

Hệ thống đèn tín hiệu đường sắt sử dụng công nghệ LED

Đặng Quang Thạch^{1*}, Nguyễn Bá Thi¹, Nguyễn Quang Hải¹, Cồ Như Văn²

¹Viện Ứng dụng Công nghệ

²Trường Đại học Giao thông Vận tải

Ngày nhận bài 6/7/2022; ngày chuyển phản biện 11/7/2022; ngày nhận phản biện 2/8/2022; ngày chấp nhận đăng 5/8/2022

Tóm tắt:

Hiện nay, hệ thống tín hiệu đèn màu đường sắt chủ yếu sử dụng nguồn sáng là bóng đèn sợi đốt. Trong khi đó, các đèn này hoạt động ở chế độ bật - tắt thường xuyên và chịu dao động khi có tàu chạy qua, đây đều là những yếu tố bất lợi làm giảm tuổi thọ của đèn sợi đốt. Do vậy, thời gian làm việc định mức của bóng đèn sợi đốt thường ngắn, kéo theo các yêu cầu về điều kiện bảo trì, thay thế vật tư với tần suất cao. Bài báo trình bày giải pháp sử dụng công nghệ LED thay thế bóng sợi đốt nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên. Ngoài ra, bài báo cũng đề cập đến giải pháp tích hợp công nghệ IoT giúp thu thập dữ liệu trạng thái của từng bóng đèn theo thời gian thực, phục vụ triển khai các giải pháp bảo trì thông minh, nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động và khả năng vận hành tin cậy, ổn định cho hệ thống.

Từ khóa: IoT, LED, tín hiệu đường sắt.

Chỉ số phân loại: 2.1

Giới thiệu

Tín hiệu đèn màu đường sắt

Đèn tín hiệu trên đường sắt được sử dụng để thông báo cho lái tàu trạng thái và chế độ vận hành của khu vực đoạn đường ray phía trước. Theo quy định trong TCCS 10:2014/VNRA [1], đèn tín hiệu gồm nguồn sáng kết hợp với kính màu và thấu kính. Bóng đèn tín hiệu có một dây tóc chính và một dây tóc dự phòng đặt song song, cách nhau $2,5 \pm 0,5$ mm, vị trí tương đối của sợi đốt với kính màu và thấu kính tạo thành hệ quang học đảm bảo góc khuếch tán ánh sáng thuận tiện nhất cho lái tàu quan sát.

Ở trạng thái bình thường, khi cần thấp sáng bóng đèn, sợi đốt chính được cấp điện, nếu sợi đốt chính đứt, mạch điều khiển sẽ tự động cấp nguồn cho sợi đốt dự phòng, đồng thời gửi tín hiệu cảnh báo về trung tâm điều khiển. Nếu cả 2 sợi đốt đều đứt, mạch điều khiển sẽ gửi tín hiệu báo động về trung tâm điều khiển, trong trường hợp này, hoạt động chạy tàu trong phạm vi liên quan sẽ bị ảnh hưởng, tàu phải chạy ở tốc độ thấp theo sự hướng dẫn trực tiếp của người điều hành thậm chí phải dừng lại tùy thuộc vị trí của cột hiệu có bóng đèn gặp sự cố.

Về nguyên lý hoạt động, đèn tín hiệu sử dụng bóng đèn sợi đốt có một số nhược điểm sau:

- Điện trở nguội của sợi đốt khoảng $0,5 \Omega$, tại thời điểm khởi động, dòng điện xung kích lên đến trên 10 A có thể làm đứt sợi đốt và hỏng mạch điều khiển.

- Bóng đèn hoạt động ở chế độ bật - tắt thường xuyên và phải chịu dao động cơ học khi có tàu chạy qua, đây là các yếu tố làm giảm tuổi thọ của đèn sợi đốt.

- Tuổi thọ trung bình của đèn sợi đốt thường khá ngắn, với loại bóng đèn sử dụng khí halogen, thời gian làm việc khoảng 2.000-5.000 giờ.

- Tùy thuộc vai trò, một cột đèn có một hoặc nhiều cơ cấu đèn (hộp đèn), mỗi cơ cấu có một hoặc nhiều đèn màu khác nhau. Mỗi cơ cấu đèn được kết nối với trung tâm thông qua một tuyến cáp riêng, năng lượng và tín hiệu điều khiển, giám sát đều được truyền qua tuyến cáp này. Với thiết kế như trên, hệ thống giám sát chỉ có khả năng phát hiện sự cố khi nó đã xảy ra do không có khả năng thu thập thông tin về các dấu hiệu bất thường cho phép chẩn đoán và dự báo sớm sự cố.

Ưu điểm của đèn LED

So với đèn sợi đốt, đèn LED có một số ưu điểm chính như sau:

- **Hiệu suất phát quang:** được đo bằng đơn vị lumen trên mỗi watt (lm/W). Theo báo cáo [2], hiệu suất trung bình của các đèn LED thương mại phổ biến ở mức 102 lm/W. Đặc biệt, theo thông báo của CREE (Hoa Kỳ) [3], kết quả thử nghiệm bóng đèn LED do CREE sản xuất đạt hiệu suất lên đến 303 lm/W. Như vậy, hiệu suất phát quang của LED vượt xa bóng đèn sợi đốt (khoảng 15 lm/W).

- **Tuổi thọ:** đèn LED không bị ảnh hưởng khi làm việc ở chế độ bật - tắt thường xuyên và môi trường rung động. Đèn LED có dòng khởi động không quá lớn so với dòng làm việc nên không xuất hiện dòng xung kích tại thời điểm khởi động, nhờ đó giảm thiểu hư hại cho đèn và mạch điều khiển. Đèn LED không hỏng đột ngột như tình huống đứt sợi đốt mà chỉ giảm dần cường độ sáng theo thời gian. Chip LED có tuổi thọ 30.000-100.000 giờ. Hầu hết các đèn LED thương mại có tuổi thọ 30.000-50.000 giờ, như vậy nếu sáng liên tục 24 giờ/ngày, đèn LED thương mại có thể sử dụng liên tục 3-5 năm. Để cung cấp thông tin về mức độ suy hao của chip LED, các nhà sản xuất sử dụng hệ số LLMF (Lamp lumen maintenance

*Tác giả liên hệ: Email: dangquangthach@gmail.com

Railway signal light system using LED technology

Quang Thach Dang^{1*}, Ba Thi Nguyen¹,
Quang Hai Nguyen¹, Nhu Van Co²

¹National Center for Technological Progress
²University of Transport and Communications

Received 6 July 2022; accepted 5 August 2022

Abstract:

The railway signal light system mainly uses incandescent light sources. Meanwhile, these lights operate in regular ON and OFF mode and suffer from fluctuations when a train passes by, these are all unfavourable factors that reduce the life of incandescent lamps. Therefore, the rating working time of incandescent bulbs is often short, leading to the requirements for maintenance conditions and replacement of supplies with a high frequency. This paper presents the solution of using LED technology to replace incandescent bulbs to solve the above problems. In addition, the article also mentions a solution that integrates IoT technology to help collect status data of each lamp in real time and support the deployment of smart maintenance solutions to improve operational efficiency and reliable and stable operation of the system.

Keywords: IoT, LED, railway signal.

Classification number: 2.1

factor - hệ số duy trì quang thông) được định nghĩa trong chuẩn CIE 154:2003 [4] do Ủy ban quốc tế về chiếu sáng công bố. Hệ số LLMF mô tả lượng quang thông còn lại sau một thời gian hoạt động của chip LED và tỷ lệ thiết bị đạt được chỉ tiêu đó. Ví dụ, L80B20 50.000 giờ có nghĩa là: sau thời gian 50.000 giờ, thiết bị vẫn có khả năng tạo quang thông bằng 80% quang thông ban đầu (ký hiệu L80) và chỉ có 20% thiết bị không đạt được chỉ tiêu này (ký hiệu B20).

Trên thế giới, một số quốc gia đã sử dụng nguồn sáng LED trong hệ thống đèn tín hiệu đường sắt. Hệ thống đèn tín hiệu LED với thương hiệu LED Signals EU chính thức được chấp thuận sử dụng ở Áo, Slovakia và Đức [5].

Ở Việt Nam, công nghệ LED mới được sử dụng trong các hệ thống đường ngang cảnh báo tự động, ở đó đèn tín hiệu dùng công nghệ LED được dùng để điều khiển phương tiện giao thông chạy trên đường bộ giao cắt với đường sắt.

Thiết kế đèn tín hiệu sử dụng công nghệ LED

Giải pháp

Để tạo ra sản phẩm đèn tín hiệu khai thác các ưu điểm của nguồn sáng LED đồng thời phù hợp với hạ tầng và các quy định hiện hành của ngành đường sắt, giải pháp được đề xuất trong nghiên cứu này như sau:

Một là, sử dụng 2 chip LED thay thế 2 sợi đốt của bóng đèn trên cơ sở đảm bảo các thông số để hình thành hệ quang học tương đương hệ thống hiện có: lựa chọn chip LED tạo ánh sáng trắng có cường độ và quang phổ tương tự bóng đèn sợi đốt, kích thước 1 chip LED, khoảng cách giữa 2 chip LED tương đương kích thước và khoảng cách giữa 2 sợi đốt, khoảng cách từ các chip LED đến kính màu và thấu kính tạo góc khuếch tán ánh sáng tương đương góc tạo bởi bóng đèn sợi đốt.

Hai là, thiết kế mạch điều khiển giám sát thực hiện các chức năng cấp nguồn, giám sát cường độ sáng của chip LED, phát hiện, cảnh báo khi chip LED có cường độ sáng thấp hơn ngưỡng cho phép; chuyển mạch cấp nguồn cho chip LED dự phòng khi cường độ sáng của chip LED chính thấp hơn ngưỡng cho phép; báo động khi phát hiện sự cố, ví dụ cường độ dòng điện qua cả 2 chip LED thấp hơn ngưỡng cho phép.

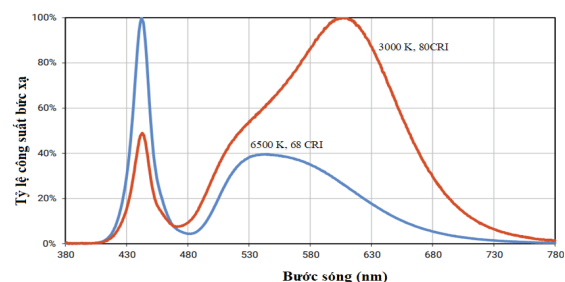
Ba là, tích hợp công nghệ IoT để cung cấp một số tính năng nâng cao cho hệ thống đèn tín hiệu đường sắt như:

- Bảo trì thông minh: Trạng thái hoạt động của từng bóng đèn trong hệ thống được cập nhật theo thời gian thực, các dữ liệu này được lưu trữ và phân tích để phát hiện các dấu hiệu bất thường, từ đó cho phép dự báo sớm sự cố và thời gian phù hợp để thực hiện các hoạt động bảo dưỡng, thay thế thiết bị.

- Chẩn đoán: Khi phát sinh trở ngại, các thông tin về vị trí sự cố, hình thức sự cố sẽ được gửi về trung tâm, hệ thống sẽ kết hợp các số liệu trước đó trong cơ sở dữ liệu để chẩn đoán nguyên nhân, phạm vi ảnh hưởng và chỉ dẫn phương án khắc phục giúp xử lý sự cố trong thời gian nhanh nhất để sớm đưa hệ thống về trạng thái hoạt động bình thường.

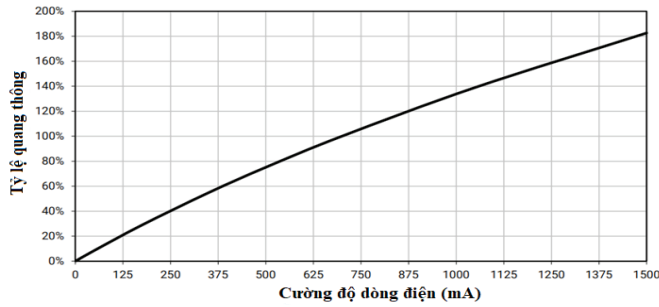
Chế tạo đèn LED

Chip LED được sử dụng trong nghiên cứu này là dòng sản phẩm Extreme High Power (XHP) của nhà sản xuất CREE (mã số XHP50) [6], được lựa chọn trên cơ sở đánh giá sự phù hợp của các thông số quang học của chip LED và các yêu cầu trong TCCS 10:2014/VNRA. Nguồn sáng LED được chế tạo từ loại chip này cho ánh sáng trắng, có cường độ phát sáng trên 8000 mcd và quang phổ có các đặc điểm sau: bước sóng 400-780 nm, nhiệt độ sáng 3000-6500 K, độ hoàn màu CRI 68-80%, quang lượng đạt cực đại ở bước sóng 560-650 nm và 440-450 nm (hình 1).



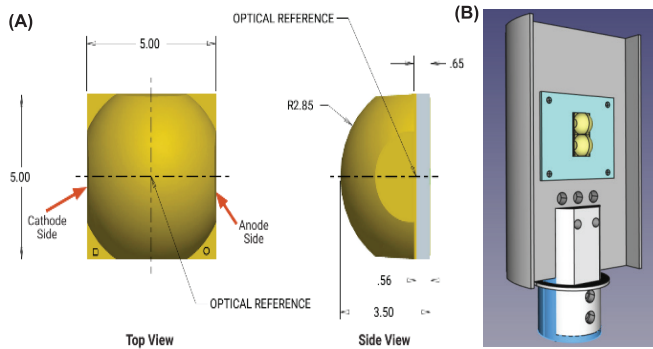
Hình 1. Phân bố quang lượng của nguồn sáng LED theo nhiệt độ sáng [6].

Cường độ sáng của chip LED XHP50 tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện đi qua bóng như đồ thị ở hình 2.



Hình 2. Quan hệ giữa cường độ dòng điện và cường độ sáng của nguồn sáng LED sử dụng chip XHP50 [6].

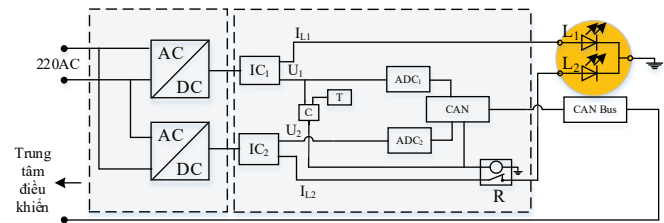
Đối với yêu cầu về góc khuếch tán ánh sáng, với kích thước của chip LED như minh họa ở hình 3A, thiết kế được đèn LED sử dụng làm nguồn sáng cho đèn tín hiệu đường sắt như ở hình 3B, trong đó: i) 2 chip LED đặt cạnh nhau, đóng vai trò của sợi đốt chính và sợi đốt dự phòng; tâm của 2 chip LED cách nhau 2 mm, khoảng cách này nhỏ hơn khoảng cách giữa 2 sợi đốt, thêm vào đó ánh sáng từ chip LED phân bố đều trong phạm vi bán kính 5 mm nên trong trường hợp chuyển sáng chip LED dự phòng, góc khuếch tán ánh sáng của đèn tín hiệu sẽ không thay đổi nhiều so với khi chip LED chính sáng; ii) Vị trí tương đối của các chip LED với kính màu và thấu kính tạo thành hệ quang học đảm bảo góc khuếch tán ánh sáng đáp ứng yêu cầu quy định trong TCCS 10:2014/VNRA.



Hình 3. Kích thước của chip LED (A) [6], bóng LED trong đèn tín hiệu đường sắt (B).

Mạch điều khiển, giám sát

Đèn LED không tắt đột ngột như tình huống đứt sợi đốt, thay vào đó cường độ sáng của đèn LED sẽ suy giảm dần theo thời gian, do đó nhiệm vụ của mạch điều khiển là giám sát cường độ sáng của chip LED chính, kích hoạt chip LED dự phòng làm việc thay thế chip LED chính trong trường hợp phát hiện cường độ sáng của chip LED chính thấp dưới ngưỡng xác định trước. Cấu tạo của mạch điều khiển giám sát được thể hiện ở hình 4. Trong đó, bóng đèn gồm chip LED chính L_1 và chip LED dự phòng L_2 , mỗi chip LED có một bộ nguồn riêng. IC_1 , IC_2 dùng đo cường độ dòng I_{L1} , I_{L2} cấp cho L_1 , L_2 , kết quả đo là tín hiệu U_1 , U_2 trong khoảng 0-5 V tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện chạy qua chip LED từ 0 đến I_{max} và cường độ sáng của chip LED là 0- L_{max} . U_1 được so sánh với ngưỡng T để kiểm tra điều kiện cường độ sáng của đèn lớn hơn mức tối thiểu cho phép, kết quả so sánh được dùng để lựa chọn chip LED L_2 làm việc thông qua điều khiển đóng/cắt tiếp điểm của các relay R.



Hình 4. Nguyên lý làm việc của mạch điều khiển giám sát đèn tín hiệu.

Trong nghiên cứu này, IC MAX4080TASA+T được sử dụng để đo cường độ dòng tiêu thụ của chip LED, IC này được tích hợp trong mạch đo cường độ dòng điện có các thông số làm việc như sau:

- Đầu vào: Cường độ dòng điện chạy qua chip LED, giá trị trong khoảng 0-2000 mA.

- Đầu ra: Điện áp tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện chạy qua chip LED, giá trị trong khoảng 0-5 V, tương ứng với dòng điện chạy qua chip LED 0-2000 mA và cường độ sáng của chip LED là 0- L_{max} .

Bộ nguồn chế tạo trong nghiên cứu này có khả năng cấp dòng cực đại $I_{max}=2000$ mA, điện áp một chiều 12 V, mỗi chip LED được trang bị một bộ nguồn riêng nhằm đảm bảo khả năng dự phòng.

Nguyên lý làm việc của mạch

Khi đèn được cấp nguồn, dòng điện I_{L1} được đo trị số bằng IC_1 , kết quả đo là điện áp U_1 tỷ lệ thuận với cường độ dòng I_{L1} , U_1 được so sánh với ngưỡng T, nếu U_1 lớn hơn T, tiếp điểm R sẽ mở, tương ứng với L_2 sẽ tắt đi sau khi L_1 sáng ổn định. Nếu U_1 nhỏ hơn ngưỡng T (tương ứng cường độ sáng L_1 thấp hơn mức yêu cầu), tiếp điểm R sẽ đóng để cấp điện thấp sáng L_2 , khi đó cả 2 chip LED đều sáng, đồng thời hệ thống giám sát sẽ gửi tín hiệu báo động về trung tâm, trong khoảng thời gian đợi thay thế sửa chữa, bóng đèn vẫn có thể hoạt động với cường độ sáng đáp ứng mức yêu cầu nhờ 2 chip LED cùng sáng bổ sung cho nhau.

Việc xác định ngưỡng T được thực hiện thông qua đo trị số U_1 tại cường độ sáng của L_1 thấp hơn mức yêu cầu. Giá trị ngưỡng T được xác định thông qua đặc tuyến tại hình 2 và thực nghiệm như ở bảng 1.

Bảng 1. Xác định ngưỡng cường độ sáng cho chip LED L_1 .

TT	Điện áp nguồn (V)	Vào đèn (V)	Dòng điện trên chip LED (mA)	Quang thông đèn tín hiệu (Lm)	U_1 (V)	Đầu ra ADC ₁	Ghi chú
1	12,4	12,15	1.120	1.820	2,55	0x201	
2	12,3	12,1	1.024	1.682	2,3	0x1D5	
3	12,1	11,9	822	1.416	1,9	0x178	
4	11,9	11,7	707	1.350	1,6	0x143	Vùng làm việc hiệu quả
5	11,7	11,6	600	1.081	1,4	0x111	
6	11,6	11,5	550	1.000	1,25	0x0FA	Ngưỡng chuyển chip LED

Kết quả thực nghiệm ở bảng 1 cho thấy, mức quang thông của đèn LED cao hơn yêu cầu trong TCCS 10:2014/VNRA khi $U_1 > 1,25$ V, vậy ta có thể chọn ngưỡng kích hoạt chip dự phòng là $T=1,25$ V. Để đảm bảo khả năng làm việc ổn định và tuổi thọ của bóng đèn, theo khuyến cáo từ nhà sản xuất cần duy trì dòng làm việc trong phạm

vi 60-80% công suất tối đa, tương ứng với dòng điện đi qua bóng là 700-750 mA.

Ngoài dùng để đóng/cắt mạch cấp nguồn cho chip LED, điện áp U_1 , U_2 mang thông tin về cường độ sáng hiện tại của chip LED sẽ được chuyển đổi thành giá trị số bằng các bộ ADC₁, ADC₂ để truyền về trung tâm phục vụ giám sát, phát hiện các dấu hiệu bất thường, cảnh báo sớm sự cố, hỗ trợ chẩn đoán, bảo trì hệ thống. Trên cơ sở phân tích số liệu thu thập được về cường độ dòng điện tiêu thụ của chip LED theo thời gian, hệ thống giám sát có thể dự báo thời điểm cần bảo trì, thay thế bóng đèn tín hiệu nhằm hạn chế các tình huống hỏng hóc bất thường.

Mạng Bus Can (Controller area network) [7, 8] được sử dụng để kết nối các bộ điều khiển đèn và máy tính giám sát tại nhà ga bằng một cặp dây dẫn là Can_H (Can high) và CAN_L (Can low). Tín hiệu trên Bus Can được điều chế theo kỹ thuật vi sai, mức logic 0 hoặc 1 sẽ được xác định căn cứ trên sự chênh lệch điện áp giữa Can_H và Can_L, cơ chế làm việc này giúp cho Bus Can phù hợp với các môi trường nhiễu điện từ cao như trong nhà ga đường sắt. Ngoài ra, các giao thức của Bus Can đem lại cho hệ thống các ưu điểm quan trọng như: truyền dữ liệu với mức độ tin cậy cao nhờ cơ chế kiểm soát truy cập, kiểm soát lỗi; cấu trúc mạng linh hoạt, các node mạng có thể được kết nối vào hệ thống mà không cần các thao tác cấu hình hòa mạng, đặc điểm này cho phép thêm/bớt các bộ điều khiển đèn trên mạng mà không làm ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống. Cách thức làm việc này cho phép công tác bảo trì, sửa chữa hệ thống có thể thực hiện mà không làm gián đoạn hoạt động chạy tàu.

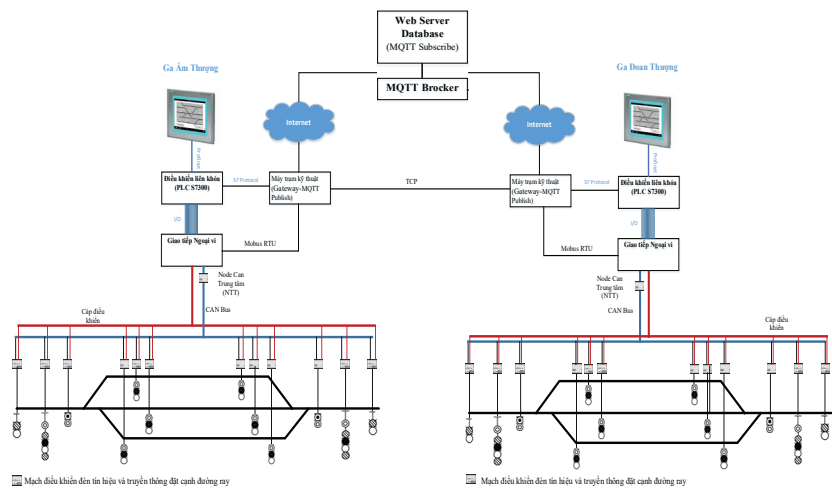
Dữ liệu trạng thái của các đèn được gửi về phòng điều khiển qua mạng Can, tại đây tín hiệu chuyển sợi đốt (nếu có) được cảnh báo trên màn hình HMI của trực ban chạy tàu, số liệu về cường độ sáng được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu cục bộ tại máy trạm kỹ thuật phục vụ chẩn đoán trong trường hợp có sự cố. Máy trạm kỹ thuật đồng thời đóng vai trò là gateway trong mô hình IoT thu thập số liệu trạng thái hoạt động của hệ thống phục vụ các chức năng bảo trì thông minh.

Thử nghiệm hệ thống

Sản phẩm đã được lắp đặt thử nghiệm tại 2 ga Ấm Thượng và Đoàn Thượng từ đầu năm 2021. Quy mô thử nghiệm gồm 2 hệ thống đèn tín hiệu hoàn chỉnh lắp đặt trên 2 ga với tổng số 24 cột đèn tín hiệu, 72 đèn tín hiệu được bố trí trên mặt bằng ga và khu gian giữa 2 ga theo quy cách của ngành đường sắt (hình 5). Mục đích của việc thử nghiệm là đánh giá khả năng làm việc của hệ thống đèn tín hiệu sử dụng công nghệ LED trong điều kiện thực tế, bao gồm khả năng hoạt động ổn định, tin cậy, các chức năng giám sát cường độ sáng, cảnh báo sự cố, truyền thông với hệ thống liên khóa... Trong quá trình thử nghiệm, hệ thống thực hiện tốt các bài kiểm tra về khả năng vận hành theo các tình huống thực tế và quy trình nghiệp vụ của ngành đường sắt. Các đèn tín hiệu đáp ứng yêu cầu về cường độ sáng và chức năng giám sát, cảnh báo theo yêu cầu, đặc biệt đèn tín hiệu dùng bóng LED được thiết kế, chế tạo trong phạm vi nghiên cứu đã thể hiện được khả năng làm việc liên tục mà không cần thay thế trong thời gian hơn một năm thử nghiệm.

Kết luận

Sản phẩm đèn tín hiệu được phát triển trong nghiên cứu này khai thác các thế mạnh của công nghệ LED, đem lại các lợi ích và tính năng



Mạch điều khiển đèn tín hiệu và truyền thông dữ liệu đường ray

Hình 5. Hệ thống đèn tín hiệu sử dụng công nghệ LED.

quan trọng cho hệ thống như:

- Nâng cao độ tin cậy, ổn định cho hệ thống đèn tín hiệu nhờ giảm thiểu nguy cơ hỏng đột suất so với đèn sợi đốt do khắc phục được các điểm yếu của đèn sợi đốt như: loại bỏ dòng xung kích tại thời điểm khởi động, có khả năng làm việc ở chế độ bật/tắt thường xuyên, chịu được dao động cơ học.

- Giảm chi phí bảo trì, sửa chữa, vận hành hệ thống nhờ khả năng làm việc ổn định, tuổi thọ cao và tiết kiệm điện.

- Có thể triển khai trên hạ tầng hiện có: Đèn LED được thiết kế để có thể lắp đặt trực tiếp vào các cơ cấu đèn hiện có, kết hợp với kính màu và thấu kính để tạo góc khuếch tán ánh sáng tương tự hệ thống dùng đèn sợi đốt.

Công nghệ IoT được tích hợp trong hệ thống cho phép thu thập dữ liệu trạng thái từng thiết bị theo thời gian thực, lượng dữ liệu này cho phép triển khai các chức năng nâng cao như chẩn đoán sự cố, bảo trì thông minh, dự báo thời điểm cần thay thế, bảo trì thiết bị tính năng này góp phần nâng cao khả năng vận hành tin cậy, ổn định cho hệ thống.

LỜI CẢM ƠN

Giải pháp giới thiệu trong bài báo này là một trong số các kết quả nghiên cứu thuộc nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp quốc gia mã số ĐTĐLCN.12/17 do Viện Ứng dụng Công nghệ chủ trì. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cục Đường sắt Việt Nam (2014), *Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 10:2014/VNRA - Tiêu chuẩn vật tư, vật liệu, thiết bị, linh kiện sử dụng trong công tác bảo trì công trình Thông tin Tín hiệu đường sắt*.
- [2] U.S. Department of Energy (2019), *2019 Lighting R&D Opportunities*.
- [3] E.F. Schubert (2018), *Light - Emitting Diodes* (3rd Edition), 672pp, Cambridge University Press.
- [4] International Commission on Illumination (2003), *The Maintenance of Outdoor Lighting Systems*, CIE 154:2003.
- [5] <https://www.zelisko.com/del>.
- [6] <https://assets.cree-led.com/a/ds/x/XLamp-XHP50.2.pdf>.
- [7] W. Lawrenz (1997), *CAN System Engineering from Theory to Practical Applications*, Springer New York Publisher.
- [8] https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf.