشد البته پس از سه برابر درصد تغییر ناچیز می باشد.



نمودار تاثیر افزایش مقدار سلف در راندمان

با تغییر مقدار تعداد دور سیم پیچ اولیه NP می تواند بر راندمان افزوده در شکل زیر میزان افزایش تعداد دور اولیه با راندمان مشاهده شود.



منحنی تاثیر افزایش تعداد دور سیم پیچ اولیه در راندمان

بهینه سازی و بهبود مصرف انرژی در LED :

در این تحقیق ما از نرم افزار متلب برای شبیه سازی و یک الگوریتم فراابتکاری به نام الگوریتم ژنتیک استفاده می نماییم، هر الگوریتم بهینه سازی برای حل مساله نیاز به تابع هدف دارد بعد از تعیین تعداد جمعیت اولیه و میزان تکرار الگوریتم و همچنین انجام معادلات لازم برای شبیه سازی الگوریتم ژنتیک همانند تعداد دورها و ظرفیت اندوکتانس و فیلتر و نرخ جهش در نهایت با توجه به مدل مدار ارائه شده معادله تابع هدف ما به صورت زیر نوشته می شود.

$$\frac{1}{2+V_{o_ripple}} \qquad \frac{1}{2+I_{o_ripple}}$$

نتایج شبیه سازی :

در اینجا الگوریتم بهینه سازی تنظیم شده است و بعد از یافتن مقادیر بهینه این پارامترها را در مدل اصلی جایگزین کرده و سپس شبیه سازی اصلی را انجام دادیم. در نهایت بعد از انجام شبیه سازی و یافتن جواب های بهینه می توان تاثیر بسیار بالای بهینه سازی توسط الگوریتم را مشاهده نمود که این امر باعث افزایش راندمان حدودا ۲۰ درصدی در مدار شده است. در نهایت نیز برای مقایسه و درک نتایج کار می توان مقایسه ایی میان حالت قبل و بعد از بهینه سازی در مدار انجام داد.

	ns	np	Co برحسب uf	Lo برحسب mh	راندمان نهایی
مدار طراحی قبلی	۴	۱۳	۵۰	.۲	۷۶
مدار طراحی شده تحقیق	۱۰	۲۸	۱۳۲۰	۷	۹۷

مبدل ها و درایور های پیشتر استفاده شده هرکدام دارای معایبی هستند که در جدول زیر تحلیل مبدل های پیشین انجام شده است.

نام توپولوژی	معایب
باک – باک	عملکرد در سیکل کاری کم
فلای بک - اندوکتانس	استرس سوئیچ
رزونانسی – LLC مبدل باس دوقلو	تعداد زیاد سوئیچ و کنترل آنها
باک بوست – فلای بک	متغیر بودن فرکانس سوئیچ

لازم به ذکر است که هرکدام از مبدل های بالا دارای مزایایی نیز می باشند که عنوان نشده اند. مدل نیم پل طراحی شده تحقیق در مقایسه با سایر مبدل ها دارای کمترین تعداد سوئیچ و استرس سوئیچ با توجه به نوع کارکرد می باشد همچنین سادگی و ارزانی کنترل کننده ها و نیز ایزوله بودن مدار از سایر ویژگی های مدار است که طراح را به انتخاب و استفاده از مدار نیم پل سوق می دهد.

نتیجه گیری نهایی :

همانطور که مشاهده شد در این تحقیق شبیه سازی لازم جهت بهبود مصرف انرژی در LED های روشنایی انجام و در نهایت

این امر راندمانی حدودا بیست درصدی را به همراه داشت. در این تحقیق از یک مدل بهینه برای درایور لامپ های led استفاده شد و جزئیات کار نیز مرحله به مرحله گزارش شد و در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی و شبیه سازی لازم انجام شد. مدل درایور ارائه شده حداقل تعداد ممکن المان در آن بکار رفته است. درایور پیشنهادی بر اساس مدارات سوئیچینگ شناخته شده در ساختاری که برای درایو این لامپ ها بکار می رفته است مدل سازی شد و با الگوریتم ژنتیک بهترین مقادیر سلف فیلتر، خازن فیلتر، تعداد دور اولیه و ثانویه بدست آمد و در آخر شبیه سازی کار نشان داد روش پیشنهادی دارای کیفیت و عملکرد مطلوبی است.

منابع :

نجفی، احمد، محمدیان، سبحان، تورانداز کناری، مقداد، مظفری، علیرضا، ۱۳۹۶، محاسبه شدت میزان هارمونیک منابع هارمونیکی مختلف نظیر لامپ های LED وپنل های PV با بکارگیری شاخص معادل، کنفرانس ملی پژوهش های نوین در برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون

ناصحی، مجتبی، ۱۳۹۷، راه انداز AC-LED با روش بدون پل و رزونانس سری، هفتمین همایش مهندسی برق مجلسی، اصفهان، هفتمین همایش مهندسی برق مجلسی

سالار، آتش پر گرگری، مهرافروز، آرش، کبریائی طبری، غلامرضا، ۱۳۹۰، مطالعه میدانی فنی- مهندسی و اقتصادی استفاده از چراغ های LED، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو

Lozano, G., Rodriguez, S. R., Verschuuren, M. A., & Rivas, J. G. (2016). Metallic nanostructures for efficient LED lighting. Light: Science & Applications, 5(6), e16080.

Breslow, D. S., & Swafford, J. (2017). U.S. Patent No. 9,829,178. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Liu, J., Zhang, W., Chu, X., & Liu, Y. (2016). Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight. Energy and Buildings, 127, 95-104.

Orsley, T. J., & Trutna, W. R. (2015). U.S. Patent No. 9,202,996. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Han, T., Vaganov, V., Cao, S., Li, Q., Ling, L., Cheng, X., ... & Tu, M. (2017). Improving "color rendering" of LED lighting for the growth of lettuce. Scientific reports, 7, 45944.