การออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้า

ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND SIMULATION AND SIMULATION OF AN ELECTRIC RAILWAY

โดย

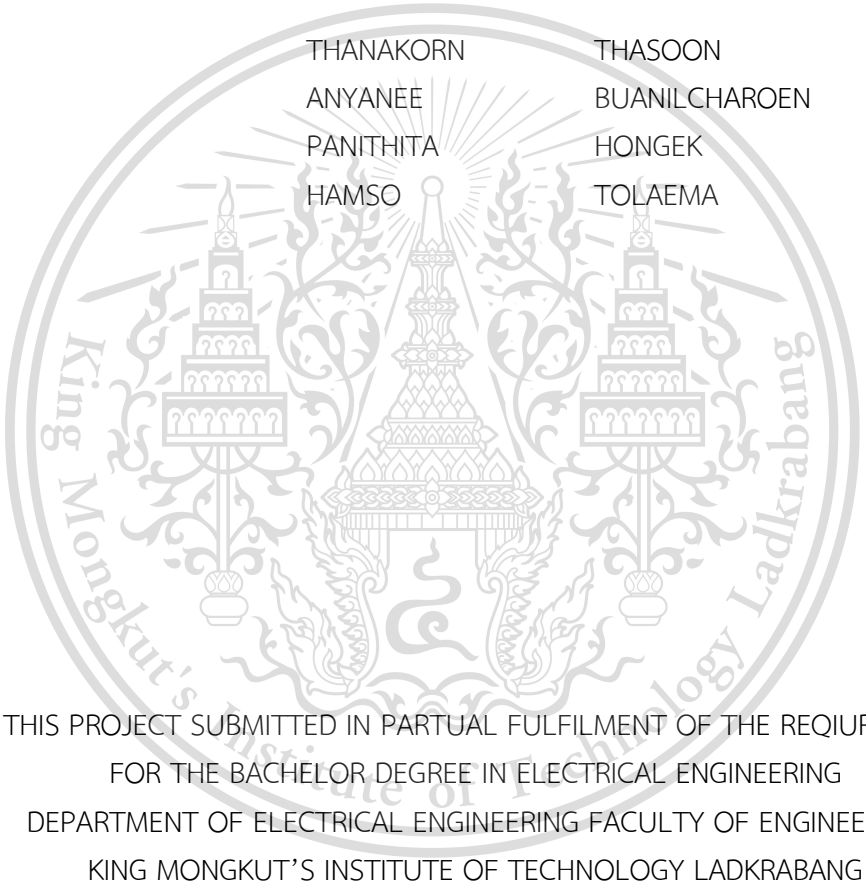
นายธนากร	**ธะสูรย์**
นางสาวปณิฐิตา	**หงษ์เอก**
นางสาวอัญญาณี	**บัวนิลเจริญ**
นายฮัมซอห์	**ตอแลมา**

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND SIMULATION AND SIMULATION OF AN ELECTRIC RAILWAY

THANAKORN	THASOON
ANYANEE	BUANILCHAROEN
PANITHITA	HONGEK
HAMSO	TOLAEMA



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTUAL FULFILMENT OF THE REQIURMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้า
ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND SIMULATION AND SIMULATION OF AN ELECTRIC RAILWAY

โดย

นาย ธนากร ธะสูรย์
นางสาว ปณิฐิตา หงษ์เอก
นางสาว อัญญาณี บัวนิลเจริญ
นาย ฮัมซอห์ ตอแลมา

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา
ดร. สมภพ ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย ธนากร ธะสูรย์
2. นางสาว ปณิฐิตา หงษ์เอก
3. นางสาว อัญญาณี บัวนิลเจริญ
4. นาย ฮัมซอห์ ตอแลมา

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้า

นาย ธนากร ธะสูรย์
นางสาว ปณิฐิตา หงษ์เอก
นางสาว อัญญาณี บัวนิลเจริญ
นาย ฮัมซอห์ ตอแลมา
รศ.ดร สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้า โดยการใช้โปรแกรม Opentrack ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของรถไฟฟ้าตั้งแต่ ราง รถไฟ สถานี หัวรถจักร ระบบอานัติสัญญาณ ไปจนถึงการออกแบบตารางการเดินรถไฟฟ้าและใช้โปรแกรม OpenPowerNet ในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับส่งจ่ายพลังงานเพื่อขับเคลื่อนรถไฟฟ้า ซึ่งทั้งสองโปรแกรมนั้นจะทำงานควบคู่กันเพื่อทำการจำลองสถานการณ์การเดินรถไฟฟ้าที่ทำการออกแบบ และยังสามารถแสดงผลการจำลองสถานการณ์ได้หลายรูปแบบเช่น ไดอะแกรม กราฟ ข้อมูลทางสถิติ และข้อมูลการติดตามเส้นทาง เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถทำการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์แบบอัตโนมัติซึ่งจะบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ให้แก่ผู้ใช้งานในรูปแบบของไฟล์ต่างๆ ที่สามารถเข้าถึงและจัดการได้ง่าย ทั้งนี้การศึกษาการออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้าด้วยโปรแกรมข้างต้นก็จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศในการพัฒนาระบบคมนาคมและเป็นแหล่งข้อมูลแก่ผู้ที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ELECTRICAL SYSTEM DESIGN AND SIMULATION AND SIMULATION OF AN ELECTRIC RAILWAY

Mr.Thanakorn Thasoon
Miss.Anyanee Buanilcharoen
Miss.Panithita Hongek
Mr.Hamso Tolaema
Associate.Prof.Dr.Supat Kittiratsatcha Advisor

Year 2021

ABSTRACT

This thesis presents the design and simulation of the electrical system of an electric rail transport system. By using the Opentrack program to design the infrastructure of the electric train, ranging from railways, station, locomotives, signal systems. This includes designing electric train schedules and using the OpenPowerNet program in designing electrical systems for power distribution to drive the train. Both programs will work in tandem to simulate the designed train operation situation. It can also show the results of the simulation in many formats such as diagrams, graphs, statistical data. And route trace data, etc. It can also perform automatic analysis of simulation results, which will save the analysis data to the user in the form of files that can be easily accessed and managed. Studying the design and simulation of electric rail system with the above program will benefit the country in the development of the transport system and be a source of information for those who are interested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการออกแบบและจำลองระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้า สามารถประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากการทำงานของผู้จัดทำได้รับคำแนะนำและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน และจากบุคลากรหลายท่านในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์โดยมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด รวมไปถึง ดร.สมภพ ผลไม้ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิด และข้อเสนอแนะในเรื่องการทำงานวิจัยที่ถูกต้อง และขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร ที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แล้วเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ รวมถึงความรู้กับผู้จัดทำในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการ Pearl Lab สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบังที่กรุณาให้พื้นที่ในการทำงานและให้หยิบยืมใช้อุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงให้คำแนะนำที่ดีในการใช้เครื่องมือ

ขอกราบขอบพระคุณบุคลากรที่สำคัญที่สุดที่ให้มีผู้จัดทำในวันนี้คือบิดามารดาและครอบครัวผู้ซึ่งอุปการะเลี้ยงดูและให้กำลังใจผู้จัดทำมาเป็นอย่างดีพร้อมให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และคอยให้กำลังใจผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเหล่าคณะผู้จัดทำเองที่มีความมุมานะ อุตสาหะ ใฝ่หาความรู้ อดทน ฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ ในการทำงานมาด้วยกันตั้งแต่เริ่มจนจบ จนสามารถทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ i

ABSTRACT ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญรูป vii

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน 3

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน 3

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน 4

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 5

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 โครงสร้างพื้นฐาน 6

2.2 ฟังก์ชันการทำงานของแหล่งจ่ายแบบฉุดกระชาก (Function of traction power supply) 23

2.3 โครงข่ายแหล่งจ่ายพลังงาน (Traction power supply network) 24

2.3.1 ชนิดของระบบแหล่งจ่ายพลังงาน 24

2.3.2 โครงข่ายแบบกระแสตรง 25

2.3.3 โครงข่ายระบบแบบ AC 16.7 Hz. แบบเฟสเดียว 26

2.3.4 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียวแบบกระแสสลับ 28

บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินการ 29

3.1 โปรแกรม Opentrack 29

3.1.1 การควบคุมความเร็วของรถไฟ 31

3.1.2 การใช้งาน Headway Calculator 37

3.1.3 การใช้งานกราฟรถไฟ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 โปรแกรม OpenPowerNet 42
3.2.1 รถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 44
3.2.2 รถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง 50
บทที่ 4 ผลจากการจำลองผลโปรแกรม Opentrack และโปรแกรม OpenPowerNet 53
4.1 การควบคุมความเร็วโดยใช้ Signaling 53
4.2 Headway Calculator 54
4.2.1 การคำนวณหาเวลาน้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟคันที่สอง 54
4.2.2 การคำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟสองขบวน 55
4.3 Train Diagram 56
4.4 ระบบ AC 56
4.4.1 แรงดัน Pantograph 56
4.4.2 Short Circuit Current 57
4.4.3 Constant Current 59
4.4.4 Failure Scenario 60
4.5 ระบบ DC 60
4.5.1 แรงดัน Pantograph 60
4.5.2 Short Circuit Current 61
4.5.3 Constant Current 62
4.5.4 Failure Scenario 64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุป 65
5.1.1 การควบคุมการเดินรถของรถไฟ 65
5.1.2 การคำนวณ Headway calculator 65
5.1.3 Train Diagram 65
5.1.4 การจำลองผลหาแรงดัน Pantograph 65
5.1.5 การหาค่ากระแสลัดวงจร 65
5.1.6 การตรวจสอบแรงดันโดยวิธีการ Constant Current 65
5.1.7 Failure Scenario 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น 66
5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น 66
เอกสารอ้างอิง 67
ประวัติผู้เขียน 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ปัญหาการจราจรติดขัดในประเทศไทย 1
รูปที่ 1.2 รถไฟชานเมืองในประเทศไทย 2
รูปที่ 1.3 รถไฟฟ้าในเขตเมืองของประเทศไทย 2
รูปที่ 2.1 แผนภาพส่วนหลักของเส้นรางคู่แบบไฟฟ้า ความกว้างทั้งหมดของการจัดแนวสองแทร็กจะอยู่ที่ประมาณ 15 ม. (50 ฟุต) สำหรับรูปแบบที่ทันสมัย "cess" ที่แสดงแต่ละด้านของการจัดตำแหน่งคือพื้นที่สำหรับทางเดินหรือที่หลบภัยสำหรับเจ้าหน้าที่ที่ทำงานบนลู่วิ่ง 7
รูปที่ 2.2 ไม้หมอนคอนกรีต 8
รูปที่ 2.3 สตีฟ 9
รูปที่ 2.4 ราง Bullhead 10
รูปที่ 2.5 ส่วนหนึ่งของแทร็กทดสอบ Old Dalby 11
รูปที่ 2.6 ฐานรองสะสมรางที่ 3 บน EMU 12
รูปที่ 2.7 รถไฟรางเบา Docklands พร้อมระบบไฟฟ้าสัมผัสด้านล่างของรางที่ 3 จะต้องมีช่องว่างในรางที่มีทางแยกหรือทางแยก 13
รูปที่ 2.8 ระบบรวบรวมกระแสรางที่ 3 บนรถไฟใต้ดินนิวยอร์กแสดงรางที่สามพร้อมฝาไม้ที่ติดตั้งเพื่อลดผลกระทบของหิมะและน้ำแข็ง 14
รูปที่ 2.9 แผนผังอย่างง่ายของระบบสัมผัสรางที่ 3 ประเภทต่างๆ 15
รูปที่ 2.10 ระบบจ่ายไฟ DC รางที่ 3 และวิธีการจัดเตรียมช่องว่างของรางปัจจุบันที่สถานีย่อยป้อนสาย 16
รูปที่ 2.11 ลวดหน้าสัมผัสเหนือศีรษะแสดงร่องที่เพิ่มเพื่อให้สำหรับคลิปดรอปเปอร์ 18
รูปที่ 2.12 ส่วนที่เป็นกลางของฉนวนในเส้นเหนือศีรษะ 19
รูปที่ 2.13 ระบบกันสะเทือนเหนือศีรษะ ระบบตุ้มน้ำหนักและรอกออกแบบมาเพื่อรักษาความตึงของลวดสัมผัส 20
รูปที่ 2.14 แผนผังการจัดเตรียมระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 25kV 21
รูปที่ 2.15 ระบบแหล่งจ่ายแบบกระแสตรง DC ของรถราง 25
รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของศูนย์กลางแหล่งจ่ายกำลัง 27
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม Opentrack 30
รูปที่ 3.2 โครงสร้างรางพื้นฐานในการทำช่วงควบคุมความเร็ว 32
รูปที่ 3.3 การวาง Signal บน Vertex ที่ต้องการทำช่วงควบคุมความเร็ว 32
รูปที่ 3.4 วิธีการเปิด Signal Inspector 32
รูปที่ 3.5 หน้าต่าง Signal Inspector 33
รูปที่ 3.6 การวาง Signal เริ่มต้นช่วงควบคุมความเร็ว 34
รูปที่ 3.7 การใส่ความเร็วที่ต้องการควบคุม 35
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการวาง Speed signal 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.9 เลือก Route ที่ต้องการกำหนดความเร็ว 36
รูปที่ 3.10 หน้าต่าง Route Inspector รูปที่ 3. 11 หน้าต่าง Route Inspector-Edit 37
รูปที่ 3.12 หน้าต่างการใช้งานของ Headway Calculator 38
รูปที่ 3.13 หน้าต่างการใช้งานของ Headway Calculator 39
รูปที่ 3.14 หน้าต่างการใช้งานของ Train Diagram 41
รูปที่ 3.15 เส้นทางการเดินรถไฟที่สร้างมาจากโปรแกรม OpenTrack เพื่อทำการออกแบระบบไฟฟ้าในโปรแกรม OpenPowerNet 44
รูปที่ 3.16 กด Start server ที่แถบเมนู 45
รูปที่ 3.17 OpenTrack simulation panel setting 46
รูปที่ 3.18 Short circuit course configuration in OpenTrack 47
รูปที่ 3.19 XML file ของ short circuit 47
รูปที่ 3.20 XML file ของ constant current 48
รูปที่ 3.21 Chart Type single 49
รูปที่ 3.22 XML file ของ Failure scenario 49
รูปที่ 3.23 Chart Type single ของ Failure scenario 50
รูปที่ 3.24 ปรับแก้โค๊ดในไฟล์ XML 51
รูปที่ 3.25 การแก้ไขส่วนของโค้ด Constant current DC 51
รูปที่ 3.26 การแก้ไขส่วนของโค้ด Failure scenario DC 52
รูปที่ 4.1 กราฟความเร็วของรถไฟเมื่อใส่สัญญาณควบคุมความเร็ว 53
รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณหาเวลาที่น้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟคันที่สอง 54
รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟสองขบวน 55
รูปที่ 4.4 Train Diagram 56
รูปที่ 4.5 แรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI ของการจำลองผล 57
รูปที่ 4.6 ค่ากระแสลัดวงจรในระบบกรณีมีสถานีไฟฟ้าเดียว 58
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสลัดวงจรกรณีมีสถานีไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง 58
รูปที่ 4.8 การจำลองผล Constant Current ของระบบ AC 59
รูปที่ 4.9 กราฟแรงดัน Pantograph ของเส้นทางเดินรถ CBAI เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (AC) 60
รูปที่ 4.10 แรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI ระบบ DC ในสภาวะปกติ 61
รูปที่ 4.11 กราฟกระแสลัดวงจรของระบบ DC 62
รูปที่ 4.12 การจำลองผล Constant Current ในระ DC 63
รูปที่ 4.13 กราฟแรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (DC) 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ การคมนาคมด้วยระบบขนส่งทางรางไฟฟ้ามีความสำคัญเป็นอย่างมากกับผู้ที่ใช้ชีวิตอยู่ในเมืองเนื่องด้วยการโดยสารรถไฟฟ้ามีความสะดวกและรวดเร็ว ไม่ต้องเผชิญกับปัญหาการจราจรติดขัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั่วโมงเร่งด่วนดังรูปที่ 1 นอกจากนี้ความถี่ในการเดินรถยังมีความสม่ำเสมอทำให้ผู้โดยสารไม่จำเป็นต้องเผื่อเวลาในการเดินทางมากนัก เหล่านี้ส่งผลให้ผู้ที่ทำงานอยู่ในเขตเมืองมักเลือกที่จะสัญจรโดยใช้รถไฟฟ้าเป็นหลัก

รูปที่ 1.1 ปัญหาการจราจรติดขัดในประเทศไทย

นอกจากเส้นทางการเดินรถในเมืองแล้ว ปัจจุบันยังมีเส้นทางเดินรถจากชานเมืองเข้ามาในเขตเมืองเพิ่มเข้ามาด้วยเช่น รถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและรถไฟฟ้าสายสีแดง (บางซื่อ-รังสิต) ดังรูปที่ 2 รถไฟฟ้าชานเมืองนี้จะมีความเร็วมากกว่ารถไฟฟ้าในเมืองและมีความห่างของสถานีมากกว่า โดยมีการใช้ระบบการจ่ายไฟเหนือหัว (Overhead Catenary) เพื่อลด loss ในสายตัวนำจากเส้นทางการเดินรถที่มีความยาวแตกต่างจากรถไฟฟ้าในเขตเมืองที่ใช้ระบบจ่ายไฟรางที่สาม (Third Rail Feeding System) ซึ่งเหมาะกับเส้นทางในเมืองที่แต่ละสถานีห่างกันพียง 1-2 กม. ด้วยเหตุผลในด้านความประหยัด ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 1.2 รถไฟชานเมืองในประเทศไทย

รูปที่ 1.3 รถไฟฟ้าในเขตเมืองของประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีโครงการการก่อสร้างรถไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นแต่ประเทศไทยยังต้องการความช่วยเหลือในการออกแบบระบบรถไฟฟ้าจากต่างประเทศอยู่ซึ่งหากไทยสามารถพัฒนาบุคลากรของตัวเองที่สามารถทำหน้าที่ส่วนนี้ได้ก็จะเป็นการประหยัดงบประมาณมากขึ้น การศึกษาซอฟต์แวร์เกี่ยวกับการออกแบบตัวรางและระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้าจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการพัฒนาระบบการคมนาคมของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. จัดทำคู่มือภาษาไทย โปรแกรม OpenTrack และ OpenPowerNet
2. จัดทำคู่มือภาษาไทย Training Opentrack และ Openpowernet สำหรับผู้เริ่มต้นใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ศึกษาระบบรางและระบบไฟฟ้าของรถไฟฟ้าจากคลิปวิดีโอ
2. ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม OpenTrack และ OpenPowerNet จากคู่มือฉบับภาษาอังกฤษ
3. ออกแบบและจำลองการเดินรถของรถไฟฟ้าในโปรแกรมเพื่อศึกษาพฤติกรรม ณ สถานการณ์และพารามิเตอร์ต่างๆ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ศึกษาคู่มือโปรแกรมและจำลองผลกรณีศึกษา
2. จำลองผลกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

งาน/เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ติดตั้งและตั้งค่าโปรแกรม												
ศึกษาฟังก์ชันพื้นฐานของ OpenTrack												
ศึกษาสัญญาณรถไฟ												
สร้างรางพื้นฐาน												
ศึกษาการควบคุมความเร็วรถไฟ												
ศึกษา Headway Calculator												
ศึกษากรณีรถไฟชนกัน												
ศึกษา Connector												
ศึกษาการปรับ Engine												
จัดทำคู่มือ Training โปรแกรม OpenTrack												
ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างสองโปรแกรม												
ศึกษาฟังก์ชันพื้นฐานของ OpenPowerNet												
ศึกษาระบบไฟฟ้าของรถไฟฟ้า												
ศึกษาการจำลองผล OpenPowerNet												
ศึกษาการวิเคราะห์การจำลองผล												
จัดทำคู่มือ Training โปรแกรม OpenPowerNet												

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบรางและระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้าซึ่งคาดว่าจะได้รับประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ประโยชน์ด้านสังคมคือการพัฒนาระบบคมนาคมในประเทศไทย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบรางและระบบไฟฟ้าของระบบขนส่งทางรางไฟฟ้าซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการจำลองพฤติกรรมของรถไฟก่อนที่จะนำไปสู่การสร้างจริงทำให้การออกแบบและก่อสร้างมีความรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น
2. ประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ในด้านการประหยัดงบประมาณ หากไทยสามารถพัฒนาบุคลากรที่เชี่ยวชาญในการออกแบบระบบรถไฟฟ้าได้ก็จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการจ้างชาวต่างชาติลง
3. ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมคือความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านระบบขนส่งทางรางไฟฟ้าในประเทศไทยมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างพื้นฐาน

บทนำ

โครงสร้างพื้นฐานของรถไฟเป็นระบบวิศวกรรมที่ซับซ้อนและมีหลายสาขาวิชาซึ่งเกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง, สะพาน, อุโมงค์, งานเหล็ก, ไม้และระบบรางเพื่อสร้างฐานที่ทางรถไฟวิ่ง เพื่อให้รถไฟขับได้ดีต้องตั้งค่าการจัดแนวรางให้อยู่ในระยะไม่เกิน 1 มิลลิเมตรจากการออกแบบ ระบบที่แตกต่างกันจำนวนมากมีอยู่ทั่วโลกและมีหลายรูปแบบในประสิทธิภาพและการบำรุงรักษา

จะกล่าวถึงพื้นฐานของโครงสร้างพื้นฐานและติดตามการออกแบบและการก่อสร้างด้วยภาพวาดภาพถ่ายและตัวอย่างจากทั่วโลก ระบบการจัดการรถไฟบางระบบรวมถึงการส่งสัญญาณสถานีและระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างพื้นฐานด้วย

ความเป็นมา

เส้นทางเป็นส่วนหลักของโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟและแสดงถึงความแตกต่างระหว่างรูปแบบการขนส่งทางบกนี้กับรูปแบบอื่น ๆ ทั้งหมดที่มีระบบคำแนะนำที่ตายตัว แทร็กเป็นฐานบังคับเลี้ยวของรถไฟและได้พัฒนามาจากการออกแบบแนวทางรถโบราณที่มีต้นกำเนิดมาจากการนัดหมายนักประวัติศาสตร์บางคนแนะนำว่ามาจากวัฒนธรรมของชาวสุเมเรียนเมื่อ 2,000 ปีก่อนคริสตกาล รถไฟรุ่นที่ทันสมัยมีพื้นฐานมาจากล้อเหล็กที่วิ่งบนรางเหล็ก มีเทคโนโลยียานพาหนะนำทางในรูปแบบอื่น ๆ รถไฟยางที่ใช้ยางการลอยตัวแบบแม่เหล็กและรถบัสนำทางเป็นต้น

โครงสร้างพื้นฐาน

แทร็กเป็นส่วนหนึ่งที่เห็นได้ชัดที่สุดของเส้นทางรถไฟ แต่มีโครงสร้างย่อยที่รองรับรางซึ่งมีความสำคัญเท่าเทียมกันในการสร้างความปลอดภัยและสะดวกสบายสำหรับการนั่งรถไฟและผู้โดยสารหรือการขนส่งสินค้า

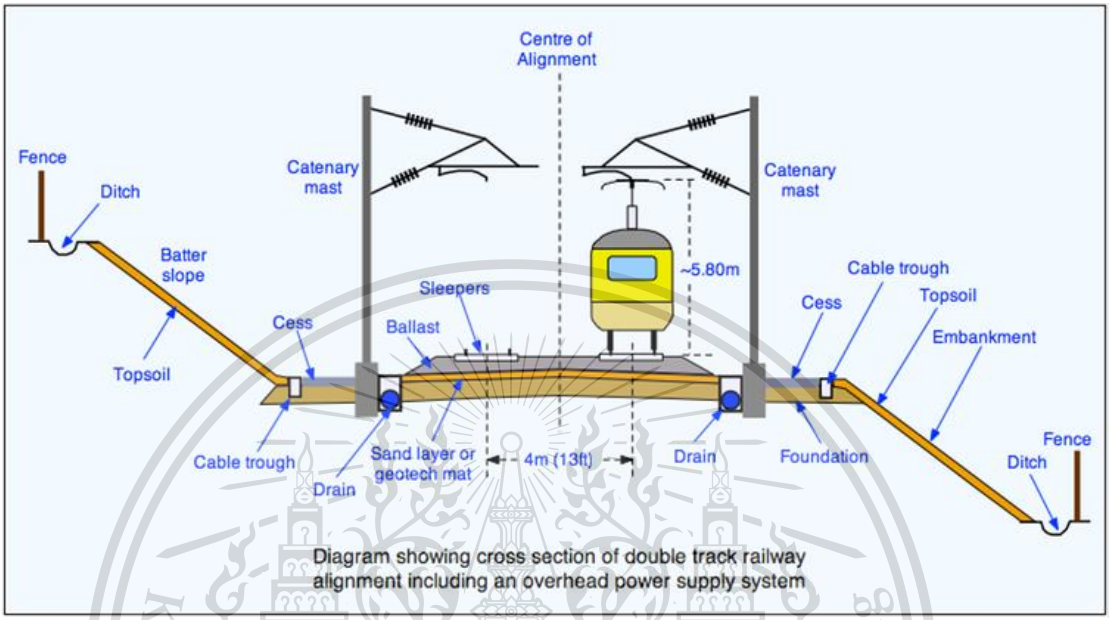
โครงสร้างย่อย

ส่วนนี้ของถนนประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสามส่วน การสร้างบัลลาสต์ย่อยและบัลลาสต์ การสร้างพื้นดินที่จะวางแทร็ก อาจเป็นระดับพื้นดินตามธรรมชาติหรือ "เกรด" หรืออาจเป็นคันดินหรือการตัด เป็นสิ่งสำคัญที่รูปแบบจะทำจากวัสดุที่เหมาะสมและได้รับการบดอัดอย่างเหมาะสมเพื่อรับน้ำหนักของรถไฟที่วิ่งผ่าน

