



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0029263

(51)⁷ H01L 27/142; H02S 4/38; H02J 7/00;
H02M 3/18; H01L 31/04; H02J 3/383

(13) B

(21) 1-2018-04981

(22) 07/11/2018

(45) 25/08/2021 401

(43) 25/05/2020 386ASC

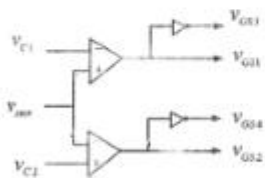
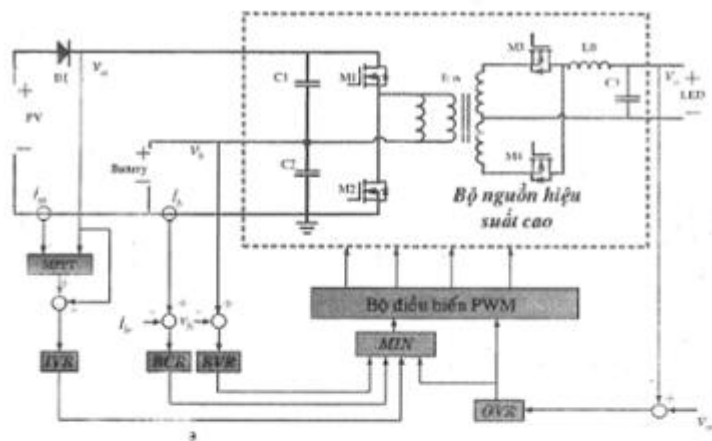
(73) Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

Số 1, Đại Cồ Việt, quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội

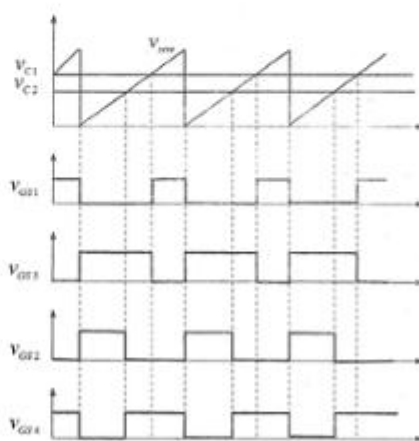
(72) Nguyễn Ngọc Trung (VN); Vũ Hoàng Phương (VN).

(54) BỘ NGUỒN HIỆU SUẤT CAO SỬ DỤNG TRANZITO HIỆU ỨNG TRƯỜNG GAN (GAN FET (FIELD EFFECT TRANSISTOR)) ỨNG DỤNG ĐỂ CẤP ĐIỆN CHO HỆ THỐNG ĐÈN LED CHIẾU SÁNG CÔNG CỘNG/NHÀ XƯỞNG TÍCH HỢP PIN QUANG ĐIỆN MẶT TRỜI VÀ PIN NẠP

(57) Sáng chế đề xuất bộ nguồn hiệu suất cao sử dụng tranzito hiệu ứng trường GaN (GaN FET (Field Effect Transistor)) ứng dụng để cấp điện cho hệ thống đèn LED chiếu sáng công cộng/nhà xưởng tích hợp pin quang điện mặt trời và pin nạp, trong đó bộ nguồn này bao gồm: mạch lực có cấu trúc chuyển đổi dạng nửa cầu ba cổng (Three port half bridge converter - HB-TPC), mạch lực của bộ nguồn là sự tổ hợp của các mạch cơ bản có chức năng của một mạch nửa cầu (HB - Half bridge), mạch hạ áp (buck) và mạch forward-flyback; trong đó bộ nguồn gồm ba cổng: ít nhất một cổng đầu vào nối trực tiếp với phần tử quang điện (PV); ít nhất một cổng nối đầu vào/đầu ra với pin trữ điện (battery); một cổng đầu ra nối với tải là các đèn LED, và trong đó mạch điện chính kết nối giữa ít nhất một đầu vào trực tiếp và ít nhất một pin trữ điện, mạch sơ cấp được thiết kế hoạt động như một bộ chuyển đổi buck; ngoài ra, bộ nguồn sử dụng biến áp phẳng (planar transformer) tần số cao, biến áp sử dụng một lõi sắt từ chung cho cuộn cảm trong mạch sơ cấp và mạch thứ cấp, mạch điện thứ cấp kết nối giữa ít nhất một pin trữ điện và ít nhất một tải (LED); mạch điều khiển của cực cổng (gate driver) của các linh kiện GaN FET cho bộ nguồn để bộ nguồn có thể hoạt động với tần số cao ($\leq 500\text{KHz}$), trong đó, ở mỗi nhánh của GaN FET, các mạch điều khiển (driver) được thiết kế riêng biệt, sử dụng các IC cách ly tần số cực cao, nguồn cấp được lấy từ pin trữ điện ổn định.



b



c

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực sản xuất năng lượng tái tạo cụ thể là bộ nguồn sử dụng linh kiện bán dẫn tranzito có độ linh động điện tử cao (HEMT - High-electron-mobility transistor) trên cơ sở vật liệu GaN, kết hợp với cấu trúc linh hoạt của mạch lực để thiết kế tạo nên một bộ nguồn cấp điện có mật độ công suất cao, hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao. Với kích thước nhỏ gọn và ứng dụng linh hoạt, bộ nguồn sẽ được sử dụng hiệu quả làm nguồn cấp cho hệ thống đèn LED chiếu sáng công cộng hoặc nhà xưởng sử dụng nguồn năng lượng tái tạo từ pin quang điện mặt trời, tích hợp với pin ăp.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Sự ra đời của ngành công nghiệp điện tử bán dẫn cũng như sự phát triển rất nhanh trong thời gian gần đây của công nghệ năng lượng tái tạo như pin mặt trời hay tua bin gió đang thay đổi rất nhanh bản chất của các quá trình truyền dẫn, phân phối và sử dụng năng lượng điện. Trong thập kỷ vừa qua, người ta đã tiến hành rất nhiều cải tiến về công nghệ nhằm nâng cao hiệu suất và giảm chi phí đối với các tấm pin mặt trời, nhưng có rất ít cải tiến được thực hiện để chuyển đổi điện mặt trời trở thành điện dân dụng. Để tích hợp các tấm pin mặt trời vào trong một hệ thống điện phức hợp, người ta thường sử dụng một số các bộ chuyển đổi điện 1 chiều – 1 chiều (DC-DC). Trong điều kiện thành phố có không gian lắp đặt giới hạn nên các bộ chuyển đổi điện này phải gọn nhẹ và có hiệu suất chuyển đổi năng lượng điện cao. Các bộ chuyển đổi điện DC-DC đang sử dụng hiện nay là các bộ chuyển đổi điện lai ghép, công kênh, giá thành cao và thiếu hiệu quả. Để đáp ứng được các yêu cầu khắt khe như hiệu suất, chi phí và độ tin cậy, việc sử dụng các bộ chuyển đổi điện DC-DC có hiệu suất cao, kích cỡ nhỏ, gọn nhẹ là hết sức cần thiết.

Một trong các giải pháp công nghệ hiện nay đang sử dụng để giải quyết vấn đề tiết kiệm năng lượng là chuyển mạch ở tần số cao (> 1 MHz). Như chúng ta đã biết, các cuộn cảm và tụ điện được tích hợp trong các bộ biến đổi công suất để điều khiển hoặc thay đổi trạng thái của mạch điện. Kích cỡ của cuộn cảm và tụ điện trong mạch điện thay đổi tỷ lệ nghịch với tần số. Khi tần số hoạt động của bộ biến đổi công suất càng cao thì kích cỡ của nó càng nhỏ, và năng lượng tiêu thụ càng thấp, dẫn đến tổn hao năng lượng thấp và hiệu suất biến đổi cao. Đối với linh kiện trên cơ sở vật liệu silic truyền thống như tranzito hiệu ứng trường oxit kim loại - bán dẫn (MOSFET - Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect

Transistor), do cấu trúc của vật liệu silic, nên khi linh kiện thực hiện chuyển mạch ở tần số cao ($>1\text{MHz}$), phần công suất tổn hao do chuyển đổi từ điện thành nhiệt gia tăng, nên cần phải có các công nghệ làm lạnh và điều khiển nhiệt độ tiên tiến để giúp cho thiết bị làm việc ổn định, hiệu suất cao.

Trong các hệ thống biến đổi năng lượng ứng dụng cho chiếu sáng (đường phố hoặc nhà xưởng) thường có 2 tầng biến đổi công suất kiểu DC-DC sử dụng linh kiện bán dẫn công suất Si MOSFET. Bộ biến đổi DC-DC thực hiện tích lũy năng lượng từ pin mặt trời vào pin trữ điện năng lượng (thường là acquy), bộ biến đổi DC-DC khác lấy năng lượng từ Acquy cấp cho đèn Led. Cấu hình biến đổi này mang một số đặc điểm sau:

- + Số lượng các phần tử trong hệ thống biến đổi năng lượng như: linh kiện bán dẫn công suất, phần tử thụ động: tụ điện, cuộn cảm ... rất lớn và phức tạp, điều này làm giảm mật độ công suất, chi phí lớn và gặp khó khăn trong công tác bảo trì, bảo dưỡng;

- + Các bộ biến đổi này chỉ có chuyển mạch cứng (Hard switching) nên hiệu suất làm việc thực tế của chúng nhỏ hơn rất nhiều so với thiết kế ban đầu;

- + Về hệ thống điều khiển, bản thân mỗi bộ biến đổi DC-DC đều có các mạch vòng điều khiển riêng. Do đó, cần thêm một hệ thống điều khiển trung tâm để giám sát và quản lý các nguồn năng lượng trong hệ thống, khi đó sẽ gặp khó khăn trong việc kết nối truyền thông giữa phần quản lý năng lượng và cấu trúc điều khiển cho các bộ biến đổi công suất;

- + Do có sự chênh lệch lớn về điện áp các nguồn sơ cấp và điện áp tại DC bus nên các bộ chuyển đổi DC-DC thường hoạt động tại chế độ cận tới hạn (chế độ có hệ số điều chế gần mức tối đa) và các bộ biến đổi này chỉ có chuyển mạch cứng (Hard switching) nên hiệu suất làm việc thực tế của chúng nhỏ hơn rất nhiều so với thiết kế ban đầu.

Về bản chất, hệ thống chiếu sáng LED sử dụng năng lượng thu được từ pin quang điện mặt trời (PV) có cấu trúc tổng quát như được thể hiện trên Hình 1.

Do bản chất của ánh sáng mặt trời không thể cung cấp năng lượng liên tục ngày đêm cho việc chiếu sáng, cũng như công suất phát không đều của tấm pin mặt trời do các yếu tố khách quan như thời tiết, vật cản, một pin trữ điện thêm vào là cần thiết để có thể ổn định đầu ra cho việc chiếu sáng cũng như tích trữ năng lượng. Việc kết hợp thêm là khá phức tạp, do đó một vài cấu trúc bộ nguồn đã được đề xuất sử dụng như trong Hình 2 sau đây.

Hình 2 thể hiện cấu trúc mạch lực của bộ nguồn trong hệ thống chiếu sáng bằng LED sử dụng năng lượng mặt trời, trong đó gồm pin mặt trời 1, pin trữ điện/pin nạp 2, bộ đèn LED chiếu sáng (3). Các thành phần này được nối điện theo các sơ đồ truyền thống

là: (a) sơ đồ nối tầng, (b) sơ đồ dạng song song đầu vào, (c) sơ đồ song song đầu ra. Thực tế, các cấu trúc truyền thống vẫn đáp ứng được các mục đích sử dụng và khả năng tích hợp các nguồn năng lượng nhưng lại tỏ rõ nhược điểm cố hữu như công kênh, hiệu suất thấp. Cụ thể được như sau: theo sơ đồ (a), để truyền tải năng lượng đến bộ đèn LED cần qua 2 tầng biến đổi, sơ đồ (b) để đèn LED sử dụng năng lượng lưu trữ trong pin cũng cần qua 2 tầng biến đổi, từ đó gây tổn hao công suất rất lớn, tương tự với sơ đồ (c) hiệu suất thấp nhất khi nạp pin từ điện mặt trời. Ngoài ra, khi chế tạo các bộ nguồn được thiết kế theo những cấu trúc này cần bổ sung một lượng linh kiện lớn, làm tăng giá thành sản phẩm, giảm độ tin cậy và đương nhiên là giảm hiệu suất chuyển đổi năng lượng.

