

การออกแบบระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์

COMPUTER - BASED RAILWAY SIGNALLING SYSTEM DESIGN

สมหมาย จิตภักดี

Sommai Jitpakdee

การรถไฟแห่งประเทศไทย

State Railways of Thailand

กอบชัย เดชหาญ

Kobchai Dejhan

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

(ได้รับเมื่อ ธันวาคม ๒๕๔๔)

บทคัดย่อ

การออกแบบตารางควบคุมระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟโดยคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาใช้ควบคุมระบบอัตโนมัติสัญญาณการเดินขบวนรถในกิจการการรถไฟบนเส้นทางเดียว โดยสามารถสับหลักและวิ่งสวนทางกันได้ทีละสถานี แม้ระบบดังกล่าวจะใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก แต่การนำไปใช้ต้องให้เหมาะสมกับแต่ละประเทศด้วย สำหรับประเทศไทยใช้ระบบอัตโนมัติสัญญาณไฟสีชนิด ๒ ท่า และ ๓ ท่า ผสมกัน ในขณะที่ต่างประเทศใช้เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น โดยกำหนดตารางควบคุมและเงื่อนไขในการออกแบบเป็นมาตรฐานเดียวกันซึ่งมีการบังคับสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณกับอุปกรณ์และตรวจสอบซึ่งกันและกันให้มีความปลอดภัย รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการเดินขบวนรถมากขึ้น

ABSTRACT

This paper presents the details of control table which is the basic of railway signalling system using computer in order to improve the design of a traffic system for single line which can switch by point machine at a station to let another train from the opposite direction move to the station. The system is extensively exercised all over the world by defining the standard control table which has an interlocking system between instruments for increasing the safety, speed and efficiency in transportation. The Thai railway signalling system uses both 2 - aspect and 3 - aspect color light signal systems but other countries use either one of them.

คำนำ

ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟเป็นระบบที่ใช้ในการกำหนดทิศทางและช่วงเวลาในการเดินขบวนรถไฟ เดิมการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟใช้การบังคับสัมพันธ์ด้วยรีเลย์ (All relay interlocking: ARI)^๑ ซึ่งมีข้อเสีย คือ อายุการใช้งานของตัวรีเลย์สั้น ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งมากเนื่องจากตัวอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้า เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาสูง หากใช้งานเป็นระยะเวลานาน ระบบนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ประกอบกับการทำงานของระบบมีการตอบสนองที่ล่าช้า จึงได้พัฒนาระบบที่ใช้ควบคุมอาณัติสัญญาณรถไฟเพื่อลดปัญหาดังกล่าวและให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีปัจจุบัน โดยการออกแบบตารางควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟด้วยระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer - based interlocking system: CBI)^๒ มาใช้แทนระบบเก่า โดยระบบ CBI จะให้ความรวดเร็ว และมีความปลอดภัยมากขึ้นกว่าเดิม สามารถเพิ่มการเข้าออกย่านสถานีของขบวนรถไฟได้ในปริมาณมากขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถตรวจเช็คและวิเคราะห์อาการเสียของอุปกรณ์แสดงผลได้ง่าย โดยสถานะการทำงานต่าง ๆ ของระบบจะถูกแสดงทางจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์และทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการเดินรถไฟแห่งประเทศไทยในอนาคต เพราะสะดวกและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปวิเคราะห์ทั้งในปัจจุบันและอนาคตด้วย

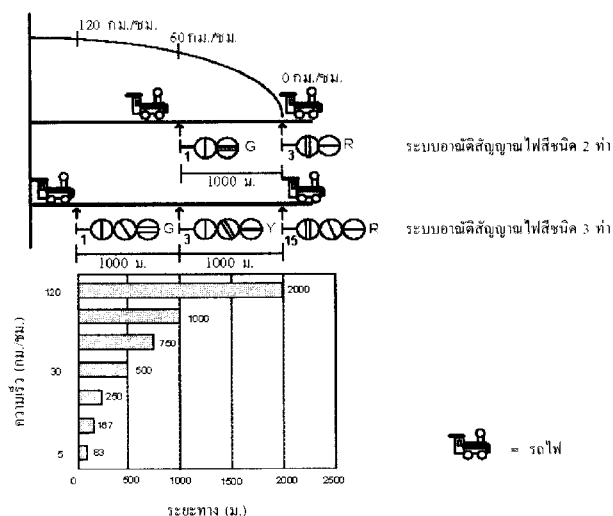
วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ (Railway signalling system design)

ตารางที่ ๑. สัญลักษณ์อาณัติสัญญาณ (Signalling symbol)

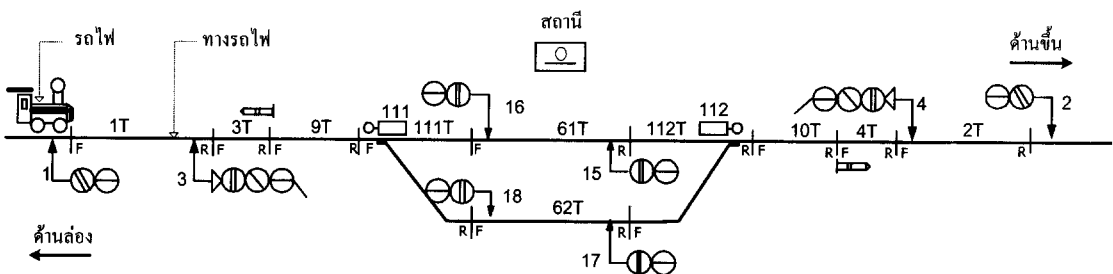
Ⓢ	การแสดงสัญญาณสีแดง "ท่าห้าม" (Red or R)	Ⓢ	ดวงโคมสีเขียว (Green)		สัญญาณเรียกเข้า (Call on signal or C)
Ⓢ	ดวงโคมสีแดง (Red)		สัญญาณเตือน (Warner signal)		ประแจกล (Point machine)
Ⓢ	การแสดงสัญญาณสีเหลือง "ท่าระวัง" (Yellow or Y)		สัญญาณออก (Starter signal)		เขตสับเปลี่ยน (Limit shunt post)
Ⓢ	ดวงโคมสีเหลือง (Yellow)		สัญญาณเข้า (Home signal)		ฉนวนกันรางรถไฟ (Insulating bonding)
Ⓢ	การแสดงสัญญาณสีเขียว "ท่าอนุญาต" (Green or G)		สัญญาณทางแยก (Junction signal or J)		วงจรไฟตอน (Track circuit) Feed (F) Relay (R)

