



การทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าของหน่วยวัดคุมระยะไกลสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ

Electromagnetic Susceptibility Testing of Feeder Remote Terminal Unit for Distribution Automation System

เจษฎา ชัดทองงาม*

กลุ่มวิจัยระบบจำหน่ายอัตโนมัติ หน่วยวิจัยระบบอัตโนมัติและอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

112 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Jasada.kud@nectec.or.th โทรศัพท์ 02-564-6900

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าของหน่วยวัดคุมระยะไกลสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ ซึ่งในอดีต ดัชนีความเชื่อมั่นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถพิจารณาจาก SAIFI และ SAIDI ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่ง SAIFI และ SAIDI นั้นขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของอุปกรณ์ภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่วยวัดคุมระยะไกล แนวทางการทดสอบนี้สามารถใช้ได้กับมาตรฐานบริบทเทคโนโลยีสารสนเทศทุกประเภท ดังนั้นการกำหนดมาตรฐานในการทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า (IEC 61000) หรือตรงกับ มอก. 1955 ที่สามารถเป็นตัวชี้วัดเสถียรภาพของระบบควบคุม ระบบจำหน่ายไฟฟ้าและระบบอื่นๆที่ใช้บริบทเทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นอย่างดี ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการทดสอบและผลลัพธ์ที่ผ่านการทดสอบมาแล้วของหน่วยวัดคุมระยะไกลตามมาตรฐาน IEC 61000

คำสำคัญ หน่วยวัดคุมระยะไกล ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ ภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า ดัชนีความเชื่อมั่นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Abstract

This paper presents the electromagnetic susceptibility (EMS) testing of feeder remote terminal unit for distribution automation system. In the past, indicators of electrical distribution stability are depicted in SAIFI and SAIDI that they are depended on stabilities of equipment installed in distribution system. Especially, stability in feeder remote terminal unit plays a key role in those indicators. Therefore, EMS standard should be defined for indicating the system stability. This paper presents testing guideline and testing results of feeder remote terminal unit according to IEC 61000.

Keywords: Feeder remote terminal unit, distribution automation system, electromagnetic susceptibility, SAIFI, SAIDI.

1. บทนำ

ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันมีความต้องการใช้งานพลังงานไฟฟ้า เสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากขึ้นเป็นลำดับ เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ การป้องกันและการซ่อมบำรุงให้ระบบไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะปกติให้นานที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกิจกรรมหรือความเสียหายต่อภาคประชาชน ซึ่งดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบันคือ System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) และ System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIFI คือค่าเฉลี่ยความถี่ที่ระบบไฟฟ้าเกิดขัดข้องหรือไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้เป็นปกติ SAIDI คือค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่เกิดขัดข้องหรือผิดปกติ โดยหน่วยของ SAIFI คือ

จำนวนครั้งที่เกิดความขัดข้องหรือผิดปกติ/ปี/ผู้ใช้ไฟฟ้าหนึ่งราย และหน่วยของ SAIDI คือนาที/ปี/ผู้ใช้ไฟฟ้าหนึ่งราย ในปี 2010 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีค่า SAIFI อยู่ระหว่าง 3.76-13.84 และ SAIDI อยู่ระหว่าง 112.67-705.68 [1]

การเพิ่มเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและการลดค่าดัชนีชี้วัด SAIFI และ SAIDI นั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดในการใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ (Distribution automation system) และระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) มาช่วยให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าป้องกันเหตุผิดปกติและลดระยะเวลาที่เกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติคือระบบตรวจวัดและควบคุมการจำหน่ายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติประกอบไปด้วย Load Break Switch

(LBS), Current Transformer (CT), Potential Transformer (PT), Feeder Remote Terminal Unit (FRTU), Communication และ Graphic User Interface (GUI) จากองค์ประกอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ เสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของหน่วยวัดคัมระยะไกล (FRTU) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ นอกจากนั้นเสถียรภาพของหน่วยวัดคัมระยะไกลขึ้นอยู่กับภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า และการทนต่อสภาวะแวดล้อม

