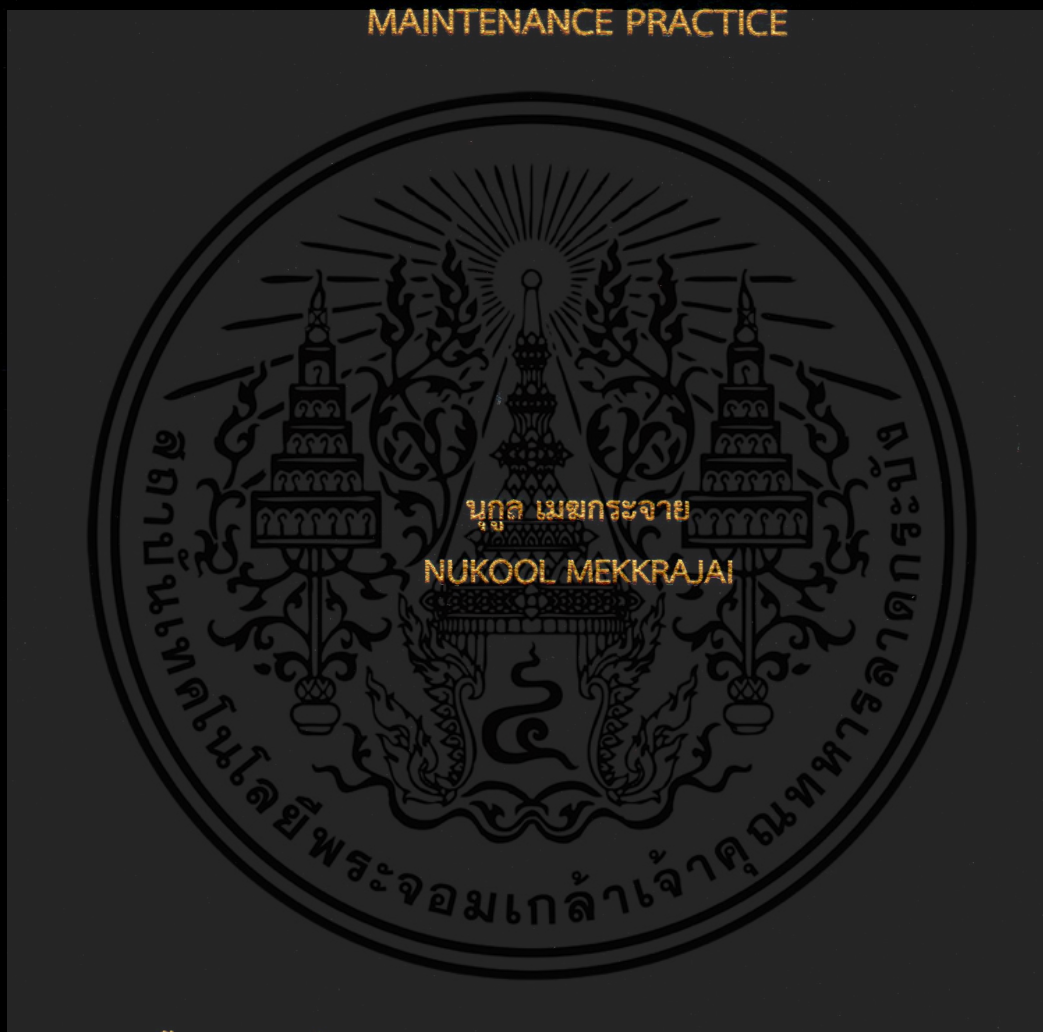


การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัสในแนวปฏิบัติ
การบำรุงรักษา

USING FIELDBUS PHYSICAL LAYER DIAGNOSTICS IN
MAINTENANCE PRACTICE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-257-137

การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัสในแนวปฏิบัติ
การบำรุงรักษา

USING FIELDBUS PHYSICAL LAYER DIAGNOSTICS IN
MAINTENANCE PRACTICE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-257-137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USING FIELDBUS PHYSICAL LAYER DIAGNOSTICS IN
MAINTENANCE PRACTICE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-257-137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

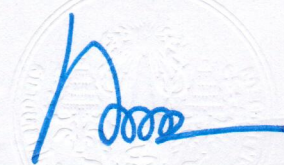
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัสแนวปฏิบัติการบำรุงรักษา
Thesis Title Using Fieldbus Physical Layer Diagnostics in Maintenance Practice
นักศึกษา นายอนุกุล เมฆกระจาย
รหัสประจำตัว 54611214
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-257-137

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
รศ.ดร.อัมพวัน	จุลเสรีวงศ์	
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	
รศ.ประสิทธิ์	จุลเสรีวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลต์บัสใน แนวปฏิบัติการบำรุงรักษา
นักศึกษา	นายอนุกุล เมฆกระจาย
รหัสนักศึกษา	54611214
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการใช้โมดูลการตรวจสอบวินิจฉัยที่ทันสมัยสำหรับการบำรุงรักษา
ดิจิทัลฟิลต์บัสเชกเมนต์ โดยมีการอธิบายขั้นตอนการบำรุงรักษาด้วยการตรวจสอบเงื่อนไขของ
เชกเมนต์ที่ใช้เทคโนโลยีฟาวนด์เชนฟิลต์บัสซึ่งติดตั้งในพลานต์ Tail Gas Treating Unit ของบริษัท
ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) เป็นกรณีศึกษา การใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบวินิจฉัย
ลำดับชั้นทางกายภาพในการบำรุงรักษาฟิลต์บัสเชกเมนต์ สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายให้น้อยลงได้
ประมาณ 7.5 ถึง 10 เท่า เมื่อเทียบกับขั้นตอนการบำรุงรักษาระบบการวัดและควบคุมที่เป็นระบบ
แอนะล็อกและระบบฟิลต์บัสที่ไม่ได้ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Using Fieldbus Physical Layer Diagnostics in Maintenance Practice
Student	Mr. Nukool Mekrajai
Student ID.	54611214
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Prasit Julsereewong

ABSTRACT

This thesis focuses on using an advanced diagnostic module for effective maintenance of digital fieldbus segments. Establishing a condition-based maintenance for Foundation Fieldbus segments installed at the Tail Gas Treating Unit, IRPC Public Company Limited, Thailand is described as an illustrative case study. With availability of physical layer diagnostic information for maintaining fieldbus segments, the operation time and labor cost can be reduced to 7.5-10 times, compared to the maintenance works in the traditional analog system and the digital fieldbus segments without using physical layer diagnostic tool.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความรู้ ความคิดริเริ่ม คำแนะนำและคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างทุ่มเทจาก รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม ที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณชูศักดิ์ ฉัตรวัชรกุล ตำแหน่งผู้เชี่ยวชาญ ฝ่ายบริหารโครงการและแผนปฏิบัติการ บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่เป็นแรงผลักดันให้ผู้เขียนได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม อีกหลายท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ ที่รัก ห่วงใย และให้การสนับสนุนในการศึกษาด้วยดี มาโดยตลอด รวมทั้งญาติ พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ แก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

นุกุล เมฆกระจ่าย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 โมเดลการสื่อสารของฟิลด์บัส H1 [6], [14], [17]-[21].....	4
2.2.1 Physical Layer.....	5
2.2.2 H1 Communication Stack.....	6
2.2.3 User Layer.....	8
2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในเซกเมนต์ของฟิลด์บัส H1 [15], [22]-[26].....	9
2.3.1 Fieldbus Power Supply.....	10
2.3.2 Fieldbus Terminator.....	12
2.3.3 Fieldbus Repeater.....	12
2.3.4 Fieldbus Field Device Coupler.....	13
2.3.5 Fieldbus Cable.....	14
2.4 เซกเมนต์ทอพอโลยีที่ใช้ในฟิลด์บัส H1 [15], [22].....	15
2.4.1 Bus with Spur Topology.....	15
2.4.2 Daisy Chain Topology.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 Tree Topology.....	16
2.4.4 Mixed Topology.....	17
2.5 การเข้ารหัสข้อมูลด้วยเทคนิคManchester ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 [3], [14], [23]-[24].....	17
2.6 การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1.....	20
2.6.1 ค่าแรงดันและกระแสเชิงเมนต์ [5]-[6], [23]-[24], [27].....	21
2.6.2 ค่าแรงดันแบบ Peak-to-Peak ของสัญญาณฟิลด์บัส [3], [14], [22].....	24
2.6.3 สัญญาณรบกวนเชิงเมนต์ [22]-[28].....	26
2.6.4 จิตเตอร์ของสัญญาณฟิลด์บัส (Signal Jitter).....	26
2.6.5 ตัวอย่างการตรวจสอบวินิจฉัยระบบฟิลด์บัส [28].....	27
บทที่ 3 การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นระบบฟิลด์บัส H1 ที่นำเสนอ.....	30
3.1 กล่าวนำ.....	30
3.2 ระบบฟิลด์บัส H1 ใน TGTU PLANT สำหรับกรณีศึกษา.....	30
3.3 เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H 1 ที่เลือกใช้ในกรณีศึกษา.....	32
3.4 การบำรุงรักษาระบบฟิลด์บัส H1 ด้วยเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เลือกใช้.....	36
3.5 ผลการทดลองและผลการเปรียบเทียบ.....	41
บทที่ 4 บทสรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	45
4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของ VCR แต่ละชนิดโดยย่อ.....	7
2.2 Function Blocks ตามมาตรฐาน FF-891.....	9
2.3 ประเภทและคุณสมบัติของสายฟิลต์บัสสำหรับระบบฟิลต์บัส H1.....	14
2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของ Bus-Powered Device.....	21
2.5 ข้อกำหนดที่สำคัญของแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลต์บัส.....	21
2.6 ผลการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญในฟิลต์บัสเซกเมนต์ H1 จากตัวอย่างในรูปที่ 2.27.....	23
3.1 จำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่ติดตั้งในพลานท์ TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา.....	31
3.2 จำนวนฟิลต์บัสเซกเมนต์ H1 ที่ติดตั้งในแต่ละหน่วยผลิตของพลานท์ TGTU.....	32
3.3 ข้อมูลเชิงเทคนิคที่สำคัญของ ADM รุ่น HD2-DM-A.....	33
3.4 รายละเอียดในการติดตั้งใช้งาน ADM ในรูปที่ 3.5.....	35
3.5 ผลการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานเครื่องมือการตรวจสอบวินิจฉัย.....	35
3.6 รายละเอียดของเซกเมนต์ที่ติดตั้งใน SCOT Amine Regeneration System Unit.....	37
3.7 รายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่ติดตั้งใน Segment_FIM5_1.....	38
3.8 รายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่ติดตั้งใน Segment_FIM5_2.....	38
3.9 รายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่ติดตั้งใน Segment_FIM5_3.....	38
3.10 ผลการเปรียบเทียบของทั้ง 3 กรณีในการซ่อมบำรุงจำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลต์.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กระบวนการในการบำรุงรักษาแบบ TBM และ CBM.....	2
2.1 โมเดลการสื่อสารของฟิลด์บัส H1 และสัญญาณทางไฟฟ้าใน Physical Layer.....	4
2.2 โครงสร้างของเครือข่ายในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยฟาว์นเดชันฟิลด์บัส.....	5
2.3 แสดงชั้นการสื่อสารของ Communication Stack.....	6
2.4 ชนิดของอุปกรณ์ในชั้น Data Link Layer.....	6
2.5 FMS ถูกใช้สำหรับ Communication Service.....	7
2.6 บล็อกต่างๆ ในชั้น User Layer.....	8
2.7 เซกเมนต์ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1.....	10
2.8 โครงสร้างภายในของ Fieldbus Power Supply.....	10
2.9 โครงสร้างภายในของ Power Conditioner.....	11
2.10 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งาน Fieldbus Power Supply.....	11
2.11 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ Fieldbus Terminator.....	12
2.12 จำนวน Repeater สูงสุดต่อเซกเมนต์.....	12
2.13 ลักษณะการติดตั้ง Repeater บนเซกเมนต์.....	13
2.14 ตัวอย่าง Device Coupler.....	13
2.15 ตัวอย่างสายฟิลด์บัสแบบ Shield Twisted Pair.....	15
2.16 เซกเมนต์ทอพอโลยีที่ใช้ในระบบฟิลด์บัส H1.....	15
2.17 Bus with Spur Topology.....	16
2.18 Display Chain Topology.....	16
2.19 Tree topology.....	17
2.20 Mixed topology.....	17
2.21 การเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester Biphase-I.....	18
2.22 สัญญาณฟิลด์บัสที่มีการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester Biphase-I.....	18
2.23 การส่งข้อมูลเป็นกลุ่มของบิต หรือ Data Frame ด้วยสัญญาณฟิลด์บัส.....	19
2.24 กลุ่มของบิตใช้กำหนดส่วน Data Frame ของการส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณฟิลด์บัส.....	19
2.25 ลำดับชั้นกายภาพหรือ Physical Layer ของฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1.....	20
2.26 การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพของฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1.....	20
2.27 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญในฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1.....	22
2.28 ตัวอย่างสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากจุดต้นของสายฟิลด์บัส (Transmitted Signal).....	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 ตัวอย่างสัญญาณข้อมูลที่ได้รับที่จุดปลายของสายฟิลด์บัส (Received Signal).....	23
2.30 การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในเซกเมนต์ H1 ด้วยสัญญาณฟิลด์บัส.....	24
2.31 ตัวอย่างสัญญาณฟิลด์บัสในโหมดแรงดันของเซกเมนต์ที่มีเทอร์มินเนเตอร์ 2 ตัว.....	25
2.32 ตัวอย่างสัญญาณฟิลด์บัสในโหมดแรงดันของเซกเมนต์ที่มีเทอร์มินเนเตอร์ 1 ตัว.....	25
2.33 ตัวอย่างสัญญาณฟิลด์บัสในโหมดแรงดันของเซกเมนต์ที่มีเทอร์มินเนเตอร์ 3 ตัว.....	25
2.34 สัญญาณฟิลด์บัสในทางปฏิบัติที่มีช่วงเวลาลาดเอียงเกิดขึ้น.....	26
2.35 Jitter ในส่วนที่ซุ่มขยายมาจากรูปที่ 2.34.....	27
2.36 Jitter เป็นความผิดพลาดที่จุดตัดผ่านศูนย์ของสัญญาณ.....	27
2.37 ตัวอย่างสัญญาณฟิลด์บัสที่ไม่สมมาตรซึ่งเกิดจากสายไฟที่ใช้มีค่าเก็บประจุสูง.....	28
2.38 ตัวอย่างสัญญาณฟิลด์บัสในเซกเมนต์ที่ขาดการป้องกัน Electromagnetic Interference.....	28
2.39 ตัวอย่างสัญญาณฟิลด์บัสที่ได้จากการวัด 2 ครั้งในเซกเมนต์เดียวกัน แต่มีสเกลของสัญญาณที่ไม่เท่ากัน.....	29
3.1 โครงสร้างของระบบในพลาเน็ต SRU หรือหน่วยกำจัดการกะกัน.....	30
3.2 ภาพจำลองโมเดลด้วยคอมพิวเตอร์ของพลาเน็ต TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา.....	31
3.3 ADM เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยระบบฟิลด์บัสที่เลือกใช้ในกรณีศึกษา.....	32
3.4 การติดตั้ง ADM ในการตรวจสอบวินิจฉัยฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	34
3.5 แบบการติดตั้งใช้งาน ADM อ้างอิงจากรูปที่ 3.4.....	34
3.6 การติดตั้งใช้งาน ADM ในการตรวจสอบวินิจฉัยระบบฟิลด์บัสที่เป็นกรณีศึกษา.....	36
3.7 ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_1 ด้วย P+F Segment Checker.....	39
3.8 ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_2 ด้วย P+F Segment Checker.....	39
3.9 ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_3 ด้วย P+F Segment Checker.....	40
3.10 การใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM ในการบำรุงรักษาระบบฟิลด์บัสที่พลาเน็ต TGTU.....	40
3.11 ตัวอย่างรายงานผลการตรวจสอบวินิจฉัยจากทำงานของ ADM.....	41
3.12 ตัวอย่างผลสรุปการตรวจสอบวินิจฉัยของ ADM.....	42
3.13 ตัวอย่างหน้าต่างที่แสดงฟังก์ชันการทำงานออสซิลโลสโคป.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบำรุงรักษา (Maintenance) ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการพยายามรักษาสภาพของเครื่องจักรหรือระบบต่าง ๆ ให้มีสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา เพื่อสมรรถนะในการทำงาน ความน่าเชื่อถือ และความปลอดภัย ตลอดจนเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจ [1] กลยุทธ์ในงานบำรุงรักษามีหลากหลายรูปแบบที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการ เช่นการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance) ที่มีการซ่อมแซมเครื่องจักรหรือระบบหลังจากเกิดความเสียหาย โดยการบำรุงรักษาแบบนี้ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า เป็นการซ่อมบำรุงแบบฉุกเฉิน บางครั้งอาจเรียกว่า “Run-to-Failure Maintenance” หรือ “Reactive Maintenance” หรือการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ที่มีการวางแผนล่วงหน้าโดยกำหนดระยะเวลาการตรวจสอบตามรอบ เพื่อป้องกันความเสียหายจากการหยุดฉุกเฉินของกระบวนการผลิตบางครั้งอาจเรียกว่า “การบำรุงรักษาตามแผนงาน Shutdown” (Shutdown Maintenance) หรือ “การบำรุงรักษาประจำรอบเวลา” (Time-Based Maintenance: TBM) [2] ในบางกรณีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน อาจไม่สามารถป้องกันปัญหาการชำรุดของเครื่องจักรหรือความล้มเหลวในการทำงานของระบบที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิดได้ แม้ว่าจะทำการบำรุงรักษาตามแผนที่ได้กำหนดไว้แล้วก็ตาม เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวนี้มีอีกทางเลือกสำหรับการบำรุงรักษาที่เรียกว่า “การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์” (Predictive Maintenance) ที่มีการคาดคะเนอัตราเสื่อมของเครื่องจักร จากผลการวัดค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการทำงานของเครื่องจักร เช่น ความสั่นสะเทือนหรือการสึกหรอเพื่อสามารถจัดวางแผนในการบำรุงรักษาเครื่องจักร บางครั้งอาจเรียกว่า “การบำรุงรักษาตามสภาพ” (Condition-Based Maintenance: CBM) แต่อย่างไรก็ตาม การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่ทันสมัย หรือใช้ทักษะของพนักงานผู้ตรวจสอบในการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงด้วยเหตุนี้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์จึงนิยมใช้กับโรงงานที่มีเครื่องจักรซับซ้อน และต้องการความน่าเชื่อถือในกระบวนการผลิตสูงในแง่ของการผลิตแบบทันเวลา (Just-in-Time Production System)

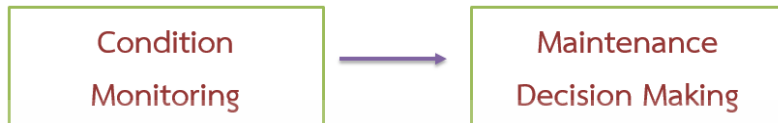
รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการในการบำรุงรักษาประจำรอบเวลา (หรือ TBM) และกระบวนการของการบำรุงรักษาตามสภาพ (หรือ CBM) [2] โดยการบำรุงรักษาแบบ TBM เป็นการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้น ซึ่งอาจได้แผนการบำรุงรักษาจากประสบการณ์ คู่มือการใช้งานเครื่องจักร หรือการวิเคราะห์ข้อมูลความล้มเหลว (Failure Data Analysis) สำหรับการบำรุงรักษาแบบ CBM เป็นการบำรุงรักษาที่ใช้ข้อมูลจากกระบวนการ (Process Data) ด้วยการตรวจวัดค่าตัวแปรที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบระบบ (Condition Monitoring) มาดำเนินการวางแผนการบำรุงรักษา

ในปัจจุบันมีการใช้ระบบการวัดและควบคุมที่ทันสมัยในกระบวนการอัตโนมัติ (Process Automation) สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมในกระบวนการ (Process Industry) มากขึ้น [3] ระบบการวัดและควบคุมที่ทันสมัยนี้ เป็นระบบที่มีการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ระดับฟิลด์ จำพวกทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) และวาล์วควบคุม (Control Valve) ที่มีความสามารถในการประมวลผลและการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กระบวนการ TBM



(ข) กระบวนการ CBM

รูปที่ 1.1 กระบวนการในการบำรุงรักษาแบบ TBM และ CBM

แบบดิจิทัล หรือที่เรียกว่า “Microprocessor-Based Instrument” หรือ “Smart Instrument” โดยอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ไม่มีไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายในเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการตรวจสอบหรือวินิจฉัยสภาพการทำงานของตัวเองได้ (Self-Checking Device หรือ Self-Diagnostic Device) [4] และมีความเป็นไปได้ที่จะใช้การบำรุงรักษาระบบการวัดและควบคุมนี้ด้วยกระบวนการแบบ CBM

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบกระบวนการอัตโนมัติตั้งแต่เช่น เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส (Foundation Fieldbus) ที่ได้มาตรฐาน IEC61158 [5]-[6] ทำให้ความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ รูปแบบการติดตั้งใช้งานหรือการเดินสาย และปริมาณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการ รวมทั้งวิธีการบำรุงรักษาระบบ [7]-[13] มีการเปลี่ยนแปลงไปจากระบบแอนะล็อกเดิมซึ่งเป็นระบบที่ใช้อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่มีการรับ-ส่งข้อมูลด้วยสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอวิธีการบำรุงรักษาระบบการวัดและควบคุมที่ใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสด้วยกระบวนการบำรุงรักษาแบบ CBM จากการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้ที่รองรับฟังก์ชันการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพ (Physical-Layer Diagnostic) เพื่อเป็นกรณีศึกษาสำหรับกลุ่มผู้ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม (End User) ที่สนใจในการใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัลฟิลด์บัสเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมหรือการปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

โครงสร้างทางกายภาพในการติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลด์และการเดินสายตลอดจนรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ หรือที่เรียกว่า “ลำดับชั้นกายภาพ” (เมื่ออ้างอิงกับโมเดลสื่อสาร OSI หรือ Open System Interconnection) ของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ถูกต้องแบบตามมาตรฐาน IEC61158-2 หรือที่เรียกว่า “Manchester Bus Powered Technology” [14]-[15] สามารถทำการตรวจสอบวินิจฉัยได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า “Advanced Online Physical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Layer Diagnostic Module” หรือ ADM ของบริษัท Pepperl+Fuchs [16] ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เลือกใช้เครื่องมือในการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพนี้ ในการบำรุงรักษาระบบการวัดและควบคุมที่ใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส (หรือที่เรียกว่า “ระบบฟิลด์บัส” เพื่อความกระชับในการอ้างถึงในวิทยานิพนธ์นี้) เพื่อเป็นแนวปฏิบัติให้แก่ผู้ที่สนใจ

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพในการบำรุงรักษาระบบฟิลด์บัส H1 ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการติดตั้งและเก็บข้อมูลจากการใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เลือกในพลานต์ Tail Gas Treating Unit (TGTU) ของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่มีระบบฟิลด์บัส H1 จำนวน 26 เซกเมนต์ แต่ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงมีการอธิบายวิธีการใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เลือกเพียงแค่ 1 ชุด ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบวินิจฉัยสภาพการทำงานของลำดับชั้นทางกายภาพของระบบฟิลด์บัส H1 จำนวน 3 เซกเมนต์ในหน่วยการผลิตหน่วยหนึ่งในพลานต์ TGTU เป็นตัวอย่างสำหรับกรณีศึกษา นอกจากนี้ มีการนำเสนอผลการทดลองและผลการเปรียบเทียบการซ่อมบำรุงระบบการวัดและควบคุมที่เป็นระบบแอนะล็อก ระบบฟิลด์บัสที่ไม่ได้ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพ และระบบฟิลด์บัสที่ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพอีกด้วย

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ลำดับชั้นทางกายภาพระบบฟิลด์บัส H1 เป็นการกล่าวถึง โมเดลการสื่อสารของฟิลด์บัส H1 อุปกรณ์ที่ใช้ในเซกเมนต์ของฟิลด์บัส H1 การเข้ารหัสข้อมูลด้วยเทคนิค Manchester ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 และการตรวจสอบวินิจฉัยชั้นทางกายภาพระบบฟิลด์บัส H1

บทที่ 3 การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพระบบฟิลด์บัส H1 ที่นำเสนอ เป็นการอธิบายถึงระบบฟิลด์บัส H1 ในพลานต์ TGTU สำหรับกรณีศึกษา เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพระบบฟิลด์บัส H1 ที่เลือกใช้ และการบำรุงรักษาระบบฟิลด์บัส H1 ด้วยเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เลือกใช้ รวมถึงผลการทดลองและผลการเปรียบเทียบ

บทที่ 4 เป็นบทสรุปท้ายที่กล่าวถึง ผลการเปรียบเทียบ บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นส่วนของเอกสารอ้างอิงและภาคผนวกที่แสดงถึงบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ICIC Express Letters ปีที่ 7 ฉบับที่ 4 (เมษายน) ปี ค.ศ. 2013 หน้า 1215-1220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1

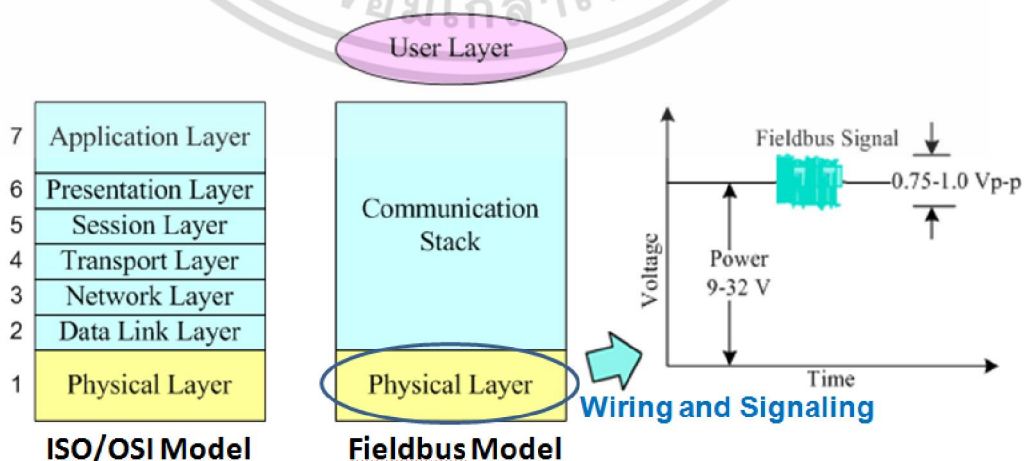
2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึง โมเดลการสื่อสารและรายละเอียดของฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 ซึ่งประกอบด้วย ส่วน Physical Layer ส่วน Communication Stack และส่วน User Layer อุปกรณ์ที่ใช้ในเซกเมนต์ของฟิลด์บัส H1 เซกเมนต์ทอพอโลยีที่ใช้ในฟิลด์บัส H1 และการเข้ารหัสข้อมูลด้วยเทคนิค Manchester ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 รวมทั้งการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1

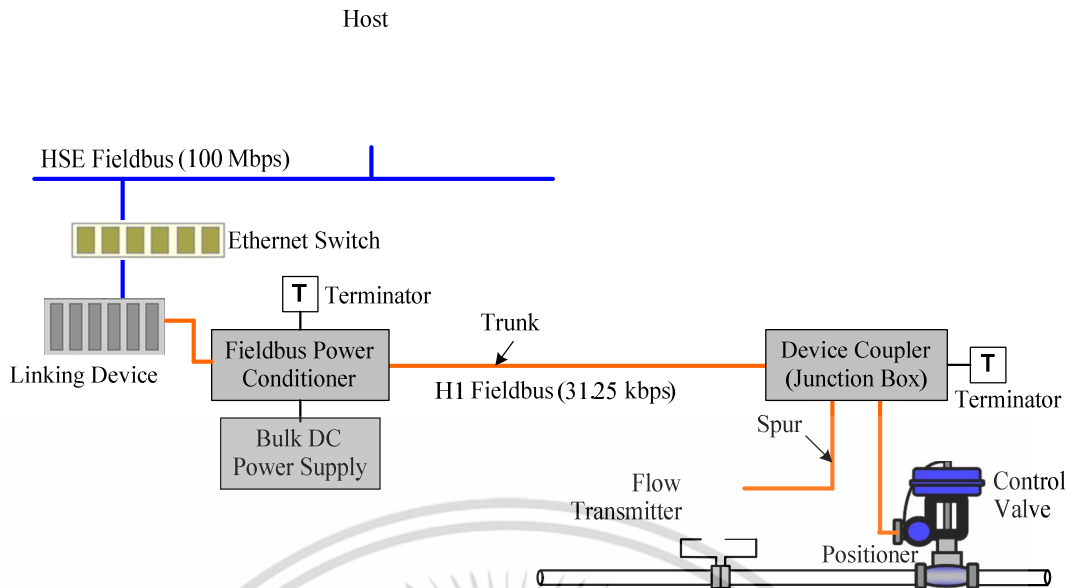
2.2 โมเดลการสื่อสารของฟิลด์บัส H1 [6], [14], [17]-[21]

ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 เป็นเทคโนโลยีสำหรับการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลที่มีการส่งข้อมูลแบบบิตอนุกรม โดยมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง และมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ บนเซกเมนต์แบบ Multidrop ฟาว์นเดชันฟิลด์บัสเป็นระบบเปิดสำหรับเครือข่ายทางอุตสาหกรรมอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการรับประกันความสามารถในการเชื่อมต่ออุปกรณ์จากหลายแหล่งผู้ผลิตเข้าด้วยกันในระบบเดียวกัน ถ้าอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับการรับรองจากองค์กร Fieldbus Foundation โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส มีดังนี้

- มีการออกแบบให้ใช้งานในพื้นที่อันตรายได้ โดยมีการป้องกันแบบ Intrinsic Safety (IS)
- สามารถจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ได้โดยผ่านบัสหรือเครือข่ายที่เชื่อมต่อ
- มีการเชื่อมต่อด้วยบัสทอพอโลยี (Bus Topology) หรือทรีทอพอโลยี (Tree Topology) เป็นหลัก
- สามารถใช้อุปกรณ์ชนิด Link Master เป็นอุปกรณ์สำรองสำหรับ Link Active Scheduler ได้
- สามารถแสดงผลข้อมูลแบบ Dynamic (เช่น เป็นกราฟ หรือ Trend Chart) ได้
- มีมาตรฐานในการกำหนดรูปแบบ/ข้อกำหนดของบล็อก (Block) ภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ เพื่อให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตสามารถทำงานร่วมกันได้



รูปที่ 2.1 โมเดลการสื่อสารของฟิลด์บัส H1 และสัญญาณทางไฟฟ้าใน Physical Layer เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครือข่ายในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส

เมื่อเปรียบเทียบโมเดลการสื่อสารของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1 และโมเดลอ้างอิง OSI (Open System Interconnection Model) ดังรูปที่ 2.1 พบว่า ฟิลด์บัส H1 มีข้อกำหนดในส่วนลำดับชั้นที่ 1 Physical Layer ลำดับชั้นที่ 2 Data Link Layer และลำดับชั้นที่ 7 Application Layer โดยมีการรวมลำดับชั้นที่ 2 และชั้นที่ 7 เข้าด้วยกันเรียกว่า “Communication Stack” ส่วน User Layer เป็นส่วนเพิ่มเติมพิเศษสำหรับเทคโนโลยีนี้รายละเอียดโดยย่อของแต่ละลำดับชั้น อธิบายได้ดังนี้

2.2.1 Physical Layer

Physical Layer เป็นชั้นที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางกายภาพของระบบโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC/ISA คือ IEC 61158-2 และ ISA S50.02 ในชั้นนี้มีการรับข้อมูลที่ต้องการสื่อสารจาก Communication Stack แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีสัญญาณไฟฟ้า 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นสัญญาณแรงดันดีซี (DC Voltage) ซึ่งเป็นสัญญาณไฟเลี้ยงสำหรับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อบนเซกเมนต์ H1 และแรงดันเอซี (AC Voltage) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำการรับ-ส่งบนเซกเมนต์หรือที่เรียกว่า “Fieldbus Message” หรือ “Fieldbus Signal”

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเครือข่ายที่ใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับการควบคุม (Control Level) ด้วยฟิลด์บัส HSE (High Speed Ethernet) และเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์ (Field Level) ด้วยฟิลด์บัส H1 โดยที่ฟิลด์บัส HSE และ H1 มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล 100 Mbps และ 31.25 kbps ตามลำดับ ในการเชื่อมต่อฟิลด์บัส HSE เข้ากับฟิลด์บัส H1 มีการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “Bridge” หรือ “Linking Device” ส่วนฟิลด์บัส H1 มีรูปแบบการเชื่อมต่อโดยทั่วไปเป็นทอพอโลยีแบบทรี (Tree Topology) ที่มีสายเส้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นแกนหลักสำหรับการเชื่อมต่อที่เรียกว่า “สายหลัก” (Main Run หรือ Trunk) และมีเทอร์มินเนเตอร์ (Terminator) จำนวน 2 ตัว ต่อเข้ากับปลายของสายหลักในแต่ละเซกเมนต์ (Segment) โดยเทอร์มินเนเตอร์ตัวหนึ่งจะอยู่ในอุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้า (Power Conditioner) ที่ติดตั้งอยู่ในห้องควบคุม (Control Room) ส่วนอีกตัวหนึ่งจะอยู่ในกล่องต่อสาย (Device Coupler หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Junction Box) ในฟิลด์ โดย Junction Box ถูกใช้เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อแยกสายต่อย่อยที่เรียกว่า “สายย่อย” (Spur)

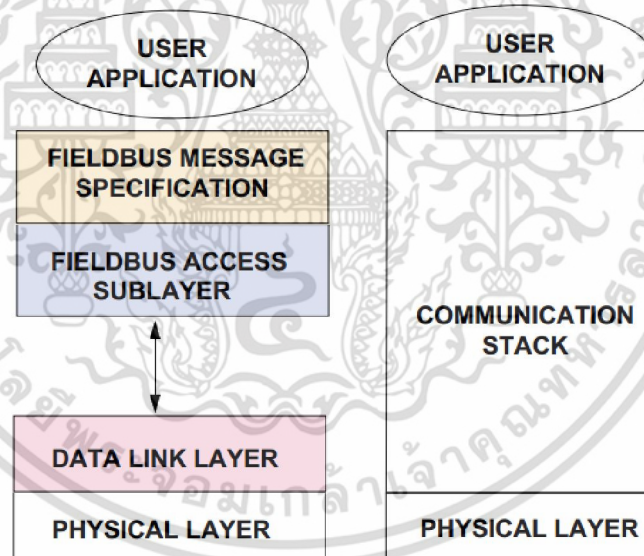
2.2.2 H1 Communication Stack

ในชั้นการสื่อสารของ Communication Stack เป็นส่วนที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่าง Physical Layer และ User Layer ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [14] ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

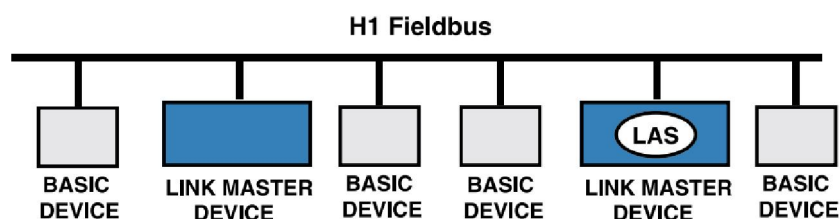
1. Data Link Layer เป็นชั้นที่ใช้ในการควบคุมการรับ-ส่งข้อมูลในเครือข่ายหรือเซกเมนต์ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า LAS (Link Active Scheduler) ในการควบคุมตารางเวลาการรับ-ส่งข้อมูลของอุปกรณ์ฟิลด์บัสบนเซกเมนต์ H1 โดยมีตารางที่กำหนดรูปแบบของการสื่อสารที่เรียกว่า “มาโครไซเคิล” (Macrocycle) ซึ่งมีการแบ่งอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 เป็น 2 ประเภท ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4 [14] คือ

- อุปกรณ์ประเภท Link Master (LM) เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติในการทำหน้าที่เป็น LAS ได้
- อุปกรณ์ประเภท Basic เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีคุณสมบัติในการทำหน้าที่เป็น LAS ได้

2. Fieldbus Access Sublayer (FAS) เป็นการกำหนดรูปแบบของ VCR (Virtual Communication Relationship) ให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการส่ง (ที่ระบุไว้ใน Fieldbus Message Specification) และประเภทของการสื่อสาร (ที่กำหนดไว้ใน Data Link Layer) โดย



รูปที่ 2.3 ชั้นการสื่อสารของ Communication Stack



รูปที่ 2.4 ชนิดของอุปกรณ์ใน Data Link Layer

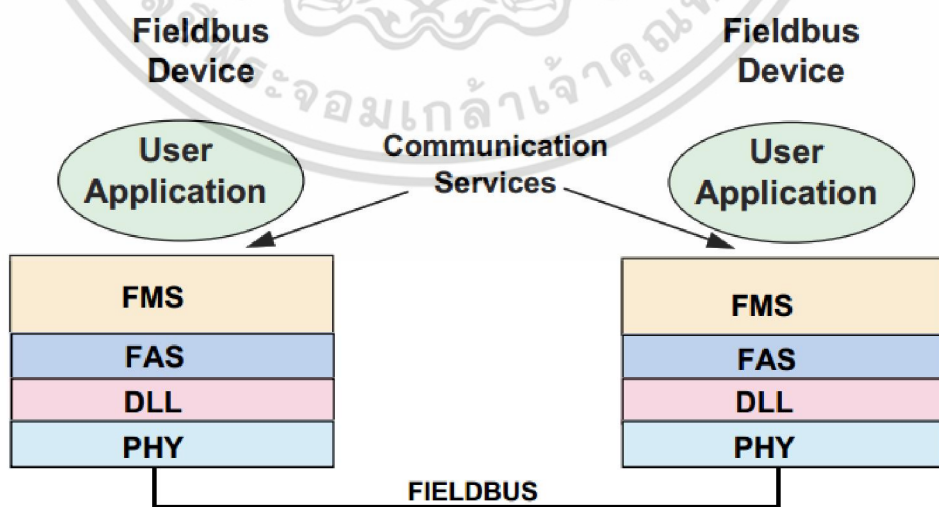
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของ VCR คล้ายกับรูปแบบของการใช้โทรศัพท์ เช่น การโทรศัพท์ระหว่างบุคคล หรือการโทรศัพท์ประชุม 3 สาย ทางองค์กร Fieldbus Foundation ได้กำหนดรูปแบบของ VCR เป็น 3 ประเภท คือ Client/Server VCR, Report Distribution VCR และ Publisher/Subscriber VCR ดังสรุปในตารางที่ 2.1 [6], [14]

3. **Fieldbus Message Specification (FMS)** เป็นส่วนที่ใช้ในการกำหนดรายละเอียดของการให้บริการสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล (Communication Service) และรูปแบบของข้อมูล (Message Formats) รวมทั้งคุณสมบัติของโปรโตคอลที่ต้องการในการสร้างข้อความสำหรับ User Application ดังแสดงในรูปที่ 2.5 [14] ตัวอย่างเช่น *Read Service* ใช้สำหรับการอ่านค่าตัวแปร *Write Service* ใช้สำหรับการเขียนค่าตัวแปร หรือ *EventNotification Service* ใช้สำหรับการรายงานสถานะหรือการแจ้งเตือน เป็นต้น

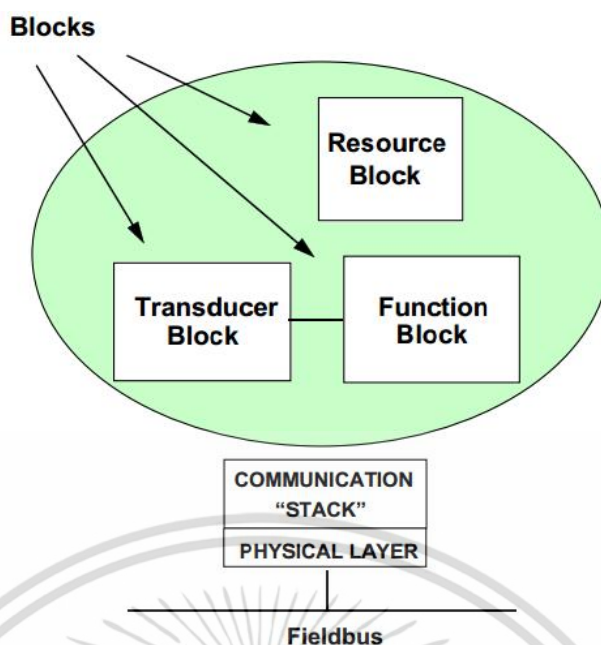
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของ VCR แต่ละชนิดโดยย่อ

Communication Relationship	Characteristics	Example Uses
Publisher/Subscriber	Buffered, Network initiated, Scheduled, Unconfirmed, One-to-many.	Continuous, Real-time control
Report Distribution	Queued, Unscheduled, User initiated, Confirmed, One-to-many	Process alarms, Block alarms, Trends, and other event
Client/Server	Queued, Unscheduled, User initiated, Confirmed, One-to-one	Operator access such as set point and turning changes, alarm management, access display views, remote diagnostics.



รูปที่ 2.5 FMS ถูกใช้สำหรับ Communication Service

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 บล็อกต่าง ๆ ในชั้น User Layer

2.2.3 User Layer

การทำงานของชั้น User Layer ไม่ได้ถูกกำหนดในโมเดล OSI แต่เป็นส่วนเพิ่มเติมสำหรับเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสเพื่อใช้ในการฟังก์ชันกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ระดับฟิลด์เช่น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เครื่องมือวัด (Measuring Device) จะมีประเภทของข้อมูลที่เรียกว่า “ฟังก์ชันบล็อก” (Function Block) ที่แตกต่างจากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แอกทูเอเตอร์ (Actuating Device) นอกจากนี้ฟังก์ชันบล็อกแล้วยังมีรีซอร์สบล็อก (Resource Block) และทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [14] โดยที่แต่ละบล็อกมีรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

Resource Block เป็นบล็อกที่แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ในแต่ละตัว เช่น ชื่ออุปกรณ์ บริษัทผู้ผลิต และหมายเลข (Serial Number) ของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ โดยแต่ละอุปกรณ์จะมีรีซอร์สบล็อกเพียงแค่อุปกรณ์เดียวเท่านั้น เพื่อให้บล็อกอื่น ๆ ภายในอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถทำงานได้จะต้องมีการกำหนดให้รีซอร์สบล็อกมีการทำงานในโหมด AUTO ในกรณีที่อุปกรณ์ฟิลด์บัสเกิดความผิดพลาดไม่สามารถทำงานตามปกติได้ ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปตรวจสอบในบล็อกนี้ได้เป็นอันดับแรก เพราะภายในบล็อกนี้มีข้อมูลเกี่ยวกับความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์ (Block Error) ทำให้ผู้ใช้งานอาจทราบถึงสาเหตุของปัญหาได้

Transducer Block มีรูปแบบการทำงานคล้ายกับรีซอร์สบล็อก โดยทรานสดิวเซอร์บล็อกใช้ในการตั้งค่า (Configuration) เกี่ยวกับเซนเซอร์หรือแอกทูเอเตอร์ (รายละเอียดของค่าอินพุต/เอาต์พุตของอุปกรณ์) โดยมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวันที่สอบเทียบอุปกรณ์ และชนิดของเซนเซอร์ เป็นต้น การทำงานของทรานสดิวเซอร์บล็อกของเครื่องมือวัดจะทำหน้าที่คล้ายกับการแปลงข้อมูลแบบแอนะล็อกให้เป็นข้อมูลดิจิทัล ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์บล็อกของวาล์วควบคุม (แอกทูเอเตอร์) จะทำหน้าที่คล้ายกับการแปลงข้อมูลดิจิทัลให้เป็นข้อมูลแบบแอนะล็อก นอกจากนี้ ยังมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างทรานสดิวเซอร์บล็อกและฟังก์ชันบล็อกผ่านค่าตัวแปรที่เรียกว่า “Chanel”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 Function Blocks ตามมาตรฐาน FF-891

ชื่อของฟังก์ชันบล็อก	สัญลักษณ์
Analog Input	AI
Analog Output	AO
Bias/Gain	BG
Control Selector	CS
Discrete Input	DI
Discrete Output	DO
Manual Loader	ML
Proportional/Derivative	PD
Proportional/Integral/Derivative	PID
Ratio	RA

Function Block กำหนดรูปแบบการทำงาน (Function) ของตัวอุปกรณ์ นั้นหมายความว่าอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันจะมีฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์ไม่เหมือนกัน เช่น เครื่องมือวัดจะมีฟังก์ชันบล็อก Analog Input (AI) ส่วนวาล์วควบคุมมีฟังก์ชันบล็อก Analog Output (AO) เป็นต้น การนำเอาฟังก์ชันบล็อกต่าง ๆ มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อสร้างลูปควบคุมทำได้โดยมีการแลกเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกต่าง ๆ นอกจากนี้ การทำงานของฟังก์ชันบล็อกที่ใช้สร้างลูปควบคุมจะถูกกำหนดเวลาในการทำงานที่แน่นอน โดยฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ในลูปควบคุมพื้นฐานประกอบด้วย 10 บล็อกมาตรฐาน ดังที่มีการกำหนดในมาตรฐาน FF-891 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 [21]

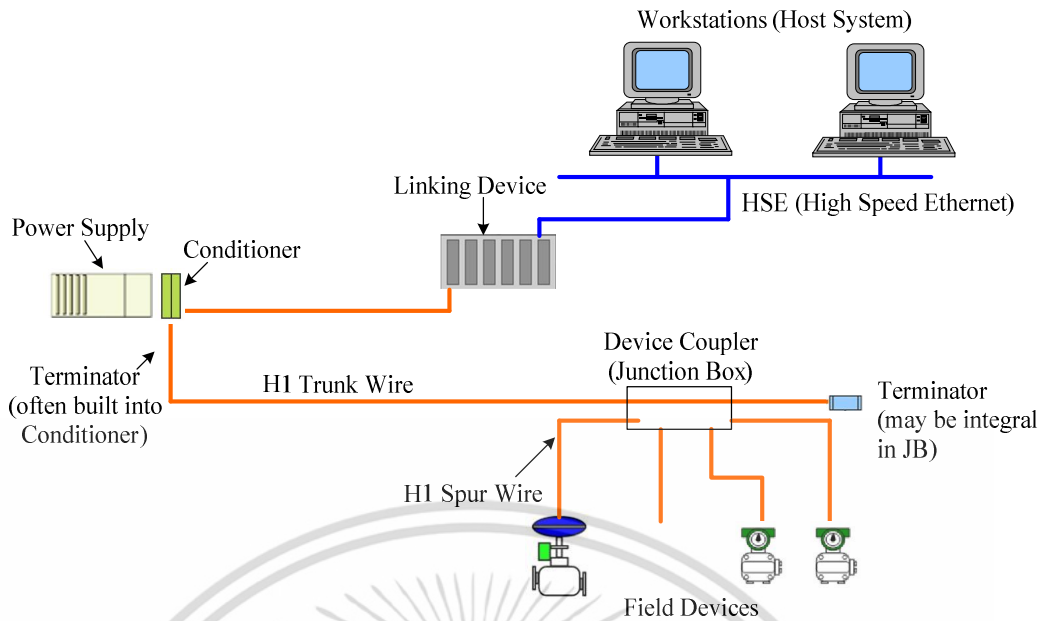
นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 สามารถเพิ่มฟังก์ชันบล็อกอื่น ๆ ที่มีการทำงานเฉพาะของอุปกรณ์ โดยฟังก์ชันบล็อกที่เพิ่มขึ้นจะมีข้อมูลของบล็อกและการตั้งค่า (Configuration) ระบุอยู่ใน DD File (Device Description File) การทำงานของฟังก์ชันบล็อกแต่ละแบบจะทำงานแตกต่างกัน โดยอุปกรณ์หนึ่งสามารถบรรจุฟังก์ชันบล็อกได้หลาย ๆ บล็อกภายในตัวอุปกรณ์ โดยที่ฟังก์ชันบล็อกต่าง ๆ จะอยู่ในส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ของอุปกรณ์

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในเซกเมนต์ของฟิลด์บัส H1 [15], [22]-[26]

เซกเมนต์ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์โดยใช้สายหลัก (Trunk) และสายย่อย (Spur) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในการรับ-ส่งข้อมูลเป็นตัวกลางในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ภายในเซกเมนต์โดยที่อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำหรับเซกเมนต์ของฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ Physical Layer เท่านั้น ไม่มีการสื่อสารข้อมูลหรือบางครั้งถูกเรียกว่า “Physical Layer Component” และกลุ่มอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นต้องมีการสื่อสารข้อมูล สำหรับอุปกรณ์ในกลุ่ม Physical Layer Component ได้แก่ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้อุปกรณ์บนเซกเมนต์แบบกระแสตรง (DC Power Supply) และแหล่งจ่ายอุปกรณ์ปรับสภาพทางไฟฟ้า (Power Conditioner) หรือบางครั้งเรียกว่า Fieldbus Power Supply และเทอร์มินเนเตอร์ (Terminator) ใช้ในการต่อปลายของสาย Trunk ทั้งสองด้าน

และอุปกรณ์ระดับฟิลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในเซกเมนต์ของฟิลด์บัส H1

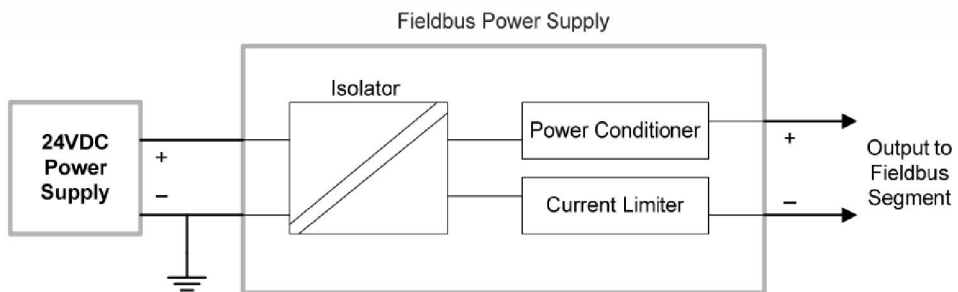
Physical Layer Component ที่นำมาใช้กับเทคโนโลยีฟิวเจอร์เน็ตเวิร์กฟิลด์บัสได้นั้น ควรรองรับการสื่อสารข้อมูลแบบ MBP ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 โดยรายละเอียดโดยย่อของอุปกรณ์ในกลุ่มนี้มีดังนี้

2.3.1 Fieldbus Power Supply

โครงสร้างภายในของแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลด์บัส (Fieldbus Power Supply) หรือบางผู้ผลิตเรียกอุปกรณ์นี้ว่า “Fieldbus Power Conditioner” ดังรูปที่ 2.8 [24] ประกอบไปด้วย

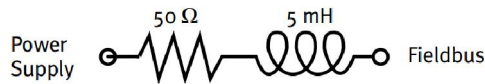
- Isolator เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับ Fieldbus Power Supply เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกสายดิน (GND) ของ DC Power Supply ไปที่พื้นที่การติดตั้งเซกเมนต์ เพื่อลดปัญหาของสัญญาณรบกวน (Noise) ที่จะเข้าไปในระบบ ทำให้การสื่อสารและการส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์มีประสิทธิภาพ

- Power Conditioner หรืออุปกรณ์ปรับสภาพของสัญญาณไฟฟ้า ในเซกเมนต์ของฟิวเจอร์เน็ตเวิร์กฟิลด์บัสจำเป็นต้องมี Power Conditioner เนื่องจากรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการรับ-ส่ง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายในของ Fieldbus Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในของ Power Conditioner

ข้อมูลมีทั้งส่วนที่เป็นสัญญาณดิจิทัลและแอนะล็อก โดยสัญญาณดิจิทัลจะเป็นส่วนของการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ อุปกรณ์ระดับฟิลด์ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 9-32 VDC ส่วนสัญญาณแอนะล็อกจะเป็นข้อมูล (Fieldbus Message) ที่สื่อสารระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์ในเซกเมนต์ โดยโครงสร้างภายในของ Power Conditioner เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่ 2.9 [23]

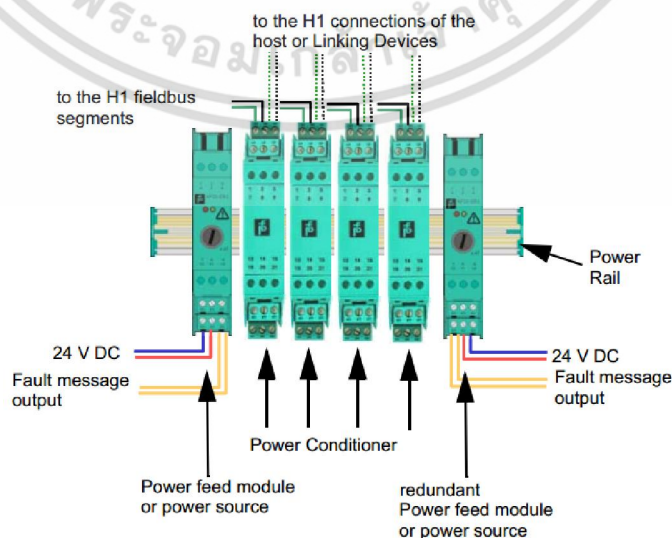
- Current Limiting เป็นอุปกรณ์จำกัดกระแสช่วยป้องกันการเกิดความเสียหายและป้องกันการเกิดสถานะกระแสเกินที่มาจาก DC Power Supply ให้แก่ Fieldbus Power Supply ในกรณีที่เกิด Short Circuit หรือ Over Load

รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการติดตั้งใช้งาน Fieldbus Power Supply [25] ในการเลือกใช้ Fieldbus Power Supply มีหลายปัจจัยอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น

1. Hazardous Area ถ้าเซกเมนต์จำเป็นต้องติดตั้งในพื้นที่เสี่ยงอันตราย ผู้ออกแบบและผู้ใช้งานต้องศึกษาการใช้งานการป้องกันการติดตั้ง Fieldbus Power Supply เป็นอย่างดี โดย Fieldbus Power Supply มีหลายชนิด ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบ Non-Intrinsically Safe และแบบที่สามารถใช้งานติดตั้งในพื้นที่เสี่ยงอันตรายได้ เช่น FISCO หรือ High Power Trunk เป็นต้น

2. Voltage ในการทำงานอุปกรณ์ระดับฟิลด์จะทำงานได้ต้องมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์มีค่าระหว่าง 9-32 VDC ในการติดตั้งเซกเมนต์ฟิลด์บัสที่อยู่ในระยะไกล ๆ จากอุปกรณ์ Fieldbus Power Supply (โดยปกติจะติดตั้งอยู่ในห้องควบคุม) จะเกิด Voltage Drop ในสายฟิลด์บัสจากแหล่งจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ฟิลด์บัส จึงจำเป็นต้องเลือกแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลด์ภายในเซกเมนต์

3. Current โดยทั่วไปอุปกรณ์ระดับฟิลด์จะมีการใช้พลังงานโดยกระแสใช้งานของอุปกรณ์ (Current Consumption) ประมาณ 10-20 mA ดังนั้นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เลือกใช้จะต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแสให้เพียงพอกับผลรวมของกระแสใช้งานทั้งหมดในเซกเมนต์



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งาน Fieldbus Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Fieldbus Terminator

เทอร์มินเนเตอร์ (Terminator) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11 [25]-[26] เป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการติดตั้งส่วนปลายสุดของสายหลักหรือ Trunk ทั้งสองด้าน โดยปกติ Terminator ถูกติดตั้งไว้ที่ส่วนปลายของสาย Trunk ในห้องควบคุมอยู่ในส่วนของ Fieldbus Power Supply และอีกด้านหนึ่งของสาย Trunk จะติดตั้ง Terminator ไว้ใน Junction Box ในระดับฟิลด์ โดยการทำงานของ Terminator จะช่วยป้องกันปัญหาการสะท้อนกลับของสัญญาณจากปลายสาย Trunk ทั้งสองด้าน (Line Reflection) ซึ่งภายในอุปกรณ์ Terminator มีวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เป็นหลัก

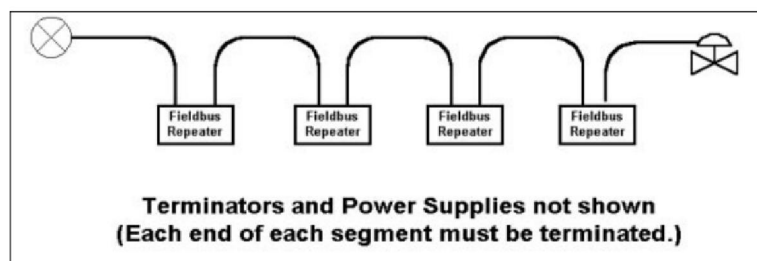
ในกรณีที่เชกเมนต์ของฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสไม่มีการติดตั้ง Terminator ที่ปลายสาย Trunk ทั้งสองด้านจะส่งผลกระทบต่อรูปร่างสัญญาณที่อาจมีความผิดเพี้ยน (Distortion) เกิดขึ้น ถ้ามีการติดตั้ง Terminator เพียงด้านเดียว อุปกรณ์ฟิลด์บัสยังสามารถทำงานตามฟังก์ชันที่กำหนดได้ แต่สัญญาณที่ใช้สื่อสารจะมีค่าแอมพลิจูด (Amplitude) เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าค่าแอมพลิจูดในช่วงที่ยอมรับได้ และถ้าหากภายในเชกเมนต์ฟิลด์บัสมีการติดตั้ง Terminator ตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป ทำให้อุปกรณ์ในเชกเมนต์สูญเสียความสามารถในการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากสัญญาณสื่อสารถูกลดขนาดลงไปจนไม่สามารถใช้ได้



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างและโครงสร้างภายในของ Fieldbus Terminator

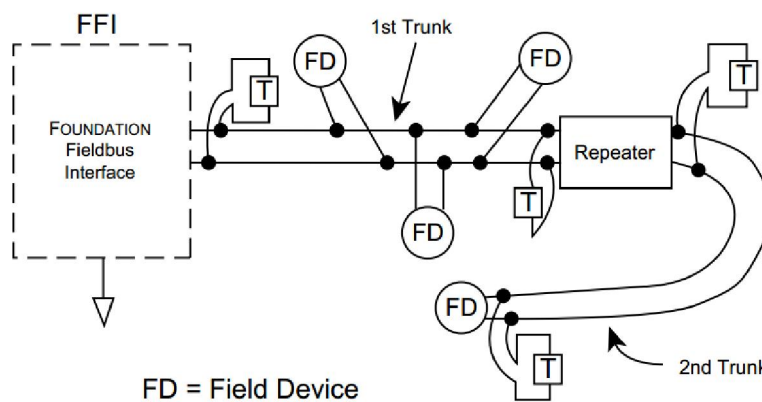
2.3.3 Fieldbus Repeater

รีพีตเตอร์ (Repeater) เป็นอุปกรณ์ทางเลือก (Option) ที่ใช้ขยายระยะของเชกเมนต์ฟิลด์บัส โดยข้อกำหนดตามมาตรฐาน IEC 61158-2 ได้กำหนดคุณสมบัติพื้นฐานในการใช้หรือติดตั้งอุปกรณ์ Repeater ระหว่างอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์บนเครือข่ายฟิลด์บัสสามารถใช้ Repeater ขยายเชกเมนต์ได้สูงสุด 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.12 [15]



รูปที่ 2.12 จำนวน Repeater สูงสุดต่อเชกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

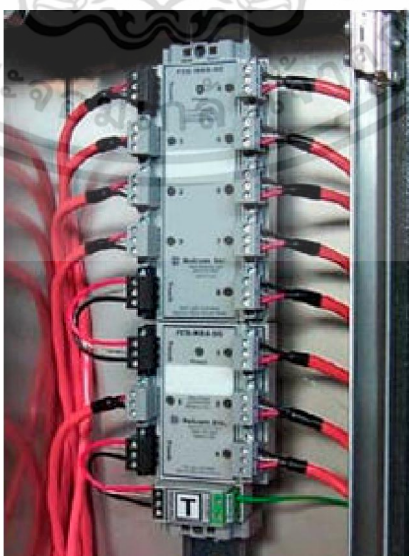


รูปที่ 2.13 ลักษณะการติดตั้ง Repeater บนเชกเมนต์

ในรูปที่ 2.13 [15] ได้แสดงถึงการเพิ่มระยะของเชกเมนต์ในส่วนที่ 2nd Trunk เพื่อขยายการติดตั้งอุปกรณ์ฟิลด์บัสเพิ่มเติม เนื่องจากไม่สามารถติดตั้งในระยะที่ 1st Trunk ได้เพราะข้อจำกัดของระยะรวมทั้งหมดของเชกเมนต์เกินข้อกำหนด (ตามข้อกำหนดระยะสายฟิลด์บัสมีค่าไม่เกิน 1,900 เมตร ในกรณีที่ใช้สาย Type A) ดังนั้น จำเป็นต้องติดตั้ง Repeater เพื่อเพิ่มระยะของสายในการติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลด์ ข้อควรระวังในการติดตั้ง Repeater ต้องติดตั้ง Terminator เพิ่มอีก 2 ตัวด้วย

2.3.4 Fieldbus Field Device Coupler

Device Coupler ดังแสดงในรูปที่ 2.14 [24] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อหรือเดินสาย (Wiring) บนเชกเมนต์หรือบางครั้งเรียกว่า Junction Box การติดตั้งอุปกรณ์ชนิดนี้เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ฟิลด์บัสบนเชกเมนต์เป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากง่ายต่อการติดตั้งและการสับเปลี่ยนอุปกรณ์ นอกจากนี้ Device Coupler สามารถป้องกันการเกิดลัดวงจร (Short Circuit) เพื่อป้องกันความเสียหายบนเชกเมนต์ หากอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 หรือ Spur เกิดสภาวะลัดวงจร



รูปที่ 2.14 ตัวอย่าง Device Coupler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป Device Coupler มี 2 ประเภท คือ Non-Isolated และ Isolated โดยที่

- **Non-Isolated** เป็นแบบที่นิยมใช้ในการติดตั้งในระบบฟิลด์บัสค่อนข้างมาก เนื่องจากรองรับในการติดตั้งใช้งานในพื้นที่อันตราย Zone 2 หรือ Non-Hazardous Area แต่ถ้ามีความจำเป็นในการติดตั้งใช้งานใน Zone 1 หรือ 0 (Hazardous Area) จะต้องใช้ Device Coupler แบบ Isolated

- **Isolated** เป็นแบบที่ใช้ติดตั้งใน Zone 1 หรือ Zone 0 (Division 1) จึงออกแบบให้ Device Coupler ประเภทนี้มีการแยกของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สาย Trunk และ Spur ออกจากกัน

2.3.5 Fieldbus Cable

สายฟิลด์บัส (Fieldbus Cable) ที่ใช้ในการสร้างฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 มี 4 ประเภทดังสรุปในตารางที่ 2.3 [24] โดยสายฟิลด์บัสที่มีข้อกำหนดซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการสร้างเซกเมนต์ใหม่ คือ สายฟิลด์บัส Type A ซึ่งเป็นสาย Shield Twisted Pair ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.15 [24] นอกจากนี้ สายฟิลด์บัสที่สามารถใช้ในการติดตั้งเซกเมนต์ใหม่หรือมีการขยายระยะของเซกเมนต์ฟิลด์บัสเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ฟิลด์บัสเพิ่ม คือ การใช้สายฟิลด์บัสแบบ Multiple Twisted Pair มี Shield หุ้มทั้งสายเรียกว่า สายฟิลด์บัส Type B ส่วนสายฟิลด์บัส Type C มีลักษณะเป็นสาย Single หรือ Multiple Twisted Pair โดยไม่มี Shield ห่อหุ้มสายฟิลด์บัส ส่วนสายฟิลด์บัส Type D เป็นสายแบบ Multiple Conductor เท่านั้น ไม่มีสายแบบ Twisted Pair แต่มี Shield ห่อหุ้มสาย โดยสายประเภท Type C และ Type D จะใช้ในกรณีการเพิ่มระยะของเซกเมนต์หรือเป็นสาย Spur ในการเพิ่มอุปกรณ์ฟิลด์บัส แต่มีข้อจำกัดทางคุณสมบัติเมื่อเปรียบเทียบกับสายฟิลด์บัส Type A และ Type B

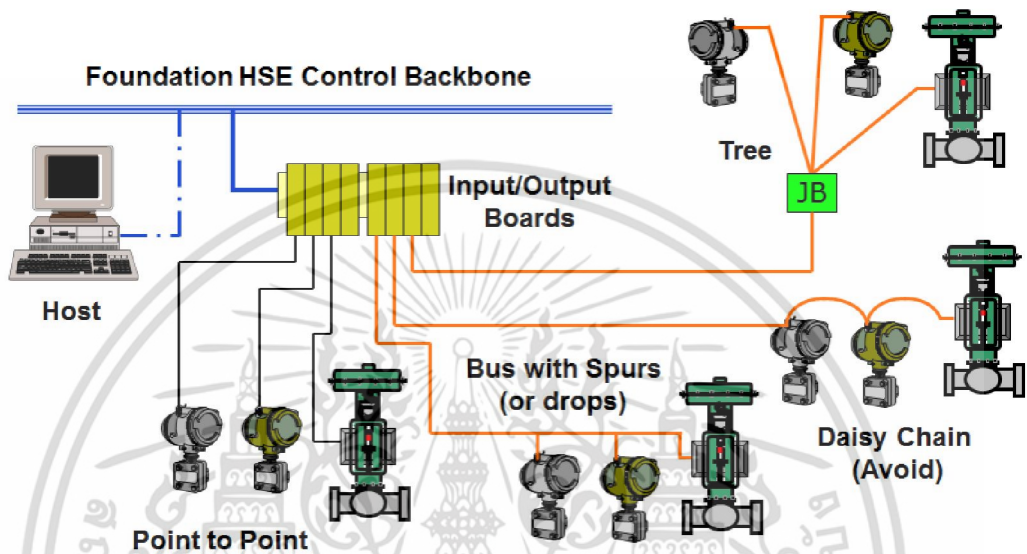
ตารางที่ 2.3 ประเภทและคุณสมบัติของสายฟิลด์บัสสำหรับระบบฟิลด์บัส H1

Cable Type	Distance, Meters	Characteristic Impedance	Resistance, Ohms/km	Attenuation, dB/km	Description
Type A (Standard Fieldbus)	1,900	100	22	3	Shield twisted pair
Type B	1,200	100	36	5	Single or multi-twisted pair with an overall shield
Type C	400	Unknown	132	8	Multi-twisted pair without shield
Type D	200	Unknown	20	8	Multi-core, without twisted pair, without shield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างสายฟิลด์บัสแบบ Shield Twisted Pair



รูปที่ 2.16 เซกเมนต์ทอพอโลยีที่ใช้ในระบบฟิลด์บัส H1

ความยาวรวมของสายฟิลด์บัสที่ใช้ในเซกเมนต์ H1 (L_{total}) คำนวณได้จากผลรวมความยาวของสายย่อยที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์เข้ากับ Junction Box แต่ละเส้น (L_{spur}) บวกกับความยาวของสายหลัก (L_{trunk}) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_{total} = \sum L_{spur} + L_{trunk} \quad (2.1)$$

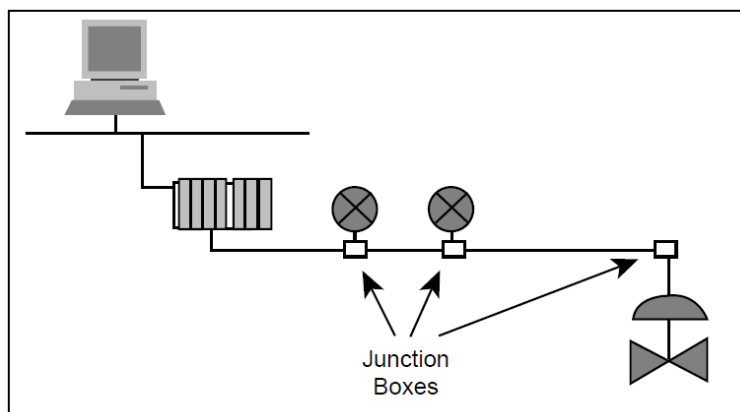
2.4 เซกเมนต์ทอพอโลยีที่ใช้ในฟิลด์บัส H1 [15], [22]

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์ในเซกเมนต์หรือที่เรียกว่า “ทอพอโลยี” (Topology) สามารถทำได้หลายรูปแบบดังตัวอย่างในรูปที่ 2.16 [22] โดยรายละเอียดของทอพอโลยีที่สำคัญอธิบายได้ดังนี้

2.4.1 Bus with Spur Topology

การเชื่อมต่อแบบ Bus with Spur ดังรูปที่ 2.17 [15] จะนำอุปกรณ์ฟิลด์บัสไปต่อเข้ากับบัสเซกเมนต์ (ในส่วนของสาย Trunk) โดยใช้ T-Connector สายที่ต่อระหว่าง T-Connector กับอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 จะเรียกว่า “Spur” โดยที่มีข้อจำกัดในด้านระยะความยาวของ Spur ตามข้อกำหนดสามารถยาวได้ตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 120 เมตร

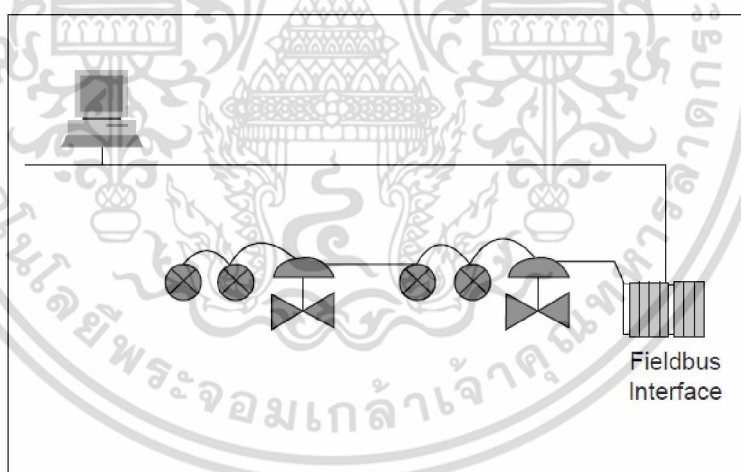
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 Bus with Spur Topology

2.4.2 Daisy Chain Topology

การเชื่อมต่อทอพอโลยีแบบ Daisy Chain ดังรูปที่ 2.18 [15] เป็นการเดินสายฟิลด์บัสที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ขั้ว (Connector) ของอุปกรณ์โดยตรง ไม่มีการใช้ Device Coupler หรือ Junction box ข้อควรระวังในการเชื่อมต่อแบบนี้คือ ควรตรวจสอบสภาพการใช้งานของขั้วที่ใช้งาน และสายฟิลด์บัสที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้มีสภาพพร้อมใช้และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน แต่ทั้งนี้ทางองค์กร Fieldbus Foundation ไม่แนะนำให้ใช้การเชื่อมต่อทอพอโลยีแบบนี้ เนื่องจากในกรณีที่มีอุปกรณ์ตัวใดมีปัญหาอาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ตัวอื่นบนเซกเมนต์ได้

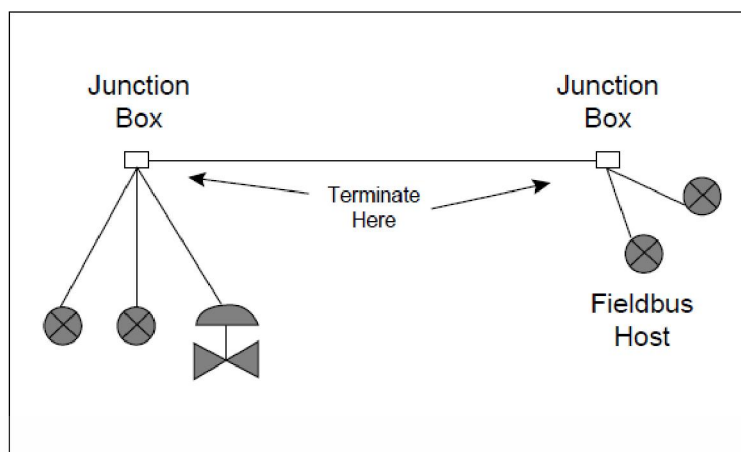


รูปที่ 2.18 Daisy Chain Topology

2.4.3 Tree Topology

การเชื่อมต่อทอพอโลยีแบบ Tree หรือเรียกอีกอย่างว่า แบบ Chicken Foot ดังรูปที่ 2.19 [15] มีลักษณะการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ บนเซกเมนต์เชื่อมต่อเข้าด้วยสายฟิลด์บัสแบบ Twisted Pair ไปยัง Junction Box โดยที่การเชื่อมต่อทอพอโลยีแบบ Tree สามารถติดตั้งที่ด้านปลายสาย Trunk บนเซกเมนต์ฟิลด์บัสได้ โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะเชื่อมต่อเข้าที่ Function Box กล่องเดียวกัน ข้อควรระวังในการติดตั้ง Tree Topology ต้องพิจารณาถึงความยาวสูงสุดของ Spur ด้วย

