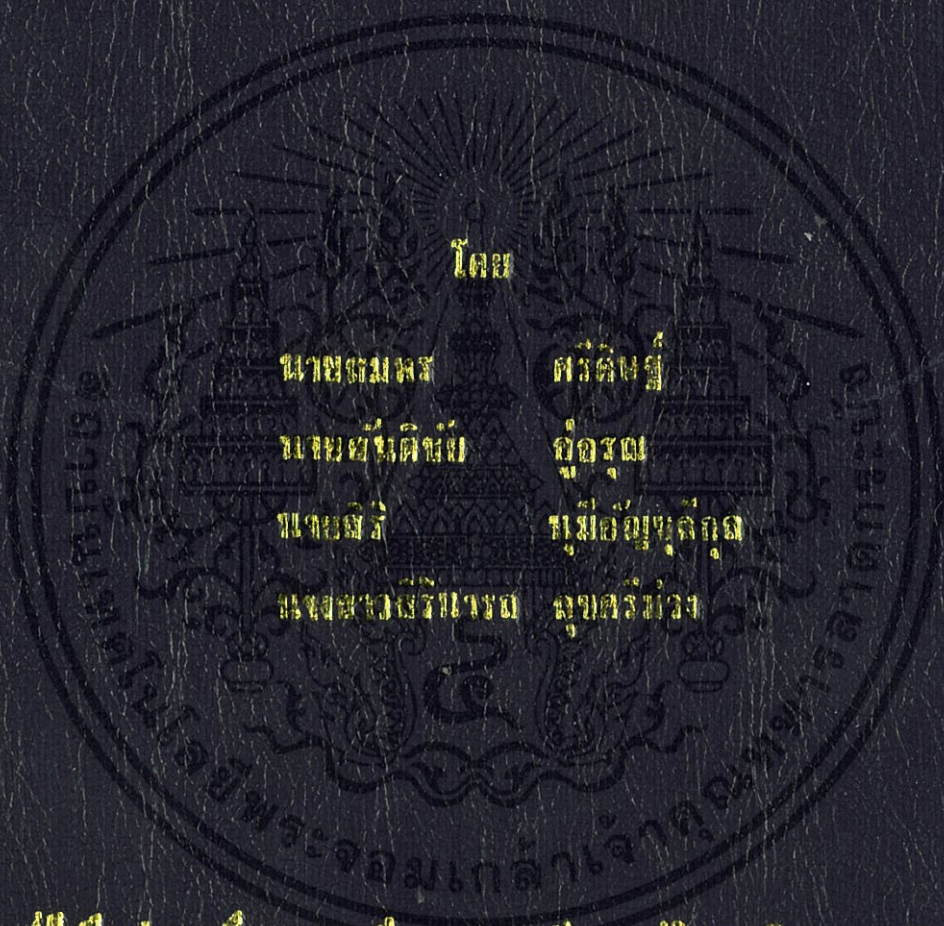


การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบติดตั้งแผงเซลล์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
บนหลังคาภายในสนามบิน

FEASIBILITY STUDY OF THE ROOFTOP SOLAR CELL SYSTEM IN THE AIRPORT



โดย

นายสมพร

ทวีชัย

นายสันติชัย

อัครเดช

นายสุวิ

ภูมิอภัยกุล

นายพวงศรีบรรณ

อุบลรัตน์

ปริญญาภิเษม์ เป็นส่วนหนึ่งของงานที่ดำเนินการโดยศูนย์วิจัยพลังงานทดแทนของสถาบันวิจัย

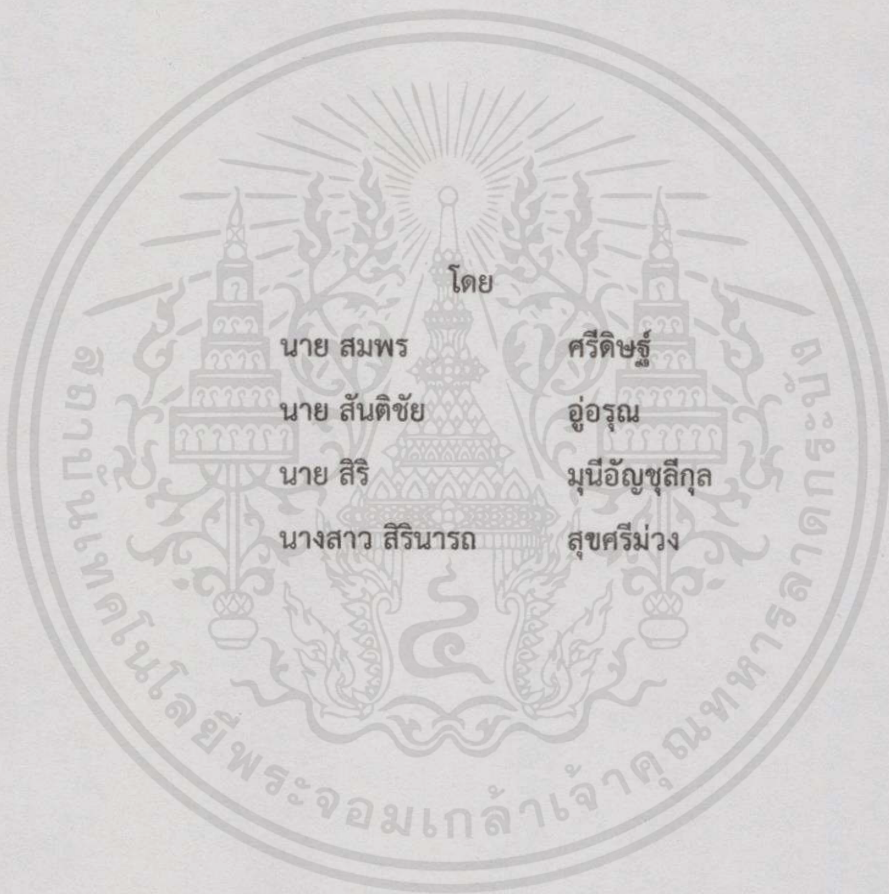
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
บนหลังคาภายในสนามบิน

FEASIBILITY STUDY OF THE ROOFTOP SOLAR CELL SYSTEM IN THE AIRPORT



นาย สมพร

นาย สันติชัย

นาย สิริ

นางสาว สิรินารถ

โดย

ศรีดิษฐ์

อุ่อรุณ

มณีอัญชุลีกุล

สุขศรีม่วง

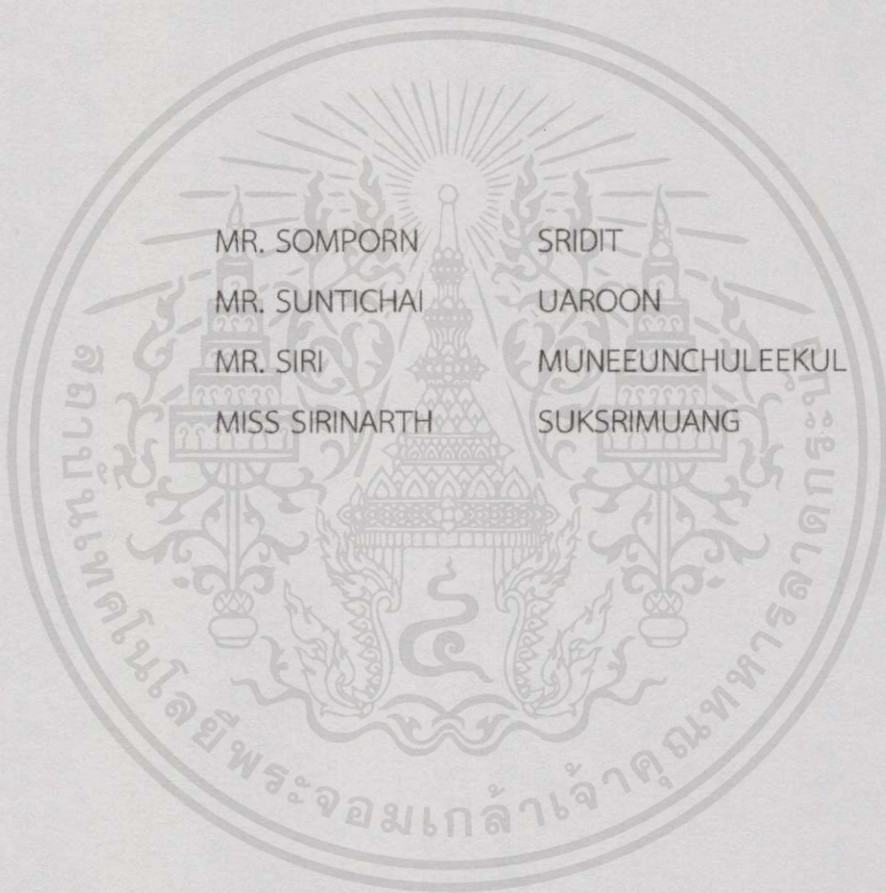
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2557

FEASIBILITY STUDY OF THE ROOFTOP SOLAR CELL SYSTEM IN THE AIRPORT



MR. SOMPORN

SRIDIT

MR. SUNTICHAI

UAROON

MR. SIRI

MUNEEUNCHULEEKUL

MISS SIRINARTH

SUKSRIMUANG

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2014

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน
FEASIBILITY STUDY OF SOLAR ROOFTOP IN AIRPORTS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย

รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสวรรณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

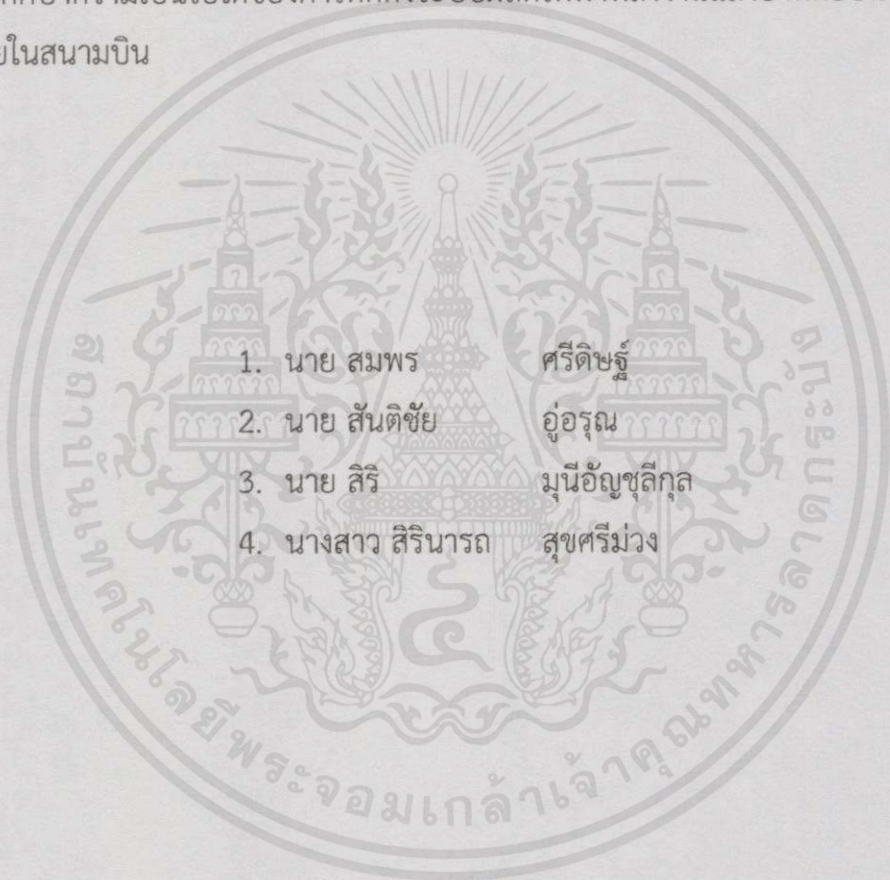
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา
ภายในสนามบิน

ผู้จัดทำ



- | | |
|--------------------|---------------|
| 1. นาย สมพร | ศรีดิษฐ์ |
| 2. นาย สันติชัย | อู่อรุณ |
| 3. นาย สิริ | มนีอัญชุลีกุล |
| 4. นางสาว สิรินารถ | สุขศรีม่วง |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ประภาช ไพรสวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ออกจำหน่ายโดยศูนย์บริการวิชาการเพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายใน
สนามบิน

นาย	สมพร	ศรีดิษฐ์	
นาย	สันติชัย	อุ่อรณ์	
นาย	สิริ	มุนีอัษฎุสิกุล	
นางสาว	สิรินารถ	สุขศรีม่วง	
รศ.ดร.	สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.	ประภาช	ไพรสวรรณา	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารภายในสนามบิน ซึ่งแบ่งกรณีศึกษาเป็น 3 ส่วน ทั้งในด้านวิสัยทัศน์ในการมองเห็นโดยใช้โปรแกรม SGHAT โดยอ้างอิงข้อมูลโครงสร้างสนามบินเชียงใหม่เพื่อใช้ศึกษาในหัวข้อนี้ ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เนื่องด้วยระบบการบินมีความเสี่ยงที่จะถูกรบกวนจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ และด้านทำการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ 3 ชุด เพื่อเก็บข้อมูลและจัดทำเว็บไซต์แสดงข้อมูลแรงดันและความถี่ที่วัดได้แบบเรียลไทม์ ในรูปแบบของตารางและแผนที่ ซึ่งความรู้และข้อแนะนำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY OF THE ROOFTOP SOLAR CELL SYSTEM IN THE AIRPORT

Somporn Sridit

Suntichai Uaroon

Siri Muneeunchuleekul

Sirinarth Suksrimuang

Assoc.Prof.Dr. Surin Khomfoi Advisor

Assoc.Prof. Prapart Prisuwanna Advisor

Year 2015

ABSTRACT

The objectives of this research project are to study and to analyze the impacts that can happen if a solar rooftop system is installed in an airport. The case of this study is divided into three categories. The first category is the glare from the solar panel. The SGHAT program is used to analyze the effect of the glare based on Chiang Mai international airport. The second category is the Electromagnetic Interference (EMI) impacts from a solar inverter and related equipments. Because an aeronautical system is interfered, the required standard is required to address. Finally, the impacts of the solar rooftop system in term of voltage and frequency is also studied. The proposed measurement devices to measure the voltage and frequency are developed. The acquired data from proposed devices will be send to the database and display on our website by real time to evaluate the voltage and frequency effects. The knowledge and recommendation of this study can be used as a reference for the design of a solar rooftop system in an airport.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน สามารถสำเร็จไปด้วยดีนั้นเกิดจากการดำเนินงานด้วยความ มุ่งมั่น วิริยะ อุตสาหะและสามัคคี ของสมาชิกภายในกลุ่มประกอบกับได้รับการสนับสนุนในด้านต่างๆ ทั้งในด้านวิชาการ เทคนิคการดำเนินงาน และอื่นๆ ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณผู้มีอุปการคุณทุกท่านอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ประภาส ไพรสุวรรณ และ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ ที่ช่วยให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ดูแลในการทำปริญญาานิพนธ์ตลอดจนข้อคิดในการดำเนินชีวิต ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณฉันทกร จำศีลป์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านของการสร้างฐานข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ การจัดทำเว็บไซต์และข้อมูลทางระบบอินเทอร์เน็ต

ขอขอบพระคุณ ท่าอากาศยานเชียงใหม่ ในความอนุเคราะห์ข้อมูลอาคารโครงสร้างที่จำเป็นในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปริญญาานิพนธ์นี้ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทั้งที่ได้กล่าวถึงและไม่ได้กล่าวถึง รวมถึงทุกๆคน ใน Renewable Energy Application Laboratory ที่เป็นทั้งเพื่อน ทั้งที่ทั้งน้อง รวมถึงครอบครัว ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้อุปการะเลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ส่งเสริมทางการศึกษา จวบจนวันนี้ จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้ได้ ประโยชน์อันพึงเกิดจากปริญญาานิพนธ์นี้ผู้จัดทำขอมอบให้แก่ทุกท่านที่สนใจ สามารถนำไปศึกษาและประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านต่างๆ ต่อไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
ABSTRACT.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญรูป.....	x
สารบัญตาราง.....	xvi
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของปริญญานิพนธ์.....	3
1.4 วิธีการที่ใช้ในปริญญานิพนธ์.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน เมื่อเชื่อมต่อกับโครงข่ายของการไฟฟ้า.....	6
2.3 ความหมายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.4 หลักการทำงานทั่วไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.5 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.5.1 ชนิดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.5.1.1 กระแสลัดวงจร.....	11
2.5.1.2 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

2.5.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ.....	17
2.6 การออกแบบขนาดกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน.....	18
2.6.1 การกำหนดกำลังไฟฟ้าและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง.....	18
2.6.2 การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย.....	19
2.6.2.1 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม.....	19
2.6.2.2 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....	20
2.6.2.3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม.....	20
2.7 อุปกรณ์ป้องกัน.....	22
2.8 คุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	23
2.9 แรงดันไฟฟ้าเกิน (Overvoltage).....	25
2.9.1 การจำแนกแรงดันไฟฟ้าเกินภายในระบบ.....	25
2.9.2 แรงดันเกินความถี่ไฟฟ้ากำลัง (Power frequency overvoltage).....	25
2.9.3 แรงดันเกินสถานะคงตัว (Steady state over voltage).....	26
2.9.4 แรงดันเกินชั่วคราว.....	26
2.9.5 แรงดันเกินที่มีสาเหตุโดยความผิดปกติเนื่องจากเฟสลงดิน.....	26
2.10 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	27
2.10.1 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบพีดับเบิลยูเอ็ม.....	27
2.11 อินเวอร์เตอร์สามเฟส.....	28
2.11.1 อินเวอร์เตอร์สามเฟสเมื่อทำงานในย่านรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	29
2.12 Common mode voltage.....	29
2.13 ทฤษฎีด้านพฤติกรรมของแสง.....	31
2.13.1 การดูดกลืนแสง.....	31
2.13.2 การสะท้อนแสง.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

2.13.2.1 การสะท้อนแบบเหมือนกระจกเงา (Specular reflection).....	32
2.13.2.2 การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection).....	32
2.13.3 การส่องผ่าน (Transmission).....	34
2.13.4 การหักเหแสง (Refraction).....	34
2.13.5 แสงจ้า (Glare).....	35
2.14 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility).....	35
2.14.1 ย่านความถี่ของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	35
2.14.2 ประเภทความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	36
2.14.3 มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	36
2.14.3.1 FCC (Federal Communications Commission).....	36
2.14.3.2 CISPR (International Special Committee on Radio Interference).....	37
2.14.3.3 มาตรฐานทางการทหาร (Military Standard).....	37
2.14.3.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.).....	37
2.15 วิศวกรรมควบคุมจราจรทางอากาศ.....	39
2.15.1 ระบบติดตามอากาศยาน.....	39
2.15.1.1 Primary Surveillance (PSR).....	39
2.15.1.2 Secondary Surveillance (SSR).....	40
2.15.2 ระบบสื่อสารการเดินอากาศ.....	40
2.15.2.1 Ground to Ground Communication.....	41
2.15.2.1.1 Conventional ATS Direct Speech Circuit (ATS DSC) System.....	41
2.15.2.1.2 TCP/IP ATS Inter-Facility Data Communication (AIDC) System.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

2.15.2.2 Air to Ground Communication.....	41
2.15.2.2.1 VHF/UHF Air-Ground Voice Communication System.....	41
2.15.2.2.2 ACARS Controller-Pilot Data Link Communication (CPDLC) System.....	42
2.15.2.2.3 ACARS Pre-Departure Clearance (PDC) System...	42
2.15.2.3 ระบบช่วยการเดินอากาศ.....	43
2.15.2.3.1 ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids).....	43
2.15.2.3.2 ประเภทวิทยุช่วยการเดินอากาศ (Air Navigation Radio Aids).....	43
2.15.2.3.3 สัญญาณดาวเทียม (Satellite Aids).....	43
2.16 ความเข้มแสง.....	44
2.16.1 ระดับความเข้มแสงอาทิตย์ที่เป็นอันตรายต่อตามนุษย์.....	44
บทที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลอง.....	45
3.1 บทนำ.....	45
3.2 ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	45
3.2.1 การรบกวนระบบเรดาร์.....	46
3.2.2 การรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้ในงานในย่านอินฟราเรด.....	46
3.2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง.....	47
3.2.4 ออกแบบการทดลอง.....	47
3.3 ด้านการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็น.....	47
3.3.1 Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT).....	48
3.3.2 การออกแบบการทดลอง.....	48
3.4 การออกแบบระบบตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก/เผยแพร่/แจกจ่าย/หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4.1 ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	63
3.4.1.1 ออกแบบวงจรอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	65
3.4.1.2 การออกแบบแผ่น PCB และ วงจรจริง.....	71
3.4.1.3 โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนMicrocontroller.....	77
3.4.1.4 โปรแกรมในการเขียนรับข้อมูลจากอุปกรณ์ ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	78
3.4.1.5 Database ที่ใช้.....	79
3.4.2 ส่วนการแสดงผล.....	81
3.4.2.1 ส่วนอธิบายระบบ.....	81
3.4.2.2 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่.....	82
3.4.2.3 ส่วนแสดงผลในรูปแบบตาราง.....	83
3.4.2.4 ส่วนของผู้จัดทำ.....	84
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	85
4.1 บทนำ.....	85
4.2 ยานความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบิน.....	85
4.2.1 ยานความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบิน.....	85
4.2.2 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์.....	86
4.2.2.1 Conducted emission.....	86
4.2.2.2 Radiated emission.....	89
4.3 ด้านการรบกวนที่ศนวิสัยการมองเห็น.....	91
4.3.1 แนวทางการแก้ปัญหาแสงจ้า.....	95
4.4 การทดลองอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	98
4.5 สรุปผล.....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป เสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	110
5.1 บทสรุป.....	110
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	111
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	111
เอกสารอ้างอิง.....	112
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก ข้อกำหนดของการไฟฟ้า และส่วนเพิ่มเติมสำหรับการติดตั้งภายใน สนามบิน.....	115
ภาคผนวก ข Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT).....	159
ภาคผนวก ค อุปกรณ์.....	171
ภาคผนวก ง แปลนอาคารของสนามบินเชียงใหม่.....	223
ภาคผนวก จ บทความทางวิชาการ.....	228
ประวัติผู้เขียน.....	233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน เมื่อเชื่อมต่อกับโครงข่ายของการไฟฟ้า.....	6
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบเป็นรูปผลึกซิลิกอน.....	8
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิกอน.....	9
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว.....	9
2.5 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม.....	10
2.6 สเปกตรัมแจกแจงความเข้มของพลังงานของแสงอาทิตย์.....	12
2.7 สเปกตรัมของโฟตอนฟลักซ์ของแสงอาทิตย์.....	12
2.8 ผลการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดในอุดมคติที่สารกึ่งตัวนำจะสามารถผลิตได้.....	13
2.9 ผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และช่องว่าง พลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ.....	16
2.10 การผ่อนคลายพลังงานความร้อนของอิเล็กตรอนและโฮลในกรณีที่ดูดกลืนพลังงานแสง ที่มีพลังงานโฟตอนมากกว่าช่องว่างพลังงานมาก.....	16
2.11 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม.....	20
2.12 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....	20
2.13 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม.....	21
2.14 การสร้างสัญญาณสวิตชิงแบบ PWM.....	28
2.15 อินเวอร์เตอร์สามเฟส.....	28
2.16 การเชื่อมต่อระหว่างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เข้ากับโครงข่ายของการไฟฟ้า.....	29
2.17 ลักษณะสัญญาณแรงดันต่างๆ.....	31
2.18 การดูดกลืนแสง.....	32
2.19 การสะท้อนแบบเหมือนกระจกเงา.....	32
2.20 การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์.....	33
2.21 การสะท้อนแบบกระจายกึ่งสมบูรณ์.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 การสะท้อนแบบกระจกเงา.....	33
2.23 (ก) การหักเหแสงผ่านทลุดัวกลาง, (ข) การหักเหแสงที่ค่ามุมวิกฤต, (ค) การสะท้อนกลับ เมื่อมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤต.....	34
2.24 ย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องทางด้าน EMC.....	36
2.25 เรดาร์ปฐมภูมิ (Primary Surveillance Radar).....	39
2.26 เรดาร์ทุติยภูมิ (Secondary Surveillance Radar).....	40
2.27 ระบบสื่อสารการเดินอากาศ.....	40
2.28 นิยามความเข้มแสง.....	44
2.29 ระดับความเข้มของแสงที่ส่งผลต่อตามนุษย์.....	44
3.1 หน้าจอโปรแกรม Solar Glare Hazard Analysis Tool.....	48
3.2 อาคารผู้โดยสารภายในประเทศ.....	49
3.3 อาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศ.....	49
3.4 ตำแหน่งของจุดสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	50
3.5 โชนของหลังคาที่ทำการศึกษา.....	50
3.6 การตั้งชื่อโปรแกรม.....	53
3.7 การตั้ง Time Zone.....	53
3.8 การเปลี่ยนหน่วย.....	54
3.9 การเลือกจุดสังเกต.....	54
3.10 การกรอกความสูงของเครื่องบิน.....	56
3.11 การเลือกพื้นที่ A1A2A3.....	57
3.12 การกรอกข้อมูลแผง PV Array 1.....	57
3.13 ค่าReflectivity.....	58
3.14 การกรอกค่าความสูงแผงPV Array 1.....	58
3.15 การกรอกข้อมูล PV Array 2.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 การกรอกข้อมูลความสูงแผงPV Array 2.....	59
3.17 การกรอกข้อมูลแผง PV Array 3.....	60
3.18 การกรอกข้อมูลความสูงแผงPV Array 3.....	60
3.19 Submit for Analysis.....	61
3.20 ผลการวิเคราะห์ PV array 1.....	61
3.21 ผลการวิเคราะห์ PV array 2.....	62
3.22 ผลการวิเคราะห์ PV array 3.....	62
3.23 diagram แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่.....	63
3.24 Diagram การสื่อสารของระบบอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่.....	64
3.25 รูปทรงและการใช้งานของอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่.....	65
3.26 ส่วนประกอบวงจรอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่.....	66
3.27 วงจร Power Supply.....	66
3.28 วงจร Voltage sensor.....	67
3.29 วงจร frequency sensor.....	67
3.30 Wifi Mudule.....	68
3.31 LCD Display.....	68
3.32 ชนิดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้.....	69
3.33 วงจรรวมทั้งตัวอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	71
3.34 ลายพิมพ์วงจรไฟเลี้ยง.....	71
3.35 วงจรไฟเลี้ยงที่เสร็จ.....	72
3.36 ลายพิมพ์วงจรคุณความถี่ 10 เท่า.....	72
3.37 วงจรคุณความถี่ 10 เท่าที่เสร็จ.....	72
3.38 ลายพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร Voltage Sensor.....	73
3.39 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร Voltage Sensor ที่เสร็จ.....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 สายต่อจอบ Nokia 5110 ที่เสร็จ.....	74
3.41 สายต่อ Wifi Module ที่เสร็จ.....	74
3.42 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่ออกแบบไว้ โดยใช้โปรแกรม Solid Work และอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จ.....	74
3.43 ลายพิมพ์วงจรอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่รวมทุกส่วนเข้าด้วยกัน.....	75
3.44 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จ(ภายใน).....	75
3.45 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จ(ภายนอก).....	76
3.46 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จทั้ง 3 ตัว.....	76
3.47 โปรแกรม ARDUINO ที่ใช้เขียนคำสั่งลง Microcontroller.....	77
3.48 โปรแกรม visual studio ที่ใช้เขียนรับข้อมูลจาก Microcontroller.....	78
3.49 การรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	78
3.50 หน้าของโปรแกรม XAMPP.....	79
3.51 การติดต่อของฐานข้อมูลกับอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	80
3.52 ตารางค่าของแรงดันและความถี่พร้อมวันที่และเวลา.....	80
3.53 ภาพจริงส่วนอธิบายระบบ.....	81
3.54 การทำงานของเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของแผนที่.....	82
3.55 รูปจริงเว็บเพจแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่.....	83
3.56 หลักการทำงานของเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของตาราง.....	83
3.57 รูปจริงหน้าเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของตาราง.....	84
3.58 รูปจริงหน้าเว็บเพจส่วนของผู้จัดทำ.....	84
4.1 LISN-Line 1 : Operation mode.....	87
4.2 LISN-Line 2 : Operation mode.....	87
4.3 LISN-Line 3 : Operation mode.....	88
4.4 LISN-Neutral ; Operation mode.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 LISN : 10 M.....	88
4.6 LISN : 100 M.....	88
4.7 Ant.Pol. : Horizontal.....	89
4.8 Ant.Pol. : Vertical.....	89
4.9 ย่นความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบินและย่นความถี่ที่เกิดการรบกวน.....	90
4.10 พื้นที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	91
4.11 ผลการ Simulation PV array 1.....	91
4.12 พื้นที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2.....	91
4.13 ผลการ Simulation PV array 2.....	91
4.14 ผลการ Simulation PV array 1 เมื่อพิจารณาเครื่องบิน landing ลงสู่ Run way ทางด้านทิศเหนือ.....	92
4.15 ผลการ Simulation PV array 1 บริเวณพื้นที่ A1 เมื่อสังเกตจากห้องบังคับการบิน.....	92
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้า เดือนที่เกิด และ ระดับความอันตรายจากแสง เมื่อพิจารณาบริเวณพื้นที่ A1.....	93
4.17 ผลการ Simulation PV array 1 บริเวณพื้นที่ A2 เมื่อสังเกตจากห้องบังคับการบิน.....	93
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้าเดือนที่เกิดและระดับความอันตราย จากแสงเมื่อพิจารณาบริเวณพื้นที่A2.....	94
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้า เดือนที่เกิด และ ระดับความ อันตรายจากแสงเมื่อพิจารณาจากหอคอยควบคุมการบิน.....	94
4.20 ผลการ Simulation PV array 1 เมื่อทำการเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์เป็น 15 องศา.....	95
4.21 ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อทำการเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 15 องศา.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 4.22 เปรียบเทียบแรงดันที่แสดงบนอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ตัวที่1กับ มัลติมิเตอร์.....98
 ไม่ว่าจะถี่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 เปรียบเทียบแรงดันที่แสดงบนอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ตัวที่1 และ2 กับ มัลติมิเตอร์.....	99
4.24 การทดลองจำลองระดับแรงดันที่ระดับต่างๆ.....	99
4.25 เว็บเพจแสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบตาราง ในกรณีจำลอง สภาพแรงดันต่ำ.....	100
4.26 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ในกรณีจำลองสภาพแรงดันต่ำ.....	100
4.27 เว็บเพจแสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบตาราง ในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ.....	102
4.28 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ.....	102
4.29 เว็บเพจแสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบตาราง ในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ.....	104
4.30 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ในกรณีจำลองสภาพแรงดันเกิน.....	104
4.31 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่.....	105
4.32 การติดตั้ง FV-Net ที่ตึกReal Lab ตึก ECC และ ตึก E12 ตามลำดับ.....	106
4.33 โปรแกรมการติดต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ ทั้ง 3 ตัว และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล.....	106
4.34 ข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ ตึก REAL LAB บนฐานข้อมูล.....	107
4.35 ข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ ตึก ECC บนฐานข้อมูล.....	107
4.36 ข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ ตึก E12 บนฐานข้อมูล.....	107
4.37 ตารางแสดงข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ตำแหน่งติดตั้งต่างๆ.....	108
4.38 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ แสดงจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการดำเนินการ.....	4
2.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.2 ข้อมูลสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ที่ Air Mass 1.5 (832 W/m^2).....	13
2.2 ข้อมูลสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ที่ Air Mass 1.5 (832 W/m^2) (ต่อ).....	14
2.3 การทำงานของสวิตซ์ทั้ง 6 ตัวของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	29
2.4 มาตรฐานกฎระเบียบด้านการแผ่สัญญาณรบกวนทางความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	38
3.1 ข้อมูลความสูงหลังคา มุมของหลังคาที่กระทำกับแนวพื้นโลก พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	51
3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละโซน.....	52
3.3 พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า ขนาดและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	53
3.4 ข้อมูลของ Microcontroller	69
3.4 ข้อมูลของ Microcontroller (ต่อ).....	70
4.1 ระบบติดตามอากาศยาน.....	85
4.2 อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร บริเวณท่าอากาศยาน.....	85
4.3 ระบบสื่อสารการบิน.....	86
4.4 อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร บริเวณท่าอากาศยานระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ.....	86
4.5 บริการสื่อสารการบินด้วยข้อมูล.....	86
4.6 ค่าพลังงานที่ได้ก่อนปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1และB1.....	96
4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้หลังปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1และB1.....	97
4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้หลังปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1และB1 (ต่อ).....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์

จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2555-2564 (Alternative Energy Development Plan 2012-2021) พบว่าความต้องการกำลังไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากจำนวนผู้ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา แต่เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว กลับน้อยลงในทุกๆที่ ตามแผน Alternative Energy Development Plan 2012-2021 ได้สนับสนุนการหาแนวทางในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิง เชลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่ตอบสนองแนวทางนี้ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุผลที่ว่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้น มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลิตที่ต่ำมาก และไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นให้ประเทศไทยเริ่มก้าวสู่เส้นทางของการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society)

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้ในปริมาณที่สูง มีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งบริเวณสนามบินมีพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์มากเพียงพอที่จะนำไปใช้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในข้างต้น โดยเฉพาะบนหลังคาอาคารต่างๆภายในสนามบิน ซึ่งถ้าสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าได้ก็จะสามารถช่วยผลิตกำลังไฟฟ้าได้ในปริมาณที่สูง ช่วยแก้ปัญหาความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า และช่วยลดค่าไฟฟ้าของสนามบิน รวมทั้งเป็นการใช้พื้นที่ที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ถ้าสนามบินหลายแห่งร่วมกันติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าจะช่วยลดปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าภายในระบบได้มากพอสมควร แต่การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้านั้น อาจส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยโดยรอบสนามบิน และกิจการทางด้านการบินในด้านต่างๆ

จากข้างต้นที่กล่าวมานั้น จึงควรทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งเรื่องระบบการบิน และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ก่อนที่จะทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไปและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์นี้ไว้ด้วย

ผู้ปฏิบัติงานภายในสามบิน หรือ นักบิน การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์สู่อุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในสนามบินและระบบการบิน เป็นต้น

จึงได้จัดทำปริญญานิพนธ์นี้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ศึกษามานำเสนอถึงผลกระทบ แนวทางการแก้ไขปัญหา และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บน หลังคาอาคารในสนามบิน ตลอดจนแก้ไขหรือเพิ่มเติมข้อกำหนดในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน โดยอ้างอิงจากข้อกำหนดในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ภายในสนามบินจากต่างประเทศ ข้อกำหนดเกี่ยวกับสนามบินจากสถาบันการบินพลเรือนระหว่างประเทศ และข้อกำหนดของการไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อเป็นแนวทางสำหรับอนาคตถ้าหากมีการติดตั้งจริง ซึ่งจะสามารถใช้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นแม่แบบในการปฏิบัติตามได้ รวมถึงจะมีการตรวจวัดและรับรู้ถึงผลกระทบทางด้านคุณภาพไฟฟ้า โดยสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อดูความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสามารถแก้ไขได้ทันเวลาที่ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อทุกภาคส่วนในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้า ที่มีแนวโน้มการใช้ในอัตราที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต
2. เพื่อสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยการผลิตต่ำ
3. เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการใช้ไฟฟ้าของสนามบินและใช้พื้นที่ภายในสนามบินในเกิดประโยชน์มากขึ้น
4. เพื่อศึกษาผลกระทบในอนาคตถ้าหากว่ามีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน
5. เพื่อลด เพิ่มเติม และปรับปรุงแก้ไข ข้อกำหนดสำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคาอาคารภายในสนามบิน
6. เพื่อสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสดงผลค่าแรงดันและความถี่ของระบบไฟฟ้าก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การค้า ไม่สามารถนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยได้ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ

7. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้ามาประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาภายในสนามบินและแก้ไขเพิ่มเติมข้อกำหนดการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าบนหลังคาอาคารภายในสนามบินให้มีความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่

1.4 วิธีการที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน
2. ศึกษาขีดจำกัดที่ยอมรับได้ของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน เช่น เช่น กฎความปลอดภัยด้านการบิน สำนักบริหารการบินแห่งชาติ (Federal Aviation Administration – FAA)
3. ประมวลผลข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นข้อกำหนดสำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน
4. ศึกษาค้นคว้าและจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้สร้างอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า เมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในระบบ
5. เลือกวงจรที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า
6. สร้างอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า
7. สร้างระบบการส่งและแสดงผลข้อมูลทางคอมพิวเตอร์
8. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า
9. สรุปผลที่ได้
10. รวบรวมข้อมูลและจัดทำปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

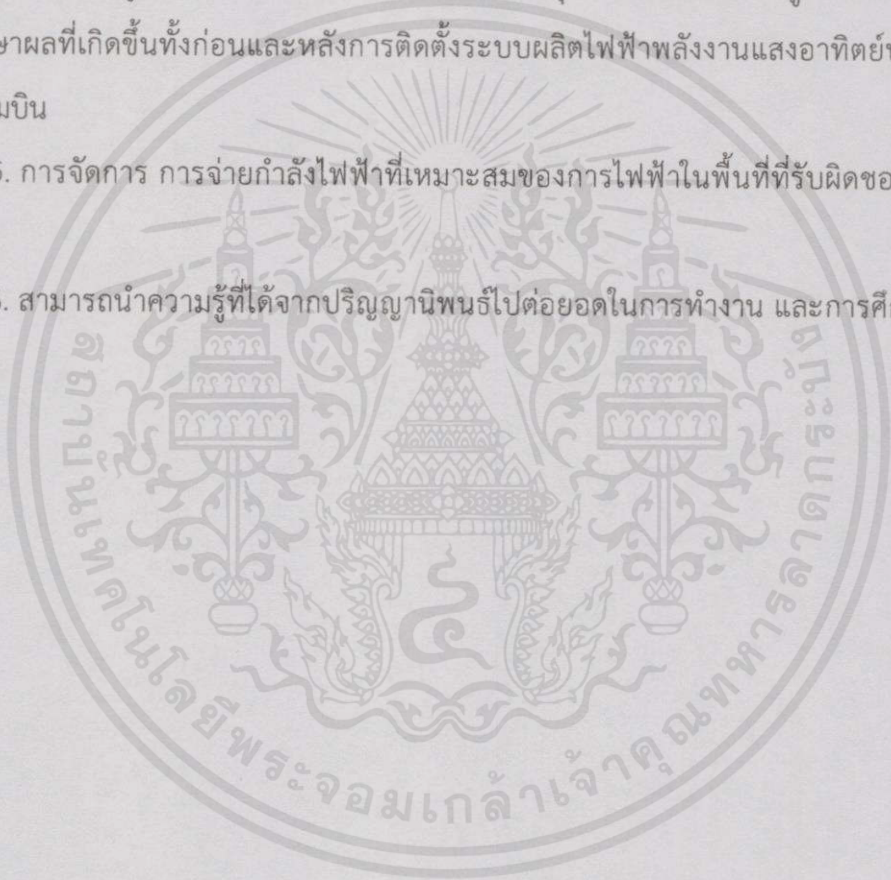
ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พร้อมทั้งดำเนินในส่วนการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานโดยมีระยะเวลาการดำเนินการตั้งแต่ สิงหาคม 2557 ถึง พฤษภาคม 2558 รวมเป็น

เวลา 10 เดือน โดยมีแผนการดำเนินโครงการตามตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากปริญญาโท

1. มีความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดจนการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งบนหลังคาอาคารภายในสนามบินเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า
2. เป็นทางเลือกในการลดค่าใช้จ่ายทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และเป็นการใช้พื้นที่ภายในสนามบินให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. ได้ข้อมูลในการแก้ไขเพิ่มเติมข้อกำหนดสำหรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน
4. ได้รับข้อมูล แรงดัน ความถี่ทางไฟฟ้าที่เป็นปัจจุบัน พร้อมทั้งนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผล เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน
5. การจัดการ การจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของการไฟฟ้าในพื้นที่ที่รับผิดชอบ ภายในช่วงเวลาต่างๆ
6. สามารถนำความรู้ที่ได้จากปริญญาโทไปต่อยอดในการทำงาน และการศึกษาต่อในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

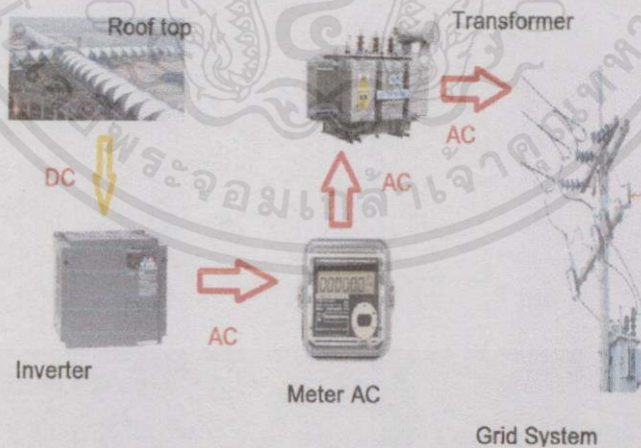
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ความหมาย หลักการทำงานและลักษณะเด่น ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบขนาด กำลังผลิตในการติดตั้ง การคำนวณหาจำนวนแผงที่จะติดตั้ง ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ติดตั้งบนหลังคาอาคารภายในสนามบิน ทฤษฎีเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์ป้องกัน คุณภาพไฟฟ้า และปัญหาที่มีผลต่อคุณภาพไฟฟ้า พฤติกรรมของแสงที่ส่งผลต่อการมองเห็น ทฤษฎีความเข้ากันได้ ทางแม่เหล็กไฟฟ้าและปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน เมื่อเชื่อมต่อกับ โครงข่ายของการไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.1 หลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา อาคารภายในสนามบิน คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทำหน้าที่รับความเข้มแสงจากดวง อาทิตย์นำมาผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนเข้าสู่อินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้า กระแสสลับผ่านไปยังมิเตอร์และเชื่อมต่อเข้าสู่โครงข่ายของการไฟฟ้าโดยผ่านหม้อแปลงจำหน่าย



รูปที่ 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน เมื่อเชื่อมต่อกับ โครงข่ายของการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความหมายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงพลังงานสุริยะ หรือ Photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น Photo หมายถึง แสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1839 แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งในปี ค.ศ.1954 จึงมีการประดิษฐ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อปี ค.ศ.1959 ดังนั้น สรุปได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้

2.4 หลักการทำงานทั่วไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

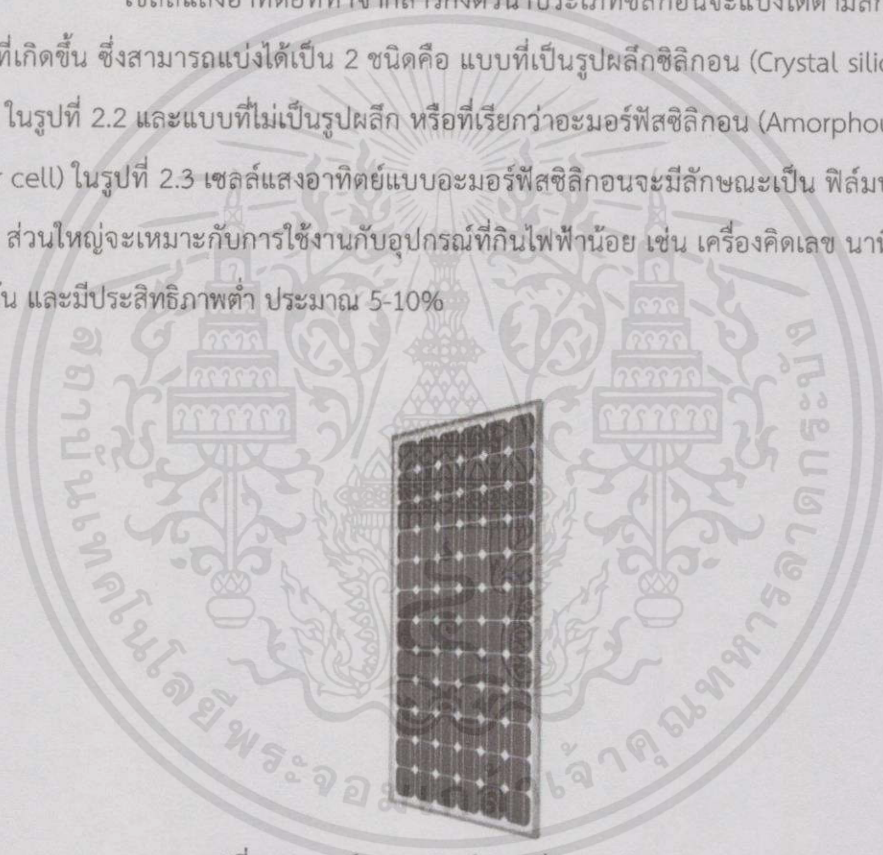
เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้านั้นหลังจากจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นตัวอย่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรประมาณ 0.6 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มาก ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามักเพียงพอสำหรับใช้งาน จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆแผงพลังงานมาต่อกัน เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar modules) ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับว่าต้องการกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

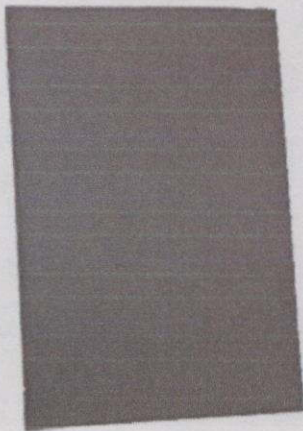
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทใหญ่ๆ คือกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะทำจากธาตุซิลิกอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากบนโลกและเหลือใช้ และกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิกอน ซึ่งประเภทนี้ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 25% ขึ้นไป เนื่องด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีราคาที่สูงมาก จึงไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก ส่วนใหญ่จะใช้ในดาวเทียมเป็นหลัก แต่กระบวนการผลิตในสมัยใหม่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกลง และในอนาคตคาดว่าจะมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิกอนมาใช้มากขึ้น

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอนจะแบ่งได้ตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบที่เป็นรูปผลึกซิลิกอน (Crystal silicon solar cell) ในรูปที่ 2.2 และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก หรือที่เรียกว่าอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous silicon solar cell) ในรูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิกอนจะมีลักษณะเป็น ฟิล์มบาง (Thin film) ส่วนใหญ่จะเหมาะกับการใช้งานกับอุปกรณ์ที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ เป็นต้น และมีประสิทธิภาพต่ำ ประมาณ 5-10%



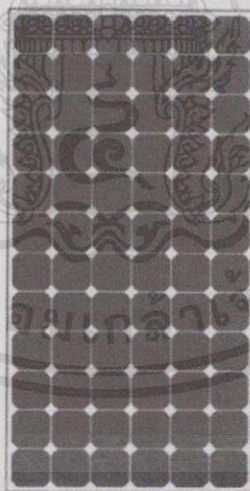
รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบเป็นรูปผลึกซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



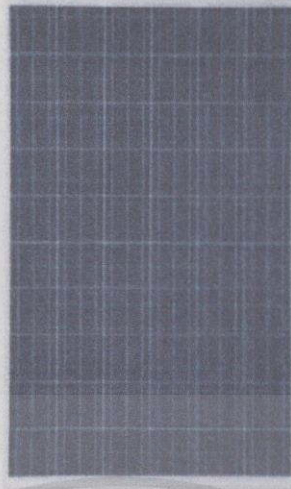
รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่เป็นรูปผลึกซิลิกอนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single crystal หรือ Mono crystalline silicon solar cell) รูปที่ 2.4 และเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline silicon solar cell) รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะมีความบริสุทธิ์ของซิลิกอนสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวมีราคาสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม และมีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 18%



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม

ตารางที่ 2.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

ประเภทของวัสดุ	โครงสร้าง	ประสิทธิภาพของเซลล์	ประสิทธิภาพของโมดูล
ซิลิกอน-แบบผลึก	ผลึกเดี่ยว	15-24 %	10-14 %
ซิลิกอน-แบบผลึก	ผลึกรวม	10-17 %	9-12 %
ซิลิกอน-อะมอร์ฟัส	Amorphous Silicon Amorphous SiC Amorphous SiGe	8-13 %	6-9 %
สารประกอบอื่น	GaAs CdTe CuInSe2	18-30 % (GaAs) 10-15 % 10-15%	N/A

ปัจจุบันการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคานิยมใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมเนื่องจากความเหมาะสมในการจัดพื้นที่ที่มีการติดตั้งจำกัดและราคาในการลงทุนคุ้มกว่าค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ [1]

2.5.1 ข้อจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สมบัติเอาต์พุตของเซลล์

แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

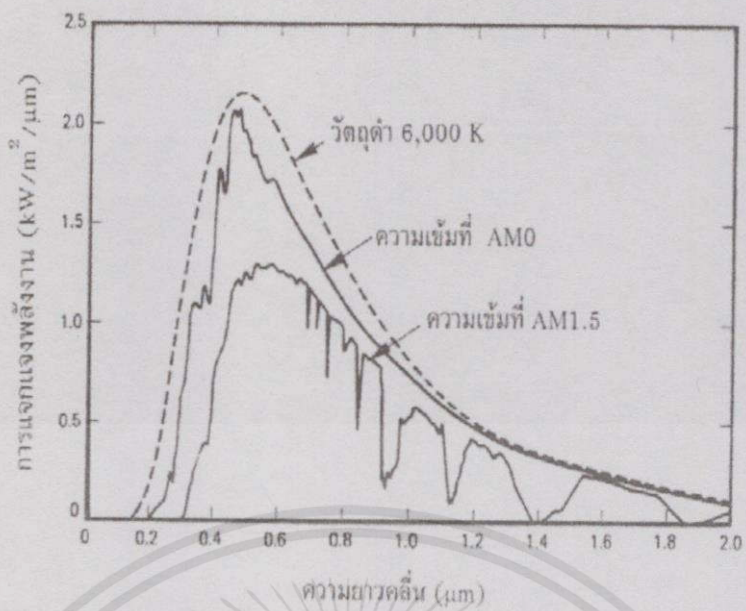
- แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})
- กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max})
- แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max})
- ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)
- ประสิทธิภาพ (η)

ในจำนวนพารามิเตอร์เหล่านี้ I_{sc} และ V_{oc} เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการกำหนดขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ในหัวข้อนี้เราจะวิเคราะห์ว่าขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างไรบ้าง

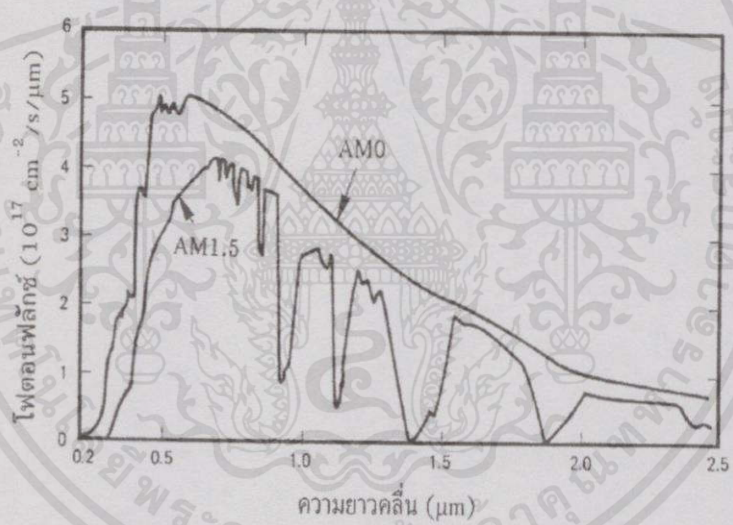
2.5.1.1 กระแสลัดวงจร การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ไม่ยาก ในเงื่อนไขอุดมคติเราอาจสมมติให้ว่า เมื่อโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำเดินทางเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ โฟตอนทุกตัวจะสามารถกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล และอิเล็กตรอนทุกตัวสามารถไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปสู่วงจรภายนอกได้ การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเช่นนี้ เราต้องทราบโฟตอนฟลักซ์ในสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ รูปที่ 2.6 และตารางที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมและข้อมูลแจกแจงความเข้มของพลังงานของแสงอาทิตย์ตามลำดับ จากรูปและตารางนี้ โฟตอนฟลักซ์คำนวณโดยการหารค่าความเข้มแสงในตารางด้วยค่าพลังงานโฟตอน ณ ที่ความยาวคลื่นแสงนั้น ผลการคำนวณสเปกตรัมของโฟตอนฟลักซ์ของแสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรสามารถคำนวณได้โดยการหาค่าปริพันธ์ของสเปกตรัมตั้งแต่ความยาวคลื่นต่ำสุดไปจนถึงความยาวคลื่นแสงสูงสุดที่สารกึ่งตัวนำที่เราสนใจจะดูดกลืนแสงได้ ตัวอย่างกรณีของ Si ซึ่งมีช่องว่างพลังงานเท่ากับ 1.1 eV ดังนั้นจึงหาปริพันธ์จากความยาวคลื่น 1.13 μm ไปถึงประมาณ 0.2 μm รูปที่ 2.8 แสดงผลการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดในอุดมคติที่สารกึ่งตัวนำจะสามารถผลิตได้ โดยที่แกนในแนวนอนคือช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ตัวอย่างในกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน จากรูปนี้ทำให้เราทราบว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดมีค่าประมาณ 35 mA/cm^2 ที่แสงอาทิตย์ความเข้ม AM1.5 และถ้าสารกึ่งตัวนำมีช่องว่างพลังงานแคบ จะผลิตกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

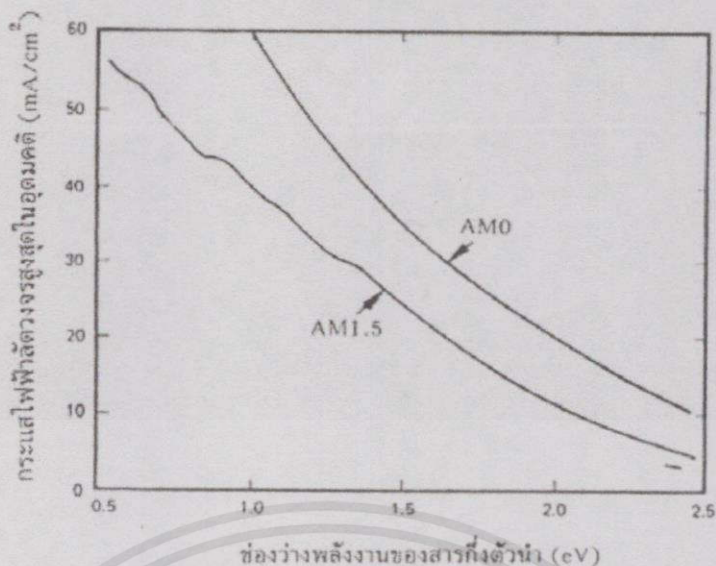


รูปที่ 2.6 สเปกตรัมแฉกแฉกความเข้มของพลังงานของแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของฟิโตนฟลักซ์ของแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ผลการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดในอุดมคติที่สารกึ่งตัวนำจะสามารถผลิตได้

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ที่ Air Mass 1.5 (832 W/m²)

ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง (μm)	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง (μm)	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง (μm)	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง (μm)	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง (μm)
0.295	0	0.595	1262.61	0.870	843.02	1.276	344.11	2.388	31.93
0.305	1.32	0.605	1261.79	0.875	835.10	1.288	345.69	2.415	28.10
0.315	20.96	0.615	1255.43	0.8875	817.12	1.314	284.24	2.453	24.96
0.325	113.48	0.625	1240.19	0.900	807.83	1.335	175.28	2.494	15.82
0.335	182.23	0.635	1243.79	0.9075	793.87	1.384	2.42	2.537	2.59
0.345	234.43	0.645	1233.96	0.915	778.97	1.457	30.06		
0.355	286.01	0.655	1188.32	0.925	217.12	1.472	67.14		
0.365	355.88	0.665	1228.40	0.930	163.72	1.542	59.89		
0.375	386.80	0.675	1210.08	0.940	249.12	1.572	240.85		
0.385	381.78	0.685	1200.72	0.950	231.30	1.599	226.14		
0.395	492.18	0.695	1181.24	0.955	255.61	1.608	220.46		
0.405	751.72	0.6983	973.53	0.965	279.69	1.626	211.76		
0.415	822.45	0.700	1173.31	0.975	529.64	1.644	211.26		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ที่ Air Mass 1.5 (832 W/m^2) (ต่อ)

ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง
0.425	842.26	0.710	1152.70	0.985	496.64	1.650	201.85		
0.435	890.55	0.720	1133.83	1.018	585.03	1.676	199.68		
0.445	1077.07	0.7277	974.30	1.082	486.20	1.732	180.50		
0.455	1162.43	0.730	1110.93	1.094	448.74	1.782	161.59		
0.465	1180.61	0.740	1086.44	1.098	486.72	1.862	136.65		
0.475	1212.72	0.750	1070.44	1.101	500.57	1.955	2.01		
0.485	1180.43	0.7621	733.08	1.128	100.86	2.008	39.43		
0.495	1253.83	0.770	1036.01	1.131	116.87	2.014	72.58		
0.505	1242.28	0.780	1018.42	1.137	108.68	2.057	80.01		
0.515	1211.01	0.790	1003.58	1.144	155.44	2.124	72.57		
0.525	1244.87	0.800	988.11	1.147	139.19	2.156	70.29		
0.535	1299.51	0.8059	860.28	1.178	374.29	2.201	64.76		
0.545	1273.47	0.825	932.74	1.189	383.37	2.201	68.29		
0.555	1276.14	0.830	923.87	1.193	424.85	2.266	62.52		
0.565	1277.74	0.835	914.95	1.222	382.57	2.320	57.03		
0.575	1292.51	0.8465	407.11	1.236	383.81	2.338	53.57		
0.585	1284.55	0.860	857.46	1.264	323.88	2.356	50.01		

หน่วยของความเข้มแสงคือ $\text{W/m}^2\text{-}\mu\text{m}$

2.5.1.2 แรงดันไฟฟ้าวงจรมืด ข้อจำกัดพื้นฐานที่เป็นตัวกำหนดค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด V_{oc} ยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน แรงดันไฟฟ้าวงจรมืด V_{oc} มีค่าเท่ากับ

$$V_{oc} = \frac{kt}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) \quad (2.1)$$

โดยที่ I_0 คือกระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว และมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_0 = qA \left(\frac{D_n n_i^2}{L_n N_A} + \frac{D_p n_i^2}{L_p N_D} \right) \quad (2.2)$$

I_0 ควรมีค่าต่ำที่สุดจึงจะทำให้ได้ V_{oc} สูงสุด ในกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน ผลการคำนวณค่าสูงสุดของ V_{oc} ได้ผลประมาณ 700 mV และค่าสูงสุดของฟิลล์แพกเตอร์ได้ประมาณ 0.84

ในสมการที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ ความหนาแน่นของพาหะ (n_i) ในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดบริสุทธิ์ n_i มีค่าเท่ากับ

$$n_i^2 = N_c N_v \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.2 ผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่าง I_0 และ ช่องว่างพลังงาน E_g ที่พอจะเป็นที่ยอมรับกันมีค่าดังนี้

$$I_0 = 1.5 \times 10^5 \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \text{ A/cm}^2 \quad (2.4)$$

สมการที่ 2.1 และ 2.4 ชี้ให้เราทราบว่าถ้าช่องว่างพลังงานมีค่ามาก จะทำให้ V_{oc} มีค่ามากด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้เป็นสิ่งที่ตรงข้ามกับกรณีของ I_{sc} (ถ้าช่องว่างพลังงานมีค่ามาก จะทำให้ I_{sc} มีค่าลดลง)

ผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.9 จากรูปนี้เราได้ข้อมูลว่า

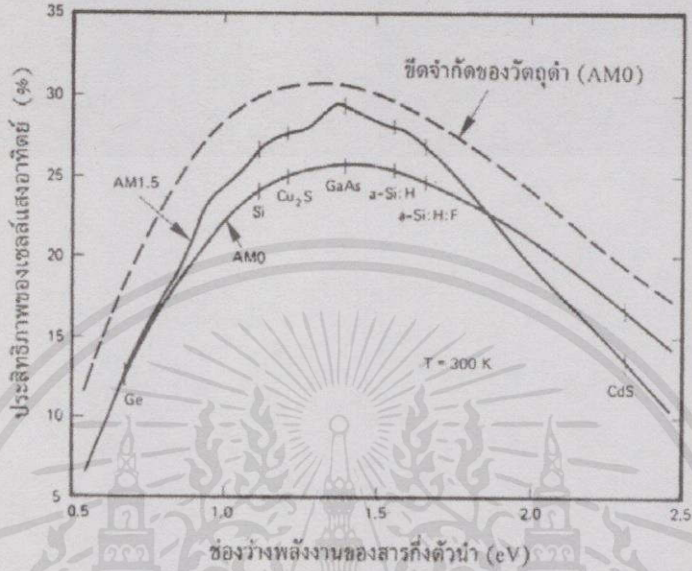
ที่แสงอาทิตย์ AM1.5 ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดมีค่า 29% จะได้จากสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานประมาณ 1.4 eV ถึง 1.6 eV

ที่แสงอาทิตย์ AM0 ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดมีค่า 26% จะได้จากสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานประมาณ 1.4 eV ถึง 1.6 eV

สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานในช่วงนี้ได้แก่ GaAs แม้ว่าช่องว่างพลังงานของซิลิกอน จะมีค่าเพียง 1.1 eV แต่ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน ที่ประดิษฐ์แล้วในห้องปฏิบัติการวิจัยมีค่าสูงถึง 23% ซึ่งเข้าใกล้ค่าในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลหนึ่งที่มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยได้แก่ การที่เมื่อเกิดการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานโฟตอนมากกว่าช่องว่างงาน คู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานโฟตอนสูง



รูปที่ 2.9 ผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.10 การผ่อนคลายพลังงานความร้อนของอิเล็กตรอนและโฮลในกรณีที่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานแสงที่มีพลังงานโฟตอนมากกว่าช่องว่างพลังงานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นนี้ จะมีระดับพลังงานที่สูงกว่าขอบของแถบคอนดักชันและแถบเวเลนซ์มาก อิเล็กตรอนและโฮลจะผ่อนคลายพลังงานให้โฟตอนในรูปของความร้อน และอิเล็กตรอนจะตกลงมาอยู่ที่ขอบของแถบพลังงานดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 2.10 และไม่ได้มีส่วนร่วมในการผลิตกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาการผ่อนคลายโฟตอนนี้มีส่วนในการจำกัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ถึง 44%

นอกจากนี้ แพลกเตอร์อีกตัวหนึ่งที่กำหนดขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ แม้ว่าอิเล็กตรอนจะถูกแสงกระตุ้นให้กระโดดข้ามช่องว่างพลังงานไปได้ก็ตาม แต่รอยต่อ p-n นั้นจะให้ แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าน้อยกว่าช่องว่างพลังงานมาก เช่น กรณีของซิลิกอน อัตราส่วนระหว่าง V_{oc}/E_g มีค่าเท่ากับ $0.7/1.1 = 60\%$ เท่านั้น

2.5.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ เซลล์แสงอาทิตย์ที่เรานำไปวางรับแสงอาทิตย์ไว้ตลอดทั้งวันนั้น จะได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมาก และการใช้งานนั้น บางครั้งอาจต้องไปติดตั้งในบริเวณที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำมาก เช่น บริเวณที่มีหิมะ หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมาก เช่น ในทะเลทราย อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์มาก ซึ่งผู้ใช้งานควร จะทราบดังต่อไปนี้

เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น จะทำให้

- กระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะสูงขึ้น แต่เพิ่มไม่มากนัก
- แรงดันไฟฟ้าวงจรมืดและฟิลล์แพกเตอร์จะลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรมืดคือ

$$I_{sc} = I_0 \left(e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} - 1 \right) \quad (2.5)$$

ถ้าเราไม่พิจารณาพจน์ที่มีค่าน้อย เราจะได้ค่าใกล้เคียงของ I_{sc} ว่า

$$I_{sc} = AT Y e^{-\frac{E_{g0}}{kT}} e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} \quad (2.6)$$

โดยที่

A : พจน์ที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

E_{g0} : ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

Y : พจน์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิและเป็นพจน์ที่มีอิทธิพลต่อ I_0 และมีค่าประมาณ 1-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่แจ้งความหรือแจ้งแต่เพียงผู้เดียวถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการหอนุพันธ์ของสมการที่ 2.6 คือ

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = AY\Gamma^{-1} e^{\frac{q(V_{oc} - V_{g0})}{KT}} + AT\gamma\left(\frac{q}{KT}\right) \left[\frac{dI_{sc}}{dT} - \frac{(V_{oc} - V_{g0})}{T} \right] e^{\frac{q(V_{oc} - V_{g0})}{KT}} \quad (2.7)$$

เนื่องจากพจน์ dI_{sc}/dT มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจากสมการที่ 2.7 จึงได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -\frac{V_{g0} - V_{oc} + Y(KT/q)}{T} \quad (2.8)$$

สมการที่ 2.8 นี้บอกให้เราทราบว่า V_{oc} แปรผกผันกับอุณหภูมิในลักษณะค่อนข้างเป็นเชิงเส้น นั่นคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น V_{oc} จะลดลง [2]

2.6 การออกแบบขนาดกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน

การออกแบบเพื่อหาขนาดกำลังผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาซึ่งความเหมาะสมในการติดตั้ง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละพื้นที่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

2.6.1 การกำหนดกำลังไฟฟ้าและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบินควรพิจารณาแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการและสอดคล้องตามข้อกำหนด ซึ่งสามารถหาลำกำลังไฟฟ้าของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควรติดตั้งจากสมการ

$$P_{cell} = \frac{P_L}{Q \times A \times B \times C/D} \quad (2.9)$$

P_{cell} = กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควรติดตั้ง

P_L = ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q = พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวันสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 4,000 วัตต์/
ชั่วโมง-ตารางเมตร

A = ค่าขดเซยการสูญเสียของพลังงาน โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.8

B = ค่าขดเซยความสูญเสียเชิงความร้อน โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85

C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85-0.9

D = ความเข้มแสงปกติ = 1,000 วัตต์ตารางเมตร/ชั่วโมง

และเมื่อทราบกำลังไฟฟ้าของระบบจะสามารถหาจำนวนแผงที่ต้องการติดตั้งบนหลังคาภายใน
สนามบินซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{จำนวนแผง} = \frac{P_{\text{max}} \text{ที่จะติดตั้ง}}{P_{\text{max}} \text{แต่ละแผง}} \quad (2.10)$$

2.6.2 การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย การต่อแผง
เซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการแบ่งออกเป็น 3 แบบ

2.6.2.1 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม
ดังรูปที่ 2.11 ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากันตลอดทุกแผง และทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามจำนวน
แผงที่ต่อกัน ดังสมการ

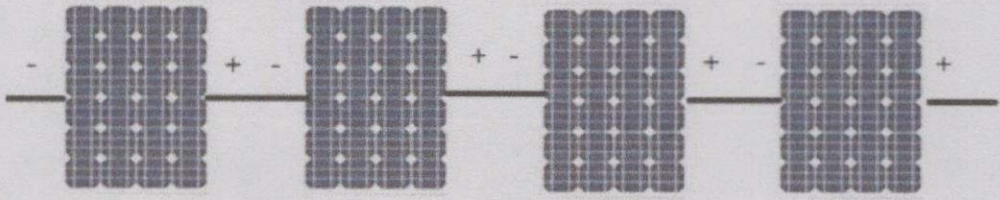
$$V_{\text{Total}} = N \times V_s \quad (2.11)$$

V_{Total} = ค่าแรงดันรวม

N = จำนวนแผงที่ต่ออนุกรม

V_s = ค่าแรงดันของแต่ละแผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

2.6.2.2 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน ดังรูปที่ 2.12 ค่าแรงดันจะเป็นค่าเฉลี่ยและมีค่าเท่ากันตลอดทุกแผงที่ต่อขนาน และทำให้กระแสเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผงที่ต่อขนานกัน ดังสมการ