ความจุของทาง (Track capacity) หมายถึง จำนวนขบวนรถไฟสูงสุดที่สามารถวิ่งได้บนเส้นทางหรือรางรถไฟต่อวัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ สำหรับการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟจะพิจารณาส่วนของอัตราความเร็วสูงสุดของรถไฟที่สามารถวิ่งได้ตามมาตรฐานการขนส่งทางรถไฟที่ ๑๒๐ กม./ชม. ความกว้างระหว่างรางรถไฟ ๑ ม. ซึ่งค่านี้เป็นค่าปลอดภัยมากที่สุดสำหรับสภาพเส้นทางเดินขบวนรถไฟตามปกติ และเมื่อขบวนรถไฟวิ่งผ่านระบบอาณัติสัญญาณชนิดต่าง ๆ เช่น ระบบอาณัติสัญญาณไฟสีชนิด ๒ ท่า ประกอบด้วยสีเขียวและสีแดงหรือสีเขียวและสีเหลือง ส่วนระบบอาณัติสัญญาณไฟสีชนิด ๓ ท่า ประกอบด้วยสีเขียว สีเหลืองและสีแดง ค่าอัตราความเร็วที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของท่าสัญญาณ (รูปที่ ๑)^๗



รูปที่ ๑. ระยะเบรกและหยุดขบวนรถไฟ

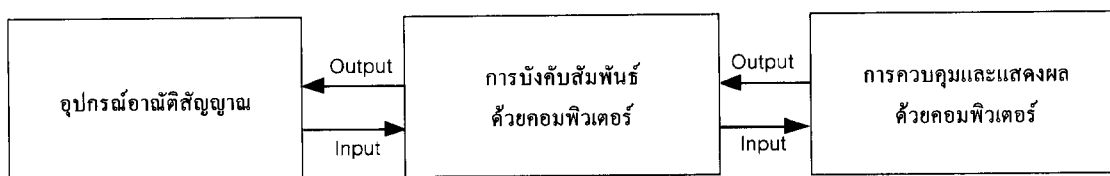
ระบบอาณัติสัญญาณ (Signalling system) เป็นระบบที่ใช้ควบคุมการเดินขบวนรถไฟ ซึ่งวิธีการควบคุมอาณัติสัญญาณไฟสีชนิดต่าง ๆ ร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เชื่อมต่อกับสายเคเบิล (Cable) ที่วางใต้ดินขนานกับเส้นทางรถไฟเป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยรูปแบบของระบบอาณัติสัญญาณที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ลาดชัน ทางโค้ง เขตชุมชนและงบประมาณที่ใช้ จากการออกแบบได้รูปแบบของระบบอาณัติสัญญาณย่านสถานี ในรูปที่ ๒^๔



รูปที่ ๒. อุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณย่านสถานี

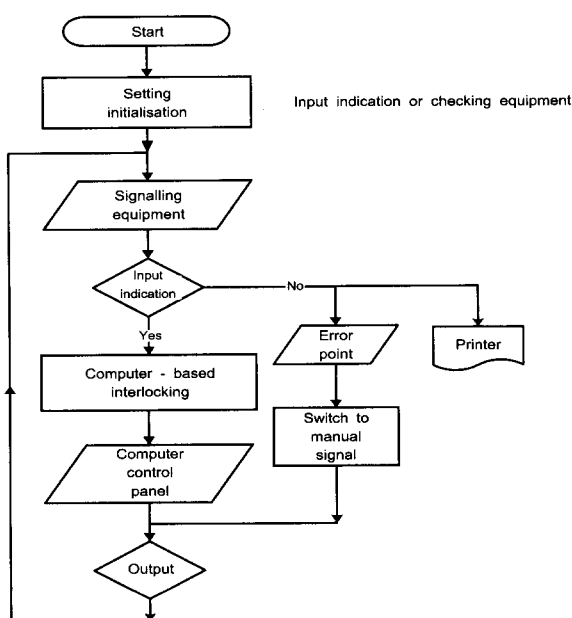
จากตารางที่ ๑ สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ ทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวกของขบวนรถไฟวิ่งบนทางร่วมเดียวกัน รวมทั้งการสับหลักภายในย่านสถานี ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์ในระบบจะต้องมีความสัมพันธ์กันเพื่อมิให้เกิดความสับสนในการเข้าหรือออกย่านสถานีของขบวนรถไฟ

ระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer - based interlocking system: CBI) จากข้อเสียของระบบ ARI ระบบ CBI จึงถูกสร้างขึ้นมาทดแทน ซึ่งมีขีดความสามารถในการทำงานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบ CBI จะนำโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาออกแบบการเขียนตารางควบคุมตามเงื่อนไขของการเดินขบวนรถไฟที่ได้จากการวางอุปกรณ์ในอาณัติสัญญาณ (รูปที่ ๒) ซึ่งโครงสร้างการทำงานแสดงในรูปที่ ๓



