بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEQ101

نوع پذیرش: رزرو برای ارائه

اثرات جانبی استفاده از لامپهای کم‌مصرف

مهران رشیدی

مشانیر

فرزان رشیدی

دانشکده فنی دانشگاه تهران

mrashidi@mehr.sharif.ac.ir

کلمات کلیدی: لامپهای کم‌مصرف - هارمونیک - اعوجاج ولتاژ - بالاست الکترونیکی

چکیده:

انرژی مورد نیاز لامپهای کم‌مصرف، تقریباً ۲۰ تا ۲۵ درصد انرژی مصرفی لامپهای رشته‌ای معمولی است ولی شار نوری خروجی آنها با هم برابر می‌باشد. بطور مثال شار نوری یک لامپ کم‌مصرف ۲۰ وات معادل شار نوری یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات معمولی است. بنابراین لامپهای کم‌مصرف با صرف انرژی کمتر، می‌توانند نوری معادل لامپهای رشته‌ای معمولی تولید کنند، و چون طول عمر این لامپها در مقایسه با لامپهای رشته‌ای معمولی زیادتر است، استفاده از آنها بطور چشمگیری افزایش یافته، بطوریکه اغلب، از آنها به عنوان جایگزین لامپهای رشته‌ای معمولی استفاده می‌شود.

با این حال لامپهای کم‌مصرف دارای معایبی هم هستند که می‌تواند استفاده از آنها را محدود کند. از جمله اینکه: ۱- این لامپها، هارمونیک‌زا هستند، ۲- راندمان آنها به مدت زمان گرم شدن لامپ، دمای محیط و موقعیت قرارگرفتن لامپ بستگی دارد. ۳- مقدار انرژی را که می‌توان بواسطه استفاده از آنها صرفه‌جویی نمود اغلب کمتر از حد انتظار است. ٤- قیمت این لامپها در مقایسه با لامپهای رشته‌ای معمولی بسیار زیاد است. بنابراین قبل از ترویج و توسعهٔ لامپهای کم‌مصرف باید اثرات سوء این لامپها را بررسی نمود. بدین منظور در این مقاله تاثیر لامپهای کم‌مصرف بر اعوجاج ولتاژ، تاثیر اعوجاج ولتاژ بر عملکرد لامپهای کم‌مصرف، هارمونیک ناشی از لامپهای کم‌مصرف و اثرات آن بر شبکه‌های توزیع و همچنین تحلیل اقتصادی استفاده از لامپهای کم‌مصرف به همراه دیگر اثرات جانبی این لامپها بررسی می‌گردد.

۱- مقدمه

چون انرژی مورد نیاز لامپهای کم‌مصرف کمتر از انرژی مصرفی لامپهای رشته‌ای معمولی است، ترویج و توسعهٔ لامپهای کم‌مصرف به عنوان یکی از گزینه‌های مورد نظر در مدیریت بار و انرژی مطرح شده و از آن به منظور کاهش انرژی مصرفی استفاده می‌شود. بنابراین باید اثرات جانبی استفاده از لامپهای کم‌مصرف همچون افزایش هارمونیک‌های جریان، اعوجاج ولتاژ، تداخل امواج رادیویی و ... را مد نظر قرار داد. زیرا سطح بالای هارمونیک در سیستمهای توزیع منجر به اضافه بار شدن خازنهای جبرانساز توان راکتیو می‌گردد و موجب می‌شود طول عمر این خازنها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد[۱].

یکی دیگر از معایب لامپهای کم‌مصرف این است که راندمان آنها به مدت زمان گرم شدن لامپ، دمای محیط و موقعیت قرار گرفتن لامپ بستگی دارد. بعلاوه این لامپها دارای ضریب توان پایین (بین ۰/٤۷ تا ۰/٦۷) واعوجاج هارمونیکی بالا (THD> ٪۱۰۰) هستند. وچون توزیع نور این لامپها متقارن نیست ممکن است نور حاصل از آنها ناخوشایند به نظر برسد. ترویج این لامپها به منظور صرفه جویی در انرژی مصرفی و کم کردن پیک بار صورت می‌گیرد که اگر بارهای روشنایی درصد قابل توجهی از بار کل شبکه را تشکیل ندهند، صرفه‌جویی در انرژی مصرفی بسیار کمتر از حد مورد انتظار خواهد بود در ادامه، موارد فوق را بطور دقیق‌تر بررسی می‌کنیم.

۲- هارمونیک لامپهای کم‌مصرف

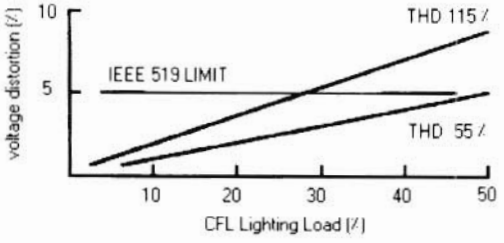
بالاست لامپهای کم‌مصرف دو نوع است: یکی بالاست الکترونیکی و دیگری بالاست مغناطیسی. هارمونیک ناشی از لامپهای کم‌مصرف بستگی به نوع بالاست دارد[۱]. THD بالاست‌های مغناطیسی بین ۸ تا ۱٤ درصد است ولی THD بالاست‌های الکترونیکی بین ۱۱٦ تا ۱٤۲ درصد است[۲]. حال چنانچه ۳۰۰۰ مشترک خانگی از لامپهای کم‌مصرف ۷ تا ۳۲ وات استفاده کنند، توان کل مورد نیاز مشترکین می‌تواند بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات باشد که اگر این لامپها دارای بالاست الکترونیکی باشند ممکن است به اعوجاج ولتاژ غیرقابل قبولی منجر گردد. برای روشن شدن مطلب، مشترکی با شرایط زیر در نظر می‌گیریم[۲]: ۱- بار کل مشترک در ابتدا ۱۰۰ کیلوولت آمپر و باضریب توان ۰/۸۵ پس فاز باشد ۲- مصرف روشنایی برابر ۵۰ درصد بار کل مشترک با ضریب توان یک باشد (لامپ رشته‌ای معمولی). فرض کنید این مشترک بخواهد بجای لامپهای رشته‌ای معمولی، از لامپهای کم‌مصرف با THD برابر با ۱۱۵ درصد (ضریب توان ۰/٦) استفاده کند.

جدول ۱ نتایج این کار را نشان می‌دهد. می‌بینیم که اگر ۲۵ درصد لامپهای رشته‌ای بوسیله لامپهای کم‌مصرف جایگزین شوند، ضریب توان ۰/۰۳ کاهش می‌یابد ولی وقتی‌که تمام لامپهای رشته‌ای بوسیله لامپهای کم‌مصرف جایگزین می‌شوند مصارف روشنایی از ۵۰ درصد به ۲۶/۳ درصد بار کل می‌رسد و ضریب توان ۰/۲ کاهش می‌یابد در این حالت، اعوجاج ولتاژ هنوز در محدوده استاندارد IEEE-519 یعنی ۵ درصد قرار دارد.

	PERCENT RETROFIT WITH CFL (٪)			
	10	25	50	100
TOTAL HARMONICS (٪)	1.7	4.5	9.8	23.5
TOTAL POWER FACTOR	0.84	0.82	0.78	0.65
٪ CFL LOAD	1.5	4.1	9.4	26.3
VOLTAGE DISTORTION (٪)	0.3	0.7	1.5	4.4

جدول ۱: نتایج جایگزینی لامپهای رشته‌ای با لامپهای کم‌مصرف

شکل (۱) اثر یک وسیله هارمونیک‌زا (مثلاً لامپ کم‌مصرف) با دو THD متفاوت ۱۱۵ درصد و ۵۵ درصد را نشان می‌دهد. محور افقی، درصد لامپ کم‌مصرف به بار کل شبکه و محور عمودی، درصد اعوجاج ولتاژ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱)، چنانچه لامپهای کم‌مصرف، بیش از ۳۰ درصد بار کل شبکه را تشکیل دهند مقدار اعوجاج ولتاژ از محدوده مجاز استاندارد بیشتر خواهد شد [۳].



