

Giải pháp thiết kế mới bộ lọc điện từ cho LED driver công suất lớn cấu hình hai tầng

Nguyễn Hoài Phong, Ngô Thanh Tùng, Nguyễn Minh Huy, Nguyễn Đình Tuyên,
Lê Minh Phương*, Ngô Cao Cường

Tóm tắt— Ngày nay, LED dần được thay cho các loại đèn công nghệ cũ như: đèn sợi đốt, huỳnh quang, thủy ngân cao áp... vì hiệu quả cao về mặt năng lượng, thân thiện môi trường cũng như tuổi thọ cao. Thiết kế một bộ nguồn LED theo tiêu chuẩn công nghiệp để có thể sản xuất rộng rãi là một vấn đề đang được các cơ quan Nhà nước quan tâm. Tuy nhiên, việc thiết kế một bộ đèn LED gặp khá nhiều khó khăn khi phải đồng thời đáp ứng nhiều tiêu chuẩn, quy định như: hiệu suất năng lượng, sóng hài, hệ số công suất, nhiễu điện từ. Ở Việt Nam, vấn đề nhiễu điện từ ít được quan tâm vì khó khăn trong việc xây dựng một phòng thí nghiệm đo đặc nhiễu điện từ cũng như chi phí đo đặc ngoài các trung tâm còn khá cao. Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày cấu hình nguồn đèn LED sử dụng ghép hai tầng: tầng Boost-PFC và tầng DC/DC cộng hưởng cuộn dây – cuộn dây – tụ điện (LLC). Ngoài ra, bài báo đề xuất phương pháp thiết kế bộ lọc EMI bằng cách giảm cuộn lọc so với bộ lọc EMI truyền thống, qua đó giảm được kích thước cũng như giá thành của nguồn LED. Các kết quả thực nghiệm đã xác định phương pháp đề xuất đã đáp ứng tiêu chuẩn kiểm định đo lường Việt Nam. Để minh chứng cho phương pháp đề xuất, nguồn LED chiếu sáng sử dụng cấu hình 2 tầng: PFC và bộ cộng hưởng LLC với công suất 150W được sử dụng để kiểm tra. Trong bài báo

này, ba kết quả khác nhau ứng với ba trường hợp mạch lọc khác nhau được trình bày để thấy tính hiệu quả của phương pháp đề xuất. Kết quả thực nghiệm đo đạc đã được cấp chứng chỉ, cho thấy bộ điều khiển LED đạt tiêu chuẩn Việt Nam về nhiễu điện từ.

Từ khóa— EMI, Bộ điều khiển LED, Bộ hiệu chỉnh hệ số công suất, Bộ điều khiển LED 2 tầng, Bộ cộng hưởng LLC.

Danh mục từ viết tắt

LED: Lighting Emitting Diode: Diode có khả năng phát sáng
CM: Common Mode: Chế độ nối chung
DM: Different Mode: Chế độ tách riêng
SMPS: Switching Mode Power Supply: Nguồn cung cấp dạng xung
EMI: Electromagnetics Interface: Tương thích điện từ
CRM: Critical Conduction Mode. Chế độ dẫn tới hạn
LISN: Line Impedance Stabilization Network: Dòng trở kháng ổn định mạng
PFC: Power Factor Correction: Hiệu chỉnh công suất
CMN: Common Mode Noise: Nhiễu ở chế độ nối chung
DMNL Differential Mode Noise: Nhiễu ở chế độ tách riêng
FET: Field-effect Transistor: Transistor hiệu ứng trường
IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor: Transistor có cực điều khiển cách ly

Ngày nhận bản thảo: 17-10-2018, ngày chấp nhận đăng: 28-11-2018, ngày đăng: 30-11-2018.

Xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm “Nghiên cứu Điện tử công suất” – Bộ môn Cung Cấp Điện – Khoa Điện-Điện tử - Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ và tạo điều kiện tốt nhất cho nhóm tác giả thực hiện bài báo khoa học này.

Nguyễn Hoài Phong, Ngô Thanh Tùng, Nguyễn Minh Huy, Nguyễn Đình Tuyên, Lê Minh Phương Khoa Điện – Điện Tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM
(E-mail: lmpuong@hcmut.edu.vn).

Ngô Cao Cường Trường Đại học Kinh tế Tài chính TP.HCM.

1 GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, chiếu sáng bằng đèn LED là một công nghệ không gây ô nhiễm môi trường và tiết kiệm năng lượng, đã và đang được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng [1-3]. Đèn LED có những ưu điểm như giảm chi phí bảo dưỡng, không chứa chất độc hại

như thủy ngân chì, tuổi thọ cao đến 100000 giờ sử dụng, thời gian khởi động nhanh trong vòng vài micro giây, tiết kiệm năng lượng tiêu thụ từ 50%-70% so với loại đèn thông thường. Đèn LED trắng công suất lớn đã được đem vào sử dụng một cách phổ biến trong lĩnh vực chiếu sáng công cộng, đường phố, nhà xưởng sản xuất, khu công nghiệp, khu chế xuất, kho hàng, bến bãi, nhà máy, cửa hàng, siêu thị, nhà thi đấu, trong các công trình kiến trúc, trong hệ thống công nghiệp các sản thể thao [1–8].

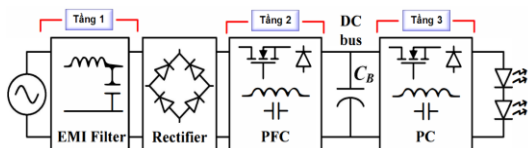
Trên thế giới, việc nghiên cứu thiết kế nguồn LED hầu như chủ yếu tập trung giải quyết một trong các vấn đề như:

- Cải thiện, nâng cao hiệu suất của bộ biến đổi công suất [9]
- Tăng hệ số công suất [10]
- Giảm sóng hài, nhiễu điện từ [11, 12]

Nhưng thực tế để phát triển một sản phẩm công nghiệp ra thị trường, ta cần phải giải quyết tất cả các vấn đề trên.

Về tổng quát, cấu trúc bộ điều khiển LED bao gồm 3 tầng, như trình bày trong hình 1:

- Tầng 1: lọc nhiễu điện từ, lọc sóng hài EMI.
- Tầng 2: PFC tăng hệ số công suất.
- Tầng 3: DC/DC tạo nguồn dòng LED tổn hao thấp.