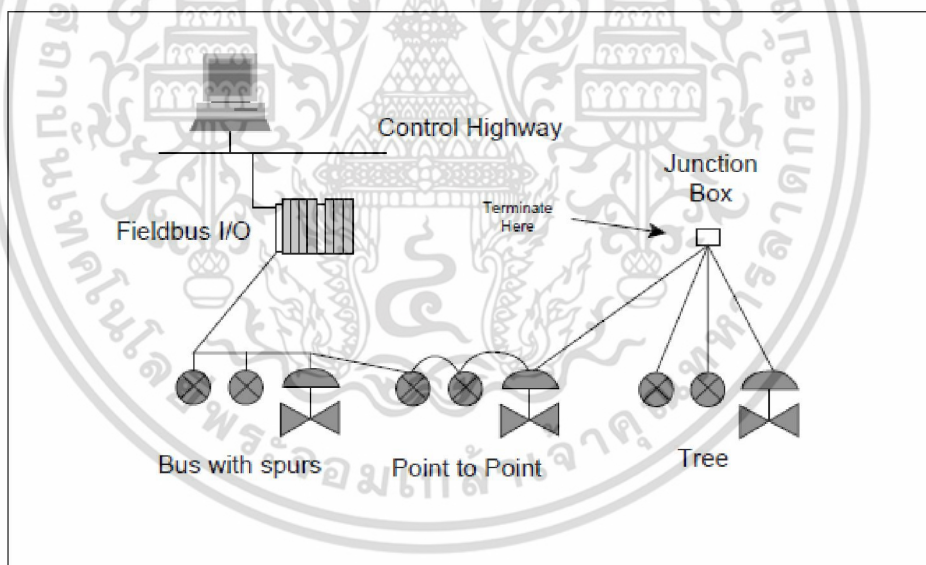
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 Tree Topology

2.4.4 Mixed Topology

การเชื่อมต่อทอพอโลยีแบบผสม ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.20 [15] เป็นการรวมแบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งต้องดำเนินการติดตั้งให้เป็นไปตามข้อกำหนดเช่น ระยะเวลายาวสูงสุดของเซกเมนต์ฟิลด์บัส และการคำนวณระยะของ Spur ที่สามารถใช้ได้



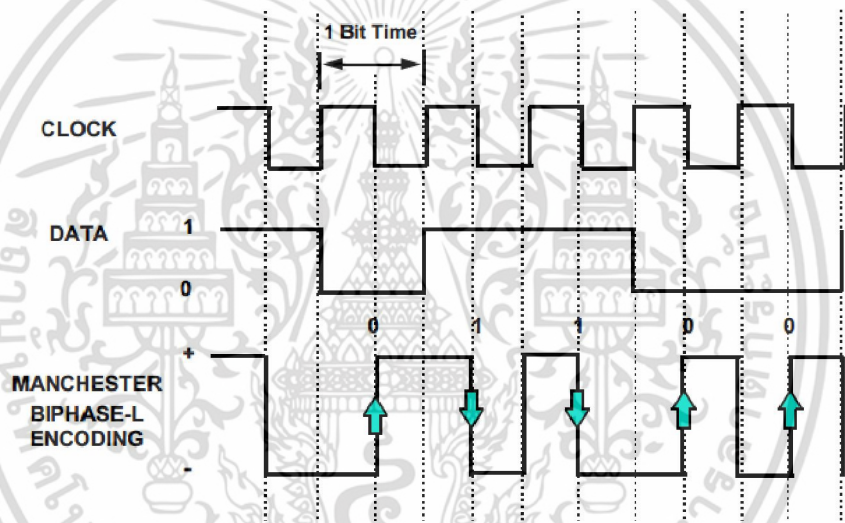
รูปที่ 2.20 Mixed Topology

2.5 การเข้ารหัสข้อมูลด้วยเทคนิค Manchester ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 [3], [14], [23]-[24]

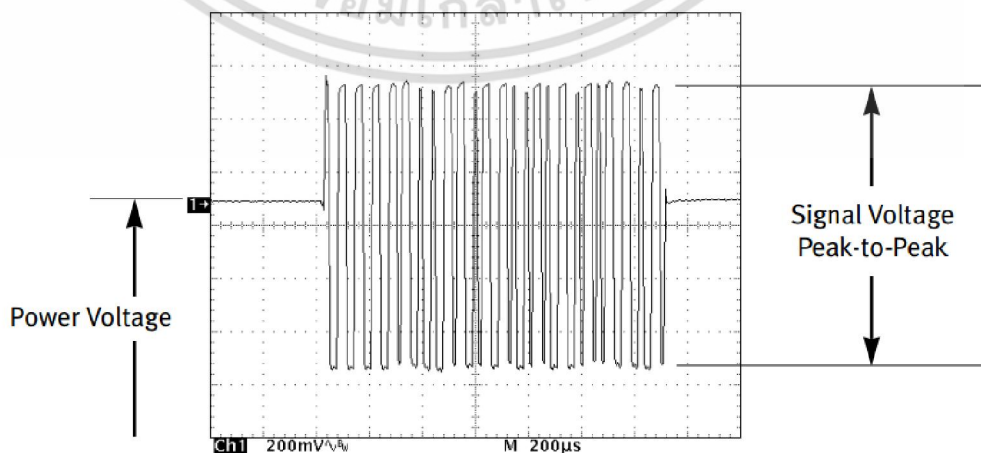
การเข้ารหัส (Encoding) ด้วยเทคนิค Manchester เป็นรูปแบบของการเข้ารหัสดิจิทัลโดยบิตข้อมูลถูกแทนด้วยการเปลี่ยนผ่าน (Transition) จากสถานะตรรกะหนึ่งเป็นอีกสถานะ โดยเกิดการเปลี่ยนผ่านสถานะที่จุดครึ่งคาบของแต่ละสัญญาณข้อมูล (1 Bit Time) ดังนั้น ระดับสัญญาณในช่วงครึ่งแรกของบิตข้อมูลจะมีสถานะที่ตรงกันข้ามกับระดับสัญญาณในช่วงครึ่งหลังของบิตข้อมูล ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสด้วยวิธีนี้เป็น Self-Clocking เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณที่ศูนย์กลางแต่ละบิตอย่างสม่ำเสมอเพื่อช่วยในการจับสัญญาณนาฬิกาได้ ในการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester กำหนดให้ การเปลี่ยนผ่านจากสถานะ High เป็น Low (Falling Transition) แทนบิตข้อมูล 0 และการเปลี่ยนผ่านจากสถานะ Low เป็น High (Rising Transition) แทนบิตข้อมูล 1 แต่ในการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester Biphase-L มีการกำหนดที่ตรงกันข้าม คือ การเปลี่ยนผ่านจากสถานะ High เป็น Low (Falling Transition) แทนบิตข้อมูล 1 ส่วนการเปลี่ยนผ่านจากสถานะ Low เป็น High (Rising Transition) แทนบิตข้อมูล 0 ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.21 [14]

สัญญาณฟิลด์บัสที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของฟาวนด์เชนฟิลด์บัส H1 ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 เป็นสัญญาณเอซี (คลื่นสี่เหลี่ยม) 31.25 kbps ที่มีการเข้ารหัสข้อมูลด้วยเทคนิค Manchester Biphase-L (1 Bit Time = 32 μ s) ที่ซ็อนทับกับสัญญาณตีซีซึ่งเป็นสัญญาณไฟเลี้ยง (Power Voltage) สำหรับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่มีค่าระหว่าง 9-32 VDC โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าแรงดันตีซี 24 VDC ดังแสดงในรูปที่ 2.22 [23]

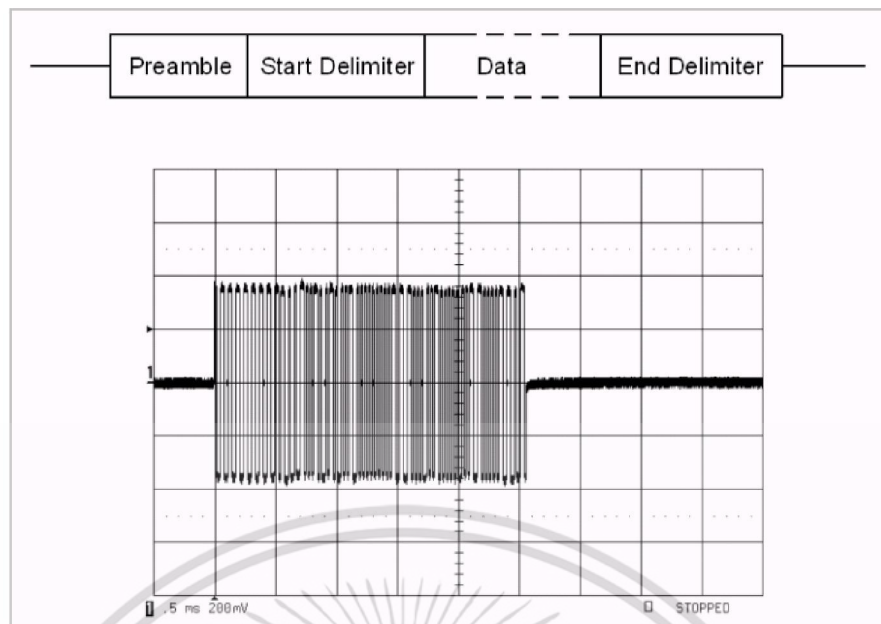


รูปที่ 2.21 การเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester Biphase-L

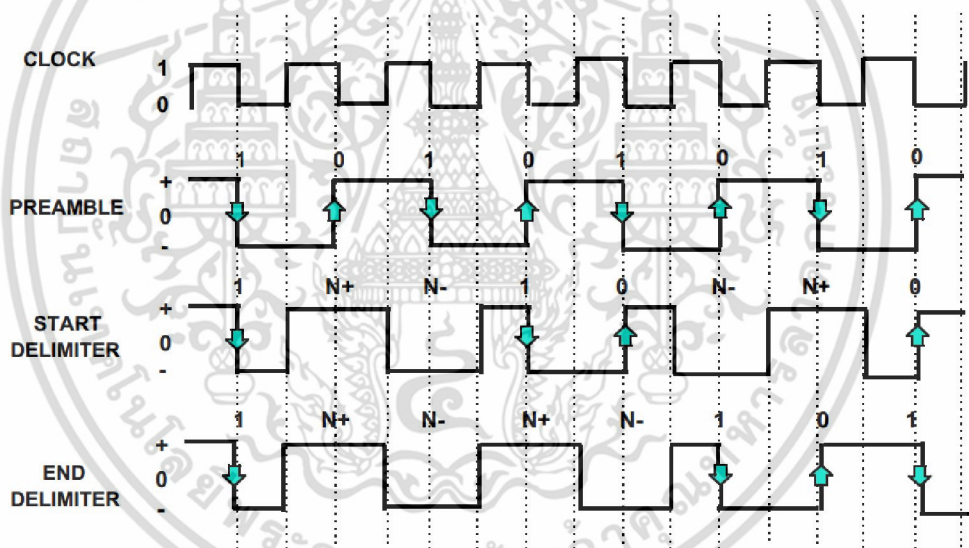


รูปที่ 2.22 สัญญาณฟิลด์บัสที่มีการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester Biphase-L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 การส่งข้อมูลเป็นกลุ่มของบิตหรือ Data Frame ด้วยสัญญาณฟิลด์บัส



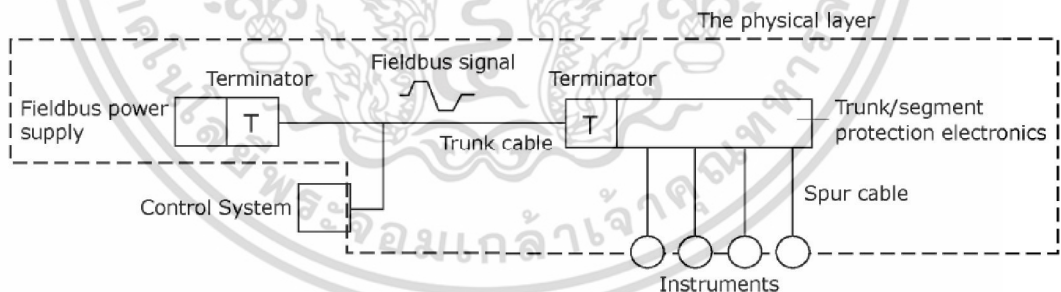
รูปที่ 2.24 กลุ่มของบิตที่ใช้กำหนดส่วน Data Frame ของการส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณฟิลด์บัส

การเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester ซึ่งมีสัญญาณข้อมูลในลักษณะ Self-Clocking ทำให้
 ง่ายต่อการควบคุมจังหวะการรับ-ส่งข้อมูลให้สอดคล้องกันระหว่างอุปกรณ์ผู้รับ-ผู้ส่งบนเครือข่าย โดย
 การส่งผ่านข้อมูลลักษณะนี้เป็นแบบซิงโครนัส (Synchronous Data Transmission) ที่มีการส่ง
 ข้อมูลเป็นกลุ่มของบิตที่เรียกว่า “Data Frame” ดังแสดงในรูปที่ 2.23 [24] ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของ
 บิต Preamble กลุ่มของบิต Start Delimiter ส่วนข้อมูล (Data) และกลุ่มของบิต End Delimiter
 โดยกลุ่มของบิตทั้งสามกลุ่มนี้ (ยกเว้นในส่วน Data) เป็นกลุ่มที่ถูกกำหนดให้มีขนาด 8 บิตและมีการ
 เปลี่ยนผ่านสถานะของแต่ละบิตดังแสดงในรูปที่ 2.24 [24] ดังนั้น การรับ-ส่งข้อมูลในระบบฟิลด์บัส
 H1 ในแต่ละ Data Frame จะมีเฉพาะส่วน Data เท่านั้นที่เปลี่ยนไปสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลในแต่ละ
 ครั้ง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

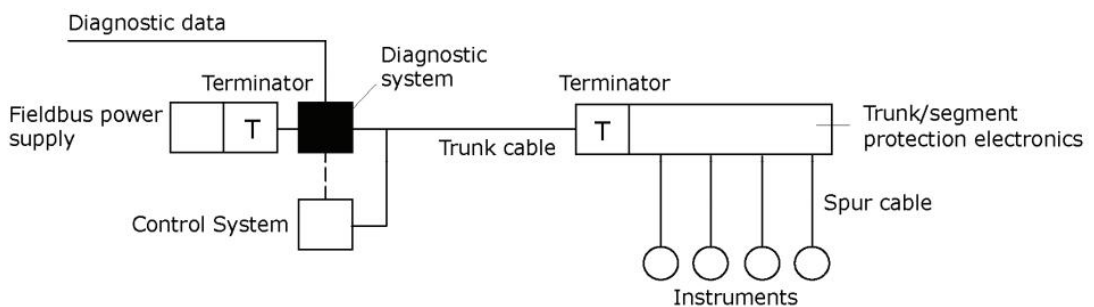
2.6 การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1 [15]-[16], [22]-[28]

รูปที่ 2.25 [16] แสดงลำดับชั้นกายภาพหรือ Physical Layer ของฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 ซึ่งประกอบด้วย สายหลัก (Trunk) สายย่อย (Spur) อุปกรณ์ระดับฟิลด์บัสที่มีการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีฟิลด์บัส H1 (Instrument) เทอร์มิเนเตอร์ (Terminator) ที่ต่อตรงจุดปลายทั้งสองด้านของสายหลัก แหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้า (Fieldbus Power Supply) และอุปกรณ์เชื่อมต่อจำพวก Junction Box รวมทั้งอุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด (Fault Protection Equipment) ของสายหลักหรือเซกเมนต์ การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพของระบบฟิลด์บัส H1 ทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่มีการแนะนำคือ การติดตั้งหรือเชื่อมต่อเครื่องมือการตรวจสอบวินิจฉัย (Diagnostic Tool) เข้ากับสายหลักหรือ Trunk ของฟิลด์บัสเซกเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.26 [16] วัตถุประสงค์หลักของการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพของระบบฟิลด์บัส คือ การตรวจวัดเพื่อติดตาม (Monitor) และมีการรายงาน (Announce) การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรที่เป็นตัวบ่งชี้ความผิดพลาด (Fault) ที่เกิดขึ้นในระบบ ก่อนที่ความผิดพลาดนี้จะก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่ดีต่อการทำงานของอุปกรณ์หรือสร้างความเสียหายให้แก่ระบบ ตัวแปรที่เครื่องมือการตรวจสอบวินิจฉัยใช้เป็นตัวบ่งชี้ความผิดพลาดของระบบฟิลด์บัส H1 ได้แก่

- ค่าแรงดันเซกเมนต์ (Segment Voltage)
- ค่ากระแสเซกเมนต์ (Segment Current)
- ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์ระดับฟิลด์ (Device Voltage)
- ค่าแรงดันแบบ Peak-to-Peak ของสัญญาณฟิลด์บัส (Signal Level)
- ขั้ว (บวก/ลบ) ของสัญญาณ (Signal Polarity)
- สัญญาณรบกวนเซกเมนต์ (Segment Noise)
- จิตเตอร์ของสัญญาณฟิลด์บัส (Signal Jitter)



รูปที่ 2.25 ลำดับชั้นกายภาพหรือ Physical Layer ของฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1



รูปที่ 2.26 การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพของฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ค่าแรงดันและกระแสเซกเมนต์ [5]-[6], [23]-[24], [27]

อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่มีการสื่อสารด้วยฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามรูปแบบของการจ่ายไฟเลี้ยง คือ อุปกรณ์ที่ได้รับสัญญาณไฟเลี้ยงจากการเชื่อมต่อเข้ากับฟิลด์บัสเซกเมนต์ (Bus-Powered Device หรือ Network-Energized Device) และอุปกรณ์ที่มีแหล่งจ่ายไฟเฉพาะของตัวเอง (External Power-Supply Device) สำหรับ Bus-Powered Device สามารถรับสัญญาณไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟของฟิลด์บัสเซกเมนต์ในช่วง 9-32 VDC โดยทั่วไป นิยมใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด 24 VDC ในระบบฟิลด์บัส H1 เช่นเดียวกับการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ในระบบแอนะล็อก ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 [6] แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของ Bus-Powered Device และข้อกำหนดที่สำคัญของแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลด์บัส ตามลำดับ

ค่ากระแสในฟิลด์บัสเซกเมนต์หรือกระแสเซกเมนต์ ($I_{segment}$) ซึ่งเป็นโหลดของแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลด์บัสหรือ Fieldbus Power Supply [27] สามารถคำนวณค่าโดยประมาณได้จาก

$$I_{segment} = \sum I_{field\ device} + \sum I_{device\ coupler} + I_{host} \quad (2.2)$$

เมื่อ $I_{field\ device}$ คือ ค่ากระแสที่ใช้โดยอุปกรณ์ระดับฟิลด์ (ในการทำงานปกติ)

$I_{device\ couple}$ คือ ค่ากระแสที่ใช้โดยอุปกรณ์จำพวก Junction Box หรือ Device Couple

I_{host} คือ ค่ากระแสที่ใช้โดยระบบโฮสต์

ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์จำพวก Junction Box หรือ Device Couple ($V_{device\ couple}$) และค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวอุปกรณ์ระดับฟิลด์ ($V_{field\ device}$) ที่ติดตั้งในฟิลด์บัสเซกเมนต์ [27] สามารถคำนวณค่าโดยประมาณได้ ดังนี้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของ Bus-Powered Device

Characteristic	Limits for 31.25 kbps
Operating voltage	9.0 to 32.0 VDC
Maximum voltage	35.0 VDC
Maximum idle current rate of exchange (not transmitting)	1.0 mA/ms
Maximum current	Idle current plus 10 mA

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดที่สำคัญของแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลด์บัส

Requirements of Fieldbus Power Supply	Limits for 31.25 kbps
Output voltage, non-intrinsically safe	≤ 32.0 VDC
Output voltage, intrinsically safe (IS)	Depends on the barrier
Output impedance, non-intrinsically safe, measured within the frequency range of 0.25 to 1.25 f _r	≥ 3 k Ω
Output impedance, intrinsically safe, measured within the frequency range of 0.25 to 1.25 f _r	≥ 400 k Ω (An intrinsically safe power supply includes an intrinsically safe barrier)

$$V_{device\ couple} = V_{fieldbus\ supply} - (I_{segment} \times R_{cable}) \quad (2.3)$$

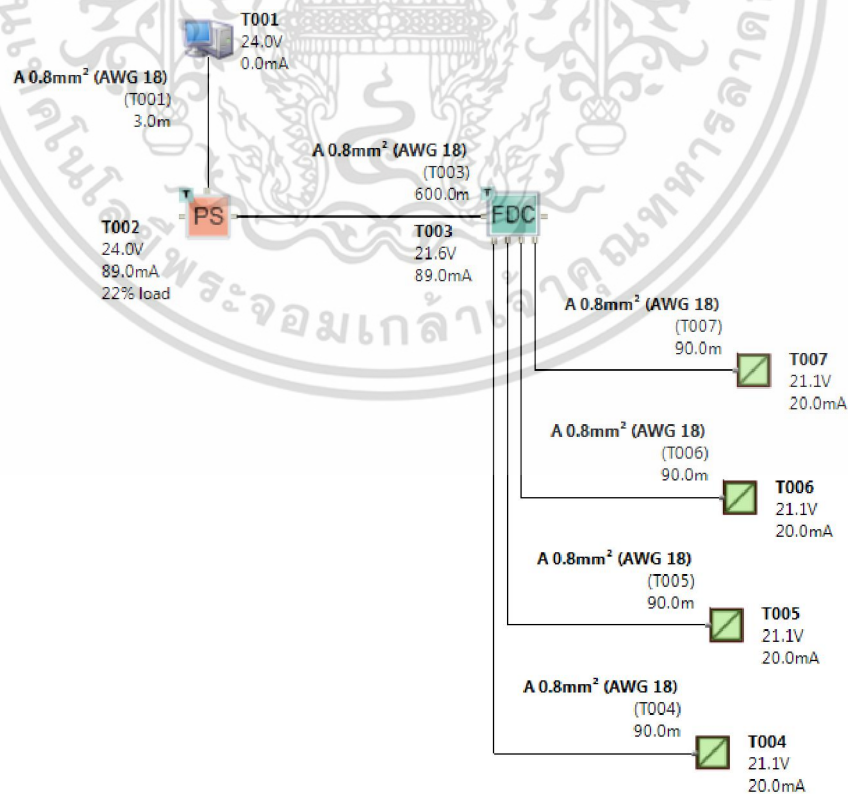
$$\text{และ } V_{field\ device} = V_{device\ couple} - (I_{field\ device} \times R_{cable}) \quad (2.4)$$

เมื่อ $V_{fieldbus\ supply}$ คือ ค่าแรงดันเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลด์บัส

R_{cable} คือ ค่าความต้านทานของสายฟิลด์บัส

ในรูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญในฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 จากโปรแกรม DesignMate [5] ได้แก่ ค่าแรงดันและกระแสเซกเมนต์ ความยาวของสายฟิลด์บัสที่ใช้ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ Device Couple และค่าแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ระดับฟิลด์แต่ละตัว โดยเซกเมนต์ในตัวอย่างนี้ มีทอพอโลยีแบบทรี และมีการใช้สายฟิลด์บัส Type A ที่มีค่าความต้านทานของสาย 44 Ω /km แหล่งจ่ายไฟที่จ่ายค่าแรงดันเอาต์พุต 24 V และจ่ายค่ากระแสได้สูงสุด (Rated Current) 0.4 A และอุปกรณ์ Device Couple ที่มีการใช้ค่ากระแสภายในตัวอุปกรณ์ 9 mA ค่าตัวแปรในเซกเมนต์ที่คำนวณได้เหล่านี้สรุปได้ดังตารางที่ 2.6 โดยที่

- ผลรวมความยาวของสายฟิลด์บัสที่ใช้ มีค่าเท่ากับ $600\text{ m} + (90\text{ m} \times 4) = 960\text{ m}$
- ผลรวมกระแสในฟิลด์บัสเซกเมนต์ มีค่าเท่ากับ $9\text{ mA} + (20\text{ mA} \times 4) = 89\text{ mA}$
- ความต้านทานในสายของ Truck มีค่าเท่ากับ $44\ \Omega \times (600\text{ m} / 1,000\text{ m}) = 26.4\ \Omega$
- ค่าแรงดันที่ตกคร่อมสาย Truck มีค่าเท่ากับ $89\text{ mA} \times 26.4\ \Omega = 2.3496\text{ V}$
- ค่าแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ Device Couple มีค่าเท่ากับ $24\text{ V} - 2.3496\text{ V} = 21.6504\text{ V}$

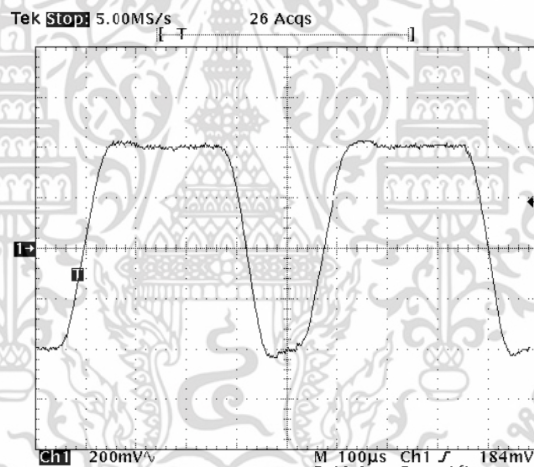


รูปที่ 2.27 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญในฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1

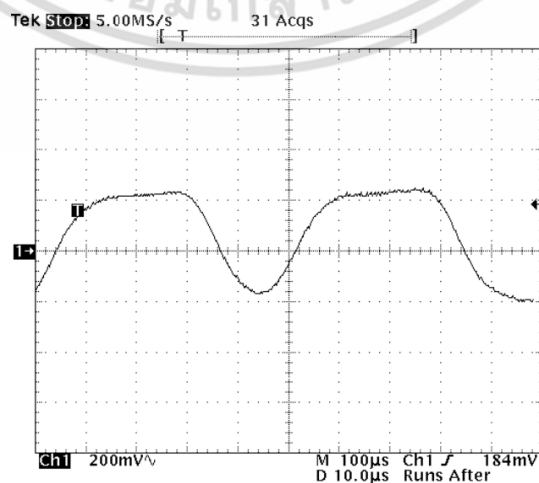
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ผลการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญในฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 จากตัวอย่างในรูปที่ 2.27

Tag	Current (mA)		Voltage (V)	
	must	Calculated	must	Calculated
T001 (Host)	0	0	9.000	24.000
T002 (Fieldbus Power Supply)	89.0	89.0	11.838	24.000
T003 (Device Couple)	89.0	89.0	9.480	21.641
T003: Spur1	20.0	20.0	9.080	21.197
T003: Spur2	20.0	20.0	9.080	21.197
T003: Spur3	20.0	20.0	9.080	21.197
T003: Spur4	20.0	20.0	9.080	21.197
T004	20.0	20.0	9.000	21.117
T005	20.0	20.0	9.000	21.117
T006	20.0	20.0	9.000	21.117
T007	20.0	20.0	9.000	21.117



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากจุดต้นของสายฟิลด์บัส (Transmitted Signal)



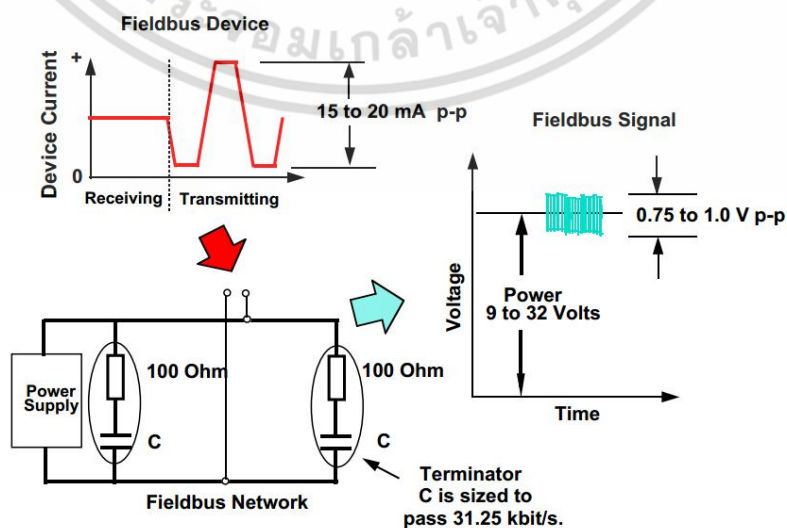
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างสัญญาณข้อมูลที่ได้รับที่จุดปลายของสายฟิลด์บัส (Received Signal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการออกแบบฟิลต์บัสเซกเมนต์ที่ดี ควรทำการเผื่อค่าแรงดันของเซกเมนต์ให้มีมากกว่าค่าแรงดันต่ำสุดที่อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่เป็น Bused-Power Device หรือ Junction Box ต้องการอย่างน้อย 2 VDC เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลต์ในระยะทางไกล จะเกิดแรงดันตกคร่อม (Voltage Drop) ในสายฟิลต์บัส ในรูปที่ 2.28 และ 2.29 [23] แสดงตัวอย่างสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากจุดต้นของสาย Truck (Transmitted Signal) และสัญญาณข้อมูลที่ได้รับที่จุดปลายของสาย Trunk (Received Signal) ตามลำดับ ตัวอย่างสัญญาณข้อมูลนี้เป็นผลการวัดของเซกเมนต์ที่มีทอพอโลยีแบบทรีและมีสาย Spur ที่ยาวเท่ากัน 120 m ทั้งหมด 16 เส้น โดยความยาวของสายฟิลต์บัสทั้งเซกเมนต์รวม 900 m จะเห็นได้ว่า มีการบิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูล (Signal Distortion) เกิดขึ้น

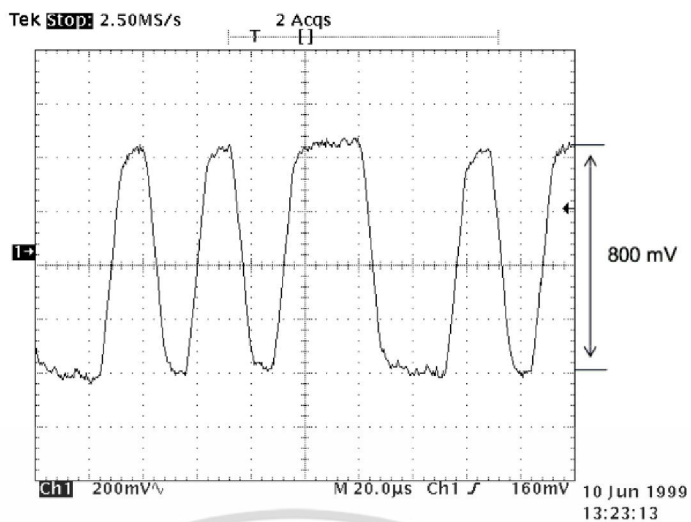
2.6.2 ค่าแรงดันแบบ Peak-to-Peak ของสัญญาณฟิลต์บัส [3], [14], [22]

รูปที่ 2.30 [14] แสดงการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในเซกเมนต์ H1 ด้วยสัญญาณฟิลต์บัส (Fieldbus Signal) ที่มีการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.5 อุปกรณ์ผู้ส่งจะส่งสัญญาณเอซีในโหมดกระแสที่มีขนาดแอมพลิจูด 15-20 mA p-p อุปกรณ์ผู้รับจะรับสัญญาณเอซีในโหมดแรงดันที่มีขนาดแอมพลิจูด 0.75-1 V p-p ที่เกิดจากผลคูณระหว่างสัญญาณกระแส 15-20 mA p-p และค่าความต้านทานสมมูลรวมประมาณ 50 Ω (Equivalent Resistance) ซึ่งเป็นผลมาจากการต่อขนานระหว่างความต้านทานภายใน Terminator (ประมาณ 100 Ω) ทั้งสองตัวที่ต่ออยู่จุดปลายทั้งสองด้านของสาย ดังนั้น จำนวนของ Terminator ภายในเซกเมนต์จะมีผลต่อขนาดแอมพลิจูดแบบ Peak-to-Peak ของค่าแรงดันที่อุปกรณ์ผู้รับได้รับสัญญาณข้อมูล นั่นคือ เซกเมนต์ที่มีการติดตั้งจำนวน Terminator น้อยกว่าสองตัว (Under Termination) หรือมากกว่าสองตัว (Over Termination) ตามข้อกำหนดในการสร้างฟิลต์บัสเซกเมนต์ตามมาตรฐาน IEC 61158-2 จะส่งผลต่อค่าแรงดันแบบ Peak-to-Peak ของสัญญาณฟิลต์บัสดังตัวอย่างในรูปที่ 2.31 ถึง 2.33 [22] ถ้าเซกเมนต์มีการติดตั้งจำนวน Terminator เพียงแค่ตัวเดียว สัญญาณฟิลต์บัสในโหมดแรงดันจะมีค่าแอมพลิจูดมากกว่า 0.75-1 V p-p (ดูรูปที่ 2.32) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเซกเมนต์มีการติดตั้งจำนวน Terminator มากกว่าสองตัว สัญญาณฟิลต์บัสในโหมดแรงดันจะมีค่าแอมพลิจูดน้อยกว่า 0.75-1 V p-p (ดูรูปที่ 2.33)

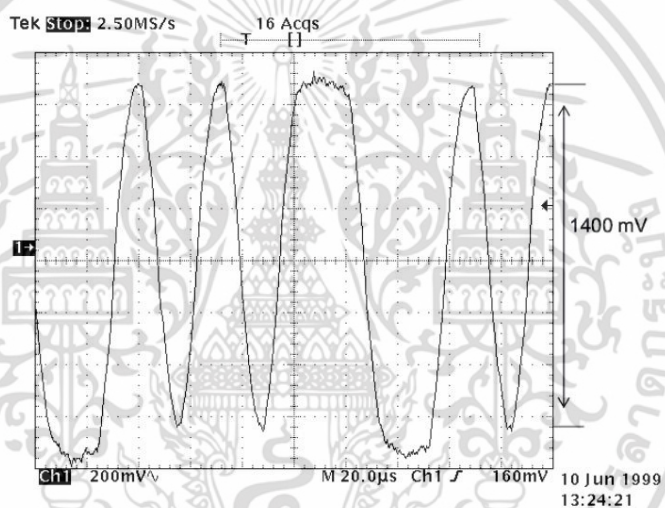


รูปที่ 2.30 การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในเซกเมนต์ H1 ด้วยสัญญาณฟิลต์บัส

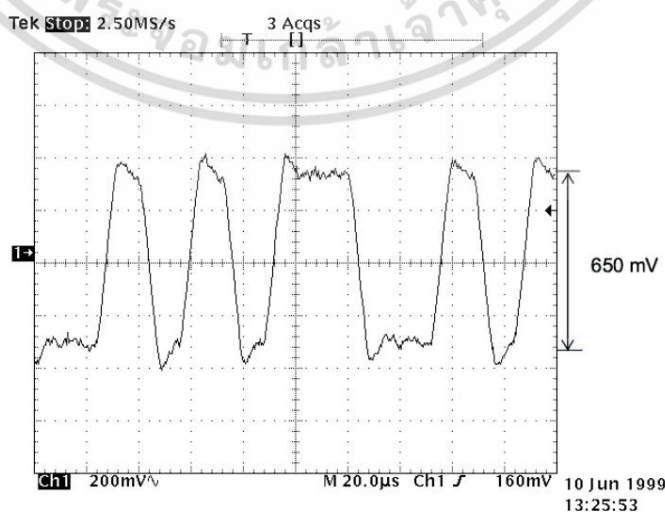
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นว่าใบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสในโหมดแรงดันของเซกเมนต์ที่มีเทอร์มิเนเตอร์ 2 ตัว



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสในโหมดแรงดันของเซกเมนต์ที่มีเทอร์มิเนเตอร์ 1 ตัว



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสในโหมดแรงดันของเซกเมนต์ที่มีเทอร์มิเนเตอร์ 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับที่ริเซชันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นาเบไซบรีเยชันดานการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

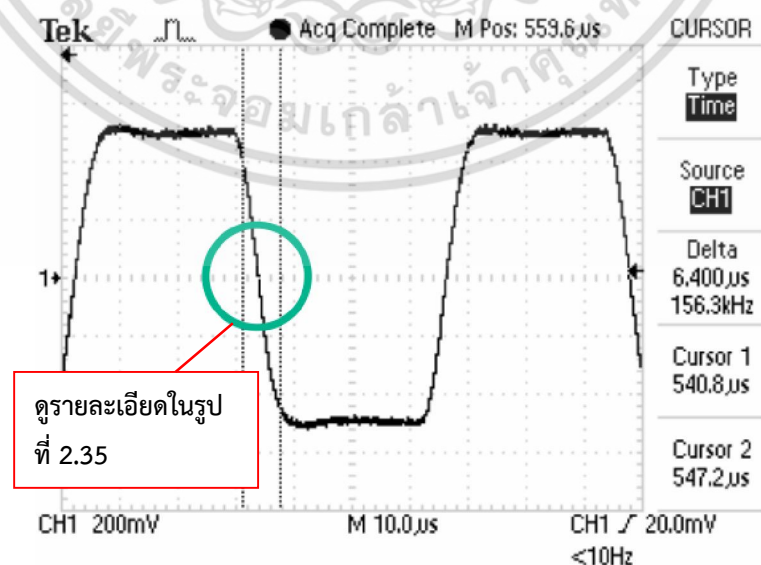
2.6.3 สัญญาณรบกวนเชกเมนต์ [22]-[28]

สัญญาณรบกวน (Noise) ภายในเชกเมนต์ เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนอกเหนือไปจากสัญญาณไฟเลี้ยงดีซีและสัญญาณฟิลต์บัสเอซี สัญญาณรบกวนอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น สัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งสัญญาณรบกวนภายในตัวอุปกรณ์เอง (Thermal Noise ของสายฟิลต์บัส) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์ (อินเวอร์เตอร์ หรือ เอซีไดรฟ์) ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ในฟิลต์บัสเชกเมนต์ หรือสัญญาณรบกวนที่เกิดจากธรรมชาติ (ฟ้าผ่า) เป็นต้น การรบกวน (Interference) หรือผลของสัญญาณรบกวนส่งผลต่อการทำงานของฟิลต์บัสเชกเมนต์ ในทางปฏิบัติไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนให้หมดสิ้นไปได้ แต่ทำการลดสัญญาณรบกวนจนไม่สามารถก่อให้เกิดการรบกวนได้ เช่น

- การใช้สายฟิลต์บัสแบบ Shield Twisted Pair เพื่อลดผลของ Electromagnetic Interference
- การใช้แหล่งจ่ายไฟระบบฟิลต์บัสที่มี Galvanic Isolation เพื่อลด Ground Fault
- การใช้อุปกรณ์ Device Coupler ที่มี Surge (Overvoltage) Protection เพื่อลด Earth Fault

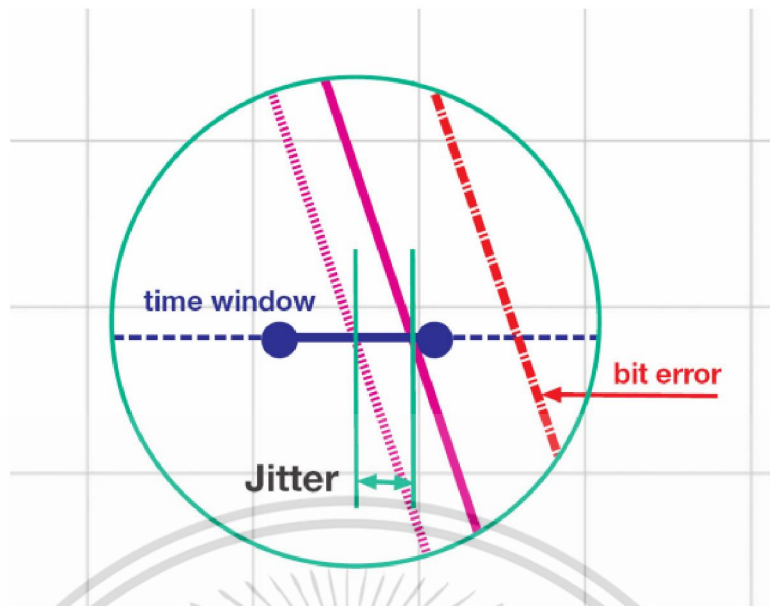
2.6.4 จิตเตอร์ของสัญญาณฟิลต์บัส (Signal Jitter)

สัญญาณฟิลต์บัสที่มีการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester ของเชกเมนต์ H1 ในอุดมคติเป็นคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีขอบสัญญาณขาขึ้น (Rising Edge) และขอบสัญญาณขาลง (Falling Edge) ในแนวตั้งฉาก และมีช่วงเวลาของบิตข้อมูลที่แน่นอน (1 Bit Time = 32 μ s) แต่ในทางปฏิบัติ การเปลี่ยนผ่านสถานะของสัญญาณจาก Low เป็น High และจาก High เป็น Low มีช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rising Time) และช่วงเวลาไต่ลง (Falling Time) เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.34 ซึ่งมี Rising Time (หรือ Falling Time) ประมาณ 6.4 μ s (วัดช่วงเวลาระหว่างเส้นประ 2 เส้นในรูป) ทำให้มีความผิดพลาดทางเวลาของบิตข้อมูลที่เรียกว่า “จิตเตอร์” (Jitter) เนื่องจากการเข้ารหัสด้วยเทคนิค Manchester มีการแทนบิตข้อมูลด้วยการเปลี่ยนผ่านสถานะของสัญญาณ ดังนั้น ถ้าเกิดความผิดพลาด Jitter สูงจะทำให้สัญญาณฟิลต์บัสมีความผิดเพี้ยนหรือ Signal Distortion ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของการส่งผ่านข้อมูลบนเชกเมนต์ โดยรายละเอียดของ Jitter (ส่วนที่ขยายในวงกลม) แสดงในรูปที่ 2.35

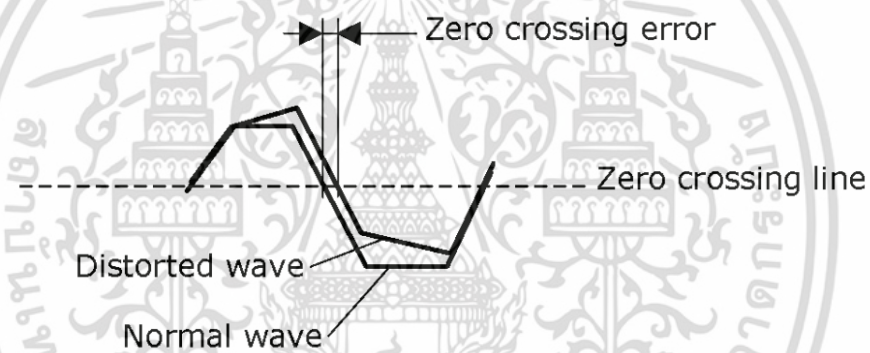


รูปที่ 2.34 สัญญาณฟิลต์บัสในทางปฏิบัติที่มีช่วงเวลาลาดเอียงเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 Jitter ในส่วนที่ขยายมาจากรูปที่ 2.34



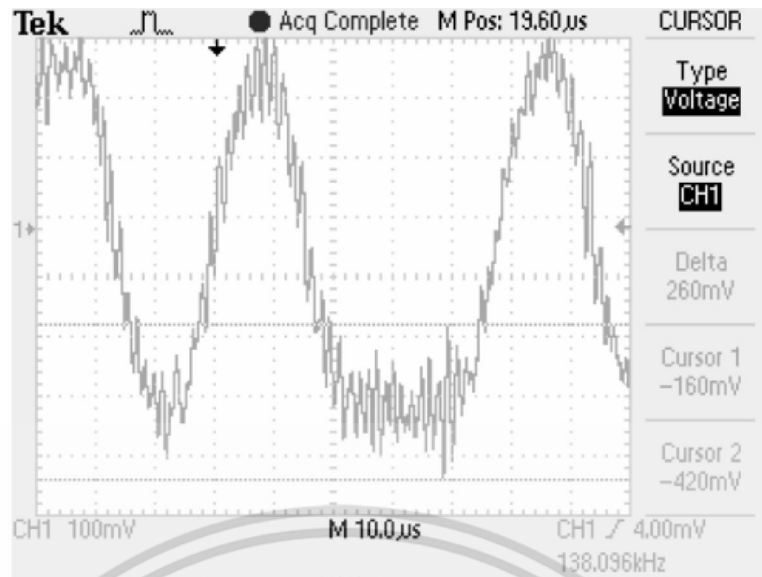
รูปที่ 2.36 Jitter เป็นความผิดพลาดที่จุดตัดผ่านศูนย์ของสัญญาณ

จากรูปที่ 2.35 และ 2.36 จะเห็นได้ว่า Jitter หรือ Zero Crossing Error เป็นความผิดพลาดที่ถูกวัดค่าด้วยความแตกต่างทางเวลาระหว่างจุดตัดผ่านศูนย์ (Zero Crossing) ของสัญญาณฟิลต์บัสที่มีช่วงเวลาลาดเอียงที่ยอมรับได้ (เส้นทึบสีม่วง หรือ Normal Wave) และสัญญาณฟิลต์บัสที่มีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น (เส้นประสีม่วง หรือ Distorted Wave)

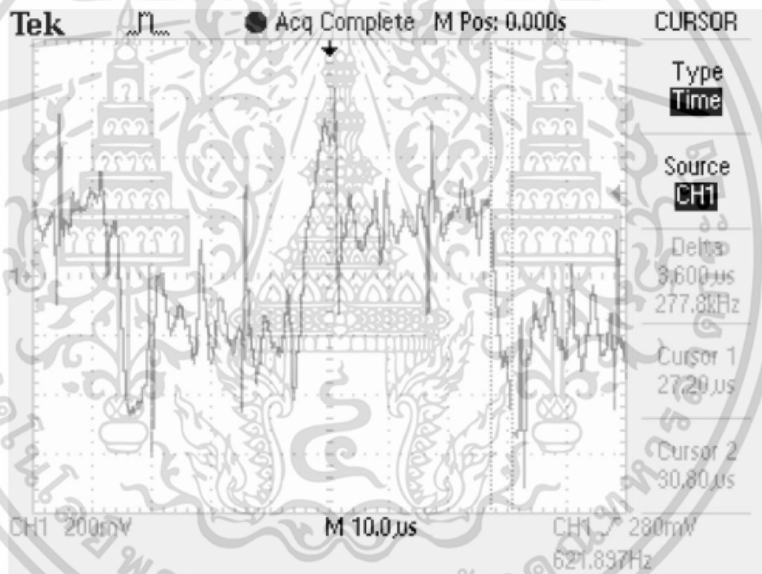
2.6.5 ตัวอย่างการตรวจสอบวินิจัยระบบฟิลต์บัส [28]

ในรูปที่ 2.37 [28] แสดงตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสที่ไม่สมมาตร (System Unbalance) ซึ่งเกิดจากสายฟิลต์บัสที่ใช้ในเซกเมนต์มีค่าเก็บประจุของสายที่สูง (High Cable Capacitance) เป็นผลทำให้การสื่อสารข้อมูลในเซกเมนต์ไม่มีเสถียรภาพ อุปกรณ์ระดับฟิลต์บางตัวที่ติดตั้งใช้งานในเซกเมนต์หายไปจาก Live List ของระบบโฮสต์ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วก็กลับเข้ามาใน Live List ได้ซั๊กพัก ก็จะหายไปจาก Live List อีก วนเวียนแบบนี้เรื่อยไป จากการตรวจสอบวินิจัยพบว่า สาเหตุของปัญหาเกิดจากการนำสายไฟเก่าที่เคยใช้ในระบบแอนะล็อกเดิม มาใช้ใหม่กับระบบฟิลต์บัส โดยไม่ได้

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของสายไฟก่อน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 ตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสที่ไม่สมมาตรซึ่งเกิดจากสายไฟที่ใช้มีค่าเก็บประจุสูง

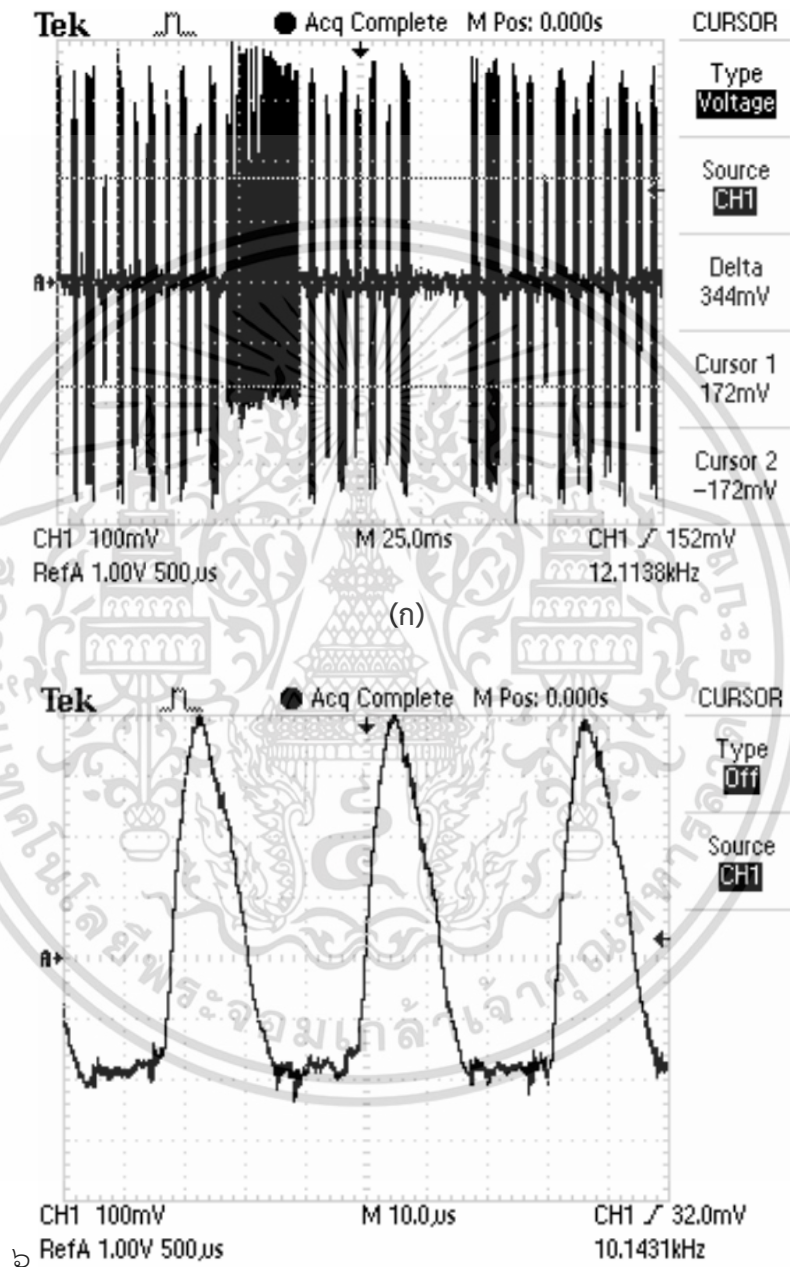


รูปที่ 2.38 ตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสในเซกเมนต์ที่ขาดการป้องกัน Electromagnetic Interference

ในรูปที่ 2.38 [28] แสดงตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสที่เกิดขึ้นในเซกเมนต์ที่ขาดการป้องกัน Electromagnetic Interference เป็นผลทำให้การสื่อสารข้อมูลในเซกเมนต์ไม่มีเสถียรภาพ อุปกรณ์ระดับฟิลต์บางตัวที่ติดตั้งใช้งานในเซกเมนต์ มีการแสดงผลการวัด/การทำงานที่หน้าจอ LCD ของตัวอุปกรณ์เอง แต่อุปกรณ์นี้หายไปจาก Live List ของระบบโฮสต์ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วก็กลับเข้ามาใน Live List ได้ซึกพัก ก็จะหายไปจาก Live List อีก วงเวียนแบบนี้เรื่อยไป จากการตรวจสอบวินิจฉัยพบว่า มีปัญหาเรื่องการแทรกข้ามสัญญาณ (Crosstalk) ไปยังส่วนแหล่งจ่ายไฟระบบฟิลต์บัส ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้สายไฟที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของฟิลต์บัสเซกเมนต์

ในรูปที่ 2.39 [28] แสดงตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสที่ได้จากการวัด 2 ครั้งในเซกเมนต์เดียวกัน แต่มีสเกลของสัญญาณที่ไม่เท่ากัน ฟิลต์บัสเซกเมนต์นี้สามารถทำงานได้ตามปกติ ความผิดพลาดนี้ไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถตรวจสอบได้จากระบบโฮสต์ดีซีเอสหรือจากเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยขนาดพกพา (Handheld Diagnostic Tool) ที่ใช้ตรวจวัดเป็นครั้งคราว แต่ความผิดพลาดนี้สามารถตรวจสอบวินิจฉัยได้จากการใช้เครื่องมือที่มีการติดตามการทำงานของฟิลต์บัสเซกเมนต์ตลอดเวลา (Online Diagnostic Tool) จากการตรวจสอบวินิจฉัยพบว่า สาเหตุของความผิดพลาดเกิดจากการเสียหายของตัวไดโอด (Diode) ใน PCB ของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ตัวหนึ่งที่ติดตั้งใช้งานในเซกเมนต์



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างสัญญาณฟิลต์บัสที่ได้จากการวัด 2 ครั้งในเซกเมนต์เดียวกัน แต่มีสเกลของสัญญาณที่ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพ ระบบฟิลต์บัส H1 ที่นำเสนอ

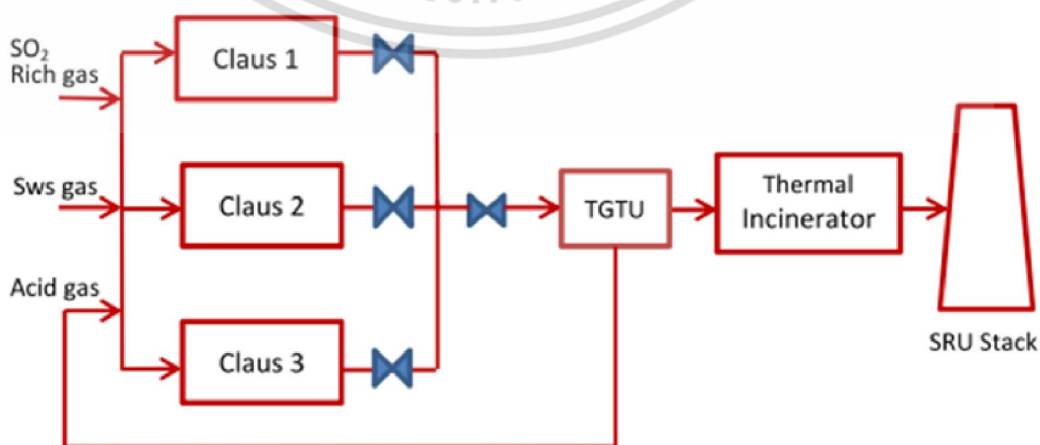
3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึง การติดตั้งใช้งานระบบดิจิทัลฟิลต์บัสด้วยเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลต์บัสในพลานต์ Tail Gas Treating Unit หรือ TGTU โดยลำดับชั้นกายภาพหรือ Physical Layer ของระบบฟิลต์บัสนี้ถูกออกแบบตามมาตรฐาน IEC 61158-2 ซึ่งรองรับกับการใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เรียกว่า “Advanced Online Physical Layer Diagnostic Module” หรือที่เรียกอย่างย่อว่า “ADM” [16] ในการบำรุงรักษาการทำงานของฟิลต์บัสเซกเมนต์ด้วยกระบวนการแบบ CBM นอกจากนี้ ยังได้แสดงผลการทดลองและผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบแอนะล็อก ระบบฟิลต์บัสที่ไม่ได้ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพ และระบบฟิลต์บัสที่ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพที่นำเสนออีกด้วย

3.2 ระบบฟิลต์บัส H1 ในพลานต์ TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา

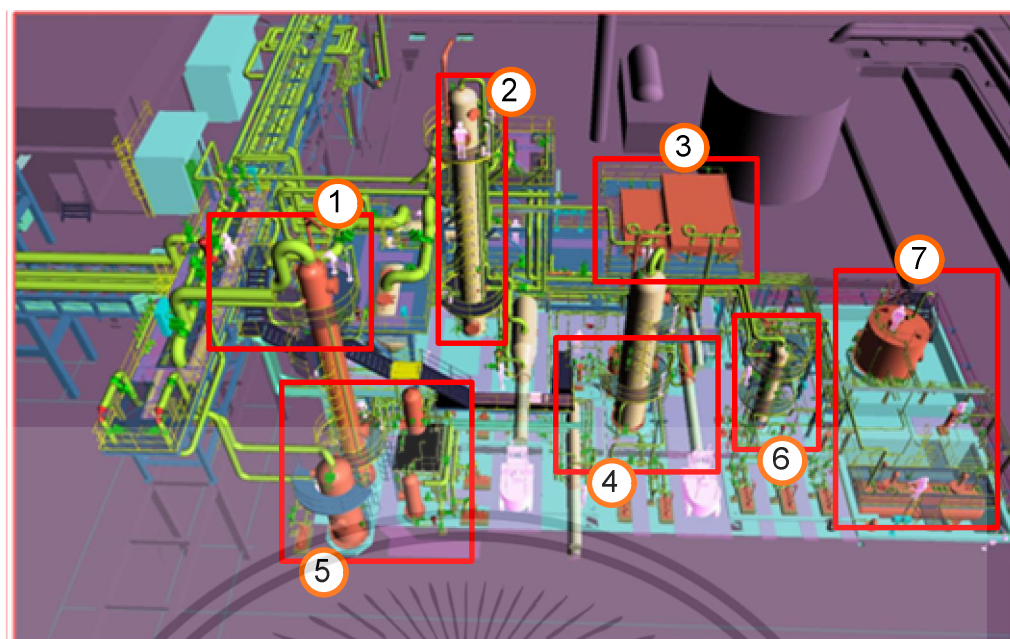
รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของระบบในพลานต์ SRU (Sulfur Recovery Unit) หรือหน่วยกำจัดกำมะถันขนาด 310 เมตริกตันต่อวัน โดยพลานต์ SRU เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่กำจัดสารกำมะถันออกจากก๊าซ โดยการเปลี่ยนกำมะถันในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide: H_2S) และสารประกอบกำมะถันในรูปแบบอื่น ๆ ให้เป็นกำมะถันเหลว นอกจากนี้ พลานต์ SRU มีการใช้กระบวนการคลอส (Claus Process) ในการกู้คืนกำมะถันบริสุทธิ์จากก๊าซ H_2S ที่เป็นอันตรายจากกระบวนการอื่น ๆ ภายในโรงงาน โดยการทำงานของพลานต์ TGTU ซึ่งติดตั้งอยู่ในส่วนท้าย (Down Steam) ของกระบวนการคลอส จะควบคุมไม่ให้ค่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เพื่อป้องกันมลภาวะทางอากาศ

รูปที่ 3.2 แสดงภาพจำลองโมเดลด้วยคอมพิวเตอร์ของพลานต์ TGTU ที่เป็นกรณีศึกษาที่มีการติดตั้งใช้งานระบบฟิลต์บัส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยผลิต (Unit) ที่เกี่ยวข้องดังนี้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบในพลานต์ SRU หรือหน่วยกำจัดกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพจำลองโมเดลด้วยคอมพิวเตอร์ของพลานต์ TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา

ตารางที่ 3.1 จำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ติดตั้งในพลานต์ TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา

Device Function	Device Model	Number of Device
Level Transmitter	3051CDXXXF	10
Flow Transmitter	8800XXXF	26
Temperature Transmitter	3144PXXXF	30
		8 (spare part)
Pressure Transmitter	3051CGXXXF	26
Differential Pressure Transmitter	3051CDXXXF	7
Control valve	3787XXX	27
Analyzer Transmitter	MLT 2	2
Fieldbus Power Conditioner	HD2-FBCL-1.500	24
		2 (spare part)
Junction Box	F.FB1.S14.A**.1.	24
		2 (spare part)

1. SCOT Reduction Section Unit
2. SCOT Cooling System Unit
3. SCOT Gas Circulation System Unit
4. SCOT Absorber System Unit
5. SCOT Amine Regeneration System Unit
6. Amine Storage Tank System Unit
7. Drain System & Flare System Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

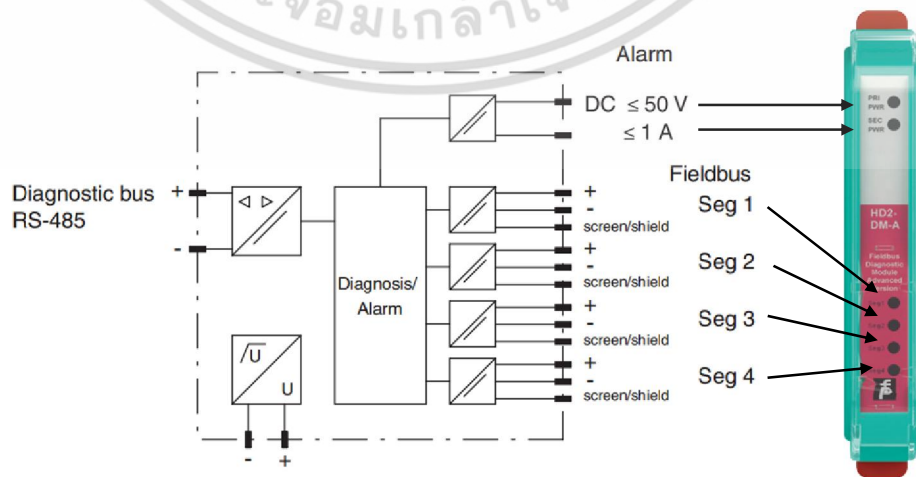
ตารางที่ 3.2 จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 ที่ติดตั้งในแต่ละหน่วยผลิตของพลานต์ TGTU

No.	Unit	Number of Fieldbus Segment	Number of H1 Field Device
1	SCOT Reduction Section Unit	4	20
2	SCOT Cooling System Unit	4	22
3	SCOT Gas Circulation System Unit	4	21
4	SCOT Absorber System Unit	4	21
5	SCOT Amine Regeneration System Unit	3	18
6	Amine Storage Tank System Unit	5	26
7	Drain System & Flare System Unit	2	8 (spare part)

ในหน่วยผลิตต่าง ๆ ของพลานต์ TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา มีการติดตั้งระบบฟิลด์บัส H1 รวมทั้งหมด 26 เซกเมนต์ที่มีทอพอโลยีแบบ Tree และใช้สายฟิลด์บัส Type A โดยมีอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 จำพวกทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) และวาล์วควบคุม (Control Valve) จำนวนทั้งหมด 136 ตัว (นับรวม spare part 8 ตัว) อุปกรณ์ Junction Box จำนวนทั้งหมด 26 ตัว และ Fieldbus Power Conditioner จำนวนทั้งหมด 26 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 สรุปจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 ที่ติดตั้งในแต่ละหน่วยผลิตของพลานต์ TGTU

3.3 เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัสที่เลือกใช้ในกรณีศึกษา

รูปที่ 3.3 แสดง Advanced Diagnostic Module (ADM) รุ่น HD2-DM-A ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1 ที่เลือกใช้ในกรณีศึกษา โดยที่โมดูลนี้มีการใช้ LED ในการแสดงผลแจ้งเตือน (Alarm) สำหรับสถานะการทำงาน (Status) แสดงความผิดปกติ (Fault) ของระบบที่สามารถใช้ในคอมมิชชั่น (Commissioning) และการตรวจสอบระบบแบบ Online รวมทั้งการแก้ไขปัญหา (Trouble Shooting) ข้อมูลเชิงเทคนิคที่สำคัญของ ADM สรุปได้ดังตารางที่ 3.3 [29]



รูปที่ 3.3 ADM เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยระบบฟิลด์บัสที่เลือกใช้ในกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเชิงเทคนิคที่สำคัญของ ADM รุ่น HD2- DM- A

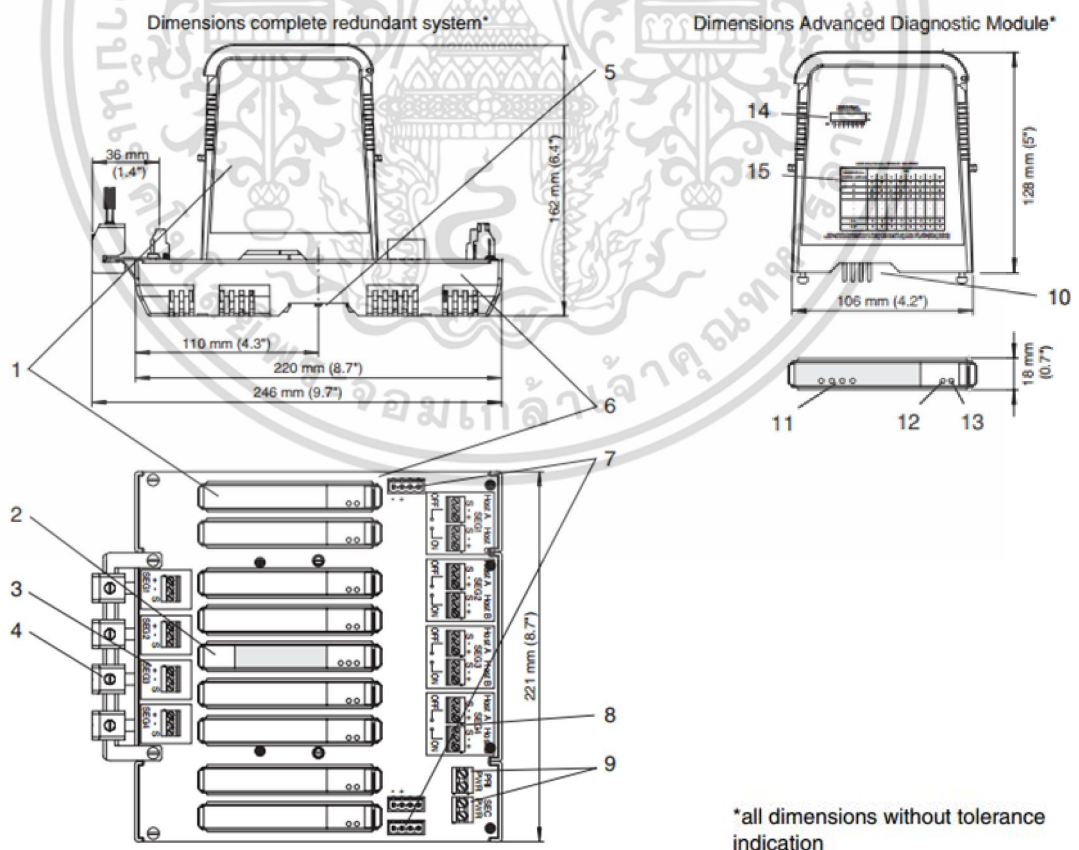
Feature	Description
Supply Rated voltage Rated current Power loss	19.2 - 35 V 30 - 110 mA max. 2 W
Fieldbus interface Number of segments Fieldbus type Rated voltage	4 FOUNDATION Fieldbus/PROFIBUS PA 9 - 32V
Indicators/Operating means LED PRI PWR LED SEC PWR LED Seg 1-4 Fault signal DIP-switch	Green: on, primary bulk power supply connected Green: on, secondary bulk power supply connected Yellow: bus activity; Red 2 Hz flashing: alarm; Red: hardware error VFC alarm 1 A,50 VDC, normally closed diagnostic address 1-247, binary coded
Interface Interface type	Diagnostic bus: RS 485
Electrical isolation Fieldbus segment/Fieldbus segment Fieldbus segment/Supply	Functional isolation acc. to IEC 62103, rated isolation voltage 50 Veff Functional isolation acc. to IEC 62103, rated isolation voltage 50 Veff
Delta for application in connection with Ex-areas Statement of conformity Group, category, type of protection, temperature classification Directive conformity Directive 94/9/EC	TÜV 04 ATEX 2500X Ex II 3G EEx nA IIC T4 EN 60079-15:2003
International approvals FM approval Approved for	CoC 3024816, CoC 3024816C Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4/Class I, Zone 2, AEx/Ex nA IIC T4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การติดตั้ง ADM ในการตรวจสอบวินิจฉัยฟิลด์บัสเซกเมนต์

รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้ง ADM ที่เลือกใช้ในการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพระบบฟิลด์บัส H1 โดยมีการติดตั้ง ADM เข้ากับชุดแหล่งจ่ายไฟให้แก่ฟิลด์บัสเซกเมนต์ที่เรียกว่า “FieldConnex Power Hub” ส่วนแบบและรายละเอียดในการติดตั้งใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.4 ตามลำดับ ในตารางที่ 3.5 [29] แสดงผลการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือการตรวจสอบวินิจฉัยแบบต่าง ๆ



รูปที่ 3.5 แบบการติดตั้งใช้งาน ADM อ้างอิงจากรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดในการติดตั้งใช้งาน ADM ในรูปที่ 3.5

No.	Description
1	Power Supply Modules, see separate data sheets
2	Advanced Diagnostic Module
3	Connections for Fieldbus trunk, terminator switch
4	Screening/earthling kit for trunk cables shield, optional accessory
5	Mounting slot for DIN rail
6	Motherboard, see separate data sheets
7	Connections for alarm, voltage free contact and diagnostics bus
8	Connections for redundant host
9	Connections for redundant bulk power supply
10	Plug connections for Motherboard
11	LED Seg 1 - Seg 4
12	LED green SEC Power
13	LED green PRI Power
14	Dip-Switch-Array for diagnostic address or address on the diagnostics bus
15	Address selection overview

ตารางที่ 3.5 ผลการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานเครื่องมือการตรวจสอบวินิจฉัย

Measurement Tools of the Trade	Multi-meter	Handheld Tester	Handheld Communicator	Oscilloscope	Advanced Diagnostic Module
Segment voltage	●	●	●	●	✓
Segment current					✓
Segment noise (low freq.)		●	●	●	✓
Segment noise (high freq.)				●	✓
Segment signal level		●	●	●	✓
Segment signal jitter		●			✓
Instrument signal level		=			✓
Instrument signal jitter					✓
Instrument noise (individual)					✓
Fieldbus termination		=	=	●	✓

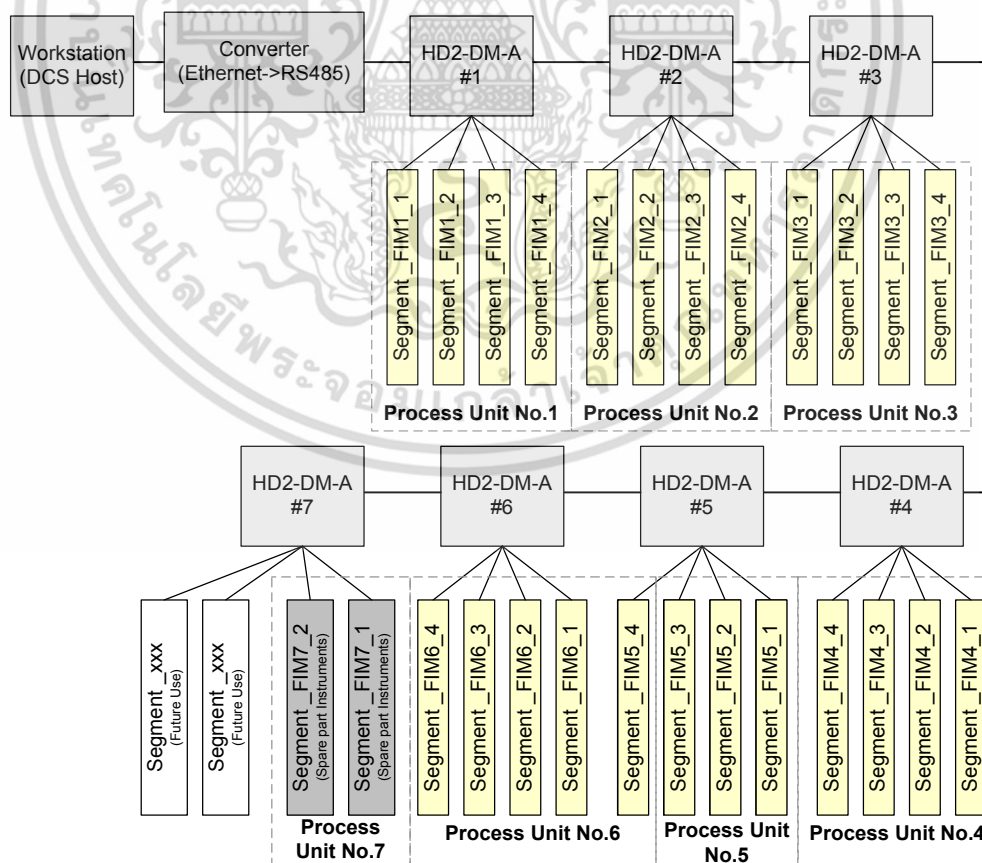
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

Measurement Tools of the Trade	Multi-meter	Handheld Tester	Handheld Communicator	Oscilloscope	Advanced Diagnostic Module
Segment earth fault (imbalance)					✓
Device communication		●		●	✓
Communication faults				●	✓
Cable degradation (trending)					✓
Device configuration		●		●	
Remote access					✓

3.4 การบำรุงรักษาระบบฟีดแบ็ค H1 ด้วยเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เลือกใช้

ในการบำรุงรักษาระบบฟีดแบ็คที่ติดตั้งในพลานต์ TGTU โดยใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพด้วย ADM รุ่น HD2-DM-A ได้มีการติดตั้ง ADM จำนวน 7 โมดูลดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การติดตั้งใช้งาน ADM ในการตรวจสอบวินิจฉัยระบบฟีดแบ็คที่เป็นกรณีศึกษา เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาดเห็นาไปเซบระเยชนคานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของเซกเมนต์ที่ติดตั้งใน SCOT Amine Regeneration System Unit

Item No.	Field Instrument				Spur Cable		Junction Box			DCS Cabinet		
	Tag No.	Power Conditioner No.	FF Address	TM No.	Cable Spec.	Length (m)	Jb. No.	Cable Spec.	Trunk Length (m)	Cabinet No.	Power Conditioner No.	Trunk No. / Seg. No.
1	FT190609	FIM_5_1	21	+/-	Type A	12	JB-FF-017	Type A	128	DCS-009	MB-FB-4R.HO. SC No.5	SEG No.1 Segment_FIM5_1
2	FT190608	FIM_5_1	25	+/-	Type A	12						
3	FT190902	FIM_5_1	20	+/-	Type A	12						
4	FT191001	FIM_5_1	22	+/-	Type A	10						
5	FT191101	FIM_5_1	23	+/-	Type A	10						
6	TV190801	FIM_5_1	24	+/-	Type A	8						
7	LT191101	FIM_5_2	24	+/-	Type A	10	JB-FF-018	Type A	145	DCS-009	MB-FB-4R.HO. SC No.5	SEG No.2 Segment_FIM5_2
8	FV191102	FIM_5_2	23	+/-	Type A	10						
9	LT192501	FIM_5_2	22	+/-	Type A	15						
10	LT193101	FIM_5_2	21	+/-	Type A	18						
11	PDT191102	FIM_5_2	25	+/-	Type A	15						
12	TT191103	FIM_5_2	20	+/-	Type A	10						
13	LT191303	FIM_5_3	22	+/-	Type A	8	JB-FF-019	Type A	137	DCS-009	MB-FB-4R.HO. SC No.5	SEG No.3 Segment_FIM5_3
14	FT191102	FIM_5_3	21	+/-	Type A	12						
15	LT192502	FIM_5_3	23	+/-	Type A	16						
16	LV191303	FIM_5_3	25	+/-	Type A	10						
17	LV192502	FIM_5_3	24	+/-	Type A	10						
18	TT191302	FIM_5_3	20	+/-	Type A	5						

สำหรับหน่วยผลิตต่าง ๆ ของพลานต์ที่มีระบบฟิลด์บัสจำนวน 26 เซกเมนต์ เนื่องจาก ADM 1 โมดูลรองรับกับการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพของระบบฟิลด์บัสได้สูงสุดจำนวน 4 เซกเมนต์ โดยการใช้งาน ADM แต่ละโมดูลมีวิธีการที่เหมือนกัน ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ในหัวข้อนี้ จึงมีการอธิบายวิธีการใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM เพียงแค่ 1 โมดูล (HD2-DM-A #5) สำหรับการตรวจสอบวินิจฉัยฟิลด์บัสเซกเมนต์ จำนวน 3 เซกเมนต์ (Segment_FIM5_1, Segment_FIM5_2, และ Segment_FIM5_3) ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งเป็นเซกเมนต์ที่ติดตั้งอยู่ใน SCOT Amine Regeneration System Unit (No.5) เป็นตัวอย่างสำหรับกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ติดตั้งใน Segment_FIM5_1

Device Tag	Device Function	DCS I/O	Model	Manufacturer
FT190609	Vortex Flow Transmitter	AI	8800D	Rosemount
FT190608	Vortex Flow Transmitter	AI	8800D	Rosemount
FT190902	DP Flow Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
FT191001	Vortex Flow Transmitter	AI	8800D	Rosemount
FT191101	Vortex Flow Transmitter	AI	8800D	Rosemount
TV190801	Globe Control valve	AO	3730-510000	SAMSON

ตารางที่ 3.8 รายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ติดตั้งใน Segment_FIM5_2

Device Tag	Device Function	DCS I/O	Model	Manufacturer
LT191101	Level Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
FV191102	Globe Control valve	AO	3730-510000	SAMSON
LT192501	Level Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
LT193101	Level Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
PDT191102	DP Pressure Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
TT191103	Temperature Transmitter	AI	3144P	Rosemount

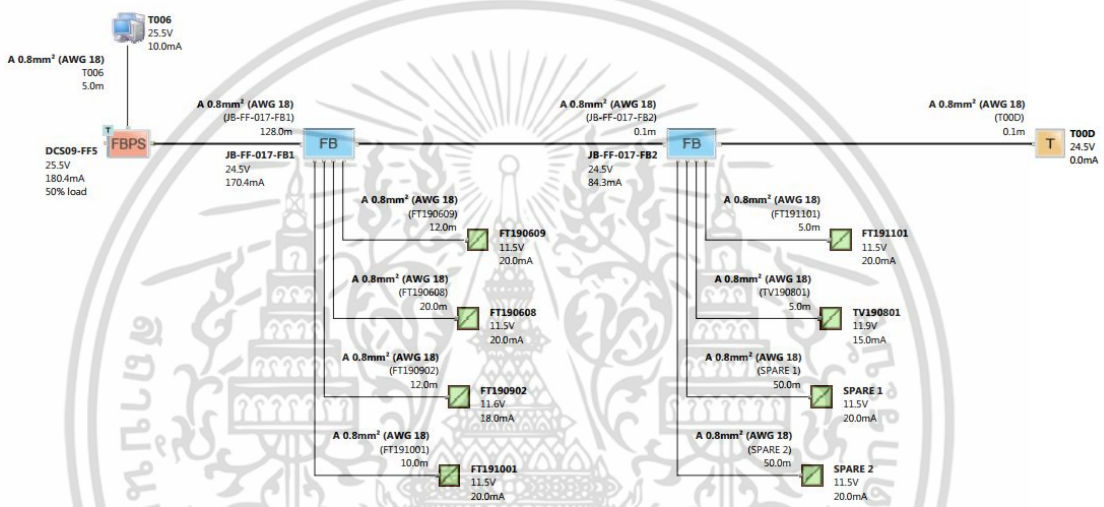
ตารางที่ 3.9 รายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ติดตั้งใน Segment_FIM5_3

Device Tag	Device Function	DCS I/O	Model	Manufacturer
LT191303	Level Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
FT191102	Vortex Flow Transmitter	AI	8800D	Rosemount
LT192502	Level Transmitter	AI	3051CD	Rosemount
LV191303	Globe Control valve	AO	3730-510000	SAMSON
LV192502	Globe Control valve	AO	3730-510000	SAMSON
TT191302	Temperature Transmitter	AI	3144P	Rosemount

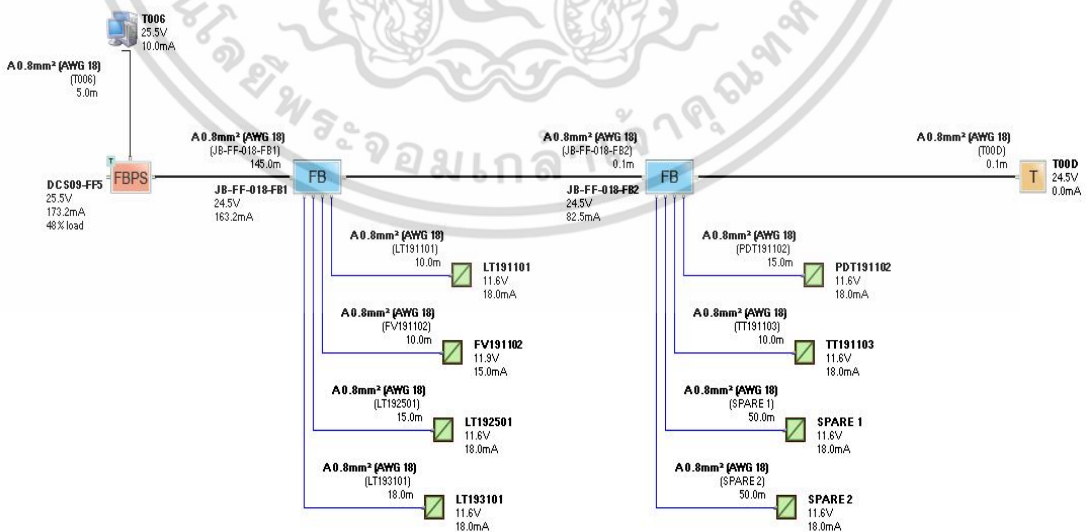
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.5 มีการแสดงรายการของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ ความยาวของ Trunk และ Spur อุปกรณ์ Junction Box ที่เลือกใช้ รวมทั้งข้อมูลการติดตั้ง Power Conditioner ที่ต่อเข้ากับระบบไฮสแตติซีเอสในห้องควบคุม โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ (ทรานสมิตเตอร์ และวาล์วควบคุม) ที่ติดตั้งในแต่ละเซกเมนต์สรุปได้ดังตารางที่ 3.7 ถึง 3.9

จากข้อมูลสำหรับฟิลต์บัสเซกเมนต์ Segment_FIM5_1 ที่มีทอพอโลยีแบบ Tree ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และ 3.7 เมื่อทำการตรวจสอบการออกแบบเซกเมนต์นี้ โดยมีการคำนวณเพื่อการต่ออุปกรณ์เพิ่มในอนาคต (Spare Part) จำนวน 2 ตัว โดยใช้โปรแกรม P+F Segment Checker ได้ผลการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญในฟิลต์บัสเซกเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งแสดงได้ว่า เซกเมนต์ Segment_FIM5_1 มีการออกแบบที่เป็นไปตามข้อกำหนดของเซกเมนต์ H1 โดยมีค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่อยู่ในส่วนปลายของสาย Trunk มีค่ามากกว่า 11 V

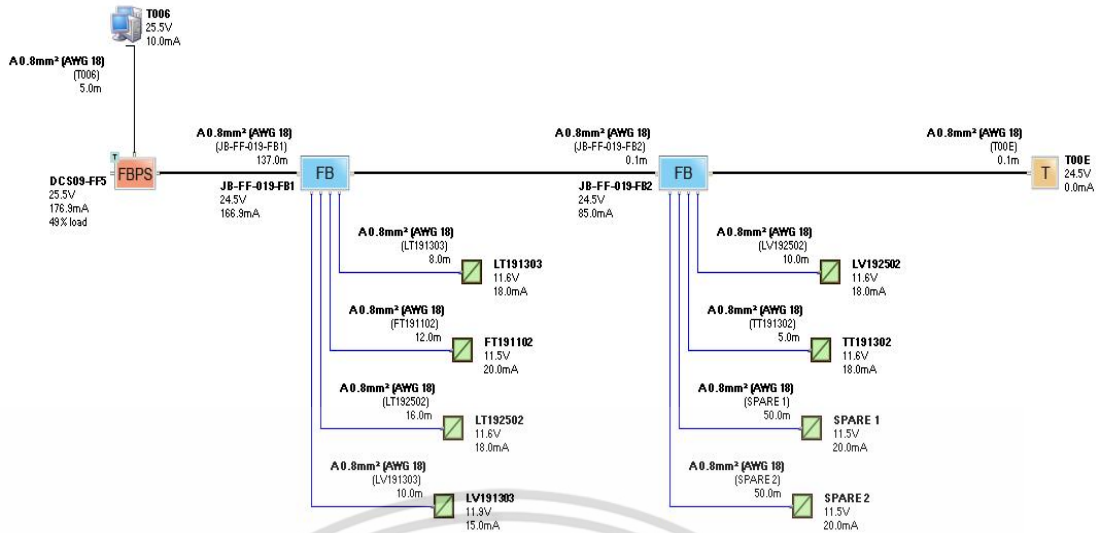


รูปที่ 3.7 ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_1 ด้วย P+F Segment Checker

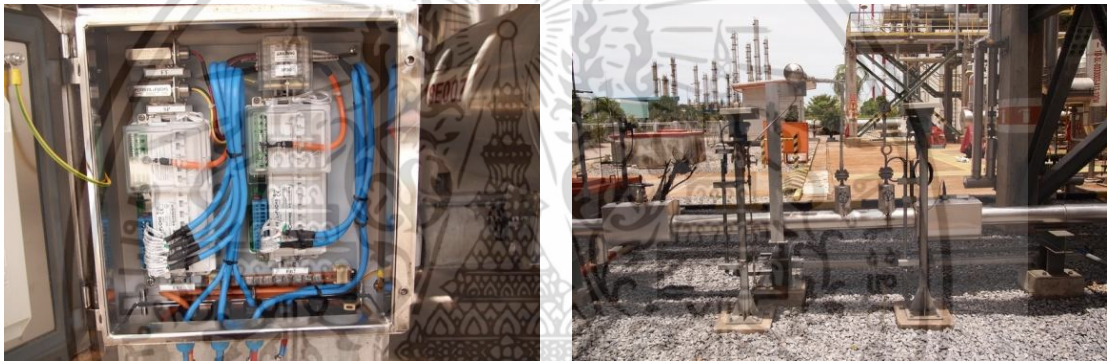


รูปที่ 3.8 ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_2 ด้วย P+F Segment Checker

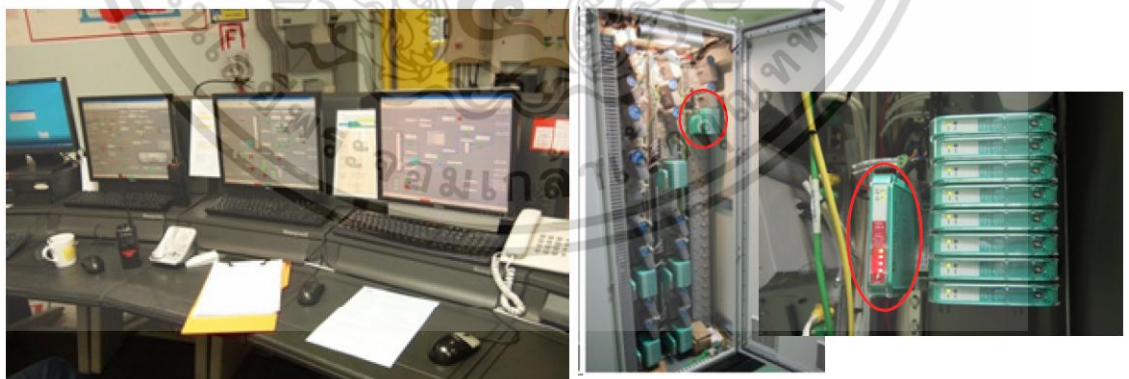
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_3 ด้วย P+F Segment Checker



(ก) การติดตั้งอุปกรณ์ในระดับฟิลด์



(ข) การติดตั้งเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เลือกใช้ในห้องควบคุม








รูปที่ 3.10 การใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM ในการบำรุงรักษาระบบฟิลด์บัสที่ฟลานด์ TGTU

ในการทำงานเดียวกันนี้ผลการคำนวณตัวแปรที่สำคัญของ Segment_FIM5_2 และเชกเมนต์ Segment_FIM5_3 โดยใช้โปรแกรม P+F Segment Checker แสดงได้ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ เพื่อเป็นการตรวจสอบการออกแบบของทั้งสองเชกเมนต์ดังกล่าว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.10(ก) และ 3.10(ข) แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในระดับฟิลด์และการติดตั้งเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM ในห้องควบคุม ตามลำดับ สำหรับการบำรุงรักษาระบบฟิลด์บัส H1 ที่ติดตั้งในพลาเน็ต TGTU ที่เป็นกรณีศึกษา








3.5 ผลการทดลองและผลการเปรียบเทียบ

นอกเหนือไปจากการสังเกตการแสดงผลของ LED ที่ตัวโมดูลของ ADM แล้ว โมดูลนี้ยังมีการรายงานผล (Physical Layer Measurement Report) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.11 ที่แสดงรายงานที่ได้จากการตรวจสอบวินิจฉัยฟิลด์บัสเซกเมนต์ โดยมีระบุผลการตรวจสอบโดยภาพรวมเป็น Excellent, Good หรือ Out of Specification ดังรูปที่ 3.11 (ก) และมีการรายงานผลในส่วนของแหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ระดับฟิลด์ดังรูปที่ 3.11(ข) และ 3.11(ค) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการรายงานเงื่อนไขที่ใช้ในการตรวจสอบดังรูปที่ 3.11(ง) ส่วนรูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างผลสรุปการตรวจสอบวินิจฉัย (Diagnostic Summary) ของ ADM

Fieldbus Type:	FOUNDATION Fieldbus
Segment Tag:	Segment1
Measurement Equipment	
Type:	HD2-DM-A
Serial Number:	4000000414644
Software Revision:	1.3.0.0
DTM Revision:	2.0.0.1177
Result:  Commissioned, Excellent	
Legend	
 Excellent	All values are within the specification limit with an adequate safety margin
 Good	The value is within the specification limits but the safety margin is reduced
 Out of Specification	The value exceeds the allowed range
Limits used for this classification are listed on the last page of this report	
Diagnostic Messages	
 (238) Status is Excellent	
Board and Power Supply Module Summary	
Board and Power Supply Module Configuration:	 OK
Power Supply Module Status:	 OK

(ก) การสรุปผลโดยภาพรวมของเซกเมนต์

Board and Power Supply Module Details

	Actual	Failure
Board Type:	Power Hub 	-
Board Redundancy:	Redundant 	-
Module A/B Mismatch:	OK 	-
Module A:	Isolated Module 	OK 
Module B:	Isolated Module 	OK 

(ข) การรายงานผลในส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟิลด์บัส

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างรายงานผลการตรวจสอบวินิจฉัยจากทำงานของ ADM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าเว็บไซต์ของหน่วยงานราชการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Field Device Details						
Address:	16					
Tag:						
Polarity:	Standard					
	Min			Max		
	Value	Result		Value	Result	
Noise:	29mV	✔ Excellent		34mV	✔ Excellent	
Jitter:	0.5µs	✔ Excellent		0.7µs	✔ Excellent	
Signal Level:	869mV	✔ Excellent		896mV	✔ Excellent	

Address:	17					
Tag:						
Polarity:	Standard					
	Min			Max		
	Value	Result		Value	Result	
Noise:	29mV	✔ Excellent		34mV	✔ Excellent	
Jitter:	0.5µs	✔ Excellent		0.7µs	✔ Excellent	
Signal Level:	893mV	✔ Excellent		894mV	✔ Excellent	

(ค) การรายงานผลในส่วนของอุปกรณ์ระดับฟิลด์

Defined limit values

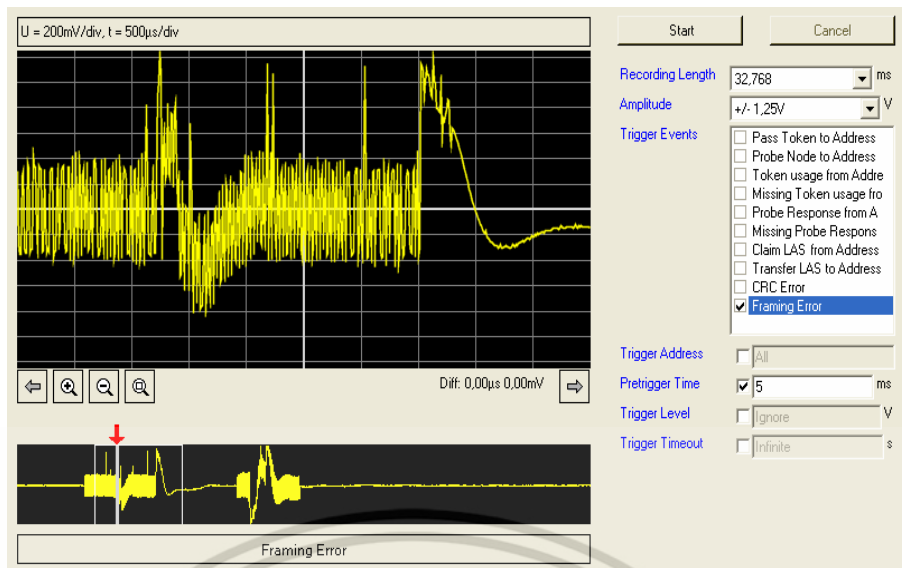
	Low Out of Spec.	Low Good	Excellent	High Good	High Out of Spec.
Pri. Pwr Voltage:	< 19.2V	-	19.2 ... 35.0V	-	> 35.0V
Sec. Pwr Voltage:	< 19.2V	-	19.2 ... 35.0V	-	> 35.0V
Voltage:	< 9.0V	9.0 ... < 24.5V	24.5 ... 28.5V	> 28.5 ... 32.0V	> 32.0V
Current:	-	-	0 ... 360mA	-	> 6500mA
Unbalance:	< -84%	-84 ... < -60%	-60 ... 60%	> 60 ... 84%	> 84%
Noise:	-	-	<= 50mV	> 50 ... 100mV	> 100mV
Jitter:	-	-	<= 2.4µs	> 2.4 ... 3.2µs	> 3.2µs
Signal Level:	< 200mV	200 ... < 634mV	634 ... 1200mV	-	> 1200mV

(ง) เงื่อนไขที่ใช้ในการตรวจสอบ
รูปที่ 3.11 (ต่อ)

The screenshot shows the FieldConnex software interface. At the top, it displays 'Device Name: HD2-DM-A', 'Tag: DMA001', and 'Fieldbus Type: FOUNDATION Fieldbus'. Below this, there are sections for 'Segment Tag: DMA001-1', 'Enable Segment: Enable', and 'No. of Devices: 5'. A 'Power Supply Module Data' table is visible, showing 'Module A' and 'Module B' both as 'Isolated Module'. At the bottom, a 'Physical Layer Data' table lists various parameters like Voltage [V], Current [mA], Unbalance [%], Min Signal Level [mV], Max Signal Level [mV], Noise [nV], and Jitter [µs], with their respective actual values and target ranges.

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างผลสรุปการตรวจสอบวินิจฉัยของ ADM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างหน้าต่างที่แสดงฟังก์ชันการทำงานออสซิลโลสโคป

ในกรณีที่มีการต่อใช้งานเครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM ตลอดเวลา โมดูลนี้สามารถเก็บข้อมูลการแจ้งเตือนต่าง ๆ ไว้ได้ในลักษณะของ Historian Data เพื่อเรียกดูย้อนหลังได้ โดยข้อมูลที่จัดเก็บมีการระบุสาเหตุและวิธีการแก้ไขเป็นข้อแนะนำแก่ผู้ใช้ได้ดำเนินการตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการแจ้งเตือนต่างๆ ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM ยังมีฟังก์ชันการทำงานออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ในโปรแกรมดังตัวอย่างในรูปที่ 3.13 เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานอีกด้วย

ในการซ่อมบำรุงระบบการวัดและควบคุมที่เป็นระบบฟิลด์บัสที่ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยด้วย ADM ระบบฟิลด์บัสที่ไม่ได้ใช้การตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพ และระบบแอนะล็อก มีรูปแบบในการทำงานต่างกัน ดังนี้

1. ระบบฟาร์มเดชันฟิลด์บัสที่มีเครื่องมือในการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพดังเช่น ADM (FF with Diagnostic) ในกรณีนี้มีการใช้ช่างเทคนิค 1 คน และวิศวกร 1 คน ในการซ่อมบำรุงระบบ
2. ระบบฟาร์มเดชันฟิลด์บัสที่ไม่ได้ใช้เครื่องมือในการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นทางกายภาพ (FF without Diagnostic) ในกรณีศึกษานี้มีการใช้ช่างเทคนิค 1 คน และวิศวกร 1 คน ในการซ่อมบำรุง
3. ระบบแอนะล็อก (Analog 4-20 mA) ในกรณีนี้มีการใช้ช่างเทคนิค 2 คน และวิศวกร 1 คน ในการซ่อมบำรุง

ถ้าค่าจ้างแรงงานสำหรับช่างเทคนิคและวิศวกร มีค่าเท่ากับ 400 บาท/ชั่วโมง และ 1,000 บาท/ชั่วโมง ตามลำดับ ในการซ่อมบำรุงระบบในรอบ 1 ปี สำหรับการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ผลการเปรียบเทียบของทั้ง 3 กรณีในการซ่อมบำรุงจำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลด์บัสในจำนวนที่เท่ากัน คือ 128 ตัว ที่ติดตั้งในฟิลด์บัสเซกเมนต์จำนวน 24 เซกเมนต์ (ไม่นับรวมเซกเมนต์ที่ออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่เป็น Spare Part) สรุปได้ดังตารางที่ 3.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้เครื่องมือ ADM สามารถลดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบให้น้อยลงได้ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า 85% เมื่อเทียบกับทั้ง 2 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 ผลการเปรียบเทียบของทั้ง 3 กรณีในการซ่อมบำรุงจำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลด์

Description	Time (Hour)	Per Hour Rate (Bt)	FF with DIAG (Bt)	FF without DIAG (Bt)	4-20 mA (Bt)
FF with DIAG (1 Technician + 1 Engineer @ 8 min per segment)	3.20	1,400	4,480	-	-
FF without DIAG (1 Technician + 1 Engineer @ 60 min per segment)	24	1,400	-	33,600	-
Conventional 4-20 mA (2 Technicians + 1 Engineer @ 15 min per cable)	32	1,900	-	-	60,800
Total			4,480	33,600	60,800
Saving with FF with DIAG				86.67%	92.63%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำเสนอการบำรุงรักษาระบบการวัดและควบคุมที่ใช้ฟาว์นเดชันฟิลด์บัสซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลที่รองรับฟังก์ชันการตรวจสอบวินิจฉัยลำดับชั้นกายภาพ โดยมีการติดตั้งและเก็บข้อมูลจากการใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัยที่เรียกว่า “Advanced Online Physical Layer Diagnostic Module” หรือ “ADM” ในพลานต์ Tail Gas Treating Unit (TGTU) ที่มีการติดตั้งระบบฟิลด์บัส H1 จำนวน 26 เซกเมนต์ แต่ในจำนวนเซกเมนต์ที่ติดตั้งนี้ มีการใช้งานในการวัดและควบคุมกระบวนการจำนวน 24 เซกเมนต์ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล จากผลการทดลองพบว่า การใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM สามารถลดเวลาได้ประมาณ 10 เท่า และ 8 เท่า เมื่อเทียบกับการซ่อมบำรุงในระบบแอนะล็อก และระบบฟิลด์บัสที่ไม่ได้ใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในส่วนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบ พบว่า การใช้เครื่องมือตรวจสอบวินิจฉัย ADM ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าประมาณ 85-92% เมื่อเทียบกับทั้ง 2 กรณี

4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

การบำรุงรักษาระบบการวัดและควบคุมที่ใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสด้วยกระบวนการบำรุงรักษาแบบ CBM ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีดิจิทัลที่มีอุปกรณ์ระดับฟิลด์เป็นแบบ “Microprocessor-Based Instrument” หรือ “Smart Instrument” ซึ่งมีความสามารถในการทำงานมากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบแอนะล็อก แต่อย่างไรก็ตาม ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการทำงานของอุปกรณ์เป็นหัวข้อหนึ่งที่ผู้ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมให้ความสนใจ ดังนั้น การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์หรือระบบที่ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่น่าสนใจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Fedele, **Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance**, Springer – Verlag London, 2011.
- [2] R. Ahmad and S. Kamaruddin, “An Overview of Time-Based and Condition-Based Maintenance in Industrial Application”, **Computer & Industrial Engineering Journal**, PP. 135-149, 2012.
- [3] J. Berge, **Fieldbus for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance**, ISA, United States of America, 2002.
- [4] B. G. Lipak, **Instrument Engineers’ Handbook: Process Control and Optimization**, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006.
- [5] Fieldbus Foundation, “**Foundation Fieldbus**” [Online]. Available : <http://www.fieldbus.org>. 2016.
- [6] I. Verhappen and A. Pereira, **Foundation Fieldbus**, ISA, United States of America, 2009.
- [7] O. Formano, M. C. Magro, and P. Pinceti, “Diagnostics for Measure Transmitters”, **Instrumentation and Measurement Technology Conference**, pp. 1450-1453, 2004.
- [8] H. Sasajima, “Intelligent Field Devices and Fieldbus Solutions in PA Industries”, **SICE Annual Conference**, pp. 1473-1478, 2004.
- [9] B. Suhessler, “A Practical Approach to Fieldbus Installation”, **ISA EXPO 2005**, pp. 1-8, 2005.
- [10] P. Saward, Open Architecture Physical Layer Diagnostics Speed Installation and Reduce Downtime, **Foundation Fieldbus End Users Council Austria**, pp. 1-6, 2007.
- [11] K. E. Kafoori, S. A. Motamedi, and A. Ziaei, “Foundation Fieldbus H1 Physical Layer Diagnosis Implementation”, **IEEE AFRICON**, pp. 1-6, 2009.
- [12] M. Hasegawa, “Introduction of Functional Safety into the Field of Maintenance and Preventive Maintenance”, **ICROS-SICE International Joint Conference**, pp. 1859-1864, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] T. Thepmanee, S. Pongswatd, A. Julsereewong, and P. Julsereewong, “Design and Implementation of The Laboratory for Foundation Fieldbus-Based Industrial Automaiton”, *ICIC Express Letters*, vol. 6, no. 5, pp. 1353-1358, 2012.
- [14] Fieldbus Foundation, **Foundation Fieldbus Technical Overview**, United States of America, 2003.
- [15] Fieldbus Foundation, **Wiring and Installation 31.25 kbit/s, Voltage Mode, Wire Medium Application Guide**, United States of America, 1996.
- [16] G. Rogoll and R. Kitchener, **Advanced Online Physical Layer Diagnostics**, Pepperl+Fuchs Technical White Paper, 2006.
- [17] Fisher-Rosemount, **Fieldbus Technical Overview**, 1998.
- [18] ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์, **ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, 2553
- [19] ธิภัทร เดชศิริพันธ์. “การศึกษาตำแหน่งการควบคุมระดับฟิลต์สำหรับรูปควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลต์บัส” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557.
- [20] วรทัศน์ สาสนันส์. “การสับเปลี่ยนอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลต์บัส: กรณีศึกษาการสับเปลี่ยนทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ที่เหมือนและต่างกัน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.
- [21] Foundation Fieldbus, **Foundation™ Specification Function Block Application Process: Part 2**, United States of America, 2012.
- [22] Foundation Fieldbus, **System Engineering Guideline**, United States of America 2010.
- [23] Relcom Inc., **Fieldbus Wiring Design and Installation Guide**, United States of America, 2004.
- [24] Relcom Inc., **Fieldbus Wiring Guide**, United States of America, 2011.
- [25] Pepperl+Fuchs, **Wiring and Installation Guide for Foundation Fieldbus**, Germany, 2003.
- [26] Relcom Inc. “**Fieldbus Megablock Terminators**” [Online]. Available: <http://www.relcominc.com/fieldbus/terminators.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] Pepperl+Fuchs, **Application Guideline: Planning Fieldbus Segments in Safe and Hazardous Area**, Germany, 2010.
- [28] A. Hennecke, S. Seintsch, and T. Kasten, “**Method for Planning, Installation, Commissioning and Diagnosis of Fieldbus Installations**”, [Online]. Available: <http://www.iceweb.com.au>.
- [29] Pepperl+Fuchs, **Fieldbus Power Hub: Advance Diagnostic Module (HD2-DM-A)**, 2010.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] Sart Kammool, Amphawan Julsereewong, Prasit Julsereewong, Nukool Mekkrjai, “Using Fieldbus Physical Layer Diagnostics In Maintenance Practice : A Case Study of TGTU Refinery Plant - ”, *ICIC Express Letters*, vol.7, no.4 pp.1215-1220



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 7, Number 4, April 2013

ISSN 1881-803X



ICIC Express Letters

An International Journal of Research and Surveys

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Japan

Junzo Watada, Waseda University, Japan

Indexed by *Ei Compendex (Elsevier)*

Scopus (Elsevier)

INSPEC (IET)

Published by ICIC International

<http://www.ijicic.org/icicel.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC EXPRESS LETTERS

Volume 7, Number 4, April 2013

CONTENTS (Continued)

Development of Communication System Using Electrooculogram and Camera <i>Sou Go, Mingmin Yan, Hiroki Tamura and Koichi Tanno</i>	1259
Multiple Rules Interval-Valued Approximate Reasoning Based on Interval-Valued Similarity Measure Set <i>Wenyi Zeng and Yibin Zhao</i>	1265
Reversible Watermarking Based on Histogram Shift and Adaptive Embedding <i>Xiang Wang, Yuan Li and Qingqi Pei</i>	1273
Analysis on Improvement of Protection Coordination of Over-Current Relay Including Voltage Control Function with a SFCL in a Power Distribution System <i>Jin-Seok Kim, Sung-Hun Lim and Jae-Chul Kim</i>	1279
Efficient Fusion for Multiple Images Using Compressive Sensing and Hidden Markov Tree Model <i>Yu-Long Qiao, Yuan-Lin Wang and Chun-Yan Song</i>	1285
Initial Alignment of Position and Orientation System Aided by the Residual Gyro Outputs on Stationary Base <i>Quan Cao and Maiying Zhong</i>	1291
Appropriateness Degrees of Objects to Linguistic Terms Based on Voting Mechanism <i>Fengmei Zhang, Yunguo Hong and Li Zou</i>	1297
Interval Type-2 Fuzzy Logic System in Shower Control Application <i>Tao Wang and Kai Zhang</i>	1305
Robust Fault-Tolerant Control for Networked Control System with Uncertainties <i>Xiaodan Fan and Xiaoyong Liu</i>	1311
An Estimation Method for Supercomputer System Based on User Analysis <i>Rika Ito</i>	1317
Development of a PC-Based System for Multi-Channel Bone-Conducted Ultrasonic Hearing Aids – Extension of Real-Time Control of Binaural Parameters <i>Takuya Hotehama and Seiji Nakagawa</i>	1323
An Optimization Model for Locating Refueling Stations of Alternative-Fuel Vehicle <i>Lixin Shen, Lei Tang, Bin Zhao, Ning Meng, Xue Ma and Danting Yang</i>	1329
Baseline Ramp Adaptive Morphological Filters <i>Mahdi Khosravy, Ustijana Rechkoska Shikoska, Damian Paul Jenkinson Mohammad Reza Asharif and Katsumi Yamashita</i>	1335
A Clustering Solution for Energy-Efficient Mobile Beacon Time Space Localization in Wireless Sensor Networks <i>Ustijana Rechkoska Shikoska and Danco Davcev</i>	1343
Quantile Hedging on Equity-Linked Life Insurance Contracts under Jump-Diffusion Dynamics <i>Shuo Tong and Alexander Melnikov</i>	1351

(Continued)

©2013 ICIC International

ISSN 1881-803X

Printed in Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USING FIELDBUS PHYSICAL LAYER DIAGNOSTICS IN MAINTENANCE PRACTICE

SART KUMMOOL, AMPHAWAN JULSEREEWONG
PRASIT JULSEREEWONG AND NUKOOL MEKKRAJAI

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
{ kksart; kcamphaw; kjprasit }@kmitl.ac.th; nukool.m@irpc.co.th

Received June 2012; accepted August 2012

ABSTRACT. *An availability of valuable physical layer diagnostic information in maintenance practice is presented in this article. Establishing an effective and efficient maintenance capability for Foundation Fieldbus segments installed at the Tail Gas Treating Unit, IRPC Public Company Limited, Thailand is described as an illustrative case study. Diagnostic-driven maintenance strategy not only reduces fixed and variable maintenance costs but also extends useful asset life by reducing the interval between maintenance events, reducing the cost of failures, and making it easier to plan maintenance and service work.*

Keywords: Foundation Fieldbus, Physical layer, Diagnostics, Maintenance, Cost saving

1. Introduction. Over the years, plant constructors and operators have consistently pursued two main goals: to lower installation costs (fewer cables, cable trays, and connections) and to optimize production conditions (larger number of information per device). This has led to the widespread use of digital fieldbus technologies in process industries. Based on the IEC 61158 fieldbus standard, Foundation Fieldbus proposed by the Fieldbus Foundation is one of the most advanced all-digital communications technologies for plant automation environment [1,2]. Foundation Fieldbus technology provides simplified remote I/O networking, real-time data, robust diagnostics, device interoperability, and tightly integrated loop control. Two related implementations of Foundation Fieldbus have been developed: H1 and HSE (High Speed Ethernet) [3]. Fieldbus H1 (31.25 kbit/s) interconnects field equipments such as transmitters, control valve positioners, and I/O modules. Fieldbus HSE (100 Mbit/s) provides integration of H1 subsystems, high speed controllers such as PLCs, data servers, and workstations. Usually, H1 segments operate under harsh conditions, which may degrade system performances [4]. For example, a capacitance on the segment is increased because of corroded terminals, and a failing power supply due to ageing electronics injects switching noise or voltage glitch into the bus. In order to detect degradations causing segment communication failures, diagnostic tools to make a physical layer diagnosis are required [5]. In addition, diagnostic results are maintenance resources during long-term operation, since typical segment problems are identified and alerted maintenance staffs before the problem interrupts the process. Recently, physical layer suppliers have developed new Fieldbus power conditioner and device coupler solutions impervious to any single point failure as well as online physical layer diagnostics.

This paper focuses on using online Fieldbus physical layer diagnostics in maintenance practice. Establishing the maintenance capability with reliable physical layer diagnostics at the Tail Gas Treating Unit (TGTU), IRPC Public Company Limited, one of gas industry's Foundation Fieldbus installations in Thailand, is examined as an illustrative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

case study. Diagnostic information including fault finding and early fault warning can be useful for scheduling maintenance appropriately.

2. H1 Physical Layer. Figure 1 shows the Fieldbus H1 communications model based on IEC 61158-2 and ANSI/ISA 50.02 standard, which has three parts: the physical layer, communication stack, and user application layer [6]. The physical layer deals with converting messages received from the communication stack into physical signals on the wire and vice-versa. The physical layer also provides the common electrical interface for all Fieldbus devices. The H1 segments require DC supply voltage ranging from 9-32 V and approximately 15-20 mA of current per device. Figure 2 illustrates a typical H1 segment constructed according to the tree topology that is commonly adopted. Physical layer components are cable, connected field devices, terminators, power supply, power conditioner, and supporting components such as device coupler (or junction box) that provides a means of connecting field devices to the bus.



FIGURE 1. Fieldbus H1 communications model

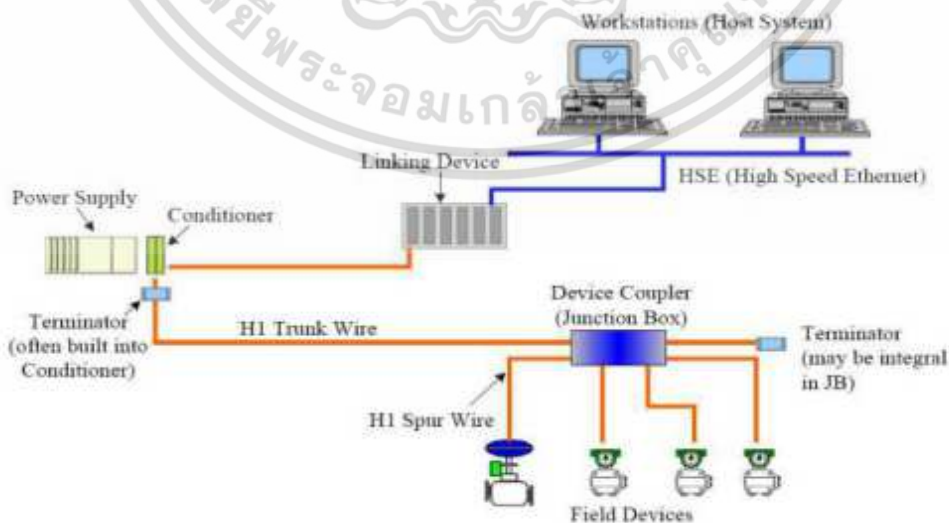


FIGURE 2. Typical Fieldbus H1 segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Physical Layer Diagnostics. The availability of a system is always directly dependent on the availability of physical layer components. Physical layer faults can be divided into two main categories: those that result from poor installation practice or inadequate materials, and those that occur during operation [5]. The long-term reliability of Fieldbus systems is heavily influenced by the quality of the initial installation and the choice of components. Common segment problems resulting in an unreliable installation are wiring errors, too many or too few terminators on each segment, and inadequate grounding. Other problems with the segment that could be occurred during plant operation are manually inflicted damage, environment damage such as water ingress and corrosion, surge damage, electrical noise, and device in-service failure. These physical layer problems often can be corrected with relative little effort, once the root cause is determined. Without the availability of good tools for collecting and analyzing the H1 segment's physical layer diagnostics, considerable time can be spent chasing the cause of the problem. End users may perceive these potential network infrastructure problems and the requirement for a physical layer diagnostic tool. Nowadays, several vendors offer diagnostic tools with varying degrees of price and performance for identifying problems with the Fieldbus H1 physical layer.

4. Diagnostic System at Studied Unit. At TGTU, an example of H1 segments designed according to high power trunk with fieldbarrier is shown in Figure 3. Figure 4 displays the H1 segment with online physical layer diagnostics studied at TGTU. The FieldConnex Power Hub with Advanced Diagnostic Module [7], distributed by Pepperl+Fuchs, is permanently connected at the control room for detection of gradual or sudden changes in the physical layer and power supply (See Figure 4(b)). The Advanced Diagnostic Module provides critical analysis of signal and segment parameters (e.g., bulk power loss or short circuit) as well as detailed measurement of specific system and node physical layer values (e.g., noise or jitter levels and unbalance detection). The integrated oscilloscope function visualizes the communication on each segment. The Advanced Diagnostic Module continuously monitors each segment for compliance to a programmable set of alarms. The alarms can be triggered via a simple solid-state relay output from the Advanced Diagnostic Module. When connected to the Pepperl+Fuchs Expert Diagnostic Manager software, the Advanced Diagnostic Module can be employed to evaluate many physical layer characteristics of the segment, and provide warnings of potential problems before

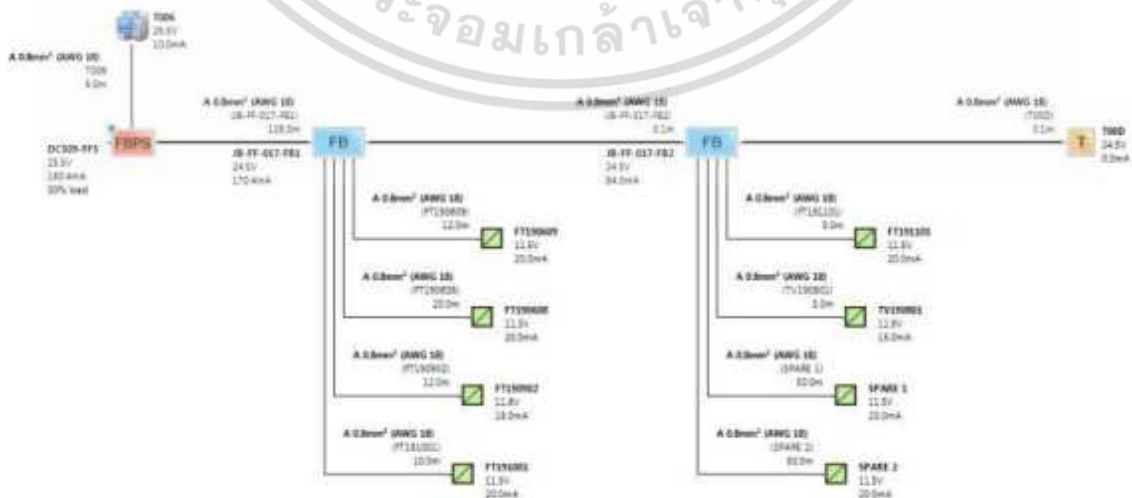


FIGURE 3. Example of Fieldbus H1 segment installed at TGTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไวสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตเทเนาไปไซประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) In the field



(b) In the control room

FIGURE 4. H1 segment with online physical layer diagnostics at TGTU

they occur. A time-stamped historian is also available to log alarms from the Advanced Diagnostic Module.

Continuous monitoring of all relevant physical parameters can proactively detect degradation before the segment communication fails. Figure 5 shows the examples of physical layer measurement report. Diagnostic information delivered is useful to operators and maintenance engineers. An operator may observe a rudimentary diagnostic warning and must be able to act upon it appropriately. That is the operator may decide from the general information provided about the health of a Fieldbus segment to call the maintenance engineer for immediate attention, or the operator may decide to schedule the repair for the next shift or even during a scheduled shutdown. The information delivered with technical detailed is also helpful for extensive troubleshooting. Additionally, the maintenance engineer can access to technical information in order to apply the right corrective action, if the measured segment parameter exceeds defined limit range.

5. Diagnostic-Driven Maintenance Strategy. Based on reliable Fieldbus diagnostics, the TGTU maintenance team can advance beyond reactive, preventive, and predictive maintenance techniques and implement diagnostic-driven maintenance strategy, whereby equipment maintenance schedules are based on asset diagnostics. This means that the maintenance is performed where and when it is needed. With advanced online testing and diagnostics, the maintenance team is able to run for longer periods of time without shutting down the plant for testing purposes, and they can save on the cost of adding spare parts.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Fieldbus Type: FOUNDATION Fieldbus
Segment Tag: Segment1

Measurement Equipment

Type: HD2-DM-A
Serial Number: 4000000414644
Software Revision: 1.3.0.0
DTM Revision: 2.0.0.1177

Result:  Commissioned, Excellent

Legend

-  Excellent All values are within the specification limit with an adequate safety margin
-  Good The value is within the specification limits but the safety margin is reduced
-  Out of Specification The value exceeds the allowed range

Limits used for this classification are listed on the last page of this report

Diagnostic Messages

-  (231) Status is Excellent

(a) Report with "Excellent" diagnostic result




Fieldbus Type: FOUNDATION Fieldbus
Segment Tag: Segment2

Measurement Equipment

Type: HD2-DM-A
Serial Number: 4000000414644
Software Revision: 1.3.0.0
DTM Revision: 2.0.0.1177

Result:  Not Commissioned, Out of Specification

Legend

-  Excellent All values are within the specification limit with an adequate safety margin
-  Good The value is within the specification limits but the safety margin is reduced
-  Out of Specification The value exceeds the allowed range

Limits used for this classification are listed on the last page of this report

Diagnostic Messages

-  (121) Signal Level of one or more field devices are too high

(b) Report with "Out of Specification" diagnostic result

6 Field Devices detected

	Min			Max		
	Value	Addr	Result	Value	Addr	Result
Pri. Pwr Voltage:	23.4V	-	 Excellent	23.5V	-	 Excellent
Sec. Pwr Voltage:	23.4V	-	 Excellent	23.5V	-	 Excellent
Segment Voltage:	26.9V	-	 Excellent	27.0V	-	 Excellent
Current:	70mA	-	 Excellent	70mA	-	 Excellent
Unbalance:	- 2%	-	 Excellent	- 2%	-	 Excellent
Noise:	24mV	17	 Excellent	29mV	16	 Excellent
Jitter:	0.7µs	20	 Excellent	0.9µs	17	 Excellent
Signal Level:	669mV	22	 Excellent	940mV	17	 Excellent

(c) Summary of field devices detected

FIGURE 5. Examples of physical layer measurement report

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1. Comparison of operational maintenance costs over a 1 year period

Description	Man-hours	Per Hour Rate (Bt)	FF with DIAG (Bt)	FF without DIAG (Bt)	4-20 mA (Bt)
FF with DIAG (1 Technician + 1 Engineer @ 8 minutes per segment)	3.73	1,400	5,222	–	–
FF without DIAG (1 Technician + 1 Engineer @ 60 minutes per segment)	28.00	1,400	–	39,200	–
Analog 4-20 mA (2 Technicians + 1 Engineer @ 15 minutes per cable)	45.75	1,900	–	–	86,925
Total			5,222	39,200	86,925
Saving with FF with DIAG				86.68 %	93.99 %

Table 1 gives comparison of operational maintenance costs over a 1 year period of Foundation Fieldbus (FF) with diagnostics (DIAG), Foundation Fieldbus without diagnostics, and conventional analog 4-20 mA systems. This observes and inspects every loop/segment for anomalies and to perform regular shutdown repair and maintenance task, where number of instruments and segments are 183 and 28, respectively. Compared with the system using Fieldbus without diagnostics, the maintenance cost of the Fieldbus with diagnostics drops to 86.68%. Surpassing the traditional analog 4-20 mA, the Fieldbus with diagnostics provides saving in maintenance cost of 93.99%. This means that Fieldbus with diagnostics reduces the amount of time taken and lowers labor cost for operational maintenance.

6. Conclusion. Establishing the maintenance capability with physical layer diagnostics has been described in this paper. Key benefit of using online Advanced Diagnostic Module is the diagnosis of issues possible before segment communication problems occur. Studied results demonstrate that Fieldbus H1 with diagnostics helps shorten operational maintenance time and lower labor maintenance cost.

REFERENCES

- [1] H. Sasajima, Intelligent field devices and fieldbus solutions in PA industries, *SICE Annual Conference*, pp.1473-1478, 2004.
- [2] T. Thepmanee, S. Pongswatd, A. Julserewong and P. Julserewong, Design and implementation of the laboratory for Foundation Fieldbus-based industrial automation, *ICIC Express Letters*, vol.6, no.5, pp.1353-1358, 2012.
- [3] Fieldbus Foundation, *Foundation Fieldbus Technical Overview*, United States of America, 2003.
- [4] J. Berge, *Fieldbus for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance*, ISA, United States of America, 2002.
- [5] P. Seward, Open architecture physical layer diagnostics speed installation and reduce downtime, *Foundation Fieldbus End Users Council Australia Inc.*, pp.1-6, 2007.
- [6] I. Verhappen and A. Pereira, *Foundation Fieldbus*, ISA, United States of America, 2009.
- [7] G. Rogoll and R. Kitchener, Advanced online physical layer diagnostics, *Pepperl+Fuchs Technical White Paper*, pp.1-21, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอนุกุล เมฆกระจาย
วัน-เดือน-ปีเกิด	วันที่ 13 กรกฎาคม 2514
ที่อยู่	88/16 ม.6 ต.เชิงเนิน อ.เมือง จ.ระยอง 21000 โทร. 062-4461-565
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ปีการศึกษา 2540 และในปีการศึกษา 2554 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้