Từ những đặc điểm không tốt cố hữu đó, một cấu trúc mới, nhỏ gọn, đa năng và hữu dụng đã được sử dụng. Đó là sơ đồ mạch lực của bộ nguồn có cấu trúc chuyển đổi dạng nửa cầu 3 cổng (Three port half bridge converter - HB-TPC) được thể hiện trên Hình 3. Cấu trúc mạch dạng này đơn giản nhưng đa dụng, đáp ứng tốt mục đích sử dụng, được tích hợp từ một lượng nhỏ linh kiện cho nhiều chức năng so với các cấu trúc truyền thống.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất bộ nguồn ứng dụng cho hệ thống đèn LED chiếu sáng khắc phục được các nhược điểm của các bộ nguồn đã biết.

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất bộ nguồn hiệu suất cao sử dụng tranzito GaN FET ứng dụng để cấp điện cho hệ thống đèn LED chiếu sáng công cộng/nhà xưởng tích hợp pin quang điện mặt trời và pin nạp, trong đó bộ nguồn này bao gồm:

mạch lực có cấu trúc chuyển đổi dạng nửa cầu ba cổng (Three port half bridge converter - HB-TPC), mạch lực của bộ nguồn là sự tổ hợp của các mạch cơ bản có chức năng của một mạch nửa cầu (HB - Half bridge), mạch hạ áp (buck) và mạch forward-flyback;

trong đó bộ nguồn gồm ba cổng:

ít nhất một cổng đầu vào nối trực tiếp với phần tử quang điện (PV);

ít nhất một cổng nối đầu vào/đầu ra với pin trữ điện (battery);

một cổng đầu ra nối với tải là các đèn LED, và

trong đó mạch điện chính kết nối giữa ít nhất một đầu vào trực tiếp và ít nhất một pin trữ điện, mạch sơ cấp được thiết kế hoạt động như một bộ chuyển đổi buck;

ngoài ra, bộ nguồn sử dụng biến áp phẳng (planar transformer) tần số cao, biến áp sử dụng một lõi sắt từ chung cho các cuộn cảm (phần tử từ tính) trong mạch sơ cấp và mạch thứ cấp, mạch điện thứ cấp kết nối giữa ít nhất một pin trữ điện và ít nhất một tải (LED).

Theo một phương án của khía cạnh này, bộ nguồn được thiết kế có các phần tử hoạt động ở tần số cao ($>100\text{KHz}$), tổn hao thấp để giảm kích thước của các thành phần tụ và từ tính.

Theo một phương án khác của khía cạnh này, bộ nguồn có ba chế độ vận hành chính gồm:

chế độ một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output): khi bức xạ mặt trời mạnh, năng lượng từ môđun quang điện PV tạo ra dư thừa so với nhu cầu sử dụng của tải LED, năng lượng được chuyển đến bộ đèn LED qua bộ nguồn dạng nửa cầu (half bridge), phần dư thừa sẽ được đẩy vào pin và lưu trữ lại để dùng khi về đêm hay những thời điểm bức xạ yếu, trong quá trình sạc pin trữ điện, mạch lực hoạt động như một bộ buck để hạ điện áp từ môđun quang điện xuống và nạp cho pin trữ điện/pin nạp;

chế độ hai đầu vào và một đầu ra (DI – Dual Input): khi bức xạ mặt trời yếu, hoặc LED sử dụng ở trạng thái có cường độ cao nhất, tiêu thụ công suất lớn, khi đó năng lượng từ môđun quang điện không đủ để cung cấp cho tải LED, để có đầu ra ổn định, bộ điều khiển sẽ điều khiển kết hợp giữa năng lượng thu được từ pin quang điện và năng lượng từ pin trữ điện;

chế độ một đầu vào một đầu ra (SISO – Single Input Single Output): nguồn hoạt động như một nguồn dạng Forward- Flyback, lúc này công vào pin quang điện (PV) tắt, năng lượng tích trữ trong pin nạp sẽ được cấp cho tải đèn là bộ đèn LED, công suất và điện áp được điều khiển qua van M_1 và M_2 ;

và trong đó, biến áp được lựa chọn sao cho có tỉ số vòng dây phù hợp để điện áp đầu vào được cung cấp từ môđun quang điện sẽ lớn hơn điện áp đầu ra từ pin trữ điện.

Theo một phương án khác của khía cạnh này, bộ nguồn này có các chế độ vận hành chính bao gồm:

chế độ (1a) một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output): chế độ một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output): khi bức xạ mặt trời mạnh, năng lượng từ môđun quang điện PV tạo ra dư thừa so với nhu cầu sử dụng của tải LED, năng lượng được chuyển đến bộ đèn LED

qua bộ nguồn dạng nửa cầu (half bridge), phần năng lượng dư thừa sẽ được đẩy vào pin và lưu trữ lại để dùng khi bức xạ yếu, trong quá trình sạc pin trữ điện, mạch lực hoạt động như một bộ hạ áp (buck) để hạ điện áp từ môđun quang điện xuống và nạp cho pin trữ điện/pin nạp theo chế độ ổn dòng hoặc ổn áp;

chế độ (1b) một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output) -MPPT (Maximum power point tracking - bám điểm công suất cực đại), là chế độ DO, nhưng phần năng lượng dư thừa không đủ để ổn dòng hoặc ổn áp nạp cho pin, thuật toán điều khiển MPPT thực hiện tìm kiếm điểm làm việc tối ưu, khai thác tối đa năng lượng pin quang điện nhận được;

chế độ (2) hai đầu vào và một đầu ra (DI – Dual Input): khi bức xạ mặt trời yếu, hoặc LED sử dụng ở trạng thái có cường độ cao nhất, tiêu thụ công suất lớn, khi đó năng lượng từ môđun quang điện không đủ để cung cấp cho tải LED, bộ điều khiển sẽ điều khiển kết hợp giữa năng lượng thu được từ pin quang điện và năng lượng từ pin trữ điện để đảm bảo công suất đầu ra luôn được ổn định;

chế độ một đầu vào một đầu ra (SISO – Single Input Single Output): nguồn hoạt động như một nguồn dạng Forward- Flyback, lúc này cổng vào pin quang điện (PV) tắt, năng lượng tích trữ trong pin nạp sẽ được cấp cho tải đèn là bộ đèn LED, công suất và điện áp được điều khiển qua van M_1 và M_2 ;

và trong đó, biến áp được lựa chọn sao cho có tỉ số vòng dây phù hợp để điện áp đầu vào được cung cấp từ môđun quang điện sẽ lớn hơn điện áp đầu ra từ pin trữ điện.

Theo một phương án khác của khía cạnh này, để tăng tăng mật độ công suất của bộ nguồn, sáng chế đề xuất bộ nguồn sử dụng biến áp phẳng (planar transformer) sử dụng lớp điện môi cách điện loại tốt có điện trở cao để giảm thiểu ảnh hưởng của hiệu ứng bề mặt khi mạch hoạt động ở tần số cao.

Theo một phương án của sáng chế, phần tử từ tính thứ nhất và/hoặc thứ hai có các thông số thiết kế như sau: sử dụng vật liệu Cu; chiều rộng màng mỏng Cu từ 0,25mm đến 2 mm; khoảng cách giữa các vòng dây từ 0,25mm đến 1 mm, đường kính ngoài ≤ 30 mm; bề dày lớp Cu 35 μm ; hệ số tự cảm $L = 1 \div 5$ (μH); điện trở $R_s < 1\text{m}\Omega$; tụ ký sinh $C_p < 50$ pF; tần số cộng hưởng $f_r > 50$ MHz; bề dày lớp điện môi cách điện giữa các màng kim loại (nối với cổng P2) > 100 μm .

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất mạch điều khiển của cực cổng (Gate driver) của linh kiện GaN FET để bộ nguồn có thể hoạt động với tần số cao ($\sim 500\text{KHz}$), trong đó, ở mỗi nhánh của GaN FET, các mạch điều khiển (driver) được thiết kế riêng biệt, sử dụng các IC cách ly tần số cực cao, nguồn cấp được lấy từ pin trữ điện ổn định;

Theo một phương án của một trong số các khía cạnh nêu trên, việc điều khiển công suất giữa pin trữ điện, tấm pin năng lượng mặt trời và LED được thực hiện thông qua việc điều khiển giá trị chu kỳ làm việc (duty cycle) D1, D2 của van bán dẫn S_1 và S_2 .

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sau đây, giải pháp theo sáng chế sẽ được mô tả có dựa vào các hình vẽ kèm theo trong đó:

Hình 1 là hình vẽ thể hiện cấu trúc thông thường của hệ thống chiếu sáng bằng LED sử dụng năng lượng mặt trời;

Hình 2 là hình vẽ thể hiện cấu trúc thông thường của mạch lực của bộ nguồn trong hệ thống chiếu sáng bằng LED sử dụng năng lượng mặt trời gồm có: pin mặt trời (1), pin trữ điện/pin nạp (2), bộ đèn LED chiếu sáng (3), các sơ đồ truyền thống gồm: a) sơ đồ nối tầng, b) sơ đồ dạng song song đầu vào, c) sơ đồ song song đầu ra;

Hình 3 là hình vẽ sơ đồ bộ nguồn có cấu trúc chuyển đổi dạng nửa cầu 3 cổng được sử dụng trong sáng chế: pin mặt trời (1), pin trữ điện/pin nạp (2), bộ đèn LED chiếu sáng (3);

Hình 4 là hình vẽ sơ đồ mạch lực của bộ nguồn;

Hình 5 là hình vẽ thể hiện sơ đồ ứng dụng của các linh kiện bán dẫn trong lĩnh vực công suất cao và tần số cao;

Hình 6 là hình vẽ thể hiện: cấu trúc mặt cắt ngang của linh kiện GaN FET (a), mạch nguyên lý (b), và so sánh các đặc tính kỹ thuật giữa GaN FET và Si MOSFET (c);

Hình 7 là hình vẽ thể hiện các trạng thái hoạt động của bộ nguồn theo sáng chế;

Hình 8 là hình vẽ thể hiện cấu trúc và sơ đồ mạch điều khiển (Driver) cho linh kiện GaN FET theo sáng chế;

Hình 9 là hình vẽ thể hiện thành phần từ tính của biến áp phẳng, trong đó P1, P2 là các cổng nối, N là số vòng dây, d là đường kính vòng dây ngoài, w là chiều rộng, s là khoảng cách giữa các vòng dây;

Hình 10 là hình vẽ dạng tín hiệu dòng điện điện áp trong bộ biến đổi ở chế độ DO (Dual Output);

Hình 11 là hình vẽ thể hiện: a) sơ đồ cấu trúc của bộ nguồn hiệu suất cao sử dụng tranzito GaN FET ứng dụng để cấp điện cho hệ thống đèn LED chiếu sáng công cộng/nhà

xưởng tích hợp pin quang điện mặt trời và pin nạp bao gồm cả mạch điều khiển bộ biến đổi HB – TPC theo sáng chế, b) sơ đồ nguyên lý mạch tạo tín hiệu điều biến độ rộng xung (PWM), sơ đồ các dạng sóng chính của bộ điều biến PWM;

Hình 12 là hình vẽ thể hiện quá trình chuyển mạch khi điện áp bằng không (ZVS – Zero Voltage Switching) của van M_2 trong chế độ DI, DO.