Hình 1. Cấu trúc tổng quát hệ thống bộ điều khiển LED

Như mô tả hình 1, tầng 1 là bộ lọc nhiễu điện từ EMI từ thiết bị đưa lên lưới (nhiều dẫn) hoặc bức xạ ra môi trường xung quanh, tầng 2 có chức năng tạo điện áp DC từ nguồn AC và điều chỉnh hệ số công suất. Tầng 3 biến đổi điện áp DC thích hợp với mức điện áp LED yêu cầu đồng thời điều khiển dòng điện. Tầng 2 thường có cấu hình Boost-PFC nhằm điều khiển hệ số công suất ngõ vào gần 1. Tầng 3 có nhiều dạng cấu hình khác nhau: Buck converter, Boost converter, Buck-Boost converter, fly back, half-bridge... và được sử dụng tùy thuộc vào yêu cầu về điện áp nguồn đầu vào và điện áp ngõ ra trên tải LED. Cấu hình Fly-back thường được sử dụng cho các bộ biến đổi có công suất nhỏ hơn 100W và hiệu suất đạt được khoảng 88%. Các bộ nguồn LED sử dụng với cấu hình Flyback sẽ có các bất lợi như: nếu sử dụng 1 tầng Flyback và PFC sẽ gây ra hiện tượng dòng điện tải gọn theo điện áp tần số lưới; nếu sử dụng boost PFC và

Flyback sẽ làm hiệu suất tổng không đạt do bản thân bộ Flyback hiệu suất thấp [13]. Để nâng cao hiệu suất của bộ Flyback, thì bộ Quasi Resonant Fly-Back [14] được đề ra và nâng hiệu suất lên được khoảng 90%.

Cấu hình Half-bridge LLC Resonant Converter kết hợp PFC được đề xuất để tăng hiệu suất tối đa cho bộ điều đèn LED theo mô hình hình 1 được trình bày trong [15, 16]. Cấu hình này có thể đạt hiệu suất lên đến 91-94% nếu thiết kế tối ưu mạch EMI, PFC và cải tiến chế độ đóng ngắt MOSFET của bộ DC/DC tầng 3 [17–20].

Việc hoạt động ở tần số cao sẽ làm giảm kích thước của các linh kiện thụ động một cách đáng kể, chẳng hạn như biến áp và bộ lọc. Nhưng ngược lại khi đó tổn hao đóng ngắt lại tăng lên là một khuyết điểm. Để giảm tổn hao chuyển mạch và cho phép hoạt động ở tần số cao, kỹ thuật chuyển mạch cộng hưởng đã được phát triển trong các nghiên cứu [21–24]. Những kỹ thuật này xử lý công suất theo dạng sin và các thiết bị chuyển mạch được thực hiện chuyển mạch mềm (soft-switching). Do đó, tổn hao chuyển mạch và nhiễu có thể được giảm đáng kể. Bộ cộng hưởng LLC Half Bridge được sử dụng trong thiết kế nhằm tăng hiệu suất bộ DC/DC đến 94% [19]. Với đặc điểm hoạt động ở chế độ cố định tỷ số điều chế nhưng tần số thay đổi đa dạng của bộ LLC Half-Bridge càng làm tăng nhiễu điện từ phát sinh trong hệ thống. Điều này gây nhiều khó khăn khi thiết kế bộ lọc điện từ.

Đa số các chấn lưu điện tử và các bộ nguồn xung (SMPS) sử dụng cầu Diode và tụ tích trữ năng lượng để tạo ra điện áp DC từ điện áp lưới AC. Điều này làm méo dạng dòng điện ngõ vào AC, giảm hệ số công suất. Mạch PFC là một giải pháp để nâng cao hệ số công suất. Bộ Boost-PFC là cấu trúc thường gặp nhất đối với PFC tích cực. Nó tạo ra điện áp ngõ ra không đổi và điều chỉnh dòng điện ngõ vào về dạng Sin [25–27]. Trong mô hình bộ Boost PFC hoạt động ở chế độ tới hạn CRM để giảm tổn hao đóng cắt, tuy nhiên tần số thay đổi liên tục gây ra nhiễu điện từ khá lớn [14, 25, 28].

Quá trình đóng ngắt tần số cao của cả hai bộ Boost-PFC và bộ cộng hưởng DC/DC Half-Bridge sẽ gây ảnh hưởng lên lưới điện và phát xạ ra môi trường gây ảnh hưởng sức khỏe người sử dụng cũng như các thiết bị điện tử khác. Vì vậy, bộ lọc điện từ EMI có chức năng giảm nhiễu điện từ, và được nghiên cứu để đưa vào các thiết bị điện tử công suất.

Việc các thiết bị nối vào điện lưới đều phải đạt tiêu chuẩn cho phép về nhiễu điện từ. Trong đó,

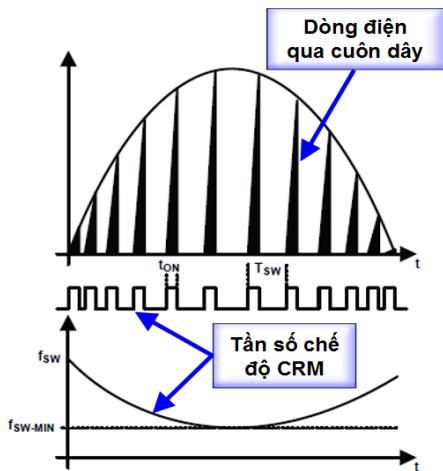
người ta quan tâm nhiễu điện từ và phát xạ điện từ. Với dải tần số như bảng 1 [29].

Bảng 1. Dải tần số nhiễu – phát xạ

10kHz – 30MHz	Dải tần nhiễu điện từ
30MHz – 1GHz	Dải tần phát xạ điện từ

Đặc điểm của bộ nguồn đèn LED ứng dụng trong chiếu sáng đường phố là: tần số đóng ngắt cao, tốc độ thay đổi điện áp dv/dt lớn, dòng điện di/dt lớn làm phát sinh nhiễu điện từ trong hệ thống cũng như phát xạ ra không gian xung quanh, thiết bị sẽ gây nhiễu điện áp lưới ở tần số radio, điều này làm ảnh hưởng đến các thiết bị trên đường dây, máy phát, trạm biến áp...đồng thời một phần phát xạ ra môi trường xung quanh thiết bị gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người [30–32]. Bài báo này tập trung vào thiết kế bộ lọc điện từ nhằm giải quyết nhiễu điện từ cho bộ điều khiển LED với 3 tầng cơ bản như hình 1. Trong đó, sẽ đề xuất cấu hình giảm số linh kiện trong bộ lọc so với với các cấu hình bộ lọc truyền thống trước đây. Điều này có ý nghĩa về mặt kinh tế cũng như giảm kích thước của bộ lọc.

