

THIẾT KẾ BỘ CÂN BẰNG PHA TỰ ĐỘNG CHO LƯỚI PHÂN PHỐI HẠ ÁP

DESIGN THE AUTOMATIC PHASE BALANCING EQUIPMENT FOR LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK

Trần Tùng Giang, Lê Trọng Nghĩa,
Trương Ngọc Anh, Trương Thị Bích Nga, Bùi Thị Tuyết Đan
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Ngày tòa soạn nhận bài 5/7/2016, ngày phản biện đánh giá 01/8/2016, ngày chấp nhận đăng 05/9/2016

TÓM TẮT

Cân bằng pha là một trong những vấn đề được chú trọng trong công tác thiết kế và vận hành lưới điện phân phối hạ thế. Nếu việc mất cân bằng pha quá lớn có thể gây ra quá tải, tổn thất điện năng, và thậm chí hư hỏng máy biến áp và thiết bị. Bài báo này trình bày phương pháp thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới điện hạ áp góp phần làm giảm sự mất cân bằng dòng điện giữa các pha và không gây mất điện trên tải trong quá trình tự động chuyển pha của tải. Phương pháp đề xuất xử lý tín hiệu dòng điện do được từ các biến dòng mạch chính để điều khiển đóng ngắt các thiết bị điện tử công suất chuyển pha kết hợp với các thiết bị đóng cắt hạ thế nhằm tạo sự cân bằng pha trên lưới điện phân phối, có khả năng vận hành tải liên tục và ổn định. Kết quả kiểm tra thực nghiệm cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất có khả năng ứng dụng trong thực tiễn như lắp đặt tại các xưởng sản xuất, hộ gia đình.

Từ khóa: cân bằng pha; mất cân bằng pha; chuyển pha; lưới điện phân phối.

ABSTRACT

Phase balancing is one of the issues to be considered in the design and operation of low-voltage electricity distribution networks. If the phase imbalance is too large, it will cause the overload, power loss, and even damage transformers and equipment. This paper presents the design method for automatic phase balance equipment for low voltage distribution network in order to reduce the current imbalance between phases. In this case study, the process of automatic phase conversion will not cause blackouts on load. The proposed method deals with the current signals from the transformer to control switching of power electronic equipments for the phase transition. In combination with low-voltage switchgear in order to create phase balance in the networks continuously and stably. Experimental test results showed the effectiveness of the proposed method. It is applicable for installation at the factory or household.

Keywords: Phase balancing; phase imbalance; phase transition; low-voltage distribution network.

1. GIỚI THIỆU

Cùng với sự phát triển của nền kinh tế, xã hội, nhu cầu sử dụng điện của mỗi gia đình ngày càng tăng và phần lớn là tải 1 pha, việc gia tăng nhanh chóng của tải 1 pha và sự

phân pha không đồng đều đã gây ra sự mất cân bằng pha. Việc mất cân bằng pha sẽ làm phát nóng, hư hại cách điện tại dây dẫn trên pha quá tải; xuất hiện dòng điện trên dây

trung tính, gây ra tổn thất điện năng trên máy biến áp và đường dây, làm giảm chất lượng điện năng và tăng chi phí hoạt động trong quá trình phân phối điện năng.

Theo thông tư 39 của Bộ công thương về việc cân bằng pha lưới điện phân phối [1]: Trong chế độ làm việc bình thường, thành phần thứ tự nghịch của điện áp pha không vượt quá 3% điện áp danh định đối với cấp điện áp 110kV hoặc 5% điện áp danh định đối với cấp điện áp trung áp và hạ áp. Mất cân bằng điện áp là sự khác nhau về độ lớn điện áp pha (dây), điện áp các pha không lệch nhau 120 độ hoặc cả 2 lí do trên. Mất cân bằng dòng điện tương tự như mất cân bằng điện áp, giá trị dòng điện các pha lệch nhau không quá 15%.

