



กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – SC – 001 -2564

มาตรฐานระบบบังคับสัมพันธ์บนโครงข่าย

รถไฟสายประธาน

INTERLOCKING SYSTEM ON MAINLINE TRAIN



กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง



514/1 Lan Luang Road, Dusit,
Bangkok, Thailand 10300



<http://www.drt.go.th/>



Facebook/DRT.OfficialFanpage



มขร – SC – 001 - 2564

**มาตรฐานระบบบังคับสัมพันธ์บนโครงข่ายรถไฟสายประธาน
(Interlocking System on Mainline Train)****1. บททั่วไป**

มาตรฐานระบบอาณัติสัญญาณด้วยการบังคับสัมพันธ์ฉบับนี้ระบุถึงข้อกำหนดทั่วไป คุณสมบัติพื้นฐานและฟังก์ชันการทำงาน การเชื่อมต่อระบบกับอุปกรณ์อาณัติสัญญาณบนทางรถไฟ ระบบควบคุมการจราจรทางรถไฟ มาตรฐานความปลอดภัย และการทดสอบระบบ สำหรับระบบบังคับสัมพันธ์ชนิดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการเลือกใช้อุปกรณ์หลัก และ/หรืออุปกรณ์ย่อย ในระบบบังคับสัมพันธ์ให้สามารถทำงานร่วมกันได้กับอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์และอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่มีติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้ว และ/หรือที่จะติดตั้งใหม่บนโครงข่ายรถไฟสายประธานในประเทศไทย

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้กำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติพื้นฐานของระบบบังคับสัมพันธ์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของระบบอาณัติสัญญาณควบคุมการเดินรถไฟ สำหรับระบบรถไฟสายประธานในประเทศไทย

1.2 ขอบข่าย

- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบอาณัติสัญญาณรถไฟที่มีติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้ว และ/หรือที่จะติดตั้งใหม่บนโครงข่ายรถไฟสายประธานในประเทศไทย
- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับเพื่อเป็นข้อกำหนดในการเลือกใช้อุปกรณ์หลักและ/หรืออุปกรณ์ย่อย ในระบบบังคับสัมพันธ์ให้สามารถทำงานร่วมกันได้กับอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์และอุปกรณ์อื่น ๆ

1.3 เอกสารอ้างอิง

- 1) AS 4292:2017 (all parts) Railway safety management
- 2) AS 7703:2020 Railway Signalling - Power Supply Systems
- 3) EN 50121-4 2019 Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus
- 4) IEC 61508: 2010 – Functional Safety of Electrical/ Electronic/ Programmable Electronic Safety-related System



- 5) IEC 61312-1:1995-02, Protection against lightning electromagnetic impulse Part 1: General principles
- 6) IEC 61131:2020 SER Series Programmable controllers - ALL PARTS
- 7) IEC 61131-2:2017 Industrial-process measurement and control - Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests
- 8) IEC 62280:2014 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related communication in transmission systems
- 9) IEC 62497-1:2010 Railway applications - Insulation coordination - Part 1: Basic requirements - Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment
- 10) IEC 60300-3-14:2004 Dependability management - Part 3-14: Application guide - Maintenance and maintenance support
- 11) IEC 62498- 3: 2010 Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 3: Equipment for signalling and telecommunications
- 12) EN 50126: 2001 Railway Applications— Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)
- 13) EN 50128: 2011 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems
- 14) EN 50129:2018 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signaling
- 15) มอก. 513-2553 (IEC 60529) ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริเวณไฟฟ้า (รหัส IP)

1.4 นิยาม

ฮาร์ดแวร์ระบบบังคับสัมพันธ์ (System hardware) หมายถึง อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบบังคับสัมพันธ์ ซึ่งจับต้องได้

อุปกรณ์อาณัติสัญญาณ (Signalling equipment) หมายถึง อุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบอาณัติสัญญาณ

เขตพื้นที่ควบคุม (Control area) หมายถึง พื้นที่ติดต่อกันอนุญาตให้บุคคลทั่วไปเข้าถึงได้ โดยแบ่งออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ หรือเป็นพื้นที่ที่อยู่ติดหรืออยู่ใกล้เคียง โดยรอบพื้นที่หวงห้าม



ค่าเฉลี่ยของเวลาก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุด (Mean Time Between Failure :MTBF) หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง

หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) หมายถึง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงาน หรือ ประมวลผล ตามชุดของคำสั่งจากซอฟต์แวร์

ความน่าเชื่อถือ ความพร้อมใช้ ความสามารถในการซ่อมบำรุง และความปลอดภัยของระบบ (Reliability, Availability, Maintainability and Safety :RAMS) หมายถึง กระบวนการในการศึกษา วิเคราะห์ ความน่าเชื่อถือของระบบ ความพร้อมใช้ของระบบ ความสามารถในการซ่อมบำรุงของระบบ และความปลอดภัยของระบบ

อัตราอันตรายที่ยอมรับได้ (Tolerable Hazard Rate :THR) หมายถึง ระดับความเสียหายที่พอรับได้

ความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility :EMC) หมายถึง ความสามารถของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานร่วมกันได้ท่ามกลางสภาวะที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เปลือกหุ้ม (Enclosure) หมายถึง ส่วนที่ใช้ป้องกันบริภัณฑ์จากอิทธิพลภายนอก และป้องกันการสัมผัสโดยตรงจากทุกทิศทาง

ระดับชั้นการป้องกัน (Degree of Protection) หมายถึง ขอบเขตการป้องกันของเปลือกหุ้ม ซึ่งป้องกันการเข้าถึงส่วนที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งและ/หรือน้ำ และให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการป้องกันนั้น

รหัส IP (IP Code) หมายถึง ระบบรหัสที่ระบุระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้ม ซึ่งป้องกันการเข้าถึงส่วนที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแปลกปลอมที่เป็นของแข็งและ/หรือน้ำ และให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการป้องกันนั้น

อะไหล่สำรอง (Spare part) หมายถึง ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในระบบบังคับสัมพันธ์ที่สามารถบำรุงรักษาได้ซึ่งจะต้องเป็นชิ้นส่วนในระบบย่อยของระบบบังคับสัมพันธ์ ที่สามารถถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดให้ระบบบังคับสัมพันธ์กลับมาทำงานได้ปกติภายในระยะเวลาที่กำหนด อาทิเช่น แผ่นบอร์ด แผงควบคุม เป็นต้น

ระดับของระบบรักษาความปลอดภัย (Safety Integrity Level :SIL) หมายถึง ตัวเลขที่บอกถึงระดับความสามารถของระบบรักษาความปลอดภัยที่ใช้ป้องกันการดำเนินงานผิดพลาดของกระบวนการรายละเอียดตาม ภาควินวก ก

การทดสอบการใช้งานของระบบ (Commissioning) หมายถึง กระบวนการทดสอบการทำงาน ของระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ



การสอบทวน (Validation) หมายถึง กิจกรรม หรือกระบวนการ เพื่อพิสูจน์ว่า ขั้นตอนการทดสอบ กระบวนการทดสอบ ระบบการทดสอบ เครื่องมือ หรือวิธีการทดสอบที่นำมาใช้ สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

ระบบโทรมาตร (Telemetry system) หมายถึง ระบบตรวจวัดและส่งข้อมูลทางไกลแบบอัตโนมัติ

การทวนสอบ (Verification) หมายถึง การยืนยันโดยการตรวจสอบและมีหลักฐานแสดงว่าเป็นไปตามข้อกำหนด

การสื่อสารข้อมูลสำคัญ (Vital link) หมายถึง การสื่อสารข้อมูลที่มีผลต่อความปลอดภัยของระบบที่จะต้องกำหนดให้ออกแบบให้เป็นไปตามหลักการของ fail safe

สัญญาณสำคัญ (Vital signal) หมายถึง สัญญาณสำคัญที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของระบบอาณัติสัญญาณที่จะต้องกำหนดให้ออกแบบตามหลักการของ fail safe อาทิเช่น สัญญาณไฟสี การควบคุมประแจกลไฟฟ้า วงจรไฟตอนของการครองทางของล้อเลื่อนรถไฟ เป็นต้น

ปลอดภัยเมื่อขัดข้อง (Fail safe) หมายถึง หลักการในการออกแบบของระบบต่าง ๆ ที่มีการป้องกันเมื่อเกิดความขัดข้องเพื่อลดผลกระทบหรือไม่ให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ ระบบ และสิ่งแวดล้อม

ห้องรีเลย์ (Relay room) หมายถึง ห้องอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่อยู่บริเวณศูนย์ควบคุมการเดินรถหรือสถานีรถไฟ สำหรับติดตั้งรีเลย์หรือการควบคุมด้วยการถ่ายทอดสัญญาณคำสั่งควบคุมจากระบบบังคับสัมพันธ์ไปสู่อุปกรณ์อาณัติสัญญาณข้างทางรถไฟ

เงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking Logic) หมายถึง แอปพลิเคชันที่มีการสร้างโมเดลรูปแบบโครงสร้างของแอปพลิเคชันที่มีความสลับซับซ้อนให้เป็นระดับเลเยอร์ที่สามารถประมวลผลได้อย่างเป็นระบบสำหรับระบบบังคับสัมพันธ์

หน่วยควบคุมแบบโปรแกรมได้ (Programable Logic Controller: PLC) หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการที่มีไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่ประมวลผลสั่งการสามารถป้อนคำสั่งหรือโปรแกรมเพื่อสร้างเงื่อนไขของการควบคุม Input / Output รวมไปถึงการคำนวณและประมวลผล

ฟังก์ชันตรรกะบูลีน (Boolean Logic) หมายถึง ฟังก์ชันที่มีการประมวลผลตรรกะตามกฎของพีชคณิตบูลีน ได้แก่กฎของการมีจริงของ 0 และ 1 กฎการสลับที่ กฎการจัดกลุ่ม กฎการกระจาย และ กฎการมีจริงของส่วนเติมเต็ม



2. ข้อกำหนดการบังคับสัมพันธ์

2.1 มาตรฐาน

การนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเพื่อวัตถุประสงค์ด้านความปลอดภัยของระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐานความปลอดภัย ซึ่งจะดำเนินการตามขั้นตอนในการออกแบบ การทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์

- 1) การดำเนินการพัฒนาตามข้อกำหนดในมาตรฐาน IEC 61508:2010 – Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems จะต้องมีการจัดทำเอกสารตามวิธีการและรายละเอียดที่ระบุไว้ในมาตรฐานฉบับที่เป็นปัจจุบันสำหรับการตรวจสอบและประเมินด้านความปลอดภัย
- 2) ส่วนประกอบทั้งหมดในระบบบังคับสัมพันธ์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ระดับของระบบรักษาความปลอดภัย (Safety Integrity Level :SIL) ระดับ 4

2.2 ซอฟต์แวร์ระบบบังคับสัมพันธ์

ซอฟต์แวร์ที่เป็นส่วนประกอบในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีความเสถียรไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากผลกระทบของอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ในระบบอาณัติสัญญาณหรือระบบรถไฟ ซอฟต์แวร์ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องผ่านการตรวจสอบและยืนยันด้านความปลอดภัยตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 8.2.1 การสอบทวนซอฟต์แวร์ ภายใต้หมวดการตรวจสอบและยืนยันความปลอดภัย

2.3 ฮาร์ดแวร์ระบบบังคับสัมพันธ์

- 1) การออกแบบระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีความเหมาะสมกับขนาดความจุ และพื้นที่ติดตั้ง หากระบบมีขนาดใหญ่เกินกว่านั้น ให้ขยายขนาดอุปกรณ์ประกอบตามขนาดความต้องการของระบบ และมีการตอบสนองคำสั่งการ การประมวลผลได้ทันเวลาที่
- 2) อุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถเพิ่มหรือลดอุปกรณ์ส่วนประกอบในระบบได้ง่าย โดยไม่ต้องย้ายองค์ประกอบหลัก และ/หรือ องค์ประกอบย่อยหรือต้องมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ในระบบ
- 3) อุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์ต้องสามารถถอด เปลี่ยน ประกอบติดตั้ง และกำหนดค่าได้ง่าย ไม่ซับซ้อนเพื่อให้สามารถเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหายได้โดยง่าย

การติดตั้งส่วนประมวลผล และ/หรือ ส่วนควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณเพิ่มเติมในระบบ จะต้องไม่ส่งผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบ และต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อความ สมบูรณ์ ความปลอดภัย และความมั่นคงของระบบบังคับสัมพันธ์ ฮาร์ดแวร์ระบบบังคับสัมพันธ์ จะต้องผ่านการตรวจสอบและยืนยันด้านความปลอดภัยตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 8.2.2 การสอบทวนฮาร์ดแวร์ ภายใต้หมวดการตรวจสอบและยืนยันความปลอดภัย

2.4 ความปลอดภัย

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถทำงานร่วมกับระบบอาณัติสัญญาณได้อย่างปลอดภัย และมีระบบตรวจสอบเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน เช่น การให้สัญญาณที่ตรงกันข้ามกับ คำสั่ง (wrong side failure) การส่งกลับประจกไฟฟ้าขณะมีรถครอบครองทาง การบังคับประจก กลไม่ให้กลับท่าเมื่อมีการเตรียมทางแล้ว

อุปกรณ์อาณัติสัญญาณทั้งหมดที่ควบคุมโดยระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องผ่านการตรวจสอบ ความเข้ากันได้โดยต้องมีการทดสอบฟังก์ชันการควบคุมระหว่างระบบควบคุมกับอุปกรณ์อาณัติ สัญญาณแต่ละส่วน และกำหนดให้มีวาระการทดสอบและตรวจสอบตามแผนการบำรุงรักษาของ ผู้ผลิต โดยให้มีค่าระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์อาณัติสัญญาณมีค่าอยู่ในพิสัยของ ผู้ผลิตที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าระบบบังคับสัมพันธ์สามารถควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ บนทางรถไฟได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

2.4.1 ความหลากหลายของซอฟต์แวร์ (Diversity)

- 1) กรณีที่ในระบบบังคับสัมพันธ์มีซอฟต์แวร์ซึ่งมาจากหลายผู้ผลิตหรือมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ต้องมีระบบป้องกันความผิดพลาดของการตรวจสอบ Input/Output ของแต่ละ ซอฟต์แวร์ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบย่อยอื่น ๆ ทั้งกับส่วนของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ในระบบ บังคับสัมพันธ์
- 2) ซอฟต์แวร์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะให้สัญญาณควบคุมไปที่อุปกรณ์อาณัติสัญญาณเมื่อมี การตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของข้อมูล ด้วยวิธีการตรวจสอบเปรียบเทียบ Output จาก แต่ละส่วนย่อยในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ตามมาตรฐาน EN 50128: 2011 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems หรือ EN 50129:2018 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling แล้วเท่านั้น
- 3) ซอฟต์แวร์ในระบบบังคับสัมพันธ์ต้องมีอัลกอริทึมในการตรวจสอบข้อมูลที่อยู่ระหว่างการ ประมวลผล การตรวจสอบจะต้องครอบคลุมถึงความบกพร่องของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์



ระบบปฏิบัติการ และการป้องกันการให้ข้อมูลที่ผิดพลาด โดยจะต้องเป็นอัลกอริทึมที่ใช้การตรวจสอบแบบต่อเนื่องตลอดเวลา

2.4.2 การเสื่อมสภาพของซอฟต์แวร์ (Degradation of software)

ซอฟต์แวร์ที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยต้องมีฟังก์ชันการตรวจสอบในซอฟต์แวร์นั้น และการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในเขตพื้นที่ควบคุม ต้องมีวงรอบการตรวจสอบข้อมูลภายในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทั้งหมดในระบบตามช่วงเวลาของผู้ผลิต กำหนด เพื่อยืนยันว่าซอฟต์แวร์จะไม่เกิดผลกระทบใด ๆ จากปัจจัยภายนอกหรือความผิดปกติภายในระบบ

2.4.3 การให้สัญญาณที่ขัดข้อง

ผลการคำนวณค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการส่งสัญญาณที่ขัดข้องแต่ละครั้ง (Mean Time Between Wrong Side Failures: MTBWSF) ของแต่ละสัญญาณคำสั่งควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในระบบบังคับสัมพันธันจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1,000,000 ปี โดยคำนวณจากค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการส่งสัญญาณที่ขัดข้องของหน่วยประมวลผลกลางระบบบังคับสัมพันธันแต่ละตัวที่เกี่ยวข้องต่อการออกคำสั่งควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ

2.4.4 ป้ายกำกับ

อุปกรณ์บังคับสัมพันธันที่ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จะต้องมีป้ายกำกับอย่างชัดเจน

2.5 ความน่าเชื่อถือ ความพร้อมใช้ ความสามารถในการซ่อมบำรุง และความปลอดภัยของระบบ (Reliability, Availability, Maintainability and Safety :RAMS)

ระบบบังคับสัมพันธันกำหนดให้ต้องมีการพิจารณา ความน่าเชื่อถือ ความพร้อมใช้ ความสามารถในการซ่อมบำรุง และความปลอดภัยของระบบตามมาตรฐาน EN 50126:2001 Railway Applications— Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) ซึ่งมีหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

2.5.1 ความน่าเชื่อถือ (Reliability)

กำหนดให้ต้องมีรายงานข้อมูลความน่าเชื่อถือจากการใช้งานของอุปกรณ์บังคับสัมพันธันเพื่อให้มั่นใจได้ว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ด้วยระดับความน่าเชื่อถือ ในสถานะของการควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณสำหรับการเดินรถในสภาวะปกติบนเส้นทางรถไฟระหว่าง



เขตพื้นที่ควบคุมระบบบังคับสัมพันธ์อย่างน้อย 2 พื้นที่ที่ควบคุมโดยระบบบังคับสัมพันธ์ 2 ชุด ซึ่งจะต้องมีกระบวนการทดสอบรับรองความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์

รูปแบบการจัดทำรายงานความน่าเชื่อถือและความสามารถในการบำรุงรักษาให้เป็นไปตามแนวทางการจัดการโปรแกรมความน่าเชื่อถือและความสามารถในการบำรุงรักษาที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC 60300-3-14:2004 Dependability management - Part 3-14: Application guide - Maintenance and maintenance support

1) การกำหนดค่าระบบ (System configuration)

การกำหนดค่าระบบบังคับสัมพันธ์ให้ใช้พารามิเตอร์จากเส้นทางรถไฟ โดยใช้ผังเส้นทางที่หน้างานจริงเป็นข้อมูลในการกำหนดค่า และต้องมีการแสดงรายการคำนวณความเสียหายของแต่ละองค์ประกอบของอุปกรณ์ประกอบในระบบ