Hình 13 là hình vẽ thể hiện đồ thị phân tích điểm đạt trạng thái ZVS của M_2 ;

Hình 14 là hình vẽ thể hiện quá trình chuyển mạch trong chế độ SISO.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết theo các khía cạnh và phương án của sáng chế có dựa vào các hình vẽ kèm theo. Các khía cạnh, các phương án và các hình vẽ này chỉ nhằm mục đích làm ví dụ minh họa giúp hiểu rõ hơn giải pháp của sáng chế, và sáng chế không chỉ giới hạn như vậy. Trên các hình vẽ, các chi tiết giống nhau sẽ có số chỉ dẫn giống nhau, các phần mô tả lặp lại sẽ được bỏ qua để phần mô tả ngắn gọn.

Sáng chế này đề cập tới phương pháp thiết kế, chế tạo bộ nguồn đa cổng, sử dụng linh kiện bán dẫn GaN FET tích hợp với công nghệ chế tạo biến áp planar tần số cao, nhằm thu nhỏ kích thước thiết bị, nâng cao mật độ công suất và hiệu suất chuyển đổi năng lượng thu được từ phân tử quang điện cấp cho đèn LED và pin nạp.

Sơ đồ nguyên lý mạch lực của bộ nguồn 3 được thể hiện trên hình 4.

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất bộ nguồn 3 hiệu suất cao sử dụng tranzito GaN FET ứng dụng để cấp điện cho hệ thống đèn LED chiếu sáng công cộng/nhà xưởng tích hợp pin quang điện mặt trời và pin nạp. Bộ nguồn 3 này bao gồm mạch lực có cấu trúc chuyển đổi dạng nửa cầu ba cổng (Three port half bridge converter - HB-TPC), mạch lực của bộ nguồn là sự tổ hợp của các mạch cơ bản có chức năng của một mạch nửa cầu (HB - Half bridge), mạch hạ áp (buck) và mạch forward-flyback.

Bộ nguồn 3 cổng bao gồm: ít nhất một cổng đầu vào nối trực tiếp với phân tử quang điện (PV); ít nhất một cổng nối với pin trữ điện (Battery); một cổng đầu ra nối với tải là các đèn LED, trong đó mạch điện chính kết nối giữa ít nhất một đầu vào trực tiếp và ít nhất một pin trữ điện. Mạch sơ cấp được thiết kế hoạt động như một bộ chuyển đổi buck. Biến áp sử dụng một lõi sắt từ chung cho cuộn cảm trong mạch sơ cấp và mạch thứ cấp. Thành phần từ tính thứ nhất thực hiện nâng điện áp từng bước, thành phần từ tính thứ

hai được liên kết với thành phần từ tính thứ nhất. Mạch điện thứ cấp kết nối giữa ít nhất một pin trữ điện và ít nhất một tải (LED).

Đặc điểm quan trọng thứ nhất của sáng chế này là ứng dụng tranzito GaN FET thay cho các Si MOSFET (M1, M2, M3 và M4) trong thiết kế mạch lực. Hình 5 là sơ đồ ứng dụng của các linh kiện bán dẫn trong lĩnh vực công suất cao và tần số cao. Từ sơ đồ này, có thể thấy việc lựa chọn linh kiện GaN FET thay thế cho các tranzito Si MOSFET vẫn đảm bảo được công suất của hệ thống điện nhưng thiết bị có thể hoạt động ở tần số cao hơn rất nhiều.

GaN (Gallium Nitride) là vật liệu bán dẫn có vùng cấm rộng (3,4 eV ở 25°C) so với vật liệu Si (1,12 eV ở 25°C), điện trường ngưỡng lớn ($> 3\text{MV/cm}$). Linh kiện bán dẫn được chế tạo từ vật liệu GaN có độ dẫn nhiệt cao, vận tốc bão hòa của điện tử lớn và mật độ hạt tải cao ($\sim 10^{13}\text{cm}^{-2}$ với $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$), rất thích hợp với các ứng dụng khuếch đại hiệu suất cao, công suất ra cao và mật độ công suất cao hoạt động ở vùng nhiệt độ rộng. Tranzito có độ linh động điện tử cao (High-electron-mobility transistor - HEMT), là một loại linh kiện bán dẫn hoạt động trên cơ sở hiệu ứng trường (FET), được chế tạo từ tiếp giáp dị thể (heterostructure) AlGaIn/GaN. Do cấu trúc tinh thể của vật liệu GaN không đối xứng, dẫn đến sự hình thành lưỡng cực điện. Lưỡng cực điện này lại dẫn đến sự hình thành một trường phân cực tự phát. Tính năng đặc biệt của tiếp giáp dị thể AlGaIn/GaN là do sai lệch hằng số mạng giữa các bán dẫn, nên trong quá trình chế tạo, các lớp nitride bị biến dạng căng, kết hợp với điện trường phân cực tự phát, tạo nên một lớp vật liệu siêu mỏng (coi như mặt phẳng - 2D) có mật độ hạt tải cao, còn gọi là lớp khí điện tử hai chiều (2-DEG) (Hình 6a). Lớp khí điện tử hai chiều này có độ linh động điện tử cao bất thường, cho phép các nhà sản xuất tạo ra linh kiện GaN với cùng giá trị điện trở ở trạng thái mở (R_{ON}) và điện áp đánh thủng (V_{BD}) xác định như của linh kiện Si, nhưng có kích thước nhỏ gọn hơn nhiều.

Ngoài ra, như đã biết, kích cỡ của các linh kiện thụ động như cuộn cảm và tụ điện trong mạch lực thay đổi tỷ lệ nghịch với tần số, nghĩa là tần số càng cao thì kích cỡ của bộ nguồn càng nhỏ. Như vậy, GaN FET giữ được tần số chuyển mạch ở mức cao ($> 100\text{KHz}$) và vẫn duy trì được mức tổn hao thấp trong quá trình dẫn điện so với tranzito Si MOSFET. Các bộ nguồn sử dụng GaN FET có thể làm cho nhỏ gọn hơn, làm tăng khả năng tích hợp đối với các linh kiện có kích cỡ nhỏ và công suất lớn. Một số kết quả so sánh các thông số kỹ thuật của các linh kiện trong bộ nguồn sử dụng GaN FET và Si MOSFET được chỉ ra trong bảng 1.

Bảng 1. So sánh các thông số kỹ thuật của các linh kiện trong bộ nguồn sử dụng GaN FET và Si MOSFET

Tham số	GaN EPC2010C	Si IRFS4620P	Đơn vị	So sánh
V_{DSS}	200	200	V	
I_D	22	24	A	
R_{DS}	25	63,7	mOhm	Nhỏ hơn ~2.5 lần
Q_g	3,7	25	nC	Nhỏ hơn ~ 7 lần
Q_{RR}	0	294	nC	
Kích thước	~5	~80	mm ²	Nhỏ hơn ~ 16 lần

Hình 6 minh họa cấu trúc mặt cắt ngang của GaN FET (a); mạch nguyên lý (b), và sự so sánh các đặc tính kỹ thuật giữa GaN FET và Si MOSFET (c). Trong đó, tương tự như Si MOSFET, GaN FET có 3 điện cực, là cực nguồn (S), cực máng (D) và cực cổng (G). Tuy nhiên, khác với Si MOSFET, GaN FET không được chế tạo từ các chuyển tiếp p-n, nên không có diốt phân cực ngược bên trong. Hơn nữa, do cấu trúc tinh khiết của vật liệu GaN, GaN FET không có phần tử ký sinh như trong cấu trúc Si MOSFET. Ngoài ra, GaN FET có cực cổng được chế tạo từ tiếp xúc kim loại/bán dẫn, tạo nên một tiếp xúc (diode) Schottky với điện áp ngưỡng (V_{th}) ~1V. Điện áp hoạt động tối đa của linh kiện này không xác định bởi cơ chế đánh thủng thác lũ như đối với linh kiện Si dựa trên chuyển tiếp p-n, mà phụ thuộc vào sự tăng điện thế giữa cực nguồn và máng (V_{DS}) của linh kiện.

Do ở trạng thái mở, GaN FET có điện trở thấp và tốc độ chuyển mạch cao, nên việc sử dụng linh kiện này cho phép thiết kế các hệ thống chuyển đổi năng lượng với tần số chuyển mạch cao hơn ở cùng một hiệu suất dẫn đến giảm thể tích, khối lượng của các thành phần thụ động và do đó làm tăng mật độ năng lượng tổng thể [Hình 6c].

Trong sáng chế này, mạch lực của bộ nguồn là sự tổ hợp của các mạch cơ bản có chức năng của một mạch nửa cầu (Half Bridge), mạch hạ áp (buck), mạch forward-flyback như trong hình 7.

Bộ nguồn 3 theo sáng chế được thiết kế có cấu trúc linh hoạt, với các phần tử hoạt động ở tần số cao (>100KHz), tổn hao thấp, giảm kích thước của các thành phần tụ và từ

tính. Như vậy, các tranzito bán dẫn GaN cần được thiết kế và tối ưu hóa trong mạch điều khiển (driver) sao cho phù hợp, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật đưa ra.

Về bản chất, bộ nguồn 3 có ba chế độ vận hành chính :

- SISO: Chế độ một đầu vào một đầu ra, nguồn hoạt động như một nguồn dạng Forward- Flyback. Lúc này cổng vào PV tắt, năng lượng tích trữ trong pin nạp sẽ được cấp cho tải đèn là bộ đèn LED. Công suất và điện áp được điều khiển qua van M_1 và M_2 .
- DO: Chế độ một đầu vào hai đầu ra, khi bức xạ mặt trời mạnh, năng lượng từ môđun quang điện PV tạo ra dư thừa so với nhu cầu sử dụng của tải LED, năng lượng được chuyển đến bộ đèn LED qua bộ nguồn dạng nửa cầu (half bridge), phần dư thừa sẽ được đẩy vào pin và lưu trữ lại để dùng khi về đêm hay những thời điểm bức xạ yếu. Trong quá trình sạc pin trữ điện, mạch lực hoạt động như một bộ hạ áp (buck) để hạ điện áp từ môđun quang điện xuống và nạp cho pin nạp.
- DI: Chế độ hai đầu vào và một đầu ra, khi bức xạ mặt trời yếu, hoặc LED sử dụng ở trạng thái có cường độ cao nhất, tiêu thụ công suất lớn. Khi đó năng lượng từ môđun quang điện không đủ để cung cấp cho tải LED. Để có đầu ra ổn định, bộ điều khiển sẽ điều khiển kết hợp giữa năng lượng thu được từ pin quang điện và năng lượng từ pin trữ điện.

Như vậy, điện áp đầu vào được cung cấp từ môđun quang điện sẽ phải lớn hơn điện áp đầu ra từ pin trữ điện. Biến áp được lựa chọn sao cho có tỉ số vòng dây phù hợp với điện áp đầu ra mong muốn.

