

การออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริด
โดยการฟื้นฟูระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ มทส.

นาย สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-043-4

**DESIGN AND INSTALLATION A GRID CONNNECTED
SYSTEM BY REHABILITATION A PV
AT SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

Mr. Sutikran Veerasathain

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2001
ISBN 974-533-043-4**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริดโดยการฟื้นฟูระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ มทส.

(DESIGN AND INSTALLATION A GRID CONNECTED SYSTEM BY
REHABILITATION A PV AT SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY)

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิชัย สุจิตกร)

ประธานกรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ไพฑูรย์ ไชยนิล)

อาจารย์ที่ปรึกษา/กรรมการ

.....

(อาจารย์ ชาย ชีวะเกตุ)

กรรมการ

.....

(อาจารย์ ดร.อนันต์ อุ่นศิริไธย์)

กรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกษม ปราบวิบูลย์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วราภรณ์ จำปาศ)

คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร : การออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริดโดยการฟื้นฟูระบบ
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ มทส.

(DESIGN AND INSTALLATION A GRID CONNNECTED SYSTEM BY
REHABILITATION A PV AT SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY)

อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ไพฑูรย์ ไชยนิล, 123 หน้า.

ISBN 974-533-043-4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าปลายระบบโดยไม่เพิ่มเงินลงทุนของ
กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วิธีการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ของ
ระบบที่มีขนาดเล็ก โครงการวิจัยนี้ได้ทำ การออกแบบติดตั้ง ทดสอบและวิเคราะห์กลุ่มแผงเซลล์
แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการฟื้นฟูระบบ
เซลล์แสงอาทิตย์ แบบอิสระ ซึ่งเลิกใช้งานแล้วที่ละติจูด 14.85 องศาเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

การปรับมุมเอียงของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เพื่อให้ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อ
เปรียบเทียบกับกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คงที่ ที่ทำมุม 15 องศาับแนวระนาบ ตลอดปี ซึ่งปฏิบัติ
กันโดยทั่วไป การหาค่าพลังงานเฉลี่ยต้นระบบและปลายระบบโดยวิธีทางสถิติ และโพลีโนเมียล
สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้าปลายระบบของระบบต่อเชื่อมสู่กริด ที่ปรับมุมเอียงของกลุ่มแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ชนิดติดตั้งบนพื้นดิน ในปี พ.ศ. 2544 มีค่าเท่ากับ 4371 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ประสิทธิภาพระบบกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 9.3 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพโดยรวมของ
ระบบต่อเชื่อมสู่กริด เท่ากับ 8.2 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

SUTIKRAN VEERASATHAIN : DESIGN AND INSTALLATION A GRID
CONNECTED SYSTEM BY REHABILITATION A PV AT SURANAREE
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THESIS ADVISOR :ASSOC. PROF. PIBUN
CHAIYANIN,D.I.C. 123 PP. ISBN 974-533-043-4

PV GROUND MOUNTING SEASONALLY ADJUSTED TILT ANGLES MECHANISM
MANUAL/EFFICIENCY/STATISTICAL,POLYNOMIAL TECHNIQUE/ REHABILITATION

The thesis discusses of PV ground mounting seasonally adjusted tilt angles mechanism manual grid connected system. This is a relatively simple way to increase power output with cheap investment. Flexibility in tilt angles for seasonal changes is marginally economical for small system. The purposes of this work are to design, install, test and analyze a PV ground mounting grid connected system by restoring a stand – alone PV system at Suranaree University of Technology (14.85 degree northern hemisphere latitude) North – Eastern Thailand.

This project is to consider the seasonally adjusted tilt angles of PV array in order to obtain more energy in comparison with a typical installation in which the PV array is fixed at the tilt angle of +15 degree. The thesis reviews the statistical and polynomial technique, an average of input and output system energy. The system efficiencies were evaluated. Over the whole year period of 2001, the annual electricity output energy was about 4371 KW-hr. This system has 9.3 % PV array efficiency and 8.2 % system efficiency for seasonally adjusted tilt angles mechanism of PV array ground mounting.

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย กล่าวคือ

- รศ.ไพบุลย์ ไชยนิล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก ได้สอนให้ข้าพเจ้ารู้จักรับผิดชอบในการทำงานวิจัย ด้วยความพากเพียรเสมอมา และติดต่อประสานงานผู้เกี่ยวข้องต่างๆ ในการยืมอุปกรณ์และจัดหาเครื่องมือต่างๆ สำหรับทำการวิจัยครั้งนี้

- รศ.ดร.สราวุฒิ สุจิตจร ดร.อนันท์ อุ่นศิริไธย์ และ อาจารย์ชาย ชีวะเกตุ และ คณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้ชี้แนะแนวทาง การดำเนินการงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

- อาจารย์ ขวลิศ ดำรงค์รัตน์ อาจารย์ พันธุ์พงษ์ อภิชาติกุล อาจารย์ อคาศดา มั่นดี และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้เป็นพื้นฐานให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาในระดับมหาบัณฑิตครั้งนี้

- นายทวีสิน บุญสม ผู้อำนวยการไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.นครราชสีมา ได้ส่งเสริมและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าพัฒนาตนเองโดยศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อพัฒนาตนเองและองค์กร

- นายสำเริง เกรียงปรารธนา ประธานบริษัท Leonics แห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย (อินเวอร์เตอร์แบบกริด) ในครั้งนี้

- นายสุวิทย์ โอปารธนาเศรษฐ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านโปรแกรมต่างๆ

- เพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ย่อมเป็นผลจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาในอดีต จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	3
2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเกี่ยวกับแสงอาทิตย์.....	4
2.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ชนิดต่อเชื่อมตู้กริด.....	15
2.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเกี่ยวกับระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	16
2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล.....	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	การออกแบบติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	22
3.1	กล่าวนำ.....	22
3.2	การออกแบบจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมตู้กริด.....	22
3.3	การออกแบบขนาดสายไฟฟ้าที่ใช้กับระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	28
3.4	การออกแบบฟิวส์ป้องกันอินเวอร์เตอร์.....	29
3.5	การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันอินเวอร์เตอร์.....	29
3.6	การป้องกันระบบต่อเชื่อมตู้กริดด้วยกับดักแรงดันเกิน.....	30
3.7	การออกแบบการต่อลงดินระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	30
3.8	การออกแบบติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	30
3.9	การออกแบบเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมตู้กริด...	31
3.10	การออกแบบการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาลระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส....	31
4	การดำเนินการ.....	33
4.1	ติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริดตามการออกแบบ.....	33
4.2	การวัดกระแสลัดวงจร (Isc) ของเซลล์แสงอาทิตย์และปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล.....	33
4.3	การวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตของระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	34
4.4	การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	36
4.5	การวัดประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304.....	37
4.6	การวัดประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	37
4.7	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	37
4.8	เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ.....	37
4.9	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	37
4.10	สถานที่เก็บรวบรวมข้อมูล.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 ผลการดำเนินการ.....	38
5.1 ผลการวัดกระแสลัดวงจร (Isc) ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	38
5.2 ผลการวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุต.....	39
5.3 ผลการวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่ได้จากระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	41
5.4 ผลการวัดประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	44
5.5 ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	45
5.6 การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล.....	46
5.7 การวิเคราะห์กระแสลัดวงจร (Isc) เมื่อปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล.....	47
5.8 การวิเคราะห์ระบบต่อเชื่อมตู้กริดโดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาล.....	48
5.9 การคิดค่าไฟฟ้า.....	50
5.10 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต มทส.กับสถานีไฟฟ้าวังหมี่.....	52
6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	53
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป.....	54
เอกสารอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก ก ตารางค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ใน 1 วัน ณ มทส. ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ.....	57
ภาคผนวก ข ตารางระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครั้งวัน และ 1 วัน ในรอบปี.....	66
ภาคผนวก ค ตารางข้อมูลทางเทคนิคกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์.....	79
ภาคผนวก ง ตารางข้อมูลประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304.....	83
ภาคผนวก จ การออกแบบมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลระบบ ต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส.....	94
ภาคผนวก ฉ คำสั่งโปรแกรม Mathlab ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล.....	102
ภาคผนวก ช โปรแกรมค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 956.9 W T 49°C.....	105

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ซ ตารางการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตและค่าไฟฟ้าเมื่อ ปรับมุมเอียงแผงฯ คงที่ (15^0) ตลอดปี กับ การปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ณ มทส.....	107
ภาคผนวก ฌ ตารางการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อมุมเอียงแผงฯ คงที่ (15^0) ตลอดปี กับ ปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล.....	109
ภาคผนวก ญ ภาพระบบต่อเชื่อมสู่กริดตามการออกแบบ ณ มทส.....	111
ภาคผนวก ฎ บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตรายวันเฉลี่ยทั้งเดือน เมื่อปรับชุดรับแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล.....	40
5.2 พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตเฉลี่ยรายเดือนจ่ายให้ระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....	41
5.3 พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตสะสมรายเดือนจากระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส.....	42
5.4 การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตรายเดือนด้วยวิธี Watthour meter.....	43
5.5 ประสิทธิภาพรายเดือนระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส.....	45
5.6 พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและค่าไฟฟ้าระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงฯ คงที่ (15°) กับการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาล ตามสมมติฐาน.....	51
5.7 พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและค่าไฟฟ้าระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงฯ คงที่ (15°) กับการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาล ตามเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของกระแสตัววงจร.....	52
ก.1 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²) ที่เวลาต่างๆ ในรอบวัน ที่แนวระนาบ ณ มทส.....	58
ก.2 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²) ที่เวลาต่างๆ ในรอบวัน มุม 15° กับแนวระนาบ ณ มทส.....	61
ก.3 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²) ที่เวลาต่างๆ ในรอบวัน มุม 30° กับแนวระนาบ ณ มทส.....	65
ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครั้งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.....	67
ค.1 ข้อมูลทางเทคนิคกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ ณ มทส.....	80
ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304.....	84
ช.1 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตและค่าไฟฟ้าเมื่อปรับมุมเอียงแผงฯ คงที่ (15°) ตลอดปี กับการปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาลภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ณ มทส.....	108
ฉ.1 การเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อมุมเอียงแผงฯ คงที่ (15°) ตลอดปี กับการปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล.....	110

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ทางเดินของดวงอาทิตย์ ณ ทำเลที่ตั้งซีกโลกเหนือ.....4
2.2	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวเอียง.....6
2.3	การเกิด P-N Junction.....7
2.4	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์7
2.5	วงจรสมมูลย์ของ P-N Junction เมื่อเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ($I_s = 0$ เมื่อเป็นไดโอด).....8
2.6	ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (V-I Curve) เซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 ในอุดมคติ.....9
2.7	ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (V-I Curve) เซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 ในความเป็นจริง.....10
2.8	ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (V-I Curve) Model MSX 83 ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m ²11
2.9	ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (V-I Curve) Model MSX 83 ที่อุณหภูมิ 25 ⁰ C, 50 ⁰ C และ 75 ⁰ C12
2.10	ความสัมพันธ์ของแรงดันและกำลังไฟฟ้า (V-P Curve) Model MSX83 ที่ความเข้มแสง 1000,800,600,400 และ 200W/m ²12
2.11	การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอันดับ.....13
2.12	การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน.....14
2.13	การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเชื่อมสู่กริด.....14
2.14	ผังการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Leonics Co.,Ltd).....15
2.15	การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด.....18
2.16	การอินทรีเกดแบบสี่เหลี่ยมคางหมูสี่เหลี่ยมเดียว.....20
2.17	การอินทรีเกดแบบสี่เหลี่ยมคางหมูย่อยๆหลายช่วง.....20

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.1	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งปีตามสมมติฐาน ณ มทส.....24
3.2	ความสัมพันธ์แรงดันและกระแส (V-I Curve) PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสง 800 W/m ² Am 1.5.....26
3.3	ความสัมพันธ์แรงดันและกระแส (V-I Curve) PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสง 956.9 W/m ² Am 1.....26
3.4	ความสัมพันธ์แรงดันและกำลังไฟฟ้า (V-P Curve) PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสง 800 W/m ² Am 1.5.....27
3.5	ความสัมพันธ์แรงดันและกำลังไฟฟ้า (V-P Curve) PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสง 956.9 W/m ² Am 1.....27
3.6	อินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304 ขนาด 3.5 KW.....28
3.7	การออกแบบระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ บ้านไทยไฮเทค มทส.....31
4.1	การผลิตไฟฟ้าจากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมตู้กริด.....33
4.2	การปรับมุมเอียงกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูหนาว.....33
4.3	การปรับมุมเอียงกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูร้อน.....34
4.4	การปรับมุมเอียงกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูฝน.....34
4.5	การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ฤดูหนาว.....35
4.6	การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ฤดูร้อน.....35
4.7	การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ฤดูฝน.....35
4.8	การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมตู้กริด.....36
5.1	การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูหนาวระหว่างมุม 30° กับ 15°.....38
5.2	การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูฝนระหว่างมุม 0° กับ 15°.....39
5.3	กราฟพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตรายเดือน ของระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส.....43
5.4	กราฟการวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต วิธี Watthour meter.....44
5.5	ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-30444

