

THIẾT KẾ TỦ ĐIỀU KHIỂN TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CHO HỆ THỐNG CHIẾU SÁNG ĐÈN ĐƯỜNG BÓNG HALOGEN

Vũ Trọng Hiệp¹, Nguyễn Hữu Công², Nguyễn Thế Cường³, Dương Quốc Hưng^{4*}

¹Công ty điện lực Sơn La, ²Đại học Thái Nguyên,

³Công ty cổ phần cơ điện tử ASO,

⁴Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Chiếu sáng nói chung và chiếu sáng công cộng nói riêng đang chiếm một tỉ lệ tiêu thụ điện năng khá lớn, trong đó có cả hệ thống chiếu sáng đèn đường. Việc hiện đại hóa hệ thống chiếu sáng đèn đường nhằm tiết kiệm điện năng và giảm chi phí vận hành, đồng thời vẫn đảm bảo chất lượng chiếu sáng được xem là một giải pháp cấp bách hiện nay. Bài báo này trình bày kết quả của nghiên cứu nhằm chế tạo ra tủ điện tiết kiệm năng lượng cho chiếu sáng đèn đường, trên các tuyến đường có sử dụng bóng cao áp Halogen. Kết quả nghiên cứu cho thấy, bằng việc chiết giảm và duy trì điện áp ổn định tại các khung giờ thấp điểm đã giảm được công suất tiêu thụ của các bóng đèn, đồng thời tránh được hiện tượng quá điện áp, từ đó nâng cao tuổi thọ của bóng đèn.

Từ khóa: *Tiết kiệm điện; sử dụng năng lượng hiệu quả; PLC S7 1200; đèn đường cao áp; mạng truyền thông công nghiệp*

Ngày nhận bài: 11/8/2020; Ngày hoàn thiện: 19/8/2020; Ngày đăng: 31/8/2020

DESIGNING ELECTRICAL ENERGY SAVING CONTROL CABINET FOR THE STREET LIGHTING SYSTEM USED HALOGEN BULBS

Vu Trong Hiep¹, Nguyen Huu Cong², Nguyen The Cuong³, Duong Quoc Hung^{4*}

¹Son La Electricity Company, ²Thai Nguyen University,

³ASO Mechatronics joint stock company,

⁴TNU - University of Technology

ABSTRACT

General lighting and public lighting in particular are accounting for a large proportion of electricity consumption, including street lighting system. Modernizing the street lighting system to save energy and reduce operating costs, while ensuring the quality of lighting is considered an urgent solution today. This article presents the result of the research to create energy-saving control cabinet for the street lighting system used halogen bulbs. The result of the research show that, by reducing and maintaining a stable voltage at the free time, the power consumption of the bulbs is reduced, and the overvoltage on the bulbs is avoided. which enhances the life of the bulbs.

Keywords: *Energy saving; use energy efficiently; PLC S7 1200; high pressure street lights; industrial communication network*

Received: 11/8/2020; Revised: 19/8/2020; Published: 31/8/2020

* Corresponding author. Email: quochungkd@tnut.edu.vn

1. Giới thiệu

Một hệ thống chiếu sáng công cộng được đánh giá thông qua các tiêu chí: Tiết kiệm năng lượng; Giảm chi phí đầu tư và nhân công vận hành; An toàn cho thiết bị chiếu sáng; An toàn cho người tham gia giao thông; Đảm bảo mỹ quan đô thị.

Tuy nhiên, các hệ thống này vận hành chưa hiệu quả: Khoảng thời gian thấp điểm (Ví dụ: từ 22h30 đêm đến 5h30 sáng), lưu lượng phương tiện tham gia giao thông ít nhưng ánh sáng đèn đường vẫn được duy trì như khoảng thời gian cao điểm (Ví dụ: Từ 18h đến 22h30) dẫn đến lãng phí điện năng. Mặt khác, lưới điện chiếu sáng được sử dụng chung với lưới điện sinh hoạt nên khoảng thời gian về đêm điện áp lưới thường cao hơn định mức (đạt khoảng 240 - 250V); do đó công suất tiêu thụ của mỗi bóng cũng tăng lên, điều này không những gây lãng phí điện năng mà còn làm giảm tuổi thọ của bóng đèn (do bóng bị quá điện áp).

Trong những năm gần đây đã có nhiều nghiên cứu nhằm xây dựng ra một hệ thống điều khiển chiếu sáng thông minh và tiết kiệm năng lượng. Giải pháp sử dụng bộ Vi xử lý với tính năng thời gian thực kết hợp các thiết bị động lực để điều chỉnh công suất bóng đèn, truyền thông qua mạng viễn thông GSM để tạo ra hệ thống điều khiển chiếu sáng thông minh – điều khiển qua điện thoại đã được đề cập đến trong các nghiên cứu [1]–[5]. Cũng với phương pháp truyền thông bằng GSM, nhưng [6] sử dụng năng lượng mặt trời để làm nguồn điện cấp cho chiếu sáng thay vì sử dụng điện áp lưới. Một hệ thống tự động tắt ánh sáng trên đường phố khi không có xe và tự động bật ánh sáng khi có một số xe đang đi tới cũng đã được thử nghiệm [7]. Cùng với các lý thuyết điều khiển kinh điển, các nghiên cứu về lý thuyết điều khiển hiện đại cũng đã được áp dụng cho hệ thống chiếu sáng đèn đường, bao gồm: Lý thuyết điều khiển mờ [8] và Mạng Noron nhân tạo [9].

Những năm gần đây, ở Việt Nam, nhiều giải pháp tiết kiệm năng lượng cho các thiết bị chiếu sáng cũng đã được nghiên cứu và ứng

dụng [10]–[12]. Các giải pháp có thể kể đến như sau:

Giải pháp 1: Tắt luân pha các bóng đèn vào ban đêm.

Giải pháp 2: Thay thế các bóng đang có sang bóng LED.

Giải pháp 3: Sử dụng chấn lưu hai mức công suất, hoặc sử dụng chấn lưu phụ mắc thêm cho chấn lưu thường để tạo thành tổ hợp chấn lưu hai mức công suất, hoặc sử dụng loại bóng 2 mức công suất để giảm công suất tiêu thụ của đèn vào giờ thấp điểm.

Giải pháp 4: Sử dụng máy biến áp tự ngẫu để điều chỉnh chiết giảm vô cấp điện áp đặt lên bóng đèn nhằm tiết kiệm năng lượng và nâng cao tuổi thọ của bóng.

Có thể thấy rằng, các giải pháp trên đã đem lại hiệu quả tiết kiệm điện. Tuy nhiên giải pháp 1 không đảm bảo chất lượng chiếu sáng. Giải pháp 2, 3, 4 có chi phí đầu tư khá cao. Giải pháp 2, 3 không tận dụng được hệ thống bóng đèn đang có sẵn. Giải pháp 4 đã điều chỉnh được vô cấp điện áp, nhưng tổn hao lớn và tính tự động hóa vẫn chưa cao. Cùng với việc tiết kiệm điện, vấn đề giám sát tổn hao (do sử dụng điện trái phép) hoặc đưa ra các cảnh báo về các vị trí bị sự cố trên các tuyến đường vẫn còn bị hạn chế. Bài báo này trình bày một nghiên cứu nhằm chế tạo ra một tủ điện để điều khiển cho tuyến đèn đường. Tủ điều khiển có thể tự động điều chỉnh được công suất chiếu sáng với nhiều chế độ làm việc khác nhau, đồng thời giám sát được năng lượng tiêu thụ trên các tuyến đường này để đưa ra các cảnh báo cần thiết. Đặc biệt, với thiết kế này có thể tận dụng lại các cơ sở vật chất có sẵn tại các tuyến, chỉ cần thay thế tủ điều khiển và giữ nguyên hệ thống có sẵn, bao gồm: Đường dây, cột, các bóng đèn; do đó giảm được chi phí đầu tư.

2. Đề xuất giải pháp thiết kế

Sử dụng bộ điều khiển PLC và các linh kiện bán dẫn công suất, để chế tạo ra tủ điều khiển có khả năng tự động điều chỉnh công suất chiếu sáng tối ưu theo nhu cầu sử dụng của từng thời điểm, đồng thời ổn định được điện

áp đặt lên bóng đèn nhờ bộ điều khiển PID đã được tích hợp trong PLC S7 1200.

Ưu điểm:

- Khả năng chiết giảm đến 40% điện năng, nhưng vẫn đảm bảo cường độ chiếu sáng cho phép;
- Đảm bảo mỹ quan đô thị;
- Chống quá áp trên bóng đèn, giúp tăng tuổi thọ bóng;
- Tận dụng được thiết bị hạ tầng chiếu sáng hiện có;
- Tổn hao thấp.

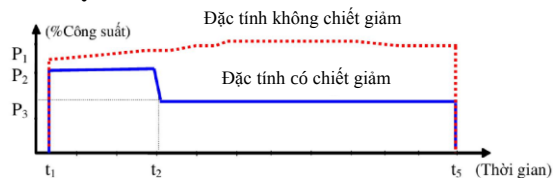
Nhược điểm:

- Chi phí đầu tư ban đầu lớn hơn giải pháp tắt xen kẽ pha, nhưng vẫn thấp hơn so với các giải pháp khác.

2.1. Chế độ làm việc: Tủ chiếu sáng tiết kiệm điện có 03 chế độ làm việc:

- + Chế độ tiêu chuẩn;
- + Chế độ cắt xen pha;
- + Chế độ hỗn hợp.

Chế độ tiêu chuẩn:

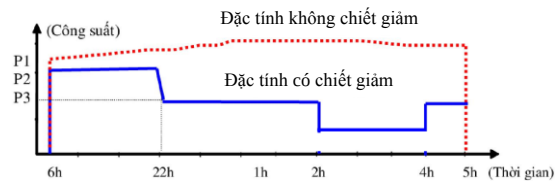


Hình 1. Đặc tính làm việc ở chế độ tiêu chuẩn

Ở chế độ tiêu chuẩn, hệ thống đèn chiếu sáng sẽ được tự động bật sáng ở thời điểm t_1 và sẽ duy trì ổn định ở công suất đặt P_2 cho đến thời điểm t_2 . Tại thời điểm t_2 hệ thống chiếu sáng sẽ được tự động chuyển sang vận hành ở công suất $P_3 < P_2$ cho đến thời điểm t_5 . Trong khoảng thời gian từ $t_2 - t_5$ công suất có thể được vận hành ở mức từ 60 – 100% công suất định mức của hệ thống (hình 1).

Chế độ cắt xen pha: Tủ điều khiển làm việc như một tủ điện đóng cắt thông thường theo chức năng thời gian thực, không có sự tham gia của bộ bán dẫn công suất. Năng lượng sẽ được tiết kiệm tối đa đến 50% nhưng không tránh khỏi việc bị quá áp bóng đèn và ảnh hưởng đến chất lượng chiếu sáng và mỹ quan đô thị.

Chế độ hỗn hợp: Có thể kết hợp cả vận hành chiết giảm công suất và vận hành ngắt xen pha, điều đó sẽ cho hiệu quả tiết kiệm năng lượng cao hơn. Tuy nhiên, chỉ áp dụng chế độ vận hành này cho những tuyến đường ít phương tiện lưu thông về đêm, vì nó sẽ không đảm bảo chất lượng chiếu sáng. Gần sáng có thể lưu lượng tham gia giao thông tăng nên nhu cầu chiếu sáng lại tăng. Do đó các pha lại được bật sáng trở lại (hình 2).

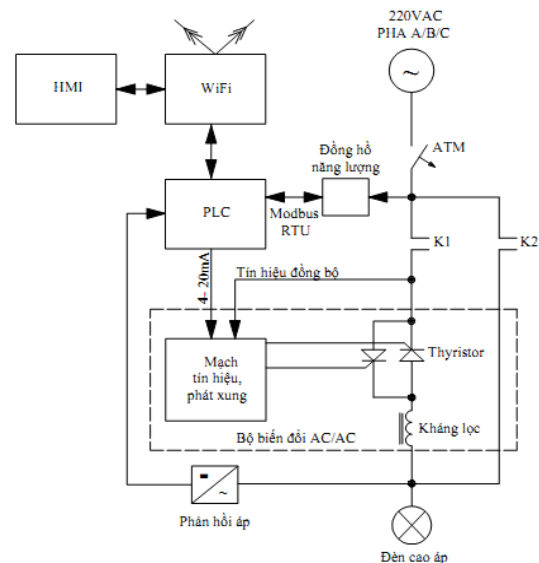


Hình 2. Đặc tính làm việc ở chế độ hỗn hợp

2.2. Chế độ điều khiển:

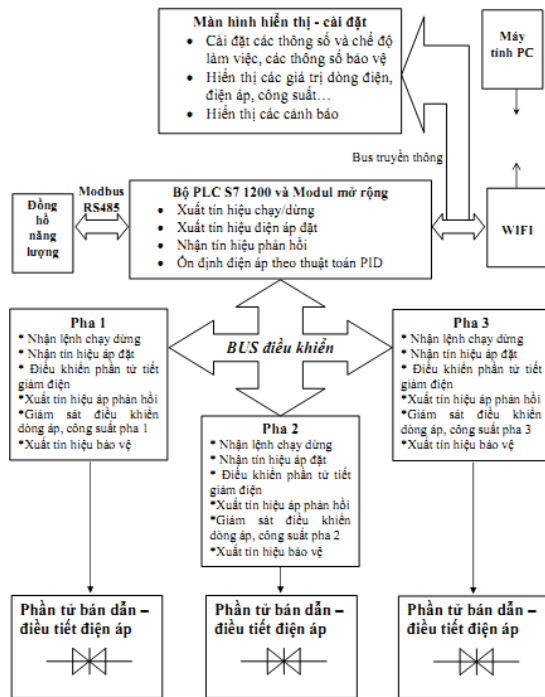
Điều khiển tại chỗ: Vận hành và cài đặt các tham số làm việc tại màn hình cảm ứng HMI đặt tại tủ điều khiển. Các tham số năng lượng được giám sát bằng đồng hồ năng lượng và hiển thị cả trên HMI.

Điều khiển từ xa: Vận hành và cài đặt tại phòng điều khiển trung tâm thông qua mạng truyền thông không dây wifi, hoặc 3G, hoặc truyền thông có dây. Trong nghiên cứu này trình bày phương pháp truyền thông bằng sóng wifi.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc điều khiển một pha

Sơ đồ cấu trúc điều khiển 1 pha được trình bày như hình 3, Sơ đồ chi tiết chức năng của từng khối được trình bày như hình 4. Trong đó: Đồng hồ năng lượng cũng được sử dụng để so sánh năng lượng tiêu hao trước và sau khi sử dụng tủ tiết kiệm điện. Nó được truyền thông theo giao thức Modbus RTU với PLC S7 1200.

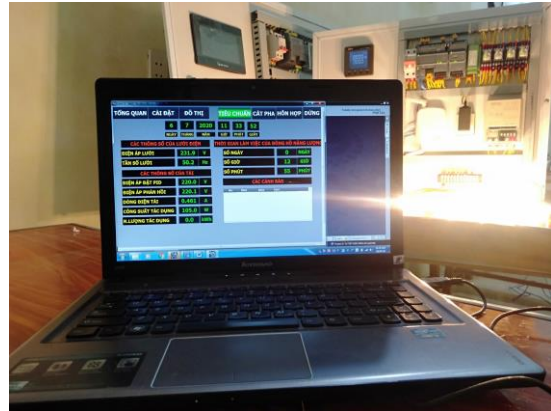


Hình 4. Sơ đồ chức năng các khối

Bộ phản hồi áp lấy tín hiệu phản hồi điện áp của bóng đèn để đưa về PLC. Bộ PLC sẽ so sánh với giá trị đặt để điều chỉnh tín hiệu cấp ra bộ biến đổi công suất AC/AC theo thuật toán PID sao cho điện áp ra đặt lên bóng đèn và điện áp chiết giảm đặt có giá trị bằng nhau. Bộ wifi kết nối tín hiệu điều khiển không dây với máy tính. Trên máy tính được xây dựng phần mềm điều khiển giám sát toàn bộ hệ thống.

2.3. Phần mềm điều khiển, giám sát

Phần mềm điều khiển, giám sát được xây dựng trên Wincc và điều khiển tại máy tính. Việc truyền dữ liệu đến mô hình thực nghiệm được thực hiện bằng sóng wifi (hình 5). Ngoài ra tại tủ điều khiển có đặt một HMI cũng được xây dựng một giao diện tương tự (hình 6).



Hình 5. Giao diện điều khiển, giám sát trên máy tính



Hình 6. Giao diện điều khiển, giám sát trên màn hình cảm ứng HMI

Phần mềm điều khiển giám sát cho phép lựa chọn các chế độ làm việc, hiệu chỉnh lại đồng hồ thời gian thực và cài đặt các khoảng thời gian đóng/cắt, thời điểm và mức % chiết giảm. Phần mềm cũng đưa ra các cảnh báo khi xảy ra việc sử dụng điện trái phép (có sự gia tăng đột biến về công suất) hoặc cảnh báo mức điện áp cao khi hệ thống chạy ở chế độ cắt xen pha (chế độ Bypass không có sự tham gia của bộ AC/AC và bộ điều khiển PID).

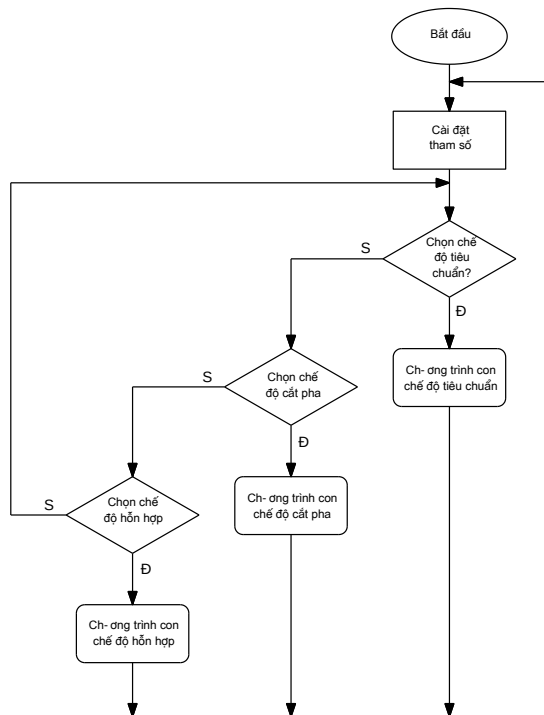
3. Thuật toán điều khiển

Thuật toán điều khiển được mô tả như các lưu đồ từ hình 7 – 10. Trên cơ sở 3 chế độ làm việc là:

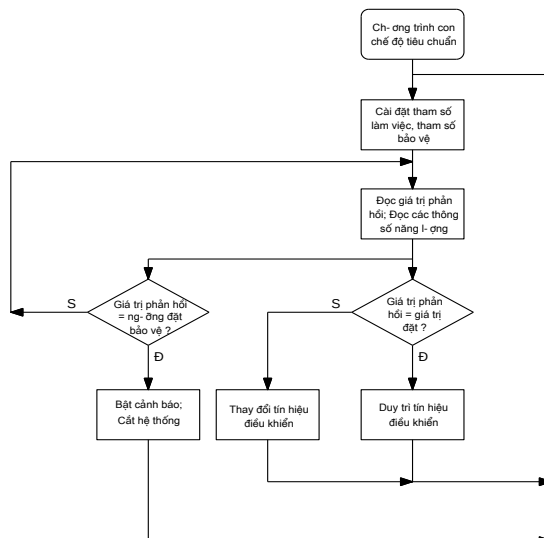
- + Chế độ tiêu chuẩn;
- + Chế độ cắt xen pha;
- + Chế độ hỗn hợp.

Trong đó, chế độ tiêu chuẩn và chế độ hỗn hợp có sử dụng tính năng chiết giảm điện áp

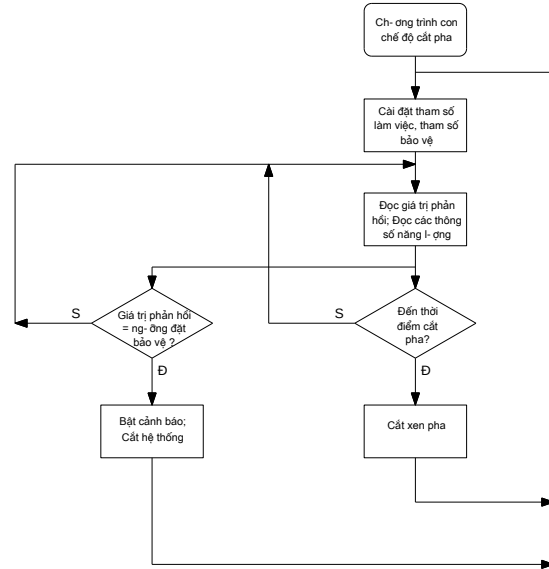
vào những giờ không cao điểm để giảm công suất tiêu thụ. Phần trăm mức chiết giảm được cài đặt từ HMI tại tủ điều khiển hoặc từ giao diện điều khiển giám sát trên máy tính. Máy tính được đặt tại phòng điều khiển trung tâm và được giao tiếp với tủ điều khiển thông qua sóng 4G hoặc sóng wifi. Căn cứ vào giá trị cài đặt, bộ điều khiển sẽ tự động ổn định điện áp đầu ra theo thuật toán PID.



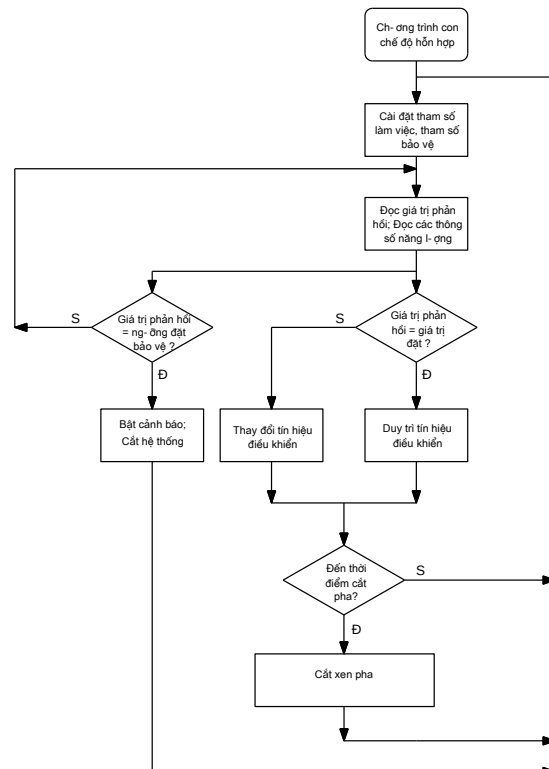
Hình 7. Lưu đồ thuật toán tổng thể



Hình 8. Lưu đồ thuật toán chế độ tiêu chuẩn



Hình 9. Lưu đồ thuật toán chế độ cắt pha



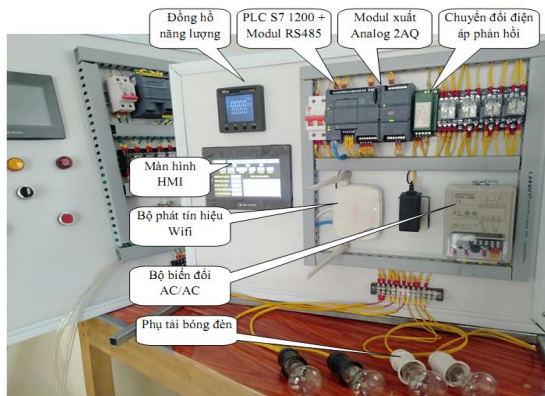
Hình 10. Lưu đồ thuật toán chế độ hỗn hợp

Chế độ làm việc cắt xen pha, hệ thống làm việc như một tủ điện đóng cắt thông thường, lúc này bộ biến đổi điện áp AC/AC được tách ra khỏi hệ thống nhờ contactor bypass K2 (K1 mở ra và K2 đóng lại). Hệ thống sẽ tự động ngắt xen pha khi đến thời gian đặt trước và không có khả năng ổn định điện áp theo giá trị đặt.

Các thông số năng lượng, bao gồm: Dòng điện, điện áp, tần số, cosphi, KW, KVAR, KVA, KWh, KVARh... được đo lường và hiển thị nhờ đồng hồ đa chức năng. Đồng hồ này có trang bị truyền thông MODBUS RS485 và sẽ được PLC đọc về để hiển thị lên HMI và máy tính. Khi những giá trị đo lường vượt quá giá trị cài đặt của bảo vệ, PLC sẽ đưa ra cảnh báo hoặc ngắt toàn bộ hệ thống.

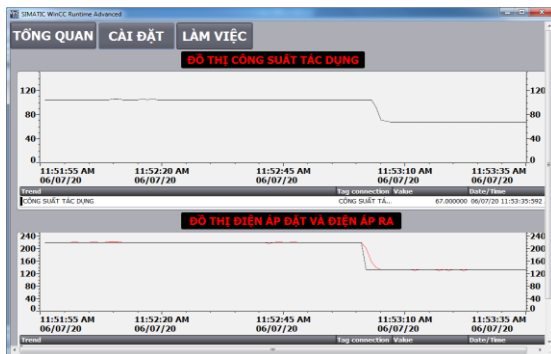
4. Kết quả thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm được lắp đặt và thử nghiệm với tải là 4 bóng đèn 25W chia làm 2 lộ (hình 11).



Hình 11. Mô hình thực nghiệm hệ thống tiết kiệm chiếu sáng đèn đường

+ Trong chế độ tiêu chuẩn: Khi đến thời điểm bật đèn, tất cả các bóng cùng sáng, công suất tiêu thụ khoảng 105W, hệ thống tự động ổn định điện áp 220V. Đến thời điểm thấp điểm đã cài đặt sẵn, hệ thống tự động giảm và ổn định điện áp toàn tuyến, công suất tiêu thụ cũng giảm theo. Ví dụ: Hình 12 đặt mức chiết giảm còn 60% nên công suất tiêu thụ chỉ còn 67W, tất cả các bóng vẫn sáng (hình 13).

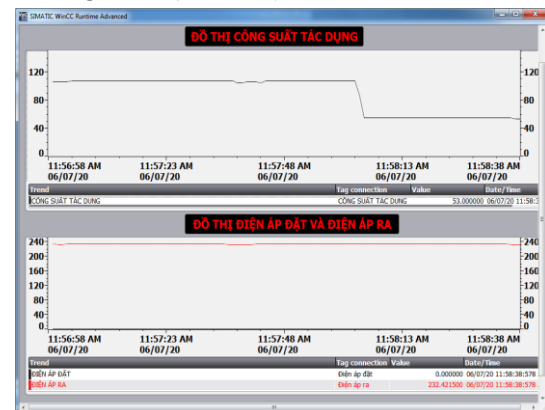


Hình 12. Chiết giảm còn 60% công suất vào thời điểm thấp điểm của chế độ tiêu chuẩn

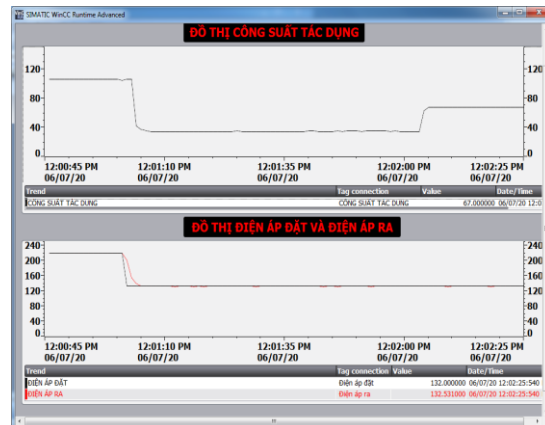


Hình 13. Tất cả các bóng vẫn sáng, nhưng đã được chiết giảm công suất

+ Trong chế độ cắt pha (Chế độ Bypass): Contactor K2 đóng lại, contactor K1 mở ra. Lúc này, bộ biến đổi AC/AC bị loại ra khỏi hệ thống. Khi đến thời điểm cắt xen pha, số lượng bóng sẽ được cắt đi một nửa, chỉ còn một nửa, nên công suất tiêu thụ chỉ còn khoảng 53W (Hình 14).



Hình 14. Đặc tính công suất ở chế độ cắt xen pha



Hình 15. Đặc tính công suất ở chế độ hỗn hợp

+ **Chế độ hỗn hợp:** Khi đến thời điểm cắt xen pha đặt trước, các bóng sẽ được cắt xen pha đồng thời chiết giảm điện áp. Do đó công suất tiêu thụ còn ít hơn cả chế độ cắt xen pha thông thường. Do vừa cắt xen pha vừa chiết giảm nên công suất chỉ còn khoảng 35W. Khi đến gần sáng, các phương tiện giao thông nhiều hơn, hệ thống tự động bật pha bị cắt trở lại nhưng vẫn thực hiện chiết giảm để tiết kiệm điện (Hình 15).

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu của việc xây dựng một mô hình điều khiển tiết kiệm điện cho hệ thống chiếu sáng đèn đường. Kết quả thực nghiệm cho thấy:

+ **Ở chế độ tiêu chuẩn:** Khi hết giờ cao điểm tham gia giao thông, Điện áp được tự động giảm xuống để giảm công suất nên năng lượng tiết kiệm được đến 40%. Việc chiết giảm không nên thực hiện quá sâu do nếu giảm áp quá sâu, các bóng cao áp không đủ áp sẽ bị tắt và không đảm bảo ánh sáng lưu thông.

+ **Ở chế độ cắt xen pha:** Năng lượng giảm được 50% do việc cắt xen pha, nhưng việc quá áp của các bóng vẫn xảy ra. Do đó nó chỉ được sử dụng khi mà bộ biến đổi AC/AC bị sự cố.

+ **Ở chế độ hỗn hợp:** Vừa cắt xen pha vừa chiết giảm nên năng lượng tiết kiệm được nhiều nhất. Tuy nhiên chỉ nên áp dụng chế độ này ở những tuyến đường có rất ít phương tiện tham gia giao thông về ban đêm.

Bộ điều khiển PID của PLC S7 1200 được sử dụng để ổn định điện áp đặt lên bóng đèn ở chế độ tiêu chuẩn và chế độ hỗn hợp nhằm nâng cao độ ổn định của hệ thống và nâng cao tuổi thọ của bóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. H. P. Khandagale, R. Zambare, P. Pawar, P. Jadhav, P. Patil, and S. Mule, "Street light controller with GSM technology," *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 4, no. 10, pp. 268-271, 2020.
- [2]. H. G. Coandă, "Designing a control system for smart outdoor street lighting using advanced communication technologies," *Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty*, vol. 29, no. 1, pp. 25-30, 2015.
- [3]. K. Y. Rajput, G. Khatav, M. Pujari, and P. Yadav, "Intelligent Street Lighting System Using Gsm," *International Journal of Engineering Science Invention*, vol. 2, no. 3, pp. 60-69, March 2013.
- [4]. Lakshmiprasad, and Keerthana, "Smart Street Lights," *International Journal of Students Research in Technology & Management*, vol. 2, no. 02, pp. 59-63, March-April 2014.
- [5]. D. A. Mhaske, and S. S. Katariya, "Smart Street Lighting using a ZigBee & GSM Network for High Efficiency & Reliability," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 4, pp. 175-179, April 2014.
- [6]. K. Nanavati, H. Prajapati, H. Pandav, K. Umariya, and N. Desai, "Smart Autonomous Street Light Control System," *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering*, vol. 2, no. 10, pp. 729-733, April 2016.
- [7]. S. A. E. Mohamed, "Smart Street Lighting Control and Monitoring System for Electrical Power Saving by Using VANET," *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, vol. 6, pp. 351-360, 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ijcns.2013.68038>.
- [8]. C. Volosencu, D. I. Curiac, O. Baniyas, C. Ferent, D. Pescaru, and A. Doboli, "Hierarchical Approach for Intelligent Lighting Control In Future Urban Environments," *2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, 2008, doi: 10.1109/AQTR.2008.4588726.
- [9]. M. Kolasa, "The concept of intelligent system for streetlighting control using artificial neural networks," *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. R.92, pp. 32-37, July 2016.
- [10]. X. L. Nguyen, "Economical and efficient lighting solutions in buildings in Vietnam," *Energy Saving conference of Construction Science and Technology Institute - IBST*, 2016. [Online]. Available: <http://www.ibst.vn/DATA/admin/Tapchi2011/Nguyen%20Son%20Lam2.2010.pdf>. [Accessed June, 2020].
- [11]. A. T. Nguyen, "Energy-saving public lighting solutions in Da Nang," *Danang Public Lighting Management and Operation*

- Conference, August 2014. [Online]. Available: <http://nangluongvietnam.vn/news/vn/hoi-thao-truc-tuyen/giai-phap-chieu-sang-cong-cong-tiet-kiem-dien-o-da-nang.html>. [Accessed June, 2020].
- [12]. T. C. Nguyen, and Q. H. Duong, "Cabinet for saving electricity and lighting street light," energy saving in lighting conference, Vinh Phuc Province, 2014. [Online]. Available: <http://vinhphucit.gov.vn/so-cong-thuong-vinh-phuc.gplist.378.gpopen.8002.gpside.1.gpnewtitle.hoi-thao-%E2%80%9Csan-pham-tiet-kiem-nang-luong-trong-chieu-sang%E2%80%9D.aspx>. [Accessed June, 2020].