Có nhiều nguyên nhân gây mất cân bằng pha, trong đó có các nguyên nhân chủ yếu: thành phần 1 pha trên lưới 3 pha, phân bố phụ tải trên các pha không đều, mất cân bằng pha trong mỗi tải. Có nhiều công trình trên thế giới nghiên cứu về việc cân bằng pha cho lưới hạ áp và giải pháp để giảm thiệt hại do mất cân bằng pha gây ra [2-5]. Các nghiên cứu này chủ yếu nghiên cứu việc tái cấu trúc lưới để cân bằng pha, giảm tổn thất, hoặc sử dụng hệ thống thông tin tiêu thụ điện từ khách hàng để tính toán dòng điện và sau đó chọn thứ tự pha để cân bằng tải. Tuy nhiên các nghiên cứu chưa đề cập đến vấn đề giải nhiệt và ảnh hưởng sóng hài khi sử dụng thiết bị điện tử công suất lâu dài, hoặc sử dụng quá nhiều các bộ chuyển đổi.

Ở Việt Nam hiện nay, để hạn chế việc mất cân bằng pha, các công ty điện lực thường sử dụng biện pháp phân bố phụ tải trên các pha đều nhau trong quá trình thiết kế, hoặc hoán vị thường xuyên phụ tải trong phân phối để giảm thiểu sự khác biệt trong hệ thống mỗi pha. Tuy nhiên, giải pháp này gây ra những hạn chế như sau: mặc dù trong thiết

kế, việc phân bố dòng tải trên các pha là đều nhau, nhưng thực tế vận hành giá trị các phụ tải khác nhau sẽ tiếp tục gây mất cân bằng pha theo thời gian; việc hoán vị phụ tải trên các pha khác nhau sẽ gây mất điện cho phụ tải, gây ra những bất tiện cho khách hàng. Thực tế đã ứng dụng mô hình “Thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp” trên lưới điện Chợ Lách, Bến Tre, dựa trên các đề tài “Thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp” của Nguyễn Ngọc Cẩn - Nguyễn Hoài Thương [6] và “Thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp có dòng tải lớn” của Nguyễn Văn Thọ - Thị Thanh Tuyền [7], cho thấy bộ cân bằng pha tự động có hạn chế là: chỉ chuyển tốt đối với tải thuần trở, đối với tải cảm thì vẫn còn hiện tượng sớm pha hoặc trễ pha dòng điện trong quá trình chuyển pha làm thiết bị hoạt động không ổn định. Bài báo này trình bày việc thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp có xem xét đến giải pháp hạn chế hiện tượng trễ/sớm pha sử dụng giải thuật dò tìm điểm zero khi chuyển pha đối với tải cảm, đề xuất giải pháp điều khiển hoạt động đóng ngắt chuyển tải trên các pha mà không gây mất điện trên tải, nhằm tạo sự cân bằng pha trên lưới điện, có khả năng vận hành tải liên tục, ổn định và nâng cao chất lượng vận hành phù hợp với điều kiện thực tế của Việt Nam. Ngoài ra, bài báo còn đề xuất giải pháp sử dụng thiết bị đóng cắt dài hạn kết hợp với sử dụng linh kiện điện tử công suất ngắn hạn để hạn chế triệt để việc phát nóng và khử sóng hài do sử dụng linh kiện điện tử công suất gây ra. Kết quả thực nghiệm cho thấy hiệu quả của giải pháp đề xuất.

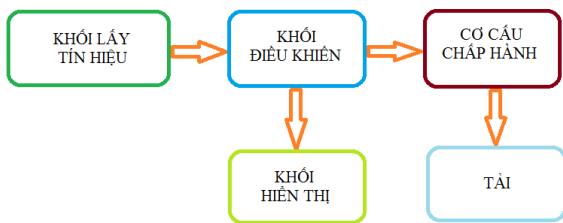
2. THIẾT KẾ BỘ CÂN BẰNG PHA TỰ ĐỘNG

2.1 Yêu cầu thiết kế

Bộ cân bằng pha tự động được thiết kế với các yêu cầu sau:

- Điện áp định mức của tải 230VAC
- Dòng điện lớn nhất trên dây pha: phụ thuộc vào tỉ số của máy biến dòng (50/5, 100/5, 200/5,...).
- Khả năng mang tải: phụ thuộc vào dòng định mức của SCR và Contactor.
- Tự động chuyển tải qua lại giữa các pha mà không làm mất điện hay gây sự cố ngắt mạch.