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.6 การเปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์ที่ฉายแสงมายังโลกรายวันเฉลี่ยทั้งปีระหว่าง มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ 15° กับปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล....	46
5.7 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจร (Isc) เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (ฤดูหนาว) เมื่อปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 30° กับ 15°	47
5.8 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจร (Isc) เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (ฤดูฝน) เมื่อปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 0° กับ 15°	48
5.9 พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มุมเอียงแผงฯ 30°	49
5.10 พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มุมเอียงแผงฯ 15°	49
5.11 พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่แนวระนาบ	50
จ.1 ทางเดินดวงอาทิตย์สูงสุดและต่ำสุด ณ ละติจูด 14.85° เหนือ	96
จ.2 ทางเดินดวงอาทิตย์ฤดูหนาว ณ ละติจูด 14.85° เหนือ	97
จ.3 ทางเดินดวงอาทิตย์ฤดูร้อน ณ ละติจูด 14.85° เหนือ	98
จ.4 ทางเดินดวงอาทิตย์ปลายฤดูหนาว ณ ละติจูด 14.85° เหนือ	98
จ.5 ทางเดินดวงอาทิตย์ฤดูหนาว ณ ละติจูด 14.85° เหนือ	99
จ.6 การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ละติจูด 14.85° เหนือ	101
ญ.1 การออกแบบติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมตู้กริดโดยการปรับมุมเอียง กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มทส.....	112

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากงานแสดงเกษตรและอุตสาหกรรมโลก 2538 (World Tech 95) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งแต่ 4 พฤศจิกายน ถึง 16 ธันวาคม 2538 ได้มีการสาธิตการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านไทยไฮเทค ในลักษณะอิสระ (Stand alone) ซึ่งมีชุดแบตเตอรี่อุปกรณ์สำคัญที่ต้องมีอยู่ ภายหลังจบการสาธิต ยังมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์สูงสุดติดตั้งอยู่ จึงนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษา ค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทน และใช้งานของมหาวิทยาลัย เป็นแบบต่อเชื่อมสู่กริด (Grid connected) โดยไม่มีแบตเตอรี่เป็นส่วนประกอบในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นการขจัดปัญหาการบำรุงรักษาและเปลี่ยนแบตเตอรี่ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำกว่าแบบอิสระ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต ระบบที่พินพูนี จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่าย กฟภ. ในกรณีที่เกิดไฟฟ้าได้เกินการใช้งานภายในบ้านไทยไฮเทคถือเป็นผลพลอยได้ การศึกษานี้มีศักยภาพที่อาจขยายผลสู่เชิงธุรกิจได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยทดลองผลิตไฟฟ้าแบบต่อเชื่อมสู่กริด ตามภูมิประเทศและภูมิอากาศ ณ บ้านไทยไฮเทค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วัตถุประสงค์ย่อยในการพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- 1.2.1 พินพูนีเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งติดตั้งไว้โดยเว้นการใช้งานเป็นระยะเวลาหลายปีเป็นแบบกริด
- 1.2.2 ออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์ ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกริด
- 1.2.3 ติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริด ที่ประกอบด้วย กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array), อินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ป้องกัน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

โดยสมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ เพื่อนำผลที่ได้มาคำนวณทั้งระบบ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

วินิจัยการออกแบบความลาดเอียงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ให้สามารถได้พลังงานมากขึ้นจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ตลอดปี (15°) โดยเลือกเพียง 1 แผง มีการแบ่งระยะเวลาฤดูกาลดังนี้

ฤดูหนาว (1 พฤศจิกายน ถึง 28 กุมภาพันธ์)

ฤดูร้อน (1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน)

ฤดูฝน (1 พฤษภาคม ถึง 31 สิงหาคม)

ปลายฤดูฝน (1 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม)

ข้อตกลงย่อยเบื้องต้นในการวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตภัณฑ์ Solarex Model type MSX83 ขนาด 3.8 กิโลวัตต์
สูงสุด

1.4.2 อินเวอร์เตอร์ผลิตภัณฑ์ Apollo G-304 ขนาด 3.5 กิโลวัตต์ (แรงดันกระแสตรง 165-350 โวลต์ กระแสสลับ 230 โวลต์ $\pm 10\%$)

1.4.3 ระบบจำหน่าย กฟภ. แรงดัน 230 โวลต์ $\pm 10\%$)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 พื้นที่ระบบการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีภาระทางไฟฟ้าขนาด 0-3.5 กิโลวัตต์

1.5.2 เป็นการออกแบบ ความลาดเอียงของการติดตั้งแผง ที่มีการติดตั้งอยู่เดิมให้ได้พลังงานที่สูงขึ้นกว่าเดิมในฤดูหนาว ซึ่งลักษณะการติดตั้งแผงเป็นแบบอยู่กับที่

1.5.3 เก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต 12 เดือน และวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Statistical Technique และ Polynomial Technique

1.5.4 ออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริด ประกอบด้วย กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array) อินเวอร์เตอร์ และ ระบบจำหน่าย กฟภ. ให้สามารถใช้งานได้ ซึ่งมีระบบการป้องกันที่สอดคล้องกับเกณฑ์ ของ กฟภ.

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 มีระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมระบบจำหน่าย ทดลองใช้งานภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 1.6.2 ได้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าตามปกติได้บางส่วน
- 1.6.3 ได้ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นแนวทางในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานในอนาคตได้ด้วย

1.7 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท และ 10 ภาคผนวก

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปรีทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ ระบบต่อเชื่อมสู่กริดและการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ และโพลีโนเมียล

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ มทส. ที่มีการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

บทที่ 4 กล่าวถึงการติดตั้งและการวัดประสิทธิภาพต่างๆ ของระบบต่อเชื่อมสู่กริด ตามการออกแบบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการวัดประสิทธิภาพต่างๆของระบบต่อเชื่อมสู่กริด และวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 6 เป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก ตารางความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ภายใต้อสมมติฐาน ณ มทส.

ภาคผนวก ข ตารางระยะเวลาอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

ภาคผนวก ค ข้อมูลทางเทคนิคกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์

ภาคผนวก ง ตารางประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304

ภาคผนวก จ การออกแบบมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มทส.

