



กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – SC – 008 – 2568

มาตรฐานวงจรไฟตอนบนโครงข่ายรถไฟสายหลัก

Standard for Track Circuit on Mainline



กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง



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



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



Facebook/DRT.OfficialFanpage



รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการขนส่งทางราง

คณะกรรมการ

1. นายอธิภู จิตรานุกเคราะห์
กรรมการขนส่งทางราง ประธานกรรมการ
2. นายป๋วยวิธวินท์ ลู๋ชัยชนะ
สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรรมการ
3. นายมนต์ชัย ชุ่มอินทรจักร
สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กรรมการ
4. นายกำพล บุญชม
การรถไฟแห่งประเทศไทย กรรมการ
5. นายสุพัต พิพัฒน์กุล
การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย กรรมการ
6. นายอานูภาพ เกียรติกำจร
บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด กรรมการ
7. นายภณสินธุ์ ไพทีกุล
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรรมการ
8. นายสุธี โอบารฤทธินันท์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กรรมการ
9. นายอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กรรมการ
10. นายบุญพงษ์ กิจวัฒน์ชัย
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ กรรมการ
11. นายวิศพล ลัญฉน์วัฒน์
บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) กรรมการ
12. นายหลักฐาน ทองนพคุณ
บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) กรรมการ
13. นายนิวัฒน์ ธัญปิตินันท์
สมาคมวิศวกรที่ปรึกษาแห่งประเทศไทย กรรมการ
14. นายทยากร จันทรางศุ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และเลขานุการ
15. นายศุภฤกษ์ สูดยอดประเสริฐ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
16. นายพลากร กลัดเจริญ
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ
17. นายนรินทร์ จาตุรพิศานุกุล
กรรมการขนส่งทางราง กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ



- | | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| 18. นางสาวโสภิตา อำนวยศิลป์
กรรมการขนส่งทางราง | กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ |
| 19. นายพงศธร ศิริจันทร์เพ็ญ
กรรมการขนส่งทางราง | กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ |
| 20. นายปกรณ์ ศรีรักษา
กรรมการขนส่งทางราง | กรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ |



รายนามคณะอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานด้านไฟฟ้าและอาณัติสัญญาณของระบบราง

คณะอนุกรรมการ

1. นายพิเชฐ คุณาธรรมรักษ์
กรรมการขนส่งทางราง ประธานอนุกรรมการ
2. นายทยากร จันทรางศุ
กรรมการขนส่งทางราง รองประธานอนุกรรมการ
3. นายศัลยวิทย์ อภิชาติพงษ์
การรถไฟแห่งประเทศไทย อนุกรรมการ
4. นายนิธินันต์ วิฑูรแก้วศิริ
การรถไฟฯขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย อนุกรรมการ
5. นายศราวุฒิ เปล่งเจริญศิริชัย
สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน) อนุกรรมการ
6. นางสาวนිරนุช อารีราชการันย์
บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด อนุกรรมการ
7. นายหลักฐาน ทองนพคุณ
บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) อนุกรรมการ
8. นายปิยะชัย ชูเอม
บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) อนุกรรมการ
9. นายมานะชัย วัฒนหัตถกรรม
บริษัท เอเชีย เอรา วัน จำกัด อนุกรรมการ
10. นายฉัตรชัย เรืองปรีชา
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ อนุกรรมการ
11. นายเอนก วุฒยวนิช
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อนุกรรมการ
12. นายปิยะชัย สุขปลั่ง
การไฟฟ้านครหลวง อนุกรรมการ
13. นายนวพงศ์ นุตชาติ
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อนุกรรมการ
14. ผศ.ดร.ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ อนุกรรมการ
15. นายบวร มากนาคา
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ อนุกรรมการ
16. นายพลากร กลัดเจริญ
กรรมการขนส่งทางราง และเลขานุการ



17. นางสาวโสภิตา อำนวยศิลป์
กรรมการขนส่งทางราง
18. นายพงศธร ศิริจันทร์เพ็ญ
กรรมการขนส่งทางราง

อนุกรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ

อนุกรรมการ
และผู้ช่วยเลขานุการ



มขร. – SC – 008 – 2568

มาตรฐานวงจรไฟตอนบนโครงข่ายรถไฟสายหลัก

1. บททั่วไป

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้กำหนดรูปแบบ คุณสมบัติและคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรไฟตอน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของระบบอาณัติสัญญาณในการควบคุมการเดินรถไฟ โดยทำหน้าที่ในการตรวจจับตำแหน่งของขบวนรถไฟบนทางวิ่ง สำหรับโครงข่ายทางรถไฟสายหลัก

1.2 ขอบเขต

- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับวงจรไฟตอนของระบบอาณัติสัญญาณที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้ว และ/หรือที่จะติดตั้งใหม่บนโครงข่ายรถไฟสายหลัก ซึ่งประกอบด้วยเส้นทางรถไฟชานเมือง (commuter train) และเส้นทางรถไฟระหว่างเมือง (intercity train) ในประเทศไทย ตลอดจนศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟของเส้นทางดังกล่าวด้วย
- มาตรฐานฉบับนี้ใช้เป็นข้อกำหนดในการเลือกใช้อุปกรณ์หลักและ/หรืออุปกรณ์ย่อย ในระบบตรวจจับตำแหน่งรถไฟประเภทวงจรไฟตอนให้สามารถทำงานร่วมกันได้กับระบบตรวจจับรถไฟประเภทอื่น และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ในระบบอาณัติสัญญาณของรถไฟ

1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- 1) EN 50617-1:2024, Railway applications - Technical parameters of train detection systems for the interoperability of the trans-European railway system - Part 1: Track circuits
- 2) EN 50238-1:2019, Railway application – Compatibility between rolling stock and train detection system – Part 1: General
- 3) CLC/TS 50238-2:2020, Railway applications - Compatibility between rolling stock and train detection systems –Part 2: Compatibility with track circuits
- 4) ERA/ERTMS/033281 v4.0 Interface between control-command and signalling trackside and other subsystems
- 5) EN 13146-5:2012, Railway applications - Track - Test methods for fastening systems - Part 5: Determination of electrical resistance
- 6) EN 50121-4:2016, Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus
- 7) EN 50122-1:2011, Railway applications - Fixed installations - Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 1: Protective provisions against electric shock
- 8) EN 50122-2:2010, Railway applications - Fixed installations - Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems



- 9) EN 50122-3:2010, Railway applications - Fixed installations - Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 3: Mutual Interaction of a.c. and d.c. traction systems
- 10) EN 50124-2:2017, Railway applications - Insulation coordination - Part 2: Overvoltages and related protection
- 11) EN 50125-3:2003, Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 3: Equipment for signalling and telecommunications
- 12) EN 50126-1:2017, Railway applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process
- 13) EN 50126-2:2017, Railway applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2: Systems Approach to Safety
- 14) EN 50128:2011, Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems
- 15) EN 50129:2018, Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling
- 16) EN 50129:2018, Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling
- 17) EN 50160:2010, Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks
- 18) EN/IEC 60529:1991, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
- 19) EN/IEC 60721-3-4:2019, Classification of environmental conditions - Part 3-4: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Stationary use at non-weather protected locations
- 20) EN 13481-2:2022, Railway applications - Track - Performance requirements for fastening systems - Part 2: Fastening systems for concrete sleepers in ballast
- 21) EN 16843:2024, Railway applications - Infrastructure – Mechanical requirements for joints in running rails
- 22) EN 50163:2024, Railway applications -Supply voltages of traction systems
- 23) EN 50125-3:2003 - Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 3: Equipment for signalling and telecommunications
- 24) EN 50121 series, Railway applications. Electromagnetic compatibility

หมายเหตุ: ในกรณีที่มีการออกมาตรฐานฉบับใหม่ทดแทนมาตรฐานฉบับเดิม ให้ยึดปฏิบัติตามมาตรฐานฉบับใหม่

2. นิยามคำศัพท์

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) หมายถึง กระแสที่มีทิศทางไปและกลับตลอดระยะเวลา มีการสลับขั้วบวกและลบกันอยู่ตลอดเวลา



ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) หมายถึง กระแสที่มีทิศทางเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าไปในทิศทางเดียวกันเป็นวงจร

ความขัดข้องด้านปลอดภัย (Right Side Failure: RSF) หมายถึง ภาวะที่ระบบอาณัติสัญญาณตรวจพบข้อผิดพลาด และตอบสนองด้วยการกำหนดเงื่อนไขการเคลื่อนที่ของรถไฟให้จำกัดหรือเข้มงวดกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อการเดินรถ (fail-safe)

ความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (Wrong Side Failure: WSF) หมายถึง การทำงานผิดพลาดของระบบอาณัติสัญญาณที่ส่งผลให้เงื่อนไขการเคลื่อนที่ของรถไฟผ่อนคลายเกินไปกว่าที่ควรจะเป็น (เช่น สั่งให้ไปเมื่อไม่ปลอดภัย ไม่แสดงข้อจำกัดที่จำเป็น) ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อการเดินรถได้

กระแสรบกวน (interference current) หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากแหล่งภายนอกของระบบตรวจสอบตำแหน่งรถไฟ (เช่น จากขบวนรถไฟหรือระบบจ่ายไฟ) ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจรถอนหรือระบบตรวจสอบตำแหน่งรถไฟอื่น ๆ

ความไวของระบบ (susceptibility) หมายถึง ลักษณะเฉพาะของระบบตรวจสอบตำแหน่งรถไฟที่กำหนดระดับความอ่อนไหวต่อสัญญาณการรบกวน โดยแสดงออกเป็นค่ากระแสการรบกวนสูงสุดที่ระบบสามารถรับได้โดยไม่เกิดการดำเนินงานผิดพลาด

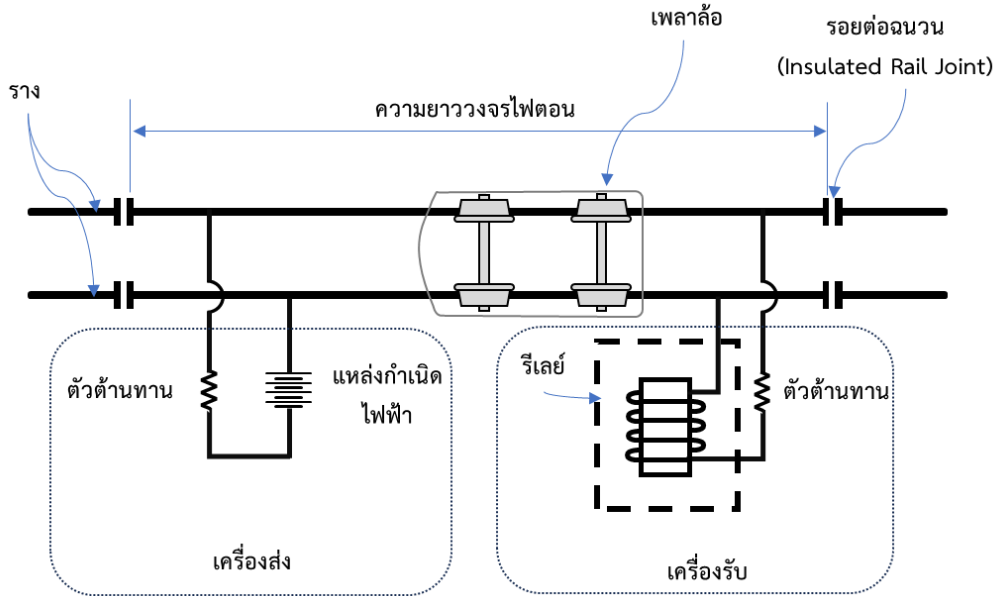
ส่วนรางปลอดภัยกระแสไฟฟ้า (dead section) หมายถึง ช่วงหนึ่งของรางรถไฟที่ถูกออกแบบให้ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนรถไฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแบ่งแยกส่วนของระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า ใช้เป็นพื้นที่จอดพักรถ หรือเป็นส่วนปลายสุดของทางรถไฟ

อิมพีแดนซ์ชันต์ (shunt impedance) หมายถึง อิมพีแดนซ์ที่เกิดจากล้อรถไฟที่พาดอยู่บนราง ทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรถอนไหลลัดวงจรผ่านล้อรถไฟ

3. คุณสมบัติ (general specification)

3.1 ภาพรวมระบบวงจรถอน

ระบบตรวจจับตำแหน่งของรถไฟมีหน้าที่เพื่อยืนยันความปลอดภัยของเส้นทางโดยอัตโนมัติ ผ่านการทำงานร่วมกับระบบอาณัติสัญญาณและระบบความปลอดภัยของรถไฟ วงจรถอนจะทำหน้าที่ตรวจจับขบวนรถไฟในเส้นทางที่มีการติดตั้งวงจรถอนไว้ ว่ามีขบวนรถไฟอยู่ “ว่าง” (clear) หรือ “ถูกครอบครอง” (occupied) โดยใช้รางรถไฟทำหน้าที่เป็นเส้นทางส่งผ่านสัญญาณระหว่างเครื่องส่ง (Transmitter: TR) และเครื่องรับ (Receiver: REC) ของวงจรถอน (Track Circuit: TC) เมื่อขบวนรถไฟ (Rolling Stock Train: RST) อยู่บนวงจรถอน ชุดล้อจะเกิดการลัดวงจร (short circuit) ระหว่างรางทั้งสอง จึงส่งผลให้สถานะของวงจรถอนเปลี่ยนเป็น “ถูกครอบครอง” (occupied) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมระบบวงจรไฟตอน

3.2 การใช้งานวงจรไฟตอน

วงจรไฟตอนใช้สำหรับตรวจจับสถานะการครองทาง เพื่อป้องกันการอนุญาตให้ขบวนรถไฟเข้าไปในต่อนทางที่มีขบวนรถไฟอยู่แล้ว และยืนยันการมีอยู่ของขบวนรถไฟในต่อนทางที่มีการติดตั้งวงจรไฟตอนไว้ ซึ่งสถานะการครองทางต้องเปลี่ยนเป็นสถานะ “ปกติ” หรือ “ว่าง” (clear) ได้ทันทีเมื่อขบวนรถไฟออกจากต่อนทางนั้น ๆ แล้ว ทั้งนี้สามารถประยุกต์ใช้งานในการควบคุมการเดินรถได้ เช่น ใช้ล็อกเส้นทางเมื่อมีขบวนรถไฟเข้ามาในต่อนทาง ใช้ควบคุมท่าของการให้สัญญาณในพื้นที่ที่ใช้ระบบสัญญาณอัตโนมัติ หรือใช้เป็นสัญญาณตรวจจับการมาถึงของขบวนรถไฟสำหรับระบบเครื่องกั้นถนนเสมอระดับอัตโนมัติ

3.3 คุณสมบัติของวงจรไฟตอน (characterization of track circuit)

ข้อ 4 - 7 ของมาตรฐานนี้ คือ พารามิเตอร์สำหรับระบบวงจรไฟตอน (track circuit systems) โดยข้อกำหนดทั้งหมดที่ระบบวงจรไฟตอนต้องปฏิบัติตามจะถูกระบุและนิยามไว้อย่างละเอียดในมาตรฐาน EN 50617-1 โดยรวมข้อกำหนดสำหรับด้านกายภาพและไฟฟ้า (เช่น ความต้านทานเพลลา ความต้านทานบัลลาสต์ พฤติกรรมเมื่อเกิดรางแตกกร้าว) รวมถึงพารามิเตอร์ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่น พฤติกรรมต่อการรบกวนและค่าจำกัดภูมิคุ้มกัน) ต้องดำเนินการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการจัดทำรายงานเพื่อแสดงถึงความเข้ากันได้กับมาตรฐานนี้ รวมถึงค่าขีดจำกัดความเข้ากันได้ของวงจรไฟตอนตามมาตรฐาน CLC/TS 50238-2

3.4 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัย (safety relevance of parameters)

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของวงจรไฟตอน (track circuit) ให้พิจารณาตามมาตรฐาน EN 50129:2018 โดยแต่ละพารามิเตอร์ที่อธิบายไว้ในข้อ 4 - 7 ของมาตรฐานนี้ อาจส่งผลกระทบต่อระดับความปลอดภัยหรือไม่ส่งผลกระทบต่อได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรไฟตอนและสภาพแวดล้อมทางเทคนิคเฉพาะสำหรับการใช้งาน พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัยของแต่ละตัวจะต้องถูกกำหนดเป็นกรณี ๆ ไป โดยทั่วไปมีแนวทางการพิจารณากำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของแต่ละพารามิเตอร์ระบุไว้ตามที่กำหนดไว้ใน EN 50617-1

4. พารามิเตอร์ทางเทคนิคของวงจรไฟตอน (technical track circuit parameters)

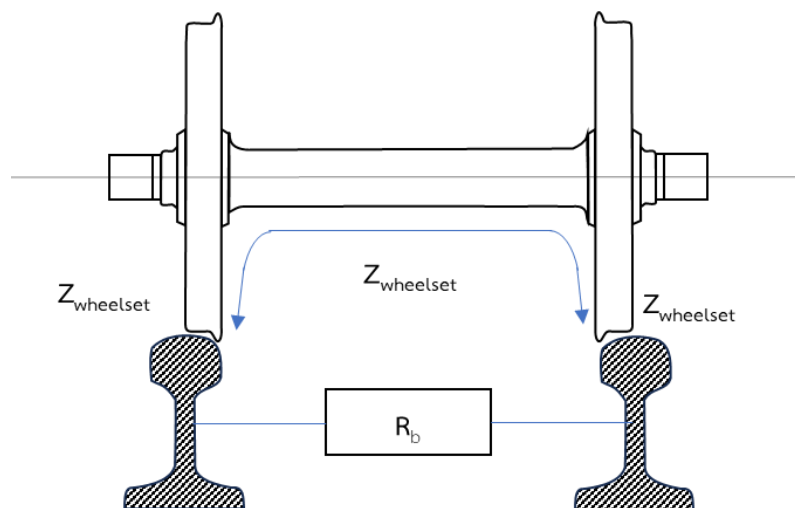
4.1 อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัต (dynamic shunt impedance)

4.1.1 บททั่วไป

อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัตได้รับผลกระทบจากการออกแบบวงจรไฟตอนเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยยิ่งค่าแรงดันของเครื่องส่ง (transmitter voltage) สูงเท่าใด ก็จะได้ยิ่งได้รับผลกระทบจากเศษสิ่งสกปรก ระหว่างล้อและรางน้อยลง ซึ่งจะป้องกันการสูญเสียชัณฑ์ (loss of shunt) ได้ อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัตได้รับผลกระทบจากการออกแบบตัวรถเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยค่าอิมพีแดนซ์ของล้อเป็นเพียงส่วนเล็ก ๆ ของอิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัตทั้งหมด จำนวนล้อรถไฟยิ่งมีมากเท่าใด โอกาสที่ล้อทั้งหมดจะถูกแยกออกจากกันจนทำให้เกิดการสูญเสียชัณฑ์ก็ยิ่งน้อยลงเท่านั้น การทำความสะอาดผิวหน้าของรางหรือล้ออย่างทั่วถึงก็สามารถกำจัดเศษสิ่งสกปรกได้ แต่ไม่ใช่เศษสิ่งสกปรกทุกชนิดเป็นสาเหตุของการสูญเสียชัณฑ์ สาเหตุหลักของการสูญเสียชัณฑ์ คือ เศษสิ่งสกปรก เช่น ทราย สนิม ไขมันแห้งและที่ถูกบอัดจนกลายเป็นชั้นฉนวนบนรางล้อ หรือทั้งสองอย่าง ซึ่งทำให้เกิดอิมพีแดนซ์แปรผันระหว่างล้อและราง นอกจากนี้ การจราจรของรถไฟ (จำนวนล้อรถไฟต่อวัน) รูปแบบของหน้าล้อที่แตกต่างกัน และการเบรกแบบดั้งเดิม (classic block brakes) ก็สามารถช่วยลดการสะสมของเศษสิ่งสกปรกได้

