هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۲

بررسی نقش بالاست الکترونیکی در بهینه سازی مصرف انرژی

محمد نقی داوری ـ تحقیقات و فناوری
شرکت نورافشان

کلید واژه ها: *لامپهای HID ، بالاست الکترونیکی، بالاست القایی، اینورتر*

۱-مقدمه:

زمانیکه دربارهٔ لامپهای الکتریکی بحث به میان می‌آید برای اغلب مردم روشنایی خانگی (Indoor) تداعی می‌شود. در صورتیکه لامپهای خانگی عمدتاً از نوع التهابی رشته‌ای و اخیراً نیز لامپهای هالوژن و CFL جهت روشنایی استفاده می‌شوند. اغلب ما در مورد روشنایی میادین، بزرگراهها، استادیوم‌های ورزشی، اماکن بزرگ عمومی و نمای بیرونی برجهای مسکونی و پارکها که در شب دارای مناظر زیبا و دلپذیری می‌باشند دقت نکرده‌ایم.

اینگونه اماکن توسط دسته‌ای از لامپهای الکتریکی که لامپهای HID (High Intensity Discharge) نامیده می‌شوند روشن می‌گردند. این لامپها با داشتن بهره‌نوری بالا و طول عمر زیاد بعنوان یکی از کارآمدترین لامپها معرفی می‌شوند.

لامپهای HID بعلت داشتن ناحیه مقاومت منفی دارای مشخصه‌های یک عنصر غیرخطی می‌باشند. بدین معنی که هنگامیکه جریان از میان گاز عبور می‌کند مقاومت مسیر عبور جریان کم شده و جریان بیشتری اجازه عبور پیدا می‌کند در صورتیکه این پدیده کنترل نگردد جریان تا زمانیکه لامپ بسوزد افزایش خواهد یافت.

بنابراین لامپهای HID نیازمند بالاست می‌باشند. در این مدارات بالاست نقش محدودکنندهٔ جریان، فراهم‌کننده ولتاژ بالا برای لحظه راه‌اندازی و افزایش ضریب توان را برعهده دارد.

بالاستهای مغناطیسی (Conventional) که این روزها مورد استفاده قرار می‌گیرند بعلت داشتن معایبی چون پدیدهٔ Filicker، صدای ناخواسته (هوم)، تلفات بالا و راندمان پایین، جریان شروع کننده بزرگ و نامطلوب، اندازه و حجم بزرگ و وزن زیاد، چندان مورد توجه نیستند. بالاستهای الکترونیکی که با فرکانس بالاتر از امواج صوتی (بیش از ۲۰KHZ) کار می‌کنند می‌توانند معایب فوق را برطرف سازند.

در یک فرکانس بالا پدیدهٔ Filicker تا حد زیادی رفع می‌گردد، همچنین صدای هوم کاملاً از بین می‌رود. خازنها و سلفهای موجود در مدار، از لحاظ ابعاد کوچکتر می‌گردند که به حجم کمتر و سبکتر شدن بالاست می‌انجامد. امکانات استفاده از کنترل توان و جریان لامپ نیز وجود دارد. همچنین کاهش زمان راه‌اندازی و راه‌اندازی مجدد برای لامپهای پرفشار و کنترل بهتر شرایط و پارامترهای راه‌اندازی که در نهایت به بهبود طول عمر لامپ می‌انجامد. افزون بر آن، افزایش بهره مدار بعلت کاهش تلفات بالاست می‌باشد.

۲-بالاستهای الکترونیکی:

بالاستهای الکترونیکی جهت راه‌اندازی و کارکرد لامپ در فرکانسهای بالا طراحی و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

این بالاستها با استفاده از مدارات الکترونیکی کنترل جریان را برعهده می‌گیرند که از چند بخش اصلی ذیل تشکیل شده‌اند:

۱) فیلتر ورودی (EMI Filter)

۲) یکسوکننده (Rectifier)

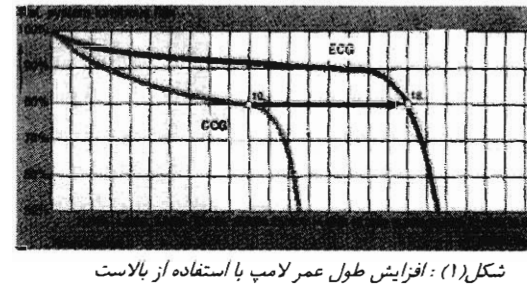
۳) تصحیح کننده ضریب توان PFC

۴) مدارات خروجی (OutPut Stage)

در مقایسه با بالاست مغناطیسی باید اذعان داشت که علیرغم گرانقیمتر بودن بالاست الکترونیکی، مزایای این نوع بالاست توجیه اقتصادی به بار می‌آورد.

به اجمال می‌توان مزایای بالاست الکترونیکی را این چنین برشمرد:

الف)افزایش طول عمر لامپ: مطابق با شکل (۱) استفاده از بالاست الکترونیکی باعث افزایش طول‌عمر لامپ به میزان ۱/۸ برابر نسبت به بالاست القایی می‌گردد .(طول عمر لامپ مطابق با استاندارد IEC ، ۱۶۵ دقیقه روشن و ۱۵ دقیقه خاموش می‌باشد)

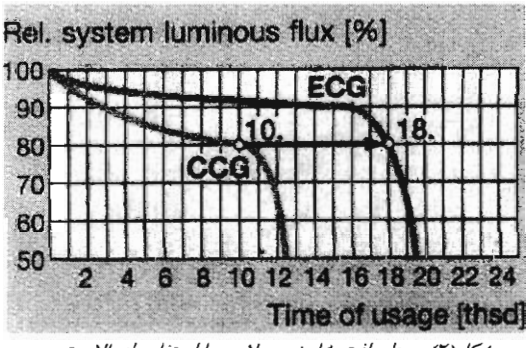


شکل(۱) : افزایش طول عمر لامپ با استفاده از بالاست الکترونیکی در مقایسه با بالاست القایی

ب)افزایش راندمان

همانگونه که در جدول (۱) و (۲) مشاهده می‌گردد با جایگزینی بالاست الکترونیکی بجای بالاست مغناطیسی، راندمان سیستم برای لامپ ۷۰ وات و ۱۵۰ وات بخار سدیم بترتیب به میزان ۸/۹ ٪ و ۵/۸٪ افزایش می‌یابد .

پ)افزایش شدت نور لامپ (کاهش میزان افت شار نوری) : همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود پس از سپری شدن ۱۰۰۰۰ ساعت از طول عمر لامپ، میزان افت شار نوری لامپ با بالاست القایی ۸۰٪ و با بالاست الکترونیکی ۹۰٪ شار نوری اولیه می‌باشد.



شکل(۲): میزان افت شار نوری لامپ با استفاده از بالاست الکترونیکی و القایی

نوع لامپ	نوع بالاست	توان ورودی (W)	توان لامپ (W)	توان تلفاتی (در بالاست) (W)	راندمان سیستم (لامپ و بالاست)
بخارسدیم ۷۰w	بالاست مغناطیسی ۷۰w	۹۰	۷۴	۱۶	۶۲.۲
بخارسدیم ۷۰w	بالاست الکترونیکی ۷۰w	۸۲	۷۴	۸	۶۸.۳