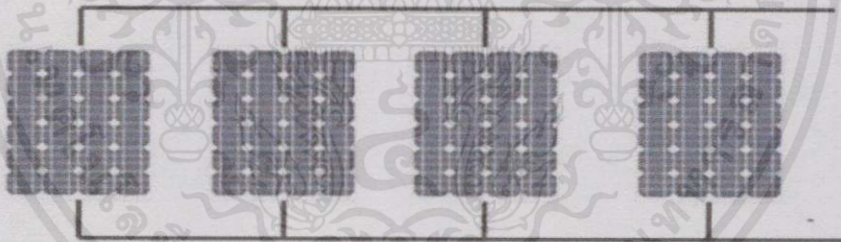
$$I_{\text{Total}} = M \times I_s$$

(2.12)

I_{Total} = ค่ากระแสรวม

M = จำนวนแผงที่ต่อขนาน

I_s = ค่ากระแสของแต่ละแผง



รูปที่ 2.12 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

2.6.2.3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม ดังรูปที่ 2.13 โดยในแต่ละกิ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่ออนุกรมกันและระหว่างกิ่งจะต่อแบบขนานกัน ค่าแรงดันจะคิดจากการต่อแผงเซลล์แบบอนุกรมและจะมีค่าเท่ากันทั้งระบบ และค่ากระแสจะคิดจากผลรวมของกระแสในแต่ละกิ่งโดยคิดจากการต่อเซลล์อนุกรมกัน ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{\text{Total}} = N \times V_s \quad (2.13)$$

$$I_{\text{Total}} = S \times I_{\text{string}} \quad (2.14)$$

V_{Total} = ค่าแรงดันรวม

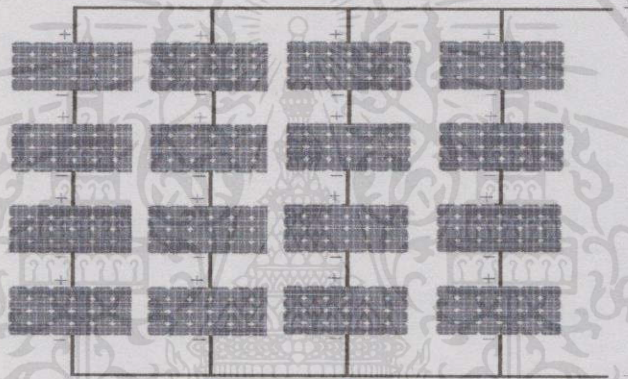
N = จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมในแต่ละแขนง

V_s = ค่าแรงดันแต่ละเซลล์

I_{Total} = ค่ากระแสรวม

S = จำนวนกิ่ง

I_{string} = กระแสในแต่ละกิ่ง



รูปที่ 2.13 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม

การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมจะติดตั้งเพื่อให้แรงดันและกระแสมีค่าตามที่การไฟฟ้ากำหนดไว้และการติดตั้งในแต่ละพื้นที่ต้องดูตามความเหมาะสมของพื้นที่นั้น ซึ่งเป็นดังสมการต่อไปนี้ [13]

$$P_{\text{Total}} = V_{\text{Total}} \times I_{\text{Total}} \quad (2.15)$$

P_{Total} = กำลังไฟฟ้ารวมที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออยู่ทั้งหมด

V_{Total} = ค่าแรงดันรวม

I_{Total} = ค่ากระแสรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 อุปกรณ์ป้องกัน

เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปลดวงจรและป้องกันการลัดวงจรโดยการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ขึ้นอยู่กับแรงดัน กระแสโหลด และกระแสขณะตัดวงจร ซึ่งมีทั้งชนิดที่ทำงานด้วยความร้อนและชนิดหน้าสัมผัสแม่เหล็กไฟฟ้า หน้าที่หลักในการทำงานคือการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากวงจรถ้ากระแสมากเกินไปจนเกินขีดจำกัดหรือเกิดความร้อนที่มากเกินไป เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรแล้วสามารถทำให้วงจรทำงานกลับมาทำงานใหม่โดยการรีเซตหรือโยกคันโยกเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ลงมาอยู่ตำแหน่ง OFF และโยกไปยังตำแหน่ง ON ใหม่เพื่อให้วงจรทำงานได้ตามปกติ การเลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ควรที่จะต้องเลือกตามค่าพิกัดที่มาตรฐานกำหนดไว้ โดยค่าที่กำหนดมีค่า Ampere Trip (AT) Ampere Frame (AF) และ Interrupting Capacity (IC)

Ampere Trip (AT) เป็นพิกัดกระแส Handle rating ซึ่งบอกให้รู้ว่าสามารถทนกระแสใช้งานในภาวะปกติได้สูงสุดเท่าใด มักแสดงค่าไว้ที่ Name plate หรือตามโยกของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งมาตรฐานของ NEC 1990 paragraph 240-6 กำหนดค่าดังนี้ 15, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000 AT

Ampere Frame (AF) เป็นพิกัดกระแสโครง ซึ่งหมายถึงพิกัดการทนกระแสสูงสุดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในรุ่นนั้นๆ Ampere Frame มีประโยชน์คือ สามารถเปลี่ยนพิกัด Ampere Trip ได้โดยที่ขนาด (มิติ) ของเบรกเกอร์ยังคงเท่าเดิม ค่า AF ตามมาตรฐาน NEMA กำหนดค่าดังนี้ 50, 100, 225, 250, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 4000, 5000 AF

Interrupting Capacity (IC) เป็นพิกัดการทนกระแสลัดวงจรสูงสุดในขณะเริ่มเกิดอาร์คที่ตัวอุปกรณ์ป้องกันของเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นๆ โดยปกติกำหนดค่าการทนกระแสเป็น kA ค่า IC จะบอกให้รู้ว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้นั้นมีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด การเลือกค่ากระแส IC จะต้องรู้ค่ากระแสลัดวงจร ณ จุดนั้นๆ เสียก่อน ตามมาตรฐาน IEC60947-2 ที่ได้กำหนดค่า I_{cu} และ I_{cs} โดย

I_{cu} คือ Breaking capacity หรือ Ultimate breaking capacity หมายถึงการทนได้ต่อค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดในกรณี 3 เฟส โดยตัดวงจรได้สำเร็จ 2 ครั้งติดต่อกัน โดยไม่มีการเสียหายกับระบบ แต่เซอร์กิตเบรกเกอร์อาจจะเสียหายและใช้งานไม่ได้อีกต่อไป

I_{cs} คือ Service breaking capacity หมายถึงการที่สามารถทำการตัดวงจรจากกระแสลัดวงจร ในกรณี 3 เฟส โดยตัดวงจรได้สำเร็จ 3 ครั้งติดต่อกัน โดยไม่มีการเสียหายกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และเซอร์กิตเบรกเกอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 คุณภาพกำลังไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้า หมายถึง ลักษณะของกระแส แรงดันและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเสียหาย ในปัจจุบันเรื่องคุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นเรื่องที่น่าสนใจและนำมาพิจารณากันมาก เนื่องจากกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูงและเป็นอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีความไวในการตอบสนองต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้ามากกว่าในอดีต โดยเฉพาะที่สามารถปรับหรือเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ามีการต่อเชื่อมโยงถึงกันหากส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบมีปัญหาหรือจ่ายฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบจะทำให้อุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าข้างเคียงได้รับผลกระทบด้วย ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ทราบถึงเรื่องของคุณภาพไฟฟ้ากันมากขึ้นเพราะมีผลกระทบต่อการทำงานที่เป็นอยู่ คุณภาพของไฟฟ้าที่เสียไปจะทำให้ลักษณะของรูปคลื่นกระแสแรงดันตลอดจนความถี่ของระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป สาเหตุที่คุณภาพไฟฟ้าเสียไปเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ไฟผ่า การเกิดสภาวะความผิดปกติของไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า การกระทำการสับหรือปลดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า การใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นในระบบอุตสาหกรรม เป็นต้น ปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่พบบิดังนี้

ไฟฟ้าดับ (Interruptions) เป็นสภาวะที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหยุดจ่ายกำลังงานทำให้ไม่มีแรงดันจ่ายให้กับผู้ไฟฟ้า โดยอาจจะเกิดมาจากแหล่งจ่ายกำลังงานได้รับความเสียหายหรือมีการผิดปกติในระบบส่งไฟฟ้าทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกถาวร

แรงดันเกินทรานเซียนต์ (Transient overvoltage) สภาวะไฟฟ้ากระชากเป็นสภาวะที่แรงดันสูงขึ้นทันที มักจะมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ไฟผ่า การสับหรือปลดอุปกรณ์ตัวเก็บประจุ หรือรีแอคเตอร์ในระบบไฟฟ้า

แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage dips or sags) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันตกลงไปอยู่ที่ประมาณ 10-90% ของแรงดันปกติในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 1 นาที ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้งานมอเตอร์ขนาดใหญ่ หรือเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage swell) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าสูงเกินไปประมาณ 110-120% ของแรงดันปกติในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติของไฟฟ้าโดยตรง หรืออาจเกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบหรือมีการต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เข้าระบบ มีผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย หรือทำให้อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันกระเพื่อม (Voltage fluctuation) เป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันอย่างต่อเนื่อง มีขนาดไม่เกินช่วงแรงดัน 0.95-1.05 เพอร์ยูนิต (Per unit) เป็นผลเกิดจากการใช้อุปกรณ์ประเภทเตาหลอมแบบอาร์ค ทำให้เกิดการกระพริบที่หลอดไฟ อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแรงดันมากๆ

การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency variation) คือ ปรากฏการณ์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าความถี่ปกติ 50 Hz เป็นผลจากการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่หรือการหลุดออกจากระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานสัมพันธ์กับความถี่ระบบไฟฟ้า เช่น เครื่องจักรกลไฟฟ้า

แรงดันตก (Voltage drop) แรงดันตกเป็นปัญหาเมื่อมีการใช้สายไฟที่มีความยาวมากๆ ซึ่งมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟสว่างไม่เต็มที่ หรือไม่สามารถจุดสตาร์ทหลอดได้ในกรณีที่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้สตาร์ทเตอร์ช่วยจุดหลอด มอเตอร์ไม่มีแรงหมุนหรือไหม้ เป็นต้น มาตรฐาน NEC กำหนดแรงดันตกดังนี้ แรงดันตกจากสายประธานจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) ไม่เกิน 5% แรงดันตกในสายป้อน (Feeder) ไม่เกิน 2% แรงดันตกในวงจรย่อย ไม่เกิน 3% การคำนวณค่าแรงดันตกในสายไฟให้อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ทำให้มั่นใจว่าสามารถใช้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ซึ่งการคำนวณค่าแรงดันตกทั้งสายป้อนและวงจรย่อยจะเป็นไปตามสมการ

ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 2 สาย

$$V_D = 2 \times I \times (R + jX_L) \times L = 2 \times I \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \times L \quad (2.16)$$

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

$$V_D = \sqrt{3} \times I \times (R + jX_L) \times L = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \times L \quad (2.17)$$

V_D = แรงดันตก (V)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมดไว้

X_L = รีแอกแตนซ์เส้นเดียวของสายไฟฟ้า (Ω/m)

L = ความยาวของสายไฟฟ้า (m)

$\cos \theta$ = เพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลด

2.9 แรงดันไฟฟ้าเกิน (Overvoltage)

แรงดันไฟฟ้าเกินสามารถจำแนกระดับแรงดันออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าเกินภายนอกกระบบ (External overvoltage) เป็นแรงดันไฟฟ้าเกินที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่าโดยตรงหรือจากการเหนี่ยวนำเข้ามามีขนาดแรงดันไฟฟ้าเกินมากกว่า 6 เท่าของแรงดันไฟฟ้าปกติ

2. แรงดันไฟฟ้าเกินภายในระบบ (Internal overvoltage) เป็นแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีสาเหตุจากการลัดวงจรลงสู่ดินหรือการปลดออกของภาระของตัวเหนี่ยวนำและการนำเข้ามาของตัวเก็บประจุ ผลของปรากฏการณ์เฟอร์รีรันติ ผลของเฟอร์โรเรโซแนนซ์ ระยะเวลาการเกิดจะยาวนานกว่าแรงดันไฟฟ้าเกินภายนอกกระบบ

2.9.1 การจำแนกแรงดันไฟฟ้าเกินภายในระบบ นอกจากแรงดันไฟฟ้าเกินภายนอกกระบบและแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ ยังมีแรงดัน ไฟฟ้าเกินชนิดอื่นที่อาจเกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อฉนวนของอุปกรณ์ที่อยู่กับระบบ จำแนกได้ดังนี้

แรงดันไฟฟ้าเกินความถี่ไฟฟ้ากำลัง (Power frequency overvoltage)

แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว (Temporary overvoltage)

แรงดันไฟฟ้าเกินสวิตชิง (Switching overvoltage)

2.9.2 แรงดันเกินความถี่ ไฟฟ้ากำลัง (Power frequency overvoltage) ขนาดของแรงดันเกินความถี่ไฟฟ้ากำลังถึงแม้ว่ามีค่าไม่สูงมาก แต่ถ้าเกิดแรงดันเกินเกิดขึ้นเป็นเวลานาน 20-30 วินาที จะเรียกว่า แรงดันเกินชั่วคราว (Temporary overvoltage) จะมีผลกับพวกเครื่องล่อฟ้า (Surge arrester) และฉนวนของสายที่เป็นมลพิษ (Polluted line insulator) เป็นต้น สาเหตุของการเกิดมักจะมาจากการผิดพลาดเฟสลงดินหรือการปลดโหลด ขณะที่เกิดการผิดพลาดเฟสลงดิน (Single line to ground fault) หรือการผิดพลาดสองเฟสลงดิน (Double line to ground fault) ทำให้เกิดแรงดันเกินในเฟสที่เหลือ ซึ่งค่าแรงดันเกินลงดินในเฟสที่เหลือเมื่ออยู่ในระบบชนิดนิวทรัลไม่ต่อลงดิน (Isolated neutral) อาจเกิดแรงดันขึ้นสูงถึงแรงดันระหว่างสาย ในระบบไฟฟ้าที่เป็นชนิด

ระบบต่อลงดินอย่างมีประสิทธิภาพ (Effectively ground system) จะต้องมีแรงดันเกินที่จุดผิดพลาด (Fault) น้อยกว่า 1.5 เท่า ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์ของระบบ ว่ามีค่าเท่าใด ช่วงเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดแรงดันเกินขึ้นอยู่กัเวลาในการแก้ไขความผิดปกติ (Fault clearing time) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยแต่ละระดับแรงดันก็จะแตกต่างกันไป การปลดโหลด (Load rejection) ขณะที่โหลดใหญ่ๆ ถูกปลดออกจากระบบจะทำให้ เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินขึ้นที่จุดต่อของโหลดที่อยู่ หรือที่จุดต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะสูงขึ้นโดยฉับพลันในช่วงแรกและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนไปถึงจุดสถานะอยู่ตัวหลังเปิดวงจร (Steady-state open circuit) กรณีนี้จะมี Automatic Voltage Regulator (AVR) เป็นตัวปรับสภาพแรงดันไฟฟ้า ขณะเดียวกันความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยและมีผลกับความถี่ของระบบซึ่งจะมีตัวบังคับ (Governor) เป็นตัวปรับและควบคุม

2.9.3 แรงดันเกินสภาวะคงตัว (Steady state over voltage) อุปกรณ์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าสามารถทนแรงดันสูงเกินปกติได้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเวลาระยะหนึ่งหรือตามมาตรฐาน American National Standards Institute (ANSI) standard C84. 1-1995 ได้กำหนดแรงดันระบบสูงสุดไว้ 2 ช่วงคือ แรงดันที่ 115 กิโลโวลต์ ถึง 121 กิโลโวลต์ และที่แรงดัน 362 กิโลโวลต์ มาตรฐานแรงดันระบบสูงสุดอาจเกิดในสภาวะการทำงานปกติและแรงดันไฟฟ้าระบบสูงสุดสำหรับอุปกรณ์และส่วนประกอบอื่นๆ ถูกออกแบบให้รองรับกับการทำงานที่ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง มีการกำหนดแรงดันสูงสุดและแรงดันเกินชั่วคราวซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาวะผิดปกติในระบบ

2.9.4 แรงดันเกินชั่วคราว ตามมาตรฐาน IEEE Standard 1313.1-1996 ได้กำหนดแรงดันเกินชั่วคราวเกิดจากแรงดันเกินจากเฟสลงดินหรือระหว่างเฟสกับเฟส โดยอาจจะเกิดขึ้นเป็นวินาทีหรืออาจเกิดขึ้นเป็นเวลาหลายนาที การเกิดแรงดันเกินชั่วคราวโดยทั่วไปอาจเกิดจากการสวิตซ์อุปกรณ์ หรือการแก้ไขความผิดปกติ การปลดโหลด การผิดปกติของเฟสลงดิน การผิดปกติจากความต้านทานดินสูงหรือในระบบที่ไม่มีกราวด์

2.9.5 แรงดันเกินที่มีสาเหตุจากความผิดปกติเนื่องจากเฟสลงดิน ในสายส่งแรงดันสูงความผิดปกติหนึ่งเฟสลงดินจะเกิดได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับการเกิดความผิดปกติแบบอื่นๆ โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าการเกิดขึ้นของความผิดปกตินั้นจะเพิ่มแรงดันของเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติให้มากยิ่งขึ้นซึ่งจะเหมือนกับการเกิดขึ้นในกรณีของสองเฟสลงดินเมื่อพิจารณาแรงดันเกินชั่วคราวของเฟสที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าอยู่ในระดับที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับระบบด้วย ถึงแม้ว่าในระบบแรงดันต่ำจะไม่มีสัญญาณบอกเหตุที่อันตรายมากแต่แรงดันเกินจะมีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาด 1,000 โวลต์หรือมากกว่า เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินให้มีระดับต่ำกว่าระบบโดยแรงดันเกินนี้จะมีสาเหตุจากการแบ่งไหลของแรงดันเนื่องจากความผิดปกติและเกิดผลกระทบขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

คือ อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอื่น เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีความเหมาะสมและนำไปใช้งานได้

2.10.1 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบพีดับเบิลยูเอ็ม ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ต้องการสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ตามต้องการได้ โดยจะใช้สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (Sinusoidal control signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular waveform) ดังรูปที่ 2.14 ความถี่ของการสวิตชิง (f_s) จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม

$$m_a = \frac{V_{\text{control}}}{V_{\text{tri}}} \quad (2.18)$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.19)$$

V_{control} = ค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์

V_{t} = ค่ายอดของสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

f_1 = ความถี่หลักมูลทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์

m_a = อัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด

m_f = อัตราการมอดูเลตด้านความถี่

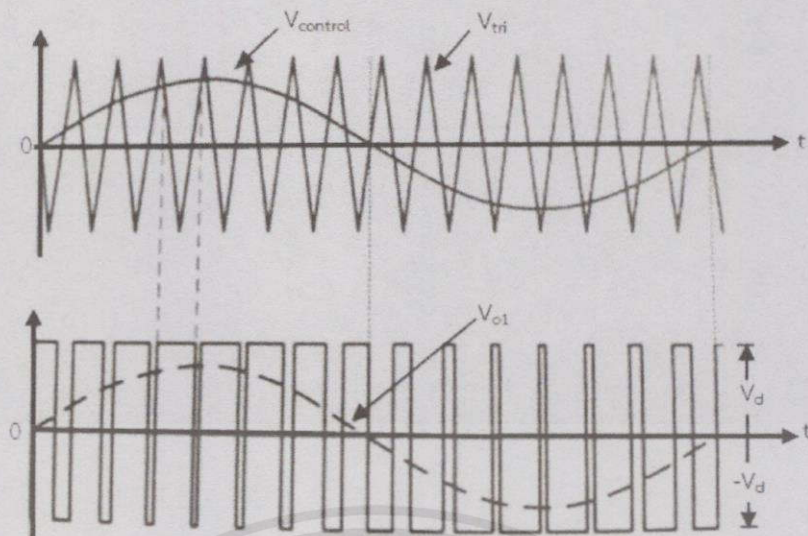
ถ้าค่า $0 \leq m_a \leq 1$ จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (Fundamental-frequency component of the output voltage) โดยจะแปลงผันเชิงเส้นกับค่า m_a

ในกรณี $m_a > 1$ จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น สำหรับเงื่อนไขของการสร้างสัญญาณสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็มคือ

เมื่อ $V_{\text{control}} > V_{\text{tri}}$: สวิตซ์ s_{1+} จะนำกระแส $v_{aN} = 0.5v_i$

เมื่อ $V_{\text{control}} < V_{\text{tri}}$: สวิตซ์ s_{1-} จะนำกระแส $v_{aN} = -0.5v_i$

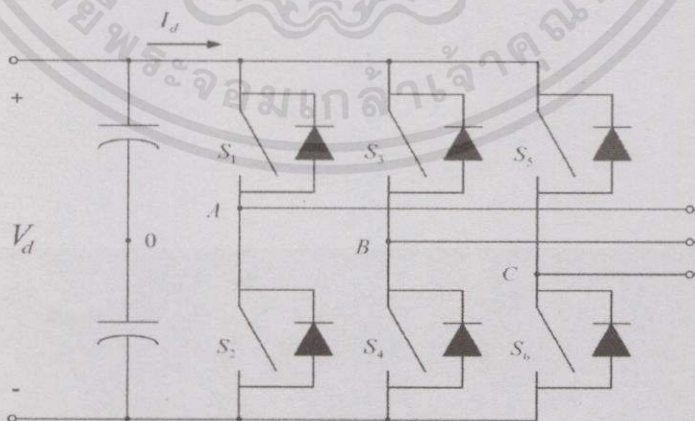
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การสร้างสัญญาณสวิตช์แบบ PWM

2.11 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

การแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดสามเฟสนิยมแปลงผันกำลังไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งจะเหมาะกับการทำงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง เพราะถ้าหากจะใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวนสามชุดก็ได้ แต่ต้องใช้สวิตช์จำนวนถึง 12 ตัว นอกจากนั้นยังต้องอาศัยวงจรควบคุมที่ทำให้แต่ละเฟสต่างกัน 120 องศาของความถี่หลักมูล จึงไม่เหมาะที่เลือกใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวนสามตัว จึงมีการพัฒนาอินเวอร์เตอร์สามเฟสขึ้นมาใช้ที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ทั้งขนาดและความถี่ใน รูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่ามีจำนวนสวิตช์และไดโอดจำนวนอย่างละ 6 ตัว ประกอบไปด้วยสามกิ่งหรือสามเฟส



รูปที่ 2.15 อินเวอร์เตอร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

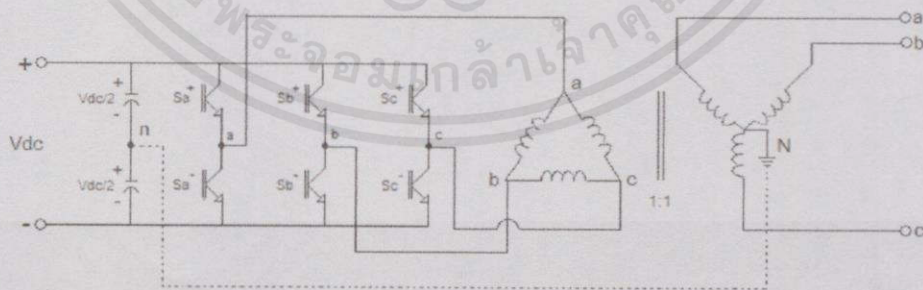
2.11.1 อินเวอร์เตอร์สามเฟสเมื่อทำงานในย่านรูปคลื่นสี่เหลี่ยม อินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ทำงานในย่านรูปคลื่นสี่เหลี่ยม จะเหมาะสำหรับใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย เพื่อใช้ในการปรับค่าระดับแรงดันไฟฟ้าต้านออก การทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส จะมี 6 ลำดับดังตารางที่ 2.3 [3]

ตารางที่ 2.3 การทำงานของสวิตช์ทั้ง 6 ตัว ของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

	T_{A+}	T_{A-}	T_{B+}	T_{B-}	T_{C+}	T_{C-}
Step1	On	Off	Off	On	On	Off
Step2	On	Off	Off	On	Off	On
Step3	On	Off	On	Off	Off	On
Step4	Off	On	On	Off	Off	On
Step5	Off	On	On	Off	On	Off
Step6	Off	On	Off	On	On	Off

2.12 Common Mode Voltage

เมื่อทำการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงข่ายของการไฟฟ้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน จะทำให้เกิด Common mode voltage ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิด Common mode current ตามมา ซึ่ง Common mode current อาจจะทำให้เกิดการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, รูปกระแสผิดเพี้ยน (THDi) และเกิดการสูญเสียในระบบ สำหรับระบบ 3 เฟสสมดุล



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อบetweenอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เข้ากับโครงข่ายของการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{nN} = V_{an} - V_{aN} \quad (2.20)$$

$$V_{nN} = V_{bn} - V_{bN} \quad (2.21)$$

$$V_{nN} = V_{cn} - V_{cN} \quad (2.22)$$

$$V_{aN} + V_{bN} + V_{cN} = 0 \quad (2.23)$$

สมการ 2.20 + 2.21 + 2.22;

$$3V_{nN} = (V_{an} + V_{bn} + V_{cn}) - (V_{aN} + V_{bN} + V_{cN}) \quad (2.24)$$

จากสมการ 2.23 และ 2.24;

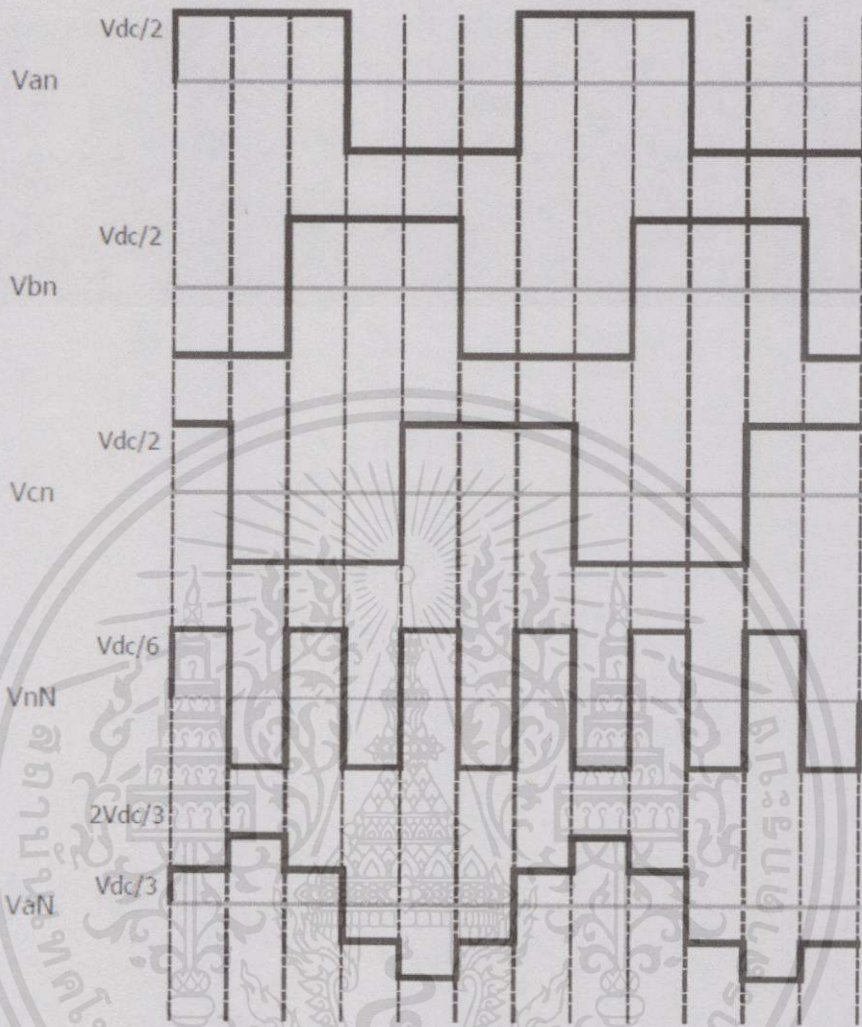
$$3V_{nN} = V_{an} + V_{bn} + V_{cn} \quad (2.25)$$

เพราะฉะนั้น Common mode voltage คือ

$$V_{nN} = \frac{1}{3}(V_{an} + V_{bn} + V_{cn}) \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของกราฟสัญญาณแรงดันต่างๆ สามารถแสดงได้จากรูปที่ 2.17

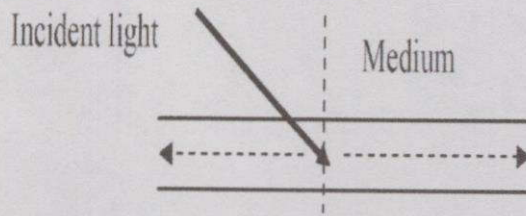


รูปที่ 2.17 ลักษณะสัญญาณแรงดันต่างๆ

2.13 ทฤษฎีด้านพฤติกรรมของแสง

2.13.1 การดูดกลืนแสง เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางหรือวัตถุใดๆ โดยที่พลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

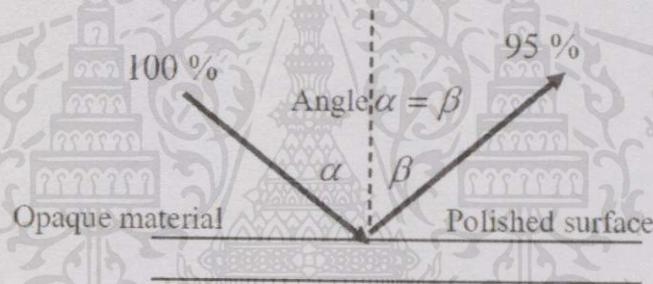
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การดูดกลืนแสง

2.13.2 การสะท้อนแสง เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง และสะท้อนตัวออก โดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้น ไม่ได้เปลี่ยนแปลงรูปแบบไปจากเดิม แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.13.2.1 การสะท้อนแบบเหมือนกระจกเงา (Specular reflection) เป็นลักษณะที่แสงตกกระทบบนตัวกลางที่ทึบแสง ซึ่งมีพื้นผิวลักษณะราบเรียบสม่ำเสมอ ทำจากกระจกสะท้อนหรือวัสดุขัดมันแล้วสะท้อนกลับ ตามทฤษฎีการสะท้อนแสง จะมีมุมตกกระทบ (α) เท่ากับมุมสะท้อน (β)

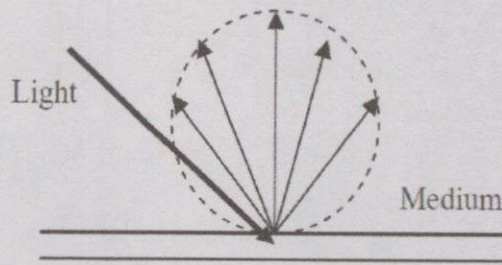


รูปที่ 2.19 การสะท้อนแบบเหมือนกระจกเงา

2.13.2.2 การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection) เป็นลักษณะที่แสงกระจายตัวออกเมื่อตกกระทบถูกผิวของวัตถุตัวกลาง เช่น แผ่นพลาสติกใสหรือแผ่นผิวหยาบขัดมัน จะทำให้แสงที่สะท้อนออกมามีลักษณะกระจายไปหลายๆทิศทาง ซึ่งการสะท้อนแบบกระจายจะแบ่งเป็น 3 แบบ

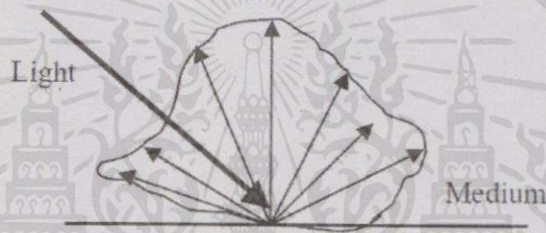
แบบที่ 1 คือวัตถุนั้นมีลักษณะผิวไม่เรียบแบบสม่ำเสมอ จะเกิดเป็นการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งแสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายโดนรอบทิศทางตามมุมสะท้อน และความส่องสว่างที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



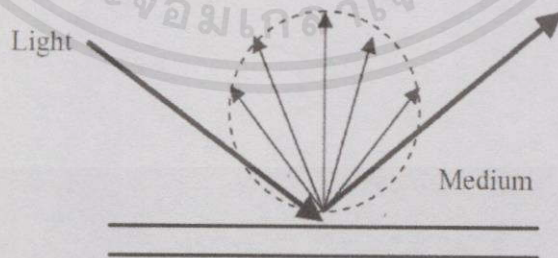
รูปที่ 2.20 การสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์

แบบที่ 2 คือวัตถุนั้นมีลักษณะผิวไม่เรียบแบบไม่สม่ำเสมอ (Semi diffuse surface) จะเกิดเป็นการกระจายแบบกระจัดกระจายไปรอบทิศทางในมุมสะท้อน และความส่องสว่างที่ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.21 การสะท้อนแบบกระจายกึ่งสมบูรณ์

แบบที่ 3 คือวัตถุนั้นมีลักษณะผสมผสานกันระหว่างผิวไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอกับผิวสะท้อนแบบกระจกเงา ทำให้แสงที่สะท้อนออกมามีการกระจายแสงแบบกึ่งมีทิศทาง ซึ่งแสงสะท้อนแบบนี้ เป็นลักษณะของการสะท้อนแสงโดยทั่วไป

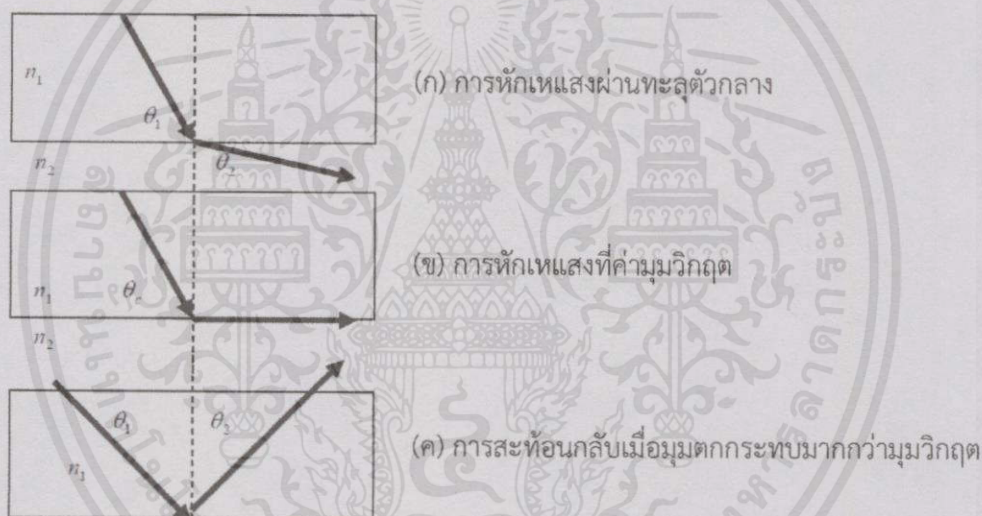


รูปที่ 2.22 การสะท้อนแบบกระจกเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3 การส่องผ่าน (Transmission) แสงตกกระทบทางด้านหนึ่งของตัวกลาง สื่อหรือวัตถุ ซึ่งสามารถทะลุผ่านไปยังอีกด้านได้ แต่แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนและสะท้อนกลับ โดยทั่วไปทิศทางของแสงก่อนจะส่องผ่านตัวกลางมีทิศทางเดียวกันกับแสงหลังทะลุผ่านตัวกลาง

2.13.4 การหักเหแสง (Refraction) เมื่อแสงส่องผ่านตัวกลางที่มีผิวเรียบจะทำให้เกิดการหักเห หรือเปลี่ยนทิศทางแสงในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลาง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกันและลำแสงแต่ละตัวกลางมีความเร็วต่างกัน โดยความถี่ของคลื่นแสงมีค่าคงที่เมื่อแสงหักเหผ่านตัวกลางทั้ง 2 ชนิด ถ้ามุมตกกระทบน้อยแสงก็จะทะลุผ่านตัวกลาง ถ้าแสงตกกระทบมีค่ามากถึงค่าค่าหนึ่งก็จะไม่ผ่านตัวกลางและไม่มีการสะท้อนกลับ สำหรับมุมที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่ามุมวิกฤต ถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงตกกระทบก็จะสะท้อนกลับโดยไม่ผ่านตัวกลาง



รูปที่ 2.23 (ก) การหักเหแสงผ่านทะลุตัวกลาง, (ข) การหักเหแสงที่ค่ามุมวิกฤต, (ค) การสะท้อนกลับเมื่อมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤต

กรณี (ก) $n_1 > n_2$ มุม θ_1 มีค่าน้อย แสงจะผ่านตัวกลางที่น้อยและหักเห

กรณี (ข) θ_c เป็นมุมวิกฤต แสงจะไม่สะท้อนหรือหักเห

กรณี (ค) $\theta_1 > \theta_c$ จะทำให้แสงสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.5 แสงจ้า (Glare) คือแสงที่เข้าตาแล้วไม่สามารถมองเห็นวัตถุที่สังเกตเห็นหรือมองเห็นได้ยากมาก แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ เกิดจากการที่มีแสงมาเข้าตามาก และแสงบาดตาแบบสามารถมองเห็นได้ ดังนั้นความส่องสว่างระหว่างพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ที่สังเกตเห็น เป็นปัจจัยหลักในการทำให้เกิดความไม่สบายตาในการมอง หรือมีความส่องสว่างมากเกินไปจนไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้นได้

หรืออาจกล่าวอีกแบบได้ว่า คือ จุดหรือพื้นที่ที่มีแสงจ้าเกิดขึ้นในระยะของลานสายตา (Visual field) ทำให้ตัวรู้สึกว่ามีแสงสว่างมากเกินไปกว่าตาจะปรับได้ ทำให้เกิดความรำคาญ ไม่สุขสบาย หรือทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 แสงจ้าเข้าตาโดยตรง (Direct glare) เกิดจากแหล่งกำเนิดที่แสงสว่างจ้าในระยะลานสายตา

แบบที่ 2 แสงจ้าจากการสะท้อน (Reflected glare) เกิดจากเมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวต่างๆ เช่น วัสดุผิวมันแล้วสะท้อนมาเข้าตา แสงจ้าชนิดนี้จะก่อให้เกิดความรำคาญมากกว่าแสงจ้าโดยตรง

การลดแสงจ้าจากการสะท้อน

- การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง
- การลดความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง
- การเลือกใช้วัสดุที่มีการสะท้อนแสงต่ำ
- การทำฉากป้องกันแสงสะท้อน

- การทำฉากหลัง (Background) ข้างเคียงให้สว่างกว่า โดยออกแบบพื้นหรือวัสดุสีอ่อนให้อยู่ด้านหลัง [4]

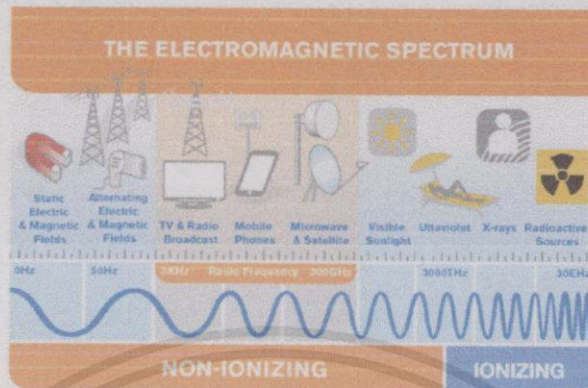
2.14 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility)

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility) หรือ EMC ได้ให้นิยามใน IEC 50(61) ว่า ความสามารถของอุปกรณ์หรือระบบที่จะสามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจในสภาพแวดล้อมที่มีแม่เหล็กไฟฟ้า นอกเสียจากการเข้ามารบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อมที่มากเกินไปจนจะทนได้

2.14.1 ย่านความถี่ของความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า มาตรฐานความเข้ากันได้

ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยย่านความถี่ที่กำหนดไว้โดย The International Commission on Electromagnetic Interference and Compatibility (ICEM) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ซึ่งเป็นคณะกรรมการดูแลความถี่ที่ไม่ได้ใช้ในทาง การแพทย์ คือตั้งแต่ 0 (DC) ถึง 300 GHz ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.24 ย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องทางด้าน EMC [5]

2.14.2 ประเภทความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ การ แพร่ผ่านสายตัวนำ (Conducted emission) คือสัญญาณคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องการผ่านเข้าไปตามสาย เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งจากระบบกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (UPS) สร้างรูปคลื่นที่ไม่ใช่ความถี่ ที่ต้องการผ่านเข้าไปตามสาย ส่งผลรบกวนการทำงานของคอมพิวเตอร์ การกระจายทางอากาศ (Radiated emission) คือสัญญาณที่แพร่กระจายผ่านทางอากาศ เช่น สัญญาณรบกวนที่เกิดจาก โทรศัพท์มือถือไปรบกวนการทำงานของเครื่องมือแพทย์ ซึ่งจะต้องอยู่ในขีดจำกัด (Limit) ในการ แพร่กระจายสัญญาณรบกวน (Electromagnetic emission) ตามที่มาตรฐานกำหนด และจะต้องมี ความสามารถในการทนสัญญาณภายนอก (Electromagnetic susceptibility/immunity) ซึ่งจะต้องเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด [6]

2.14.3 มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2.14.3.1 FCC (Federal Communications Commission) เป็น องค์ กร ใน ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ทำการออกกฎข้อบังคับสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร (Wire and radio communications) ก่อตั้งในปี พ.ศ. 2470 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

Part 15 สำหรับอุปกรณ์ความถี่วิทยุ (Radio-frequency devices)

Part 18 สำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ (ISM)

Part 68 สำหรับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบโทรศัพท์ (Telephone network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Part 15 จะแบ่งมาตรฐานออกเป็น 4 ฉบับ และได้นิยามความหมายของ อุปกรณ์ความถี่วิทยุไว้ว่า อุปกรณ์ใดๆก็ตามที่การทำงานก่อให้เกิดการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่วิทยุ (Radio-frequency energy) ได้ทั้งทางสาย (Conduction) หรือทางอากาศ (Radiation)

FCC ได้นิยามพลังงานความถี่วิทยุ (Energy in the radio frequency range) ว่าเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านความถี่ (9 kHz ถึง 3000 GHz) โดยมีจุดประสงค์ในการออก มาตรฐาน เพื่อกำหนดการทำงานของตัวส่งสัญญาณ (Transmitters) ที่มีกำลังไฟฟ้าน้อย ซึ่งไม่ได้รับ ใบอนุญาตในการติดตั้ง (Radio station license) และเพื่อควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวสินค้า ที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานที่สื่อสารด้วยความถี่วิทยุ (Radio communications) อุปกรณ์ดิจิทัล (Digital electronics) ก็จัดอยู่ในหมวดนี้

2.14.3.2 CISPR (International Special Committee on Radio Interference) เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2476 เพื่อหาวิธีการวัดและขีดจำกัดของการรบกวนในย่านความถี่ วิทยุสำหรับนานาชาติ หลายๆประเทศได้นำมาตรฐาน CISPR มาดัดแปลงใช้โดยจัดทำเป็นมาตรฐาน บังคับใช้สำหรับแต่ละประเทศ ประเทศไทยก็ได้นำมาตรฐานนี้มาปรับใช้ เช่น มาตรฐานของบริษัท ส่องสว่าง ได้จากการนำมาตรฐาน CISPR 15 มาดัดแปลงใช้งาน

มาตรฐาน CISPR หลัก เช่น CISPR Publication 22 ถูกกำหนดขึ้นเพื่อการควบคุม สัญญาณ รบกวนที่เกี่ยวข้องกับบริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment)

2.14.3.3 มาตรฐานทางการทหาร (Military Standard) MIL-STD-461B และ MIL-STD-462 เป็นมาตรฐานที่ออก โดยหน่วยทางการทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยที่ MIL-STD-461B กำหนดเส้นขีดจำกัด (Limit) และ MIL-STD-462 จะกำหนดขั้นตอนและวิธีการทดสอบ มาตรฐานดังกล่าวจะมีรายละเอียดและเข้มข้นกว่า FCC เพราะมาตรฐานดังกล่าวพิจารณาถึง “ความ อ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Susceptibility)” และย่านความถี่ที่พิจารณายังกว้างกว่า ด้วย (30 Hz-40 GHz)

2.14.3.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความเข้า กันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้มีการนำมาตรฐานนานาชาติ IEC (International Electrotechnical Commission) มาปรับใช้เป็นมาตรฐานภายในประเทศอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 โดยได้มีการนำมาปรับปรุงแก้ไข CISPR 15 และ CISPR 22 เป็นมาตรฐานไทยแล้วได้แก่ มอก.1955-2542 (บริษัทส่องสว่างและบริษัทที่คล้ายกัน: ขีดจำกัดสัญญาณรบกวนวิทยุ) ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานบังคับใช้ และ มอก.1956-2542 (บริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ: ชีตจำกัดสัญญาฉบับรวม
วิทยุ)

อนึ่งมาตรฐานด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยมีแนวทาง
และได้นำมาตรฐานด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าของ IEC เช่น เทคนิคการทดสอบด้าน
สิ่งแวดล้อมมาใช้โดยออกเป็นประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรม (สมอ.) ตาราง แสดงถึงตารางสรุปมาตรฐานกฎระเบียบด้านการแม่สัญญาฉบับรวมของ
นานาชาติและภูมิภาคที่สำคัญ [7]

ตาราง 2.4 มาตรฐานกฎระเบียบด้านการแม่สัญญาฉบับรวมทางความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ข้อกำหนดมาตรฐาน			
CISPR	FCC	EN's	หมายเหตุ
11	Part 18	EN 55011	งานอุตสาหกรรม การทดลองวิทยาศาสตร์และ การแพทย์ (Industrial ,Scientific and Medical)
12	(SAE)		งานยานยนต์ (Automotives)
13	Part 15	EN 55013	ภาครับการกระจายเสียงหรือภาพ (Broadcast receivers)
14		EN 55014	อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน (Household appliances/tools)
15		EN 55015	ความส่องสว่าง หรือ แสงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lights/luminaries)
16			อุปกรณ์การวัด (Measurement apparatus/methods)
22	Part15	EN 55022	บริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Equipment)
		EN 55081 -1, 2	มาตรฐานการแพร่สัญญาณทั่วไป (Generic emissions standards)

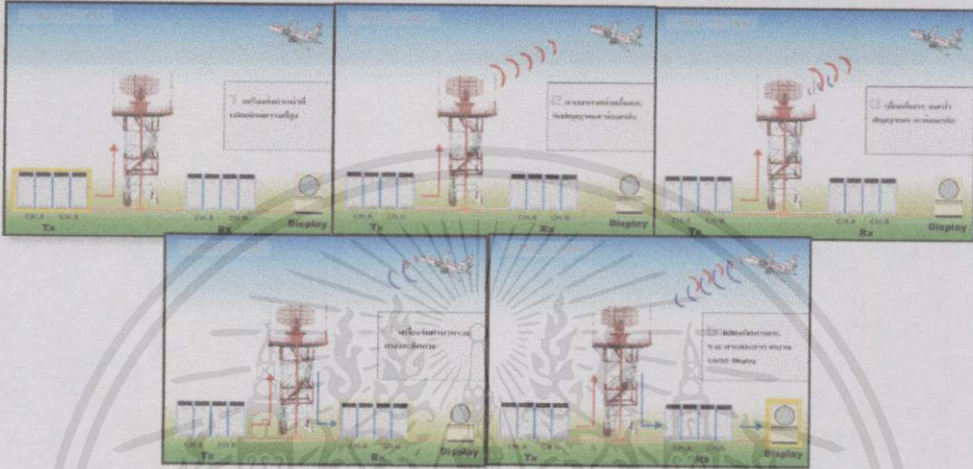
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 วิศวกรรมควบคุมจราจรทางอากาศ

2.15.1 ระบบติดตามอากาศยาน

เป็นระบบที่บอกตำแหน่ง พิกัด และระดับความสูงของอากาศยาน ปัจจุบันมีระบบอุปกรณ์ที่ใช้ 2 ประเภท คือ

2.15.1.1 Primary Surveillance (PSR)

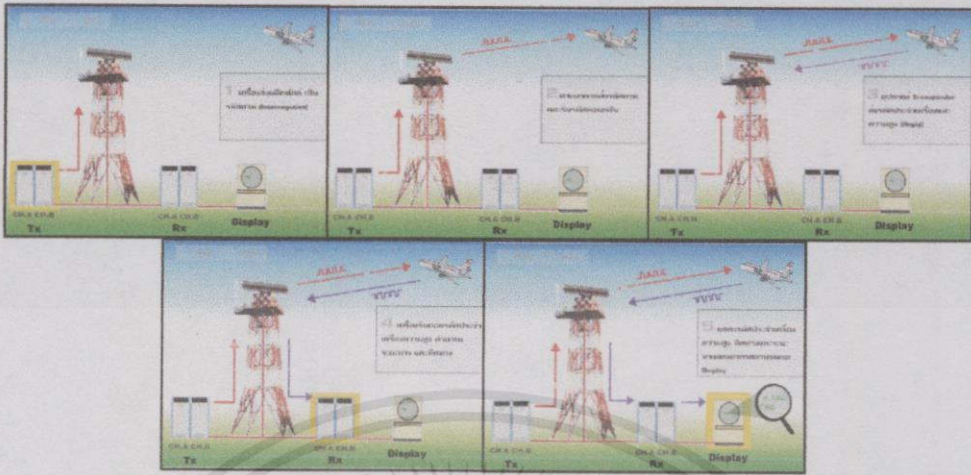


รูปที่ 2.25 เรดาร์ปฐมภูมิ (Primary Surveillance Radar)

เรดาร์ปฐมภูมิ (Primary Surveillance Radar) ติดตั้งใช้งานที่เขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach control) มีรัศมีโดยรอบไม่เกิน 80 ไมล์ทะเล ปัจจุบัน บริษัทฯ มีติดตั้งใช้งานอยู่ ณ ท่าอากาศยานเชียงใหม่ พิษณุโลก กรุงเทพฯ หัวหิน หาดใหญ่ และภูเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

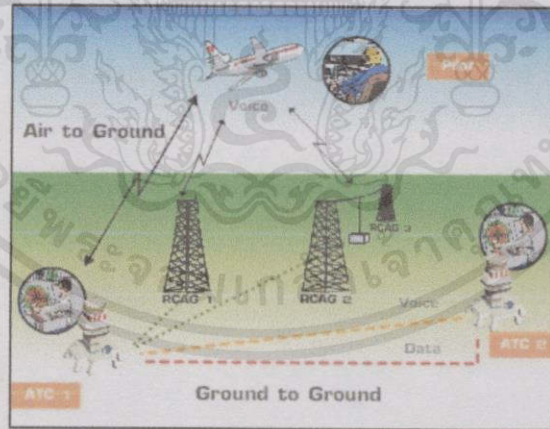
2.15.1.2 Secondary Surveillance (SSR)



รูปที่ 2.26 เรดาร์ทุติยภูมิ (Secondary Surveillance Radar)

เรดาร์ทุติยภูมิ (Secondary Surveillance Radar) ติดตั้งใช้งานสำหรับติดตามอากาศยาน ตามเส้นทางบิน (Area control) มีรัศมีโดยรอบ 250 ไมล์ทะเล ปัจจุบัน บริษัทฯ มีติดตั้งใช้งานอยู่ ณ ท่าอากาศยานเชียงใหม่ อุบลราชธานี กรุงเทพฯ สุราษฎร์ธานี และแม่ฮ่องสอน

2.15.2 ระบบสื่อสารการเดินอากาศ



รูปที่ 2.27 ระบบสื่อสารการเดินอากาศ

ในการควบคุมจราจรทางอากาศ ระบบสื่อสารการเดินอากาศ เป็นระบบงานหลักที่สำคัญระบบหนึ่ง ทั้งนี้เพราะผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องจะต้องมีการติดต่อ ประสานงานระหว่างกัน ได้แก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาดูงาน มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประสานงานระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ กับศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และการประสานงานระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ กับนักบิน เพื่อทำการแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการบิน เพื่อให้การบิน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดความปลอดภัย สูงสุด ผ่านไปตามคลื่นความถี่วิทยุ คู่สายโทรศัพท์ ดาวเทียม หรือทางระบบใยแก้วนำแสง สามารถแบ่งประเภทได้สองประเภทใหญ่ คือ

2.15.2.1 Ground to Ground Communication

เป็นระบบสื่อสารที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างภาคพื้นดินกับภาคพื้นดิน หรือก็คือเป็นการติดต่อระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศด้วยกันเอง เช่น ติดต่อระหว่างศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศกรุงเทพ กับ หอบังคับการบินต่างๆ ภายในประเทศ และติดต่อกับศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศข้างเคียง ที่มีเขตแดนลงข่าวการบินติดต่อกับประเทศไทย เพื่อประสานงานในการจัดการจราจรทางอากาศหรือแจ้งข่าวและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง การสื่อสารในระบบ Ground to Ground จะสื่อสารโดยผ่านอุปกรณ์ข่ายสื่อสารดังนี้

2.15.2.1.1 Conventional ATS Direct Speech Circuit (ATS DSC) system

เป็นระบบสนับสนุน การสื่อสารด้านเสียง คล้ายคลึงกับระบบโทรศัพท์ ซึ่งใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศกับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ เช่น ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศกรุงเทพกับศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศอื่นๆ

2.15.2.1.2 TCP/IP ATS Inter-Facility Data Communication (AIDC) System

เป็นระบบสนับสนุนการสื่อสารด้านข้อมูล ระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ เพื่อประสานงานและส่งมอบเที่ยวบินภายใต้ความรับผิดชอบ ในขณะนี้ ICAO ได้กำหนดมาตรฐานของระบบ AIDC แล้ว และได้สนับสนุนให้ใช้งานทดแทนระบบ ATS DSC ทั้งนี้ระบบ AIDC ใช้เครือข่าย TCP/IP ในการส่งรับข้อมูล

2.15.2.2 Air to Ground Communication

เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศและนักบิน เพื่อประสานงานในการจัดการจราจรทางอากาศหรือแจ้งข่าวต่าง ๆ ให้กับนักบินทราบ การสื่อสารในระบบ Air to Ground จะสื่อสารโดยผ่านอุปกรณ์ข่ายสื่อสารดังนี้

2.15.2.2.1 VHF/UHF Air-Ground Voice Communication System ระบบนี้

เป็นระบบสนับสนุนการสื่อสารด้านเสียง ผ่านคลื่นวิทยุ VHF/UHF เพื่อการสื่อสารระหว่าง อากาศ-พื้นดิน คือระหว่างหน่วยควบคุมการจราจรทางอากาศกับนักบิน ที่อยู่ภายในรัศมีคลื่นวิทยุ สำหรับการสื่อสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การสื่อสารในเขตประเทศสนามบินใช้อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร (Communication radio) ส่วนการสื่อสารไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงทำการบินตามเส้นทางบิน หรือในพื้นที่ห่างไกล ใช้สถานี RCAG ซึ่งเชื่อมต่อกับศูนย์สื่อสารการบิน ที่ทุ่งมหาเมฆ ผ่านช่องสัญญาณ (Link) ลักษณะ Dedicated-line เพื่อรองรับความพร้อมในการใช้งานได้สูงสุด ดังนั้นระบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีเครือข่ายสื่อสารอื่นรองรับ ทั้งนี้สถานี RCAG ทั้งหมดจะถูกตรวจติดตาม จัดการ และควบคุม โดยระบบ Digital Integrated Communication Signaling and Monitoring (D-ICSM)

2.15.2.2.2 ACARS Controller-Pilot Data Link Communication (CPDLC) System ระบบ CPDLC เป็นระบบสนับสนุนการสื่อสารด้านข้อมูล ใช้เพื่อการสื่อสารระหว่าง อากาศ-พื้นดิน คือ ระหว่าง เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศกับนักบิน ระบบ CPDLC ในปัจจุบันทำงานบนเครือข่าย ACARS (Aircraft Communication and Reporting System) และมีขีดความสามารถดังนี้

- เป็น User interface สำหรับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ ในการจัดเตรียมและส่งข้อความ พร้อมทั้งติดตามผล
- แสดงผลและจัดเก็บข้อความการติดต่อสื่อสาร (Aircraft message history)
- การทำ Message assurance สำหรับการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่าย Data link
- จัดการ AFN advisory สำหรับการ handoff
- ทำ ADS contract management กับอากาศยาน
- ส่ง ACARS free text สำหรับ Non-FANS aircraft

2.15.2.2.3 ACARS Pre-Departure Clearance (PDC) System

ระบบ PDC เป็นระบบสนับสนุนการสื่อสารด้านข้อมูล ใช้เพื่อการสื่อสาร อากาศ-พื้นดินระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ กับนักบิน ในช่วง Pre-Departure ระบบ PDC ในปัจจุบันทำงานบนเครือข่าย ACARS (Aircraft Communication and Reporting System) เช่นเดียวกับระบบ CPDLC และมีขั้นตอนการปฏิบัติประกอบด้วย การแลกเปลี่ยนข่าวสารดังนี้

- Request Clearance Delivery (RCD) : การขอทำการบินของนักบิน
- Clearance Delivery (CLD) : การอนุมัติให้ทำการบินจาก ATC ถึง นักบิน
- Clearance Delivery Acknowledgement (CDA) : การรับทราบการอนุญาตทำการบินจากนักบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.2.3 ระบบช่วยการเดินอากาศ ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศเป็นระบบที่จัดตั้งขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์นำทางให้แก่อากาศยาน ในการเดินทางไปสู่จุดหมายด้วยความปลอดภัย สะดวก และรวดเร็ว โดยระบบดังกล่าวจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับทิศทางการบินระยะทาง ทิศที่ตั้งของสนามบิน และแนวในการร่อนลงสู่สนามบิน เครื่องช่วยการเดินอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

2.15.2.3.1 ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) เป็นเครื่องช่วยที่ทำให้เกิดความปลอดภัยและสะดวกในการทำการบินโดยใช้สายตา

2.15.2.3.2 ประเภทวิทยุช่วยการเดินอากาศ (Air Navigation Radio Aids) เป็นอุปกรณ์วิทยุที่ส่งสัญญาณออกไปเพื่อให้อากาศยานสามารถบินไปยังจุดหมายอย่างถูกต้องแม่นยำและปลอดภัย

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการกล่าวถึงระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามในอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางการบินของโลก ที่อัตราการเจริญเติบโตด้านการขนส่งทางอากาศได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกๆปี และด้วยข้อจำกัดบางอย่างที่ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศในปัจจุบันมีอยู่ทำให้ได้มีการคิดค้นระบบใหม่ขึ้นมา โดยคณะกรรมการพิเศษเกี่ยวกับระบบอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศในอนาคต (FANs) เป็นผู้จัดตั้งระบบขึ้นมาโดยการใช้สัญญาณจากดาวเทียม

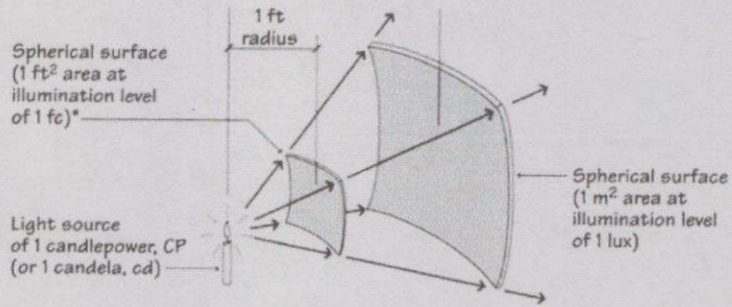
2.15.2.3.3 สัญญาณดาวเทียม (Satellite Aids) ซึ่งถูกเรียกว่า ระบบ GNSS (Global Navigation Satellite Service) ประกอบด้วยอุปกรณ์บนภาคพื้นดินบางอย่างเพื่อวัตถุประสงค์ ในการช่วยให้นักบินสามารถควบคุมอากาศยานไปได้ด้วยความถูกต้อง แม่นยำ สะดวก และประหยัดเช่นเดียวกับระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน แต่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิมมาก [8]

2.16 ความเข้มแสง

ความเข้มแสงคือ ฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบส่วนย่อยส่วนหนึ่งของพื้นผิวนั้นหารด้วยพื้นที่ส่วนย่อยนั้น โดยถ้าพื้นมีหน่วยตารางเมตร ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็น (Lux) แต่ถ้าพื้นที่มีหน่วยเป็นตารางฟุต ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล (Foot Candle ; fc)

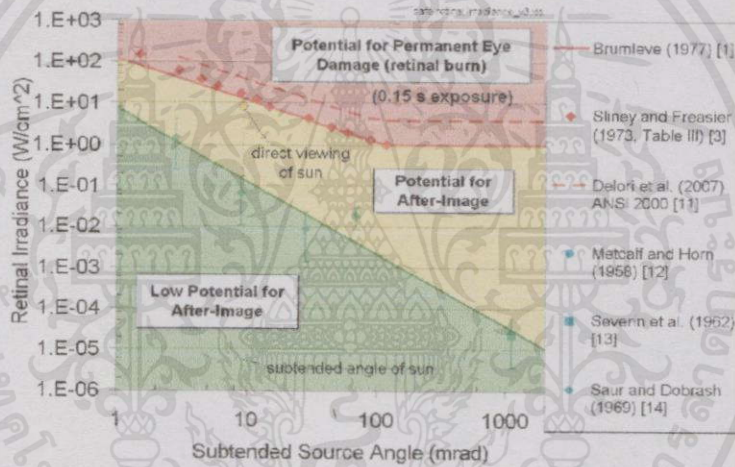
โดยที่ $1 \text{ fc} = 10.764 \text{ lux}$ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 นิยามความเข้มแสง [10]

2.16.1 ระดับความเข้มแสงที่เป็นอันตรายต่อตามนุษย์ ตาของมนุษย์จะได้รับอันตรายจากแสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงและขนาดของแหล่งกำเนิดแสงต่อระยะทางที่สังเกต ซึ่งระดับอันตรายเป็นดังรูปที่ 2.29 [11]



รูปที่ 2.29 ระดับความเข้มของแสงที่ส่งผลต่อตามนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลอง

3.1 บทนำ

จากข้อมูลที่ทำการศึกษามาได้ทำการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัญหาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบินเป็น 2 หัวข้อ คือ ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และด้านวิสัยทัศน์การมองเห็น และอีกหนึ่งหัวข้อที่เพิ่มเติมในบทนี้คือ การออกแบบระบบตรวจวัดแรงดันและความถี่ ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลองเป็นดังนี้

3.2 ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นดิจิทัลใดๆ จะผลิตสัญญาณรบกวนออกมาน้อยมากและเกือบทั้งหมดของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ณ เวลานี้ คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นดิจิทัล ปัญหาที่พบส่วนใหญ่จะเกิดจาก อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ และอินเวอร์เตอร์ (โดยเฉพาะอินเวอร์เตอร์ชนิด Modified sine wave) ส่วนใหญ่อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จจะส่งกำลังไปสู่แบตเตอรี่ในรูปของพัลส์และพัลส์ดิจิทัลกำลังสูงนี้เองเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่แย่ที่สุด

หนึ่งในปัญหาหลักของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คือโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เพราะโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้นต้องทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ามากมายหลายอย่าง que เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าเช่นกัน โดยมีสาเหตุหลากหลายประการ ตั้งแต่การออกแบบโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เพราะไม่ได้มีแต่ปัจจัยประสิทธิภาพเพียงอย่างเดียวที่มีผลต่อการกำหนดการออกแบบโซลาร์อินเวอร์เตอร์ แต่ว่าผู้ผลิตยังคำนึงถึงในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งขัดแย้งกับปัจจัยของประสิทธิภาพและคุณภาพของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เช่นว่า การผลิตโซลาร์อินเวอร์เตอร์แบบไม่มีการใช้หม้อแปลงแยกกราวด์ทำให้เกิด

สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ซึ่งส่งผลให้แรงดันสูงขึ้นและทำให้เกิดการสปาร์กของแรงดันอย่างรวดเร็วด้วยเหตุนี้การทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์จึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าและทำให้เกิดปัญหาตามมาได้ จึงต้องมีการป้องกันหรือลดทอนสัญญาณรบกวนที่

เกิดขึ้นจากโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เพื่อให้โหลดและทุกสิ่งที่อยู่รวมกันอยู่ในระบบไฟฟ้า รวมถึงโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ทำงานร่วมกันได้อย่างไม่ส่งผลซึ่งกันและกัน

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าอาจจะอยู่ในรูปของคลื่นวิทยุ (Radio waves) ซึ่งถูกปล่อยมาจากอุปกรณ์ เรียกว่า (RFI-Radio-Frequency Interference) หรืออยู่ในรูปของสัญญาณที่ไม่สามารถแพร่กระจายได้ เช่น สัญญาณรบกวนตามสายไฟฟ้า ซึ่งเข้ามาจากสายกำลัง (Power line) หรือสายควบคุม (Control line) เรียกว่า EMI-Electromagnetic Interference เกือบทั้งหมดของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีขายอยู่ในปัจจุบันจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด FCC Part B ซึ่งมีการกำหนดค่าสูงสุดของปริมาณของสัญญาณรบกวน(EMI)ที่อุปกรณ์จะสามารถแพร่กระจายออกมา แต่ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ระบบกระแสตรง (DC) และอุปกรณ์ของระบบโซลาร์จะอยู่นอกเหนือข้อกำหนด FCC Part B ซึ่งหมายความว่า อุปกรณ์จะปล่อยสัญญาณรบกวน (EMI) ออกมามากเท่าไรก็ได้ซึ่งไม่ผิดกฎข้อกำหนด ในกรณีของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้า (Grid-tied PV inverter) ใช้มาตรฐาน IEEE 1547, UL 1741, และ FCC Part 15B เป็นแนวทางในการควบคุมฮาร์มอนิกของกระแสขาออก (Output current) และการสร้างสัญญาณรบกวน (EMI) ภายในโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เป็นต้น ซึ่งรับรองว่า โซลาร์อินเวอร์เตอร์จะไม่สร้างสัญญาณรบกวนและฮาร์มอนิกส์ที่มากเกินไปจนถึงขนาดที่จะไปส่งผลกระทบต่อแรงดันกระแสสลับฝั่งโครงข่ายไฟฟ้าได้ [12]

เพราะฉะนั้นสิ่งหนึ่งที่เราควรให้ความสำคัญในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสนามบินอีกประการคือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของระบบการบินหรือไม่ อย่างไรบ้าง จากการศึกษาพบว่ามีสาเหตุหลายประการที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบการบิน อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบสื่อสารที่ทำงานในย่านเรดาร์ อินฟราเรดและย่านความถี่อื่นๆ หรือที่เรียกกันว่าการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าดังที่กล่าวมาข้างต้น

3.2.1 การรบกวนระบบเรดาร์ ผลกระทบต่อการรบกวนระบบเรดาร์คือมีวัตถุเข้าใกล้เสาอากาศหรือมาขวางการส่งสัญญาณเรดาร์จากเสาอากาศไปยังตัวรับ (เครื่องบิน หรือการควบคุมจากระยะไกล) หรือตำแหน่งที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หากอยู่ระหว่างเสาอากาศและตัวรับ อาจทำให้เกิดการรบกวนระบบเรดาร์

3.2.2 การรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้งานในย่านอินฟราเรด ผลกระทบต่อการรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้งานในย่านอินฟราเรด หลังจากช่วงกลางวันที่มีแสงแดดแรงและอุณหภูมิสูง แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะกักเก็บความร้อนไว้จนถึงช่วงเย็นและคายความร้อนออกมา ซึ่งความร้อนที่คายออกมานั้นไปสร้างสัญญาณรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้งานในย่านอินฟราเรดของระบบการบิน [13]