ค่าความน่าเชื่อถือและความสามารถในการบำรุงรักษาของระบบบังคับสัมพันธ์ ต้องสามารถพยากรณ์ในรูปของความเสียหายของส่วนประกอบระบบอาณัติสัญญาณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับระบบบังคับสัมพันธ์ และให้ใช้ข้อมูลจากเส้นทางรถไฟจริงหรือข้อมูลภาคสนามจากระบบที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเป็นข้อมูลความเสียหายสำหรับนำเข้าสู่แบบจำลอง

2) ประเภทของความขัดข้อง

ประเภทของความขัดข้องของระบบบังคับสัมพันธ์จำแนกตามระดับของการบกพร่องในการให้สัญญาณควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณได้ดังนี้

ประเภทที่ 1 กรณีของการเกิดความขัดข้องของสัญญาณควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในเขตพื้นที่ควบคุมระบบบังคับสัมพันธ์มากกว่า 3 เส้นทาง (Route) หรือเกิดความเสียหายมากกว่า 50% ของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ควบคุมโดยระบบบังคับสัมพันธ์ หรือ

ความเสียหายของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่อยู่ภายในเขตพื้นที่การควบคุมของระบบบังคับสัมพันธ์จำนวน 20 อุปกรณ์ขึ้นไป

ในพื้นที่ที่มีระดับความหนาแน่นจราจรต่ำถึงปานกลาง ความล้มเหลวประเภทนี้อาจถูกจัดเป็นความล้มเหลวประเภทที่ 2 ถ้าระบบบังคับสัมพันธ์สามารถกลับมาทำงานได้เองหลังจากเกิดความขัดข้องไปไม่เกิน 30 วินาที

ประเภทที่ 2 กรณีของการเกิดความขัดข้องของสัญญาณควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในเขตพื้นที่ควบคุมระบบบังคับสัมพันธ์มากกว่า 2 เส้นทาง (Route) หรือเกิดความเสียหายมากกว่า 30% ของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ควบคุมโดยระบบบังคับสัมพันธ์ หรือความ



เสียหายของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่อยู่ภายในเขตพื้นที่การควบคุมของระบบบังคับสัมพันธ์จำนวน 8 อุปกรณ์ขึ้นไป

ประเภทที่ 3 กรณีของการเกิดความขัดข้องของสัญญาณควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในเขตพื้นที่ควบคุมระบบบังคับสัมพันธ์จำนวนมากกว่า 1 อุปกรณ์ ยกเว้นว่าอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ขัดข้องนั้นถูกควบคุมผ่านอุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งอยู่ที่ข้างทางรถไฟสำหรับการควบคุมการจราจรในทิศทางเดียวเท่านั้น

ประเภทที่ 4 กรณีของการเกิดความขัดข้องของสัญญาณควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในเขตพื้นที่ควบคุมระบบบังคับสัมพันธ์จำนวน 1 อุปกรณ์ ยกเว้นว่าอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ขัดข้องนั้นถูกควบคุมผ่านอุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งอยู่ที่ข้างทางรถไฟสำหรับการควบคุมการจราจรในทิศทางเดียวเท่านั้น

ประเภทที่ 5 ความบกพร่องของระบบบังคับสัมพันธ์ ที่ไม่สามารถควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณหรือให้สัญญาณที่ขัดข้องแก่ผู้ปฏิบัติหน้าที่ควบคุมรถไฟ ที่ส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือความสามารถในการบำรุงรักษา และความสามารถในการทำงาน

3) การกำหนดประเภทของความเสียหาย (Determining the category of failure)

ความขัดข้องจากอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในการใช้งานจริง (ความขัดข้องประเภทที่ 1, 2, 3 และ 4) ต้องเป็นเหตุให้เกิดความขัดข้องต่อระบบบังคับสัมพันธ์โดยตรง และเป็นเหตุให้รถไฟหยุดหรือล่าช้าโดยไม่ตั้งใจอย่างน้อย 3 นาที ไม่ว่าขบวนรถจะหยุดอยู่ในพื้นที่ที่อุปกรณ์ชำรุดหรือจอดกีดขวางอยู่บนพื้นที่อื่น แต่เป็นผลมาจากการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณนั้น

ความขัดข้องของกลุ่มอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในเขตพื้นที่ควบคุมของระบบบังคับสัมพันธ์เกิดความขัดข้องพร้อมกันอันเนื่องมาจากความขัดข้องของระบบบังคับสัมพันธ์ที่มีสาเหตุมาจากความขัดข้องของอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มนั้นจะไม่จัดอยู่ในประเภทของความขัดข้อง

ตารางที่ 1 ระบุข้อกำหนดประสิทธิภาพความน่าเชื่อถือสำหรับประเภท 1 ถึง 4 ไว้เป็นจำนวนปีซึ่งมีความน่าจะเป็นตั้งแต่ 90% ขึ้นไปที่ระบบบังคับสัมพันธ์จะเกิดความขัดข้องไม่เกิน 1 ระบบในแต่ละประเภทของความขัดข้อง

ข้อความข้างต้นหมายความว่าถ้าระบบบังคับสัมพันธ์ระบบหนึ่งควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ N ตัว จะมีโอกาสอย่างน้อย 90% ที่ระบบบังคับสัมพันธ์จะเกิดความขัดข้องไม่เกิน 1 ครั้งของประเภทความเสียหายในแต่ละวงรอบ Y เมื่อ Y เป็นจำนวนปีที่แสดงในตารางสำหรับความเสียหายประเภทนั้น

สำหรับประเภทที่ 5 มีการระบุข้อกำหนดสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่สำรองแต่ละชิ้นในระบบบังคับสัมพันธ์ ในรูปของจำนวนปีที่มิโอกาสอย่างน้อย 90% ที่จะเกิดความขัดข้องไม่เกิน 1 ครั้ง



สมมติให้เหตุการณ์การเกิดความขัดข้องมีการกระจายตัวแบบปัวซอง โอกาสเกิดความขัดข้อง 90% ในช่วงเวลาที่แสดงในตารางที่ 1 จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง ภายใต้สมมติฐานให้ค่าความน่าเชื่อถือจากการกระจายตัวแบบเอ็กโปเนนเชียล และมีอัตราความขัดข้องคงที่

ตารางที่ 1 การกำหนดประเภทของความขัดข้อง (Determining the category of failure)

จำนวนปีของโอกาส 90% ที่ระบบบังคับสัมพันธ์จะขัดข้องได้ไม่เกินหนึ่งครั้ง			
ประเภทความขัดข้อง	การจราจรหนาแน่น	การจราจรปานกลาง	การจราจรต่ำ
1	Y = 1,000 ปี	Y = 750 ปี	Y = 200 ปี
2	Y = 250 ปี	Y = 187 ปี	Y = 50 ปี
3	Y = 50 ปี	Y = 37 ปี	Y = 25 ปี
4	Y = 25 ปี	Y = 18 ปี	Y = 12 ปี
1+2+3+4	Y = 15 ปี	Y = 11 ปี	Y = 7 ปี
จำนวนปีของโอกาส 90% ที่จะเกิดการชำรุดของอุปกรณ์ได้ไม่เกินหนึ่งครั้ง			
5	Y = 2 ปี	Y = 2 ปี	Y = 2 ปี

ที่มา : Technical Note - TN 014: 2017

2.5.2 ความพร้อมใช้ (Availability)

- 1) อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องออกแบบให้มีความพร้อมใช้และเหมาะสมกับอุปกรณ์อาณัติสัญญาณบนทางวิ่งรถไฟทุกประเภท สามารถควบคุมการบังคับสัมพันธ์อุปกรณ์ได้ทุกชนิด ฮาร์ดแวร์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีการออกแบบให้มีระบบการทำงานสำรอง (Redundancy) ที่พร้อมจะทำหน้าที่แทนเมื่อเกิดความขัดข้องจากการควบคุมด้วยฮาร์ดแวร์หลักได้ทันที (Hot standby)
- 2) ในกรณีเกิดการขัดข้องของฮาร์ดแวร์ ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องรักษาเสถียรภาพการควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณบนทางวิ่งในรูปแบบเดินรถทางเดียวอย่างน้อย 90%
- 3) การเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย การเริ่มต้นใหม่และการตั้งค่าอุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์ต้องไม่ส่งผลต่อการควบคุมอุปกรณ์ในระบบอาณัติสัญญาณที่จะส่งผลต่อการจัดการการเดินรถไฟในขณะนั้น

2.5.3 ความสามารถในการซ่อมบำรุง (Maintainability)

- 1) เวลาในการซ่อมแซมแก้ไขจนสามารถใช้งานได้ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในอาคารจะต้องไม่เกิน 40 นาที
- 2) เวลาในการซ่อมแซมแก้ไขจนสามารถใช้งานได้ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งข้างทางวิ่งรถไฟจะต้องไม่เกิน 30 นาที โดยไม่รวมเวลาในการเดินทางถึงจุดซ่อมแซมแก้ไข
- 3) การเปลี่ยนแผง module ต่าง ๆ ในระบบบังคับสัมพันธ์ ระบบควรจะสามารถกลับมาทำงานได้ปกติโดยเร็ว เมื่อเปิดสวิตช์
- 4) จำนวนอะไหล่สำรองสำหรับระบบบังคับสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นของอุปกรณ์ที่มีใช้ใน ระบบ โดยมีจำนวนขั้นต่ำดังนี้ หรือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ของจำนวนอุปกรณ์ในระบบ
 - (1) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 1 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 1 ชิ้น
 - (2) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 2 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 2 ชิ้น
 - (3) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 4 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 4 ชิ้น
 - (4) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 8 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 6 ชิ้น
 - (5) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 16 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 6 ชิ้น
 - (6) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 22 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 7 ชิ้น
 - (7) อุปกรณ์ในระบบจำนวน 64 ชิ้น : อะไหล่สำรอง 8 ชิ้น