جدول(۱): مقایسه راندمان و توان تلفاتی بالاست الکترونیکی و القایی با لامپ ۷۰

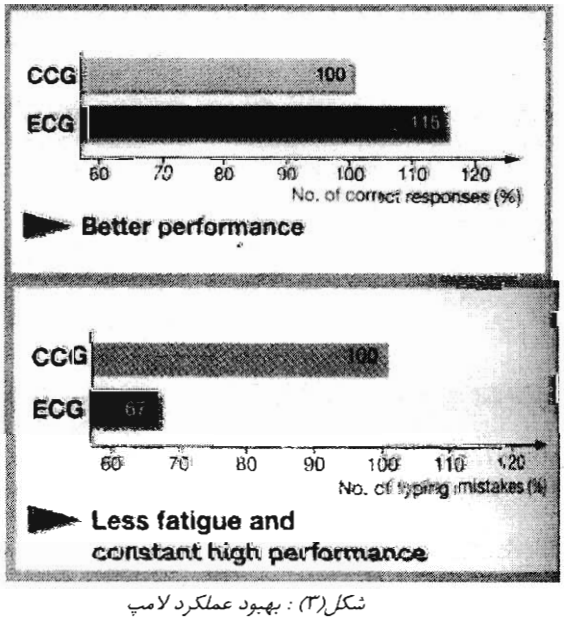
راندمان سیستم (لامپ و بالاست)	توان تلفاتی (در بالاست) (W)	توان لامپ (W)	توان ورودی (W)	نوع بالاست	نوع لامپ
۸۵.۳	۲۳	۱۴۷	۱۷۰	بالاست مغناطیسی ۱۵۰w	بخارسدیم ۱۵۰w
۹۰.۶	۱۳	۱۴۷	۱۶۰	بالاست الکترونیکی ۱۵۰w	بخارسدیم ۱۵۰w

جدول(۲): مقایسه راندمان و توان تلفاتی بالاست الکترونیکی و القایی با لامپ ۱۵۰ وات سدیم

ج)کاهش توان مصرفی بالاست : مطابق با جدول (۱) و (۲)، با جایگزینی بالاست الکترونیکی و القایی میزان کاهش تلفات برای یک لامپ بخارسدیم ۷۰ وات ، ۵۰٪ و برای لامپ بخار سدیم ۱۵۰ وات برابر با ۴۸٪ می‌گردد.

چ)کاهش حرارت ایجاد شده : بدلیل عدم استفاده از هسته و سیم‌پیچ در بالاست الکترونیکی حرارت کمتری ایجادشده و این موضوع به بهبود طول عمر لامپ می‌انجامد .

ح) بهبود عملکرد لامپ : مطابق با شکل (۳) با جایگزینی بالاست الکترونیکی و القایی، عملکرد لامپ به میزان ۱۵٪ بهبود یافته است .

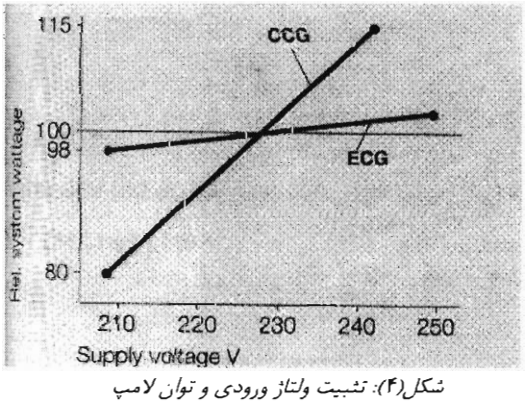


شکل(۳) : بهبود عملکرد لامپ

خ)کاهش وزن بالاست

د)بی‌نیاز شدن به خازن و ایگنیتور

ذ) تثبیت ولتاژ و توان و کاهش حساسیت نسبت به تغییرات ولتاژ شبکه. مطابق با شکل (۴)

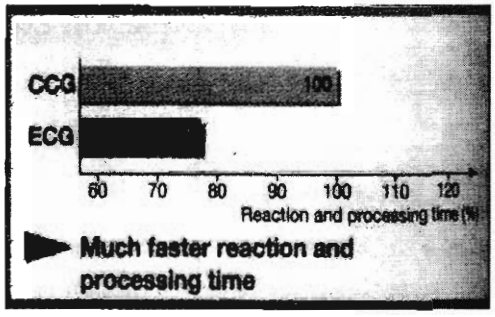


شکل(۴): تثبیت ولتاژ ورودی و توان لامپ

ر)یکنواخت بودن نور لامپ (کاهش پدیدهٔ فیلکر) : این امر موجب احساس راحتی بیشتر در مصرف‌کننده و کاهش خستگی چشم می‌گردد.

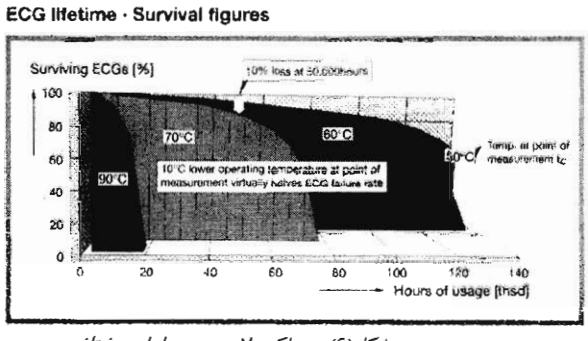
ز)کارکرد بدون صدا و لرزش

ص)بهبود زمان راه اندازی – مطابق با شکل (۵)



شکل (۵): بهبود زمان راه اندازی

ض)اطمینان از عملکرد لامپ در دماهای مختلف – مطابق با شکل (۶)



شکل(۶) : عملکرد لامپ در دماهای مختلف

۳-پارامترهای الکتریکی بالاست

۱)جریان شروع کننده: جریان راه‌انداز (اولیه) بالاست در طول گرم شدن لامپ می‌باشد. اگر این جریان به اندازه کافی نباشد ممکن است لامپ روشن نشود.

۲)جریان کارکرد: جریان داخلی مدار در طول کارکرد طبیعی آن می‌باشد. جریان کارکرد با جریان شروع کننده متفاوت می‌باشد.

۳) Crest Factor جریان: نسبت پیک جریان به جریان مؤثر می‌باشد. به عنوان مثال C.F یک موج سینوسی ۱.۴ می‌باشد. شکل موج ولتاژ ورودی یک بالاست بصورت سینوسی می‌باشد اما شکل موج جریان بعلت وجود سلف و خازن در مدار حالت سینوسی کامل را ندارد به همین دلیل مقدار C.F از ۱.۴ بالاتر می‌باشد. آزمایشها نشان داده است C.F بالا موجب کاهش عمر مفید لامپ می‌گردد. بالاترین C.F برای لامپهای فلورسنت حدود ۱.۷ می‌باشد. همچنین بالاترین C.F برای لامپهای HID برای لامپهای بخارجیوه در حدود ۲ و برای لامپهای متال‌هالید و بخارسدیم در حدود ۱.۸ می‌باشد.

۴)ضریب توان (Power Factor) : نسبت توان خط به حاصلضرب ولتاژ در جریان خط می‌باشد که برحسب درصد بیان می‌شود. ضریب توان در بالاستهای الکترونیکی با توجه به ساختار مدار الکترونیکی تا ۰.۹۵ بهبود خواهد یافت. همچنین در بالاستهای القایی بطور معمول این مقدار حدود ۰.۵ می‌باشد.

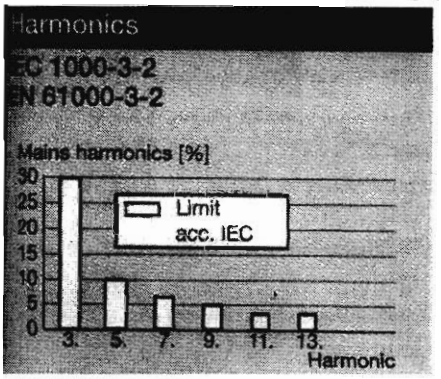
۵)Radio Frequency Interference : گاهی بالاستهای الکترونیکی باعث ایجاد تداخل در تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی حساس می‌شوند. علت عمده آن می توان به کارکرد فرکانس بالای این نوع بالاستها اشاره کرد. در جهت کاهش پدیدهٔ فوق می‌توان از فیلترهای EMI در ورودی استفاده کرد. پدیدهٔ فوق در بالاستهای مغناطیسی وجود ندارد.