รูปที่ ๓. โครงสร้างของระบบ CBI

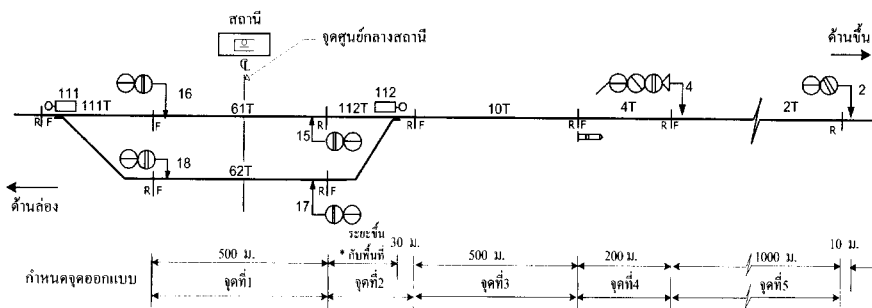
โครงสร้างของระบบ CBI สามารถจำแนกออกได้เป็น ๓ ส่วน คือ อุปกรณ์อาณัติสัญญาณ เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนเส้นทางรถไฟ มีหน้าที่กำหนดทิศทางการเดินขบวนรถ โดยรับคำสั่งทั้งหมดจากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ มาตรวจสอบสถานะการแสดงผลอาณัติสัญญาณแล้วส่งผลที่ได้รับไปยังส่วนการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลการแสดงสถานะการบังคับสัมพันธ์ของระบบอาณัติสัญญาณระหว่างระบบสัญญาณกับระบบสัญญาณและระบบสัญญาณกับระบบประจักษ์ โดยมีระบบวงจรไฟตอนเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพเส้นทางและสิ่งกีดขวาง ซึ่งจะมีการควบคุมและการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์เป็นส่วนแสดงผลการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณทั้งหมดทางจอ 모니터ของคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ ยังสามารถสั่งการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทำงานตามตารางควบคุมการเดินขบวนรถได้อีกด้วย (รูปที่ ๔)



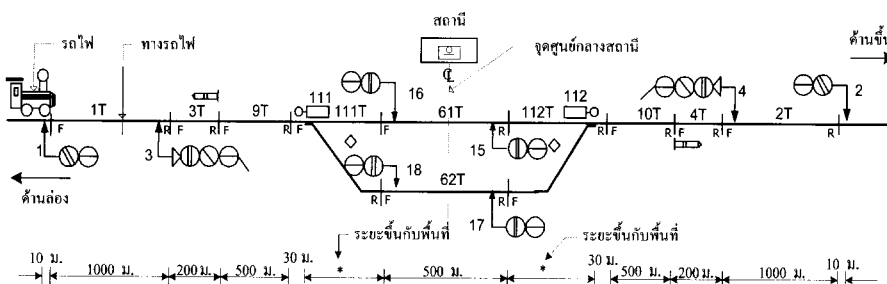
รูปที่ ๔. ำโอะแกรมโครงสร้างการทำงานของระบบ CBI

จากรูปที่ ๔ เริ่มต้นการทำงาน (Start) อุปกรณ์ในระบบจะถูกตั้งสถานะ (Setting initialisation) และมีการตรวจสอบสถานะของอินพุต (Input indication) ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ อาณัติสัญญาณทั้งหมดว่ามีการผิดพลาดหรือไม่ หากไม่ผิดพลาดข้อมูลจะถูกส่งไปยังหน่วยคำนวณ และประมวลผล (Computer - based interlocking) โดยข้อมูลจะต้องถูกส่งไปยังส่วนแสดงผลของระบบ (Computer control panel) เป็นภาพรวมบนจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์ และสามารถควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดได้ด้วย สำหรับกรณีข้อมูลผิดพลาด ข้อมูลอินพุตจะถูกส่งไปแสดงในจุดบกพร่อง (Error point) ออกทางเครื่องพิมพ์ (printer) เพื่อให้ทราบจุดบกพร่องของอุปกรณ์ และเปลี่ยนแปลงการควบคุมการทำงานให้เป็นระบบการบังคับสัมพันธ์ทางกลแทนระบบการบังคับสัมพันธ์ทางคอมพิวเตอร์

การติดตั้งอุปกรณ์ในการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณ จะทำการติดตั้งภายในย่านสถานี โดยกำหนดจุดเริ่มต้น ให้สถานีเป็นจุดศูนย์กลาง แบ่งย่านสถานีออกเป็น ๒ ด้าน คือ ด้านล่าง (Down side) เป็นเส้นทางรถไฟด้านต้นตอนหรือต้นทาง โดยกำหนดอุปกรณ์ด้วยหมายเลขที่ทั้งหมด ซึ่งจะตรงกันข้ามกับด้านขึ้น (Up side) ที่มีการกำหนดหมายเลขอุปกรณ์เป็นเลขคู่ ในการกำหนดระยะจุดติดตั้งอุปกรณ์ทั้ง ๒ ด้าน จะเหมือนกัน (รูปที่ ๕) แต่การออกแบบจะแสดงเฉพาะด้านขึ้นของสถานีเท่านั้น (รูป ๖)



รูปที่ ๕. ระยะจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ



รูปที่ ๖. ระยะจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟเส้นทางด้านขึ้น