2 THIẾT KẾ BỘ LỌC ĐIỆN TỪ CHO BỘ NGUỒN ĐÈN LED

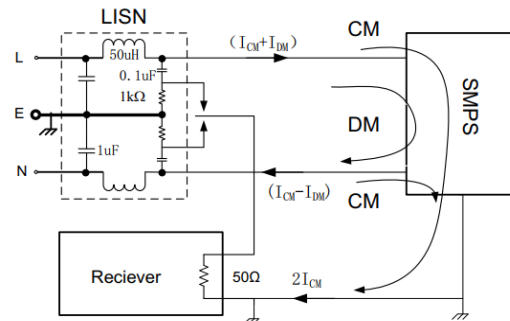


Hình 2. Dạng sóng đóng cắt CRM PFC

Bộ điều khiển PFC hoạt động ở chế độ tần số thay đổi (CRM) như hình 2 được sử dụng trong các bộ nguồn đèn LED công suất lớn ứng dụng trong chiếu sáng đường phố bởi vì tính hiệu quả của phương pháp này trong việc giảm tổn hao, dòng nhấp nhô cũng như chi phí bộ PFC [18, 27]. Tuy nhiên, việc thay đổi tần số liên tục cũng tạo ra

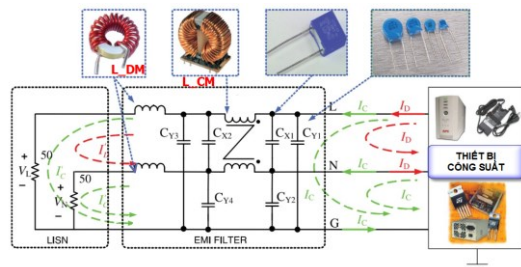
nguồn nhiễu phức tạp, dải tần nhiễu rộng hơn, gây khó khăn trong việc thiết kế bộ lọc điện từ [14].

Để giải quyết vấn đề này, nhiều thiết kế được đưa ra. Tuy nhiên có khá nhiều vấn đề khó khăn gặp phải khi triển khai như đặc tính vật liệu chế tạo các cuộn dây theo tần số là khác nhau và khó khăn trong kiểm tra đo đặc giá trị tại tần số cao. Việc đầu tư một phòng thí nghiệm kiểm tra tương thích điện từ đúng chuẩn rất tốn kém, cũng như chi phí mỗi lần kiểm tra là khá cao. Nên việc nghiên cứu nhiễu điện từ ở Việt Nam còn nhiều hạn chế dẫn đến ít nhóm nghiên cứu về vấn đề này. Trong quá trình nghiên cứu bộ điều khiển LED chiếu sáng nhóm đã được sự hỗ trợ đo đặc nhiễu điện từ từ công ty cổ phần bóng đèn Điện Quang cho kết quả kiểm định chất lượng bộ điều khiển theo tiêu chuẩn Việt Nam.

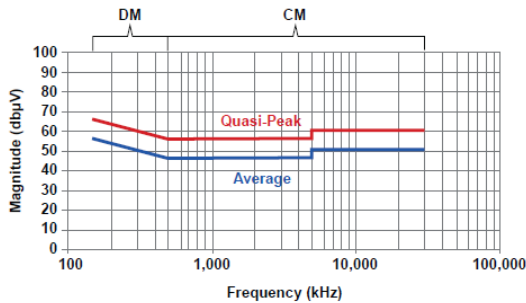


Hình 3. Mạch LISN phối hợp trở kháng

Để đo đặc nhiễu điện từ người ta thiết kế một mạch phối hợp trở kháng, ngăn cản tín hiệu tần số thấp đó là LISN như hình 3. Khi đó các tín hiệu nhiễu tần số cao ($f > 2 * f_{fet_igbt_sw}$) chạy qua mạch LISN được đưa vào máy phân tích phổ để ghi nhận độ suy giảm phổ nhiễu điện từ theo đồ thị logarit biên độ sóng hài với tần số. Tín hiệu nhiễu được chia làm 2 thành phần chính đó là CMN (Common Mode Noise) và DMN (Differential Mode Noise) [27–29]. Đường đi của tín hiệu nhiễu CM và DM được minh họa trong hình 4. Trong đó, vùng CMN là vùng nhiễu có tần số cao và cực cao từ 500kHz trở lên, vùng DMN là vùng nhiễu tần số trung bình từ 150-500kHz như trình bày trong hình 5.

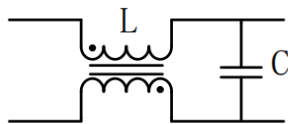


Hình 4. Đường đi tín hiệu nhiễu CM và DM

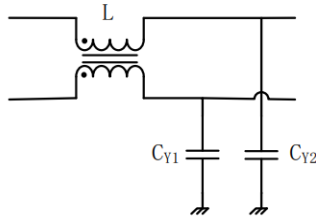


Hình 5. Vùng nhiễu DM và CM

Vùng CMN sinh ra do nguyên nhân chính là tốc độ biến thiên điện áp dv/dt trên các tụ điện kí sinh như tản nhiệt, board mạch, máy biến áp. Còn vùng DMN sinh ra chủ yếu do sự thay đổi dòng điện lớn đi/dt khi đóng cắt linh kiện công suất như FET, IGBT... ở tần số cao. Để loại bỏ nhiễu này người ta dùng cuộn lọc CM, DM được quấn bởi 2 cuộn dây trên cùng 1 lõi xuyên mắc với tụ điện. Ở đây cần chú ý cực tính cuộn dây để mắc đúng cực tính triết triệu dòng nhiễu [34, 25, 37]. Trong đó, tụ điện của mạch lọc CM thường có giá trị nhỏ hơn vì mạch lọc CM chủ yếu thiết kế lọc tần số cao ($f > 500\text{kHz}$). Theo tiêu chuẩn EN 60335-1 [38] giá trị tụ điện lọc CM nhỏ hơn 4700pF mỗi pha vì lý do an toàn nối đất. Sơ đồ đấu nối của lọc nhiễu DM và CM được trình bày tương ứng ở hình 6a và 6b.



(a) Lọc nhiễu Different Mode



(b) Lọc nhiễu Common Mode

Hình 6. Mô hình đấu nối lọc nhiễu (a) DM và (b) CM

Bốn bước để thiết kế một mạch lọc EMI như sau: [38, 39]:

Bước 1: Tách nhiễu thành CM và DM và phân tích phổ quan sát.

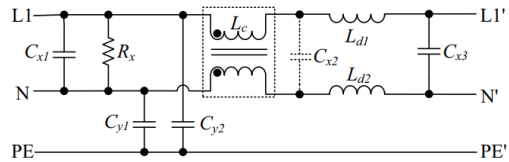
Bước 2: Kiểm tra nhiễu lớn nhất khi chưa có lọc EMI gồm nhiễu CM và DM, tính toán độ suy hao tín hiệu nhiễu cần thiết để đáp ứng tiêu chuẩn đề ra.

Bước 3: Chọn mạch lọc thích hợp, tính toán giá trị cụ thể linh kiện để trở kháng mạch lọc đáp ứng độ suy hao tín hiệu cần thiết.

Bước 4: Kiểm tra thực tế và hoàn thành thiết kế.