Ngoài ra, một đặc điểm quan trọng tiếp theo của bộ nguồn 3 theo sáng chế này là bộ nguồn này sử dụng biến áp phẳng (planar transformer) tần số cao, biến áp sử dụng một lõi sắt từ chung cho các cuộn cảm (phần tử từ tính) trong mạch sơ cấp và mạch thứ cấp, mạch điện thứ cấp kết nối giữa ít nhất một pin trữ điện và ít nhất một tải (LED). Đặc điểm vượt trội của biến áp phẳng so với biến áp truyền thống là thay thế các vòng dây đồng cuộn quanh lõi sắt từ bằng các lớp đồng mỏng có độ dày, chiều dài, và chiều rộng xác định (Hình 9). Về bản chất, các vòng dây của biến áp phẳng được in lên tấm PCB bằng công nghệ in lưới hoặc sử dụng các quá trình quang khắc và ăn mòn trong công nghệ chế tạo linh kiện màng mỏng. Các vòng màng mỏng đồng (Cu) được thiết kế và chế tạo với các kích thước rất nhỏ (mm) và trên cùng mặt phẳng, nên mạch từ có diện tích bề mặt rộng và chiều cao giảm đáng kể so với biến áp thông thường, dẫn đến khả năng tản nhiệt tốt và điện cảm rò ít. Với các biến áp xung hoạt động trong dải tần cao (từ 100KHz đến 200

MHz), sử dụng biến áp phẳng có thể làm giảm nhiều lần kích thước và trọng lượng so với những biến áp hoạt động ở tần số thấp hơn có cùng công suất. Lớp điện môi cách điện tốt được sử dụng để giảm thiểu ảnh hưởng của hiệu ứng bề mặt khi mạch hoạt động ở tần số cao.

Trong trường hợp đưa ra ở hình 9, phần tử từ tính có các thông số thiết kế như sau:

- Vật liệu: Cu
- Chiều rộng màng mỏng Cu: từ 0,25 mm đến 2 mm
- Khoảng cách giữa các vòng: từ 0,25 mm đến 1 mm
- Đường kính ngoài: ≤ 30 mm
- Bề dày lớp Cu: 35 μm
- Hệ số tự cảm: $L = 1 \div 5$ (μH)
- Điện trở, $R_s < 1\text{m}\Omega$
- Tụ ký sinh, $C_p < 50$ pF
- Tần số cộng hưởng, $f_r > 50$ MHz
- Bề dày lớp điện môi cách điện giữa các màng kim loại (nối với cổng P2): > 100 μm .

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất mạch điều khiển của cực cổng (Gate driver) của linh kiện GaN FET để bộ nguồn 3 có thể hoạt động với tần số cao ($\sim 500\text{KHz}$), trong đó, ở mỗi nhánh của GaN FET, các mạch điều khiển (driver) được thiết kế riêng biệt, sử dụng các IC cách ly tần số cực cao, nguồn cấp được lấy từ pin trữ điện ổn định.

Theo một phương án ưu tiên của khía cạnh này, cấu trúc và phương án thiết kế mạch điều khiển (Driver) cho linh kiện GaN FET được thể hiện trên hình 8. Trong đó, ở mỗi nhánh của GaN FET, các driver được thiết kế riêng biệt, sử dụng các IC cách ly tần số cực cao và driver chuyên dụng, nguồn cấp được lấy từ pin trữ điện ổn định.

Sáng chế cũng đề xuất phương pháp thiết kế mạch điều khiển cực cổng (Gate driver) để điều khiển van bán dẫn GaN và tính toán lựa chọn các tham số biến áp phẳng, tụ, cuộn cảm lọc ở đầu ra và tụ đầu vào.

Điểm mới quan trọng của sáng chế là thiết kế mạch điều khiển cực cổng cho linh kiện GaN FET để bộ nguồn có thể hoạt động với tần số cao tới 500Khz.

Để thực hiện việc thiết kế cấu trúc mạch điều khiển với các thông số tối ưu, trước hết tác giả phân tích một số chế độ hoạt động của bộ biến đổi. Hình 10 thể hiện dạng tín hiệu dòng điện điện áp trong bộ biến đổi ở chế độ DO (Dual Output).

Ở chế độ DO (dual-output):

Thời điểm $t_0 - t_1$ ta có công thức mô tả dòng điện qua biến áp và dòng qua cuộn cảm L_o như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{V_{in} - V_b}{L_m} \\ \frac{di_{Lo}}{dt} = \frac{n(V_{in} - V_b) - V_o}{L_o} \text{ công thức (1)} \\ i_P = i_{Lm} + ni_{Lo} \end{array} \right.$$

Thời điểm $t_1 - t_2$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{-V_b}{L_m} \\ \frac{di_{Lo}}{dt} = \frac{nV_b - V_o}{L_o} \text{ công thức (2)} \\ i_P = i_{Lm} - ni_{Lo} \end{array} \right.$$

Thời điểm $t_2 - t_3$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{Lm}}{dt} = 0 \\ \frac{di_{Lo}}{dt} = \frac{-V_o}{L_o} \text{ công thức (3)} \\ i_P = 0 \end{array} \right.$$

Tương tự cho các chế độ DI, SISO.

Đối với các thiết bị bán dẫn, thì bộ TPHBC-SR (Three port Half-Bridge Converter with Synchronous Regulation) có tính chất tương tự với bộ biến đổi nửa cầu (HBC - half-bridgeconverter) truyền thống. Nhưng điểm khác nhau cơ bản giữa chúng là cuộn cảm chính của biến áp L_m có thể hoạt động như một cuộn cảm riêng biệt trong mạch.

Dựa vào mối quan hệ giữa công suất vào p_m , công suất pin p_b , và công suất tải p_o

$$p_m = p_b + p_o \text{ công thức (4)}$$

Ta suy ra :

$$V_{in}I_{in} = V_b I_b + V_o I_o \text{ công thức (5)}$$

Dựa vào công thức (5) ta có:

$$I_{in} = D_1(I_{Lm} + nI_o) \text{ công thức (6)}$$

Trong đó I_{Lm} là dòng trung bình qua cuộn cảm của biến áp, D_1 là chu kỳ làm việc của van bán dẫn M1, suy ra:

$$I_{Lm} = \frac{I_{in}}{D_1} - nI_o \text{ công thức (7)}$$

Mặt khác, dòng điện của pin I_b bằng giá trị trung bình của dòng qua cuộn sơ cấp của máy biến áp:

$$I_b = D_1(I_{Lm} + nI_o) + D_2(I_{Lm} - nI_o) \text{ công thức (8)}$$

Từ đó suy ra dòng trung bình qua cuộn cảm biến áp I_{Lm} có thể viết dưới dạng:

$$I_{Lm} = \frac{I_b - (D_1 - D_2)nI_o}{D_1 + D_2} \text{ công thức (9)}$$

Từ các công thức trên ta nhận ra rằng, việc điều khiển công suất giữa pin trữ điện, tấm pin năng lượng mặt trời và LED hoàn toàn có thể thông qua việc điều khiển giá trị chu kỳ hoạt động (duty cycle) D_1 , D_2 của van bán dẫn S_1 và S_2 thông qua cấu trúc mạch điều khiển như trong hình 10.

Bộ nguồn 3 theo sáng chế được phát triển cho việc sử dụng nguồn năng lượng tái tạo - năng lượng mặt trời, có trữ lượng vô hạn, sạch và giàu tiềm năng khai thác kết hợp với pin trữ điện để cho ra tiềm năng khai thác tốt cụ thể là chiếu sáng cho đường phố/nhà xưởng.

Theo một phương án ưu tiên khác, các chế độ hoạt động chi tiết của bộ nguồn 3 như sau:

Chế độ 1a: DO, vào ban ngày, năng lượng từ pin mặt trời tạo ra lớn hơn năng lượng cần thiết cung cấp cho LED công suất, phần năng lượng dư thừa sẽ được nạp vào pin trữ điện theo chế độ ổn dòng hoặc ổn áp.

Chế độ 1b: DO-MPPT (Maximum power point tracking - bám điểm công suất cực đại). Đây cũng là chế độ DO, nhưng phần năng lượng dư thừa không đủ để ổn dòng hoặc ổn áp nạp cho pin, thuật toán điều khiển MPPT sẽ có tác dụng tìm kiếm điểm làm việc tối ưu, khai thác tối đa năng lượng pin quang điện nhận được.

Chế độ 2: DI, vào ban ngày, thuật toán MPPT hoạt động, năng lượng từ pin mặt trời tạo ra không đủ cung cấp cho LED công suất, phần năng lượng thiếu sẽ được lấy từ pin trữ điện, bổ sung cho LED để đảm bảo công suất đầu ra luôn được ổn định.

Chế độ 3: SISO, khi pin mặt trời không hoạt động, năng lượng tích trữ được trong pin nạp được dùng để nuôi LED công suất.

Theo hình 7, mạch lực của bộ nguồn có thể hoạt động tương tự như chức năng của 3 dạng bao gồm nửa cầu (halfbridge), hạ áp (buck) và forward-flyback. Điốt D1 là điốt chống dòng ngược làm hỏng pin mặt trời khi chúng không hoạt động, 2 van tranzito GaN FET M_3, M_4 tham gia vào mạch chỉnh lưu đồng bộ, 2 van GaN FET M_1, M_2 là 2 van chính cần điều khiển giúp ổn định các quá trình dòng và áp cho việc sạc pin, ổn định điện áp cũng như công suất ra tải và cuối cùng là triển khai thuật toán MPPT (Maximum power point tracking - bám điểm công suất cực đại). Biến áp phẳng (planar) được chọn có một đầu vào và 2 đầu ra giống nhau, tỉ số vòng dây là n . Cuộn dây sơ cấp của biến áp có số vòng dây nhỏ, điện cảm nhỏ nhưng chịu được dòng lớn, nó có tác dụng như cuộn cảm L cho mạch hạ áp (buck) khi hoạt động.

Quá trình chuyển mạch trong chế độ hoạt động DO, kể từ thời điểm van M_1 đóng đến thời điểm van M_1 mở được thể hiện qua Hình 12.

Van M_2 chỉ đạt ZVS (Zero Voltage Switching – Chuyển mạch ở điện áp bằng không) khi và chỉ khi năng lượng tích trữ trong điện cảm rò của máy biến áp đủ để xả tụ kí sinh trên M_2 và nạp tụ kí sinh trên M_1 :

$$\frac{1}{2} L_k (I_{Lm} + nI_{L0})^2 > C_{DS} V_b^2 \quad \text{Công thức (10)}$$

Điều kiện :

$$I_{Lm} + nI_{L0} > 0$$

$$\Rightarrow (I_{Lm} + nI_{L0}) > \sqrt{\frac{2C_{DS} V_b^2}{L_k}} \quad \text{Công thức (11)}$$

Hình 13 thể hiện đồ thị phân tích điểm đạt trạng thái đạt ZVS của M_2 . Van M_2 đạt ZVS khi và chỉ khi điện áp trên tụ kí sinh giảm từ V_b về 0, đặt $I_p = (I_{Lm} + nI_{L0}) = b$ và các giá trị dòng điện khác $a > b > c$ ta có đồ thị như trên hình 13:

Vậy, van M2 sẽ đạt ZVS khi thỏa mãn điều kiện thời gian chết/trễ (deadtime)

$$T_d \geq T_b \text{ và dòng điện } (I_{Lm} + nI_{L0}) > \sqrt{\frac{2C_{DS}V_b^2}{L_k}} \quad \text{Công thức (12)}$$

Khi đó, thời gian deadtime được lựa chọn :

$$t_b = \frac{1}{4}T_r = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_k \cdot \frac{C_{DS}}{2}} \quad \text{Công thức (13)}$$

Trong đó T_r là chu kì cộng hưởng giữa điện cảm rò và tụ kí sinh.

Trong chế độ DI, các quá trình diễn ra tương tự, thời gian deadtime được lựa chọn tương tự như ở chế độ DO. Trong một chu kì hoạt động, tổng thời gian mở của van M_1 và M_2 là luôn bé hơn một, với đặc điểm điện áp đầu vào pin mặt trời luôn lớn hơn pin trữ điện, điện áp trên van M_1 là V_{DS} luôn lớn hơn 0. Do đó, van M_1 không thể đạt ZVS trong chế độ hoạt động DI và DO. Như được thể hiện trên hình 14, Trong chế độ SISO, bộ nguồn hoạt động như một bộ forward-flyback, quá trình chuyển mạch diễn ra như sau:

Trong chế độ SISO, van M_1 làm việc như một diot chỉnh lưu tích cực, do đó nó đạt chuyển mạch ZVS một cách tự nhiên. Đối với van M_2 , mọi quá trình về năng lượng diễn ra như trong chế độ hoạt động DI và DO. Thời gian deadtime cần thiết được xác định theo công thức (13).