3.2.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC regulation) ของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีความบกพร่องเกิดขึ้นอยู่ ณ ตอนนี เนื่องจากตอนนี้ไม่มีมาตรฐานสำหรับโซลาร์อินเวอร์เตอร์โดยเฉพาะ ในความเป็นจริงไม่มีความชัดเจนหรือไม่มีแบบแผนที่แน่นอนสำหรับการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ในหลายๆครั้งได้มีการจัดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ไว้ในหมวดหมู่เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน (ISM) หรือเป็นส่วนของเทคโนโลยีสารสนเทศ จึงใช้มาตรฐาน EN55014 EN55011หรือ EN55022 ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการผลักดันให้มีการกำหนดมาตรฐานทางด้าน EMC สำหรับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น สร้างมาตรฐานเฉพาะสำหรับ เซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการเชื่อมต่อภายในระบบระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทางด้านผู้ผลิตโซลาร์อินเวอร์เตอร์ก็เห็นพ้องที่จะให้มีการติดเครื่องหมายรับรองความปลอดภัย ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของสหภาพยุโรป (CE mark) สำหรับโซลาร์อินเวอร์เตอร์ โดยให้เหตุผลว่า โซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่ผลิตมานั้นได้ทำการผลิตตามมาตรฐานความปลอดภัยของเครื่องใช้ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60950-1:2003-08 ซึ่งเทียบได้กับ EN 50178:1998-04 การปล่อยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า อยู่ในมาตรฐาน 61000-4-6-3:2002-08 เทียบได้กับ EN 61000-6-4:2008 และ EN 61000-6-4:2002-08 การส่งกำลังไฟฟ้ากลับ (Power feedback) เป็นไปตามมาตรฐาน EN 61000-3-2:2001-12 [14]

3.2.4 ออกแบบการทดลอง

3.2.4.1 สํารวจข้อมูลย่านความถี่ที่ใช้ภายในสนามบิน เช่นย่านความถี่สากลใช้เพื่อกิจกรรมควบคุมจราจรทางอากาศระบบติดตามอากาศยานระบบสื่อสารการบิน เป็นต้น

3.2.4.2 สํารวจผลการทดสอบโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ในด้านการปล่อยสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้ง Harmonics Conducted และ Radiated

3.2.4.3 ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในเชิงความถี่ ว่าอยู่ในช่วงที่ซ้อนทับกันหรือไม่ หากมีการซ้อนทับกัน ก็พิจารณาถึงขนาดว่ามีค่ามากถึงขั้นส่งผลกระทบต่อกันหรือไม่ หากส่งผลกระทบต่อกัน ควรมีมาตรฐานเพิ่มเติมอย่างไรบ้าง

3.3 ด้านการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็น

ทัศนวิสัยการมองเห็นเป็นสิ่งจำเป็นในการปฏิบัติงานหรือทำกิจกรรมต่างๆ ซึ่งในบริเวณที่ติดตั้งแผงโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้น ไม่ควรติดตั้งแผงโซลาร์อินเวอร์เตอร์ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดเงาบังทัศนวิสัยการมองเห็นได้ ผลกระทบจากแสงสะท้อนและแสงจ้า (Glare) ซึ่งเป็นปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อมีแสงตกกระทบผิววัสดุ ซึ่งจะสะท้อนมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่แสงตกกระทบ ซึ่งในที่นี้แสงสะท้อนและแสงจ้าที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการที่แสงตก

กระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะตกกระทบและทำให้เกิดแสงจ้าบริเวณที่เป็นกระจก (Glass) ซึ่งเป็นบริเวณชั้นนอกสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และถ้าหากนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งบนหลังคาอาคารต่างๆภายในสนามบินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อนักบินและผู้ปฏิบัติงานบนหอควบคุมการบิน อาทิเช่น นักบินไม่สามารถคาดเดาระยะที่นำเครื่องบินลงสู่สนามบินได้ หรืออาจจะนำเครื่องบินลงผิดตำแหน่ง ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งในปฏิญานีพจน์นี้ได้ศึกษาผลกระทบทางด้านแสง จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) ซึ่งโปรแกรมนี้จะใช้วิเคราะห์แสงจ้า (ในกรณีที่มีแสงจ้า) และจะบ่งบอกระดับความเข้มของแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตาของมนุษย์

3.3.1 Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) คือ โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ระดับความเข้มของแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตาของมนุษย์ บ่งบอกพลังงานไฟฟ้า (Energy) ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และช่วงเวลาที่มีโอกาสเกิดแสงสะท้อนและแสงจ้า (Glare) โดยสามารถเข้าไปใช้งานได้ Website : www.sandia.gov



รูปที่ 3.1 หน้าจอโปรแกรม Solar Glare Hazard Analysis Tool [15]

3.3.2 การออกแบบการทดลอง

1) ทำการศึกษาหลังคาอาคารในสนามบินที่จะทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตำแหน่งจุดสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำการแบ่งโซนหลังคาเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

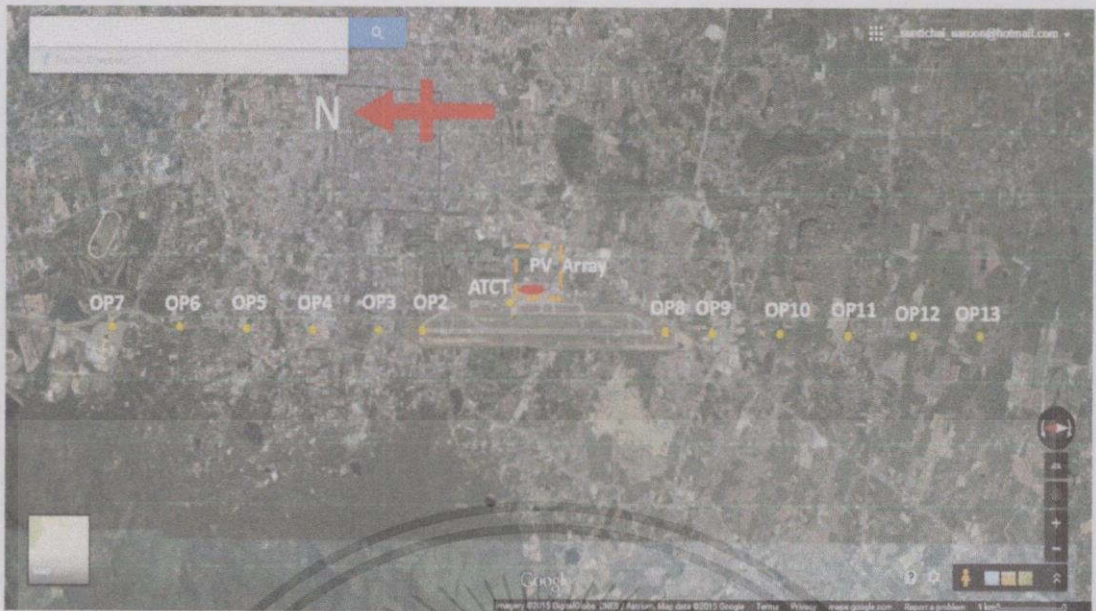


รูปที่ 3.2 อาคารผู้โดยสารภายในประเทศ [16]

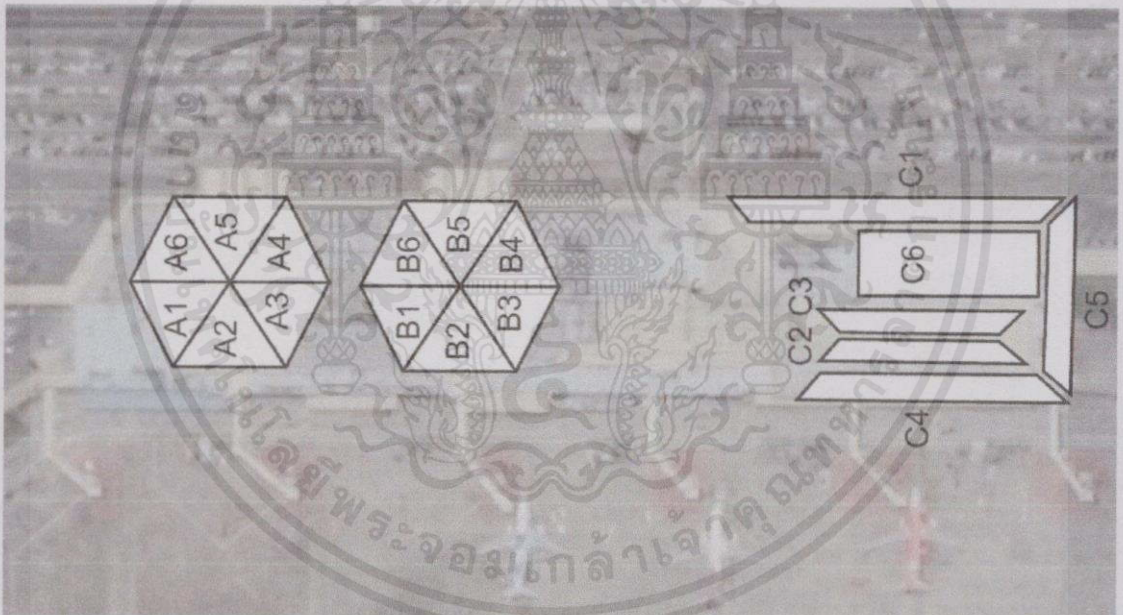


รูปที่ 3.3 อาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งของจุดสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.5 โชนของหลังคาที่ทำการศึกษ

2) ดำเนินการเก็บค่าข้อมูลความสูงของอาคารต่างๆภายในสนามบิน มุมของหลังคา ที่กระทำกับพื้นโลก ได้ดังนี้

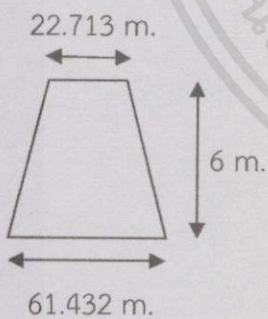
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลความสูงหลังคา มุมของหลังคาที่กระทำกับแนวพื้นโลก พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์[17], [18]

ชื่ออาคาร	ความสูงยอด หลังคาที่นำมา คำนวณ (เมตร)	ความสูงฐาน หลังคาที่นำมา คำนวณ (เมตร)	มุมของหลังคาที่ กระทำกับแนว พื้นโลก (องศา)
อาคารผู้โดยสาร ภายในประเทศ	17.90	10.6	20
อาคารผู้โดยสาร ระหว่างประเทศ			
1 อาคารรอบนอก+ อาคารกลาง	15.45	8.95,15.45	35
2 อาคารยอดสูง	17.90	15.45	

3) ดำเนินการคำนวณค่า Rate Power ของแต่ละโซนและกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่สามารถผลิตได้

ค่า Rate power ของพื้นที่ A1,A2,A3,A4,A5,A6,B1,B2,B3,B4,B5,B6



$$\text{พื้นที่} = \frac{1}{2} \times 19.966 \text{ m} \times (22.713 \text{ m} + 61.432 \text{ m})$$

$$= 840.02 \text{ ตร.ม.}$$

$$\text{คูณลด } 0.8 = 840.02 \times 0.8 = 672.01 \text{ ตร.ม.}$$

$$\text{หาจำนวนแผง} = \frac{672.01}{1.382} = 486.25 \approx 487 \text{ แผง}$$

$$\text{Rate Power } 487 \times 195 \text{ W} = 94.65 \text{ kw} \approx 95 \text{ kW}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละโซน

โซน	ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)
A1	95
A2	95
A3	95
A4	95
A5	95
A6	95
B1	95
B2	95
B3	95
B4	95
B5	95
B6	95
C1	113
C2	27.8
C3	27.8
C4	113
C5	76.64
C6	235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า ขนาดและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

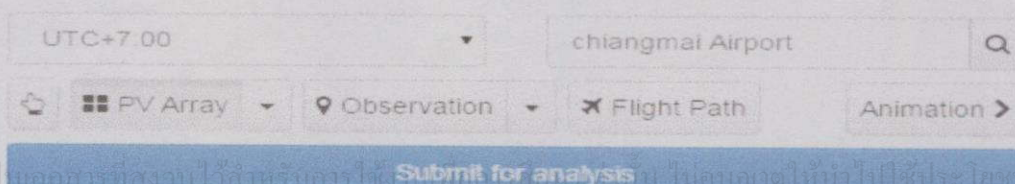
ชื่ออาคาร	พื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)	ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)	จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาติดตั้ง (แผง)	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ (1 แผง = 195 W) (กิโลวัตต์)
อาคารผู้โดยสารภายในประเทศ	8064.12	1.382	5844	1140
อาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศ				
1 อาคารรอบนอก+อาคารกลาง	3808.992	1382	3,044	593.58
2 อาคารยอดสูง	394.56			
รวม		-	8888	1733.58

4) ใช้โปรแกรม Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) วิเคราะห์แสงจ้า

5) ตั้งชื่อ GlareA1A2A3 รายละเอียด A1A2A3 เปลี่ยนหน่วยเป็น meters ค้นหา Chiangmaiairport เลือก Time Zone +7

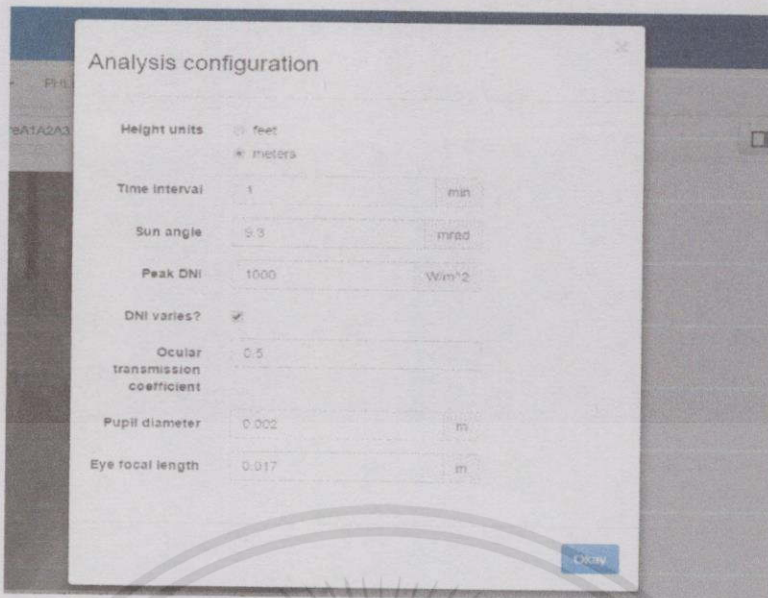


รูปที่ 3.6 การตั้งชื่อโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกราดำเนินการในโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 การตั้ง Time Zone



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนหน่วย

6) เลือกจุดสังเกตที่เป็นหอควบคุมการบินพร้อมทั้งเลือกระยะสังเกตที่ห่างจาก Runway ในแนวราบเป็นระยะทาง 300 เมตร 1000 เมตร 2000 เมตร 3000 เมตร 4000 เมตร และ 5000 เมตร ตามแนวการเคลื่อนที่ของเครื่องบินโดยพิจารณาการ Landing ของเครื่องบินทางด้านทิศเหนือของสนามบิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 3.9 การเลือกจุดสังเกต** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$7) \text{ คำนวณระยะความสูงของเครื่องบิน จาก } \tan 3 = \frac{H}{X}$$

H = ระดับความสูงของเครื่องบิน

X = ระยะทางในแนวราบก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way

หมายเลข ATCT คือ จุดสังเกตจากหอคอยควบคุมการบินซึ่งมีความสูงเท่ากับ 21 เมตร

หมายเลข 2 คือจุดสังเกตของนักบินก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way มีระยะทางในแนวราบ 300 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงเท่ากับ

$$H = X \tan 3 = 300 \times 0.0524 = 15.72 \text{ เมตร}$$

หมายเลข 3 คือจุดสังเกตของนักบินก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way มีระยะทางในแนวราบ 1,000 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงเท่ากับ

$$H = X \tan 3 = 1000 \times 0.0524 = 52.41 \text{ เมตร}$$

หมายเลข 4 คือ จุดสังเกตของนักบินก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way มีระยะทางในแนวราบ 2,000 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงเท่ากับ

$$H = X \tan 3 = 2000 \times 0.0524 = 104.82 \text{ เมตร}$$

หมายเลข 5 คือ จุดสังเกตของนักบินก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way มีระยะทางในแนวราบ 3,000 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงเท่ากับ

$$H = X \tan 3 = 3000 \times 0.0524 = 157.22 \text{ เมตร}$$

หมายเลข 6 คือ จุดสังเกตของนักบินก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way มีระยะทางในแนวราบ 4,000 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงเท่ากับ

$$H = X \tan 3 = 4000 \times 0.0524 = 209.63 \text{ เมตร}$$

หมายเลข 7 คือ จุดสังเกตของนักบินก่อนนำเครื่องบินลงสู่ Run way มีระยะทางในแนวราบ 5,000 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงเท่ากับ

$$H = X \tan 3 = 5000 \times 0.0524 = 262.04 \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) กรอกข้อมูลความสูงของเครื่องบินที่ระยะต่างๆ

Name ATCT Eye-level height above ground = 21

Name 2 Eye-level height above ground = 15.72

Name 3 Eye-level height above ground = 52.41

Name 4 Eye-level height above ground = 104.82

Name 5 Eye-level height above ground = 157.22

Name 6 Eye-level height above ground = 209.63

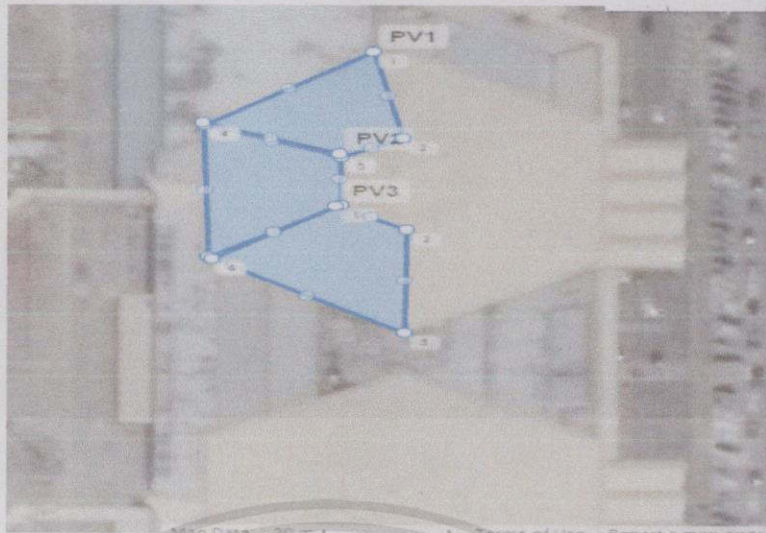
Name 7 Eye-level height above ground = 262.04

Solo Observation Point(s)				
name	latitude deg	longitude deg	ground elevation m	Eye- level height above ground m
2	18.72356	98.96282	315.327	15.72
3	18.76753	98.96366	349.95	52.41
4	18.76437	98.96248	623.738	104.82
5	18.82154	98.96226	626	157.22
6	18.83243	98.96324	826.441	209.63
7	18.81499	98.96205	329.706	262.04
ATCT	18.77179	98.96648	310.753	21

รูปที่ 3.10 การกรอกความสูงของเครื่องบิน

9) เลือกพื้นที่ A1 A2 A3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การเลือกพื้นที่ A1A2A3

10) กรอกข้อมูลแผง PV Array 1

Array name : PV Array 1, Axis tracking : None, Panel title : 20, Orientation : 320
 Rated Power : 95 kW, Module surface material : Smooth glass with ARC
 Reflectivity : 0.019, Slope error : 8.43

PV Array

Array name

PV array 1

Description

Axis tracking

None

Module surface material

Smooth glass with ARC

Panel tilt

20

deg

Reflectivity varies with incidence angle ([view data](#))

Orientation ([Calculate declination](#))

320

deg

Reflectivity

0.019

Rated power

95

kW

Correlate slope error to module surface type ([view data](#))

Slope error

8.43

mrad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 การกรอกข้อมูลแผง PV Array 1

ค่า Reflectivity และค่า Slope error เป็นค่าจำเพาะของวัสดุที่นำมาใช้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถดูได้จาก View data

Module surface reflectivity as function of incidence angle

Angle (deg)	Smooth glass without anti-reflective coating	Smooth glass with anti-reflective coating	Light textured glass without anti-reflective coating	Light textured glass with anti-reflective coating	Deeply textured glass
0	0.0441	0.0324	0.0431	0.0390	0.0210
10	0.0357	0.0242	0.0333	0.0301	0.0152
20	0.0297	0.0190	0.0266	0.0240	0.0107
30	0.0262	0.0167	0.0229	0.0208	0.0076
40	0.0250	0.0174	0.0223	0.0204	0.0059
50	0.0262	0.0210	0.0247	0.0229	0.0056
60	0.0296	0.0276	0.0302	0.0281	0.0066
70	0.0789	0.0744	0.0776	0.0736	0.0143
80	0.2186	0.2128	0.2067	0.1994	0.0330
90	0.6052	0.6086	0.5866	0.5388	0.0760

รูปที่ 3.13 ค่า Reflectivity

11) กรอกค่าความสูงแผง PV Array 1

กรอก id1 : 10.6 m. กรอก id2 : 17.9m กรอก id3 : 17.9 m กรอก id4 : 10.6 m

Vertices click to expand/collapse

id	Latitude deg	Longitude deg	Ground Elevation m	Height above ground m	Total elevation m
1	18.77036	98.96811	309.692	10.6	320.292
2	18.77021	98.96891	310.263	17.9	328.163
3	18.77017	98.96801	310.147	17.9	328.047
4	18.77024	98.96793	309.543	10.6	320.148

รูปที่ 3.14 การกรอกค่าความสูงแผง PV Array 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) กรอกข้อมูลแผง PV Array 2

Array name : PV Array 2 Axis tracking : None Panel tilt : 20 Orientation : 270

Rated Power : 95 kW , Module surface material : Smooth glass with ARC

Reflectivity : 0.019 Slope error : 8.43

PV Array

Array name
PV array 2

Description

Axis tracking
None

Module surface material
Smooth glass with ARC

Panel tilt
20 deg

Orientation (Calculate declination)
270 deg

Rated power
95 kW

Reflectivity
0.019

Slope error
8.43 mrad

รูปที่ 3.15 การกรอกข้อมูล PV Array 2

13) กรอกข้อมูลความสูงแผง PV Array 2

กรอก id1 : 10.6 m กรอก id2 : 17.9 m กรอก id3 : 17.9 m กรอก id4 : 10.6 m

Vertices click to expand/collapse

id	Latitude	Longitude	Ground Elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
1	18.77024	98.96783	309.548	10.6	320.148
2	18.77015	98.96802	310.201	17.9	328.101
3	18.77006	98.96802	310.326	17.9	328.226
4	18.76994	98.96782	309.767	10.6	320.367

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 การกรอกข้อมูลความสูงแผง PV Array 2

14) กรอกข้อมูลแผง PV Array 3

Array name :PV Array 3 Axis tracking : None Panel title : 20 Orientation : 220

Rated Power : 95 kW Module surface material : Smooth glass with ARC

Reflectivity : 0.019 Slope error : 8.43

PV Array

Array name
PV array 3

Description

Axis tracking
None

Module surface material
Smooth glass without ARC

Panel tilt
20 deg

Orientation (Calculate reflectivity)
220 deg

Rated power
95 kW

Reflectivity
0.019

Slope error
8.43 mrad

รูปที่ 3.17 การกรอกข้อมูลแผง PV Array 3

15) กรอกข้อมูลความสูงแผง PV Array 3

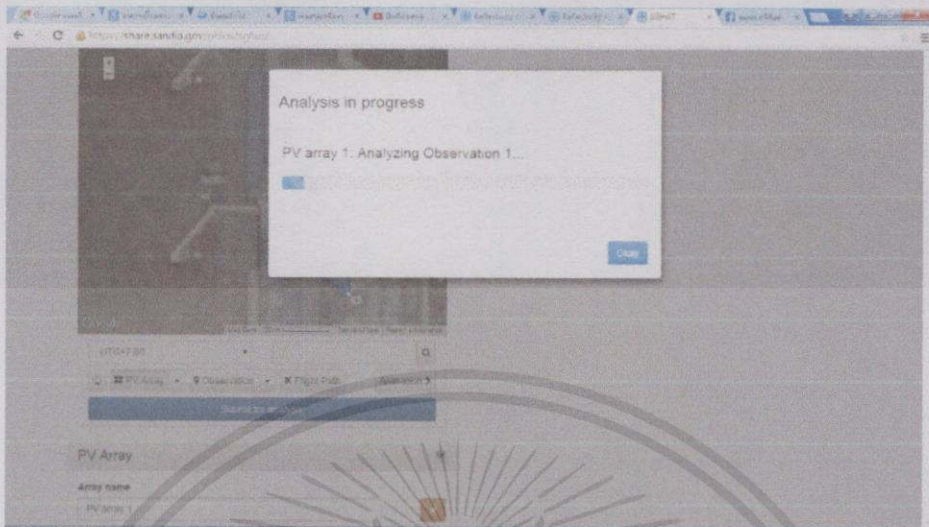
กรอก id1 : 10.6 m กรอก id2 : 17.9 m กรอก id3 : 17.9 m กรอก id4 : 10.6 m

id	Latitude deg	Longitude deg	Ground Elevation m	Height above ground m	Total elevation m
1	18.76994	98.96783	309.801	10.6	320.401
2	18.77005	98.96801	310.304	17.9	328.204
3	18.78999	98.96821	310.648	17.9	328.548
4	18.76976	98.96811	310.934	10.6	321.534

รูปที่ 3.18 การกรอกข้อมูลความสูงแผง PV Array 3

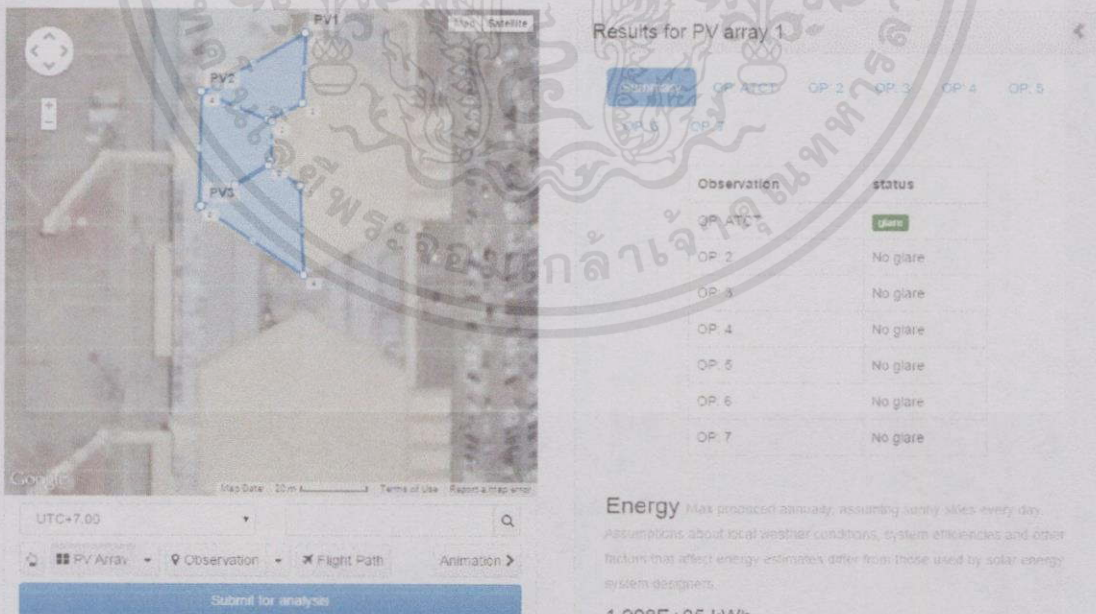
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารสื่อเท่านั้น ไม่ควรเอาไปให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16) กดปุ่ม Submit for Analysis



รูปที่ 3.19 Submit for Analysis

17) จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีและสถานการณ์เกิดแสงจ้า จากรูปภาพการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ตำแหน่ง A1 A2 A3 ซึ่งบริเวณตำแหน่ง A1 เกิดแสงจ้า ที่มีผลต่อจุดสังเกต OP ATCT ซึ่งเป็นตำแหน่งของหอคอยควบคุมการบิน



รูปที่ 3.20 ผลการวิเคราะห์ PV array 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Results for PV array 2

Summary OP-ATCT OP-2 OP-3 OP-4 OP-5
OP-6 OP-7

Observation	status
OP-ATCT	No glare
OP-2	No glare
OP-3	No glare
OP-4	No glare
OP-5	No glare
OP-6	No glare
OP-7	No glare

Energy Max produced annually, assuming sunny skies every day. Assumptions about local weather conditions, system efficiencies and other factors that affect energy estimates differ from those used by solar energy system designers.

2.107E+05 kWh

รูปที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ PV array 2

Results for PV array 3

Summary OP-ATCT OP-2 OP-3 OP-4 OP-5
OP-6 OP-7

Observation	status
OP-ATCT	No glare
OP-2	No glare
OP-3	No glare
OP-4	No glare
OP-5	No glare
OP-6	No glare
OP-7	No glare

Energy Max produced annually, assuming sunny skies every day. Assumptions about local weather conditions, system efficiencies and other factors that affect energy estimates differ from those used by solar energy system designers.

2.257E+05 kWh

รูปที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์ PV array 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18) ทำตามขั้นตอนที่ 1) – 17) โดยเปลี่ยนพื้นที่ที่ศึกษาและตำแหน่งจุดสังเกตและนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

3.4 การออกแบบระบบตรวจวัดแรงดันและความถี่

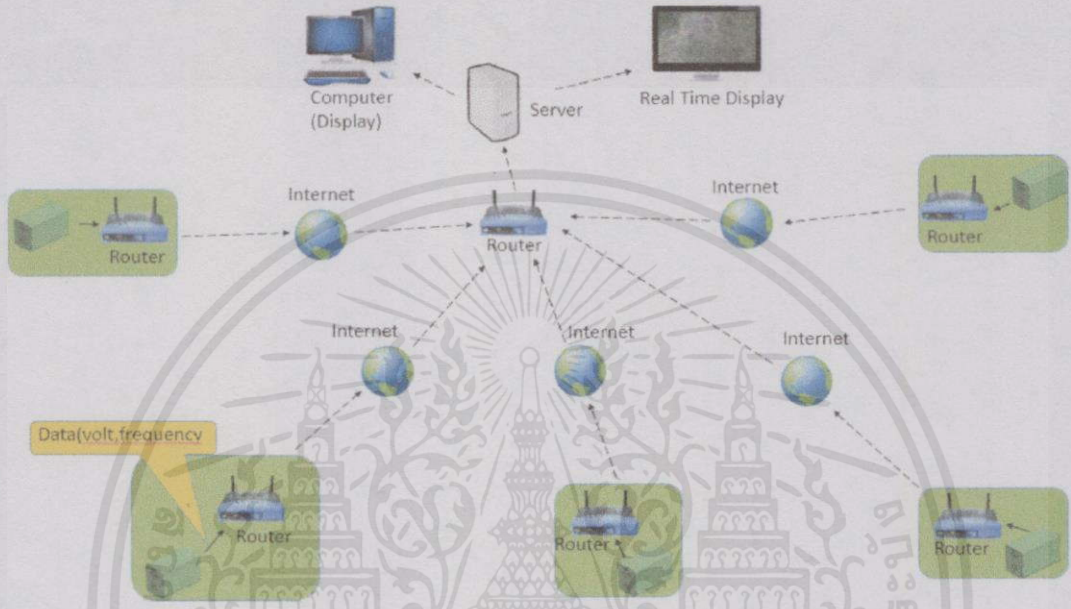
จากปัญหาเรื่องแรงดันเกิน เนื่องจากกำลังไหลไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าระบบไฟฟ้า กรณีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตในระบบมีมากกว่าโหลด ซึ่งในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเกิดปัญหานี้ได้ในตอนกลางวัน เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีกำลังผลิตสูงประกอบกับการใช้โหลดในตอนกลางวันมีการใช้น้อย ซึ่งจะทำให้โอกาสเกิดแรงดันเกินสูง ดังนั้นจึงควรมีอุปกรณ์บางอย่างที่สามารถตรวจสอบปัญหาที่จะเกิดขึ้นจริงได้ ก็คือตรวจจับแรงดันในสายส่งหรือสายป้อนเดียวกับกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปริญญาณิพนธ์เล่มนี้ศึกษาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสนามบิน กรณีศึกษาที่สนามบินเชียงใหม่ หากมีอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไปติดตั้งก็จะทำให้สามารถบอกค่าแรงดันนั้นๆได้ว่าเกินหรือต่ำกว่าปกติเพียงใด ซึ่งแสดงออกมาทางหน้าจอแสดงผลปริญญาณิพนธ์เล่มนี้จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ภายในสถานที่ต่างๆในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4.1 ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ แนวคิดการออกแบบตัวอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่คือ เมื่อได้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่แล้ว จะนำไปติดตั้งบริเวณที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อตรวจสอบแรงดันตามจุดต่างๆ (ตามสายป้อนเดียวกับที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้) เพื่อจะได้ข้อมูลแรงดันตามจุดต่างๆ ส่งไปบันทึกและแสดงผลข้อมูลต่อไป



รูปที่ 3.23 ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

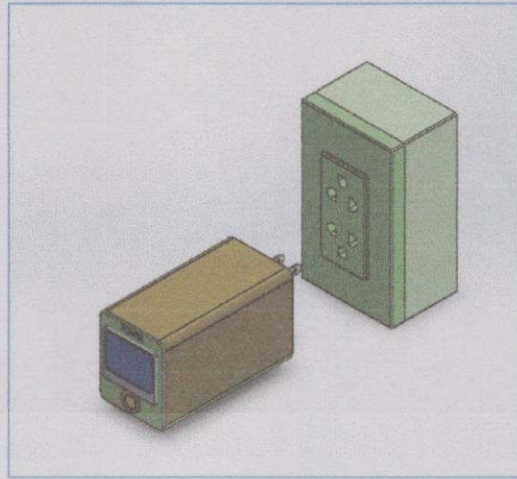
ดังรูปที่ 3.23 แสดงตำแหน่งต่างๆ ในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ เพื่อที่ตรวจวัดข้อมูลแรงดันและความถี่แล้วส่งไปยังฐานข้อมูลในที่นี้จะศึกษาที่สนามบินเชียงใหม่ โดยการติดตั้งจริงต้องนำอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ไปติดตั้งตามแนวสายส่งหรือสายป้อนเดียว กลับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจะได้ค่าแรงดันที่ได้รับผลกระทบจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงๆ



รูปที่ 3.24 ไดอะแกรมการสื่อสารของระบบ VFRD

รูปที่ 3.24 ไดอะแกรมการสื่อสารของระบบ VFRD การสื่อสารของระบบตรวจวัดแรงดันและความถี่ว่าการรับส่งข้อมูลของตัวอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่กับฐานข้อมูลเป็นอย่างไร โดยในรูปอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่จะส่งข้อมูลแรงดันและความถี่ไปที่ Router แล้ว Router จะส่งข้อมูลไปยัง Router อีกตัวที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลแล้วมีโปรแกรมจัดการเก็บข้อมูลแรงดันและความถี่ลงฐานข้อมูล และนำมาแสดงผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



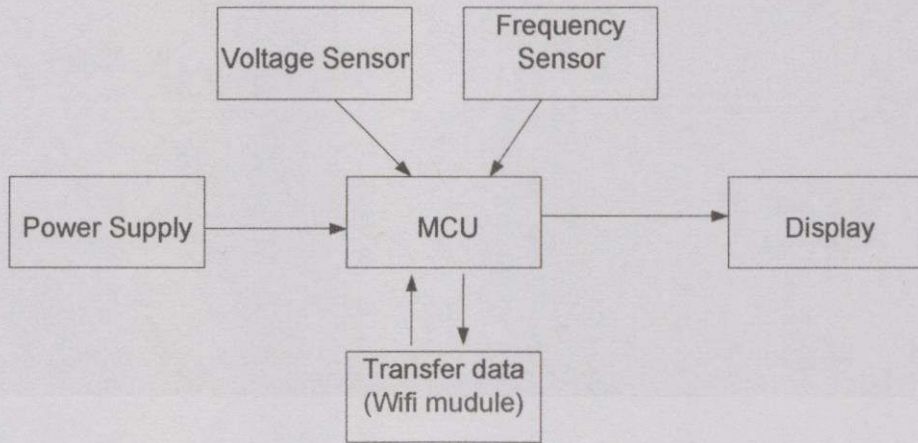
รูปที่ 3.25 รูปทรงและการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

จากรูปที่ 3.25 การใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่การติดตั้งตัวอุปกรณ์ ไม่มีความซับซ้อนคือการไปเสียบที่เด้ารับของตำแหน่งที่ต้องการจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแล้วอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่จะทำการเชื่อมต่อกับ Router เพื่อส่งข้อมูลต่อไปให้ฐานข้อมูล

3.4.1.1 ออกแบบวงจรอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ การออกแบบวงจรไฟฟ้าการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่นั้นคือการอ่านระดับแรงดันและความถี่มาประมวลผลแล้วส่งข้อมูลแสดงที่หน้าจอบนอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่และสามารถส่งข้อมูลออกได้หากมีการขอรับข้อมูลจากภายนอกเพื่อนำไปเก็บในฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.24 แสดงส่วนประกอบวงจรอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ที่จะออกแบบ ส่วนหลักๆ คือ ส่วนตรวจจับแรงดันและความถี่ ก็คือ Voltage sensor และ Frequency sensor แล้วส่งข้อมูลไปประมวลผลที่ MCU (Micro Controller Unit) แล้วส่งข้อมูลที่วิเคราะห์ไปแสดงผลที่จอแสดงผลและเมื่อมีอุปกรณ์มาขอข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ก็จะส่งข้อมูลไปทาง Wifi ได้ด้วย และส่วนที่ขาดไม่ได้คือส่วนไฟเลี้ยงโดยรับไฟฟ้ามาจากการนำตัวอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ไปเสียบกับเด้ารับ ดังที่กล่าวมาสามารถเขียนอธิบายเป็น Blog diagram ดังรูปที่

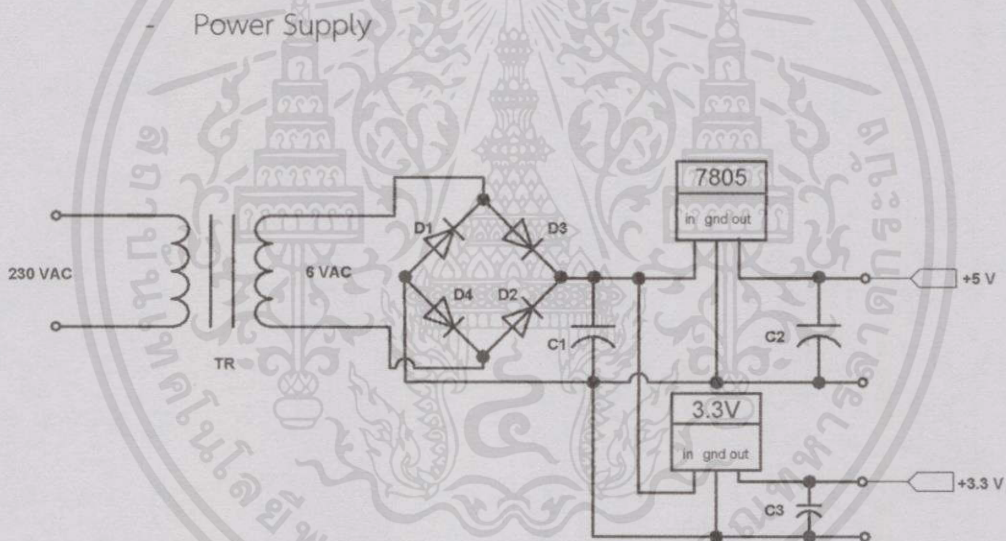
3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ส่วนประกอบวงจรอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

จาก Block diagram รูปที่ 3.26 นำมาออกแบบวงจรแต่ละส่วนได้ 6 ส่วน

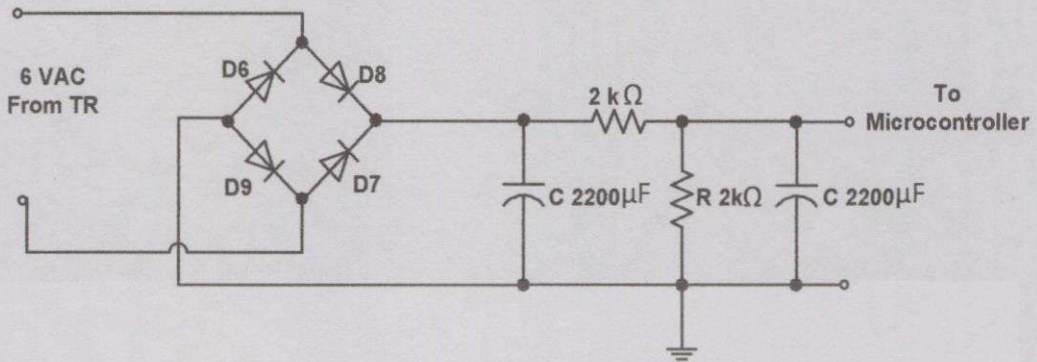


รูปที่ 3.27 วงจร Power supply

วงจร Power Supply นั้นจะรับไฟฟ้าจากเต้ารับไฟฟ้า ที่ประมาณ 230 โวลต์แล้วผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า Step down ลงมา 6 โวลต์ ผ่านวงจร Rectifier เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ตัวเก็บประจุเพื่อให้ไฟฟ้ากระแสตรงเรียบ จากนั้นผ่าน Regulator 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ และต่อตัวเก็บประจุเพื่อให้เรียบอีกที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

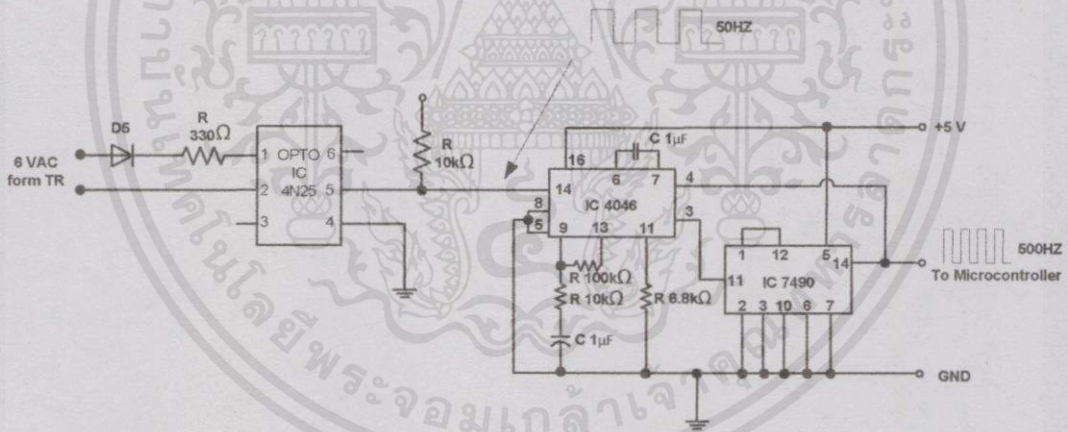
- Voltage sensor



รูปที่ 3.28 วงจร Voltage sensor

วงจร Voltage sensor นั้นจะรับไฟฟ้ากระแสสลับมาจากหม้อแปลงแล้ว ผ่านวงจร Rectifier เพื่อให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วผ่านวงจรแบ่งแรงดันและนำไปเข้าส่วนประมวลผล

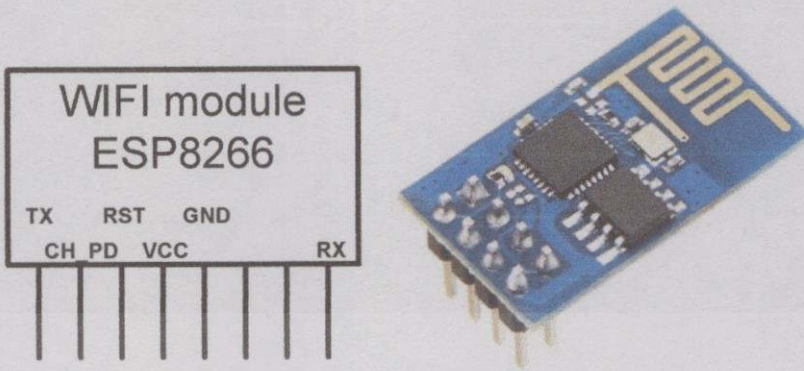
- Frequency sensor



รูปที่ 3.29 วงจร Frequency sensor

วงจร Frequency sensor มีการทำงานคือรับไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงแล้ว ผ่านไดโอด เป็น Half-bridge rectifier แล้วผ่านความต้านทานเพื่อจำกัดแรงดันเข้า OPTO 4N25 เพื่อทำให้ได้สัญญาณ pulse ขนาดความถี่เท่ากับสัญญาณที่รับเข้ามา ที่ขนาดยอตกสั้น 5 โวลต์ แล้วส่งต่อวงจรคูณความถี่ 10 เท่า เพื่อให้ได้ความถี่ที่มีความละเอียดมากขึ้นแล้วส่งสัญญาณที่ได้ไปยังระบบประมวลผลต่อไป

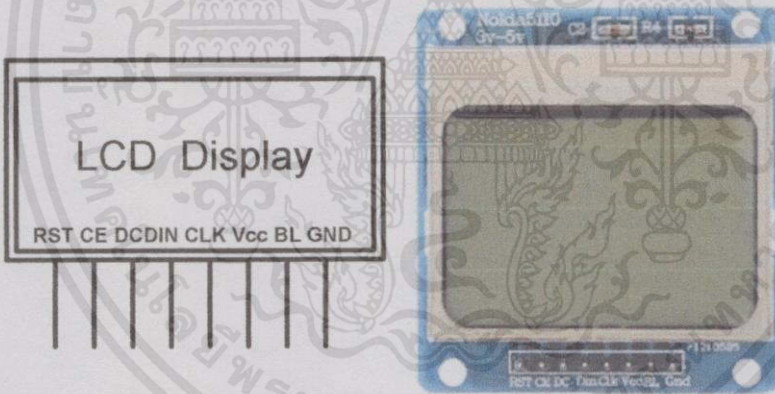
- Wifi Module



รูปที่ 3.30 Wifimodule [19]

Wifi Module ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ตรวจวัดได้ ระหว่างตัวอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่กับระบบฐานข้อมูล ในที่นี้ใช้ เป็น Wifi Module เบอร์ ESP8266

- Display

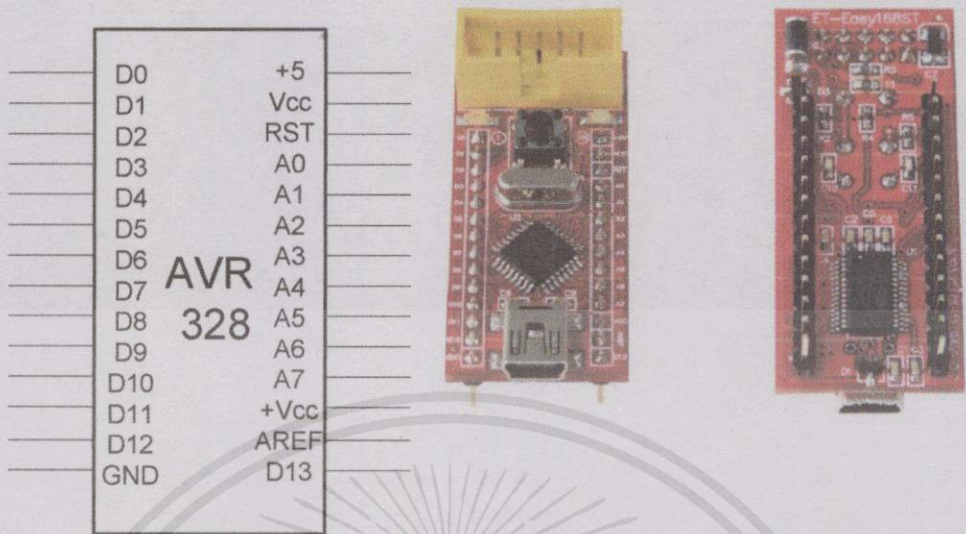


รูปที่ 3.31 LCD display[20]

เป็นจอแสดงผลค่าแรงดันและความถี่ที่อุปกรณ์ตรวจจับแรงดัน และความถี่ตรวจจับได้ ให้ปรากฏให้เห็นที่จุดติดตั้งในที่นี้ใช้ จอ Nokia 5110 ในการแสดงผล

- MCU (Micro Controller Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 ชนิดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ [21]

ส่วน MCU คือส่วนประมวลผลค่าต่างๆ อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่นี้เลือกใช้ ET-EASY328 STAMP ชุดพัฒนาใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ที่สามารถพัฒนาเขียนโปรแกรมเข้าทาง PORT USB ได้โดยตรง สะดวก ประหยัด

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของ Microcontroller

ข้อมูลของ	รายละเอียด
ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5V
ไฟเข้า(แนะนำ)	7-12V
ไฟเข้า (จำกัดไว้ที่)	6-20V
ขาดิจิตอล	ดิจิตอล I/O14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM)

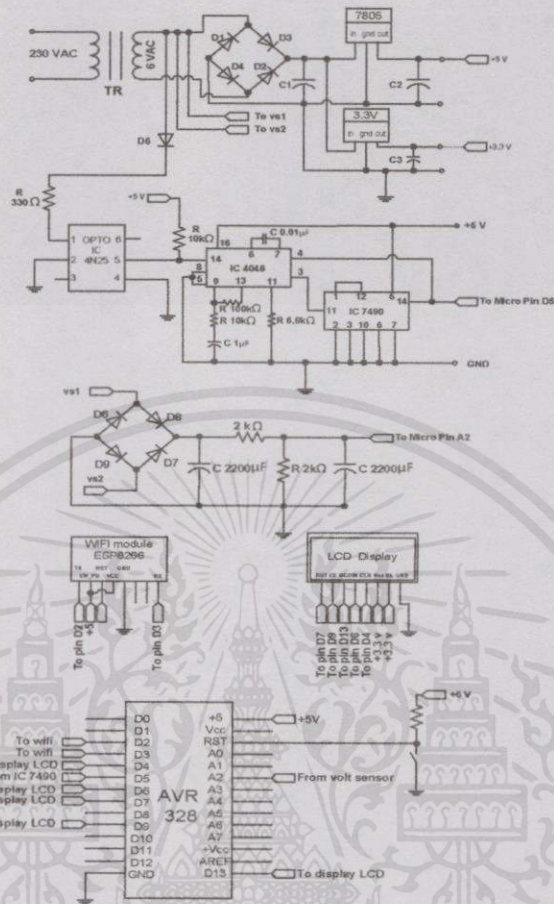
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของ Microcontroller (ต่อ)

ข้อมูลของ	รายละเอียด
ขาอะนาล็อกอินพุต	6 ขา
กระแสไฟฟ้า DC ต่อขา I/O 40 mA	40 mA
กระแสไฟฟ้าออก DC สำหรับขา 3.3V50 mA	3.3V50 mA
Flash Memory 32 KB (ATmega328)	32 KB (ATmega328)
SRAM 2 KB (ATmega328)	2 KB (ATmega328)
EEPROM 1 KB (ATmega328)	1 KB (ATmega328)
Clock Speed 16 MHz	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

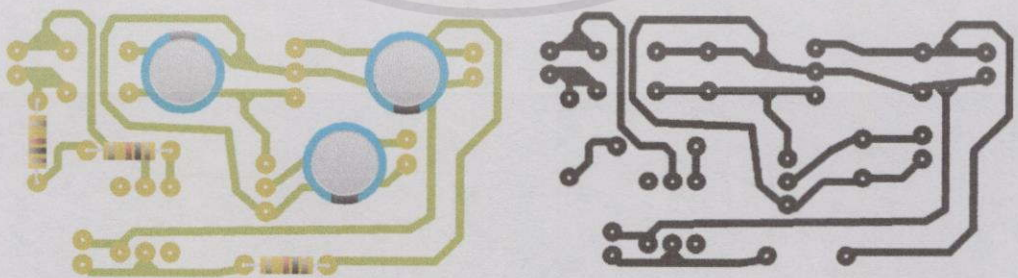
- วงจร Schemetic รวม



รูปที่ 3.33 วงจรรวมทั้งตัวอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่

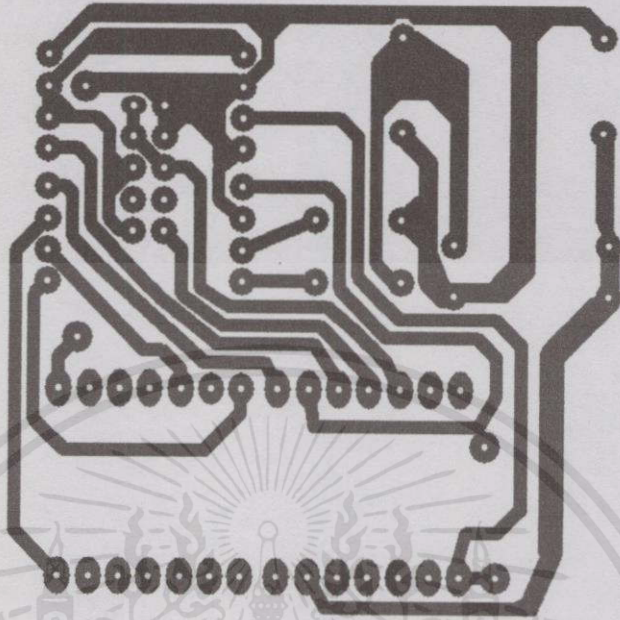
3.4.1.2 การออกแบบแผ่นPCB และ วงจรจริง

- Power Supply

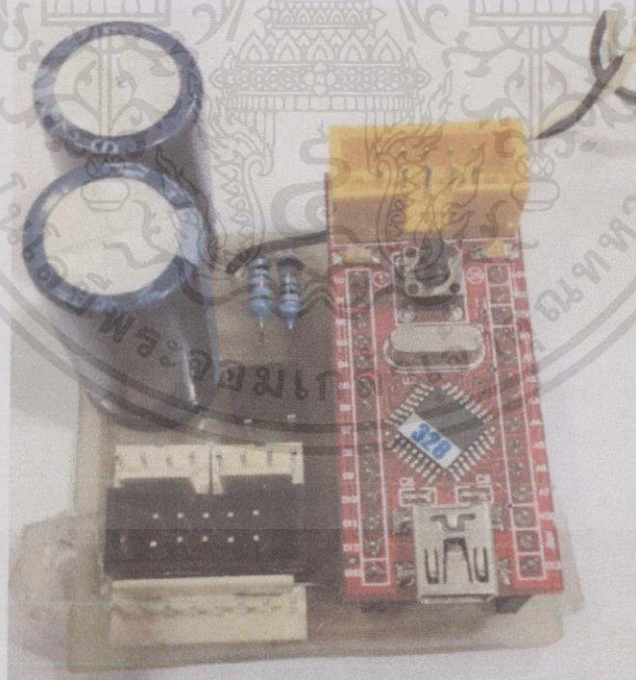


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.34 สายพิมพ์วงจรไฟเลี้ยง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- MCU&Voltage sensor

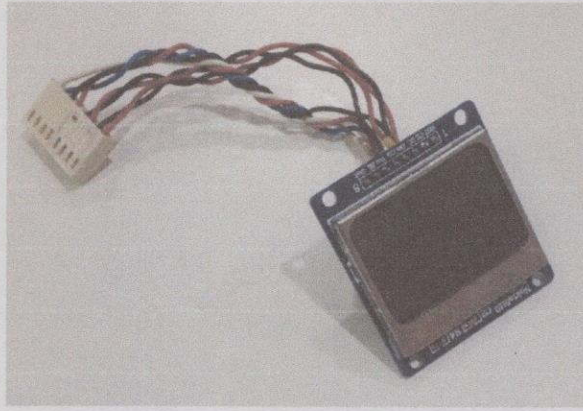


รูปที่ 3.38 สายพิมพ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร Voltage sensor

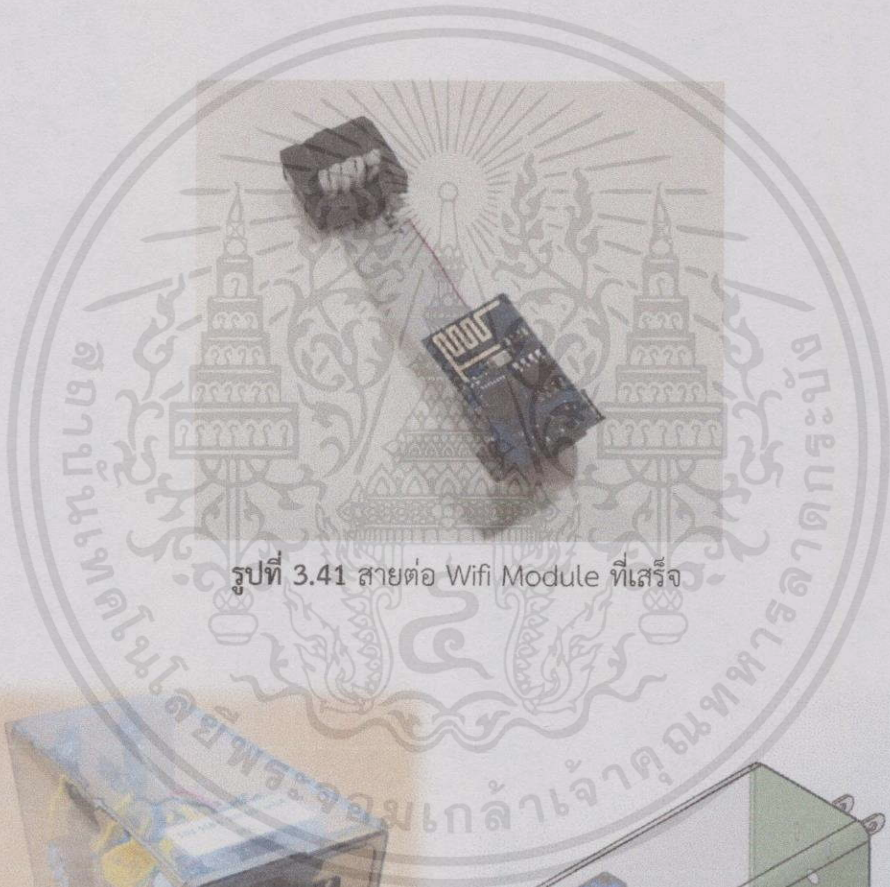


รูปที่ 3.39 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร Voltage sensor ที่เสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 สายต่อจอ Nokia 5110 ที่เสร็จ



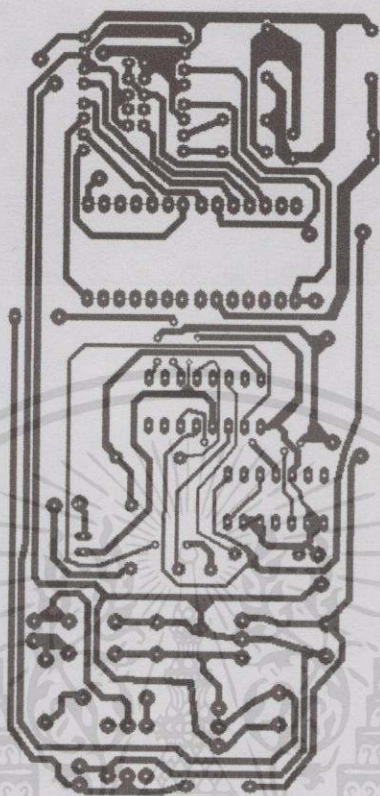
รูปที่ 3.41 สายต่อ Wifi Module ที่เสร็จ



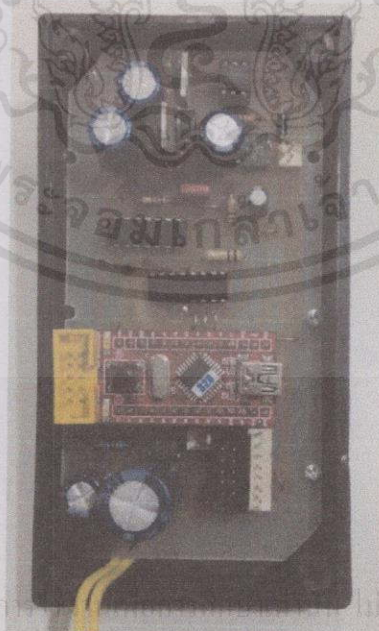
รูปที่ 3.42 อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ที่ออกแบบไว้ โดยใช้โปรแกรม Solid work และ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

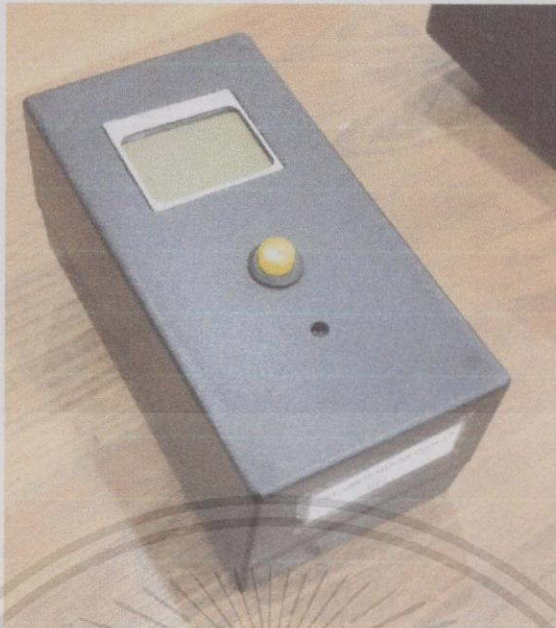
ได้มีการทำอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่เพิ่มอีก 2 ตัวเพื่อการตรวจจับอีก 2 ตำแหน่งการติดตั้ง



รูปที่ 3.43 สายพิมพ์วงจรอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่รวมทุกส่วนเข้าด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่รูปที่ 3.44 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จ (ภายใน) ครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.45 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จ (ภายนอก)



รูปที่ 3.46 อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและความถี่ที่เสร็จทั้ง 3 ตัว

รายละเอียดอุปกรณ์

ตัวที่ 1 มีเลข IP เท่ากับ 192.168.0.107 port 55

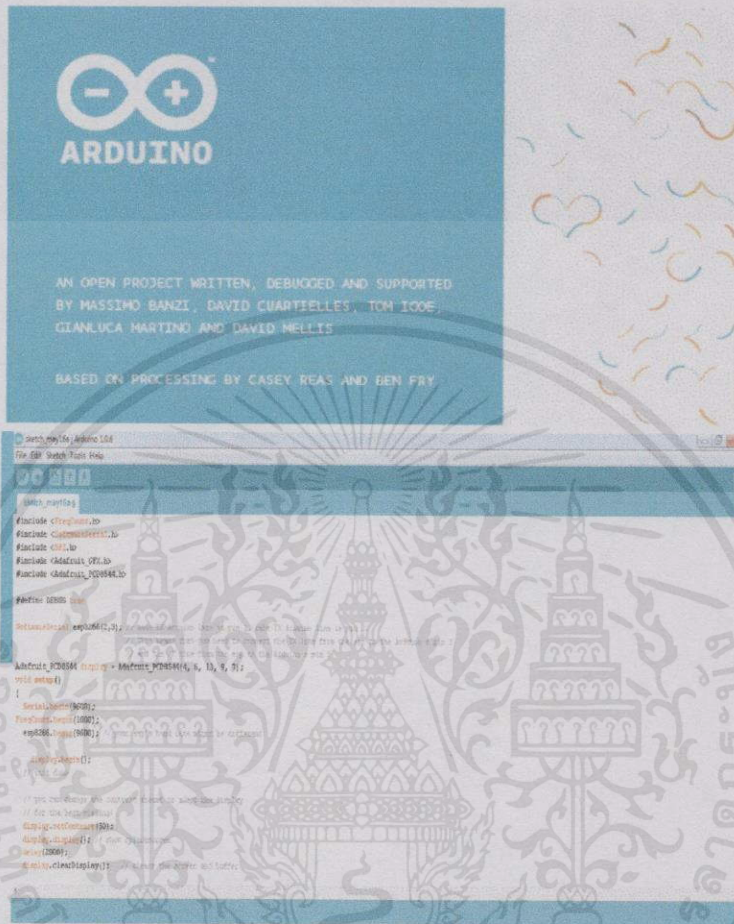
ตัวที่ 2 มีเลข IP เท่ากับ 192.168.0.103 port 65

เอกสารตัวที่ 3 มีเลข IP เท่ากับ 192.168.0.100 port 75

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 โปรแกรมที่ใช้ในการเขียน Microcontroller

โปรแกรมที่เลือกใช้เขียน Microcontroller คือ ARDUINO โดยภาษาที่ใช้คือ ภาษาซี



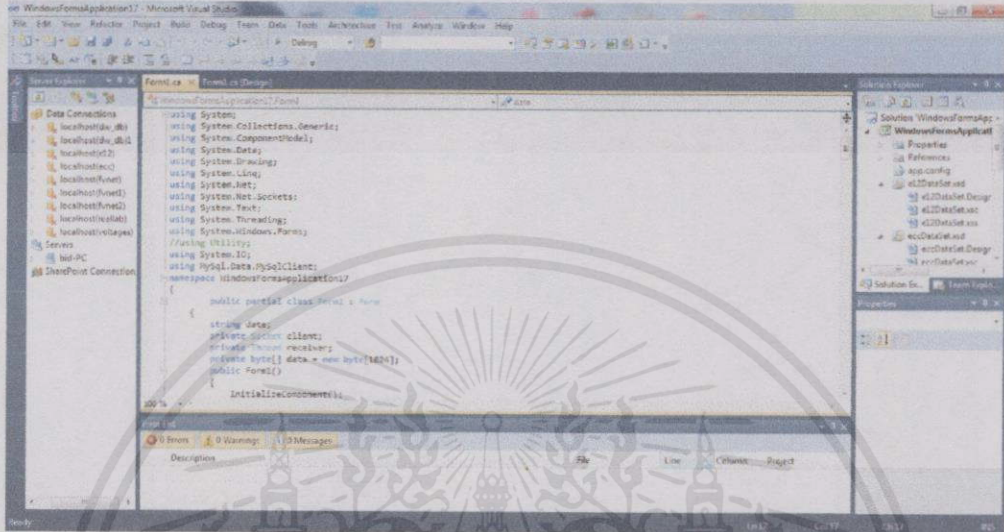
รูปที่ 3.47 โปรแกรม ARDUINO ที่ใช้เขียนคำสั่งลง Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

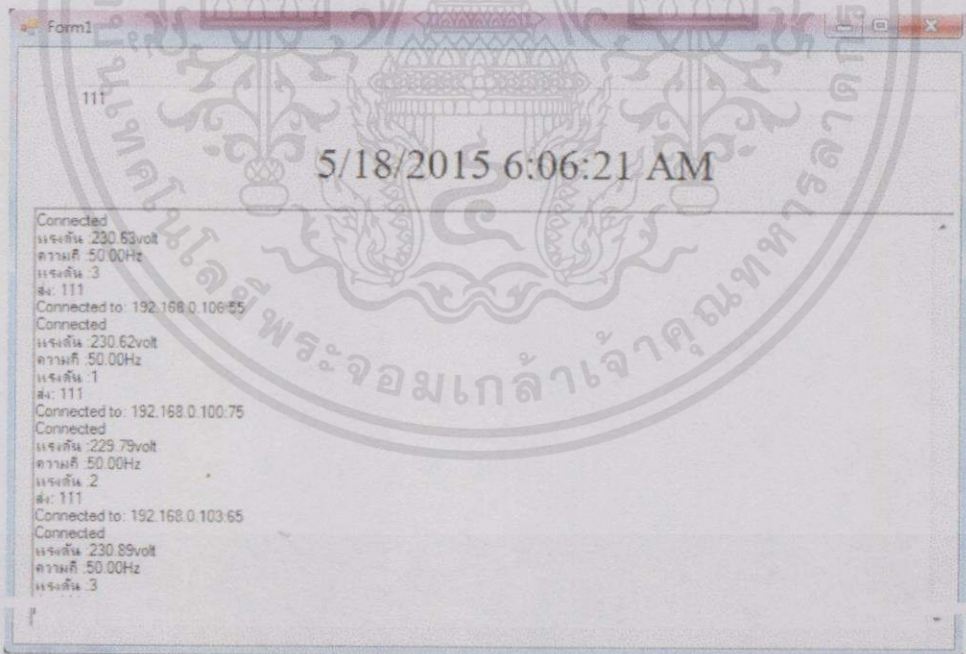
3.4.1.4 โปรแกรมในการเขียนรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