۶)Ballast Sound Rating : بعلت اثر مغناطیسی هسته و سیم پیچ، ممکن است در بالاستهای مغناطیسی تولید صدای اندک (هوم) گردد. بالاستهای الکترونیکی چون دارای هسته و کویل نمی‌باشند کارکردشان از این لحاظ از بالاستهای مغناطیسی بهتر می‌باشد.

۷) هارمونیکهای جریان

در جهت یکسوسازی ولتاژ ورودی و بدلیل استفاده از خازن جبران‌ساز، شکل موج جریان ورودی بطور موقت صفر شده و سپس دارای قله (Peak) می‌گردد.
براساس قانون فوریه، شکل موجهای قله‌ای شکل به مقدار پایه و هارمونیکهای بالاتر تفکیک می‌گردند که هارمونیکهای بالاتر بصورت درصدی از مقدار پایه و بنیادی تعریف می‌گردند و این طیف فرکانسی را می‌توان توسط تحلیل‌گر هارمونیکی اندازه‌گیری نمود.
مطابق با شکل (۷) براساس استانداردهای بین‌المللی IEC۱۰۰۰-۳-۲ و EN۶۱۰۰۰-۳-۲ مقدارهارمونیکهای بالاتر جریان محدود شده‌اند . در ستون ۳ جدول (۳) مقادیر هارمونیکهای بالاست بدون فیلتر و در ستون ۴ محدوده استاندارد درج شده است.

از مقایسه بین نتایج آزمـون و محـدودهٔ IEC، ملاحظـه می‌گردد که مقادیر هارمونیکها از حدود IEC تجاوز



شکل (۷): محدودیت هارمونیکها مطابق با IEC و EN با استفاده از بالاست الکترونیکی

نموده که این مطلب بدلیل عدم وجود فیلـتر در ورودی مدار می‌باشد.

در راسـتای رعـایت مقـرارت IEC بـاید هارمونیکـهای جریان ورودی فیلتر شوند که این امر با استفاده از فیلتر پایین‌گذر یا مدارات الکترونیکی میسر می‌شود.

در جدول (۴) میزان هارمونیکها پس از قراردادن فیلـتر پایین‌گذر با استفاده از چند نوع بالاست الکـترونیکی در مدار نشان داده شده است.

بـا اسـتفاده از رابطـه زیـر می‌تـوان مقـدار مجمـوع هارمونیکـهای جریـان (THD_I) را محاسـبه نمود:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} (\frac{In}{I_1})^2}$$

I_1 = جریان پایه و بنیادی

مقـدار THD بـرای بالاسـتهای مغناطیسـی در حـدود ۱۰% تا ۲۰% می باشد.

۸) **Power Regulation**: ایـن فـاکتور یکـی از توانائیهای بالاست در جـهت کنـترل تـوان می‌باشـد. در صورتیکه ولتاژ ورودی متغیر باشد این ولتاژ باید توسـط یک سیستم الکـترونیکی تثبیـت شـود.(زمانیکـه لامـپ HID در حال کارکرد می‌باشد.)

۹) t_c: ماکزیمم مقدار حرارت کارکرد بالاست می‌باشد.

Harmonics		In,eff	In,eff/I۱,eff	IEC requirement
Number	Frequency(Hz)	(mA)	(%)	(%)
۱	۵۰	۹۶	۱۰۰	۱۰۰
۲	۱۰۰	۰	۰	۲
۳	۱۵۰	۸۹	۹۲	۳۰ . λ
۵	۲۵۰	۷٤	۷۷	۱۰
۷	۳۵۰	۵۷	۵۹	۷
۹	٤۵۰	٤۰	٤۱	۵
≥ ۱۱	۵۵۰	۲۵	۲٦	۳

جدول(۳): مقدار هارمونیکها مطابق با استاندارد IEC و بالاست الکترونیکی بدون فیلتر

Harmonics	$I_{n,eff}/I_{1,eff}(\%)$		
Number	HF-P ۱۲۸ TLD	TH-p ۲۵۸ TLD	HF-R ۲۵۸ TLD
۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳	۷	٦,٥	۱۰
۵	۲,٥	۲	۲
۷	۲	۲	۲
۹	۱,٥	۱,٥	۱
≥ ۱۱	۱,٥	۱	۱
THD(%)	۸	۷,٥	۱۲

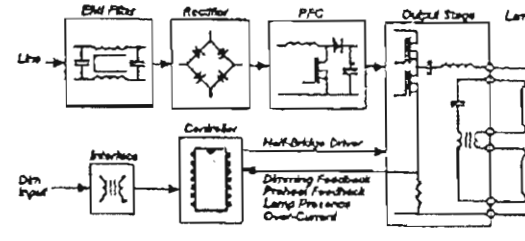
جدول(۴): مقدار هارمونیکها در انواع بالاست الکترونیکی فیلتردار

۱۰) **tw** : ماکزیمم مقدار حرارت سیم‌پیچها می‌باشد.

۱۱) **Δt**:مقدار افزایش حرارت سیم پیچها در حین کـارکرد می‌باشد.

۴-ساختمان بالاست الکترونیکی:

شماتیک کلی بالاستهای الکترونیکی مطابق با شکل (۸) می‌باشد.



شکل (۸): بلوک دیاگرام بالاست الکترونیکی

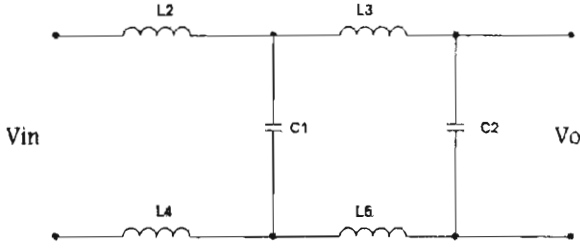
۵-اجزا بالاست الکترونیکی:

۱)فیلتر ورودی (EMI Filter)

این بخش مطابق با شکل (۹) از عناصر القاگر L و C تشکیل شده است.

۱)ممانعت از تشعشع رادیویی در فرکانس کاری و جلوگیری از تزریق نویز حاصل از سوئیچینگ به خط تغذیه اصلی

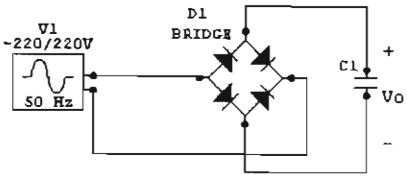
۲)جلوگیری از ورود اسپایک‌های موجود در تغذیه V_{in} به مدار



شکل(۹) : فیلتر ورودی (EMI فیلتر)

۲)یکسوکننده تمام موج

مطابق بـا شـکل (۱۰)، وظیفـه یکسوسـازی سـیگنال AC ورودی را برعـهده دارد کـــه ترکیبـــی از دیـــود و خـــازن الکترولیت می‌باشد.



شکل(۱۰) : یکسوکننده تمام موج

۳) تصحیح کننده ضریب توان PFC

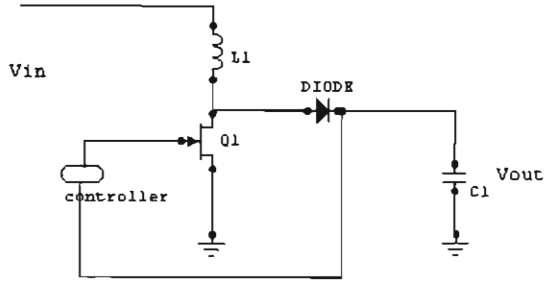
طراحی تصحیح کننده ضریب توان به منظور دستیابی به ضریب توان مطلوب و برآوردن استانداردها و نیز کاهش هارمونیکهای خط به نتایج اصلی ذیل منجر می‌گردد:

۱)ضریب توان مطلوب، ماکزیمم توان قابل دسترسی را محدود می‌کند.

۲)محدودیتهای استانداردهای بین‌المللی مخصوصاً EN۶۱۰۰۰-۳-۲ نیازمند آن است که جملات هارمونیکهای جریان ورودی زیر مقدار معینی باقی بمانند.

طبق شکل (۱۱) عموماً این قسمت از رگولاتور بوست و یا باک ـ بوست تشکیل شده است.

با قرار دادن این بخش در مدار بالاست ضریب توان بیش از ۰.۹۵ بهبود خواهد یافت.



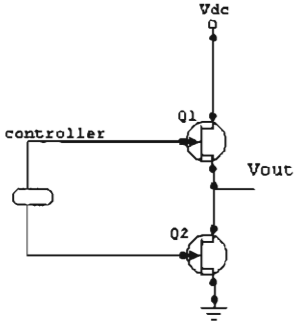
شکل(۱۱) : تصحیح‌کننده ضریب توان PFC

۴) مدارات خروجی (Output Stage)

این قسمت از مدار شامل دو بخش اینورتر و مدارات رزونانس سری می‌باشد.

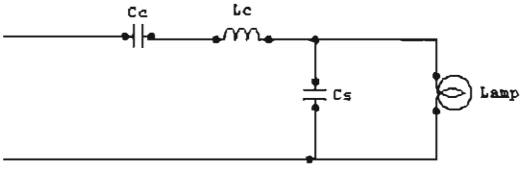
الف)مدارات اینورتر: همانگونه که در شکل (۱۲) ملاحظه می‌شود، معمولاً از یک اینورتر نیم پل تشکیل شده است که وظیفه سوئیچینگ و تولید فرکانس بالا را برعهده دارد. خروجی این مدار بصورت موج مربعی می‌باشد.

با تنظیم فرکانس سوئیچینگ مدار اینورتر می‌توان میزان توان خروجی را کنترل نمود.



شکل(۱۲) : اینورتر نیم پل

ب)مدارات رزونانس سری: در شکل (۱۳)، این بخش از مدار از دو عنصر L و C تشکیل شده است. در انتخاب مقدار L و C باید دقت کرد زیرا تأثیر بسزایی برای قطعات سوئیچ کننده و کل مدار خواهد داشت. مقدار L باید بگونه‌ای باشد که قابلیت ذخیره انرژی لازم و انتقال به بار خروجی را داشته باشد. جهت راه‌اندازی لامپ و شروع عملیات تخلیه درون لامپ یک پالس ولتاژ بالا نیاز می‌باشد. زمانیکه اینورتر در فرکانس L و C_s شروع بکار می‌کند یک ولتاژ بالا در دوسر C_s فراهم شده که باعث روشن شدن لامپ می‌گردد.



شکل(۱۳) : مدار رزونانس سری

بحث و نتیجه‌گیری: در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی یکی از بهترین راهکارها را می‌توان صرفه‌جویی و استفاده بهینه از انرژی پربهای الکتریکی عنوان کرد . جایگزینی بالاست الکترونیکی علاوه بر ازیاد طول عمر بالاست به افزایش طول عمر لامپ، افزایش راندمان و شدت نور لامپ و در نهایت به بهبود عملکرد لامپ منجر می‌گردد.
شایان ذکر است با وجود تغییرات پیک مصرف در مصرف‌کننده‌های خانگی و صنعتی در فصول مختلف که منجر به متزلزل شدن شبکه برق سراسری می‌گردد لازم است تا بارهای اضافی از این سیستم حذف گردد .

منابع و مراجع :

[۱] "GUIDE BOOK OF ELECTRONIC CIRCUIT''JOHN MARKUS
Copyright ۱۹۹۶ by MC Graw Hill.

[۲] "High Pressure Mercury Vapour Lamp and Their Applications", W.Elenbaas,۱۹۶۵,Cleaver-Hume Press Ltd.

[۳] " Power Electronics'',Second Edition, Translated by Ebrahim afjei Ph.D,Majid Mohajer Eng.

[۴]Electric Discharge Lamps" , J.F.Waymouth,۱۹۷۱,MIT Press.