Những cải tiến của bộ nguồn 3 so với những sáng chế trước đó cũng như các sản phẩm hiện hành trên thị trường bao gồm:

- Sử dụng van bán dẫn GaN FET, không tổn năng lượng cho tổn hao hồi phục, giảm tổn hao dẫn, kích thước nhỏ đáng kể so với các van bán dẫn truyền thống, có thể đáp ứng được tần số chuyển mạch cao đến 100 MHz;
- Sử dụng biến áp phẳng (Plannar), kích thước nhỏ, mật độ công suất lớn, đáp ứng tần số chuyển mạch cao đến 250MHz;
- Thiết kế mạch điều khiển (driver) chuyên dụng cho van GaN, nguồn nuôi từ acqui, nhận tín hiệu điều khiển từ DSP (Digital Signal Processor – Bộ xử lý tín hiệu số), giảm nhiễu, đáp ứng tần số chuyển mạch cao trên 500KHz.
- Chuyển mạch mềm ZVS trên bộ các van M_2, M_3, M_4 toàn dải làm việc, M_1 ở một số chế độ bằng cách thêm vào giá trị thời gian chết (deadtime) phù hợp trong quá trình chuyển mạch của M_1 và M_2 . Việc điều chỉnh deadtime được thực hiện từ bộ điều khiển, điều này giúp mở rộng vùng làm việc ZVS, kết hợp với việc sử dụng cấu trúc đa cổng (multiport) đơn giản nhất phù hợp với mục đích áp dụng của giải

pháp là chiếu sáng sử dụng năng lượng thấp, điện áp thấp, ít tổn kém và tránh phức tạp, khó khăn trong việc nâng cao tần số vận hành nhằm nâng mật độ công suất, kết hợp với đặc tính nổi bật từ các phần tử (GaN, Planar transformer) để điều khiển nguồn hoạt động tại tần số cao;

- Đẩy tần số làm việc của mạch lên cao $\geq 500\text{KHz}$, từ đó giảm kích thước của phần tử thụ động (cuộn cảm, tụ lọc) tăng mật độ công suất chung của bộ nguồn.

Theo một phương án ưu tiên làm ví dụ của sáng chế, bộ nguồn 3 sử dụng năng lượng PV nuôi LED ứng dụng cho chiếu sáng đường phố/nhà xưởng, có cấu trúc TPHBC, công suất tối đa 250W, sử dụng pin trữ điện công nghệ lithium-ion 12V, pin mặt trời $P < 250\text{W}$, điện áp làm việc MPPT (Maximum power point tracking – Bám điểm công suất cực đại) từ 24V đến 35V, đèn LED công suất điện áp hoạt động 30V đến 32V, công suất danh định $\leq 40\text{W}$.

Theo một phương án ưu tiên làm ví dụ của sáng chế, về phương pháp thiết kế mạch điều khiển cho linh kiện GaN FET của bộ chuyển đổi, điểm mấu chốt của mạch điện tần số cao là bị ảnh hưởng nặng nề bởi nhiễu điện từ sinh ra trong quá trình đóng cắt của van bán dẫn, và các ảnh hưởng bởi các yếu tố vật lý về điện từ trường. Phương pháp thiết kế giảm nhiễu ở tần số cao được áp dụng khi thiết kế driver. Kết hợp với việc sử dụng IC cách ly chuyên dụng có băng thông cực cao lên đến 150Mhz, nguồn điện ổn định được cấp từ pin trữ điện, đảm bảo tín hiệu điều khiển tần số cao từ các điều khiển không bị ảnh hưởng.

Ngoài ra, các bộ điều khiển ổn áp (BVR) và ổn dòng (BCR) cho pin được thiết kế phù hợp với đặc tính của pin lithium-ion theo phương pháp mô hình tín hiệu nhỏ. Thuật toán MPPT được thực hiện theo phương pháp điện dẫn gia tăng INC, cho thời gian phản ứng nhanh và chính xác. Các bộ điều khiển cho vòng điều khiển điện áp ra OVR được thiết kế dựa trên mối quan hệ giữa các đại lượng ở thời điểm xác lập, với các hằng số thời gian được lựa chọn phù hợp.

Một thuật toán MIN kết hợp giá trị đầu ra của các bộ điều khiển được thiết kế để tín hiệu đưa vào các van bán dẫn M_1 và M_2 phù hợp với chế độ vận hành hiện tại. Các bộ điều khiển IVR, BVR, BCR sẽ chịu trách nhiệm điều khiển van M_1 , bộ OVR sẽ điều khiển van bán dẫn M_2 .

Giá trị deadtime phù hợp sẽ được thêm vào giữa thời điểm chuyển mạch của van M_1 và M_2 . Đảm bảo chúng luôn đạt ZVS trong khi van bán dẫn làm nhiệm vụ chỉnh lưu đồng bộ M_3 , M_4 luôn luôn đạt được chuyển mạch mềm ZVS một cách tự nhiên.

Hiệu quả kỹ thuật của sáng chế

Đặc điểm quan trọng của sáng chế là kết hợp giữa thiết kế, tối ưu hóa việc tích hợp các linh kiện bán dẫn thế hệ mới, và biến áp tần số cao cho bộ nguồn có mật độ công suất cao, hiệu suất chuyển đổi cao và có độ tin cậy đáp ứng được yêu cầu sử dụng nguồn năng lượng tái tạo và tiết kiệm năng lượng.

Việc thiết kế mạch điều khiển cực công (Gate driver) cho van bán dẫn GaN hoạt động ở tần số 500Khz, cũng như sử dụng biến áp phẳng giúp cho mật độ công suất của bộ biến đổi tăng lên đáng kể so với những bộ biến đổi sử dụng van bán dẫn silic thông thường hoạt động ở tần số thấp. Mặt khác, việc tính toán bộ điều khiển cho cấu trúc mới này cũng giúp cho việc điều khiển hệ thống đèn LED sử dụng năng lượng mặt trời trở nên đơn giản, thân thiện so với những thiết kế cũ.

Thực tế, kích thước của bộ nguồn công kênh phần lớn là do vấn đề tỏa nhiệt, các linh kiện công suất tỏa nhiệt rất lớn khi hoạt động nên cần phải có tấm tản nhiệt, thiết kế thông thoáng và thậm chí là cần tản nhiệt chủ động với quạt làm mát. Trong đó, tổn hao dẫn và tổn hao đóng cắt là hai loại tổn hao lớn nhất gây nên vấn đề tỏa nhiệt cũng như hao hụt hiệu suất của bộ nguồn.

Ở cùng một điện áp hoạt động và dòng điện cho phép, công nghệ GaN FET cho phép thiết kế giảm giá trị điện trở hoạt động trong mạch xuống vài lần, từ đó giảm tổn hao một cách đáng kể. Tiếp theo đó, điện dung ký sinh trên các điện cực của GaN FET rất nhỏ so với linh kiện Si, nên với cùng tốc độ tăng điện áp, do độ linh động của hạt dẫn cao, nên thời gian trễ của GaN FET rất nhỏ, giảm tổn hao khi đóng cắt trong quá trình chuyển mạch.

Yêu cầu bảo hộ

1. Bộ nguồn hiệu suất cao sử dụng tranzito hiệu ứng trường GaN (GaN FET (Field Effect Transistor)) ứng dụng để cấp điện cho hệ thống đèn LED chiếu sáng công cộng/nhà xưởng tích hợp pin quang điện mặt trời và pin trữ điện (pin ạp), trong đó bộ nguồn này bao gồm:

mạch lực có cấu trúc chuyển đổi dạng nửa cầu ba cổng (Three port half bridge converter - HB-TPC), mạch lực của bộ nguồn là sự tổ hợp của các mạch cơ bản có chức năng của một mạch nửa cầu (HB - Half bridge), mạch hạ áp (buck) và mạch forward-flyback;

trong đó bộ nguồn gồm ba cổng:

ít nhất một cổng đầu vào nối trực tiếp với phân tử quang điện (PV);

ít nhất một cổng nối đầu vào/đầu ra với pin trữ điện (battery);

một cổng đầu ra nối với tải là các đèn LED, và

trong đó mạch điện chính kết nối giữa ít nhất một đầu vào trực tiếp và ít nhất một pin trữ điện, mạch sơ cấp được thiết kế hoạt động như một bộ chuyển đổi buck;

ngoài ra, bộ nguồn sử dụng biến áp phẳng (planar transformer) tần số cao, biến áp sử dụng một lõi sắt từ chung cho cuộn cảm trong mạch sơ cấp và mạch thứ cấp, mạch điện thứ cấp kết nối giữa ít nhất một pin trữ điện và ít nhất một tải (LED);

mạch điều khiển của cực cổng (Gate driver) của các linh kiện GaN FET cho bộ nguồn để bộ nguồn có thể hoạt động với tần số cao ($\leq 500\text{KHz}$), trong đó, ở mỗi nhánh của GaN FET, các mạch điều khiển (driver) được thiết kế riêng biệt, sử dụng các IC cách ly tần số cực cao, nguồn cấp được lấy từ pin trữ điện ổn định.

2. Bộ nguồn theo điểm 1, trong đó bộ nguồn này có ba chế độ vận hành chính bao gồm:

chế độ một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output): khi bức xạ mặt trời mạnh, năng lượng từ môđun quang điện PV tạo ra dư thừa so với nhu cầu sử dụng của tải LED, năng lượng được chuyển đến bộ đèn LED qua bộ nguồn dạng nửa cầu (half bridge), phần năng lượng dư thừa sẽ được đẩy vào pin và lưu trữ lại để dùng khi bức xạ yếu, trong quá trình sạc pin trữ điện, mạch lực hoạt động như một bộ hạ áp (buck) để hạ điện áp từ môđun quang điện xuống và nạp cho pin trữ điện/pin ạp;

chế độ hai đầu vào và một đầu ra (DI – Dual Input): khi bức xạ mặt trời yếu, hoặc LED sử dụng ở trạng thái có cường độ cao nhất, tiêu thụ công suất lớn, khi đó năng lượng từ môđun quang điện không đủ để cung cấp cho tải LED, bộ điều khiển sẽ điều khiển kết hợp giữa năng lượng thu được từ pin quang điện và năng lượng từ pin trữ điện để đảm bảo công suất đầu ra luôn được ổn định;

chế độ một đầu vào một đầu ra (SISO – Single Input Single Output): nguồn hoạt động như một nguồn dạng Forward- Flyback, lúc này cổng vào pin quang điện (PV) tắt, năng lượng tích trữ trong pin nạp sẽ được cấp cho tải đèn là bộ đèn LED, công suất và điện áp được điều khiển qua van M_1 và M_2 ;

và trong đó, biến áp được lựa chọn sao cho có tỉ số vòng dây phù hợp để điện áp đầu vào được cung cấp từ môđun quang điện sẽ lớn hơn điện áp đầu ra từ pin trữ điện.