شکل ۱: اعوجاج ولتاژ بر حسب بار لامپ کم‌مصرف به بار کل شبکه

۳- اثر لامپهای کم‌مصرف بر شبکه‌های توزیع

تحقیقات زیادی درباره اثرات هارمونیکی لامپهای کم‌مصرف بر سیستم‌های توزیع صورت گرفته است [٤و٥و٦و٧]. شدت تاثیر لامپهای کم مصرف بر شبکه‌های توزیع بستگی به امپدانس فیدرها دارد. هر چه امپدانس فیدر کمتر باشد تاثیر هارمونیک بر آن فیدر، شدیدتر خواهد بود[۱]. نتایج مطالعات انجام شده بر روی یک فیدر ۲۲ کیلوولت استرالیا در جدول ۲ آمده است [۸]. با توجه به جدول ۲ دیده می‌شود که ناشیTHD)...سابلخانگی (تلویزیون، رادیو، کامپیوتر و در غیاب لامپ کم‌مصرف در حالت پیک بار)، که باAحدود ۳/۵ درصد است(سناریوی زیاد شدن تعداد لامپ کم‌مصرف در شبکه، به بیش از ۳/۵ درصد می‌رسد وTHDمقدار چنانچه به منظور بهبود ضریب توان از به بیشTHDجبرانساز استفاده گردد، شاخص از ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت

) کـه بیـش از محـدوده مجـازF(سـنـاریوی
است.IEEE-519تعریف شده در استاندارد

Scenario	CFL penetration	Compensation?	THD ٪
A	0	NO	3.5
B	20٪	NO	3.85
C	40٪	NO	4.2
D	60٪	NO	4.5
E	80٪	NO	4.8
F	80٪	YES	10.3

جدول ۲: THD ناشی از بارهای غیر خطی

بنـابراین لامپـهای کم‌مصـرف بـا بالاسـت الکترونیکی ممکـن اسـت منجـر بـه اعوجـاج هارمونیکی ولتاژ شبکه گردند. تعداد لامپـهای کم‌مصرفـی کـه می‌تـوان در شـبکه قـرار داد بطوریکـه اعوجـاج ولتـاژ از محـدودهٔ مجـاز استاندارد تجاوز نکند بستگی به THD جریـان لامپ، توپولوژی شبکه توزیع، تعداد و انـدازه سایر بارهـای هـارمونیک‌زا و مـهمتر از همـه محل نصب و انـدازه خازنـهای مـوازی فیـدر دارد. در مرجع [۲] نتایج تحقیقات انجام شـده بر روی سه فیدر واقعـی آمـده اسـت و نشـان می‌دهد که کافی است هر مشترک خانگی ۲ تا ۳ لامـپ کم‌مصـرف بـا بالاسـت الکـترونیکی داشته باشد تا اعوجاج ولتاژ، بیش از ۵ درصـد شـود. یعنـی چنانچـه تقریباً ۵۰ وات انـرژی مصرفی هر مشترک خانگی مربوط به لامپـهای کم‌مصـرف بـا بالاسـت الکـترونیکی باشـد اعوجـاج ولتـاژ از محـدوده مجـاز اسـتاندارد تجاوز خواهد کرد. از آنجا که جریـان ورودی وسایل خانگی نظیر کـامپیوتر، تلویزیـون و ... شـبیه جریـان ورودی لامپـهای کم‌مصـرف بـا بالاست الکترونیکی است (جریان ورودی ایـن وسایل دارای THD حدود ۸۰ درصد است) لذا هـارمونیک تولیـد شـده توسـط لامپـهای کم‌مصرف با بالاست الکـترونیکی، تلویزیـون، کامپیوتر و ... به جای حذف یکدیگر بـه هـم اضافـه شـده و منجـر بـه THD بـزرگتـری می‌گردد.

بالاست مغناطیسی در مقایسـه بـا بالاسـت الکـترونیکی دارای هـارمونیک کمـتری اسـت ولی به دلیل اینکه فرکانس جریان خروجی آن، همان فرکانس برق شهر است می‌تواند بـاعث ایجاد فلیکر گردد.

٤- اثر لامپهای کم‌مصرف بر پیک بار

لامپهای کم‌مصرف در مقایسـه بـا لامپـهای رشـته‌ای معمولـی، انـرژی کمـتری مصـرف می‌کننـد بـا اینحـال انـرژی مصرفـی لامپـهای کم‌مصرف معمولا ۱۰ تـا ۲۰ درصـد بیشـتر از مقادیر نامی آنها است. مقدار انرژی که می‌توان بکمک لامپهای کم‌مصرف، صرفه‌جویی نمـود بستگی بـه تعـداد ایـن لامپـها در شـبکه دارد. مطالعات انجام شده درا سترالیا نشـان می‌دهـد که حدود ۱۰ درصد از مصارف انرژی، مربوط به بارهای روشنایی مشترکین خانگی است کـه در شرایط پیک بار، این مقـدار بـه ۲۰ درصـد می‌رسـد [۹و۱۰و۱۱](در اسـترالیا در شـرایط پیک بـار انـرژی مصرفـی مشـترکین خـانگی

حدود ٤٠ درصد کل انرژی مصرفی است [١٠]). مطالعات فوق نشان می‌دهد که مقدار انرژی را که در نتیجه استفاده از لامپهای کم‌مصرف می‌توان صرفه جویی نمود به صورت جدول ٣ است[١].

با توجه به جدول ٣ دیده می‌شود که چنانچه ٢٠ درصد از لامپهای رشته‌ای معمولی، با لامپهای کم‌مصرف جایگزین شود منجر به صرفه جویی معادل ٠/٨ درصد در کل انرژی مصرفی و یا ٢ درصد در انرژی مصرفی مشترکین خانگی می‌گردد.

CFL penetration	Reduction of domestic energy consumption	Reduction of total energy consumption
10 %	1 %	0.4 %
20 %	2 %	0.6 %
40 %	4 %	1.6 %

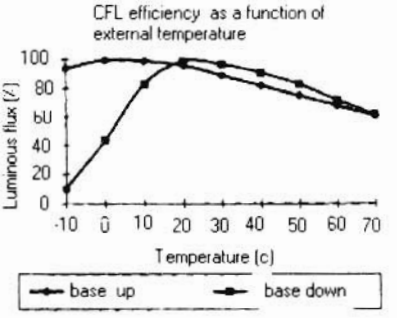
جدول ٣: مقدار صرفه‌جویی در انرژی مصرفی بدلیل جایگزینی لامپهای رشته‌ای با لامپهای کم‌مصرف

٥- راندمان لامپهای کم‌مصرف

راندمان لامپهای کم‌مصرف به عوامل زیر بستگی دارد[١]:

- زمان گرم شدن لامپ (مدت زمانی که طول می کشد تا جیوه لامپ به حالت پایدار برسد)
- دمای محیط
- نحوه قرار گرفتن لامپ (بصورت سرپیچ بالا (آویز) یا سرپیچ پایین)

لامپهای کم‌مصرف معمولا باید به مدت حداقل ١ تا ٢ دقیقه روشن باشند تا بتوانند حداکثر شار نوری خود را تولید کنند بنابراین استفاده از آنها در راه‌پله‌ها یا جاهایی که لامپ به مدت زیادی روشن نمی‌ماند مناسب نیست. بعلاوه نحوه قرار گرفتن لامپ نیز بر میزان شار نوری تولید شده توسط لامپ کم‌مصرف تاثیر می‌گذارد. بدین صورت که اگر لامپ به صورت آویز نصب گردد(base up)، نقطه خمش لامپ بیشتر گرم شده و حرارت نمی‌تواند بصورت طبیعی از الکترودها جریان یابد که این حالت در مواردیکه دمای محیط کمتر از ٢٠ درجه سلیسیوس است می‌تواند مهم باشد. به طور مثال وقتی که دمای محیط ١٠- درجه سلیسیوس است، شار نوری خروجی لامپ ممکن است به ١٠ درصد شار نامی برسد. شار نوری خروجی از لامپهای کم‌مصرف (به صورت درصدی از شار نوری نامی) در دماهای مختلف و موقعیتهای نصب متفاوت، در شکل (٢) نشان داده شده است[١]. با توجه به شکل، مشخص است که یک لامپ کم‌مصرف ٢٠ وات که باید شار نوری معادل یک لامپ رشته‌ای ١٠٠ وات معمولی تولید کند، وقتی به صورت آویز نصب می‌شود و دمای محیط نیز صفر درجه سلیسیوس است نوری معادل یک لامپ رشته‌ای ٦٠ وات معمولی تولید می‌کند.



شکل ۲: شار نوری خروجی از لامپ در دماهای مختلف و موقعیتهای نصب متفاوت

افزایش دمای محیط نیز باعث افت شار نوری لامپ کم‌مصرف می‌گردد. مقدار افت شار نوری لامپ هنگامیکه سرپیچ لامپ به سمت پایین باشد (base down) بیشتر از حالتی است که لامپ بصورت آویز نصب می‌شود.

٦- تحلیل اقتصادی استفاده از لامپ کم‌مصرف

قیمت لامپهای کم‌مصرف، چندین برابر قیمت لامپهای رشته‌ای معمولی است و چون بهای انرژی مصرفی به دلیل پرداخت یارانه کم است و همچنین وسایل روشنایی درصد کمی از بارهای مشترکین را تشکیل می‌دهند، زمان برگشت سرمایه اختصاص داده شده برای خرید لامپهای کم‌مصرف بسیار طولانی خواهد بود. بطور مثال اگر بجای یک لامپ رشته‌ای با توان P_{inc} از یک لامپ کم‌مصرف با توان P_{CFL} استفاده کنیم و متوسط طول عمر لامپ رشته‌ای را ۱۰۰۰ ساعت در نظر بگیریم مقدار پولی را که می‌توان در یک سال صرفه جویی نمود از رابطه زیر بدست می‌آید :

Annual Saving = Cost of Electricity Saved + Avoided Cost of Bulb Replacement

Where:

$$\text{Cost of Electricity} = (P_{inc} - P_{CFL}) * N * 365 * D$$

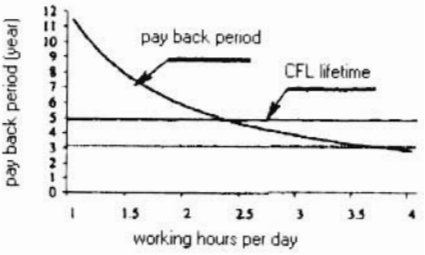
$$\text{Avoided Cost of Bulb Replacement} = \frac{N \times 365}{1000} \times C$$

N: میانگین تعداد ساعات روشن بودن لامپ در روز.

D: قیمت هر کیلووات‌ساعت انرژی.

C: قیمت هر عدد لامپ رشته با توان P_{inc}

فرض کنید بخواهیم از یک لامپ کم‌مصرف ۱۱ واتی(P_{CFL}= ۱۱W) بجای یک لامپ رشته‌ای ٦۰ واتی معمولی (P_{inc}=٦۰W) استفاده کنیم. شکل (۳) مدت زمان برگشت سرمایه را بر حسب تعداد ساعاتی که لامپ روشن است نشان می‌دهد. باتوجه به شکل (۳) مشخص است که چناچه لامپ کم‌مصرف روزانه کمتراز ۲/۳ ساعت روشن باشد، جایگزین نمودن لامپ کم‌مصرف ۱۱ واتی بجای لامپ رشته‌ای ٦۰ واتی معمولی، اصلا به صرفه نخواهد بود. جدول ٤ نیز زمان برگشت سرمایه بر حسب تعداد ساعات روشن بودن لامپ را با توجه به شکل ۳ نشان می‌دهد.



شکل ۳: مدت زمان برگشت سرمایه

جدول ٤: مدت زمان برگشت سرمایه

pay back period (years)	5	3	2	1
working hours per day	2.3	4	5.8	11.5

باتوجه به جدول ٤ مشخص است که چناچه بخواهیم در کمتر از یک سال مقدار سرمایه، برگشت داده شود باید لامپهای کم‌مصرف، روزانه بیش از ۱۱ ساعت روشن باشند که بندرت این عمل اتفاق می‌افتد. با توجه به نتیجه فوق و به دلیل ارزان بودن انرژی مصرفی (بخصوص برای مشترکین خانگی)، مصرف کنندگان، استفاده از لامپهای کم‌مصرف را اقتصادی نمی‌دانند.

۷- اثر هارمونیک و اعوجاج ولتاژ بر عملکرد لامپهای کم‌مصرف

از آنجا که شکل موج ولتاژ و جریان شبکه قدرت، کاملاً سینوسی نیست و دارای اعوجاج و هارمونیک است بنابراین ضروری است که عملکرد لامپهای کم‌مصرف، در قبال اعوجاج ولتاژ مورد بررسی قرار گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که مشخصات الکتریکی لامپهای کم‌مصرف در قبال اعوجاج ولتاژ به نوع بالاست بستگی دارد[۸]. بالاستهای مغناطیسی که دارای مدار تصحیح ضریب توان نیستند دارای کمترین هارمونیک جریان بوده و کمترین تاثیر را از اعوجاج ولتاژ می‌پذیرند ولی شکل موج جریان ورودی بالاستهای الکترونیکی و بالاستهای مغناطیسی دارای مدار تصحیح ضریب قدرت، به شدت تحت تاثیر اعوجاج ولتاژ قرار می‌گیرد و شکل موج جریان ورودی را خرابتر می‌کند[۸]. بنابراین لامپهای کم‌مصرف خود باعث تولید هارمونیک و اعوجاج ولتاژ شبکه می‌گردند که این اعوجاج ولتاژ شبکه دوباره با تاثیر بر عملکرد لامپهای کم‌مصرف، میزان اعوجاج و هارمونیک موجود در شبکه را افزایش می‌دهد.