การที่ตรวจจับตำแหน่งรถไฟที่อยู่บนเส้นทางไม่ได้ และแสดงในระบบตรวจจับตำแหน่งของรถไฟว่าเส้นทางนั้น “ว่าง” จะถือว่าเป็นสถานการณ์อันตรายซึ่งเรียกอีกอย่างว่า “ความขัดข้องที่ไม่ปลอดภัย” (wrong side failure) ซึ่งขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัต

อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัต คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นระหว่างรางทั้งสองข้างของวงจรไฟตอนตามที่แสดงในรูปที่ 2 อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัตประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ของล้อรถไฟทั้งหมดแบบขนานกัน ซึ่งรวมถึงความต้านทานระหว่างล้อกับรางด้วย อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัตถูกเรียกว่า “พลวัต” (dynamic) เนื่องจากทั้งจำนวนล้อรถไฟและความต้านทานระหว่างผิวหน้าของล้อรถไฟที่อยู่คนละด้านกับรางสามารถแปรผันได้ในแต่ละล้อรถไฟ



รูปที่ 2 อิมพีแดนซ์ชัณฑ์พลวัต (dynamic shunt impedance)

R_b : ความต้านทานบัลลาสต์ (ballast resistance)

$R_{contact}$: ความต้านทานระหว่างล้อและราง (ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น สิ่งปนเปื้อน (ตัวอย่างเช่น สนิม) และขนาดของพื้นที่สัมผัส)

$Z_{wheelset}$: อิมพีแดนซ์ระหว่างผิวหน้าของล้อรถไฟที่อยู่คนละด้านของชุดล้อ

หมายเหตุ 1: ค่า R_{contact} อาจมีพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear behavior) ซึ่งเกิดจากกลไกที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น

หมายเหตุ 2: โดยปกติแล้วจะทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (ส่วนจริงของอิมพีแดนซ์) ระหว่างผิวหน้าของล้อรถไฟที่อยู่คนละด้านของชุดล้อ นอกจากนี้ยังสามารถวัดค่ารีแอกแตนซ์ไฟฟ้า (electrical reactance) ระหว่างผิวหน้าของล้อรถไฟที่อยู่คนละด้านของชุดล้อได้เช่นกัน เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับวงจรไฟตอนที่ใช้ความถี่เสียง (audio) และความถี่สูง (higher frequency)

อิมพีแดนซ์ชั้ตประกอบด้วยค่า $R_{\text{contact}} + Z_{\text{wheelset}} + R_{\text{contact}}$

ส่งผลให้ไม่สามารถระบุค่าของอิมพีแดนซ์ชั้ตพลวัต (dynamic shunt impedance) ได้อย่างเฉพาะเจาะจง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ชั้ตสูงสุดที่ยอมรับได้ เพื่อป้องกันการเกิดความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF)

4.1.2 ข้อกำหนด

ค่าอิมพีแดนซ์ชั้ตสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum allowed shunt impedance) จะต้องถูกระบุในเอกสารข้อกำหนดด้านความปลอดภัย (safety case) ซึ่งจัดทำขึ้นตามมาตรฐาน EN 50129:2018

ผลกระทบของการสูญเสียชั้ต (loss of shunt) (ทั้งระยะสั้นและระยะยาว) จะต้องถูกรวมอยู่ในระบบการจัดการความปลอดภัย (Safety Management System: SMS) ของผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure Manager: IM) หรือในการออกแบบระบบบังคับสัมพันธ์ (interlocking) ซึ่งถือเป็นข้อกำหนดที่ถูกต้องให้กับผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน

4.2 โซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้ (TC non-detection zone)

โซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้ คือ บริเวณของวงจรไฟตอนที่ จะไม่สามารถตรวจจับชุดล้อของขบวนรถไฟได้ (RST) เนื่องจากยานพาหนะมีระยะห่างระหว่างชุดล้อแรกและชุดล้อสุดท้ายสั้นมาก (เช่น รถซ่อมบำรุง) ซึ่งส่งผลต่อวงจรไฟตอนที่อยู่ติดกันไม่สามารถตรวจจับได้ และแสดงผลว่าช่วงรางทั้งสองช่วงที่อยู่ติดกันนั้น “ว่าง (Clear)” โดยโซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้ของวงจรไฟตอนสองวงจรถูกติดกันในเส้นทางการเดินรถ ตามมาตรฐาน EN 50238-1 ประกอบด้วย

- บริเวณประแจและทางแยก (Switch and Crossing: S&C) ระหว่างรอยต่อฉนวนแบบสลับพื้นปลา
- บริเวณการซ้อนทับกันของส่วนรางปลอดกระแสไฟฟ้า (dead section) ในบริเวณประแจและทางแยก (S&C)
- บริเวณที่มีการสายศักย์ไฟฟ้าเท่า (equipotential wires) ในบริเวณประแจและทางแยก (S&C)
- บริเวณที่ไม่มีการตรวจจับบริเวณรอยต่อทางไฟฟ้า

ความยาวของโซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรอยต่อฉนวน (Insulated Rail Joint: IRJ) บนรางทั้งสอง และ/หรือ ค่าการลัดวงจรแบบพลวัต (dynamic shunt)

วงจรไฟตอนต้องออกแบบให้ครอบคลุมโซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้เพื่อไม่ให้เกิดเหตุการณ์ขบวนรถไฟหรือยานพาหนะที่อยู่บริเวณโซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้ แต่แสดงผลบนวงจรไฟตอนทั้งสองที่อยู่ติดกับโซนที่วงจรไฟตอนตรวจจับไม่ได้เป็น “ว่าง (Clear)”



4.3 ความยาวของวงจรฟีดอน (track circuit length)

4.3.1 บททั่วไป

ความยาวของวงจรฟีดอน คือ ความยาวที่สามารถตรวจจับชุดล้อของขบวนรถไฟ (RST) ได้ ตัวอย่างการพิจารณาความยาววงจรฟีดอนขั้นต่ำแสดงไว้ใน Annex C ของ EN 50617-1

4.3.2 ข้อกำหนดความยาวขั้นต่ำในการตรวจจับของวงจรฟีดอน (TC minimum length of detection)

1) ความยาวขั้นต่ำของเขตตรวจจับต้องยาวกว่าระยะห่างสูงสุดระหว่างเพลากลึงเพลลาของขบวนรถไฟ

2) ความยาวขั้นต่ำของเขตตรวจจับต้องยาวเพียงพอที่จะทำให้ระบบบังคับสัมพันธ์ (interlocking) มั่นใจได้ว่ารถไฟวิ่งผ่านไปแล้ว

- เมื่อใช้เทคนิคการทำงานด้วยรีเลย์ โดยต้องคำนึงถึงเวลาหน่วง (delay-time) ของรีเลย์แต่ละตัวในวงจรที่สมบูรณ์ (complete circuit) ด้วย

- เมื่อใช้เทคโนโลยีการควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ (Programmable Logic Control: PLC) (รวมถึงไมโครโปรเซสเซอร์) โดยต้องคำนึงถึงเวลาวัฏจักรสูงสุด (maximum cycle time) ของระบบควบคุมด้วย

3) ต้องแสดงให้เห็นในเอกสารกรณีด้านความปลอดภัยว่าวงจรฟีดอนสามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสมกับความเร็วสูงสุดที่ร้องขอสำหรับการใช้งาน

4.3.3 ข้อกำหนดความยาวสูงสุดในการตรวจจับของวงจรฟีดอน (TC maximum length of detection)

ต้องพิจารณาในเอกสารกรณีด้านความปลอดภัยว่าวงจรฟีดอนสามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสมกับความยาวสูงสุดที่กำหนดไว้ในคุณลักษณะเฉพาะของวงจรฟีดอน

หมายเหตุ: ความยาวสูงสุดในการตรวจจับขึ้นอยู่กับสิ่งอื่น ๆ ได้แก่ ค่าความต้านทานการลัดวงจรสูงสุด (maximum shunt resistance) และค่าความต้านทานบัลลาสต์ (ballast resistance) เฉพาะสำหรับวงจรฟีดอนนั้น

4.4 การตรวจจับรางแตกร้าว (broken rail detection)

4.4.1 ทั่วไป

วงจรฟีดอนสามารถตรวจจับรางแตกร้าวได้ หากมีการออกแบบไว้ ซึ่งการแตกร้าวของรางในครั้งแรกอาจตรวจจับไม่ได้ ถ้ามีการขนานเส้นทางที่ค่าอิมพีแดนซ์ต่ำไว้ ในกรณีนี้ การแตกร้าวของรางจะทำให้เกิดความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) แต่รถไฟยังคงถูกวงจรฟีดอนตรวจจับได้ แต่ในกรณีที่เกิดการแตกร้าวของรางครั้งที่สองบนรางเส้นเดียวกัน วงจรฟีดอนจะไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะได้ ซึ่งจะนำไปสู่ความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) ในบริบทของความปลอดภัยโดยรวมของระบบรถไฟ การแตกร้าวของรางอาจนำไปสู่การตกรางที่อาจเกิดขึ้นได้

วงจรฟีดอนจะถือว่ารางแตกร้าวเมื่อไม่มีการสัมผัสทางไฟฟ้าระหว่างรางทั้งสองส่วนที่อยู่คนละด้านของรอยร้าวอีกต่อไป (เช่น รอยร้าวในแนวตั้ง) เมื่อรอยร้าวเฉพาะส่วนฐานหรือเฉพาะส่วนหัวของราง วงจรฟีดอนจะไม่สามารถตรวจจับรอยร้าวในลักษณะนี้ได้ เนื่องจากยังคงมีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (electrical continuity) อยู่ตลอดแนวรางที่แตกร้าว

4.4.2 ข้อกำหนด

หากมีการกำหนดให้การตรวจจับรางแตกกร้าวเป็นส่วนหนึ่งของการทำงานของระบบตรวจจับรถไฟ (Train Detection System: TDS) วงจรถอนจะต้องสามารถตรวจจับรางแตกกร้าวในครั้งแรกได้ภายใต้สถานะเลวร้ายที่สุด

ความเสี่ยงของการไม่ตรวจจับรางแตกกร้าวในบริเวณประแจและทางแยก (S&C) จะต้องถูกลดให้น้อยที่สุดด้วยการออกแบบ (เช่น เนื่องจากเส้นทางขนาน)

ต้องทำการทดสอบหรือจำลองสำหรับสถานะที่เลวร้ายที่สุด การทดสอบนี้ต้องดำเนินการเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบประเภทเริ่มต้นของวงจรถอน

ผู้ผลิตต้องระบุค่าจำกัดของค่าความเหนียวของรางหรือใช้ค่าอิมพีแดนซ์สูงในเส้นทางขนานเพื่อตรวจจับรางแตกกร้าว (หากมีการชดเชยค่าเหล่านี้) โดยค่าอิมพีแดนซ์ขั้นต่ำของเส้นทางขนานจะต้องถูกกำหนดโดยพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้

- ความถี่การทำงานของวงจรถอนและสภาพแวดล้อมของโครงสร้างพื้นฐาน
- ค่าความถี่ของระดับความไวของเครื่องรับระหว่างการปรับจูนของเครื่องรับของวงจรถอนและกรณีที่เลวร้ายที่สุดที่พิจารณาเพื่อตรวจจับรางแตกกร้าวในครั้งแรก ความขัดข้องครั้งแรกจะต้องไม่นำไปสู่ความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) แต่จะต้องถูกตรวจจับได้อย่างน่าเชื่อถือ มิฉะนั้นความปลอดภัยที่ต้องการจะถูกลดทอนลง

4.5 การตรวจจับความขัดข้องของรอยต่อฉนวน (IRJ failure detection)

4.5.1 บททั่วไป

รอยต่อฉนวน (IRJ) ถูกติดตั้งเพื่อแยกขอบเขตของช่วงวงจรถอน

ในกรณีที่รอยต่อฉนวนขัดข้อง สัญญาณจากเครื่องส่ง (TR) ของช่วงวงจรถอนที่อยู่ติดกันสามารถจ่ายไฟให้กับเครื่องรับ (REC) ของช่วงวงจรถอนที่กำลังตรวจสอบ

4.5.2 ข้อกำหนด

หากมีการกำหนดให้มีฟังก์ชันการตรวจจับความขัดข้องของรอยต่อฉนวน (IRJ) ความขัดข้องของ IRJ จะต้องได้รับการวิเคราะห์ในเอกสารกรณีด้านความปลอดภัย (safety case) ดูเพิ่มเติมที่ 6.3

4.6 การจัดการความถี่และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของวงจรถอน (frequency management and relevant parameters of the track circuit)

4.6.1 ความถี่และขีดจำกัดความทนทานต่อการรบกวน (frequencies and immunity limits)

1) บททั่วไป

การจัดการความถี่แสดงอยู่ในรูปของขีดจำกัดกระแสสัญญาณรบกวนเทียบกับความถี่ซึ่งใช้ได้สำหรับหน่วยที่ก่อให้เกิดการรบกวนเพียงหน่วยเดียวของชุดล้อที่พิจารณาภายใต้สถานะปกติและสถานะเสื่อมสภาพที่คาดการณ์ได้

การเชื่อมโยงระหว่างการปล่อยสัญญาณของชุดล้อและการรับสัญญาณของเครื่องรับของวงจรถอนแสดงถึงฟังก์ชันการถ่ายโอนค่าหนึ่ง ฟังก์ชันการถ่ายโอนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

- การพิจารณากรณีการรบกวนที่ทำให้เกิดความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) และ/หรือ ความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) กำหนดค่าความถี่ด้านความเข้ากันได้ที่แตกต่างกัน
- ความไม่สมดุลของกระแสย้อนกลับระหว่างรางสองเส้น (ดู 6.6)
- การมีอยู่ของฮาร์มอนิกจากระบบจ่ายไฟฟ้าของรถไฟ (เช่น จากสถานีไฟฟ้าย่อยหรือยานพาหนะอื่น ๆ) และอิมพีแดนซ์ของชุดล้อที่จำกัดกระแส



- จำนวนหน่วยที่ก่อให้เกิดการรบกวนในส่วนจ่ายไฟเดียวกัน
- เส้นทางขนานสำหรับเส้นทางกระแสย้อนกลับ (เช่น การต่อเทียบคักย์)
- ผลกระทบจากเรโซแนนซ์ของโครงสร้างพื้นฐาน
- การออกแบบวงจรไฟตอน (เช่น หม้อแปลงหรืออัตราส่วนการปรับจูน)
- การมอดูเลตภายในสถานีไฟฟ้าย่อยแบบกระแสตรงของฮาร์มอนิกจากการ

ขับเคลื่อนและฮาร์มอนิกของสถานีไฟฟ้าย่อย.

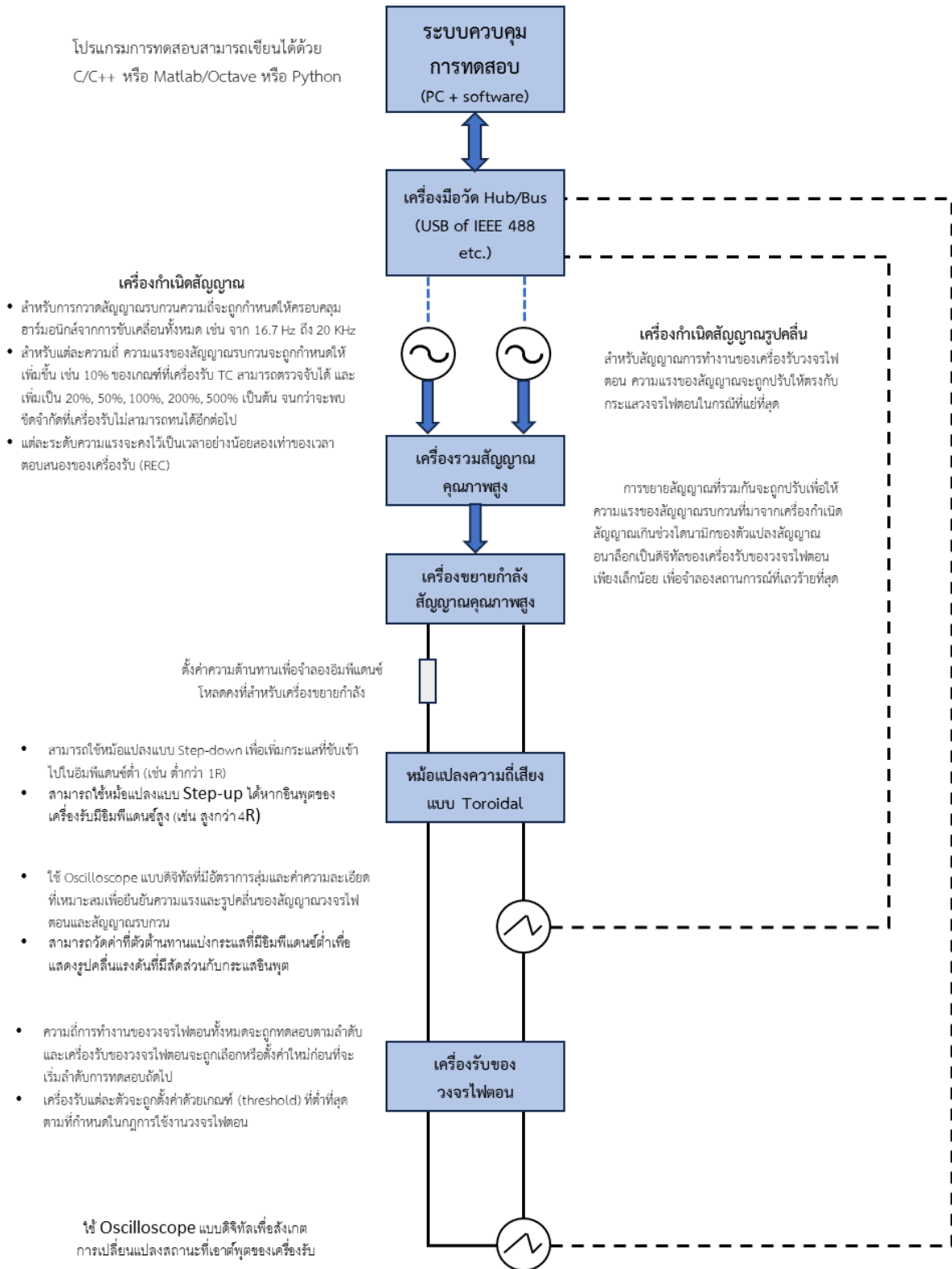
4.6.2 การตรวจสอบความทนทานต่อการรบกวน (validation of immunity)

1) บททั่วไป

ความทนทานต่อการรบกวนของวงจรไฟตอนจะต้องผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถยกเว้นการทดสอบภาคสนามได้ หากสามารถแสดงข้อมูลที่เปรียบเทียบได้หรือมีผลการทดสอบภาคสนามมาแล้ว ชีตจำกัดการทดสอบที่ใช้ได้จะถูกกำหนดเพิ่มเติม โดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้วงจรไฟตอน (รางเดี่ยว/รางคู่ หรือรูปแบบรางเดี่ยว/หลายราง) ความไม่สมดุลในเส้นทางไหลกลับ การมีเครื่องรับหลายตัว และฮิสเทรีซิสในเครื่องรับ หากสามารถทำได้ สภาพแวดล้อมของการประยุกต์ใช้วงจรไฟตอนจะต้องครอบคลุมอยู่ในการทดสอบและในเอกสารกรณีด้านความปลอดภัยสำหรับวงจรไฟตอน

2) การทดสอบความทนทานต่อการรบกวนของเครื่องรับของวงจรไฟตอนในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการทดสอบความทนทานต่อการรบกวน สามารถนำระบบตรวจจับรณไฟทั้งหมดมาพิจารณาได้ ทั้งนี้สถานการณ์การประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันต้องได้รับการประเมินเทียบกับชีตจำกัดการจัดการความถี่ (FrM) และจัดทำเป็นเอกสารโดยไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบจริงซ้ำ トラバเท่าที่มีความน่าเชื่อถือที่ดีและมีค่าความเผื่อที่เหมาะสมสำหรับความไม่แน่นอนในแบบจำลองที่ใช้เป็นพื้นฐานของฟังก์ชันการถ่ายโอน



รูปที่ 3 ตัวอย่างการทดสอบความทนทานของเครื่องรับของวงจรไฟตอน

แผนภาพผังงาน (flow diagram) ในรูปที่ 3 มีวัตถุประสงค์ให้ดำเนินการ

- สำหรับแต่ละความถี่ของสัญญาณรบกวน (each noise frequency step)
- สำหรับการทดสอบความทนทานต่อการรบกวนในสภาวะความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) (กล่าวคือ เมื่อวงจรไฟตอนถูก (ตั้งค่าเส้นทาง) และวงจรไฟตอน “ว่าง”)

- สำหรับสัญญาณอินพุตของเครื่องรับเท่านั้น ในการแปลงเป็นซีตจำกัดกระแสของราง อาจต้องใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนเพิ่มเติมระหว่างกระแสของเครื่องรับและกระแสของราง (ขึ้นอยู่กับวงจรไฟตอน)
- แผนภาพผังงานเหมาะสำหรับการระบุลักษณะของเครื่องรับทั้งในแถบความถี่และนอกแถบความถี่ ความแตกต่างเพียงอย่างเดียวคือการเลือกความถี่และสัญญาณรบกวนสูงสุด

ระดับสูงสุดที่เหมาะสมควรได้มาจากกระแสอินพุตสูงสุดที่อนุญาตของเครื่องรับ หรือกระแสขับเคลื่อนสูงสุดที่เหมาะสมในช่วงนอกแถบความถี่ โปรดทราบว่าระดับที่อินพุตของเครื่องรับและระดับในกระแสขับเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันผ่านฟังก์ชันการถ่ายโอนที่เฉพาะเจาะจงกับการนำไปใช้งาน

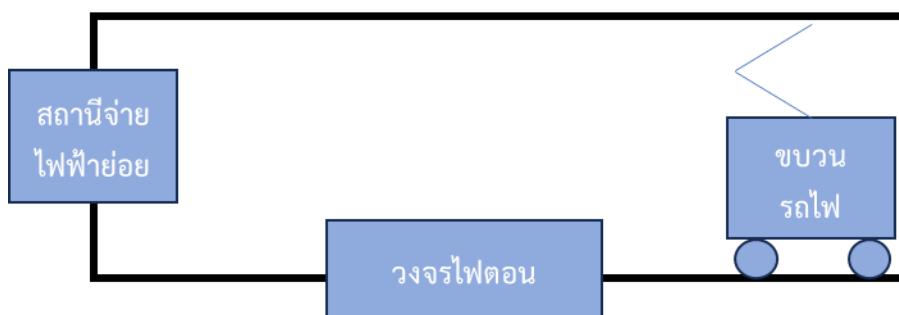
สำหรับความเชื่อมโยงระหว่างสภาพแวดล้อม ความยาวช่วงราง และความถี่ จะต้องรวมค่าความเผื่อ (margin) ไว้ด้วย

3) การกำหนดค่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการทดสอบต่อไปนี้อยู่เพื่อทำความเข้าใจและตรวจสอบความทนทานต่อการรบกวนของวงจรไฟตอนในฐานะระบบติดตั้งแบบสมบูรณ์ ซึ่งแตกต่างจากความทนทานต่อการรบกวนของเครื่องรับเพียงอย่างเดียว

การทดสอบในห้องปฏิบัติการมีขึ้นเพื่อศึกษาเกณฑ์ความอ่อนไหวต่อการรบกวนของเครื่องรับของวงจรไฟตอน (TC REC) โดยใช้รางจำลองที่เทียบเท่า การใช้สัญญาณทดสอบแบบคลื่นไซน์นั้นมีเหตุผลเพียงพอสำหรับวัตถุประสงค์นี้ เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการทดสอบนี้คือเพื่อสร้างฟังก์ชันการถ่ายโอนระหว่างซีตจำกัดการปล่อยสัญญาณรบกวนสำหรับชุดล้อของขบวนรถไฟ (RST) ที่กำหนดไว้ในการจัดการความถี่ (FrM) และความทนทานต่อการรบกวนของวงจรไฟตอน

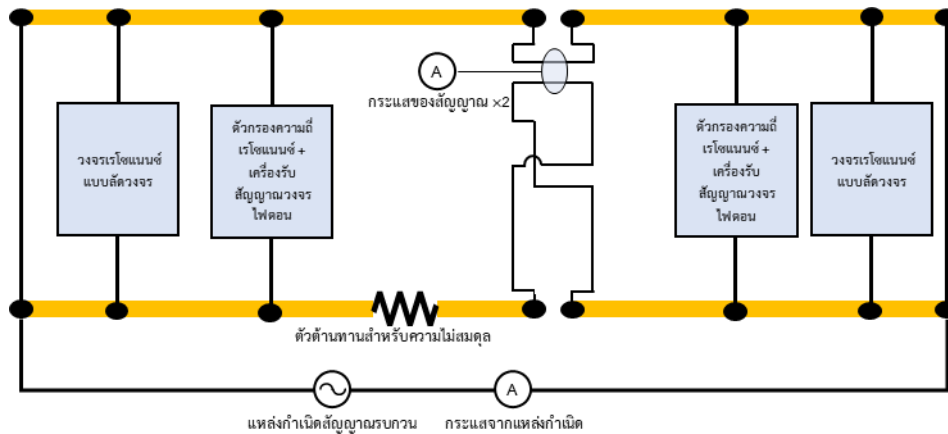
ตัวอย่างต่อไปนี้จะเกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าการทดสอบสำหรับความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) นี่คือการจำลองที่ใกล้เคียงกับกรณีที่เลวร้ายที่สุดสำหรับความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) โดยมีสถานีไฟฟ้าย่อยเชื่อมต่อที่ปลายด้านหนึ่งผ่านการต่อลัดวงจร (shorting bond) และชุดล้อของขบวนรถไฟ (RST) เชื่อมต่อผ่านการต่อลัดวงจรอีกอัน (ดูรูปที่ 4) การทดสอบประกอบด้วยการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรไฟตอนทั่วไป เพื่อสร้างความอ่อนไหวต่อการรบกวนของรถไฟของวงจรไฟตอน



รูปที่ 4 สถานการณ์ความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF)

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (เครื่องกำเนิดกระแส) ในการสร้างสัญญาณคลื่นไซน์ ในรูปที่ 5 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจะถูกจ่ายเข้าไประหว่างการต่อลัดวงจรทั้งสองที่ปลายสุดของวงจรไฟตอน รางของวงจรไฟตอนจะถูกจำลองด้วยค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานระบุตามความยาวและประเภทของวงจรไฟตอนที่พิจารณา กระแสจากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนจะไหลผ่านรางทั้งสองเส้น ความไม่สมดุลจะถูกจำลองด้วยตัวต้านทานที่วางอยู่ระหว่างสองส่วนของรางเส้นหนึ่ง วิธีนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อคุณสมบัติของรางไม่ได้รับอิทธิพลจากตัวต้านทานที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล (ตัวต้านทานที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลต้องมีค่าน้อยกว่า

อิมพีแดนซ์ต้นทางของฝั่งส่ง) มิฉะนั้นแล้ว ความไม่สมดุลจะต้องถูกสร้างขึ้นด้วยการใช้สายเคเบิลวนเหนือราง หรือด้วยสายเคเบิลผ่านหม้อแปลงทอรอยด์ (toroidal transformer) เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดความไม่สมดุลที่ต้องการ การทดสอบจะดำเนินการสำหรับความถี่การทำงานทั้งหมดของวงจรไฟตอน และสำหรับรูปแบบการกำหนดค่าวงจรไฟตอนที่สำคัญที่สุดบางส่วน (ความยาว การเข้ารหัส ความไม่สมดุล)



รูปที่ 5 Block diagram สำหรับการจำลองสัญญาณรบกวน

หมายเหตุ: ในการทดสอบนี้ ถือว่าหिनโรยทางเป็นฉนวนที่สมบูรณ์แบบ

4) ข้อกำหนดคุณลักษณะอุปกรณ์ทดสอบ (testing equipment specification)

อุปกรณ์ทดสอบจะต้องสามารถครอบคลุมช่วงไดนามิก (dynamic range) ทั้งหมดในแง่ของระดับ (level) และความถี่ (frequency) ตามที่กำหนดไว้ใน EN 50617-1 สำหรับวงจรไฟตอนแต่ละประเภท

5) ขั้นตอนการทดสอบ (testing procedure)

ขั้นตอนการทดสอบนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบว่าวงจรไฟตอนแต่ละประเภทที่กำหนดในมาตรฐานระดับชาติหรือวงจรไฟตอนใหม่นั้นเป็นไปตามข้อกำหนด FrM ที่กำหนดไว้ในเอกสาร ERA/ERTMS/032882 หรือไม่ วงจรไฟตอนจะถือว่าเป็นไปตามข้อกำหนด FrM หากค่าขีดจำกัดของความไว (susceptibility) ที่ได้จากการทดสอบนั้นสูงกว่าค่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ใน TSI FrM สำหรับแถบความถี่ที่เกี่ยวข้อง โดยมีระยะเผื่อความเข้ากันได้ (compatibility margin) และเส้นโค้งตัวกรองของวงจรไฟตอนอยู่ในขอบเขตของพื้นที่ FrM ที่กำหนดไว้ ข้อกำหนดนี้ใช้ได้กับโครงสร้างระบบทั้งหมดที่พิจารณา

5.1) การเตรียมการทดสอบ (preparation of test)

- ภาวะไม่สมดุล (unbalance) จะต้องถูกกำหนดค่าบนรางเพียงเส้นเดียว ระดับ FrM จะถูกเลือกตามการวิเคราะห์ RAMS (Reliability Availability Maintainability and Safety) กระแสสัญญาณรบกวน (interference current) ที่สร้างขึ้นและกระแสสัญญาณของวงจรไฟตอนจะถูกวัดตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 4.6.2 ข้อ 3) กระแสสัญญาณของวงจรไฟตอน คือ กระแสลัพธ์ (resultant current) ที่วัดได้ในลักษณะกระแสส่วนต่าง (differential current) ระหว่างรางทั้งสอง

- หากไม่มีสัญญาณรบกวน วงจรไฟตอนจะถูกปรับเทียบ (calibrated) ตามขั้นตอนปกติ โดยใช้ระดับต่ำสุดที่ยอมรับได้จากเครื่องส่ง (transmitter) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal/noise ratio) ที่เลวร้ายที่สุดที่ด้านเครื่องรับ (receiver side)

5.2) การหาค่าเกณฑ์ความไว (determination of susceptibility threshold)

- ความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (disturbance source) จะต้องถูกกวาด (swept) ทีละขั้นตั้งแต่ความถี่ต่ำสุดในแถบความถี่ FrM ที่เกี่ยวข้อง



- ค่าเกณฑ์ความไว (susceptibility threshold) ที่แต่ละความถี่จะต้องถูกกำหนดให้สอดคล้องกับสถานะการเปลี่ยนแปลง (changing state) ของวงจรไฟตอน และระดับที่ต่ำที่สุดซึ่งทำให้วงจรไฟตอนที่เปลี่ยนสถานะจะถือว่าเป็นระดับความไว (susceptibility level) ของวงจรไฟตอน

- ห้องปฏิบัติการจะต้องบันทึกความถี่ทั้งหมดที่ทำการทดสอบ และในแต่ละความถี่ต้องบันทึกระดับความไวด้วย

5.3) ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนชั่วขณะ (immunity to a transient disturbance)

- ที่ความถี่ที่มีความไวสูงสุด (most susceptible frequency) ค่าเกณฑ์ความไวจะต้องได้รับการยืนยันด้วยรอบการทำงาน (duty cycle) ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องจากหัวข้อ 4.8

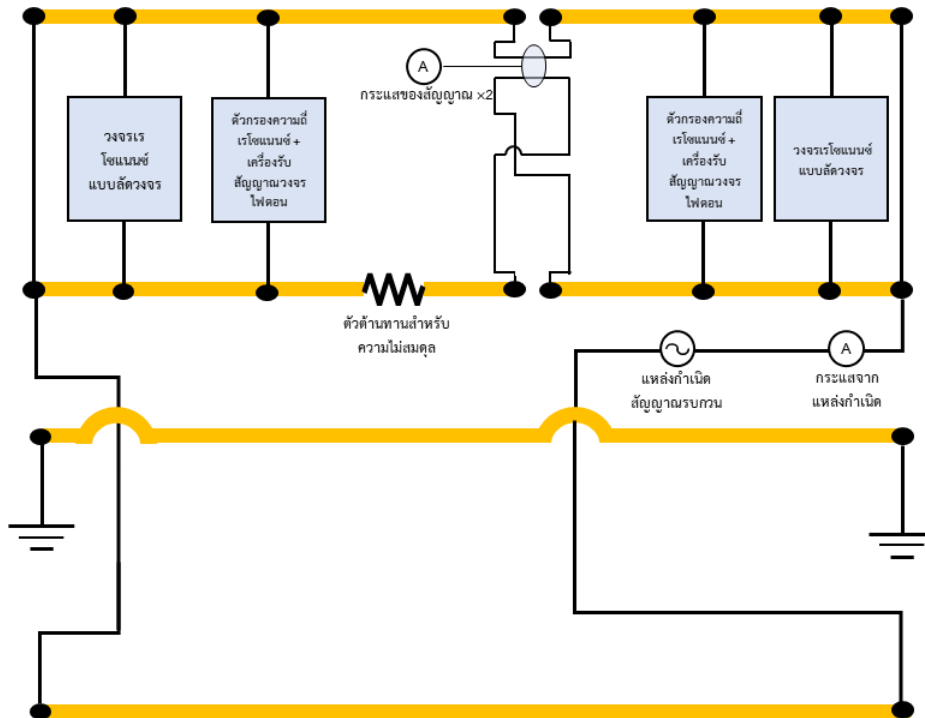
6) การยืนยันผลการทดสอบในสถานที่จริง / การทดสอบภาคสนาม

การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะต้องได้รับการยืนยันในสถานที่จริงของระบบรถไฟ เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์วิธี (methodology) ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

การกำหนดค่าบางส่วนจะถูกเลือกจากผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญที่สุดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ (ตัวอย่างเช่น ความถี่ทำงานต่ำสุดและสูงสุดของวงจรไฟตอน)

อาจใช้รางคู่ขนาน (parallel track) เพื่อส่งสัญญาณ ในกรณีนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการเหนี่ยวนำร่วมที่ไม่พึงประสงค์ (unwanted mutual coupling) จากแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังวงจรไฟตอนที่กำลังทดสอบ จะต้องใช้รางด้านนอก (outside rail) และรางด้านใน (inside rail) จะต้องต่อลงดิน (earthed) (ดูรูปที่ 6)

การทดสอบที่ดำเนินการในห้องปฏิบัติการจะถือว่าได้รับการยืนยัน เมื่อระดับความไว (susceptibility) สามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่น้อย ซึ่งถือว่าสมเหตุสมผลสำหรับความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility) หากค่าการวัดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบภาคสนามมีความแตกต่างกัน เนื่องจากสภาพแวดล้อมจริงไม่ได้ถูกควบคุมได้ดีเท่ากับในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบที่ได้จึงย่อมแตกต่างจากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ระดับความไวของวงจรไฟตอนจะต้องสูงกว่าค่าขีดจำกัดการแพร่สัญญาณ (emission limits) สำหรับขบวนรถไฟ (RST) เสมอ



รูปที่ 6 ตัวอย่างของ block diagram สำหรับการจำลองสัญญาณรบกวน ณ สถานที่ติดตั้ง

7) ข้อกำหนด

ช่วงความถี่ทำงานของวงจรไฟตอนและขีดจำกัดสำหรับความเข้ากันได้กับขบวนรถไฟ (rolling stock) จะต้องถูกกำหนดจากข้อกำหนด FrM (Functional Requirements for EMC) สำหรับการรบกวนแบบผ่านตัวนำ (conducted interference) ตามที่กำหนดไว้ในเอกสาร ERA/VERTMS/033281 v4.0

กรณีศึกษาด้านความเข้ากันได้ (compatibility case) ควรพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) จากการแพร่สัญญาณของขบวนรถไฟ (RST emission) (รวมถึงฮาร์โมนิกส์จากระบบจ่ายไฟฟ้าและสัญญาณชั่วขณะ (transients)) ซึ่งวัดที่เครื่องรับกระแสไฟฟ้า (pantograph) ไปยังเครื่องรับของวงจรไฟตอน (TC REC) (ดูหัวข้อ 4.6.2 ข้อ 3))

การทดสอบความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน (immunity testing) ควรดำเนินการและมีการยืนยันผลเพิ่มเติมในภาคสนามหากจำเป็น ตัวอย่างของข้อกำหนดการทดสอบที่เกี่ยวข้องได้ถูกเสนอไว้ในหัวข้อ 4.6.2 ข้อ 6) กรณีศึกษาด้านความเข้ากันได้ควรมีรายงานการทดสอบด้วย ระยะเผื่อความเข้ากันได้ (compatibility margin) และสถานการณ์จำลองโดยละเอียดของฟังก์ชันถ่ายโอนควรถูกนำเสนอในกรณีศึกษาด้านความเข้ากันได้

4.6.3 จำนวนช่องทางในการทำงาน (number of operational channels)

จำนวนช่องทางการทำงานที่ได้รับอนุญาตสำหรับวงจรไฟตอนจะต้องถูกระบุโดยผู้ผลิตวงจรไฟตอน โดยพิจารณาจากแบนด์วิดท์ความถี่ที่ได้รับอนุญาตซึ่งกำหนดไว้ในหัวข้อ 4.6.1

4.6.4 การแยกช่องทางการทำงาน / แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ (separation between operational channels / channel bandwidth)

ความถี่กลางในการทำงาน (centre working frequencies) พร้อมกับแบนด์วิดท์ความถี่ที่เกี่ยวข้อง จะต้องถูกวางไว้ในตำแหน่งที่กำหนดในสเปกตรัมเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยง

- การพุดข้ามช่อง (cross-talk) ระหว่างช่องทางการทำงานของวงจรไฟตอน
- ความสอดคล้องกับฮาร์โมนิกส์ตามธรรมชาติลำดับต่ำของความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า

(ดูตารางที่ 1)

- แถบความถี่ของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า (converter) ที่นิยมใช้จากหน่วยขับเคลื่อนและอุปกรณ์เสริม (ดูตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความถี่การทำงานของวงจรไฟตอนที่ต้องหลีกเลี่ยง

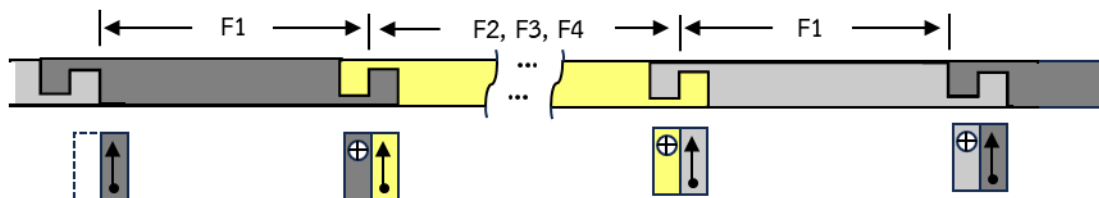
ช่วงความถี่ (frequency ranges)	ความถี่ (frequencies)	เหตุผล (justification)
up to 300 Hz (16.7 Hz system)	$N \times 16^{2/3}$ Hz	หลีกเลี่ยงผลคูณของฮาร์โมนิกส์แหล่งจ่ายไฟฟ้าในทุกโครงข่าย
up to 300 Hz (50 Hz systems)	$N \times 50$ Hz	หลีกเลี่ยงฮาร์โมนิกส์แหล่งจ่ายไฟฟ้า
up to 3.2 kHz (50 Hz systems)	$N \times 100 + 50$ Hz	หลีกเลี่ยงฮาร์โมนิกส์ของแหล่งจ่ายกำลังขับเคลื่อนในโครงข่าย 50 Hz
up to 3.2 kHz (DC systems) Partly in-band for the FrM	$N \times 100$ Hz	หลีกเลี่ยงฮาร์โมนิกส์เนื่องจากองค์ประกอบพหุคูณของความไม่สมดุล
	$N \times 300$ Hz	หลีกเลี่ยงฮาร์โมนิกส์ของระลอกคลื่น (ripple) จากวงจรเรียงกระแส (rectifier) บนแหล่งจ่ายไฟฟ้าในโครงข่ายกระแสตรง
300 Hz to 3.2 kHz (16.7 Hz system)	ทุกความถี่	หลีกเลี่ยงฮาร์โมนิกส์ของแหล่งจ่ายกำลังขับเคลื่อนในโครงข่าย 16.7 Hz

หมายเหตุ: N คือจำนวนนับใด ๆ

4.7 การเข้ารหัส (coding)

4.7.1 บททั่วไป

วงจรไฟตอนแบบความถี่เสียง (Audio Frequency Track Circuit: AFTC) แต่ละประเภทนั้นอยู่บนพื้นฐานของการใช้จำนวนความถี่ที่กำหนดต่อวงจรไฟตอนหนึ่งวงจร ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 7 เพื่อให้วงจรไฟตอนแต่ละวงจรถูกแยกจากกัน จะมีการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อทางไฟฟ้า (electrical bonds) และที่ปลายด้านหนึ่งของวงจรไฟตอน สัญญาณความถี่จะถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องส่งสัญญาณ (transmitter) ซึ่งจะถูกรับโดยเครื่องรับสัญญาณ (receiver) ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากวงจรไฟตอนอื่นที่ใช้ความถี่ในการทำงาน (F1) เดียวกัน หรือการพูดข้ามช่อง (cross talk) จากแนวเส้นทางข้างเคียง จึงมีการใช้การเข้ารหัสแบบอิสระจากความถี่ (frequency independent coding)



รูปที่ 7 ตัวอย่างการติดตั้งวงจรไฟตอนแบบความถี่เสียง

4.7.2 ประเภทของการเข้ารหัส (type of coding)

1) การเข้ารหัสแบบคงที่ (fixed coding)

มีรหัสแบบคงที่จำนวนหนึ่งที่กำหนดไว้ต่อประเภทของวงจรไฟตอน ซึ่งถูกใช้โดยผู้ผลิตหลายราย ในกรณีนี้ ผู้ผลิตแต่ละรายจะต้องพิจารณาใช้รหัสที่ใช้ที่ขอบเขตของระบบระหว่างวงจรไฟตอนประเภทต่าง ๆ อย่างรอบคอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวน โดยปกติแล้วจำนวนรหัสจะถูกจำกัด เช่น มีการกำหนดปลั๊กเข้ารหัส (coding plugs) แบบคงที่ที่แตกต่างกัน



2) การเข้ารหัสแบบไดนามิก (dynamic coding)

ด้วยการใช้แผงควบคุมที่ทันสมัย (modern board controllers) สามารถหลีกเลี่ยงการเข้ารหัสแบบคงที่ได้ ในกรณีนี้ จำนวนรหัสจะไม่ถูกจำกัดอีกต่อไป ผลของการพุดข้ามช่องระหว่างวงจรไฟตอนข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกัน สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการสร้างรหัสที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงการส่งสัญญาณ

3) หลักการสำหรับวิธีการเข้ารหัสแบบเลื่อนความถี่ (principle for a frequency shift keying method)

เครื่องส่งสัญญาณของวงจรไฟตอนจะสร้างรูปแบบบิต (bit pattern) โดยใช้ค่าความถี่ที่ยอมรับได้สำหรับความถี่หนึ่ง ซึ่งจะสามารถถอดรหัสได้โดยหน่วยรับสัญญาณของวงจรไฟตอน แสดงหลักการของการใช้การเลื่อนความถี่ (frequency shift) โดยไม่ขึ้นกับการเข้ารหัสแบบคงที่หรือแบบไดนามิก

4.7.3 ข้อกำหนด

การเข้ารหัสจะต้องถูกใช้เพื่อป้องกันการส่งสัญญาณข้ามช่องระหว่างวงจรไฟตอนข้างเคียงที่อยู่ในเส้นทางเดียวกันและในเส้นทางที่ติดกัน ข้อกำหนดเพิ่มเติมอาจถูกกำหนดโดยผู้ผลิตวงจรไฟตอน

วิธีการเข้ารหัสจะต้องถูกประกาศโดยผู้ผลิต ผู้ผลิตจะต้องระบุระยะห่างขั้นต่ำที่เหมาะสมระหว่างวงจรไฟตอนที่ใช้รหัสเดียวกันและมีความถี่เดียวกัน

ในกรณีของการใช้รุ่นของวงจรไฟตอนที่แตกต่างกัน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรไฟตอนที่ใช้การเข้ารหัสแบบคงที่ รหัสที่ใช้จะต้องเป็นที่ทราบโดย IM (ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน) ณ ขอบเขตของระบบของวงจรไฟตอนประเภทต่าง ๆ ของผู้ผลิตแต่ละราย จะต้องมีการแสดงให้เห็นว่าสามารถหลีกเลี่ยงการรบกวนระหว่างวงจรไฟตอนที่แตกต่างกันได้

จะต้องแสดงให้เห็นในเอกสารความปลอดภัยว่า การใช้รหัสและจำนวนรหัสที่กำหนดไว้จะสามารถบรรลุระดับความสมบูรณ์ด้านความปลอดภัย (safety integrity level) ที่ต้องการได้ ในเอกสารความปลอดภัย จะต้องแสดงให้เห็นว่าการเข้ารหัสมีความปลอดภัยเพียงพอที่จะทำให้มั่นใจได้ด้วยความน่าจะเป็นที่เพียงพอว่าการเข้ารหัสจะไม่สามารถสร้างขึ้นได้จากอิทธิพลภายนอก รวมถึงการแพร่สัญญาณของขบวนรถไฟ

4.8 การตอบสนองของเครื่องรับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนชั่วขณะ

4.8.1 บททั่วไป

ข้อกำหนดการทดสอบต่อไปนี้จะถูกแนะนำให้ใช้เพื่อสร้างการตอบสนองของเครื่องรับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนชั่วขณะ

4.8.2 สัญญาณไซน์ที่ถูกสลับ (switched sinusoidal signal)

สำหรับการทดสอบความไวแบบไดนามิก (dynamic susceptibility) สัญญาณไซน์ที่ถูกสลับถูกแนะนำให้ใช้เป็นสัญญาณทดสอบเพื่อสร้างพฤติกรรมของเครื่องรับสัญญาณวงจรไฟตอนเมื่อมีสัญญาณรบกวนชั่วขณะ

เพื่อครอบคลุมปรากฏการณ์ของสัญญาณรบกวนชั่วขณะเมื่อรถไฟกำลังแล่นผ่านส่วนที่เป็นกลาง (neutral section) จะต้องมีขั้นตอนดังต่อไปนี้เพื่อสร้างความไวแบบไดนามิก

1) ส่วนที่อ่อนไหวของวงจรไฟตอนคืออินพุตเครื่องรับสัญญาณ (แรงดันอินพุตส่วนใหญ่จะเป็นแบบสมมาตร แต่สามารถพิจารณาแอมพลิจูดแบบไม่สมมาตรขนาดเล็กได้)

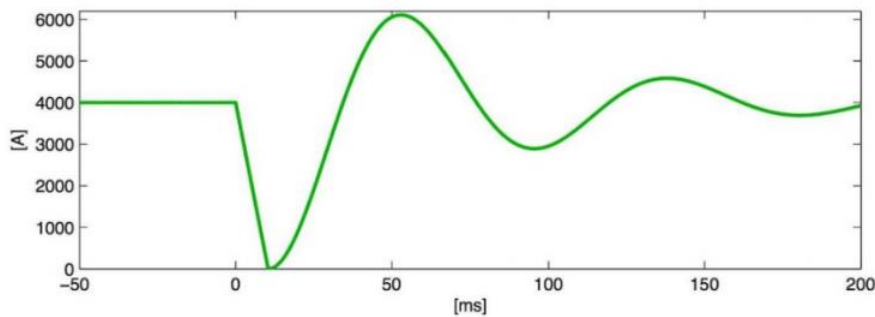
2) ตั้งค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณให้อยู่ที่ความถี่กลางของเครื่องรับสัญญาณ สำหรับแต่ละช่องทางการทำงาน

- 3) ตั้งค่า T_{Rep} ให้มีค่าน้อย 500 มิลลิวินาที
 - 4) ตั้งค่าเวลาคงอยู่ (duration time) ให้เป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่างเวลาการรวม (integration time) (ถ้าทราบ) หรือ 20 มิลลิวินาที
 - 5) ลดค่า T_{Rep} และทำซ้ำจนกว่า $T_{Rep} \leq 20$ มิลลิวินาที หรือเวลาการรวมจะถูกกำหนด
- ขั้นตอน 3) ถึง 5) จะถูกทำซ้ำเพื่อจำลองการกระดิ่งของเครื่องรับกระแสไฟฟ้า (pantograph) โดยการลดค่า T_D (แนะนำให้ใช้ 100 ไมโครวินาที เป็นค่าต่ำสุดสำหรับ T_D) แอมพลิจูดจะต้องถูกเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวงจรฟีดอนตอบสนองต่อรูปคลื่น (waveform)

4.8.3 สัญญาณอื่น ๆ

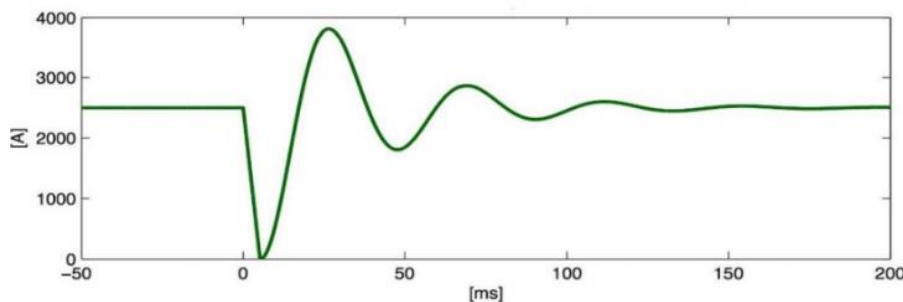
รูปแบบสัญญาณเพิ่มเติมสำหรับเหตุการณ์สัญญาณรบกวนชั่วขณะ

- 1) การตัดกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนของไฟฟ้ากระแสตรง 1.5 กิโลโวลต์ (kV) — 4,000 แอมแปร์ (A) เป็นเวลา 5 ถึง 20 มิลลิวินาที (ms)



รูปที่ 8 การตัดวงจรของกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนของไฟฟ้ากระแสตรง 1.5 kV (4,000 A, 10 ms)

- 2) การตัดกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนของไฟฟ้ากระแสตรง 3 กิโลโวลต์ (kV) — 2,500 แอมแปร์ (A) เป็นเวลา 5 มิลลิวินาที (ms)



รูปที่ 9 การตัดวงจรของกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนของไฟฟ้ากระแสตรง 3 kV (2,500 A, 5 ms)

ความถี่การแกว่ง (oscillation frequency) หลังจาก 10 มิลลิวินาที (ในรูปที่ 8) หรือ 5 มิลลิวินาที (ในรูปที่ 9) จะอยู่ระหว่าง 8 เฮิรตซ์ ถึง 35 เฮิรตซ์ โดยมีค่าปกติอยู่ระหว่าง 15 เฮิรตซ์ ถึง 20 เฮิรตซ์ สำหรับขบวนรถไฟ

พารามิเตอร์ของระบบควรได้รับการปรับให้เหมาะสมเพื่อรองรับการออกแบบขบวนรถไฟ ในอนาคต วงจรฟีดอนควรมีความทนทานต่อความถี่การแกว่งได้สูงสุดถึง 100 เฮิรตซ์



4.8.4 การยืนยันการตอบสนองของเครื่องรับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนชั่วคราว
การตอบสนองของวงจรไฟตอนต่อสัญญาณรบกวนชั่วคราวจะต้องถูกสร้างขึ้นผ่านการทดสอบ
ในห้องปฏิบัติการตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 4.8.2 และ 4.8.3 และจัดทำเอกสารตามข้อกำหนดในมาตรฐาน
EN 50126-1:2017 EN 50126-2:2017 และ EN 50129:2018 ตามความเหมาะสม

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

4.9.1 ความน่าเชื่อถือ (Reliability)

ความน่าเชื่อถือไม่สามารถถูกกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์เฉพาะสำหรับวงจรไฟตอนได้
เนื่องจากเป็นผลรวมของการพิจารณาเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

หมายเหตุ: ในการใช้งาน ความน่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับระบบย่อยอื่น ๆ หลายอย่าง และการบำรุงรักษา
อย่างต่อเนื่อง ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของทางรถไฟคือหนึ่งในนั้น

ข้อกำหนดด้านความเชื่อถือได้ (Reliability) สามารถนำมาปรับให้สอดคล้องกันได้ภายใน
ขอบเขตของมาตรฐาน EN 50126-1:2017 และ EN 50126-2:2017 แต่จะสามารถบรรลุผลได้ก็ต่อเมื่อ
มีการใช้มาตรการที่แตกต่างกันสำหรับระบบย่อยอื่น ๆ ของระบบรถไฟ

4.9.2 ความพร้อมใช้งาน (Availability)

1) บททั่วไป

ความพร้อมใช้งานของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาจากค่า MTTR และ MTBF
ดังนี้

$$Availability = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \times 100\%$$

MTBF คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาทำงานที่ไม่มีการขัดข้อง ซึ่งเป็นค่าเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์
สำหรับอุปกรณ์ของระบบตรวจจบบรถไฟที่จำเป็นสำหรับช่วงการตรวจจับ (detection section) ส่วนเดียว
ต้องครอบคลุมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ทั้งหมดของวงจรไฟตอน (ทั้งที่ติดตั้งในอาคารและนอกอาคาร)
ยกเว้นสายเคเบิลข้างรางและรางรถไฟ โดย MTTR คือ ค่าเฉลี่ยเวลาในการซ่อมแซม

ปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความพร้อมใช้งาน

- นอกเหนือจากค่า MTBF ที่กำหนดไว้สำหรับอุปกรณ์ตรวจจบบขบวนรถไฟแล้ว
ความพร้อมใช้งานของวงจรไฟตอนในฐานะส่วนหนึ่งของระบบที่สมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับสภาพทางกายภาพ
ณ สถานที่ติดตั้ง (in situ) ตามที่ระบุไว้ในพารามิเตอร์แต่ละรายการ

- ความทนทานของวงจรไฟตอนต่อสัญญาณรบกวนที่ถูกเหนี่ยวนำโดย RST (RST
conducted disturbances) ตามที่นิยามจาก FrM (ดูข้อ 4.6)

2) ข้อกำหนด

ความพร้อมใช้งานของวงจรไฟตอน (track circuit) ถูกจำกัดโดยความจำเป็นที่จะต้อง
สร้างสถานะอย่างชัดเจนว่าวงจรถูกกล่าวว่ามีสถานะ “ว่าง (clear)” หรือ “ถูกครอบครอง (occupied)”
เมื่อการตัดสินใจไม่แน่นอน (กล่าวคือ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของสภาวะการทำงาน และ/หรือ ความขัดข้อง
ของส่วนประกอบหรือระบบย่อย) วงจรไฟตอนจะต้องกลับไปสู่สถานะ “ถูกครอบครอง (occupied)” ซึ่งเป็น
ค่าเริ่มต้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัย

4.9.3 ความสามารถในการซ่อมบำรุง (Maintainability)

1) บททั่วไป

เพื่อให้มั่นใจว่าวงจรไฟตอน (track circuit) ในฐานระบบตรวจจับขบวนรถไฟจะสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม การซ่อมบำรุงจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อความปลอดภัย

ความสามารถในการซ่อมบำรุงของวงจรไฟตอน (track circuit) เป็นส่วนหนึ่งของการซ่อมบำรุงระบบรถไฟที่สมบูรณ์ และขึ้นอยู่กับสภาพทางกายภาพขององค์ประกอบแต่ละส่วนของระบบที่ถูกใช้งานโดยวงจรไฟตอน (เช่น หินโรยทาง รางรถไฟ ฯลฯ) ยกตัวอย่างเช่น การทำงานที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งมีอยู่ทั้งในแบบขนานและแบบอนุกรมกับวงจรไฟตอนที่ทำการวัด ณ สถานที่ติดตั้ง

2) ข้อกำหนด

ข้อกำหนดด้านการซ่อมบำรุงสำหรับส่วนประกอบทั้งหมดของวงจรไฟตอน (track circuit) จะต้องได้มาจากมาตรฐาน EN 50126-1:2017 และ EN 50126-2:2017

ค่า MTBF ของระบบที่สมบูรณ์จะต้องเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิต และจะต้องถูกนิยามในกรณีด้านความปลอดภัย (safety case) ผู้ผลิตวงจรไฟตอนจะต้องให้ข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโหมดความขัดข้องของอุปกรณ์และอัตราการเกิดขึ้นในกรณีด้านความปลอดภัย ผลกระทบจากการขัดข้องจะต้องถูกระบุอย่างชัดเจน เพื่อที่สามารถนำไปบันทึกไว้ในระบบการจัดการความปลอดภัย (SMS) ของหน่วยงานที่รับผิดชอบในการติดตั้ง (หน่วยงานนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นผู้ผลิตวงจรไฟตอน)