Có nhiều mô hình lọc EMI được đề xuất như L, C, CL, LC, π , T. Trong đó, chia làm 2 loại chính là lọc 1 tầng và lọc 2 tầng như trình bày tương ứng trong hình 7 và hình 8 [36, 38]

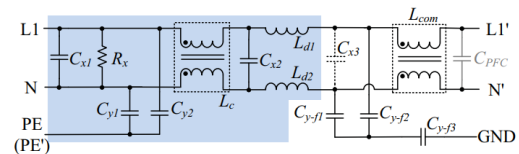
▪ Mạch lọc 1 tầng (hình 7)



Hình 7. Mạch lọc một tầng

Đây là mạch lọc truyền thống sử dụng phổ biến hầu hết trong các nguồn đóng ngắt tần số cao. Cấu tạo đơn giản, có thể bỏ tụ C_{x2} thay thế chức năng lọc CMN bằng tụ C_{x3} , cuộn dây L_{d2} cũng có thể bỏ qua bằng cách sử dụng cuộn L_{d1} mới có cảm kháng bằng 2 cuộn dây L_{d1} và L_{d2} .

▪ Mạch lọc 2 tầng (hình 8)



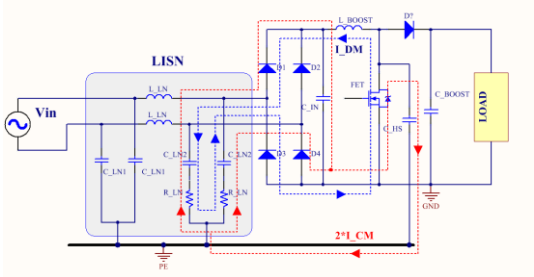
Hình 8. Mạch lọc hai tầng

Đây là mạch lọc thế hệ mới là sự kết hợp mạch lọc truyền thống và thêm 1 tầng lọc thứ 2 là cuộn dây L_{com} , việc này giúp bù dòng bất đối xứng khi qua bộ lọc chính tăng khả năng lọc đặc biệt cho các hệ thống có tần số thay đổi liên tục như PFC ở chế độ CRM [14, 36].

Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành nghiên cứu thiết kế bộ lọc nhiễu cho bộ nguồn đèn LED với công suất 150W. Cấu hình của bộ nguồn đèn LED này đã được chúng tôi thực hiện trước đây và trình bày trong nghiên cứu [37]. Trong cấu hình này, chúng tôi sử dụng bộ Boost-PFC ở tầng AC/DC và cấu hình cộng hưởng LLC Half-bridge ở tầng DC/DC. Hình 9 trình bày dòng điện nhiễu DMN, CMD trong bộ điều khiển PFC. Ở đây tín hiệu nhiễu CM không đi qua cuộn dây L , vì ở tần số cao trở kháng L lớn.

Phương pháp đề xuất thiết kế bộ lọc nhiễu được thực hiện bằng cách đo thực nghiệm các nhiễu của nguồn đèn LED khi chưa có gắn bộ lọc. Từ đó xác

định các tần số có nhiều vượt giá trị cho phép và chúng tôi tính toán đề xuất các thông số cho bộ lọc nhiễu mới.



Hình 9. Nhiễu điện từ trong bộ Boost PFC

Kết quả đo đặc từ thực nghiệm bộ điều khiển LED PFC LLC half-bridge được cho ở bảng 2, cho thấy tại tần số 168kHz biên độ nhiễu vượt quá giới hạn lớn nhất 33,2dB

Bảng 2. Giá trị nhiễu đỉnh thực nghiệm

ID	Tần số	Atten.	Detector	Meter Read	Meas Lever	Limit
					Giá trị đo (dBμV)	Giới hạn (dBμV)
1	168 MHz	QPeak	68,3	98,3	65,1	33,2
3	213 MHz	QPeak	65,8	95,8	63,1	32,8
5	294 MHz	QPeak	57,5	87,5	60,4	27,1
7	348 MHz	QPeak	46,8	76,8	59,0	17,8
9	402 MHz	QPeak	43,7	73,7	57,8	15,8
12	582 MHz	QPeak	41,6	71,6	56,0	15,6
14	888 MHz	QPeak	41,1	71,1	56,0	15,1
15	1.176 MHz	QPeak	39,8	69,8	56,0	13,8
16	1.473 MHz	QPeak	37,0	67,0	56,0	11,0
17	1.779 MHz	QPeak	35,8	65,8	56,0	9,8
19	2.373 MHz	QPeak	35,7	65,7	56,0	9,7

Xét tại điểm nhiễu có biên độ lớn nhất 168kHz tín hiệu nhiễu vượt quá giới hạn cho phép 33,2dB, tần số cắt mạch lọc cần thiết để độ suy hao tín hiệu nhiễu đạt yêu cầu tiêu chuẩn kiểm định [14, 30, 40]:

$$f_c = \frac{f_{sw}}{10^{\frac{\Delta V_{NOISE} - V_{LIMIT}}{40}}} \quad (1)$$

Vì một số thành phần ký sinh nên độ dự trữ an toàn thêm vào 6dB

$$f_c = \frac{f_{sw}}{10^{\frac{V_{PEAK} - V_{LIMIT} + 6dB}{40}}} = \frac{168k}{10^{\frac{33,2dB + 6dB}{40}}} = 17,6(kHz) \quad (2)$$

Chọn $C_{y1}=C_{y2}=1000pF < 4700pF$ theo tiêu chuẩn EN 60335-1 [38]

Ta tính được L_{CM}

$$L_{CM} = \frac{1}{(2\pi f_c)^2 \times 2C_y} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 17.6e3)^2 \times 2e-9} = 41(mH)$$

Chọn $C_{x2}=C_{x3}=470nF$ (4)

Ta tính được L_{DM}

$$L_{DM} = \frac{1}{(2\pi f_c)^2 \times C_x} \quad (5)$$

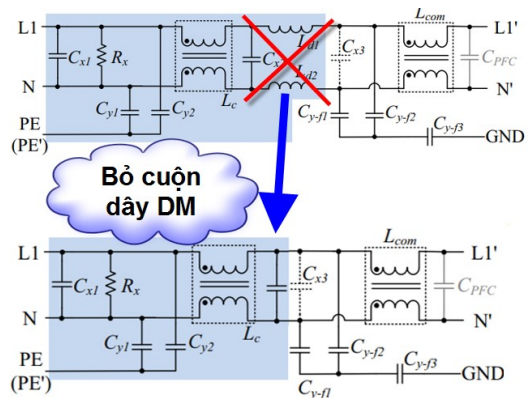
$$= \frac{1}{(2\pi \times 17.6e3)^2 \times 470e-9} = 174(uH)$$

Kết quả tính toán ta lựa chọn thông số mạch lọc 2 tầng theo mô hình lọc cải tiến như bảng 3.

Bảng 3. Các giá trị mạch lọc

Linh kiện mạch lọc	Giá trị
C_{y1}, C_{y2}	1nF/400V
$C_{y-f1}, C_{y-f2}, C_{y-f3}$	1nF/400V
C_{x2}, C_{x3}	470nF/240V
L_{CM}	20mH
L_{DM}	150uH
L_{com}	20mH

Theo kết quả tính toán, vì cuộn dây LDM có điện cảm khá nhỏ, điều này cho thấy có thể bỏ qua cuộn dây LDM bằng cách quấn cuộn dây CM có điện cảm rò xấp xỉ bằng giá trị điện cảm LDM. Từ đó, bài báo đề xuất mô hình lọc nhiễu như hình 10.



Hình 10. Mô hình bộ lọc EMI đề xuất

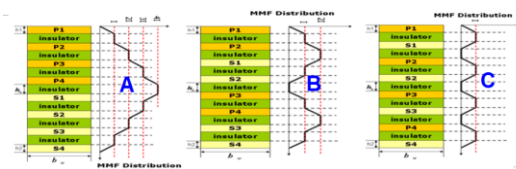
Thiết kế cuộn dây có điện cảm rò được trình bày trong một số nghiên cứu, tập trung ở hai dạng lõi quấn dây chính đó là cuộn dây dạng xuyên và dạng EE như hình 11.



Hình 11. Lõi xuyên và lõi EE

Cuộn dây lõi xuyên có nhược điểm là khó khăn trong quá trình quấn dây, cũng như việc phải quấn dây trải theo góc thiết kế để thay đổi điện cảm rò [34, 35]. Lõi EE sử dụng dễ dàng, đặc biệt để thay đổi điện cảm rò người ta có thể dùng lõi có khe hở từ hoặc quấn dây xen kẽ nhau, tăng khoảng cách giữa các cuộn dây [36]. Tầng phân bố sức từ động làm tăng điện trở rò cuộn dây, điều này xảy ra khi quấn các cuộn dây tập trung. Trong bài báo [36] chỉ ra khi quấn 2 cuộn dây P và S với lớp cách điện điện cảm rò bị ảnh hưởng như hình 12 :

- Trường hợp A: quấn tập trung, sự phân bố sức từ động lớn, điện cảm rò lớn.
- Trường hợp B: quấn xen kẽ 2 cuộn dây với nhau, sự phân bố sức từ động nhỏ hơn, điện cảm rò nhỏ.
- Trường hợp C: quấn xen kẽ từng cuộn dây với nhau, sự phân bố sức từ động nhỏ nhất.



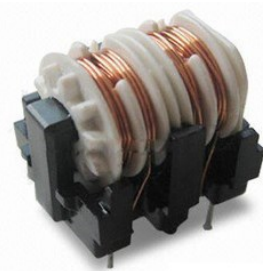
Hình 12. Sự phân bố sức từ động trong cuộn dây

Điện cảm rò cuộn dây EE phụ thuộc vào độ dày cuộn dây cũng như lớp cách điện, và được tính theo công thức, với h_1, h_2 là độ dày lớp dây quấn P và S, h_A là độ dày lớp cách điện như hình 12:

$$L_{leakage} = \mu_0 \frac{l_w}{b_w} \left[\frac{11h_1 + 4h_2}{48} + 2h_A \right] \quad (6)$$

Điện cảm rò càng lớn khi lớp cách điện càng lớn. Trong mô hình thực nghiệm bài báo sử dụng cuộn lọc CM lõi EE như hình 13 có thông số sau:

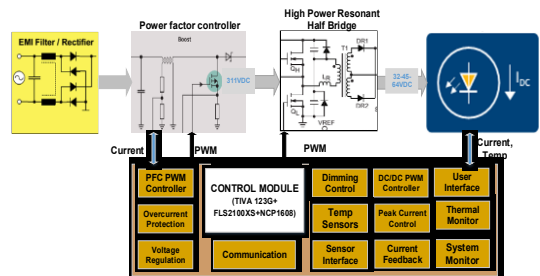
- $L_{CM} = 20mH$
- $L_{DM} = 150\mu H$
- Hai cuộn dây quấn tập trung.
- $h_A = 3mm$
- $h_1 = h_2 = 4mm$



Hình 13. Cuộn lọc CM đề xuất

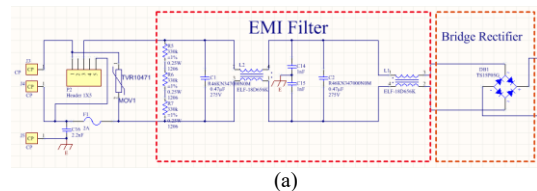
3 MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Mô hình thực nghiệm bộ nguồn LED trong bài báo này thiết kế được trình bày trong hình 14, bao gồm: tầng lọc EMI, tầng hiệu chỉnh hệ số công suất và tầng DC/DC điều khiển dòng điện cấp cho LED.

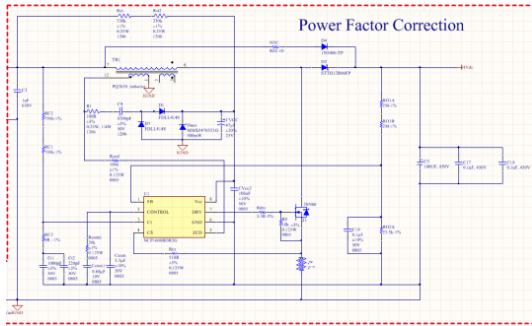


Hình 14. Sơ đồ khối chức năng mô hình bộ đèn LED 150W

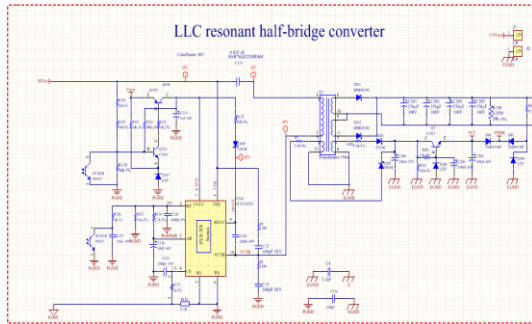
Tầng 1: Mạch lọc EMI đề xuất, bỏ qua cuộn dây L_{DM} được trình bày trong hình 10. Tầng 2: Mạch điều khiển Boost PFC sử dụng IC điều khiển NPC1608 hoạt động ở chế độ tối hạn CRM. Tầng 3: Mạch điều khiển dòng DC/DC half bridge cộng hưởng LLC sử dụng IC điều khiển FLS2100XS. Sơ đồ của ba tầng này được trình bày lần lượt ở hình 15a, 15b và 15c. Sau khi thực hiện thiết kế và thử nghiệm thì mô hình thực của bộ nguồn cho đèn LED được trình bày ở hình 16. Hình 16: a,b,c tương ứng với mạch công suất, mạch điều khiển gắn vào mạch công suất, và hoàn thiện sản phẩm cuối cùng.



(a)

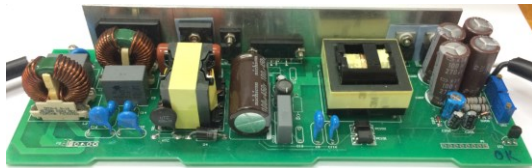


(b)

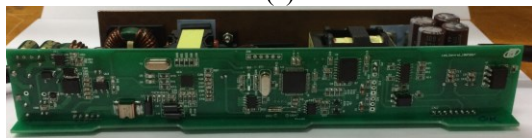


(c)

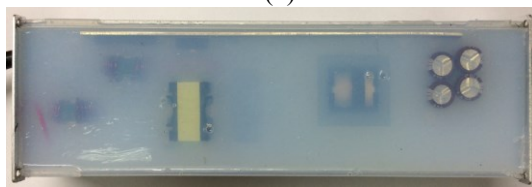
Hình 15. Sơ đồ mạch của 3 tầng (a) Mạch lọc (b) Tầng PFC (c) Tầng DC-DC cộng hưởng LLC



(a)



(b)



(c)

Hình 16. Phần cứng sau khi hoàn chỉnh (a) Mạch công suất (b) Gắn thêm phần điều khiển (c) Đồ keo chống nước

Để đánh giá các kết quả phẩm chất lọc nhiễu điện từ, chúng tôi ứng dụng tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7186:2010 (Tiêu chuẩn này ứng với tiêu chuẩn thế giới là CISPR 15:2009). Trong tiêu chuẩn này, giới hạn và phương pháp đo đặc tính nhiễu tần số radio của thiết bị chiếu sáng và thiết bị tương tự được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Giới hạn điện áp nhiễu tại đầu nối điện lưới

Dải tần	Giới hạn dB(V) ^a	
	Tựa đỉnh	Trung bình
Từ 9kHz đến 50kHz	110	-
Từ 50kHz đến 150kHz	Từ 90 đến 80 ^b	-
Từ 150kHz đến 0.5MHz	Từ 66 đến 56 ^b	Từ 56 đến 46 ^b
Từ 0.5MHz đến 5MHz	56	46 ^c
Từ 5MHz đến 30MHz	60	50

^a Tại tần số chuyên tiếp, áp dụng giới hạn thấp hơn
^b Giới hạn giảm tuyến tính theo logarit của tần số trong dải tần từ 50kHz đến 150kHz và 150kHz đến 0.5MHz
^c Đối với các bóng đèn và đèn điện không có điện cực, trong dải tần từ 2,51MHz đến 3MHz áp dụng các giới hạn tựa đỉnh 73dB(V) và trung bình 63 dB(V)

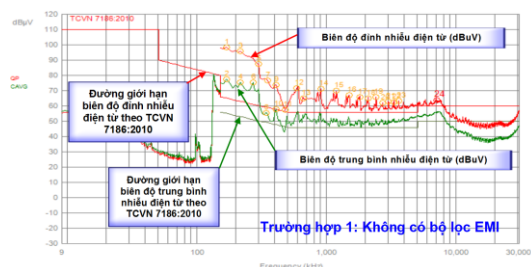
Chú thích: ở Nhật Bản không giới hạn trong dải tần từ 9kHz đến 150kHz

Kết quả tính toán được triển khai thực tế trên bộ nguồn LED được thiết kế bởi nhóm nghiên cứu tại phòng thí nghiệm “Nghiên cứu Điện tử công suất” – Bộ môn Cung cấp điện – Khoa Điện-Điện tử - Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Ba trường hợp được tiến hành thí nghiệm:

- Trường hợp 1: không sử dụng bộ lọc EMI.
- Trường hợp 2: sử dụng bộ lọc 2 tầng với cuộn dây L_{CM} , L_{DM}
- Trường hợp 3: sử dụng bộ lọc đề xuất, cắt bỏ cuộn lọc L_{DM} , thay vào đó là thiết kế cuộn dây L_{CM} có điện cảm rò xấp xỉ bằng giá trị cuộn dây L_{DM}

Trường hợp 1: Bộ nguồn đèn LED không có bộ lọc EMI

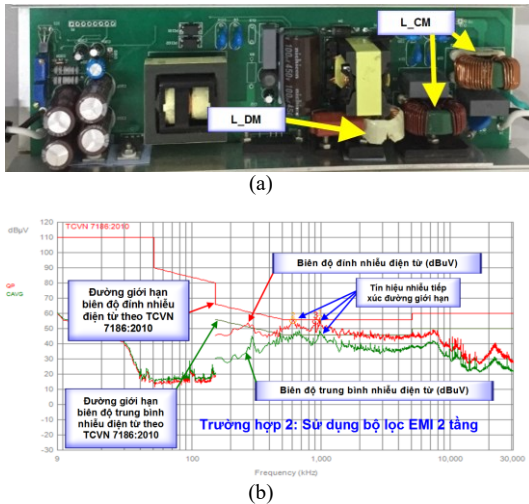


Hình 17. Kết quả trước khi lọc nhiễu điện từ

Trước khi lọc điểm nhiễu cao nhất tại tần số 168kHz cao hơn giới hạn cho phép TCVN 7186:2010 33,2dB.

Trường hợp 2: Bộ đèn LED sử dụng bộ lọc 2 tầng

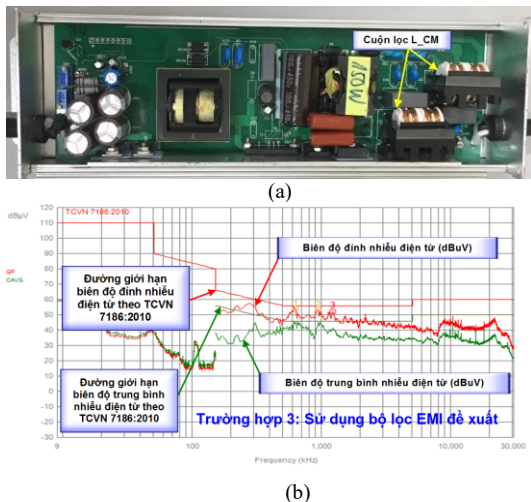
Mô hình thực nghiệm sử dụng bộ lọc 2 tầng được trình bày trong hình 17 a



Hình 18. Kết quả sau khi lọc nhiễu điện từ với mô hình cải tiến

Kết quả đo đặc nhiễu điện từ sử dụng bộ lọc 2 tầng cho thấy biên độ nhiễu đã giảm xuống cận mức cho phép. Một số điểm vẫn cao hơn giới hạn không đáng kể vì giá trị linh kiện có sai số.

Trường hợp 3: Bộ đèn LED sử dụng bộ lọc đề xuất



Hình 19. Kết quả sau khi lọc nhiễu điện từ với mô hình cải tiến bỏ qua cuộn dây LDM

Mô hình thực nghiệm đề xuất trình bày trong hình 19a. Kết quả đo đặc nhiễu điện từ sử dụng bộ lọc đề xuất bỏ qua cuộn dây LDM chứng tỏ có thể dùng điện cảm rò bởi cuộn dây lọc CM thay thế cho cuộn dây DM.

Sau khi lọc điện từ, tín hiệu nhiễu suy giảm đã đạt tiêu chuẩn TCVN 7186:2010 cho bộ điều khiển nguồn LED chiếu sáng. So sánh kết quả ở hình 17, 18, 19 cho thấy rằng, kết quả đo đặc nhiễu EMI của phương pháp đề xuất (hình 19b) đã giảm được

nhiều, các nhiễu đã thấp hơn so với phương pháp truyền thống (hình 17, 18b).

Để đánh giá độ ổn định của Bộ LED Driver và mạch lọc EMI, LED Driver đã được thử nghiệm “Kiểm tra thử tuổi thọ” đại Phòng thử nghiệm, Công ty Cổ phần bóng đèn Điện Quang. Điều kiện thử nghiệm là thực hiện chu kỳ ON/OFF là 30s/30s và được thực hiện liên tục từ ngày 13/09/2018 đến ngày 24/09/2018. Số chu kỳ đạt thọ là 15000. Tình trạng hoạt động của LED driver: hoạt động tốt.

Các kết quả đo lường về nhiễu EMI cũng như tuổi thọ đã được thực hiện và cấp chứng chỉ về kiểm định nhiễu điện từ từ các cơ quan kiểm định.

4 KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp thiết kế mạch lọc điện từ cho mạch nguồn LED với công suất 150W sử dụng cấu hình ba tầng. Kết quả kiểm định đạt yêu cầu và được cấp chứng chỉ, cho thấy mạch lọc đáp ứng tốt và gần đúng với tính toán lý thuyết, đáp ứng tiêu chuẩn về nhiễu điện từ cho thiết bị nguồn chiếu sáng ở Việt Nam. Với bộ lọc đề xuất, cuộn dây L_{DM} được bỏ đi bằng cách sử dụng cuộn dây L_{CM} có giá trị điện cảm rò xấp xỉ bằng L_{DM}. Kết quả được kiểm định chứng minh khi bỏ cuộn dây L_{DM} bộ lọc vẫn đáp ứng được tiêu chuẩn đề ra. Điều này có ý nghĩa kích cỡ và chi phí của mạch lọc sẽ giảm xuống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Wang, J. M. Alonso, and X. Ruan, “A Review of LED Drivers and Related Technologies,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 7, pp. 5754–5765, Jul. 2017.
- [2] Y. Wang, J. M. Alonso, and X. Ruan, “High-Performance LED Drivers,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 7, pp. 5751–5753, Jul. 2017.
- [3] S. Uddin, H. Shareef, A. Mohamed, M. A. Hannan, and K. Mohamed, “LEDs as energy efficient lighting systems: A detail review,” in *2011 IEEE Student Conference on Research and Development*, Cyberjaya, Malaysia, 2011, pp. 468–472.
- [4] M. M. A. S. Mahmoud, “Typical economic model for calculating the saving norm of replacement HPS street lighting by LED fixtures in access road of gas production company at GCC,” *2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)*, Istanbul, 2018, pp. 189–192.
- [5] D. K. Srivatsa, B. Preethi, R. Parinitha, G. Sumana and A. Kumar, “Smart Street Lights,” *2013 Texas Instruments India Educators' Conference*, Bangalore, 2013, pp. 103–106.
- [6] E. Kovacs and A. S. Varadine, “Investigation of LED street lighting’s disturbances,” *SPEEDAM 2010*, Pisa, 2010, pp. 1808–1811.

- [7] Z. Su, "Design of White Light LED Lighting Control System," *2018 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*, Xiamen, 2018, pp. 561-563.
- [8] A. Jha and B. Singh, "A bridgeless boost PFC converter fed LED driver for high power factor and low THD," *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT)*, New Delhi, 2018, pp. 1-6.
- [9] Y.-C. Lee, J.-L. Lai, C.-H. Yu, and C.-S. A. Gong, "The High-efficiency LED Driver for Visible Light Communication Applications," p. 3.
- [10] S. Mangkalajan, C. Ekkaravarodome, K. Jirasereamornkul, P. Thounthong, K. Higuchi, and M. K. Kazimierczuk, "A Single-Stage LED Driver Based on ZCDS Class-E Current-Driven Rectifier as a PFC for Street-Lighting Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 10, pp. 8710-8727, Oct. 2018.
- [11] Yitao Liu, Kye Yak See, and King-Jet Tseng, "Conducted EMI Prediction of the PFC Converter Including Nonlinear Behavior of Boost Inductor," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 55, no. 6, pp. 1107-1114, Dec. 2013.
- [12] Q. Ji, X. Ruan, and Z. Ye, "The Worst Conducted EMI Spectrum of Critical Conduction Mode Boost PFC Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 3, pp. 1230-1241, Mar. 2015.
- [13] G. G. Pereira, M. F. de Melo, M. A. Dalla Costa and J. M. Alonso, "High-power-factor LED driver based on input current shaper using a flyback converter," *2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Addison, TX, 2015, pp. 1-6.
- [14] J. Li, T. Liang, K. Chen, Y. Lu and J. Li, "Primary-side controller IC design for quasi-resonant flyback LED driver," *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Montreal, QC, 2015, pp. 5308-5315.
- [8] P. S. Almeida, A. L. C. Mello, H. A. C. Braga, M. A. Dalla Costa, and J. M. Alonso, "Off-line soft-switched LED driver based on an integrated bridgeless boost - half-bridge converter," in *2013 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Lake Buena Vista, FL, USA, 2013, pp. 1-7.
- [9] Yijie Wang, Yueshi Guan, Jiaoping Huang, Wei Wang, and Dianguo Xu, "A Single-Stage LED Driver Based on Interleaved Buck-Boost Circuit and LLC Resonant Converter," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 3, no. 3, pp. 732-741, Sep. 2015.
- [10] Y. Wang, Y. Guan, K. Ren, W. Wang, and D. Xu, "A Single-Stage LED Driver Based on BCM Boost Circuit and LLC Converter for Street Lighting System," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 9, pp. 5446-5457, Sep. 2015.
- [11] Q. Luo, K. Ma, Q. He, C. Zou, and L. Zhou, "A Single-Stage High-Frequency Resonant AC/AC Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 3, pp. 2155-2166, Mar. 2017.
- [12] Y. Wang, X. Deng, Y. Wang, and D. Xu, "Single-Stage Bridgeless LED Driver Based on a CLCL Resonant Converter," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 2, pp. 1832-1841, Mar. 2018.
- [13] N. A. Zawawi, S. Iqbal, and M. K. M. Jamil, "Implementation of a single-stage LED driver using resonant controller," in *2016 6th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1-6.
- [14] J.-B. Lee, C.-E. Kim, J.-H. Kim, C.-O. Yeon, Y.-D. Kim, and G.-W. Moon, "A Novel Accurate Primary Side Control (PSC) Method for Half-Bridge (HB) LLC Converter," p. 5, 2014.
- [15] U. Mumtahina and P. Wolfs, "PV module integrated LLC resonant converter with an extended input voltage range," in *2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, Melbourne, VIC, 2017, pp. 1-6.
- [16] Y. Jeong, J.-K. Kim, J.-B. Lee, and G.-W. Moon, "An Asymmetric Half-Bridge Resonant Converter Having a Reduced Conduction Loss for DC/DC Power Applications with a Wide Range of Low Input Voltage," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 10, pp. 7795-7804, Oct. 2017.
- [17] T. Jiang, J. Zhang, X. Wu, K. Sheng, and Y. Wang, "A Bidirectional LLC Resonant Converter with Automatic Forward and Backward Mode Transition," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 2, pp. 757-770, Feb. 2015.
- [18] Q. Ji, X. Ruan, L. Xie, and Z. Ye, "Conducted EMI Spectra of Average-Current-Control LED Boost PFC Converters Operating in Both CCM and DCM," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 4, pp. 2184-2194, Apr. 2015.
- [19] L. Rossetto, S. Buso, and G. Spiazzi, "Conducted EMI issues in a 600-W single-phase boost PFC design," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 578-585, Apr. 2000.
- [20] J. M. Alonso, J. Vina, D. G. Vaquero, G. Martinez, and R. Osorio, "Analysis and Design of the Integrated Double Buck-Boost Converter as a High-Power-Factor Driver for Power-LED Lamps," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 4, pp. 1689-1697, Apr. 2012.
- [21] C. Deng, M. Chen, P. Chen, C. Hu, W. Zhang, and D. Xu, "A PFC Converter with Novel Integration of Both the EMI Filter and Boost Inductor," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 9, pp. 4485-4489, Sep. 2014.
- [22] S. Winder, *Power supplies for LED driving*, Second edition. Oxford, United Kingdom; Cambridge, MA: Newnes, 2017.
- [23] A. Majid, J. Saleem, and K. Bertilsson, "EMI filter design for high frequency power converters," in *2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Venice, Italy, 2012, pp. 586-589.
- [24] A. Majid, J. Saleem, H. B. Kotte, R. Ambatipudi, and K. Bertilsson, "Design and implementation of EMI filter for high frequency (MHz) power converters," in *International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE*, Rome, Italy, 2012, pp. 1-4.
- [25] M. Ali, E. Laboure, and F. Costa, "Integrated hybrid EMI filter: Study and realization of the active part," in *2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, Lille, France, 2013, pp. 1-8.
- [26] F. Yang, X. Ruan, Q. Ji, and Z. Ye, "Input DM EMI filter design of interleaved CRM Boost PFC converter with coupled inductor," in *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Phoenix, AZ, USA, 2011, pp. 2614-2621.
- [27] M. Huang and Y. Bai, "Differential and CM component extraction to optimize the EMI filter," in *2017 IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing)*, Beijing, 2017, pp. 1-4.
- [28] L. Xing and J. Sun, "Conducted Common-Mode EMI Reduction by Impedance Balancing," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 3, pp. 1084-1089, Mar. 2012.
- [29] D. Miller, M. Reddig, and R. Kennel, "Novel EMI Line Filter System for SMPS," p. 5.
- [30] P. V. Y. Jayasree, J. C. Priya, G. R. Poojita, and G. Kameshwari, "EMI Filter Design for Reducing Common-Mode and Differential-Mode Noise in Conducted Interference," p. 12.

- [31] V. Tarateeraseth, "EMI filter design: Part III: Selection of filter topology for optimal performance," *IEEE Electromagn. Compat. Mag.*, vol. 1, no. 2, pp. 60–73, 2012.
- [32] r. Vimala, k. Baskaran, and k. R. A. Britto, "filter design procedure of conducted emi based on noise impedances," vol. 11, p. 11, 2011.
- [33] J. Jiraprasertwong and C. Jettanasen, "Practical Design of a Passive EMI Filter for Reduction of EMI Generation," *Hong Kong*, p. 4, 2015.
- [34] F. de Leon, S. Purushothaman, and L. Qaseer, "Leakage Inductance Design of Toroidal Transformers by Sector Winding," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 1, pp. 473–480, Jan. 2014.
- [35] I. Hernandez, F. de Leon, and P. Gomez, "Design Formulas for the Leakage Inductance of Toroidal Distribution Transformers," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, no. 4, pp. 2197–2204, Oct. 2011.
- [36] Z. Ouyang, O. C. Thomsen, and M. A. E. Andersen, "The analysis and comparison of leakage inductance in different winding arrangements for planar transformer," in *2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, Taipei, Taiwan, 2009, pp. 1143–1148.
- [37] Le Minh Phuong, Nguyen Minh Huy, Nguyen Dinh Tuyen, "Implementation of half-bridge LLC resonant converter for high power two-stage LED Driver", *Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 4 về Điều khiển và Tự động hoá VCCA-2017*

Nguyễn Hoài Phong hiện đang làm việc tại Phòng thí nghiệm Nghiên cứu Điện tử công suất, Bộ môn Cung Cấp Điện, Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Ngô Thanh Tùng hiện đang làm việc tại Phòng thí nghiệm Nghiên cứu Điện tử công suất, Bộ môn Cung cấp Điện, Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Nguyễn Minh Huy hiện là giảng viên của Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Nguyễn Đình Tuyền hiện là giảng viên của Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Lê Minh Phương hiện là giảng viên của Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Ngô Cao Cường hiện là giảng viên Trường Đại học Kinh tế Tài chính TP.HCM

A new approach to design EMI filter for two-stage power LED driver

Nguyen Hoai Phong¹, Ngo Thanh Tung¹, Nguyen Minh Huy¹, Nguyen Dinh Tuyen¹,
Le Minh Phuong^{1,*}, Ngo Cao Cuong²

¹Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM

²University of Economics and Finance

Corresponding author: lmphuong@hcmut.edu.vn

Received: 17-10-2018, Accepted: 28-11-2018, published: 30-11-2018

Abstract - Nowadays, the incandescent, florescent, and high-pressure mercury lamps was replaced by the LED (Light-Emitting-diode) ...due to the high efficiency, enviromenttally friendly and long life-time. Design the LED driver according to the industry standard for mass production is a matter of concern of government. However, the design of LED driver will be meet some difficulties due to comply with many standards as efficiency, harmonic, power factor, voltage/current ripple and EMI. In Vietnam, the study of EMI was not received the consideration because of difficulties in building a laboratory for measuring EMI as well as the cost of measurement of the qualified test center is quite high. In this paper, we investigate the design of EMI filter for LED driver which is bulit based on two-stage topology: Boost-PFC stage and LLC resonant half-bridge DC-

DC converter. Futhermore, this paper proposed new EMI filter by reducing the fitler coil. As comapre to the conventional method, the size and cost of the EMI filter in this paper is dramatically reduced. The experimental resutls are proved that the performance of proposed LED driver are complied with Vietnam Standard. In order to demonstrate the effectiveness of the proposed method, an experimental setup was built in laboratory. Three case studies with difference EMI fitler was shown and compared. We have received certificate for EMI with the proposed LED driver topology.

Index term- MI, LED Driver, Power Factor Correction, Two-stage LED Driver, LLC resonant Half-Bridge DC-DC converter.