รูปแบบใต้รางมี "แคมเบอร์" ค่อนข้างเหมือนกับที่เห็นบนถนน ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำไหลเข้าสู่ท่อระบายน้ำแต่ละด้านของเส้นได้อย่างสะดวก แทร็กนั้นได้รับการรองรับบน "บัลลาสต์" ซึ่งประกอบด้วยหิน - โดยปกติแล้วเป็นหินแกรนิตหรือในสหรัฐอเมริกาหินบะซอลต์ - ด้านล่างเป็นชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของทรายซึ่งแยกออกจากการก่อตัว สำหรับการก่อตัวใหม่หรือการสร้างใหม่โดยปกติทรายจะถูกวางทับตาข่ายทางธรณีเทคนิคบางประเภทเพื่อแยกออกจากวัสดุรองพื้นด้านล่าง ในอดีตมีการใช้แผ่นยางมะตอยหรือพลาสติกเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ



รูปที่ 2.1 แผนภาพส่วนหลักของเส้นรางคู่แบบไฟฟ้า ความกว้างทั้งหมดของการจัดแนวสองแทร็กจะอยู่ที่ประมาณ 15 ม. (50 ฟุต) สำหรับรูปแบบที่ทันสมัย "cess" ที่แสดงแต่ละด้านของการจัดตำแหน่งคือพื้นที่สำหรับทางเดินหรือที่หลบภัยสำหรับเจ้าหน้าที่ที่ทำงานบนลู่วิ่ง

การป้องกัน

โดยปกติขอบของรถไฟจะอยู่นอกทางเดินหรือทางเคเบิล หากมีการสร้างแนวผ่านพื้นที่ที่ต้องมีการทำคันดินหรือการตัดทางลาดจะต้องมีการออกแบบอย่างรอบคอบเพื่อให้แน่ใจว่ามุมของความลาดชันจะไม่ใช้ความกว้างของที่ดินมากเกินไปและต้องมีการระบายน้ำที่เหมาะสม แต่ไม่เสี่ยงต่อการลื่นไถลของดิน มุมลาดขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่มีการเปิดรับสภาพภูมิอากาศและพืชพรรณในพื้นที่ มักจะมีการเพิ่มคูระบายน้ำตามขอบของการปักชำและคันดิน ในสหราชอาณาจักรมีการจัดเตรียมรั้วไว้ตลอดแนวเขตของทางรถไฟเพื่อป้องกันไม่ให้ประชาชนหลงเข้าไปในรางรถไฟ ถึงกระนั้นก็มีอุบัติเหตุไม่กี่ครั้งทุกปีเมื่อผู้บุกรุกถูกรถไฟหรือรางตัวนำไฟฟ้าเสียชีวิตหรือบาดเจ็บ หลายประเทศทั่วโลกไม่ปิดกั้นทางรถไฟ สมมติว่าผู้คนจะปฏิบัติต่อพวกเขาเหมือนถนนและมองทั้งสองทางก่อนที่จะข้าม พวกเขามักจะไม่ทำเช่นนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บัลลาสต์

บัลลาสต์มีไว้เพื่อรองรับการถ่ายเทโหลดและการระบายน้ำไปยังแทร็กและด้วยเหตุนี้จึงป้องกันไม่ให้น้ำออกจากรางและหมอน บัลลาสต์ต้องรองรับน้ำหนักของรางและการบรรทุกของรถไฟที่วิ่งผ่านไปมาเป็นจำนวนมาก น้ำหนักบรรทุกส่วนบุคคลบนรางสามารถสูงได้ถึง 50 ตัน (55 US หรือตันสั้น) และประมาณ 80 ตันสั้นสำหรับสายการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมาก บัลลาสต์ประกอบด้วยหินแกรนิตหรือวัสดุที่คล้ายกันและควรมีรูปร่างหยาบเพื่อปรับปรุงการล็อคของหิน ด้วยวิธีนี้พวกจะทำให้ต้านทานการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น หินบัลลาสต์ที่มีขอบเรียบจะทำงานได้ไม่ดีนัก บัลลาสต์จะวางที่ความลึก 9 ถึง 12 นิ้ว (สูงสุด 300 มม. บนรางความเร็วสูง) บัลลาสต์มีน้ำหนักประมาณ 1,600 ถึง 1,800 กก. / ลบ.ม. / ม.

แทร็ก

รูปแบบแทร็กปกติประกอบด้วยรางเหล็กสองรางยึดกับไม้หมอน (หรือครอสทีฟที่ย่อมาจากความสัมพันธ์ในสหรัฐอเมริกา) เพื่อให้รางอยู่ในระยะห่างที่ถูกต้อง (มาตรวัด) และสามารถรองรับน้ำหนักของรถไฟได้ ไม้หมอนและวิธีการยึดรางกับพวกเขามีหลายประเภท โดยปกติไม้หมอนจะมีระยะห่างระหว่าง 650 มม. (25 นิ้ว) ถึง 760 มม. (30 นิ้ว) ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดมาตรฐานของทางรถไฟโดยเฉพาะ

ไม้หมอน(Ties)

ตามปกติแล้วไม้หมอน (รู้จักกันในชื่อสายสัมพันธ์ในสหรัฐอเมริกา) เป็นไม้ (รูปที่ 4 ด้านล่าง) อาจเป็นไม้เนื้ออ่อนหรือไม้เนื้อแข็ง ส่วนใหญ่ในสหราชอาณาจักรเป็นไม้เนื้ออ่อนแม้ว่า London Underground จะใช้ไม้เนื้อแข็งที่เรียกว่าไม้ Jarrah โดยปกติไม้หมอนจะถูกชุบด้วยสารกันบูดและภายใต้สภาวะที่ดีจะมีอายุได้ถึง 25 ปี ง่ายต่อการตัดและเจาะและเคยมีราคาถูกและอุดมสมบูรณ์ ปัจจุบันมีราคาแพงขึ้นและมีวัสดุประเภทอื่น ๆ ปรากฏขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตและเหล็ก

รูปที่ 2.2 ไม้หมอนคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมมากที่สุดดังที่แสดงไว้ที่นี่ ไม้หมอนคอนกรีตมีน้ำหนักมากกว่าไม้ ดังนั้นจึงต้านทานการเคลื่อนไหวได้ดีกว่า ใช้งานได้ดีภายใต้เงื่อนไขส่วนใหญ่ แต่มีทางรถไฟบางสายที่พบว่าทำงานได้ไม่ดีภายใต้การบรรทุกของรถไฟบรรทุกสินค้าหนัก มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าและถูกกล่าวหาว่าแตกได้ง่ายขึ้นภายใต้ภาระหนักที่มีบัลลาสต์แข็ง นอกจากนี้ยังมีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถตัดให้มีขนาดสำหรับงานกลึงและลู่วิ่งพิเศษได้ ไม้หมอนคอนกรีตสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 320 กก. (700 ปอนด์) เมื่อเทียบกับไม้หมอนที่มีน้ำหนักประมาณ 100 กก. หรือ 225 ปอนด์ ระยะห่างของไม้หมอนคอนกรีตมากกว่าไม้หมอนประมาณ 25%

รูปที่ 2.3 สตีฟ

อีกหนึ่งชนิดของการออกแบบที่ถูกสร้างขึ้นจากสองบล็อกคอนกรีตเสริมเหล็กเชื่อมต่อกัน มันเบากว่าไม้หมอนคอนกรีตธรรมดาและช่วยให้มือย้าย เป็นที่นิยมมากในฝรั่งเศสซึ่งมันเรียกว่าสตีฟและบางรูปแบบของแสงเช่นระบบรถราง นี้เป็นตัวอย่างของแมนเชสเตอร์รอบัลลาสต์ที่สองเพื่อเพิ่มความสูงของไม้หมอน

ตอนนี้ไม้หมอนเหล็กยังถูกใช้สำหรับถนนที่เบาแต่พวกเขาจะใช้ได้เฉพาะกับพื้นที่ที่ความเร็วเป็น100 ไมล์ / ชม. (160 กม. / ชม.) หรือน้อยกว่า

ในสหรัฐอเมริกาสายสัมพันธ์ส่วนใหญ่ทำจากไม้โอ๊คแช่น้ำมันฟีนอล สามารถอยู่ได้นานถึง 20 ปี Class 1 RR ส่วนใหญ่จะเข้ามาแทนที่หลังจาก 5-10 ปีแล้วจึงขายในการใช้งาน คอนกรีตแบบไทเป็นที่นิยมมากในตะวันตกและตะวันออกของสหรัฐอเมริกา เมื่อเร็วๆนี้ไทแบบซับซ้อนถูกขายในตลาด พวกมันทำมาจากยางเก่าและพลาสติกรีไซเคิล พวกเขาสามารถใช้และผูกได้เหมือนไทปกติ ลดต้นทุนประมาณ 50% และประหยัดต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ราง

รูปแบบมาตรฐานของรางที่ใช้กันทั่วโลกคือรางแบบ "ก้นแบน" มีฐานกว้างหรือ "เท้า" และส่วนบนหรือ "หัว" แคบกว่า สหราชอาณาจักรเปิดตัวรถไฟประเภทหนึ่งซึ่งไม่ได้ใช้ในที่อื่นนอกเหนือจากทางรถไฟที่ออกแบบโดยสหราชอาณาจักรเพียงไม่กี่แห่ง สิ่งนี้เรียกว่าราง "Bullhead"

รูปที่ 2.4 ราง Bullhead

ได้รับการออกแบบมาโดยคำนึงถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ ตั้งใจว่าจะพลิกกลับเมื่อเสื้อสวมทับแต่พิสูจน์แล้วว่าเป็นไปไม่ได้เพราะด้านล่างยังสวมในที่ที่ยึดไว้กับผู้นอน จะต้องติดตั้งรางหัวเสาใน "เก้าอี้" แบบพิเศษที่ทำจากเหล็กหล่อและยึดด้วย "กุญแจ" ที่เชื่อมระหว่างรางรถไฟกับเก้าอี้ เก้าอี้ยึดกับไม้หมอนโดย "โค้ชสกรู"

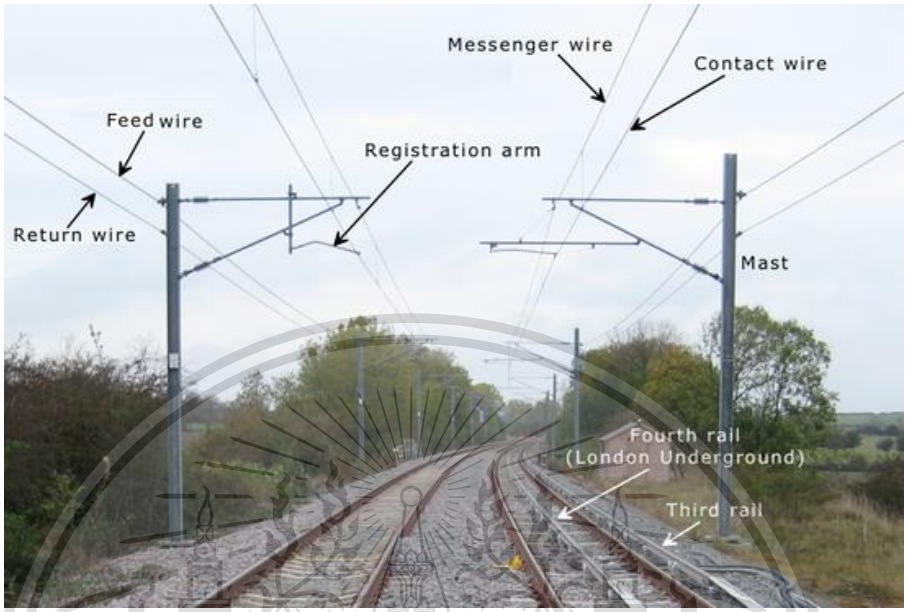
แหล่งจ่ายไฟ

ในการเริ่มต้นเดินรถไฟฟ้าจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟที่รถไฟสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา ต้องปลอดภัย, ประหยัดและเป็นมิตรกับผู้ใช้ สามารถใช้ได้ทั้ง DC (กระแสตรง) หรือ AC (กระแสสลับ) ซึ่งเป็นใช้มาหลายปีแล้วง่ายกว่าสำหรับวัตถุประสงค์ในการลากรถไฟรุ่นหลังดีกว่าในระยะทางไกลและราคาถูกกว่าในการติดตั้ง แต่เมื่อไม่นานมานี้มีความซับซ้อนมากขึ้นในการควบคุม ในระดับรถไฟ

การส่งกำลังเป็นไปตามรางเสมอโดยใช้สายไฟเหนือศีรษะหรือที่ระดับพื้นดินโดยใช้รางเสริมที่สามวางใกล้กับรางวิ่ง ระบบ AC มักใช้สายไฟเหนือศีรษะ DC สามารถใช้สายไฟเหนือศีรษะหรือรางที่สาม ทั้งสองอย่างเป็นเรื่องธรรมดา ระบบเหนือศีรษะทั้งสองต้องมีตัวสะสมอย่างน้อยหนึ่งตัวที่ติดอยู่กับรถไฟเพื่อให้สามารถสัมผัสกับพลังงานได้ตลอดเวลา กระแสไฟฟ้าระดับเหนือศีรษะในปัจจุบันใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is restricted for academic purposes only. Commercial use is prohibited.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

"pantograph" ที่เรียกกันแบบนั้นเพราะอิงจากรูปทรงส่วนใหญ่ จนกระทั่งประมาณ 30 ปีที่แล้ว วงจรส่งคืนผ่านทางรางวิ่งกลับไปที่สถานีย่อย รางวิ่งอยู่ที่คั่กย์ของโลกและเชื่อมต่อกับสถานีย่อย



รูปที่ 2.5 ส่วนหนึ่งของแทร็กทดสอบ Old Dalby

ในอังกฤษแสดงทั้งรางที่สามและการใช้พลังงานไฟฟ้าเหนือศีรษะ ทั้งสองระบบมีไว้เพื่อให้สามารถทดสอบรถไฟจากสายหลักหรือรถไฟใต้ดินลอนดอน ระบบรางที่ 3 มีอยู่ทั่วไปทั่วโลก แต่รางที่ 4 นั้นหายาก London Underground เป็นผู้ใช้ระบบราง 4 รางที่ใหญ่ที่สุดในโลก

Shoes and Shoegear

ฐานรองมีหลากหลายดีไซน์ สิ่งที่ง่ายที่สุดคือสิ่งที่เรียกว่า "หน้าสัมผัสสูงสุด" เพราะนั่นคือส่วนของรางที่รองเท้าเลื่อนไถล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.6 ฐานรองสะสมรางที่ 3 บน EMU

ชานเมืองในลอนดอน ฐานรองถูกแขวนจากคานหุ้มฉนวนที่แขวนอยู่ระหว่างเพลา มันเป็นระบบการติดต่ออันดับต้น ๆ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดก็มีข้อเสียไม่ใช่อย่างน้อยก็คือการเปิดเผยกับใครหรือสิ่งใด ๆ ที่อาจสัมผัสกับสิ่งนั้น นอกจากนี้ยังต้องทนทุกข์ทรมานในช่วงที่สภาพอากาศเลวร้ายน้ำแข็งหรือหิมะจำนวนน้อยที่สุดที่แสดงผลบนระบบรางที่สามเกือบจะไม่สามารถใช้งานได้เว้นแต่จะได้รับการเยียวยาที่มีราคาแพง

นอกจากนี้ยังมีระบบสัมผัสด้านข้าง การสัมผัสด้านข้างไม่ได้ดีไปกว่าการสัมผัสด้านบนมากนัก แต่อย่างน้อยก็มีการสัมผัสน้อยกว่า การสัมผัสด้านล่างดีที่สุด คุณสามารถปิดรางส่วนใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้รับการปกป้องจากสภาพอากาศหนาวเย็นที่เลวร้ายที่สุด แผนภาพนี้แสดงระบบ DC 3-Rail Traction System พร้อมตำแหน่งของรางปัจจุบันที่สัมพันธ์กับรางวิ่ง ระบบรางที่สามใช้ "ฐานรอง" เพื่อรวบรวมกระแสน้ำบนรถไฟบางทีอาจเป็นเพราะผู้บุกเบิกอุตสาหกรรมนี้เรียกว่า "ฐานลองแตะ" (มันลื่นไปตามรางใช่ไหม) แต่มันก็ไม่ค่อยสวยนัก ดูสิบางทีอาจมีคนคิดว่าฐานรองเป็นคำอธิบายที่ดีกว่า ไม่ว่าต้นกำเนิดใดฐานรองก็ยังคงติดอยู่จนถึงทุกวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.7 รถไฟรางเบา Docklands พร้อมระบบไฟฟ้าสัมผัสด้านล่างของรางที่ 3 จะต้องมีช่องว่างในรางที่มีทางแยกหรือทางแยก

ระบบฐานรองสมัยใหม่มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการยกระยะไกล ฐานรองทุกรุ่นจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายให้พ้นรางปัจจุบันโดยปกติจะใช้ในกรณีฉุกเฉิน สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดคือเมื่อฐานรองขาดและสายเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าบนรถไฟจะต้องได้รับการยึดอย่างปลอดภัย ฐานรองอีกข้างในวงจรเดียวกันจะต้องถูกแยกออกในขณะที่เสร็จสิ้นเว้นแต่กระแสจะถูกปิดจากส่วนทั้งหมด - อาจปิดการใช้งานรถไฟอื่น ๆ อีกหลายขบวน

การแยกใช้เพื่อสอด "ไม้พาย" ที่ทำด้วยไม้ระหว่างฐานรองกับรางปัจจุบันแล้วมัดฐานรองด้วยสายรัดหรือเชือก เมื่อไม่นานมานี้ระบบกลไกหรือระบบนิวเมติกได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถยกฐานรองจากภายในรถไฟจากระยะไกลจากห้องโดยสาร

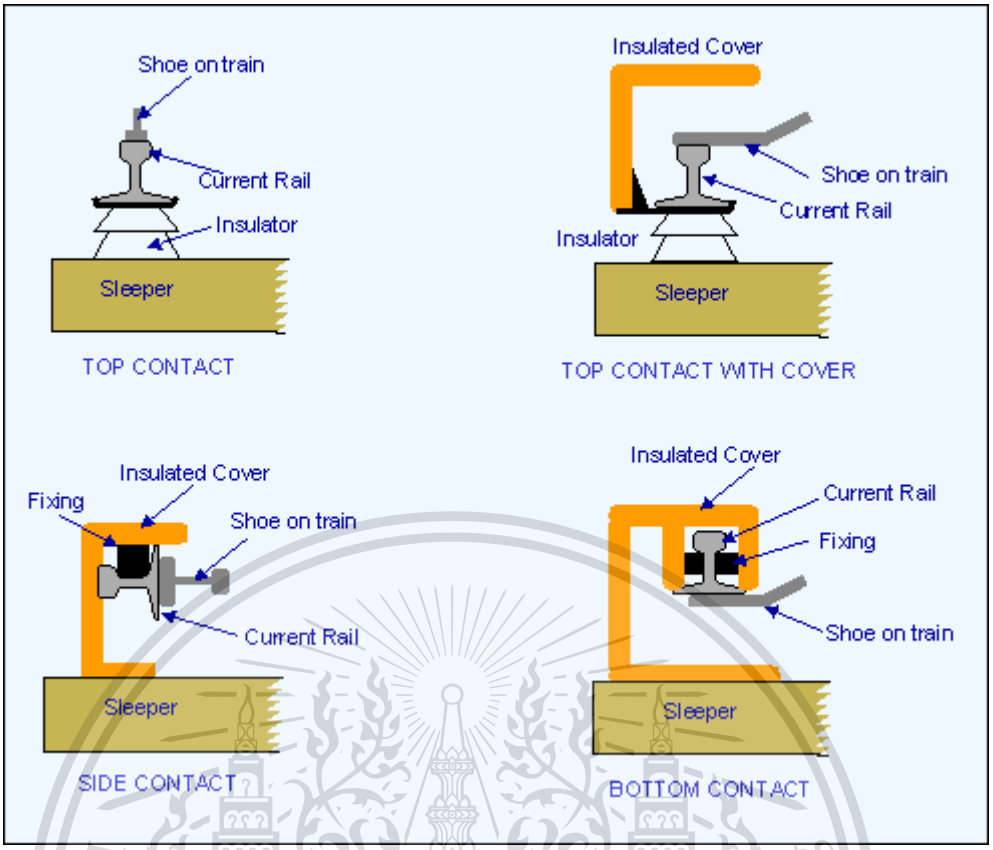
ฐานรองด้านบนส่วนใหญ่จะห้อยลงมาจากคานที่แขวนอยู่ระหว่างเพลาของโบกี้ เดิมทีวิธีการระงับเป็นเพียงการเชื่อมโยงแบบ slotted สองสามจุดเพื่อชดเชยการเคลื่อนไหวซึ่งทำให้แรงโน้มถ่วงสามารถให้แรงกดที่จำเป็น ระบบต่อมาได้ติดตั้งรองเท้าในแนวรัศมีเพื่อให้มีการสัมผัสที่มั่นคงมากขึ้นผ่านการทำงานของคันโยก ระบบสัมผัสด้านบนที่มีฝาปิดป้องกันเช่น New York Subway จำเป็นต้องมีรองเท้าที่ติดตั้งในแนวรัศมีเพื่อให้พอดีกับใต้ฝาครอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.8 ระบบรวบรวมกระแสรางที่ 3 บนรถไฟใต้ดินนิวยอร์กแสดงรางที่สามพร้อมฝาไม้ที่ติดตั้งเพื่อลดผลกระทบของหิมะและน้ำแข็ง

ฐานรองแตะด้านข้างและด้านล่างเป็นสปริงโหลดเพื่อให้มีแรงสัมผัสที่จำเป็น ตัวอย่างฐานรองหน้าสัมผัสด้านล่างที่ใช้กับรถไฟสาย Dockland Light Railway ในลอนดอน ระบบสัมผัสด้านบนบางระบบยังใช้สปริงโหลด แต่ควบคุมได้ยากกว่าโดยกลไกเนื่องจากการล่าสัตว์ของโบกี้และความเสี่ยงที่รองเท้าจะติดอยู่ใต้ส่วนหัวของรางและพลิกกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

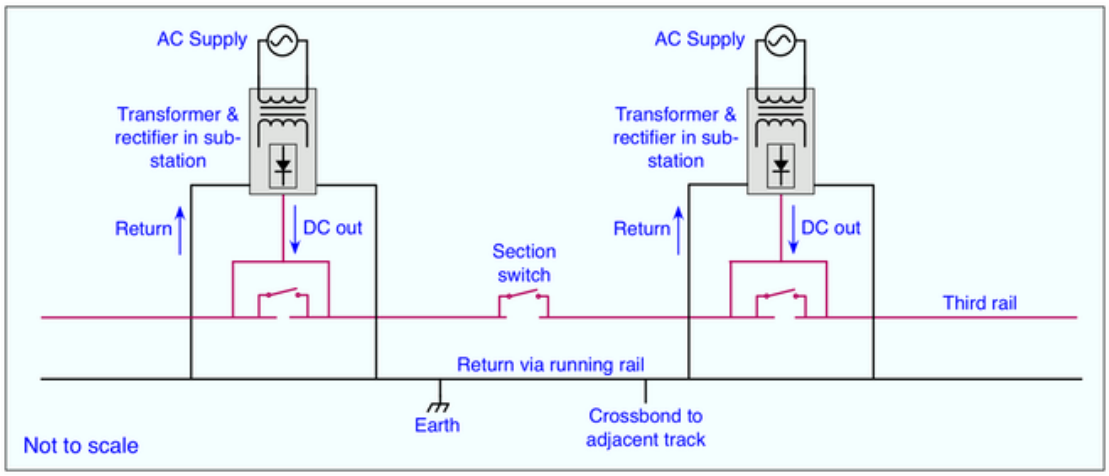


รูปที่ 2.9 แผนผังอย่างง่ายของระบบสัมผัสรางที่ 3 ประเภทต่างๆ

ช่องว่าง

คุณมักจะเห็นรถไฟที่มีแพนโตกราฟเพียงอันเดียว แต่บนรถไฟที่ใช้ฐานรองจะมีฐานรองหลายคู่เสมอ หน้าสัมผัสกับสายไฟเหนือศีรษะจะไม่ขาดตามปกติ แต่รางที่สามจะต้องหักที่ทางแยกเพื่อให้รางวิ่งมีความต่อเนื่อง รางที่สามเหล่านี้แตกหรือ "ช่องว่าง" ตามที่เรียกกันว่าอาจทำให้สูญเสียพลังงานบนรถไฟได้ การสูญเสียพลังงานสามารถลดลงได้โดยการหาฐานรองตามทางรถไฟและเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยสายเคเบิลที่เรียกว่าบัสไลน์ ทั้ง ๆ ที่แล้วอาจมีปัญหาได้ อาจจ้เกิดเหตุการณ์ที่คนขับรถหยุดรถโดยใส่ฐานรอง "off juice" หรือ "gapped" ใช่มันเกิดขึ้นบ่อยกว่าที่คุณคิด มันเป็นความรำคาญที่น่าอาย แก้ไขได้โดยการถูกรถไฟขบวนอื่นผลักไปที่รางที่สามหรือโดยการรับสายยาวพิเศษโดยมีปลั๊กที่ปลายด้านหนึ่งสำหรับรถไฟและฐานรองที่ปลายอีกด้านสำหรับรางที่สาม แน่นอนว่ามันทำให้เกิดความล่าช้าเป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 ระบบจ่ายไฟ DC รางที่ 3 และวิธีการจัดเตรียมช่องว่างของรางปัจจุบันที่สถานีย่อยป้อนสาย