ภาคผนวก ฉ คำสั่งโปรแกรม Matlab ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

ภาคผนวก ช ตารางประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304

ภาคผนวก ซ ตารางการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า ภายใต้อสมมติฐาน

ภาคผนวก ฌ ตารางการเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

ภาคผนวก ญ ภาพการติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริดโดยการปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล

ภาคผนวก ถ บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

บทที่ 2

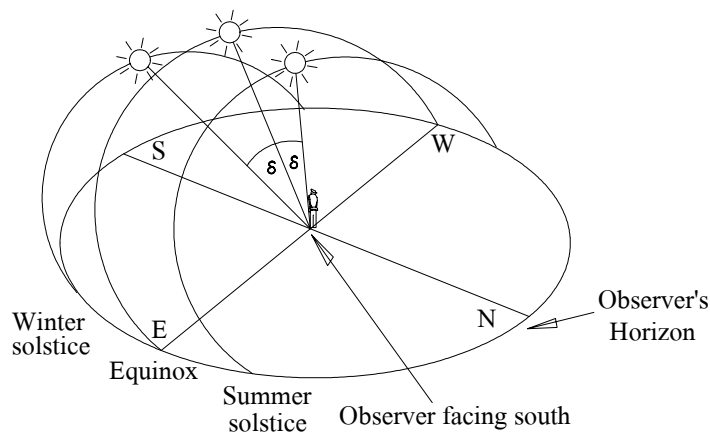
ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรัทัศนัวรรณกรรมเกี่ยวกับแสงอาทิตย์

Goswami, Kreith, and Kreider (1999) แสดงทางเดินของดวงอาทิตย์ (Solar declination) รายปี ดังภาพที่ 2.1 และสมการ (2-1)

$$\delta = 23.45^{\circ} \sin\left(\frac{360^{\circ} [284 + D]}{365^{\circ}}\right) \quad (2-1)$$

เมื่อ D เป็นจำนวนวันในรอบปี



ภาพที่ 2.1 ทางเดินของดวงอาทิตย์ ณ ทำเลที่ตั้งซีกโลกเหนือ

การหาระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตก ณ ทำเลที่ตั้ง แสดงดังสมการ (2-2)

$$H_{SR}, H_{SS} = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan \delta) \quad (2-2)$$

เมื่อ H_{SR} เป็นมุมของดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน
 H_{SS} เป็นมุมของดวงอาทิตย์ตก ครึ่งวัน
 ϕ เป็นละติจูด ณ ทำเลที่ตั้ง

$$\text{เวลาควอาทิตย์ขึ้น ณ เวลาเที่ยงวัน (ST}_{\text{SR}}) = 12:00:00 - H_{\text{TSR}} \quad (2-3.1)$$

$$\text{เวลาควอาทิตย์ตก ณ เวลาเที่ยงวัน (ST}_{\text{SS}}) = 12:00:00 + H_{\text{TSS}} \quad (2-3.2)$$

เมื่อ H_{TSR} เป็นเวลาควอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน
 H_{TSS} เป็นเวลาควอาทิตย์ตก ครึ่งวัน

$$ET = (9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B) \quad (2-4)$$

$$B = (360)(n - 81)/(360) \quad (2-5)$$

$$LST_{\text{SR}} = ST_{\text{SR}} - ET - 4(L_{\text{ST}} - L_{\text{LOCAL}}) \quad (2-6)$$

$$LST_{\text{SS}} = ST_{\text{SS}} - ET - 4(L_{\text{ST}} - L_{\text{LOCAL}}) \quad (2-7)$$

เมื่อ LST_{SR} เป็นเวลาควอาทิตย์ขึ้นที่เวลามาตรฐานสากล

LST_{SS} เป็นเวลาควอาทิตย์ตกที่เวลามาตรฐานสากล

ET เป็นสมการเวลา

L_{ST} เป็นเวลามาตรฐานเส้นลองติจูด

L_{LOCAL} เป็นตำแหน่งเส้นลองติจูด

Wenham, Green and Watt (n.d.) แสดงมุมแอลติจูด (Altitude angle, α) ดังสมการ (2-8)

$$\alpha = 90^\circ - \phi + \delta \quad (2-8)$$

เมื่อ ทำเลที่ตั้งการวัดแสงอาทิตย์อยู่ระหว่างเส้นศูนย์สูตรกับขั้วโลกเหนือ

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่แนวระนาบบนพื้นโลกผ่านชั้นบรรยากาศ ขณะท้องฟ้าแจ่มใส มีความสัมพันธ์กับ Air mass แสดงดังสมการ (2-9)

$$G_E = 1367(0.7^{\text{Airmass}^{0.678}}) \quad (2-9)$$

$$\text{Air mass} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (2-10)$$

เมื่อ θ เป็นมุมระหว่างควอาทิตย์กับแนวแกนตั้ง

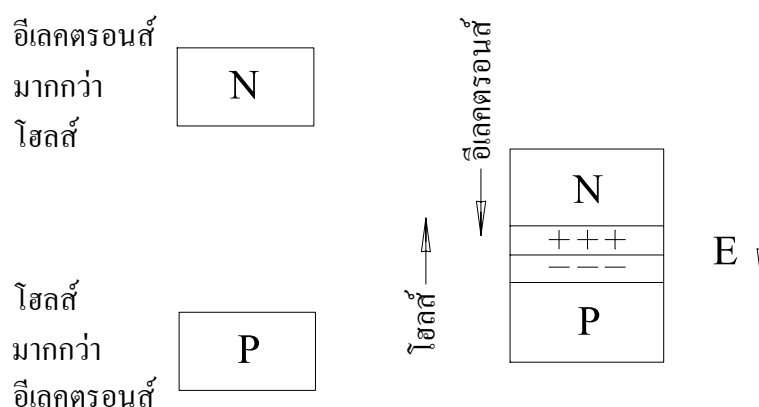
ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 2.2 และ สมการ (2-11)

$$S_\beta = \frac{S \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \quad (2-11)$$

2.2 ปรีทัศน์วรรณกรรมเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

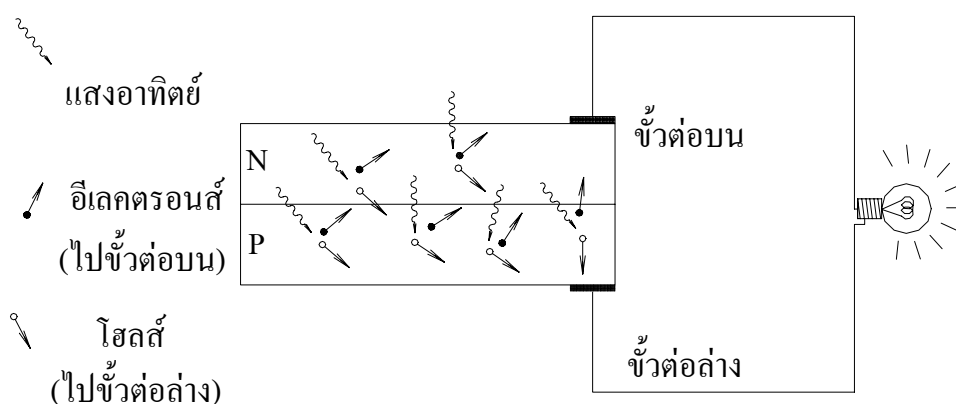
2.2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานโดยทั่วไป ทำมาจากการนำสารซิลิกอน แบบ P (P – type) มาต่อเชื่อมกับแบบ N (N – type) โดยเรียกแนวเชื่อมต่อว่า P-N junction แสดงดังภาพที่ (2.3)



ภาพที่ 2.3 การเกิด P-N junction

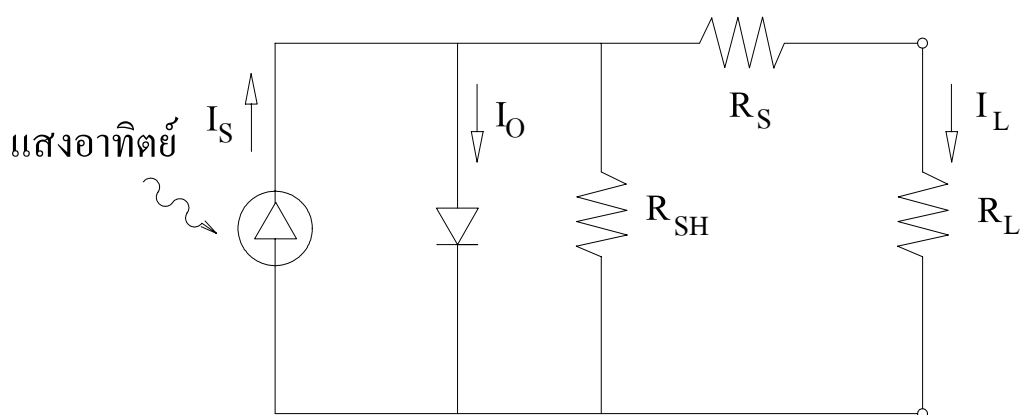
จากภาพที่ 2.3 การต่อเชื่อม โฮลส์ส่วนเกินใน P-type จะเข้ามาสะสมที่บริเวณต่อเชื่อมด้าน N-type และในทำนองเดียวกัน อิเล็กตรอนส์ส่วนเกินใน N-type จะเข้ามาสะสมที่บริเวณต่อเชื่อมด้าน P-type ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า E บริเวณรอยต่อเชื่อม



ภาพที่ 2.4 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 2.4 เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ จะถ่ายเทพลังงานให้อะตอมของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นผลให้อะตอมปลดปล่อย อิเล็กตรอนส์ และ โฮลส์ออกมา โดยมีจำนวนเป็นสัดส่วนตามความเข้มแสงอาทิตย์ จากนั้น สนามไฟฟ้า E จะผลักให้อิเล็กตรอนส์ไปรวมอยู่ที่ขั้วต่อด้านบน และโฮลส์ไปรวมอยู่ที่ขั้วต่อด้านล่าง ทำให้เกิดความต่างศักย์ของขั้วต่อทั้งสอง ดังนั้น เมื่อมีการต่อวงจรภายนอกในกรณีนี้คือ หลอดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลแบบกระแสตรง (Direct current_DC) แก่วงจรภายนอกได้

2.2.2 วงจรสมมูล (Equivalent circuit) ของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.5 วงจรสมมูลของ P-N junction เมื่อเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ($I_s = 0$ เมื่อเป็นไดโอด)

Wenham et al. (n.d.) แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระแสการะ (I_L) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ เมื่อค่า R_s เท่ากับ ศูนย์ และค่า R_{sh} เท่ากับ อนันต์ ดังสมการ (2-13)

$$I_L = I_S - I_O \left(\exp\left[\frac{qV}{nkT}\right] - 1 \right) \quad (2-13)$$

เมื่อ I_S เป็นกระแสที่กำหนดจากแสงอาทิตย์ หน่วย A

I_O เป็นกระแสอิ่มตัวขณะไม่มีแสงอาทิตย์ หน่วย A

q เป็นค่าประจุของอิเล็กตรอนส์ (1.602×10^{-19} J/V)

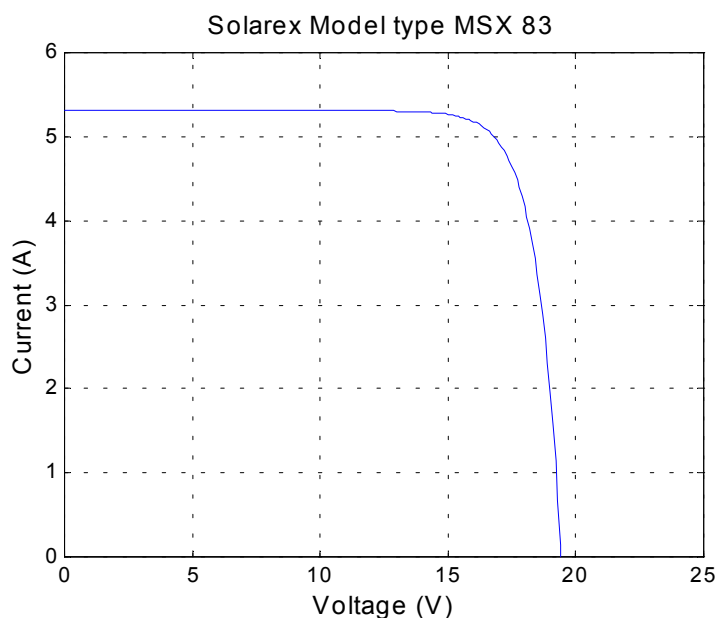
V เป็นแรงดันใช้งาน หน่วย V

K เป็นค่าคงที่โบลท์มานต์ (1.381×10^{-23} J/K)

n เป็นค่าตัวประกอบ มีค่าระหว่าง 1 ถึง 2

T เป็นอุณหภูมิ หน่วย เคลวิน (K)

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันในกรณีอุดมคติ แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (V-I Curve)

เซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 ในอุดมคติ

2.2.3 ผลของความต้านทาน R_S และ R_{SH} ภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์

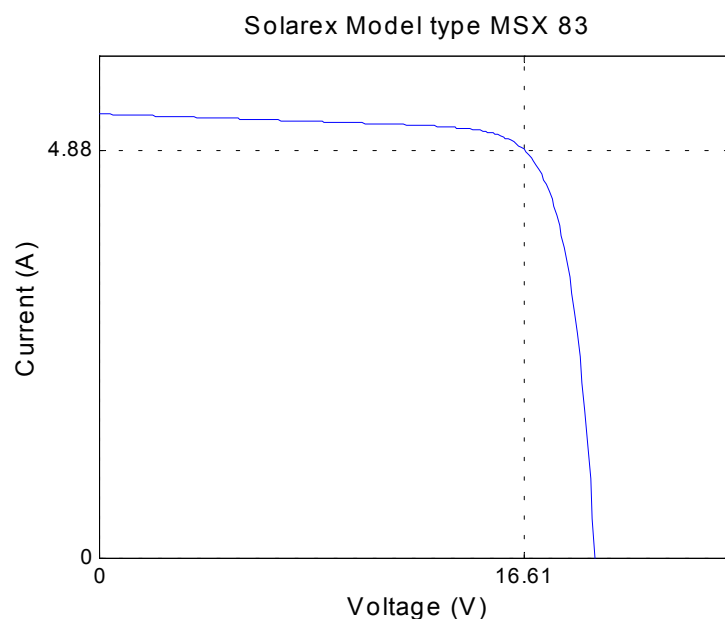
Wenham et al. (n.d.) แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีความต้านทาน R_S และ R_{SH} ดังภาพที่ 2.5 ค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้คุณสมบัติของกระแสและแรงดันเปลี่ยนแปลงไปจากอุดมคติ ในทางปฏิบัติค่าความต้านทาน R_S ไม่เท่ากับศูนย์ และ R_{SH} ไม่เท่ากับอนันต์ ทำให้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ (2-14)

$$I_L = I_S - I_O \left(\exp \left[\frac{V + I_L R_S}{nkT/q} \right] - 1 \right) - \frac{V + I_L R_S}{R_{SH}} \quad (2-14)$$

เมื่อ R_S เป็นค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออันดับ

R_{SH} เป็นค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อขนาน

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงดังภาพที่ 2.7 ผลของค่า R_S และ R_{SH} ทำให้กำลังไฟฟ้ากระแสตรง ในความเป็นจริงมีค่าต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ



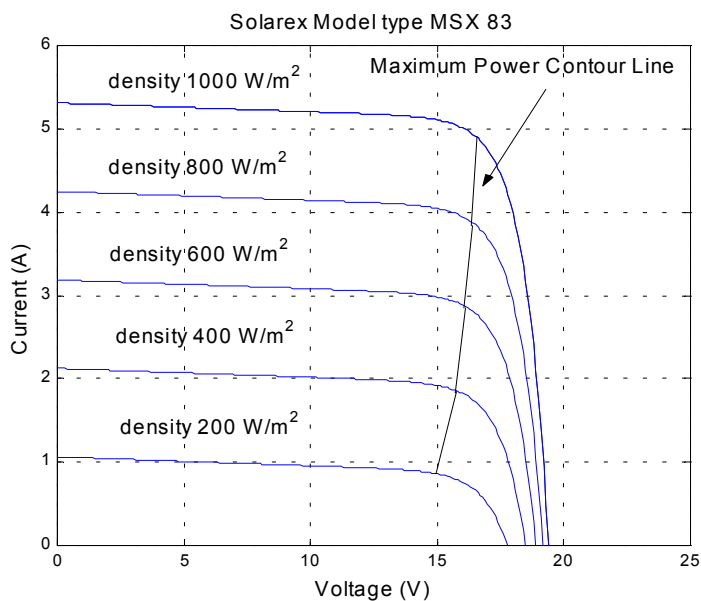
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแส (V-I Curve)
เซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 ในความเป็นจริง

2.2.4 ผลของความเข้มแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์

Wenham et al. (n.d.) แสดงการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ขึ้นกับปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ในกรณีที่ความเข้มของแสงต่ำ ทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่ำไปด้วย เป็นผลกระทบต่อการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้งาน เนื่องจากการบดบังของเมฆ และชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกตามฤดูกาล ทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่คงตลอดเวลา ความเข้มของแสงอาทิตย์แปรตามเปอร์เซ็นต์ I_s มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ (2-15)

$$I_L = I_s (\% \text{Light}) - I_o \left(\exp \left[\frac{V + I_L R_s}{nkT/q} \right] - 1 \right) - \frac{V + I_L R_s}{R_{SH}} \quad (2-15)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์และเปอร์เซ็นต์ของ I_s ได้ความสัมพันธ์แรงดันกับกระแส แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส (V-I Curve)

Model MSX 83 ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m²

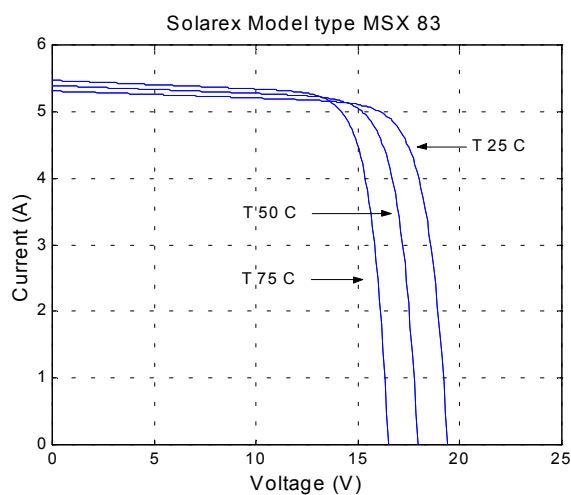
2.2.5 ผลของอุณหภูมิกับเซลล์แสงอาทิตย์

Wenham et al. (n.d.) แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ฉายแสงบนพื้นโลก เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มากขึ้นทำให้อุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้นด้วย และในทางตรงกันข้ามความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลงทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย นอกจากนี้ ความเร็วลม เป็นองค์ประกอบการระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อความเร็วลมมาก การระบายความร้อนของตัวเซลล์แสงอาทิตย์จะดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของตัวเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ (2-16 และ 2-17)

$$\frac{1}{I_s} \frac{dI_s}{dT} \approx +0.0006 / ^\circ \text{C} \quad (2-16)$$

$$\frac{1}{V_{oc}} \frac{dV_{oc}}{dT} \approx -0.003 / ^\circ \text{C} \quad (2-17)$$