อุปกรณ์

กำหนดจุดในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยแบ่งออกเป็น ๕ จุด ดังนี้

จุดที่ ๑ กำหนดพื้นที่สำหรับรับส่งผู้โดยสารและสินค้าที่สถานียานสถานี โดยให้สถานีเป็นจุดศูนย์กลางในการเริ่มกำหนดระยะทาง ซึ่งต้องคำนึงถึงความหนาแน่นของผู้ใช้บริการโดยสารกับพื้นที่รองรับ ออกแบบกำหนดระยะติดตั้งอุปกรณ์ ในที่นี้การรถไฟฯ ได้กำหนดระยะทางไม่น้อยกว่า ๕๐๐ ม. เพื่อให้สอดคล้องกับกฎของการรถไฟฯ ที่มีความยาวของขบวนรถไฟสูงสุดไม่เกิน ๕๐๐ ม. และต้องแบ่งรางรถไฟออกเป็น ๒ เส้นทาง คือ ทางตรงและทางหลัก เพื่อใช้ในการสับเปลี่ยนหรือหลักขบวนรถไฟ จากนั้นจึงติดตั้งวงจรไฟตอน (Track circuit) เบอร์ 61T และ 62T และติดตั้งเสาสัญญาณออก (Starter signal) ประจำเส้นทางเบอร์ ๑๕, ๑๖, ๑๗ และ ๑๘ มีระยะห่าง ๑๐ ม. จากจุดตัดของ Feed (F) และ Relay (R) ของวงจรไฟตอนเบอร์ 61T และ 62T

จุดที่ ๒ เป็นพื้นที่ในการวางประแจกล (Point machine) เบอร์ ๑๑๒ ที่จุดเส้นทางแยก กำหนดระยะออกไปทางด้านขึ้นอีก ๓๐ ม. เป็นจุดสิ้นสุดวงจรไฟตอนเบอร์ 112T

จุดที่ ๓ เป็นพื้นที่ในการสับเปลี่ยนขบวนรถไฟหรือตัดต่อโบกัปรทุกสินค้า การกำหนดระยะสิ้นสุดจากจุดที่ ๒ ออกไปทางด้านขึ้นอีกไม่น้อยกว่า ๕๐๐ ม. เพื่อติดตั้งวงจรไฟตอนเบอร์ 10T ช่วงปลายเส้นทางเป็นจุดสิ้นสุดวงจรไฟตอนเบอร์ 10T ซึ่งเป็นจุดติดตั้งเสาเขตสับเปลี่ยน (Limit shunt post) เพื่อป้องกันเขตการเดินรถและระยะเส้นทางช่วงนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจุดที่ ๑

จุดที่ ๔ เขตปลอดภัย ใช้ในการป้องกันกรณีไม่สามารถหยุดขบวนรถไฟได้ ในเขตหน้าเสาสัญญาณเข้า (Home signal) เบอร์ ๔ หรือขอบเขตพื้นที่วงจรไฟตอนเบอร์ 2T ที่เสาสัญญาณเข้าแสดงท่าห้าม (สีแดง) ซึ่งระยะเขตปลอดภัยนี้สามารถให้ขบวนรถไฟแล่นเส้นทางเข้าไปในวงจรไฟตอนเบอร์ 4T ได้ไม่เกิน ๒๐๐ ม. (การกำหนดระยะขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของขบวนรถไฟด้วย) และจุดสิ้นสุดวงจรไฟตอนเบอร์ 4T ออกไปอีก ๑๐ ม. เป็นจุดที่ติดตั้งเสาสัญญาณเข้าเบอร์ ๔

จุดที่ ๕ เขตเสาสัญญาณเตือน (Warner signal) บริเวณให้พนักงานขับรถตรวจสอบการแสดงท่าระบบสัญญาณและสภาพยานสถานีและเส้นทางในการเข้าสู่สถานี ซึ่งใช้เสาสัญญาณเข้าเบอร์ ๔ และเสาสัญญาณเตือนเบอร์ ๒ เป็นตัวบ่งบอกและมีระยะห่างระหว่างเสาสัญญาณทั้ง ๒ ต้น เป็นระยะทาง ๔ ม. ซึ่งเป็นระยะในการเบรกเพื่อหยุดขบวนรถไฟที่อัตราความเร็วกำหนด (รูปที่ ๑)

ในการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณ (รูปที่ ๕) การควบคุมโดยระบบการบังคับ สัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (CBI) จะต้องอาศัยตารางควบคุม การเขียนตารางควบคุมจะต้องอาศัย การแสดงท่าของสัญญาณ ซึ่งถูกกำหนดโดยการรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นกฎข้อบังคับการเดิน ขบวนรถเปรียบเสมือนกฎหมายในการเดินรถไฟที่พนักงานขับรถจะต้องศึกษาทำความเข้าใจใช้ เป็นกฎระเบียบสำหรับสื่อความหมายในการปฏิบัติเหมือนกันทุกเส้นทางทั่วประเทศเพื่อให้เกิด ความปลอดภัยและรวดเร็ว (ตารางที่ ๒)

ตารางที่ ๒. การแสดงท่าระบบอาณัติสัญญาณของการรถไฟแห่งประเทศไทย

ทิศทางขบวนรถ เข้าและออกสถานี	การแสดง ท่าเสาสัญญาณเตือน	การแสดง ท่าเสาสัญญาณเข้า	การแสดงท่าประจำ		การแสดงท่าเสา สัญญาณออก
			111	112	
๑. การเตรียม (ทางทุกเส้นทาง)	สีเหลือง (Y)	สีแดง (R)	ทางตรง		สีแดง (R)
๒. เข้าทางตรง (ขบวนรถผ่าน สถานี)	สีเขียว (G)	สีเขียว (G)	ทางตรง		สีเขียว (G)
๓. เข้าทางตรง (ขบวนรถ จอดสถานี)	สีเขียว (G)	สีเหลือง (Y)	ทางตรง		สีแดง (R)
๔. ขบวนรถออก (จากสถานี ทางตรง)	-	-	ทางตรง		สีเขียว (G)
๕. เข้าทางหลัก (ขบวนรถ จอดสถานี)	สีเขียว (G)	สีเหลือง (Y)+ Junction signal	ทางหลัก		สีแดง (R)
๖. ขบวนรถออก (จากสถานี ทางหลัก)	-	-	ทางหลัก		สีเขียว (G)
๗. ระบบขัดข้อง	สีเหลือง (Y)	สีแดง (R)+Junction, +Call - on signal	ทางตรง ทางหลัก		สีแดง (R)

ผลของการเขียนตารางควบคุมจะถูกใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ อาณัติสัญญาณต่าง ๆ (ตารางที่ ๓)

ตารางที่ ๓. การออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

ทิศทางขบวน รถเข้าและออก สถานี	สัญญาณ เคียน		สัญญาณเจ้า			ประเภท		สัญญาณออก				ประเภท		วงจรไฟคอน										สัญญาณเจ้า				สัญญาณ เคียน					
	1		3			111		16	18	15	17	112												4				2					
	Y	G	C	R	Y	G	J	R	G	R	G	R	G	ทาง ตรง	ทาง หลัก	1T	3T	9T	111T	61T	62T	112T	10T	4T	2T	C	R	Y	G	J	G	Y	
๑. การเตรียมทาง (ทุกเส้นทาง)	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
๒. เข้าทางตรง (ผ่านสถานี)	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
๓. เข้าทางตรง (จอดสถานี)	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
๔. ขบวนรถออก (สถานีทางตรง)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
๕. เข้าทางหลัก (จอดสถานี)	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
๖. ขบวนรถออก (สถานีทางหลัก)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
๗. ระบบขัดข้อง (จอดสถานี)	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1

หมายเหตุ: 0 หมายถึง การบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณที่ไม่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไข

1 หมายถึง การบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไข

ตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณ สามารถอธิบายได้ดังนี้

เงื่อนไขที่ ๑ คือ การเตรียมทาง (ทุกเส้นทาง) หมายถึง การเซตระบบหรือตรวจสอบสถานะการแสดงท่าสัญญาณของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่ย่านสถานีว่าถูกต้องตามตารางควบคุมหรือไม่ เพื่อควบคุมการทำงานของเงื่อนไขต่าง ๆ ต่อไป

เงื่อนไขที่ ๒ คือ เข้าทางตรง (ผ่านสถานี) หมายถึง การควบคุมให้ขบวนรถวิ่งผ่านไม่จอดรับผู้โดยสารที่สถานีในเส้นทางตรงจากด้านล่างไปยังด้านบน

เงื่อนไขที่ ๓ คือ เข้าทางตรง (จอดสถานี) หมายถึง การควบคุมให้ขบวนรถวิ่งเข้ามาจอดรับส่งผู้โดยสารที่ชานชาลาสถานีในเส้นทางตรงจากด้านล่าง

เงื่อนไขที่ ๔ คือ ขบวนรถออก (สถานีทางตรง) หมายถึง การควบคุมให้ขบวนรถออกจากสถานีในเส้นทางตรง หลังจากจอดรับส่งผู้โดยสารหรือสับเปลี่ยนขบวนรถและเดินขบวนรถไปยังเส้นทางด้านบน

เงื่อนไขที่ ๕ คือ เข้าทางหลัก (จอดสถานี) หมายถึง การควบคุมให้ขบวนรถวิ่งเข้ามาจอดรับส่งผู้โดยสารที่ชานชาลาสถานีในเส้นทางหลักจากด้านล่าง

เงื่อนไขที่ ๖ คือ ขบวนรถออก (สถานีทางหลัก) หมายถึง การควบคุมให้ขบวนรถออกจากสถานีในเส้นทางหลัก หลังจากจอดรับส่งผู้โดยสารหรือสับเปลี่ยนขบวนรถและเดินขบวนรถไปยังเส้นทางด้านบน

เงื่อนไขที่ ๗ คือ ระบบขัดข้อง (จอดสถานี) หมายถึง การควบคุมให้ขบวนรถวิ่งเข้ามาจอดสถานีทุกเส้นทางในกรณีระบบอาณัติสัญญาณขัดข้องโดยใช้สัญญาณเรียกเข้า