โดยปกติแต่ละแทร็กจะถูกป้อนในแต่ละทิศทางไปยังสถานีย่อยถัดไป สิ่งนี้ช่วยให้มีการจ่ายเกินและจัดหาความต่อเนื่องหากสถานีย่อยล้มเหลว ช่องว่างมักถูกทำเครื่องหมายด้วยเครื่องหมายหรือไฟซึ่งระบุว่ากระแสไฟฟ้าเปิดอยู่ในส่วนข้างหน้าหรือไม่ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าอาจถูกปิดเพื่อหยุดส่วนโค้งหรือเนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจรจึงเป็นสิ่งสำคัญที่รถไฟจะต้องไม่เชื่อมต่อส่วนที่ตายเข้ากับส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าโดยผ่านช่องว่างและปล่อยให้บัสไลน์เชื่อมช่องว่าง ระบบสมัยใหม่เชื่อมโยงสถานะปัจจุบันของแรงฉุดเข้ากับการส่งสัญญาณเพื่อไม่ให้รถไฟแล่นไปยังส่วนที่ตายแล้ว

ตามจุดต่างๆตลอดแนวจะมีสถานที่ที่รถไฟสามารถแยกออกจากระบบจ่ายไฟฟ้าได้ชั่วคราว ในสถานที่ดังกล่าวเช่นสถานีปลายทางจะมี "สวิตช์ส่วน" เมื่อเปิดออกจะป้องกันไม่ให้ส่วนหนึ่งของสายป้อนโดยสถานีย่อย ใช้เมื่อจำเป็นต้องแยกรถไฟที่มีไฟฟ้าขัดข้องในระบบรวบรวมกระแสไฟฟ้า

แม้ว่ารางที่ 3 จะถือเป็นระบบรถไฟชานเมืองหรือรถไฟใต้ดิน แต่มีการใช้รางที่สาม 750 โวลต์ DC อย่างกว้างขวางในภาคใต้ของอังกฤษและรถไฟที่ใช้มันวิ่งเป็นประจำได้ถึง 145 กม. / ชม. นี่เป็นเรื่องเกี่ยวกับขีดจำกัดของความเร็วและแพร่กระจายไปทั่วพื้นที่ขนาดใหญ่ด้วยเหตุผลทางประวัติศาสตร์เท่านั้น

การย้อนกลับ

จะต้องมีวงจรที่สมบูรณ์ตั้งแต่แหล่งที่มาของพลังงานออกไปจนถึงสิ่งของที่ใช้บริโภค (หลอดไฟ, เตาปรุงอาหาร หรือรถไฟ) และกลับไปที่แหล่งกำเนิด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวนำส่งคืนสำหรับทางรถไฟของเรา ง่าย - ใช้รางเหล็กที่ล้อวิ่ง มีการใช้มาตรการป้องกันเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงเกินกว่าศูนย์ของพื้นดินมากเกินไปซึ่งทำงานได้ดีมากและได้ทำมาตลอดศตวรรษที่ผ่านมา แน่นอนเนื่องจากทางรถไฟหลายแห่งใช้รางวิ่งสำหรับวงจรสัญญาณเช่นกัน จึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วงจรไฟฟ้าบนรถไฟเสร็จสมบูรณ์โดยการเชื่อมต่อกลับไปที่แปรงถูที่ปลายเพลา ล้อเป็นเหล็กนำไปที่รางวิ่ง สิ่งเหล่านี้ถูกต่อเข้ากับสถานีย่อยที่จ่ายไฟและทำงานได้ เทคนิคเดียวกันนี้ใช้สำหรับอุปกรณ์จ่ายไฟเหนือศีรษะ DC หรือ AC

แรงฉุด AC หรือ DC

ไม่สำคัญว่าคุณจะมีมอเตอร์ AC หรือ DC ปัจจุบันสามารถทำงานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ AC หรือ DC ได้ คุณเพียงแค่ต้องวางระบบควบคุมที่ถูกต้องระหว่างแหล่งจ่ายและมอเตอร์ก็จะทำงานได้ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสสลับหรือกระแสตรงตามสายก็มีความสำคัญ โดยทั่วไปมักเป็นคำถามว่าคุณมีรถไฟประเภทใด สรุปได้ง่ายๆว่า AC สำหรับทางไกลและ DC สำหรับระยะทางสั้น ๆ แน่นอนว่ามีข้อยกเว้นและเราจะเห็นบางส่วนในภายหลัง

การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของ AC ทำได้ง่ายกว่า DC ดังนั้นจึงง่ายกว่าที่จะส่งพลังงานผ่านสายส่งด้วย AC นี่คือสาเหตุที่อุปกรณ์ไฟฟ้าระดับชาติกระจายอยู่ที่ 765,000 โวลต์ AC เนื่องจาก AC ส่งได้ง่ายกว่าในระยะทางไกลจึงเป็นสื่อที่เหมาะสำหรับรางไฟฟ้า เฉพาะปัญหาในการแปลงมันบนรถไฟเพื่อใช้มอเตอร์กระแสตรงเท่านั้นที่ จำกัด การใช้งานอย่างแพร่หลายจนถึงปี 1960

ในทางกลับกัน DC เป็นตัวเลือกที่ต้องการสำหรับสายที่สั้นกว่าระบบในเมืองและรถราง อย่างไรก็ตามมันยังถูกใช้ในระบบรถไฟสายหลักหลายแห่งและยังคงอยู่ในบางส่วนของทวีปยุโรป นอกจากต้องการระบบควบคุมที่เรียบง่ายสำหรับมอเตอร์แล้วขนาดของการปฏิบัติการในเมืองที่เล็กลงหมายความว่ารถไฟมักจะเบากว่าและต้องการพลังงานน้อยกว่า แน่นอนว่ามันต้องการสื่อส่งกำลังที่หนักกว่ารางที่สามหรือสายหนาเพื่อรับพลังงานและมันสูญเสียแรงดันไฟฟ้าไปพอสมควรเนื่องจากระยะห่างระหว่างการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้น สิ่งนี้เอาชนะได้โดยการวางสถานีย่อยในช่วงเวลาใกล้ ๆ - ทุกๆสามหรือสี่กิโลเมตรในตอนแรกปัจจุบันสองหรือสามในระบบ 750 โวลต์ - เทียบกับทุกๆ 20 กิโลเมตรหรือมากกว่านั้นสำหรับสาย AC 25 kV

ในจุดนี้ควรกล่าวถึงการกัดกร่อนเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาในระบบจ่ายไฟฟ้าโดยเฉพาะระบบ DC แนวโน้มของกระแสน้ำไหลย้อนออกจากรางวิ่งลงสู่พื้นสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าด้วยท่อน้ำและโลหะที่คล้ายกันได้ สิ่งนี้เป็นที่เข้าใจกันดีในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 และเป็นหนึ่งในเหตุผลที่รถไฟใต้ดินของลอนดอนนำระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบหุ้มฉนวนโดยมีรางกลับด้านลบแยกต่างหากและรางบวก - ระบบสี่ราง อย่างไรก็ตามเหตุการณ์ที่น่าอับอายในเอเชียที่มีการพังทลายของฝาปิดท่อระบายน้ำใกล้กับรถไฟใต้ดินเมื่อเร็ว ๆ นี้ในช่วงต้นทศวรรษ 1980 หมายความว่าปัญหายังคงเกิดขึ้นและไม่ได้รับความเข้าใจอย่างถูกต้องเสมอไป

สายไฟฟ้าเหนือศรษะ (Catenary)

กลไกของการเดินสายไฟไม่ง่ายอย่างที่คิด การแขวนสายไฟไว้บนรางโดยให้รถไฟปัจจุบันและรถไฟวิ่งอยู่ข้างใต้นั้นไม่ใช่เรื่องง่ายหากจะทำงานได้อย่างถูกต้องและใช้งานได้นานพอที่จะปรับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้ สายไฟต้องสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ (หลายพันแอมป์) อยู่ในแนวเดียวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เส้นทางทนลมได้ (ในลมพายุไต้ฝุ่นฮ่องกงสามารถสูงถึง 200 กม. / ชม.) อากาศหนาวจัดและร้อนจัด และสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยอื่น ๆ

ระบบสายไฟฟ้าเหนือศีรษะที่เรียกว่า "catenary" จากเส้นโค้งที่เกิดจากสายเคเบิลรองรับมีรูปทรงเรขาคณิตที่ซับซ้อนซึ่งในปัจจุบันมักออกแบบโดยคอมพิวเตอร์ ต้องจับลวดสัมผัสในแนวนอนและดึงออกด้านข้างเพื่อต่อรองเส้นโค้งในแทร็ค ความตึงของลวดสัมผัสจะอยู่ที่ 2 ตัน ความยาวสายไฟมักจะยาวระหว่าง 1,000 ถึง 1500 เมตรขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิ เส้นลวดมีลักษณะคดเคี้ยวเมื่อเทียบกับเส้นกึ่งกลางของแทร็กจนถึงแม้กระทั่งการสึกหรอของภาพวาดของรถไฟเมื่อมันวิ่งอยู่ข้างใต้

ลวดหน้าสัมผัสถูกร่องเพื่อให้สามารถยึดคลิปที่ด้านบนได้ คลิปใช้สำหรับติดลวดหยด ความตึงของลวดจะถูกคงไว้โดยน้ำหนักที่แขวนไว้ที่ปลายแต่ละด้านของความยาว ความยาวแต่ละด้านทับซ้อนกันสายเส้นที่อยู่ข้างๆเพื่อให้แน่ใจว่า "pan" จะเดินได้อย่างราบรื่น ความตึงเครียดที่ไม่ถูกต้องบวกกับความเร็วที่ไม่ถูกต้องของรถไฟจะทำให้ส่วนหัวของเอกสารเริ่มกระเด้ง อาร์กไฟฟ้าเกิดขึ้นพร้อมกับการตีกลับแต่ละครั้งกระทะและลวดจะสึกกร่อนภายใต้สภาวะดังกล่าวในไม่ช้า

รูปที่ 2.11 ลวดหน้าสัมผัสเหนือศีรษะแสดงร่องที่เพิ่มเพื่อให้สำหรับคลิปดรอปเปอร์

ส่วน AC

โดยปกติส่วนเหนือศีรษะจะถูกป้อนในส่วนต่างๆเช่นระบบรางที่ 3 แต่ส่วนเหนือศีรษะ AC มักจะยาวกว่ามาก แต่ละส่วนย่อยถูกแยกออกจากเพื่อนบ้านโดยฉนวนส่วนในหน้าสัมผัสเหนือศีรษะดังที่แสดงในภาพด้านล่างนี้ ส่วนย่อยสามารถเชื่อมต่อผ่านสวิตช์ส่วนความเร็วสูงพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.12 ส่วนที่เป็นกลางของฉนวนในเส้นเหนือศีรษะ

เพื่อลดการเกิดประกายไฟที่ส่วนที่เป็นกลางในสายสวนเหนือศีรษะบางระบบใช้แม่เหล็กติดตามเพื่อปิดการทำงานของรถไฟโดยอัตโนมัติเมื่อเข้าใกล้ส่วนที่เป็นกลาง แม่เหล็กชุดที่สองจะคืนพลังงานทันทีหลังจากผ่านส่วนที่เป็นกลางแล้ว

ระบบกันสะเทือนของ Catenary

มีการใช้ระบบกันสะเทือนแบบ catenary ในรูปแบบต่างๆ (ดูแผนภาพด้านล่าง) ขึ้นอยู่กับระบบอายุตำแหน่งและความเร็วของรถไฟที่ใช้ พูดอย่างกว้าง ๆ ความเร็วที่สูงขึ้นการ "เย็บ" ก็จะยิ่งซับซ้อนมากขึ้นถึงแม้ว่าการเย็บแบบธรรมดาจะเพียงพอหากเสารองรับอยู่ใกล้กันมากพอบนเส้นทางที่มีความเร็วสูง การติดตั้งสมัยใหม่มักใช้สายสิญจน์ที่เรียบง่ายหย่อนคล้อยเล็กน้อยเพื่อให้สัมผัสได้ดี พบว่าทำงานได้ดีที่ความเร็วสูงถึง 125 ม. / ชม. (200 กม. / ชม.)

ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องชั่งสถานีรถรางอาจมีเพียงสายเส้นเดียวแขวนโดยตรงจากตัวรองรับที่มีฉนวน ในขณะที่ภาพวาดผ่านไปนั้นสามารถมองเห็นเส้นลวดขึ้นและลงได้ นี่คือทั้งหมดที่จำเป็นในสภาพแวดล้อมของคลังความเร็วที่ช้า ยังไม่ได้พูดถึงเสารถเข็นว่าเป็นวิธีการเก็บรวบรวมในปัจจุบัน สิ่งเหล่านี้ถูกใช้สำหรับการเก็บรวบรวมในระบบค่าแรงฉุดความเร็วต่ำและเป็นเรื่องปกติในรถราง แต่ปัจจุบันล้าสมัยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

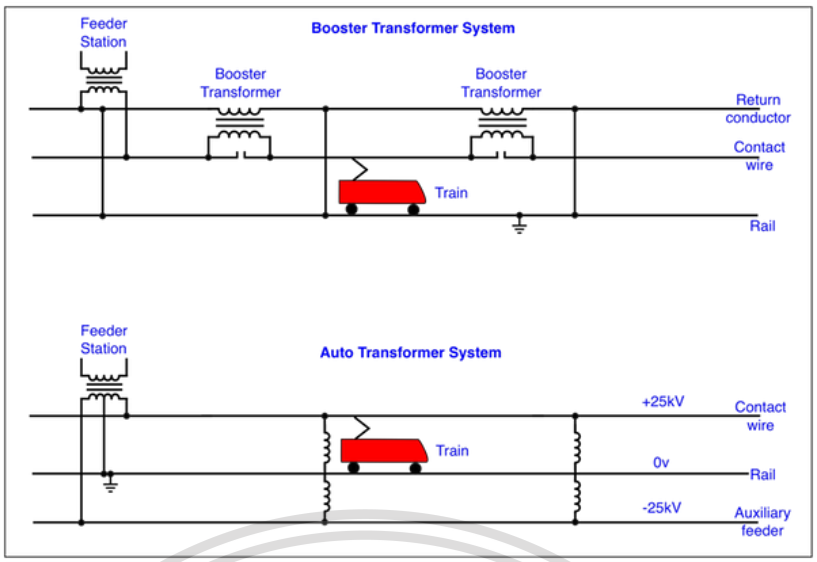
รูปที่ 2.13 ระบบกันสะเทือนเหนือศีรษะ ระบบตุ้มน้ำหนักและรอกออกแบบมาเพื่อรักษาความตึงของลวดสัมผัส

สายไฟเหนือศีรษะมักจะหนากว่าและในกรณีที่มีภาระมากจะใช้สายไฟคู่เช่นเดียวกับระบบจ่ายกระแสตรง 1500 โวลต์ของ HongKong Mass Transit ค่าแรงฉุดสูงถึง 3000 โวลต์ถูกใช้โดยระบบสายหลัก DC (เช่น บางส่วนของฝรั่งเศสเบลเยียมและอิตาลี) แต่ต่ำกว่า 1,500 โวลต์สามารถใช้รางที่สามได้ แต่ในแง่การใช้งานรางที่สามนั้นไม่สะดวก เนื่องจากมีความเสี่ยงมากขึ้นที่จะสัมผัสที่ระดับพื้นดิน นอกจากนี้ยังหมายความว่าหากรถไฟหยุดและต้องอพยพ กระแสไฟฟ้าจะต้องถูกปิดก่อนที่ผู้โดยสารจะได้รับอนุญาตให้เดินไปตามทางได้ เส้นทางรถไฟที่สามจำเป็นต้องได้รับการปกป้องเป็นพิเศษเพื่อความปลอดภัยอย่างสมบูรณ์ ในทางกลับกันบางคนมองว่าระบบ catenary เหนือศีรษะเป็นการบุกรุกทางสายตา ตัวอย่างเช่นสิงคโปร์ได้ห้ามการใช้งานนอกอุโมงค์

หม้อแปลงบูสเตอร์

บนสายที่ติดตั้งสายไฟเหนือศีรษะจะมีข้อควรระวังพิเศษเพื่อลดสัญญาณรบกวนในสายสื่อสาร หากวางสายสื่อสารไว้ข้างรางที่มีกระแสไฟฟ้าไหลกลับของแหล่งจ่ายไฟเหนือศีรษะอาจมีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันเกิดขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันในระยะทางไกลอาจแสดงถึงอันตรายด้านความปลอดภัย เพื่อเอาชนะปัญหานี้หลายระบบใช้หม้อแปลงบูสเตอร์ เหล่านี้ตั้งอยู่บนเสากระโดงเป็นระยะ ๆ ตลอดเส้นทาง พวกเขาเชื่อมต่อกับสถานีป้อนโดยสายตัวนำส่งกลับที่แขวนจากเสากระโดงเพื่อให้มีระยะห่างจากแทร็กใกล้เคียงกับสายเหนือศีรษะโดยประมาณ ตัวนำส่งคืนเชื่อมต่อกับรางวิ่งเป็นระยะ ๆ เพื่อขนานสายเคเบิลและรางส่งคืน ผลของการจัดเรียงนี้คือการลดระดับเสียงในสายเคเบิลการสื่อสารและให้แน่ใจว่าแรงดันอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.14 แผนผังการจัดเตรียมระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 25kV

โดยใช้หม้อแปลงบูสเตอร์ (รูปวาดด้านบน) และระบบหม้อแปลงไฟฟ้าอัตโนมัติ (รูปวาดด้านล่าง) ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าอัตโนมัติช่วยให้สถานีย่อยห่างกันมากขึ้นโดยไม่มีแรงดันไฟฟ้าตก

หม้อแปลงแบบอัตโนมัติ

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเรียกว่าระบบหม้อแปลงแบบอัตโนมัติ ในความเป็นจริงมันขึ้นอยู่กับการจัดสรรพลังงานภายใต้ 50kv AC แต่จัดหารถไฟภายใต้ 25KV AC เพื่อให้บรรลุนี้สถานีไฟฟ้าย่อยหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับศูนย์หัวฉีดขั้นรอง ซึ่งตั้งเป็น 55-kv และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดติดต่อ ศูนย์กลางพื้นดินอย่างปลอดภัยเพื่อให้ขั้วหนึ่งเป็น ความแตกต่างของเฟสระหว่างสองแหล่งจ่ายไฟเป็น 180 องศา

ในระบบนี้สายติดต่อจะถูกขับเคลื่อนโดย 25kv ซึ่งจะขับเคลื่อนโดย 25kv ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าระหว่างวงจรเหล่านี้เป็น 50kv และแรงดันไฟฟ้าพื้นดิน 25kv ฉนวนกันความร้อนและช่องว่างยังสามารถออกแบบได้เพียง 25 kv AC

Pantographs

กระแสไฟฟ้าถูกรวบรวมจากสายไฟฟ้าเหนือศีรษะโดย pantographs Pantographs เป็นเรื่องง่ายในแง่ของการแยกตัว คุณเพียงแค่ลดแพนลงเพื่อสูญเสียแหล่งจ่ายไฟไปยังรถ อย่างไรก็ตามมักจะมีภาวะแทรกซ้อนบางอย่างในรูปแบบอื่น ๆ

เนื่องจาก pantographs เป็นจุดสัมผัสไฟฟ้าจุดเดียวสำหรับรถจักรหรือรถยนต์ไฟฟ้า จึงต้องรักษาหน้าสัมผัสที่ดีภายใต้สภาพการวิ่งทั้งหมด ยิ่งความเร็วสูงการบำรุงรักษาหน้าสัมผัสที่ดีก็ยิ่งยากขึ้น เราได้กล่าวถึงปัญหา (ด้านบน) ของคลื่นที่ก่อตัวขึ้นในเส้นลวดโดยภาพวาดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หน้าสัมผัสแพนโตกราฟจะคงไว้โดยสปริงหรือแรงดันอากาศ แรงดันลมอัดเป็นที่ต้องการสำหรับการทำงานด้วยความเร็วสูง pantograph เชื่อมต่อกับลูกสูบในกระบอกสูบและความดันอากาศในกระบอกสูบจะรักษา pantograph ให้อยู่ในสภาพที่ยกขึ้น

แต่เดิมการจัดทำรายการมีเพียงแค่นั้นคือ "pantograph" รูปเพชรที่มีหัวสัมผัสอยู่ด้านบน โดยปกติจะมีหน้าสัมผัสสองหน้า ระบบที่ทันสมัยมากขึ้นใช้ pantograph แบบแขนเดียวซึ่งเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของรูปทรงดั้งเดิม - การออกแบบที่ดูดีกว่า (ภาพด้านบน)

แถบสัมผัสของ pantograph ได้รับการสนับสนุนโดยกรอบขวางน้ำหนักเบาซึ่งมี "แตร" ที่ปลายแต่ละด้าน สิ่งเหล่านี้จะหันลงเพื่อลดความเสี่ยงของการคัดลอกที่ด้านบนของเส้นลวดสัมผัสขณะที่รถไฟเคลื่อนไปตาม นี่เป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้สายไฟ "ขัดข้อง" รถไฟที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วโดยมี pantograph ติดอยู่บนเส้นลวดสามารถตัดแนวยาวหลายกิโลเมตรก่อนที่จะตรวจพบและรถไฟจะหยุด pantograph ที่ซับซ้อนที่สุดมีเขา ซึ่งออกแบบมาให้แตกออกเมื่อถูกกระแทกอย่างแรง ตัวอย่างเช่น โดยใช้ท่อดรอปเปอร์หรือแขนรองรับ แตรพิเศษเหล่านี้มีท่อความดันอากาศขนาดเล็กติดอยู่ซึ่งหากความดันหายไปจะทำให้แพนลดระดับลงโดยอัตโนมัติและลดความเสียหายของสายไฟที่อาจเกิดขึ้นได้

แรงดันไฟฟ้าหลายสาย

บริการรถไฟบางสายดำเนินการผ่านสายโดยใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าหนึ่งประเภท ในเมืองต่างๆ เช่น ลอนดอน, นิวยอร์กซิตี้ และบอสตัน รถไฟขบวนเดียวกันจะวิ่งภายใต้สายไฟเหนือศีรษะสำหรับส่วนหนึ่งของการเดินทางและใช้รางที่สามสำหรับส่วนที่เหลือ ในยุโรปตู้รถไฟบางรุ่นมีการติดตั้งให้ทำงานภายใต้แรงดันไฟฟ้าสี่แรง - 25 kV AC, 15 kV AC, 3,000 V DC และ 1,500 V DC อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ทำให้สิ่งนี้เป็นไปได้อย่างง่ายดายและสามารถเดินทางข้ามแรงดันไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวรถจักร [1]

นิยามต่างๆ

- กระแสสลับ (AC) : กระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนทิศทาง 50 ครั้งต่อวินาที
- Autotransformer Feeder System (ATF) : ระบบที่จะใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับ OLE รวมสายเคเบิลATF โดยทั่วไปหนึ่งเส้นต่อแทร็กติดกับเสา OLE และเชื่อมต่อกับสถานีขนส่งอัตโนมัติเป็นระยะ ๆ ควบคู่ไปกับแทร็ก
- Cantilever : โครงสร้าง OLE ประกอบด้วยสมาชิกแนวนอนหรือแนวนอนที่รองรับโครงร่างที่ยื่นออกมาจากเสาเดี่ยวที่ด้านหนึ่งของแทร็ก (ดูแผนภาพในหน้าตรงข้าม)
- Catenary : ลวดตามยาวที่รองรับลวดหน้าสัมผัส
- ตัวนำลวด : สายเคเบิลหรือแท่งหุ้มฉนวนใด ๆ ที่มีกระแสไฟฟ้า
- ลวดหน้าสัมผัส : ประกอบกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรถไฟตาม pantograph ของมัน
- หน้าสัมผัสและสายรัด : เพื่อให้สายตึงมีความยาวไม่เกิน c. 1500 ม.และตึงที่ปลายแต่ละด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- กระแสตรง (DC) : กระแสไฟฟ้าที่ไหลไปในทิศทางเดียวเช่นเดียวกับที่มาจากแบตเตอรี่
- Dropper : เส้นลวดที่แขวนในแนวตั้งจาก catenary เป็นระยะ ๆ เพื่อรองรับลวดหน้าสัมผัส
- สถานีป้อน : สิ่งอำนวยความสะดวกถัดจากสายส่งไฟฟ้าแห่งชาติกริดที่ส่ง 25,000V และส่งไปยังทางรถไฟ ระยะห่างของสถานีเหล่านี้ขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้าที่ใช้
- ฉนวน : ส่วนประกอบที่แยกชิ้นส่วนทางไฟฟ้าของ OLE ออกจากองค์ประกอบโครงสร้างอื่น ๆและพื้นโลก แต่เดิมเซรามิกในปัจจุบันมักเป็นวัสดุสังเคราะห์
- Kinematic Envelope : พื้นที่ที่กำหนดรถไฟและการเคลื่อนไหวทั้งหมดที่อนุญาต เช่น การโยก, การตีกลับ เป็นต้น
- เครื่องวัดการบรรทุก (มาตรวัดรถ) : ขนาด – ความสูงและความกว้างที่รถไฟต้องสอดคล้องเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกับโครงสร้างแนวเส้น เช่น สะพาน และชานชาลา
- เสา : แทร็กไซด์แบบเสาซึ่งปกติจะเป็นเหล็กที่รองรับ OLE
- จุดยึดตรงกลาง: ที่จุดกึ่งกลางของความยาวมาตรฐานของสาย OLE สายไฟจะถูกยึดให้อยู่ในตำแหน่งเพื่อให้ลวดสัมผัสมั่นคง
- ส่วนที่เป็นกลาง : ความยาวของวัสดุที่แยกด้วยไฟฟ้าหรือไม่นำไฟฟ้าที่รวมอยู่ในสายสัมผัสเพื่อแยกส่วนไฟฟ้าของ OLE ออกจากกันโดยสิ้นเชิง อาจอยู่ในรูปแบบของการแทรกสั้น ๆ ในลวดสัมผัสหรือการซ้อนทับที่ขยายออก
- OLE : อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าเหนือศีรษะซึ่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับรถไฟ
- การทับซ้อนกัน : ความยาวของเส้นสัมผัสแต่ละเส้นจะทับซ้อนกันเพื่อให้ภาพวาดเลื่อนจากที่หนึ่งไปอีกเส้นหนึ่งได้อย่างราบรื่น
- Pantographs : อุปกรณ์ที่อยู่ด้านบนของรถไฟที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าจากสายหน้าสัมผัสเพื่อจ่ายไฟให้กับรถไฟ
- มาตรวัดโครงสร้าง : พื้นที่ที่กำหนดไว้ซึ่งโครงสร้างต้องไม่ล่วงล้ำเพื่อหลีกเลี่ยงรถไฟชนกับมันซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าซองจดหมายและมาตรวัดการโหลด
- ระบบรางที่สาม : ระบบไฟฟ้ารถไฟโดยใช้รางที่สามซึ่งตั้งอยู่ข้างรางเพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรถไฟ ไม่อนุญาตให้ติดตั้งใหม่บนรถไฟแห่งชาติอีกต่อไป [2]

2.2 ฟังก์ชันการทำงานของแหล่งจ่ายแบบฉุดกระชาก (Function of traction power supply)

รถไฟฟ้าจะมีรูปแบบฟังก์ชันนี้ที่จะขนส่งผู้โดยสารแบบปลอดภัยรวมทั้งความปลอดภัยทางเรื่องของไฟฟ้าด้วยอีกเช่นกัน โดยวัตถุประสงค์ของการใช้ฟังก์ชันของการฉุดกระชากแบบนี้จะเป็นการทำให้เราแน่ใจว่าหรือมั่นใจว่า รถไฟฟ้าจะเคลื่อนขบวนแบบไม่กระตุกและเชื่อถือได้ รวมทั้งความปลอดภัยของกระบวนการทำงานของรถไฟฟ้า

ในประเทศเยอรมันนีเอง รถไฟฟ้าของประเทศนั้นจะใช้แหล่งจ่ายแบบ AC 110kV 16.7 Hz สายส่งในส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกริดและแหล่งจ่ายแบบกระจายจะถูกดำเนินการผ่านสถานีไฟฟ้าย่อยและ Overhead contact line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 โครงข่ายแหล่งจ่ายพลังงาน (Traction power supply network)

2.3.1 ชนิดของระบบแหล่งจ่ายพลังงาน (Type of traction power supply systems)

กระบวนการของพลังงานไฟฟ้าของการขนส่งโดยทั่วไป จะอยู่ในรูปของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่นำมาประยุกต์ใช้เมื่อใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งส่งจากเส้นทางไปสู่หัวเครื่องยนต์ (**vehicles**) ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าจะมีเลขนัยสำคัญที่ดีที่สุดไว้อยู่ว่าควรเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสม การจำแนกระหว่างชนิดของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับการฉุดของไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะถูกยึดไว้ที่ค่าของกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วจะเป็น **DC Current** จึงถูกใช้สำหรับการขนส่งทางไฟฟ้า ด้วยเหตุผลที่ว่ายังคงเป็นสิ่งที่ดีมากสำหรับการใช้งาน และมีเส้นโค้ง **Hyperbolic traction/speed** ของ **series commutator motors** ที่ถูกใช้จะเป็นตัวขับเคลื่อนในรางรถไฟฟ้า

ในส่วนของระดับสากลที่ทั่วโลกใช้กัน โดยทั้งหมดนั้นครึ่งหนึ่งจะยังคงเป็น direct current หรือ DC นั่นเอง เนื่องด้วยว่ามีแรงดันไฟฟ้าต่ำไม่สูงมากจึงเป็นข้อเสียของระบบ DC เพราะมันจำเป็นที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูงในการขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าต่างๆ

เริ่มด้วยยุคสมัยศตวรรษที่ยี่สิบ ได้มีการเสนอให้ทำการรวมกันของข้อดีของมอเตอร์กับความสามารถในการเปลี่ยนแปลงของ Alternating current หรือว่า AC ซึ่งก็คือกระแสสลับนั่นเอง ในช่วงเวลานั้นเองเราใช้ไฟฟ้าแบบ Single phase AC มอเตอร์แบบอนุกรม ในการขับเคลื่อน ซึ่งเป็นตัวป้อนแบบ Single phase AC ที่มีความถี่ของกริดทั่วไปในเยอรมันและศูนย์กลางของยุโรปที่50 Hz. เพราะว่าสถานะของเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนามาในช่วงเวลานั้นได้เกิดปัญหาดังนี้

- การสึกหรอของ commutator อย่างหนักของมอเตอร์แบบเฟสเดียวโดยความถี่เป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามการม้วนหม้อแปลงเดี่ยว
- มีความถี่สูงซึ่งส่งสัญญาณรบกวนในสายเคเบิลที่ขนานกับระบบไฟฟ้า
- การยอมรับไม่ได้ในเรื่องของแรงดันไฟฟ้าที่มีความไม่สมมาตรใน 50 Hz. โครงข่ายแบบกรณี three phase โดยมีแหล่งจ่าย single phase เป็นแหล่งจ่าย

ในประเทศเยอรมันนีได้มีการพัฒนา Single phase AC supply กับ ความถี่ที่ 50Hz/3 = 16.7 Hz. เพื่อให้พลังงานไฟฟ้าไปเป็นแหล่งกำเนิดและใช้ single phase แยกกับรางไฟฟ้าที่เป็น high voltage network จนกระทั่งในปี 1997 ความยาวของไฟฟ้าและเส้นทางที่ยาวมากยิ่งขึ้นถึง 182,000 กิโลเมตรทั่วโลกและทำตามดังนี้

- DC 1.5 kV โดยประมาณ 20,000 กิโลเมตร เป็น 11% ด้วยรวม
- DC 3 kV โดยประมาณ 70,000 กิโลเมตร เป็น 38% ด้วยรวม
- AC 16.7 Hz. 15 kV โดยประมาณ 33,000 กิโลเมตร เป็น 18% ทั้งหมดและ
- AC 50 Hz. 25 kV โดยประมาณ 60,000 กิโลเมตร เป็น 33% ด้วยรวม

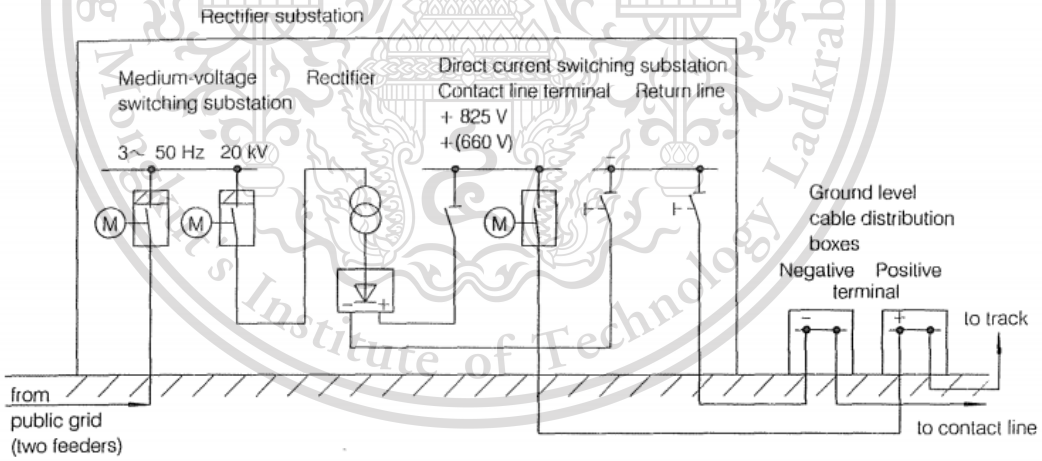
สำหรับในเมืองใหญ่จะมีการติดตั้งการขนส่งที่ DC 600V, 750V, 1200V และ 1500V ซึ่งยังคงใช้กันอยู่ในทุกวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 โครงข่ายแบบกระแสตรง (Direct current traction network)

ในทุกวันนี้ระดับโลกกว่าครึ่งหนึ่งยังคงใช้ Direct current traction หรือ DC ในส่วนของระบบขนส่ง โดยค่าแรงดันสูงที่สุดคือ 1500V ที่ยังคงถูกใช้เพราะว่าความอันตรายของแรงดันที่สูงมาก โดยแรงดันที่นิยมใช้คือ 750V และ 600V ซึ่งเทียบระยะทางระหว่างสถานีย่อยจาก 1.5 กิโลเมตร ถึง 1.6 กิโลเมตร ในขณะเดียวกันบนระยะทางเดียวกัน DC 1500V และ DC3000V บนรางไฟฟ้าที่สถานีที่ถูกวางไว้สามารถเป็น 20 กิโลเมตรได้ ค่าอัตราส่วนพลังงานของ direct current ที่สถานีเทียบกับ 1 ถึง 2 MW สำหรับการขนส่งและอาจจะพุ่งสูงถึง 10MW ในมวลการขนส่ง และระบบเส้นทางหลัก โดยระบบที่เป็นแหล่งจ่ายแบบ 3 เฟส จาก 3 เฟสที่มาจากกริดทั่วไปจะถูกแปลงกลับที่ rectifier substation เป็น direct current ที่แรงดันไฟฟ้าส่วนน้อยของ contact line network แต่ก่อนหน้านี้นั้น six-pulse current จากหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกใช้ทันที ใน twelve-pulse ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกใช้สำหรับ rectifiers

ในส่วนของการสลับส่วนประกอบ (Switching components) ใน rectifier ที่สถานีย่อยเป็นแบบครบวงจร โดยทั่วไปแล้วเราจะทำการออกแบบเอาไว้สำหรับโหลดคลาส VI ถึง EN 60 146-1-3 ดังรูปที่ 1.1 การออกแบบพื้นฐานของรางไฟฟ้ากระแสตรง โดยเราจะให้ความสนใจเป็นพิเศษกับปัญหาการดึงกลับของกระแสไฟฟ้าเพื่อลดอันตรายจาก การกัดกร่อนของกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลออกมา



รูปที่ 2.15 ระบบแหล่งจ่ายแบบกระแสตรง DC ของรถราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3 โครงข่ายระบบแบบ AC 16.7 Hz. แบบเฟสเดียว

2.3.3.1 Traction power generation

ระบบแบบเฟสเดียว AC กับความถี่ชนิดพิเศษ 16.7 Hz. จะถูกสร้างจาก special single phase generators โดยมีความสัมพันธ์เชิงฟิสิกส์คือ f = p · n อยู่ระหว่างความถี่ f, จำนวน pole pair p และ n ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งตัวเลขที่ต่ำสุดที่เป็นไปได้ของ pole pair คือ 1 ดังนั้นความเร็วสูงสุดจะเป็นที่ 16.7 Hz. ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถสร้างออกมาได้จะเป็น n = 16.7*s-1 หรือ 1000*min-1

ความถี่ 16.7 Hz. ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้น การเริ่มที่เวลา 1 ใน 3 ของความเร็วที่ 50 Hz. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ภายใต้เงื่อนไขที่เท่าเทียมกัน อย่างไรก็ตาม P และค่าของ n ที่เป็นตัวเชื่อมถึง M ที่เป็น Moment ในสมการ P = M · n เปรียบเทียบกับ 50 Hz. และ 16.7 Hz. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่าโมเมนต์ 3 ครั้งที่สูงที่สุดหมายถึงขนาดของเวลาทั้ง 3 ครั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกริดที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นแบบ 3 เฟส โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับรางรถไฟกับความถี่เป็น 16.7 Hz. ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟสเดียว ขณะที่ lack ของ two windings, the laminated stator core จะถูกใช้ที่ค่าประสิทธิภาพน้อยกว่าที่ 16.7 Hz. โดยค่า factor เป็น √3

ที่ความถี่ 16.7 Hz. แบบเฟสเดียวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยหลักแล้ว 3*√3 ≈ 5.2 ครั้งใหญ่ขึ้นกว่า 50 Hz. ระบบไฟฟ้า 3 เฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยกำลังปกติ 187.5 MVA ดังนั้นจะสอดคล้องในขนาด 850 MVA ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ 50 Hz. ระบบ 3 เฟสแบบกริดทั่วไป ถ้า 16.7 Hz. แบบเฟสเดียวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ที่มีแหล่งจ่ายจาก 50 Hz. ระบบแบบ 3 เฟส ซึ่งชนิดของเครื่องยนต์ชนิดนี้จะผสมกันที่ถูกออกแบบให้แหล่งจ่ายกำลังไปหมุนที่โรเตอร์ โดยใช้อัตราส่วนความถี่ 50 Hz. ถึง 16.7 Hz. และ rigid converter

Elastic converter ถูกกำหนดให้เป็น asynchronous-synchronous converters โดยถูกใช้เป็น variable-frequency และด้วยเหตุนี้ตัวแปรที่สำคัญจะถูกขับเคลื่อนจาก single-phase ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ asynchronous และมันเป็นไปได้ที่เราจะใช้ elastic converter ในระบบการทำงานแบบขนานกับโรงงานไฟฟ้า ซึ่ง elastic converter ถูกใช้เพื่อให้ครอบคลุมโหลดที่จุดสูงสุดในศูนย์กลางของเครือข่ายแหล่งจ่ายของ DB ในส่วนของกำลังใน elastic converter ระหว่าง 10.7 และ 50 MVA

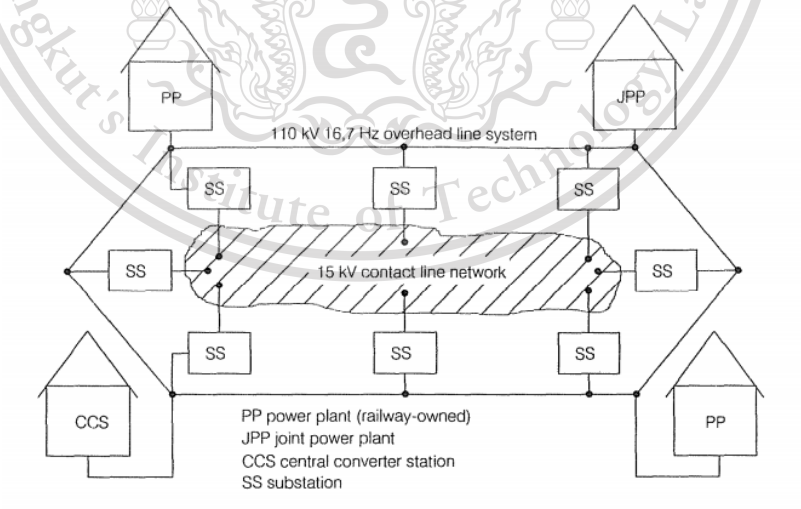
Rigid converters เป็น synchronous-synchronous converters ใน DB ที่กระจายส่วนของเน็ตเวิร์ค ในส่วนของ single phase power กับ ความถี่ 16.7 Hz. จะถูกสร้างแล้วกระจายไปที่ rotating converter station (DRCS) กับ ช่วยให้ synchronous-synchronous converters จะเป็นกำลังไฟฟ้าพื้นฐานเริ่มต้น 10 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3.2 Type of 16.7 Hz. Traction power network

2 ชนิดของ 16.7 Hz. Single phase power supply จะมีการพัฒนาในยุโรป ในศูนย์กลางแหล่งจ่ายจากรูป 1.2 พื้นฐานโครงสร้างของศูนย์กลางแหล่งจ่าย ซึ่งจะยังคงอยู่ในประเทศเยอรมัน,ออสเตรีย, สวิตเซอร์แลนด์ ตั้งแต่ 1913 และต่อมาที่นอเวย์สามารถบอกคุณลักษณะได้ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ 16.7 Hz. Single phase จะถูกติดตั้งใน ไฟฟ้าพลังงานน้ำ, พลังงานความร้อน, โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ และขับเคลื่อนด้วยน้ำหรือใบพัดไอน้ำ หมายความว่าเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานเริ่มต้น
- Transmission of electrical energy การส่งพลังงานไฟฟ้าโดยมี 110 หรือ 132 kV ที่ overhead ในเส้นทางของเน็ตเวิร์ค กับความถี่เริ่มต้นที่ 16.7 Hz. จากโรงไฟฟ้าถึงสถานีย่อย เป็น single phase ทุกเครือข่ายรวมเข้าด้วยกัน 2 วงจรและจ่ายและส่งกลับนำตัวแต่ละระบบ
- Distribution of single-phase electricity ในสถานีรถไฟ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 110 kV หรือ 132 kV ถึงแรงดันพื้นฐานของ contact line ที่ติดตั้งเป็น 15 kV
- ป้อนไฟฟ้าเฟสเดียว 16.7 Hz. พลังงานตลอดในส่วนวงจรเบรกเกอร์ในสถานีย่อยในแต่ละส่วนของการติดตั้ง contact line
- Generation ของ single phase power กับความถี่พื้นฐานของ 16.7 Hz.
- สายป้อนของ single phase 16.7 Hz. พลังงานตลอดจนส่วนวงจรเบรกเกอร์ในสถานีย่อยถึงส่วนของการจ่ายในแต่ละส่วนของการติดตั้ง contact line



รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของศูนย์กลางแหล่งจ่ายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.4 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียวแบบกระแสสลับ (50 Hz. Single phase AC traction networks)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับกระบวนการของ AC 50 Hz. Single phase traction network ถูกได้รับจากหนึ่งเฟสของ 50 Hz. โครงข่ายสามเฟสทำให้เกิดความไม่สมดุลในแรงดันและกระแสของโครงข่ายสามเฟส ถ้าหากกระแสไม่สมดุลจะส่งผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่แรงดันไม่สมดุลจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้โดยสาร

แรงดันที่ไม่สมดุล u_U จะเป็นสัดส่วนผกผันกันของกระแสลัดวงจร S_k'' ของระบบสามเฟส ถ้ากำลังฉุดของเน็ตเวิร์ค S_e จะลดลงจากหนึ่งเฟสของสามเฟส แล้วแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลในสามเฟสเน็ตเวิร์ค ที่จุดของแหล่งจ่ายจะถูกให้มีความแม่นยำมากโดย $u_U = S_e / S_k''$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบและดำเนินการ

ในบทที่สามนี้จะทำการแยกหัวข้อในการศึกษาหรือการดำเนินการออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นการดำเนินการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม Opentrack และในส่วนที่สองจะเป็นการดำเนินการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม OpenPowerNet

3.1 โปรแกรม Opentrack

โดยโปรแกรม Opentrack จะเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบเกี่ยวกับรถไฟซึ่งเราสามารถทำการจำลองผลการออกแบบได้ด้วย โดยในการออกแบบนั้นเราสามารถทำการออกแบบได้ตั้งแต่โครงสร้างพื้นฐานอย่างเช่น รางของรถไฟ หัวรถจักร สถานีรถไฟและอื่นๆอีกเพื่อทำการกำหนดค่าต่างๆที่ต้องใช้ในการจำลอง สามารถทำการออกแบบระบบอานัติสัญญาณที่ใช้ในการเดินหรือควบคุมรถไฟ และยังสามารถออกแบบตารางการเดินรถไฟที่ซับซ้อนได้อีกด้วย ซึ่งชนิดของรถไฟที่สามารถทำการออกแบบนั้นจะขึ้นอยู่กับรถไฟว่าขับเคลื่อนในรูปแบบไหน ที่สำคัญก็จะมีการขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ การขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง การขับเคลื่อนด้วยระบบ Thermic การขับเคลื่อนด้วยระบบ Thermoelectric และการขับเคลื่อนด้วยระบบ Maglev

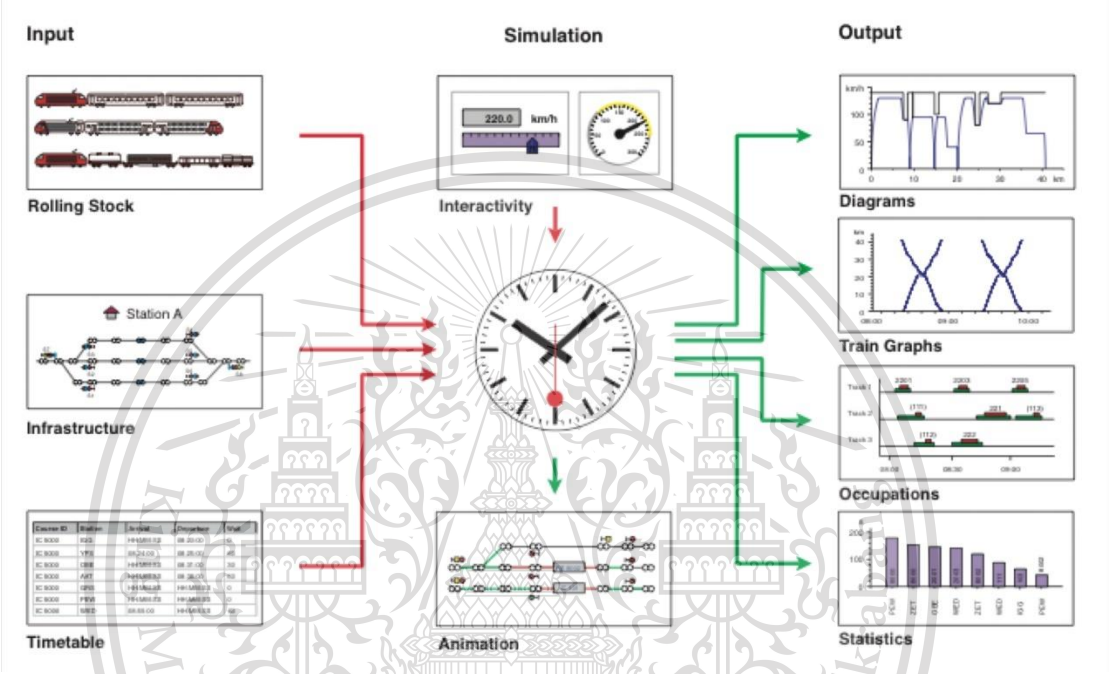
ซึ่งระบบการขับเคลื่อนของรถไฟที่จะกล่าวต่อไปในการออกแบบในที่นี้จะเป็นระบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากสองระบบนี้จะเป็นระบบที่พบหรือใช้งานกันมากที่สุดทั้งในประเทศไทยเองและต่างประเทศ

การออกแบบรถไฟหรือรถรางในโปรแกรม Opentrack จะมีอยู่ด้วยกันหลายขั้นตอนตั้งแต่การสร้างโปรเจคไฟล์ไปจนถึงการวิเคราะห์ผลจากการจำลอง ซึ่งในการออกแบบระบบรถไฟแต่ละครั้งจะทำการออกแบบเป็นส่วนๆคือ ส่วนของโครงสร้างพื้นฐานไม่ว่าจะเป็น รางรถไฟ หัวรถจักรและส่วนพ่วง สถานีรถไฟ ส่วนของระบบอานัติสัญญาณในการควบคุมการเดินของรถไฟ ส่วนของระบบตารางการเดินรถไฟที่เราสามารถออกแบบให้รถไฟนั้นสามารถวิ่งจากสถานีไหนไปถึงสถานีไหนบ้างในส่วนของโครงสร้างพื้นฐานและวิ่งตั้งแต่เวลาไหนจนถึงปลายทางเวลาไหน และเมื่อทำการออกแบบส่วนต่างๆเรียบร้อยแล้วก็สามารถทำการจำลองการเดินของรถไฟได้โดยการเดินของรถไฟนั้นจะอิงตามค่าต่างๆที่เรากำหนดในแต่ละส่วนที่กล่าวมาข้างต้น และเมื่อทำการจำลองเสร็จเรียบร้อยแล้วโปรแกรม Opentrack ก็จะแสดงผลการจำลองออกมาเพื่อให้เราทำการวิ่งเคราะห์การเดินของรถไฟต่อได้ โดยเราสามารถแสดงผลการจำลองได้หลายแบบไม่ว่าจะเป็น กราฟ ไดอะแกรม และอื่นๆอีก

โดยในรูปที่ 3.1 จะเป็นโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม OpenTrack ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีองค์ประกอบหลักดังนี้คือ 1.Input 2. Simulation และ 3.Output ซึ่ง Input นั้นประกอบไปด้วยองค์ประกอบย่อยคือ Rolling Stock, Infrastructure, Timetable ทั้ง 3 สิ่งนี้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่เรียกว่า Simulation ซึ่งจะเป็นการจำลองผลของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลขาเข้าที่นำเข้ามา ในส่วนนี้จะมีองค์ประกอบย่อยคือ Interactivity และจะส่งข้อมูลให้แปลงเป็น Animation ที่จะแสดงข้อมูลออกมาในรูปแบบกราฟฟิกเคลื่อนไหว และส่วนสุดท้ายจะเป็น Output หรือข้อมูลขาออก จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่าย เพื่อประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ลบข้อความนี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

องค์ประกอบย่อยคือ Diagrams, Train Graphs, Occupations และ Statistics ซึ่งจะเป็นข้อมูลเชิงลึกแสดงออกมาให้เห็นถึงโครงสร้างภายในที่เราได้ตั้งค่าหรือกระทำต่อโปรแกรมเอาไว้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำข้อมูลส่วนนี้ไปวิจัยหรือวิเคราะห์ต่อ ในการสร้างโครงสร้างของรถไฟหรือรถไฟฟ้าในอนาคต ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณและการสร้างสรรค์มากขึ้น ที่สำคัญยังแสดงออกมาให้เห็นแบบรูปธรรมมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม Opentrack

โปรแกรม Opentrack จะรองรับหรือใช้งานได้ดังต่อไปนี้คือ

- ใช้สร้าง ออกแบบ และกำหนดค่าต่างๆตามความต้องการสำหรับโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายรถไฟ
- การวิเคราะห์ความจุของเส้นทางและสถานีภายในเครือข่ายรถไฟ
- การคำนวณความคืบหน้าขั้นต่ำโดยใช้เครื่องมือ headway calculator ภายในโปรแกรม Opentrack
- การศึกษา Rolling stock สำหรับความต้องการในอนาคต
- การคำนวณเวลาทำงาน
- การสร้างตารางเวลาการเดินรถไฟ และการวิเคราะห์ความทนทานของตารางเวลาการเดินรถไฟโดยการจำลองวิ่งแบบครั้งเดียวหรือหลายครั้ง และการจำลองการวิ่งแบบมอนติคาร์โล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การประเมิน และการออกแบบระบบอานัติสัญญาณต่างๆเช่น ระบบ discrete block, short blocks, moving blocks, LZB, CBTC หรือควบคุมรถไฟที่ใช้การสื่อสาร, ATP, ATO, ETCS ระดับ 1, ETCS ระดับ 2, ETCS ระดับ 3, และPTC หรือการควบคุมรถไฟในเชิงบวก
- วิเคราะห์ผลกระทบของความล้มเหลวของระบบ เช่น โครงสร้างพื้นฐานหรือรถไฟขัดข้อง เป็นต้น และวิเคราะห์ความล้มเหลวจากความล่าช้าหรือดีเลย์ในระบบ
- การคำนวณกำลังหรือการใช้พลังงานของรถไฟ
- การจำลองระบบจ่ายไฟของรางรถไฟโดยทำงานควบคู่ไปกับโปรแกรม OpenPowerNet

โดยการออกแบบรถไฟหรือรถรางในโปรแกรม Opentrack นั้นจะมีหัวข้อที่สำคัญและจำเป็นในการออกแบบระบบการเดินรถไฟดังต่อไปนี้คือ

3.1.1 การควบคุมความเร็วของรถไฟ

โดยเราต้องทำการควบคุมความเร็วของรถไฟให้วิ่งด้วยความเร็วที่เหมาะสมกับสถานที่ต่างๆ อย่างเช่น เมื่อเข้าใกล้สถานีเราต้องทำการควบคุมความเร็วของรถไฟให้ลดลงเพื่อสามารถจอดรถไฟที่สถานีได้ เมื่อรถไฟวิ่งบนเส้นทางที่มีความโค้งเราต้องทำการควบคุมความเร็วให้รถไฟสามารถวิ่งผ่านเส้นทางที่โค้งนั้นได้ และเมื่อรถไฟวิ่งไปเจอกับเส้นทางที่มีความต่างระดับหรือความชันเราก็ต้องสามารถควบคุมความเร็วของรถไฟให้ผ่านเส้นทางที่มีความต่างระดับนั้นให้ได้ โดยในโปรแกรม Opentrack เราสามารถทำการควบคุมความเร็วของรถไฟโดยที่ไม่ใช่การควบคุมความเร็วแบบแมนนวลหรือการควบคุมที่หัวรถจักร ได้จากการใช้ระบบอานัติสัญญาณที่มีในโปรแกรม

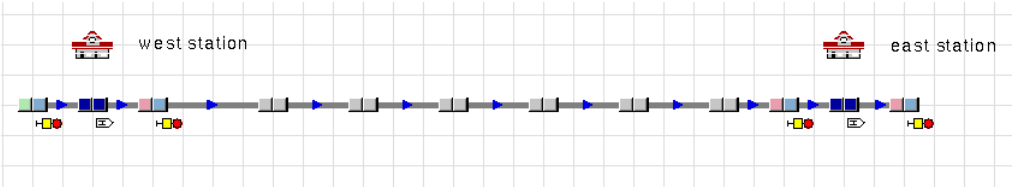
ซึ่งเราสามารถกำหนดหรือควบคุมความเร็วของรถไฟด้วยระบบอานัติสัญญาณได้สองแบบคือการใช้ Speed restriction/request Sign และการกำหนดความเร็วก่อนเข้า Route (Approach zone)

1) การใช้ Speed restriction/request Sign จะเป็นการใช้สัญญาณ 2 แบบในการควบคุมความเร็วของรถไฟคือ Speed restriction signal จะเป็นสัญญาณการจำกัดความเร็วของรถไฟเมื่อรถไฟผ่านสัญญาณนี้ความเร็วของรถไฟจะลดลงเหลือตามความเร็วที่เราจำกัดหรือกำหนดไว้ และ Speed request signal จะเป็นสัญญาณขอความเร็วของรถไฟเมื่อรถไฟผ่านสัญญาณนี้ความเร็วของรถไฟจะเท่ากับความเร็วที่เราขอหรือกำหนดไว้ ทั้งนี้มีข้อแม้ว่าในการจำกัดความเร็วหรือขอความเร็วนั้น จะต้องจำกัดหรือขอความเร็วในสถานที่หรือระยะทางที่เหมาะสมไม่อย่างนั้นรถไฟจะเบรกหรือเร่งความเร็วเพื่อให้ได้ความเร็วตามที่เรากำหนดไว้ไม่ทัน ซึ่งเมื่อเป็นไปตามนั้นรถไฟจะละเลยสัญญาณนั้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

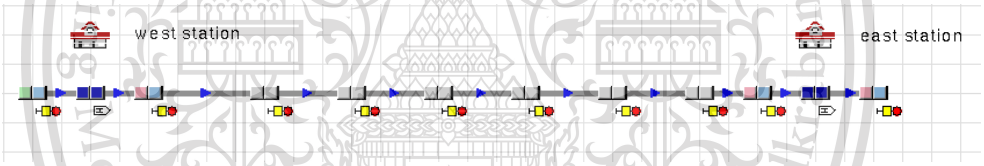
โดยขั้นตอนในการควบคุมความเร็วของรถไฟด้วยวิธีนี้จะมีดังต่อไปนี้คือ

เริ่มต้นด้วยการสร้างรางและสถานีรวมถึงการวาง Signal พื้นฐานโดยจะต้องทำการวาง Vertex 1 คู่ต่อ 1 ช่วงที่ต้องการควบคุมความเร็ว ดังรูปที่ 3.2

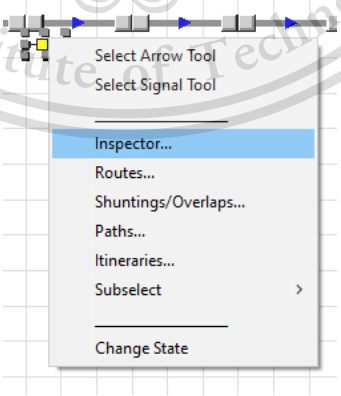


รูปที่ 3.2 โครงสร้างรางพื้นฐานในการทำช่วงควบคุมความเร็ว

ทำการวาง Signal บน Vertex ที่จะทำช่วงควบคุมความเร็ว ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นใช้ point tool คลิกที่ Signal จากนั้นคลิกขวาที่สัญญาณแล้วกดเลือก Inspector ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นหน้าต่าง Signal inspector ดังรูปที่ 3.5 จะเปิดขึ้นมา

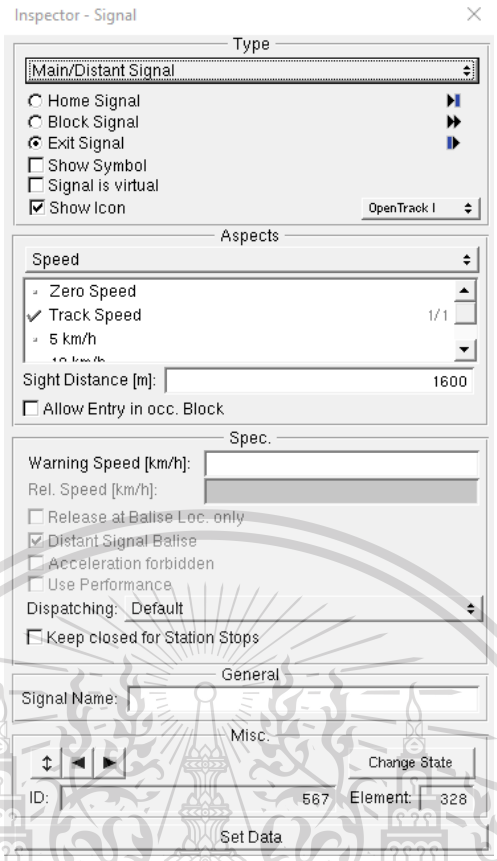


รูปที่ 3.3 การวาง Signal บน Vertex ที่ต้องการทำช่วงควบคุมความเร็ว



รูปที่ 3.4 วิธีการเปิด Signal Inspector

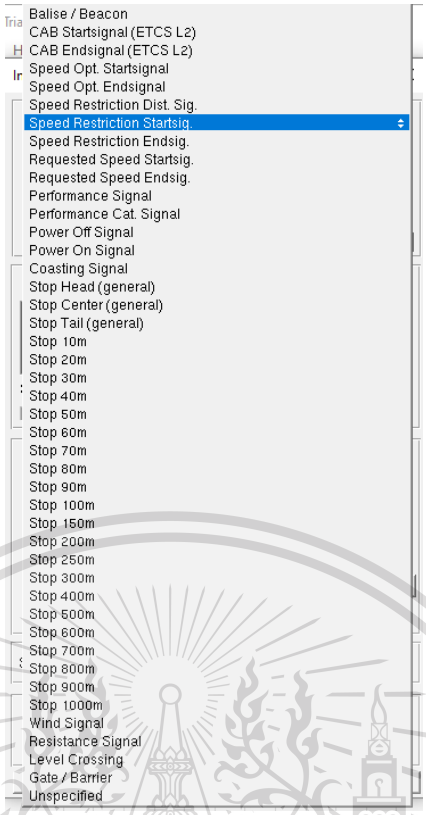
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 หน้าต่าง Signal Inspector

ทำการคลิกค้างบริเวณลูกศรในรูปที่ 3.5 แล้วเลิก Speed Restriction/Requested speed Startsig. เพื่อทำการเริ่มต้นช่วงควบคุมความเร็วดังรูปที่ 3.6 แล้วกดปุ่ม Set data Speed restriction จะจำกัดความเร็วของรถไฟในขณะที่ Requested speed จะบังคับให้รถไฟทำความเร็วให้ได้ตามที่กำหนดเมื่อผ่าน Signal เริ่มต้น

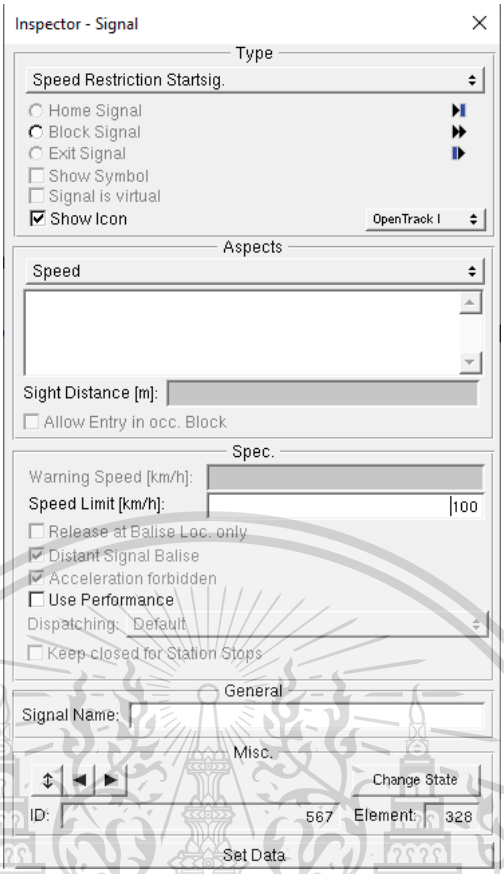
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 การวาง Signal เริ่มต้นช่วงควบคุมความเร็ว

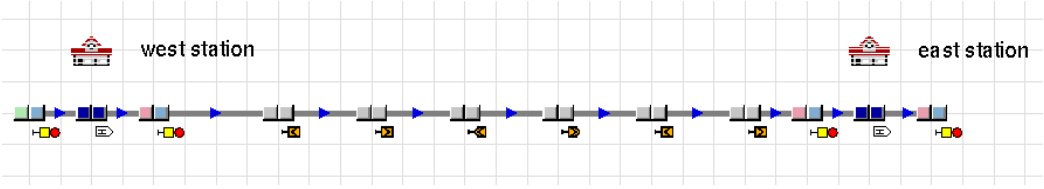
ทำการใส่ความเร็วที่ต้องการกำหนดในบริเวณลูกศรในรูปที่ 3.7 แล้วกดปุ่ม Set data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 การใส่ความเร็วที่ต้องการควบคุม

ทำการเลือก Vertex ที่จะให้เป็นจุดสิ้นสุดของช่วงควบคุมความเร็ว โดยการเปิด Signal inspector ของ Signal ที่ Vertex นั้นๆ และให้ทำเหมือนรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7 แต่เลือกเป็น Speed Restriction/Requested speed Endsig. จากนั้นกดปุ่ม Set data รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการวางช่วงควบคุมความเร็ว 3 ช่วง โดย Vertex คู่แรกและคู่ที่ 3 เป็นช่วงที่กำหนดให้มี Speed restriction ที่ความเร็ว 100km/h และคู่ที่ 2 Requested Speed ที่ 120 km/h



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการวาง Speed signal

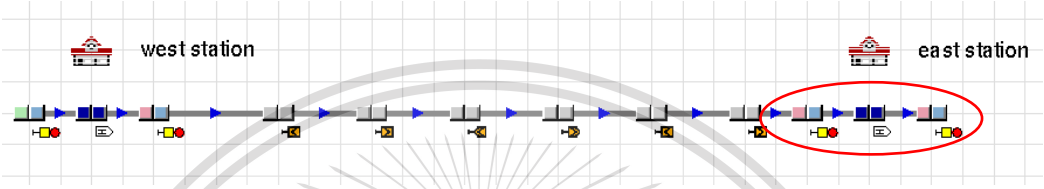
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อทำตามขั้นตอนในการควบคุมความเร็วของรถไฟดังที่ได้กล่าวมาแล้วเราก็จะสามารถแสดงผลการดำเนินการด้วยการจำลองการเดินรถไฟซึ่งจะรายละเอียดจะกล่าวในบทถัดไป

2) การกำหนดความเร็วก่อนเข้า Route (Approach zone) เป็นการควบคุมความเร็วของรถไฟโดยการกำหนดค่าที่ Route ซึ่งเป็นเส้นทางที่รถไฟจะต้องวิ่งผ่าน และเมื่อรถไฟวิ่งผ่าน Route ที่ทำการกำหนดค่าความเร็วนั้นแล้ว ความเร็วของรถไฟจะเท่ากับค่าที่กำหนดนั้น

โดยขั้นตอนในการควบคุมความเร็วของรถไฟด้วยวิธีนี้จะมีดังต่อไปนี้คือ

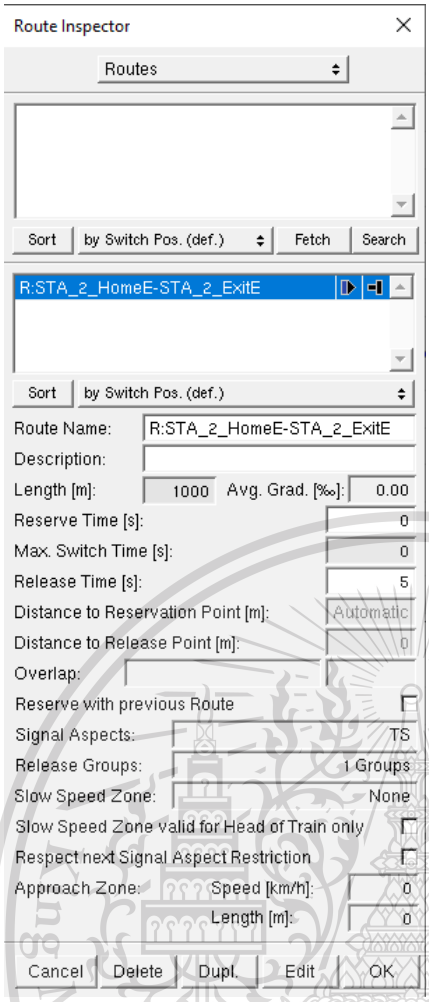
ใช้โครงสร้างเดิมจากหัวข้อที่แล้วโดยจะกำหนดให้ Route ในสถานีปลายทางมีข้อกำหนดว่าจะต้องมีความเร็วเท่าไหร่ดังรูปที่ 3.9



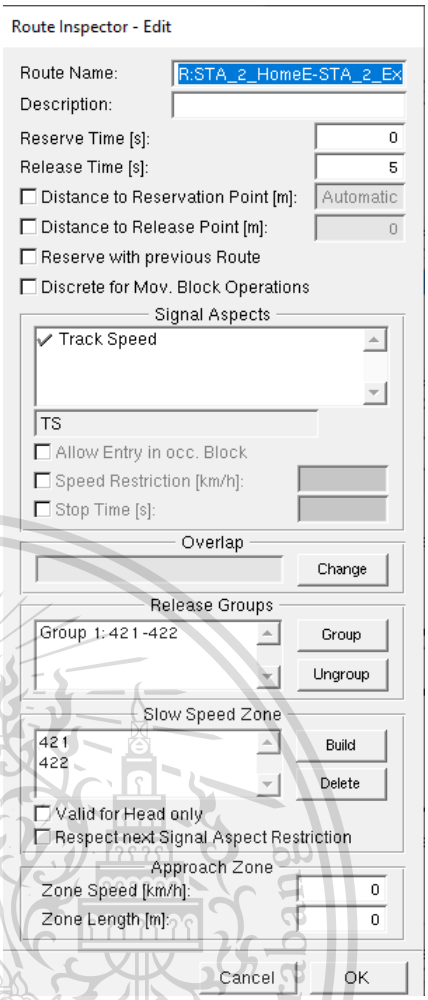
รูปที่ 3.9 เลือก Route ที่ต้องการกำหนดความเร็ว

เปิด Route inspector ของจุดเริ่มต้น Route ที่จะทำ Approach zone กดปุ่ม Edit ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 หน้าต่าง Route Inspector



รูปที่3. 11 หน้าต่าง Route Inspector-Edit

เมื่อหน้าต่าง Route Inspector – Edit ขึ้นมา ให้กรอก Speed ที่ยอมได้มากสุดใน zone และความยาวของ Zone ดังรูปที่ 3.11

และเมื่อทำตามขั้นตอนในการควบคุมความเร็วของรถไฟดังที่ได้กล่าวมาแล้วเราก็จะสามารถแสดงผลการดำเนินการด้วยการจำลองการเดินรถไฟซึ่งจะรายละเอียดจะกล่าวในบทถัดไป

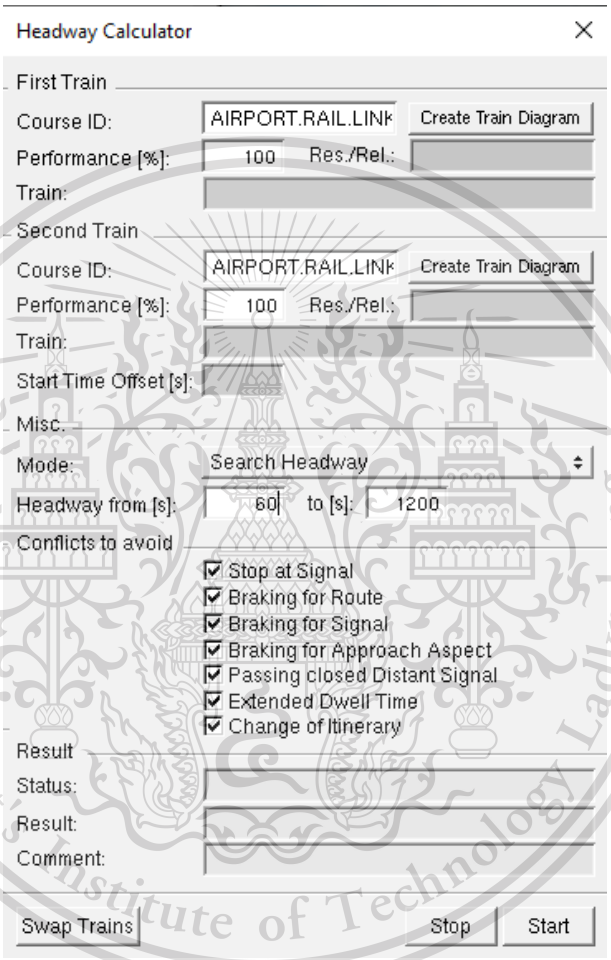
3.1.2 การใช้งาน Headway Calculator

Headway Calculator จะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีอยู่ในโปรแกรม Opentrack โดยการใช้งานนั้นเราจะต้องมีรถไฟที่ทำการสร้างองค์ประกอบต่างๆเสร็จเรียบร้อยแล้วไม่ว่าจะเป็น ตัวราง หัวรถจักรและส่วนพ่วง ระบบอานัติสัญญาณ รวมทั้งตารางการเดินรถไฟ เมื่อองค์ประกอบเหล่านี้เสร็จเรียบร้อยแล้วเราสามารถใช้ Headway Calculator เพื่อทำการจำลอง โดยหลักๆแล้วจะใช้งาน 2 แบบคือ ใช้คำนวณหาเวลาน้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟคันที่สอง และใช้คำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟสองขบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1) การใช้ Headway Calculator เพื่อคำนวณหาเวลาน้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟคันที่สอง การใช้งานในแบบนี้เราจะใช้รถไฟที่สร้างเอาไว้เสร็จเรียบร้อยแล้วดังที่กล่าวเอาไว้ข้างต้นแค่ขบวนเดียว โดยจะมีขั้นตอนการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

กดไปที่ Tools -> Headway Calculator ในโปรแกรม Opentrack จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าดังรูปที่ 3.12 มาให้



รูปที่ 3.12 หน้าต่างการใช้งานของ Headway Calculator

และเมื่อหน้าต่างในรูปที่ 3.12 แสดงขึ้นมาแล้ว จากนั้นให้ทำการใส่ชื่อรถไฟหรือ Course ID ของรถไฟที่เราต้องการหาเวลาน้อยที่สุดในการเดินรถไฟคันที่สองโดยใส่ชื่อเดียวกันไปทั้ง First Train และSecond Train ข้อควรระวังคือต้องใส่ชื่อ Course ID ให้ถูกต้องด้วยไม่อย่างนั้นจะไม่สามารถทำการ Start ได้

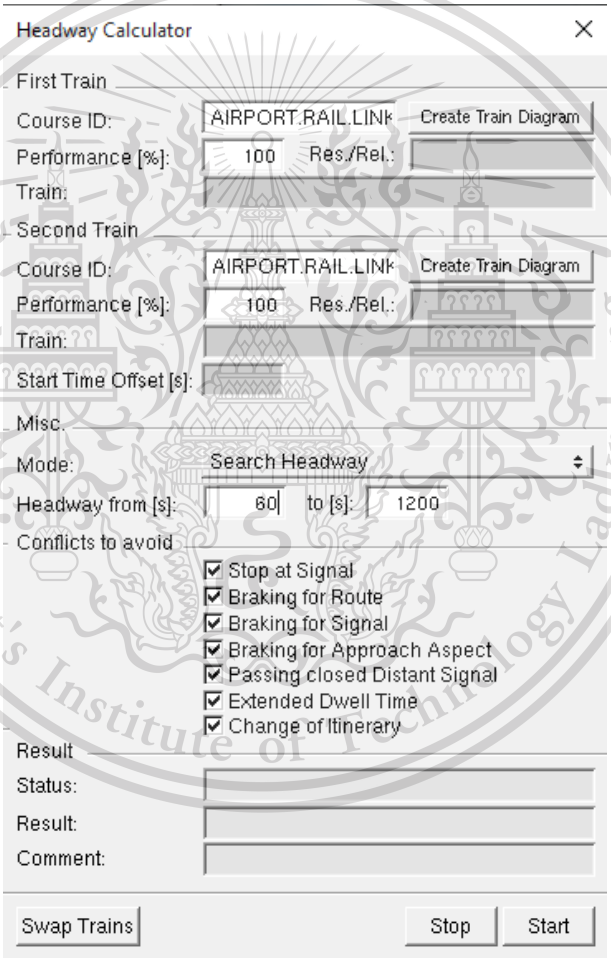
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อใส่ชื่อของรถไฟเรียบร้อยแล้วให้กดเลือก Mode ไปที่ Search Headway แล้วตั้งค่าช่วงเวลาในการค้นหาตามที่ต้องการ จากนั้นให้ทำการติ๊ก Conflict to avoid ตามต้องการแต่แนะนำ

ให้ติ๊กตามตัวอย่างในรูปไปก่อน เมื่อติ๊กเสร็จแล้วให้ทำการกด Start เพื่อเริ่มการคำนวณ และเมื่อการคำนวณหรือการจำลองเสร็จสิ้นแล้วเราสามารถใช้ผลการจำลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาต่อไปโดยจะกล่าวในบทถัดไป

2) การใช้ Headway Calculator เพื่อคำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟสองขบวน การใช้งานในแบบนี้เราจะใช้รถไฟที่สร้างเอาไว้เสร็จเรียบร้อยแล้วดังที่กล่าวเอาไว้ข้างต้นสองขบวนเพื่อทำการคำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟทั้งสอง โดยจะมีขั้นตอนการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

กดไปที่ Tools -> Headway Calculator ในโปรแกรม Opentrack จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าดังรูปที่ 3.13 มาให้



รูปที่ 3.13 หน้าต่างการใช้งานของ Headway Calculator

จากนั้นให้ทำการใส่ชื่อ Course ID ของรถไฟที่เราต้องการความขัดแย้งในการเดินรถไฟสองขบวนโดยใส่ชื่อรถไฟขบวนแรกที่ First Train และรถไฟขบวนที่สองที่ Second Train เมื่อใส่ชื่อเรียบร้อยแล้วให้กดเลือก Mode ไปที่ Search Headway แล้วตั้งค่าช่วงเวลาในการค้นหาตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต้องการ จากนั้นให้ทำการติ๊ก Conflict to avoid ตามต้องการแต่แนะนำให้ติ๊กตามตัวอย่างในรูปไปก่อน เมื่อติ๊กเสร็จแล้วให้ทำการกด Start เพื่อเริ่มการคำนวณ และเมื่อการคำนวณหรือการจำลองเสร็จสิ้นแล้วเราสามารถใช้ผลการจำลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาต่อไปโดยจะกล่าวในบทถัดไป

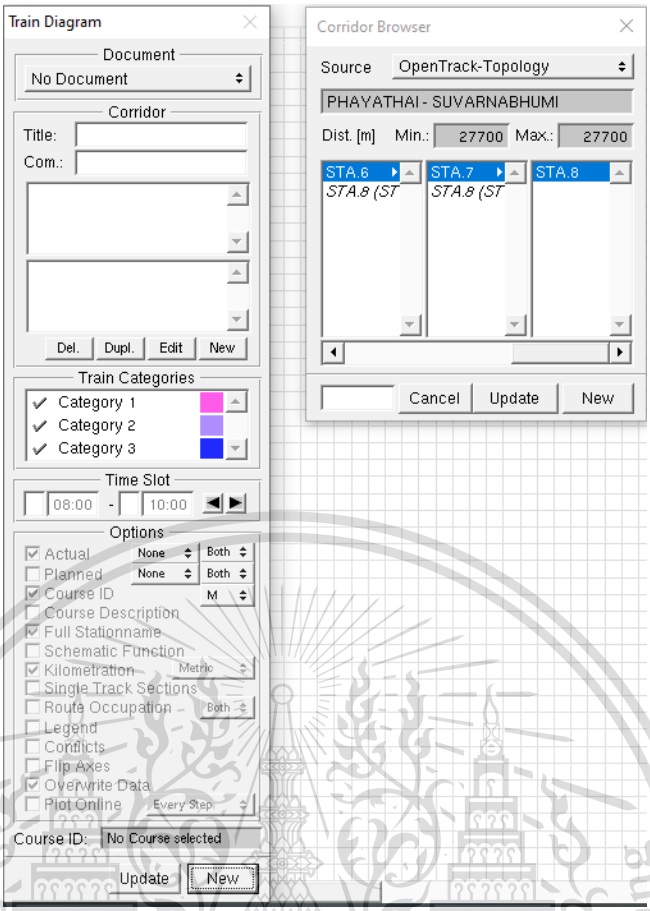
3.1.3 การใช้งานกราฟรถไฟ (Train Diagram)

กราฟรถไฟเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีอยู่ในโปรแกรม Opentrack เราสามารถใช้งานกราฟรถไฟในการประเมินผลการเดินทางของขบวนรถไฟต่างๆได้ แต่จะใช้งานได้ก็ต่อเมื่อไฟล์นามสกุล .opentrack นั้นได้บันทึกข้อมูลทั้งการคำนวณและตารางเวลาการเดินรถไฟเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงจะสามารถนำข้อมูลจากไฟล์ดังกล่าวมาสร้างกราฟรถไฟได้

โดยการใช้งานกราฟรถไฟจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

เราสามารถใช้งานกราฟรถไฟได้โดยกดไปที่ Tools -> Train Diagram ในโปรแกรม Opentrack เมื่อกดแล้วจะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.14 มาให้ จากนั้นให้กด New เมื่อกด New จะขึ้นหน้าต่าง Corridor Browser จากนั้นให้ทำการกดเลือก Station ในการสร้างกราฟ เมื่อถึงสถานีปลายทางที่เราต้องการให้กด New แล้วทำการบันทึกข้อมูลเส้นทางที่เราจะนำไปแสดงบนกราฟต่อไป เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จแล้วไฟล์ของกราฟจะถูกบันทึกด้วยนามสกุล .otsimcor และสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรม Open Track

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.14 หน้าต่างการใช้งานของ Train Diagram

ที่หน้าต่างของกราฟรถไฟเราสามารถปรับเปลี่ยนการแสดงผลได้ ด้วยการกดเลือกใน Option ตามที่เราต้องการ อีกทั้งยังสามารถกำหนดเวลาการแสดงผลของกราฟได้ที่การปรับตั้งเวลาที่ Time Slot และเราสามารถรันโปรแกรมใหม่อีกครั้งด้วยการกดรันบนหน้าต่าง Simulation เพื่อแสดงการสร้างกราฟแบบออนไลน์โดยจะกล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 โปรแกรม OpenPowerNet

โปรแกรม OpenPowerNet เป็นซอฟท์แวร์จำลองระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าของรถไฟ โดยโปรแกรม OpenPowerNet จะต้องทำงานร่วมกับโปรแกรม OpenTrack เริ่มจากการที่โปรแกรม OpenTrack จำลองการควบคุมการทำงานของคอร์สและระบบขับเคลื่อนไดนามิกส์ หลังจากนั้นโปรแกรม OpenPowerNet จะทำการจำลองระดับแรงดันของระบบทางไฟฟ้าโดยจะขึ้นอยู่กับการใช้กระแสของคอร์สและตำแหน่ง

โปรแกรม OpenTrack สามารถทำได้หลายอย่างดังต่อไปนี้ การกำหนดข้อกำหนดสำหรับโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายรถไฟ การวิเคราะห์ความจุของสายและสถานี การคำนวณ headways ขั้นต่ำ การศึกษาสต็อกกลิ้ง การคำนวณเวลารัน การสร้างตารางเวลา การประเมินและออกแบบระบบการส่งสัญญาณต่างๆ การวิเคราะห์ผลกระทบของความล้มเหลวและความล่าช้าของระบบ จากนั้นโปรแกรม OpenPowerNet จะมาทำต่อในส่วนที่เกี่ยวกับไฟฟ้าเช่น การวางสายตัวนำ การคำนวการใช้พลังงานของรถไฟและการจำลองระบบจ่ายไฟของรถไฟ เป็นต้น

การจำลองในโปรแกรม OpenPowerNet นั้นก็เช่นเดียวกันกับการจำลองในโปรแกรม OpenTrack เพราะต้องถึงแม้จะแตกต่างกันที่โปรแกรม OpenTrack จะออกแบบและจำลองในส่วนอื่นๆที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าแต่โปรแกรม OpenPowerNet ก็มีรายละเอียดในการสร้างตั้งแต่โปรเจคไฟล์ไปจนถึงขั้นวิเคราะห์ข้อมูลยิบย่อยเช่นเดียวกับโปรแกรม OpenTrack โดยกว่าจะถึงขั้นวิเคราะห์ข้อมูลจากการจำลองนั้นต้องเริ่มตั้งแต่การสร้างโปรเจคไฟล์ การสร้างแฟ้มข้อมูลเพื่อเอาไว้ใช้เก็บข้อมูลต่างๆเพื่อใช้ในการจำลองของโปรแกรมซึ่งโปรแกรม OpenPowerNet จะใช้ทั้งข้อมูลจากที่สร้างภายในโปรแกรมเองและข้อมูลจากโปรแกรม OpenTrack อีกด้วยซึ่งจะมีทั้งทั้งที่เป็นไฟล์นามสกุล .opentrack ไฟล์ข้อมูลที่บันทึกเอาไว้ตรง Preference และไฟล์เอาต์พุตที่ได้จากโปรแกรม OpenTrack

ในส่วนของไฟล์ที่ต้องสร้างภายในโปรแกรม OpenPowerNet นั้นจะประกอบไปด้วยไฟล์นามสกุล .xml ไฟล์นามสกุล .opnengine ไฟล์นามสกุล .sel ซึ่งเป็นไฟล์ของการอนาไลซิสเมื่อผ่านการอนาไลซิสแล้วโปรแกรม OpenPowerNet จะทำการสร้างแฟ้มข้อมูลที่เก็บไฟล์ที่ได้จากการอนาไลซิสทั้งหมดเองโดยอัตโนมัติและจะจัดเก็บอยู่ในโปรเจคไฟล์เดียวกันกับแฟ้มบันทึกข้อมูลอื่นๆดังที่กล่าวมาข้างต้น

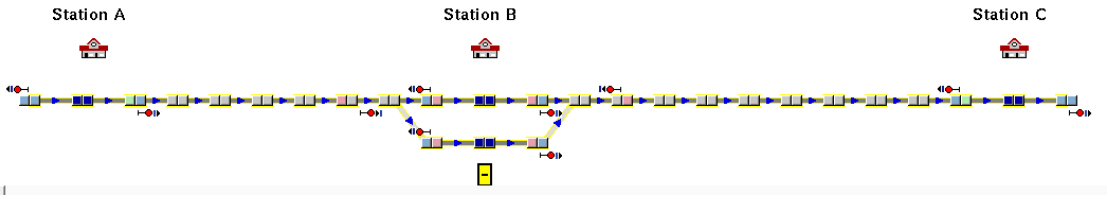
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โปรแกรม OpenPowerNet จะมีฟังก์ชันการใช้งานหลักดังต่อไปนี้คือ

- การวิเคราะห์การไหลของโหลด (Load flow analysis) สำหรับเครือข่ายระบบไฟฟ้าแบบ 1AC, 2AC, และDC
- การคำนวณแรงขับเคลื่อนของรถไฟสำหรับโปรแกรม OpenTrack
- การคำนวณการเบรกและพลังงานที่สามารถกู้คืนสำหรับการจำลองและการวิเคราะห์เครือข่าย
- โมเดลรถไฟขั้นสูงพร้อมกับระบบการเดินรถไฟ การเบรกรถไฟ การจำกัดกระแส ตัวประกอบกำลังเทียบกับแรงดัน ฯลฯ
- รองรับการออกแบบที่ใช้รุ่นเครื่องยนต์ที่มีระบบขับเคลื่อนหลายแบบ
- การคำนวณอัตโนมัติของการเชื่อมต่อแม่เหล็กระหว่างตัวนำ
- การสร้างแบบจำลองการจัดเก็บพลังงานของสถานีเพื่อรักษาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าและการประหยัดพลังงาน
- การสร้างแบบจำลองของการจัดเก็บพลังงานของเครื่องยนต์ที่ชาร์จจาก OCS และอนุญาตให้ส่วนแทร็กฟรีของ OCS
- การสร้างแบบจำลองของหม้อแปลงบูสเตอร์
- การสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์จำกัดแรงดันไฟฟ้า
- การคำนวณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรตามเส้นหรือ Line ที่ทำการออกแบบ
- การคำนวณแรงดันไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์กระแสคงที่เพื่อวิเคราะห์เครือข่ายไฟฟ้า
- สมดุลของพลังงาน (Energy balance)
- การพิจารณาพฤติกรรมการเดินของรถไฟ
- การวิเคราะห์โหลดของอุปกรณ์
- การคำนวณแรงดันไฟฟ้าสัมผัส (Touch voltage)
- การคำนวณและการแสดงภาพเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- การแสดงผลโดยใช้การวิเคราะห์อัตโนมัติของเครื่องมือวิเคราะห์
- การวิเคราะห์อัตโนมัติสร้างตารางและไดอะแกรมในภาษาต่างๆ กำหนดโดยผู้ใช้งานและใช้อักขระ UTF-8

และต่อไปจะเป็นการรายละเอียดการใช้งานโปรแกรม OpenPowerNet ซึ่งจะออกแบบในส่วนของระบบไฟฟ้า และโปรแกรม OpenTrack ซึ่งจะเป็นการออกแบบเพื่อจำลองในส่วนอื่นที่ไม่ใช่ระบบไฟฟ้า โดยการออกแบบระบบไฟฟ้าในโปรแกรม OpenPowerNet เราจะใช้รางดังแสดงในรูปด้านล่างซึ่งสร้างมาจากโปรแกรม OpenTrack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.15 เส้นทางการเดินรถไฟที่สร้างมาจากโปรแกรม OpenTrack เพื่อทำการออกแบบระบบไฟฟ้าในโปรแกรม OpenPowerNet

โดยจากรูปที่ 3.15 รางหรือเส้นทางการเดินของรถไฟนี้จะประกอบไปด้วยรถไฟ 2 ขบวนหรือ 2 Course คือ ABCI_01 และ CBAI_01 โดย Course ABCI_01 จะวิ่งจากสถานี A ไปยังสถานี C และที่สถานี B Course ABCI_01 จะใช้แทร็กล่างในการเดินรถไฟ ส่วน Course CBAI_01 จะวิ่งจากสถานี C ไปยังสถานี A และที่สถานี B Course CBAI_01 จะใช้แทร็กบนในการเดินรถไฟ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นว่ารถไฟที่ใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงนั้นได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยเองและต่างประเทศ ในที่นี้ตัวอย่างที่จะนำมาแสดงการดำเนินการที่เกี่ยวกับโปรแกรม OpenPowerNet จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 หัวข้อคือ รถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับและรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง

3.2.1 รถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

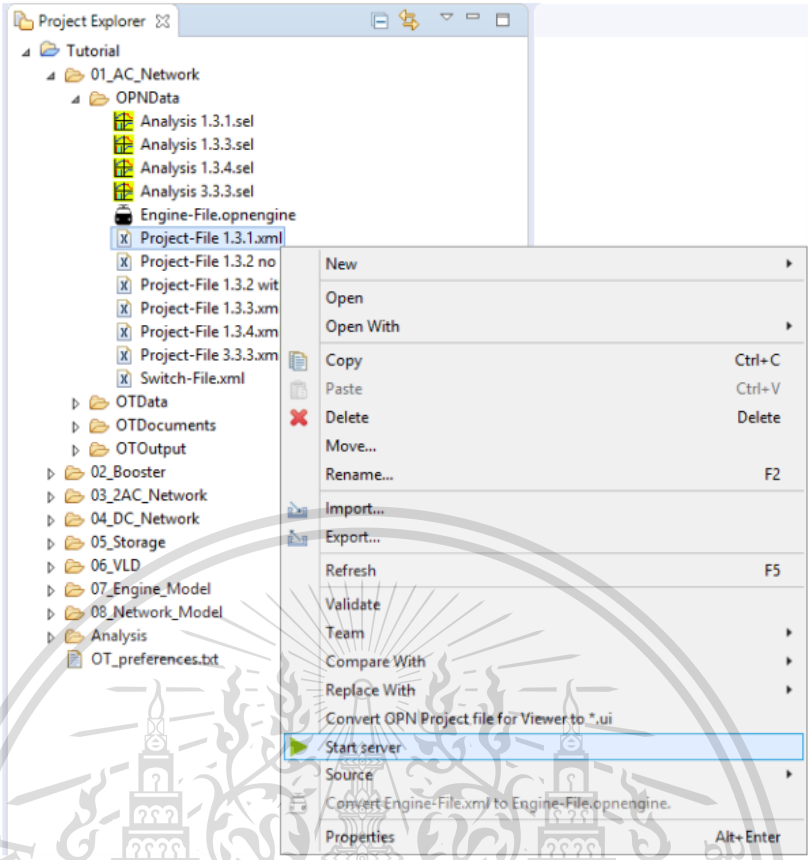
การดำเนินการต่างๆที่จะกล่าวถึงในหัวข้อรถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับนี้จะอยู่ในส่วนทั้งโปรแกรม OpenTrack และโปรแกรม OpenPowerNet เนื่องจากการดำเนินการต่างๆในโปรแกรม OpenPowerNet จะเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากโปรแกรม OpenTrack และเป็นส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟโดยตรง

โดยการออกแบบรถไฟหรือรถรางในโปรแกรม OpenPowerNet นั้นจะมีหัวข้อที่สำคัญและจำเป็นในการออกแบบระบบการเดินรถไฟดังต่อไปนี้คือ

1) Simulation การจำลองนั้นจะสามารถทำได้หลังจากที่ทำการจำลองและปรับแก้ในโปรแกรม OpenTrack เสร็จเรียบร้อยแล้ว และการสร้างไฟล์นามสกุล .xml ไฟล์นามสกุล .opnengine ที่ทำการเชื่อมข้อมูลกันระหว่างไฟล์ทั้งสองภายในโปรแกรม OpenPowerNet เรียบร้อยแล้วเช่นกัน

และสำหรับการ simulation แนะนำให้เก็บรักษาข้อมูลเอาไว้ก่อนในกรณีที่ต้องการจะเก็บข้อมูลเอาไว้เอง จากนั้นจึงเริ่มการ simulation โดยสร้าง database ใหม่โดยกด create new database จาก OpenPowerNet menu ชื่อ pscresults ต่อมาเมื่อทำการสร้างเสร็จแล้วให้ทำการกด start server จากแทบเมนูดังรูป 3.16

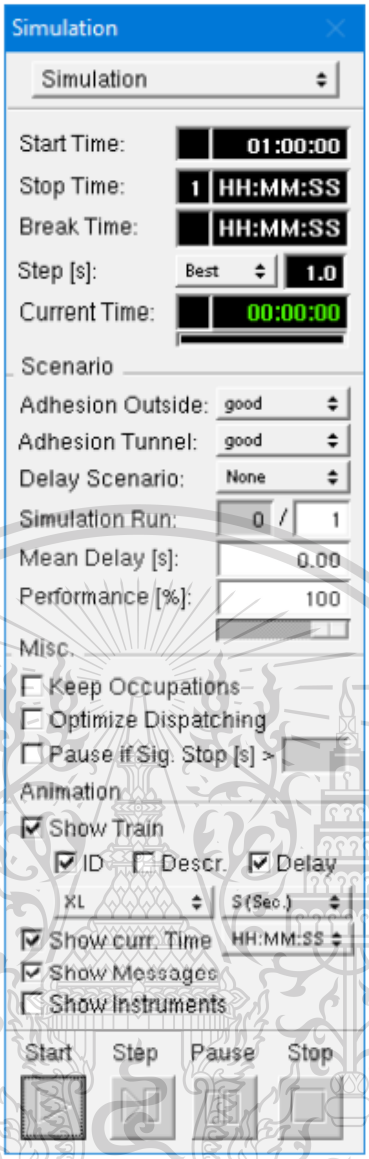
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.16 กด Start server ที่แถบเมนู

แต่ก่อนที่เราจะทำการกด start server นั้น อีกวิธีคือการเปิดไฟล์ในโปรแกรม OpenTrack แล้วทำการเปิดไฟล์ที่จะทำการ simulation จากนั้นทำการเชื่อมต่อทั้ง OpenTrack และ OpenPowerNet เข้าด้วยกัน จากนั้นเลือก courses ที่ต้องการ ในที่นี้เลือก ABCI_01 และ CBAI_01 และเราสามารถเริ่มการ simulation ได้ด้วยการกดปุ่ม start บน OpenTrack simulation panel setting ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

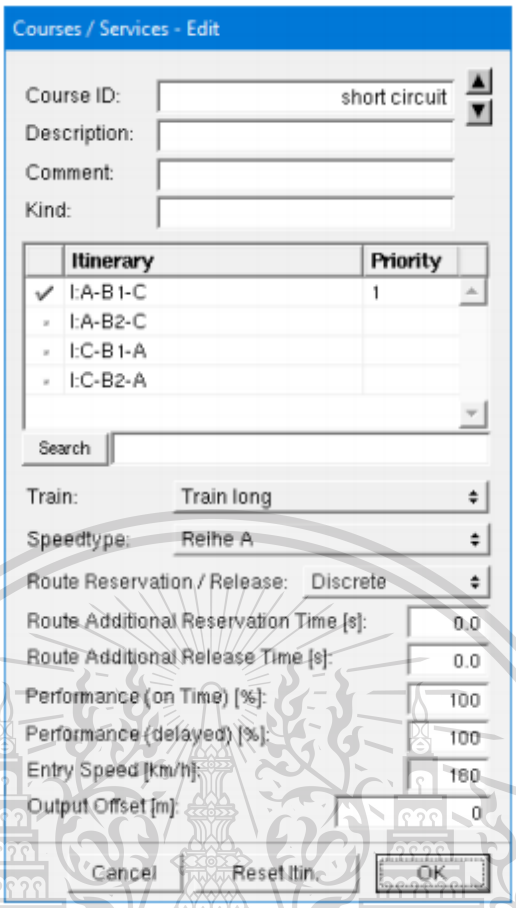


รูปที่ 3.17 OpenTrack simulation panel setting

ในโปรแกรม OpenTrack นั้นถ้าเรายังไม่ได้มี license ตัวเต็ม ให้เราตั้งค่า time step ในโปรแกรม OpenTrack เป็น 4 วินาที จะทำให้ผลของการ simulation ออกมาได้ง่ายและไฟล์ไม่ใหญ่จนเกินไป

2) Short circuit การ Short circuit เป็นการวิเคราะห์ electrical network ซึ่งเหมาะที่จะทำการคำนวณกระแส Short circuit โดยในโปรแกรม OpenPowerNet นี้ จะถูกทำโดยมีต้นแบบเครื่องยนต์แบบพิเศษ ที่จะทำการประมาณผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ เราจะใช้โปรแกรม Excel file “ShortCircuitFeeder.xlsx” โดยกดไปที่ (OpenPowerNet > Excel Tools > Short Circuit by Station Feeder, I=f(s)) และ “ShortCircuit2Feeder.xlsx” (OpenPowerNet > Excel Tools > Short Circuit Current by two Station Feeder, I=f(s))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.18 Short circuit course configuration in OpenTrack

ในโปรแกรม OpenPowerNet Project-File เราจำเป็นที่จะต้องใส่คุณลักษณะใหม่เข้าไปใน engine โดยให้เราไปที่ไฟล์ XML หรือไฟล์นามสกุล .xml จากนั้นทำการแก้ไขโค้ดในนี้เพื่อทำการหา short circuit

```
<Vehicle
    eddyCurrentBrake="false"
    engineID="Engine1">
    <Propulsion
        engine="electric"
        supply="AC 25kV 50Hz"
        constantVoltage_V="0"
        pantoCurrentLimitationRecovering="none"
        pantoCurrentLimitationConsuming="none"
        useAuxPower="true"
        fourQuadrantChopperPhi="none"
        regenerativeBrake="none"
        tractiveEffort="maxPower/maxTractEffort">
        <MeanEfficiency />
    </Propulsion>
</Vehicle>
```

รูปที่ 3.19 XML file ของ short circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการ Short circuit simulation เราต้องการที่จะหา short circuit current ที่สถานีย่อย (substation) ที่จำเป็น สำหรับการติดตั้งของสถานีย่อยที่ได้รับการตั้งค่าการป้องกันแล้ว ซึ่งในไฟล์ tutorial เราใช้ TSS_05 และ power off TSS_80 โดยทำการเปิดสวิตช์ที่ตัวมอเตอร์ T1 ใน TSS_80 โดยการเข้าไปเปลี่ยนแปลงค่าสถานะตั้งต้นของสวิตช์ TSS_80_T1_OCS และ TSS_80_T1_Rails จาก close เป็น open หลังจากที่เราได้ทำการเปลี่ยนแปลงไปแล้วข้างต้น เราต้องทำการจำลอง (simulation) อีกครั้งใน course name ที่ชื่อ short circuit ซึ่งผลจากการจำลองจะได้กล่าวในบทถัดไป

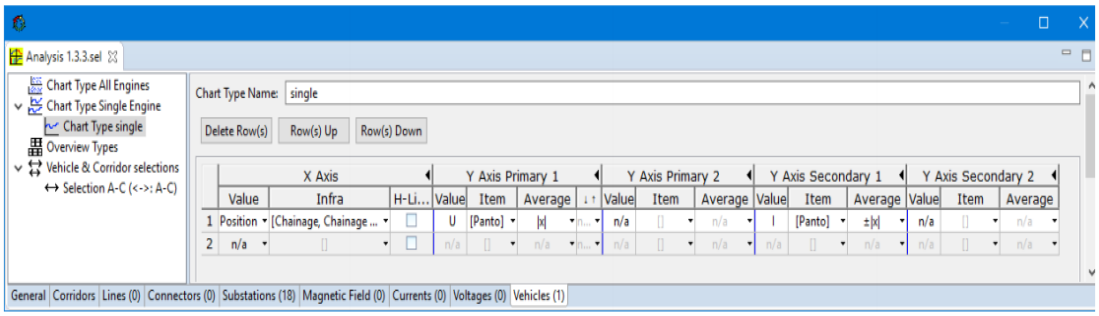
3) Constant current เป็นการตรวจสอบแรงดันเพนโทกราฟในเน็ตเวิร์ค ซึ่งเราต้องการตำแหน่งของกระแสคงที่ (Constant current) ในแต่ละ slice ตามรางของเส้นทางนั้นๆ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายๆ โดยการ OpenPowerNet แล้วเลือก course ที่ต้องการใน OpenTrack แล้วเลือกที่ชื่อ “constant current” และใช้ itinerary จาก Station A ที่ Track 1 ใน Station B ถึง Station C จากนั้นทำการใส่ timetable จากการที่เราได้เห็นการ simulation ก่อนหน้านี้แล้ว ค่ากระแสต่ำสุดของ short circuit current จะอยู่ที่ 2300 A ดังนั้นเราควรที่จะใช้กระแสที่ต่ำกว่านั้นคือ 2000 A สำหรับการ simulation นี้ มิเช่นนั้นตัว network จะถูกรับภาระมากเกินไป ให้เราเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงโค้ดได้ดังนี้ โดยไปที่ Project-File แล้วเปิดหน้าที่ทำการแก้ไขโค้ดของไฟล์ .xml จากนั้นทำการแก้ไขโค้ดตามรูปด้านล่าง

```
<Vehicle
    eddyCurrentBrake="false"
    engineID="Engine1">
    <Propulsion
        engine="electric"
        supply="AC 25kV 50Hz"
        constantVoltage_V="2000"
        pantoCurrentLimitationRecovering="none"
        pantoCurrentLimitationConsuming="none"
        useAuxPower="true"
        fourQuadrantChopperPhi="none"
        regenerativeBrake="none"
        tractiveEffort="maxPower/maxTractEffort">
        <MeanEfficiency />
    </Propulsion>
</Vehicle>
```