โปรแกรมที่เลือกใช้ในการเขียนรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่คือ

Visual studio โดยภาษาที่ใช้เขียนคือ ภาษา C#



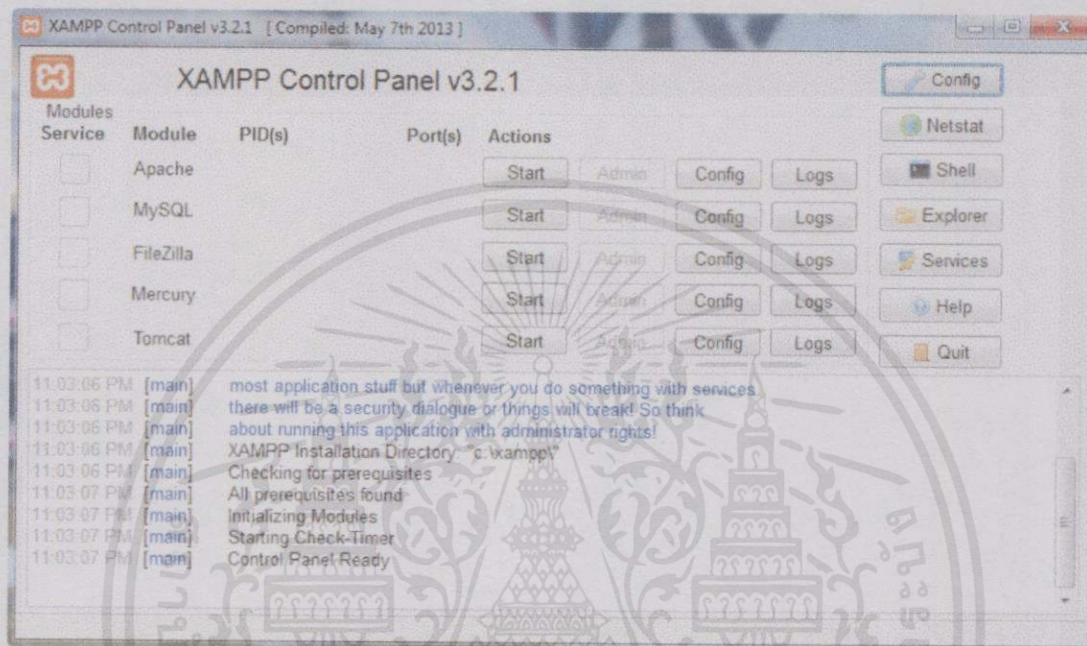
รูปที่ 3.48 โปรแกรม Visual studio ที่ใช้เขียนรับข้อมูลจาก Microcontroller



รูปที่ 3.49 การรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

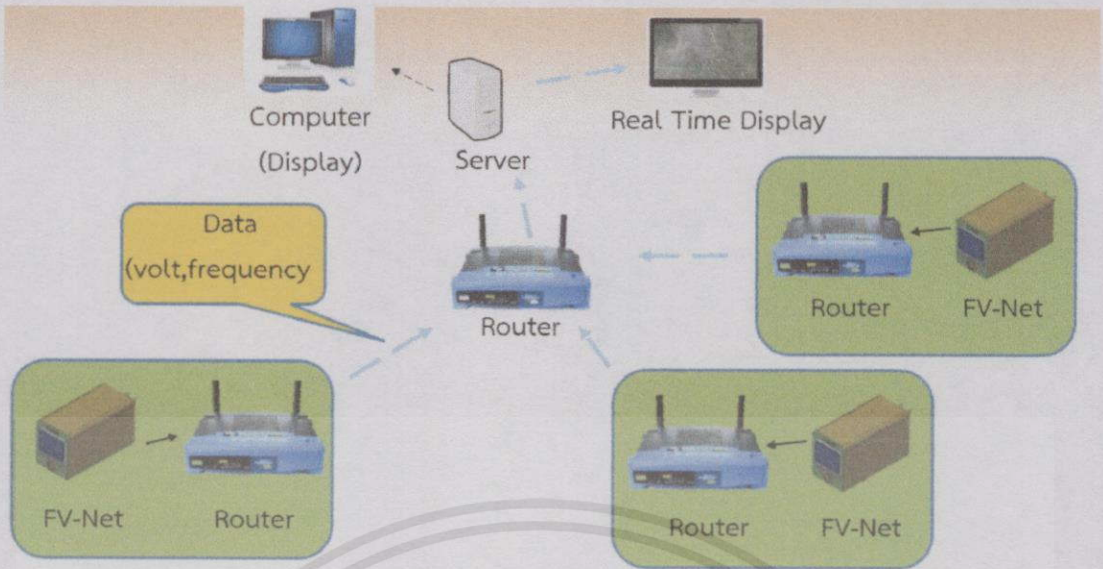
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.5 Database ที่ใช้ Database ที่เลือกใช้คือโปรแกรม XAMPP เพื่อบันทึกข้อมูลลง MySQL โดยโปรแกรม XAMPP จะทำหน้าที่จำลองคอมพิวเตอร์ให้เป็นฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่ถูกรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ได้ค่าแรงดันและความถี่มาเก็บที่ฐานข้อมูลเพื่อรอที่จะนำไปแสดงผลและวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.50 หน้าของโปรแกรม XAMPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.51 การติดต่อของฐานข้อมูลกับอุปกรณ์

โดยอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทั้ง 3 ตัวจะนำไปติดตั้งตามสถานที่ที่จะทดลองคือตึกREAL LABตึกECC ตึกE12 ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตัวที่ 1 มีเลข IP เท่ากับ 192.168.0.107 port 55 จะใช้เก็บลงฐานข้อมูล ชื่อ E12

ตัวที่ 2มีเลข IP เท่ากับ 192.168.0.103 port 65จะใช้เก็บลงฐานข้อมูล ชื่อ ECC

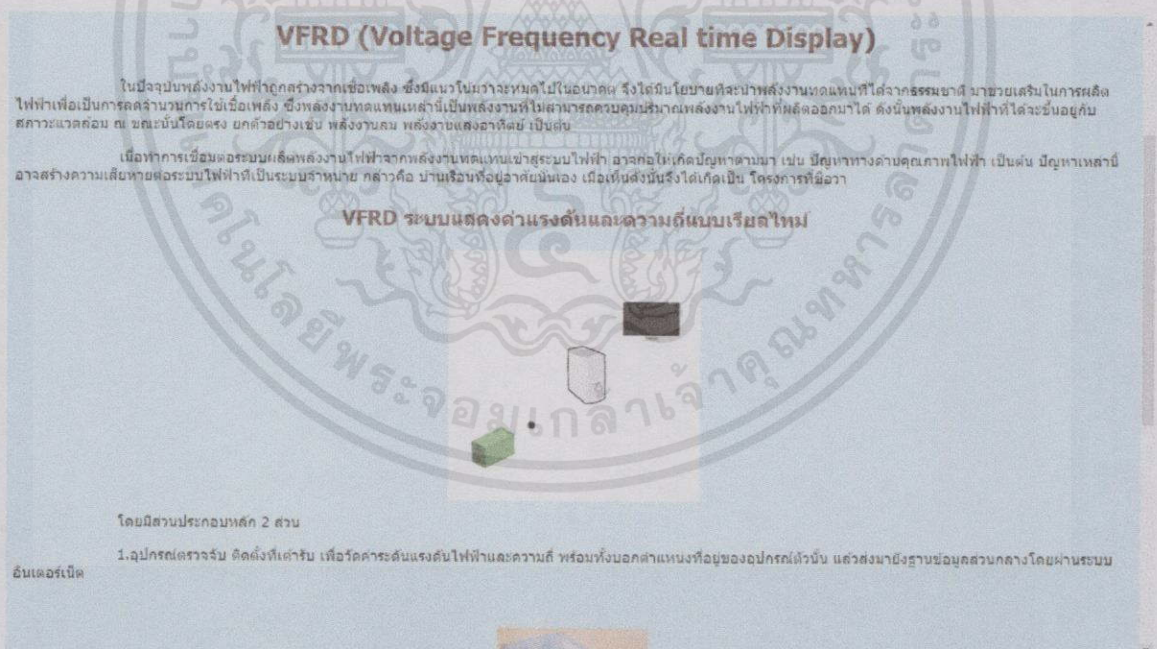
ตัวที่ 3มีเลข IP เท่ากับ 192.168.0.100 port 75จะใช้เก็บลงฐานข้อมูล ชื่อ REAL LAB

id	date	time	volt	freq
233	5/16/2015	3:15:42 A	230	60.00
232	5/16/2015	3:14:42 A	230	49.90
231	5/16/2015	3:13:45 A	230	60.10
230	5/16/2015	3:12:42 A	230	60.10
229	5/16/2015	3:11:41 A	230	60.00
228	5/16/2015	3:09:44 A	229	50.00
227	5/16/2015	3:08:44 A	229	60.10

รูปที่ 3.52 ตารางค่าของแรงดันและความถี่พร้อมวันที่และเวลา

3.4.2 ส่วนการแสดงผล ทำการออกแบบเว็บเพจที่แสดงผลแรงดันและความถี่ทางด้านแรงดันต่ำ (230 V) จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งบนเต้ารับไฟฟ้าในบริเวณที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียลไทม์ ออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนอธิบายระบบ ส่วนแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ส่วนแสดงผลในรูปแบบตาราง และส่วนผู้จัดทำ

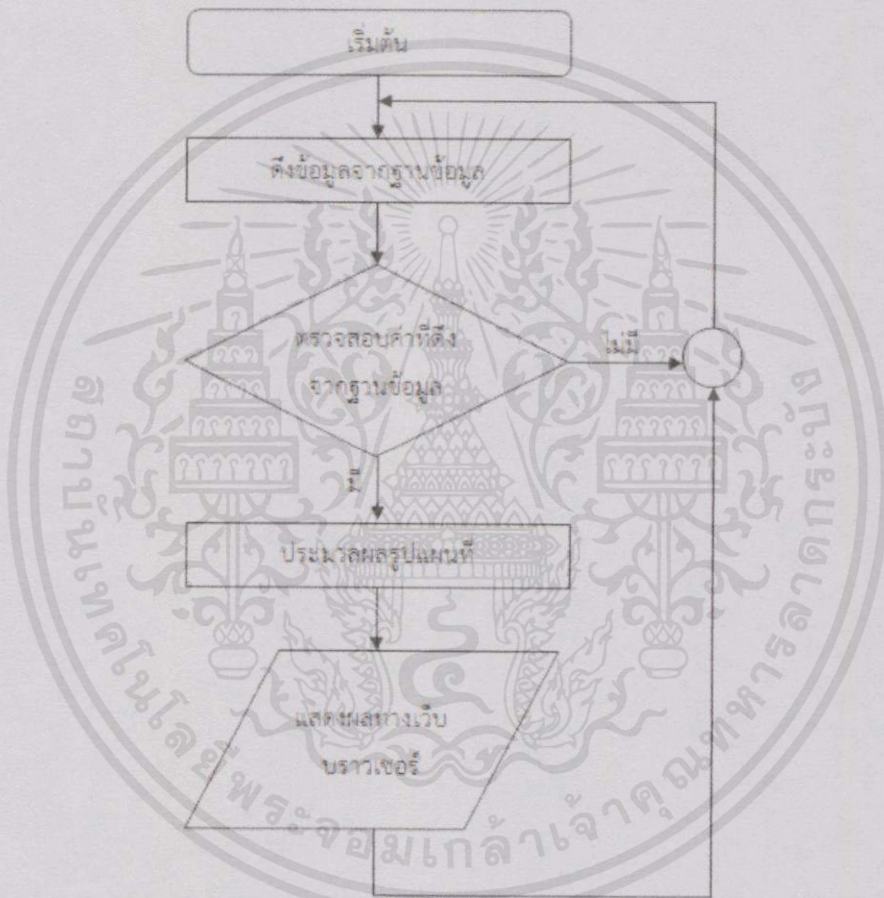
3.4.2.1 ส่วนอธิบายระบบ ออกแบบหน้าเว็บเพจเพื่ออธิบายความเป็นมา คุณลักษณะอุปกรณ์ตรวจวัด และหลักการทำงานของระบบตรวจวัดแรงดันและความถี่แบบเรียลไทม์ ซึ่งหลักการทำงานคือตรวจจับแรงดันและความถี่ด้านแรงดันต่ำ (230 V) จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งบนเต้ารับไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่ที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และบริเวณใกล้เคียง ซึ่งค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดจะถูกส่งผ่านระบบอินเทอร์เน็ตไร้สาย (WIFI) บันทึกลงสู่ฐานข้อมูล และส่วนเว็บแสดงผลนี้เองจะนำค่าที่ถูกบันทึกลงฐานข้อมูลมาแสดงผลในรูปแบบของแผนที่แสดงระดับแรงดันและในรูปแบบของตารางซึ่งแสดงผลข้อมูลแรงดันความถี่และวันเวลาที่ถูกบันทึก เพื่อศึกษาผลกระทบเนื่องจากแรงดันและความถี่ที่อาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบริเวณที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และบริเวณรอบข้าง



รูปที่ 3.53 ภาพจริงส่วนอธิบายระบบ

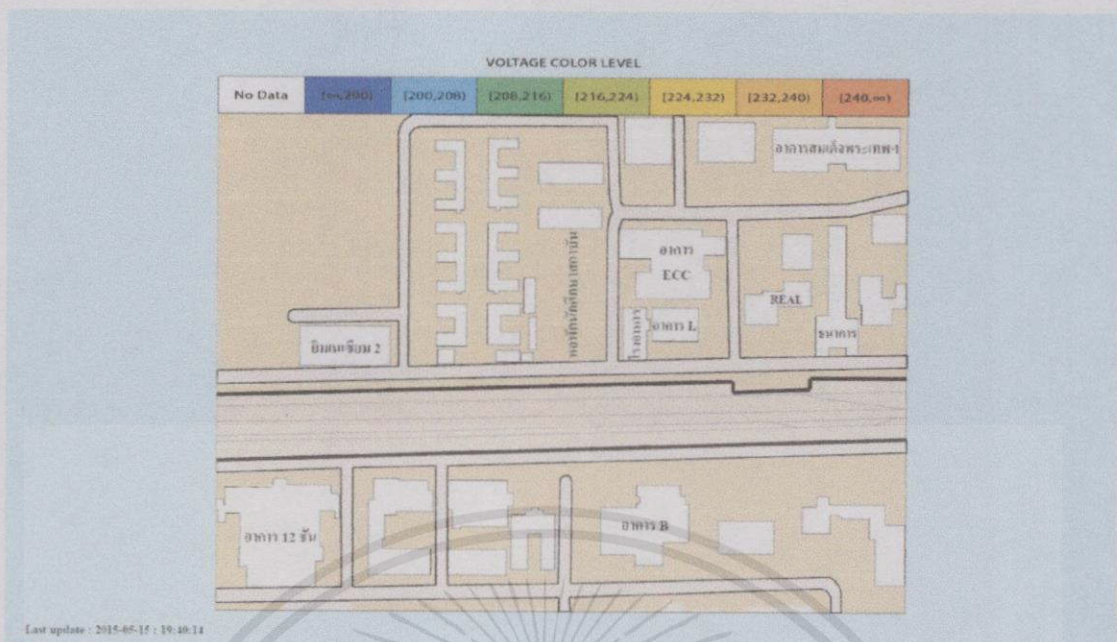
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ออกแบบหน้าเว็บเพจแสดงผลค่าแรงดันรูปแบบของแผนที่ ซึ่งตำแหน่งต่างๆ ในแผนที่แสดงผลเป็นจุดสีแทนตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ จุดสีประกอบด้วย 8 สี ได้แก่ สีขาว สีน้ำเงิน สีฟ้า สีเขียว สีเขียวอ่อน สีเหลือง สีเหลืองเข้ม และสีส้ม เพื่อแสดงระดับแรงดันที่วัดได้ ณ ขณะนั้น ในรูปแบบของสี ซึ่งแต่ละสีมีความกว้างระดับแรงดัน 8 โวลต์ โดยอ้างอิงจากข้อกำหนดว่าด้วยระดับแรงดันใช้งานอยู่ที่ $230 \pm 10\%$ โวลต์ ซึ่งการทำงานของเว็บเพจเป็นไปตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.54



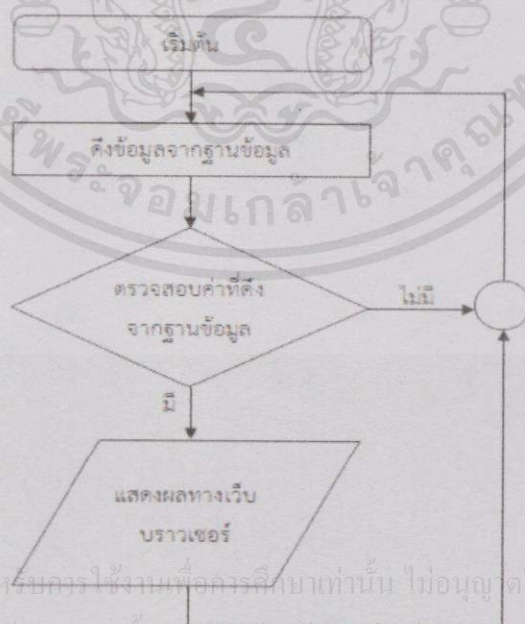
รูปที่ 3.54 การทำงานของเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของแผนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.55 รูปจริงเว็บเพจแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่

3.4.2.3 ส่วนแสดงผลในรูปแบบตาราง ออกแบบหน้าเว็บเพจแสดงผลที่ได้จากอุปกรณ์การวัดได้แก่ ค่าแรงดัน, ความถี่, วันที่และเวลาที่วัดในรูปแบบการแสดงผลเป็นตาราง ซึ่งจะแสดง 5 ค่าล่าสุด ซึ่งค่าที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับการแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ซึ่งการทำงานของเว็บเพจเป็นไปตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.56 หลักการทำงานของเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของตาราง

History	Voltage Map	Voltage-frequency Table	Profile
E-12 Building			
Date	Time	Voltage	Frequency
2015-05-15	19:40:14	undefined	undefined
2015-05-03	10:13:12	undefined	undefined
2015-05-03	07:11:00	undefined	undefined
2015-05-03	05:00:00	undefined	undefined
2015-05-02	07:17:00	undefined	undefined
ECC Building			
Date	Time	Voltage	Frequency
2015-05-15	19:38:37	undefined	undefined
2015-05-04	06:42:40	undefined	undefined
2015-05-03	21:45:29	undefined	undefined
2015-05-03	00:36:00	undefined	undefined
2015-05-02	14:05:40	undefined	undefined
Renewable Energy Aplication Labolatory			
Date	Time	Voltage	Frequency
2015-05-15	19:41:00	undefined	undefined
2015-05-09	23:27:25	undefined	undefined
2015-05-09	08:38:54	undefined	undefined
2015-05-03	05:30:34	undefined	undefined
2015-05-02	08:15:37	undefined	undefined

รูปที่ 3.57 รูปจรงหน้าเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของตาราง

3.4.2.4 ส่วนของผู้จัดทำ ออกแบบเว็บเพจแสดงประวัติของผู้จัดทำระบบตรวจวัดแรงดันและความถี่แบบเรียลไทม์



รูปที่ 3.58 รูปจรงหน้าเว็บเพจส่วนของผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน ทั้งด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าและด้านทัศนวิสัยการมองเห็น รวมถึงข้อมูลผลการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ว่ามีประสิทธิภาพดีเพียงใด เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดไปประกอบการหาข้อสรุปในการจัดการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน

4.2 ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

4.2.1 ย่านความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบิน สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU (International Telecommunication Union) ได้กำหนดย่านความถี่สากลใช้เพื่อกิจการควบคุมจราจรทางอากาศ เหมือนกันทุกประเทศทั่วโลกภายใต้การเสนอแนะขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ที่ย่านความถี่ 118-137 MHz และข้อมูลเพิ่มเติมดังตารางต่อไปนี้ [8]

ตารางที่ 4.1 ระบบติดตามอากาศยาน

Primary Surveillance (PSR)	1260-1400 MHz และ 2700-3300 MHz
Secondary Surveillance (SSR)	1030 MHz และ 1090 MHz
Advanced Surface Movement Radar	9000-9500 MHz

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร บริเวณท่าอากาศยาน

Air-Ground	117.975-137 MHz
Ground-Ground	150-170 MHz และ ย่าน 400 MHz
Trunked Radio System	ย่าน 800 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ระบบสื่อสารการบิน

วิทยุสื่อสาร ย่าน VHF	117.975-137 MHz
วิทยุสื่อสาร ย่าน UHF	225-400 MHz

ตารางที่ 4.4 ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

Non-Directional Beacon (NDB) และ Compass Locator (COM.LO)	130-535 MHz
Very High Frequency OMNI-Directional Range (VOR)	108-117.975 MHz
Distance Measuring Equipment (DME)	960-1215 MHz
Instrument Landing System (ILS) Localizer	108-117.975 MHz
Glide Slope	328.6-335.4 MHz
Marker	74.8-75.2 MHz

ตารางที่ 4.5 บริการสื่อสารการบินด้วยข้อมูล

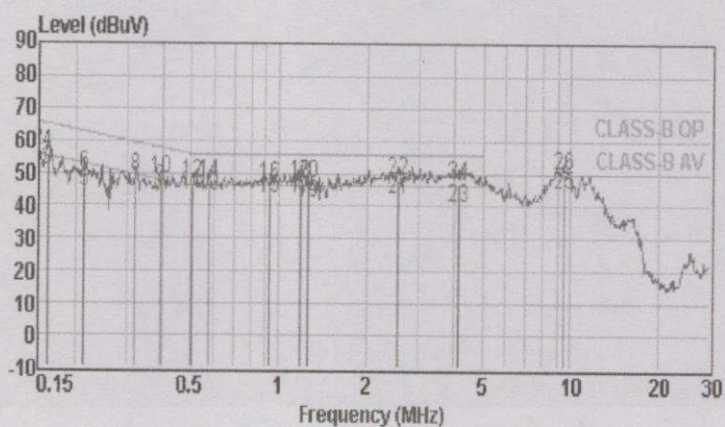
สื่อสารการบินด้วยข้อมูล ย่าน HF	2850-22000 KHz
สื่อสารการบินด้วยข้อมูล ย่าน VHF	117.975-137 MHz

4.2.2 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์

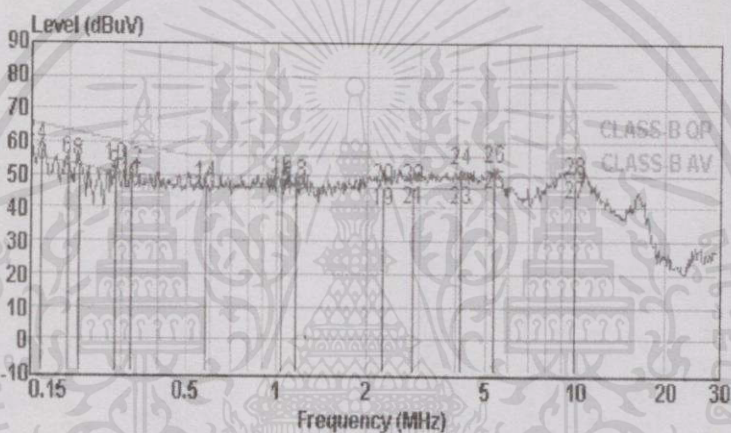
4.2.2.1 Conducted emission

Test Specification : IEC/EN 61000-6-3; 4 and 6 of CISPR 16-1-1; 4 of CISPR 16-1-2;
Clause 7 of CISPR 16-2-1

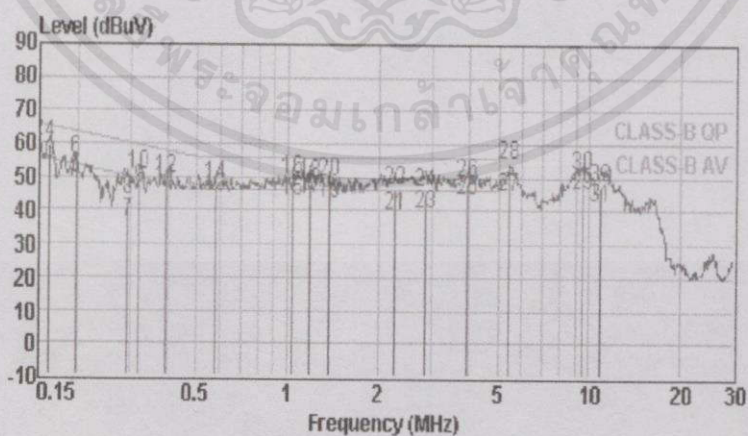
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 LISN-Line 1 : Operation mode

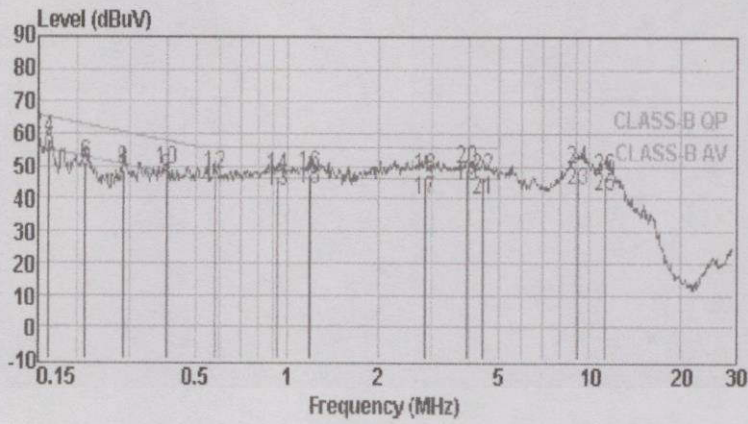


รูปที่ 4.2 LISN-Line 2 : Operation mode

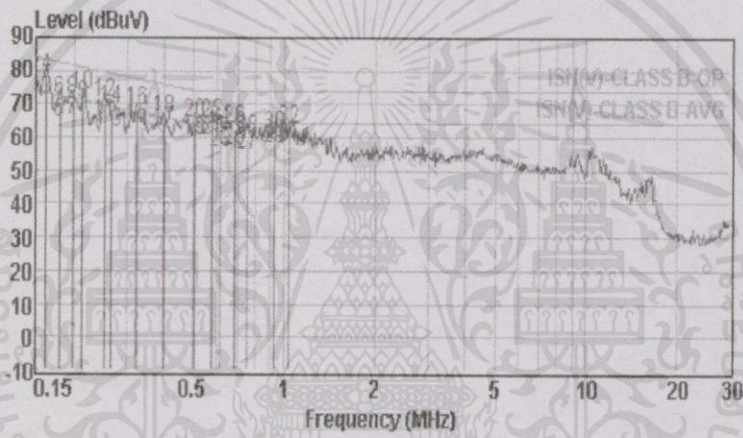


รูปที่ 4.3 LISN-Line 3 : Operation mode

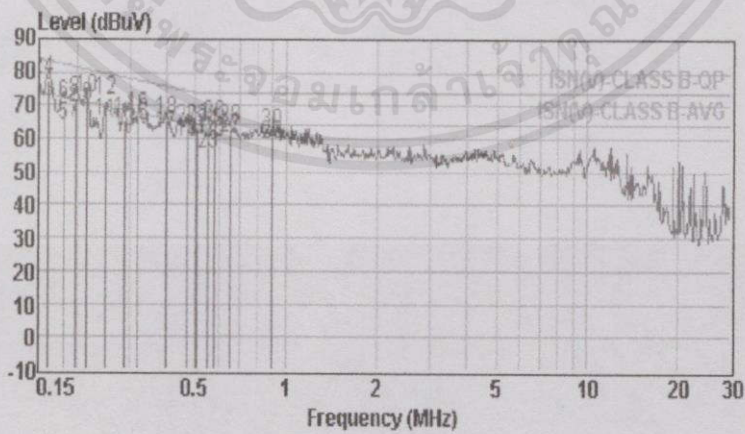
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 4.4 LISN-Neutral : Operation mode



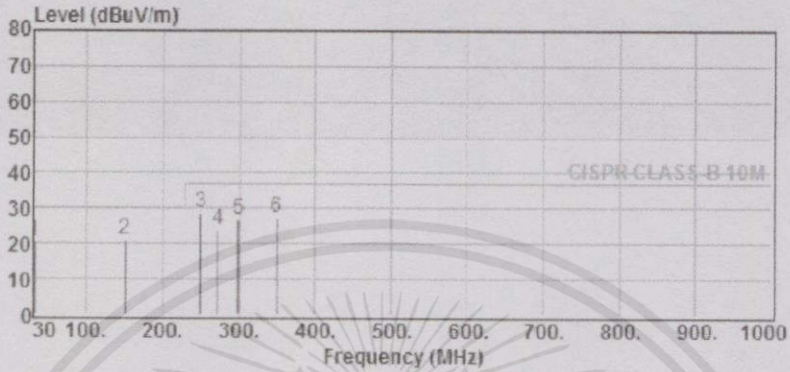
รูปที่ 4.5 LISN : 10 M



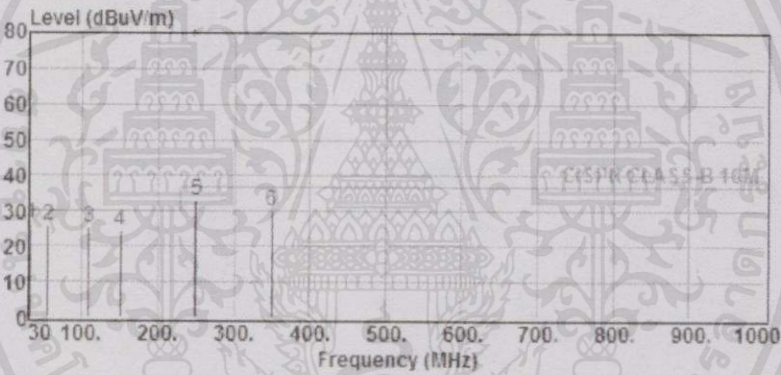
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.6 LISN : 100 M ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 Radiated emission

Test Specification : IEC/EN 61000-6-3; 4 of CISPR 16-1-1; 4.4 of CISPR 16-1-4; Clause 5 of CISPR 16-1-4; 7.2 of CISPR 16-2-3

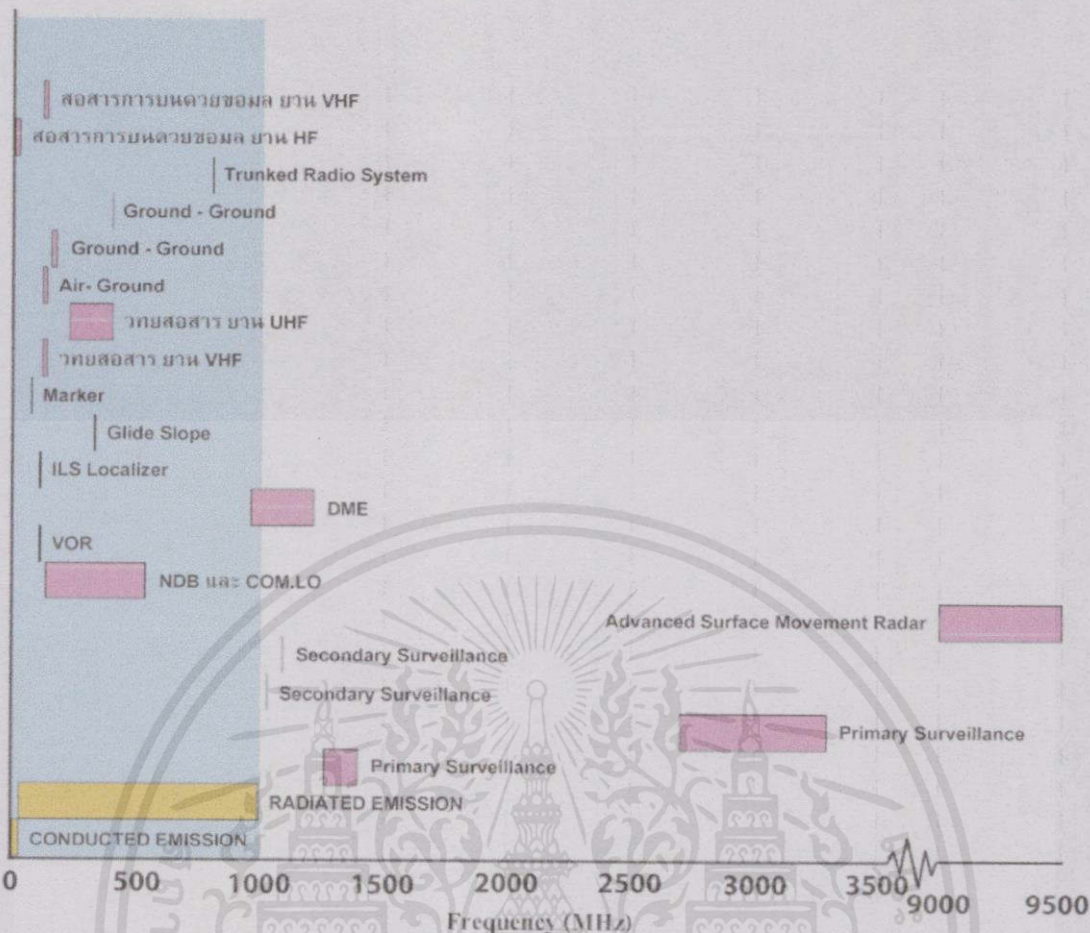


รูปที่ 4.7 Ant.Pol. : Horizontal



รูปที่ 4.8 Ant.Pol. : Vertical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



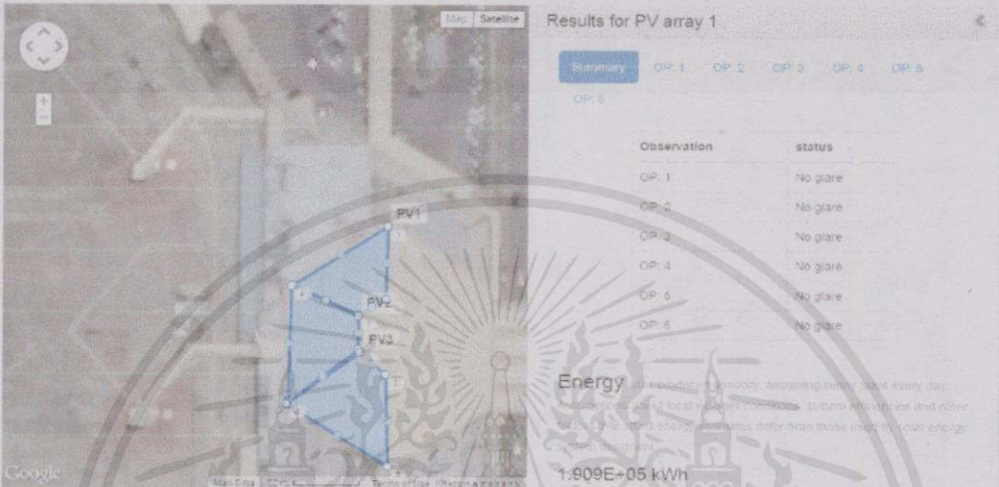
รูปที่ 4.9 ย่านความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบินและย่านความถี่ที่เกิดการรบกวน

จากรูปที่ 4.9 สามารถพิจารณาได้ว่า มีย่านความถี่ที่ใช้งานในช่วง ช้อยทับกับความถี่ที่ทำให้เกิดการรบกวนทางสายตัวนำและการแพร่กระจายทางอากาศของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เพราะฉะนั้นหากจะทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาภายในสนามบิน ควรทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์เพื่อตรวจสอบดูว่า ขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้นมีมากน้อยเพียงใด และสามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบภายในสนามบินที่ทำงานภายในย่านความถี่นั้นๆหรือไม่ ดังเช่นในหัวข้อ 4.2 ที่โซลาร์อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ชนิดนี้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดทั้งในส่วนของการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Emission) และภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Immunity)

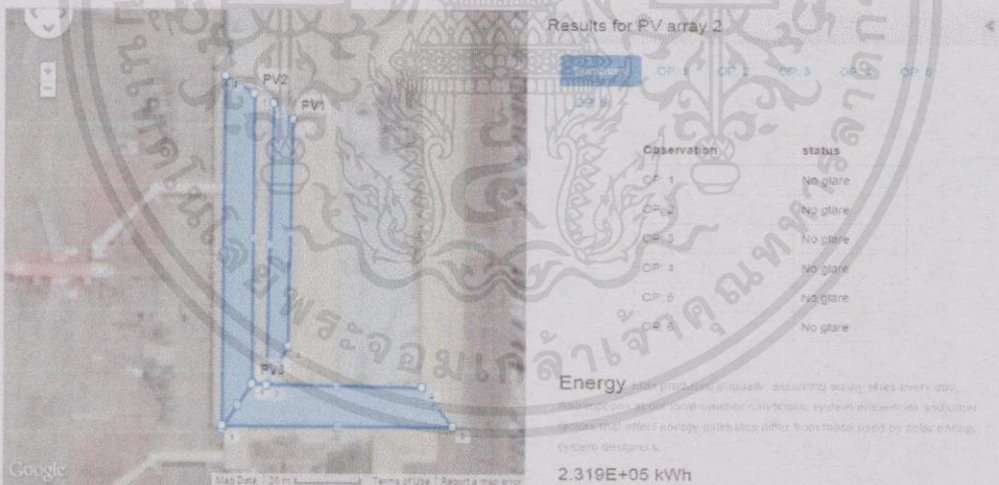
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ด้านการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็น

จากที่ได้ทำการทดลองในบทที่ 3 ปรากฏพบว่าเมื่อเครื่องบินทำการ Landing ลงสู่ Runway ทางด้านทิศใต้ของสนามบินเชียงใหม่ที่ระดับความสูงต่างๆ จะไม่เกิดแสงจ้าที่ส่งผลกระทบต่อนักบิน [4]



รูปที่ 4.10 พื้นที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รูปที่ 4.11 ผลการ Simulation PV array 1



รูปที่ 4.12 พื้นที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 รูปที่ 4.13 ผลการ Simulation PV array 2

เมื่อเครื่องบินทำการ Landing ลงสู่ Runway ทางด้านทิศเหนือของสนามบินเชียงใหม่ที่ระดับความสูงต่างๆ จะไม่เกิดแสงจ้าที่ส่งผลกระทบต่อสายตานักบิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Results for PV array 1

Summary OP 1 OP 2 OP 3 OP 4 OP 5
OP 6

Observation	status
OP 1	No glare
OP 2	No glare
OP 3	No glare
OP 4	No glare
OP 5	No glare
OP 6	No glare

Energy Max produced annually, assuming sunny skies every day
Assumptions about local weather conditions, system efficiencies and other factors that affect energy estimates differ from those used by solar energy system designers.

รูปที่ 4.14 ผลการ Simulation PV array 1 เมื่อพิจารณาเครื่องบิน Landing ลงสู่ Runway ทางด้านทิศเหนือ

แต่เมื่อทำการสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารต่างๆ จากหอคอยควบคุมการบิน พบว่าเกิดแสงจ้าที่ส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานบนอาคารนั้น ซึ่งบริเวณที่ทำให้เกิดแสงจ้านั้นเป็น พื้นที่บริเวณ โซน A1 กับ โซน B1 ซึ่งได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดเดือนที่เกิด และระดับความเข้มแสงที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ดังต่อไปนี้

- บริเวณโซน A1



Results for PV array 1

Summary OP ATCT

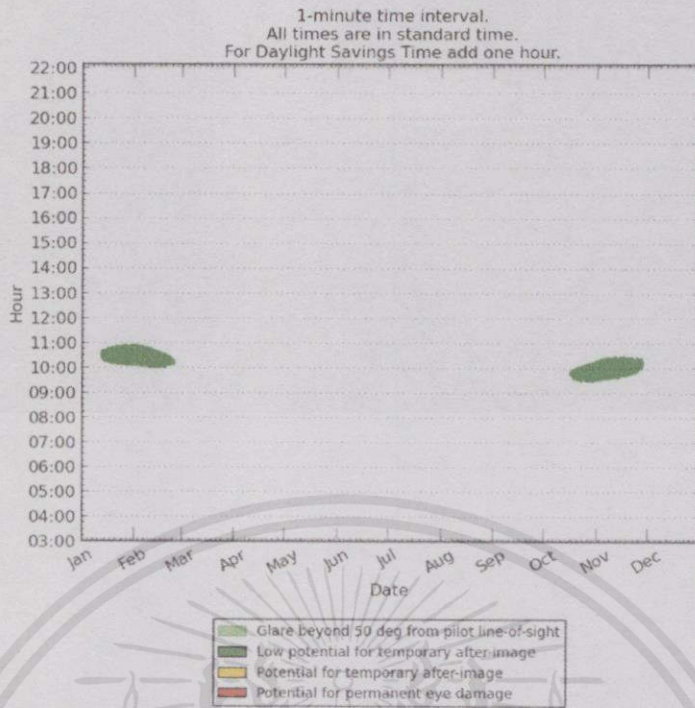
Observation	status
OP ATCT	clear

Energy Max produced annually, assuming sunny skies every day
Assumptions about local weather conditions, system efficiencies and other factors that affect energy estimates differ from those used by solar energy system designers.

1.908E+05 kWh

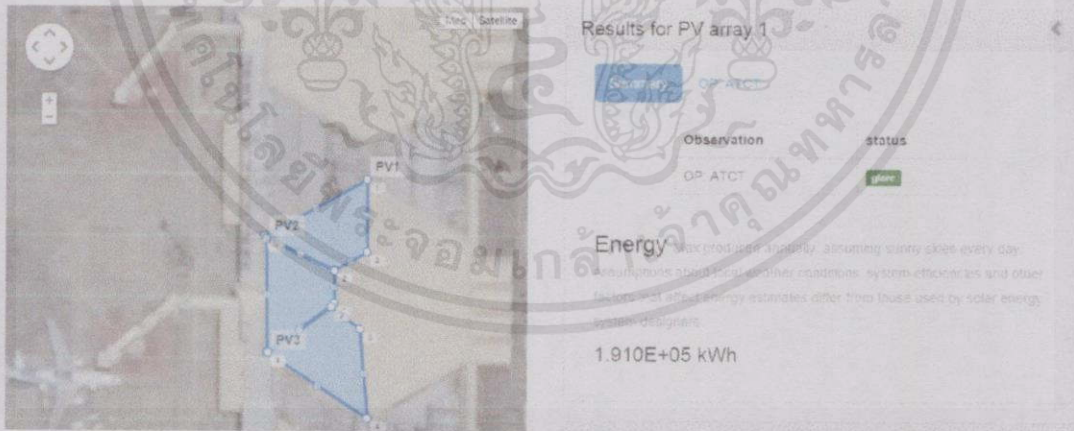
Results for PV array 2

รูปที่ 4.15 ผลการ Simulation PV array 1 บริเวณโซน A1 เมื่อสังเกตจากหอคอยควบคุมการบิน เอกสารนี้เป็นเอกสารทงส่วน สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



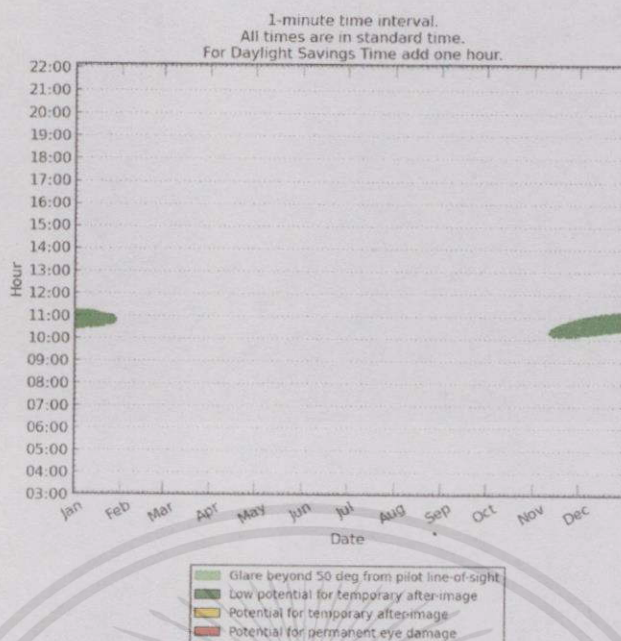
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้า เดือนที่เกิด และ ระดับความอันตรายจากแสง เมื่อพิจารณาบริเวณโซน A1

- บริเวณโซน B1



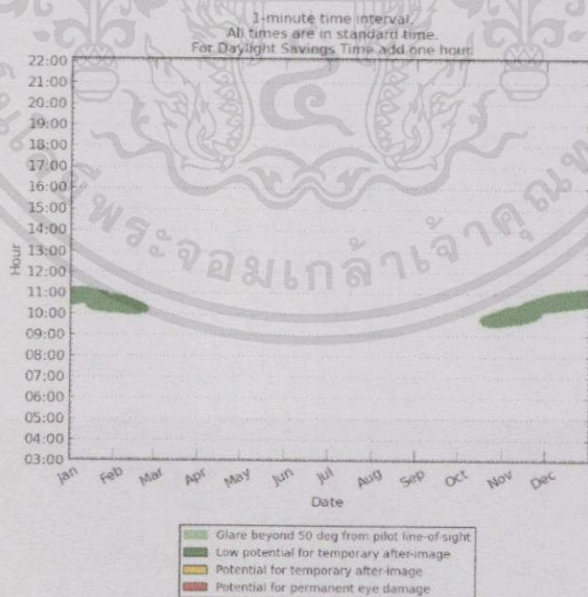
รูปที่ 4.17 ผลการ Simulation PV array 1 บริเวณโซน B1 เมื่อสังเกตจากห้องบังคับการบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้า เดือนที่เกิดและระดับความอันตรายจากแสง เมื่อพิจารณาบริเวณโซน B1

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา เดือน และระดับความเข้มแสงที่เป็นอันตรายต่อตามนุษย์ เมื่อพิจารณาจากหอคอยควบคุมการบิน

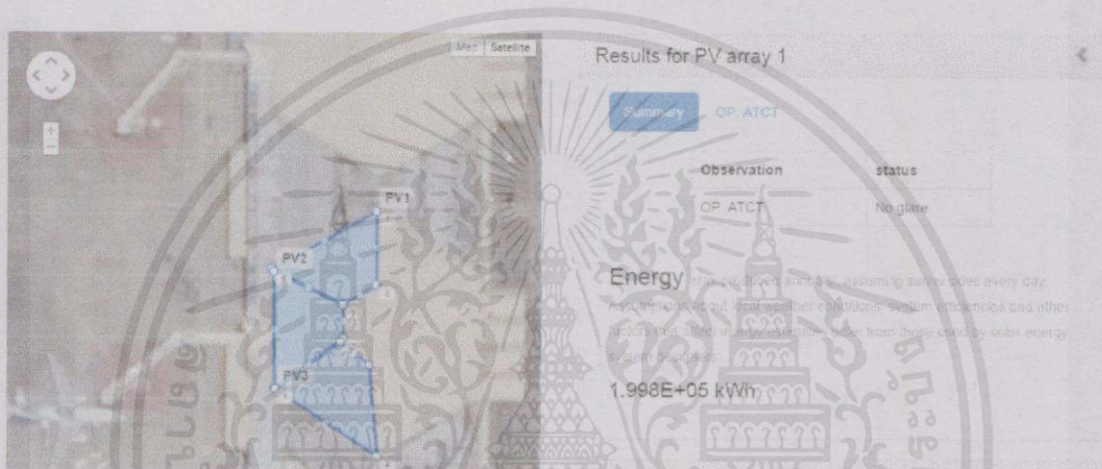


รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้า เดือนที่เกิดและระดับความอันตรายจากแสง เมื่อพิจารณาจากหอคอยควบคุมการบิน

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อการตัดสินใจใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ

จากกราฟความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่ามีแสงจ้าเกิดขึ้นในช่วงเวลา 10.00 น.-11.00 น. โดยมีระดับความเข้มแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตามนุษย์อยู่ในระดับสีเขียว ซึ่งให้ความหมายได้ว่า มีผลกระทบกับดวงตาอาจจะทำให้เกิดการระคายเคืองตาหรือแสบตา

4.3.1 แนวทางการแก้ปัญหาแสงจ้า เนื่องจากที่ได้ทำการทดลองผลการทดลองที่ได้คือเกิดแสงจ้าบริเวณพื้นที่ โซน A1 และโซน B1 เมื่อสังเกตจากหอควควบคุมการบิน ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการปรับมุมการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกประมาณ 15 องศา ซึ่งเป็นมุมที่จะทำให้ไม่เกิดแสงจ้า



รูปที่ 4.20 ผลการ Simulation PV array 1 เมื่อทำการเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 15 องศา

รูปที่ 4.21 ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อทำการเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 15 องศา

ค่าพลังงานไฟฟ้าใน 1 ปีที่ได้ก่อนและหลังทำการเปลี่ยนมุมการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1 และโซน B1

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก่อนปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ โซน A1 และโซน B1

โซนพื้นที่	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) / 1ปี
A1	190,900
A2	210,700
A3	225,900
A4	226,000
A5	210,700
A6	191,000
B1	190,900
B2	219,400
B3	225,600
B4	225,900
B5	210,800
B6	191,000
C1	250,500
C2	57,010
C3	57,010
C4	26,690
C5	174,100
C6	458,800
รวม	3,542,910

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้หลังปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1 และโซน B1

โซนพื้นที่	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) / 1ปี
A1	199,800
A2	210,700
A3	225,900
A4	226,000
A5	210,700
A6	191,000
B1	199,700
B2	219,400

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้หลังปรับมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1 และ B1 (ต่อ)

โซนพื้นที่	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) / 1ปี
B3	225,600
B4	225,900
B5	210,800
B6	191,000
C1	250,500
C2	57,010
C3	57,010
C4	26,690
C5	174,100
C6	458,800
รวม	3,560,610

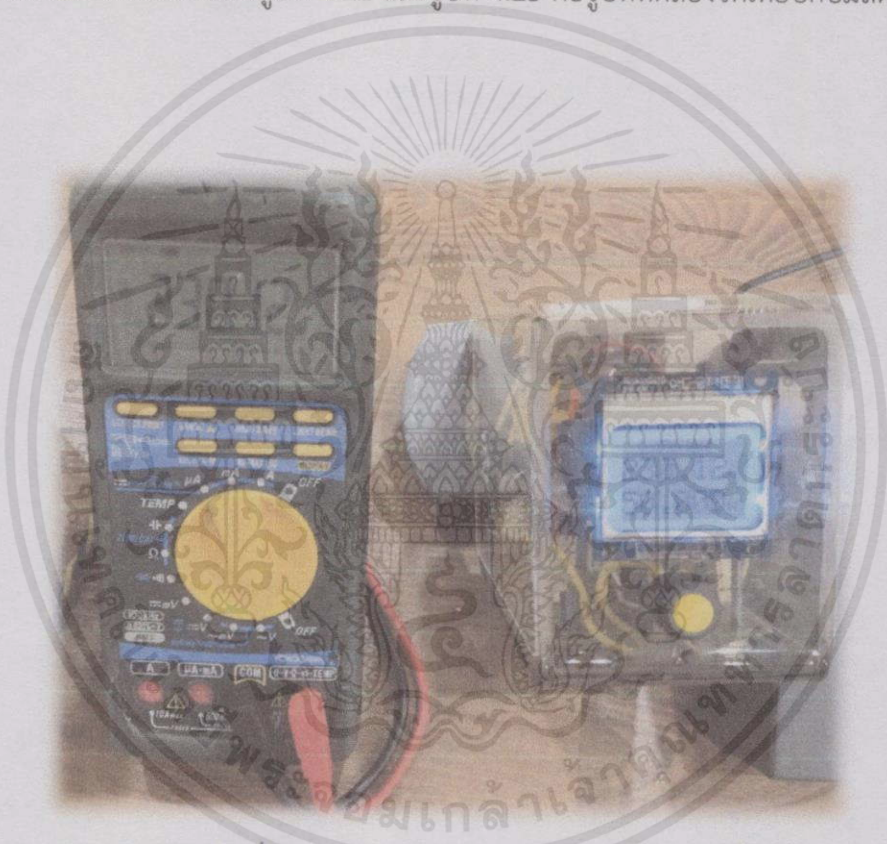
จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อทำการลดมุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โซน A1 และโซน B1 เป็น 15 องศา จะพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น 17,700 kWh

การรบกวนทางด้านทัศนวิสัยการมองเห็น เกิดจากดวงตาของมนุษย์ได้รับแสงจ้า
 เอกสาร ในระดับความเข้มต่างๆ ทั้งนี้ปัจจัยที่ก่อให้เกิดแสงจ้าก็คือมุมของจุดสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการคำนวณ
 ไม่ว่าจะการเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ดวงตาได้รับแสงจ้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหานี้คือพยายามปรับเปลี่ยนมุมที่
 สัมผัสแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือปรับเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่

ในกรณีนี้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนมุมที่ทำการสังเกตได้ จึงต้องปรับมุมที่กระทำกับพื้นโลกของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งที่ได้ทำการทดลองควรปรับมุมประมาณ 15 องศา จึงจะทำให้พื้นอิทธิพลของแสงจ้าและเมื่อทำการลดมุมลงจะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

4.4 การทดลองอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

จากการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ขึ้นมาทั้ง 3 ตัว ก่อนที่จะนำไปติดตั้งจริงต้อง นำมาเปรียบเทียบกับวัดระดับแรงดันที่วัดได้กับมัลติมิเตอร์ที่เชื่อถือได้เพื่อให้ค่าที่วัดได้นั้นมีความถูกต้องเมื่อนำไปใช้งานดังรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 คือรูปที่ทดลองวัดเทียบกับมัลติมิเตอร์จริงทั้ง 3 ตัว



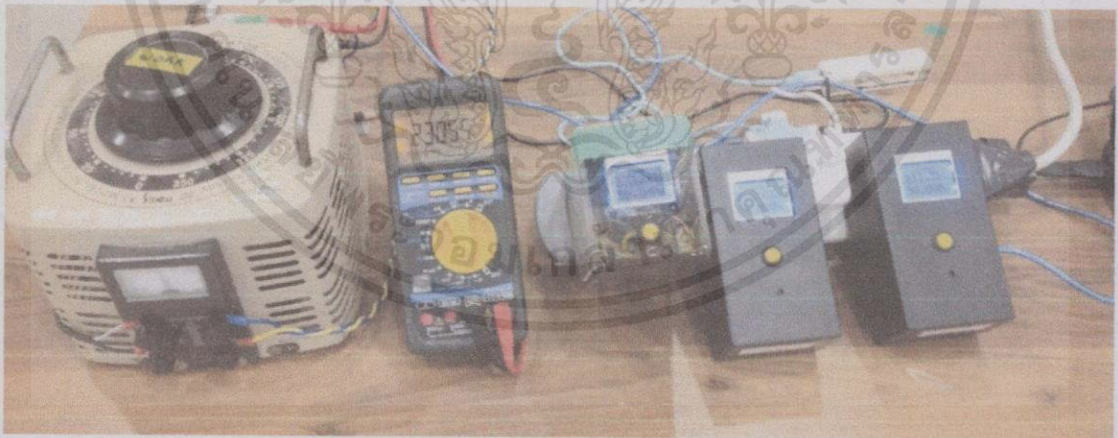
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบแรงดันที่แสดงบนอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ตัวที่ 1 กับมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบแรงดันที่แสดงบนอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ตัวที่ 2 และ 3 กับ
มัลติมิเตอร์

หลังจากที่มีการเปรียบเทียบแรงดันกับตัวอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ในที่นี้ใช้มัลติมิเตอร์ในการเปรียบเทียบจากนั้นจึงนำอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทั้ง 3 มาติดตั้งที่จุดเดียวกันแล้วใช้ หม้อแปลง Variac ปรับเปลี่ยนแรงดันเพื่อจำลองแรงดันแต่ละระดับโดยในที่นี้ จำลอง 3 กรณี คือแรงดันต่ำกว่าแรงดันปกติ (น้อยกว่า 230 โวลต์), แรงดันปกติ (ประมาณ 230 โวลต์), แรงดันเกินกว่าแรงดันปกติ (มากกว่า 230 โวลต์)



รูปที่ 4.24 การทดลองจำลองระดับแรงดันที่ระดับต่างๆ

ผลการทดลองการจำลองสภาพแรงดันต่ำกว่าแรงดันปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากการจำลองสภาพแรงดันต่ำโดยการปรับหม้อแปลง Variac เพื่อให้เกิดสภาพไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แรงดันต่ำ และทดลองรับค่าจากฐานข้อมูล (Database) ในกรณีที่อุปกรณ์ตรวจวัด ค่าล่าสุดได้ดังนี้

อาคาร 12 ชั้นมีค่าแรงดันเท่ากับ 177.85 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 2.43.28 AM

อาคาร ECC มีค่าแรงดันเท่ากับ 178.37 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.10 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 2.44.07 AM

อาคาร REAL LAB มีค่าแรงดันเท่ากับ 177.93 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 2.43.47 AM

ซึ่งสามารถแสดงเว็บเพจแสดงค่าต่างๆในรูปแบบตารางได้ดังรูปที่ 4.25 ค่าบนสุดของตารางเป็นค่าล่าสุดที่ได้รับและค่าถัดไปเป็นค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในเวลาก่อนหน้าของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในกรณีจำลองสภาพแรงดันต่ำตามลำดับ และเว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่จะนำค่าแรงดันด้านบนสุดของตารางจากเว็บเพจแสดงค่าต่างๆที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่อาคาร E-12 มีค่าแรงดันเท่ากับ 177.85 โวลต์, อาคาร ECC มีค่าแรงดัน 178.37 โวลต์ และอาคาร REAL LAB มีค่าแรงดันเท่ากับ 177.93 โวลต์ มาแสดงในรูปแบบที่ด้วยสีน้ำเงิน ซึ่งแทนระดับแรงดันที่ต่ำกว่า 200 โวลต์ ดังรูปที่ 4.26

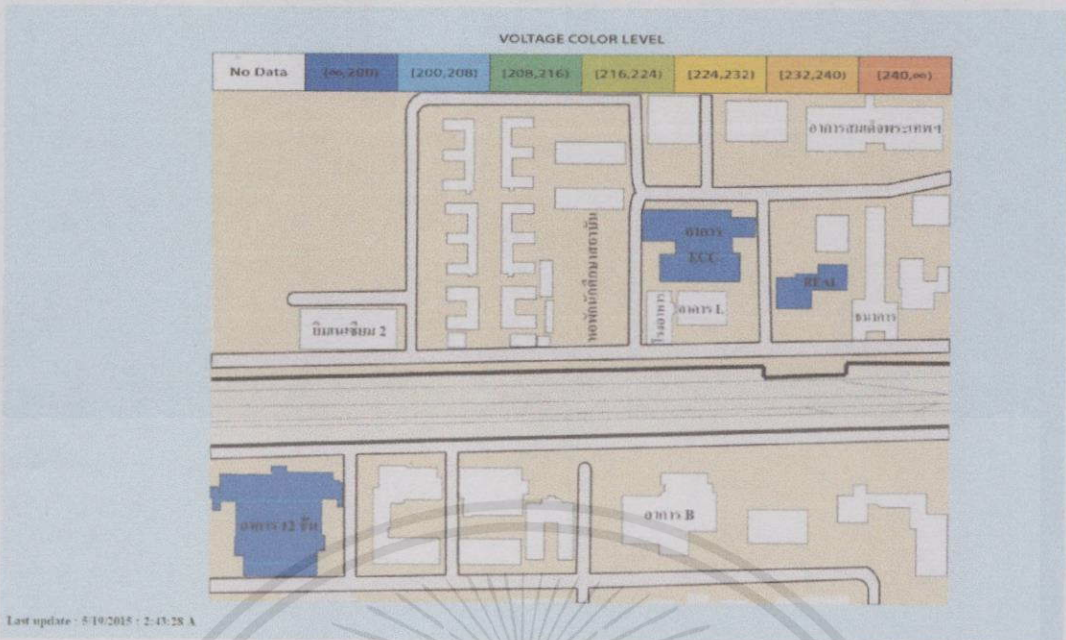
E-12 Building			
Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	2:43:28 A	177.85	50.00
5/19/2015	12:13:59	227.49	50.10
5/19/2015	12:14:38	227.57	50.00
5/19/2015	12:17:57	229.26	50.00
5/19/2015	12:11:57	228.98	50.00

ECC Building			
Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	2:44:07 A	178.37	50.10
5/19/2015	2:43:07 A	177.86	50.00
5/19/2015	1:07:17 A	232.06	50.00
5/19/2015	1:09:20 A	232.69	50.00
5/19/2015	1:05:20 A	232.69	50.00

Renewable Energy Application Laboratory			
Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	2:43:47 A	177.93	50.00
5/19/2015	2:42:47 A	177.96	50.00
5/19/2015	1:09:00 A	231.92	50.00
5/19/2015	1:08:01 A	232.04	50.00
5/19/2015	1:06:00 A	232.04	50.00

รูปที่ 4.25 เว็บเพจแสดงค่าต่างๆที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบตาราง ในกรณีจำลองสภาพ

แรงดันต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ในกรณีจำลองสภาพแรงดันต่ำ

ผลการทดลองการจำลองสภาพแรงดันปกติ

จากการจำลองสภาพแรงดันปกติโดยการปรับหม้อแปลง Variac เพื่อให้แรงดันมีค่าประมาณ 229 โวลต์ และทดลองรับค่าจากฐานข้อมูล (Database) ในกรณีที่อุปกรณ์ตรวจวัด วัดค่าล่าสุดได้ดังนี้

อาคาร 12 ชั้นมีค่าแรงดันเท่ากับ 227.57 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 12.14.58 AM

อาคาร ECC มีค่าแรงดันเท่ากับ 229.48 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 12.14.37 AM

อาคาร REAL LAB มีค่าแรงดันเท่ากับ 228.72 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 12.14.18 AM

ซึ่งสามารถแสดงเว็บเพจแสดงค่าต่างๆในรูปแบบตารางได้ดังรูปที่ 4.27 ค่าบนสุดของตารางเป็นค่าล่าสุดที่ได้รับและค่าถัดไปเป็นค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในเวลาก่อนหน้าของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ และเว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่จะนำค่าแรงดันด้านบนสุดของตารางจากเว็บเพจแสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ที่อาคาร E-12 มีค่าแรงดันเท่ากับ 227.57 โวลต์, อาคาร ECC มีค่าแรงดัน 229.48 โวลต์ และอาคาร REAL LAB มีค่าแรงดันเท่ากับ 228.72 โวลต์ มาแสดงในรูปแบบที่ด้วยสีเหลือง ซึ่งแทนช่วงระดับแรงดันที่ระหว่าง 224 ถึง 232 โวลต์ ดังรูปที่ 4.28

History	Voltage Map	Voltage Frequency Table	Profile
---------	-------------	-------------------------	---------

E-12 Building

Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	12:14:58	227.57	50.00
5/19/2015	12:13:57	229.26	50.00
5/19/2015	12:12:57	228.98	50.00
5/19/2015	12:06:57	178.19	50.00
5/19/2015	12:05:56	176.76	50.10

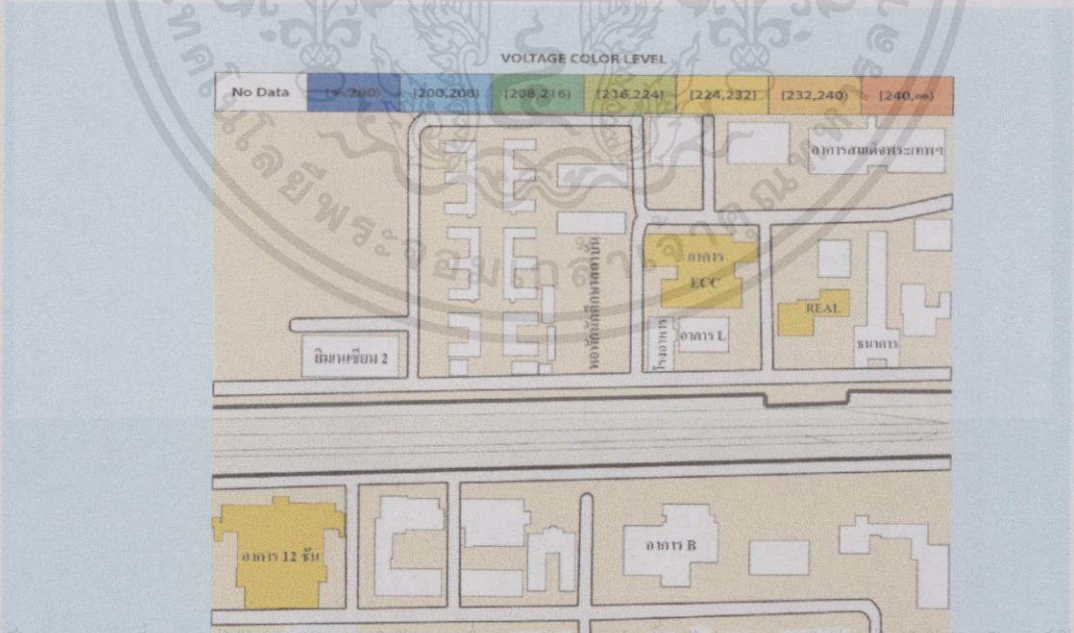
ECC Building

Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	12:14:38	229.45	50.00
5/19/2015	12:13:37	229.56	50.00
5/19/2015	12:07:38	178.59	50.00
5/19/2015	12:06:38	176.30	50.70
5/19/2015	12:05:38	176.42	50.70

Renewable Energy Application Laboratory

Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	12:14:18	228.72	50.00
5/19/2015	12:13:18	228.25	50.00
5/19/2015	12:07:18	177.29	49.90
5/19/2015	12:06:18	176.02	50.10
5/19/2015	12:05:17	176.11	50.00

รูปที่ 4.27 เว็บไซต์แสดงค่าต่างๆที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบตาราง ในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนบุคคลไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 4.28 เว็บไซต์แสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ

ผลการทดลองการจำลองสภาพแรงดันเกิน

จากการจำลองสภาพแรงดันเกินโดยการปรับหม้อแปลง Variac เพื่อให้เกิดสภาพแรงดันเกิน และทดลองรับค่าจากฐานข้อมูล (Database) ในกรณีที่อุปกรณ์ตรวจวัด วัดค่าล่าสุดได้ดังนี้

อาคาร 12 ชั้นมีค่าแรงดันเท่ากับ 241.28 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 2.48.27 AM

อาคาร ECC มีค่าแรงดันเท่ากับ 243.17 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.00 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 2.48.07 AM

อาคาร REAL LAB มีค่าแรงดันเท่ากับ 241.61 โวลต์ ความถี่เท่ากับ 50.10 Hz วันที่ 19/05/2015 เวลา 2.48.47 AM

ซึ่งสามารถแสดงเว็บเพจแสดงค่าต่างๆในรูปแบบตารางได้ดังรูปที่ 4.29 ค่าบนสุดของตารางเป็นค่าล่าสุดที่ได้รับและค่าถัดไปเป็นค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในเวลาก่อนหน้าของอุปกรณ์ที่ติดตั้ง ในกรณีจำลองสภาพแรงดันเกินตามลำดับ และเว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่จะนำค่าแรงดันด้านบนสุดของตารางจากเว็บเพจแสดงค่าต่างๆที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ที่อาคาร E-12 มีค่าแรงดันเท่ากับ 241.28 โวลต์, อาคาร ECC มีค่าแรงดัน 243.17 โวลต์ และอาคาร REAL LAB มีค่าแรงดันเท่ากับ 241.61 โวลต์ มาแสดงในรูปแบบที่ด้วยสีส้ม ซึ่งแทนระดับแรงดันที่สูงกว่า 240 โวลต์ ดังรูปที่ 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E-12 Building

Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	2:45:27 A	241.28	50.00
5/19/2015	2:47:30 A	186.87	50.00
5/19/2015	2:46:27 A	175.75	50.00
5/19/2015	2:45:27 A	175.58	49.90
5/19/2015	2:44:26 A	177.84	50.00

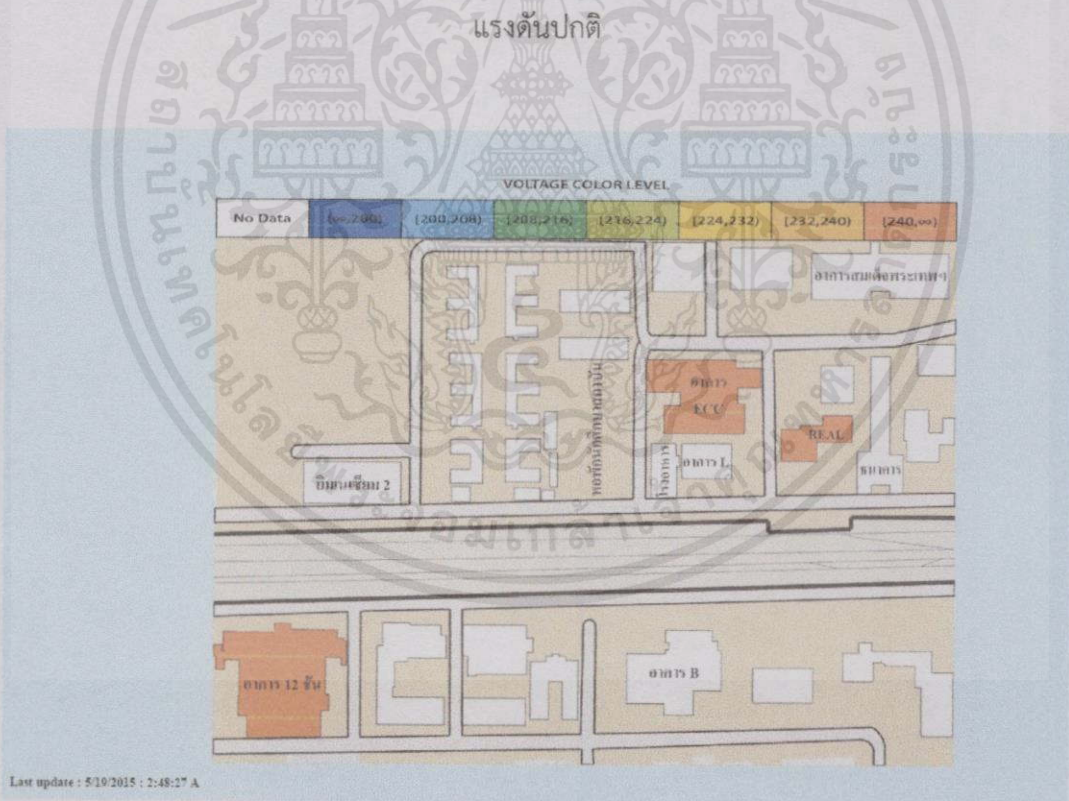
ECC Building

Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	2:48:07 A	243.17	50.00
5/19/2015	2:47:07 A	175.01	29.90
5/19/2015	2:46:07 A	175.02	30.00
5/19/2015	2:45:08 A	176.11	27.90
5/19/2015	2:44:07 A	178.37	50.10

Renewable Energy Application Laboratory

Date	Time	Voltage	Frequency
5/19/2015	2:48:47 A	241.61	50.10
5/19/2015	2:47:47 A	244.66	50.00
5/19/2015	2:46:46 A	175.77	50.00
5/19/2015	2:45:46 A	176.01	50.00
5/19/2015	2:44:45 A	179.69	50.00

รูปที่ 4.29 เว็บเพจแสดงค่าต่างๆที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบตาราง ในกรณีจำลองสภาพแรงดันปกติ



รูปที่ 4.30 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ ในกรณีจำลองสภาพแรงดันเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

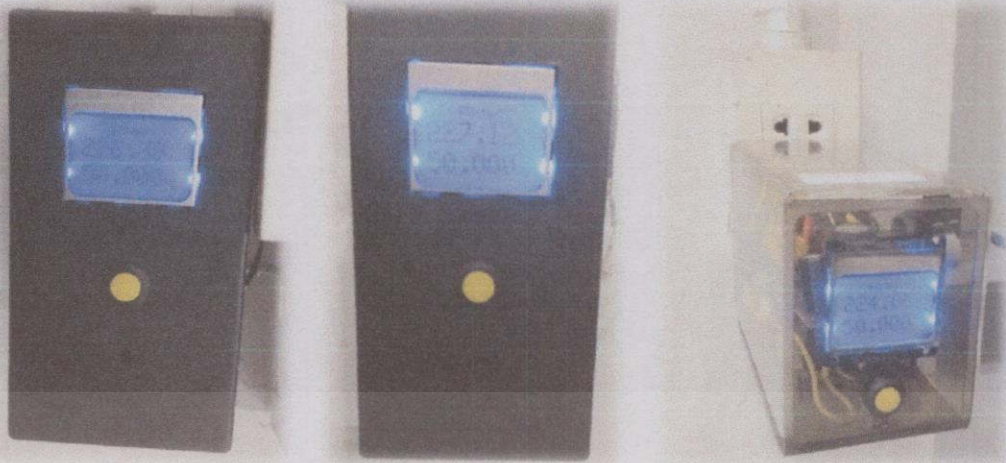
หลังจากทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับแรงดันและความถี่แล้ว จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่มาลองใช้งานจริงที่เข้ารับในสถานที่ต่างๆ ดังรูปที่ 4.31 แสดงการทดลองใช้งานจริง ที่เข้ารับจะรู้ค่าระดับแรงดันและความถี่ที่ตำแหน่งนั้นๆ โดยตรงจาก หน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่



รูปที่ 4.31 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

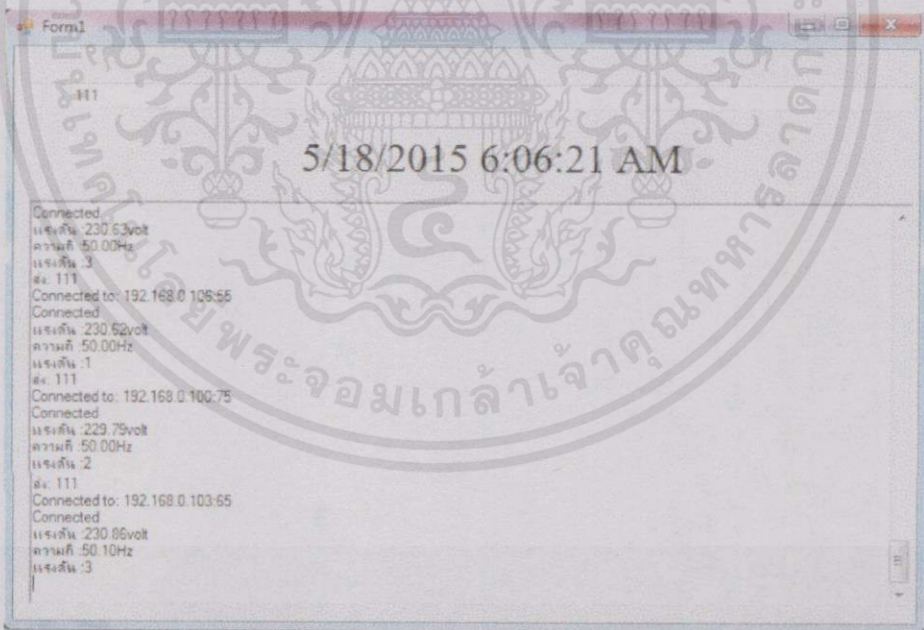
หลังจากนั้นจึงนำอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทั้ง 3 ตัวไปติดตั้งจริงที่ ตึก REAL LAB ตึก ECC และตึก E12 ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดัง แสดงไว้ในรูปที่ 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ที่ตึก Real Lab ตึก ECC และ ตึก E12 ตามลำดับ

เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ตามสถานที่ต่อไปคือ รูปแบบการทำงานของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ติดต่ออุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทั้ง 3 ตัว แล้วเก็บลงในฐานข้อมูล หน้าตาของโปรแกรมแสดงในภาพที่ 4.33



รูปที่ 4.33 โปรแกรมการติดต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทั้ง 3 ตัว และเก็บข้อมูลลง

ฐานข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลดังกล่าวจะเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลโดยจะแบ่งฐานข้อมูลตามสถานที่ต่างๆตามที่อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ไปติดตั้ง โดยข้อมูลในฐานข้อมูลเป็นไปดังรูปที่ 4.34, 4.35 และ 4.36

id	date	time	volts	freq
591	5/18/2015	6:11:00 A	229.19	50.00
598	5/18/2015	6:10:51 A	229.15	50.00
599	5/18/2015	6:09:40 A	229.76	50.00
588	5/18/2015	6:07:59 A	230.03	50.00
587	5/18/2015	6:07:00 A	229.91	50.00
596	5/18/2015	6:06:00 A	229.87	50.00
595	5/18/2015	6:05:00 A	229.79	50.00
584	5/18/2015	6:04:00 A	229.83	50.00
603	5/18/2015	6:03:01 A	229.57	50.00
582	5/18/2015	6:02:00 A	229.78	50.00
581	5/18/2015	6:00:58 A	229.68	50.00
598	5/18/2015	6:00:00 A	229.93	50.00

รูปที่ 4.34 ข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ ตึก REAL LAB บนฐานข้อมูล

id	date	time	volts	freq
595	5/18/2015	6:10:21 A	230.12	50.10
555	5/18/2015	6:09:20 A	230.89	50.00
524	5/18/2015	6:08:20 A	230.79	50.00
523	5/18/2015	6:07:19 A	230.78	50.00
522	5/18/2015	6:06:20 A	230.86	50.10
521	5/18/2015	6:05:21 A	230.29	50.00
520	5/18/2015	6:04:20 A	230.83	50.00
519	5/18/2015	6:03:16 A	230.23	50.00
518	5/18/2015	6:02:15 A	230.84	50.00
517	5/18/2015	6:01:21 A	229.71	50.00

รูปที่ 4.35 ข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ ตึก ECC บนฐานข้อมูล

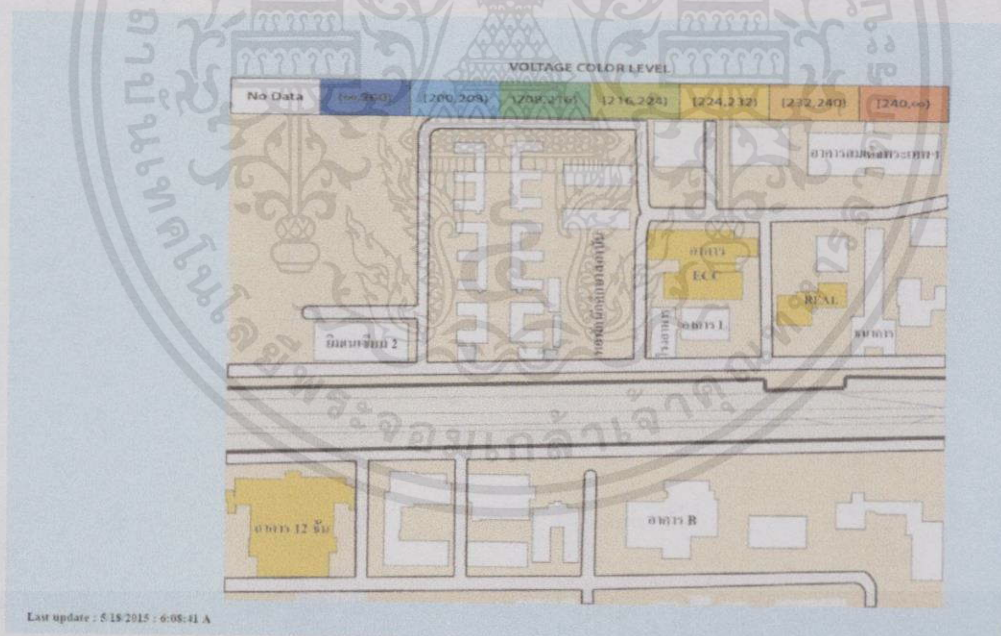
id	date	time	volts	freq
104	5/18/2015	6:05:41 A	230.66	50.00
103	5/18/2015	6:07:45 A	230.21	50.10
102	5/18/2015	6:06:40 A	230.38	48.90
101	5/18/2015	6:06:39 A	230.61	50.10
100	5/18/2015	6:04:40 A	230.62	50.00
99	5/18/2015	5:42:35 A	228.74	50.00
98	5/18/2015	5:41:30 A	230.16	50.00
97	5/18/2015	5:40:30 A	229.27	50.10
96	5/18/2015	5:39:39 A	230.16	50.00
95	5/18/2015	5:38:35 A	230.16	50.00

รูปที่ 4.36 ข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ ตึก E12 บนฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่มีการคืนใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปเผยแพร่หรือใช้งานอย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Map		Voltage-frequency Table	
E-12 Building			
Date	Time	Voltage	Frequency
5/18/2015	6:08:41 A	230.60	50.00
5/18/2015	6:07:40 A	230.61	50.10
5/18/2015	6:06:40 A	230.38	49.90
5/18/2015	6:05:39 A	230.61	50.10
5/18/2015	6:04:40 A	230.62	50.00
ECC Building			
Date	Time	Voltage	Frequency
5/18/2015	6:10:21 A	230.12	50.10
5/18/2015	6:09:20 A	230.88	50.00
5/18/2015	6:08:20 A	230.70	50.00
5/18/2015	6:07:19 A	230.78	50.00
5/18/2015	6:06:20 A	230.86	50.10
Renewable Energy Application Laboratory			
Date	Time	Voltage	Frequency
5/18/2015	6:11:00 A	229.10	50.00
5/18/2015	6:10:01 A	229.15	50.00
5/18/2015	6:09:00 A	229.76	50.00
5/18/2015	6:07:59 A	230.03	50.00
5/18/2015	6:07:00 A	229.91	50.00

รูปที่ 4.37 ตารางข้อมูลแรงดันและความถี่ที่ตำแหน่งติดตั้งต่างๆ



รูปที่ 4.38 เว็บเพจแสดงค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่ แสดงจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุปผล

ในด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารภายในสนามบิน ควรทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ติดตั้งเพื่อตรวจสอบว่าขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้นมีมากน้อยเพียงใด และสามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบภายในสนามบินที่ทำงานภายในย่านความถี่นั้นๆหรือไม่ เพื่อจะได้ไม่เกิดปัญหาในการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในด้านการรบกวนทางด้านทัศนวิสัยการมองเห็น ทั้งนี้ปัจจัยที่ก่อให้เกิดแสงจ้าก็คือ มุมของการสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ดวงตาได้รับแสงจ้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของการสังเกตได้ จึงต้องแก้ไขปัญหานี้โดยการปรับเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แทน

ในด้านของการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่ ที่ได้ทำการทดลองสามารถทำให้เห็นระดับแรงดันในแต่ละสถานที่ที่ติดตั้งดังรูปที่ 4.38 ในทางเดียวกันข้อมูลที่ได้สามารถนำมาประกอบวิเคราะห์และการสรุปในการตรวจสอบคุณภาพไฟฟ้าบริเวณรอบๆที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป เสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในสนามบิน ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งปัญหาที่มีความเสี่ยงจึงถูกนำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ได้แก่ ผลกระทบด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ผลกระทบด้านการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็นที่เกิดจากแสงจ้า และผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบแนวทางที่สามารถทำให้ทราบผลกระทบด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า คือการเก็บข้อมูลย่านความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบิน และทำการทดสอบโซลาร์อินเวอร์เตอร์ แล้ววิเคราะห์ว่ามีโอกาสได้รับผลกระทบจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ ผลกระทบด้านการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็นสามารถทราบได้โดยการทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อหาตำแหน่งที่เกิดแสงจ้าจากโปรแกรม SGHAT (Solar Glare Hazard Analysis Tool) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ทำการจำลองผลกระทบเกี่ยวกับแสงจ้าโดยอิงข้อมูลจากสนามบินเชียงใหม่ และปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบไฟฟ้า สามารถทราบได้โดยทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้าที่สามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ เรียกว่าระบบ VFRD (Voltage Frequency Realtime Display) และติดตั้งในตำแหน่งที่เราต้องการ

จากข้างต้นได้ผลสรุปดังนี้ ย่านความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ภายในสนามบินมีโอกาสที่จะถูกรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งการแพร่กระจายทางสายตัวนำ (Conducted emission) และการแพร่กระจายทางอากาศ (Radiated emission) เนื่องจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ในส่วนการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็น ผลการจำลองจากโปรแกรม SGHAT ได้ให้ข้อมูลว่า เกิดแสงจ้าที่มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานบนหอควบคุมการบินในระดับที่มีผลกระทบต่อดวงตาน้อยมาก ในกรณีติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมุมกับพื้นโลก 20 องศา และอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า เมื่อทดลองตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 โวลต์ ถึง 240 โวลต์ จะมีความผิดพลาดประมาณ 1% จากค่าจริงที่วัดด้วยมัลติมิเตอร์ และจะมีความผิดพลาดมากขึ้นถ้าวัดค่าแรงดันมากกว่า 250 โวลต์

ก่อนทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายใน

สนามบิน ควรวิเคราะห์ผลกระทบจากแสงจ้า เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาภายหลังการติดตั้ง และเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โซลาร์อินเวอร์เตอร์ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าได้เลย แต่เพื่อความแน่ใจ ควรทดสอบเพิ่มเติมตามไม่จำกัดทุกสิ่ง อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานดังแสดงในบทที่ แต่จะเกิดการรบกวนหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และระยะห่างของตำแหน่งที่ติดตั้งโซลาร์อินเวอร์เตอร์กับอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับผลการรบกวนด้วย ใน ส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ มีความ สะดวกสบายในการเข้าถึงข้อมูลเนื่องจากเป็นระบบเรียลไทม์เว็บไซต์ ทำให้ทราบค่าแรงดันที่ใน บริเวณต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว สามารถที่จะเข้าไปแก้ไขระบบไฟฟ้าได้ทันที และผลกระทบที่เกิด จากแสงจ้า ควรพิจารณาจากตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งและแนวการสังเกตของแต่ละสนามบิน ซึ่งจะแตกต่างกันไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาผลกระทบด้านแสงจ้าควรใช้โปรแกรม SGHAT ในการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นเพราะสนามบินมีพื้นที่กว้างใหญ่อีกทั้งยังต้องพิจารณาในระดับความสูงที่สูงมากและยังห่างไกล จากสนามบินการศึกษาโดยลงพื้นที่จริงเพื่อสังเกตนั้นจึงทำได้ยาก
2. ใช้ Microcontroller ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้เพื่อที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความ คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงน้อยที่สุด และมีเสถียรภาพในการติดต่อสื่อสารที่ดีมากขึ้น

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า ในอนาคตควรมีการส่งผ่านข้อมูลผ่าน ระบบอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายชาญชาย เชาวชาญ, นายคุณวุฒิ เพ็ชรประดับฟ้า, นายธนภัทร เจียรพิสิฐพงศ์ “การศึกษาผลกระทบของการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555
- [2] W. Shockley and H.J. Queisser, “Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells”, J. Applied Physics, 32, 510 (1961).
- [3] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน , วุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์, “ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronic” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] ทฤษฎีด้ายพฤติกรรมของแสง
http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2858/8/293034_ch2.pdf
- [5] ย่านความถี่ที่เกี่ยวข้องด้าน EMC
http://emfguide.itu.int/emfguide_m.html
- [6] ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า
http://herb.tisi.go.th/central/e-learning/pdf/Electro_EMG.pdf
- [7] มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า
http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Electromagnetic_Compatibility_on_Telecommunications/index.php
- [8] วิศวกรรมความคุมจราจรทางอากาศ
http://www.aerothai.co.th/thai/eng_commu_th.php
- [9] รศ.ศุสึ บรรจงจิตร, “วิศวกรรมส่องสว่าง ILLUMINATION ENGINEERING” .
- [10] นิยามความเข้มแสง
<http://tonanasia.com/wordpress/techniques/technical-library>
- [11] ระดับความเข้มแสงที่ส่งผลต่อตามนุษย์
<http://www.sandia.gov>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
<http://www.civicsolar.com/resource/Inverter-Noise-Emissions>
- [13] Interference
https://www.faa.gov/airports/environmental/policy_guidance/media/airport_solar_guide_print.pdf
- [14] การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
<http://www.interferencetechnology.com/solar-inverters-and-the-issue-of-emc-compliance/>
- [15] โปรแกรม Solar Glare Hazard Analysis Tool
<http://www.sandia.gov>
- [16] อาคารผู้โดยสารภายในประเทศและอาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศ
<http://www.airportthai.co.th/>
- [17] “ผังสถาปัตยกรรมภายนอก อาคารผู้โดยสารภายในประเทศ”
 ส่วนงานมาตรฐาน, ท่าอากาศยานเชียงใหม่
- [18] “ผังสถาปัตยกรรมภายนอก อาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศ”
 ส่วนงานมาตรฐาน, ท่าอากาศยานเชียงใหม่
- [19] Wifi module
<http://www.arduinoall.com>
- [20] LCD display
<http://www.candrian.gr/index.php/nokia-5110-graphics-lcd/>
- [21] ไมโครคอนโทรลเลอร์
<http://www.ett.co.th/prod2013/et-easy328%20stamp/et-easy328%20stamp.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารแนบท้ายประกาศหมายเลข ๕

ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ อุปกรณ์และการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคา (Solar PV Rooftop)

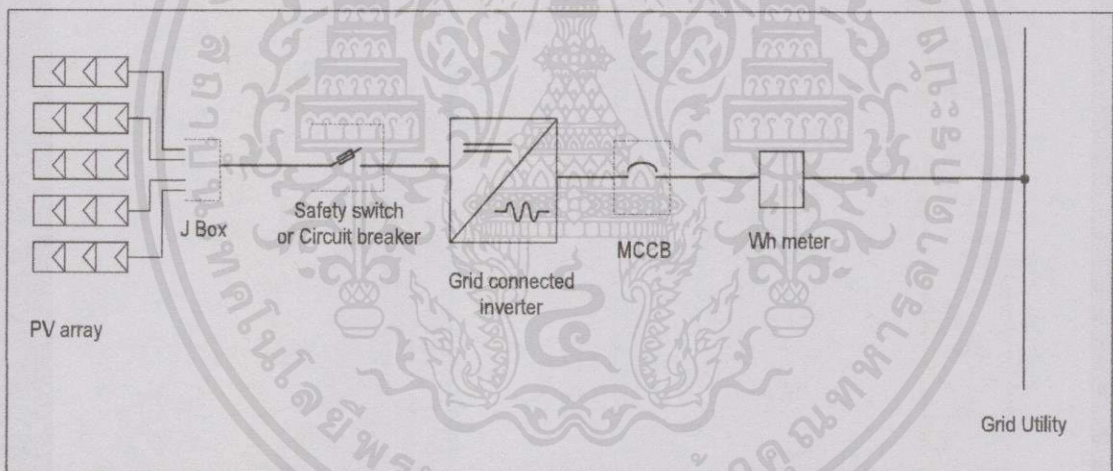
1. ลักษณะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าชนิดต่อเข้าระบบจำหน่าย (Grid connected Inverter) เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative current) ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt hour meter) และเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย³ ดังไดอะแกรม

⁻¹ หมายถึง ผู้ดำเนินการติดตั้งระบบ Solar PV Rooftop

⁻² หมายถึง ผู้รับการติดตั้งระบบ Solar PV Rooftop

⁻³ หมายถึง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหรือ การไฟฟ้านครหลวง



ตัวอย่าง ไดอะแกรมระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่ายแรงต่ำ

2. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับติดตั้งบนหลังคาอาคาร ประกอบด้วยวัสดุ อุปกรณ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเบื้องต้นอย่างน้อยตามข้อ 3 รวมทั้งวัสดุประกอบการติดตั้งอื่นๆ ที่จำเป็นครบถ้วน ซึ่งผู้ดำเนินการติดตั้งสามารถนำไปใช้ดำเนินการติดตั้งระบบกับสถานที่เป้าหมายได้อย่างถูกต้อง เป็นระเบียบและปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ อุปกรณ์ของระบบ

3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 กรณีเป็นแผงเซลล์ฯ ชนิด Crystalline silicon ควรเป็นยี่ห้อ รุ่นที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน มอก. 1843 หรือได้รับการรับรองมาตรฐาน IEC 61215 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules-Design qualification and type approval

3.1.2 กรณีเป็นแผงเซลล์ฯ ชนิด Thin film ควรเป็นยี่ห้อและรุ่นที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน มอก. 2210 หรือได้รับการรับรองมาตรฐาน IEC 61646 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules-Design qualification and type approval

3.1.3 ควรเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน มอก. 2580 หรือได้รับการรับรองตามมาตรฐาน IEC 61730 Photovoltaic (PV) module safety qualification หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2580 หรือ IEC 61730 โดยมีรายงานผลการทดสอบที่ออกให้โดยห้องปฏิบัติการทดสอบที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน มอก. 17025 หรือได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories แสดงยืนยัน

3.1.4 ควรมีสำเนาใบรับรอง (Certificate) ระบุการได้รับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ตามข้อ 3.1.1 หรือข้อ 3.1.2 ที่ออกให้โดย Certification Body (CB.) แสดงประกอบ

3.2 โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างฯ ควรเป็นเหล็กเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing) ตามมาตรฐาน ASTM หรือเป็นโลหะปลอดสนิม

3.2.2 ส่วนประกอบโครงสร้างฯ ควรสามารถถอดออกเป็นชิ้นส่วนและประกอบได้อย่างสะดวก

3.2.3 วัสดุ อุปกรณ์จับยึดแผงเซลล์ฯ กับโครงสร้างฯ และอุปกรณ์จับยึดชุดโครงสร้างฯ กับโครงสร้างหลังคาสถานที่ติดตั้ง ควรมีขนาดที่เหมาะสมและเป็นวัสดุที่ทำจากสแตนเลส (Stainless steel) หรือโลหะปลอดสนิม

3.2.4 โครงสร้างฯ ควรสามารถติดตั้งแผงเซลล์ฯ ได้อย่างมั่นคง แข็งแรง และประกอบยึดกับโครงสร้างหลังคาได้อย่างมั่นคง สามารถรับน้ำหนักและสามารถต้านทานแรงลมปะทะไม่น้อยกว่าความเร็วสูงสุดของพายุโซนร้อน (Tropical storm) ตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยาได้อย่างปลอดภัย หรือสามารถต้านทานแรงลมปะทะตามข้อกำหนดของเทศบัญญัติหรือตามระเบียบที่เกี่ยวข้องของหน่วยงานในพื้นที่ (ถ้ามี)

3.3 อุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าชนิดต่อกับระบบจำหน่าย (Grid connected Inverter) มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 เป็นยี่ห้อและรุ่นที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน IEC 61727 Photovoltaic (PV) systems -Characteristics of the utility interface และมาตรฐาน IEC 62116 Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61727 และ IEC 62116 โดยมีรายงานผลการทดสอบแสดงประกอบ

3.3.2 ควรมีสำเนาใบรับรอง (Certificate) การได้รับรองมาตรฐานตามข้อ 3.3.1 ที่ออกให้โดย Certification Body (CB.) แสดงประกอบ หรือมีรายงานผลการทดสอบ (Test Report) ที่แสดงคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว ที่ออกให้โดยห้องปฏิบัติการทดสอบที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน มอก. 17025 หรือได้รับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

3.3.3 มีคุณสมบัติเฉพาะทางไฟฟ้า (Electrical specification) เป็นไปตามระเบียบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 หรือระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยให้มีรายงานผลการทดสอบคุณสมบัติดังกล่าว ที่ออกให้โดยหน่วยงานทดสอบที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายยอมรับ

3.4 วัสดุ อุปกรณ์ประกอบ มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 อุปกรณ์ควบคุมการตัด-ต่อวงจรด้านไฟฟ้ากระแสตรง

1) กรณีเป็น Safety switch มีรายละเอียดดังนี้

- (1) เป็นชนิด Fusible Type 1 Phase 2 Wires หรือชนิดอื่นที่ดีกว่า
- (2) โครงสร้างเป็นโลหะ มีฝาปิดที่ป้องกันการเปิดเมื่อคันโยกสวิตช์อยู่ตำแหน่ง ON
- (3) ติดตั้งฟิวส์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Fuse) และฟิวส์กระแสไฟฟ้า (Rated current) ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของฟิวส์กระแสสลับวงจร (I_{sc}) ที่สภาวะ STC ของชุดแผงเซลล์ฯ

2) กรณีเป็น Circuit Breaker มีรายละเอียดดังนี้

- (1) เป็นชนิด Molded case circuit breaker, MCCB
- (2) เป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน IEC 898 หรือ IEC 947-2 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่าหรือดีกว่า
- (3) มีฟิวส์กระแส Ampere trip, AT ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของฟิวส์กระแสสลับวงจร (I_{sc}) ที่สภาวะ STC ของชุดแผงเซลล์ฯ

3.4.2 อุปกรณ์ควบคุมการตัด-ต่อวงจรด้านไฟฟ้ากระแสสลับ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เป็นชนิด Molded case circuit breaker, MCCB

2) เป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน IEC 898 หรือ IEC 947-2 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่าหรือดีกว่า

3) มีพิกัดกระแส Ampere trip, AT ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่า ของพิกัดกำลังไฟฟ้า (Rate power) ที่ Unity power factor ของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า ตามข้อ 3.3

3.4.3 สายไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้

1) เป็นสายไฟชนิด Photovoltaic wire ที่สามารถทนอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 80°C หรือเป็นสายไฟฟ้าชนิด 0.6/1 KV CV ตามมาตรฐาน IEC 60502 หรือสายชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่า

2) ด้านไฟฟ้ากระแสตรง มีขนาดทนกระแสสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่า ของกระแสลัดวงจรของชุดแผงเซลล์ฯ (I_{sc}) ที่สภาวะ STC. และเป็นไปตามเงื่อนไขกำหนดข้อ 4.7.1

3) ด้านไฟฟ้ากระแสสลับ มีขนาดทนกระแสสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่า ของกระแสจ่ายออกที่พิกัดกำลังไฟฟ้า (Rated power) ที่ Unity power factor ของอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า ตามข้อ 3.3 และเป็นไปตามเงื่อนไขกำหนดข้อ 4.7.2

3.4.4 ท่อร้อยสายไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้

1) กรณีเป็นท่อ Polyethylene ควรเป็นท่อชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene Pipe, HDPE) ชั้นคุณภาพ PN 8 หรือดีกว่า และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง มอก. 982

2) กรณีเป็นท่อโลหะ ควรเป็นชนิดท่อโลหะร้อยสายไฟฟ้า EMT หรือดีกว่า

3.4.5 กล่องรวมสาย (DC Junction Box) มีรายละเอียดดังนี้

1) เป็นกล่องโลหะหรือพลาสติกแข็ง ชนิดใช้งานกลางแจ้ง (Out door type)

2) สามารถป้องกันสิ่งรบกวนตาม Ingress Protection (IP) ที่ระดับ IP 45 หรือดีกว่า

3) ติดตั้งชั่วคราวสายไฟฟ้าภายในกล่องรวมสายอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ เป็นระเบียบ แข็งแรง และปลอดภัย

4. แนวทางการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.1 ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องสำรวจพื้นที่จริง และออกแบบรายละเอียดการติดตั้งระบบ Solar PV Rooftop โดยให้มีรายละเอียดแสดง ประกอบด้วย Shop drawing บัญชีแสดงรายการวัสดุ อุปกรณ์ที่ระบุยี่ห้อ รุ่น พร้อม Catalog ของวัสดุ อุปกรณ์ที่แสดงคุณสมบัติตามเงื่อนไขกำหนด รวมทั้งเอกสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และรายการคำนวณที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4.2 การออกแบบรายละเอียดการติดตั้งระบบ Solar PV Rooftop และการจัดทำ Shop drawing รวมทั้งรายการคำนวณที่เกี่ยวข้อง ต้องดำเนินการและลงนามรับรองความถูกต้องโดยวิศวกรผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมจากสภาวิศวกร

4.3 การออกแบบติดตั้งแผงเซลล์ฯ ควรให้ด้านรับแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์ฯ หันไปทางทิศใต้ หรือทิศใกล้เคียงทิศใต้ที่สามารถยอมรับได้ และวางเอียงทำมุมกับแนวระนาบทิศเหนือ-ใต้ ประมาณ 10-20 องศา หรือตามแนวลาดเอียงของหลังคาอาคารเป้าหมาย ตำแหน่งติดตั้งแผงเซลล์ฯ ควรอยู่ในพื้นที่โล่งและไม่เกิดการบังเงาบนแผงเซลล์ฯ ที่อาจก่อให้เกิด Hot spot และการติดตั้งชุดแผงเซลล์ฯ ควรมีความมั่นคง แข็งแรงและสามารถดูแลบำรุงรักษาได้

4.4 การต่อวงจรชุดแผงเซลล์ฯ ควรเป็นไปตามหลักวิชาการและให้มีการป้องกันเพื่อความปลอดภัยที่ดี โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 2572 การติดตั้งทางไฟฟ้า-ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ หรือตามมาตรฐาน IEC 60364-7-712 Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems หรือตามคู่มือแนะนำการติดตั้งแผงเซลล์ฯ ของผู้ผลิต (ถ้ามี)

4.5 การเดินสายไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์ฯ ให้ใช้สายไฟฟ้าที่ติดตั้งมาพร้อมกับ Terminal box ของแผงเซลล์ฯ และต่อวงจรให้ถูกต้อง แข็งแรง หรือใช้สายไฟฟ้าชนิด Photovoltaic wire หรือเป็นสายไฟฟ้าชนิด CV 0.6/1 KV หรือดีกว่า ขนาดครุมน้อยกว่า 2.5 sq.mm. หรือขนาดสายตามคู่มือแนะนำของผู้ผลิต (ถ้ามี) และการต่อสายไฟฟ้าควรใช้ขั้วต่อสายชนิด PV connector หรือแบบอื่นที่มั่นคง แข็งแรงไม่ด้อยกว่า

4.6 ชุดแผงเซลล์ฯ และอุปกรณ์ของระบบฯ ทุกรายการที่มีโครงสร้างเป็นโลหะและหรืออุปกรณ์ ที่ระบุให้มีการต่อสายดินจะต้องต่อวงจรสายดินให้ครบถ้วน โดยให้ดำเนินการตามหลักวิชาการ หรืออ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 (ฉบับแก้ไขปรับปรุง พ.ศ. 2551) ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.7 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้า ต้องมีพิกัดทนกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของกระแสสูงสุดผ่านวงจรและมีค่าแรงดันสูญเสียในสายไฟฟ้า (Voltage drop) ไม่เกินข้อกำหนดดังนี้

4.7.1 ด้านระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC Side) กำหนดให้ขนาดสายไฟฟ้าจากชุดแผงเซลล์ฯ แต่ละสาขา (PV string) ถึงอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้า (Inverter) มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูญเสียในสายไม่เกิน ร้อยละ 3 ที่พิกัดจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{mp}) ของชุดแผงเซลล์ฯ โดยเทียบกับค่าแรงดันสูงสุด (V_{mp}) ของชุดแผงเซลล์ฯ ที่สภาวะ STC.

4.7.2 ด้านระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Side) กำหนดให้ขนาดสายไฟฟ้าจาก Output ของอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าถึงจุดเชื่อมต่อกับสายระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า มีแรงดันไฟฟ้าสูญเสียในสายไม่เกิน ร้อยละ 3 โดยเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้าด้าน Output ตามพิกัดที่ Unity power factor ของอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าตามข้อ 3.3

4.8 สายไฟฟ้าของระบบมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อ 3.4.3 (ยกเว้น ข้อ 4.11 การใช้สายไฟฟ้า และลักษณะการเดินสายไฟฟ้าให้เป็นไปตามระเบียบ/ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย) ลักษณะการเดินสายต้องเป็นระเบียบและถูกต้องตามหลักวิชาการโดยอ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า

สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545 (ฉบับแก้ไขปรับปรุง พ.ศ. 2551) ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือตามระเบียบ/ข้อกำหนดที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายยอมรับ

4.9 กรณีเดินสายภายในท่อร้อยสายไฟฟ้า ให้ใช้ท่อร้อยสายไฟฟ้าชนิด HDPE หรือดีกว่า สำหรับสายไฟฟ้าภายนอกอาคาร และใช้ท่อโลหะชนิด EMT หรือดีกว่า สำหรับสายไฟฟ้าภายในอาคาร

4.10 การติดตั้งอุปกรณ์ประกอบระบบทุกรายการควรเป็นระเบียบ สวยงาม สามารถใช้งานหรือตรวจสอบได้สะดวก การต่อสายไฟฟ้าของระบบต้องยึดด้วยขั้วต่อสายทางไฟฟ้าที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ มั่นคงแข็งแรงและปลอดภัย

4.11 กรณีระบบ Solar PV Rooftop มีกำลังไฟฟ้าจ่ายออก (Out put Power) อยู่ในพิสัยที่ต้องเชื่อมต่อกับระบบแรงสูง ตามระเบียบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อบริการจ่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 และหรือระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องจัดหาอุปกรณ์ประกอบระบบให้ครบถ้วนและมีคุณสมบัติถูกต้องตามเงื่อนไขในการเชื่อมต่อกับระบบแรงสูงที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายยอมรับ และดำเนินการติดตั้งให้ถูกต้องตามระเบียบ/ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

4.12 เมื่อติดตั้งระบบ Solar PV Rooftop แล้วเสร็จ ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องให้มีวิศวกรผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมจากสภาวิศวกร ดำเนินการตรวจสอบการติดตั้งระบบถูกต้อง ปลอดภัยตามหลักวิชาการและการใช้วัสดุ อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติถูกต้องตรงตามข้อกำหนด และให้มีเอกสารลงนามรับรองผลการตรวจสอบโดยวิศวกรดังกล่าว

4.13 ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องประสานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการอนุญาตเชื่อมต่อบริการ Solar PV Rooftop กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายให้แล้วเสร็จ และให้มีวิศวกรไฟฟ้าผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาไฟฟ้างานไฟฟ้ากำลังจากสภาวิศวกร ดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบให้เป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนด/ระเบียบที่เกี่ยวข้อง เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานผลิตไฟฟ้าได้

4.14 ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องจัดให้มีคู่มือแนะนำการใช้งานและการดูแลบำรุงรักษาระบบเบื้องต้น พร้อมทั้งดำเนินการแนะนำผู้รับการติดตั้งทราบขั้นตอนและวิธีปฏิบัติในการเดินเครื่องระบบ การตรวจสอบระบบเบื้องต้น และให้มีรายละเอียดสำหรับการติดต่อกับผู้ดำเนินการติดตั้งเพื่อการแจ้งตรวจซ่อมระบบ กรณีเกิดความผิดปกติหรือชำรุด

4.15 ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องรับประกันคุณภาพการใช้งานระบบ Solar PV Rooftop หลังจากวันส่งมอบระบบที่ติดตั้งและทดสอบการทำงานจริงแล้วเสร็จ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 (สอง) ปี โดยในระยะเวลารับประกันดังกล่าว ผู้ดำเนินการติดตั้งต้องรับผิดชอบในการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนวัสดุ อุปกรณ์ที่เกิดการชำรุดเสียหายจากการใช้งานตามปกติ โดยไม่สามารถคิดค่าใช้จ่ายจากผู้รับการติดตั้งแต่อย่างใด ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)

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

ส่วนที่ ๑ : ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย

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

ส่วนที่ ๒ : ข้อจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ขนาดกำลังผลิตติดตั้งของ Solar PV Rooftop ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ต้องเป็นไปตาม “ข้อจำกัดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา”

ส่วนที่ ๓ : รูปแบบการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้า

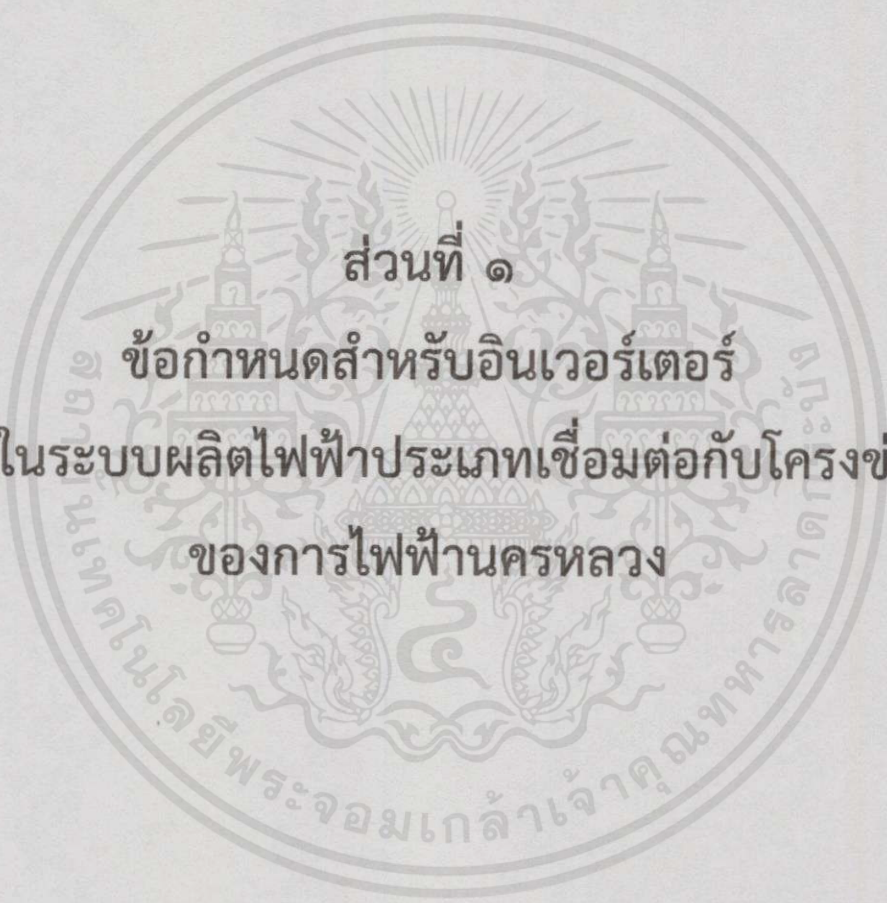
มาตรฐานรูปแบบการเชื่อมต่อนั้นทั้งการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนด โดยการไฟฟ้านครหลวงขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อและการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าตามความเหมาะสม เพื่อความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งผู้ผลิตไฟฟ้า Solar PV Rooftop จะต้องยอมรับและปฏิบัติตาม

ส่วนที่ ๔ : คุณสมบัติเครื่องตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า

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

คุณสมบัติและเงื่อนไขอื่นๆในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของ Solar PV Rooftop ให้เป็นไปตามระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. ๒๕๕๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนที่ ๑
ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์
ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่าย
ของการไฟฟ้านครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ประเด็นใดในข้อกำหนดฯที่ไม่ได้ระบุรายละเอียดไว้ให้อ้างอิงเนื้อหาตามมาตรฐานสากลเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 การป้องกันสภาวะไอส์แลนด์

ในกรณีที่เกิดสภาวะไอส์แลนด์ อินเวอร์เตอร์จะต้องตรวจพบและปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาไม่เกิน ๒ วินาที

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการไฟฟ้านครหลวงมีการติดตั้งระบบสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟโดยอัตโนมัติเมื่อระบบจ่ายไฟฟ้าขัดข้อง เพื่อลดระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับและผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยขณะที่ระบบข้างต้นทำงานผู้ใช้ไฟฟ้าจะประสบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลาประมาณ ๐.๓ วินาที นั่นคืออินเวอร์เตอร์จะประสบกับสภาวะไอส์แลนด์เป็นเวลา ๐.๓ วินาทีเช่นกัน

หลังจากผ่านไป ๐.๓ วินาที เมื่อระบบการไฟฟ้าจ่ายแรงดันกลับคืนมา หากอินเวอร์เตอร์ไม่ปลดวงจรออกไปภายในเวลาดังกล่าว อาจเกิดปัญหา Out of Synchronization คือแรงดันที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์มีมุมเฟสแตกต่างจากแรงดันที่จ่ายจากระบบการไฟฟ้า ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดแรงดันกระชากสร้างความเสียหายกับอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์อื่นๆในระบบไฟฟ้าได้

ดังนั้นเมื่อเกิดสภาวะไอส์แลนด์ หากอินเวอร์เตอร์ของผู้เชื่อมต่อไม่ปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลา ๐.๓ วินาที และก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อหรือระบบของการไฟฟ้านครหลวงเนื่องจากปัญหา Out of Synchronization ผู้เชื่อมต่อต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น

๓.๒.๔ การเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน

ภายหลังจากที่อินเวอร์เตอร์ปลดวงจร เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดัน/ความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด และเมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วอินเวอร์เตอร์จะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย ๒ นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 แรงดันกระเพื่อม การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ช่วงแรงดันทำงาน ช่วงความถี่ทำงาน การป้องกันการเกิดโอสแลนดิง และการเชื่อมต่อหลังไฟฟ้ากลับคืน และต้องผ่านการทดสอบโดยสถาบันที่มีคุณสมบัติตามข้อ ๔.๑ เท่านั้น

๔.๒.๒ การทดสอบประจำเครื่อง (Routine Test)

เป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการกับอินเวอร์เตอร์ทุกเครื่องที่จะนำไปติดตั้งใช้งาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยสูงสุดและป้องกันผลเสียที่อาจมีต่อระบบไฟฟ้า หัวข้อทดสอบที่ต้องทำการทดสอบประจำเครื่องคือ ช่วงแรงดันทำงาน ช่วงความถี่ทำงาน และการป้องกันการเกิดโอสแลนดิง

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 การทดสอบแรงดันกระเพื่อม

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 สำหรับการศึกษานี้ ไม่นับรวมให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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) ปรับแรงดันทดสอบเพิ่มขึ้นแบบขั้นบันได 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) ปรับแรงดันทดสอบลดลงแบบขั้นบันได 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 ๑๑๙ V * n คือ จำนวนครั้งที่ต้องทดสอบเพิ่มเติมในกรณีอินเวอร์เตอร์เป็นชนิด ๓ เฟส โดยทดสอบที่ละเฟสและทดสอบทั้ง ๓ เฟสพร้อมกัน * กรณีที่อินเวอร์เตอร์ไม่สามารถปรับ Overvoltage Trip Setting และ/หรือ Undervoltage Trip Setting ได้ถึง ๓๑๑ V และ/หรือ ๑๑๙ V ตามลำดับ ให้ปรับ Overvoltage Trip Setting และ/หรือ Undervoltage Trip Setting ไปที่ค่าแรงดันสูงสุดและ/หรือแรงดันต่ำสุดที่อินเวอร์เตอร์สามารถปรับตั้งค่าได้ตามลำดับ		

๑.๒) เกณฑ์การประเมิน

ในการทดสอบแต่ละครั้งอินเวอร์เตอร์ต้องหยุดจ่ายไฟเข้าระบบภายในระยะเวลาตามที่กำหนดในข้อ ๓.๒.๑

(๒) Routine Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 การทดสอบการป้องกันสถานะไอส์แลนดิง

(๑) Design Test

๑.๑) ขั้นตอนวิธีการทดสอบ

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62116-2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

๑.๒) เกณฑ์การประเมิน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 $\pm 10\%$
- 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

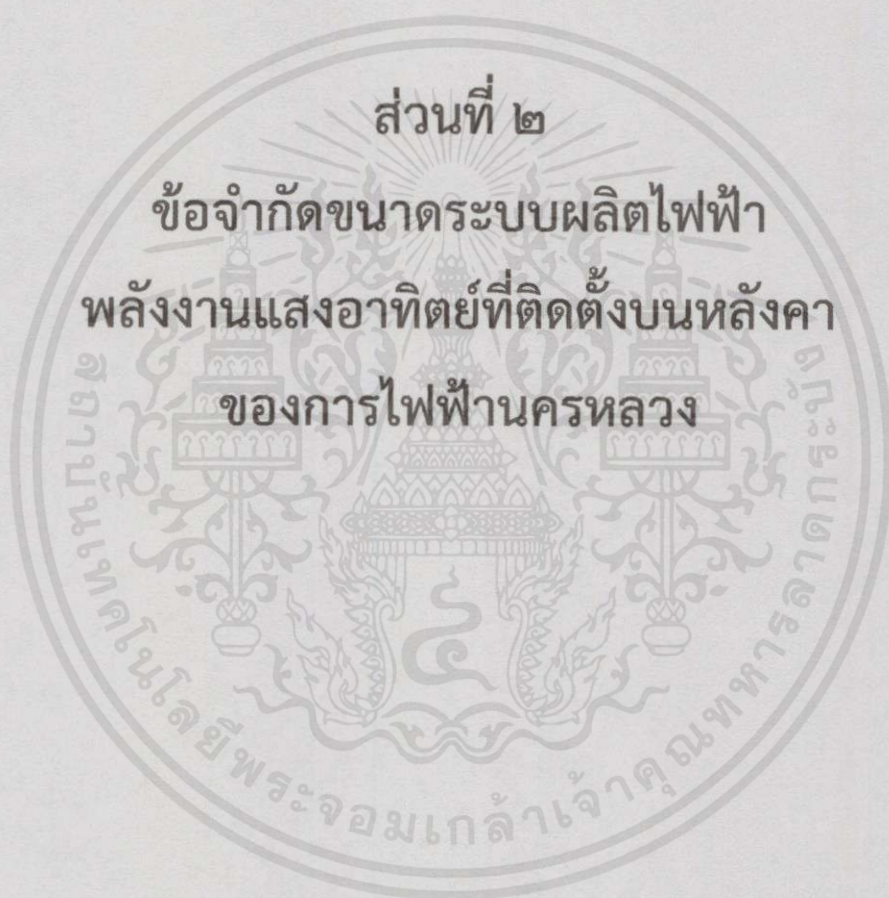
๒.๒) เกณฑ์การประเมิน

ในการทดสอบแต่ละครั้งอินเวอร์เตอร์จะต้องหยุดจ่ายไฟเข้าระบบภายในเวลาไม่เกิน ๒ วินาที

๔.๓.๗ การทดสอบการเชื่อมต่อหลังไฟฟ้างลับคืน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

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

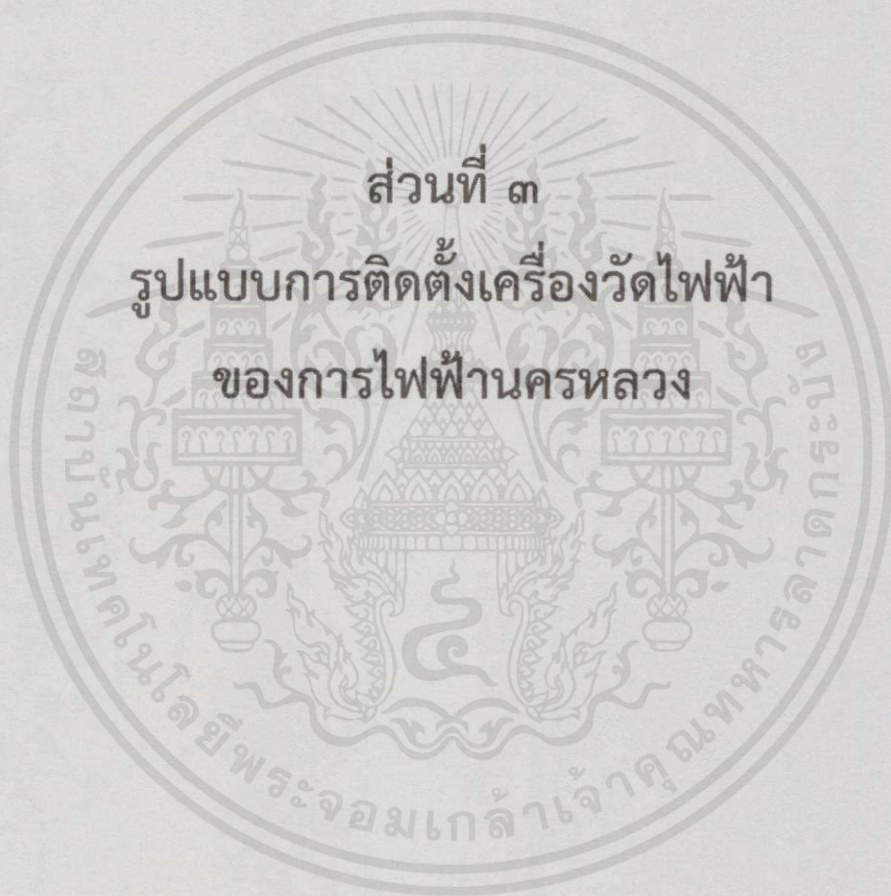
ก) กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (๒๓๐/๔๐๐ โวลต์)

- หากเป็นระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเฟสเดียว จะต้องมีความกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 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. รายละเอียดอื่นๆเป็นไปตามเงื่อนไขในข้อ ข)

ข) กรณีเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงกลาง (๑๒ หรือ ๒๔ กิโลโวลต์)

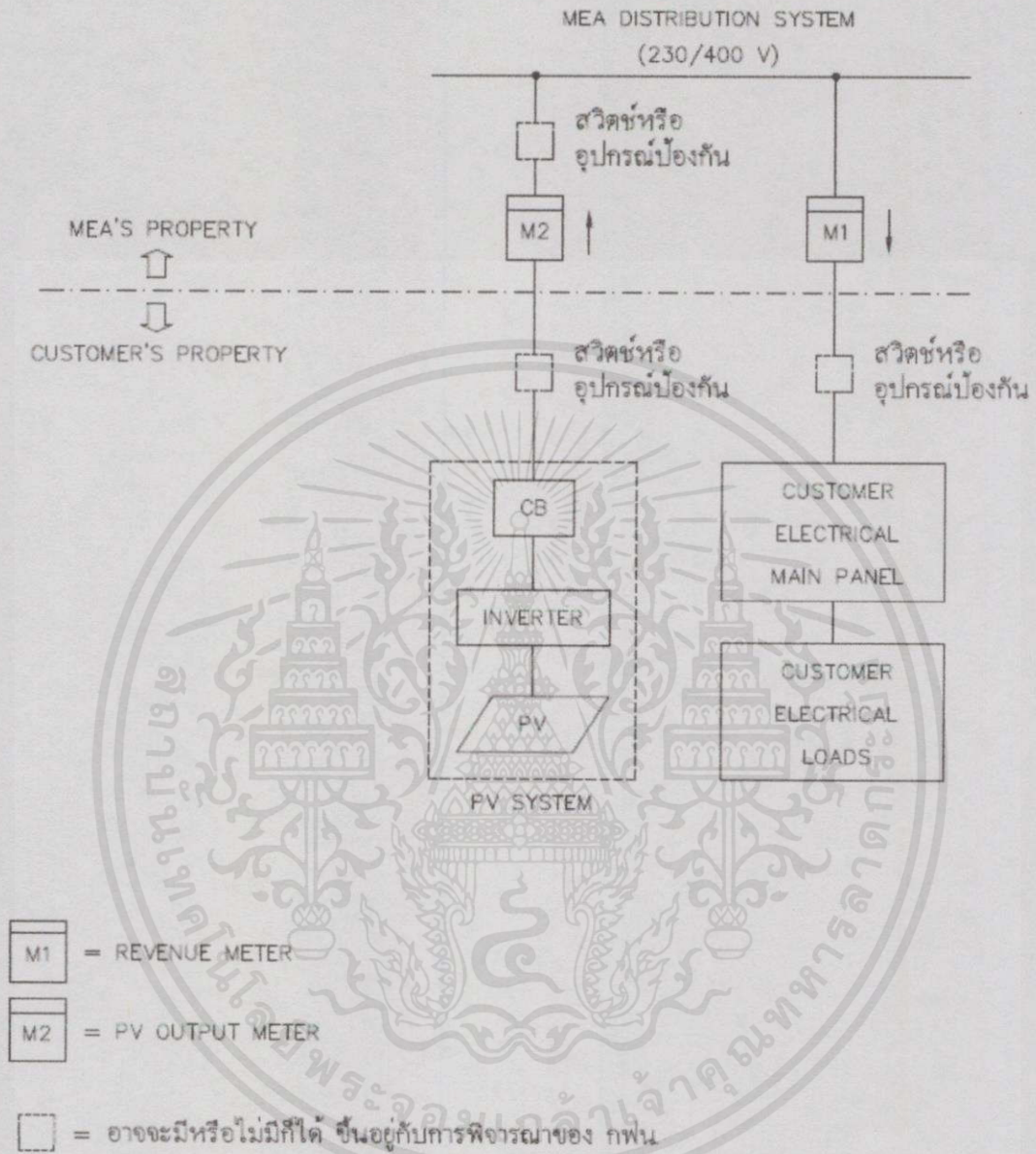
- ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์) เกินกว่า ๑๕% ของพิกัดขนาดหม้อแปลงจำหน่าย (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์) ในพื้นที่นั้น จะต้องไปเชื่อมต่อขายไฟฟ้าในระบบ ๑๒ หรือ ๒๔ กิโลโวลต์ โดยผู้ยื่นขอจะต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายพร้อมอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของ กฟน.
- กำลังผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าทุกประเภท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

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



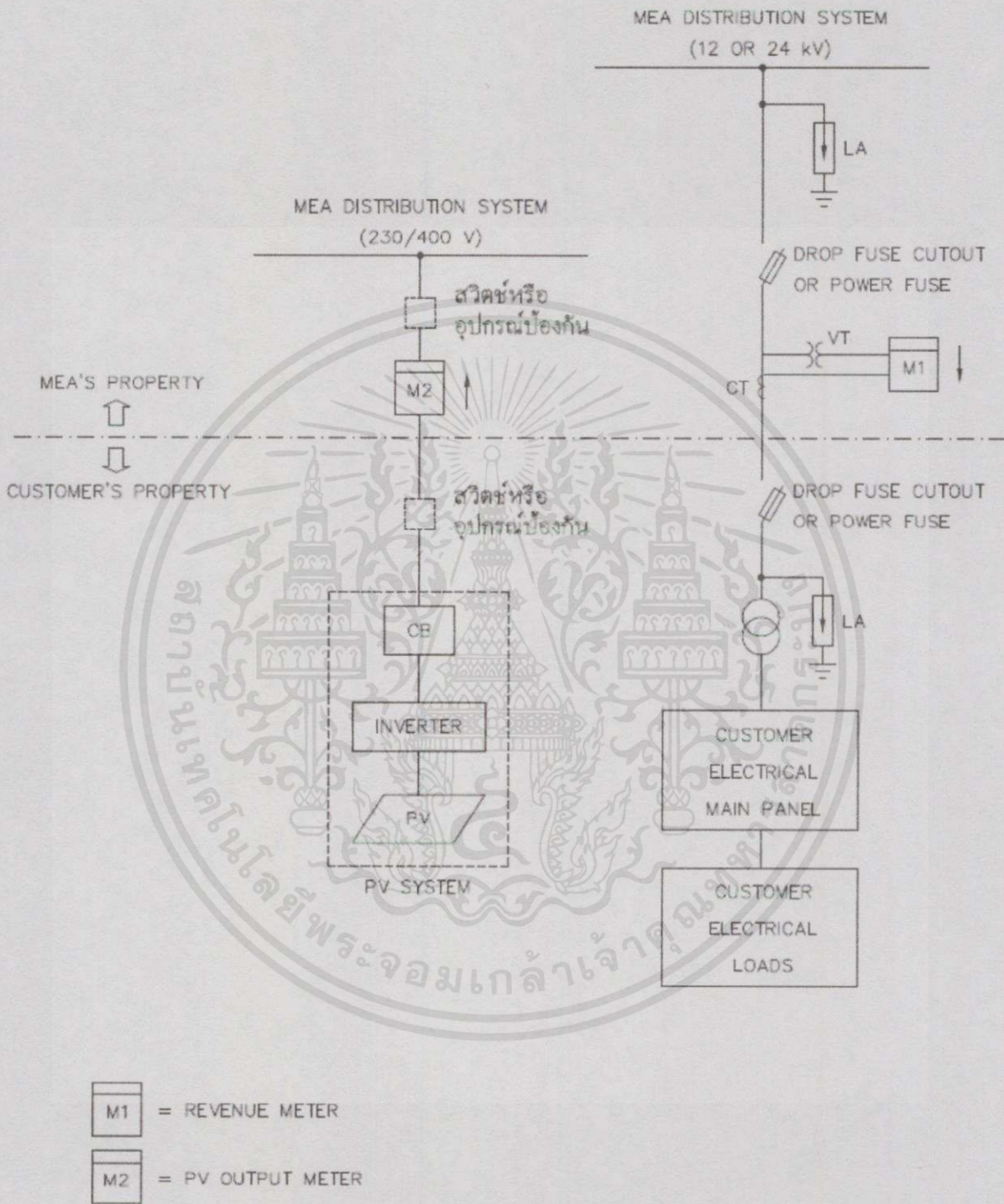
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรณีสัญญาไฟฟ้าซื้อและขายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (230/400 โวลต์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

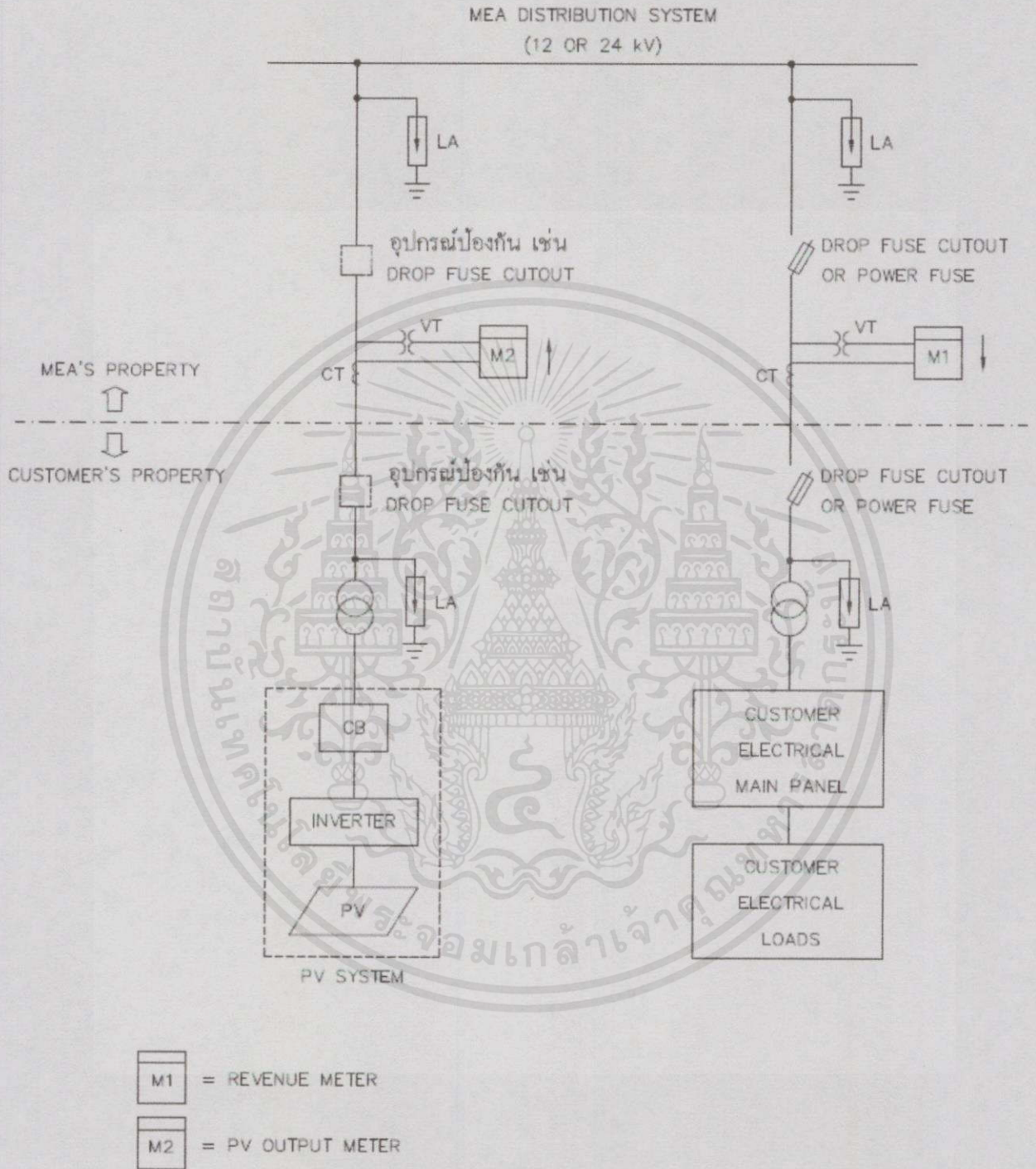


- M1 = REVENUE METER
- M2 = PV OUTPUT METER

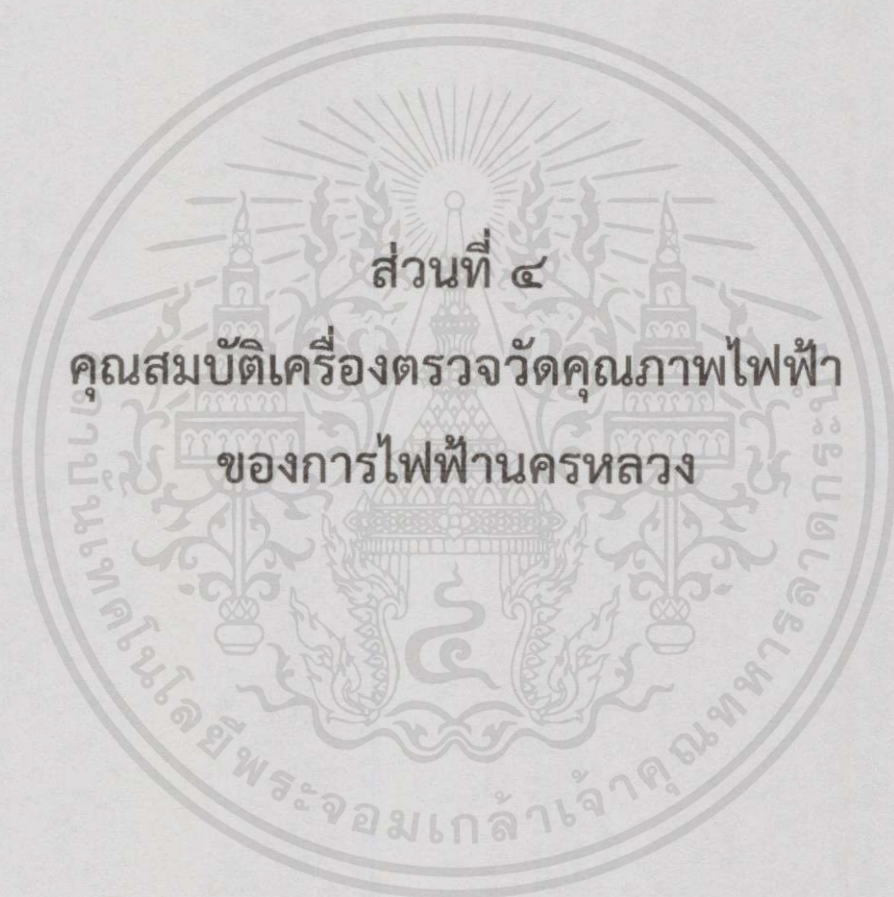
 = อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของ กฟน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรณียุติไฟฟ้าดีและขายไฟฟ้าแรงดันสูง (12 หรือ 24 เควี)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1. ข้อกำหนดทางเทคนิค

1.1 แรงดันและความถี่

แรงดันและความถี่ของระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก จะต้องเข้ากันได้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและเป็นไปตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551

1.2 ฮาร์โมนิก (Harmonics)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่สร้างกระแสฮาร์โมนิกจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 สำหรับการตรวจวัดที่ระดับแรงดันอื่นๆ นอกเหนือจากข้อกำหนดข้างต้นให้นำมาตรฐาน IEC ที่เหมาะสมมาใช้

1.3 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551

1.4 การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Injection)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551

1.5 การควบคุมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power control)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องสามารถควบคุมตัวประกอบกำลังหรือกำลังไฟฟารีแอกทีฟเพื่อรักษาระดับแรงดัน ณ จุดต่อเชื่อม ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ. โดยระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการจะต้องมีความสามารถดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1. การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแบ่งตามระดับแรงดัน ณ จุดต่อเชื่อมกับระบบของ กฟภ.