องค์ประกอบของวงจรไฟตอนที่ต้องพิจารณาในระหว่างกิจกรรมการซ่อมบำรุงอาจมีลักษณะเฉพาะสำหรับวงจรไฟตอนแต่ละประเภท ควรพิจารณาองค์ประกอบต่อไปนี้

2.1) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับราง (trackside)

2.1.1) ข้อต่อฉนวน (insulating joints) (ถ้ามี)

2.1.2) การยึดต่อ (bonding)

2.1.3) จุดเชื่อมต่อสาย (interconnections)

2.1.4) ความต้านทานบัลลาสต์ (ballast resistance) (ถ้ามี)

2.1.5) รางแตก (broken rail)

2.1.6) คุณภาพผิวหน้าของราง (rail surface quality)

2.1.7) ผลกระทบตามฤดูกาล (seasonal effects)

2.2) องค์ประกอบอื่น ๆ (other elements)

2.2.1) อุปกรณ์ทดสอบเฉพาะของผู้ผลิต (supplier specific test equipment)

2.2.2) การเดินสาย/สายไฟ/กล่องเชื่อมต่อ (cabling/wiring/connection boxes)

2.2.3) ช่วงเวลาระหว่างการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟ (time between train movements)

4.9.4 ความปลอดภัย (Safety)

การเคลื่อนที่อย่างปลอดภัยของขบวนรถไฟบนทางรถไฟโดยทั่วไปจะอิงตามการบ่งชี้ที่ชัดเจนของ "ส่วนรางว่าง" (track section clear) หรือ "ส่วนรางถูกครอบครอง" (track section occupied)

พารามิเตอร์นี้จะต้องถูกตรวจสอบและพิสูจน์ในกรณีด้านความปลอดภัย (safety case) สำหรับวงจรไฟตอน



4.9.5 การตรวจสอบความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ RAMS ทั้งหมด (validation of all RAMS parameters)

เอกสารยืนยันความปลอดภัย (safety case) จะต้องแสดงให้เห็นว่าสามารถบรรลุค่าพารามิเตอร์ RAMS ทั้งหมดที่กำหนดไว้สำหรับการใช้งาน ตามมาตรฐาน EN 50126-1:2017 EN 50126-2:2017 EN 50128:2011 และ EN 50129:2018

5. พารามิเตอร์ที่อยู่บนตัวรถ - อิมพีแดนซ์ลัตดวงจรสูงสุดที่ยอมรับได้ (train based parameter - maximum allowed shunt impedance)

5.1 บททั่วไป

อิมพีแดนซ์ลัตดวงจร (shunt impedance) ในเอกสารนี้ถูกนิยามโดยสัมพันธ์กับมวลของขบวนรถไฟ/น้ำหนักเพลลา (vehicle mass/axle load)

อิมพีแดนซ์ลัตดวงจรของขบวนรถไฟ (train shunt) ถูกนิยามเป็นอิมพีแดนซ์รวม ซึ่งรวมถึงอิมพีแดนซ์การสัมผัสระหว่างล้อและราง และอิมพีแดนซ์ที่เกิดจากชุดล้อ (wheelsets) ของรถขบวนรถไฟ โดยอิมพีแดนซ์ลัตดวงจรของขบวนรถไฟเป็นที่ทราบกันดีว่าได้รับผลกระทบอย่างมากจากพฤติกรรมทางพลวัตของการสัมผัสระหว่างล้อและราง

อิมพีแดนซ์ไฟฟ้าสูงสุดที่ยอมรับให้ระหว่างผิววิ่งของล้อฝั่งตรงข้ามของชุดล้อของขบวนรถไฟ (RST wheelset) ได้รับการนิยามใน ERA/ERTMS/033281 v4.0 ในทางปฏิบัติ อิมพีแดนซ์ลัตดวงจรที่มองเห็นโดยวงจรตรวจจบบขบวนรถไฟ (track circuit) มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปนเปื้อนบนผิวล้อและราง

การโปรยทราย (sanding) ไข่มุข และสิ่งปนเปื้อนที่ไม่นำไฟฟ้าอื่น ๆ ส่งผลกระทบอย่างมากต่ออิมพีแดนซ์ที่เกิดจากการสัมผัสพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น น้ำหนักเพลลา (axle load) คุณภาพของผิวล้อ คุณภาพของผิวราง การใช้ไฟฟ้าหรือการไม่ใช้ไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อน และการมีผ้าเบรกที่ส่งผลกระทบต่ออิมพีแดนซ์การสัมผัสด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ การมีละอองเกลือหรือหมอกไกล์ชายฝั่งสามารถส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการลัตดวงจร (shunting behavior) เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันที่เร็วขึ้น

การใช้สารหล่อลื่นขบล้อที่ไม่เหมาะสม และการใช้ส่วนประกอบจากแท่งห้ามล้อหรือวัสดุอย่างไม่ถูกต้อง ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของพฤติกรรมทางพลวัตของการสัมผัสระหว่างล้อและราง

สำหรับรางรถไฟ การเกิดออกซิเดชันเนื่องจากจำนวนรอบการวิ่งของขบวนรถไฟที่น้อยเกินไปส่งผลกระทบต่อคุณภาพการสัมผัสระหว่างล้อและรางอย่างมาก

สิ่งปนเปื้อนบนรางส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดปัญหาการไม่ลัตดวงจร (non-shunting) ประกอบด้วยทรายและสนิม และพบว่าทรายเป็นฉนวนมากกว่าสนิม ผลที่ตามมา คือ ทรายเป็นสาเหตุหลักสำหรับเหตุการณ์ไม่ลัตดวงจร (non-shunting events) โดยมีกฎบางประการเกี่ยวกับการใช้ทรายที่ระบุไว้ในข้อ 7.3

คุณภาพของการสัมผัสระหว่างล้อและรางได้รับผลกระทบเชิงลบจากการมีจำนวนรอบการวิ่งของขบวนรถไฟที่ไม่เพียงพอ หรือการจับคู่ชุดล้อและโปรไฟล์รางที่ไม่เหมาะสม

ผู้ผลิตวงจรฟีดอน (track circuit manufacturer) ต้องจัดทำเอกสารและส่งข้อจำกัดในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในเอกสารวงจรฟีดอน เพื่อให้มั่นใจถึงความปลอดภัยของวงจรตรวจจบบขบวนรถไฟ

5.2 ข้อกำหนด

วงจรไฟตอน (track circuit) ต้องสามารถตรวจจับขบวนรถไฟ (rolling stock) ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ERA/ERTMS/033281 v4.0 ได้ ความไวของวงจรไฟตอนต่ออิมพีแดนซ์ลัดวงจร (shunt impedance)

ต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่ซับซ้อนและพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ระบุไว้ในข้อ 5.1 และตามมาตรฐาน EN 50617-1 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ต้องแสดงให้เห็นถึงการดำเนินงานที่เชื่อถือได้ด้วยตัวต้านทานควบคุมวงจรลัดวงจร (control shunt) ในตำแหน่งวิกฤตที่สุดที่กำหนดโดยผู้ผลิตวงจรตรวจจับขบวนรถไฟ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงการตรวจจับขบวนรถไฟที่เชื่อถือได้โดยวงจรตรวจจับขบวนรถไฟ ขอแนะนำให้ใช้ค่า 0.5Ω สำหรับตัวต้านทานควบคุมการลัดวงจรนี้ ซึ่งเป็นค่ากรณีเลวร้ายที่สุดที่เหมาะสม

หากจำเป็นต้องมีการทดสอบด้วยตัวต้านทานควบคุม (control resistor) ค่านี้ต้องไม่น้อยกว่า 0.5Ω เมื่อพิจารณาตัวต้านทานควบคุมนี้ ต้องคำนึงถึงการขึ้นอยู่กับความถี่ของตัวต้านทานลัดวงจรของเพลลา (axle shunt resistor) หากทำได้ โดยค่านี้ได้มาจากอิมพีแดนซ์ลัดวงจรสูงสุดที่ยอมให้ที่ได้นิยามไว้

อาจจำเป็นต้องใช้ความสามารถในการลัดวงจรที่ต่ำลงสำหรับวงจรตรวจจับขบวนรถไฟบางประเภทที่มีการตรวจจับรางร้าว (broken rail detection) เป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันการทำงาน

ในบางการประยุกต์ใช้งาน ค่าของตัวต้านทานควบคุมวงจรลัดวงจร (control shunt) ที่แตกต่างกันอาจจำเป็นต้องใช้โดยผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (IM) ซึ่งในกรณีนี้ข้อกำหนดเพิ่มเติมจะถูกกำหนดไว้ในระบบการจัดการความปลอดภัย (Safety Management System - SMS) ของ IM

เพื่อรักษาการทำงานที่ถูกต้องของวงจรไฟตอน (track circuit) พารามิเตอร์นี้ต้องได้รับการจัดการโดยผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (IM) และผู้ประกอบการเดินรถไฟ (Railway Undertakings)

6. พารามิเตอร์ที่อยู่บนทางวิ่ง (track based parameters)

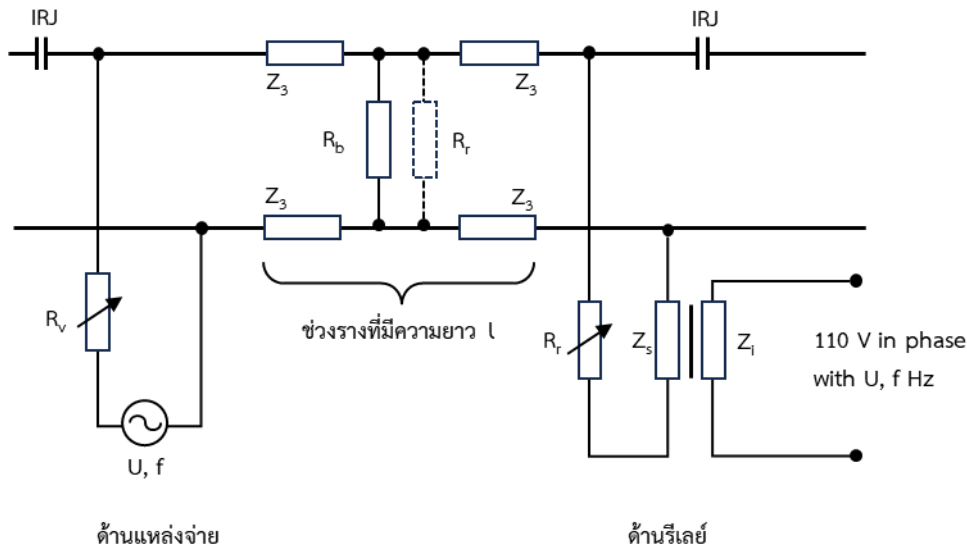
6.1 อิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่ง (total impedance of the track)

6.1.1 บททั่วไป

ค่ากรณีเลวร้ายที่สุด (worst-case value) ของอิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่งจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณกระแสการรบกวนที่ยอมรับได้ (allowed interference currents) ในวงจรไฟตอน (track circuits)

ความต้านทานบัลลาสต์ (ballast resistance) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการบำรุงรักษา และสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานที่ถูกต้องของวงจรตรวจจับขบวนรถไฟตามที่นิยามไว้ในข้อ 4.9.3 ตัวอย่างต่อไปนี้อธิบายแนวทางทั่วไปสำหรับการกำหนดอิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่ง

กระแสการรบกวนสูงสุดที่ยอมรับได้ถูกนิยามโดยอิงจากแผนภาพวงจรไฟฟ้าสมมูล (equivalent electrical diagram) ที่แสดงในรูปที่ 10



- R_b คือ ความต้านทานบัลลาสต์
- R_v คือ ความต้านทานปรับค่าได้ของเครื่องส่งของวงจรไฟตอน
- R_r คือ ความต้านทานปรับค่าได้ของเครื่องรับของวงจรไฟตอน
- Z_3 คือ อิมพีแดนซ์ของราง
- Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงของตัวรับของวงจรไฟตอน ด้านระบบบังคับสัมพันธ์
- Z_s คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงของตัวรับของวงจรไฟตอน ด้านราง

รูปที่ 10 ความต้านทานบัลลาสต์

ขีดจำกัดสำหรับอิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่งนั้นได้มาจาก 2 สถานการณ์ ดังนี้

- ความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) เมื่อทางวิ่งถูกรอบครองโดยขบวนรถไฟ แต่เนื่องจากการรบกวน กลับแสดงสถานะว่า "ช่วงทางว่าง (track section clear)"
- ความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) เมื่อทางวิ่งปราศจากขบวนรถไฟ เนื่องจากการรบกวน กลับแสดงสถานะว่า "ช่วงทางวิ่งถูกรอบครอง (occupied status)"

ที่มาของขีดจำกัดเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพื้นฐานของชุดย่อยที่แตกต่างกันของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 12 มีพารามิเตอร์ที่ขัดแย้งกันสองอย่างที่มีผลต่อการตรวจจับขบวนรถไฟ ได้แก่ อิมพีแดนซ์ลัดวงจรจริงของขบวนรถไฟ (R_r) และความต้านทานของหินโรยทาง (R_b) ความต้านทานทั้งสองนี้อยู่ในลักษณะขนาน ดังนั้นค่าความต้านทานที่ได้จะกำหนดว่าวงจรไฟตอนจะทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่

คุณภาพของฉนวนเป็นส่วนหนึ่งของค่าอิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่ง

หมายเหตุ: คุณภาพของฉนวนส่งผลต่อพลวัตของการลัดวงจร (dynamic shunt) และกลายเป็นส่วนหนึ่งของอิมพีแดนซ์รวม

6.1.2 ข้อกำหนด

ค่าเฉพาะสำหรับอิมพีแดนซ์รวมของทางวิ่งต้องถูกกำหนด โดยขึ้นอยู่กับความถี่ในการทำงานของวงจรไฟตอน (TC) ช่วงของค่าอิมพีแดนซ์ที่ยอมให้ของทางวิ่งต้องถูกกำหนดไว้ในกรณีความปลอดภัยสำหรับวงจรไฟตอน

สถานการณ์การรบกวนความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) ต้องถูกกำหนดสำหรับค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรสูงสุดของขบวนรถไฟตามที่นิยามไว้ในข้อ 5 นอกจากนี้ ต้องมีการกำหนดค่าดังต่อไปนี้

- แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องส่งสัญญาณ

- ความต้านทานสูงสุดของบัลลาสต์ โดยปกติแล้วจะไม่มีจำกัดและถือเป็นค่าอนันต์ (infinity)

- ขีดจำกัดกระแสการรบกวนสูงสุด (ดูข้อ 4.6)

- ความไม่สมดุลสูงสุด (สำหรับวงจรตรวจจับขบวนรถไฟรางคู่ที่ไม่มีการกำหนดสถานการณ์ ความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) ที่น่าเชื่อถือ)

หมายเหตุ: สำหรับวงจรไฟตอน (TC) ที่ได้รับผลกระทบจากความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) เช่น การใช้สัญญาณความถี่เดียว ความไม่สมดุลในวงจรทางวิ่งไม่สามารถจำกัดได้ เช่น ในกรณีที่รางแตกร้าว ความไม่สมดุลจะเป็น 100%

ความต้านทานของบัลลาสต์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ต้องถูกบันทึกไว้ในระบบการจัดการความปลอดภัย (SMS) ของผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (IM) และการควบคุมคุณภาพของทางวิ่งตามระบบการจัดการความปลอดภัยเป็นความรับผิดชอบของ IM ในสถานการณ์ความขัดข้องด้านปลอดภัย (RSF) ค่าความไม่สมดุลสูงสุดจะถูกกำหนดโดย IM โดยถือเป็นค่าสูงสุดตามปกติ (typical maximum value)

6.2 อิมพีแดนซ์จากรางถึงดิน (rail to earth impedance)

6.2.1 บททั่วไป

อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินเป็นส่วนพื้นฐานของอิมพีแดนซ์ระหว่างรางถึงราง (rail-rail impedance) คำนิยามที่แน่นอน คือ อิมพีแดนซ์ที่มองเห็นได้ระหว่างรางและดินทางไฟฟ้าที่อยู่ใต้ราง การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินตามมาตรฐาน EN 50617-1 พารามิเตอร์นี้มีความเกี่ยวข้องกับวงจรไฟตอน (track circuits) หากคุณภาพของทางวิ่งได้รับการบำรุงรักษาให้อยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดโดยมาตรฐาน EN 13481-2:2022 (ค่าต่ำสุด 5 k Ω ต่อจุดเชื่อมต่อลงดิน) ผลกระทบที่เป็นอันตรายก็สามารถตัดออกไปได้

อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินเป็นปัจจัยในปรากฏการณ์หลายอย่างซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบรถไฟได้แก่

- อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินเป็นปัจจัยควบคุมพื้นฐานในการกำหนดช่วงการตรวจจับของวงจรไฟตอน ซึ่งส่งผลต่อความต้านทานจากรางถึงราง

- อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินส่งผลต่อความสมดุลของการไหลของกระแสในราง ซึ่งมีผลทางอ้อมต่อการรบกวนการตรวจจับของวงจรไฟตอน

- อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินมีความสำคัญในระบบรถไฟกระแสตรง (DC railways) เพื่อจำกัดผลกระทบจากการกักกร่อนทางเคมีไฟฟ้า

- อิมพีแดนซ์จากรางถึงดินส่งผลต่อศักย์ไฟฟ้าสัมผัส (touch potential) ที่เกิดขึ้นในรางส่งกระแสไหลกลับ (return rails)

การคำนวณระบุว่า 90% ของอิมพีแดนซ์ระหว่างราง (ในกรณีที่ไม่ใช่ขบวนรถไฟ ตัวเชื่อมขวาง ฯลฯ) อยู่ในแผ่นรองใต้ราง (และฉนวนคลิปปี้ดราง) สิ่งนี้สามารถถูกเชื่อมโยงโดยค่าความจุไฟฟ้าระหว่างรางกับดินที่ความถี่สูงขึ้น และโดยการปนเปื้อนจากน้ำ น้ำมัน ฝุ่นโลหะ ฯลฯ เส้นทางกระแสหลักระหว่างรางไม่ได้ผ่านหินโรยทางในกรณีเหล่านั้น แต่จะไหลลงสู่ดินใต้ระบบรถไฟและข้ามระหว่างรางผ่าน “ดิน” การมีส่วนร่วมอื่น ๆ คือ ค่าการนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าภายในหมอนรองรางหรือคอนกรีต ในกรณีของทางวิ่งที่ไม่มีหินโรยทาง เหล็กเสริมแรงอาจทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มเติม

6.2.2 ข้อกำหนดและข้อกำหนด

1) อิมพีแดนซ์กราวด์: วงจรไฟตอน

ในมาตรฐาน EN 13481-2:2022 ค่าความต้านทานไฟฟ้าขั้นต่ำของเครื่องยึดรางบนหมอนรองรางคือ 5 กิโลโอห์ม ($k\Omega$) และมีระยะห่างระหว่างเครื่องยึดราง 600 มิลลิเมตร ทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างรางกับกราวด์ (rail-ground impedance) เท่ากับ 3 โอห์มต่อกิโลเมตร ($\Omega.km$) ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละพื้นที่คำนวณได้ระหว่าง 1 โอห์มต่อกิโลเมตร ($\Omega.km$) ถึง 20 โอห์มต่อกิโลเมตร ($\Omega.km$)