2.5.4 ความปลอดภัย (Safety)

- 1) ค่าอัตราอันตรายที่ยอมรับได้ (Tolerable Hazard Rate :THR) ของอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องออกแบบให้มีค่าไม่เกิน 1×10^{-9} ครั้ง/ชั่วโมง
- 2) กำหนดให้ในเอกสารความปลอดภัยต้องมีข้อมูลเฉพาะเขตพื้นที่ควบคุมระบบบังคับสัมพันธ์สำหรับให้พิจารณาตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดค่าระบบบังคับสัมพันธ์ในขั้นตอนของการตรวจสอบด้านความปลอดภัย

2.6 ความเข้ากันได้ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatible: EMC)

การทดสอบความสมบูรณ์ของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีการทดสอบความเข้ากันได้ของอุปกรณ์และระบบย่อยในด้านความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตามมาตรฐาน EN 50121-4 2019 Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus หากในระบบมีรีเลย์ติดตั้งไว้อยู่ก่อนแล้วเป็นการเหนี่ยวนำรบกวนซึ่งกันและกันของขดลวดแต่ละชุด Output ของรีเลย์ทุกตัวจะต้องผ่านการทดสอบความเข้ากันได้ ตามที่กรมการขนส่งทางราง กำหนด



2.7 สภาวะแวดล้อม (Environmental condition)

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์บนทางวิ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการติดตั้งใช้งานในห้องหรือกล่องบรรจุที่มีขนาดเล็กตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐาน IEC 62498-3:2010 Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 3: Equipment for signalling and telecommunications

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ที่ติดตั้งในห้องควบคุมส่วนกลางต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของการติดตั้งใช้งานในอาคารตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในมาตรฐาน IEC 62498-3:2010 Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 3: Equipment for signalling and telecommunications

2.7.1 อุณหภูมิ

การติดตั้งอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์ให้มีการพิจารณาการติดตั้งระบบระบายอากาศ ผนวกรับความร้อน เครื่องปรับอากาศ และ/หรือ อุปกรณ์ตรวจวัดและเฝ้าระวัง เพื่อควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นให้กับอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์ให้สอดคล้องกับคุณลักษณะที่กำหนดโดยผู้ผลิต

กล่องบรรจุอุปกรณ์ต้องสามารถระบายความร้อนจากแสงอาทิตย์และความร้อนที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบบังคับสัมพันธ์กลางแจ้งของกล่องโลหะได้ไม่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ต้องสามารถทนต่ออุณหภูมิที่เกิดจากการติดตั้งกลางแจ้งได้

2.7.2 ความชื้นสัมพัทธ์

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์และกล่องบรรจุติดตั้งอุปกรณ์จะต้องสามารถทำงานได้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 99% สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งข้างทางวิ่งรถไฟ และ 95% สำหรับอุปกรณ์ติดตั้งในสำนักงานหรือในห้องควบคุม

2.7.3 ผลกระทบจากไฟฟ้าขับเคลื่อน

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์จะต้องไม่ได้รับผลกระทบจากการเหนี่ยวนำของระบบไฟฟ้าขับเคลื่อนรถไฟ การป้องกันการรบกวนจากระบบไฟฟ้าขับเคลื่อนให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานระบบการจ่ายไฟฟ้าของกรมการขนส่งทางราง



2.7.4 ไฟกระชาก

ระบบจ่ายไฟฟ้าเลี้ยงอุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีระบบป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์จากกรณีของการเกิดไฟกระชากจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งโดยการกำหนดเขตการออกแบบรับไฟกระชาก หรือฟ้าผ่าตามข้อกำหนดในมาตรฐาน IEC 61312-1: 1995-02: Protection against lightning electromagnetic impulse Part 1: General principles และมาตรฐานการต่อลงดินและการต่อฝาก มขร.-E-001-2564 ห

2.7.5 การป้องกันอันตรายจากการแทรกสอดทางไฟฟ้า (Interference, Immunization)

ระบบบังคับสัมพันธ์ต้องออกแบบให้สามารถรักษาระดับความเชื่อมั่นของระบบและการป้องกันอันตรายจากการแทรกสอดทางไฟฟ้าซึ่งเป็นผลมาจากระบบไฟฟ้าขับเคลื่อน เช่น การรบกวนเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเกิน การกระชากและการกระเพื่อมของของแรงดันและกระแสไฟฟ้า

2.7.6 กล่องบรรจุอุปกรณ์ติดตั้งบนทางวิ่งรถไฟ

กล่องหรือตู้บรรจุอุปกรณ์ติดตั้งบนทางวิ่งรถไฟให้เป็นไปตาม มอก. 513-2553 (IEC 60529) ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริเวณไฟฟ้า (รหัส IP 32)

- 1) ตู้หรือกล่องบรรจุอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์จะต้องอยู่ในสถานะปิดและล็อกเพื่อความปลอดภัยมั่นคง ประตูห้องสามารถเปิดได้สำหรับการซ่อมบำรุง โดยที่อุปกรณ์และระบบจะต้องสามารถทนต่อแสงแดดและฝนสาดช่วงระหว่างที่มีการเปิดประตูปฏิบัติงานซ่อม
- 2) ตู้หรือกล่องบรรจุอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ที่ติดตั้งบริเวณทางรถไฟต้องสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือน ความชื้น ฝุ่นละอองขนาดเล็กจากระบบห้ามล้อและควีนไอเสีย สารเคมีจากยาฆ่าแมลง และมลพิษทางอุตสาหกรรมอื่น ๆ ตามมาตรฐานระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริเวณไฟฟ้ารหัส IP 54 ของ มอก. 513-2553 (IEC 60529)
- 3) ตู้ กล่อง หรือตู้แร็คบรรจุอุปกรณ์จะต้องมีฝาปิดและต้องปิดผนึกเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและสารปนเปื้อนในอากาศ แผงวงจรหรือแผง module จะต้องมีการเคลือบป้องกันฝุ่นและความชื้น

2.7.7 อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ในห้องรีเลย์

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ที่ติดตั้งในห้องรีเลย์จะต้องติดตั้งไว้ในตู้บรรจุอุปกรณ์หรือตู้แร็คที่มีระดับป้องกันในระดับไม่น้อยกว่า IP 52 มอก. 513-2553 (IEC 60529)

2.8 การบำรุงรักษา (Maintenance)

ซอฟต์แวร์ และ/หรือ ฮาร์ดแวร์ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีเครื่องมือสำหรับใช้ในการวินิจฉัยข้อบกพร่องต่าง ๆ ในระบบ ซึ่งจะต้องสามารถตรวจสอบวินิจฉัยความบกพร่องของแผงวงจร module หรืออุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่กำหนดให้สามารถถอดเปลี่ยนส่วนที่ชำรุดเพื่อการคืนสภาพระบบ (Line Replaceable Unit :LRU) ได้ภายในตัว โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษอื่น ๆ ร่วมด้วย จะต้องกำหนดให้มีสัญญาณเตือนที่บ่งชี้ถึงความบกพร่องของอุปกรณ์หรือระบบย่อยที่จะส่งผลต่อความล่าช้าในการทำงาน โดยกำหนดให้ต้องมีการส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังผู้ปฏิบัติงาน สำหรับใช้ในการพิจารณาการจัดการกับความบกพร่อง และ ส่งสัญญาณไปที่ฝ่ายงานซ่อมบำรุง สามารถถอดเปลี่ยนและตั้งค่าอุปกรณ์ประกอบในระบบบังคับสัมพันธ์ให้กลับมาทำงานได้เป็นปกติ ได้ภายในเวลาไม่เกิน 48 ชั่วโมง

2.9 การประสานเวลา (Time synchronization)

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องประสานเวลากับระบบอาณัติสัญญาณและระบบอื่น ๆ ในระบบรถไฟ เพื่อกำหนดใช้เวลากลางร่วมกันทั้งระบบ

2.10 การบันทึกเหตุการณ์ (Event recording)

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีระบบบันทึกความผิดปกติ และ/หรือ ความล้มเหลวของระบบ และเหตุการณ์สำคัญต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความบกพร่อง และเหตุการณ์เกือบเกิดเหตุหรืออุบัติเหตุ ในระบบรถไฟ โดยมีข้อกำหนดพื้นฐานขั้นต่ำดังต่อไปนี้

- 1) บันทึกการเปลี่ยนแปลง Input และ Output ของทุกคำสั่งระบบบังคับสัมพันธ์ด้วยค่าความละเอียดไม่เกิน 1 วินาที พร้อมทั้งมีเวลาและวันที่กำกับไปพร้อมกับทุกค่าที่บันทึก
- 2) บันทึกสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณในช่วงเริ่มต้น และสิ้นสุด หรือตามช่วงเวลาที่กำหนด
- 3) แยกบันทึกไฟล์ตามพื้นที่ควบคุมหรือพื้นที่สำคัญในระบบ
- 4) เก็บข้อมูลเหตุการณ์บันทึกได้ไม่น้อยกว่า 90 วัน
- 5) อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลต้องเป็นชนิดที่สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้ โดยไม่ต้องอาศัยไฟฟ้าเลี้ยงอุปกรณ์บันทึก สามารถดูบันทึก หรือ ส่งข้อมูลออกได้โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบการบันทึก

3. ข้อกำหนดการทำงาน (Function requirement)

การกำหนดค่าอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิต



หน่วยควบคุมแบบโปรแกรมได้ในระบบบังคับสัมพันธ์ที่สามารถกำหนดค่าอุปกรณ์ตามเขตพื้นที่ควบคุม ต้องมีการทำงานตามมาตรฐาน IEC 61131:2020 SER Series Programmable controllers - ALL PARTS หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ข้อกำหนดการทำงานของระบบบังคับสัมพันธ์

- 1) มีการประเมินเงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 4
- 2) มีโปรแกรมหรือเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม การแก้ไขจุดบกพร่องในโปรแกรม (Debug) และเครื่องมือทดสอบสำหรับเงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ ทั้งในขั้นตอนของการพัฒนาออกแบบ การติดตั้ง และเครื่องมือที่ใช้ในการซ่อมบำรุง
- 3) มีการเชื่อมประสานการทำงาน (Interface) กับอุปกรณ์อัตโนมัติสัญญาณที่ระบุไว้ในข้อกำหนดที่ 5
- 4) มีการตรวจจับสภาวะอันตรายและวิธีการจัดการกับสภาวะอันตรายอย่างปลอดภัย
- 5) มีโปรแกรมหรือเครื่องมือสำหรับการติดตั้ง การทดสอบ และการซ่อมบำรุง โดยเฉพาะ

ระบบบังคับสัมพันธ์ควรออกแบบให้มีผังโครงสร้างอุปกรณ์ในระบบแบบรวมศูนย์ สามารถแยกการกำหนดค่าส่วนประกอบแต่ละส่วนได้อย่างอิสระ

4. เงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ (Interlocking Logic)

จะต้องมีขั้นตอนการประเมินเงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ของอุปกรณ์ในระบบบังคับสัมพันธ์ของแต่ละเขตพื้นที่ควบคุม ตามที่ระบุไว้ ดังนี้

- 1) ฟังก์ชันตรรกะบูลีนควรมีวิธีควบคุมลำดับการประเมินผลแต่ละนิพจน์
- 2) ควรมีเครื่องมือตรวจสอบข้อผิดพลาดอัตโนมัติเพื่อป้องกันความซ้ำซ้อนของการกำหนดข้อผิดพลาด
- 3) สามารถอินเตอร์เฟซเชื่อมโยงระบบกับอุปกรณ์ภายนอกสำหรับการนำเข้าและส่งออกข้อมูล และการบันทึกเหตุการณ์
- 4) ต้องมีการป้องกันการรบกวนจากภายนอกที่จะส่งผลต่อการส่ง Input และ Output ของการประเมินผลเงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ อาทิเช่น การขาดหายไปของระบบสื่อสาร การรบกวนจากระบบสื่อสาร การทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในระบบแปลงพลังงาน และควบคุมมอเตอร์ เป็นต้น
- 5) เงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์นอกเหนือจากฟังก์ชันตรรกะบูลีนให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 61131 หรือเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้
 - (1) ออกแบบมาพิเศษสำหรับระบบบังคับสัมพันธ์ในระบบอัตโนมัติสัญญาณรถไฟโดยเฉพาะ และมีการใช้งานในหน่วยงานต่าง ๆ
 - (2) มีวิธีการป้องกันความผิดพลาดจากการทำงานของมนุษย์โดยเฉพาะในส่วนของการ Input ข้อมูล



- (3) ต้องไม่มีข้อกำหนดใดที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของด้านเงื่อนไขระบบบังคับสัมพันธ์ที่ระบุไว้ในมาตรฐานฉบับนี้
- (4) มีขั้นตอนในการทวนสอบความล้มเหลว หรือความผิดพลาดของระบบสำหรับการวิเคราะห์ต้นเหตุของปัญหาเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุง

5. ข้อกำหนดการเชื่อมประสาน

5.1 การเชื่อมประสานการทำงาน

การเชื่อมประสานการทำงานระหว่างชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์หรือระบบบังคับสัมพันธ์กับอุปกรณ์อัตโนมัติสัญญาณข้างทางรถไฟ ประกอบด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์อัตโนมัติสัญญาณ รีเลย์หรือชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และการส่งสัญญาณเพื่อส่งต่อ Input-Output ระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งต้องมีการพิจารณาถึงวงจรไฟฟ้า การส่งสัญญาณ และการสื่อสาร ดังนี้

5.1.1 ความต้านทานหน้าสัมผัส (Contact resistance)

ส่วนประกอบในระบบบังคับสัมพันธ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกด้วยระดับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ จะต้องมีการตรวจสอบค่าความต้านทานของหน้าผิวสัมผัสของอุปกรณ์ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 โอห์ม เพื่อไม่ก่อให้เกิดกรณีของการให้สัญญาณลอจิกที่ผิดพลาด

5.1.2 สัญญาณ (Signal)

Output ของอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ที่ควบคุมสัญญาณไฟสีจะต้องมีระบบป้องกันการให้สัญญาณผิด (wrong side) ที่อาจก่อให้เกิดกรณีของการให้สัญญาณผิด ประกอบด้วย

- 1) ระบบป้องกันการให้สัญญาณผิดจะต้องมีการตรวจสอบค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอดไฟสัญญาณหลักเพื่อตรวจสอบสถานการณ์ติดสว่างของหลอดไฟเมื่อได้รับคำสั่งให้ติด เพื่อยืนยันว่ามีการให้สถานะทางวิ่งแก่ขบวนรถ
- 2) ระบบป้องกันการให้สัญญาณผิดต้องสามารถใช้ได้กับสัญญาณไฟสีทุกชนิด พร้อมทั้งมีระบบแสดงสถานะของไฟสัญญาณ
- 3) ระบบป้องกันการให้สัญญาณผิดต้องได้รับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัย SIL ระดับ 1 ขึ้นไป



5.1.3 Input จากสถานะของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถรับการนำเข้าทุกสัญญาณจาก Output หรือส่วนแสดงสถานะอุปกรณ์อาณัติสัญญาณรถไฟ อาทิเช่น วงจรไฟตอน (Track circuit) อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งประแจกล สัญญาณการหยุดรถไฟ รีเลย์สัญญาณ และอื่น ๆ

5.1.4 การเชื่อมประสานระบบอาณัติสัญญาณข้างเคียง

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องจัดเตรียม Input-Output ไว้รองรับการเชื่อมประสานเพื่อสื่อสารกับระบบบังคับสัมพันธ์หรืออุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่อยู่ข้างเคียงทั้งที่มีการติดตั้งก่อนหน้าและเพิ่มเติมในภายหลัง จะต้องสามารถเชื่อมต่อสื่อสารได้ไม่ว่าระบบข้างเคียงจะเป็นระบบบังคับสัมพันธ์ชนิดรีเลย์ อิเล็กทรอนิกส์ หรือควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

5.1.5 เครื่องกั้นถนนเสมอระดับทางรถไฟ

อุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถเชื่อมประสานกับอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่ใช้รีเลย์ของเครื่องกั้นถนนเสมอระดับทางรถไฟเพื่อการควบคุมและตรวจสอบสถานะการทำงาน จะต้องพิจารณาความเข้ากันได้ทางไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้า และอัตราการใช้กำลังของอุปกรณ์

5.1.6 ประแจกลไฟฟ้า (Point machine)

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถควบคุมประแจกลไฟฟ้าได้ทุกชนิดที่มีติดตั้งใช้งานอยู่บนทางรถไฟตามที่กำหนด

5.1.7 อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งขบวนรถไฟ

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องรองรับอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งรถไฟทุกชนิด อาทิเช่น วงจรไฟตอนชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรไฟตอนชนิดคลื่นความถี่วิทยุ และเครื่องนับเพลาล้อ และระบบบังคับสัมพันธ์หนึ่งชุดต้องรองรับอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งขบวนรถไฟทุกชนิดให้ทำงานร่วมกันได้ โดยจะต้องมีการพิจารณาเรื่องสัญญาณรบกวน และการป้องกันจากระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์วงจรไฟตอน

เครื่องนับเพลาล้อที่เชื่อมประสานกับระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องผ่านมาตรฐานความปลอดภัย SIL ระดับ 4

5.1.8 รีเลย์

อุปกรณ์อาณัติสัญญาณมีรูปแบบการควบคุมและการส่ง Input-Output โดยการให้สัญญาณควบคุมผ่านรีเลย์ จะต้องมีการพิจารณาถึงระดับค่าแรงดันไฟฟ้าและขนาดกำลังของรีเลย์สำหรับการออกแบบระบบจ่ายไฟเลี้ยงระบบบังคับสัมพันธ์

อุปกรณ์บังคับสัมพันธ์เชื่อมต่อทางด้านไฟฟ้ากับรีเลย์ต้องมีระบบตรวจสอบสถานะการทำงานหรือการส่งผ่านคำสั่งของรีเลย์

การเชื่อมต่อรีเลย์สำคัญในระบบอาณัติสัญญาณกับระบบบังคับสัมพันธ์ ให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าควบคุมรีเลย์โดยตรงจากระบบบังคับสัมพันธ์ ไม่อนุญาตให้มีแหล่งจ่ายพลังงานคั่นกลางระหว่าง Output ระบบบังคับสัมพันธ์กับรีเลย์สำคัญ

รีเลย์ทั้งหมดที่เชื่อมประสานกับระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันตกกลับจากแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวรีเลย์

5.1.9 การเชื่อมโยงสื่อสารที่สำคัญ (Vital communication link)

การเชื่อมโยงสื่อสารที่สำคัญจะต้องมีระบบป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนที่มีผลกระทบต่อระดับความปลอดภัยของระบบบังคับสัมพันธ์

การเชื่อมโยงสื่อสารที่สำคัญจะต้องมีระบบป้องกันการรบกวนจาก ระบบจ่ายไฟฟ้า ขั้วเคลื่อนที่ทั้งชนิดไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ ฟาผ่า แรงดันไฟฟ้าจากวงจรไฟตอน และการเกิดไฟกระชากของแรงดันและกระแสไฟฟ้า

การสื่อสารด้วยสายใยแก้วนำแสงจะต้องใช้สายที่ออกแบบพร้อมอุปกรณ์ประกอบ จะต้องได้รับการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับระบบสื่อสารที่ใช้กับระบบบังคับสัมพันธ์ชนิดอื่น ๆ

5.1.10 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนทางรถไฟ

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องรองรับการเชื่อมประสานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนทางรถไฟที่ติดตั้งไว้สำรองเพื่อยกระดับความเชื่อมั่นของระบบ

5.1.11 ศูนย์วิทยุสื่อสาร

ระบบบังคับสัมพันธ์ที่ใช้กับระบบอาณัติสัญญาณที่มีการสื่อสารแบบคลื่นความถี่วิทยุ จะต้องรองรับการเชื่อมประสานระบบวิทยุสื่อสารสำรองจำนวนไม่น้อยกว่า 1 ชุด

5.1.12 แหล่งจ่ายพลังงาน

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องรองรับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อน 230 โวลต์ $\pm 20\%$ และ 50 เฮิร์ตซ์ $\pm 5\%$

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีระบบไฟฟ้าสำรองที่สามารถจ่ายไฟเลี้ยงระบบบังคับสัมพันธ์และอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ แบ่งดังนี้

- 1) เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) รองรับการทำงานระบบอาณัติสัญญาณ 4 ชั่วโมง, ระบบโทรคมนาคม 6 ชั่วโมง
- 2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมันขนาดรองรับการทำงานไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง
- 3) ระบบอื่นๆที่สามารถสำรองไฟฟ้าได้

โครงและตู้บรรจุอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์จะต้องมีการต่อสายดินตามมาตรฐานการต่อลงดิน ตามมาตรฐาน มขร.-E-001-2564 มาตรฐานการต่อลงดินและการต่อฝาก

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องมีอุปกรณ์สำรองพลังงานให้สามารถรักษาสถานะการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ในกรณีที่ระบบบังคับสัมพันธ์หยุดการทำงานไปเนื่องจากไฟเลี้ยงระบบขาดหายไป ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถเริ่มต้นกลับมาทำงานได้เป็นปกติโดยอัตโนมัติได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 3 นาที หลังจากที่จ่ายไฟเลี้ยงระบบ

5.1.13 การเชื่อมต่อกับผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ควบคุมการจราจรทางรถไฟ

การเชื่อมประสานกับระบบจัดการจราจรทางรถไฟ (TMS) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานศูนย์ควบคุมการจราจรทางรถไฟของกรมการขนส่งทางราง

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องสามารถเชื่อมประสานการทำงานกับศูนย์ควบคุมการจราจรทางรถไฟ (CTC) ได้ตามฟังก์ชันการควบคุมระบบอาณัติสัญญาณทุกประการ

5.2 การเชื่อมประสานด้านไฟฟ้า (Electrical interface)

แรงดันไฟฟ้า Input และ Output จะต้องเข้ากันได้กับค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบอาณัติสัญญาณที่มีอยู่เดิม หรือตามที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อแรงดันสัญญาณ Input และ Output ในมาตรฐาน IEC 61131:2020 SER Series Programmable controllers - ALL PARTS

ความเป็นฉนวนของ Input และ Output รูปแบบดิจิทัลให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62497-1:2010 Railway applications - Insulation coordination - Part 1: Basic

requirements - Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment

ข้อกำหนดของหน้าสัมผัส สายไฟ และการเดินสายสำหรับวงจร Input และ Output แบบดิจิทัลจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน EN 50126:2001 Railway Applications—Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)

5.2.1 Input ดิจิตอล

Input ดิจิตอลที่ได้มาจากการตรวจนับจากการทำงานของหน้าสัมผัสรีเลย์ ต้องมี ยานการทำงานที่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61131-2:2017 Industrial-process measurement and control - Programmable controllers - Part 2 : Equipment requirements and tests

ให้มีการกำหนดระดับแรงดันไฟฟ้าของช่วงการเปลี่ยนสถานะ “ON” และ “OFF” ของ Input ดิจิตอลและการจัดการไว้บนเอกสาร RAMS

5.2.2 Output ดิจิตอล

ข้อกำหนดสำหรับ Output ดิจิตอลที่ต้องนำมาพิจารณา ประกอบด้วย

- 1) ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการควบคุมโหลดชนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2) กำหนดชนิดและคุณสมบัติของโหลดรวมสำหรับใช้ในการกำหนดค่าพลังงาน
- 3) กำหนดคุณสมบัติด้านความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความเก็บประจุของโหลด
- 4) กำหนดค่ากระแสรั่วไหลสูงสุดของสถานะ ‘OFF’ ของ Output แต่ละชนิด
- 5) กำหนดค่ากระแสกระชากที่อนุญาตให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้
- 6) ค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ซึ่งเป็นผลมาจากการเดินสายไฟภายนอกระบบบังคับสัมพันธ์

จะต้องมีระบบป้องกันความบกพร่องในการเชื่อมต่อโหลดเข้ากับ Output ดิจิตอล ไม่ให้มีความรุนแรงจนถึงขั้นที่ต้องส่งอุปกรณ์กลับไปทำการซ่อมแซม

จะต้องมีการกำหนดรายการ Output ที่สามารถปิดการใช้งานเมื่อเกิดความบกพร่อง โดยที่ระบบบังคับสัมพันธ์โดยรวมทั้งหมดยังสามารถทำงานได้ เพื่อใช้ในการออกแบบ Output ดิจิตอลสำหรับควบคุมสัญญาณไฟสี

5.2.3 การเชื่อมโยงการสื่อสารข้อมูล

การเชื่อมโยงการสื่อสารข้อมูลและ Protocol ที่ใช้ในระบบบังคับสัมพันธ์จะต้อง เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้



- 1) กำหนดให้ต้องมีขั้นตอนการควบคุมความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน EN 50126 (RAMS) EN 50128 และ EN 50129 หรือมาตรฐานอื่นๆ เทียบเท่า
- 2) ระบบความปลอดภัยในระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับอาณัติสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62280:2014 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related communication in transmission systems
- 3) การสื่อสาร ระบบสัญญาณและระบบประมวลผล ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการสื่อสารและและการกระจายสัญญาณต้องได้รับการตรวจประเมินจากผู้ประเมินภายนอก (Independent Certification Engineer: ICE)
- 4) มีช่องทางการสื่อสารสำรอง (redundant) เพื่อความพร้อมในการใช้งานของระบบ
กำหนดให้ต้องมีการเชื่อมโยงระบบการสื่อสารระหว่างระบบบังคับสัมพันธ์กับระบบต่าง ๆ ดังนี้
 - (1) ระหว่างระบบบังคับสัมพันธ์แต่ละชุดหรือการสื่อสารภายในระบบบังคับสัมพันธ์เอง
 - (2) ระหว่างระบบบังคับสัมพันธ์กับระบบอาณัติสัญญาณที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ
 - (3) ระหว่างระบบบังคับสัมพันธ์กับศูนย์ควบคุมการจราจรทางรถไฟ

6. ข้อเสนอแนะด้านประสิทธิภาพ

ข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพด้านเวลาในการตอบสนองทำงานของระบบบังคับสัมพันธ์และระบบย่อย มีดังต่อไปนี้

- 1) ระยะเวลาตอบสนองของระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องเปลี่ยนสถานะเป็น "ON" หลังจากสถานะของ Input เปลี่ยนเป็น ON ภายในระยะเวลาตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด
- 2) ระยะเวลาตอบสนองของระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องเปลี่ยนสถานะเป็น "OFF" หลังจากสถานะของ Input เปลี่ยนเป็น OFF ภายในระยะเวลาตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด
- 3) ระยะเวลาสูงสุดในการตรวจจับความผิดพลาดของสถานะ Output ที่เป็น ON ให้เป็นไปตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด
- 4) ระยะเวลาสูงสุดในการเปลี่ยนสถานะของ Output ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะ Input โดยตรงให้เป็นไปตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด
- 5) เวลาแฝงในขั้นตอนการส่งคำสั่งควบคุมจากระบบควบคุมการจราจรทางรถไฟ จนถึงเวลาที่ระบบบังคับสัมพันธ์ส่งไปควบคุมอุปกรณ์อาณัติสัญญาณข้างทางวิ่งรถไฟ ให้เป็นไปตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด



- 6) เวลาแฝงในขั้นตอนการรับ Input สถานะอุปกรณ์อาศัยสัญญาณข้างทางรถไฟของศูนย์ควบคุมการจราจรทางรถไฟให้เป็นไปตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด
- 7) ระยะเวลาที่ระบบบังคับสัมพันธ์สามารถตรวจจับและรายงานความผิดปกติ ให้เป็นไปตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด
- 8) ในกรณีที่มีการกระจายการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบย่อยของระบบบังคับสัมพันธ์ เวลาในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างแต่ละระบบย่อยจะต้องเพิ่มขึ้นไม่เกินเวลาตามที่ออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด

7. การทดสอบระบบ (Testing)

การทดสอบระบบอาศัยสัญญาณและระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานอ้างอิงที่ได้ระบุไว้ในข้อ 1.3 ของมาตรฐานฉบับนี้

7.1 รายการการทำงาน (Programme of Works)

ควรต้องมีรายละเอียดของรายการการทำงานที่ปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) การส่งมอบเอกสารการทวนสอบระบบ (Delivery of Validation Documents)
- 2) ขั้นตอนการพัฒนาและผลิตระบบบังคับสัมพันธ์และการทำงานตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง (Production of CBI Procedures and Practices for operator requirement)
- 3) การทบทวนการออกแบบ (Design reviews)
- 4) การผลิตอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์ (Manufacture of CBI equipment)
- 5) การทดสอบการใช้งานอย่างต่อเนื่องและการทดสอบอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์ที่โรงงาน (Soak test and testing of CBI equipment at factory)
- 6) การตรวจสอบ/ทบทวนระบบคุณภาพของโรงงานผู้ผลิตระบบบังคับสัมพันธ์ (Quality Review/Audits of CBI equipment at factory)
- 7) การผลิตระบบบังคับสัมพันธ์ที่ใช้ข้อมูลเฉพาะเขตพื้นที่ติดตั้ง (Production of CBI Site-specific Data)
- 8) การตรวจสอบยืนยันระบบบังคับสัมพันธ์ที่ใช้ข้อมูลเฉพาะเขตพื้นที่ติดตั้งจากผู้ประเมินภายนอก (Independent Verification of CBI Site-specific Data)
- 9) การจัดการการกำหนดค่าระบบบังคับสัมพันธ์ (CBI Configuration Management activities)
- 10) การทดสอบและรับรองอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ที่โรงงาน (Factory Acceptance Testing of CBI equipment)
- 11) การทดสอบและรับรองอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์ที่สถานที่ติดตั้ง (Sites Acceptance Testing of CBI equipment)



- 12) การผลิตเอกสารการฝึกอบรมและการจัดการฝึกอบรม (Production of training course notes and conduct training courses)
- 13) การทดสอบการทำงานอย่างต่อเนื่องที่สถานที่ติดตั้ง (On Site soak period for CBI equipment)
- 14) การทดสอบการเชื่อมประสานระบบบังคับสัมพันธ์กับระบบอาณัติสัญญาณ

7.2 การทบทวนการออกแบบ (Design Review)

การทบทวนการออกแบบควรพิจารณาถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) ความปลอดภัย (Safety)
- 2) การประมาณระดับความเชื่อมั่นและการบำรุงรักษา (Reliability and maintainability estimates)
- 3) ประเมินหาโอกาสที่จะเกิดปัญหาจากการออกแบบ การติดตั้ง และการใช้งาน (Identification of potential design, installation or operational problems)
- 4) ประเมินเพื่อหาส่วนที่จะส่งผลให้ระดับความเชื่อมั่นลดลงได้ (Identification of items which reduce reliability and maintainability.)
- 5) ประเมินหาความแตกต่างระหว่างระบบที่ออกแบบกับระบบที่พัฒนาขึ้นมา (Evaluation of significant differences between the proposed design and proven designs)
- 6) การประเมินวงจรชีวิต (Life cycle considerations)

7.3 การตรวจสอบและทดสอบระบบ (Inspection and Testing)

การทดสอบระบบอาณัติสัญญาณและระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานอ้างอิงที่ได้ระบุไว้ในข้อที่ 1.3 ของมาตรฐานฉบับนี้

ในกรณีที่ระบบบังคับสัมพันธ์มีการเชื่อมต่อกับรีเลย์ต้องมีการทดสอบความต่อเนื่องของการทำงานตามคำสั่งของรีเลย์ทั้งในฟังก์ชันของการสั่งควบคุมการทำงานด้วยระบบบังคับสัมพันธ์และการสั่งควบคุมด้วยรีเลย์ตัวอื่น

7.3.1 การทดสอบระบบบังคับสัมพันธ์ (CBI System Tests)

การทดสอบฟังก์ชันตามตารางการควบคุมการทำงานระบบบังคับสัมพันธ์ควรดำเนินการทดสอบด้วยการจำลองซึ่งควรรวมถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) การทดสอบการเชื่อมประสานการทำงานกับระบบข้างเคียง (Cross boundary tests to adjacent interlockings)
- 2) การควบคุมทั้งหมดในเขตพื้นที่ควบคุม (All controls in the computer based interlocking area)



- 3) ผลการจำลองการป้อน Input และ Output ทั้งหมดในระบบ (Simulation of all vital and non-vital inputs and outputs)
- 4) การตรวจสอบสถานะทั้งหมดของการส่งคำสั่งและผลการควบคุมโดยระบบบังคับสัมพันธ์ (Total system monitoring of commands and controls implemented by the system)

ก่อนการทดสอบป้อน Input และ Output ในเขตพื้นที่ควบคุม ระบบบังคับสัมพันธ์ และการควบคุมต้องทดสอบฟังก์ชันการทำงานแล้ว ระบบบันทึกเหตุการณ์และส่วนวิเคราะห์ เหตุการณ์ต้องถูกทดสอบและใช้งานได้อย่างถูกต้อง

ระบบบังคับสัมพันธ์ต้องมีการทดสอบความปลอดภัยและความสมบูรณ์ของระบบในสถานะจำลองการใช้งานจริงร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบบังคับสัมพันธ์ของพื้นที่นั้น ๆ ด้วยการจำลองสถานะความผิดปกติ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในเขตพื้นที่ควบคุม เพื่อยืนยันเสถียรภาพของระบบเผื่อระวังความปลอดภัยเมื่อขัดข้อง (Fail safety monitoring) ของระบบบังคับสัมพันธ์ในการจัดการควบคุมความปลอดภัยให้กับขบวนรถไฟ แม้ว่าจะมีความบกพร่องใด ๆ เกิดขึ้นกับฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ในระบบ

7.3.2 การทดสอบอุปกรณ์ (Testing of Equipment)

การทดสอบอุปกรณ์มาตรฐานข้างทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐานอ้างอิงที่ระบุไว้ในข้อที่ 1.3 ของมาตรฐานฉบับนี้และเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานของอุปกรณ์แต่ละตัว (ถ้ามี) การทดสอบอุปกรณ์ควรรวมถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) การทดสอบความถูกต้อง ของการเดินสายสัญญาณ (Wire count analysis and null counts)
- 2) การทดสอบความถูกต้องของการต่อวงจร (Bell test to circuit diagrams)
- 3) การทดสอบระบบจ่ายไฟฟ้า (Power supply checks and tests)
- 4) การทดสอบความเป็นฉนวนของอุปกรณ์ (Insulation tests)
- 5) การทดสอบการตั้งค่าเพื่อการใช้งานของอุปกรณ์ (Coding/configuration checks)
- 6) การทดสอบการทำงานของระบบ (Function Tests)

7.3.3 การทดสอบในพื้นที่ติดตั้ง (Site Testing)

ต้องจัดให้มีการทดสอบพร้อมรายการทดสอบระบบ ในสถานที่ติดตั้งระบบบังคับสัมพันธ์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของทั้งระบบว่ามีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและทำงานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

การทดสอบประกอบด้วยการตรวจสอบจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบ ตรวจสอบจำนวนและความถูกต้องของสายเคเบิลหลัก และสายเคเบิลอื่น ๆ ในระบบและแหล่งจ่าย

พลังงาน ในระหว่างการทดสอบความเป็นฉนวนด้วยแรงดันสูง ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ปลดสายเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ระบบบังคับสัมพันธ์แล้ว เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหาย

7.3.4 การทดสอบทั่วไป (General Tests)

การทดสอบทั่วไปประกอบด้วย

- 1) ระบบโทรมาตรและแผงระบบประมวลผล (Telemetry and panel processing systems)
- 2) แผงควบคุม แผงวงจร โต๊ะ และคอนโซล (Control panels, diagrams, desks, consoles)
- 3) การต่อสายดินและอุปกรณ์ข้างทางวิ่งรถไฟ อาทิเช่น ประแจกลไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งรถไฟ สายดินที่ติดตั้งอุปกรณ์ ปุ่มกด ไฟสัญญาณ ปุ่มหยุดรถไฟ วงจรไฟเตือน เครื่องกันทางรถไฟเสมอระดับ แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ และสายเคเบิล

7.3.5 การทดสอบการทำงานอย่างต่อเนื่อง (Soak Testing)

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องผ่านการทดสอบการทำงานอย่างต่อเนื่อง ก่อนขั้นตอนการทดสอบก่อนการเปิดใช้งานของระบบ (Commissioning) การทดสอบการทำงานอย่างต่อเนื่องจะต้องมีการจ่ายไฟฟ้าเลี้ยงอุปกรณ์ในระดับที่ใช้งานจริง เพื่อตรวจสอบความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ก่อนที่จะทดสอบการใช้งานของระบบ

7.3.6 การทดสอบก่อนการเปิดใช้งานของระบบ (Commissioning)

การทดสอบก่อนการเปิดใช้งานของทั้งระบบเป็นการทดสอบระบบบังคับสัมพันธ์เข้ากับระบบอาณัติสัญญาณในสภาวะการใช้งานจริงเพื่อยืนยันความถูกต้องและสมบูรณ์ของระบบ ซึ่งจะต้องมีการทดสอบทุกครั้งที่มีการติดตั้งระบบใหม่ การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม การติดตั้งอุปกรณ์บังคับสัมพันธ์เข้ากับระบบอาณัติสัญญาณเดิม

8. การสอบทวนด้านความปลอดภัยและการทดสอบรับรองเฉพาะแบบ (Safety validation and type approval)

8.1 ความปลอดภัยเมื่อระบบขัดข้อง (Fail Safe Operation)

ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องจัดเตรียมระบบความปลอดภัยและความเชื่อมั่นในการทำงานของระบบสำหรับอุปกรณ์อาณัติสัญญาณที่มีความสำคัญ ความขัดข้องของส่วนประกอบส่วนใดส่วนหนึ่งจะต้องไม่ก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่ปลอดภัยขึ้นในระบบอาณัติสัญญาณ ในกรณีที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดเกิดขัดข้องระบบบังคับสัมพันธ์จะเข้าสู่โหมดสภาวะความปลอดภัยที่ได้มีการออกแบบและจัดเตรียมไว้ล่วงหน้า



ระบบความปลอดภัยเมื่อขัดข้องจะต้องออกแบบไว้สำหรับฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และระบบการสื่อสาร ซึ่งจะต้องมีการสอบทวน จำลองและสาธิตจำลองสถานการณ์ในทุกฟังก์ชันของระบบบังคับสัมพันธ์ให้ครบถ้วนครอบคลุมทุกกรณีของความขัดข้องที่อาจเกิดขึ้นได้

8.2 การทวนสอบและสอบทวน (Verification and Validation)

การออกแบบระบบทั้งฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ระบบบังคับสัมพันธ์จะต้องแยกการสอบทวนของทั้งสองระบบออกจากกันอย่างอิสระ และจะต้องมีเอกสารการสอบทวนการออกแบบฮาร์ดแวร์และความปลอดภัยของซอฟต์แวร์

8.2.1 การสอบทวนซอฟต์แวร์ (Software Validation)

กระบวนการสอบทวนซอฟต์แวร์ควรดำเนินการโดยกลุ่มอิสระที่ไม่เกี่ยวข้องกับทีมผู้ออกแบบ ซึ่งควรต้องมีเอกสารดังต่อไปนี้หรือเทียบเท่าเพื่อยืนยันความปลอดภัยของซอฟต์แวร์

- 1) เอกสารแผนการจัดการระบบคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9001 (Documented Quality Management Plan for the development meeting the intent of ISO9001)
- 2) เอกสารขั้นตอนวิธีการพัฒนาระบบ (Documented System Development Methodology)
- 3) เอกสารการจัดการระบบความปลอดภัย (Documentation of Safety Goals and how these Safety Goals have been achieved)
- 4) เอกสารการคำนวณคุณสมบัติของระบบ (Formal specification with mathematical proof)
- 5) การใช้ตัวแปลที่ได้รับการสอบทวนแล้วและการใช้ภาษาระดับสูง (Use of a Validated Compiler and high level language)
- 6) เอกสารประกอบการตรวจประเมินในการโปรแกรมหรือจากการทวนสอบ (Audits of use of structured programming rules and prescribed rules for documentation and independent verification teams)
- 7) การทบทวนและการตรวจประเมินด้านความปลอดภัย (Safety reviews and safety audits)
- 8) การทดสอบโปรแกรมร่วมกับอุปกรณ์ที่จะต้องใช้งานกับโปรแกรมนั้น ๆ (Testing of machine code on target hardware)
- 9) การใช้โปรแกรมป้องกัน (Use of Defensive Programming)



- 10) การปฏิบัติตามข้อกำหนดแบบคงที่ (Static compliance with specification)
- 11) การวิเคราะห์ซอฟต์แวร์แบบคงที่ (Static software analysis)
- 12) การวิเคราะห์ซอฟต์แวร์แบบไดนามิก (Dynamic software analysis)
- 13) การทดสอบการทำงาน (Functional testing)
- 14) การทดสอบเต็มรูปแบบผ่านทุกส่วนย่อยของโปรแกรม (Full testing through every branch of program)
- 15) การปฏิบัติตามข้อกำหนดแบบไดนามิก (Dynamic compliance with specification)
- 16) การวิเคราะห์ผลกระทบข้อผิดพลาดของซอฟต์แวร์ (Software error effects analysis)
- 17) การทดสอบระบบด้วยวิธีการ white box (White-box testing of system)
- 18) การตรวจสอบรหัสโดยบุคคลที่สาม (Code inspection by a third party)
- 19) การใช้งานจริงของระบบ (In Service usage of the System)
- 20) การคำนวณค่าเฉลี่ยความล้มเหลวการให้สัญญาณผิด (Calculation of Mean Time between Wrong Side Failures)

8.2.2 การสอบทวนฮาร์ดแวร์ (Hardware Validation)

กำหนดให้ต้องมีการสอบทวนฮาร์ดแวร์ในระบบบังคับสัมพันธ์เพื่อยืนยันคุณสมบัติของอุปกรณ์ประกอบระบบให้ถูกต้องตรงกันกับคุณสมบัติที่ได้ออกแบบมาและสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย การสอบทวนควรดำเนินการโดยกลุ่มอิสระที่ไม่เกี่ยวข้องกับผู้ออกแบบ การสอบทวนฮาร์ดแวร์ควรมีเอกสารดังต่อไปนี้หรือเทียบเท่าเพื่อยืนยันความปลอดภัยของฮาร์ดแวร์

- 1) เอกสารแผนการจัดการระบบคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9001 (Documented Quality Management Plan for the development meeting the intent of ISO9001)
- 2) เอกสารขั้นตอนวิธีการพัฒนาระบบ (Documented System Development Methodology)
- 3) เอกสารเป้าหมายด้านความปลอดภัยและวิธีบรรลุเป้าหมายแห่งความปลอดภัย (Documentation of Safety Goals and how these Safety Goals have been achieved)
- 4) การปฏิบัติตามข้อกำหนดแบบคงที่ (Static compliance with specification)
- 5) การปฏิบัติตามข้อกำหนดแบบไดนามิก (Dynamic compliance with specification)
- 6) การตรวจสอบเอกสารประกอบการสอบทวนโดยทีมตรวจสอบอิสระ (Audits of use of prescribed rules for documentation and independent verification teams)



- 7) การทบทวนความปลอดภัยและการตรวจสอบความปลอดภัย (Safety reviews and safety audits)
- 8) การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด (Functional testing of all equipment)
- 9) การทดสอบภาคสนามแบบเต็มระบบ (Full field testing of the system)
- 10) ผลการวิเคราะห์โหมดความขัดข้องและผลกระทบที่เกิดจากความขัดข้อง (Failure mode, effect and criticality analysis)
- 11) การวิเคราะห์ความขัดข้องทั่วไป (Common mode failure analysis)
- 12) การวิเคราะห์ความขัดข้องด้วยวิธี Fault Tree analysis (Fault Tree Analysis)
- 13) การทดสอบระบบด้วยวิธีการ white box (White-Box Testing of system)
- 14) การทดสอบแบบ free test และ what if (Free testing - what if? method)
- 15) การทดสอบด้วยการจำลอง (Simulation Testing)
- 16) การคำนวณเวลาเฉลี่ยของความขัดข้องจากการให้สัญญาณผิด (Calculation of Mean Time between Wrong Side Failures)
- 17) กำหนดตารางสำหรับการคำนวณความเสี่ยงอื่น ๆ (Determine tables for calculating residual risks)
- 18) การใช้งานจริงของระบบ (In Service usage of the system)



ภาคผนวก ก

ระดับของระบบรักษาความปลอดภัย (SIL) ของระบบรักษาความปลอดภัยด้วยเครื่องมือวัด (SIS) ถูกกำหนดโดยปัจจัยการลดความเสี่ยง (RRF) ที่ SIS ให้ไว้สำหรับอุปกรณ์ภายใต้การควบคุม (EUC) ซึ่ง SIS จะป้องกันความเสี่ยงทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นและเป็นตัวชี้วัดความเป็นไปได้ที่จะเกิดความล้มเหลวของ SIS แนวคิด SIL เป็นผลโดยตรงจากมาตรฐาน IEC 61508 ซึ่งไม่ใช่เฉพาะทางรถไฟ สำหรับอุตสาหกรรมระบบราง CENELEC ได้พัฒนามาตรฐาน EN 50126, EN 50128 และ EN 50129 ซึ่งมาจาก IEC 61508 เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะทางรถไฟ

"SIL 4" การปกป้องสิ่งแวดล้อมและชุมชน

"SIL 3" การคุ้มครองมนุษย์

"SIL 2" การคุ้มครองความเป็นเจ้าของและการผลิต การป้องกันมนุษย์

"SIL 1" การปกป้องสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2 แสดงค่าระดับ PFD และ PFH

ระดับ	โหมตความต้องการต่ำ: ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวตามความ ต้องการ (PFD)	โหมตความต้องการสูง: ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวต่อชั่วโมง (PFH)
SIL 4	10^{-5} ถึง 10^{-4}	10^{-9} ถึง 10^{-8}
SIL 3	10^{-4} ถึง 10^{-3}	10^{-8} ถึง 10^{-7}
SIL 2	10^{-3} ถึง 10^{-2}	10^{-7} ถึง 10^{-6}
SIL 1	10^{-2} ถึง 10^{-1}	10^{-6} ถึง 10^{-5}