

Thiết kế, chế tạo hệ thống liên khóa điều khiển chạy tàu ga điện khí tập trung sử dụng vi điều khiển

■ **ThS. ĐẶNG QUANG THẠCH**

Viện Ứng dụng công nghệ

■ **ThS. NGUYỄN VĂN SINH; ThS. NGUYỄN VĂN ĐÁP**

Tổng công ty Đường sắt Việt Nam

■ **ThS. ĐỖ VĂN THĂNG**

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Trong hệ thống tín hiệu đường sắt, thiết bị liên khóa có nhiệm vụ thiết lập, kiểm soát điều kiện ràng buộc giữa các nhóm thiết bị: đường chạy - ghi - tín hiệu nhằm đảm bảo không tồn tại xung đột trên đường chạy của các đoàn tàu trong cùng một ga hoặc giữa hai ga kề cận. Liên khóa là hệ thống có cấu trúc phức tạp, đòi hỏi đáp ứng nhiều tiêu chuẩn về an toàn, tin cậy và ổn định. Hiện tại, các hệ thống này chỉ được cung cấp qua các kênh độc quyền, kéo theo các vấn đề về phụ thuộc công nghệ, vật tư thay thế trong quá trình vận hành.

Bài báo giới thiệu về hệ thống liên khóa được thiết kế, chế tạo trong nước - một trong các kết quả thực hiện nhiệm vụ khoa học công nghệ cấp Nhà nước mã số ĐTĐL.CN-12/17 do Viện Ứng dụng công nghệ chủ trì, phối hợp với các cơ quan: Tổng công ty Đường sắt Việt Nam, Trường Đại học GTVT và Viện Khoa học và Công nghệ GTVT thực hiện.

TỪ KHÓA: Liên khóa điện tử, liên khóa dựa trên PLC.

ABSTRACT: In railway signaling, an interlocking system is responsible for setting and controlling the binding conditions between groups of objects: routes - switches - signals in order to ensure that there is no conflict on the route of trains in the same station or between two adjacent stations. An interlocking is a system with a complex structure that requires meeting many standards for safety, reliability and stability. Currently, these systems are only provided through proprietary channels, leading to problems of technology dependence and replacement materials during operation.

This article introduces the interlocking system designed and builded in state-level science and technology project with code ĐTĐL.CN-12/17 chaired by National Center for Technological Progress, coordinate with the Vietnam Railways, University of Transport and Communications and Institute of Transport Science and Technology.

KEYWORDS: Electronic interlocking, PLC based interlocking.

1. KHÁI QUÁT VỀ HỆ THỐNG LIÊN KHÓA

Hệ thống liên khóa đóng vai trò trung tâm, giải quyết các vấn đề đảm bảo an toàn và hiệu năng cho hệ thống điều khiển chạy tàu. Đến nay, hệ thống liên khóa đã qua các giai đoạn phát triển như sau:

- *Hệ thống khóa cơ khí và cơ điện:* Sử dụng cơ cấu cơ khí hoặc cơ khí kết hợp cơ cấu điện để thực hiện chức năng liên khóa. Hệ thống liên khóa cơ điện chủ yếu được vận hành ở chế độ thủ công, do đó hoạt động phụ thuộc khá nhiều vào các yếu tố chủ quan, thời gian thiết lập hoặc giải phóng một đường chạy chậm.

- *Hệ thống liên khóa relay:* Gồm tập hợp các relay kết nối theo mạch logic xác định nhằm phát hiện, ghi nhận và thiết lập trạng thái của từng thiết bị, kiểm tra điều kiện ràng buộc giữa các thiết bị điều khiển chạy tàu. Hệ thống liên khóa relay có khả năng điều khiển tự động các thiết bị chấp hành theo cơ chế khi trạng thái của mỗi thiết bị thay đổi sẽ tạo ra tín hiệu kích hoạt mạch điện relay khóa (hoặc mở khóa) các thiết bị khác theo nguyên tắc loại trừ khả năng xung đột giữa các đường chạy. So với thiết bị liên khóa cơ khí hoặc cơ điện, liên khóa relay giảm thiểu sự can thiệp của con người, nhờ đó nâng cao độ chính xác, giảm thời gian lập và giải phóng đường chạy. Tuy nhiên, mạch relay biểu diễn quan hệ liên khóa thường rất phức tạp, gây khó khăn cho hoạt động bảo trì, hiệu chỉnh, sửa chữa hoặc mở rộng hệ thống; chi phí xây dựng và vận hành cao do việc sử dụng nhiều kim loại quý trong thiết bị; kết cấu cơ khí của các relay đòi hỏi thường xuyên phải duy tu, bảo dưỡng; kết cấu cổng kênh, chiếm dụng nhiều không gian do mạch điện tổ hợp từ rất nhiều relay; năng lượng tiêu thụ lớn.