2) อิมพีแดนซ์กราวด์: สิ่งปนเปื้อนในพื้นที่

ในมาตรฐาน EN 13481-2:2022 ค่าความต้านทานไฟฟ้าขั้นต่ำของเครื่องยึดรางบนหมอนรองราง คือ 5 กิโลโอห์ม ($k\Omega$) สามารถนำมาใช้ได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์สำหรับสิ่งปนเปื้อนในพื้นที่จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 กิโลโอห์ม

3) อิมพีแดนซ์กราวด์: การกัดกร่อน

ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน คือ กระแสจรจัด (stray current) การจำกัดกระแสจรจัดจะต้องดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้มาตรฐาน EN 50122-2:2010

ในระบบรถไฟฟ้ากระแสตรง (DC traction) ค่าการนำไฟฟ้า (conductance) ระหว่างรางแต่ละรางกับกราวด์จะต้องถูกจำกัดเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (electrolytic corrosion) ในโครงสร้างโลหะที่อยู่ใกล้เคียง

4) อิมพีแดนซ์กราวด์: ศักย์ไฟฟ้าสัมผัส (touch potential)

อิมพีแดนซ์กราวด์มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าสัมผัส (touch Potential) บนสายเคเบิลที่เชื่อมต่อกับวงจรไฟตอน (track circuits) โดยมีข้อกำหนดสำหรับค่าศักย์ไฟฟ้าสัมผัสที่ยอมรับได้ระบุไว้ในมาตรฐาน EN 50122-1:2011 และ EN 50122-3:2010

หมายเหตุ: รถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC traction) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างรางกับกราวด์จะถูกลดลงเพื่อจำกัดศักย์ไฟฟ้าสัมผัส

6.3 ค่าความต้านทานฉนวนของรอยต่อรางฉนวน (insulation value of IRJ)

6.3.1 บททั่วไป

สำหรับการทำงานที่เชื่อถือได้ของวงจรไฟตอนที่ใช้รอยต่อรางฉนวนเป็นตัวแบ่งส่วนระหว่างส่วนทางรถไฟ (Block Sections) ที่อยู่ติดกัน จะต้องมีการรักษาระดับค่าขั้นต่ำของรอยต่อรางฉนวนไว้

วัตถุประสงค์ของรอยต่อรางฉนวน คือ การป้องกันไม่ให้เกิดกระแสจากวงจรไฟตอนวงจรหนึ่งไหลเข้าไปยังวงจรไฟตอนที่อยู่ติดกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดสภาวะความผิดพลาดด้านอันตราย (WSF) และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยหรือความพร้อมใช้งานของระบบ

6.3.2 ข้อกำหนดและการตรวจสอบ

1) วิธีการตรวจสอบ

ค่าสำหรับรอยต่อรางฉนวน (IRJ) ถูกกำหนดไว้ในหัวข้อ 6.3.2 ข้อ 2) และ 6.3.2 ข้อ 3) และจะต้องได้รับการตรวจสอบโดยการทดสอบที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการอนุมัติ (type approvals)

2) การทดสอบทางไฟฟ้า

รอยต่อรางฉนวน (IRJ) ที่เป็นของใหม่จะต้องทนต่อการทดสอบความเป็นฉนวนทางไฟฟ้า (dielectric strength test)

3) การทดสอบทางกล

ความแข็งแรงทางกลของรอยต่อรางฉนวน (IRJ) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งของคุณภาพทางรถไฟ ชุดข้อกำหนดสำหรับการทดสอบทางกลตามมาตรฐาน EN 50167-1

6.4 หมอนรองราง / โครงสร้างทางรถไฟ

6.4.1 บททั่วไป

สำหรับการใช้งานวงจรไฟตอนบนทางรถไฟ ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างรางจะต้องสูงกว่าค่าอิมพีแดนซ์ขั้นต่ำที่จำเป็นสำหรับระดับความพร้อมใช้งาน (availability level) ของวงจรไฟตอน

ชนิดของหมอนรองรางและระดับความเป็นฉนวนระหว่างหมอนรองรางกับรางรถไฟจะส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างราง

สำหรับการทำงานปกติ วงจรไฟตอนต้องการค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างรางขั้นต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับ

- ความยาวสูงสุดของวงจรไฟตอน
- กำลังของเครื่องส่งสัญญาณ
- ความถี่การทำงาน
- ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับสัญญาณเมื่อมองจากทางรถไฟ

6.4.2 คำจำกัดความของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์นี้กำหนดข้อกำหนดสำหรับหมอนรองรางและฐานรากชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในสภาพแวดล้อมของวงจรไฟตอน

มีหมอนรองรางหลักสี่ชนิดที่ใช้ในโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ

- หมอนรองรางไม้
- หมอนรองรางคอนกรีต
- หมอนรองรางโลหะ
- รางแผ่นพื้น (slab track) หรือฐานรากคอนกรีต (concrete track base)

แต่ละชนิดมีรูปแบบและคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่เป็นลักษณะเฉพาะ

สะพานโลหะจะถูกครอบคลุมอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการทดสอบสำหรับหมอนรองรางโลหะ

โครงสร้างทั้งหมด (หมอนรองราง ฉนวนระหว่างหมอนรองรางกับราง ระยะห่างระหว่างหมอนรองราง ฉนวนกับดิน หินบัสลาสต์ และสะพานโลหะ) ให้ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างรางค่าหนึ่งที่ต้องติดตั้งให้สอดคล้องกับมาตรฐาน EN 16843

6.4.3 ข้อกำหนดและการตรวจสอบ

วงจรไฟตอน (TC) จะต้องทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้บนทางรถไฟที่ใช้หมอนรองรางชนิดใดก็ได้

หมายเหตุ: พารามิเตอร์นี้จะถูกพิจารณาพร้อมกับหัวข้อ 6.5 เพื่อกำหนดพารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับวงจรไฟตอน

6.5 ความต้านทานของบัลลาสต์ (ballast resistance)

6.5.1 บททั่วไป

เพื่อให้มั่นใจว่าวงจรไฟตอน (track circuit) ทำงานได้อย่างถูกต้อง จำเป็นต้องรักษาความต้านทานของบัลลาสต์ (ballast resistance) ขั้นต่ำระหว่างรางทั้งสอง ในความเป็นจริง โครงสร้างทางรถไฟ (track structure) จะแสดงด้วยค่าอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน (complex impedance) แต่พารามิเตอร์หลักที่เปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์รวม และได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมมากที่สุด คือ สิ่งที่เรียกว่าความต้านทานของบัลลาสต์ ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าความนำไฟฟ้าตามขวาง (transversal conductance) ระหว่างรางทั้งสอง

ความต้านทานของบัลลาสต์ ชั้นต่ำนี้จำเป็นต่อการบรรลุระดับความพร้อมใช้งาน (availability level) ที่คาดหวังของวงจรไฟตอน

6.5.2 คำจำกัดความของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์นี้จะกำหนดข้อกำหนดสำหรับความต้านทานของบัลลาสต์ ที่จำเป็นในสภาพแวดล้อมของวงจรไฟตอน โครงสร้างทางรถไฟทั้งหมด (หมอนรองราง ฉนวนระหว่างหมอนรองรางและราง ระยะห่างระหว่างหมอนรองราง ฉนวนลงดิน บัลลาสต์ และสะพานโลหะ) ให้ค่าอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่งระหว่างรางทั้งสอง

6.5.3 ข้อกำหนดสำหรับการตรวจสอบ

หลังจากได้ค่าความต้านทานของหมอนรองรางที่ผ่านการตรวจสอบแล้วตามมาตรฐาน EN 13146-5:2012 จะต้องคำนวณค่าความต้านทานของบัลลาสต์เทียบเท่าระหว่างราง (equivalent rail-to-rail ballast resistance) สำหรับความยาวของวงจรไฟตอน

ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (IM) จะต้องมั่นใจว่าได้บรรลุค่าความต้านทานของบัลลาสต์ชั้นต่ำระหว่างรางตามมาตรฐาน EN 50617-1 สำหรับการออกแบบใหม่ ผู้ผลิตระบบอาณัติสัญญาณจะต้องกำหนดค่าความต้านทานของบัลลาสต์ชั้นต่ำที่ยอมรับได้สำหรับความยาว 1 กิโลเมตร

หากไม่สามารถบรรลุค่าความต้านทานของบัลลาสต์ ที่ระบุได้ อาจจำเป็นต้องตรวจสอบพารามิเตอร์ของทางรถไฟตามมาตรฐาน EN 13481-2:2022 เพื่อให้มั่นใจว่าได้ค่าขั้นต่ำตามที่กำหนดสำหรับความต้านทานของหมอนรองราง

หมายเหตุ: ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐานแต่ละรายอาจกำหนดค่าขั้นต่ำที่แตกต่างกันได้

ตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตวงจรไฟตอน จะต้องมีการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมเฉพาะเจาะจงระหว่างการเดินรถไฟที่ต่อเนื่องกัน โดยผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐานแต่ละรายจะต้องมีการแบ่งแยกอย่างชัดเจนระหว่างรอบการทำงาน (จากกรณีความปลอดภัย ซึ่งจำเป็นสำหรับการระบุความขัดข้องในการประเมินทางเทคนิคของวงจรไฟตอน) และรอบการเดินรถปกติที่คาดหวังว่าจะช่วยทำความสะอาดผิวหน้าของรางเนื่องจากการกัดกร่อน เป็นต้น การระบุช่วงเวลา จำนวนล้อรถ หรือสิ่งทีคล้ายคลึงกันจะมีความจำเป็นสำหรับการตรวจสอบ

6.6 ความไม่สมดุลของกระแสไหลกลับ

6.6.1 บททั่วไป

ความไม่สมดุลของกระแสไหลกลับ (return current) ที่ไหลในรางหนึ่งเมื่อเทียบกับอีกรางหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงดันตกค้าง (residual voltage) ที่ตรวจจับได้โดยเครื่องรับของวงจรไฟตอน (track circuit receiver) ตามที่นำส่งผ่านค่าอิมพีแดนซ์ของขบวนรถไฟ (RST impedance)

ความไม่สมดุลที่พิจารณาจะอยู่ในช่วงความยาวของส่วนวงจรไฟตอน (TC section) และมาจากปัจจัยภายนอก

ความไม่สมดุลใด ๆ ที่เกิดจากการติดตั้งส่วนประกอบวงจรไฟตอน ณ สถานที่จริง ซึ่งได้รับการชดเชยระหว่างการตั้งค่าวงจรไฟตอนแล้วจะถูกยกเว้นจากคำจำกัดความนี้

6.6.2 ข้อกำหนดและการตรวจสอบ

ในปัจจุบัน ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure managers) แต่ละรายจะรักษาระดับความไม่สมดุลที่แตกต่างกัน โดยอิงจากระบบการจัดการความปลอดภัย (SMS) และเป็นข้อกำหนดการออกแบบการใช้งานเพิ่มเติม

จากมุมมองด้านความน่าเชื่อถือ ค่าปกติของความไม่สมดุลที่สังเกตได้ในสถานการณ์ปกติจะถูกกำหนดโดยผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน วงจรไฟตอนจะต้องทำงานได้ตามที่ตั้งใจไว้ด้วยค่าปกติเหล่านี้ เมื่อขบวนรถไฟส่งกระแสสูงสุดในช่วงความถี่ของวงจรไฟตอน

หมายเหตุ 1: ค่าปกติจะอยู่ที่ 10% ถึง 20% สำหรับระบบรางคู่ที่มีกระแสไหลกลับ

หมายเหตุ 2: ในบางครั้งค่าความไม่สมดุลอาจถูกประเมินค่าสูงเกินไป ค่าขีดจำกัดความอิ่มตัว (Saturation limits) ซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนนั้นง่ายต่อการกำหนดมากกว่า ค่าเหล่านี้สามารถใช้เป็นค่าสูงสุดกรณีเลวร้ายที่สุด (Worst-case upper limit) สำหรับความไม่สมดุลได้ เนื่องจากหม้อแปลงรางจะถูกปรับตั้งค่าให้ทำงานที่ความถี่การทำงานของวงจรไฟตอน เพื่อเหตุผลด้านความยั่งยืนของวงจรไฟตอน จึงควรทำให้ระดับความไม่สมดุลของกระแสไหลกลับมีค่าต่ำที่สุด

จากมุมมองด้านความปลอดภัย ในกรณีที่มีระดับความไม่สมดุลสูง (เช่น ในกรณีที่รางขาด ดู 4.6) วงจรไฟตอนจะต้องระบุว่าทางรถไฟมีรถ “ครอบครอง (occupied)” เมื่อขบวนรถไฟส่งกระแสสูงสุดในช่วงความถี่ของวงจรไฟตอน

กรณีความปลอดภัยจะต้องพิจารณารวมค่าความไม่สมดุลไว้ด้วย

7. พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมและอื่น ๆ (environmental and other parameters)

7.1 คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับระบบอัตโนมัติสัญญาณที่สัมพันธ์กับความพร้อมใช้งาน

7.1.1 บททั่วไป

แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับระบบอัตโนมัติสัญญาณจะให้พลังงานแก่ระบบวงจรไฟตอน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบเชื่อมต่อภายใน (interlocking) ทั้งหมด และได้มาจากโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตามมาตรฐาน EN 50160:2010 คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานสามารถกำหนดลักษณะได้ด้วยพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

- 1) การเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดัน (magnitude)
- 2) การเปลี่ยนแปลงของความถี่ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับหลัก
- 3) แรงดันตกและไฟฟ้าขัดข้อง (power interruptions)
- 4) ระดับฮาร์มอนิกของแรงดันและระดับการบิดเบือนของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ
- 5) คลื่นกระเพื่อมของไฟฟ้ากระแสสลับ (AC ripple) ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง
- 6) ปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)

7.1.2 ข้อกำหนดและการตรวจสอบ

คุณสมบัติของแหล่งจ่ายพลังงานจะต้องปรับให้เข้ากับความต้องการของระบบวงจรไฟตอน และระบบวงจรไฟตอนจะต้องทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติที่ระบุในมาตรฐาน EN 50160:2010 หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า

คุณสมบัติที่กำหนดของแหล่งจ่ายพลังงานของระบบตรวจจับรถ (TDS) จะต้องไม่นำไปสู่สถานการณ์ที่ไม่ปลอดภัย

คุณสมบัติของแหล่งจ่ายพลังงานและระดับคุณภาพจะต้องถูกกำหนดโดยข้อตกลงระหว่างผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐานและผู้ผลิตวงจรไฟตอน ผู้ผลิตวงจรไฟตอนจะต้องจัดเตรียมข้อกำหนดสำหรับแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อให้ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐานนำไปใช้

การทดสอบสามารถทำได้บนส่วนประกอบวงจรไฟตอนตามวิธีการทดสอบที่กำหนดโดยข้อตกลงระหว่างผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐานและผู้ผลิตวงจรไฟตอน

สำหรับปรากฏการณ์ EMC จะต้องใช้มาตรฐาน EN 50121-4:2016 และข้อ 7.5

7.2 คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานขับเคลื่อน

7.2.1 บททั่วไป

คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงาน (เช่น แรงดันฮาร์โมนิก) ณ จุดที่มีปฏิสัมพันธ์กับรถไฟมีอิทธิพลต่อกระแสสัญญาณรบกวน (interference currents) ที่ระบบวงจรไฟตอนบนตรวจจับได้ แรงดันฮาร์โมนิกในแหล่งจ่ายพลังงานขับเคลื่อนจะนำไปสู่กระแสสัญญาณรบกวนที่สูงขึ้นหรือเพิ่มเติมผ่านรถไฟที่กำลังวิ่งอยู่ (rolling stock) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของหน่วยขับเคลื่อน (traction units)

ขีดจำกัดกระแสสัญญาณรบกวนสำหรับขบวนรถไฟ (RST) ถูกกำหนดที่ความถี่สัมบูรณ์ (absolute frequencies)

กระแสสัญญาณรบกวนของขบวนรถไฟ (RST) ที่วัดได้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของความถี่หลักและฮาร์โมนิกจากแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน EN 50163:2004 โดยขีดจำกัดที่ใช้งานจริงถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน CLC/TS 50238-2:2020

หมายเหตุ: พารามิเตอร์ "การจัดการความถี่ / การแยกช่องสัญญาณการทำงาน" และ "อิมพีแดนซ์ของขบวนรถไฟ" ได้ถูกกำหนดภายใต้ข้อกำหนดนี้ด้วย โดยแต่ละค่าความถี่ ขีดจำกัดกระแส ฯลฯ จะถูกกำหนดเป็นรายตัว อย่างไรก็ตาม คุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานส่วนใหญ่จะไม่ถูกวัดในระหว่างการดำเนินงานของระบบรถไฟ และการปรับปรุงคุณภาพแหล่งจ่ายพลังงานอาจมีความซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง (เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ลดทอนแรงดันสูงเพิ่มเติม) ดังนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องกำหนดการจัดการความถี่ที่สอดคล้องกันสำหรับเป้าหมายของระบบ โดยเป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดความสามารถในการทำงานร่วมกัน (interoperability requirements) สำหรับระบบย่อยของรถไฟและพลังงาน

7.2.2 คำจำกัดความของพารามิเตอร์

สำหรับโครงข่ายแหล่งจ่ายพลังงานกระแสตรง ค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของขบวนรถไฟ (RST) ถูกกำหนดโดยมาตรฐาน ERA/ERTMS/033281 v4.0 เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งจ่ายพลังงาน

หากขบวนรถไฟเป็นไปตามค่าที่ระบุในมาตรฐาน ERA/ERTMS/033281 v4.0 ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (IM) จะต้องรับผิดชอบต่อคุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงาน หากตรวจพบว่าการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (emissions) เกินขีดจำกัดของเครื่องรับสัญญาณ (FrM) ในระหว่างการทดสอบขบวนรถไฟ การปรับแก้สามารถทำได้ที่ค่าอิมพีแดนซ์ขาออกของแหล่งจ่ายพลังงาน

หมายเหตุ: วงจรไฟตอนบนยังสามารถตรวจจับการรบกวนที่เกิดจากปรากฏการณ์ทางกล เช่น การกระโดดของแพนโทกราฟ ซึ่งทำให้เกิดการขาดความต่อเนื่องในแหล่งจ่ายพลังงาน ผลกระทบนี้อยู่นอกขอบเขตของมาตรฐานนี้

สำหรับแหล่งจ่ายพลังงานกระแสสลับ ส่วนสำคัญของฮาร์โมนิกจากแหล่งจ่ายพลังงานที่ขบวนรถไฟตรวจจับได้นั้นมีน้อยมาก จึงจำเป็นต้องระบุขีดจำกัดสำหรับค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าแบบเก็บประจุของขบวนรถไฟ (RST) (เนื่องจากสายเคเบิลบนหลังคา) เพื่อจำกัดการกระตุ้นที่อาจเกิดขึ้นในโครงข่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