ความสามารถในการทนต่อสภาวะแวดล้อมของหน่วยวัดคัมระยะไกลขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้อุปกรณ์ตามสภาพการทำงานจริง และความสามารถในการทนต่อการรบกวนทางไฟฟ้านั้นสามารถออกแบบวงจรทางวิศวกรรมโดยคำนึงถึงมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ต้องนำไปใช้งาน

มาตรฐานของการทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Susceptibility Testing: EMS) ในระบับนานาชาติสามารถแสดงได้ดังเช่น ISPR14-2, CISPR20, CISPR24, EN50082-1, EN50082-2, IEC6100-4 เป็นต้น ซึ่งเป็นมาตรฐานที่สำคัญต่อเสถียรภาพระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ

ในบทความนี้แสดงให้เห็นถึงการทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าของหน่วยวัดคัมระยะไกลตามมาตรฐาน IEC61000 โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น [2-8]

- Electrostatic Discharge (ESD) IEC61000-4-2
- Conducted Immunity (CI) IEC61000-4-6
- Radiated Immunity (RI) IEC61000-4-3
- Surge Immunity (Surge) IEC61000-4-5
- Electrical Fast Transient (EFT) IEC61000-4-4
- Power Frequency Magnetic IEC61000-4-5
- Voltage dips IEC61000-4-11

2. ทฤษฎีการทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ สำหรับมาตรฐานทาง Immunity นี้แบ่งเงื่อนไขในการตัดสินผลของการทดสอบออกเป็น

ผลลัพธ์ A: การทำงานตามสภาวะปกติเมื่อมีการรบกวน: เป็นไปตามคุณสมบัติของผู้ผลิต

ผลลัพธ์ B: การหยุดทำงานชั่วคราว และสามารถกลับมาทำงานใหม่ได้เอง

ผลลัพธ์ C: การหยุดทำงานชั่วคราว ผู้ใช้จะต้องทำการ Reset ผลิตภัณฑ์เสียก่อนจึงจะสามารถกลับมาทำงานใหม่ได้

ผลลัพธ์ D: ผลิตภัณฑ์ทดสอบนี้เสียหายทันที และไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก

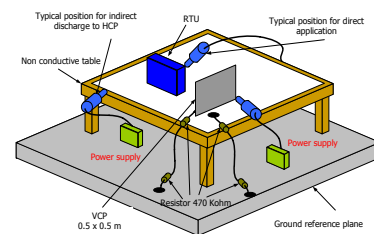
การทดสอบภูมิคุ้มกันทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะกำหนดไว้เป็นระดับความแรงของสัญญาณที่จะรบกวน ระดับการทดสอบ

(Level) โดยจะเริ่มจากระดับ 1 ถึง 3, 4 หรือ 5 และยังสามารถให้สามารถทำการทดสอบที่ระดับ X คือสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดได้

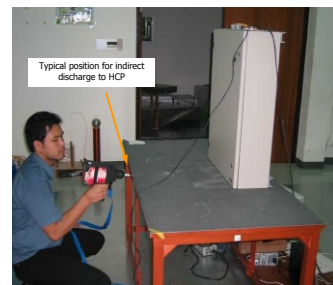
2.1. Electrostatic discharge immunity testing

การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic discharge immunity testing) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-2 (1995) เป็นการทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนในรูปของการคายประจุไฟฟ้าสถิตย์สู่ตัวผลิตภัณฑ์ ทั้งการคายประจุไฟฟ้าแบบสัมผัส (Contact discharge) และการคายประจุไฟฟ้าผ่านอากาศ (Air discharge)

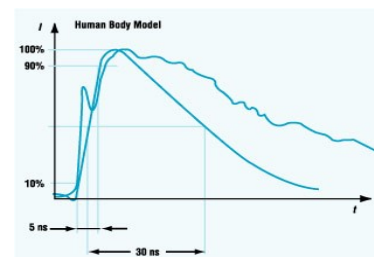
ผู้ทดสอบจะนำอุปกรณ์ทดสอบ ESD ทำการยิง ESD เข้ารบกวนหน่วยวัดคัมระยะไกล 3 ลักษณะด้วยกันคือ Indirect discharge to HCP, Indirect discharge to VCP และ Direct Application ดังแสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 1 Electrostatic discharge testing



รูปที่ 2 การทดสอบยิงแบบ Indirect discharge to HCP



รูปที่ 3 รูปคลื่นสัญญาณ Electrostatic discharge ผลการทดสอบทั้งในรูปแบบ Contact และ Air discharge แสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 Contact Discharge Mode Test Results

Test point	Test Execution ESD Test Level (kV) / Number of Discharges (Times)	
	+4/10	-4/10
VCP (all sides of EUT)	NORM	NORM
HCP (all sides of EUT)	NORM	NORM
Point 1	NORM	NORM

ตารางที่ 2 Air Discharge Mode Test Results

Test point	Test Execution ESD Test Level (kV) / Number of Discharges (Times)	
	+8/10	-8/10
Power Cord	ND	ND
HCP (all sides of EUT)	ND	ND
Point 1	ND	ND

Note:

“-“ : Not Test

“ND”: Not Discharge

“NORM”: Normal

“AB”: Abnormal

2.2. Conducted immunity testing

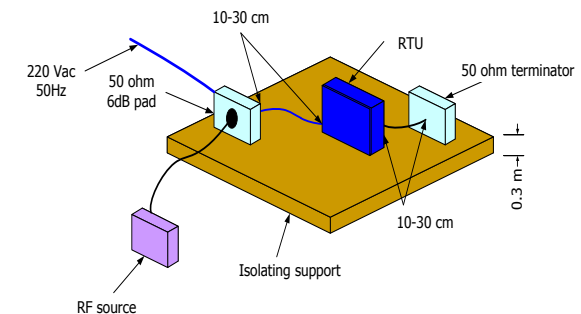
การทดสอบ Conducted immunity นี้เป็นการจำลองสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟและสายสัญญาณของผลิตภัณฑ์ทดสอบ มีการทดสอบ 2 แบบคือ ส่งสัญญาณที่มีความแรง 3 V without modulation และแบบ 10 V with modulation เข้าสู่แหล่งจ่ายไฟและสายสัญญาณของผลิตภัณฑ์ทดสอบ โดยใช้ตัวกำเนิดความถี่และตัวขยายสัญญาณ ดังรูปที่ 4 และ 5

2.3. Radiated immunity testing

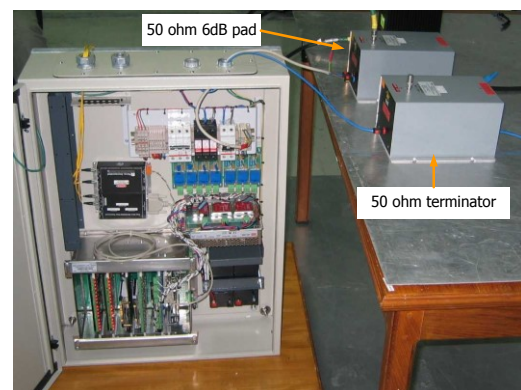
การทดสอบภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่วิทยุที่แผ่กระจาย Radiated Immunity (RI) IEC61000-4-3 สนามไฟฟ้าที่แพร่มาทางอากาศสามารถกำเนิดโดย สถานีวิทยุหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ใช้งานในปัจจุบันซึ่งมีหลายความถี่ และมีความแรงของสัญญาณมากๆ สามารถรบกวนการทำงานของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดได้

สำหรับมาตรฐาน IEC61000-4-3 นี้ กำหนดให้จะต้องมีการทดสอบ Radiated Immunity ที่ระดับสัญญาณ 3V/m without modulation สัญญาณ 10V/m แบบ AM และ 10V/m สำหรับสัญญาณ PM และการทดสอบหัวข้อนี้จะทำในห้องปิดกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อนขนาดเล็ก