3. Bộ nguồn theo điểm 1, trong đó bộ nguồn này có các chế độ vận hành chính bao gồm:

chế độ (1a) một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output): chế độ một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output): khi bức xạ mặt trời mạnh, năng lượng từ môđun quang điện PV tạo ra dư thừa so với nhu cầu sử dụng của tải LED, năng lượng được chuyển đến bộ đèn LED qua bộ nguồn dạng nửa cầu (half bridge), phần năng lượng dư thừa sẽ được đẩy vào pin và lưu trữ lại để dùng khi bức xạ yếu, trong quá trình sạc pin trữ điện, mạch lực hoạt động như một bộ hạ áp (buck) để hạ điện áp từ môđun quang điện xuống và nạp cho pin trữ điện/pin nạp theo chế độ ổn dòng hoặc ổn áp;

chế độ (1b) một đầu vào hai đầu ra (DO – Dual Output) -MPPT (Maximum power point tracking - bám điểm công suất cực đại), là chế độ DO, nhưng phần năng lượng dư thừa không đủ để ổn dòng hoặc ổn áp nạp cho pin, thuật toán điều khiển MPPT thực hiện tìm kiếm điểm làm việc tối ưu, khai thác tối đa năng lượng pin quang điện nhận được;

chế độ (2) hai đầu vào và một đầu ra (DI – Dual Input): khi bức xạ mặt trời yếu, hoặc LED sử dụng ở trạng thái có cường độ cao nhất, tiêu thụ công suất lớn, khi đó năng lượng từ môđun quang điện không đủ để cung cấp cho tải LED, bộ điều khiển sẽ điều khiển kết hợp giữa năng lượng thu được từ pin quang điện và năng lượng từ pin trữ điện để đảm bảo công suất đầu ra luôn được ổn định;

chế độ một đầu vào một đầu ra (SISO – Single Input Single Output): nguồn hoạt động như một nguồn dạng Forward- Flyback, lúc này cổng vào pin quang điện (PV) tắt, năng lượng tích trữ trong pin nạp sẽ được cấp cho tải đèn là bộ đèn LED, công suất và điện áp được điều khiển qua van M_1 và M_2 ;

và trong đó, biến áp được lựa chọn sao cho có tỉ số vòng dây phù hợp để điện áp đầu vào được cung cấp từ môđun quang điện sẽ lớn hơn điện áp đầu ra từ pin trữ điện.

4. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 2 đến 3, trong đó giá trị thời gian chết (deadtime) phù hợp được thêm vào giữa thời điểm chuyển mạch của van M_1 và M_2 để đảm bảo các van này luôn đạt trạng thái chuyển mạch ở điện áp bằng không (ZVS) trong khi van bán dẫn làm nhiệm vụ chỉnh lưu đồng bộ M_3 , M_4 luôn luôn đạt được chuyển mạch mềm ZVS.

5. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó bộ nguồn này sử dụng biến áp phẳng (Planar transformer) sử dụng lớp điện môi cách điện loại tốt có điện trở cao để giảm thiểu ảnh hưởng của hiệu ứng bề mặt khi mạch hoạt động ở tần số cao.

6. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 1 đến 5, trong đó bộ nguồn này được thiết kế có các phần tử hoạt động ở tần số cao ($>100\text{KHz}$), tổn hao thấp để giảm kích thước của các thành phần tụ và từ tính.

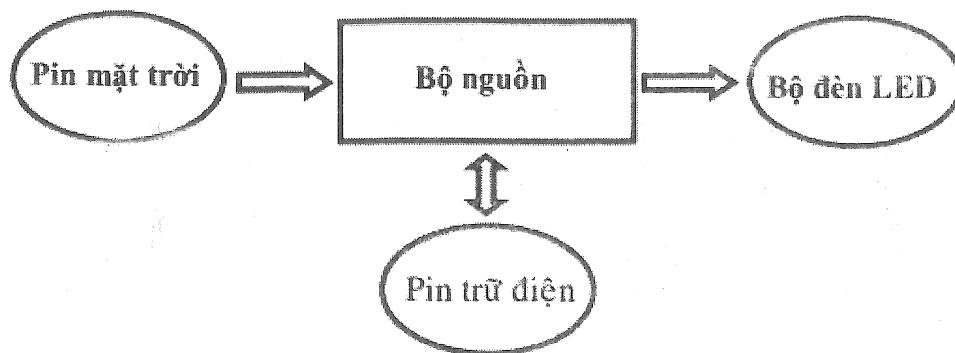
7. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 1 đến 5, trong đó trong mạch điều khiển của cực cổng (gate driver), việc điều khiển công suất giữa pin trữ điện, tấm pin năng lượng mặt trời và LED hoàn toàn có thể thông qua việc điều khiển giá trị chu kỳ làm việc (duty cycle) D1, D2 của các van bán dẫn (S_1 và S_2).

8. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 1 đến 7, trong đó phần tử từ tính thứ nhất và/hoặc thứ hai (mạch sơ cấp và/hoặc mạch thứ cấp) có các thông số thiết kế như sau: sử dụng vật liệu Cu; chiều rộng màng mỏng Cu từ 0,25mm đến 2 mm; khoảng cách giữa các vòng dây từ 0,25mm đến 1 mm, đường kính ngoài ≤ 30 mm; bề dày lớp Cu 35 μm ; hệ số tự cảm $L = 1 \div 5$ (μH); điện trở $R_s < 1\text{m}\Omega$; tụ ký sinh $C_p < 50$ pF; tần số cộng hưởng $f_r > 50$ MHz; bề dày lớp điện môi cách điện giữa các màng kim loại (nối với cổng P2) > 100 μm .

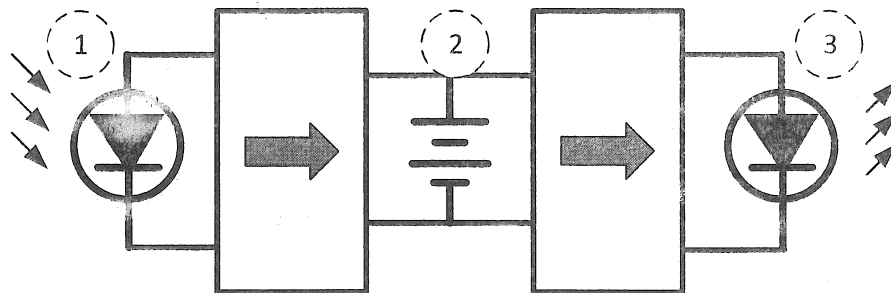
9. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 1 đến 8, trong đó bộ nguồn sử dụng năng lượng PV nuôi LED ứng dụng cho chiếu sáng đường phố/nhà xưởng, có cấu trúc bộ chuyển đổi nửa cầu ba cổng (TPHBC), công suất tối đa 250W, sử dụng pin trữ điện công nghệ lithium-ion 12V, pin mặt trời $P < 250\text{W}$, điện áp làm việc MPPT (Maximum power point tracking – Bám điểm công suất cực đại) từ 24V đến 35V, đèn LED công suất điện áp hoạt động 30V đến 32V, công suất danh định $\leq 40\text{W}$.

10. Bộ nguồn theo một trong số các điểm từ 2 đến 8, trong đó một thuật toán MIN kết hợp giá trị đầu ra của các bộ điều khiển được thiết kế để tín hiệu đưa vào các van bán dẫn M_1

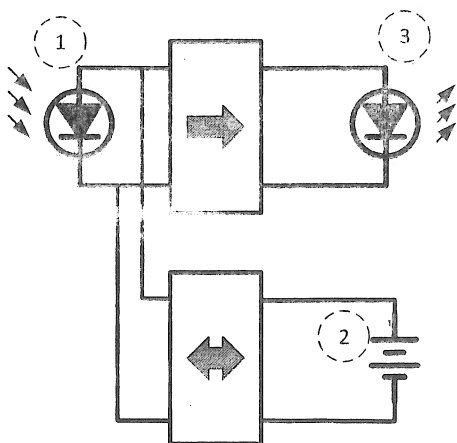
và M_2 phù hợp với chế độ vận hành hiện tại, các bộ điều khiển IVR, BVR, BCR sẽ chịu trách nhiệm điều khiển van M_1 , bộ OVR sẽ điều khiển van bán dẫn M_2 .



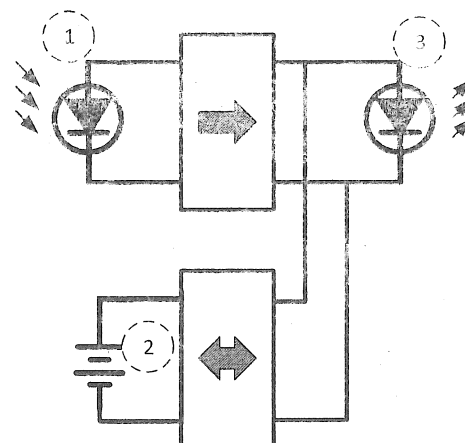
Hình 1



a

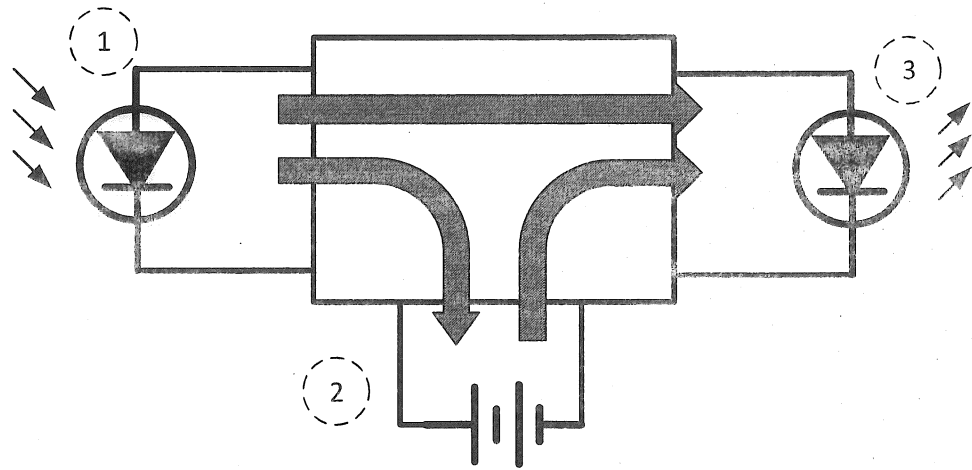


b

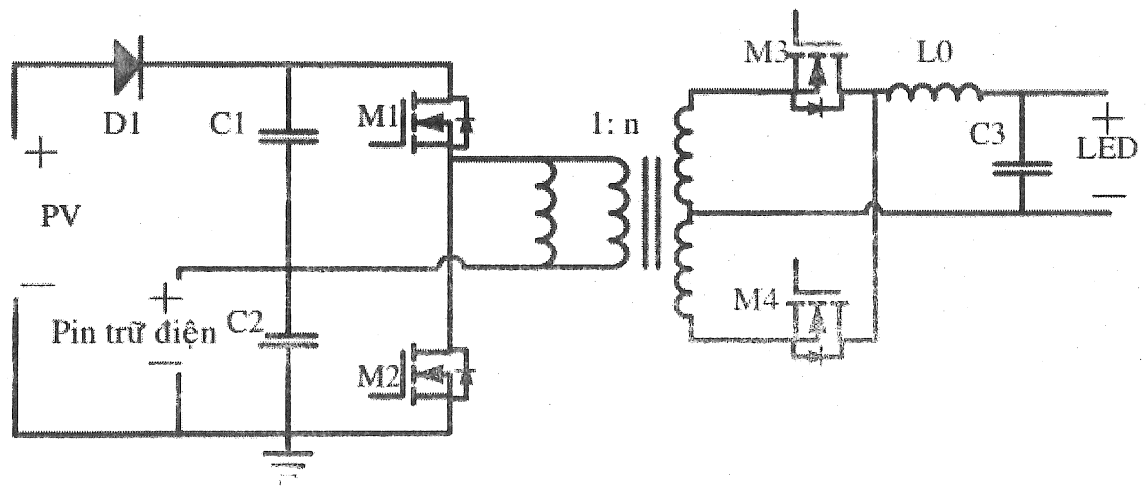


c

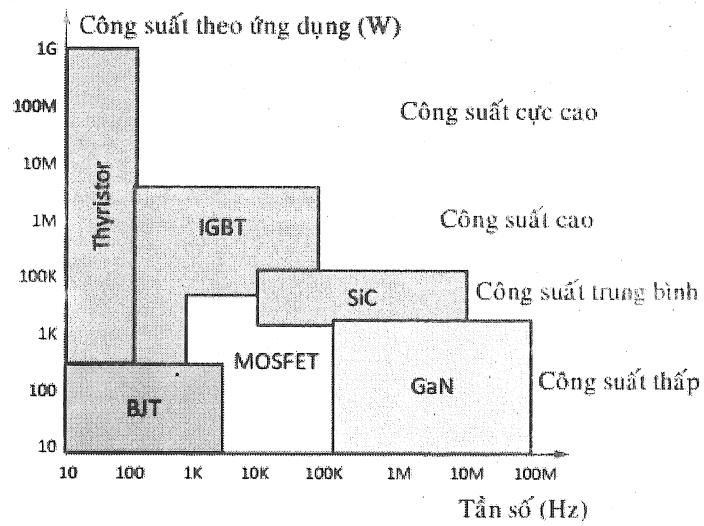
Hình 2



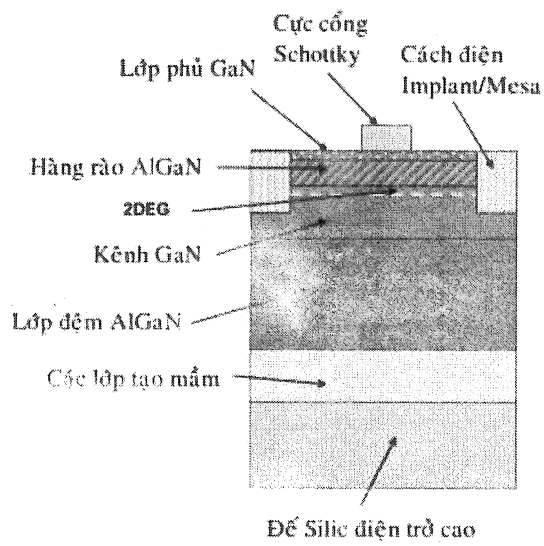
Hình 3



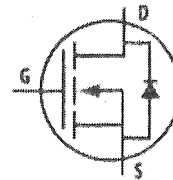
Hình 4



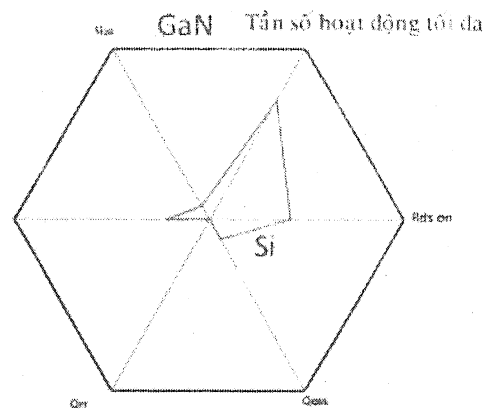
Hình 5



(a)

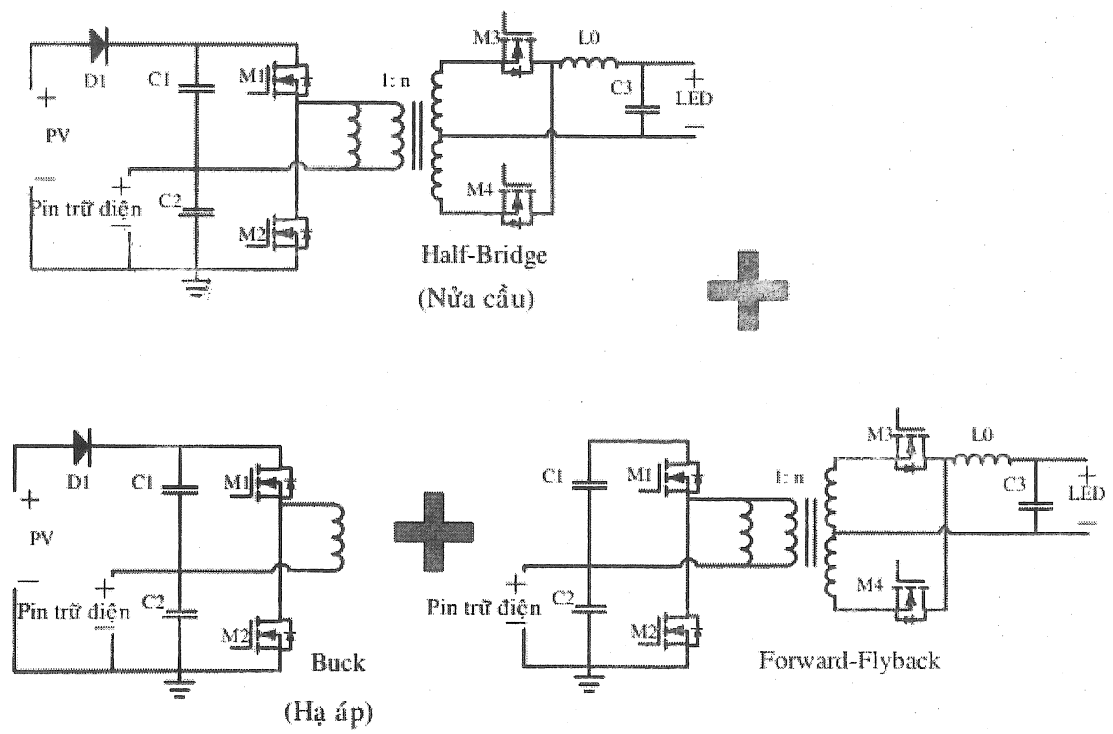


(b)

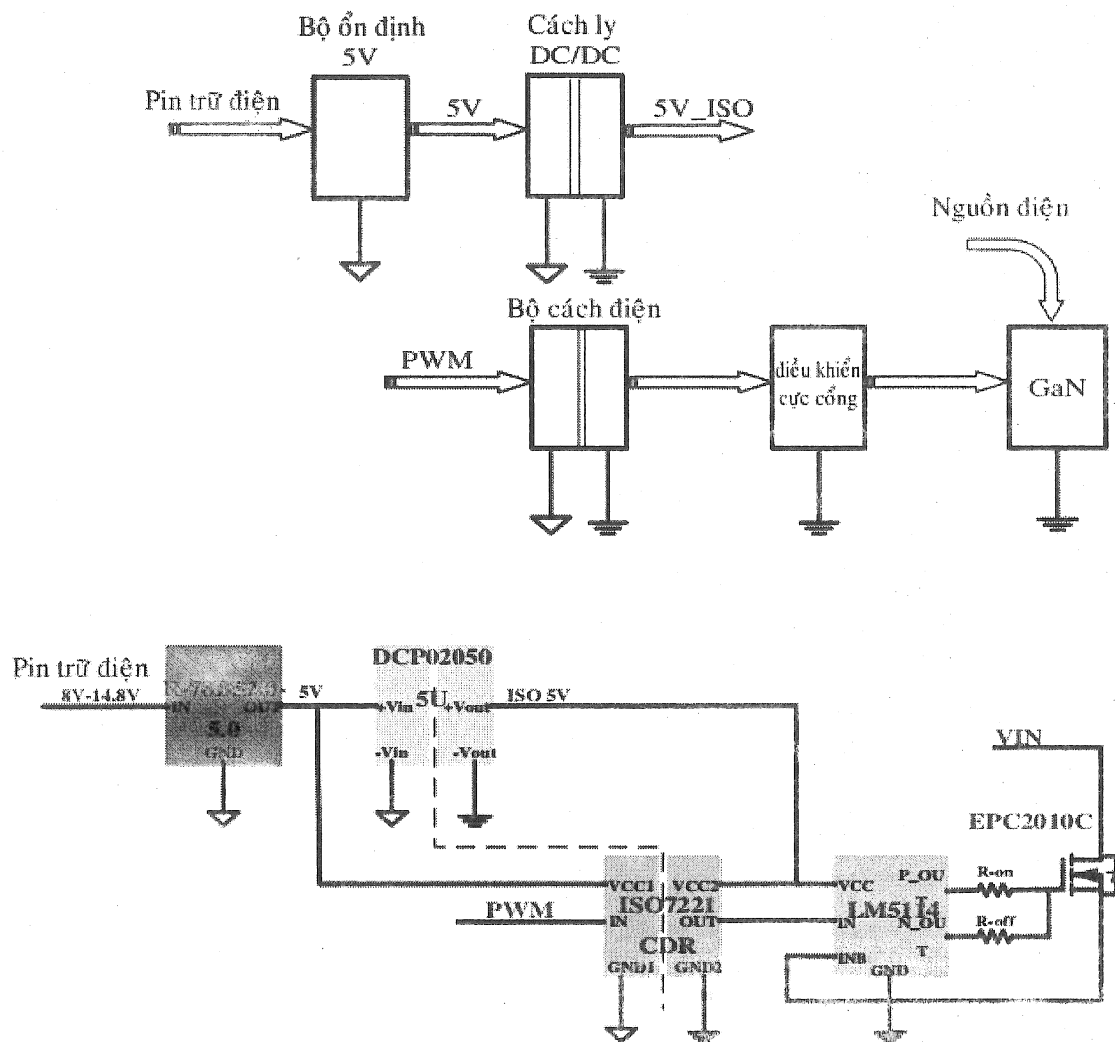


(c)