7.2.3 ข้อกำหนดและการตรวจสอบ

พารามิเตอร์ต่อไปนี้จะต้องถูกบันทึกไว้เป็นหลักฐานความเข้ากันได้กับแหล่งจ่ายพลังงานเมื่อทำการวัดที่ขบวนรถไฟ:

- อิมพีแดนซ์ของขบวนรถไฟ
- ความถี่ที่แม่นยำของแหล่งจ่ายพลังงาน ณ เวลาที่ทำการวัดตรวจสอบความเข้ากันได้ของขบวนรถไฟ จะต้องถูกบันทึกไว้ตามมาตรฐาน EN 50617-1
- จำนวนรถไฟที่ได้รับการจ่ายพลังงานจากสถานีไฟฟ้าย่อยหนึ่งแห่ง



- การประเมินผลรวม (summation) หากมีรถไฟมากกว่าหนึ่งคัน
- สภาวะชั่วขณะ/การระเบิดของสัญญาณ (transients/bursts) ที่เกี่ยวข้องกับรถไฟ (แผนโทกราฟ สวิตช์หลัก ความขัดข้องของคนขับ) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจรไฟตอนและจำเป็นต้องได้รับการพิจารณาเป็นมาตรการควบคุม

7.3 ปริมาณทราย

7.3.1 บททั่วไป

ทรายที่ถูกพ่นลงบนรางเพื่อปรับปรุงระดับการยึดเกาะสำหรับการขับเคลื่อนและการเบรก อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานที่ปลอดภัยของวงจรไฟตอน สำหรับการตรวจจับรถที่เชื่อถือได้ของวงจรไฟตอน ความหนาแน่นหรือความหนาของชั้นทรายบนราง และความต้านทานไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องจะต้องถูกจำกัด

หากมีปริมาณทรายมากเกินไป อาจเกิดความขัดข้องของวงจรไฟตอนขึ้นได้ เนื่องมาจากชั้นทรายที่เป็นฉนวนระหว่างล้อกับราง ซึ่งหมายความว่ารบบวงจรไฟตอนอาจไม่สามารถตรวจจับรถได้อย่างน่าเชื่อถือ และในกรณีที่เลวร้ายที่สุด วงจรไฟตอนอาจรายงานหรือระบุว่าส่วนรางนั้น "ว่าง" ทั้งที่มีรถอยู่

7.3.2 คำจำกัดความของพารามิเตอร์

ไม่มีข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจงหากอุปกรณ์พ่นทรายเป็นไปตามมาตรฐาน ERA/ERTMS/033281 v4.0

7.3.3 ข้อกำหนดสำหรับการตรวจสอบ

ไม่สามารถกำหนดข้อกำหนดใด ๆ สำหรับการรับรองเอกสารของวงจรไฟตอนได้

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้งานระบบพ่นทรายประกอบกับปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อค่าการลัดวงจร (shunt) ให้ถือเป็นกฎที่ผู้ปฏิบัติการต้องปฏิบัติตาม เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อค่าการลัดวงจรสูงสุดที่กำหนด

นอกจากนี้ ผู้ปฏิบัติการจะต้องกำหนดมาตรการปฏิบัติการเพื่อชดเชย เนื่องจากข้อกำหนดที่ขัดแย้งกัน/วัตถุประสงค์ด้านความปลอดภัยบางประการ ทำให้ไม่สามารถหาทางแก้ไขทางเทคนิคด้วยวงจรไฟตอน(Track Circuit) ได้

อาจมีการบังคับใช้ข้อกำหนดในการปฏิบัติการตามข้อกำหนดเฉพาะในการปฏิบัติการ และการตรวจสอบความใช้ได้ไประเด็นความปลอดภัยของวงจรไฟตอน (Safety Case for the Track Circuit)

7.4 สภาพอากาศ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ

7.4.1 บททั่วไป

อนุญาตให้พิสูจน์การเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในที่นี้ โดยการอ้างอิงเอกสารอ้างอิงแทนการวัดผล

7.4.2 อุณหภูมิ

1) บททั่วไป

ช่วงอุณหภูมิโดยรอบเป็นข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือในสภาพแวดล้อมการใช้งานที่กำหนด อุณหภูมิโดยรอบสำหรับอุปกรณ์แอนติสัญญาณได้อธิบายไว้ในมาตรฐาน EN 50125-3:2003 ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวได้นำเสนอรายการประเภทของอุณหภูมิไว้

ดังนั้น จึงมีช่วงอุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างกันเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุปกรณ์วงจรไฟตอนประเภทต่าง ๆ เหล่านี้



2) อุณหภูมิโดยรอบสำหรับองค์ประกอบตัวประเมินผลวงจรไฟตอน

องค์ประกอบตัวประเมินผลวงจรไฟตอนจะต้องทำงานในช่วงอุณหภูมิและภายใต้เงื่อนไขที่อธิบายไว้ในมาตรฐาน EN 50125-3:2003 ประเภท T1 และ T2 (สำหรับตู้คอนเทนเนอร์หรือในอาคาร) ไม่ว่าจะมีการควบคุมอุณหภูมิก็ตาม ช่วงอุณหภูมิที่กำหนดจะถูกนำไปใช้โดยขึ้นอยู่กับสถานที่ติดตั้ง

3) อุณหภูมิโดยรอบสำหรับอุปกรณ์วงจรไฟตอนข้างทาง

อุปกรณ์วงจรไฟตอนข้างทางที่ติดตั้งในกล่องรวมสาย (Junction Box) หรือในตู้ควบคุมที่อยู่ใกล้กับราง จะต้องทำงานในช่วงอุณหภูมิและภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน EN 50125-3:2003 ประเภท T1 และ T2 ในตู้ควบคุม

ช่วงอุณหภูมิเหล่านี้ครอบคลุมปัจจัยด้านความร้อนดังต่อไปนี้:

- อุณหภูมิโดยรอบที่ระดับพื้นดินบนรางรถไฟ (รวมถึงการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นดินของราง)

- ภายในตู้ควบคุมที่ติดตั้งภายนอกอาคาร การกระจายความร้อนภายในและอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์อาจทำให้มีอุณหภูมิในการทำงานสูงขึ้น สิ่งเหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาด้วย

หากอุปกรณ์ข้างทางติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ จะต้องมั่นใจว่าอุณหภูมิภายในของตู้ควบคุมจะไม่เกินช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

7.4.3 ความดัน/การไหลของอากาศ

1) บททั่วไป

1.1) ระดับความสูง

ความดันอากาศที่สูงกว่าและต่ำกว่าช่วงที่กำหนดไว้ในข้อ 7.4.3 ข้อ 2) อาจทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดปกติหรือเกิดความเสียหายได้ (ฉนวน)

1.2) แร่ทางอากาศพลศาสตร์บริเวณข้างทาง / แร่ทางอากาศพลศาสตร์ในอุโมงค์

แร่ทางอากาศพลศาสตร์อาจทำให้สายเคเบิลถูกยกขึ้น ฝาปิดของตู้หุ้มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลวม หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์โดยทั่วไปหลุดออกได้

1.3) ลม

ลมที่มีความเร็วสูงมากอาจทำให้สายเคเบิลถูกยกขึ้น ฝาปิดของตู้หุ้มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลวม หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์โดยทั่วไปหลุดออกได้

2) ข้อกำหนดและการตรวจสอบความใช้ได้

ต้องทำการทดสอบการทำงานที่ถูกต้องและการต้านทานต่อการไหลของอากาศในอุโมงค์ลมหรือโดยการใช้แรงกดเชิงกลกับบางจุดของตู้หุ้มอุปกรณ์

แร่ทางอากาศพลศาสตร์สูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณข้างทาง/ในอุโมงค์ จะต้องได้รับการคำนวณ/กำหนดสำหรับแต่ละสถานการณ์โดยผู้ผลิตใช้ข้อมูลจากผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน

อนุญาตให้ตรวจสอบความใช้ได้ของข้อกำหนดโดยใช้เอกสารอ้างอิง

7.4.4 ความชื้น

1) บททั่วไป

โดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นภายในอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อาจทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดปกติรวมถึงเกิดความเสียหายได้ (เช่น ไฟฟ้าลัดวงจร)

2) ข้อกำหนดและการตรวจสอบความใช้ได้

ต้องทำการทดสอบตามมาตรฐาน EN 50125-3:2003 ตารางที่ 3 “ช่วงความชื้นในสถานที่ต่าง ๆ” ประเภทภูมิอากาศ T1

อนุญาตให้ตรวจสอบความใช้ได้ของข้อกำหนดโดยใช้เอกสารอ้างอิง

7.4.5 ระดับการป้องกัน (IP)

ในบางพื้นที่และสำหรับสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง อาจเป็นไปได้ที่น้ำจะท่วมขังในบริเวณ วงจรไฟตอน หากน้ำเข้าไปในตัวหุ้มอุปกรณ์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อาจเสียหาย และวงจรไฟตอนจะทำงาน ผิดปกติหรือไม่ถูกต้อง (โปรดดูข้อ 7.4.4 ด้วย) สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งข้างทาง และอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนราง ของวงจรไฟตอนต้องสามารถทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือตามมาตรฐาน EN 60529:1991 หรือมาตรฐาน มอก. 513-2553 ระดับชั้นการป้องกันของเปลือกหุ้มบริษัทไฟฟ้า

7.4.6 การสั่นสะเทือน / แรงกระแทก

1) บททั่วไป

องค์ประกอบวงจรไฟตอนใด ๆ ที่ติดตั้งบนรางจะต้องทนทานต่อแรงกระแทกและแรงเร่ง ที่สูงมาก การสั่นสะเทือน/แรงกระแทกอาจทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชั่วต่อ หรือส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ หลวมหรือเสียหายได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดการทำงานผิดปกติ

2) ข้อกำหนดและการตรวจสอบความใช้ได้

องค์ประกอบดังกล่าวจะต้องสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมระหว่างและหลังการทดสอบ ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน EN 50125-3:2003 ชีตจำกัดการทดสอบจะต้องถูกเลือกตามตำแหน่งการติดตั้งเฉพาะ ขององค์ประกอบวงจรไฟตอนที่ทำกรทดสอบ เช่น ติดตั้งบนหมอนราง ติดตั้งบนหินโรยทาง หรือติดตั้ง ในกล่องนอกราง

อนุญาตให้ตรวจสอบความใช้ได้ของข้อกำหนดโดยใช้เอกสารอ้างอิง

7.5 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)

7.5.1 บททั่วไป

วงจรไฟตอนอาจได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็ก/สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผล มาจากกระแสไฟฟ้าในราง แหล่งกำเนิดแม่เหล็กไฟฟ้าบนขบวนรถไฟที่กำลังวิ่งผ่าน และจากสภาพแวดล้อม ภายนอก เช่น เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ หรือฟ้าผ่า โดยขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งกำเนิด การทำงานที่ถูกต้องอาจ หยุดชะงักชั่วคราว หรือในกรณีที่รุนแรงมาก วงจรไฟตอนอาจได้รับความเสียหาย

7.5.2 ข้อกำหนดและการตรวจสอบความใช้ได้สำหรับ EMC ที่เกี่ยวข้องกับขบวนรถไฟ

วงจรไฟตอนจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 6.6 และเข้ากันได้กับการจัดการความถี่ที่อธิบาย ไว้ในเอกสาร ERA/ERTMS/033281 Version 4.0 Interface Document

ตามความรู้ในปัจจุบัน ยังไม่พบอิทธิพลต่อวงจรไฟตอนที่เกี่ยวข้องกับเบรกกระแสไหลวน

7.5.3 ข้อกำหนดและการตรวจสอบความใช้ได้สำหรับ EMC ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ

วงจรไฟตอนจะต้องเป็นไปตามขีดจำกัดสำหรับภูมิคุ้มกัน (Immunity) และการปล่อยมลภาวะ (Emissions) ที่ระบุไว้ในมาตรฐาน EN 50121-4:2016

หมายเหตุ: สภาพแวดล้อมทางรถไฟอยู่ภายใต้กฎในชุดมาตรฐาน EN 50121

7.6 ข้อกำหนดและการตรวจสอบความใช้ได้สำหรับการป้องกันแรงดันเกิน (รวมถึงผลกระทบจากฟ้าผ่า ทางอ้อม)

ผู้จัดการโครงสร้างพื้นฐาน (IM) จะต้องให้ข้อมูลแก่ผู้ผลิตวงจรไฟตอน (TC manufacturer) เกี่ยวกับ แผนการจัดการการลงกราวด์และการป้องกันฟ้าผ่าที่นำไปใช้กับโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ผู้ผลิตจะต้องให้รายละเอียดของการป้องกันแรงดันเกินที่ออกแบบมาสำหรับวงจรไฟตอน

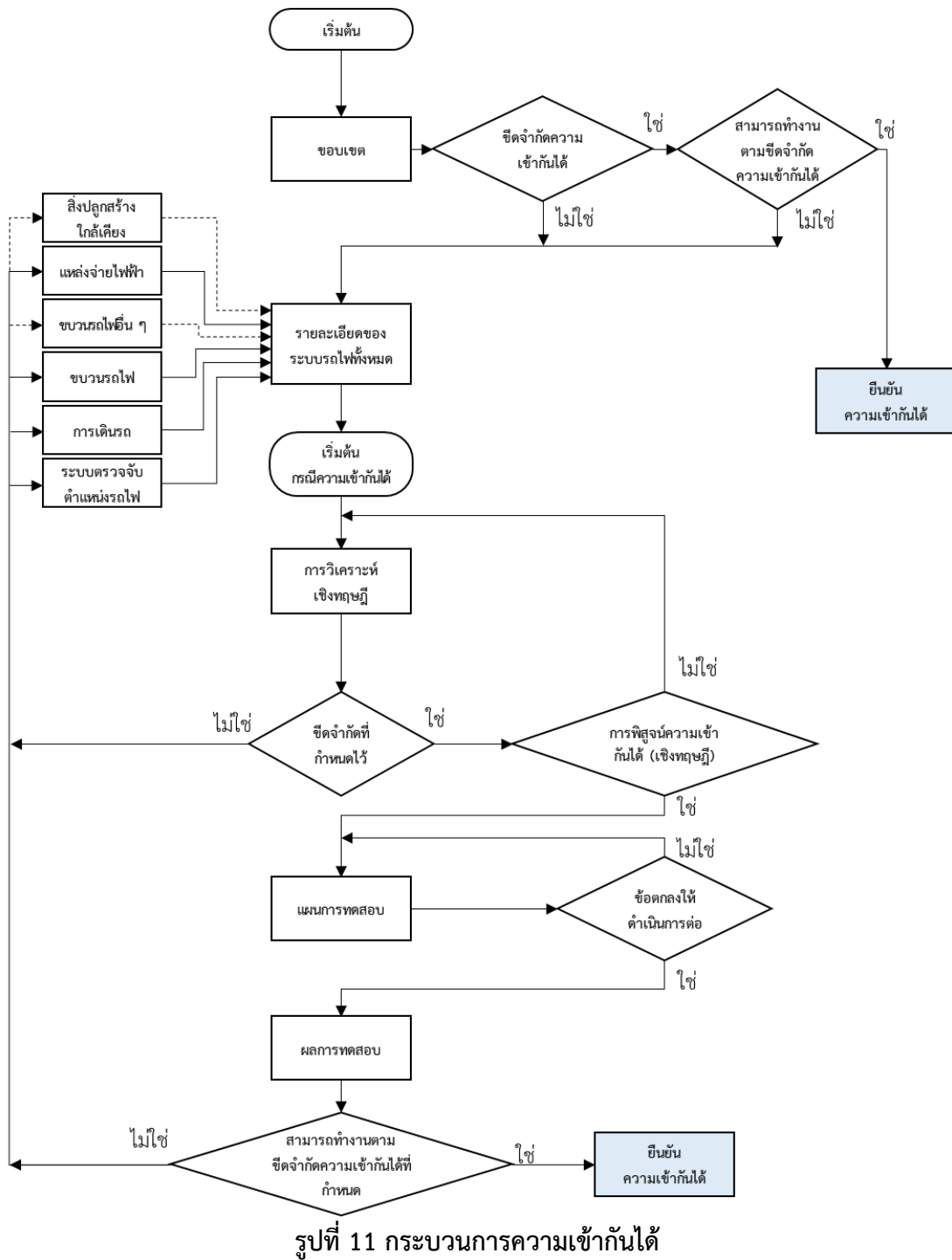


หมายเหตุ: การป้องกันแรงดันเกิน (เช่น อุปกรณ์จำกัดแรงดันเกิน ระบบลกราวด์) ยังใช้เพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าของเจ้าหน้าที่และประชาชน การป้องกันดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมด และกำหนดไว้ในแผนการจัดการการลกราวด์และการป้องกันฟ้าผ่า จะต้องพิจารณาตามมาตรฐาน EN 50124-2:2017

8. กระบวนการความเข้ากันได้ (compatibility process)

8.1 ภาพรวม (overview)

หากมีการนำองค์ประกอบใหม่ หรือทำการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของระบบวงจรไฟตอนที่มีอยู่ ต้องแสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างรถจักรและล้อเลื่อน ระบบตรวจจับรถไฟ ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า สำหรับขับเคลื่อน และโครงสร้างพื้นฐานที่อยู่ใกล้เคียง (หากมี) เช่น การทดสอบความเข้ากันได้เฉพาะ โดยขอแนะนำให้หน่วยงานที่มีอำนาจประเมินกรณีความเข้ากันได้เป็นผู้ประเมิน หากการปรับเปลี่ยนนั้น ถือเป็น การเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ รายการและคำอธิบายของภารกิจเฉพาะต่อไปนี้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้



8.2 กรณีความเข้ากันได้ (compatibility case)

กรณีความเข้ากันได้จะถูกจัดทำขึ้นตามกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 11 เป็นอย่างน้อย

8.2.1 คำนิยามของ “ขอบเขต” ของกรณีความเข้ากันได้ ประกอบด้วย

- 1) องค์กรประกอบใหม่ที่จะนำมาใช้
- 2) การระบุเส้นทางหรือพื้นที่ใช้งาน (โครงข่าย) ที่เกี่ยวข้อง
- 3) เงื่อนไขการทำงาน

8.2.2 รายละเอียดของระบบรถไฟทั้งหมด ประกอบด้วย

- 1) โครงสร้างพื้นฐาน
 - 1.1) ระบบตรวจจับรถไฟ (ขีดจำกัดความทนทานต่อสัญญาณรบกวนตลอดช่วงความถี่ (หากมี))



