

การออกแบบวงจรควบคุมระบบอัตโนมัติสัญญาณของระบบราง

จักรกฤษณ์ จันทร์เขียว^{1*} ธัญวรรณ อาจศรีตรู² กิตติธัช นามวงษ์³
ณรงค์ชัย เหมันต์⁴ และเกษราภรณ์ ยศบุญเรือง^{5*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบวงจรควบคุมอย่างง่ายสำหรับระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟซึ่งเป็นระบบกลไกสัญญาณไฟฟ้าหรือระบบคอมพิวเตอร์ที่มีไว้สำหรับควบคุมการเดินขบวนรถไฟให้มีความปลอดภัย โดยระบบจะทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่และระยะเวลาในการเดินรถของขบวนรถที่อยู่บนทางร่วมเดียวกันรวมทั้งการสับหลักบริเวณสถานีรถไฟ การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบจะออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์กันเพื่อให้พนักงานเดินรถสามารถตัดสินใจเดินรถได้อย่างมั่นใจและไม่ให้เกิดความสับสน ระบบอัตโนมัติสัญญาณมีการพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติและระบบวงจรเป็นวงจรไฟฟ้าสำหรับตรวจสอบความเคลื่อนไหวของขบวนรถและพัฒนาต่อเป็นระบบอัตโนมัติสัญญาณแบบเป็นช่วง ๆ ที่มีขนาดตายตัวและไม่เปลี่ยนแปลง ผลการทดลองระบบการสับรางของระบบอัตโนมัติสัญญาณระบบรางพบว่าระบบไฟใช้งานได้ปกติ การสับรางทำงานได้ดีและการเคลื่อนที่ของรถไฟจำลองที่วิ่งบนรางในขณะแบตเตอรี่ 26V ได้ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.23 เมตรต่อวินาที และความเร็วเฉลี่ยในการสับรางอยู่ที่ 5.79 วินาที

คำสำคัญ : ระบบอัตโนมัติสัญญาณ ระบบราง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

^{2,3,4} สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการระบบราง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

⁵ บริษัท ทรานส์ไทย เรลเวย์ จำกัด

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: jrukkrit@siam.edu

วันที่รับบทความ 19 มิถุนายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 28 มิถุนายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 30 มิถุนายน 2568

Design of Signaling Control Circuits for Railway Systems

Jrukkrit Chankiew^{1*} Thanyawan Artsattru² Kittihat Namwong³
Narongchai Heman⁴ and Katesaraporn Yosbunraung⁵

ABSTRACT

This research aimed to design a simple control circuit for the electric train signaling system. It is an electrical signaling mechanism or computer system for controlling the train movement to be safe. The system will control and determine the direction of movement and the duration of the trains on the same track, including switching at the train station. The operation of the various devices in the system were designed to work together so that the train operator can make decision to operate the train with confidence and without confusion. The signaling system was developed into an automatic system and the track circuit system was an electrical circuit for checking the movement of the train and further developed into a fixed-size and unchanging periodic signaling system. The results of the experiment of the rail signaling system switch system showed that the electrical system worked normally, the switch worked well, and the movement of the model train running on the track while the battery was 26V had an average speed of 0.23m/s and an average speed of switch was 5.79 seconds.

Keywords : signaling system, railway systems

¹ Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

^{2,3,4} Railway System Management Engineering Program, Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

⁵ Trans Thai Railway Co., Ltd.