เมื่อแทนพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ความสัมพันธ์กระแสกับแรงดัน จากผลของอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 2.9



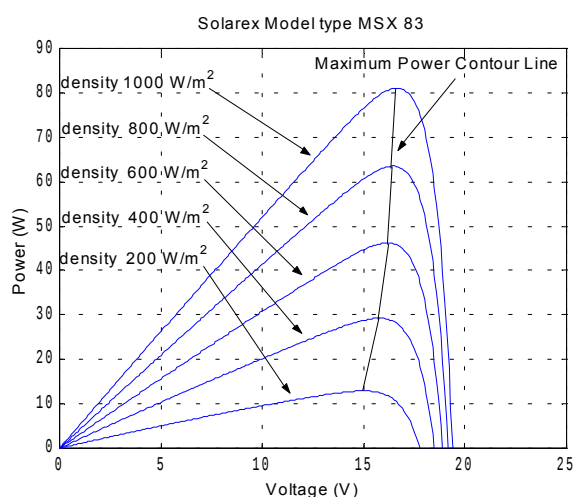
ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแส (V-I Curve)

Model MSX 83 ที่อุณหภูมิ 25⁰C, 50⁰C และ 75⁰C

Goswami et al. (1999) แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ (2-18)

$$P = VI_L \quad (2-18)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้ากับแรงดัน จากผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกำลังไฟฟ้า (V-P Curve)

Model MSX 83 ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m²

2.2.6 การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบต่อเชื่อมสู่กริด

Wenham et al. (n.d.) แสดงระบบต่อเชื่อมสู่กริดมีองค์ประกอบใหญ่ ๆ 3 ส่วนหลัก (เซลล์แสงอาทิตย์ (PV array), อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และระบบป้องกันการต่อเชื่อมสู่กริด (Grid interface protection)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า กระแสตรง

Strong and Scheller (1993) แสดงการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้พลังงานไฟฟ้า ตามต้องการแบ่งออกเป็น 2 แบบ

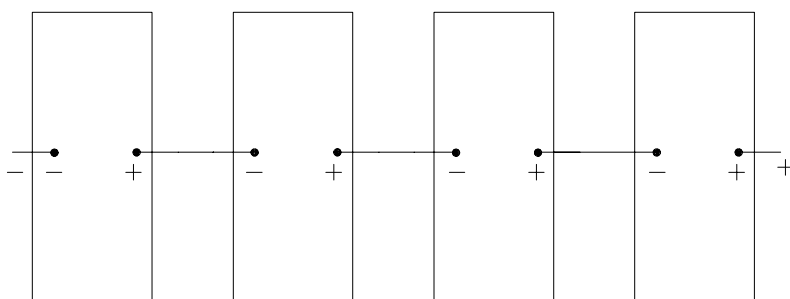
2.2.6.1 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอันดับ

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเรียงต่อกันทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าตาม ต้องการ สอดคล้องกับอุปกรณ์มาต่ออันดับ (อินเวอร์เตอร์) แสดงดังสมการ (2-19)

$$V_T = NV_I \quad (2-19)$$

$$N = \text{จำนวนแผงต่ออนุกรม}$$

$$V_T = \text{แรงดันของแผงแต่ละแผง}$$



ภาพที่ 2.11 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอันดับ

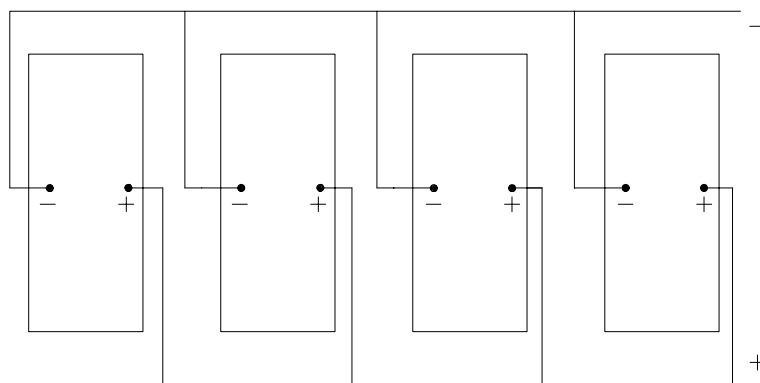
2.2.6.2 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซ้อนกันทำให้ได้กระแสไฟฟ้าตามต้องการ หรือ สอดคล้องกับอุปกรณ์ต่ออันดับ (พิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์) แสดงดังสมการ (2-20)

$$I_T = MI_S \quad (2-20)$$

$$M = \text{จำนวนแผงต่อขนาน}$$

$$I_S = \text{กระแสของแผงแต่ละแผง}$$



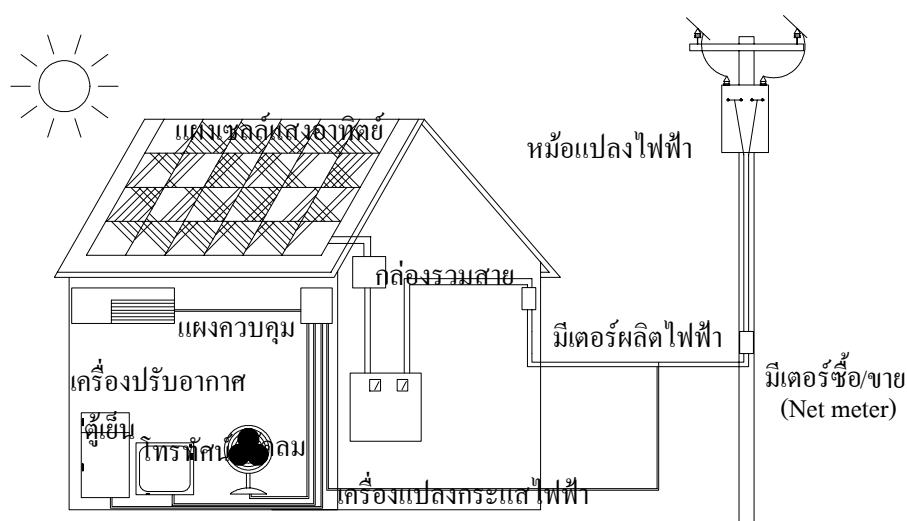
ภาพที่ 2.12 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

การออกแบบกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอินพุตสำหรับระบบต่อเชื่อมตู้กริด โดยประมาณว่าแผงที่นำมาต่อเชื่อมเหมือนกันทั้งระบบ กำลังไฟฟ้าแสดงดังสมการ (2-21)

$$P_T = MNV_I S \quad (2-21)$$

Jivacate et al. (1999) แสดงการติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริด โดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของสิ่งปลูกสร้าง เพื่อช่วยจ่ายภาระ และเป็นการผสมผสานพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย (กริดไลน์) กับพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเชื่อมตู้กริด เมื่อมีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

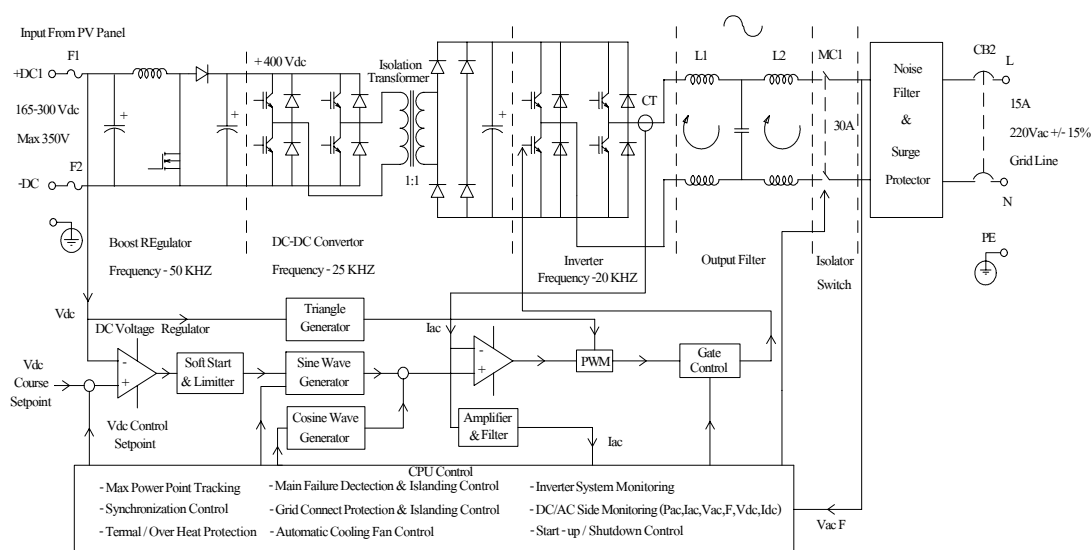
ระบบต่อเชื่อมตู้กริดประกอบด้วย กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์, อินเวอร์เตอร์และกริดไลน์ โดยมีการวัดพลังงานไฟฟ้า 2 ส่วน (ภายในบ้านและกริดไลน์) แสดงดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเชื่อมตู้กริด

2.3 ปรีทศน์วรรณกรรมเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ชนิดต่อเชื่อมสู่กริด

อินเวอร์เตอร์ ผลิตภัณฑ์ Apollo G-304 ขนาด 3.5 KW ของบริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด (Leonics Co., Ltd) มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking [MPPT]) ตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ให้ได้พลังงานไฟฟ้าจากกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดตลอดเวลา แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ฟังก์การทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Leonics Co.,Ltd)

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจาก กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์มายังอินเวอร์เตอร์ที่ภาค Boost Regulator ทำหน้าที่เพิ่มและรักษาระดับความถี่ 50 KHz ส่งผ่านไปยังภาค DC-DC Converter ที่ระดับความถี่ 25 KHz ด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 400 V_{DC} โดยมีชุด Isolation Transformer อัตราส่วน 1:1 ทำหน้าที่ แยกระบบไฟฟ้ากระแสตรงออกจากระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งผ่านไปยังภาคอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่ 20 KHz ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งผ่านไปยังภาคกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านไปยังสวิตช์แยกส่วนและผ่านไปยังภาคกรองสัญญาณรบกวนและชุดกับดักแรงดันเกินในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยระบบจะต่อเชื่อมกับระบบกริดไลน์ ในระบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใช้ตัวควบคุมการประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ (CPU Control) ทำหน้าที่ประมวลผลดังนี้

2.3.1 ความคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Max Power Point Tracking) เมื่อไฟฟ้ากระแสตรงเปลี่ยนแปลงจากกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.3.2 ความคุมการเกาะติดระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2.3.3 ตรวจจับการสูญเสียระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2.3.4 ตรวจจับระบบป้องกัน เช่น แรงดันเกิน แรงดันต่ำ ความถี่เกิน ความถี่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงความดันและความถี่

2.3.5 แสดงค่าต่างๆของระบบอินเวอร์เตอร์

2.3.6 ตรวจจับความร้อนเกิน

2.3.7 ความคุมการระบายความร้อนด้วยพัดลม

2.3.8 ความคุมการเปิดและปิดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

2.4 ทัศนัวรรณกรรมเกี่ยวกับระบบต่อเชื่อมสู่กริด

2.4.1 วิธีการออกแบบขนาดสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช (2539) แสดงการออกแบบขนาดสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 แรงดันตกของสายไฟฟ้า

การออกแบบขนาดสายไฟฟ้าต้องคำนึงถึง แรงดันตกของแรงดันแหล่งจ่ายต้นทางกับจุดรับไฟฟ้า แรงดันตกแก้ไขโดยการเพิ่มขนาดสายและลดระยะทางของการเดินสายไฟฟ้า การออกแบบขนาดสายไฟฟ้าที่ใช้กับระบบต่อเชื่อมสู่กริด เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังอินเวอร์เตอร์แบบกริดโดยมีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ภายในบ้าน แรงดันตกของสายไฟฟ้าแสดง ดังสมการ (2-22)

$$V_D = 2IL(R+jX) \quad (2-22)$$

เมื่อ I เป็นกระแสไหลในตัวนำ หน่วย A

L เป็นระยะทางของตัวนำ หน่วย m

R เป็นความต้านทานของสายเส้นเดียว หน่วย Ω/m

2.4.1.2 อุปกรณ์ป้องกันระบบต่อเชื่อมสู่กริด

นอกจากระบบป้องกันภายในอินเวอร์เตอร์แล้ว เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์ความปลอดภัยของ กฟภ. ได้เพิ่มฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์เข้าไปในระบบต่อเชื่อมสู่กริดให้มีความปลอดภัยกับระบบต่อเชื่อมสู่กริดและการซ่อมบำรุงในอนาคต

2.4.1.2.1 การป้องกันวงจรไฟฟ้าแบบฟิวส์ป้องกัน

การป้องกันวงจรไฟฟ้าแบบคาร์ทริดจ์ฟิวส์ตามมาตรