

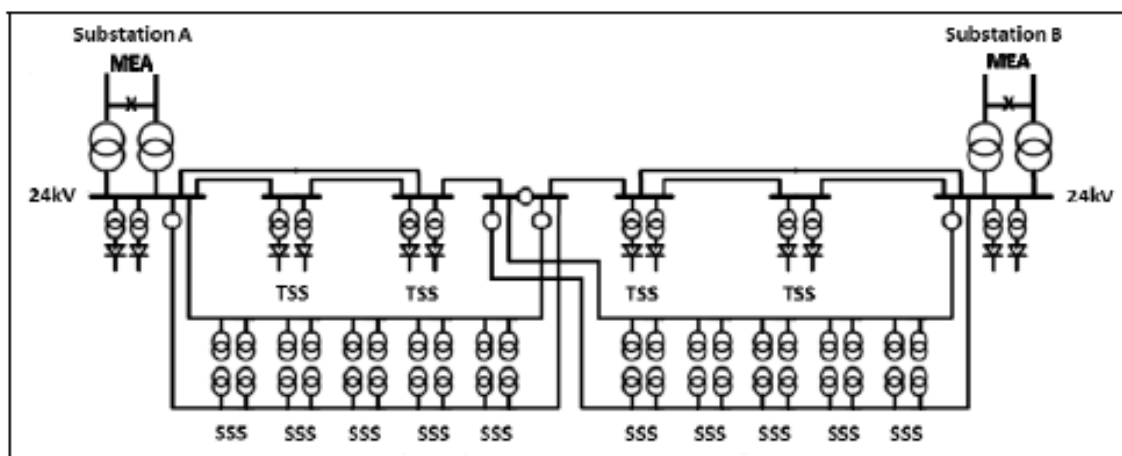
**ภาคผนวก ก**  
**ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้า**

## ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้า

ระบบจ่ายพลังงานให้กับโครงการรถไฟฟ้าเป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นระบบสนับสนุนให้ระบบขนส่งมวลชนให้บริการแก่ประชาชนได้อย่างปลอดภัย การออกแบบระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า นอกจากจะมุ่งเน้นความเพียงพอของพลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังต้องมุ่งเน้นเรื่องเสถียรภาพของระบบโดยรวม ได้แก่ระบบพลังงานไฟฟ้า สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกในสถานี ภายในศูนย์ซ่อมบำรุง และระบบจ่ายพลังงานสำหรับการเดินรถ

### 1. ระบบไฟฟ้าโครงการ

ศูนย์ซ่อมบำรุงสำหรับโครงการสายสีส้มรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงใน 2 ระดับแรงดันคือ ระดับ 115kV สำหรับจ่ายให้กับระบบปฏิบัติการและการบริหารการเดินรถทั้งหมด และระดับ 24kV สำหรับอาคารที่พักพนักงานขับรถ โดยไฟฟ้าแรงสูง 115kV นั้นจะรับมาจาก 2 แหล่งจ่าย ของการไฟฟ้านครหลวง คือ จากสถานีไฟฟ้าอโยธยาศา และสถานีไฟฟ้าอโยธยวงกะปิ ผ่านมาทางสายส่งใต้ดินก่อนเข้าสู่ Bulk Substation ของโครงการที่จัดเตรียมไว้ แล้วแปลงระดับแรงดันลงเป็น 24kV ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า 115/24kV จ่ายให้กับระบบไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้า (Traction Substations) และระบบไฟฟ้าสำหรับระบบสาธารณูปโภคอื่นๆ (Service Substations) ดังรูป



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้า

### 2. ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าของโครงการสายสีส้ม ได้รับการกำหนดและออกแบบให้มีความน่าเชื่อถือสูง (High Reliability) กล่าว คือ มีโอกาสน้อยมากที่เกิดเหตุไฟฟ้าดับและยังมีระบบไฟฟ้าสำรองเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง

อีกด้วย ผลของการรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง 2 แหล่งจ่ายและในระดับแรงดัน 115kV และเป็นวงจรไฟฟ้าใต้ดินซึ่งมีโอกาสน้อยมากที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงจะดับพร้อมกันทั้ง 2 แหล่งจ่าย

นอกจากนี้ยังออกแบบให้มีสถานีไฟฟ้า (Substation) 2 แห่ง โดย Substation A ตั้งอยู่ที่ศูนย์ซ่อม ส่วน Substation B ตั้งอยู่ที่สถานีสูวนทวงส์ โดยมีการเชื่อมกันทางด้าน 24kV ผ่าน Subsection Switchgear ในสถานีกลางทาง เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ Substation A ดับลงทั้งหมด Substation B ก็จะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบแทนทั้งหมด ซึ่งขนาดหม้อแปลงใน Substation A และ Substation B จะมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับโครงการทั้งหมด

### 3. ระบบไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน

ศูนย์ซ่อมบำรุงได้ออกแบบให้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Standby Generator) ขนาด 2,500 kVA จำนวน 5 ชุด ทำงานจ่ายไฟฟ้าขนานกันและส่งไปยังระบบ โดยแปลงไฟฟ้าเป็น 24kV ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า 400V/24kV โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองนี้จะทำงานเมื่อเกิดภาวะฉุกเฉินในกรณีไฟฟ้าโครงการที่รับจาก

การไฟฟ้านครหลวงทั้งหมดดับลง ไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะเน้นให้จ่ายกับระบบสำคัญๆ ระบบช่วยชีวิตและการอพยพผู้โดยสารเท่านั้น ซึ่งได้แก่ การให้ขบวนรถไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนไปยังสถานีใกล้เคียงได้ สำรองไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ดับเพลิง ระบบระบายอากาศในสถานีในอุโมงค์ จ่ายไฟให้อุปกรณ์สำคัญในสถานี เช่น ลิฟต์ อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เป็นต้น

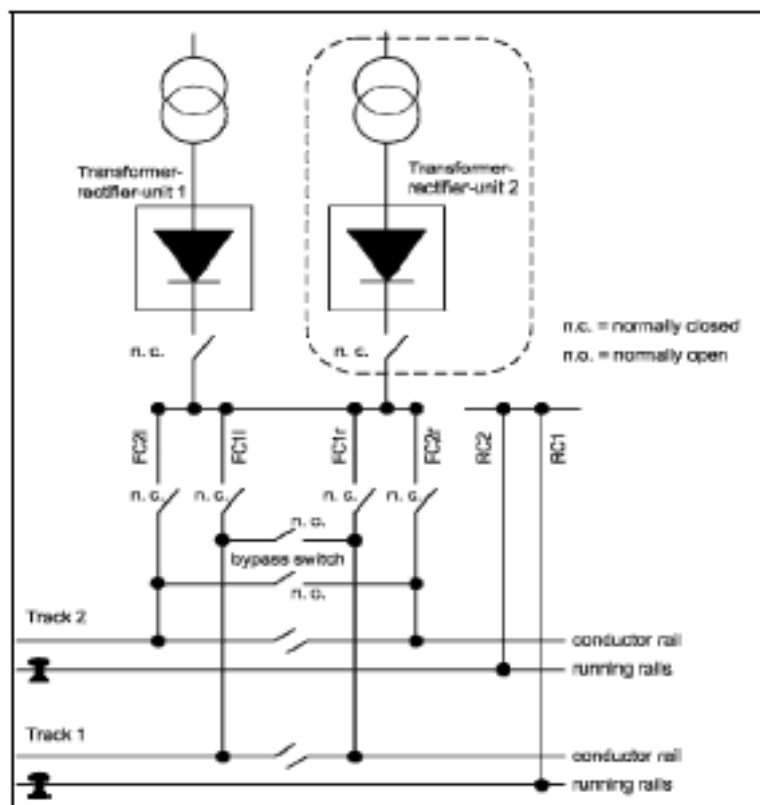


รูปที่ 2 ระบบพลังงานไฟฟ้าฉุกเฉินด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### 4. ระบบไฟฟ้าสำหรับการเดินรถ

ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้ขบวนรถไฟฟ้านั้นรับมาจากไฟฟ้าโครงการที่ระดับ 24kV ac และแปลงลงเป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำพร้อมกับเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงระดับแรงดัน 750Vdc ด้วย Traction Transformer และ

Rectifier และส่งกระแสไฟฟ้าตรงผ่านทางรางจ่ายไฟที่ 3 หรือ Conductor Rail เข้าขบวนรถไฟฟ้าที่ Collector Shoes เพื่อขับเคลื่อนขบวนรถไฟฟ้าต่อไป โดยอุปกรณ์ส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมดประกอบด้วย 24kV Switchgears, Traction Transformer, Rectifier, 750V dc switchgears นั้นติดตั้งอยู่ในห้อง Traction Substation ส่วน Conductor Rail นั้นจะวิ่งขนานไปกับรางวิ่งตลอดเส้นทาง



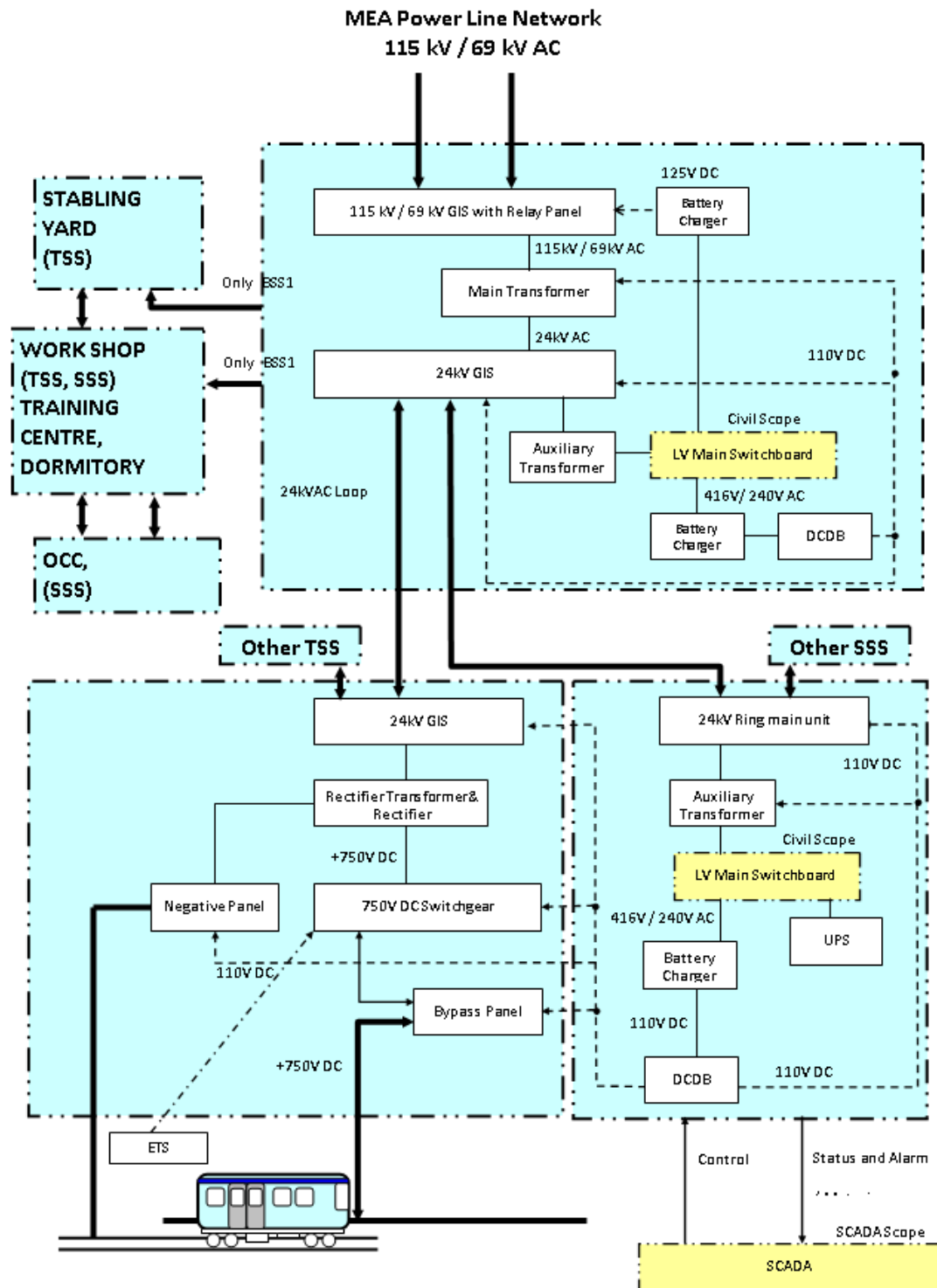
ตำแหน่ง Traction Substation จะถูกกำหนดด้วยการคำนวณและจำลองการใช้ไฟฟ้าสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งขบวนรถไฟฟ้าที่วิ่งอยู่บนเส้นทาง ทั้งในช่วงการเดินรถในสภาวะปกติและไม่ปกติ รวมถึงกำหนดขนาด Traction Transformer ให้มีขนาดเพียงพอกับความต้องการสูงสุด (Ultimate Capacity) ของโครงการอีกด้วย ซึ่งในโครงการสายสีส้ม Traction Substation จะตั้งอยู่ในสถานีที่มีระยะห่างกันประมาณ 2.0-2.5 กิโลเมตร รวมถึงติดตั้งอยู่ในศูนย์ซ่อมอีกด้วย

## 5. ระบบไฟฟ้าสำหรับการเดินรถในสภาวะฉุกเฉิน

สถานการณ์ที่เป็นสภาวะฉุกเฉินของระบบไฟฟ้าสำหรับการเดินรถ สามารถกำหนดการบริหารสถานการณ์ได้ดังนี้

1) กรณีที่ Traction Substation ชุดหนึ่งเกิดขัดข้องไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ Traction Substation ตัวที่อยู่ถัดออกไปจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับ Conductor Rail ในส่วนที่เกิดปัญหาทันทีแทน ซึ่งทำให้ Conductor Rail ยังคงมีไฟฟ้าป้อนให้กับขบวนรถไฟฟ้าอยู่ตลอด แต่ต้องทำการลดระดับความเร็วการเดินรถลงประมาณ ครึ่งหนึ่งของความเร็วปกติเพื่อไม่ให้ Traction Transformer รับภาระ Load มากเกินไป

2) กรณีที่ไฟฟ้าแหล่งจ่ายแรงสูงของการไฟฟ้าดับลงทั้งหมด ทำให้ไม่มีระบบไฟฟ้า 24kVac สำหรับป้อนให้กับ Traction Substation ต่างๆ ไม่มีไฟฟ้ากระแสตรงไปจ่ายให้กับขบวนรถไฟฟ้าตลอดเส้นทาง กรณีนี้มีโอกาสเกิดน้อยมาก ซึ่งในขบวนรถไฟฟ้านั้นเมื่อรับไฟฟ้า 750V dc แล้วจะแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วย Inverter จ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์ขับเคลื่อน นอกจากนี้ยังจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบอื่นๆ ในขบวนรถไฟฟ้าด้วย อาทิเช่น เครื่องปรับอากาศ หลอดไฟแสงสว่าง ระบบสื่อสาร การเปิด-ปิดประตู เป็นต้น โดยมีการติดตั้ง Battery สำรองสำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบที่สำคัญๆ ในสถานะฉุกเฉิน เช่น หลอดไฟห้องคนขับ ระบบควบคุมและป้องกันขบวนรถ ระบบระบายอากาศฉุกเฉิน ระบบสื่อสาร และการเปิดประตुरถไฟฟ้า ในรถไฟฟ้ารุ่นแรกๆ Battery สำรองนี้จะไม่จ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อน เมื่อระบบไฟฟ้าขับเคลื่อน 750Vdc ดับลง ขบวนรถไฟฟ้ายังสามารถเคลื่อนต่อไปได้ด้วยแรงเฉื่อยสักพักหนึ่งและหยุดลง และเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองส่วนกลางทำงานสามารถส่งกระแสไฟฟ้าภายใน 30 วินาที ผู้ควบคุมเส้นทางก็จะสั่งการให้ทำการเดินรถในแต่ละจุดไปส่งผู้โดยสารในสถานีที่ใกล้ที่สุดต่อไป และถ้าไม่มีกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีก พนักงานขับจะนำผู้โดยสารออกจากขบวนรถไปยังสถานีหรือทางออกที่ใกล้ที่สุดหลังจากได้รับอนุมัติจากผู้ควบคุมส่วนกลางแล้ว นอกจากนี้ในส่วนประตูกันชานชาลาที่สถานีรถไฟฟ้านั้น กำหนดการออกแบบให้มีประตู Emergency ที่สามารถเปิดจากด้านนอกด้วยมือได้ (Manual) ในสถานะที่ไฟฟ้าหลักของสถานีดับลงทั้งหมด



รูปที่ 3 แบบจำลองระบบไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้

## 6. MTTR และ MDT ของบริษัทไฟฟ้า

ข้อมูลจำเพาะ MTTR ของบริษัทไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบรถไฟฟ้า เนื่องจากระบบรถไฟฟ้ามีลักษณะโครงสร้างเป็นแนวยาวตามเส้นทางให้บริการ จุดประจำการของหน่วยซ่อมบำรุงจะอยู่ส่วนกลาง ดังนั้นเวลาที่ใช้สำหรับแก้ไขอุปกรณ์เมื่อเกิดความล้มเหลวขึ้นจำเป็นต้องบวกระยะเวลาเดินทางระหว่างศูนย์ประจำการไปยังที่ตั้งของอุปกรณ์

Element	Failure Rate (1/hr)	MTTR (hrs)	Data Source	MDT (hrs)
Diode module	3.44E-07	2.5	Engineering Experience	3.5
Thermostat	1.57E-05	1.5	Engineering Experience	2.5
Earth Fault Protection Replay	3.00E-07	1.5	Engineering Experience	2.5
Micro Switch	1.54E-06	1.5	Engineering Experience	2.5
Surge Arrestor	9.26E-06	2	Engineering Experience	3
HSCB	2.00E-08	1.5	Engineering Experience	2.5
Contactora	1.06E-06	2.5	Engineering Experience	3.5
Protect and Control Panel	4.17E-06	3	Engineering Experience	4
Control Fuse	1.28E-06	1	Engineering Experience	2
Battery	7.01E-06	3	Engineering Experience	4
Switch	7.00E-08	1	Engineering Experience	2
Rectifier	4.85E-07	2.5	Engineering Experience	3.5
Inverter	7.78E-06	2.5	Engineering Experience	3.5
MCCB	3.31E-09	1	Engineering Experience	2
Insulation Transformer	3.00E-08	3	Engineering Experience	4
Circuit Breaker	5.26E-06	3	Engineering Experience	4
BSS1 Genset	5.30E-05	6	Engineering Experience	7

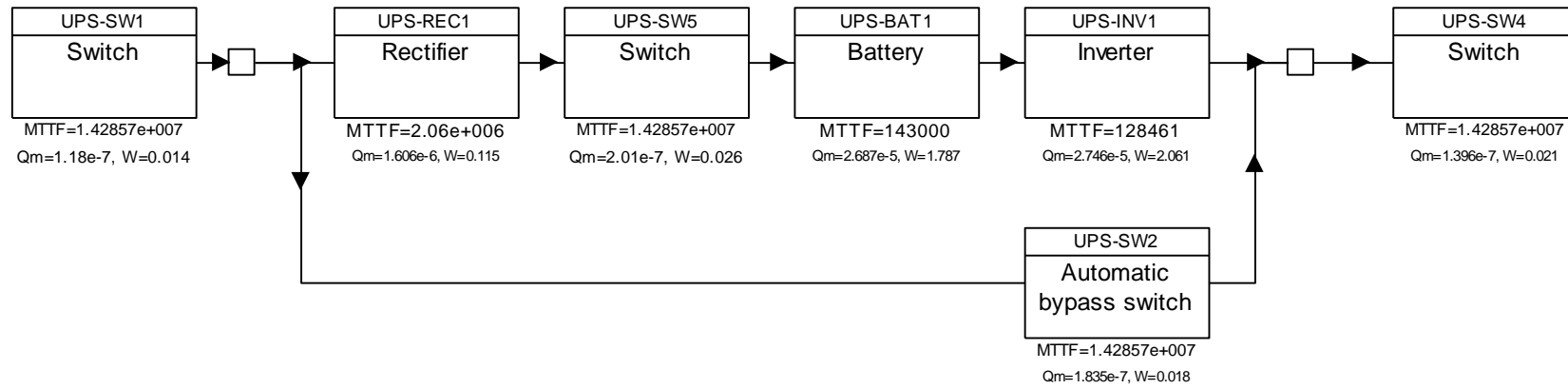
<b>Element</b>	<b>Failure Rate (1/hr)</b>	<b>MTTR (hrs)</b>	<b>Data Source</b>	<b>MDT (hrs)</b>
Switchgear	3.47E-06	8	Engineering Experience	9
Control Panel	1.73E-05	3	Engineering Experience	4
Transformer	5.02E-07	6	Engineering Experience	7
Metering Device	2.23E-07	2	Engineering Experience	3
HSCB	2.00E-08	2	Engineering Experience	3
Thermal Relay	1.57E-05	2	Engineering Experience	3
Load Break Switch	9.94E-09	6	Engineering Experience	7



ภาคผนวก ข

Reliability Block Diagram

## Reliability Block Diagram



### ภาคผนวก ค

ปัจจัยที่ส่งกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้า

## ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบรถไฟฟ้