- *Hệ thống liên khóa điện tử (liên khóa vi xử lý, liên khóa vi điều khiển, liên khóa máy tính):* Liên khóa điện tử có kết cấu nhỏ gọn nhờ việc thay thế mạch điện tổ hợp từ các relay bằng các phần mềm, chạy trên các vi mạch chuyên dụng. Các biểu thức logic biểu diễn quan hệ liên khóa được thực hiện bằng các câu lệnh của ngôn ngữ lập trình nên thuận lợi cho việc sửa đổi nâng cấp khi cần thiết. Tuy nhiên, các hệ thống liên khóa điện tử nhập khẩu tại Việt Nam hiện nay thường có cấu trúc đóng, việc điều chỉnh các tính năng chỉ có thể thực hiện khi được nhà sản xuất chuyển giao công nghệ.

2. THIẾT KẾ CHẾ TẠO HỆ THỐNG LIÊN KHÓA VI ĐIỀU KHIỂN

Phát triển hệ thống liên khóa vi điều khiển dựa trên bộ

điều khiển logic khả trình (Programmable Logic Controller - PLC based interlocking) là nội dung được quan tâm nghiên cứu tại nhiều nước có hệ thống đường sắt quốc gia phát triển như Đức, Thổ Nhĩ Kỳ, Bun-ga-ri... Các chủ đề được quan tâm bao gồm: nghiên cứu thiết kế, phát triển phần cứng, phần mềm trong hệ thống liên khóa dựa trên PLC [1]; nghiên cứu xây dựng các phương pháp, công cụ kiểm tra đánh giá đảm bảo an toàn cho hệ thống liên khóa dựa trên PLC [2, 3]. Một trong những hệ thống liên khóa dựa trên PLC phổ biến hiện nay là Trackguard Sicas S7 của Siemens [4], hệ thống này đạt mức toàn vẹn an toàn cao nhất (SIL4), hiện đã được triển khai tại các nước Hà Lan, Đức, Ấn Độ, Nam Phi.

Trong nghiên cứu này, hệ thống liên khóa vi điều khiển dựa trên PLC được xây dựng như sau:

- Mô hình hóa hệ thống bằng tập các hàm logic phản ánh cơ chế vận hành và quan hệ liên khóa giữa các thiết bị trên một mặt bằng ga cụ thể. Mỗi hàm logic trong hệ thống liên khóa có biến vào là trạng thái của đèn tín hiệu, ghi, đường chạy liên quan và thiết bị đóng đường; biến ra là các giá trị logic điều khiển đèn tín hiệu, ghi, thiết bị đóng đường.

- Tập hợp các hàm logic kể trên được cài đặt dưới dạng phần mềm liên khóa chạy trên nền tảng của bộ điều khiển logic khả trình. Phần mềm liên khóa được thiết kế và xây dựng theo kiến trúc mô-đun, mỗi mô-đun tương ứng với một cụm thiết bị trong ga, gồm: cụm tín hiệu báo trước, cụm tín hiệu vào ga, cụm tín hiệu dẫn tàu, cụm tín hiệu ra ga, cụm tín hiệu ghi, cụm tín hiệu khu đoạn/khu gian... Thiết kế này cho phép điều chỉnh linh hoạt phần mềm theo mặt bằng ga và quy trình nghiệp vụ điều khiển chạy tàu trên ga.

- Hệ thống liên khóa được thiết kế theo kiến trúc an toàn 3 lấy 2 (2 out of 3 - 2oo3). Theo đó, phần mềm liên khóa được cài trên 3 PLC giống nhau, tạo thành ba bộ xử lý liên khóa (XLLK) chạy song song và xử lý cùng một tập dữ liệu đầu vào. Kết quả từ ba bộ XLLK được tổng hợp theo nguyên tắc đầu ra chỉ được chấp nhận khi có ít nhất hai bộ XLLK cho kết quả trùng nhau.

- Để tăng cường tính an toàn và khả năng làm việc tin cậy, Bộ XLLK được phát triển trên nền tảng hệ thống an toàn khi có sự cố (fail-safe automation systems) của Siemens có tên SIMATIC S7 F/FH (sản phẩm được chứng nhận cấp độ toàn vẹn an toàn (Safety Integrity Level) mức 3 - SIL3). Hệ thống liên khóa điều khiển, giám sát các thiết bị chấp hành gồm ghi và đèn tín hiệu thông qua Giao diện vào/ra. Cấu trúc này cho phép bộ điều khiển liên khóa tương thích với nhiều loại động cơ quay ghi, đèn tín hiệu, hệ thống đếm trục của các nhà sản xuất khác nhau nhờ khả năng điều chỉnh linh hoạt Giao diện vào/ra để hỗ trợ các chuẩn giao tiếp tương ứng. Hệ thống liên khóa điều khiển chạy tàu có cấu trúc được mô tả trong Hình 2.1, cụ thể như sau:

1 - Bộ xử lý liên khóa: Gồm 03 PLC S7-300 CPU 315F-2DP, chạy phần mềm liên khóa song song và độc lập nhau.

2 - Mạch chia tín hiệu đầu vào: Thực hiện việc đưa tín hiệu đầu vào đến 3 bộ XLLK một cách đồng thời.

3 - Mạch tổng hợp kết quả đầu ra: Thực hiện việc so sánh kết quả của 3 bộ XLLK, nếu thỏa mãn điều kiện có ít nhất 2 bộ XLLK cho kết quả trùng nhau (2oo3) thì tín hiệu được đưa đến giao diện vào/ra để điều khiển các thiết bị chấp hành.

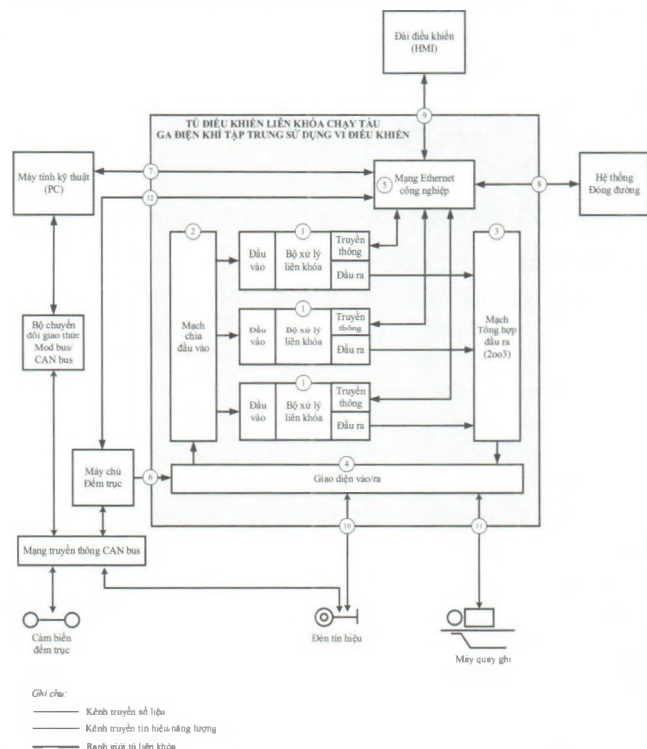
4 - Giao diện vào/ra: Thực hiện kết nối bộ XLLK và thiết bị chấp hành ngoại vi. Giao diện chiếu ra gồm tập hợp các relay được điều khiển bởi bộ XLLK để đóng/cắt nguồn điện cấp cho các thiết bị động cơ ghi và đèn tín hiệu. Giao diện chiếu vào nhận kết quả xử lý từ hệ thống đếm trục, tín hiệu từ tập hợp các cảm biến dòng, cảm biến tiếp xúc... cung cấp thông tin về trạng thái làm việc của các thiết bị và đường chạy.

5 - Mạng Ethernet công nghiệp: Phần cứng cung cấp khả năng truyền số liệu với độ tin cậy và tốc độ cao, các giao thức chuyên dụng trên nền TCP/IP như Modbus TCP, S7Protocol với khả năng phát hiện và sửa lỗi truyền thông được sử dụng để trao đổi dữ liệu giữa Bộ XLLK, đài điều khiển, máy tính kỹ thuật, hệ thống đóng đường, máy chủ đếm trục.

6 - Giao diện kết nối kênh tín hiệu của hệ thống đếm trục: Kết nối kênh đầu ra dạng tín hiệu logic của hệ thống đếm trục với đầu vào của hệ thống XLLK. Tín hiệu đầu ra logic của hệ thống đếm trục (biểu diễn trạng thái trạng thái thanh thoát/chiếm dụng của các khu đoạn đường ray) được đưa đến Giao diện vào/ra (4), sau đó qua mạch chia tín hiệu (2) để đưa đến đầu vào bộ XLLK (1).

7 - Giao diện kết nối máy tính kỹ thuật: Sử dụng chuẩn truyền thông Ethernet công nghiệp, kết nối máy tính PC thực hiện các chức năng cấu hình, giám sát, chẩn đoán và bảo trì hệ thống.

8 - Giao diện kết nối hệ thống đóng đường: Sử dụng chuẩn truyền thông Ethernet công nghiệp để truyền/nhận thông tin đón/gửi tàu với thiết bị đóng đường.



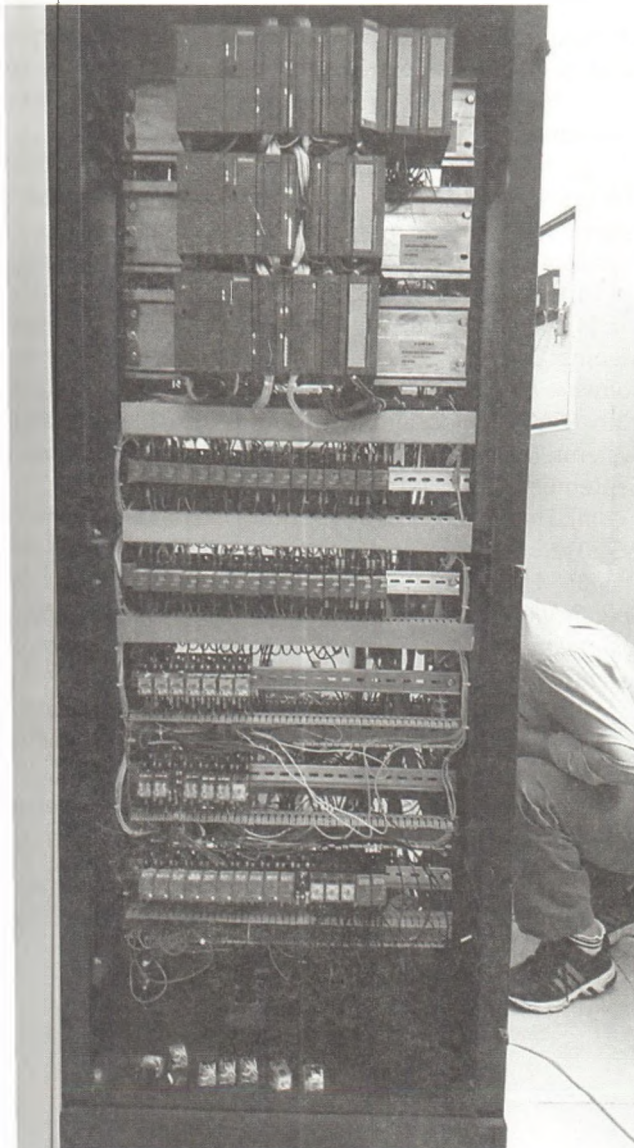
Hình 2.1: Cấu trúc thiết bị liên khóa vi điều khiển

9 - Giao diện kết nối Đài không chế: Sử dụng chuẩn truyền thông Ethernet công nghiệp để truyền/nhận dữ liệu với Đài không chế.

10 - Giao diện kết nối với các đèn tín hiệu: Truyền năng lượng và tín hiệu phục vụ điều khiển các đèn tín hiệu.

11 - Giao diện kết nối với các máy quay ghi: Truyền năng lượng và tín hiệu phục vụ điều khiển các máy quay ghi.

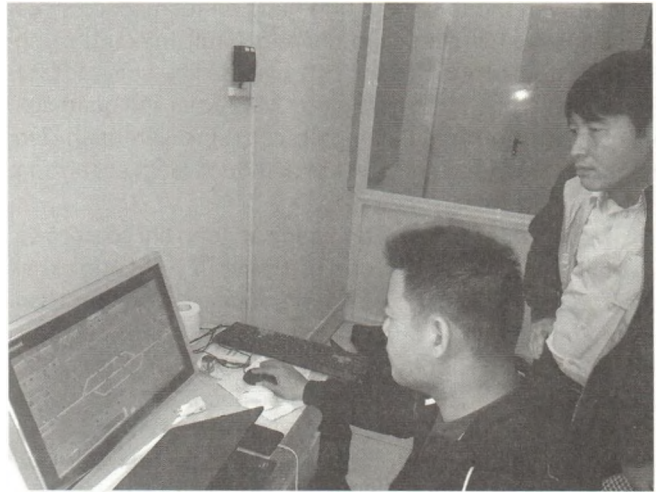
12 - Giao diện kết nối kênh số liệu của hệ thống đếm trực: Trạng thái và kết quả đếm trực được truyền về bộ XLLK qua chuẩn Ethernet công nghiệp.



a)



b)



c)

Hình 2.2: (a) - Tủ liên khóa; (b) - Lắp đặt thiết bị liên khóa tại ga Âm Thượng; (c) - Vận hành hệ thống liên khóa tại ga Âm Thượng

3. GIẢI PHÁP ĐẢM BẢO CHẤT LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG

Trong quá trình phát triển hệ thống, các tiêu chuẩn thuộc họ EN 5012X được tham chiếu phục vụ xác định, lựa chọn và thực hiện các phương pháp nhằm đạt được các mục tiêu về độ tin cậy, tính khả dụng, khả năng bảo trì và an toàn cho hệ thống tương đương mức SIL3, các tiêu chuẩn quan trọng và phạm vi áp dụng tương ứng của chúng trong nghiên cứu này bao gồm:

- EN 50126[5]: Được áp dụng để xác định và đảm bảo độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo trì và an toàn (RAM) cho toàn bộ hệ thống điều khiển chạy tàu. Trong khi áp dụng EN 50126, hệ thống liên khóa được coi là một hệ thống con trong hệ thống điều khiển chạy tàu và được xác định chỉ tiêu chấp nhận RAM phù hợp với các chức năng mà hệ thống này cần thực hiện. Các yêu cầu và chỉ tiêu RAM sẽ được xem xét để đưa ra phương án kỹ thuật cụ thể cho phần cứng và phần mềm ở các giai đoạn áp dụng Tiêu chuẩn EN 50129, EN 50128.

- EN 50128[6]: Được áp dụng để quản lý chất lượng và các tính năng an toàn nhằm đáp ứng mức toàn vẹn về an toàn phần mềm tương ứng với mức SIL3. Các phần mềm thuộc hệ thống liên khóa gồm có: phần mềm XLLK được lập trình để chạy trên nền tảng PLC, phần mềm điều khiển giám sát dành cho trực ban cài đặt trên nền tảng PC. Các phần mềm này được thiết kế theo hướng mô-đun hóa nhằm đảm bảo tính độc lập giữa các chức năng an toàn ở mức SIL3 và các chức năng yêu cầu mức SIL thấp hơn. Đặc biệt, phần mềm XLLK được phát triển bằng công cụ, thư viện trong hệ thống SIMATIC S7 F/FH đã được chứng nhận đáp ứng mức toàn vẹn an toàn phần mềm SIL3.

- EN 50129[7]: Được áp dụng trong thiết kế cấu trúc an toàn cho phần cứng và xác định các kỹ thuật, phương tiện cần sử dụng để đảm bảo phần cứng của hệ thống liên khóa đáp ứng mức toàn vẹn an toàn tương đương SIL3. Cụ thể, phần cứng của hệ thống được xây dựng theo kiến trúc an toàn 2oo3 thông qua sử dụng 03 PLC CPU 315F-2DP, kỹ

thuật truyền thông với các tính năng an toàn khi có sự cố (fail-safe) và khả năng chấp nhận lỗi (fault-tolerant) trong S7 F/H Systems được sử dụng để truyền số liệu giữa các CPU PLC. Các giải pháp trên giúp giải quyết các lỗi liên quan đến xử lý và truyền số liệu, đảm bảo các rủi ro liên quan đến hệ thống, hệ thống con, thiết bị đều được kiểm soát trong phạm vi có thể chấp nhận được.

Như đã đề cập ở trên, tính năng an toàn khi có sự cố và khả năng chấp nhận lỗi trong hệ thống S7 F/FH được khai thác để giải quyết các yêu cầu về mức toàn vẹn an toàn cho cả phần cứng và phần mềm trong hệ thống liên khóa. Hệ thống S7 F/FH gồm tập hợp thiết bị phần cứng, phần mềm và giao thức truyền thông an toàn. Về phần cứng, dòng PLC SIMATIC S7-300 CPU 315F-2DP (có tính năng fail-safe) được sử dụng để triển khai cấu trúc an toàn 2oo3 và khả năng chấp nhận lỗi (fault-tolerant) cho hệ thống liên khóa. Gói phần mềm S7 F-Systems gồm bộ công cụ cấu hình và lập trình cho hệ thống S7 F/FH được sử dụng cho các mục đích sau:

- Cấu hình mô-đun vào/ra fail-safe F-I/O thực hiện các kiến trúc an toàn khác nhau (ví dụ như 2oo3) trên cùng một mô-đun;

- Phát triển chương trình an toàn sử dụng thư viện F-library với các khối F-blocks;

- Phát triển các chức năng phát hiện lỗi trong chương trình an toàn;

- Sử dụng giao thức truyền thông an toàn PROFIsafe nhằm phát hiện và sửa lỗi trong quá trình truyền thông giữa các thành phần trong hệ thống.

Như vậy, bằng việc sử dụng S7 F/FH, hệ thống liên khóa đã được tích hợp các tính năng an toàn khi có sự cố và khả năng chấp nhận lỗi, các F-block (khối hàm và cấu trúc dữ liệu an toàn trong F-library) với các trường thông tin mở rộng phục vụ phát hiện và phản ứng khi có sự cố được bổ sung vào chương trình. Khi đó, các sự cố hoặc lỗi phát sinh sẽ được F/FH-Systems phát hiện và kích hoạt các phản ứng thích hợp nhằm giữ cho hệ thống ở trạng thái hoạt động bình thường hoặc đưa hệ thống về trạng thái an toàn khi có sự cố.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống liên khóa điều khiển chạy tàu ga điện khí tập trung sử dụng công nghệ vi điều khiển được thiết kế, chế tạo trong nghiên cứu này phù hợp với loại hình ga điện khí tập trung quy mô vừa và nhỏ. Sản phẩm của Đề tài đã được thử nghiệm tại hai ga Ấm Thượng và Đoan Thượng từ đầu năm 2021. Trong quá trình thử nghiệm, hệ thống đáp ứng tốt yêu cầu trong các bài kiểm tra khả năng vận hành theo các chức năng thiết kế và tình huống thực tế, qua đó đã thể hiện được các tính năng an toàn khi có sự cố và khả năng chịu lỗi theo yêu cầu trong SIL3.

Kết quả đề tài này là bước tiến trong lộ trình làm chủ công nghệ thiết kế, chế tạo các hệ thống tự động hóa điều khiển chạy tàu trong nước, tạo ra sản phẩm có khả năng thay thế sản phẩm nhập ngoại, góp phần phát triển ngành công nghiệp và dịch vụ đường sắt như mục tiêu đặt ra trong "Quy hoạch phát triển mạng lưới đường sắt thời

kỳ 2021 - 2030 tầm nhìn đến 2050" mới được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 1769/QĐ-TTg, ngày 19/10/2021.

Tài liệu tham khảo

[1]. Reiner Saykowski, Elferik Schultz and Joachim Bleidiessel; Alister 2.0, *Programmable Logic Controllers in Railway Interlocking Systems for Regional Lines of the DB Netze AG*, Funkwerk Information Technologies GmbH Edisonstraße 3, 24145 Kiel, Germany.

[2]. M. S. Durmus, U. Yildirim, M. T. Söylemez (2013), *The application of automation theory to railway signaling systems: The Turkish National Railway Signaling Project*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, vol.19, Issue 5, pp.216-223.

[3]. İlhan Mutlu, Ali Fuat Ergenc, Tolga Ovatman, Mehmet Turan Soylemez (2012), *Design of a Hardware and Software based Test Bed for Railway Signalization Systems*, 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, The International Federation of Automatic Control September 12-14, Sofia, Bulgaria.

[4]. *Trackguard Sicas S7 electronic interlocking*, Siemens AG 2012.

[5]. EN 50126, Part 2 Railway Applications, *The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), Systems Approach to Safety*.

[6]. EN 50128, *Railway applications - Communication, signalling and processing systems*, Software for railway control and protection systems.

[7]. EN 50129, *Railway applications - Communication, signalling and processing systems*, Safety related electronic systems for signalling.

Ngày nhận bài: 21/5/2022

Ngày chấp nhận đăng: 18/6/2022

**Người phản biện: GS. TS. Lê Hùng Lân
TS. Lại Mạnh Dũng**