โดยไร้สายอากาศ Bi-Log ย่านความถี่ 80 MHz ถึง 1000 MHz เป็นตัวกำเนิดสัญญาณทดสอบ

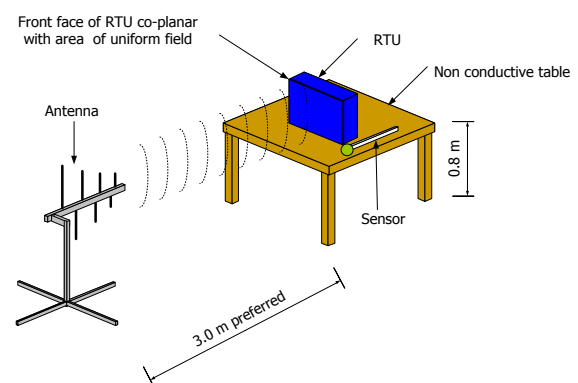


รูปที่ 4 Conducted immunity testing

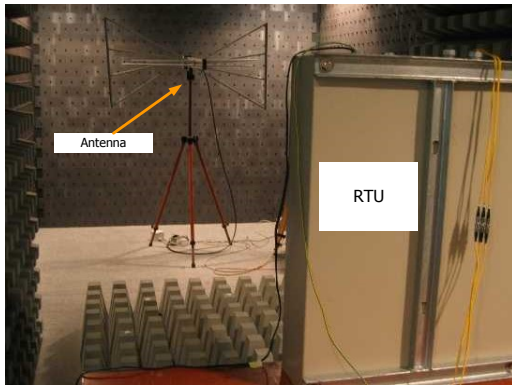


รูปที่ 5 การทดสอบแบบ 10 V with modulation

ห้องปิดกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อนขนาดเล็กนี้มีประโยชน์คือ ใช้สำหรับทดสอบ ทหารดับความคงทนของอุปกรณ์ ภายใต้ความแรงของระดับสัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ ตามมาตรฐาน IEC61000-4-3 มีระยะทดสอบ 3 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 Radiated immunity testing



รูปที่ 7 การทดสอบภายในห้องทดสอบ RI

คุณสมบัติของห้องทดสอบ มีคุณสมบัติที่สามารถป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งภายในและภายนอกไม่ให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ผนังภายใน ห้องทดสอบทั้ง 6 ด้านยังบุด้วยวัสดุ ดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อลดการสะท้อนของคลื่น ๆ ทำให้ห้องทดสอบนี้ มีคุณสมบัติ เป็นไปตามมาตรฐาน IEC61000-4-3

ลักษณะของห้องทดสอบ

- ผนังห้องด้านนอกเป็นแผ่นเหล็ก ป้องกันสนิมทั้ง 6 ด้านช่วยลดทอนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ตั้งแต่ 9 kHz ถึง 40 GHz
- ผนังด้านในชั้นล่างบุด้วยแผ่นเฟอร์ไรต์เพื่อช่วยดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำกว่า 200 MHz
- ผนังด้านในชั้นบนบุด้วยแผ่นฟองน้ำชนิดพิเศษช่วยดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงตั้งแต่ 200 MHz ถึง 18 GHz
- ขนาดห้องด้านนอกกว้าง 3.1 เมตร ยาว 7.3 เมตร และสูง 3 เมตร
- ขนาดพื้นที่ทำงาน ภายในกว้าง 2.2 เมตร ยาว 6.6 เมตร และสูง 2.4 เมตร

2.4. Surge immunity testing

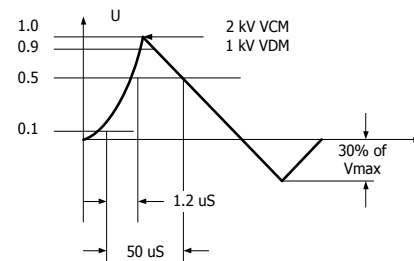
ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-5 (1995) เป็นการทดสอบความทนต่อการถูกรบกวน ที่เกิดจากการสร้างสัญญาณรบกวนในรูปของเล็กรั่วเข้ามาทางสายตัวนำไฟฟ้า (AC line)

วิธีการทดสอบที่ได้กล่าวมา ผู้ทดสอบจะนำอุปกรณ์ทดสอบ Surge ส่งแรงดันไฟฟ้าขนาด 1 kV VDM และ 2 kV VCM เข้ารบกวนทางสายตัวนำไฟฟ้า ของหน่วยวัดคุมระยะไกล เพื่อสร้างสัญญาณรบกวนทางแหล่งจ่ายไฟฟ้าของหน่วยวัดคุมระยะไกล โดยมีรูปคลื่นในการรบกวนดังแสดงในรูปที่ 8 และแสดงการทดสอบในรูปที่ 9

2.5. Electrical fast transient testing

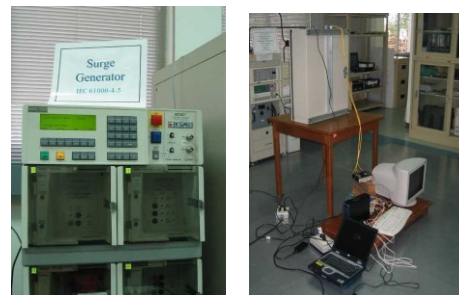
การทดสอบภูมิคุ้มกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วครู่แบบรวดเร็ว (Electrical fast transient/burst immunity testing) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-4 (1995) เป็นการทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนจากแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วครู่แบบรวดเร็ว (electrical fast transient/burst) ที่เกิดขึ้นในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ทั้งการรบกวนทางสายตัวนำไฟฟ้า (AC line) และการเหนี่ยวนำผ่านสายควบคุม (control line)

วิธีการทดสอบที่ได้กล่าวผู้ทดสอบจะนำอุปกรณ์ทดสอบ EFT จ่ายสัญญาณรบกวนเข้าทางสาย AC ของหน่วยวัดคุมระยะไกล เพื่อสร้างสัญญาณรบกวนทางแหล่งจ่ายไฟฟ้าของหน่วยวัดคุมระยะไกล โดยมีรูปคลื่นในการรบกวน ดังรูปที่ 10 และ 11

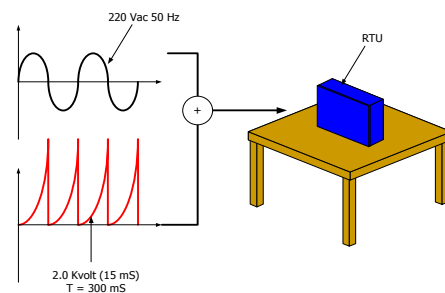


Angle of firing : 0, 90, 180, 270 degree
Positive side 5 times
Negative side 5 times

รูปที่ 8 Surge waveform



รูปที่ 9 Surge immunity testing



รูปที่ 10 Electrical fast transient testing

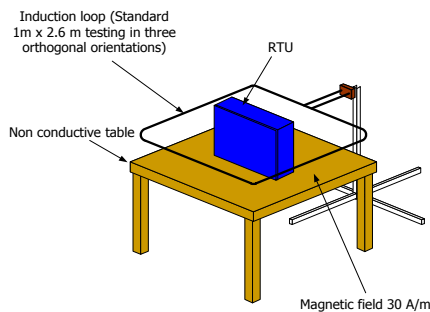


รูปที่ 11 การทดสอบ EFT ของหน่วยวัดคุมระยะไกล

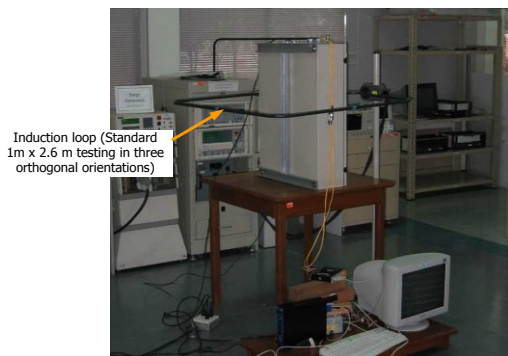
2.6. Power frequency magnetic testing

การทดสอบภูมิคุ้มกันสนามแม่เหล็กเชิงกำลัง (Power magnetic field immunity testing) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-8 (1993) เป็นการทดสอบความทนต่อการถูกรบกวนในรูปของสนามแม่เหล็กแบบความถี่สูงผ่านทางอากาศ

จากวิธีการทดสอบที่ได้กล่าวมาผู้ทดสอบจะนำอุปกรณ์ทดสอบ Power Frequency Magnetic คล้องหน่วยวัดคุมระยะไกล เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเข้ารบกวนหน่วยวัดคุมระยะไกล 3 ขนาด 30 A/m ดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13



รูปที่ 12 Power frequency magnetic testing

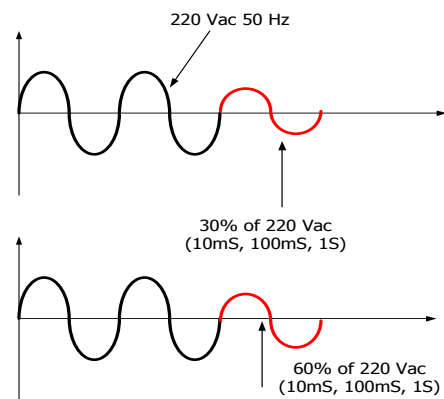


รูปที่ 13 การทดสอบสนามแม่เหล็กระยะไกล (30 A/m)

2.7. Voltage dips testing

การทดสอบภูมิคุ้มกันต่อแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage Dips) ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-11(1994) แรงดันไฟฟ้าหายไปชั่วขณะ (Voltage short interruptions) และแรงดันไฟฟ้าแกว่ง (Voltage Fluctuation)

วิธีการทดสอบที่ได้กล่าวผู้ทดสอบจะนำอุปกรณ์ทดสอบ Voltage dips จ่ายสัญญาณรบกวนเข้าทางสาย AC ของ RTU เพื่อสร้างสัญญาณรบกวนทางแหล่งจ่ายไฟฟ้าของ RTU โดยมีรูปคลื่นในการรบกวน ดังรูปที่ 14 และ 15



รูปที่ 14 Voltage dip waveforms



รูปที่ 15 การทดสอบ Voltage dips

3. ผลการทดสอบ

หน่วยวัดคุมระยะไกลถูกออกแบบเพื่อให้ทนต่อสัญญาณรบกวนในรูปแบบต่างๆได้ออกแบบ Noise reduction ทั้งใน Input, Output และ Communication Ports โดยใช้หลักการ Shield added one end grounded large enclosed area, Parallel connection reduction และ Common ground impedance สำหรับ Input และ Output ทั้งแบบ Digital และ Analog ในส่วนของ Communication ใช้ลดทอนสัญญาณรบกวนและป้องกันเสิร์จ ด้วย Isolation circuit ทำให้ผลการทดสอบหน่วยวัดคุมระยะไกลตามมาตรฐาน IEC 61000 แสดงในตารางที่ 3



ตารางที่ 3 Susceptibility Testing Results

Descriptions	NECTEC
	Level
Electrostatic Discharge Immunity	4kV/8kV
Radiated Immunity	10V/m
Fast Transient / Burst Immunity	AC 2kV
Surge Immunity	1kV/2kV
Conducted Immunity	10V
Power Frequency Magnetic Field Immunity	30A/m
Voltage Dips	30%+10%

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอแนวทางการทดสอบหน่วยวัดคุมระยะไกลที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ การสร้างเสถียรภาพของหน่วยวัดคุมระยะไกลจำเป็นต้องคำนึงถึงมาตรฐานที่สามารถอ้างอิงได้ และนำข้อมูลของมาตรฐานไปออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการออกแบบทางวิศวกรรมอื่นๆได้ นอกจากนั้นผลการทดสอบหน่วยวัดคุมระยะไกลยังสามารถเป็นตัวชี้วัดถึงเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อีกทางด้วย ซึ่งหน่วยวัดคุมระยะไกลที่ผ่านการทดสอบใช้หลักการ Noise reduction ทั้งในแบบ Shield added one end grounded large enclosed area, Parallel connection reduction และ Common ground impedance มาช่วยในการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องตามรบกวนต่างๆได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Khatsaeng, T., Rerkpreedapong, D. and Chaiyabut, N. (2014) Reliability assessment of power distribution systems using tripping rate of protective devices, paper presented in *the IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, DC, USA.
- [2] International Electrotechnical Commission Standard, Electrostatic Discharge (ESD) IEC61000-4-2
- [3] International Electrotechnical Commission Standard, Conducted Immunity (CI) IEC61000-4-6
- [4] International Electrotechnical Commission Standard, Radiated Immunity (RI) IEC61000-4-3
- [5] International Electrotechnical Commission Standard, Surge Immunity (Surge) IEC61000-4-5
- [6] International Electrotechnical Commission Standard, Electrical Fast Transient (EFT) IEC61000-4-4
- [7] International Electrotechnical Commission Standard, Power Frequency Magnetic IEC61000-4-5
- [8] International Electrotechnical Commission Standard, Voltage dips IEC61000-4-11