รูปที่ 3.20 XML file ของ constant current

จากนั้นให้เราไปเลือก chart type single โดยการที่ให้เรากดไปที่ Vehicles แล้วเลือก H-Line ได้ดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.21 Chart Type single

จากนั้นให้เราทำการ simulation ซึ่งผลจากการจำลองจะได้กล่าวในบทถัดไป

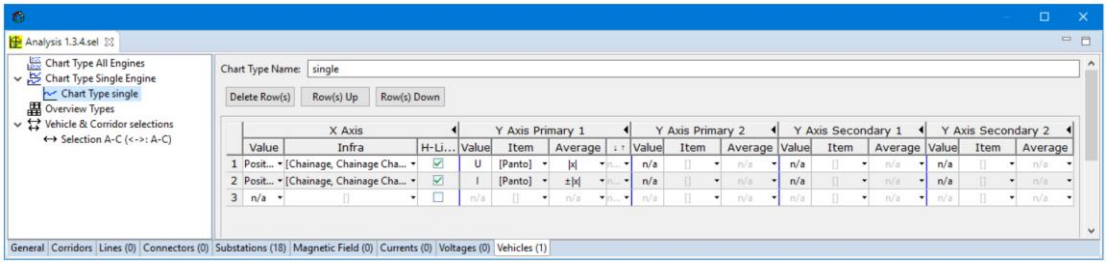
4) Failure scenario ในขั้นตอนนี้เราจะมาอธิบายว่าถ้าเราต้องการตัดการเชื่อมต่อของ Transformer ใน TSS_80 จากเวลา 01:05:00 ถึง 01:22:00 ขณะที่เวลานั้นเราใช้ supplied จาก TSS_05 เท่านั้น ใน OpenTrack เราจะใช้ courses ABCI_01 และ CBAI_01 จากค่าตั้งต้นที่มีมาให้แล้ว สำหรับ OpenPowerNet เราจำเป็นที่ต้องปรับเปลี่ยน Project-File เล็กน้อย ทำการเปลี่ยนชื่อใน comment เป็น “failure scenario” และทำการเพิ่ม switchStateFile = “Switch – File.xml”

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<OpenPowerNet
    xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
    xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://www.openpowernet.de/schemas/OpenPowerNet.xsd"
    name="Tutorial AC Network"
    comment="failure scenario"
    maxIterations="1000"
    maxFailedIterations="100"
    odbcDsn="pscresults"
    record2DB="true"
    engineFile="Engine-File.opnengine"
    switchStateFile="Switch-File.xml"
    simulationStart_s="3600">
```

รูปที่ 3.22 XML file ของ Failure scenario

หลังจากเปลี่ยนแปลงแล้ว อย่าลืมกลับไปเปลี่ยนค่า constant current ให้เป็นค่า default ด้วย จากนั้นอย่าตรวจสอบว่าเราได้เลือก Chart type single แล้วเรียบร้อยดังรูปที่ 3.23 หลังจากนั้นก็ทำการ simulation โดยผลจากการจำลองนั้นจะได้กล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.23 Chart Type single ของ Failure scenario

3.2.2 รถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง

การดำเนินการต่างๆที่จะกล่าวถึงในหัวข้อรถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะอยู่ในส่วนทั้งโปรแกรม OpenTrack และโปรแกรม OpenPowerNet เนื่องจากการดำเนินการต่างๆในโปรแกรม OpenPowerNet จะเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากโปรแกรม OpenTrack และเป็นส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟโดยตรง

โดยการออกแบบรถไฟหรือรถรางในโปรแกรม OpenPowerNet นั้นจะมีหัวข้อที่สำคัญและจำเป็นในการออกแบบระบบการเดินรถไฟดังต่อไปนี้คือ

1) Simulation สำหรับคำอธิบายของการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ในรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะเป็นเช่นเดียวกันกับการจำลองสถานการณ์(Simulation) ในรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และเมื่อไม่ได้ใช้สิทธิ์การใช้งานแบบ Full/Modular ให้ตั้งค่า time step ในโปรแกรม OpenTrack สำหรับการเริ่มจำลองเป็น 4 วินาที จะทำให้ผลของการ simulation ออกมาได้ง่ายและไฟล์ไม่ใหญ่จนเกินไป

2) Short circuit ในการเริ่มต้นทำ Short circuit DC ให้เราทำตามวิธีคู่มือของการทำ Short circuit AC โดยทำการเข้าไปปรับแก้ไขโค๊ดตรงไฟล์ XML และทำการเพิ่มconstantVoltage_V = “0” เข้าไปตาม รูปด้านล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
<ATM>
    <Vehicles>
        <Vehicle
            eddyCurrentBrake="false"
            engineID="Engine1">
            <Propulsion
                engine="electric"
                supply="DC 3000V"
                constantVoltage_V="0"
                pantoCurrentLimitationRecovering="none"
                pantoCurrentLimitationConsuming="I=f(U)"
                useAuxPower="true"
                fourQuadrantChopperPhi="none"
                regenerativeBrake="none"
                tractiveEffort="maxPower/maxTractEffort">
                <MeanEfficiency />
            </Propulsion>
        </Vehicle>
    </Vehicles>
```

รูปที่ 3.24 ปรับแก้โค๊ดในไฟล์ XML

หลังจากที่เราทำการ simulation ผลจากการจำลองจะได้กล่าวในบทต่อไป

3) Constant current หลักการทำให้กระแสคงที่นั้น ให้เราเข้าไปเปลี่ยนโค๊ดในไฟล์เดิมของ DC โดยเปลี่ยนกระแสให้เป็น constantCurrent_A = “2000” หลังจากนั้นกดบันทึกไฟล์แล้วทำการเข้าไปที่ analysis เพื่อทำการนำข้อมูลที่ได้ออกมาในรูปแบบของกราฟ

```
<Vehicles>
    <Vehicle
        eddyCurrentBrake="false"
        engineID="Engine1">
        <Propulsion
            engine="electric"
            supply="DC 3000V"
            pantoCurrentLimitationRecovering="none"
            pantoCurrentLimitationConsuming="I=f(U)"
            useAuxPower="true"
            fourQuadrantChopperPhi="none"
            regenerativeBrake="none"
            tractiveEffort="maxPower/maxTractEffort"
            constantCurrent_A="1000">
            <MeanEfficiency />
        </Propulsion>
    </Vehicle>
</Vehicles>
```

รูปที่ 3.25 การแก้ไขส่วนของโค้ด Constant current DC

โดยผลจากการจำลองและการอนาไลซิสจะได้กล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4) Failure scenario ให้เราทำตามคู่มือของ Failure scenario เช่นเดียวกันกับรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ดังในที่กล่าวมาก่อนหน้านี้โดยทำการใส่โค้ด switchStateFile= “Switch-File.xml” ดังรูปข้างล่าง

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<OpenPowerNet
    xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
    xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://www.openpowernet.de/schemas/OpenPowerNet.xsd"
    name="Tutorial DC Network"
    comment="Failure Test"
    maxIterations="1000"
    maxFailedIterations="100"
    odbcDsn="pscresults"
    record2DB="true"
    engineFile="Engine-File.opnengine"
    switchStateFile="Switch-File.xml"
    simulationStart_s="3600">
```

รูปที่ 3.26 การแก้ไขส่วนของโค้ด Failure scenario DC

โดยผลจากการจำลองและการอนาไลซิสจะได้กล่าวในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

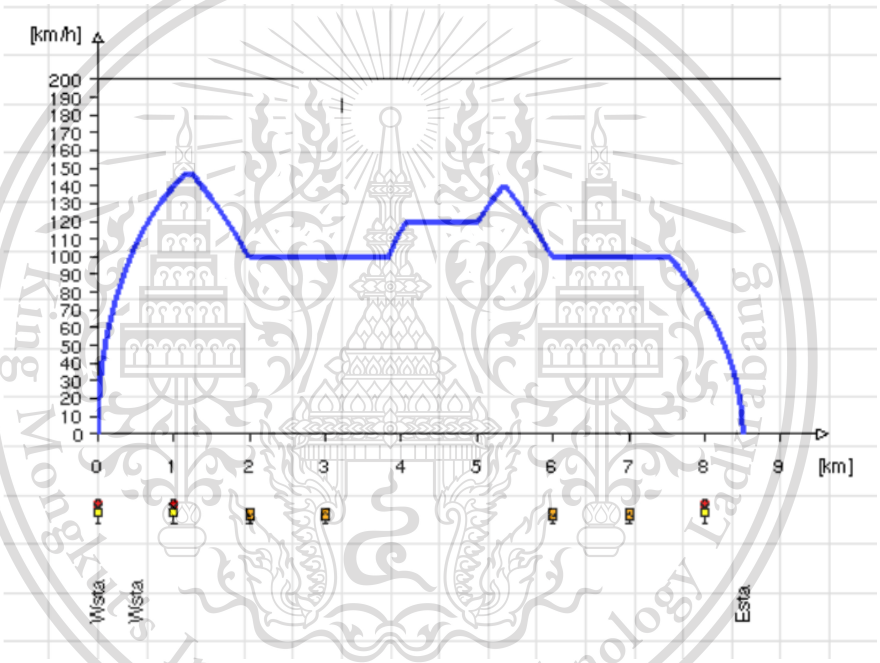
บทที่ 4

ผลจากการจำลองผลโปรแกรม OpenTrack และ OpenPowerNet

โปรแกรม OpenTrack และ OpenPowerNet เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองผลระบบรถไฟฟ้า ในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบการทดลองการใช้ฟังก์ชันโปรแกรมในแบบต่างๆซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การควบคุมความเร็วโดยใช้ Signaling

จากการทดลองควบคุมความเร็วโดยการวางป้ายสัญญาณ เมื่อจำลองผลออกมาแล้วได้กราฟดังรูปด้านล่าง



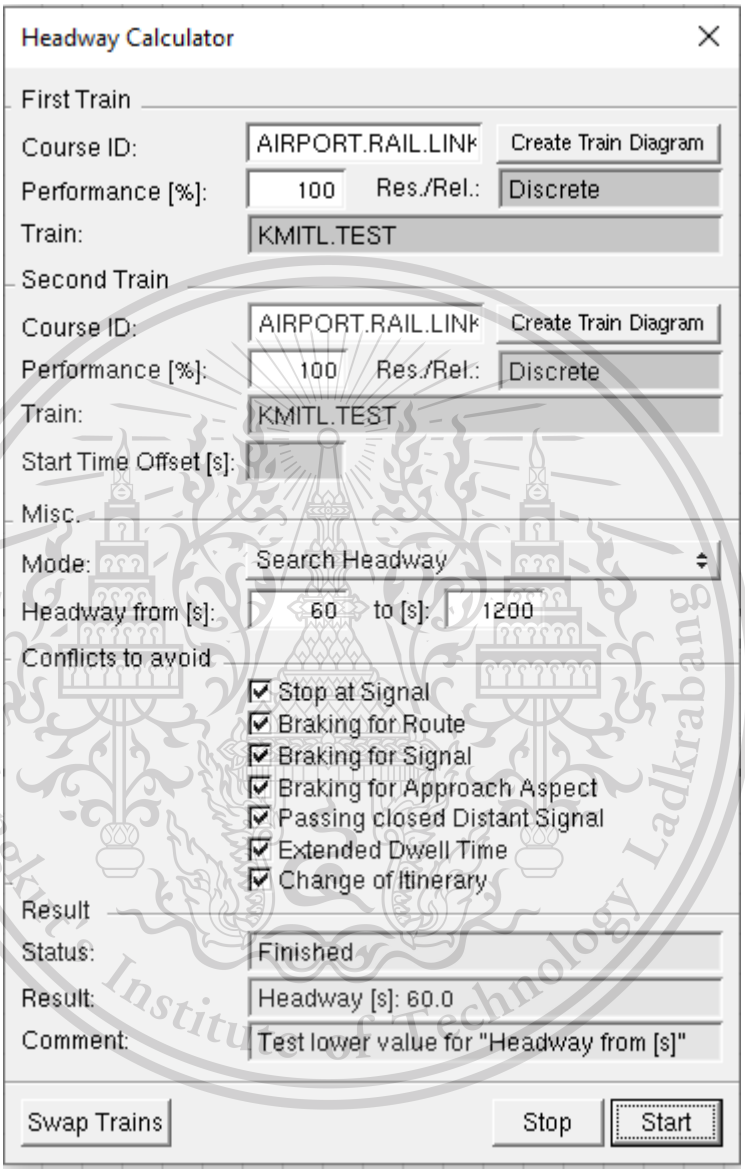
รูปที่ 4.1 กราฟความเร็วของรถไฟเมื่อใส่สัญญาณควบคุมความเร็ว

จากรูปจะเห็นได้ว่า รถไฟจะทำการเร่งความเร็วเร็วขึ้นเรื่อยๆเมื่อออกจากสถานีต้นทางจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะทำการชะลอเพื่อเตรียมเข้าสู่เขตจำกัดความเร็วที่ 100 km/h เมื่อพ้นเขตแรกแล้วกราฟแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของรถไฟที่จะเตรียมตัวเข้าสู่เขตกำหนดความเร็วที่ 120 km/h โดยคงความเร็วที่ 100 km/h ไว้สักพักก่อนเร่งให้ถึง 120 km/h ที่สัญญาณเริ่มต้นเขตกำหนดความเร็ว เมื่อพ้นแล้ว รถไฟจะทำการเร่งเครื่องขึ้นก่อนที่จะชะลอลงอีกครั้งเพื่อเตรียมเข้าสู่เขตกำหนดความเร็ว 100 km/h ที่ 2 เมื่อพ้นเขตกำหนดความเร็วที่ 2 ก็ใกล้จะถึงสถานีแล้ว รถไฟจึงไม่ทำการเร่งเครื่องขึ้นอีกก่อนที่จะชะลอเพื่อทำการจอดที่สถานีปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 Headway Calculator

4.2.1 การคำนวณหาเวลาน้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟคันที่สอง
เมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้วผลการคำนวณจะออกมาดังรูปด้านล่าง



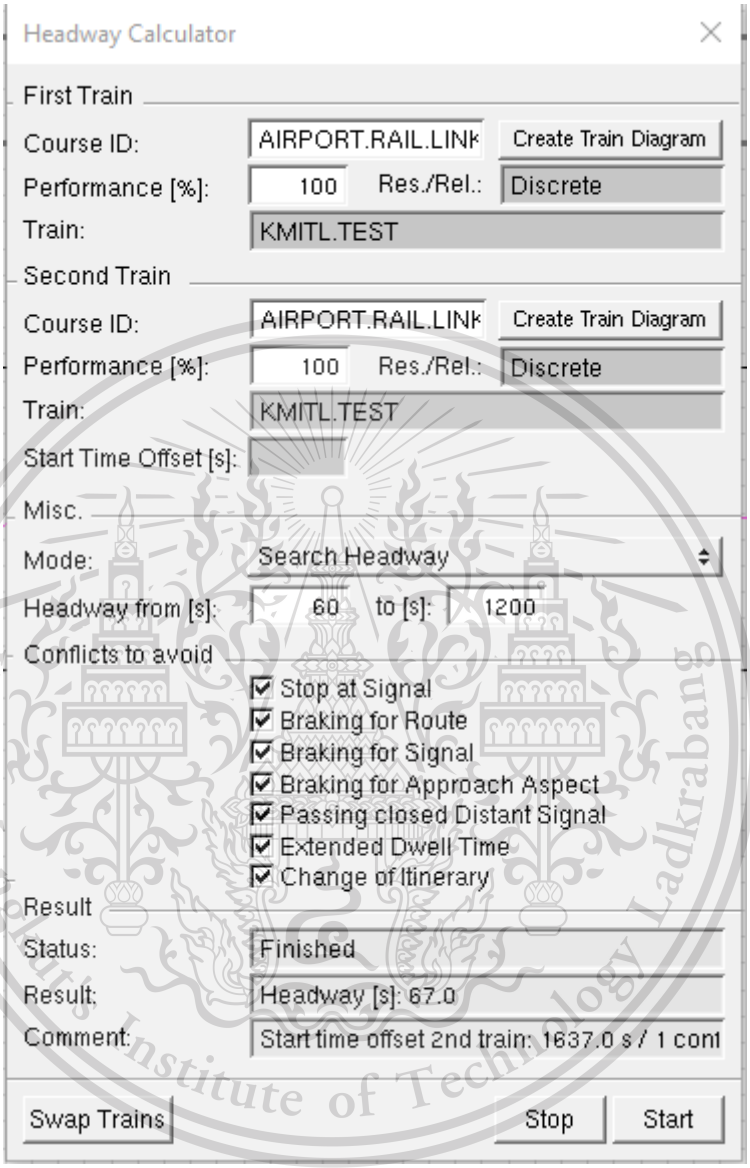
รูปที่ 4.2 ผลการคำนวณหาเวลาที่น้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟคันที่สอง

จากผลการคำนวณในช่อง result จะได้ว่า เวลาที่น้อยที่สุดในการเดินรถของรถไฟขบวนที่สองคือวินาทีที่ 60 จึงจะไม่มีเหตุขัดข้องเกิดขึ้นในการเดินรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การคำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟสองขบวน

เมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้วผลการคำนวณจะออกมาดังรูปด้านล่าง



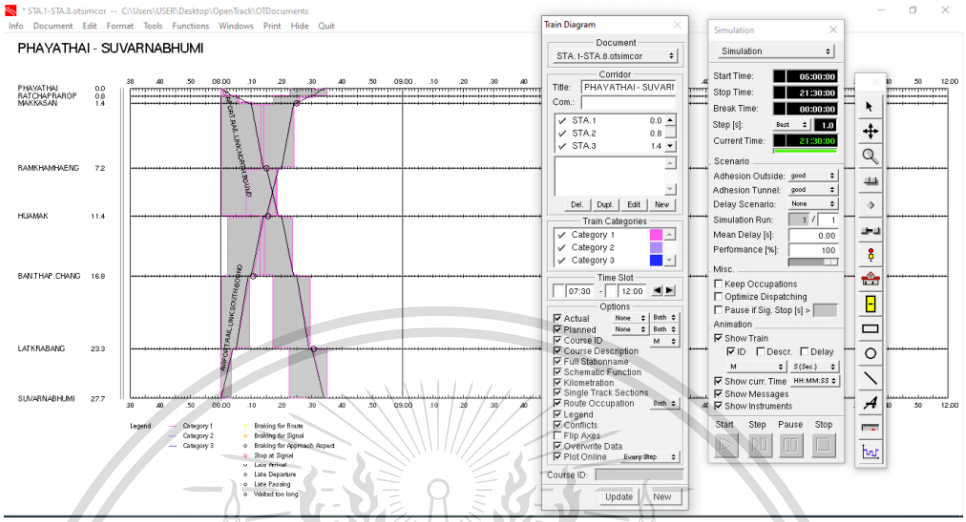
รูปที่ 4.3 ผลการคำนวณหาความขัดแย้งของรถไฟสองขบวน

จากรูป 4.3 จะเห็นได้ว่าในหน้าต่างการแจ้งเตือนไม่แจ้งเหตุขัดข้องใดๆแสดงว่าตารางการเดินรถสามารถดำเนินการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 Train Diagram

การสร้าง Train Diagram ได้ผลดังรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 4.4 Train Diagram

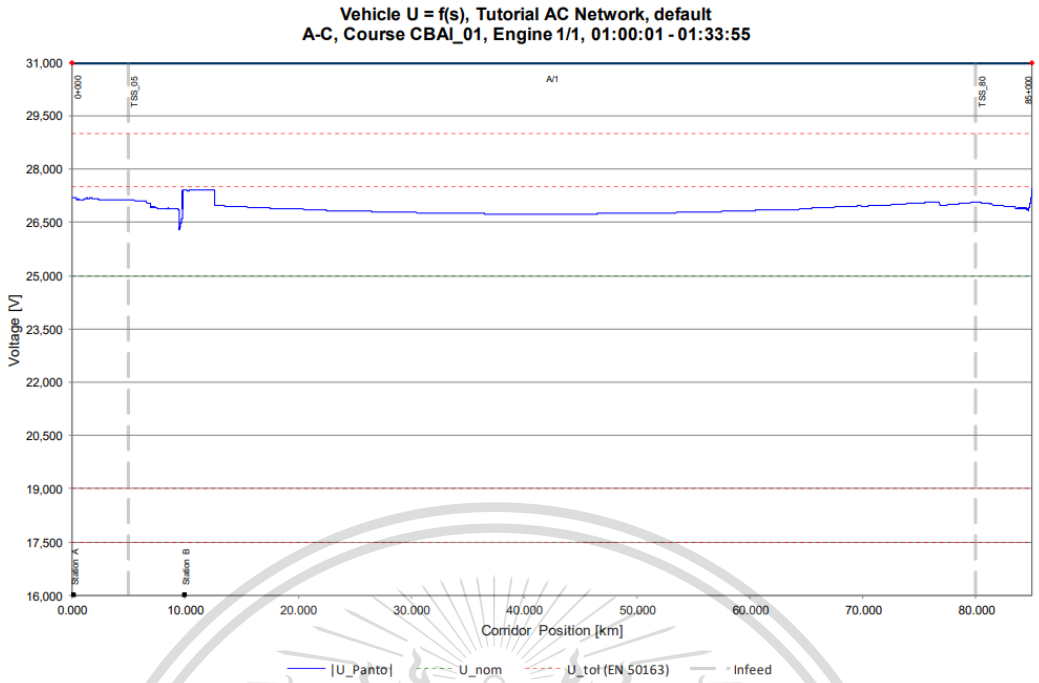
จากรูป Train Diagram จะแสดงการเดินรถออกมาเป็นแผนภาพ โดยเส้นในกราฟคือขบวนรถ แกน Y คือสถานี แกน X คือเวลา ซึ่งการทำแผนภาพออกมาเช่นนี้จะทำให้มองเห็นภาพการเดินรถได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

4.4 ระบบ AC

4.4.1 แรงดัน Pantograph

จากการจำลองและวิเคราะห์ผลสามารถแสดงรูปกราฟแรงดัน Pantograph ในสถานการณ์ปกติได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



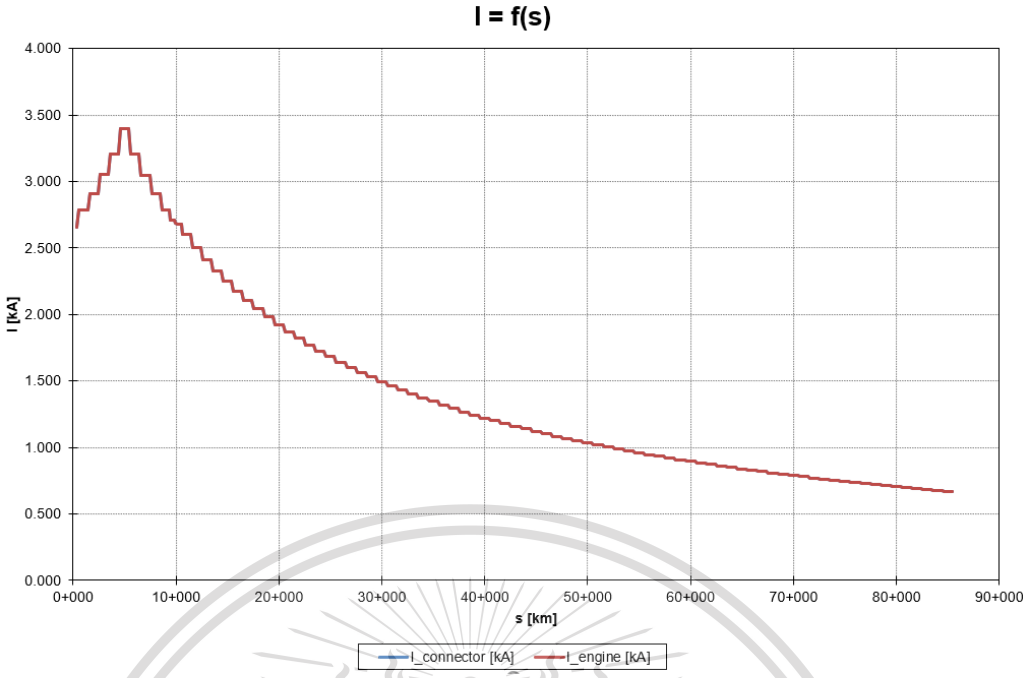
รูปที่ 4.5 แรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI ของการจำลองผล

รูป 4.5 แสดงแรงดัน Pantograph ของการทดลอง โดยจะแสดงค่าแรงดัน Pantograph ในแต่ละกิโลเมตรของเส้นทางเดินรถ CBAI ในสภาวะปรกติ

4.4.2 Short Circuit Current

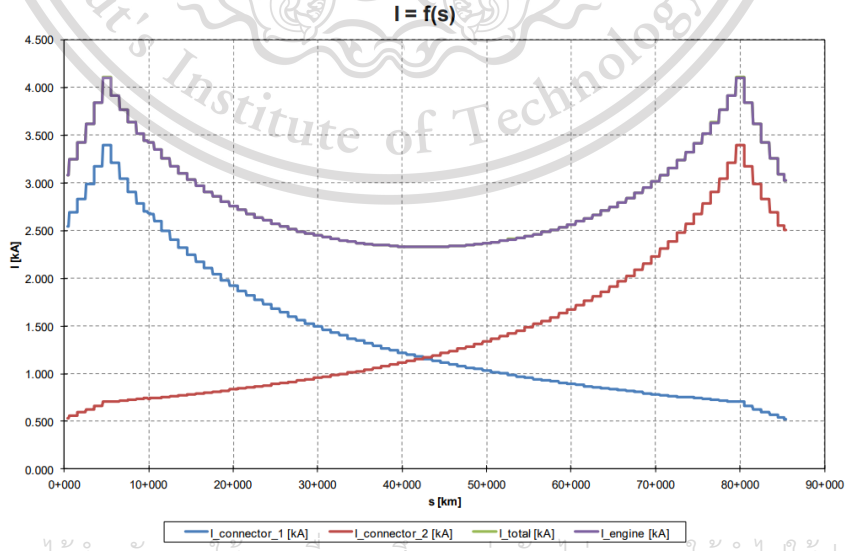
ในการทดลองหาค่ากระแสลัดวงจร เมื่อทำการจำลองผลออกมาแล้วจะได้รูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 ค่ากระแสลัดวงจรในระบบกรณีมีสถานีไฟฟ้าเดียว

รูป 4.6 แสดงค่ากระแสลัดวงจรในระบบกรณีมีสถานีไฟฟ้าเดียวตั้งอยู่ที่กิโลเมตรที่ 5 จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่ากระแสลัดวงจรน้อยสุดระหว่าง Contact wire และรางมีค่าประมาณ 670 A สำหรับกรณีที่เป็นสถานีไฟฟ้าสองแห่งโดยแห่งที่สองอยู่ที่กิโลเมตรที่ 80 เมื่อจำลองผลออกมาจะได้รูปด้านล่างนี้



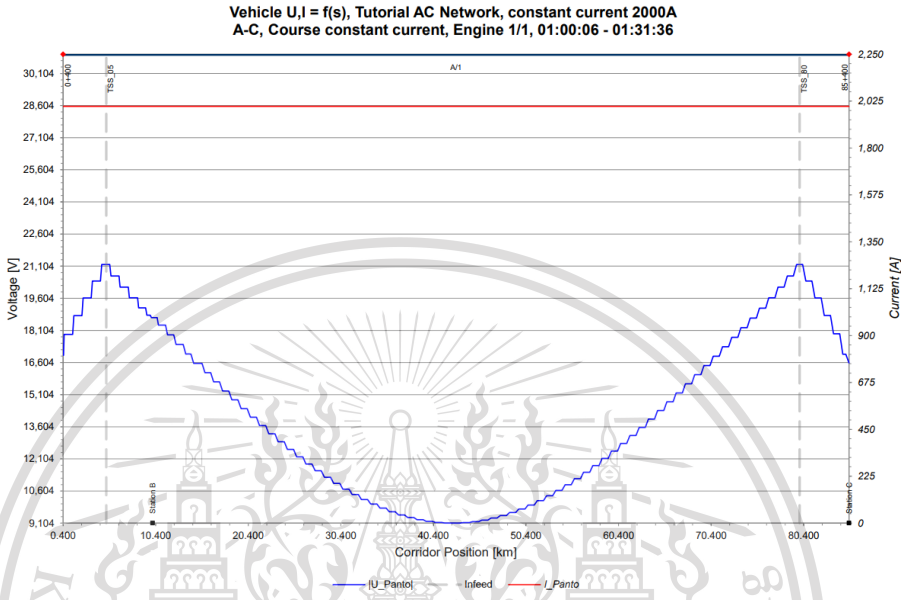
รูปที่ 4.7 กราฟกระแสลัดวงจรกรณีมีสถานีไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง

จากรูปจะเห็นว่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดมีค่าประมาณ 2300 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is for educational purposes only. Not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.3 Constant Current

ในการตรวจสอบแรงดัน Pantograph ของระบบ เราได้ทำการตั้งค่ากระแสให้คงที่ตลอดระยะการเดินรถ (กรณี 2 สถานีไฟฟ้า) เมื่อทำการจำลองผลออกมาแล้วจะได้รูปด้านล่าง



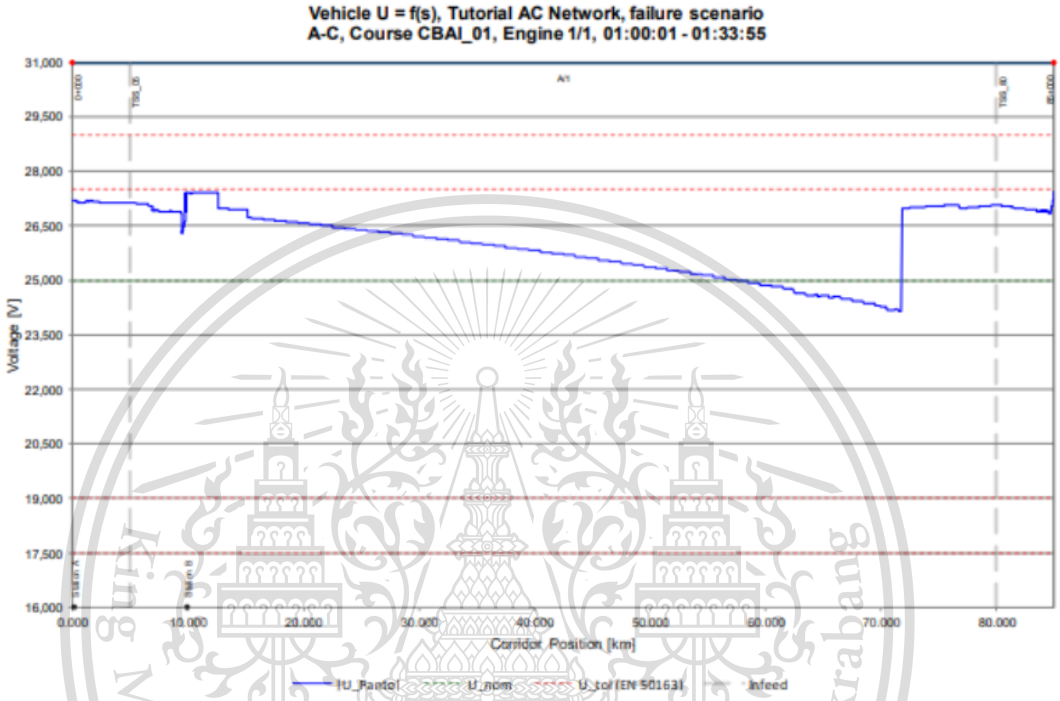
รูปที่ 4.8 การจำลองผล Constant Current ของระบบ AC

รูป 4.8 ได้แสดงถึงแรงดันตามระยะทางระบบในกรณีที่กระแสคงที่ จะเห็นได้ว่าแรงดันจะสูงที่สุดตรงจุดที่สถานีไฟฟ้าต่อเชื่อมอยู่และแรงดันจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆเมื่อห่างจากจุดเชื่อมสถานีไฟฟ้าออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.5 Failure Scenario

ในการจำลองเหตุขัดข้องโดยการตัดการเชื่อมต่อของหม้อแปลงของ substation หนึ่งในช่วง 01:05:00 ถึง 01:22:00 ทำให้ช่วงเวลานั้นรถไฟจะรับไฟฟ้าจาก substation เดียวเท่านั้น เมื่อจำลองผลออกมาแล้วจะได้กราฟแรงดันดังนี้



รูปที่ 4.9 กราฟแรงดัน Pantograph ของเส้นทางเดินรถ CBAI เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (AC)

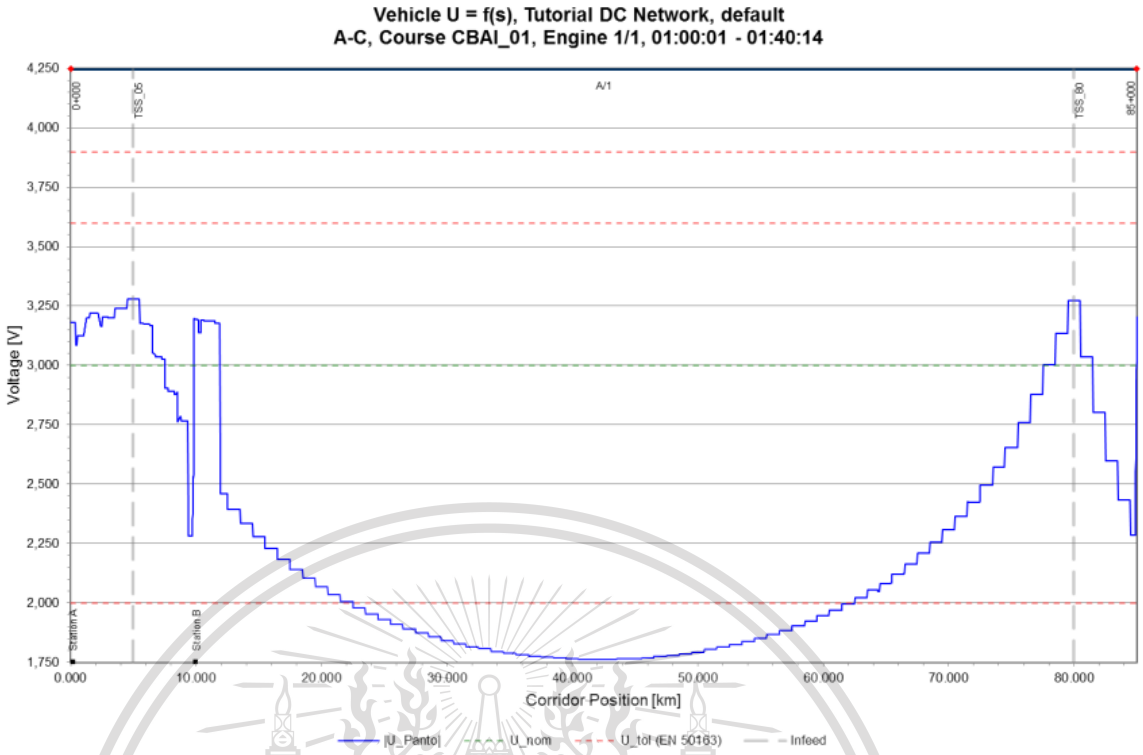
จากรูปจะเห็นได้ว่า แรงดัน Pantograph จะค่อยๆตกลงเรื่อยๆตั้งแต่ประมาณกิโลเมตรที่ 15 ก่อนที่จะเด้งกลับขึ้นมาเมื่อ Fault หมดไปที่กิโลเมตรที่ 70

4.5 ระบบ DC

4.5.1 แรงดัน Pantograph

จากการจำลองและวิเคราะห์ผลสามารถแสดงรูปกราฟแรงดัน Pantograph ในสถานการณ์ปกติได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



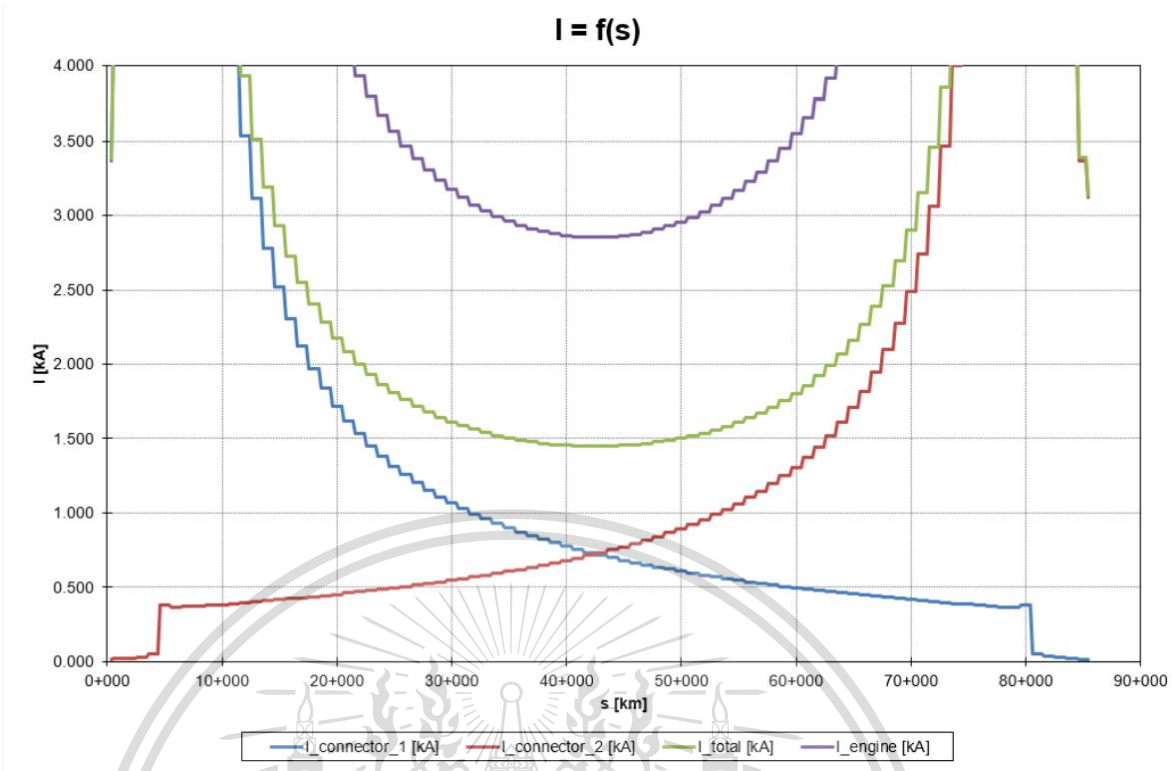
รูปที่ 4.10 แรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI ระบบ DC ในสภาวะปกติ

รูป 4.10 แสดงแรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI โดยจะแสดงค่าแรงดัน Pantograph ในแต่ละกิโลเมตรของเส้นทางในสภาวะปรกติ

4.5.2 Short Circuit Current

ในการทดลองหาค่ากระแสลัดวงจร เมื่อทำการจำลองผลออกมาแล้วจะได้รูปด้านล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



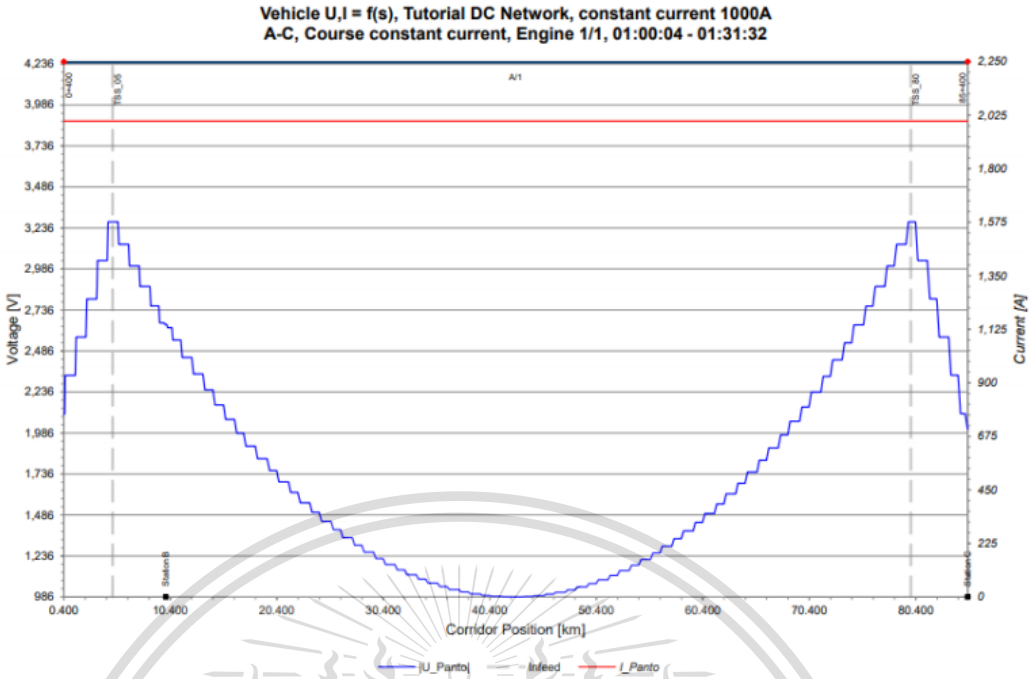
รูปที่ 4.11 กราฟกระแสลัดวงจรของระบบ DC

ในกราฟสามารถดูค่ากระแสลัดวงจรบริเวณตำแหน่งต่างๆของระบบได้

4.5.3 Constant Current

ในการตรวจสอบแรงดัน Pantograph ของระบบ เราได้ทำการตั้งค่ากระแสให้คงที่ตลอดระยะการเดินรถ (กรณี 2 สถานีไฟฟ้า) เมื่อทำการจำลองผลออกมาแล้วจะได้รูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



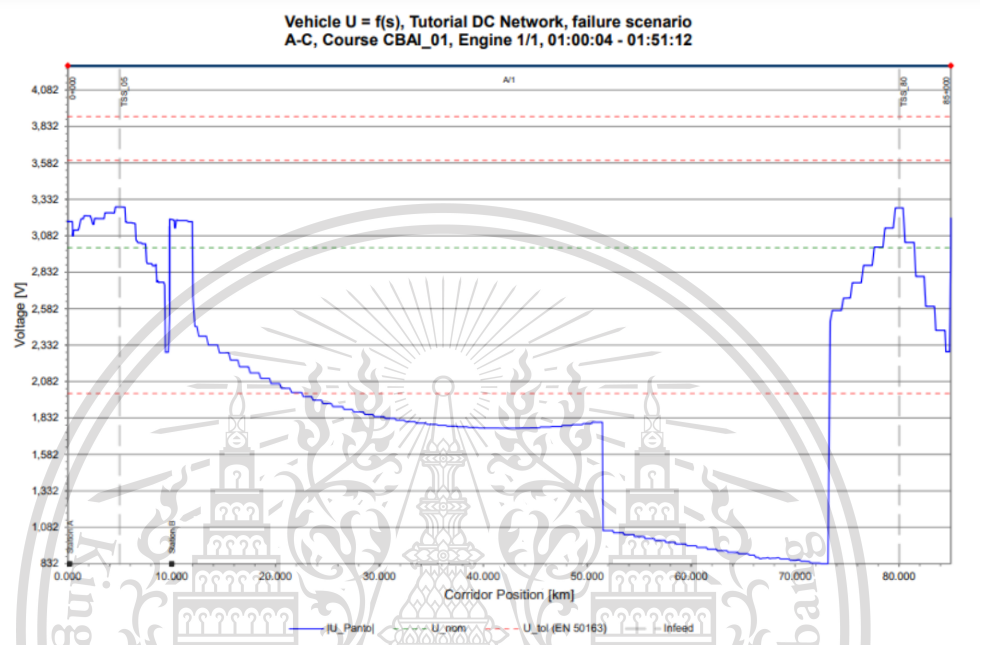
รูปที่ 4.12 การจำลองผล Constant Current ในระ DC

รูป 4.12 ได้แสดงถึงแรงดันตามระยะทางระบบในกรณีที่กระแสคงที่ จะเห็นได้ว่าแรงดันจะสูงที่สุดตรงจุดที่สถานีไฟฟ้าต่อเชื่อมอยู่และแรงดันจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆเมื่อห่างจากจุดเชื่อมสถานีไฟฟ้าออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.4 Failure Scenario

ในการจำลองเหตุขัดข้องโดยการตัดการเชื่อมต่อของหม้อแปลงของ substation หนึ่งในช่วง 01:05:00 ถึง 01:22:00 ทำให้ช่วงเวลานั้นรถไฟจะรับไฟฟ้าจาก substation เดียวเท่านั้น เมื่อจำลองผลออกมาแล้วจะได้กราฟแรงดันดังนี้



รูปที่ 4.13 กราฟแรงดัน Pantograph เส้นทางเดินรถ CBAI เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (DC)

จากกราฟจะเห็นว่าแรงดันจะเกิดการตกลงอย่างฉับพลันแถบกิโลเมตรที่ 51 และกลับขึ้นมาในช่วงกิโลเมตรที่ 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาโปรแกรม OpenTrack และ OpenPowerNet ในการออกแบบระบบรถไฟฟ้า สามารถสรุปความสามารถของทั้งสองโปรแกรมได้ดังนี้

5.1.1 การควบคุมการเดินรถของรถไฟ

โปรแกรม OpenTrack สามารถสร้างระบบรางและกำหนดค่าต่างๆของการเดินรถได้ เช่น การกำหนดความเร็วในแต่ละช่วงของเส้นทางการเดินรถ

5.1.2 การคำนวณ Headway calculator

โปรแกรม OpenTrack สามารถใช้เครื่องมือ Headway Calculator ในการคำนวณหาเวลาในการเริ่มเดินรถของรถไฟเพื่อที่จะไม่ทำให้เกิดเหตุขัดข้องขึ้นและยังสามารถตรวจสอบความเรียบร้อยของตารางการเดินรถได้อีกด้วย

5.1.3 Train Diagram

โปรแกรม Opentrack สามารถทำการวาดตารางการเดินรถออกมาในรูปลักษณะแผนภาพที่บอกเวลาและตำแหน่งของเส้นทางได้เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบ

5.1.4 การจำลองผลหาแรงดัน Pantograph

โปรแกรม OpenPowerNet สามารถจำลองผลทางไฟฟ้าของการเดินรถออกมาได้ เราสามารถดูแรงดันที่ Pantograph ของรถไฟซึ่งเป็นตำแหน่งที่รับไฟเข้าตัวรถในช่วงกิโลเมตรต่างๆของเส้นทางการเดินรถได้ สามารถนำข้อมูลในส่วนนี้ไปใช้ในการออกแบบต่อได้

5.1.5 การหาค่ากระแสลัดวงจร

โปรแกรม OpenPowerNet สามารถจำลองค่ากระแสลัดวงจรที่จะเกิดขึ้นในระบบรถไฟฟ้าเพื่อนำไปสู่การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมได้

5.1.6 การตรวจสอบแรงดันโดยวิธีการ Constant Current

โปรแกรม OpenPowerNet สามารถตรวจสอบรูปกราฟแรงดันในบริเวณต่างๆของระบบได้โดยการทำกระแสให้คงที่เพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบในภายหน้า

5.1.7 Failure Scenario

โปรแกรม OpenPowerNet สามารถจำลองเหตุการณ์กรณีแหล่งจ่ายถูกตัดการเชื่อมต่อในระยะเวลาที่กำหนดได้ สามารถนำผลทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมาใช้ในการออกแบบระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น

1. เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทยทำให้ข้อมูลที่เป็นภาษาไทยมีจำนวนน้อยมาก ทางผู้จัดทำจำเป็นต้องศึกษาจากสื่อของต่างชาติซึ่งอุปสรรคทางด้านศัพท์เฉพาะทางเทคนิคส่งผลให้การศึกษาวิธีการใช้ค่อนข้างมีความล่าช้า
2. ตัวโปรแกรมจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในคอมพิวเตอร์ค่อนข้างมากส่งผลให้คอมพิวเตอร์รุ่นเก่าจะมีปัญหาในการใช้งาน
3. ตัวโปรแกรมมีความซับซ้อน ผู้ศึกษาจะต้องใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้เป็นเวลานานและเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย

5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น

1. เนื่องจากอุปสรรคทางด้านภาษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การศึกษาวิธีใช้ซอฟต์แวร์มีความล่าช้าจึงต้องมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ
2. จำเป็นต้องมีการเพิ่มพื้นที่เก็บข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน
3. เนื่องจากความซับซ้อนของโปรแกรมทำให้ผู้ใช้งาน ต้องทำการฝึกใช้งานโปรแกรมเป็นระยะเวลาที่นาน เพื่อทำความเข้าใจโปรแกรมและลดการผิดพลาดจากการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] The Railway Technical Website - Electric Traction Power

[2] Alan Baxter, Network Rail A Guide to Overhead Electrification, February 2015.

[3] Friendrich Kiessling, Rainer Puschmann, Axel Schmieder, Contact Lines for Electric Railways :Siemens

[4] Daniel Huerlimann, Andrew B. Nash,OpenTrack Simulation of Railway Networks, Version 1.9, ETH Zurich : Institute for Transport Planning and Systems

[5] OpenPowerNet Installation Instruction : Institut für Bahntechnik GmbH Branch Office Dresden, 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน

นายธนากร ธะสูรย์

เกิดวันที่ 18 พฤศจิกายน 2541 ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดเพชรบุรี

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนคงคาราม

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวปณิฐิตา หงษ์เอก

เกิดวันที่ 23 ตุลาคม 2541 ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดปราจีนบุรี

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวอัญญาณี บัวนิลเจริญ

เกิดวันที่ 15 พฤศจิกายน 2541 ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีวิทยา ๒

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายฮัมซอห์ ตอแลมา

เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน 2541 ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดยะลา

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนธรรมวิทยามูลนิธิ

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.