ระดับแรงดัน ณ จุด PCC	* ความสามารถในการปรับค่า Power factor	วิธีการควบคุมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ
1) ระดับแรงดันต่ำ	0.95 lagging to	ควบคุมอย่างน้อย 1 วิธี คือ
2) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 กิโลวัตต์)	0.95 leading เป็นอย่างน้อย	A fixed displacement factor $\cos \theta$
3) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์)	0.90 lagging to 0.90 leading เป็นอย่างน้อย	ควบคุมอย่างน้อย 2 วิธี คือ 1) A fixed displacement factor $\cos \theta$ 2) A variable reactive power depending on the voltage (XU)

1.6 การควบคุมกำลังไฟฟ้า (Active power control)

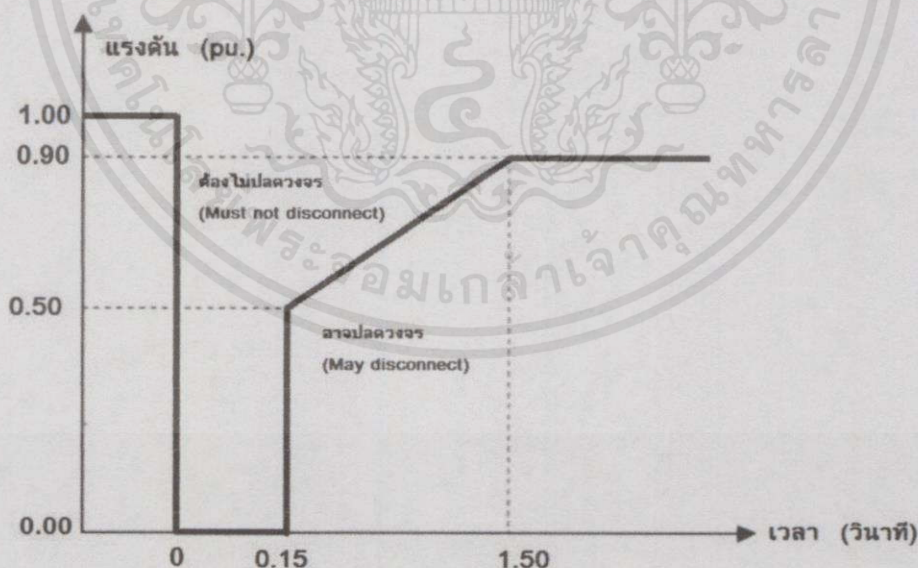
ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าจาก 100 เปอร์เซ็นต์ เหลือศูนย์เปอร์เซ็นต์ ได้ โดยสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าอย่างน้อยครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที ทั้งนี้กรณีที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติในระบบโครงข่ายไฟฟ้าหรือเหตุการณ์ใดๆ ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาแล้วเห็นว่าผลกระทบต่อความปลอดภัยและเสถียรภาพของระบบโครงข่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะแจ้งและ/หรือสั่งการให้ปรับลดกำลังไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสม

1.7 ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องไม่ปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนด ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยกำหนดตามระดับแรงดัน ณ จุดต่อเชื่อมดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2. ระยะเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะได้

ระดับแรงดัน ณ จุด PCC	Duration time (วินาที)
1) ระดับแรงดันต่ำ	ไม่ต้องการ
2) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 กิโลวัตต์)	ไม่ต้องการ
3) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์)	ดังรูปที่ 1.



รูปที่ 1. กราฟแสดงความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under and Over voltage protection)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าหากขนาดของแรงดัน Line to Neutral ในระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่าออกนอกช่วงที่ระบุไว้ตามตารางที่ 3. ดังนี้

ตารางที่ 3. ระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไม่อยู่ในช่วงแรงดันปกติ

ระดับแรงดัน ณ จุดPCC	ระยะเวลาตัดวงจร (วินาที)
$V < 50\%$	0.3
$50\% \leq V < 90\%$	2.0
$90\% \leq V \leq 110\%$	แรงดันทำงานต่อเนื่อง
$110\% < V < 120\%$	1.0
$V \geq 120\%$	0.16

1.9 การป้องกันความถี่ต่ำและความถี่เกิน (Under and Over frequency protection)

ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายใน 0.1 วินาที เมื่อความถี่ที่จุดเชื่อมต่อมีค่าไม่อยู่ในช่วง 48 Hz – 51 Hz

1.10 การป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding)

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดดในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าให้ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ภายใน 2 วินาที

1.11 การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Response to utility recovery)

ภายหลังจากที่ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดัน/ความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย 20 วินาทีถึง 5 นาที

2. ข้อกำหนดอื่นๆ

2.1 การต่อลงดิน (Earthing), การป้องกันการลัดวงจร (Short circuit protection) และการตัดตอนและการปลดสับ (Isolation and switching) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60364-7-712

2.2 การจัดหาและติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power quality Monitoring) ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 นั้น ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องจัดหา ออกแบบ และติดตั้งระบบ Monitoring Systems สำหรับคุณภาพไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถเรียกดูข้อมูลในรูปแบบเวลาจริง (Real time) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตซึ่งได้แก่ข้อมูล แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง THDv, THDi, Pst, และ Plt เป็นต้น รวมทั้งจะต้องจัดส่งเอกสารบันทึกผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจาก PQM ตามแบบฟอร์มหรือรูปแบบที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดเป็นประจำทุกเดือน

2.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้ามากกว่า 56 กิโลวัตต์ จะต้องมียระบบ Monitoring Systems ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถเรียกดูข้อมูลการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบเวลาจริง (Real time) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตหรือแอปพลิเคชันต่างๆ ซึ่งได้แก่ข้อมูลกำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ เป็นต้น

2.4 สำหรับการเชื่อมโยงในระบบจำหน่ายแรงต่ำ 380/220 กิโลโวลต์

2.4.1 ขนาดกำลังผลิตติดตั้งรวมของระบบผลิตไฟฟ้าที่เชื่อมต่อในหม้อแปลงจำหน่ายแรงต่ำ จะต้องไม่เกิน 25% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์)

2.4.2 หากกำลังผลิตติดตั้งรวมของระบบผลิตไฟฟ้าตามข้อ 2.4.1 เชื่อมต่อเต็มขีดจำกัด 25% ของขนาดพิกัดหม้อแปลงแล้ว ผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องไปเชื่อมต่อในระบบจำหน่ายแรงดัน 22 หรือ 33 กิโลโวลต์ โดยผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องเป็นผู้จัดหาหม้อแปลงจำหน่ายและอุปกรณ์ป้องกันตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต่อไป

2.5 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากรายใดที่ไม่ผ่านข้อกำหนดทางเทคนิคผู้ขอใช้บริการจะต้องทำการศึกษาและแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นถ้าหากมีความจำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้าผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นรายๆ ไป

2.6 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดทางเทคนิคตามความเหมาะสม เพื่อความปลอดภัยความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าและผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก

3. การทดสอบ

3.1 สถาบันหรือหน่วยงานที่ทดสอบ

1. ระบบผลิตไฟฟ้าจะต้องผ่านการทดสอบจากห้องทดสอบที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ
2. ห้องทดสอบจะต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานห้องทดสอบ ISO/IEC 17025:2005 หรือผ่านการตรวจสอบจากหน่วยงาน/สถาบันที่เป็นกลางในประเทศที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ
3. ระบบผลิตไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบจากห้องทดสอบในต่างประเทศ จะต้องได้รับการตรวจสอบและรับรองผลการทดสอบจากหน่วยงาน/สถาบัน ที่เป็นกลางในประเทศหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก่อน

3.2 ประเภทของการทดสอบ

3.2.1 การทดสอบในห้องทดสอบ (Laboratory Test)

ทดสอบโดยหน่วยงานตามข้อ 3.1 และทดสอบเพียง 1 ตัวต่อ 1 รุ่น เพื่อยืนยันว่าหากนำมาติดตั้งใช้งานจริง จะต้องสามารถควบคุมคุณภาพไฟฟ้าและตอบสนองต่อระบบไฟฟ้าได้ตามที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขคดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบผลการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด โดยจะต้องดำเนินการทดสอบในหัวข้อดังนี้

- (1) ฮาร์มอนิก (Harmonics)
- (2) แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)
- (3) การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC injection)
- (4) การควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power control) และวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
- (5) การควบคุมกำลังไฟฟ้า (Active power control)
- (6) ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันต่ำชั่วขณะ (Low voltage fault ride through)
- (7) การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under/Over voltage protection)
- (8) การป้องกันความถี่ต่ำและความถี่เกิน (Under/Over frequency protection)
- (9) การป้องกันการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding)
- (10) การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่าย (Response to utility recovery)

3.2.2 การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าและการทดสอบภาคสนาม (Field Test)

การทดสอบภาคสนามและการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าดำเนินการโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนี้

- 1) การทดสอบภาคสนามมีหัวข้อที่ต้องทำการทดสอบดังนี้
 - (1) การป้องกันการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding)
 - (2) การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่าย (Response to utility recovery)
 - (3) การทดสอบปลดการเชื่อมต่อ (Load rejection)
- 2) การตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้ามีหัวข้อที่ต้องตรวจวัดดังนี้
 - (1) แรงดัน (Voltage Level)
 - (2) ความถี่ (Frequency)
 - (3) ฮาร์มอนิก (Harmonics)
 - (4) แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

4. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

4.1 การทดสอบฮาร์มอนิก

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

4.2 การทดสอบแรงดันกระเพื่อม

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

4.3 การทดสอบการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

4.4 การทดสอบการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive power control)

การทดสอบการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เพื่อยืนยันว่าระบบผลิตไฟฟ้าสามารถควบคุมการรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้สูงสุดที่ปริมาณเท่าไร โดยมีขั้นตอนในการทดสอบอย่างน้อยดังนี้

- ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ
- ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า
- เริ่มทดสอบโดยกำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ศูนย์เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้า จากนั้นทำการปรับให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเข้าสู่ระบบจนกระทั่งได้ค่าสูงสุด และทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้
- ทำการทดสอบเหมือนข้อ C) โดยกำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าตามลำดับ และทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้
- กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าเริ่มจ่ายไฟที่ศูนย์เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้า จากนั้นทำการปรับให้ระบบผลิตไฟฟ้ารับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเข้าสู่ระบบจนกระทั่งได้ค่าสูงสุด และทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้
- ทำการทดสอบเหมือนข้อ e) แต่กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าและทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้
- จากข้อ C) ถึงข้อ F) สามารถบันทึกผลการทดสอบอย่างน้อยดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4. ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดสอบ

P (ระบบผลิตไฟฟ้า)	P(ที่วัดได้)	±Q (สูงสุดที่วัดได้)	PF. (ที่วัดได้)
0 %			
10 %			
20 %			
30 %			
40 %			
50 %			
60 %			
70 %			
80 %			
90 %			
100 %			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอื่นๆ ที่พิสูจน์ความสามารถในการรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุดตามข้อกำหนดนี้

4.4.1) การทดสอบ A fixed displacement factor $\cos \phi$

เพื่อยืนยันว่าระบบผลิตไฟฟ้าสามารถควบคุมการจ่ายไฟในโหมดควบคุม Power Factor แบบคงที่ได้ โดยมีขั้นตอนวิธีการทดสอบอย่างน้อยดังนี้

- ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ
- ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า
- ตั้งค่าให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ Power Factor Setpoint เท่ากับ 0.90 Lagging (หรือ 0.95 Lagging) โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าตามลำดับ
- เริ่มทำการทดสอบและทำการบันทึกค่าที่ได้อย่างน้อยดังตารางที่ 5
- ตั้งค่าให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ Power Factor Setpoint เท่ากับ 0.90 Leading (หรือ 0.95 Leading) โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าตามลำดับ
- เริ่มทำการทดสอบและทำการบันทึกค่าที่ได้อย่างน้อยดังตารางที่ 5
- ตั้งค่าให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ Power Factor Setpoint เท่ากับ 1.0 โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าตามลำดับ
- เริ่มทำการทดสอบและทำการบันทึกค่าที่ได้อย่างน้อยดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดสอบ

P (ระบบผลิตไฟฟ้า)	PF. (ที่กำหนด)	P (ที่วัดได้)	Q (ที่วัดได้)	PF. (ที่วัดได้)
0 %	0.90 lagging			
10 %	0.90 lagging			
20 %	0.90 lagging			
30 %	0.90 lagging			
40 %	0.90 lagging			
50 %	0.90 lagging			
60 %	0.90 lagging			
70 %	0.90 lagging			
80 %	0.90 lagging			
90 %	0.90 lagging			
100 %	0.90 lagging			

ตารางที่ 6. ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดสอบ

P (ระบบผลิตไฟฟ้า)	PF. (ที่กำหนด)	P(ที่วัดได้)	Q (ที่วัดได้)	PF. (ที่วัดได้)
0 %	0.90 leading			
10 %	0.90 leading			
20 %	0.90 leading			
30 %	0.90 leading			
40 %	0.90 leading			
50 %	0.90 leading			
60 %	0.90 leading			
70 %	0.90 leading			
80 %	0.90 leading			
90 %	0.90 leading			
100 %	0.90 leading			

ทั้งนี้สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอื่นๆ ที่สามารถพิสูจน์ความสามารถในการควบคุมการจ่ายไฟในโหมด Power factor แบบคงที่ ตามข้อกำหนด

4.4.2) การทดสอบ A variable reactive power depending on the voltage Q(U)

เพื่อยืนยันว่าระบบผลิตไฟฟ้าสามารถควบคุมการจ่ายไฟในโหมดควบคุมแรงดันแบบแรงดันคงที่ได้ โดยมีขั้นตอนวิธีการทดสอบอย่างน้อยดังนี้

- ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ
- ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า
- ตั้งค่าให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ Voltage Setpoint ดังตารางที่ 7
- เริ่มทดสอบและบันทึกค่าที่ได้ดังตารางที่ 7
- ตั้งค่าให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ Voltage Setpoint ดังตารางที่ 8
- เริ่มทดสอบและบันทึกค่าที่ได้ดังตารางที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7. ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดสอบ

P,setpoint (%)	V,setpoint (Vac)	P (ที่วัดได้)	V _{L1} (Vac)	V _{L2} (Vac)	V _{L3} (Vac)	Q (ที่วัดได้) (Var)	Expected Q (Var)	Shifting Q (dQ)
Lower Limits								
<20	0.93Vn							
<20	0.91Vn							
20-30	0.91Vn							
40	0.91Vn							
50	0.91Vn							
60	0.91Vn							
70	0.91Vn							
80	0.91Vn							
90	0.91Vn							
100	0.91Vn							
100	0.90Vn							
100-10	0.90Vn							
10-<5	0.90Vn							

ตารางที่ 8. ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดสอบ

P,setpoint (%)	V,setpoint (Vac)	P (ที่วัดได้)	V _{L1} (Vac)	V _{L2} (Vac)	V _{L3} (Vac)	Q (ที่วัดได้) (Var)	Expected Q (Var)	Shifting Q (dQ)
Lower Limits								
<20	1.07Vn							
<20	1.09Vn							
20-30	1.09Vn							
40	1.09Vn							
50	1.09Vn							
60	1.09Vn							
70	1.09Vn							
80	1.09Vn							
90	1.09Vn							
100	1.09Vn							
100	1.10Vn							
100-10	1.10Vn							
10-<5	1.10Vn							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทั้งนี้สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอื่นๆ ที่สามารถพิสูจน์ความสามารถในการควบคุม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและสิ่งอื่นใดของเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่
การจ่ายไฟในโหมดควบคุมแรงดันแบบแรงดันคงที่ได้ ตามข้อกำหนด

4.5 การทดสอบการควบคุมกำลังไฟฟ้า (Active power control)

การทดสอบการควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อต้องการตรวจสอบว่าระบบผลิตไฟฟ้าสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

1. สามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าได้อย่างน้อยครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที
2. สามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าทุกๆ 10 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าไม่หยุดการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า
3. มีขั้นตอนวิธีการทดสอบดังนี้
 - a) ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ
 - b) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า
 - c) ตั้งค่าการควบคุมกำลังไฟฟ้าให้ปรับลดลงครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ จาก 100 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัดกำลังไฟฟ้าจนกระทั่งถึงเหลือศูนย์เปอร์เซ็นต์ และตั้งค่าการทำงานอื่นๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าที่ค่าการทำงานในสภาวะปกติ
 - d) เริ่มทดสอบโดยให้ระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าจากนั้นทำการปรับลดกำลังไฟฟ้างตามข้อ C) แล้วทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทำการลดกำลังไฟฟ้าได้ในแต่ละครั้ง

ทั้งนี้สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอื่นๆ ที่สามารถพิสูจน์ความสามารถในการควบคุมกำลังไฟฟ้าตามข้อกำหนด

4.6 การทดสอบความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through)

การทดสอบความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ มีขั้นตอนวิธีการทดสอบดังนี้

- a) ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ
- b) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า
- c) ตั้งค่าความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through) ของชุดอินเวอร์เตอร์ตามข้อกำหนดและตั้งค่าการทำงานอื่นๆ ของชุดอินเวอร์เตอร์ที่ค่าการทำงานปกติ
- d) บันทึกค่าที่ทำการปรับตั้ง
- e) เริ่มทดสอบโดยจำลองการเกิดแรงดันตก (จำลองการลัดวงจรในระบบโครงข่ายไฟฟ้า) ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้คงเหลือแรงดันระหว่าง 70-80 เปอร์เซ็นต์, 30-50 เปอร์เซ็นต์และน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันใช้งานปกติ

- f) บันทึกค่าระยะเวลาสูงสุดที่ระบบผลิตไฟฟ้ายังคงสามารถเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าดังตารางที่ 9
- g) แบ่งการทดสอบเป็นกรณีดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9. ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดสอบ

Test List	V (V/Vn)	Duration time (sec)
three-phase faults	0.7-0.8 Vn	
	0.3-0.5 Vn	
	0-0.049 Vn	
Phase-phase faults	0.7-0.8 Vn	
	0.3-0.5 Vn	
	0-0.049 Vn	
Single line to ground faults	0.7-0.8 Vn	
	0.3-0.5 Vn	
	0-0.049 Vn	

ทั้งนี้สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอื่นๆ ที่สามารถพิสูจน์ความสามารถในการทนต่อสถานะแรงดันตกชั่วขณะตามข้อกำหนด

4.7 การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under and Over voltage protection)

ขั้นตอนวิธีการทดสอบ Overvoltage Test และ Undervoltage Test ต้องทำการทดสอบ Trip Time Test เป็นอย่างน้อย ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 10. ขบวนการทดสอบการตอบสนองต่อแรงดันสูงเกิน (Over voltage)

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ขบวนการทดสอบ
Trip Time Test	(m)	<ol style="list-style-type: none"> ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า ตั้งค่า Overvoltage Trip Setting ที่ค่าแรงดันทดสอบ (ดูหมายเหตุ, m) และตั้งค่า setting การทำงานอื่นๆ ที่ค่าการทำงานปกติ บันทึกค่าที่ทำการปรับตั้ง ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า AC (ที่จำลองระบบ Utility) เพิ่มขึ้นและให้เข้าใกล้ค่าแรงดัน Overvoltage Trip Setting โดยอยู่ภายในช่วง 90% ของขีดจำกัด Overvoltage Trip Setting ขึ้นไป แต่ไม่สูงกว่า และคงไว้เป็นเวลา 2 เท่าของ Time Delay ที่ตั้งไว้หรือนานกว่า

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ขบวนการทดสอบ
		(6) ปรับแรงดันไฟฟ้าอย่างน้อยให้สูงกว่า 110% ของ Overvoltage Trip Setting และคงไว้จนกระทั่งอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (7) บันทึกระยะเวลาที่อุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ
หมายเหตุ : m คือ จำนวนแรงดันสูงเกินที่ต้องทดสอบ 2 ครั้ง		

หมายเหตุ : สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

ตารางที่ 11. ขบวนการทดสอบการตอบสนองต่อแรงดันต่ำเกิน (Under voltage)

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ขบวนการทดสอบ
Trip Time Test	(m)	(1) ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ (2) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า (3) ตั้งค่า Under voltage Trip Setting ของชุดอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าที่ค่าแรงดันทดสอบ (ดูหมายเหตุ, m) และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆ ที่ค่าการทำงานปกติ (4) บันทึกค่าที่ทำการปรับตั้ง (5) ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า AC (ที่จำลองระบบ Utility) ลดลงและให้เข้าใกล้ค่าแรงดัน Under voltage Trip Setting โดยอยู่ภายในช่วง 110 % ของขนาด Under voltage Trip Setting ลงไปแต่ไม่ต่ำกว่า และคงไว้เป็นเวลา 2 เท่าของ Time Delay ที่ตั้งไว้หรือนานกว่า (6) ปรับแรงดันไฟฟ้าอย่างน้อยให้ต่ำกว่า 90% ของ Under voltage Trip Setting และคงไว้จนกระทั่งอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (7) บันทึกระยะเวลาที่อุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ
หมายเหตุ : m คือ จำนวนแรงดันต่ำเกินที่ต้องทดสอบ 2 ครั้ง		

หมายเหตุ : สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

4.8 การทดสอบการป้องกันความถี่ต่ำและความถี่สูง (Under and Over voltage protection)

ขั้นตอนวิธีการทดสอบ Overfrequency Test และ Underfrequency Test ต้องทำการทดสอบ Trip Time Test เป็นอย่างน้อย ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12. ขบวนการทดสอบการตอบสนองความถี่สูงเกิน (Overfrequency)

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ขบวนการทดสอบ
Trip Time Test	1 ครั้ง	<ol style="list-style-type: none"> (1) ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ (2) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า (3) ตั้งค่า Overfrequency Trip Setting ของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า ที่ 51.1 Hz และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆ ของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าที่ค่าการทำงานปกติ (4) บันทึกค่าที่ทำการปรับตั้ง (5) ปรับความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า AC (ที่จำลองระบบ Utility) เพิ่มขึ้นและให้เข้าใกล้ค่าความถี่ Overfrequency Trip Setting โดยให้อยู่ภายในช่วง 90% ของขนาด Overfrequency Trip Setting ขึ้นไปแต่ไม่เกิน และคงไว้เป็นเวลา 2 เท่าของ Time Delay ที่ตั้งไว้หรือนานกว่า (6) ปรับความถี่ไฟฟ้าอย่างน้อยให้สูงกว่า 101% ของ Overfrequency Trip Setting คงไว้จนกระทั่งอินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (7) บันทึกระยะเวลาที่อินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายไฟเข้าระบบ

หมายเหตุ : สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

ตารางที่ 13. ขบวนการทดสอบการตอบสนองความถี่สูงเกิน (Underfrequency)

หัวข้อทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ขบวนการทดสอบ
Trip Time Test	1 ครั้ง	<ol style="list-style-type: none"> (1) ติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าตามคำแนะนำและข้อกำหนดทางเทคนิคจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ (2) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้อยู่ในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้า (3) ตั้งค่า Underfrequency Trip Setting ของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าที่ 47.9 Hz และตั้งค่า Setting การทำงานอื่นๆ ของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าที่ค่าการทำงานปกติ (4) บันทึกค่าที่ทำการปรับตั้ง (5) ปรับความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า AC (ที่จำลองระบบ Utility) ลดลงและให้เข้าใกล้ค่าความถี่ Underfrequency Trip Setting โดยให้อยู่ภายในช่วง 110% ของขนาด Underfrequency Trip Setting ลงไปแต่ไม่ต่ำกว่า และคงไว้เป็นเวลา 2 เท่าของ Time Delay ที่ตั้งไว้หรือนานกว่า (6) ปรับความถี่ไฟฟ้าอย่างน้อยให้ต่ำกว่า 99% ของ Underfrequency Trip Setting คงไว้จนกระทั่งอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ (7) บันทึกระยะเวลาที่อุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟเข้าระบบ

หมายเหตุ : สามารถอ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

4.9 การทดสอบการป้องกันสภาวะการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding)

ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้

4.10 การทดสอบการเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่าย (Response to utility recovery)

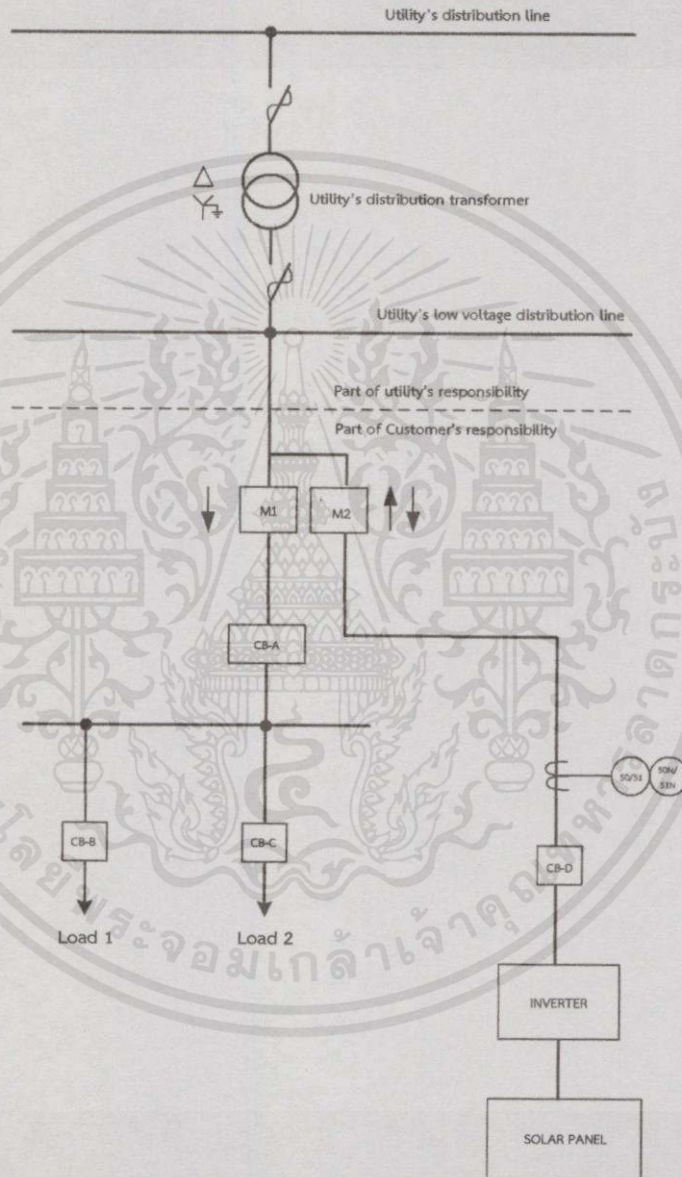
ให้อ้างอิงขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE หรือ IEC ที่เหมาะสมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รูปแบบการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

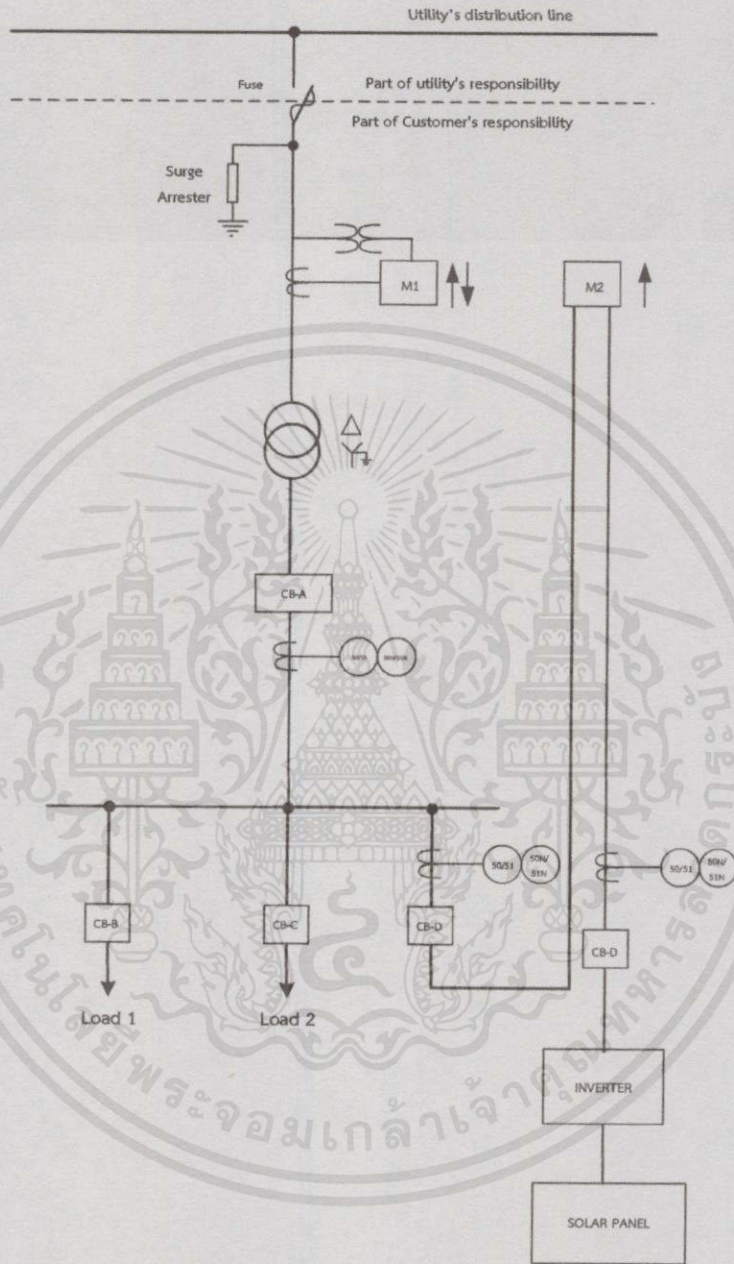
รูปแบบที่ 1 แบบมาตรฐานการเชื่อมโยงทางไฟฟ้า (มิเตอร์ผู้ใช้ไฟเป็นมิเตอร์แรงต่ำ)



หมายเหตุ

1. M1 หมายถึงมิเตอร์ที่ใช้ไฟซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ.
2. M2 หมายถึงมิเตอร์สำหรับคิดหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้า Solar Rooftop
3. กรณีที่เป็นหม้อแปลงเฉพาะรายจะแบ่งทรัพย์สินที่อุปกรณ์ตัดคอนตันแรงดันสูง
4. กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 250 กิโลวัตต์ จะต้องติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าจำนวน 1 ชุด
5. ระบบผลิตจาก Solar Rooftop ต้องไม่มีการติดตั้งระบบกักเก็บ/สำรองพลังงานเพื่อขายไฟฟ้าให้กับ กฟภ.

รูปแบบที่ 2 แบบมาตรฐานการเชื่อมโยงทางไฟฟ้า
(มิเตอร์ผู้ใช้ไฟเป็นมิเตอร์แรงสูงและขายไฟไม่เกินพิกัดหม้อแปลงเดิม)

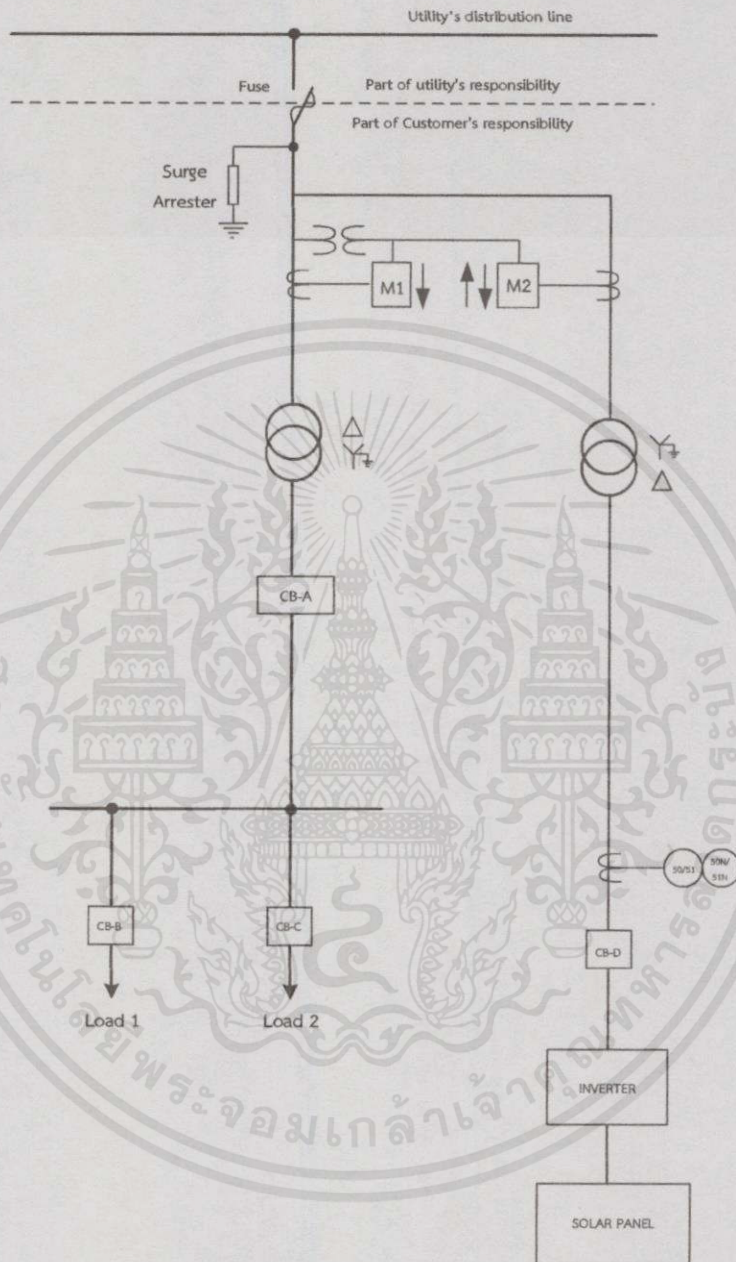


หมายเหตุ

1. M1 หมายถึงมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้าซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ.
2. M2 หมายถึงมิเตอร์สำหรับคิดหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้า Solar Rooftop
3. การคิดค่าซื้อไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟจะคิดจากหน่วยของ M2+M1(รับไฟจาก กฟภ.)-M1(ขายไฟให้ กฟภ.)
4. กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 250 กิโลวัตต์ จะต้องติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าจำนวน 1 ชุด
5. ระบบผลิตจาก Solar Rooftop ต้องไม่มีการติดตั้งระบบกักเก็บ/สำรองพลังงานไฟฟ้าเพื่อขายไฟฟ้าให้กับ กฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 3 แบบมาตรฐานการเชื่อมโยงทางไฟฟ้า (มิเตอร์ผู้ใช้ไฟเป็นมิเตอร์แรงสูง)



หมายเหตุ

1. M1 หมายถึงมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้าซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ.
2. M2 หมายถึงมิเตอร์สำหรับคิตหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้า Solar Rooftop
3. กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 250 กิโลวัตต์ จะต้องติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าจำนวน 1 ชุด
4. ระบบผลิตจาก Solar Rooftop ต้องไม่มีการติดตั้งระบบกักเก็บ/สำรองหลังไฟฟ้าเพื่อขายไฟฟ้าให้กับ กฟภ.

ในกรณีที่ไม่มีรูปแบบการเชื่อมต่อและอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์การพิจารณารูปแบบการเชื่อมต่อที่เหมาะสมเป็นรายๆ ไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) User's Manual v. 1.0

Clifford K. Ho and Cianan A. Sims
Sandia National Laboratories
(505) 844-2384, ckho@sandia.gov
SAND2012-10761P
11/30/12, 1/25/13, 2/27/13

Contents

1. Requirements.....	1
2. Introduction.....	2
3. Assumptions and Limitations.....	3
4. Mapping PV Arrays and Observation Points.....	4
4.1 Locating and Outlining a PV Array.....	4
4.2 Locating Observation Points.....	4
5. Data Entry.....	5
6. Evaluating Results.....	7
7. Glare Animation.....	9
8. Case Study and Example.....	12
9. Acknowledgments.....	28
10. References.....	28

1. Requirements

- Use of this software requires the latest version of one of the following free web browsers: [Mozilla Firefox](#) or [Google Chrome](#).
- The Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) can be accessed by registering at www.sandia.gov/glare.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Introduction

With growing numbers of solar energy installations throughout the United States, glare from photovoltaic (PV) arrays and concentrating solar systems has received increased attention as a real hazard for pilots, air-traffic control personnel, motorists, and others. Sandia has developed a web-based interactive tool that provides a quantified assessment of (1) when and where glare will occur throughout the year for a prescribed solar installation, and (2) potential effects on the human eye at locations where glare occurs.

The Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) employs an interactive Google map where the user can quickly locate a site, draw an outline of the proposed PV array, and specify observer locations or paths. Latitude, longitude, and elevation are automatically recorded through the Google interface (see Figure 1), providing necessary information for sun position and vector calculations. Additional information regarding the orientation and tilt of the PV panels, reflectance, environment, and ocular factors are entered by the user.

If glare is found, the tool calculates the retinal irradiance and subtended angle (size/distance) of the glare source to predict potential ocular hazards ranging from temporary after-image to retinal burn. The results are presented in a simple, easy-to-interpret plot that specifies when glare will occur throughout the year, with color codes indicating the potential ocular hazard. The tool can also predict relative energy production while evaluating alternative designs, layouts, and locations to identify configurations that maximize energy production while mitigating the impacts of glare.



Figure 1. Screen image of SGHAT starting page with Google Map interface.

3. Assumptions and Limitations

Below is a list of assumptions and limitations of the models and methods used in SGHAT:

- The software currently only applies to flat reflective surfaces. For curved surfaces (e.g., focused mirrors such as parabolic troughs or dishes used in concentrating solar power systems), methods and models derived by Ho et al. (2011) [1] can be used and are currently being evaluated for implementation into future versions SGHAT.
- SGHAT does not currently apply to tracking systems. The majority of PV installations are currently fixed tilt (do not track), but we are planning on implementing single-axis tracking to the tool in the future. Two-axis tracking, when operating properly, will not yield significant stray light reflections since the module will be pointing toward the sun.
- SGHAT does not rigorously represent the detailed geometry of a system; detailed features such as gaps between modules, variable height of the PV array, and support structures may impact actual glare results. However, we have validated our models against several systems, including a PV array causing glare to the air-traffic control tower at Manchester-Boston Regional Airport and several sites in Albuquerque, and the tool accurately predicted the occurrence and intensity of glare at different times and days of the year.
- SGHAT assumes that the PV array is aligned with a horizontal plane defined by the centroid of the coordinates outlined in the Google map. For more accuracy of the glare analysis, the user should perform runs using minimum and maximum values for the “Height of solar panels” to bound the height of the plane containing the solar array. Doing so will expand the range of observed solar glare when compared to results using a single height value. Future versions of SGHAT will allow the user to prescribe a desired tilt for the plane containing the PV array.
- SGHAT does not consider obstacles (either man-made or natural) between the observation points and the prescribed solar installation that may obstruct observed glare, such as trees, hills, buildings, etc.
- The tool currently uses a constant reflectance for the solar modules as prescribed by the user. In actuality, the reflectance increases with increasing incidence angle. We are currently collecting data on the solar reflectance as a function of incidence angle for different modules and glass types. We plan on implementing this new feature in a future version so that the user can choose a module and/or glass type to specify a more accurate representation of the solar reflectance as a function of incidence angle.
- The variable direct normal irradiance (DNI) feature (if selected) scales the user-prescribed peak DNI using a typical clear-day irradiance profile. This profile has a lower DNI in the mornings and evenings and a maximum at solar noon. The scaling uses a clear-day irradiance profile based on a normalized time relative to sunrise, solar noon, and sunset, which are prescribed by a sun-position algorithm [2] and the latitude and longitude obtained from Google maps. The actual DNI on any given day can be affected by cloud cover, atmospheric attenuation, and other environmental factors.

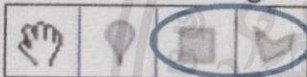
- The ocular hazard predicted by the tool depends on a number of environmental, optical, and human factors, which can be uncertain. We provide input fields and typical ranges of values for these factors so that the user can vary these parameters to see if they have an impact on the results. The speed of SGHAT allows expedited sensitivity and parametric analyses.

4. Mapping PV Arrays and Observation Points

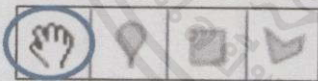
On the starting page, a brief introduction to the tool is provided along with a Google map (see Figure 1). The user first identifies the location and outline of a PV array. Then, observation points (one or more) can be selected for the glare analysis.

4.1 Locating and Outlining a PV Array

- Beneath the Google map, enter the city, airport, zip code, etc. in the search field to find the appropriate location
 - Use the zoom features to adjust the scale
 - Use the “Satellite” mode to view buildings and other structures for reference
- Click on the rectangle or polygon tool to outline the footprint of the PV array on the map



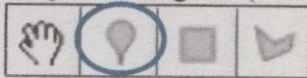
- For the rectangle tool, click and drag to draw a rectangular shape
- For the polygon tool, click on the vertices of the desired footprint to create a polygon. Click on the first point again to close the polygon.
- The elevation of the PV array above ground level (e.g., if it is located on a rooftop) can be specified in the data entry fields (see Section 5).
- Use the hand tool to translate the map up/down or side to side



- An outline can be cleared by clicking on “Clear Array” in the data entry section below the map or by simply redrawing a new outline

4.2 Locating Observation Points

- Use the observation marker to select locations on the map where you would like to analyze solar glare (reflected from the prescribed PV array)



- The elevation of the observation point above ground level (e.g., from an air traffic control tower, plane) can be specified in the data entry fields (see Section 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ Sandia National Laboratories. การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย. การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย. การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทางห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- The scale in the lower left-hand corner of the Google map is useful for spacing observation points relative to other points or objects
- Observation points can be cleared by clicking on “Clear Observations” in the data entry section below the map or by selecting the hand tool and right clicking on an observation point

5. Data Entry

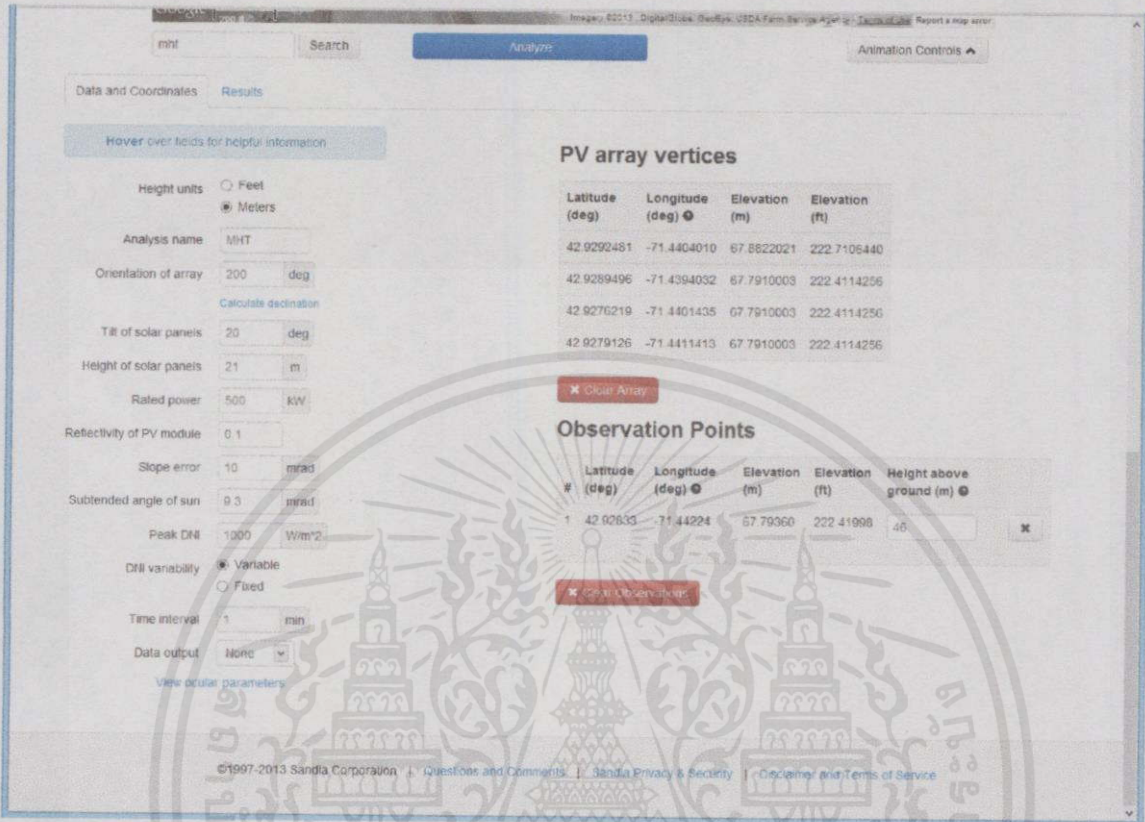
Beneath the Google map, data can be entered to prescribe features of the PV array, observation points, solar irradiance, and ocular conditions in the “Data and Coordinates” tab.

- **Height Units:** Select the units of distance for the height of solar panels and the height above ground of each observation point in feet or meters.
- **Analysis Name:** Name the analysis. Multiple analyses can be performed and stored in the Results section.
- **Orientation of array:** Specify the orientation of the array in degrees, measured clockwise from true north. Modules facing east would have an orientation of 90° , and modules facing south would have an orientation of 180° . The “Calculate declination” link can be used to determine the orientation if an angle based on magnetic north is known.
- **Tilt of solar panels:** Specify the tilt (elevation angle) of the modules in degrees, where 0° is facing up and 90° is facing horizontally.
- **Height of solar panels:** Specify height of modules above ground level in feet or meters.
- **Rated power:** Specify the rated power (kW) of the PV system. This is used to calculate the maximum annual energy produced (kWh) from the system in the prescribed configuration (assuming clear sunny days). This is useful for comparing alternative configurations to determine which one has the maximum energy production.
- **Reflectivity of PV module:** Specify the solar reflectance of the PV module. Although near-normal specular reflectance of PV glass (e.g., with antireflective coating) can be as low as $\sim 1\text{-}2\%$, the reflectance can increase as the incidence angle of the sunlight increases (glancing angles). Based on evaluation of several different PV modules, an average reflectance of 10% is entered as a default value.
- **Slope error:** This parameter specifies the amount of scatter that occurs from the PV module. Mirror-like surfaces that produce specular reflections will have a slope error closer to zero, while rough surfaces that produce more scattered (diffuse) reflections have higher slope errors. Based on observed glare from different PV modules, an RMS slope error of ~ 10 mrad (which produces a total reflected beam spread of 0.13 rad or 7°) appears to be a reasonable value.
- **Subtended angle of the sun:** The average subtended angle of the sun as viewed from earth is ~ 9.3 mrad or 0.5° .
- **Peak DNI:** The maximum Direct Normal Irradiance (W/m^2) at the given location at solar noon. This value may be scaled at each time step to account for the changing position of

the sun and reduced DNI in the mornings and evenings if the “variable” option is selected in the next field. On a clear sunny day at solar noon, a typical peak DNI is $\sim 1,000 \text{ W/m}^2$.

- **DNI variability:** “Variable” scales the peak DNI at each time step based on the changing position of the sun. “Fixed” uses the peak DNI value for every time step throughout the analysis, with no scaling.
- **Ocular transmission coefficient:** The ocular transmission coefficient accounts for radiation that is absorbed in the eye before reaching the retina. A value of 0.5 is typical [1, 3].
- **Pupil diameter:** Diameter of the pupil (m). The size impacts the amount of light entering the eye and reaching the retina. Typical values range from 0.002 m for daylight-adjusted eyes to 0.008 m for nighttime vision [1, 3].
- **Eye focal length:** Distance between the nodal point (where rays intersect in the eye) and the retina. This value is used to determine the projected image size on the retina for a given subtended angle of the glare source. Typical value is 0.017 m [1, 3].
- **Time interval:** Specify the time step for the glare analysis. The sun position will be determined at each time step throughout the year. A time step of 1 minute yields excellent resolution.
- **Data output:** Specify if downloadable data that can be read in Excel is desired (takes a bit longer for the analysis). Even if no output is selected, results can be viewed in the “Results” tab.
- **Height above ground (under Observation Points):** Specify the height of the observation point above ground in feet or meters. Google Maps automatically determines the ground elevation (above mean sea level) based on the selected points, so the specified height should be the elevation above ground level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Search Analyze Animation Controls

Data and Coordinates Results

Hover over fields for helpful information.

Height units Feet Meters

Analysis name MHT

Orientation of array 200 deg

Calculate declination

Tilt of solar panels 20 deg

Height of solar panels 21 m

Rated power 500 kW

Reflectivity of PV module 0.1

Slope error 10 mrad

Subtended angle of sun 9.5 mrad

Peak DNI 1000 W/m²

DNI variability Variable Fixed

Time interval 1 min

Data output None

View output parameters

©1997-2013 Sandia Corporation | Questions and Comments | Sandia Privacy & Security | Disclaimer and Terms of Service

PV array vertices

Latitude (deg)	Longitude (deg)	Elevation (m)	Elevation (ft)
42.9292481	-71.4404010	67.8622021	222.7106440
42.9289496	-71.4394032	67.7910003	222.4114256
42.9276219	-71.4401435	67.7910003	222.4114256
42.9279126	-71.4411413	67.7910003	222.4114256

Clear Array

Observation Points

Latitude # (deg)	Longitude (deg)	Elevation (m)	Elevation (ft)	Height above ground (m)
1 42.02633	-71.44224	67.79360	222.41098	46

Clear Observation Points

Figure 2. Screen image of data entry fields.

6. Evaluating Results

After entering the PV array, observation points, and data in the previous sections, click the “Analyze” button below the Google map (see Figure 1). An analysis box should appear indicating the status of the run (Figure 3).

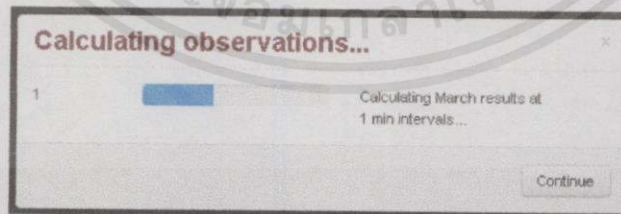


Figure 3. Screen image showing status of analysis.

When the analysis is complete, click on “Continue” and then click on the “Results” tab. A summary of the input parameters is shown for the current analysis, along with the annual energy production and Glare Occurrence Plot (Figure 4 and Figure 5). On the right side of the screen image shown in Figure 4, multiple analyses are shown and can be selected to view and compare results.

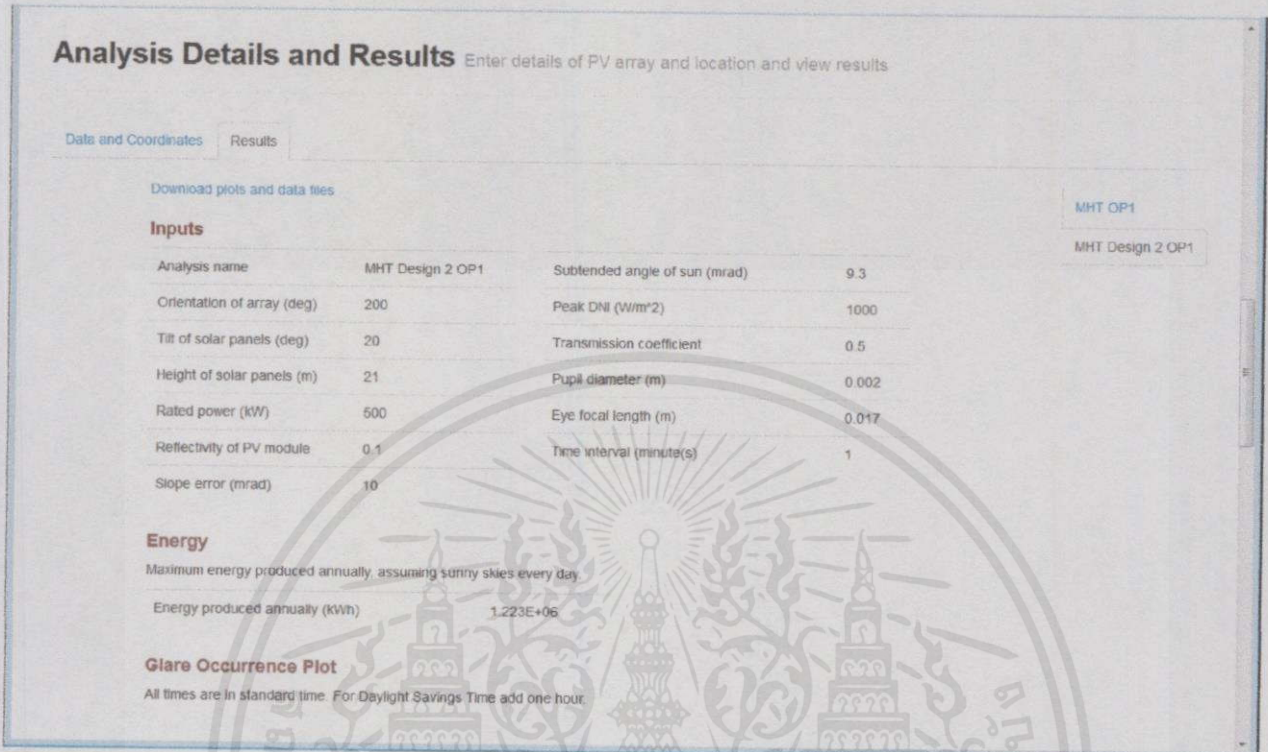


Figure 4. Screen image of results section.

The Glare Occurrence Plot shows when glare can occur (as viewed from the prescribed observation point) throughout the year. The color of the dots indicates the potential ocular hazard [1] as shown in Figure 5. In the example shown in Figure 5, glare is predicted to be visible from the prescribed observation point during the morning from January to November for ~30 – 40 minutes. The color of the plotted points indicates the potential ocular hazard. In Figure 5, the yellow dots indicate that the glare in this particular example has the potential to cause a temporary after-image.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

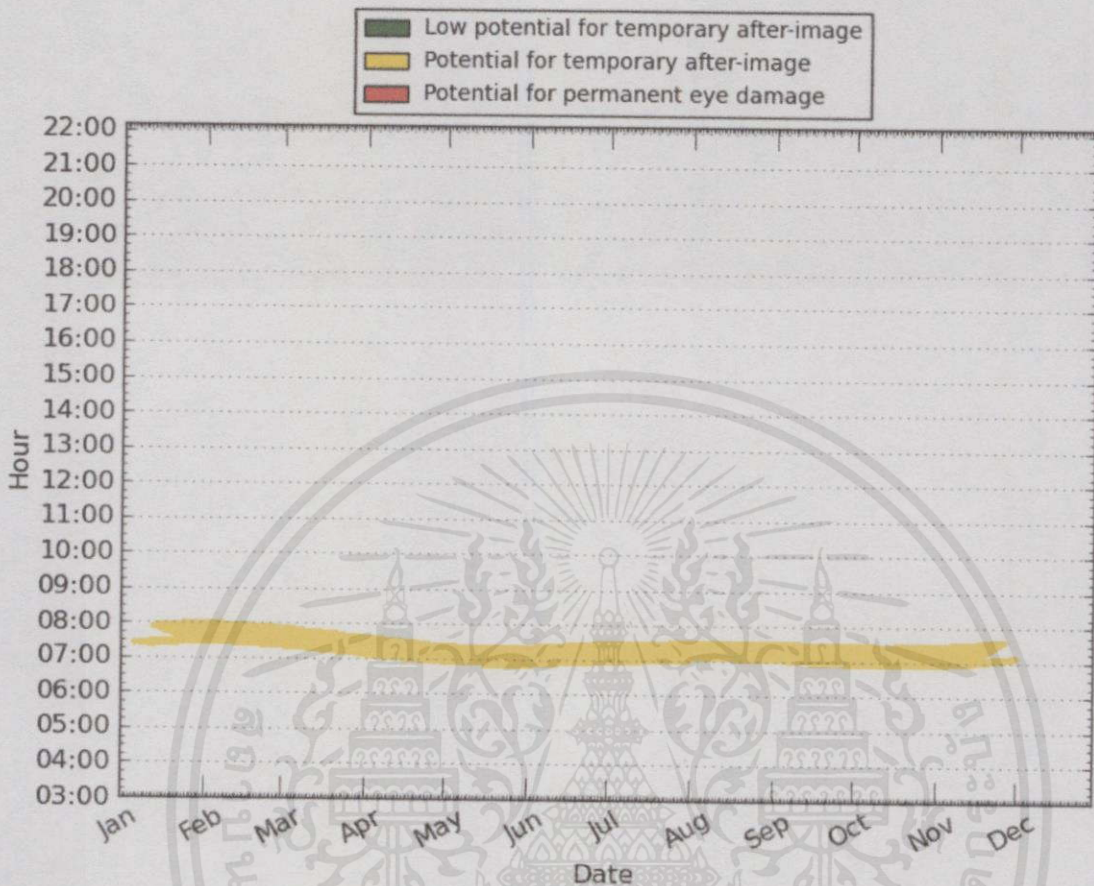


Figure 5. Glare occurrence plot showing when glare can occur (time and date) and the potential for ocular impact (represented by the color of the dots). Times are shown in Standard Time (during Daylight Savings Time, add one hour).

7. Glare Animation

The location and movement of glare within the outlined PV array can be viewed for a given day using the Animation Feature. Figure 6 shows the location of the Animation Feature in the SGHAT interface, which can be found by clicking the “Animation Controls” button. Instructions for using the Animation Feature are as follows:

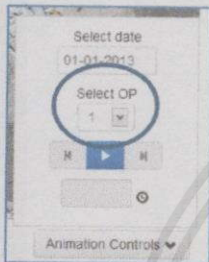
- Outline a PV array, select an observation point, and fill in the data entries (see Sections 3 and 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

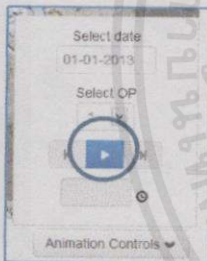
- Select a date by clicking on the “Date” input



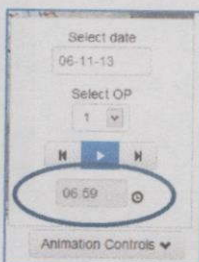
- Select an observation point (OP) from which to analyze possible glare, if more than one is present:



- Press the “Play” button to begin animating the location of glare on the PV array
 - If no glare is present on the selected day, a message will be display

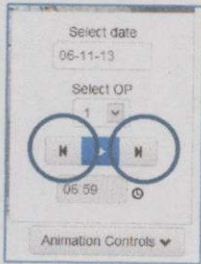


- Glare found on the indicated day will begin animating on the Google Map interface (see Figure 6). The time of the indicated glare will display in the “Time” field.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Use the “Forward” and “Back” buttons to step through time. The position of glare at the indicated time will be shown on the map.



Mapping Outline PV array and add observation point(s)



Figure 6. Location of glare (denoted by the yellow dot) observed on the PV array from a prescribed observation point. The dot may move slightly beyond the area of the outlined array due to beam scattering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Display

SCREEN SIZE	1.6 -inch
-------------	-----------

Connectivity

CONNECTORS	SPI
PORTS	RST / CE / DC / DIN / CLK / VCC / BL / GND

*Electronic Components*

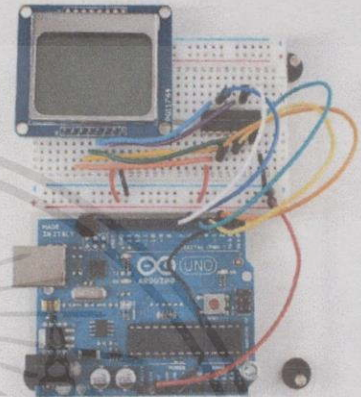
ARCHITECTURE	Arduino
INPUT VOLTAGE	3 / 5 -volt

Specifications

BACKLIGHT	Blue Backlit
-----------	--------------

Dimensions

DEPTH	5 mm
HEIGHT	45 mm
WIDTH	43 mm
PRODUCT WEIGHT	14 g

**Introduction:**

Nokia5110 LCD screen is used disassemble Nokia phones, the site sold off-color LCD are selected and quality are very good.

Bottom of the site design, corner positioning holes, while providing two rows of the upper and lower connection port, arranged as follows:

RST - Reset

CE - Chip Select

DC - data / instruction selection

DIN - serial data line

CLK - Serial Clock Line

VCC - power input (3.3v and 5v may, after experimental verification, no problem)

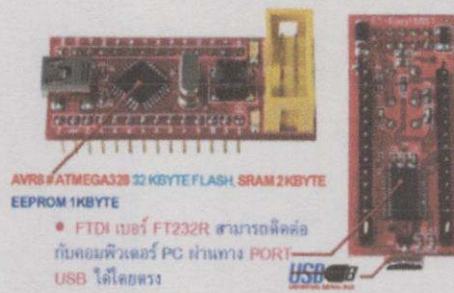
BL - backlight control

GND - Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ET-EASY328 STAMP(P-ET-A-00493) [590.- ยังไม่รวม Vat]

ชุดพัฒนาใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ที่คุณสามารถพัฒนาเขียนโปรแกรมเข้าทาง PORT USB ได้โดยตรง สะดวก ประหยัด

ET-EASY328 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว เลือกใช้เบอร์ ATMEGA328 เป็น MCU ประจำบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยัง ได้รวมเอาไอซี USB BRIDGE ของ FTDI เบอร์ FT232R สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทาง PORT USB ได้โดยตรงทำให้บอร์ด ET-EASY328 STAMP เป็นบอร์ดทดลองใช้งานขนาดเล็ก ที่เทียบพร้อมไปด้วยวงจรพื้นฐาน ที่จำเป็นต่อการใช้งาน อย่างแท้จริง เพียงแค่เสียบสาย USB จากเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว USB ของบอร์ด ET-EASY328 STAMP ก็สามารถเขียนโปรแกรม และ DOWNLOAD CODE เข้าตัวบอร์ด พร้อมใช้ทำการทดลองหรือใช้งานได้ในทันที

การพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด ET-Easy328 STAMP สามารถทำได้ใน 2 รูปแบบ การพัฒนา คือ

1. ARDUINO PROJECT เป็นรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมและชุดคำสั่ง ด้วย ภาษา ซี (C++) ของ ARDUINO PROJECT ซึ่งเป็นการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล AVR ในแบบ OPEN SOURCE สามารถนำมาใช้งานได้ฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถดูรายละเอียดได้ที่ <http://www.arduino.cc> โดยในชุด ET-EASY328 STAMP ตัว MCU จากทาง ผู้ที่ จะทำการติดตั้งโปรแกรม BOOTLOADER ไว้ในตัว MCU เรียกว่า สามารถ DOWNLOAD ได้โดยตรง ผ่านทาง PORT USB
2. AVR MICRO CONTROLLER เป็นรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมตามรูปแบบของ AVR ปกติ ซึ่งสามารถเลือกใช้งานโปรแกรมภาษาใด ๆ ที่รองรับการใช้งานร่วมกับ AVR เบอร์ ATMEGA328 เช่น ภาษาเบสิก BASCOM-AVR, ภาษา ซี CODE VISION, WIN AVR เป็นต้น โดยใช้การ DOWNLOAD ผ่าน BOOTLOADER หรือผ่านทางขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10PIN ซึ่งจะต้องมีชุด DOWNLOAD คอเพิ่ม เช่น ชุด ET-AVR PROG MINI, ET-AVR ISP USB V1 ฯลฯ

คุณสมบัติ

1. เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATMEGA328 ของ ATMEL ใช้งาน RUN 16.00 MHz
2. หน่วยความจำ FLASH 32 KBYTE, SRAM 2 KBYTE, EEPROM 1 KBYTE
3. มี GPIO ใช้งาน 22 BIT เป็น DIGITAL จำนวน 14 BIT, และ A TO D ขนาด 10 BIT จำนวน 8 BIT
4. POWER SUPPLY คือใช้งาน 5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับ 5VDC จาก PORT USB และจาก แหล่งจ่าย 5VDC ภายนอก พร้อม LED POWER แสดงสถานะ
5. มีวงจร EXTERNAL RESET แบบ RC RESET และ SW RESET
6. ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน PIN HEADER ระยะห่าง 2.54 mm. ขนาด 28 PIN ระยะห่าง 600 MIL ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และต่อทดลองบน PROJECT BOARD
7. ขนาดบอร์ด 2 X 5 CM. ขนาดบอร์ดประเภทเท่ากับไอซี 28 PIN
8. ขั้วต่อ USB MINI และไอซี USB BRIDGE ของ FTDI เบอร์ FT232R บนบอร์ด
9. ขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10 PIN สำหรับต่อใช้งาน DOWNLOAD ให้กับ MCU ในบอร์ด ในกรณีไม่ต้องการ DOWNLOAD ผ่านทาง PORT USB
10. ชุด ET-BASE AVR EASY32U4 ประกอบด้วย



1. บอร์ด ET-EASY328 STAMP
2. CD-ROM คู่มือการใช้งาน และโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

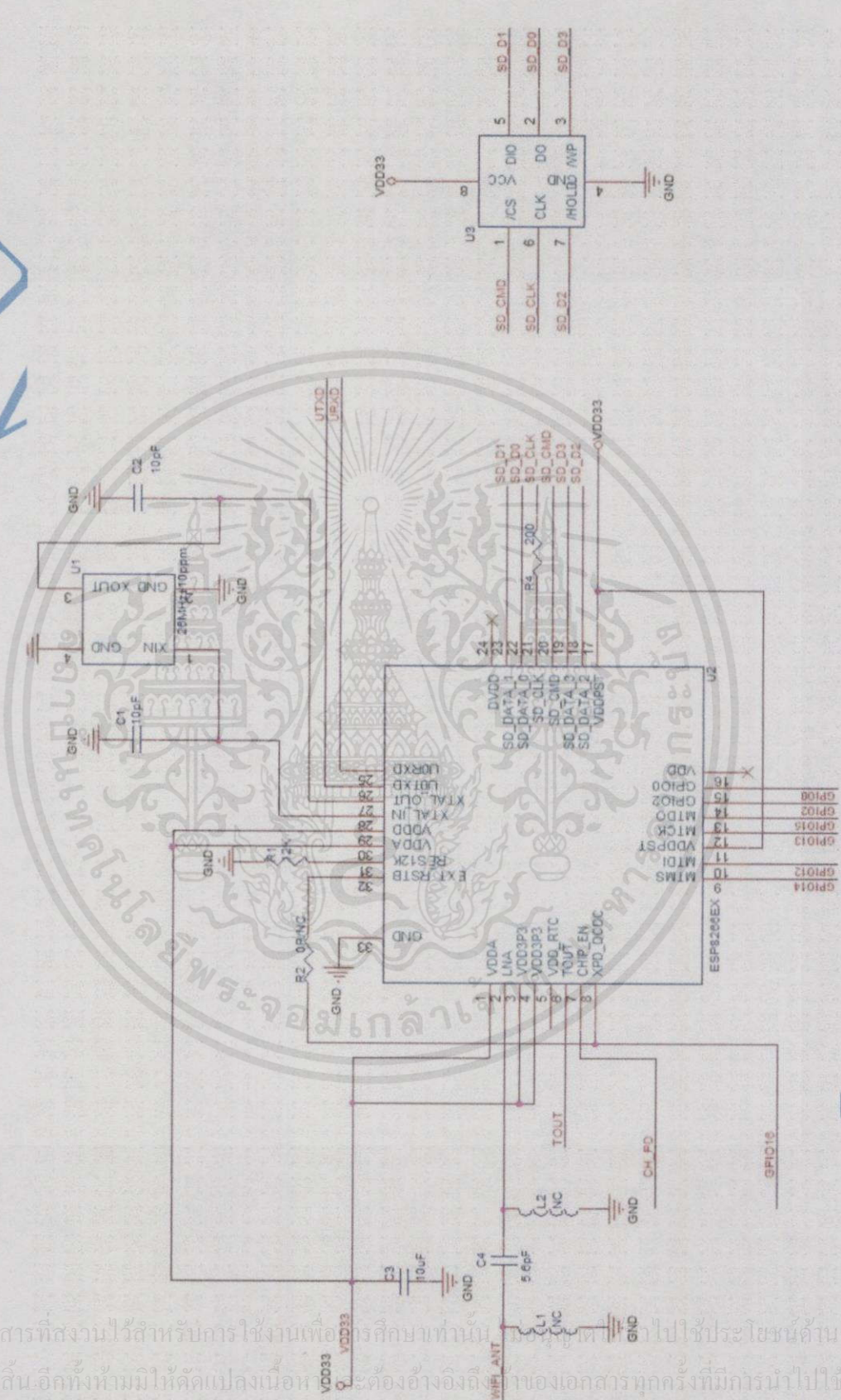


3 Features

- 802.11 b/g/n protocol
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- +19.5dBm output power in 802.11b mode
- Integrated temperature sensor
- Supports antenna diversity
- Power down leakage current of $< 10\mu\text{A}$
- Integrated low power 32-bit CPU could be used as application processor
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1×1 MIMO, 2×1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4 μs guard interval
- Wake up and transmit packets in $< 2\text{ms}$
- Standby power consumption of $< 1.0\text{mW}$ (DTIM3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 Application Diagram



7 Specifications

7.1 Current Consumption

The following current consumption is based on 3.3V supply, and 25°C ambient, using internal regulators. Measurements are done at antenna port without SAW filter. All the transmitter's measurements are based on 90% duty cycle, continuous transmit mode.

Mode	Min	Typ	Max	Unit
Transmit 802.11b, CCK 1Mbps, $P_{OUT}=+19.5\text{dBm}$		215		mA
Transmit 802.11b, CCK 11Mbps, $P_{OUT}=+18.5\text{dBm}$		197		mA
Transmit 802.11g, OFDM 54Mbps, $P_{OUT}=+16\text{dBm}$		145		mA
Transmit 802.11n, MCS7, $P_{OUT}=+14\text{dBm}$		135		mA
Receive 802.11b, packet length=1024 byte, -80dBm		60		mA
Receive 802.11g, packet length=1024 byte, -70dBm		60		mA
Receive 802.11n, packet length=1024 byte, -65dBm		62		mA
Standby		0.9		mA
Deep sleep		10		uA
Power save mode DTIM 1		1.2		mA
Power save mode DTIM 3		0.86		mA
Total shutdown		0.5		uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 RF Performance

The following are measured under room temperature conditions with 3.3V and 1.1V power supplies.

Description	Min	Typical	Max	Unit
Input frequency	2412		2484	MHz
Input impedance		50		Ω
Input reflection			-10	dB
Output power of PA for 72.2Mbps	14	15	16	dBm
Output power of PA for 11b mode	17.5	18.5	19.5	dBm
Sensitivity				
CCK, 1Mbps		-98		dBm
CCK, 11Mbps		-91		dBm
6Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65Mbps, 72.2Mbps)		-71		dBm
Adjacent Channel Rejection				
OFDM, 6Mbps		37		dB
OFDM, 54Mbps		21		dB
HT20, MCS0		37		dB
HT20, MCS7		20		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPI_EN2 usually controls an EEPROM to store individual data, such as MIB information, MAC address, and calibration data, or for general use. This pin is active low and should be left open if not used.

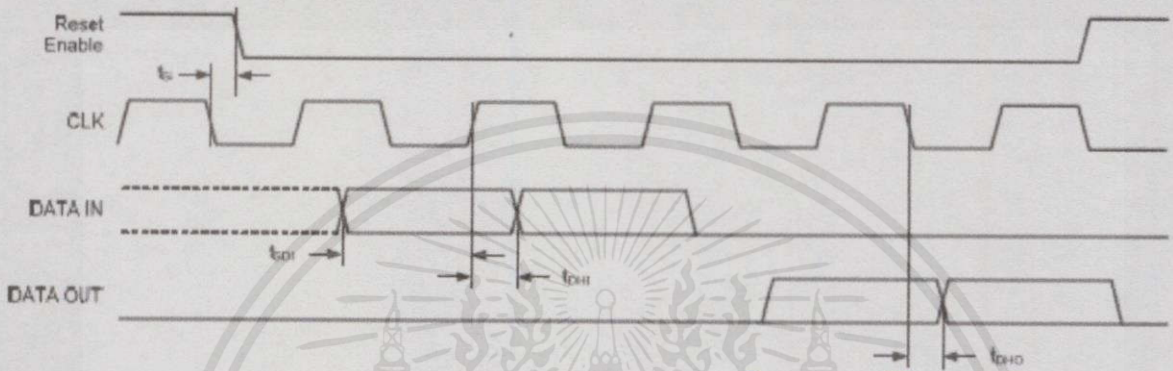


Figure 2: SPI timing characteristics

8.4.2 General Purpose IO

There are up to 16 GPIO pins. They can be assigned to various functions by the firmware. Each GPIO can be configured with internal pull-up/down, input available for sampling by a software register, input triggering an edge or level CPU interrupt, input triggering a level wakeup interrupt, open-drain or push-pull output driver, or output source from a software register, or a sigma-delta PWM DAC.

These pins are multiplexed with other functions such as host interface, UART, SI, Bluetooth coexistence, etc.

8.4.3 Digital IO Pads

The digital IO pads are bidirectional, non-inverting and tri-state. It includes input and an output buffer with tristate control inputs. Besides this, for low power operations, the IO can also be set to hold. For instance, when we power down the chip, all output enable signals can be set to hold low.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า" ไม่ว่าจะฉีกดูทั้งสั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optional hold functionality can be built into the IO if requested. When the IO is not driven by the internal or external circuitry, the hold functionality can be used to hold the state to the last used state.

The hold functionality introduces some positive feedback into the pad. Hence, the external driver that drives the pad must be stronger than the positive feedback. The required drive strength is however small – in the range of 5 μ A.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Input low voltage	V_{IL}	-0.3	$0.25 \times V_{IO}$	V
Input high voltage	V_{IH}	$0.75 \times V_{IO}$	3.6	V
Input leakage current	I_{IL}		50	nA
Output low voltage	V_{OL}		$0.1 \times V_{IO}$	V
Output high voltage	V_{OH}	$0.8 \times V_{IO}$		V
Input pin capacitance	C_{pad}		2	pF
VDDIO	V_{IO}	1.7	3.6	V
Maximum drive capability	I_{MAX}		12	mA
Temperature	T_{amb}	-20	100	$^{\circ}$ C

All digital IO pins are protected from over-voltage with a snap-back circuit connected between the pad and ground. The snap back voltage is typically about 6V, and the holding voltage is 5.8V. This provides protection from over-voltages and ESD. The output devices are also protected from reversed voltages with diodes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 Firmware & Software Development Kit

The application and firmware is executed in on-chip ROM and SRAM, which loads the instructions during wake-up, through the SDIO interface, from the external flash.

The firmware implements TCP/IP, the full 802.11 b/g/n/e/i WLAN MAC protocol and Wi-Fi Direct specification. It supports not only basic service set (BSS) operations under the distributed control function (DCF) but also P2P group operation compliant with the latest Wi-Fi P2P protocol. Low level protocol functions are handled automatically by ESP8266:

- RTS/CTS,
- acknowledgement,
- fragmentation and defragmentation,
- aggregation,
- frame encapsulation (802.11h/RFC 1042),
- automatic beacon monitoring / scanning, and
- P2P Wi-Fi direct,

Passive or active scanning, as well as P2P discovery procedure is performed autonomously once initiated by the appropriate command. Power management is handled with minimum host interaction to minimize active duty period.

9.1 Features

The SDK includes the following library functions:

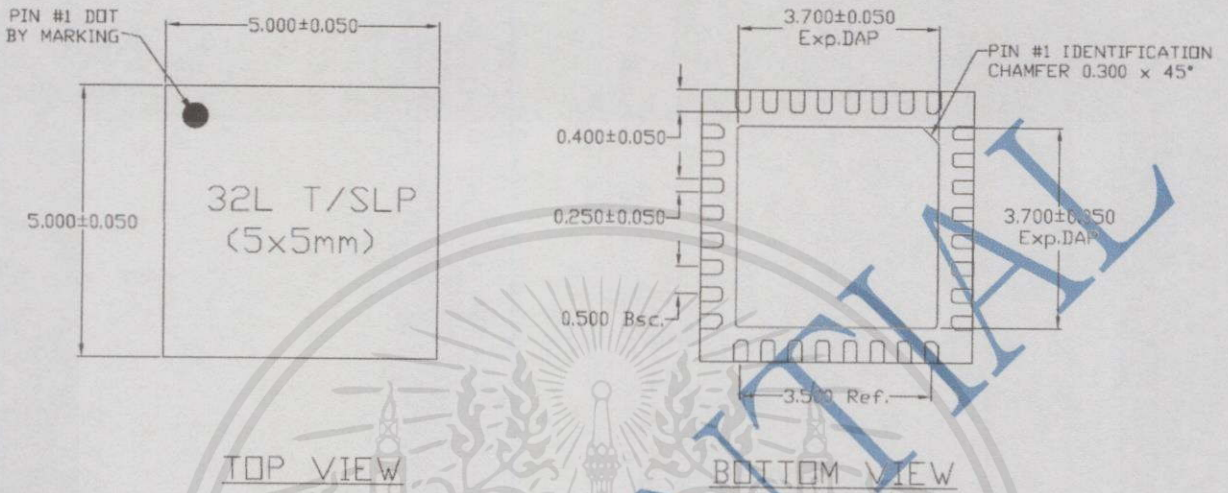
- 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r support;
- Wi-Fi Direct (P2P) support:
- P2P Discovery, P2P Group Owner mode, P2P Power Management
- Infrastructure BSS Station mode / P2P mode / softAP mode support;
- Hardware accelerators for CCMP (CBC-MAC, counter mode), TKIP (MIC, RC4), WAPI (SMS4), WEP (RC4), CRC;



- WPA/WPA2 PSK, and WPS driver;
- Additional 802.11i security features such as pre-authentication, and TSN;
- Open Interface for various upper layer authentication schemes over EAP such as TLS, PEAP, LEAP, SIM, AKA, or customer specific;
- 802.11n support (2.4GHz / 5GHz);
- Supports MIMO 1×1 and 2×1, STBC, A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4μs guard interval;
- WMM power save U-APSD;
- Multiple queue management to fully utilize traffic prioritization defined by 802.11e standard;
- UMA compliant and certified;
- 802.1h/RFC1042 frame encapsulation;
- Scattered DMA for optimal CPU off load on Zero Copy data transfer operations;
- Antenna diversity and selection (software managed hardware);
- Clock/power gating combined with 802.11-compliant power management dynamically adapted to current connection condition providing minimal power consumption;
- Adaptive rate fallback algorithm sets the optimum transmission rate and Tx power based on actual SNR and packet loss information;
- Automatic retransmission and response on MAC to avoid packet discarding on slow host environment;
- Seamless roaming support;
- Configurable packet traffic arbitration (PTA) with dedicated slave processor based design provides flexible and exact timing Bluetooth co-existence support for a wide range of Bluetooth Chip vendors;
- Dual and single antenna Bluetooth co-existence support with optional simultaneous receive (Wi-Fi/Bluetooth) capability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

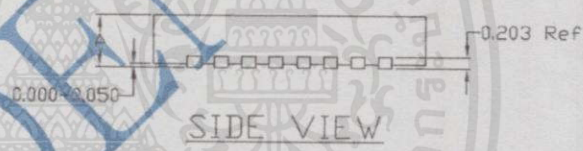
App. QFN32 Package Drawing



NOTE:

1) TSLP AND SLP SHARE THE SAME EXPOSE OUTLINE BUT WITH DIFFERENT THICKNESS:

		TSLP	SLP
A	MAX.	0.800	0.900
	NOM.	0.750	0.850
	MIN.	0.700	0.800



CONFIDENTIAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THREE TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

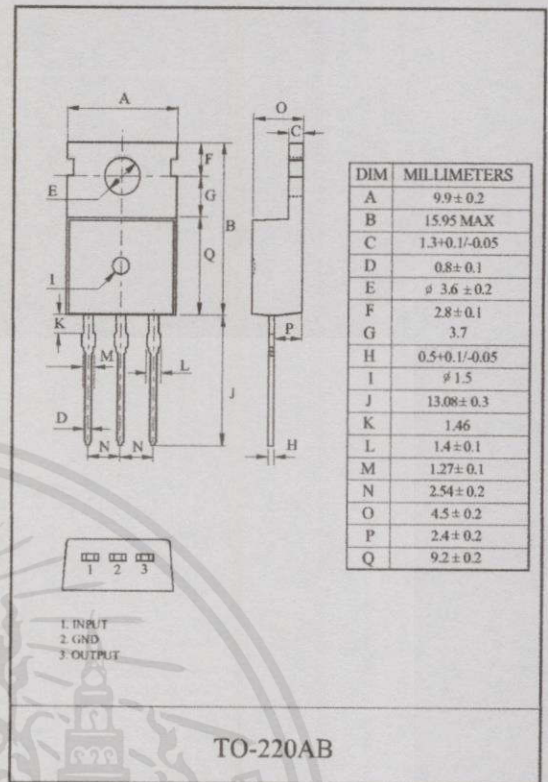
5V, 6V, 7V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 20V, 24V.

FEATURES

- Internal Thermal Overload Protection.
 - Internal Short Circuit Current Limiting.
 - Output Current up to 1.5A.
 - Satisfies IEC-65 Specification. (International Electrotechnical Commission).
- Package is TO-220AB

LINE-UP

ITEM	OUTPUT VOLTAGE (Typ.)	UNIT
KIA7805AP	5	V
KIA7806AP	6	
KIA7807AP	7	
KIA7808AP	8	
KIA7809AP	9	
KIA7810AP	10	
KIA7812AP	12	
KIA7815AP	15	
KIA7818AP	18	
KIA7820AP	20	
KIA7824AP	24	



MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Input Voltage	KIA7805 ~ KIA7815	V _{IN}	35	V
	KIA7818 ~ KIA7824		40	
Power Dissipation-1 (No Heatsink)	AP	P _{D2}	1.9	W
Power Dissipation-2 (Infinite Heatsink)	AP	P _{D2}	30	
Operating Junction Temperature		T _j	-40 ~ 150	°C
Storage Temperature		T _{stg}	-55 ~ 150	°C
Maximum Junction Temperature		T _{j(max)}	150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์ขึ้นอีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIA7805AP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{IN}=10V$, $I_{OUT}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	$T_j=25^{\circ}C$, $I_{OUT}=100mA$	4.8	5.0	5.2	V	
Input Regulation	Reg line	Fig. 1	$T_j=25^{\circ}C$	$7.0V \leq V_{IN} \leq 25V$	-	3	100	mV
				$8.0V \leq V_{IN} \leq 12V$	-	1	50	
Load Regulation	Reg load	Fig. 1	$T_j=25^{\circ}C$	$5mA \leq I_{OUT} \leq 1.5A$	-	15	100	mV
				$250mA \leq I_{OUT} \leq 750mA$	-	5	50	
Output Voltage	V_{OUT}	Fig. 1	$7.0V \leq V_{IN} \leq 20V$	4.75	-	5.25	V	
Quiescent Current	I_B	Fig. 1	$T_j=25^{\circ}C$, $I_{OUT}=5mA$	-	4.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_B	Fig. 1	$7.0V \leq V_{IN} \leq 25V$	-	-	1.3	mA	
Output Noise Voltage	V_{NO}	Fig. 2	$T_a=25^{\circ}C$, $10Hz \leq f \leq 100kHz$	-	50	-	μV_{rms}	
Ripple Rejection Ratio	RR	Fig. 3	$f=120Hz$, $8.0V \leq V_{IN} \leq 18V$,	62	78	-	dB	
Dropout Voltage	V_D	Fig. 1	$I_{OUT}=1.0A$, $T_j=25^{\circ}C$	-	2.0	-	V	
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	Fig. 1	$T_j=25^{\circ}C$	-	1.6	-	A	
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	Fig. 1	$I_{OUT}=5mA$, $0^{\circ}C \leq T_j \leq 125^{\circ}C$	-	-0.6	-	mV/ $^{\circ}C$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUIT

Fig. 1 Standard Test Circuit & Application Circuit

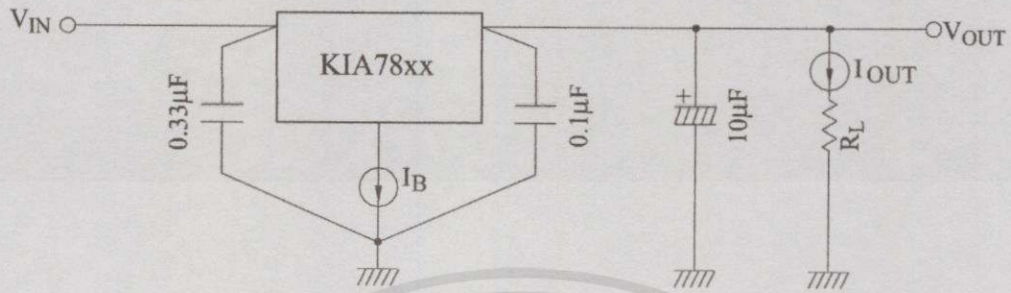


Fig. 2 V_{NO} Test Circuit

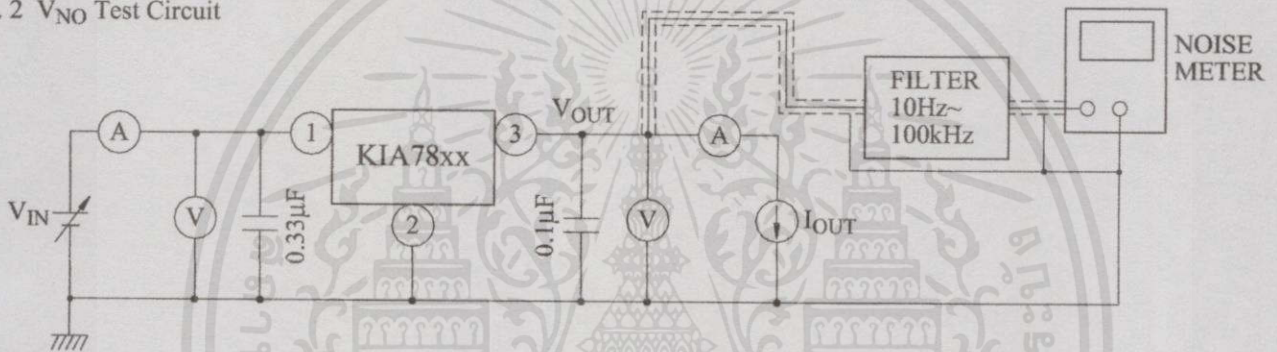
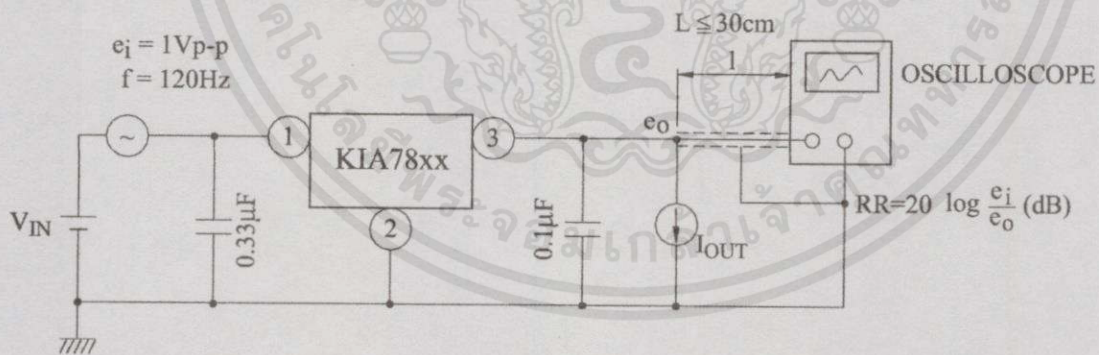


Fig. 3 Ripple Rejection Test Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 4 $I_B - T_j$

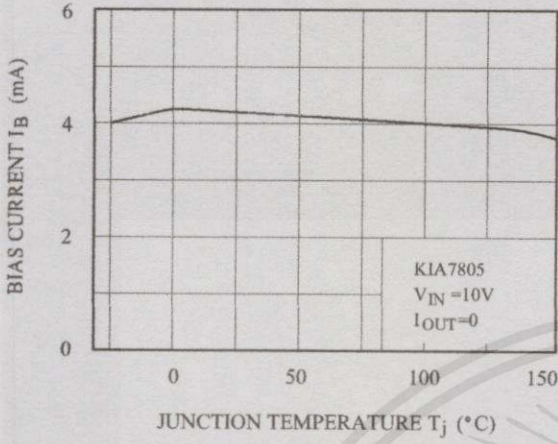


Fig. 5 $V_{OUT} - T_j$

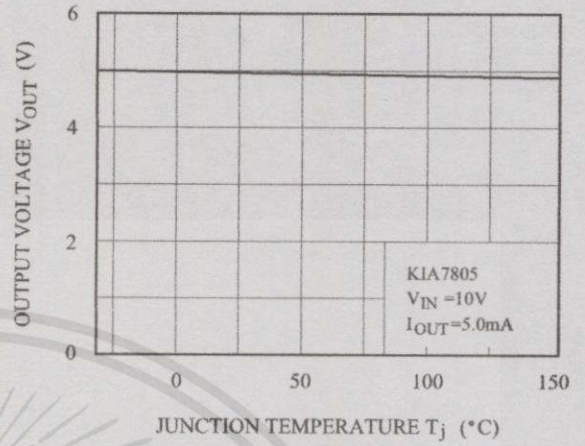


Fig. 6 $RR - I_{OUT}$

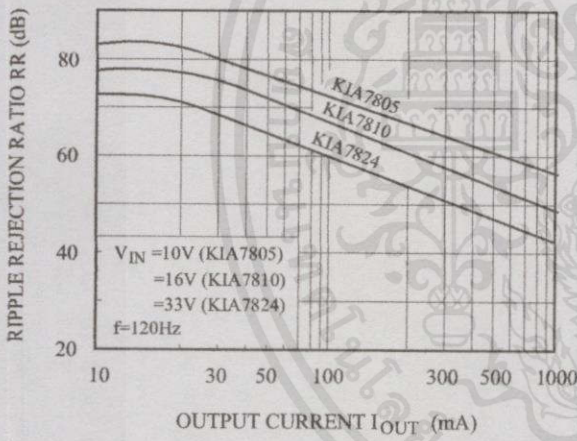
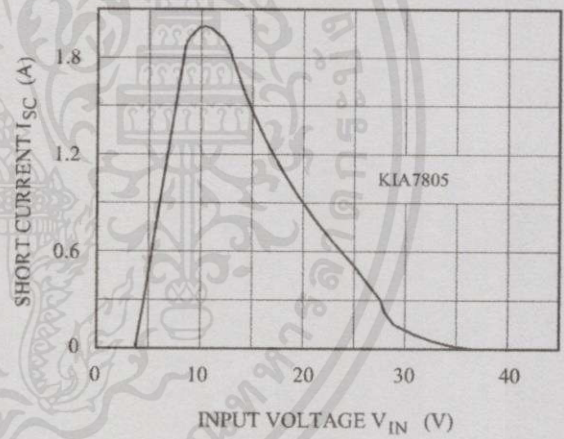


Fig. 7 $V_{IN} - I_{SC}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 8

$V_D - T_j$

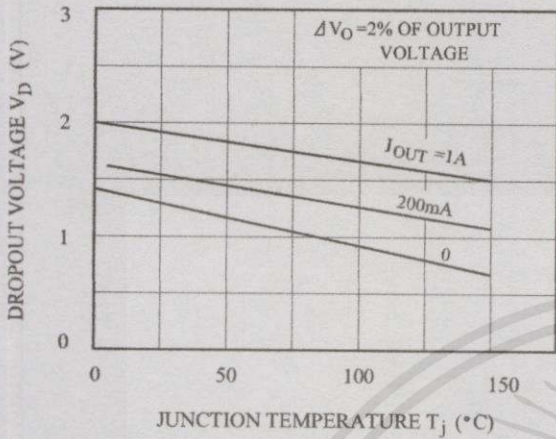


Fig. 9

$Z_{OUT} - f$

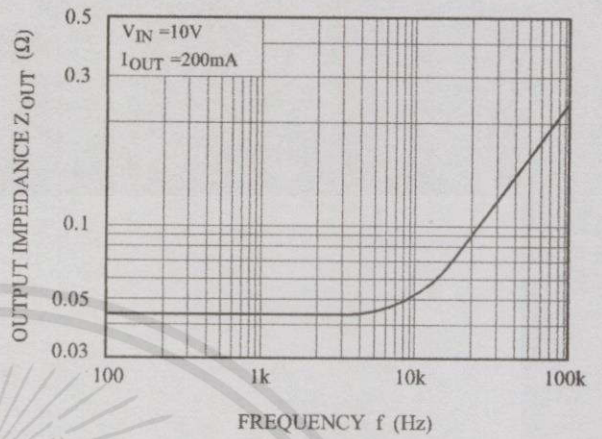
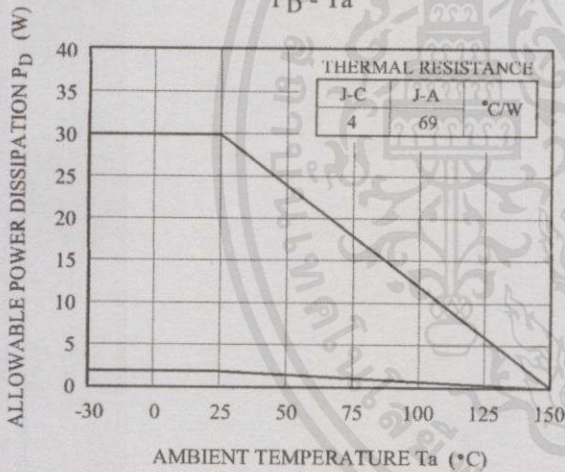


Fig. 10

$P_D - T_a$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1117-N/LM1117I 800mA Low-Dropout Linear Regulator

Check for Samples: **LM1117-N, LM1117I**

FEATURES

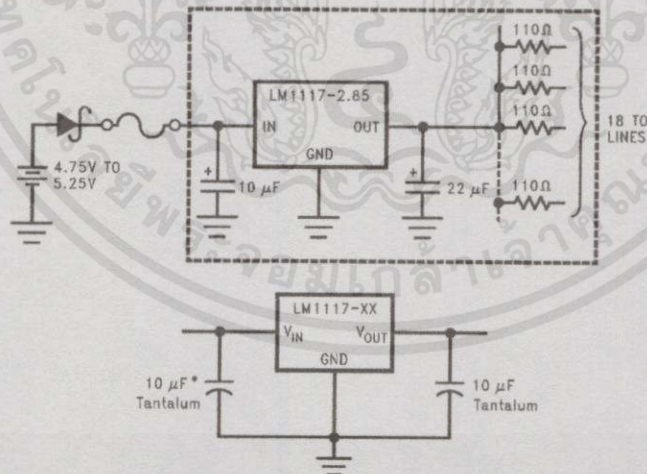
- Available in 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, 5V, and Adjustable Versions
- Space Saving SOT-223 and WSON Packages
- Current Limiting and Thermal Protection
- Output Current 800mA
- Line Regulation 0.2% (Max)
- Load Regulation 0.4% (Max)
- Temperature Range
 - LM1117-N: 0°C to 125°C
 - LM1117I: –40°C to 125°C

APPLICATIONS

- 2.85V Model for SCSI-2 Active Termination
- Post Regulator for Switching DC/DC Converter
- High Efficiency Linear Regulators
- Battery Charger
- Battery Powered Instrumentation

TYPICAL APPLICATION

Active Terminator for SCSI-2 Bus



* Required if the regulator is located far from the power supply filter.

Figure 1. Fixed Output Regulator

DESCRIPTION

The LM1117-N is a series of low dropout voltage regulators with a dropout of 1.2V at 800mA of load current. It has the same pin-out as Texas Instruments' industry standard LM317.

The LM1117-N is available in an adjustable version, which can set the output voltage from 1.25V to 13.8V with only two external resistors. In addition, it is also available in five fixed voltages, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, and 5V.

The LM1117-N offers current limiting and thermal shutdown. Its circuit includes a zener trimmed bandgap reference to assure output voltage accuracy to within ±1%.

The LM1117-N series is available in WSON, PFM, SOT-223, TO-220, and TO-263 DPAK packages. A minimum of 10µF tantalum capacitor is required at the output to improve the transient response and stability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

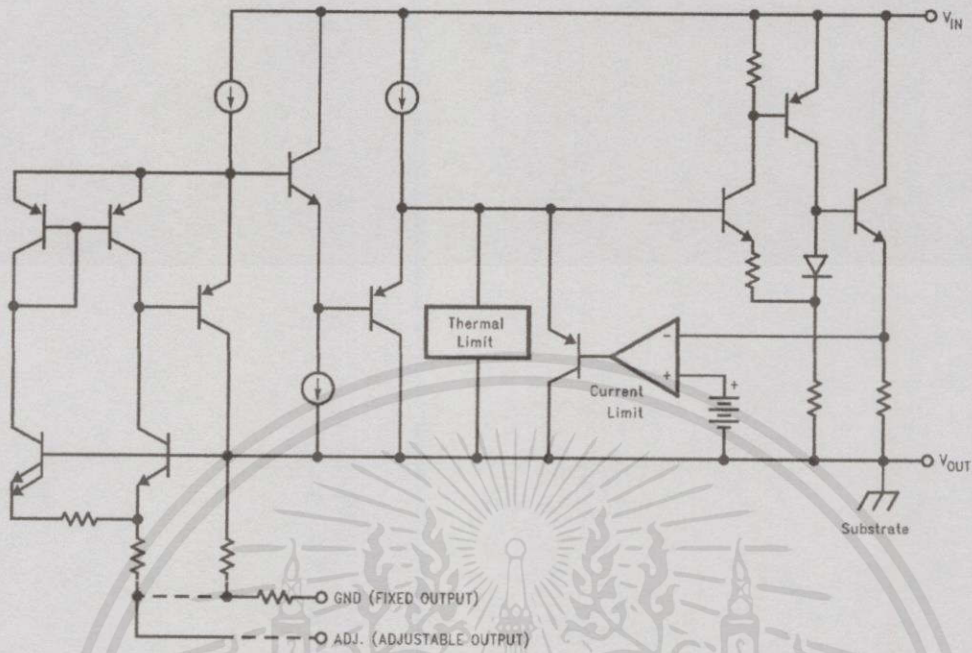
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.



All trademarks are the property of their respective owners.

Block Diagram



Connection Diagrams



Figure 2. SOT-223 Top View

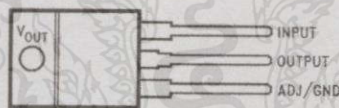


Figure 3. TO-220 Top View

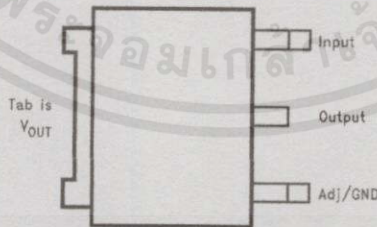


Figure 4. PFM Top View

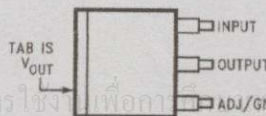


Figure 5. DDPAK/TO-263 Top View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

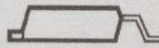
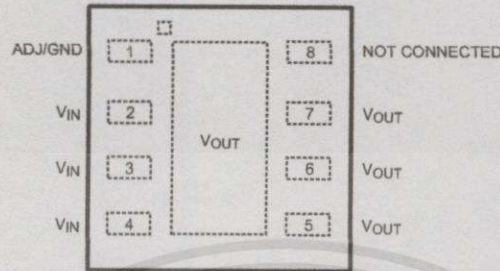


Figure 6. DDPAK/TO-263 Side View



When using the WSON package
Pins 2, 3 & 4 must be connected together and
Pins 5, 6 & 7 must be connected together

Figure 7. WSON Top View



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

Maximum Input Voltage (V _{IN} to GND)	20V	
Power Dissipation ⁽³⁾	Internally Limited	
Junction Temperature (T _J) ⁽³⁾	150°C	
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Lead Temperature	TO-220 (T) Package	260°C, 10 sec
	SOT-223 (IMP) Package	260°C, 4 sec
ESD Tolerance ⁽⁴⁾	2000V	

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) The maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A) / θ_{JA}. All numbers apply for packages soldered directly into a PC board.
- (4) For testing purposes, ESD was applied using human body model, 1.5kΩ in series with 100pF.

OPERATING RATINGS⁽¹⁾

Input Voltage (V _{IN} to GND)	15V	
Junction Temperature Range (T _J) ⁽²⁾	LM1117-N	0°C to 125°C
	LM1117I	-40°C to 125°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) The maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A) / θ_{JA}. All numbers apply for packages soldered directly into a PC board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1117-N ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, 0°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units
V_{REF}	Reference Voltage	LM1117-N-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN}-V_{OUT} = 2\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.238	1.250	1.262	V
		$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $1.4\text{V} \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 10\text{V}$	1.225	1.250	1.270	V
V_{OUT}	Output Voltage	LM1117-N-1.8 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 3.8\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.782	1.800	1.818	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $3.2\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	1.746	1.800	1.854	V
		LM1117-N-2.5 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 4.5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	2.475	2.500	2.525	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $3.9\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	2.450	2.500	2.550	V
		LM1117-N-2.85 $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $V_{IN} = 4.85\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	2.820	2.850	2.880	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$, $4.25\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 500\text{mA}$, $V_{IN} = 4.10\text{V}$	2.790 2.790	2.850 2.850	2.910 2.910	V V
ΔV_{OUT}	Line Regulation ⁽³⁾	LM1117-N-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$, $1.5\text{V} \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 13.75\text{V}$		0.035	0.2	%
		LM1117-N-1.8 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $3.2\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-2.5 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $3.9\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-2.85 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $4.25\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-3.3 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$		1	6	mV
		LM1117-N-5.0 $I_{OUT} = 0\text{mA}$, $6.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$		1	10	mV
ΔV_{OUT}	Load Regulation ⁽³⁾	LM1117-N-ADJ $V_{IN}-V_{OUT} = 3\text{V}$, $10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		0.2	0.4	%
		LM1117-N-1.8 $V_{IN} = 3.2\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-2.5 $V_{IN} = 3.9\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-2.85 $V_{IN} = 4.25\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-3.3 $V_{IN} = 4.75\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV
		LM1117-N-5.0 $V_{IN} = 6.5\text{V}$, $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	15	mV
$V_{IN}-V_{OUT}$	Dropout Voltage ⁽⁴⁾	$I_{OUT} = 100\text{mA}$		1.10	1.20	V
		$I_{OUT} = 500\text{mA}$		1.15	1.25	V
		$I_{OUT} = 800\text{mA}$		1.20	1.30	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- (1) All limits are ensured by testing or statistical analysis.
- (2) Typical Values represent the most likely parametric normal.
- (3) Load and line regulation are measured at constant junction room temperature.
- (4) The dropout voltage is the input/output differential at which the circuit ceases to regulate against further reduction in input voltage. It is measured when the output voltage has dropped 100mV from the nominal value obtained at $V_{IN} = V_{OUT} + 1.5\text{V}$.

LM1117-N ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, 0°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units	
I_{LIMIT}	Current Limit	$V_{IN}-V_{OUT} = 5V, T_J = 25^\circ\text{C}$	800	1200	1500	mA	
	Minimum Load Current ⁽⁵⁾	LM1117-N-ADJ $V_{IN} = 15V$		1.7	5	mA	
	Quiescent Current	LM1117-N-1.8 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
		LM1117-N-2.5 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
		LM1117-N-2.85 $V_{IN} \leq 10V$			5	10	mA
		LM1117-N-3.3 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
		LM1117-N-5.0 $V_{IN} \leq 15V$			5	10	mA
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}, 30\text{ms Pulse}$		0.01	0.1	%/W	
	Ripple Regulation	$f_{RIPPLE} = 1\text{ kHz}, V_{IN}-V_{OUT} = 3V, V_{RIPPLE} = 1V_{PP}$	60	75		dB	
	Adjust Pin Current			60	120	μA	
	Adjust Pin Current Change	$10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}, 1.4V \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 10V$		0.2	5	μA	
	Temperature Stability			0.5		%	
	Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}, 1000\text{Hrs}$		0.3		%	
	RMS Output Noise	(% of V_{OUT}), $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$			0.003	%	
	Thermal Resistance Junction-to-Case	3-Lead SOT-223			15.0		$^\circ\text{C/W}$
3-Lead TO-220				3.0		$^\circ\text{C/W}$	
3-Lead TO-263				10		$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance Junction-to-Ambient (No air flow)	3-Lead SOT-223 (No heat sink)			136		$^\circ\text{C/W}$	
	3-Lead TO-220 (No heat sink)			79		$^\circ\text{C/W}$	
	3-Lead TO-263 ⁽⁶⁾ (No heat sink)			92		$^\circ\text{C/W}$	
	3-Lead PFM			55		$^\circ\text{C/W}$	
	8-Lead WSON ⁽⁷⁾			40		$^\circ\text{C/W}$	

(5) The minimum output current required to maintain regulation.

(6) Minimum pad size of 0.038in^2

(7) Thermal Performance for the WSON was obtained using JESD51-7 board with six vias and an ambient temperature of 22°C . For information about improved thermal performance and power dissipation for the WSON, refer to Application Note AN-1187 (SNOA401).

LM1117I ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, -40°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units
V_{REF}	Reference Voltage	LM1117I-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}, V_{IN}-V_{OUT} = 2V, T_J = 25^\circ\text{C}$	1.238	1.250	1.262	V
		$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}, 1.4V \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 10V$	1.200	1.250	1.290	V
V_{OUT}	Output Voltage	LM1117I-3.3 $I_{OUT} = 10\text{mA}, V_{IN} = 5V, T_J = 25^\circ\text{C}$	3.267	3.300	3.333	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}, 4.75V \leq V_{IN} \leq 10V$	3.168	3.300	3.432	V
		LM1117I-5.0 $I_{OUT} = 10\text{mA}, V_{IN} = 7V, T_J = 25^\circ\text{C}$	4.950	5.000	5.050	V
		$0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}, 6.5V \leq V_{IN} \leq 12V$	4.800	5.000	5.200	V

(1) All limits are ensured by testing or statistical analysis.

(2) Typical Values represent the most likely parametric normal.

LM1117I ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$. Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation, -40°C to 125°C .

Symbol	Parameter	Conditions	Min ⁽¹⁾	Typ ⁽²⁾	Max ⁽¹⁾	Units	
ΔV_{OUT}	Line Regulation ⁽³⁾	LM1117I-ADJ $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$, $1.5\text{V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 13.75\text{V}$		0.035	0.3	%	
		LM1117I-3.3 $I_{\text{OUT}} = 0\text{mA}$, $4.75\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		1	10	mV	
		LM1117I-5.0 $I_{\text{OUT}} = 0\text{mA}$, $6.5\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		1	15	mV	
ΔV_{OUT}	Load Regulation ⁽³⁾	LM1117I-ADJ $V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 3\text{V}$, $10 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$		0.2	0.5	%	
		LM1117I-3.3 $V_{\text{IN}} = 4.75\text{V}$, $0 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$		1	15	mV	
		LM1117I-5.0 $V_{\text{IN}} = 6.5\text{V}$, $0 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$		1	20	mV	
$V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}$	Dropout Voltage ⁽⁴⁾	$I_{\text{OUT}} = 100\text{mA}$		1.10	1.30	V	
		$I_{\text{OUT}} = 500\text{mA}$		1.15	1.35	V	
		$I_{\text{OUT}} = 800\text{mA}$		1.20	1.40	V	
I_{LIMIT}	Current Limit	$V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	800	1200	1500	mA	
	Minimum Load Current ⁽⁵⁾	LM1117I-ADJ $V_{\text{IN}} = 15\text{V}$		1.7	5	mA	
	Quiescent Current	LM1117I-3.3 $V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		5	15	mA	
		LM1117I-5.0 $V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		5	15	mA	
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$, 30ms Pulse		0.01	0.1	%/W	
	Ripple Regulation	$f_{\text{RIPPLE}} = 1\text{20Hz}$, $V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 3\text{V}$, $V_{\text{RIPPLE}} = 1\text{V}_{\text{PP}}$	60	75		dB	
	Adjust Pin Current			60	120	μA	
	Adjust Pin Current Change	$10 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$, $1.4\text{V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 10\text{V}$		0.2	10	μA	
	Temperature Stability			0.5		%	
	Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$, 1000Hrs		0.3		%	
	RMS Output Noise	(% of V_{OUT}), $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		0.003		%	
	Thermal Resistance Junction-to-Case	3-Lead SOT-223			15.0		$^\circ\text{C}/\text{W}$
		3-Lead TO-263			10		$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance Junction-to-Ambient No air flow)	3-Lead SOT-223 (No heat sink)			136		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	3-Lead TO-263 (No heat sink) ⁽⁶⁾			92		$^\circ\text{C}/\text{W}$	
	8-Lead WSON ⁽⁷⁾			40		$^\circ\text{C}/\text{W}$	

(3) Load and line regulation are measured at constant junction room temperature.

(4) The dropout voltage is the input/output differential at which the circuit ceases to regulate against further reduction in input voltage. It is measured when the output voltage has dropped 100mV from the nominal value obtained at $V_{\text{IN}} = V_{\text{OUT}} + 1.5\text{V}$.

(5) The minimum output current required to maintain regulation.

(6) Minimum pad size of 0.038in^2

(7) Thermal Performance for the WSON was obtained using JESD51-7 board with six vias and an ambient temperature of 22°C . For information about improved thermal performance and power dissipation for the WSON, refer to Application Note AN-1187 (SNOA401).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

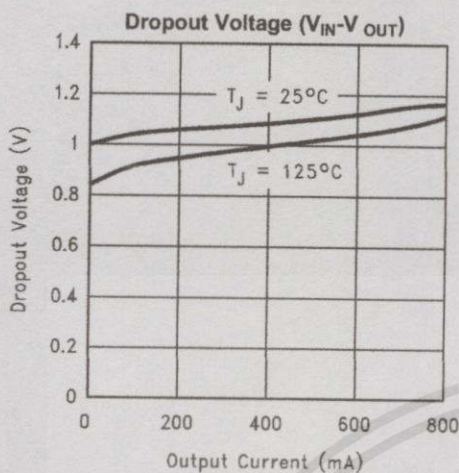


Figure 8.

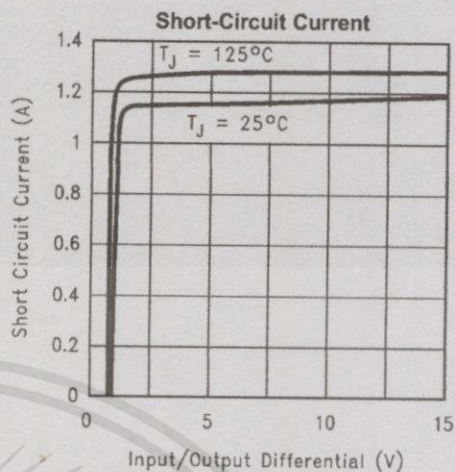


Figure 9.

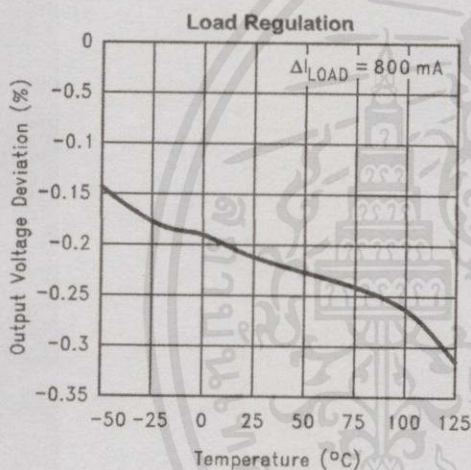


Figure 10.

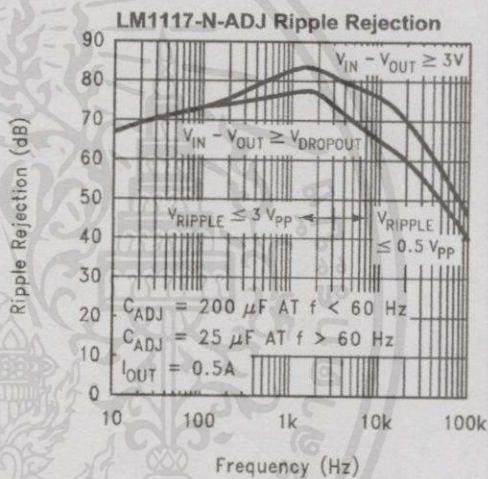


Figure 11.

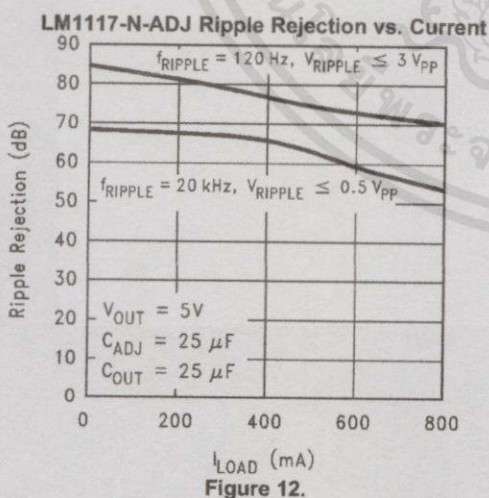


Figure 12.

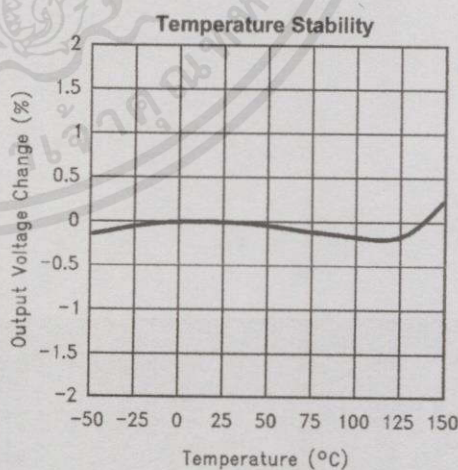


Figure 13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น" อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

Adjust Pin Current

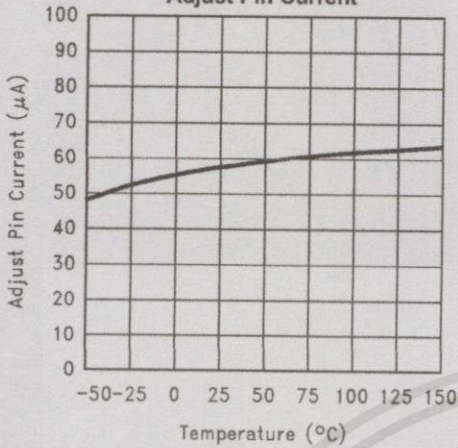


Figure 14.

LM1117-N-2.85 Load Transient Response

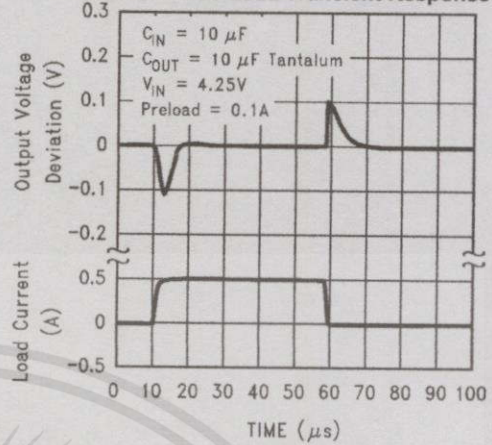


Figure 15.

LM1117-N-5.0 Load Transient Response

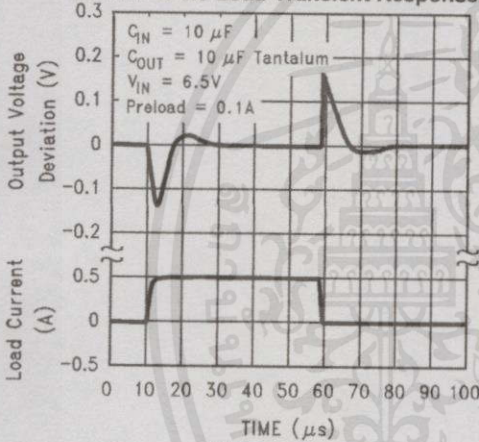


Figure 16.

LM1117-N-2.85 Line Transient Response

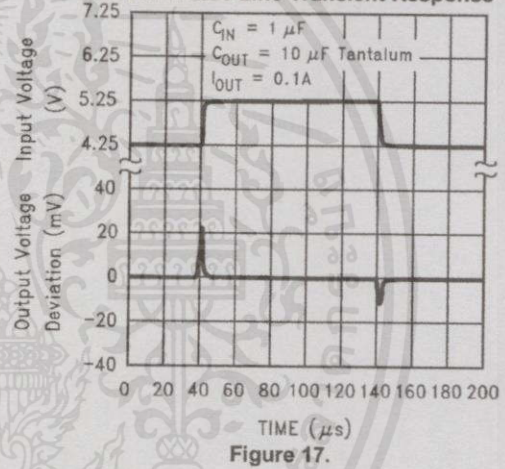


Figure 17.

LM1117-N-5.0 Line Transient Response

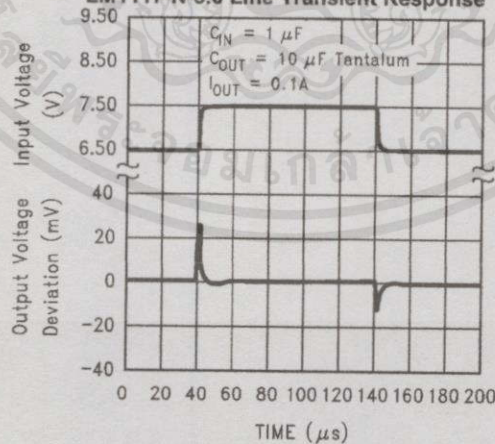


Figure 18.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

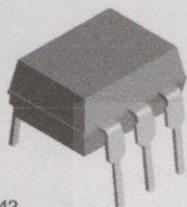


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

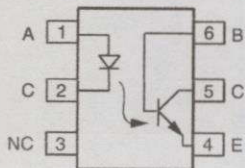
4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179004-5

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation		P _{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EBO}	7	V
Collector current	t ≤ 1 ms	I _C	50	mA
		I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	150	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors
with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage distance			≥ 7	mm
Clearance distance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{12}	Ω
	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		T_j	125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature ⁽²⁾	max.10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5 \text{ mm}$	T_{sld}	260	$^\circ\text{C}$

Notes

⁽¹⁾ $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

⁽²⁾ Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ⁽¹⁾							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Forward voltage ⁽²⁾	$I_F = 50 \text{ mA}$		V_F		1.3	1.5	V
Reverse current ⁽²⁾	$V_R = 3 \text{ V}$		I_R		0.1	100	μA
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$		C_O		25		pF
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}$		BV_{CBO}	70			V
Collector emitter breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 1 \text{ mA}$		BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage ⁽²⁾	$I_E = 100 \text{ } \mu\text{A}$		BV_{ECO}	7			V
$I_{CEO}(\text{dark})$ ⁽²⁾	$V_{CE} = 10 \text{ V}, (\text{base open})$	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
$I_{CBO}(\text{dark})$ ⁽²⁾	$V_{CB} = 10 \text{ V}, (\text{emitter open})$				2	20	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Isolation test voltage ⁽²⁾	Peak, 60 Hz		V_{IO}	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	$I_{CE} = 2 \text{ mA}, I_F = 50 \text{ mA}$		$V_{CE(\text{sat})}$			0.5	V
Resistance, input output ⁽²⁾	$V_{IO} = 500 \text{ V}$		R_{IO}	100			$\text{G}\Omega$
Capacitance, input output	$f = 1 \text{ MHz}$		C_{IO}		0.6		pF

Notes

⁽¹⁾ $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified. สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements. ออสารหนักครั้งที่มีการนำไปใช้

⁽²⁾ JEDEC registered values are 2500 V, 1500 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

CURRENT TRANSFER RATIO (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$	4N25	CTR_{DC}	20	50		%
		4N26	CTR_{DC}	20	50		%
		4N27	CTR_{DC}	10	30		%
		4N28	CTR_{DC}	10	30		%

Note
 (1) Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Rise and fall times	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, R_L = 100\ \Omega$	t_r, t_f		2			μs

TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

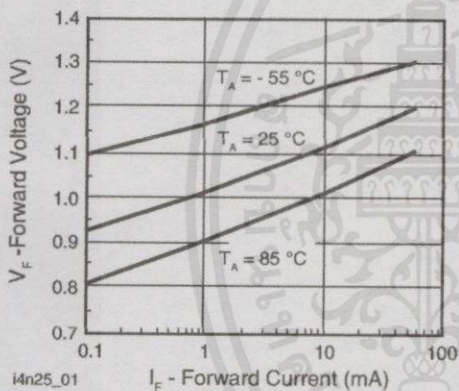


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

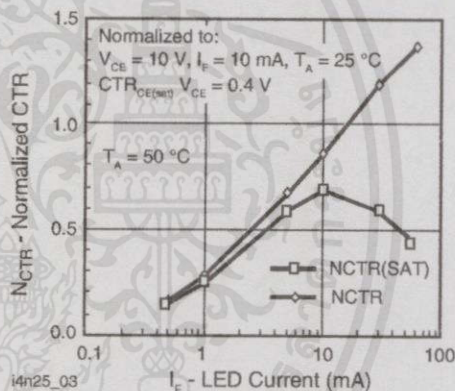


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

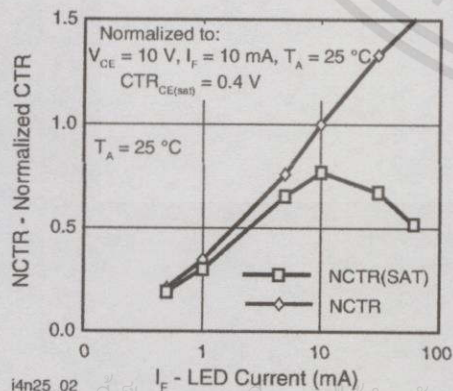


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

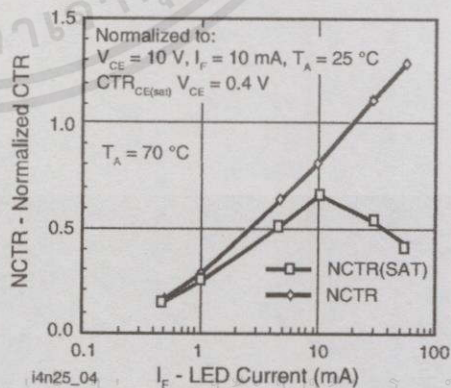


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors with Base Connection

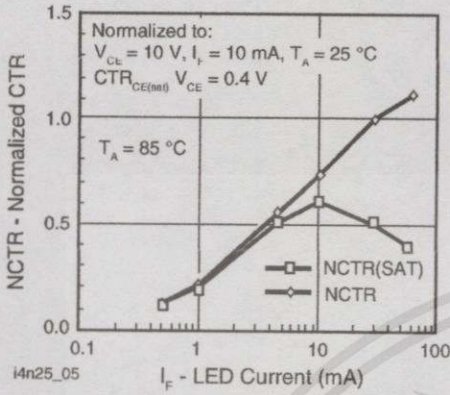


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

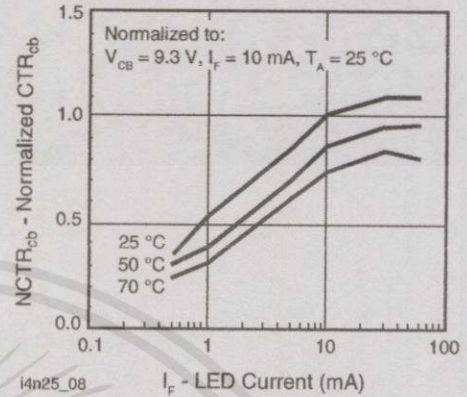


Fig. 8 - Normalized CTRcb vs. LED Current and Temperature

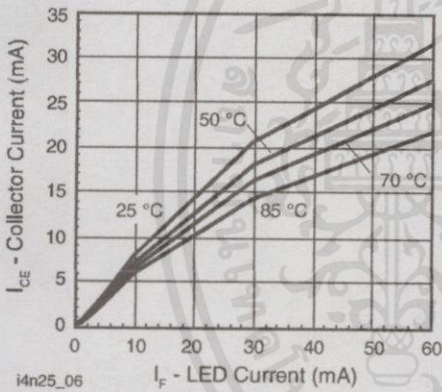


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

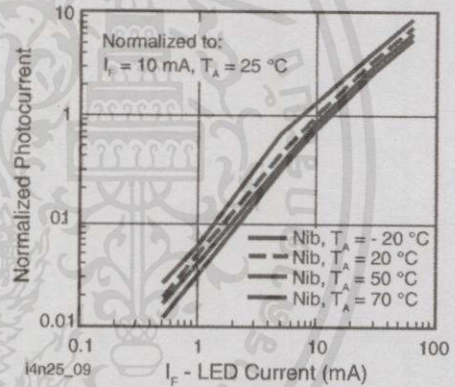


Fig. 9 - Normalized Photocurrent vs. I_F and Temperature

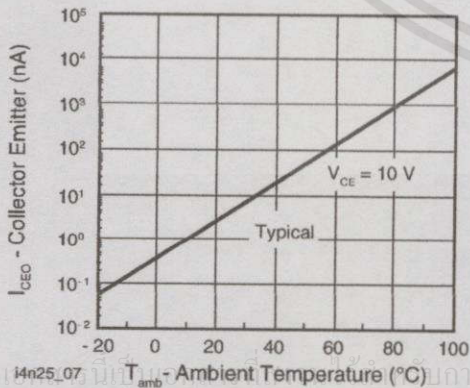


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

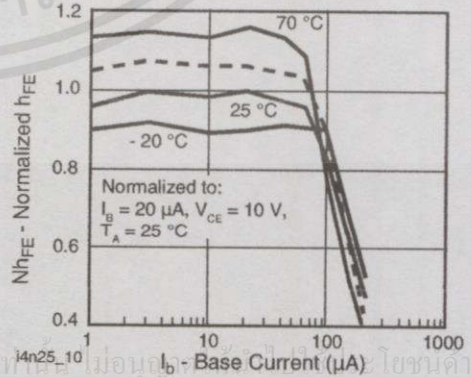


Fig. 10 - Normalized Non-Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

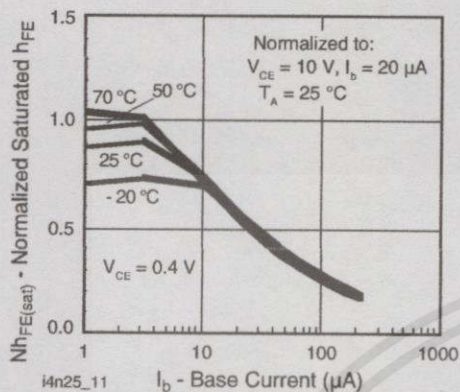


Fig. 11 - Normalized h_{FE} vs. Base Current and Temperature

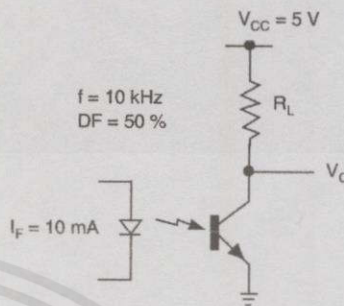


Fig. 14 - Switching Schematic

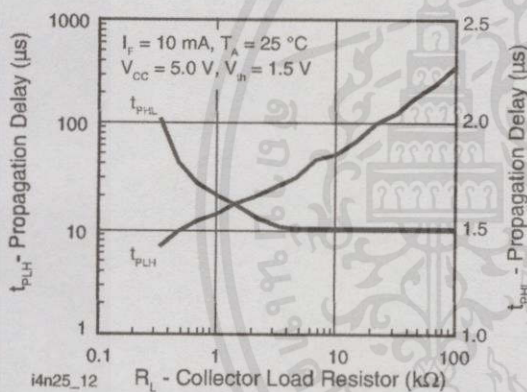
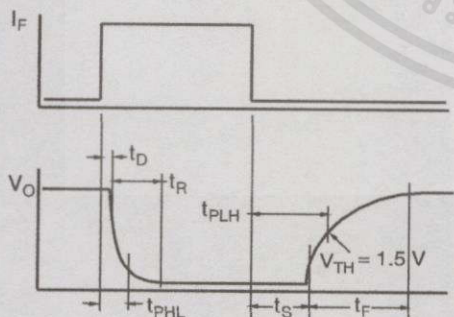


Fig. 12 - Propagation Delay vs. Collector Load Resistor



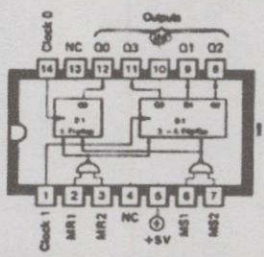
i4n25_13

Fig. 13 - Switching Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Description:
This package contains a divide-by-two and a divide-by-five counter.

Mode of operation:
The device consists of 4 flip-flops which are connected internally to create one divide-by-2 and one divide-by-5 counters.
All flip-flops have a common reset line controlled by two inputs MR1 and MR2. When both MR1 and MR2 are high the counters are cleared.
Flip-flop 1 is not internally connected to the other stages, thus providing a variety of counter sequences:

- Counting to 10 (BCD): Output Q0 is connected to the Clock 1 input. The input pulses are applied to the Clock 0 input and the divided signal is extracted at Q3. The device counts in binary code up to 9, with the outputs returning to zero on the 10th clock pulse. Pins 2, 3 and 6, 7 must be grounded.
- Divide by 2 and divide by 5: Flip-flop 1 is used as a 2:1 divider and flip-flops 2,3 and 4 are used as a 5:1 divider.
- Symmetrical biquinary divider 10:1: Q3 is connected to Clock 0. Clock 1 is used as the clock input. A symmetrical square-wave with a frequency 1/10 that of the input signal is obtained at output Q0. The flip-flops are triggered on the falling edge of the clock pulse. When inputs MS1 and MS2 are both high the counter is preset to 9.

Reset/set inputs				Outputs			
MR1	MR2	MS1	MS2	Q0	Q1	Q2	Q3
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
L	X	L	X	Counting			
X	L	X	L	Counting			
L	X	X	L	Counting			
X	L	L	X	Counting			

Application:
Counters and dividers 2:1, 5:1 and 10:1

Data:									
Min. guaranteed clock frequency flip-flop 1	MHz	32				3	32		
Min. guaranteed clock frequency flip-flops 2-4	MHz	16				3	16		
Supply Current	mA	32				3.2	9		
Families:		Std	ALS	AS	F	H	L	LS	S

DECADE COUNTER
7490

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4046B Types

CMOS Micropower Phase-Locked Loop

■ **CD4046B CMOS Micropower Phase-Locked Loop (PLL)** consists of a low-power, linear voltage-controlled oscillator (VCO) and two different phase comparators having a common signal-input amplifier and a common comparator input. A 5.2-V zener diode is provided for supply regulation if necessary.

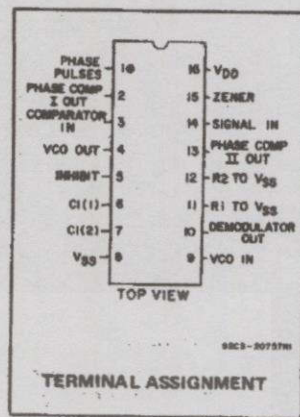
The CD4046B types are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 16-lead small-outline packages (NSR suffix), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

VCO Section

The VCO requires one external capacitor C1 and one or two external resistors (R1 or R1 and R2). Resistor R1 and capacitor C1 determine the frequency range of the VCO and resistor R2 enables the VCO to have a frequency offset if required. The high input impedance ($10^{12}\Omega$) of the VCO simplifies the design of low-pass filters by permitting the designer a wide choice of resistor-to-capacitor ratios. In order not to load the low-pass filter, a source-follower output of the VCO input voltage is provided at terminal 10 (DEMODULATED OUTPUT). If this terminal is used, a load resistor (R_S) of 10 k Ω or more should be connected from this terminal to V_{SS}. If unused this terminal should be left open. The VCO can be connected either directly or through frequency dividers to the comparator input of the phase comparators. A full CMOS logic swing is available at the output of the VCO and allows direct coupling to CMOS frequency dividers such as the RCA-CD4024, CD4018, CD4020, CD4022, CD4029, and CD4059. One or more CD4018 (Presettable Divide-by-N Counter) or CD4029 (Presettable Up/Down Counter), or CD4059A (Programmable Divide-by-"N" Counter), together with the CD4046B (Phase-Locked Loop) can be used to build a micropower low-frequency synthesizer. A logic 0 on the INHIBIT input "enables" the VCO and the source follower, while a logic 1 "turns off" both to minimize stand-by power consumption.

Features:

- Very low power consumption: 70 μ W (typ.) at VCO $f_o = 10$ kHz, V_{DD} = 5 V
- Operating frequency range up to 1.4 MHz (typ.) at V_{DD} = 10 V, R₁ = 5 k Ω
- Low frequency drift: 0.04%/°C (typ.) at V_{DD} = 10 V
- Choice of two phase comparators: Exclusive-OR network (I) Edge-controlled memory network with phase-pulse output for lock indication (II)
- High VCO linearity: <1% (typ.) at V_{DD} = 10 V
- VCO inhibit control for ON-OFF keying and ultra-low standby power consumption
- Source-follower output of VCO control input (Demod. output)
- Zener diode to assist supply regulation
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"



Applications:

- FM demodulator and modulator
- Frequency synthesis and multiplication
- Frequency discriminator
- Data synchronization
- Voltage-to-frequency conversion
- Tone decoding
- FSK - Modems
- Signal conditioning
- (See ICAN-6101) "RCA COS/MOS Phase-Locked Loop - A Versatile Building Block for Micropower Digital and Analog Applications"

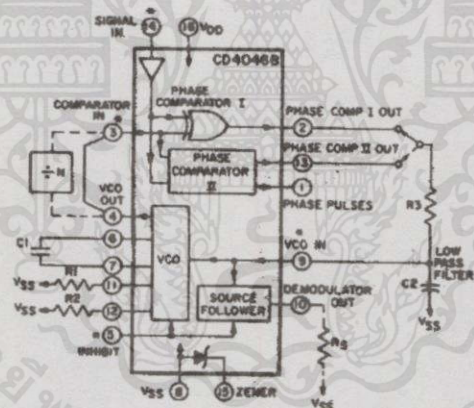
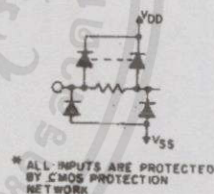


Fig. 1 - CMOS phase-locked loop block diagram.



98C9-EN12

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})	
Voltages referenced to V _{SS} Terminal	-0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	
	-0.5V to V _{DD} +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	
	±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D):	
For T _A = -55°C to +100°C	500mW
For T _A = +100°C to +125°C	Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR	
FOR T _A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A)	
	-55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg})	
	-65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):	
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79mm) from case for 10s max	+285°C

Phase Comparators

The phase-comparator signal input (terminal 14) can be direct-coupled provided the signal swing is within CMOS logic levels [logic "0" <30% (V_{DD}-V_{SS}), logic "1" >70% (V_{DD}-V_{SS})]. For smaller swings the signal must be capacitively coupled to the self-biasing amplifier at the signal input. Phase comparator I is an exclusive-OR network; it operates analogously to an overdriven balanced mixer. To maximize the lock range, the signal- and comparator-input frequencies must have a 50% duty cycle. With no signal or noise on the signal input, this phase comparator has an average output voltage equal to V_{DD}/2. The low-pass filter connected to the output of phase comparator

CD4046B Types

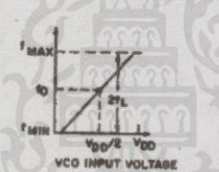
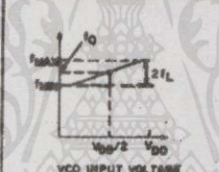
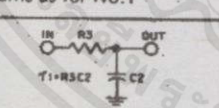
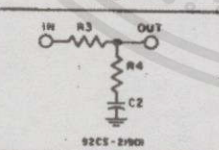
RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS at T_A = Full Package-Temperature Range
 For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	Min.	Max.	
Supply-Voltage Range VCO Section: As Fixed Oscillator Phased-Lock-Loop Operation	3	18	V
	5	18	
Supply-Voltage Range Phase Comparator Section: Comparators VCO Operation	3	18	V
	5	18	

DESIGN INFORMATION

This information is a guide for approximating the values of external components for the CD4046B in a Phase-Locked-Loop system.