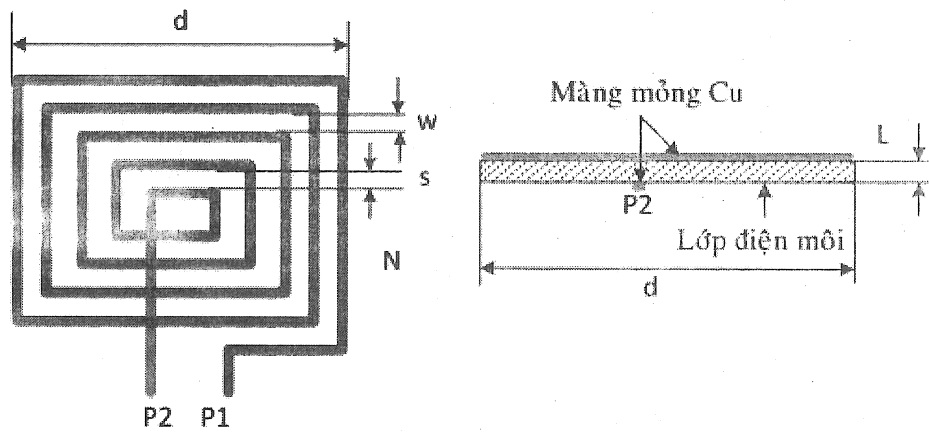
Hình 6



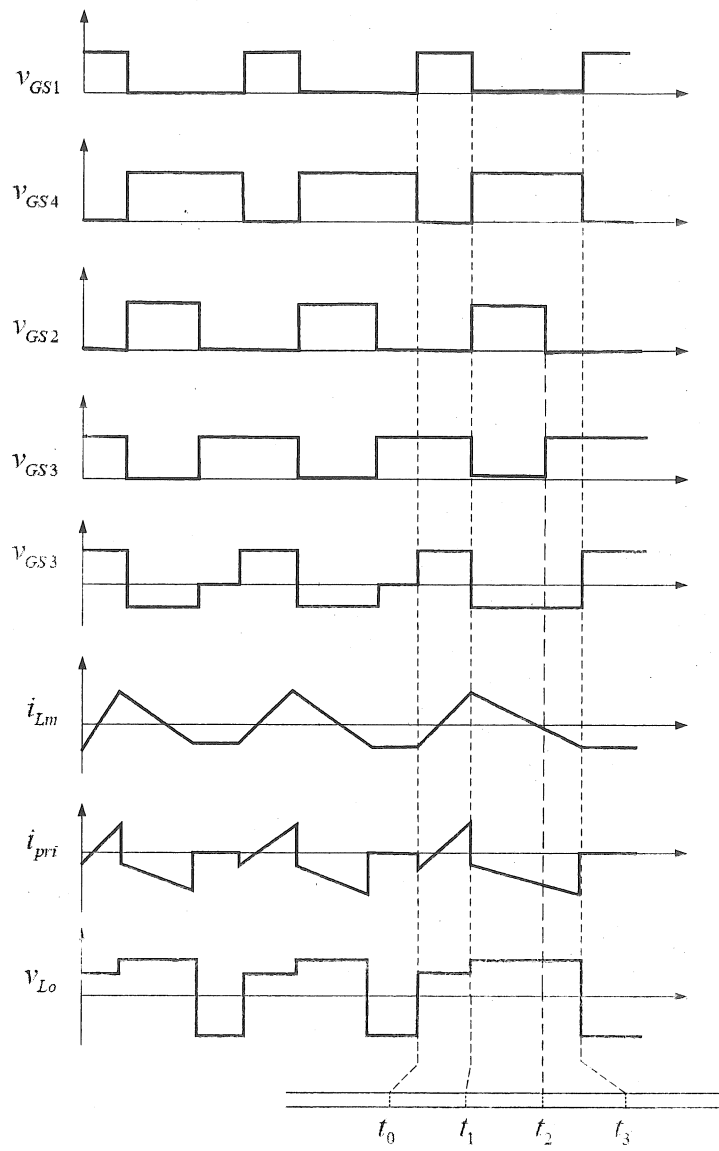
Hình 7



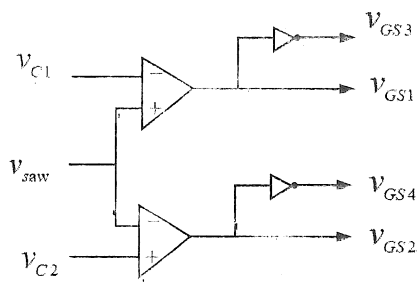
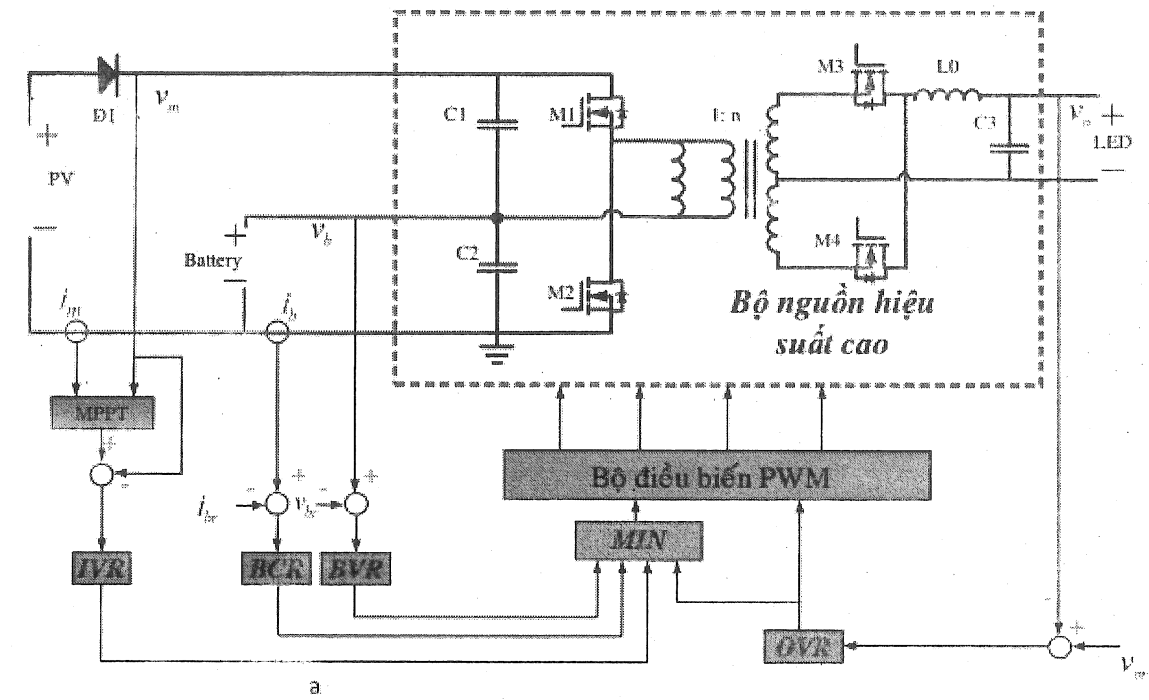
Hình 8



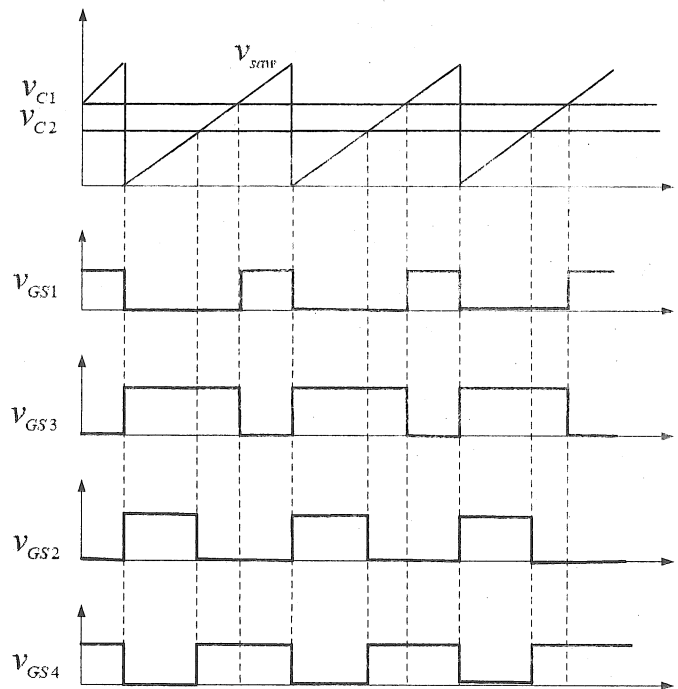
Hình 9



Hình 10

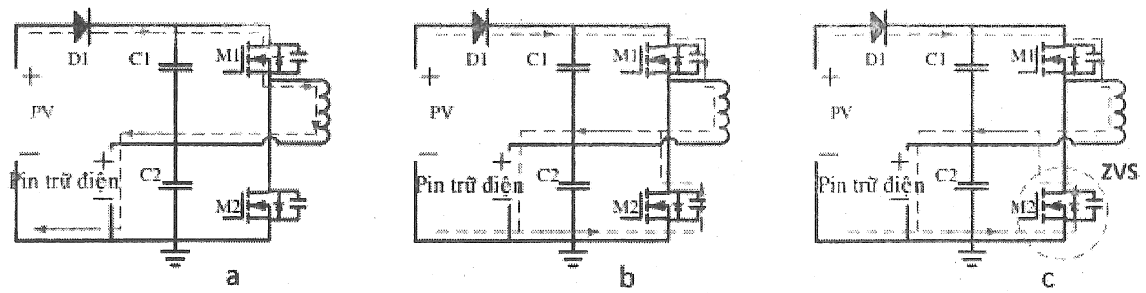


b

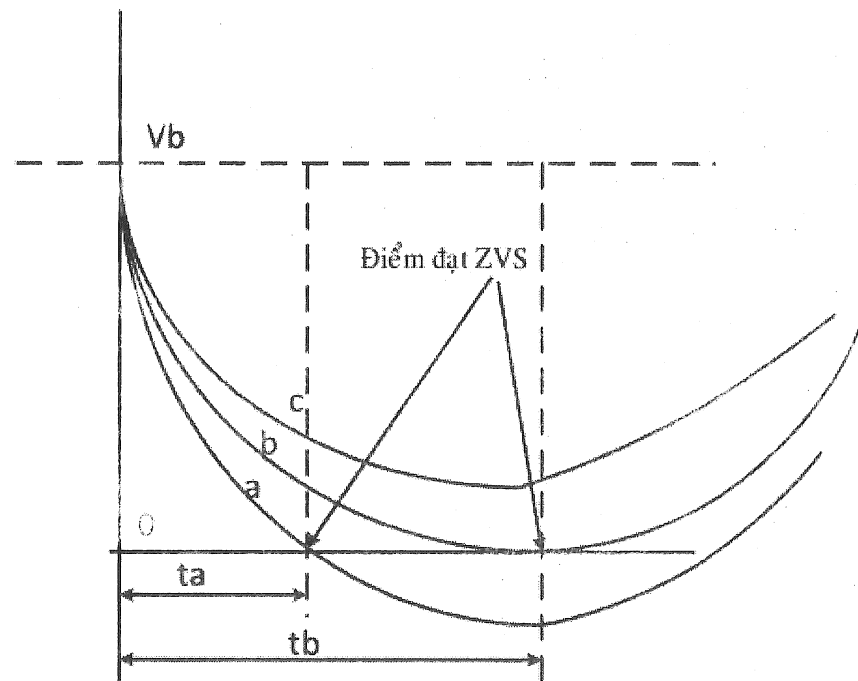


c

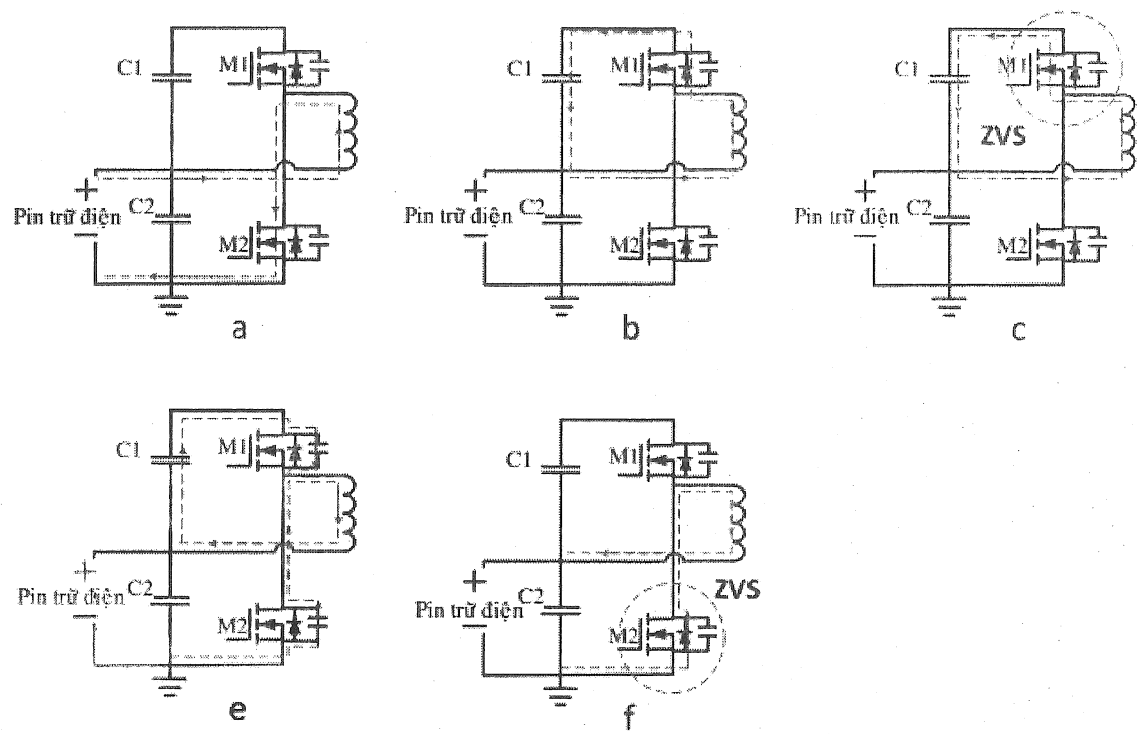
Hình 11



Hình 12



Hình 13



Hình 14