Dựa vào yêu cầu thiết kế, bộ cân bằng pha tự động được xây dựng trên 5 khối cơ bản: khối lấy tín hiệu (biến dòng); khối điều khiển; cơ cấu chấp hành (SCR-Contactor); khối hiển thị; tải. Sơ đồ khối của hệ thống như Hình 1.



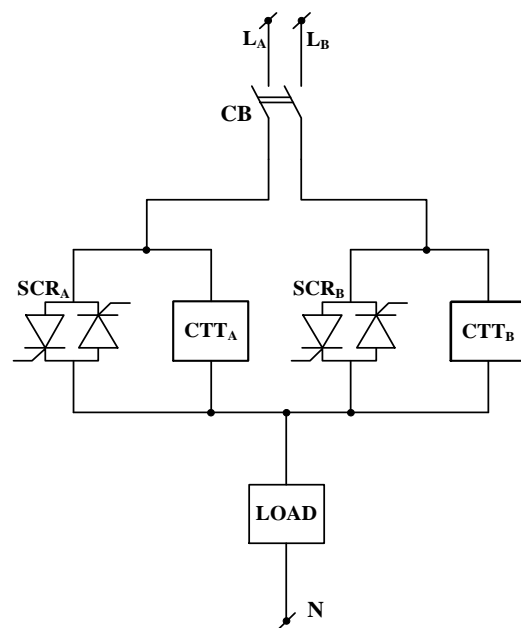
Hình 1. Sơ đồ khối của hệ thống cân pha

Ở đây: khối lấy tín hiệu sử dụng các biến áp 220V/12V (1A) và cảm biến dòng ACS712 để đo dòng và là tín hiệu ngõ vào khối điều khiển so sách lệch pha; khối điều khiển sử dụng board Arduino để xử lý tín hiệu lấy từ cảm biến ACS712, bộ xử lý sóng sin và đưa ra tín hiệu điều khiển cho cơ cấu chấp hành (SCR-Contactor); khối hiển thị sử dụng màn hình LCD hiển thị dòng điện trên các pha và giá trị lệch pha cho phép để tiện theo dõi và cài đặt giá trị độ lệch cho phép.

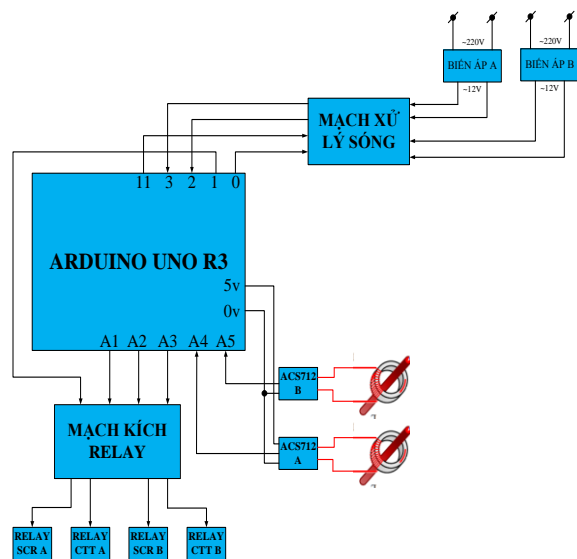
2.2 Thiết kế mạch động lực và mạch điều khiển

Mạch động lực là mạch chịu trách nhiệm mang tải trong thời gian dài, và mang tải trong quá trình chuyển pha. Do đó, khi thiết kế sử dụng: **SCR** để mang tải trong quá trình chuyển mạch, do quá trình chuyển

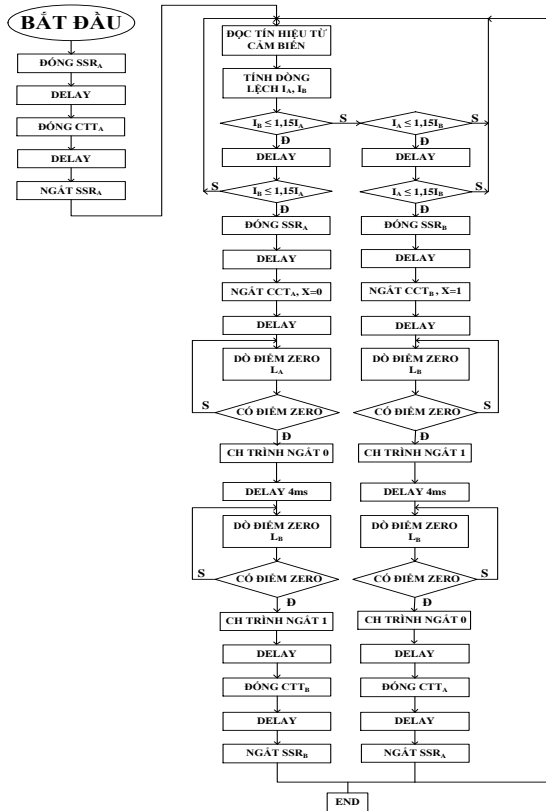
mạch nhanh coi như tức thời không gây mất điện và không ảnh hưởng nhiều tới quá trình hoạt động của thiết bị; **Contactor** chịu trách nhiệm mang tải trong thời gian dài và hạn chế sóng hài trên lưới khi sử dụng SCR lâu dài, do quá trình chuyển mạch của contactor chậm nên chỉ dùng để mang tải sau khi SCR chuyển mạch xong; **CB** với chức năng chính là bảo vệ ngắn mạch, cách ly mạch điều khiển và mạch động lực. Sơ đồ kết nối mạch động lực và mạch điều khiển trình bày ở Hình 2 và Hình 3:



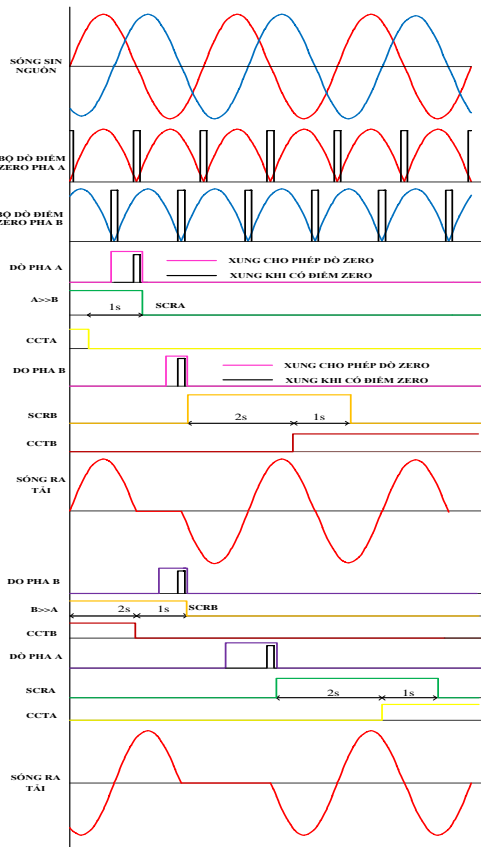
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch động lực



Hình 3. Sơ đồ kết nối mạch điều khiển



Hình 4. Lưu đồ giải thuật điều khiển mạch cân bằng pha tự động

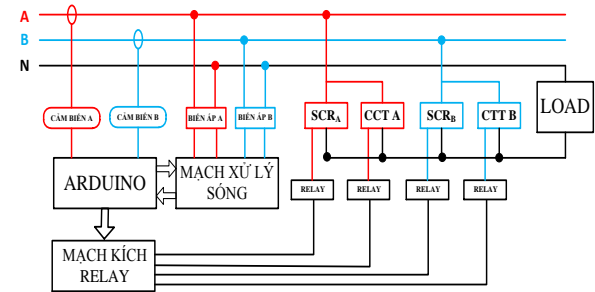


Hình 5. Giản đồ thời gian đóng ngắt thiết bị

Các ngõ ra của biến dòng sẽ được mắc nối tiếp với cảm biến ACS712 có tín hiệu ngõ ra điện áp tỉ lệ tuyến tính với dòng điện qua cảm biến. Các đầu ra điện áp của cảm biến được đọc bởi bộ ADC của vi điều khiển và tính giá trị chênh lệch ΔI giữa các dòng tải trên các pha. Giá trị chênh lệch giữa các dòng tải ΔI sẽ được so sánh với ngưỡng để quyết định đưa ra tín hiệu điều khiển đóng ngắt SCR và Contactor. Việc lấy tín hiệu dạng sóng trên pha A và pha B giúp đóng ngắt chính xác tại điểm zero của mỗi pha. Lưu đồ giải thuật điều khiển và giản đồ thời gian trình tự đóng ngắt các thiết bị ở mạch động lực qua relay trung gian, tương ứng các khoảng thời gian chuyển mạch trình bày ở Hình 4 và Hình 5.

3. THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH

Bộ cân bằng pha tự động sau khi thiết kế được thử nghiệm trên lưới 1 pha 3 dây có sơ đồ kết nối trình bày ở Hình 6.



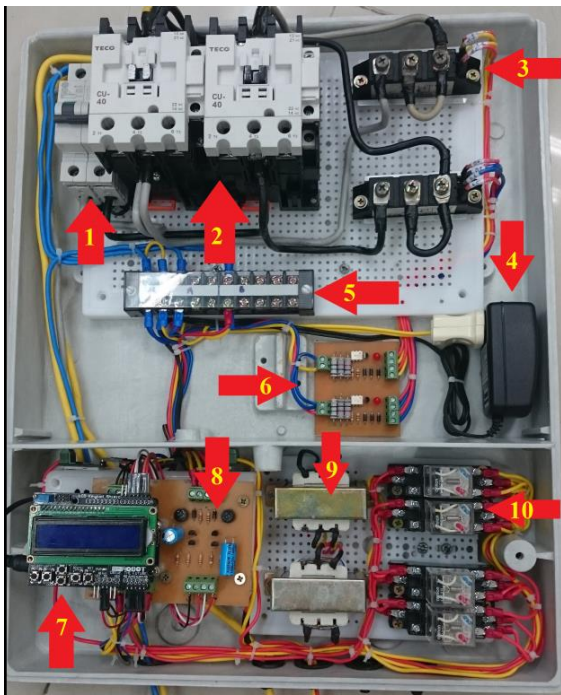
Hình 6. Sơ đồ kết nối bộ cân pha tự động trên lưới 1 pha 3 dây

3.1 Mô tả sơ đồ kết nối và thử nghiệm mô hình

Chức năng của các thiết bị trên mô hình:

- Biến dòng được lắp trên L_A và L_B để lấy tín hiệu dòng điện trên dây pha.
- Cảm biến dòng điện (ACS712) chuyển đổi dòng điện thành điện áp tuyến tính theo dòng thứ cấp của biến dòng.
- Mạch xử lý sóng nhận tín hiệu cho phép từ vi điều khiển Arduino, cho phép mạch

- xử lý sóng hoạt động và đẩy tín hiệu về vi điều khiển Arduino.
- Vi điều khiển Arduino xử lý tín hiệu từ cảm biến và đưa ra lệnh cho mạch xử lý sóng hoạt động. Sau khi nhận tín hiệu từ mạch xử lý sóng Arduino đưa ra quyết định qua mạch điều khiển relay.
- Tải được đấu trên cả 2 pha L_A , L_B thông qua SCR_A – Contactor $_A$ và SCR_B – Contactor $_B$.



Hình 7. Thiết bị cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp sau khi thi công

Ở đây:

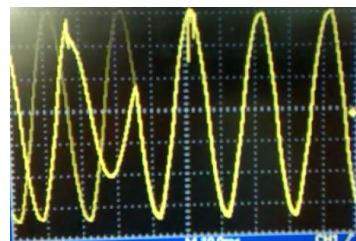
- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. CB đóng tải | 2. Module Contactor |
| 3. Module SCR | 4. Adapter cấp nguồn |
| 5. Domino đầu nối | 6. Mạch kích SCR |
| 7. Arduino+LCD | 8. Bo mạch kích |
| 9. Biến áp lấy tín hiệu | 10. Relay trung gian. |

Nguyên lý hoạt động:

- Ở điều kiện bình thường ($I_{L_A} \leq 1,15.I_{L_B}$), tín hiệu điều khiển ở ngõ ra của vi điều khiển sẽ kích đóng SCR_A , kích ngắt SCR_B và Contactor $_B$. Sau khoảng thời gian 2s kích đóng Contactor $_A$ xong 1s sau kích ngắt SCR_A , Tải được đấu trên L_A .

- Khi dòng mất cân bằng vượt quá mức cho phép ($I_{L_A} > 1,15.I_{L_B}$), tín hiệu điều khiển ở ngõ ra của vi điều khiển sẽ kích đóng SCR_A sau 1s ngắt Contactor $_A$. Sau khi ngắt Contactor $_A$ mạch điều khiển cho phép mạch xử lý sóng hoạt động, mạch xử lý sóng xác định điểm zero của L_A và ngắt SCR_A . Tiếp đó mạch xử lý sóng xác định điểm zero của L_B và đóng SCR_B sau khoảng thời gian 2s kích đóng Contactor $_B$ xong 1s sau kích ngắt SCR_B . Tải được chuyển từ L_A sang L_B .
- Việc kích ngắt SCR_A trước khi đóng SCR_B để không xảy ra sự cố ngắn mạch.
- Việc dò điểm zero để mạch có thể chuyển chính xác tại thời điểm có điện áp bằng 0, ngắt tại điểm nào của pha A thì sẽ đóng tại điểm đó của pha B. Ưu điểm lớn nhất của việc này là hạn chế sớm trễ pha do tải cảm gây ra.
- Thời gian chuyển mạch từ SCR_A sang SCR_B gần như là tức thời, vì vậy không gây mất điện cho tải. SCR giúp hạn chế hồ quang khi đóng cắt.
- Contactor đóng vai trò chính trong mạch luôn có khả năng mang tải lớn sau khi SCR bị ngắt, giúp vận hành liên tục, dòng điện chạy qua SCR chỉ trong thời gian ngắn nên ít sinh ra nhiệt độ và triệt tiêu việc sinh ra sóng hài.

Kết quả so sánh dạng sóng ngõ ra trong trường hợp có/ không có giải thuật dò tìm điểm zero trình bày ở Hình 8 và Hình 9.



Hình 8. Dạng sóng dòng điện khi không có giải thuật dò tìm điểm zero

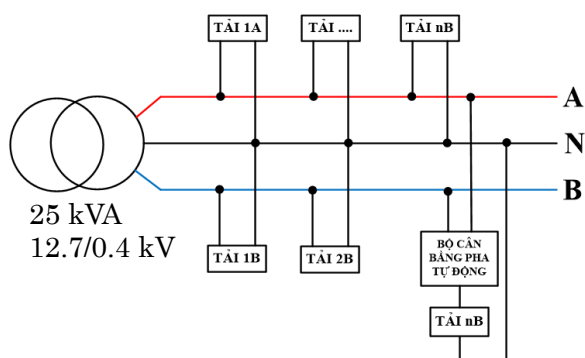


Điểm 1: Ngắt pha A Điểm 2: Đóng pha B

Hình 9. Dạng sóng dòng điện khi có sử dụng giải thuật dò tìm điểm zero

3.2 Ứng dụng thực tế mô hình

Trường hợp mô hình lắp đặt thử nghiệm trên máy biến áp 1 pha, 12.7/0.4kV, 25 kVA, có sơ đồ kết nối như Hình 10.



Hình 10. Sơ đồ tổng thể khi mắc bộ cân bằng pha thực tế

Trên thực tế không cần lắp quá nhiều bộ cân bằng pha bởi vì:

- Khi thiết kế đường dây phân phối hạ áp, người thiết kế đã phân chia pha gần như cân bằng về lý thuyết.
- Tuy nhiên, do các hộ gia đình tiêu thụ dòng không quá lớn, nên chỉ cần lắp một

bộ cân bằng pha cho nhóm hộ tiêu thụ, ứng với dòng định mức của bộ cân bằng pha bằng 1/2 giá trị chênh lệch cực đại giữa 2 pha.

Giả sử trên đường dây mạch chính có dòng lớn nhất tại giờ cao điểm là 100A mỗi pha. Trong quá trình đo đạc nhận thấy sự chênh lệch dòng tải mạch chính tại các thời điểm khác nhau giữa 2 pha là 20A (lớn nhất). Như vậy có thể đặt một hoặc vài bộ cân bằng pha tại tải hoặc nhóm tải gần cuối hoặc từ nửa cuối đường dây phân phối có dòng tải xấp xỉ 10A là có thể cân bằng tải tốt được đường dây này và tiết kiệm chi phí đầu tư.

4. KẾT LUẬN

Bộ cân bằng pha tự động sau khi thiết kế có thể chuyển đổi tải tự động giữa các pha khi xảy ra hiện tượng mất cân bằng pha mà không gây mất điện trên tải góp phần làm giảm tổn thất điện năng trên lưới điện. Mạch thiết kế hoạt động ổn định đối với tải đèn, máy vi tính, động cơ 1 pha... và có khả năng mang dòng tải lớn, triệt tiêu vấn đề phát nóng và sóng hài khi sử dụng thiết bị điện tử công suất. Kết quả thử nghiệm cho thấy bộ cân bằng pha tự động chuyển tải nhanh tại các thời điểm định trước và có thể vận hành được tải cảm, trong quá trình chuyển mạch, tải mang tính cảm vẫn có thể hoạt động bình thường cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất, làm nền tảng để ứng dụng vào việc phát triển hệ thống cân bằng pha tự động tại các trạm biến áp phân phối, hay điều khiển từ xa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Thông tư 39 Bộ công thương – *Thông tư quy định hệ thống điện phân phối*, 2015.
 [2] Karim MANSOURI, Mouna BEN HAMED, Lassaad SBITA and Mehdi DHAOUI, Three-Phase Balancing in a LV Distribution Smart-Grids Using Electrical Load Flow Variation: “L.F.B.M.”, *16th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2015, Monastir, Tunisia, December 21-23*, pp. 427-431, 2015.

- [3] Chia-Hung Lin, Chao-Shun Chen, Hui-Jen Chuang, and Cheng-Yu Ho, Heuristic Rule-Based Phase Balancing of Distribution Systems by Considering Customer Load Patterns, *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 20, No. 2, pp.709-716, 2005.
- [4] Mukwanga W. Siti, Dan Valentin Nicolae, Adisa A. Jimoh, and Abhisek Ukil, Reconfiguration and Load Balancing in the LV and MV Distribution Networks for Optimal Performance, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 22, No. 4, pp. 2534-2540, 2007.
- [5] M.-Y. Huang, C.-S. Chen, C.-H. Lin, M.-S. Kang, H.-J. Chuang, C.-W. Huang, Three-phase balancing of distribution feeders using immune algorithm; *IET Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 2, No. 3, pp. 383–392, 2008.
- [6] Nguyễn Ngọc Cần, Nguyễn Hoài Thương; *Thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp*; ĐHSPKT TP HCM, 2015.
- [7] Nguyễn Văn Thọ, Thị Thanh Tuyên; *Thiết kế bộ cân bằng pha tự động cho lưới hạ áp có dòng tải lớn*; ĐHSPKT TP HCM, 2015.
- [8] Quyền Huy Ánh; *Cung cấp điện*, pp. 29-34, ĐHSPKT TP HCM, 2006.
- [9] http://vi.wikipedia.org/Hieu_ung_Hall/
- [10] <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Acs712/>
- [11] Một số trang web tham khảo:
 - <http://www.dientumaytinh.com/>
 - <http://machdientu.net/>
 - <http://webdien.com/>
 - <http://www.hocavr.com/index.php/lectures/>
 - <http://arduino.vn/reference/attachinterrupt/>
 - <http://arduino360.com/thu-vien-arduino/>

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết

ThS. Trần Tùng Giang

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Email: giangtt@hcmute.edu.vn