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

لامپهای کم‌مصرف یکی از وسایل مدرن روشنایی هستند که می‌توانند باعث کاهش مصرف انرژی الکتریکی گردند، ولی عملاً در بیان مزایای لامپهای کم‌مصرف، اغراق شده و اثرات منفی این لامپها، کمتر مورد بحث قرار می‌گیرد. در این مقاله اثرات منفی استفاده از لامپهای کم‌مصرف به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت:

اعوجاج هارمونیکی : لامپهای کم‌مصرف باعث تولید هارمونیک می‌شوند که افزایش

تعداد آنها در شبکه، می‌تواند به اعوجاج ولتاژ و تجاوز از حدود مجاز استاندارد منجر گردد.

کاهش پیک بار: از آنجا که بارهای روشنایی درصد کمی از کل بار شبکه را تشکیل می‌دهند، استفاده از لامپهای کم‌مصرف نمی‌تواند پیک بار شبکه را زیاد کاهش دهد. کاهش پیک بار، ناشی از لامپهای کم‌مصرف،

طول عمر لامپهای کم مصرف: روشن و خاموش کردن متوالی لامپهای کم‌مصرف، طول عمر این لامپها را کاهش می‌دهد ولی متوسط طول عمر این لامپها درشرایط ایده‌آل معمولاً ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ ساعت است.

اثرات اقتصادی لامپهای کم‌مصرف: بدلیل قیمت زیاد لامپهای کم‌مصرف و پایین بودن قیمت برق مصرفی و ... اغلب، استفاده از لامپهای کم‌مصرف اقتصادی نخواهد بود.

در کشورهای توسعه یافته کمتر از ۲ درصد است[۱].

راندمان لامپهای کم‌مصرف: لامپهای کم‌مصرف نمی‌توانند در تمام شرایط به اندازه لامپهای رشته‌ای نور تولید کنند که دلیل آن کاهش بازده لامپهای کم‌مصرف بدلیل بالابودن دمای محیط از یک طرف، و موقعیت قرار گرفتن لامپ از طرف دیگر است.

باتوجه به مطالب فوق و بررسیهای گوناگون در این زمینه، پیشنهاد می‌گردد که

قبل از استفاده از لامپهای کم‌مصرف به صورت انبوه، اثرات نامطلوب این لامپها بر سیستم‌های توزیع عملاً بررسی و شبیه‌سازی گردد و تحلیل اقتصادی واقع بینانه‌ای در این زمینه صورت گیرد سپس بر مبنای این تحلیلها و نتایج، ترویج و توسعه لامپهای کم‌مصرف مورد نظر قرار گیرد.

۹- مراجع

[1] W.Mielczarsri and et.al, "Side effcts of compact fluorescent lamp", IEEE 1998.

[2] D.J.Pileggi and et.al, "The effect of modern compac fluorescent lights on voltage distortion", IEEE 1993

[3] R.R.Verderber, "Harmonics from compact fluorescent lamps", IEEE 1991

[4] R.Dwyer and et.al,"Evaluation of harmonic impact from compact fluorescent lights on distribution systems" IEEE 1995

[5] M.Elazadi and et.al, "power factor and harmonic distribution characteristics of energy efficient lamps", IEEE 1989.

[6] F.V. Tapalis, "Efficiency of energy saving lamps and harmonic distortion in distribution systems", IEEE 1993

[7] A.Gula.z and et.al, "Readucing residential peak power loads with compact fluorescent lamps", IEEE 1997

[8] R.Arseneau and M.ouellette, "The effects of supply harmonics on the performance of compact fluorescent lamps", IEEE 1992

[9] G.Micheal, M.E.khan, "Structural modeling of energy demand in the residential sectors" IEEE 1997.

[10] "Domestic energy use in western Australia", 1991

[11] G.Wilkenfeld, "Benefits and costs of mentation minimum energy performance standards for house hold electrical applications", 1993