- 1.2) พารามิเตอร์ของรางที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับรถไฟ (เช่น การต่อลงดินและการต่อฝาก)
- 1.3) ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขับเคลื่อนและพารามิเตอร์ของสายส่ง
- 2) ขบวนการรถไฟในทุกรูปแบบการจัดขบวน รวมถึงรูปแบบการทำงานสำรอง (โหมดลดระดับ) (degraded mode)
 - 2.1) สถานะการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อจำกัดด้านกำลังไฟฟ้า
 - 2.2) ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณลักษณะและความเข้ากันได้ของขบวนรถไฟตาม EN 50238-1 การระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน พฤติกรรมของแหล่งกำเนิด และ/หรือกฎการรวมผลที่เกี่ยวข้อง
 - 3) โครงสร้างพื้นฐานข้างเคียงและขบวนรถไฟอื่น ๆ (หากมี)
 - 4) การวิเคราะห์เชิงทฤษฎี (เช่น การจำลอง) ที่ต่อต้านข้อกำหนดขอบเขตสมมติฐาน
 - 4.1) การได้มาซึ่งการรบกวนที่อนุญาตต่อแหล่งกำเนิดบนขบวนรถไฟแต่ละคันโดยใช้การวิเคราะห์ในข้อ 8.7
 - 5) แผนการทดสอบที่พิจารณาผลการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีแล้ว
 - 6) รายงานผลการทดสอบ ตามข้อ 9
 - 7) การประเมินผลการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและรายงานผลการทดสอบเทียบกับข้อกำหนด
 - 7.1) กรณีความเข้ากันได้ที่เกี่ยวข้อง
 - 7.2) การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อสมมติฐาน
 - 7.3) การตรวจสอบว่าสามารถยกเลิกหรือผ่อนคลायข้อจำกัดได้หรือไม่
 - 8) แผนการจัดการคุณภาพและหลักฐาน

หากมีการแต่งตั้งหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่ (competent body) แล้ว ขอแนะนำให้หน่วยงานดังกล่าวเข้ามามีส่วนร่วมในแต่ละขั้นตอนของกรณีความเข้ากันได้

การจำแนกคุณลักษณะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายโดยขบวนรถไฟ อาจเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลามาก ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการทดสอบจำนวนมากในระหว่างการปฏิบัติงานจริง เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะให้สมบูรณ์ ดังนั้น หากสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าความเสี่ยงจากสัญญาณรบกวนเป็นที่ยอมรับได้ อาจมีการกำหนดเงื่อนไขการปฏิบัติงานชั่วคราวได้ก่อนที่จะมีการพิสูจน์ความเข้ากันได้โดยสมบูรณ์

8.3 การจัดการคุณภาพ

ระบบการจัดการคุณภาพต้องมีการจัดตั้งขึ้น และควรมีการพิจารณาถึงความสำคัญของการจัดการการตั้งค่าด้วย

สถานะการตั้งค่าของโครงสร้างพื้นฐานและระบบที่เกี่ยวข้อง (รวมถึงกระบวนการและตารางการบำรุงรักษา) ต้องถูกบันทึกและอ้างอิงไว้ในเอกสารแสดงการเข้ากันได้ การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นกับสถานะการตั้งค่าเหล่านี้ในภายหลัง ต้องนำไปสู่การตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารแสดงการเข้ากันได้อย่างต่อเนื่อง

8.4 การระบุเส้นทางสำหรับการเดินรถ (ใหม่หรือเปลี่ยนแปลง) เข้าสู่ระบบ

เพื่อให้สามารถยอมรับขบวนรถไฟแบบใดแบบหนึ่งสำหรับเส้นทางหรือโครงข่ายใดโครงข่ายหนึ่ง จะต้องมีการระบุประเภทและการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับขบวนรถไฟ และระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อนที่แตกต่างกัน (ถ้ามี) บนโครงข่ายหรือบนเส้นทาง และบนเส้นทางข้างเคียงที่อาจได้รับผลกระทบ นอกจากนี้เส้นทางปฏิบัติการที่ตั้งใจไว้แล้ว จะต้องพิจารณาเส้นทางสำรองที่อาจจำเป็นในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้องต่อการเดินรถด้วย

8.5 การนำองค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐาน (ใหม่หรือเปลี่ยนแปลง) เข้าสู่ระบบ

เพื่อให้สามารถยอมรับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นฐานใด ๆ (เช่น ระบบตรวจจับขบวนรถไฟหรือระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อน) สำหรับเส้นทางหรือโครงข่ายใดโครงข่ายหนึ่ง จะต้องมีการระบุประเภทของขบวนรถไฟ ระบบตรวจจับขบวนรถไฟ และระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อนที่แตกต่างกันบนโครงข่ายหรือบนเส้นทางและบนเส้นทางข้างเคียงที่อาจได้รับผลกระทบ

8.6 การวิเคราะห์ความเข้ากันได้

8.6.1 บททั่วไป

คุณลักษณะของขบวนรถไฟสำหรับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายนั้นเป็นไปตามขีดจำกัดของระบบตรวจจับขบวนรถไฟ ภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานที่กำหนด รวมถึงโหมดการทำงานแบบลดระดับตามที่อธิบายไว้ใน EN 50617-1 EN 50617-2 และ EN 50592 ซึ่งความสัมพันธ์ของสิ่งเหล่านี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 ข้อมูลอาจไหลไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าระบบใดจะถูกเปลี่ยนแปลง

หมายเหตุ 1: การพิจารณาความเข้ากันได้ในปัจจุบันอยู่บนพื้นฐานของเงื่อนไขที่เลวร้ายที่สุด ซึ่งส่งผลให้มีข้อกำหนดที่เข้มงวดมากสำหรับขีดจำกัดสัญญาณรบกวนของขบวนรถไฟ แต่ในขณะเดียวกันระดับความทนทานต่อสัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้ก็สูงขึ้นมาก เนื่องจากความเชื่อมโยงโดยรวมของระบบเก่าและสัญญาณรบกวนที่ผลิตโดยระบบเก็บรวบรวมข้อมูลในปัจจุบัน แม้จะมีสถานการณ์เช่นนี้ แต่ความเสี่ยงที่เกิดจากอันตรายจากสัญญาณรบกวนนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก เป็นที่แน่ชัดว่าการพิจารณาในมุมมองของการคำนวณความเสี่ยงจะช่วยให้ข้อกำหนดกระแสสัญญาณรบกวนอ่อนคลายลงได้อีกอาจเป็นทศวรรษ

ค่าเผื่อความปลอดภัย (safety margin) ใช้สำหรับการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ซึ่งเทคโนโลยีการตรวจจับขบวนรถไฟ หมายถึง ความขัดข้องด้านไม่ปลอดภัย (WSF) ค่าเผื่อความพร้อมใช้งาน (availability margin) ใช้สำหรับการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมใช้งาน พารามิเตอร์ที่ใช้ได้ทั้งหมดสำหรับกรณีความเข้ากันได้ของวงจรไฟต่อนสามารถระบุได้จาก EN 50617-1

การวิเคราะห์ความเข้ากันได้เป็นข้อบังคับและต้องอธิบายหลักการทางเทคนิคที่ทำให้มั่นใจในความเข้ากันได้ ซึ่งรวมถึง (หรืออ้างอิงถึง) หลักฐานสนับสนุนทั้งหมด เช่น การคำนวณ แผนการทดสอบ และผลลัพธ์

วิธีการวิเคราะห์ที่หมดความผิดพลาดต้องได้รับการตกลงร่วมกันระหว่างคู่สัญญาที่ระบุไว้ในข้อ 8.2

สถานการณ์สำหรับความเข้ากันได้ รวมถึงกรณีที่เลวร้ายที่สุดต้องถูกอธิบายด้วยพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

- ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน (ขบวนรถไฟและโครงสร้างพื้นฐาน) และระดับความไวของระบบตรวจจับขบวนรถไฟ (TDS) ที่ใช้ในย่านความถี่ที่ระบุ

- คุณลักษณะ โหมดการปฏิบัติงาน และเงื่อนไขของขบวนรถไฟ (โหมดปกติและโหมดลดระดับของขบวนรถไฟ และแรงบิดสูงสุด ความเร็ว หรือเงื่อนไขการปฏิบัติงานอื่น ๆ)

- คุณลักษณะและเงื่อนไขการปฏิบัติงาน (โหมดปกติและโหมดลดระดับ) ของระบบจ่ายไฟฟ้าขับเคลื่อน รวมถึงพารามิเตอร์ของสถานีย่อยและเส้นทางส่งกลับของไฟฟ้าขับเคลื่อน

- ค่าเผื่อความปลอดภัยและ/หรือความพร้อมใช้งาน โดยคำนึงถึงโหมดและเงื่อนไขข้างต้น การเรียงลำดับวงจรไฟต่อนจะถูกพิจารณาเมื่อตกลงค่าเผื่อความปลอดภัยหรือความพร้อมใช้งานแล้ว

หมายเหตุ 2: การทดสอบในระหว่างการปฏิบัติงานจริงของยานพาหนะหนึ่งคันจะสามารถกำหนดค่าความน่าจะเป็นสำหรับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ เช่น ระดับความถี่ต่ำถึงหนึ่งครั้งต่อ 1,000 ชั่วโมง ในระหว่างการทดสอบหลายเดือน ซึ่งเพียงพอสำหรับระดับพื้นฐานของกระแสสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเท่านั้น

ทั้งระบบบนขบวนรถไฟและ/หรือระบบโครงสร้างพื้นฐานข้างทางสามารถนำมาใช้เพื่อเฝ้าติดตามความน่าจะเป็นของการเกิดกระแสสัญญาณรบกวนในระดับสูงได้ โดยมีข้อแม้ว่าระบบเหล่านั้นจะต้องยังคงเข้ากันได้กับระดับความทนทานต่อสัญญาณรบกวนที่หลากหลายของระบบการแพร่กระจายและระบบตรวจจับ"

8.6.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอน

ฟังก์ชันการถ่ายโอน แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนที่อุปกรณ์ระบบตรวจจ็บริดไฟได้รับกับสัญญาณรบกวนรวมที่เกิดจากขบวนรถไฟ

ให้ F เป็นสัญลักษณ์แทนฟังก์ชันการถ่ายโอน

ให้ I_{TDS} เป็นสัญลักษณ์แทนสัญญาณรบกวนที่อุปกรณ์ระบบตรวจจ็บริดไฟ ซึ่งเกิดจากรถไฟคันเดียว/หลายคัน ในส่วนของไฟฟ้า

ให้ I_{RS} เป็นสัญลักษณ์แทนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากขบวนรถไฟ คือ

ดังนั้น สัญญาณรบกวน คือ

$$I_{TDS} = F \cdot I_{RS}$$

สัญญาณรบกวนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่อุปกรณ์ระบบตรวจจ็บริดไฟ I_{TDSmax} ถูกกำหนดโดยความไวของอุปกรณ์ระบบตรวจจ็บริดไฟ

ให้ I_{RStot} เป็นสัญลักษณ์แทนสัญญาณรบกวนรวมที่ยอมรับได้ซึ่งเกิดจากขบวนรถไฟ ดังนั้น

$$I_{RStot} = I_{TDSmax} / F$$

ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง (ขบวนรถไฟและสถานีย่อย) ซึ่งอาจมีส่วนทำให้เกิดสัญญาณรบกวนรวม สัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้ต่อแหล่งกำเนิดจะต้องคำนึงถึงสิ่งนี้ โดยมีแนวทางที่เป็นไปได้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนโดยพิจารณาแหล่งกำเนิดหลายแหล่งตามมาตรฐาน CLC/TS 50238-2

หมายเหตุ 1: การสั้นพ้องของสายส่งและเครื่องรับที่ไวต่อเฟสสามารถเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินความเข้ากันได้

หมายเหตุ 2: สัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้จะมีสองค่าซึ่งถูกกำหนดโดยเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- สัญญาณที่อาจเป็นสาเหตุให้ระบบตรวจจ็บริดไฟแสดงว่า "ว่าง" ในขณะที่มีการครอบครองอยู่จริง (ความขัดข้องที่ไม่ปลอดภัย (WSF) ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับความปลอดภัย)

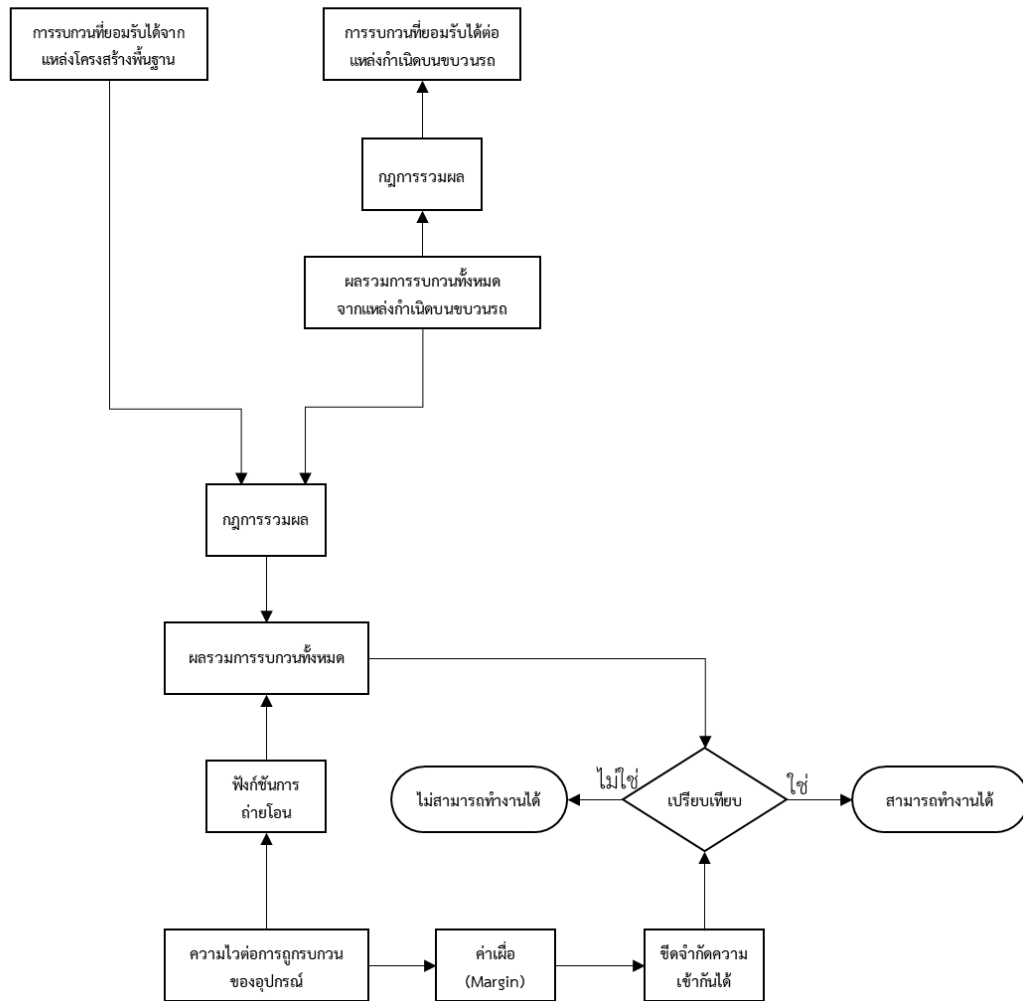
- สัญญาณที่อาจเป็นสาเหตุให้ระบบตรวจจ็บริดไฟแสดงว่ามีการครอบครองอยู่ ในขณะที่ว่างจริง (ความขัดข้องที่ปลอดภัย (RSF) ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับความพร้อมใช้งาน) อย่างไรก็ตาม ต้องพิจารณาผลกระทบต่อตรรกะระบบบังคับสัมพันธ์ (interlocking logic) ด้วย

กระบวนการประยุกต์ใช้กฎการรวมผลสามารถนำมาใช้ได้ทั้งสองทิศทาง ตามที่แสดงในรูปที่ 12

โครงสร้างพื้นฐาน - สถานีไฟฟ้าย่อย

ขบวนรถ (Rolling Stock)

ขีดจำกัดและค่าเผื่อ



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างขีดจำกัดความเข้ากันได้และสัญญาณรบกวนที่ได้รับอนุญาต

9. รายงานผลการทดสอบ

รายงานผลการทดสอบวงจรฟีดอน ควรมีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้

9.1 ภาพรวมของระบบที่ทำการทดสอบ (ได้แก่ ขบวนรถไฟ (rolling stock) ระบบจ่ายไฟฟ้า (traction power supply system) และระบบตรวจจับขบวนรถไฟ (train detection system))

9.2 ระบุชื่อและที่อยู่สำหรับติดต่อของเจ้าหน้าที่หรือหน่วยงานที่ดำเนินการทดสอบ

9.3 การกำหนดค่า (configuration) อย่างน้อยต้องประกอบด้วย ค่าจำกัดความของสถานะที่ออกแบบไว้ของขบวนรถไฟ โครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งรวมถึงสถานะของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ที่ระบุไว้ในเอกสารของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของขบวนรถไฟและระบบตรวจจับขบวนรถไฟ

9.4 เอกสารอ้างอิงในการทดสอบทั้งหมด ประกอบไปด้วย รายละเอียดของขบวนรถไฟ (rolling stock) หรือระบบตรวจจับขบวนรถไฟ (TDS) และเอกสารที่แสดงรายการปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของ RST หรือ TDS

9.5 การประยุกต์ใช้แผนการทดสอบ

รายงานผลการทดสอบต้องระบุถึงการประยุกต์ใช้แผนการทดสอบอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการประนีประนอมหรือการแก้ไขแผนการทดสอบเพิ่มเติมที่มีความจำเป็น โดยรายละเอียดที่ระบุต้องประกอบด้วย

9.5.1 เงื่อนไขการทดสอบ: คุณลักษณะทางเทคนิคของสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ

9.5.2 เครื่องมือวัด: แผนภาพบล็อกของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ตำแหน่งของเครื่องมือวัด การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และเครื่องมือ ความแม่นยำ คุณลักษณะการตอบสนอง ความไว และการปรับขนาดสัญญาณ (signal scalings) ของเครื่องมือวัด

9.5.3 ขั้นตอนการทดสอบ: รายละเอียดเกี่ยวกับการสอบเทียบ (calibration) การตรวจสอบสัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อม (environmental noise) และสถานะการทำงานของระบบที่อยู่ระหว่างการตรวจสอบ ในระหว่างการทดสอบ

9.6 ผลการทดสอบ (test Results)

รายงานผลการทดสอบต้องมีการวิเคราะห์และสรุปผลการวัดที่ดำเนินการ พร้อมด้วยวิธีการบันทึกข้อมูลทั่วไป

9.7 ข้อคิดเห็น (comments)

ต้องมีการประเมินผลลัพธ์ที่ได้ ความสมเหตุสมผล และการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่คาดหวังไว้

9.8 การจัดเก็บผลการทดสอบ (archive of test results)

การวัดผลส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลการบันทึกในปริมาณมาก ซึ่งการทำซ้ำและเผยแพร่ข้อมูลเหล่านี้พร้อมกับรายงานอาจไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติเสมอไป แต่ต้องจัดเตรียมข้อกำหนดสำหรับการจัดเก็บและการอ้างอิงถึงเอกสารเหล่านี้ไว้ในรายงานผลการทดสอบ เพื่อแสดงให้เห็นว่าผู้ที่ได้รับอนุญาตสามารถเข้าถึงเอกสารเหล่านี้ได้อย่างไร

10. การทำงานร่วมกันได้ (interoperability)

ระบบวงจรไฟตอนต้องสามารถเชื่อมประสานเพื่อสื่อสารกับระบบบังคับสัมพัทธ์หรืออุปกรณ์อัตโนมัติสัญญาณที่อยู่ข้างเคียง โดยต้องสามารถเชื่อมต่อสื่อสารได้ไม่ว่าระบบข้างเคียงจะเป็นระบบบังคับสัมพัทธ์ชนิดรีเลย์ อิเล็กทรอนิกส์ หรือควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

กรมการขนส่งทางราง

514/1 ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทร: 02 164 2607 โทรสาร: 02 164 2606
<https://www.drt.go.th>

