



DESIGN AND MANUFACTURING OF AXLE COUNTING EQUIPMENT USING ELECTROMAGNETIC INDUCTION METHOD

Nguyen Thanh Hai^{1*}, Dang Quang Thach², Co Nhu Van¹, Tran Van Khuyen¹

¹University of Transport and Communications, No. 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²National Center for Technological Progress, 25 Le Thanh Tong, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 19/06/2021

Revised: 16/10/2021

Accepted: 14/12/2021

Published online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.10>

* *Corresponding author*

Email: nguyenthanhhai@utc.edu.vn; Tel: +84 913233209

Abstract. The axle counting equipment is one of the important devices in the railway signal control system, which helps the system to operate safely and accurately. Currently, the axle counting devices commonly used in the Vietnamese railway signaling system are mainly imported. This article presents a solution for manufacturing axle counting equipment for Vietnamese railways. The operation principle of the axle counting sensor is based on the change of the magnetic flux through the receiving coil when the wheel passes the sensors. The signal processing of the axle counter based on the amplitude and phase of the voltage received from the receiver coil will recognize the state of the wheel occupying the sensor space. Sensors and processing circuits have been successfully fabricated and tested on several routes in Vietnam railways. The results show that the signal threshold between passing train and no train is clearly distinctive. The count value of axle is transmitted to the control center through a highly reliable CAN communication network. The manufactured devices can be applied to Automatic Warning System at level crossings, Automatic Block Signaling, Centralized Traffic Control.

Keywords: Axle Counter, Signal Processing, Split Phase, Centralized Traffic Control.

© 2021 University of Transport and Communications



THIẾT KẾ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐẾM TRỤC SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Nguyễn Thanh Hải^{*1}, Đặng Quang Thạch², Cồ Như Văn¹, Trần Văn Khuyến¹

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Viện ứng dụng công nghệ, 25 Lê Thánh Tông, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 19/06/2021

Ngày nhận bài sửa: 16/10/2021

Ngày chấp nhận đăng: 14/12/2021

Ngày xuất bản online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.10>

* Tác giả liên hệ

Email: nguyenthanhai@utc.edu.vn; Tel: +84 913233209

Tóm tắt. Bộ đếm trục là một thiết bị quan trọng để hệ thống điều khiển tín hiệu đường sắt hoạt động an toàn và chính xác. Hiện nay thiết bị đếm trục nhập khẩu được dùng phổ biến trong hệ thống tín hiệu đường sắt, bài báo này đưa ra giải pháp chế tạo thiết bị đếm trục sử dụng cho đường sắt Việt nam. Nguyên lý của cảm biến dựa vào sự thay đổi từ thông qua cuộn thu khi bánh tàu đi qua cảm biến, mạch xử lý tín hiệu căn cứ vào biên độ và pha điện áp từ cuộn thu nhận dạng trạng thái của bánh tàu chiếm dụng vùng không gian đặt cảm biến. Cảm biến và mạch xử lý đã được chế tạo và thử nghiệm trên một số tuyến thuộc đường sắt Việt nam, kết quả cho thấy ngưỡng giữa trạng thái có tàu và không có tàu được phân biệt rõ ràng. Giá trị đếm trục được truyền về trung tâm điều khiển qua mạng truyền thông CAN độ tin cậy cao. Ứng dụng của thiết bị chế tạo có thể được dùng cho ga điện khí tập trung, hệ thống tự động cảnh báo đường ngang, hệ thống đóng đường tự động.

Từ khóa: Đếm trục, Xử lý tín hiệu, Tách pha, Ga điện khí tập trung.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thiết bị đếm trục dùng để kiểm tra sự hiện diện của bánh tàu trên một khu đoạn đường sắt, nó có vai trò quan trọng trong việc đánh giá sự thanh thoát (không chiếm dụng) của một phân khu điều khiển. Nguyên tắc hoạt động dựa trên sự cảm nhận thay đổi từ thông của cuộn dây thu tín hiệu đặt ở một bên ray khi có một bánh tàu chạy qua.

Hiện nay thiết bị đếm trục được dùng rộng rãi trong hệ thống tín hiệu đường sắt, nó dần được thay thế cho mạch điện đường ray truyền thống [1]. Ở Việt nam thiết bị đếm trục được sử dụng trong các dự án trang bị thiết bị điện khí tập trung liên khóa rơ le 6502 trên các tuyến Hà Nội - Lào Cai, Hà Nội - Đồng Đăng của ZTE, dự án trang bị thiết bị liên khóa SSI của Alstoms cho tuyến Hà Nội - Vinh.

Cũng như các thiết bị đặc thù cho đường sắt khác, thiết bị đếm trục của các hãng sản xuất nước ngoài được trang bị đồng bộ với hệ thống điều khiển tín hiệu với giá thành rất cao. Việc tiếp cận công nghệ để thay thế sửa chữa, vận hành gặp nhiều khó khăn, hơn nữa trong ngành đường sắt thiết bị đếm trục còn có thể sử dụng ngoài khu gian như hệ thống tự động cảnh báo đường ngang, đóng đường tự động, hệ thống bảo vệ đoàn tàu ATP ... Nhiều hệ thống cần được thiết kế và chế tạo theo đặc thù vận hành của đường sắt Việt Nam, do đó việc sản xuất được thiết bị đếm trục đảm bảo các tính năng an toàn với giá thành thấp có nhu cầu cấp thiết.

Các công trình công bố đối với thiết bị đếm trục như [2-4] thể hiện nguyên lý hoạt động của cảm biến phát và thu tín hiệu. Công trình [5] phân tích sự ảnh hưởng của góc tới bộ phát với độ nhạy và khả năng chống nhiễu của cảm biến thu dựa trên phương pháp bề mặt phản ứng (RSM), kết quả là đưa ra giải pháp lựa chọn được góc đặt bộ phát phù hợp so với mặt ray. Ở công trình [6] đề xuất phương pháp phân tích từ thông với dạng cảm biến nằm ở một phía của đường ray. Đây là cơ sở nền tảng để phân tích đánh giá và thiết kế thiết bị cảm biến, tuy nhiên trong bài báo chưa đi sâu vào phương pháp xử lý tín hiệu, xử lý nhiễu và truyền dữ liệu về trung tâm điều khiển. Tài liệu [7,8] là hướng dẫn sử dụng và vận hành của thiết bị đếm trục, trên cơ sở này phục vụ việc thiết kế và đánh giá sự hoạt động của thiết bị đếm trục chế tạo.

Công trình [9] đề xuất giải pháp khác khi dùng cảm biến lưới quang để xác định sự biến dạng ray khi có tàu đi qua, phương pháp này đòi hỏi thiết bị phức tạp cũng như khó khăn trong công tác vận hành.

Trên cơ sở phương pháp luận về nguyên lý cảm biến đếm trục, bài báo này đưa ra giải pháp thiết kế chế tạo cảm biến và mạch xử lý tín hiệu đếm trục với mục tiêu ứng dụng cho đường sắt Việt Nam. Thiết bị được chế tạo đã được thử nghiệm và đánh giá thực tế tại ga Giáp bát – Hà Nội và ga Âm Thượng – Phú Thọ.

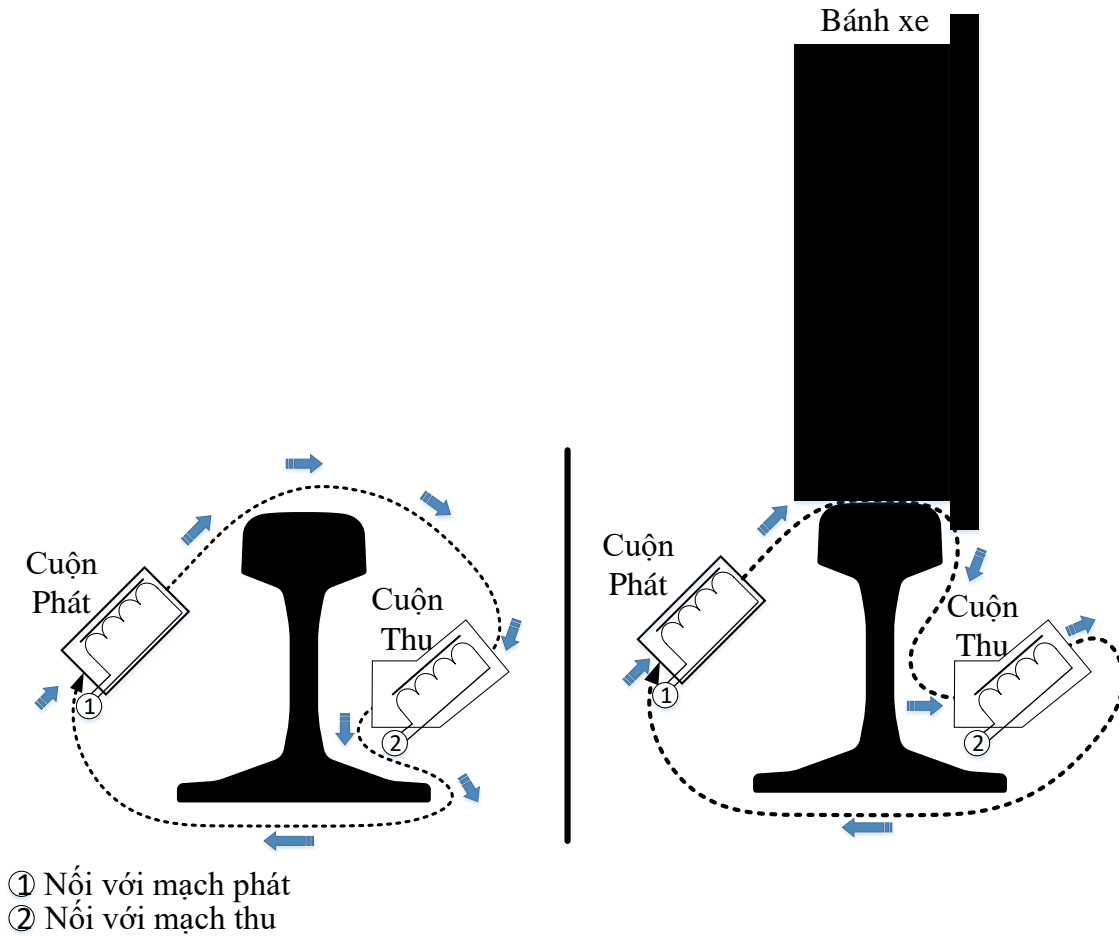
2. THIẾT KẾ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐẾM TRỤC

2.1. Cảm biến đếm trục.

Cảm biến đếm trục được chế tạo trong nội dung bài báo này gồm có 1 cuộn cảm phát và 1 cảm cuộn thu như hình 1. Để phát hiện có bánh tàu chắn cảm biến sẽ căn cứ vào cường độ và

pha của điện áp nhận được ở cuộn thu [1], cơ sở lý thuyết để tính toán mật độ từ thông qua cuộn dây thu sử dụng phương pháp phần tử góc vô hạn (IEE) [2].

Nguyên lý hoạt động của cảm biến như sau: khi cấp nguồn dao động điều hòa vào cuộn phát, phụ thuộc vào góc hướng cuộn phát sẽ tạo ra dòng từ thông đi qua ray hướng đến cuộn thu. Dòng từ thông này sẽ tạo ra điện áp xoay chiều điều hòa trong cuộn thu để đưa vào mạch xử lý. Trong trường hợp có bánh tàu chắn giữa cuộn phát và cuộn thu sẽ làm thay đổi dòng từ thông, nếu bố trí góc hướng của cuộn phát và thu phù hợp dòng từ thông này sẽ đảo chiều trên cuộn thu như ở Hình 1.

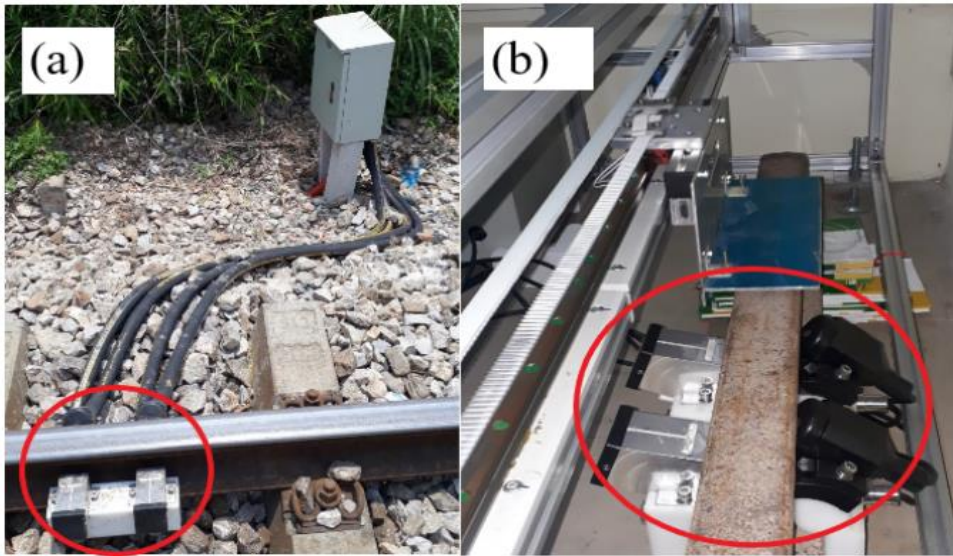


Hình 1. Nguyên lý làm việc của cảm biến đếm trục.

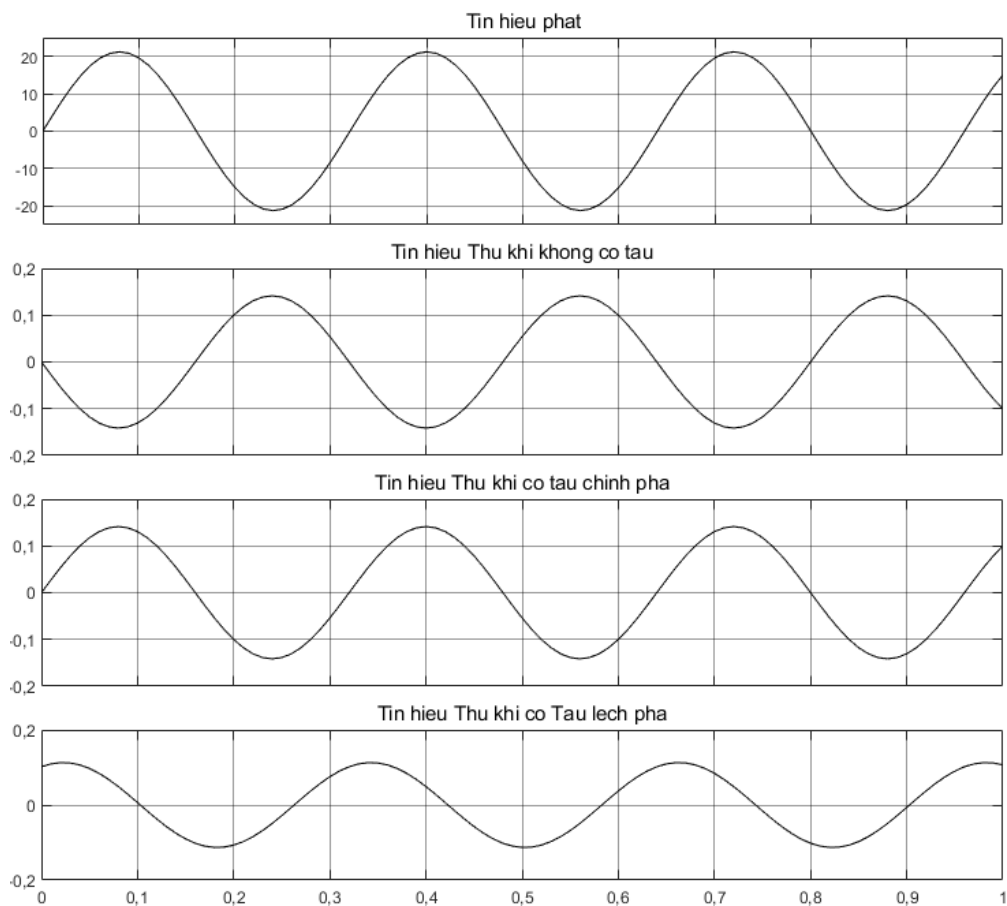
Theo nguyên lý này nhóm nghiên cứu đã chế tạo cảm biến đếm trục có các tham số kỹ thuật như Bảng 1.

Bảng 1 Tham số kỹ thuật của cảm biến.

TT	Loại cảm biến	Tiết diện lõi	Chiều dài	Độ tự cảm cuộn dây	Điện trở thuần
1	Cảm biến phát	3cm×3cm	4,5cm	380μH	480mΩ
2	Cảm biến thu	4cm×4cm	6cm	1,6mH	2,4Ω



Hình 2. Cảm biến ở hiện trường (a) và cảm biến ở bộ mô phỏng bánh tàu (b).



Hình 3. Biên độ và pha của tín hiệu Thu khi có tàu và không có tàu.

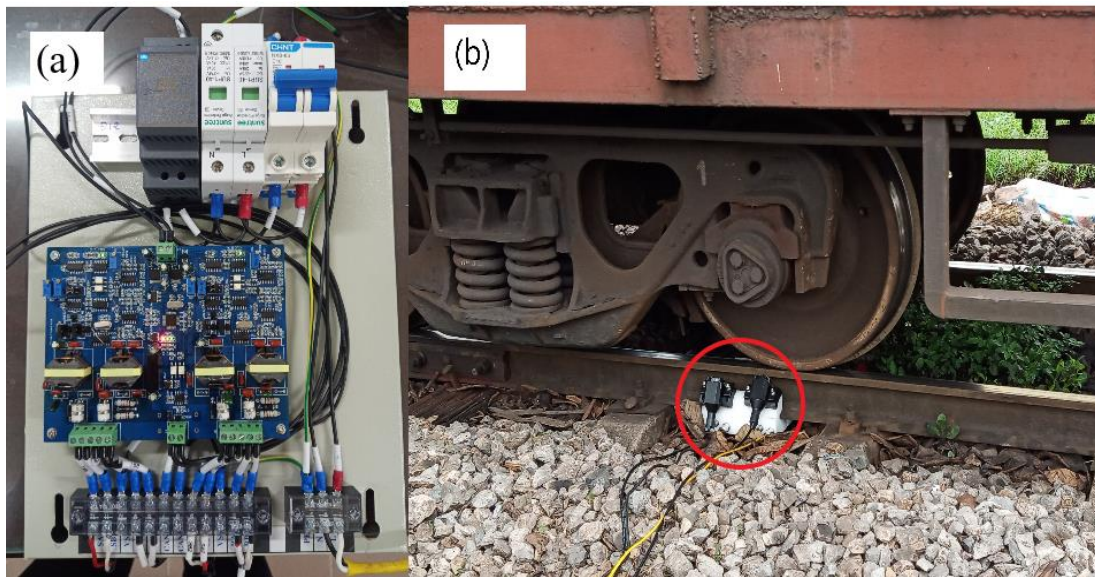
Mạch công suất và phối hợp trở kháng: khuếch đại công suất tín hiệu điều hòa, đưa điện áp hiệu dụng 15V ra cuộn phát. Mạch phối hợp trở kháng đảm bảo trở kháng ra của mạch phù hợp với trở kháng của cuộn dây.

1. Tách pha tín hiệu phát: xác định tín hiệu qua điểm không ở chu kỳ dương và chu kỳ âm.
2. Tách pha tín hiệu thu.
3. Mạch so sánh pha: xác định độ dịch pha giữa hai tín hiệu.
4. Xác định biên độ và dấu của tín hiệu thu: xác định giá trị điện áp từ cuộn thu trong chu kỳ của tín hiệu phát, xác định dấu của tín hiệu thu.
5. Tính giá trị hiệu dụng của tín hiệu thu.
6. So sánh với giá trị điện áp ngưỡng để phân biệt trạng thái có tàu hay không có tàu.
7. Đếm số trục: đếm số trục bánh tàu đi qua cảm biến, xác định hướng di chuyển của đoàn tàu.
8. Mạch truyền thông CAN BUS [10]: truyền dữ liệu về trung tâm điều khiển. Sử dụng tiêu chuẩn ISO 11898 đảm bảo độ tin cậy đường truyền. Lợi thế của CAN so với các kênh truyền thông khác ở chỗ: tốc độ truyền thông cao đến 2Mbps, giao thức hỗ trợ truyền từ 8 đến 64 byte dữ liệu, tự động truyền lại khung lỗi, khả năng kháng nhiễu đường truyền tốt, giao thức truyền thông hỗ trợ nhiều phương pháp phát hiện lỗi (lỗi bit, lỗi hỏi đáp, lỗi định dạng, lỗi CRC, lỗi nhồi bit).
9. Giao tiếp vật lý CAN [11]: bộ chuyển đổi tín hiệu có khoảng cách kết nối đến 3,0 km.
10. Trung tâm điều khiển: tiếp nhận dữ liệu, điều khiển tín hiệu, liên khóa ...
11. Nguồn cấp: Đảm bảo cấp nguồn cho khối thu phát, bộ khuếch đại, bộ xử lý tín hiệu, chống sét nguồn và chống sét đường tín hiệu. Các điện áp cấp nguồn gồm 24VDC cấp cho bộ phát tín hiệu; 12VDC và 6VDC cấp cho bộ khuếch đại tín hiệu; 5VDC cấp cho khối truyền thông CAN và 3,3VDC cho khối vi xử lý.

2.3 Thuật toán xác định số trục qua cảm biến.

Tín hiệu thu nhận được xử lý thông qua các mạch tương tự và mạch số đưa ra 2 tín hiệu logic tách biệt:

Tín hiệu báo thanh thoát (A):



Hình 5. Mạch xử lý (a) và cảm biến lắp đặt tại hiện trường (b).

+ Mức logic tích cực khi không có bánh tàu đè vào vùng tác động của cảm biến, lúc này điện áp cuộn thu cùng pha với điện áp cuộn phát và có biên độ lớn nhất (điện áp chính pha).

+ Mức logic không tích cực khi điện áp cuộn thu lệch pha với cuộn phát hoặc có biên độ chưa đủ lớn. Trường hợp này xảy ra khi có bánh tàu chắn hoàn toàn hoặc chưa hoàn toàn cảm biến hoặc là một vật thể kim loại không phải bánh tàu chắn giữa cuộn phát và cuộn thu. Như vậy ở trạng thái này chưa chắc chắn có một bánh tàu đi qua cảm biến (trạng thái chưa chắc chắn).

Tín hiệu báo chiếm dụng (B):

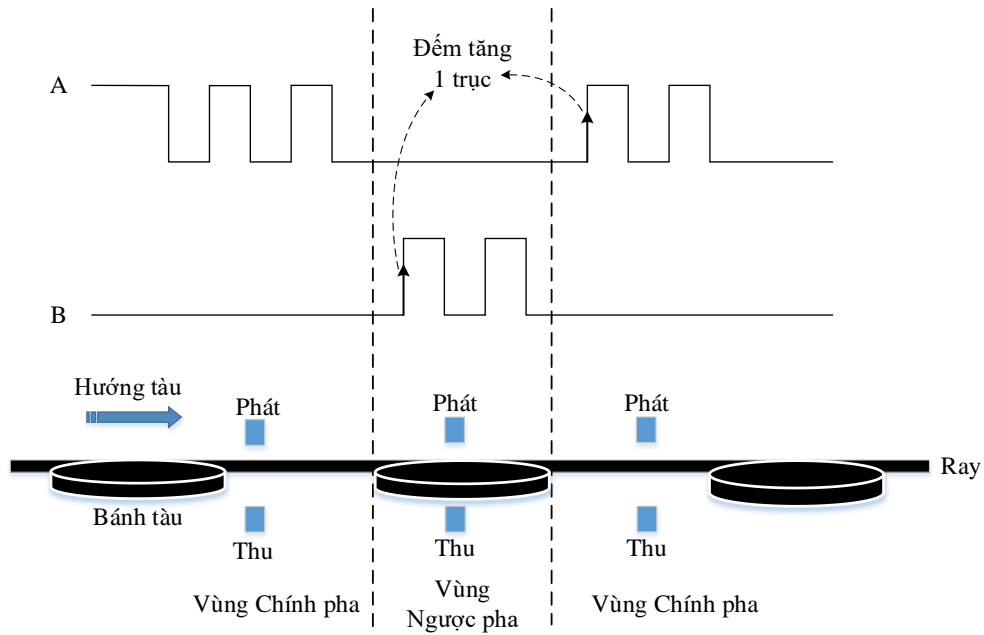
+ Mức logic tích cực khi có bánh tàu chắn hoàn toàn giữa cuộn phát và cuộn thu, lúc này điện áp cuộn thu ngược pha với điện áp cuộn phát và có biên độ lớn nhất (điện áp ngược pha).

+ Mức logic không tích cực khi không có bánh tàu giữa cuộn phát và cuộn thu hoặc bánh tàu mới tiến gần cảm biến hoặc vật thể kim loại không phải bánh tàu chắn giữa cuộn phát và thu.

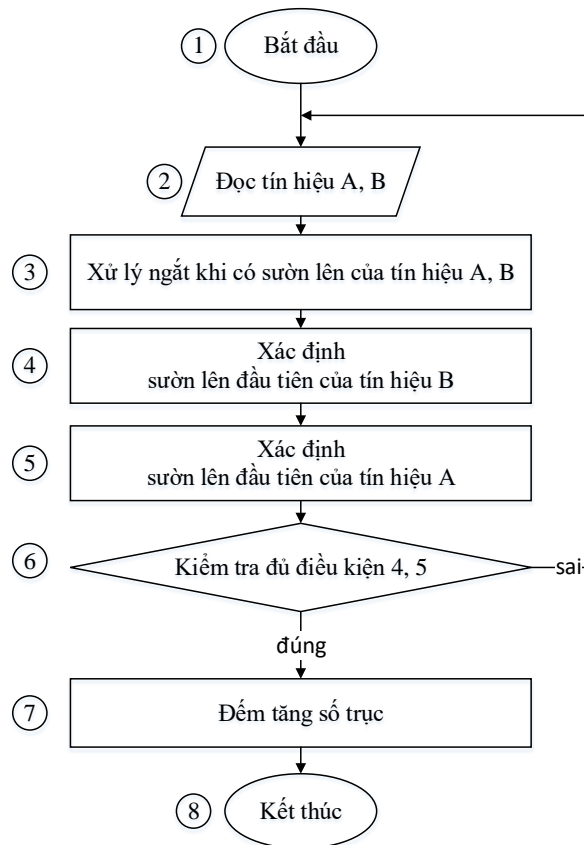
Như vậy một trục bánh tàu khi đi qua cảm biến được xác nhận khi có một sườn lên của tín hiệu báo chiếm dụng đồng thời sau đó có một sườn lên của tín hiệu báo thanh thoát. Cơ chế xác định số trục đi qua cảm biến trình bày ở Hình 6.

Các thuật toán này được thực hiện trong khối 13 của hình 4 sử dụng vi xử lý tốc độ cao STM32F103C8T6 [12] và được thực hiện theo lưu đồ ở Hình 7.

Trong trường hợp bố trí cặp cảm biến đếm trục như ở Hình 2 cách nhau khoảng cách cố định biết trước, có thể xác định được hướng di chuyển của đoàn tàu qua cảm biến (thông qua việc xác định bánh tàu đi qua cảm biến nào trước). Đồng thời xác định được tốc độ của đoàn tàu đi qua cặp cảm biến nhờ việc xác định khoảng thời gian bánh tàu đi từ cảm biến trước đến cảm biến sau khi biết trước khoảng cách giữa chúng. Đây là các tham số quan trọng cung cấp thông tin cho bộ điều khiển tín hiệu.



Hình 6. Cơ chế xác định số trực qua cảm biến.



Hình 7. Lưu đồ thuật toán đếm số trực qua cảm biến.

Các yếu tố đảm bảo độ tin cậy và an toàn của thiết bị chế tạo gồm:

- Nguyên lý hoạt động của cảm biến sử dụng cuộn cảm có đặc tính cơ học tốt, các tham số không biến đổi phụ thuộc vào môi trường (nhiệt độ, độ ẩm).
- Ngưỡng phân biệt trường hợp có tàu và không có tàu chắc chắn nhờ sự thay đổi chiều của từ thông qua cuộn thu với biên độ đủ lớn.
- Thuật toán đếm trực được thiết kế dựa trên sườn làm việc của 2 tín hiệu Logic, loại trừ các trường hợp không chắc chắn của từng tín hiệu.

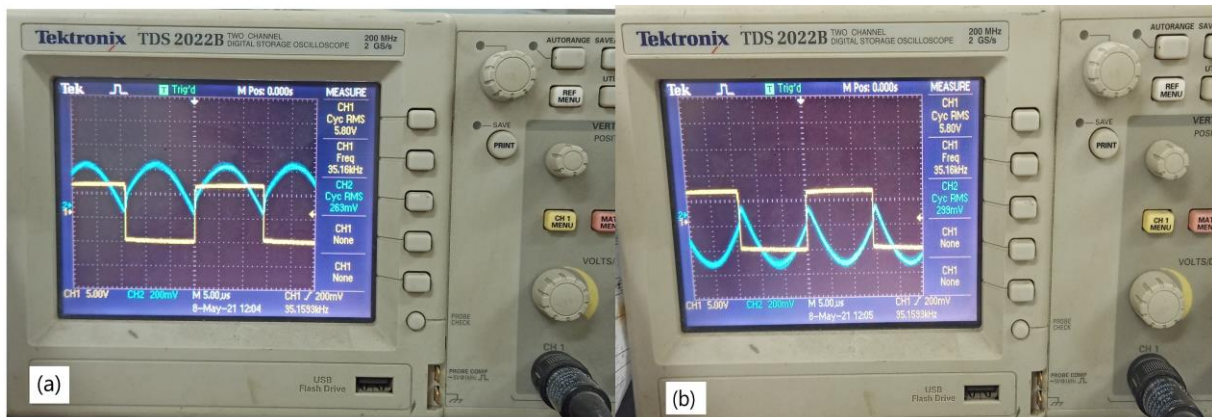
3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Việc thử nghiệm thiết bị đếm trực được thực hiện 3 giai đoạn: thử nghiệm các tham số tĩnh trong phòng thí nghiệm, thử nghiệm động trên thiết bị mô phỏng bánh tàu và thử nghiệm hiện trường tại ga Giáp bát và Âm thượng.

-Thử nghiệm tĩnh tại phòng thí nghiệm:

Hình 8 (a) thể hiện điện áp chính pha và Hình 8 (b) điện áp ngược pha của tín hiệu đầu ra khối xử lý 10 (xác định biên độ và dấu của tín hiệu thu) ở hình 4. Trong Hình 8 điện áp chính pha và ngược pha có màu xanh và dạng hình sin sau khi chỉnh lưu, tín hiệu xung vuông màu vàng là xung đồng bộ trùng pha với tín hiệu phát.

Bộ xử lý xác định giá trị hiệu dụng và dấu của điện áp từ cuộn thu, đưa vào bộ so sánh ngưỡng và thực hiện thuật toán đếm trực. Kết quả cho thấy có sự phân biệt rõ ràng giữa trường hợp có bánh tàu và không có bánh tàu đi qua cảm biến.



Hình 8. Điện áp chính pha =+263mV (a) và điện áp ngược pha =-299mV (b).

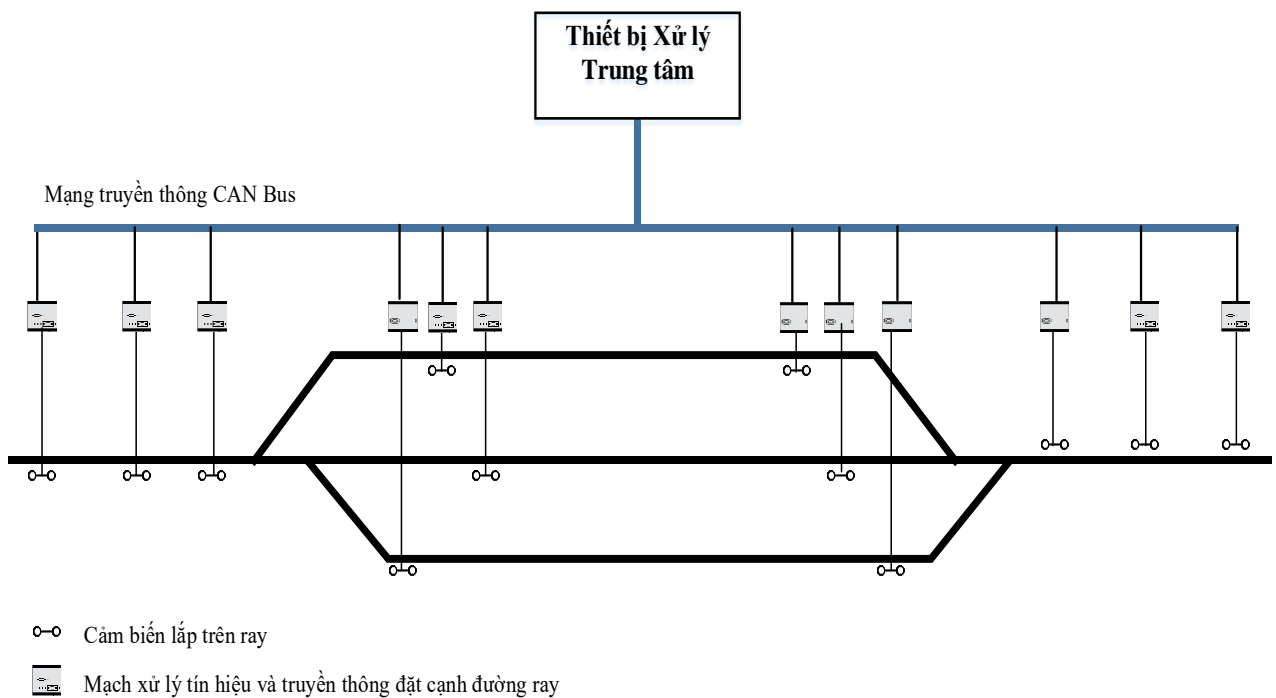
- Thử nghiệm động:

Bộ mô phỏng bánh tàu ở Hình 2 (b) là thiết bị được chế tạo để đánh giá kết quả đếm trực trong thời gian dài. Thiết bị này gồm một cơ cấu chuyển động liên tục kéo tám chắn có đặc tính vật lý tương tự bánh tàu chạy qua cảm biến với tốc độ thay đổi từ 5km/h đến 60km/h. Ngoài ra thiết bị còn có mạch xử lý, mạch truyền thông, thiết bị hiển thị, công tắc hành trình 2

phía. Giá trị đếm trực (sử dụng cảm biến đếm trực) sẽ được so sánh với giá trị đếm khi cơ cấu chuyển động chạm vào công tắc hành trình (đếm số lần chạm công tắc hành trình). Kết quả thử nghiệm trong 2 tuần chạy liên tục (tương ứng với khoảng 100.000 xung) thấy 2 giá trị đếm bằng nhau cho thấy tính ổn định và tin cậy của thiết bị đếm trực.

-Thử nghiệm tại hiện trường:

Sau khi thử nghiệm tĩnh và động trong phòng thí nghiệm, các thiết bị được lắp đặt tại hiện trường ở 2 bước. Bước 1 thử nghiệm một thiết bị đếm trực đơn lẻ chưa có truyền thông về trung tâm điều hành tại Ga Giáp bát. Ở bước này kiểm tra độ vững trắc về cơ khí, kiểm tra, dạng tín hiệu. Bước 2 thử nghiệm 12 thiết bị trong hệ thống ga điện khí tập trung tại Ga Ấm thượng trên tuyến Hà Nội-Lào Cai như ở Hình 9.



Hình 9. Vị trí hệ thống đếm trực được lắp đặt thử nghiệm tại ga Ấm Thượng.

Kết quả đo các tham số của các thiết bị đếm trực ngày 06 tháng 06 năm 2021 thể hiện ở trong Bảng 2.

Bảng 2 Tham số điện áp chính pha và ngược pha của các thiết bị lắp ở ga Ấm thượng.

Vị trí cảm biến	Điện áp chính pha (mv)	Điện áp ngược pha (mv)	Điện áp chênh lệch (mv)
1	346	-152	498
2	250	-128	378

3	180	-157	337
4	284	-171	455
5	230	-110	340
6	188	-71	259
7	233	-345	578
8	120	-66	186
9	216	-200	416
10	230	-133	363
11	313	-75	388
12	293	-110	403

Kết quả thử nghiệm cho thấy với độ chênh lệch điện áp giữa chính pha và ngược pha lớn hơn 150mv đồng thời sử dụng thuật toán ở mục 2.3 sẽ cho phép đếm chính xác số trục bánh tàu chạy qua cảm biến. Giá trị điện áp chính pha và ngược pha phụ thuộc vào môi trường của vị trí lắp đặt (loại ray, tà vẹt sử dụng, góc hướng và vị trí của cuộn phát so với ray).

Với việc lắp đặt mạng CAN ở Hình 9, giá trị đếm trục ở từng điểm được truyền về trung tâm theo thời gian thực. Thiết bị liên khóa của ga điện khí tập trung sẽ nhận dữ liệu đếm trục và điều khiển tín hiệu đèn và các cơ cấu chấp hành khác.

4. KẾT LUẬN

Với việc thiết kế chế tạo cảm biến và mạch xử lý tín hiệu dựa theo nguyên lý cảm ứng điện từ sử dụng kỹ thuật tách pha và thuật toán phân biệt ngưỡng. Các kết quả thử nghiệm tại phòng thí nghiệm và hiện trường cho thấy giá trị đếm trục không có sự sai khác so với thực tế, đảm bảo điều kiện sử dụng cho đường sắt Việt nam.

Nhờ làm chủ công nghệ, tất cả các thành phần của thiết bị như cảm biến, mạch xử lý tín hiệu, truyền thông, nhận tín hiệu, ghép nối với thiết bị liên khóa đều được nội địa hóa. Điều này cho phép giảm giá thành cho các thiết bị quan trọng của ngành đường sắt, đồng thời mở ra cơ hội áp dụng cho các hệ thống điều khiển tín hiệu như cảnh báo tự động đường ngang, ga điện khí tập trung, hệ thống tự động phòng vệ đoàn tàu, đóng đường tự động trên khu gian...

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Ứng dụng Công nghệ - Bộ Khoa học và Công nghệ trong đề tài KHCN cấp Nhà nước mã số ĐTĐL.CN-12/17. Tác giả xin chân thành cảm ơn Trung tâm Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải - Trường Đại học Giao thông vận tải đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. Palmer, The need for train detection, Proceedings of the IET professional development course on railway signalling and control systems, (2010) 60–74. <https://doi.org/10.1049/ic.2010.0088>
- [2]. S. Yasukawa, Y. Tawada, T. Yoshioka, S. Wakao, T. Okutani, Eddy-current analysis of large-scale constructions in railway system by infinite edge elements, IEEE Trans. Magn., 50 (2014) 561–564. <https://doi.org/10.1109/tmag.2013.2281601>
- [3]. S. Yasukawa, N. Takagi, G. Dong, S. Wakao, M. Takahashi, M. Yagi, T. Okutani, Design optimization of magnetic sensor for train detection, IEEE Trans. Magn., 51 (2015) 1-4. <https://doi.org/10.1109/tmga.2014.2358379>
- [4]. H. Kuwahara, Y. Maruyama, S. Wakao, M. Takahashi, M. Yagi, T. Okutani, Y. Okamoto, Multi-objective optimization of magnetic sensor with conductor plate for rail wheel detection, IEEE CEFC 2016 - 17th Biennial Conference on Electromagnetic Field Computation, Miami, United States, 2016, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/cefc.2016.7816281>
- [5]. A. Zamani, A. Mirabadi, Analysis of sensor orientation in railway axle counters, using response surface methodology, Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 3 (2011) 12-17, <http://doi.org/10.4236/jemaa.2011.312080>
- [6]. L. Yanlong, T. Weiming, J. Xianji, L. Zhohngwei, Magnetic circuit modeling and analysis of unilateral axle-counting sensor, IEEE Access, 6 (2018) 51834-51842. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868293>
- [7]. A.R. Tupe, Maintenance of digital axle counters, [https://rdso.indianrailways.gov.in/works/uploads/File/Handbook%20on%20Maintenance%20of%20Digital%20Axle%20Counter\(1\).pdf](https://rdso.indianrailways.gov.in/works/uploads/File/Handbook%20on%20Maintenance%20of%20Digital%20Axle%20Counter(1).pdf), truy cập ngày 26 tháng 03 năm 2021.
- [8]. A.R. Tupe, Handbook on troubleshooting of digital axle counters, [https://rdso.indianrailways.gov.in/works/uploads/File/Handbook%20on%20Troubleshooting%20of%20Digital%20Axle%20Counter\(1\).pdf](https://rdso.indianrailways.gov.in/works/uploads/File/Handbook%20on%20Troubleshooting%20of%20Digital%20Axle%20Counter(1).pdf), truy cập ngày 26 tháng 03 năm 2021.
- [9]. C. Wei, C.C.Lai, S. M. Liu, W.H. Chung, T.K. Ho, H.-Y. Tam, S.L. Ho, A.McCusker, J. Kam, K.Y Lee, A fiber bragg grating sensor system for train axle counting, IEEE Sensors Journal, 10 (2010) 1905-1912. <https://doi.org/10.1109/jsen.2010.2049199>
- [10]. W. Lawrenz, CAN System engineering from theory to practical applications, Springer, London, 2013
- [11]. NXP Semiconductor, CAN controller interface PCA82C250, <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCA82C250.pdf>, truy cập ngày 26 tháng 03 năm 2021.
- [12]. ST Microelectronics, RM0008 reference manual STM32F103C8, <https://www.keil.com/dd/docs/datashts/st/stm32f10xxx.pdf>, truy cập ngày 26 tháng 03 năm 2021