The selected external components must be within the following ranges:
 $5\text{ k}\Omega \leq R_1, R_2, R_3 \leq 1\text{ M}\Omega$
 $C_1 \geq 100\text{ pF}$ at $V_{DD} \geq 5\text{ V}$;
 $C_1 \geq 50\text{ pF}$ at $V_{DD} \geq 10\text{ V}$

Characteristics	Phase Comparator Used	Design Information	
		VCO WITHOUT OFFSET $R_2 = \infty$	VCO WITH OFFSET
VCO Frequency	1		
For No. Signal Input	1	Same as for No.1	
	2	VCO will adjust to lowest operating frequency, f_{min}	
Frequency Lock Range, $2f_L$	1	$2f_L = \text{full VCO frequency range}$ $2f_L = f_{max} - f_{min}$	
	2	Same as for No. 1	
Frequency Capture Range, $2f_C$	1	 $2f_C \approx \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{r_1}}$	
Loop Filter Component Selection	1	 <p>For $2f_C$, see Ref. (2)</p>	
Phase Angle Between Signal and Comparator	1	90° at center frequency (f_0) approximating 0° and 180° at ends of lock range ($2f_L$)	
	2	Always 0° in lock	
Locks On Harmonic of Center Frequency	1	Yes	
	2	No	
Signal Input Noise Rejection	1	High	
	2	Low	

For further information, see

- (1) F. Gardner, "Phase-Lock Techniques" John Wiley and Sons, New York, 1966
- (2) G. S. Moschytz, "Miniaturized RC Filters Using Phase-Locked Loop", BSTJ, May, 1965.

I supplies the averaged voltage to the VCO input, and causes the VCO to oscillate at the center frequency (f_0).

The frequency range of input signals on which the PLL will lock if it was initially out of lock is defined as the frequency capture range ($2f_c$).

The frequency range of input signals on which the loop will stay locked if it was initially in lock is defined as the frequency lock range ($2f_L$). The capture range is \leq the lock range.

With phase comparator I the range of frequencies over which the PLL can acquire lock (capture range) is dependent on the low-pass-filter characteristics, and can be made as large as the lock range. Phase-comparator I enables a PLL system to remain in lock in spite of high amounts of noise in the input signal.

One characteristic of this type of phase comparator is that it may lock onto input frequencies that are close to harmonics of the VCO center-frequency. A second characteristic is that the phase angle between the signal and the comparator input varies between 0° and 180° , and is 90° at the center frequency. Fig. 2 shows the typical, triangular, phase-to-output response characteristic of phase-comparator I. Typical waveforms for a CMOS phase-locked-loop employing phase comparator I in locked condition of f_0 is shown in Fig. 3.

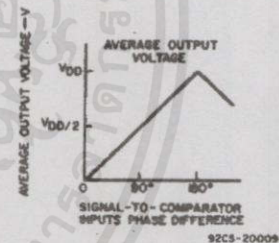


Fig. 2 - Phase-comparator I characteristics at low-pass filter output.

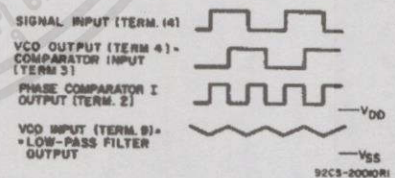


Fig. 3 - Typical waveforms for CMOS phase-locked-loop employing phase comparator in locked condition of f_0 .

Phase-comparator II is an edge-controlled digital memory network. It consists of four flip-flop stages, control gating, and a three-state output circuit comprising p- and n-type drivers having a common output node. When the p-MOS or n-MOS drivers are ON they pull the output up to V_{DD} or down to V_{SS} , respectively. This type of phase-comparator acts only on the positive edges of the signal and comparator inputs. The duty cycles of the signal and comparator inputs are not important since positive transitions

CD4046B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS	
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	+85	+125	+25				
								Min.	Typ.	Max.		
VCO Section												
Output Low (Sink) Current I _{OL} Min.	0.4	0.5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	—	mA	
	0.5	0.10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	—		
	1.5	0.15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	—		
Output High (Source) Current, I _{OH} Min.	4.6	0.5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	—	mA	
	2.5	0.5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	—		
	9.5	0.10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	—		
	13.5	0.15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	—		
Output Voltage: Low-Level, V _{OL} Max.	Term. 4 driving CMOS	0.5	5	0.05			—			0	0.05	V
		0.10	10	0.05			—			0	0.05	
		0.15	15	0.05			—			0	0.05	
Output Voltage: High-Level, V _{OH} Min.	e.g. Term.3	0.5	5	4.95			4.95			5	—	V
		0.10	10	9.95			9.95			10	—	
		0.15	15	14.95			14.95			15	—	
Input Current I _{IN} Max.	—	0.18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	—	±10 ⁻⁵	±0.1	μA	
Phase Comparator Section												
Total Device Current, I _{DD} Max. Term. 14 open, Term. 5 = V _{DD}	—	0.5	5	0.2			—			0.1	0.2	mA
	—	0.10	10	1			—			0.5	1	
	—	0.15	15	1.5			—			0.75	1.5	
	—	0.20	20	4			—			2	4	
Term. 14 = V _{SS} or V _{DD} . Term. 5 = V _{DD}	—	0.5	5	20			—			10	20	μA
	—	0.10	10	40			—			20	40	
	—	0.15	15	80			—			40	80	
	—	0.20	20	160			—			80	160	
Output Low (Sink) Current I _{OL} Min.	0.4	0.5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	—	mA	
	0.5	0.10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	—		
	1.5	0.15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	—		
Output High (Source) Current I _{OH} Min.	4.6	0.5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	—	mA	
	2.5	0.5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	—		
	9.5	0.10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	—		
	13.5	0.15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	—		
DC-Coupled Signal Input and Comparator Input Voltage Sensitivity Low Level V _{IL} Max.	0.5,4.5	—	5	1.5			—			—	1.5	V
	1.9	—	10	3			—			—	3	
	1.5,13.5	—	15	4			—			—	4	
High Level V _{IH} Min.	0.5,4.5	—	5	3.5			3.5			—	—	V
	1.9	—	10	7			7			—	—	
	1.5,13.5	—	15	11			11			—	—	

control the PLL system utilizing this type of comparator. If the signal-input frequency is higher than the comparator-input frequency, the p-type output driver is maintained ON most of the time, and both the n and p drivers OFF (3 state) the remainder

of the time. If the signal-input frequency is lower than the comparator-input frequency, the n-type output driver is maintained ON most of the time, and both the n and p drivers OFF (3 state) the remainder of the time. If the signal- and comparator-

input frequencies are the same, but the signal input lags the comparator input in phase, the n-type output driver is maintained ON for a time corresponding to the phase difference. If the signal- and comparator-input frequencies are the same, but

CD4046B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)						UNITS	
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)	-55	-40	+85	+125	+25			
								Min.	Typ.		Max.
Phase Comparator Section (cont'd)											
Input Current I _{IN} Max. (except Term.14)	-	0,18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	±10 ⁻⁵	±0.1	μA
3-State Leakage Current, I _{OUT} Max.	0,18	0,18	18	±0.1	±0.1	±0.2	±0.2	-	±10 ⁻⁵	±0.1	μA

*Limit determined by minimum feasible leakage current measurement for automatic testing.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at T_A = 25°C

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS		V _{DD} (V)	LIMITS			UNITS
				ALL TYPES			
				Min.	Typ.	Max.	
VCO Section							
Operating Power Dissipation, P _D	f _o = 10 kHz R ₂ = ∞ VCO _{IN} = $\frac{V_{DD}}{2}$	R ₁ = 1 MΩ	5	-	70	140	μW
			10	-	800	1600	
			15	-	3000	6000	
Maximum Operating Frequency f _{max}	C ₁ = 50 pF R ₂ = ∞ VCO _{IN} = V _{DD}	R ₁ = 10 kΩ	5	0.3	0.6	-	MHz
			10	0.6	1.2	-	
			15	0.8	1.6	-	
Center Frequency (f _o) and Frequency Range (f _{max} - f _{min})	C ₁ = 50 pF R ₂ = ∞ VCO _{IN} = V _{DD}	R ₁ = 5 kΩ	5	0.5	0.8	-	-
			10	1	1.4	-	
			15	1.4	2.4	-	
Programmable with external components R ₁ , R ₂ , and C ₁ See Design Information							
Linearity	VCO _{IN} = 2.5 V ± 0.3 V, R ₁ = 10 kΩ		5	-	1.7	-	%
	= 5 V ± 1 V, = 100 kΩ		10	-	0.5	-	
	= 5 V ± 2.5 V, = 400 kΩ		10	-	4	-	
	= 7.5 V ± 1.5 V, = 100 kΩ		15	-	0.5	-	
	= 7.5 V ± 5 V, = 1 MΩ		15	-	7	-	
Temperature-Frequency Stability: No Frequency Offset f _{MIN} = 0			5	-	±0.12	-	%/°C
			10	-	±0.04	-	
			15	-	±0.015	-	
Frequency Offset f _{MIN} ≠ 0			5	-	±0.09	-	-
			10	-	±0.07	-	
			15	-	±0.03	-	
Output Duty Cycle			5,10,15	-	50	-	%
Output Transition Times, t _{HL} , t _{LH}			5	-	100	200	ns
			10	-	50	100	
			15	-	40	80	

the comparator input lags the signal in phase, the p-type output driver is maintained ON for a time corresponding to the phase difference. Subsequently, the capacitor voltage of the low-pass filter connected to this phase comparator is adjusted until the signal and comparator inputs are equal in both phase and frequency. At this stable point both p- and n-type output drivers remain OFF and thus the phase comparator output becomes an open circuit and holds the voltage on the capacitor of the low-pass filter constant. Moreover the signal at the "phase pulses" output is a high level which can be used for indicating a locked condition. Thus, for phase comparator II, no phase difference exists between signal and comparator input over the full VCO frequency range. Moreover, the power dissipation due to the low-pass filter is reduced when this type of phase comparator is used because both the p- and n-type output drivers are OFF for most of the signal input cycle. It should be noted that the PLL lock range for this type of phase comparator is equal to the capture range, independent of the low-pass filter. With no signal present at the signal input, the VCO is adjusted to its lowest frequency for phase comparator II. Fig. 10 shows typical waveforms for a CMOS PLL employing phase comparator II in a locked condition.

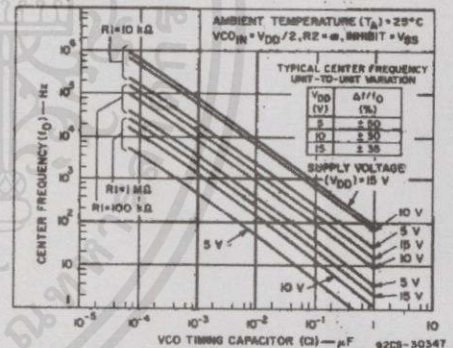


Fig. 4 - Typical center frequency as a function of C₁ and R₁ at V_{DD} = 5 V, 10 V, and 15 V.

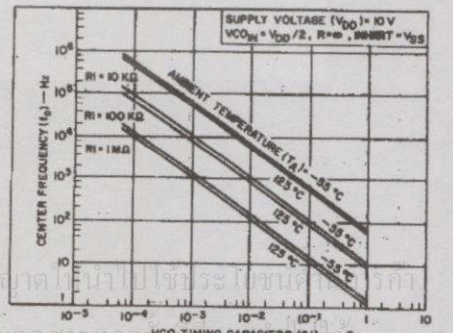


Fig. 5 - Center frequency as a function of C₁ and R₁ for ambient temperatures of -55°C to 125°C.

COMMERCIAL CMOS

CD4046B Types

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $T_A = 25^\circ\text{C}$

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	V_{DD} (V)	LIMITS			UNITS	
			ALL TYPES				
			Min.	Typ.	Max.		
VCO Section (cont'd)							
Source-Follower Output (Demodulated Output): Offset Voltage $ V_{COIN} - V_{DEM} $	$R_S > 10\text{ k}\Omega$	5 10 15	— — —	1.8 1.8 1.8	2.5 2.5 2.5	V	
Linearity	$R_S = 100\text{ k}\Omega$ $= 300\text{ k}\Omega$ $= 500\text{ k}\Omega$	$V_{COIN} = 2.5 \pm 0.3\text{ V}$ $= 5 \pm 2.5\text{ V}$ $= 7.5 \pm 5\text{ V}$	5 10 15	— — —	0.3 0.7 0.9	— — —	%
Zener Diode Voltage (V_Z)	$I_Z = 50\ \mu\text{A}$		4.45	5.5	6.15	V	
Zener Dynamic Resistance, R_Z	$I_Z = 1\text{ mA}$		—	40	—	Ω	
Phase Comparator Section							
Term. 14 (SIGNAL IN) Input Resistance R_{14}		5 10 15	1 0.2 0.1	2 0.4 0.2	— — —	$M\Omega$	
AC Coupled Signal Input Voltage Sensitivity* (peak-to-peak)	$f_{IN} = 100\text{ kHz}$, sine wave	5 10 15	— — —	180 330 900	360 660 1800	mV	
Propagation Delay Times, Terms. 14 to 1: High to Low Level, t_{PHL}		5 10 15	— — —	225 100 65	450 200 130	ns	
Low to High Level, t_{PLH}		5 10 15	— — —	350 150 100	700 300 200	ns	
3-State Propagation Delay Times, Terms. 3 to 13: High Level to High Impedance, t_{PHZ}		5 10 15	— — —	225 100 95	450 200 190	ns	
Terms. 14 to 13: Low Level to High Impedance, t_{PLZ}		5 10 15	— — —	285 130 95	570 260 190	ns	
Input Rise or Fall Times, t_r , t_f Comparator Input, Term. 3	See Fig. 5 for Phase Comp. II output loading	5 10 15	— — —	— — —	50 1 0.3	μs	
Signal Input, Term. 14		5 10 15	— — —	— — —	500 20 2.5	μs	
Output Transition Times, t_{THL} , t_{TLH}		5 10 15	— — —	100 50 40	200 100 80	ns	

*For sine wave, the frequency must be greater than 10 kHz for Phase Comparator II.

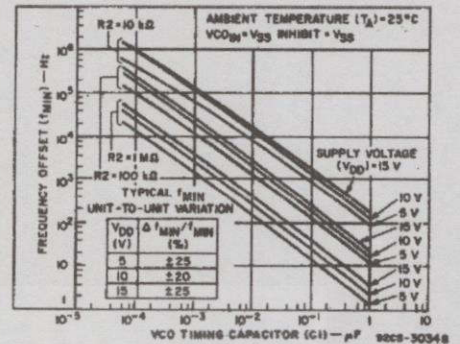


Fig. 6 - Typical frequency offset as a function of C_1 and R_2 for $V_{DD} = 5\text{ V}$, 10 V , and 15 V .

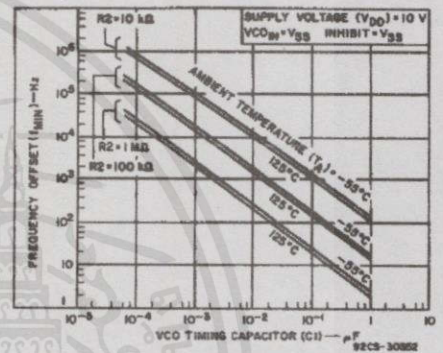


Fig. 7 - Frequency offset as a function of C_1 and R_2 for ambient temperatures of -55°C to 125°C .

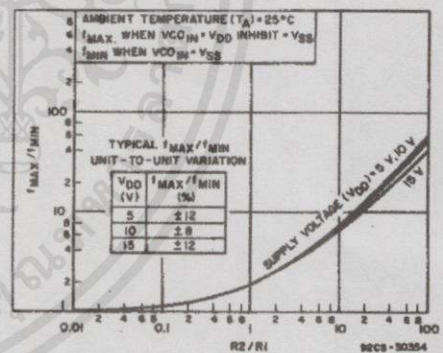


Fig. 8 - Typical f_{MAX}/f_{MIN} as a function of R_2/R_1 .

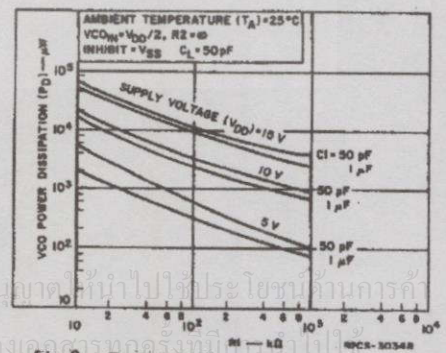


Fig. 9 - Typical VCO power dissipation at center frequency as a function of R_1 .

CD4046B Types

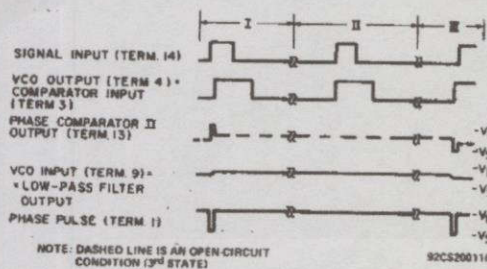


Fig. 10 - Typical waveforms for COS/MOS phase-locked loop employing phase comparator II in locked condition.

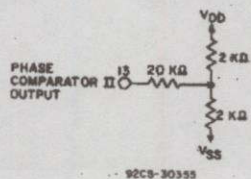


Fig. 11 - Phase comparator II output loading circuit.

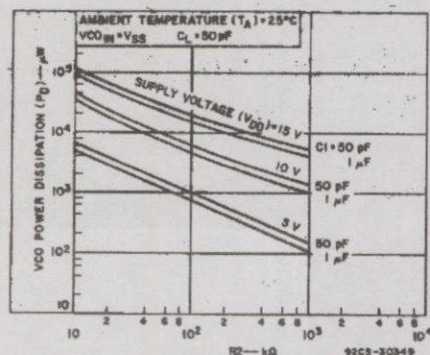


Fig. 12 - Typical VCO power dissipation at f_{MIN} as a function of R_2 .

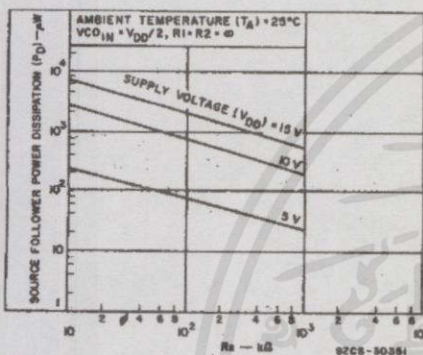


Fig. 13 - Typical source follower power dissipation as a function of R_s .

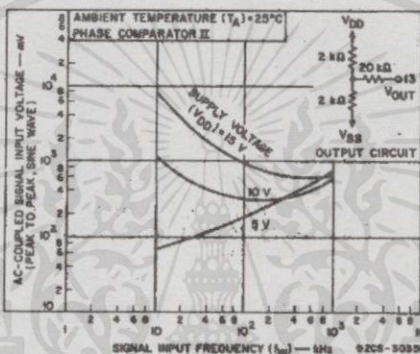


Fig. 14 - AC-coupled signal input voltage as a function of signal input frequency.

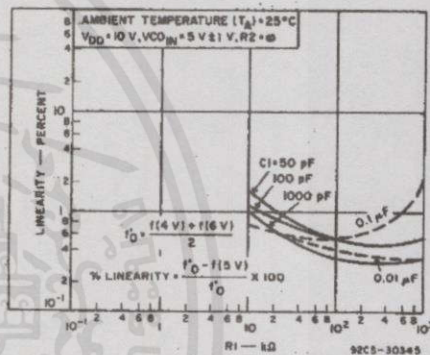


Fig. 15 - Typical VCO linearity as a function of R_1 and C_1 at $V_{DD} = 10$ V.

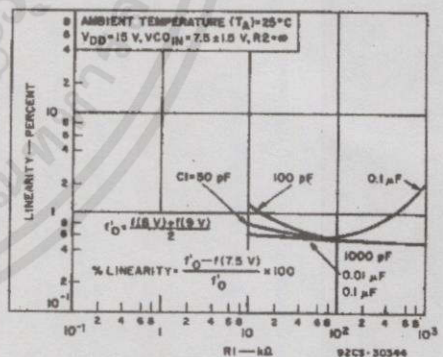
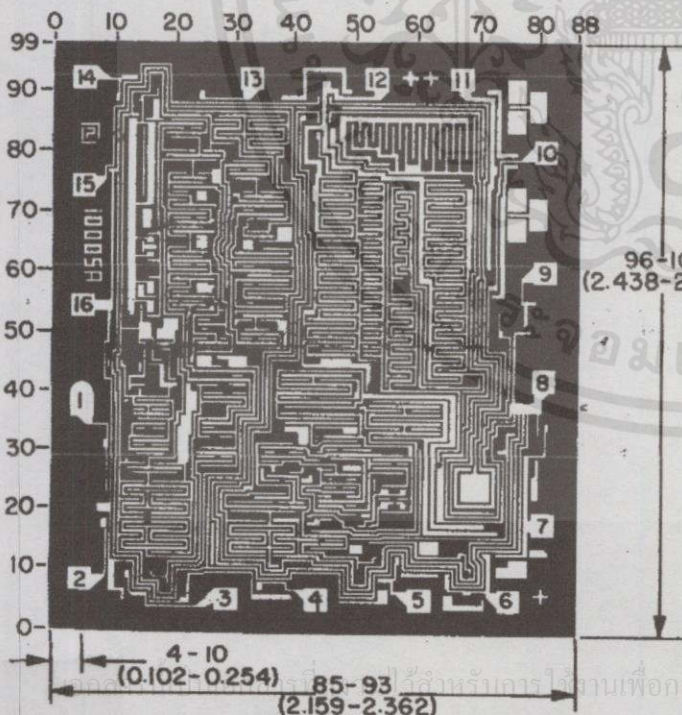


Fig. 16 - Typical VCO linearity as a function of R_1 and C_1 at $V_{DD} = 15$ V.



Dimensions and pad layout for CD4046BH.

Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3} inch).

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
5962-9466401MEA	ACTIVE	CDIP	J	16	1	None	Call TI	Level-NC-NC-NC
CD4046BE	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
CD4046BF	ACTIVE	CDIP	J	16	1	None	Call TI	Level-NC-NC-NC
CD4046BF3A	ACTIVE	CDIP	J	16	1	None	Call TI	Level-NC-NC-NC
CD4046BNSR	ACTIVE	SO	NS	16	2000	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR/ Level-1-235C-UNLIM
CD4046BPW	ACTIVE	TSSOP	PW	16	90	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-1-250C-UNLIM
CD4046BPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	16	2000	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-1-250C-UNLIM

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - May not be currently available - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

None: Not yet available Lead (Pb-Free).

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean "Pb-Free" and in addition, uses package materials that do not contain halogens, including bromine (Br) or antimony (Sb) above 0.1% of total product weight.

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

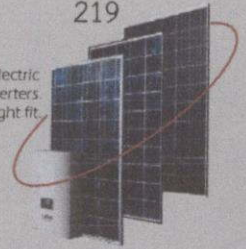
Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TD Series

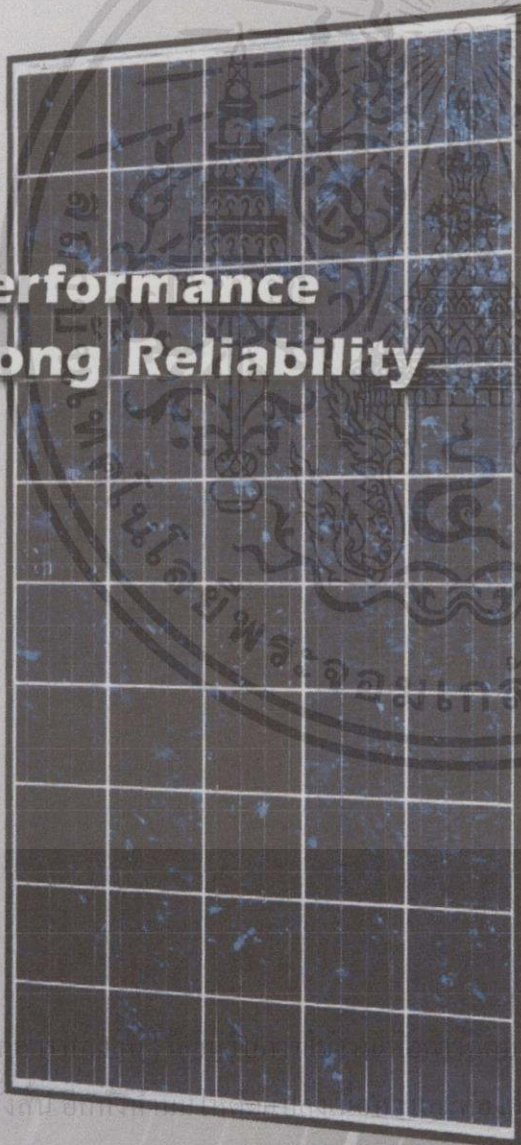
PV-TD195HA6 195Wp

PV-TD190HA6 190Wp

PV-TD185HA6 185Wp

PV-TD180HA6 180Wp

**Best Performance
with Long Reliability**



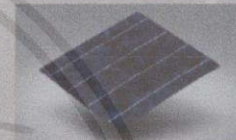
Performance

Higher Cell Efficiency

- 4 busbar cell
- Solder coatingless
- Fine grid electrodes
- Optimized tab thickness

Higher Module Output

- Highly reflective backfilm with wide cell pitch
- Cerium-free high-transparency glass
- Tight tolerance +/-3%
- High power in actual use
(Paired module average exceeds nominal value)



Reliability

- Static load test of 5400Pa passed with protection bar
- Double corrosion resistant frame coating
- Max. system voltage 1000V with four-layer back film
- Water drainage structure
- Low frame edge slope
- Flexible straight tabs



Safety

- Quad-layer protective design junction box
- Highly heat-resistant bypass diode
- Lock mechanism equipped connectors
- Conforms with IEC 61215 2nd Edition, IEC 61730
- Lighter weight modules at 17.0kg



Ecological

- Lead-free solder modules
- Manufactured in a ISO14001 certified plant
- Shipped on recyclable steel pallets

ผลิตภัณฑ์นี้เป็นของลิขสิทธิ์ของ Mitsubishi Electric และได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง



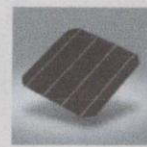
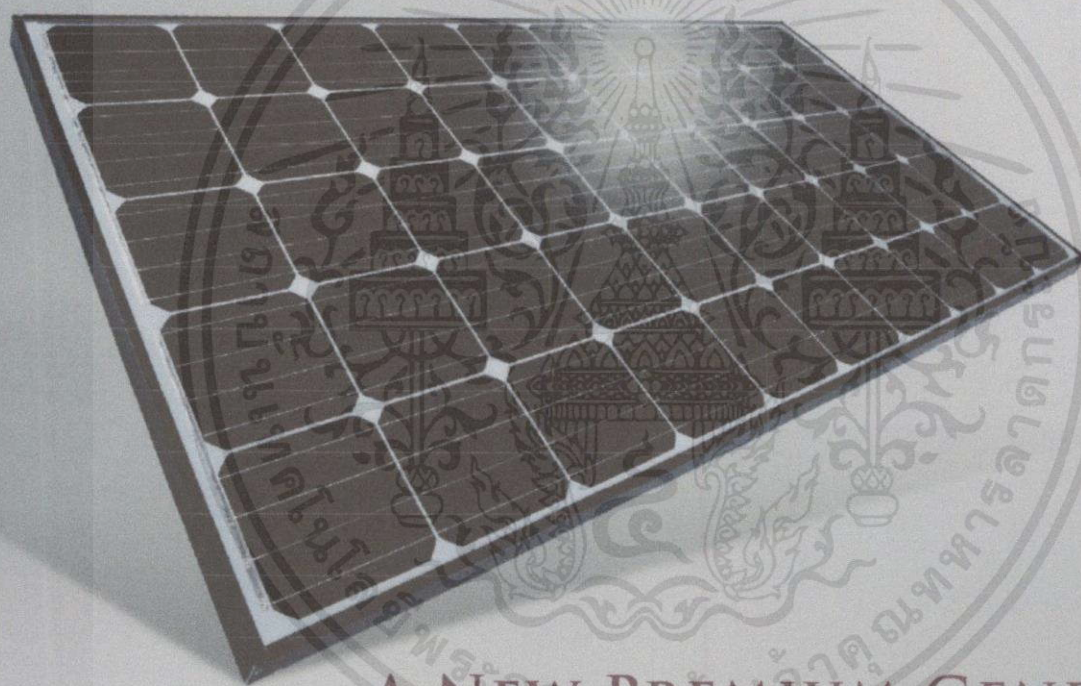
PHOTOVOLTAIC MODULES

MDT Series

PV-MDT205HB 205Wp

PV-MDT200HB 200Wp

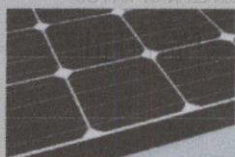
PV-MDT195HB 195Wp



A NEW PREMIUM GENERATION

ADVANCED TECHNOLOGY

- 4 busbar monocrystalline cells
- Proprietary cell surface texturing process for greater light absorption
- Optimum tab thickness
- Highly reflective back film with wide cell pitch
- Lead-free solder connections



LONG RELIABILITY

- Outstanding durability and protection against the elements allows the module to be installable even in high-saline areas*
- Passed IEC static load test of 5400Pa
- Frame has a protective double layer of corrosion-resistant coating
- 4-layer protective design junction box
- Highly heat-resistant diode



*Excluding areas in which the module is directly exposed to salt water

MITSUBISHI ELECTRIC QUALITY

- All of our photovoltaic modules, from the cell to the module, are made in our own factories in Japan
- Highly automated production lines ensure a stable level of high quality for every module
- Cells are matched for uniformity before module assembly
- Each pair of modules is selected to have a higher average output power than the nominal value.

for a greener tomorrow

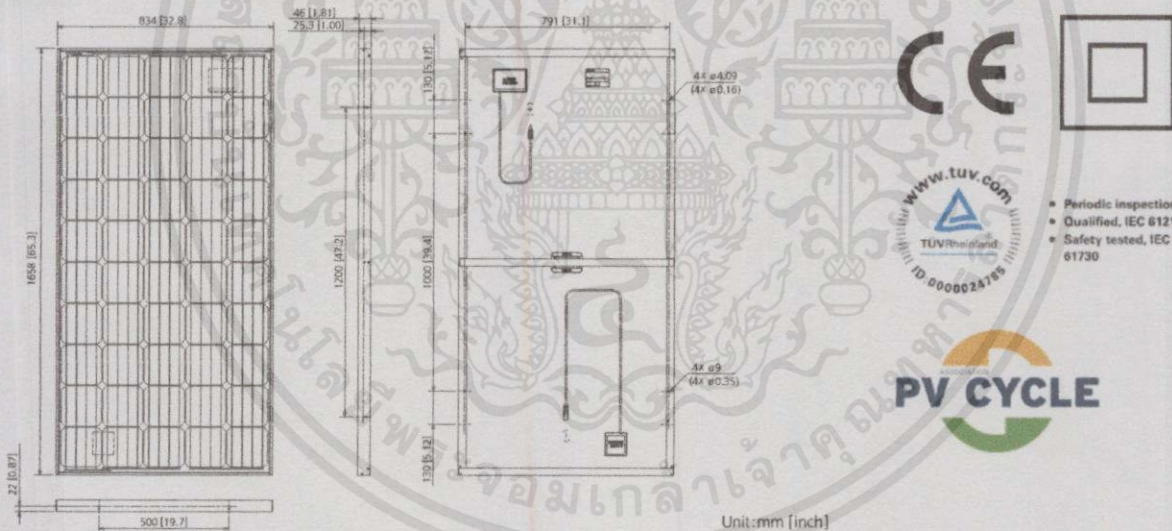


SPECIFICATIONS SHEET

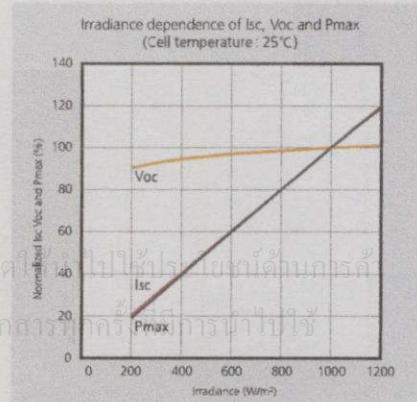
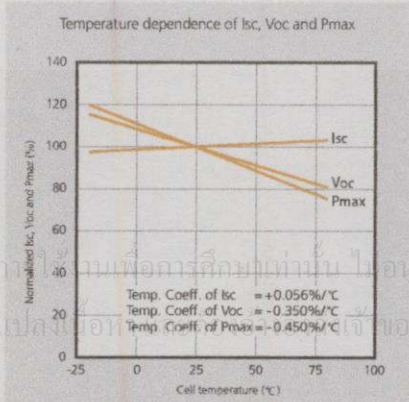
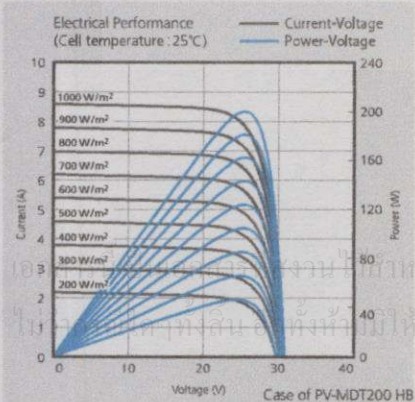
Manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC		
Model name	PV-MDT205HB	PV-MDT200HB	PV-MDT195HB
Cell type	Monocrystalline silicon, 156mm x 156mm		
Number of cells	50 cells in a series		
Performance at STC			
Maximum power rating (Pmax)	205W	200W	195W
Warranted minimum Pmax	198.9W	194.0W	189.2W
Tolerance of maximum power rating		+/-3%	
Open circuit voltage (Voc)	31.0V	30.8V	30.6V
Short circuit current (Isc)	8.73A	8.60A	8.48A
Maximum power voltage (Vmp)	25.0V	24.8V	24.6V
Maximum power current (Imp)	8.20A	8.07A	7.94A
Normal operating cell temperature (NOCT)	47°C		
Performance at NOCT*			
Maximum power rating [Pmax]	148W	144W	141W
Open circuit voltage [Voc]	28.2V	28.0V	27.8V
Short circuit current [Isc]	7.07A	6.96A	6.87A
Maximum power voltage [Vmp]	22.5V	22.3V	22.1V
Maximum power current [Imp]	6.56A	6.46A	6.35A
Maximum system voltage	1000V		
Fuse rating	15A		
Dimensions	1658x834x46mm (65.3x32.8x1.81 inches)		
Weight	17kg		
Output terminal	(+)-800mm/(-) 1250mm with MC connector (PV-KTB4/6II-UR, PV-KST4/6II-UR) Cable conforms with TÜV Specification 2 Pfg 1169/08.2007		
Module efficiency	14.8%	14.5%	14.1%
Packing condition	2 pcs / 1 carton		
Certificates	IEC 61215 Second Edition, IEC 61730		
Product Warranty	5 years		
Output Warranty	90% of minimum rated Pmax for 10 years 80% of minimum rated Pmax for 25 years		

*Measured at 800W/m², ambient temp. 20°C, wind speed 1m/s

DRAWINGS AND DIMENSIONS



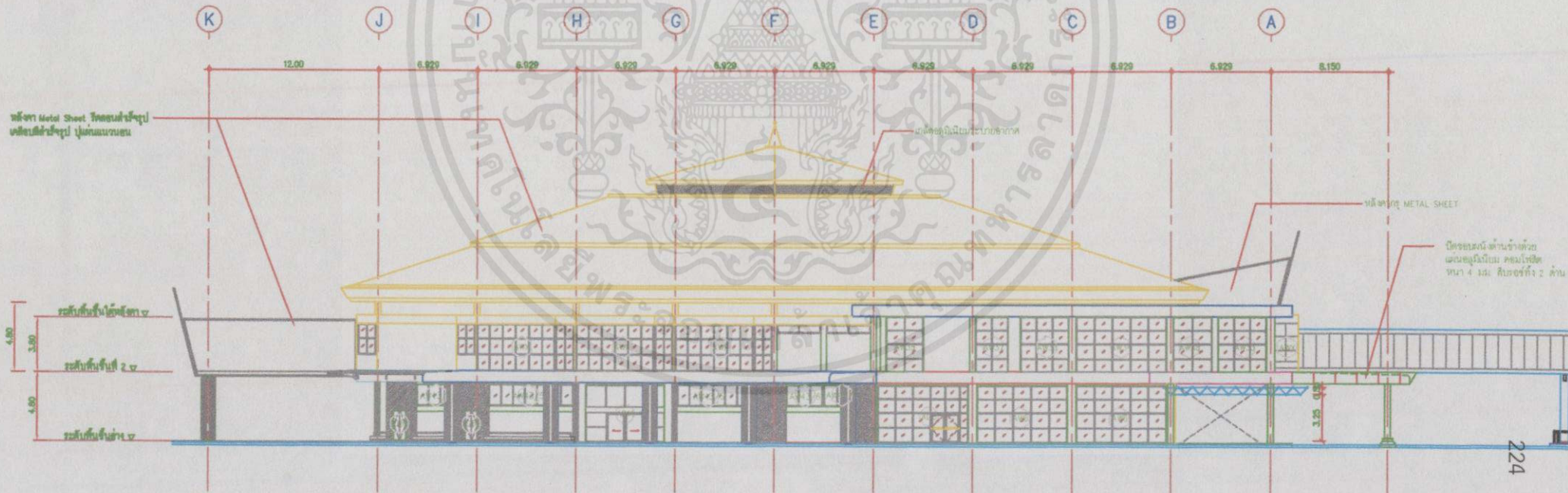
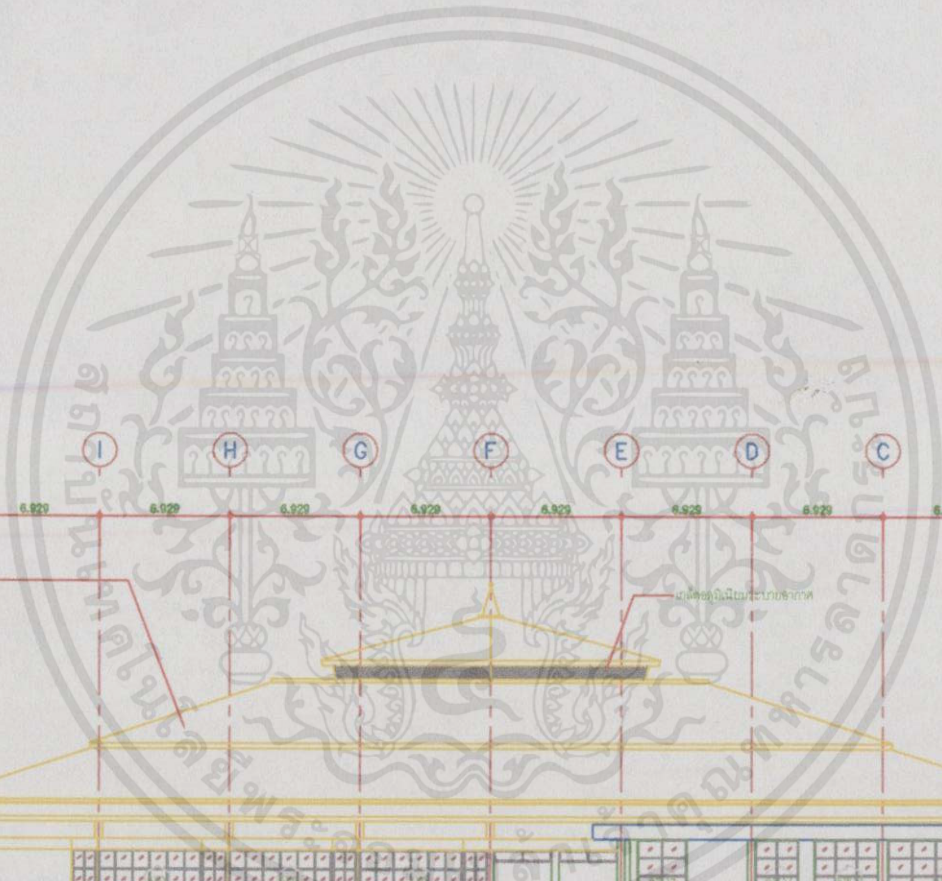
ELECTRICAL CHARACTERISTICS



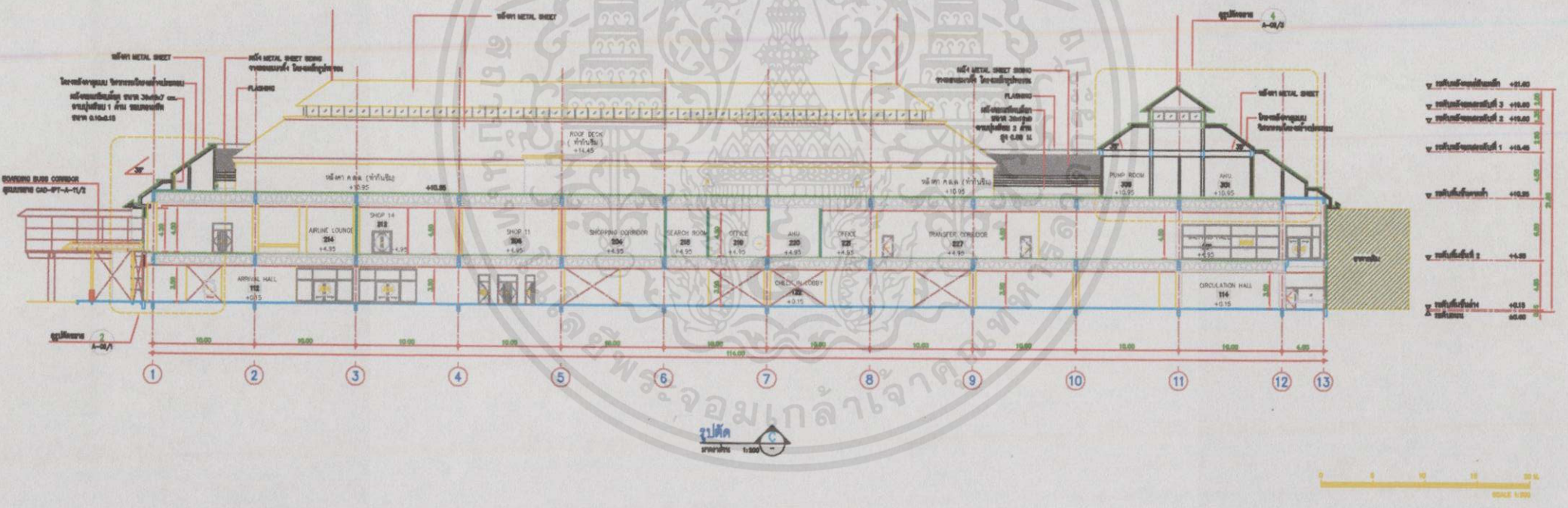
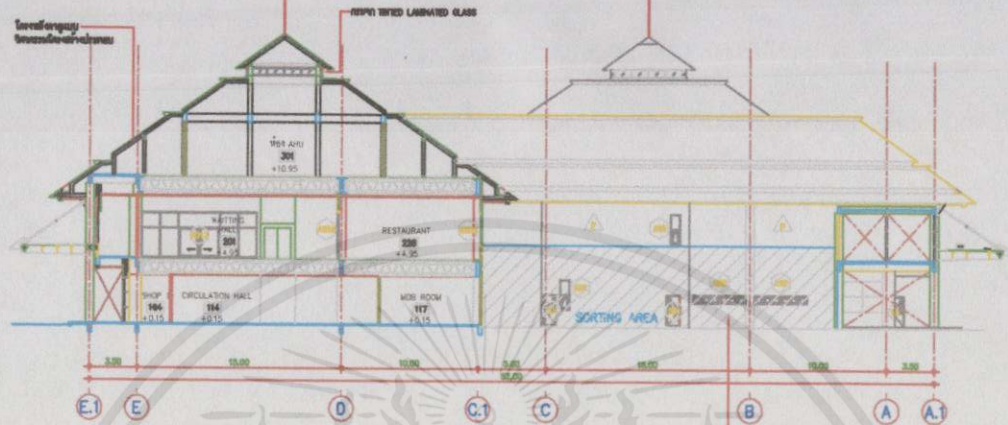
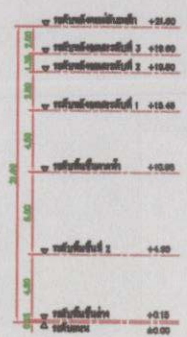
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
 HEAD OFFICE: TOKYO BLDG., 2-7-3, MARUNOUCHI, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8310, JAPAN
<http://www.mitsubishielectric.com/bu/solar/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปด้าน 4
มาตราส่วน 1:200



โทร 4 โทร 4 โทร 4

บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)
 333 หมู่ 7 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10210 ประเทศไทย
 โทรศัพท์ : 66(0) 2535-1111 โทรสาร : 66(0) 2535-4061, 66(0) 2501-3846
 WEBSITE : http://www.airportthai.co.th, E-mail : info@airportthai.co.th

คู่สมบริษัทที่ปรึกษาออกแบบและควบคุมงานก่อสร้าง :

บริษัทผู้รับจ้าง :

SINO-THAI ENGINEERING & CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED
 ชั้น 27 ซิวิน-ทิวาอาคาร 32/59-60 ถนนสุขุมวิท 21 กรุงเทพฯ 10110
 27/F., Sino-Thai Tower, 32/59-60 Sukhumvit 21 Rd., Bangkok 10110 THAILAND
 Tel : 0-2260-1321 Fax : 0-2260-1339

ผู้จัดทำ	
ผู้ตรวจสอบ	
ผู้อนุมัติ	

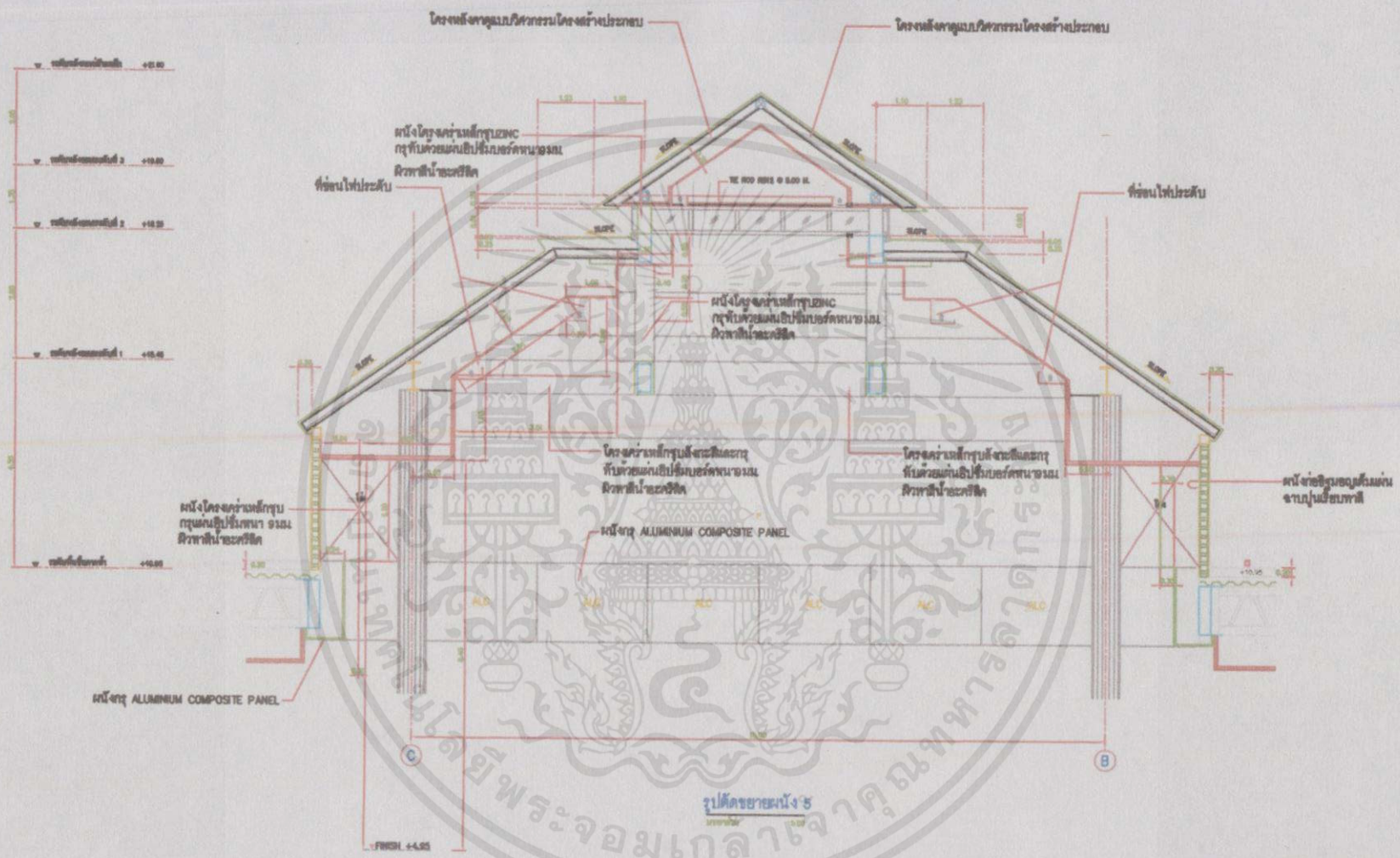
โครงการก่อสร้างอาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศใหม่
ท่าอากาศยานเชียงใหม่

AS - BUILT DRAWING

รูปตัด C-C, D-D

CAD: IPT-A-057

17





บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)

 333 หมู่ 9 ถนนพหลโยธิน แขวงสามยุค กทม 10210 ประเทศไทย

 โทรศัพท์ : 66(0) 2335-1111 โทรสาร : 66(0) 2335-401, 66(0) 2364-3884

 WEBSITE : <http://www.aotportal.co.th>, E-mail : aot@aotportal.co.th

กลุ่มบริษัทที่ปรึกษาออกแบบสถาปัตย์และวิศวกรรม :











บริษัทผู้รับจ้าง :


SINO-THAI ENGINEERING & CONSTRUCTION PUBLIC COMPANY LIMITED

 ชั้น 21 ซอย ไทยพาณิชย์ 33/56-60 ถนนพหลโยธิน เขต 10 กรุงเทพฯ 10110

 21/F., Sino Thai Tower, 33/56-60 Sukhumvit 21 Rd., Bangkok, 10110 THAILAND

 Tel : 0-2360-1321 Fax : 0-2360-1319

		
---	---	---

โครงการก่อสร้างอาคารผู้โดยสารระหว่างประเทศใหม่ ท่าอากาศยานเชียงใหม่	227
AS - BUILT DRAWING	
ราชบัณฑิตยสถาน	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน

FEASIBILITY STUDY OF THE ROOFTOP SOLAR CELL SYSTEM IN THE AIRPORT

สมพร ศรีดิษฐ์ อัครดิษฐ์ อู่อรุณ อธิวิ นูณิอัญชุลีกุล สิรินารถ สุขศรีม่วง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 Email : sirinarths@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น หากมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาภายในสนามบิน ซึ่งแบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน ทั้งในด้านวิสัยทัศน์ในการมองเห็นโดยใช้โปรแกรม SGHAT โดยอ้างอิงข้อมูลโครงสร้างสนามบินเชียงใหม่เพื่อใช้ศึกษาในหัวข้อนี้ ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เนื่องด้วยระบบการบินมีความเสี่ยงที่จะถูกรบกวนจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ และด้านทำการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ 3 ชุด เพื่อเก็บข้อมูลและจัดทำเว็บไซค์แสดงข้อมูลแรงดันและความถี่ที่วัดได้แบบเรียลไทม์ในรูปแบบของตารางและแผนที่ ซึ่งความรู้และข้อแนะนำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบินได้

คำสำคัญ : ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน, อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่, แสงจ้า

Abstract

The objectives of this paper are to study and to analyze the impacts that can happen if a solar rooftop system is installed in an airport. The case of this study is divided into three categories. The first category is the glare from the solar panel. The SGHAT program is used to analyze the effect of the glare based on Chiang Mai international airport. The second category is the Electromagnetic Interference (EMI) impacts from a solar inverter and related equipments. Finally, the impacts of the solar rooftop system in term of voltage and frequency is also studied. The proposed measurement devices to measure the voltage and frequency are developed. The acquired data from proposed devices will be send to the database and display on our website by real time to evaluate

the voltage and frequency effects. The knowledge and recommendation of this study can be used as a reference for the design of a solar rooftop system in an airport.

Keywords : Rooftop solar cell system in the airport, VFRD, Glare

บทนำ

เนื่องด้วยสนามบินมีค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าสูง และมีศักยภาพเพียงพอที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ บทความนี้จึงนำเสนอแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อระบบการทำงานในส่วนต่างๆของสนามบิน จึงทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นทั้งทางด้านแรงดันเกินซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในสายป้อนเดียวกันและผู้โดยสาร โดยรอบสนามบิน ด้านทัศนวิสัยในการมองเห็นที่เกิดจากการสะท้อนของแผงโซลาร์เซลล์ และด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องด้วยภายในสนามบินมีระบบต่างๆที่ทำงานโดยใช้ความถี่สูง ซึ่งอาจถูกรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มเติมข้อกำหนดของการไฟฟ้าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาบางส่วนให้ครอบคลุมและป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ ลักษณะของกระแส แรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเสียหาย ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ามีการต่อเชื่อมโยงถึงกันหากส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบมีปัญหาหรือจ่ายสารรบกวนเข้าสู่ระบบจะทำให้อุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าข้างเคียงได้รับผลกระทบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนการเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แสงจ้าจากการสะท้อน

เกิดจากแสงตกกระทบบนพื้นผิวต่างๆ แล้วสะท้อนมาเข้าตา แสงจ้าชนิดนี้จะก่อให้เกิดความรำคาญมากกว่าแสงจ้าโดยตรง การลดแสงจ้าจากการสะท้อน ทำได้โดย การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง การลดความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง การเลือกใช้วัสดุที่มีการสะท้อนแสงต่ำ การทำฉากป้องกันแสงสะท้อน การทำฉากหลังข้างเคียงให้สว่างกว่า โดยออกแบบพื้นหรือวัสดุสะท้อนให้อยู่ด้านหลัง

2.3 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility) หรือ EMC คือ ความสามารถของอุปกรณ์หรือระบบที่สามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจในสภาพแวดล้อมที่มีแม่เหล็กไฟฟ้า นอกเสียจากการเข้ามารบกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อมที่มากเกินกว่าจะทนได้ แบ่งเป็น Conducted Emission คือสัญญาณคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องการผ่านเข้าไปตามสาย Radiated Emission คือสัญญาณที่แพร่กระจายผ่านทางอากาศ ซึ่งการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนจะต้องอยู่ในขีดจำกัด ตามที่มาตรฐานกำหนด และจะต้องมีความสามารถในการทนสัญญาณภายนอกรบกวน ซึ่งจะต้องเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด เช่นเดียวกัน [1]

3. วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลอง

3.1 ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

หนึ่งในปัญหาหลักของผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์คือ โซลาร์อินเวอร์เตอร์ เพราะโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้นต้องทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ามากมายหลายอย่างที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเช่นกัน ด้วยเหตุนี้การทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์จึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าและทำให้เกิดปัญหาตามมาได้ ควรทำการป้องกันหรือลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากโซลาร์อินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ไหลลื่นและทุกสิ่งที่อยู่ร่วมกันอยู่ในระบบไฟฟ้า รวมถึงโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ทำงานร่วมกันได้อย่างไม่ส่งผลกระทบซึ่งกันและกัน เพราะฉะนั้นสิ่งหนึ่งที่สำคัญในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบินอีกประการคือ ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของระบบการบินหรือไม่ จากการศึกษาพบว่าสาเหตุหลายประการที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบการบิน อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบสื่อสารที่ทำงานในย่านเรดาร์ อินฟราเรดและย่านความถี่อื่นๆ หรือที่เรียกกันว่า การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า [2]

3.2 ด้านการรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็น

ทัศนวิสัยการมองเห็นเป็นสิ่งจำเป็นในการปฏิบัติงานหรือทำกิจกรรมต่างๆ ซึ่งสิ่งที่ทำให้ทัศนวิสัยการมองเห็นแย่ลง คือ ผลกระทบจากแสงสะท้อนและแสงจ้า (Glare) ซึ่งเป็นปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อมีแสงตกกระทบบนผิววัสดุ ซึ่งจะสะท้อนมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่แสงตกกระทบบน ซึ่งในที่นี้แสงสะท้อนและแสงจ้าที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการที่แสงตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะตกกระทบบนและทำให้เกิดแสงจ้าบริเวณที่เป็นกระจก (Glass) ซึ่งเป็นบริเวณชั้นนอกสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และถ้าหากนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งบนหลังคาอาคารต่างๆภายในสนามบินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อนักบินและผู้ปฏิบัติงานบนหอควบคุมการบิน อาทิเช่น นักบินไม่สามารถคาดเดาระยะที่นำเครื่องบินลงสู่สนามบินได้ หรืออาจจะนำเครื่องบินลงผิดตำแหน่ง ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งในปัญญานี้พินทน์ได้ศึกษาผลกระทบทางด้านแสง จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) ซึ่งโปรแกรมนี้จะใช้วิเคราะห์แสงจ้า(ในกรณีที่มีจ้า) และจะบ่งบอกระดับความเข้มของแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตา



รูปที่ 1 โชนพื้นที่การศึกษผลกระทบเกี่ยวกับแสงจ้า

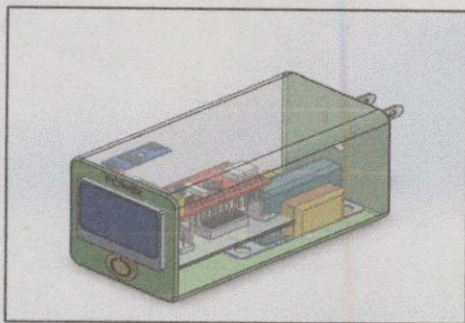
3.2.1 Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT)

ใช้วิเคราะห์ระดับความเข้มของแสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตาของมนุษย์ บ่งบอกพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และช่วงเวลาที่มีโอกาสเกิดแสงสะท้อนและแสงจ้า

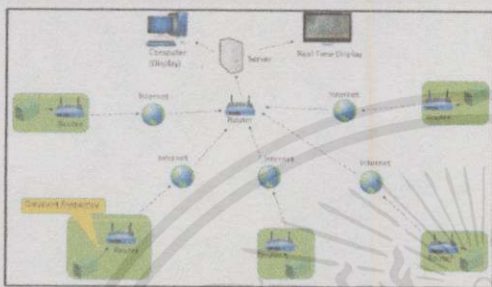
3.3 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

นำอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่ไปติดตั้งบริเวณที่ติดตั้งแผงเซลล์อาทิตย์ เพื่อวัดค่าตามจุดต่างๆ (ตามสายป้อนเดียวกับที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้) จากนั้นส่งข้อมูลไปบันทึกและแสดงผลข้อมูลต่อไป [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

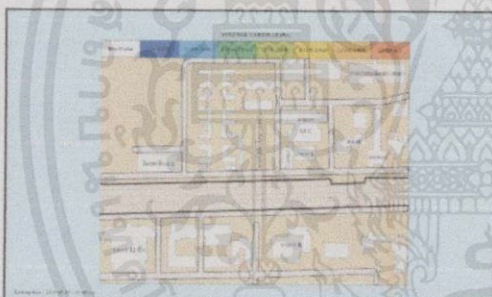


รูปที่ 2 รูปทรงและการใช้งานของอุปกรณ์

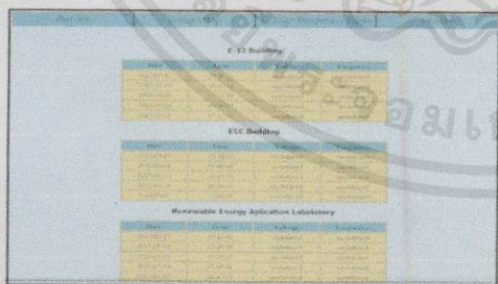


รูปที่ 3 โค้ดแกรมการสื่อสารของระบบ VFRD

3.3.2 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่



รูปที่ 4 รูปจริงเว็บเพจแสดงผลค่าแรงดันในรูปแบบของแผนที่



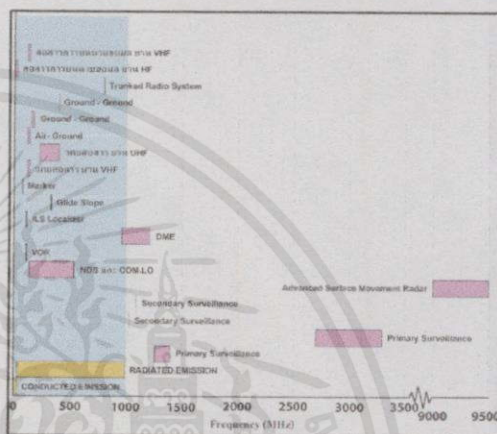
รูปที่ 5 รูปจริงหน้าเว็บเพจแสดงผลในรูปแบบของตาราง

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITC ได้กำหนดย่านความถี่สากลใช้เพื่อกิจการควบคุมจราจรทางอากาศเหมือนกันทุกประเทศทั่วโลกภายใต้การเสนอแนะขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ที่ย่านความถี่ 118 - 137 MHz และความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบินอยู่ระหว่าง 2.85 - 9500 MHz ซึ่งมีโอกาสถูกรบกวนทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าจากการทำงานของโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบจากผลจากทดสอบโซลาร์อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ยี่ห้อหนึ่งกับย่านความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบิน



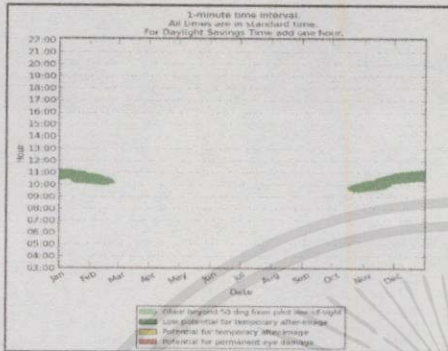
รูปที่ 6 ย่านความถี่ที่ใช้งานภายในสนามบินและย่านความถี่ที่เกิดการรบกวน

ในด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า โซลาร์อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ชนิดที่ใช้ทดสอบนี้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดทั้งในส่วนของกระแสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาภายในบริเวณสนามบิน ควรทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้ง เพื่อตรวจสอบว่า ขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากโซลาร์อินเวอร์เตอร์นั้นมีมากน้อยเพียงใด และสามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบภายในสนามบินที่ทำงานภายในย่านความถี่นั้นๆ หรือไม่

4.2 ด้านทัศนวิสัยในการมองเห็น

ในด้านการรบกวนทางด้านทัศนวิสัยการมองเห็น ทั้งนี้ปัจจัยที่ก่อให้เกิดแสงจ้าก็คือมุมของการสังเกตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ดวงตาได้รับแสงจ้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของการสังเกตได้ จึงต้องแก้ไขปัญหานี้โดยการปรับเปลี่ยนมุมที่กระทำกับแนวพื้นโลกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งที่ได้ทำการทดลอง ควรปรับมุมประมาณ 15 องศาจึงจะทำให้พื้นอิทธิพลการจ้าของแสงจ้า โดยใช้ข้อมูลทางโครงสร้างของสนามบินเชิงใหม่

และค่าพารามิเตอร์ของแผงโซลาร์เซลล์ของยี่ห้อ MITSUBISHI ขนาด 195 W ในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งตัวอย่างผลการทดลองแสดงในรูปที่ 7 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เกิดแสงจ้า เดือนที่เกิด และระดับความอันตรายจากแสง เมื่อพิจารณาจากหอคอยควบคุมการบิน



รูปที่ 7 ผลการทดลองจากโปรแกรม SGHAT

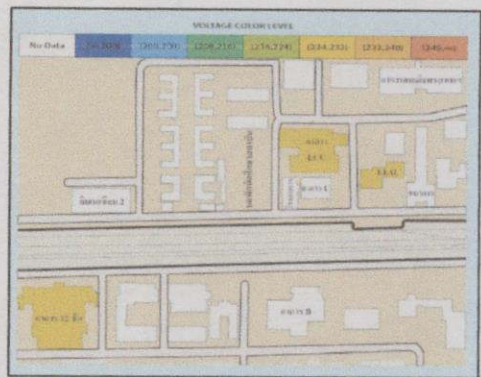
4.3 อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่

ค่าระดับแรงดันและความถี่ที่วัดได้จะมีความใกล้เคียงกับค่าแรงดันและความถี่จริง ที่ตำแหน่งนั้นๆ จากนั้นจะนำอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ ทั้ง 3 ตัวนี้ไปวัดที่สถานีที่ 3 ที่คือ ดึก Real Lab ดึก ECC ดึก E12 ซึ่งเป็นดึกที่อยู่ในสถานบันเทิง โน โลอิพ ระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ในส่วนของการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันและความถี่ที่ได้ทำการทดลอง สามารถทำให้เห็นระดับแรงดันและความถี่ในแต่ละสถานีที่ติดตั้งรูปที่ 9 ได้บนหน้าจอแสดงผลซึ่งอยู่ในระดับแรงดันปกติคือ 224 - 232 V ในทางเดียวกันจึงสามารถนำมาประกอบวิเคราะห์และการสรุปในการตรวจสอบคุณภาพไฟฟ้าบริเวณรอบๆ ที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้



รูปที่ 8 รูปจริงอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ ทั้ง 3 ชุด



รูปที่ 9 ระดับแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ

บทที่ 5 สรุป

หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในสนามบิน ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า แต่ส่วนที่เพิ่มเติมคือ หากวิเคราะห์แล้วว่าจะเกิดผลกระทบจากแสงจ้า ควรเลือกมุมในการติดตั้งให้ไม่ให้เกิดแสงจ้าหรือเกิดแสงจ้าน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสนามบินนั้นๆ และควรเลือกโซลาร์อินเวอร์เตอร์ที่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะเกิดการรบกวนหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอาคารกับจุดที่ใช้งานอ่านความถี่นั้นๆ ส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ มีความสะดวกสบายในการเข้าถึงข้อมูลสูงเพราะมีการส่งข้อมูลแบบ Real time จึงทราบถึงความผิดปกติของแรงดันและความถี่ที่เกิดขึ้น ในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ได้รวดเร็ว ซึ่งทำให้สามารถแก้ปัญหาในระบบไฟฟ้าได้อย่างทันทั่วถึง จึงเป็นแนวทางที่ดีหากทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและความถี่ทางไฟฟ้าที่จุดต่างๆบริเวณ โคธรอบสนามบิน

อ้างอิง

- [1] <http://www.interferencetechnology.com/solar-inverters-and-the-issue-of-emc-compliance/>
- [2] <http://www.civicsolar.com/resource/Inverter-Noise-Emissions>
- [3] <http://www.sandia.gov>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายสมพร ศรีดิษฐ์
 วัน เดือน ปีเกิด 21 พฤศจิกายน 2535
 ที่อยู่ 4 หมู่ที่ 2 ตำบลระเซ็ร้อง อำเภอยะโฮย จังหวัด
 อ่างทอง 14140

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอ่างทอง
 ปัทมโรจนวิทยาคม
 ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เขื่อนวชิราลงกรณ์ กาญจนบุรี
 แผนกบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า
 ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 30 พฤษภาคม 2557



ชื่อ-นามสกุล นายสันติชัย อู่อรุณ
 วัน เดือน ปีเกิด 24 มกราคม 2535
 ที่อยู่ 145 หมู่ที่ 5 ตำบลย่านยาว อำเภอสามชูก จังหวัด
 สุพรรณบุรี 72130

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียม
 วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 พระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
 ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่าจะกรอใจว่าทั้งสิ้น ถือว่าทั้งห้ามมิให้ลือแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท มายมัต จำกัด

ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 30 พฤษภาคม 2557



ชื่อ-นามสกุล นายสิริ มุนีอัษฎสิทธิ์กุล
เดือน ปีเกิด 11 มีนาคม 2536
ที่อยู่ 10/2 ถนนอุตราวิถี ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง
จังหวัดนครปฐม 73000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสุคนธ์วิริย

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เชื้อนรัชชประภา สุราษฎร์ธานี
แผนกบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า

ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 30 พฤษภาคม 2557



ชื่อ-นามสกุล นางสาวสิรินารท สุขศรีม่วง
วัน เดือน ปีเกิด 9 เมษายน 2536
ที่อยู่ 47/8 ถนนเลียบคลองสอง แขวงบางชัน เขตคลอง
สามวา กรุงเทพมหานคร 10510

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2553

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนศรีอยุธยา
ในพระอุปถัมภ์ฯ

ปีการศึกษา 2557

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เชื้อนรัชชประภา สุราษฎร์ธานี
แผนกบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 30 พฤษภาคม 2557