* Corresponding author e-mail: jrukkrit@siam.edu

Received: Jun 19, 2025

Revised: Jun 28, 2025

Accepted: Jun 30, 2025

บทนำ

ระบบจ่ายไฟฟ้าและระบบอาณัติสัญญาณนับเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะทำให้ดำเนินงานระบบรางเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันผู้ผลิตระบบรถไฟมีการพัฒนาระบบจ่ายไฟฟ้าและระบบอาณัติสัญญาณที่แตกต่างกัน การนำระบบรถไฟที่แตกต่างกันมาติดตั้งใช้งานบนโครงข่ายเดียวกันจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานระบบจ่ายไฟฟ้าและระบบอาณัติสัญญาณในการขนส่งทางรางที่มีเอกภาพ สามารถเชื่อมต่อและทำงานด้วยกันได้ (interoperability) (Gao et al., 2021) อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ กรมขนส่งทางรางมีอำนาจและความรับผิดชอบในการเสนอแนะเพื่อกำหนดมาตรฐาน แนวทาง และมาตรการกำกับดูแลรวมทั้งการติดตามและประเมินผลการให้บริการขนส่งทางรางให้มีระดับคุณภาพการให้บริการที่ดี มีประสิทธิภาพ สะดวกและปลอดภัย ดังนั้น จึงได้ดำเนินโครงการพัฒนาจัดทำมาตรฐานระบบรถไฟและระบบอาณัติสัญญาณในการเดินรถขนส่งทางรางขึ้นโดยในระยะที่ 1 จะดำเนินการในโครงข่ายรถไฟสายประธานของประเทศไทยเพื่อรองรับการเชื่อมต่อกับประเทศเพื่อนบ้านในอนาคต (มานะชัย วัฒนหัตถกรรม, 2559) ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟเป็นระบบที่ใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและมีระเบียบในการเดินรถ ระบบนี้มีบทบาทสำคัญในการป้องกันอุบัติเหตุจากการชนกันของรถไฟหรือการเข้าใกล้กันของขบวนที่เดินทางในเส้นทางเดียวกัน การใช้สัญญาณต่าง ๆ ทั้งสัญญาณไฟฟ้าและสัญญาณเสียง (กรมการขนส่งทางราง กระทรวงคมนาคม, 2564) เพื่อแจ้งเตือนและควบคุมการเดินรถทำให้การเดินทางเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ การออกแบบและการใช้งานระบบอาณัติสัญญาณรถไฟนั้นจะต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ความเร็วของรถไฟ สภาพอากาศ และระยะทางที่สามารถมองเห็นได้จากจุดต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้เจ้าหน้าที่และนักเดินทางสามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและทันเวลา โดยทั่วไปแล้ว ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น ระบบสัญญาณทางไฟฟ้า (electric signals) ระบบสัญญาณทางวิทยุ (radio signals) และระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้ในสัญญาณรูปแบบต่าง ๆ (visual or mechanical signals) ซึ่งแต่ละประเภทมีการใช้งานและบทบาทที่แตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อมของการเดินรถการพัฒนาารบบอาณัติสัญญาณรถไฟอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการขนส่งทางรถไฟในยุคปัจจุบัน

Signaling & Train Control เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากระบบหนึ่งในระบบรถไฟรถไฟจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างปลอดภัยต้องมีการกำหนดออกแบบควบคุมและการจัดการที่ถูกต้องซึ่งเป็นหน้าที่หลักของระบบ ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาระบบ Signaling & Train Control (Bader & Sachkova, 2017) จนปรากฏเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและมีความสลับซับซ้อนในระดับหนึ่งเลยทีเดียว เมื่อย้อนกลับไปในช่วงเริ่มแรกของรถไฟยังไม่มีสิ่งติดตั้งใด ๆ

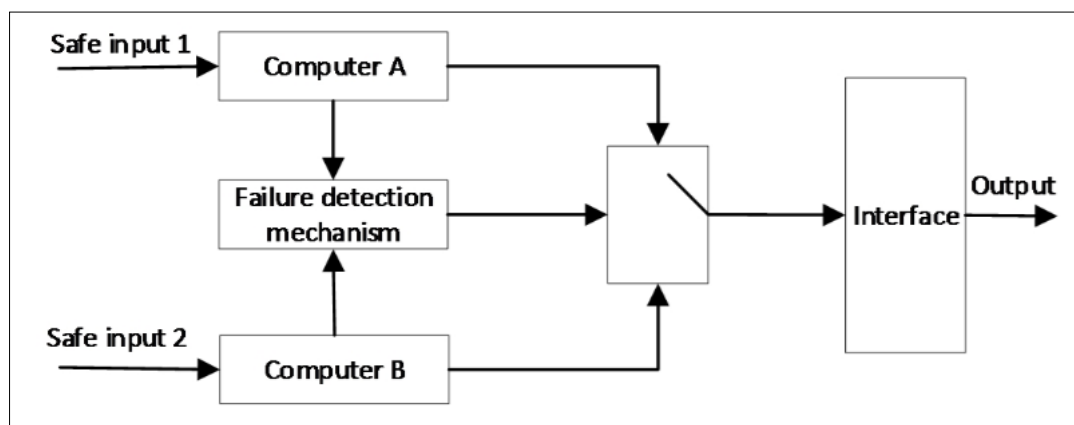
ที่จะแจ้งให้ผู้ขับรถทราบสถานการณ์ของเส้นทางข้างหน้าที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยสายตา (on sight) ก่อนที่เขาจะขับรถไฟไปถึงจุดนั้น ดังนั้นคนขับต้องบังคับรถไฟโดยอาศัยประสาทตาเหมือนเราขับรถ ในปัจจุบัน คนขับต้องมีประสบการณ์มากเขาต้องคอยสังเกตเส้นทางข้างหน้าเพื่อที่จะหยุดรถได้ก่อนที่จะชนกับสิ่งกีดขวางใด ๆ หรือชนกับรถไฟอีกขบวนหนึ่ง ซึ่งพบว่าเป็นการยากที่จะเบรกหรือหยุดรถไม่ให้ชนกันหรือชนสิ่งกีดขวางอื่นถ้าวิ่งมาด้วยความเร็ว เนื่องจากล้อรถและรางที่เป็นเหล็กทั้งคู่จะหยุดได้ยาก สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของล้อยากกับถนนมากกว่าของล้อเหล็กกับรางเหล็กประมาณ 6-8 เท่าโดยเฉลี่ย ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ไม่สามารถขับรถไฟที่ความเร็วมากขึ้นได้จึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการเดินทางและการขนส่งเกิดอุบัติเหตุในหลาย ๆ ครั้ง โดยเฉพาะในสภาวะที่ทัศนวิสัยไม่ดี เพราะไม่สามารถเบรกให้หยุดได้ในระยะที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นในปัจจุบันหลายระบบได้อนุญาตให้ขับรถด้วยสายตาได้ด้วยความเร็วไม่เกิน 25 กม./ชม. เท่านั้น ด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยในระยะแรก ๆ ของการเดินทางไฟถึงขนาดใช้คนถือธงเดินนำหน้ารถเพื่อความปลอดภัย แต่ทำให้ระยะเวลาเดินทางเท่ากับระยะเวลาเดินเท้าแค่ไม่ต้องเดินให้เมื่อยเท่านั้น ต่อมาเพื่อให้เสียเวลาน้อยลงก็ใช้วิธีเว้นระยะเวลาระหว่างขบวนรถโดยอนุญาตให้รถไฟสามารถวิ่งที่ความเร็วสูงสุดได้ก็ต่อเมื่อรถไฟขบวนก่อนหน้านั้นผ่านไป แล้ว เช่น ครบ 10 นาที ดังนั้นระยะห่างระหว่างขบวนรถไฟหรือความถี่การเดินทาง (headway) เท่ากับ 10 นาที ในอังกฤษมีการนำธงเหลืองและแดงมาใช้เพื่อแสดงให้คนขับรถไฟรู้ว่าจะขับรถผ่านไปอย่างไร โดยตำรวจที่ประจำการณตำแหน่งที่กำหนดจะแสดงธงแดงให้กับรถไฟที่มาถึงเมื่อรถไฟขบวนก่อนหน้าผ่านจุดนั้นไปไม่เกิน 5 นาที และถ้าเวลาอยู่ระหว่าง 5 กับ 10 นาที จะแสดงธงสีเหลืองเป็นธงแสดงสัญญาณเตือนให้ระวัง ส่วนธงสีเขียวใช้เมื่อรถไฟขบวนก่อนหน้าผ่านไปแล้วยังน้อย 10 นาที เพื่อให้รถไฟขบวนที่มาถึงสามารถใช้ความเร็วสูงสุดได้หลักการนี้ก็เพื่อพยายามที่จะป้องกันรถไฟชนกัน ในเวลากลางคืนก็ใช้โคมไฟหรือตะเกียง (lantern) แทน (Zhang, Peng & Tao, 2021) ในสมัยนั้นเกิดเหตุรถไฟเสียระหว่างสถานีอยู่เสมอ และยังไม่มียะมารับประกันได้ว่าความเร็วของรถขบวนข้างหน้าเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้ขบวนหลังตามมาทัน จึงเกิดเหตุรถไฟชนกันจากทางด้านหลังอยู่เสมอ เพราะคนขับรถเข้าใจว่าเรามีเวลา 10 นาทีห่างจากขบวนหน้าและปราศจากสัญญาณเตือนอื่นใด แม้เขาจะสังเกตเห็นรถขบวนหน้ากำลังวิ่งอยู่หรือจอดเสียในเส้นทาง เขาก็ไม่สามารถเบรกให้หยุดได้ทันก่อนชนกันได้

ดังนั้นจึงมีการคิดใช้คนช่วยระวังหลังโดยเขาจะประจำอยู่ที่ท้ายขบวนรถไฟแต่ละขบวนคอยให้สัญญาณด้วยธงสัญญาณและตะเกียงโดยสังเกตว่ามีรถไฟตามมาหรือไม่ และถ้าหากรถไฟขบวนนั้นเกิดเสียจอดอยู่คนระวังหลังต้องวิ่งย้อนกลับไปตามรางให้ได้ระยะปลอดภัยแล้วคอยให้สัญญาณกับรถขบวนที่จะตามมาให้หยุดรถไฟได้ทัน เมื่อรถไฟซ่อมเสร็จแล้วสามารถเคลื่อนที่ได้แล้วเขาจึงกลับมาทำหน้าที่ต่อดังเดิมโดยคนขับอาจกดแตรเรียกหรือใช้วิทยุถ้าเวลานั้นมีวิทยุใช้งานแล้วเป็นต้น (Liang, 2021)

งานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบบอัตโนมัติสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งระบบอัตโนมัติสัญญาณภายในประเทศไทย เอเชีย ยุโรปและอเมริกา เพื่อการออกแบบวงจรควบคุมอย่างง่ายสำหรับระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟฟ้า

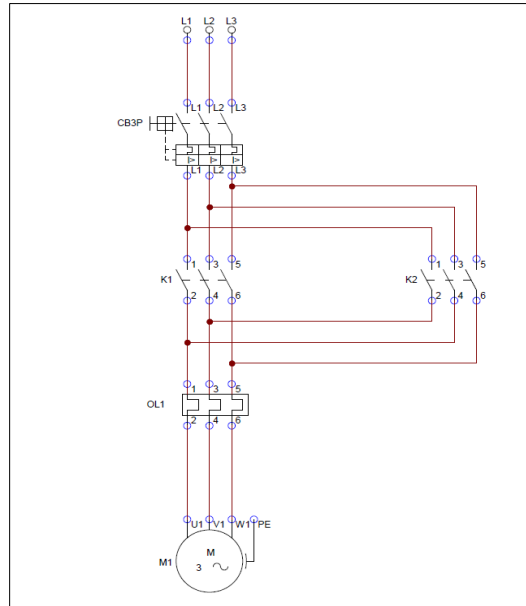
วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟฟ้าเป็นระบบกลไกสัญญาณไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหารถไฟชนกัน โดยการออกแบบวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายมาใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟ เป็นระบบกลไกสัญญาณไฟ และระบบคอมพิวเตอร์ที่จะทำหน้าที่ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟบนเส้นทาง ระบบจะมีรูปแบบการแจ้งให้พนักงานขับรถไฟทราบสถานะเส้นทางข้างหน้า สำหรับการตัดสินใจที่จะหยุดรถชะลอความเร็ว หรือบังคับทิศทาง ด้วยรูปแบบของสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ ตามข้อกำหนดรูปแบบการให้สัญญาณ เพื่อให้สามารถเดินรถไปได้อย่างปลอดภัย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ (Dórdolo et al., 2020) ระบบอัตโนมัติสัญญาณจะทำหน้าที่ในการควบคุมให้การเดินขบวนเป็นไปตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ในตารางการเดินรถ โดยจะมีการควบคุมและกำหนดทิศทาง การเคลื่อนที่ ระยะเวลาในการเคลื่อนขบวนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง รวมไปถึงการสับหลักขบวนรถแต่ละขบวนที่บริเวณสถานีรถไฟหรือย่านสับหลัก ซึ่งจะออกแบบให้มีการทำงานสัมพันธ์กันในทุก ๆ ส่วนที่ประกอบไปด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่คอยสนับสนุนการเดินรถไฟฟ้าอย่างปลอดภัยดังรูปที่ 1 (Liang, 2021)



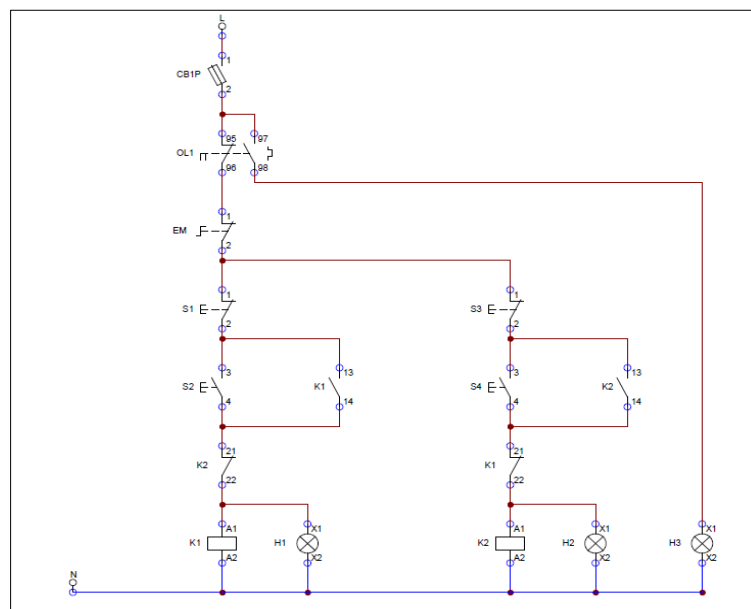
รูปที่ 1 Schematic diagram of dual-system hot backup technology

1. การออกแบบวงจรระบบจ่ายไฟของมอเตอร์ในการกลับทางหมุนมอเตอร์



รูปที่ 2 วงจรระบบจ่ายไฟของมอเตอร์ในการกลับทางหมุนมอเตอร์

2. การออกแบบวงจรระบบควบคุมการสับรางของระบบอัตโนมัติสัญญาณระบบราง



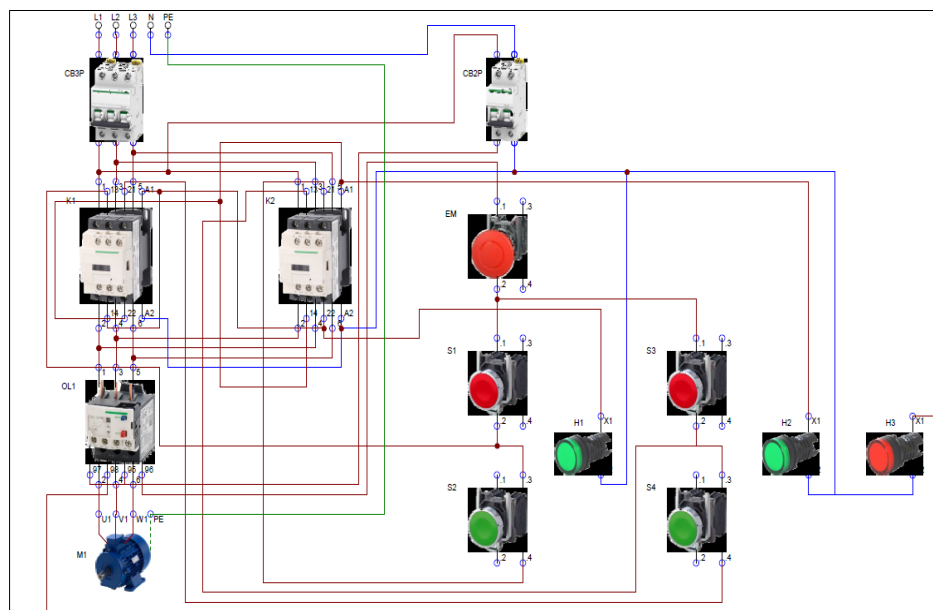
รูปที่ 3 วงจรระบบควบคุมการสับรางของระบบอัตโนมัติสัญญาณระบบราง

จากรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 เมื่อทำการจ่ายไฟให้วงจร Power จะต้องเปิดเบรกเกอร์ CB3P จ่ายไฟให้กับ OL1 ทำการ Over Load ผ่าน EM (Emergency) และ S1 Stop เมื่อต้องการให้ K1 ทำงาน กด S2 Start Magnetic K1 ทำงาน Interlock K1 หน้าสัมผัสเปิดปิดแทนหลอดไฟ H1 ติดมอเตอร์หมุนทางขวาตามวงจร Power K1 หน้าสัมผัสปิด ตัดการทำงาน K2 ไว้ไม่ให้ทำงานพร้อมกัน

เมื่อมอเตอร์ต้องการให้มอเตอร์หมุนซ้าย ให้กด S1 Stop ก่อน มอเตอร์หยุดหมุน กด S4 Start Magnetic K2 ทำงาน Inter Lock K2 หน้าสัมผัสเปิดปิดแทนหลอดไฟ H2 ตัดการทำงาน K1 ไว้ไม่ให้ทำงานพร้อมกัน เมื่อต้องการให้มอเตอร์กลับมาหมุนทางขวา กด S3 Stop มอเตอร์หยุดหมุนทางซ้ายหลังจากนั้น กด S2 Start ทำงานแบบนี้วนไปเรื่อย ๆ

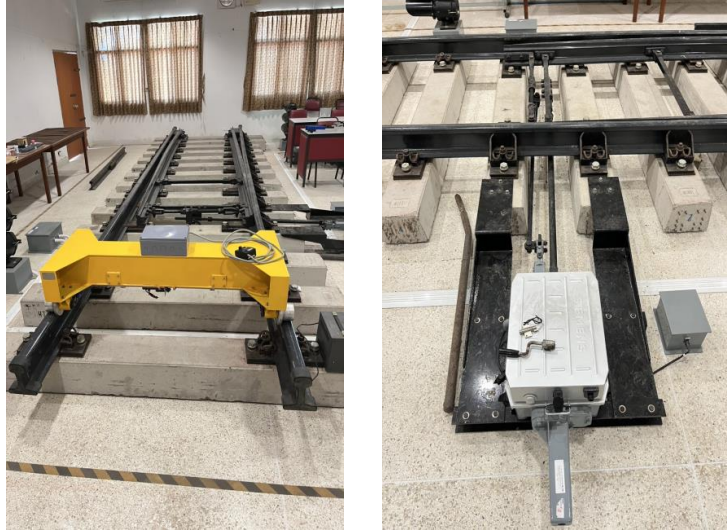
ถ้าต้องการหยุดทำงานทั้งหมดให้กดปุ่ม EM (Emergency) เมื่อเกิดกระแสเกินกว่าที่ตั้งไว้ OL1 Over Load ตัดการทำงาน หลอด H3 ติด ถ้าต้องการกลับทางหมุนใหม่ ให้กด Reset OL1 Over Load

3. วิธีการต่อใช้งานระบบควบคุมการสับรางของระบบอัตโนมัติสัญญาณระบบราง



รูปที่ 4 วิธีการต่อใช้งานระบบควบคุมการสับรางของระบบอัตโนมัติสัญญาณระบบราง

4. การทดสอบระบบการสับรางของระบบอาณัติสัญญาณระบบราง



รูปที่ 5 ระบบการสับรางของระบบอาณัติสัญญาณระบบราง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองและเก็บข้อมูลการทดสอบระบบการสับรางของระบบอาณัติสัญญาณระบบรางได้ข้อมูล ดังนี้

ตารางที่ 1 ระยะเวลาการขับเคลื่อน

ลำดับ	ชื่อการทดสอบ	ทางตรง		ทางเลี้ยว	
		เวลาไป (s)	เวลากลับ (s)	เวลาไป (s)	เวลากลับ (s)
1	การเดินรถตอนมีแบตเตอรี่ (20V)	50.20	51.10	50.40	50.30
2	การเดินรถตอนมีแบตเตอรี่ (22V)	38.20	38.00	38.10	37.80
3	การเดินรถตอนมีแบตเตอรี่ (26V)	36.03	35.20	35.80	33.68

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการสับราง

จากทางตรงไปทางเลี้ยว	5.91 s
จากทางเลี้ยวไปทางตรง	5.68 s



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6 สัญญาณไฟ (ก) สัญญาณไฟสีแดง หมายถึง หยุดไม่ให้รถไฟผ่าน
(ข) สัญญาณไฟสีเขียว หมายถึง อนุญาตให้รถไฟผ่านไป
(ค) สัญญาณไฟสีเหลือง หมายถึง เตรียมชะลอหรือให้หยุดรถ

ตารางที่ 3 ตารางการทดสอบไฟสัญญาณเตือน

สีของไฟ	เสาที่ 1		เสาที่ 2	
	ติด	ไม่ติด	ติด	ไม่ติด
แดง	✓	-	✓	-
เหลือง	✓	-	✓	-
เขียว	✓	-	✓	-

สรุปผล

จากการทดลองการทดสอบระบบการสับรางของระบบอัตโนมัติสัญญาณระบบราง พบว่าระบบไฟใช้งาน ได้ปกติ การสับรางทำงานได้ดีและการเคลื่อนที่ของรถไฟจำลองที่วิ่งบนรางในขณะแบตเตอรี่ 26V ได้ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.23 m/s และความเร็วเฉลี่ยในการสับรางอยู่ที่ 5.79 s

ระบบจ่ายไฟฟ้าและระบบอัตโนมัติสัญญาณนับเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะทำให้ดำเนินงานระบบรางเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันผู้ผลิตระบบรถไฟมีการพัฒนาระบบจ่ายไฟและระบบอัตโนมัติสัญญาณที่แตกต่างกัน การนำระบบรถไฟที่แตกต่างกันมาติดตั้งใช้งานบนโครงข่ายเดียวกัน

จำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานระบบจ่ายไฟฟ้าและระบบอาณัติสัญญาณในการขนส่งทางรางที่มีเอกภาพ สามารถเชื่อมต่อและทำงานด้วยกันได้ (interoperability) อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานครั้งต่อไปคณะผู้จัดทำควรพัฒนารูปแบบของระบบอาณัติสัญญาณให้หลากหลายกว่านี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ประสิทธิ์ ภูสมมา คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และอาจารย์ วัฒนา สมานจิตร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการระบบราง มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และให้การสนับสนุนการดำเนินงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางราง กระทรวงคมนาคม. (2564). ศึกษาการจัดทำมาตรฐานระบบไฟฟ้าและระบบอาณัติสัญญาณ ระยะที่ 1 (โครงข่ายรถไฟสายประธานของประเทศไทย) มาตรการกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าและระบบอาณัติสัญญาณ. กรุงเทพมหานคร: กรมการขนส่งทางราง กระทรวงคมนาคม.
- มานะชัย วัฒนหัตถกรรม. (2559). ระบบควบคุมรถไฟและการอาณัติสัญญาณเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 1) ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- Liang, Z. (2021). Research on Automatic Control Technology of Railway Signal Equipment. 2021 International Conference on Aviation Safety and Information Technology: ICASIT 2021. China: Association for Computing Machinery. pp. 288-293.
- Zhang, R., Peng, Y., & Tao, Y. F. (2021). Research and Design of Switch Control Module of Railway Signaling Based on Power Electronics Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1972, 012045.

- Gao, F., Li, F., Wang, Z., Ge, W., & Li, X. (2021). Research on Multilevel Classification of High-Speed Railway Signal Equipment Fault Based on Text Mining. **Journal of Electrical and Computer Engineering**, 2021, Article 7146435.
- Bader, M. P., & Sachkova, E. V. (2017). Adaptation of a traction DC power system for high-speed traffic. **Russian Electrical Engineering**, 88, 474-480.
- Dórdolo, L., Germino, S., Ramoscelli, G., Permingeat, A., Mancon, C., Francucci, L., Laiuppa, A. H., Balina, D., & Lutenberg, A. (2020). Modular system for the monitoring of railway signaling equipment. **IEEE Latin America Transactions**, 18(2), 280–287.