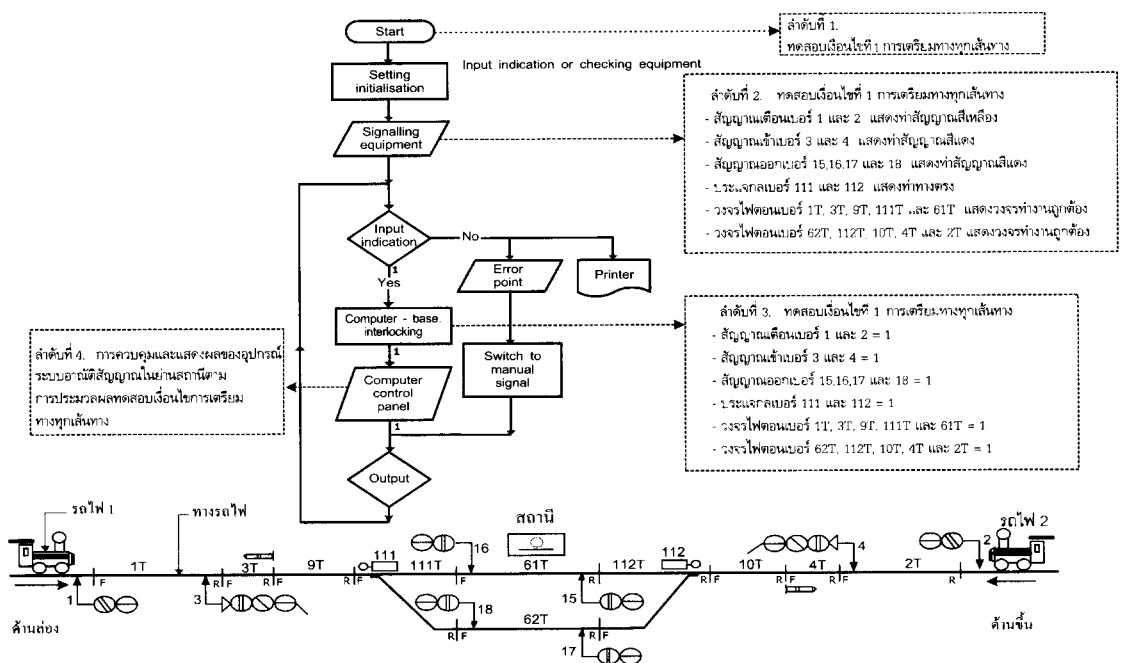
ผลการวิจัย

จากการออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ (ตารางที่ ๓) ทุกเงื่อนไขได้ทำการตรวจสอบและทดสอบตามกฎและระเบียบการเดินรถของการรถไฟฯ จนเป็นที่แน่ใจว่าถูกต้อง ดังตัวอย่างที่ทำการทดลองในการจำลองขบวนรถไฟ ๒ ขบวน ที่วิ่งเข้าสู่สถานีซึ่งมีระบบอาณัติสัญญาณไฟสีที่ออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยขบวนที่ ๑ จะวิ่งจากด้านล่าง และขบวนที่ ๒ วิ่งจากด้านบนเข้าสู่สถานี แล้วสับหลักกันที่สถานี ซึ่งการทำงานของระบบจะมีขั้นตอนและการเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมเป็นไปตามตารางควบคุมที่ออกแบบไว้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ ๑ การนำเอาเงื่อนไขที่ ๑ คือ การเตรียมทางทุกเส้นทางจากจุดเริ่มต้น เข้าสู่ระบบเพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ระบบอัตโนมัติสัญญาณทั้งหมด ดังนี้

- สัญญาณเตือน เบอร์ ๑ และ ๒ แสดงทำสัญญาณเหลือง
- สัญญาณเข้า เบอร์ ๓ และ ๔ แสดงทำสัญญาณแดง
- สัญญาณออก เบอร์ ๑๕, ๑๖, ๑๗ และ ๑๘ แสดงทำสัญญาณแดง
- ประแจกล เบอร์ ๑๑๑ และ ๑๑๒ แสดงทำทางตรง
- วงจรไฟคอน เบอร์ 1T, 3T, 9T, 111T, 61T, 62T, 112T, 10T, 4T และ 2T แสดง

วงจรทำงานถูกต้อง นำมาแทนค่าในไดอะแกรมโครงสร้าง รูปที่ ๔ จะได้ผลลัพธ์ตามสัญลักษณ์ของท่าระบบอัตโนมัติสัญญาณต่าง ๆ (รูปที่ ๗)

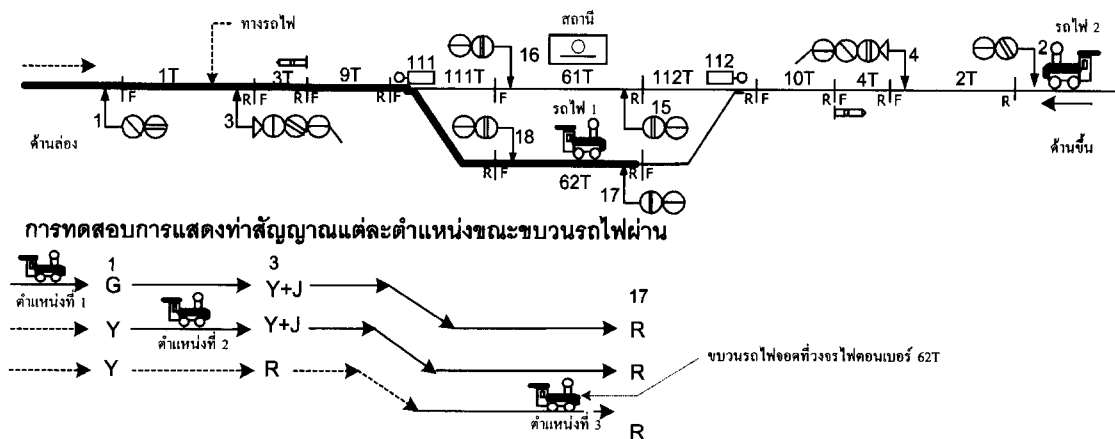


รูปที่ ๗. การทดสอบเงื่อนไขที่ ๑ การเตรียมทาง (ทุกเส้นทาง)

ขั้นตอนที่ ๒ การควบคุมเงื่อนไขที่ ๕ เพื่อให้ขบวนรถไฟวิ่งเข้าสู่นานสถานีบนเส้นทางหลักจากด้านล่างมาจอดรับส่งผู้โดยสารที่ชานชาลาสถานีในพื้นที่วงจรไฟตอนเบอร์ 62T และทำการสับเปลี่ยนกับขบวนรถไฟที่วิ่งมาจากด้านบน โดยมีอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไข ดังนี้

- สัญญาณเตือน เบอร์ ๑ แสดงทำสัญญาณเขียว
- สัญญาณเตือน เบอร์ ๒ แสดงทำสัญญาณเหลือง
- สัญญาณเข้า เบอร์ ๓ แสดงทำสัญญาณเหลืองและสัญญาณบอกทางแยก
- สัญญาณเข้า เบอร์ ๔ แสดงทำสัญญาณแดง
- สัญญาณออก เบอร์ ๑๕, ๑๖, ๑๗ และ ๑๘ แสดงทำสัญญาณแดง
- ประแจกล เบอร์ ๑๑๑ และ ๑๑๒ แสดงทำทางหลัก
- วงจรไฟตอน เบอร์ 1T, 3T, 9T, 111T, 62T และ 10T แสดงวงจรทำงานถูกต้อง

นำมาแทนค่าในไดอะแกรมโครงสร้าง รูปที่ ๗ เพราะการควบคุมเงื่อนไขเป็นการทำงานต่อเนื่องและมีการบังคับสัมพันธ์กันของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณประจำที่ การทดสอบการทำงานของเงื่อนไขที่ ๕ แสดงในรูปที่ ๘

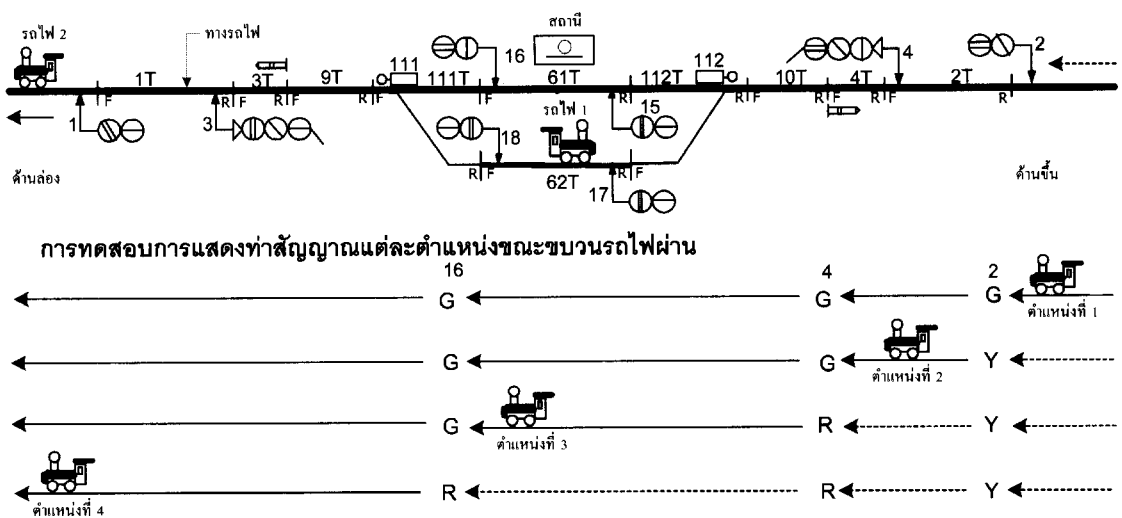


รูปที่ ๘. การทดสอบเงื่อนไขที่ ๕ ขบวนรถไฟเข้าทางหลักจอดสถานี

ขั้นตอนที่ ๓ การควบคุมเงื่อนไขที่ ๒ เพื่อให้ขบวนรถไฟวิ่งผ่านสถานีบนเส้นทางตรงจากเส้นทางด้านขึ้นไปยังด้านล่าง โดยมีอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขดังนี้

- สัญญาณเตือน เบอร์ ๑ แสดงท่าสัญญาณเหลือง
- สัญญาณเตือน เบอร์ ๒ แสดงท่าสัญญาณเขียว
- สัญญาณเข้า เบอร์ ๓ แสดงท่าสัญญาณแดง
- สัญญาณเข้า เบอร์ ๔ แสดงท่าสัญญาณเขียว
- สัญญาณออก เบอร์ ๑๕, ๑๖, ๑๗ และ ๑๘ แสดงท่าสัญญาณแดง
- ประแจกล เบอร์ ๑๑๑ และ ๑๑๒ แสดงท่าทางตรง
- วงจรไฟตอน เบอร์ 1T, 3T, 9T, 111T, 61T, 112T, 10T, 4T และ 2T แสดง

วงจรทำงานถูกต้อง นำมาแทนค่าในไดอะแกรมโครงสร้าง รูปที่ ๗ เพราะการควบคุมเงื่อนไขดังกล่าวมีการทำงานต่อเนื่อง มีการบังคับสัมพันธ์กันของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณประจำที่ การทดสอบการทำงานของเงื่อนไขที่ ๒ แสดงในรูปที่ ๘

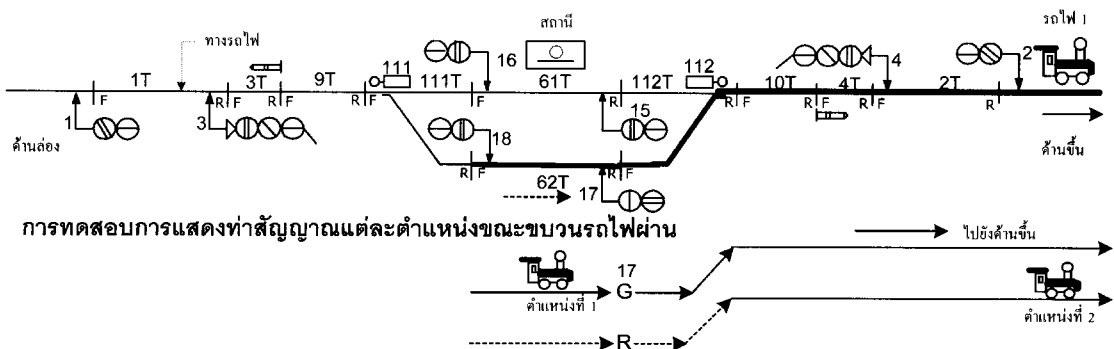


รูปที่ ๘. การทดสอบเงื่อนไขที่ ๒ ขบวนรถไฟวิ่งผ่านสถานีเส้นทางตรง

ขั้นตอนที่ ๔ การควบคุมเงื่อนไขที่ ๖ เพื่อให้ขบวนรถไฟวิ่งออกจากสถานีบนเส้นทางหลักพื้นที่วงจรไฟตอนเบอร์ 62T หลังจากรับส่งผู้โดยสารและสับเปลี่ยนเรียบร้อยแล้ว ไปยังเส้นทางด้านขึ้น โดยมีอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไข ดังนี้

- สัญญาณเตือน เบอร์ ๑ และ ๒ แสดงทำสัญญาณเหลือง
- สัญญาณเข้า เบอร์ ๓ และ ๔ แสดงทำสัญญาณแดง
- สัญญาณออก เบอร์ ๑๕, ๑๖, ๑๗ และ ๑๘ แสดงทำสัญญาณแดง
- สัญญาณออก เบอร์ ๑๗ แสดงทำสัญญาณเขียว
- ประแจกล เบอร์ ๑๑๒ แสดงทำทางหลัก
- วงจรไฟตอน เบอร์ 62T, 112T, 10T, 4T และ 2T แสดงวงจรถางานถูกต้อง นำมา

แทนค่าในไดอะแกรมโครงสร้าง รูปที่ ๗ เพราะการควบคุมเงื่อนไขดังกล่าวมีการทำงานต่อเนื่อง มีการบังคับสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของอุปกรณ์ระบบอาณัติสัญญาณประจำที่ การทดสอบการทำงานของเงื่อนไขที่ ๖ แสดงตามสัญลักษณ์อาณัติสัญญาณในรูปที่ ๑๐



รูปที่ ๑๐. การทดสอบเงื่อนไขที่ ๖ ขบวนรถไฟออกจากสถานีเส้นทางหลัก

สรุป

การออกแบบตารางควบคุมระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่พัฒนาจากระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยรีเลย์ (ARI) ซึ่งเป็นระบบเก่าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมาเป็นระบบการบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (CBI) เพื่อนำมาทดแทนระบบเดิมในอนาคต โดยในหลักการออกแบบระบบควบคุมได้ประยุกต์ระบบอาณัติสัญญาณไฟสีชนิด ๒ ท่า และระบบอาณัติสัญญาณไฟสีชนิด ๓ ท่า มาใช้ร่วมกันโดยใช้หลักการระบบ Fail - safe (ระบบมีความปลอดภัยเมื่อระบบหลักเกิดการขัดข้อง) ในอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะของระบบโดยทำหน้าที่ตรวจสอบขบวนรถครอบครองบนเส้นทางหรือตรวจสอบสถานะปกติของเส้นทางย่านสถานี คือวงจรไฟตอนที่ติดตั้งอยู่บนเส้นทางจะถูกกำหนดให้ทำงานอยู่ตลอดเวลาในสถานะปกติ หรือถูกออกแบบในรูปของวงจรปิด เมื่อมีขบวนรถครอบครองบนเส้นทางหรือเส้นทางชำรุดวงจรจะไม่ทำงานจนกว่าขบวนรถจะวิ่งผ่าน หรือมีการซ่อมแซมเส้นทางเรียบร้อยแล้ววงจรจึงจะกลับทำงานปกติ

สำหรับแนวทางการออกแบบย่านสถานีนั้น ได้อ้างอิงจากกฎและระเบียบข้อบังคับการเดินรถในทางเดียวของการรถไฟแห่งประเทศไทย การกำหนดจุดติดตั้งและระยะห่างของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกใช้ในระบบเป็นไปตามมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย และได้ออกแบบตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟในเส้นทางเดียวเพื่อเป็นเงื่อนไขในการเดินรถเข้าและออกย่านสถานีโดยสามารถสับหลักและวิ่งสวนทางกันได้ที่สถานีเพื่อนำไปออกแบบในการควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณจริงในอนาคตและทำการจำลองแบบการแสดงผลสัญญาณและการเดินขบวนรถเข้าสู่สถานีในรูปแบบของการแสดงสัญญาณการครอบครองเส้นทางหรือวงจรไฟตอนที่อยู่บนเส้นทางตามเงื่อนไขของตารางควบคุมการบังคับสัมพันธ์ ซึ่งการกำหนดตารางควบคุมและเงื่อนไขในการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณรถไฟจะเป็นไปตามมาตรฐานสากล

เอกสารอ้างอิง

๑. McDwyn, D.J. Railway Signal. Westinghouse Brake & Signal Co., Sydney, 1994.
๒. Yoshimura, H. and Yoshikoshi, S. Railway Signal 2. Tokyo, 1998.
๓. The Institution of Railway Signal Engineer. Railway Control System 2. GEC. Alsthom Signalling Co., London, 1999.
๔. Sims, P.J. Railway Signal. Westinghouse Brake & Signal Co., Sydney, 1993.