

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าของ กฟน. ซึ่งแบ่งเป็น ๔ ส่วนดังนี้

ส่วนที่ ๑ : ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ใน Solar PV Rooftop จะต้องมีความสัมพันธ์เป็นไปตาม “ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย” และต้องมีรายงานผลการทดสอบที่แสดงว่าอินเวอร์เตอร์มีความสัมพันธ์ตามข้อกำหนดฯ โดยรายงานผลการทดสอบต้องออกโดยหน่วยงานหรือสถาบันทดสอบที่เป็นกลางและได้รับการรับรองตามมาตรฐานห้องทดสอบจาก ISO/IEC 17025 (สำหรับอินเวอร์เตอร์) หรือได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง

ส่วนที่ ๒ : ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ขนาดกำลังผลิตติดตั้งของ Solar PV Rooftop ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ต้องเป็นไปตาม “ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา”

ส่วนที่ ๓ : รูปแบบการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้า

มาตรฐานรูปแบบการเชื่อมต่องรวมทั้งการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนด โดยการไฟฟ้านครหลวงขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อและการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าตามความเหมาะสม เพื่อความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งผู้ผลิตไฟฟ้า Solar PV Rooftop จะต้องยอมรับและปฏิบัติตาม

ส่วนที่ ๔ : คุณสมบัติเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า

เพื่อให้สามารถตรวจสอบและควบคุมระดับคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งมากกว่า ๒๕๐ กิโลวัตต์ต้องจัดหาและติดตั้งเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Meter) ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง ณ ตำแหน่งจุดเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

คุณสมบัติและเงื่อนไขอื่น ๆ ในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของ Solar PV Rooftop ให้เป็นไปตามระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. ๒๕๕๑

ส่วนที่ ๑

ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์
ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย
ของการไฟฟ้านครหลวง

สารบัญ

หน้า

๑. ขอบเขตและวัตถุประสงค์	๓
๒. นิยามคำศัพท์	๔
๓. ข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับอินเวอร์เตอร์	๕
๓.๑ การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า	๕
๓.๒ การตอบสนองต่อระบบไฟฟ้า	๕
๔. แนวทางการทดสอบอินเวอร์เตอร์	๗
๔.๑ สถาบันหรือหน่วยงานที่ทดสอบ	๗
๔.๒ ประเภทของการทดสอบ	๗
๔.๓ วิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมิน	๗

๑. ขอบเขตและวัตถุประสงค์

ข้อกำหนดฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดเงื่อนไขทางเทคนิคในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแนวทางในการทดสอบสำหรับอินเวอร์เตอร์ (Grid-connected Inverter) ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อไม่ว่าจะเป็น ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) หรือผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อขนานกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมผลกระทบจากการทำงานของอินเวอร์เตอร์เหล่านี้ที่อาจมีต่อระบบไฟฟ้าทั้งในด้านคุณภาพไฟฟ้าและความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ข้อกำหนดฉบับนี้ประยุกต์ใช้กับอินเวอร์เตอร์ของผู้เชื่อมต่อทุกประเภท หากว่าอินเวอร์เตอร์นั้นออกแบบให้ในการทำงานเชื่อมต่อกับระบบแรงต่ำ (๒๓๐/๔๐๐ V) โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อจะต้องผ่านการทดสอบและมีคุณสมบัติทางด้านเทคนิคตามที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดฉบับนี้ จึงจะอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงได้

การจัดทำข้อกำหนดฉบับนี้ได้อ้างอิงเนื้อหาจากมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับ Grid-connected Inverter ทั้งในส่วนการกำหนดเงื่อนไขการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า และการกำหนดแนวทางในการทดสอบอินเวอร์เตอร์ โดยการอ้างอิงเนื้อหาจากมาตรฐานสากลข้างต้นยึดหลักดังต่อไปนี้

- ในประเด็นที่มาตรฐานอ้างอิงข้างต้นมีการกำหนดไว้ชัดเจนครบถ้วนแล้วก็จะยกมาใช้อ้างอิงเลย
- กรณีที่ในประเด็นเดียวกันแต่ในแต่ละมาตรฐานมีการกำหนดเนื้อหารายละเอียดไว้แตกต่างกัน จะพิจารณาเลือกใช้เนื้อหาตามมาตรฐานที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ในระบบของการไฟฟ้านครหลวงมากกว่า
- หากในประเด็นใดที่เนื้อหาในมาตรฐานอ้างอิงไม่สอดคล้องกับการทำงานของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง จะพิจารณาปรับแก้เนื้อหาให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบไฟฟ้า

มาตรฐานสากลเหล่านี้ได้แก่ IEC 61727-2004, IEC 62116-2008, IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2005 และ AS 4777.3-2005 ดังนั้นมาตรฐานอ้างอิงข้างต้นถือเป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดฉบับนี้ ประเด็นใดในข้อกำหนดที่ไม่ได้ระบุรายละเอียดไว้ให้อ้างอิงเนื้อหาตามมาตรฐานสากลเหล่านี้

๒. นิยามคำศัพท์

๒.๑ อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอื่นๆไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้

๒.๒ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย (Grid-connected Inverter)

อินเวอร์เตอร์ชนิดที่จะต้องหยุดจ่ายพลังงานเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อแรงดันและ/หรือความถี่ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีค่าไม่อยู่ในช่วงการทำงานปกติตามที่กำหนดไว้ หรือเมื่อเกิดสภาวะไอส์แลนดิงขึ้น

๒.๓ ฮาร์โมนิก (Harmonic)

ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) สำหรับระบบไฟฟ้าในประเทศไทยความถี่หลักมูลมีค่าเท่ากับ ๕๐ Hz ดังนั้น ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น ๑๐๐ Hz เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ ๒ (Second Harmonic) ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น ๑๕๐ Hz เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ ๓ (Third Harmonic)

๒.๔ ความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม (Total Harmonic Current Distortion, THDi)

อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Root-Sum-Square) ของค่ากระแส RMS ของส่วนประกอบฮาร์โมนิก (Harmonic Component) กับค่ากระแส RMS ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component) เทียบเป็นร้อยละ

$$\text{THDi (\%)} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \times 100$$

๒.๕ แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation or Flicker)

การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของค่า RMS (หรือค่า Peak) ของแรงดันไฟฟ้า ระหว่างค่าระดับแรงดัน ๒ ระดับใกล้เคียงกัน ซึ่งแต่ละระดับมีค่าคงที่ในระยะเวลาที่แน่นอนแต่ไม่กำหนดช่วงระยะเวลา

๒.๖ ไอส์แลนดิง (Islanding)

สภาวะซึ่งส่วนหนึ่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยโหลดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงทำงานต่อเนื่องและแยกตัวออกจากส่วนที่เหลือของระบบโครงข่ายไฟฟ้า โหลดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจเป็นการรวมกันระหว่างทรัพย์สินของการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า

๓. ข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับอินเวอร์เตอร์

๓.๑ การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

๓.๑.๑ ฮาร์มอนิก

เมื่ออินเวอร์เตอร์จ่ายไฟให้โหลดเชิงเส้นที่สมดุล (Balanced Linear Load) อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่สร้างกระแสฮาร์มอนิกจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัดดังต่อไปนี้ (แสดงค่าเป็นร้อยละเทียบกับกระแสพิคกิ้งของอินเวอร์เตอร์)

อันดับที่	ขีดจำกัดกระแส (%)	อันดับคู่	ขีดจำกัดกระแส (%)
๓ - ๙	๔.๐	๒ - ๑๐	๑.๐
๑๑ - ๑๕	๒.๐	๑๒ - ๑๖	๐.๕
๑๗ - ๒๑	๑.๕	๑๘ - ๒๒	๐.๓๗๕
๒๓ - ๓๓	๐.๖	๒๔ - ๓๔	๐.๑๕
≥ ๓๕	๐.๓	≥ ๓๖	๐.๐๗๕
ความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi) ๕.๐ %			

๓.๑.๒ แรงดันกระเพื่อม

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-3 (2008) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิคกิ้งไม่เกิน ๑๖ A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-5 (2009) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิคกิ้งเกินกว่า ๗๕ A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-11 (2000) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิคกิ้งไม่เกิน ๗๕ A

๓.๑.๓ การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่สร้างไฟฟ้ากระแสตรง (DC Injection) จ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินกว่า ๐.๕ % ของกระแสพิคกิ้งของอินเวอร์เตอร์

๓.๒ การตอบสนองต่อระบบไฟฟ้า

๓.๒.๑ ช่วงแรงดันทำงาน

อินเวอร์เตอร์จะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า หากขนาดของแรงดัน Line to Line หรือ Line to Neutral ในระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่าออกนอกช่วง ๓๔๖ - ๔๑๖ V และ ๒๐๐ - ๒๔๐ V ตามลำดับ ในระยะเวลาดังนี้

ช่วงแรงดัน (โวลต์)		เวลาในการปลดวงจรสูงสุด (วินาที)
Line to Line	Line to Neutral	
$V < ๑๙๙$	$V < ๑๑๕$	๐.๑
$๑๙๙ \leq V < ๓๔๖$	$๑๑๕ \leq V < ๒๐๐$	๒.๐
$๓๔๖ \leq V \leq ๔๑๖$	$๒๐๐ \leq V \leq ๒๔๐$	ทำงานต่อเนื่อง (ไม่ปลดวงจร)
$๔๑๖ < V < ๕๓๙$	$๒๔๐ < V < ๓๑๑$	๒.๐
$V \geq ๕๓๙$	$V \geq ๓๑๑$	๐.๐๕

๓.๒.๒ ช่วงความถี่ทำงาน

อินเวอร์เตอร์จะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน ๐.๑ วินาที หากความถี่ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วง ๔๙ - ๕๑ Hz

๓.๒.๓ การป้องกันสภาวะไอส์แลนดิง

ในกรณีที่เกิดสภาวะไอส์แลนดิง อินเวอร์เตอร์จะต้องตรวจพบและปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน ๒ วินาที

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการไฟฟ้านครหลวงมีการติดตั้งระบบสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟโดยอัตโนมัติเมื่อระบบจ่ายไฟฟ้าขัดข้อง เพื่อลดระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับและผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยขณะที่ระบบข้างต้นทำงานผู้ใช้ไฟฟ้าจะประสบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลาประมาณ ๐.๓ วินาที นั่นคืออินเวอร์เตอร์จะประสบกับสภาวะไอส์แลนดิงเป็นเวลา ๐.๓ วินาทีเช่นกัน

หลังจากผ่านไป ๐.๓ วินาที เมื่อระบบการไฟฟ้าจ่ายแรงดันกลับคืนมา หากอินเวอร์เตอร์ไม่ปลดวงจรออกไปภายในช่วงเวลาดังกล่าว อาจเกิดปัญหา Out of Synchronization คือแรงดันที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์มีมุมเฟสแตกต่างจากแรงดันที่จ่ายจากระบบการไฟฟ้า ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดแรงดันกระชากสร้างความเสียหายกับอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์อื่นๆในระบบไฟฟ้าได้

ดังนั้นเมื่อเกิดสภาวะไอส์แลนดิง หากอินเวอร์เตอร์ของผู้เชื่อมต่อไม่ปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลา ๐.๓ วินาที และก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อหรือระบบของการไฟฟ้านครหลวงเนื่องจากปัญหา Out of Synchronization ผู้เชื่อมต่อต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น

๓.๒.๔ การเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน

ภายหลังจากที่อินเวอร์เตอร์ปลดวงจร เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดัน/ความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด และเมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วอินเวอร์เตอร์จะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย ๒ นาที

๔. แนวทางการทดสอบอินเวอร์เตอร์

๔.๑ สถาบันหรือหน่วยงานที่ทดสอบ

อินเวอร์เตอร์จะต้องผ่านการทดสอบโดยหน่วยงานหรือสถาบันทดสอบที่เป็นกลาง และได้รับการรับรองตามมาตรฐานห้องทดสอบจาก ISO/IEC 17025 (สำหรับอินเวอร์เตอร์) หรือได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง

๔.๒ ประเภทของการทดสอบ

๔.๒.๑ การทดสอบการออกแบบ (Design Test)

เป็นการทดสอบกับอินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียวที่เป็นตัวแทนของรุ่น เพื่อยืนยันว่าอินเวอร์เตอร์รุ่นที่จะนำมาติดตั้งใช้งานมีการออกแบบที่เหมาะสมสอดคล้องตามข้อกำหนดทั้งในด้านการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าและการตอบสนองต่อระบบไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์รุ่นที่เคยผ่านการทดสอบการออกแบบแล้วไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบการออกแบบซ้ำอีก

การทดสอบการออกแบบต้องดำเนินการในทุกหัวข้อการทดสอบคือ ฮาร์มอนิก แรงดันกระแสเพื่อมการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ช่วงแรงดันทำงาน ช่วงความถี่ทำงาน การป้องกันการเกิดไอส์แลนดิง และการเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน และต้องผ่านการทดสอบโดยสถาบันที่มีคุณสมบัติตามข้อ ๔.๑ เท่านั้น

๔.๒.๒ การทดสอบประจำเครื่อง (Routine Test)

เป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการกับอินเวอร์เตอร์ทุกเครื่องที่จะนำไปติดตั้งใช้งาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยสูงสุดและป้องกันผลเสียที่อาจมีต่อระบบไฟฟ้า หัวข้อทดสอบที่ต้องทำการทดสอบประจำเครื่องคือ ช่วงแรงดันทำงาน ช่วงความถี่ทำงาน และการป้องกันการเกิดไอส์แลนดิง

การทดสอบประจำเครื่องสามารถดำเนินการโดยสถาบันที่มีคุณสมบัติตามข้อ ๔.๑ หรือห้องทดสอบของผู้ผลิตอินเวอร์เตอร์ซึ่งได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากการไฟฟ้านครหลวง

๔.๓ วิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมิน

๔.๓.๑ การทดสอบฮาร์มอนิก

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน IEEE 1547.1-2005 ข้อ ๕.๑๑.๑ ซึ่งกำหนดให้ทดสอบวัดค่ากระแสฮาร์มอนิกเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานที่ ๓๓% ๖๖% และ ๑๐๐% ของพิกัดกระแส

๔.๓.๒ การทดสอบแรงดันกระแสเพื่อม

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน IEC 61000-3-3 (2008) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิกัดไม่เกิน ๑๖ A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-5 (2009) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิกัดเกินกว่า ๑๖ A หรือมาตรฐาน IEC 61000-3-11 (2000) สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่มีกระแสพิกัดไม่เกิน ๑๖ A

๔.๓.๓ การทดสอบการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินตามมาตรฐาน IEEE 1547.1-2005 ข้อ ๕.๖ ซึ่งกำหนดให้ทดสอบวัดค่ากระแสตรงเมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานที่ ๓๓% ๖๖% และ ๑๐๐% ของพิกัดกระแส

๔.๓.๔ การทดสอบช่วงแรงดันทำงาน

(๑) Design Test

๑.๑) ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

การทดสอบแบ่งเป็น ๒ ส่วน คือ Overvoltage และ Undervoltage ดังนี้

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ
Over-voltage	๕ x m_1 x n	(๑) ติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์ตามคู่มือการติดตั้งและข้อกำหนดจากผู้ผลิต (๒) ตั้งค่าการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งหมดที่เงื่อนไขการทำงานปกติของชุดอินเวอร์เตอร์ (๓) ตั้งค่า Overvoltage Trip Setting ของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าแรงดันทดสอบ (ดูหมายเหตุ, m_1) และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าการทำงานปกติ (๔) ปรับแรงดันทดสอบเพิ่มขึ้นแบบขั้นที่ทันใด โดยให้มีค่าเท่ากับ Overvoltage Trip Setting + ๑ V และคงไว้จนกระทั่งอินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (๕) บันทึกค่าระยะเวลาที่อินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (๖) ในกรณีอินเวอร์เตอร์ ๓ เฟส ให้ทำการทดสอบที่ละเฟสจนครบ ๓ เฟส และทดสอบทั้ง ๓ เฟสพร้อมกันอีกครั้ง โดยขณะทำการทดสอบในเฟสใด แรงดันในเฟสที่เหลือให้ตั้งค่าที่ระดับการทำงานปกติ
Under-voltage	๕ x m_2 x n	(๑) ติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์ตามคู่มือการติดตั้งและข้อกำหนดจากผู้ผลิต (๒) ตั้งค่าการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งหมดที่เงื่อนไขการทำงานปกติของชุดอินเวอร์เตอร์ (๓) ตั้งค่า Undervoltage Trip Setting ของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าแรงดันทดสอบ (ดูหมายเหตุ, m_2) และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าการทำงานปกติ (๔) ปรับแรงดันทดสอบลดลงแบบขั้นที่ทันใด โดยให้มีค่าเท่ากับ Undervoltage Trip Setting - ๑ V และคงไว้จนกระทั่งอินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (๕) บันทึกค่าระยะเวลาที่อินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (๖) ในกรณีอินเวอร์เตอร์ ๓ เฟส ให้ทำการทดสอบที่ละเฟสจนครบ ๓ เฟส และทดสอบทั้ง ๓ เฟสพร้อมกันอีกครั้ง โดยขณะทำการทดสอบในเฟสใด แรงดันในเฟสที่เหลือให้ตั้งค่าที่ระดับการทำงานปกติ
หมายเหตุ : m_1 คือ จำนวนแรงดันสูงเกินที่ต้องทดสอบ ๒ ครั้ง คือที่ ๒๔๑ V และที่ ๓๑๑ V * m_2 คือ จำนวนแรงดันต่ำเกินที่ต้องทดสอบ ๒ ครั้ง คือที่ ๑๙๙ V และที่ ๑๑๔ V * n คือ จำนวนครั้งที่ต้องทดสอบเพิ่มเติมในกรณีที่อินเวอร์เตอร์เป็นชนิด ๓ เฟส โดยทดสอบที่ละเฟสและทดสอบทั้ง ๓ เฟสพร้อมกัน * กรณีที่อินเวอร์เตอร์ไม่สามารถปรับ Overvoltage Trip Setting และ/หรือ Undervoltage Trip Setting ได้ถึง ๓๑๑ V และ/หรือ ๑๑๔ V ตามลำดับ ให้ปรับ Overvoltage Trip Setting และ/หรือ Undervoltage Trip Setting ไปที่ค่าแรงดันสูงสุดและ/หรือแรงดันต่ำสุดที่อินเวอร์เตอร์สามารถปรับตั้งค่าได้ตามลำดับ		

๑.๒) เกณฑ์การประเมิน

ในการทดสอบแต่ละครั้งอินเวอร์เตอร์ต้องหยุดจ่ายไฟเข้าระบบภายในระยะเวลาตามที่กำหนดในข้อ ๓.๒.๑

(๒) Routine Test

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินเช่นเดียวกับ Design Test แต่ปรับลดจำนวนครั้งในการทดสอบลง โดยกรณี Overvoltage ทดสอบ $m_1 \times n$ ครั้ง และ Undervoltage ทดสอบ $m_2 \times n$ ครั้ง

๔.๓.๕ การทดสอบช่วงความถี่ทำงาน

(๑) Design Test

๑.๑) ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

การทดสอบแบ่งเป็น ๒ ส่วนคือ Overfrequency และ Underfrequency ดังนี้

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	วิธีการทดสอบ
Over-frequency	๕	(๑) ติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์ตามคู่มือการติดตั้งและข้อกำหนดจากผู้ผลิต (๒) ตั้งค่าการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งหมดที่เงื่อนไขการทำงานปกติของชุดอินเวอร์เตอร์ (๓) ตั้งค่า Overfrequency Trip Setting ของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าทดสอบ ๕๑.๑ Hz และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าการทำงานปกติ (๔) ปรับความถี่ทดสอบเพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใด โดยให้มีค่าเท่ากับ Overfrequency Trip Setting + ๐.๑ Hz และคงไว้จนกระทั่งอินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (๕) บันทึกค่าระยะเวลาที่อินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ
Under-frequency	๕	(๑) ติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์ตามคู่มือการติดตั้งและข้อกำหนดจากผู้ผลิต (๒) ตั้งค่าการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งหมดที่เงื่อนไขการทำงานปกติของชุดอินเวอร์เตอร์ (๓) ตั้งค่า Underfrequency Trip Setting ของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าทดสอบ ๔๘.๙ Hz และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าการทำงานปกติ (๔) ปรับความถี่ทดสอบลดลงแบบทันทีทันใด โดยให้มีค่าเท่ากับ Underfrequency Trip Setting - ๐.๑ Hz และคงไว้จนกระทั่งอินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (๕) บันทึกค่าระยะเวลาที่อินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ

๑.๒) เกณฑ์การประเมิน

ในการทดสอบแต่ละครั้งอินเวอร์เตอร์ต้องหยุดจ่ายไฟเข้าระบบภายในเวลาไม่เกิน ๐.๑ วินาที

(๒) Routine Test

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบและเกณฑ์การประเมินเช่นเดียวกับ Design Test แต่ปรับลดจำนวนครั้งในการทดสอบลง โดยกรณี Overfrequency ทดสอบ ๑ ครั้ง และ Underfrequency ทดสอบ ๑ ครั้ง

๔.๓.๖ การทดสอบการป้องกันสภาวะไอส์แลนดิง

(๑) Design Test

๑.๑) ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62116-2008

๑.๒) เกณฑ์การประเมิน

ในการทดสอบแต่ละครั้งอินเวอร์เตอร์จะต้องหยุดจ่ายไฟเข้าระบบภายในเวลาไม่เกิน ๒ วินาที

(๒) Routine Test

๒.๑) ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

ทดสอบตามวิธีการในข้อ ๖.๑ ของมาตรฐาน IEC 62116-2008 แต่ให้ทดสอบเฉพาะเงื่อนไขการทดสอบดังต่อไปนี้

Condition	% Change in Real Load, Reactive Load from Nominal	จำนวนครั้งการทดสอบ
A	๐ , ๐	๑
B	๐ , ๐	๑
C	๐ , ๐	๑

หมายเหตุ

- Condition A หมายถึงอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ Maximum Output Power และแรงดันที่ป้อนให้อินเวอร์เตอร์มีค่ามากกว่า ๙๐% ของช่วงแรงดันพิกัด
- Condition B หมายถึงอินเวอร์เตอร์ทำงานระหว่าง ๕๐% - ๖๖% ของ Maximum Output Power และแรงดันที่ป้อนให้อินเวอร์เตอร์มีค่า ๕๐% ของช่วงแรงดันพิกัด $\pm ๑๐\%$
- Condition C หมายถึงอินเวอร์เตอร์ทำงานระหว่าง ๒๕% - ๓๓% ของ Maximum Output Power และแรงดันที่ป้อนให้อินเวอร์เตอร์มีค่าน้อยกว่า ๑๐% ของช่วงแรงดันพิกัด
- % Change in Real Load, Reactive Load from Nominal = ๐ , ๐ หมายความว่าทั้ง Real Power และ Reactive Power ที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์ถูก AC Loads ในวงจรทดสอบดูดกลืนพลังงานไปทั้งหมด ดังนั้นทั้ง Real Power และ Reactive Power ที่ไหลไปยัง AC Power Source จึงมีค่าเป็นศูนย์

๒.๒) เกณฑ์การประเมิน

ในการทดสอบแต่ละครั้งอินเวอร์เตอร์จะต้องหยุดจ่ายไฟเข้าระบบภายในเวลาไม่เกิน ๒ วินาที

๔.๓.๗ การทดสอบการเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน

เป็นการทดสอบประเภท Design Test โดยให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 1547.1-2005 ข้อ ๕.๑๐ ส่วนเกณฑ์การประเมินให้อ้างอิงตามข้อ ๓.๒.๔ ในข้อกำหนดฉบับนี้

ส่วนที่ ๒

ข้อจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้า
พลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
ของการไฟฟ้านครหลวง

**ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง**

เพื่อควบคุมผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ที่อาจมีต่อระดับแรงดันไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จึงกำหนดขีดจำกัดขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวมของ Solar PV Rooftop ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของ กฟน. ได้ดังนี้

ก) กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (๒๓๐/๔๐๐ โวลต์)

- หากเป็นระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว จะต้องมีย่านกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน ๑๐ กิโลวัตต์ต่อราย
- ขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวมของ Solar PV Rooftop (หน่วยเป็นกิโลวัตต์) ที่เชื่อมต่อในหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟน. ลูกหนึ่ง จะต้องไม่เกิน ๑๕% ของพิกัดขนาดหม้อแปลงจำหน่าย (หน่วยเป็น กิโลโวลต์-แอมแปร์) หากหม้อแปลงจำหน่ายมี Solar PV Rooftop เชื่อมต่อเต็มขีดจำกัด ๑๕% แล้ว จะไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อของ Solar PV Rooftop เพิ่มเติมที่หม้อแปลงจำหน่ายลูกนั้นได้อีก
- ในกรณีที่ผู้ยื่นขอผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากยังคงมีความประสงค์จะขายไฟฟ้า ถึงแม้หม้อแปลงจำหน่ายในพื้นที่นั้นรองรับ Solar PV Rooftop เต็มขีดจำกัดแล้ว ผู้ยื่นขอสามารถไปขอเชื่อมต่อขายไฟฟ้าในระบบ ๑๒ หรือ ๒๔ กิโลโวลต์ โดยผู้ยื่นขอจะต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายพร้อมอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของ กฟน. รายละเอียดอื่นๆเป็นไปตามเงื่อนไขข้อ ข)

ข) กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงกลาง (๑๒ หรือ ๒๔ กิโลโวลต์)

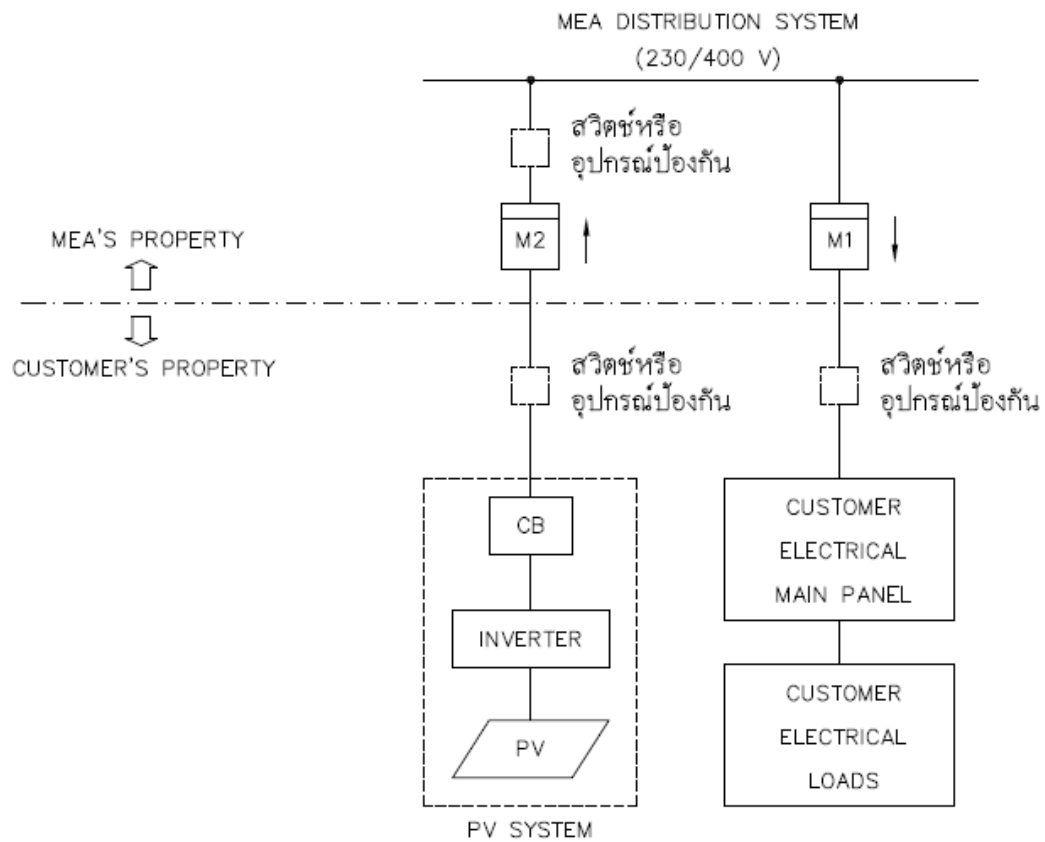
- ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์) เกินกว่า ๑๕% ของพิกัดขนาดหม้อแปลงจำหน่าย (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์) ในพื้นที่นั้น จะต้องไปเชื่อมต่อขายไฟฟ้าในระบบ ๑๒ หรือ ๒๔ กิโลโวลต์ โดยผู้ยื่นขอจะต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายพร้อมอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของ กฟน.
- กำลังผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าทุกประเภท (ทั้ง Solar PV Rooftop และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทอื่นๆ) ที่ติดตั้งในสายป้อนเดียวกัน ต้องไม่เกิน ๘ เมกะวัตต์/สายป้อน สำหรับระบบ ๒๔ กิโลโวลต์ และ ๔ เมกะวัตต์/สายป้อน สำหรับระบบ ๑๒ กิโลโวลต์
- หากกำลังผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าทุกประเภทที่ติดตั้งในสายป้อนหนึ่งเต็มตามขีดจำกัดข้างต้นแล้ว กฟน. จะไม่รับซื้อไฟฟ้าเพิ่มเติมในสายป้อนนั้นอีก

ทั้งนี้เงื่อนไขข้อ ก) และ ข) เป็นข้อกำหนดทั่วไป กฟน. ขอสงวนสิทธิ์ในการปรับเปลี่ยนขีดจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าตามความจำเป็น เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวม


ส่วนที่ ๓


รูปแบบการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้า
ของการไฟฟ้านครหลวง

1. กรณีผู้ให้บริการไฟฟ้าซื้อและขายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (230/400 โวลต์)

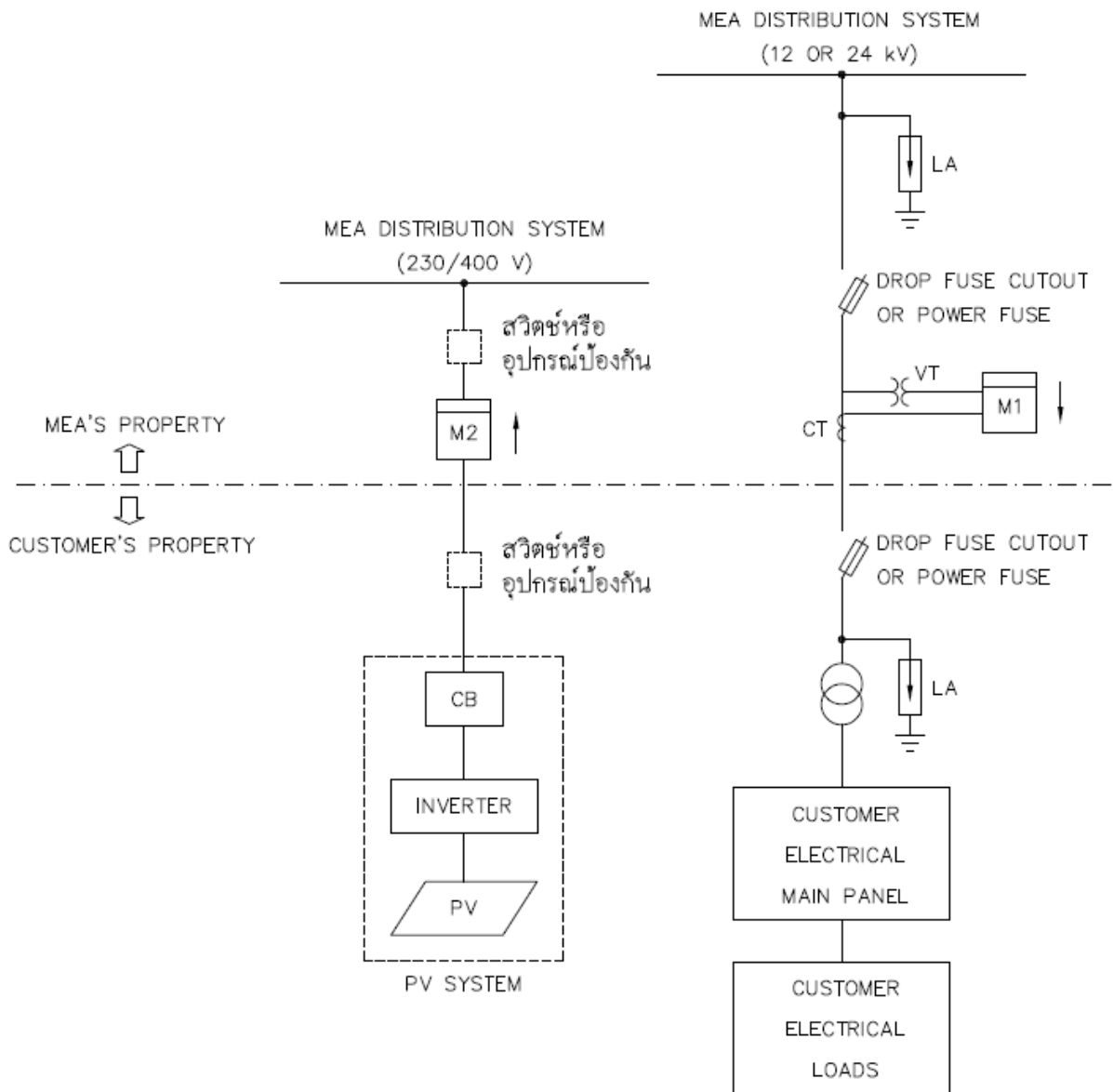


 = REVENUE METER

 = PV OUTPUT METER

 = อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของ กฟน.

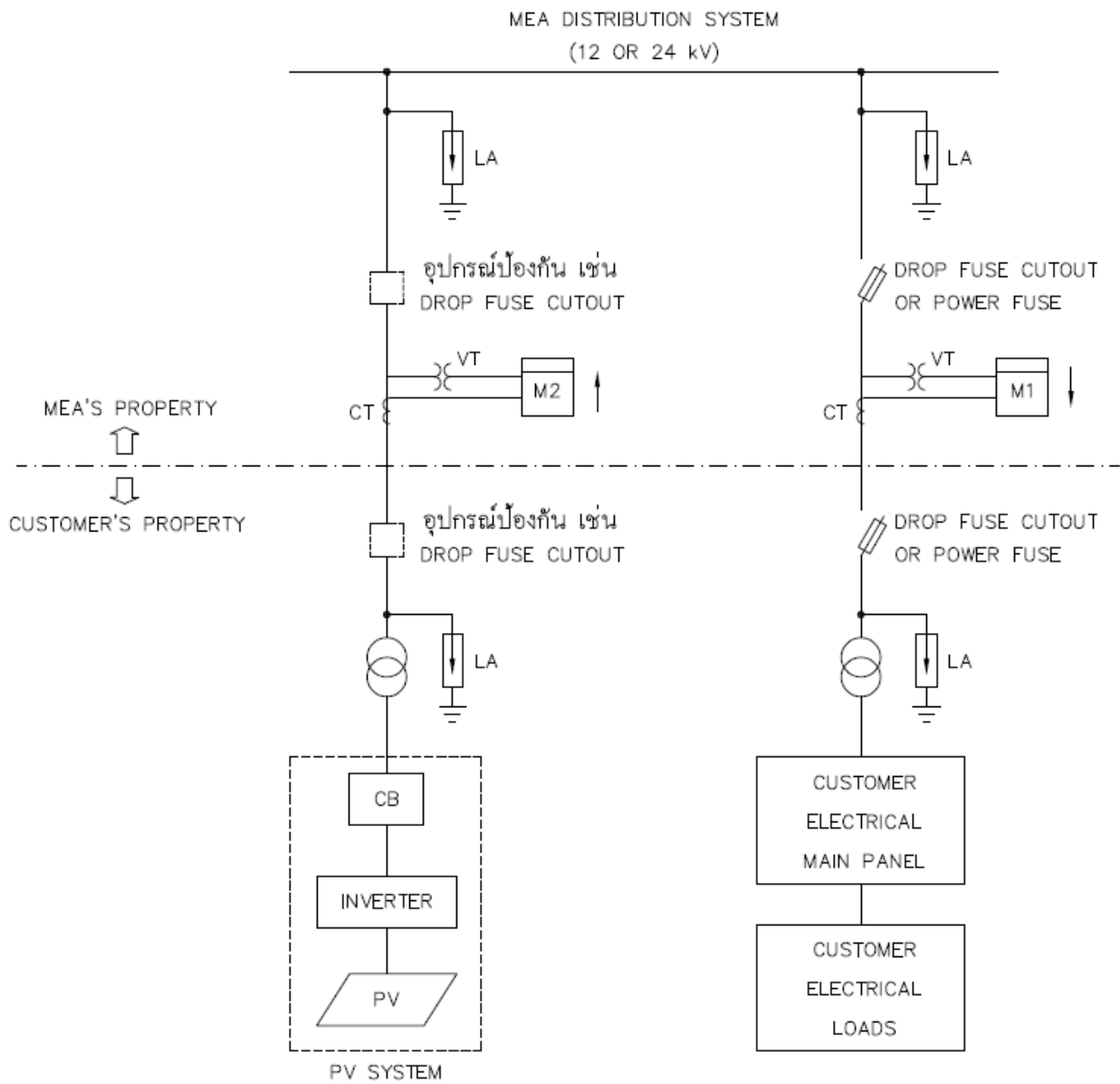
2. กรณีผู้ใช้ไฟฟ้าซื้อไฟฟ้าแรงดันสูง (12 หรือ 24 เควี) และขายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (230/400 โวลต์)



- M1 = REVENUE METER
- M2 = PV OUTPUT METER

 = อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของ กฟน.

3. กรณีผู้ใช้ไฟฟ้าซื้อและขายไฟฟ้าแรงดันสูง (12 หรือ 24 เควี)



M1 = REVENUE METER

M2 = PV OUTPUT METER

□ = อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของ กฟน.

ส่วนที่ ๔

คุณสมบัติเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า
ของการไฟฟ้านครหลวง

**คุณสมบัติเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Meter)
ของการไฟฟ้านครหลวง**

- Power quality meter shall measure and record the 3 phase true RMS electrical value in 2 categories which are Profile Recording and Event Recording.
- Profile recording is the continuous recording of average, minimum and maximum RMS value over 10 minutes period including Voltage, Ampere, Real Power, Reactive Power, Apparent Power, Power Factor, Harmonics (Voltage, Current and Power up to 50th), Voltage Unbalance (Unbalance Factor, Positive Sequence Voltage, Negative Sequence Voltage and Zero Sequence Voltage) and Flicker (Short Term Flicker Index, Pst, and Long Term Flicker Index, Plt). Note except Plt which calculate over 2 hours period.
- Event recording is the condition triggered recording of a voltage and current waveform of an abnormal event including Voltage Sag (Dip), Voltage Swell and Short Interruption with the minimum sampling resolution of 128 samples per cycle and allow user to adjust the trigger condition.
- Power quality meter shall comply with international standard IEC 61000-4-30 (power quality measurement method) class A performance, IEC 61000-4-7 (harmonics) and IEC 61000-4-15 (flicker).
- The internal memory of power quality meter shall be enough to store all measurement data at least 7 days without data loss.
- Power quality meter shall have an internal battery backup for ride through capability at least 1 hour in case of power supply failure and shall have an automatic restart function in case of back up battery deplete.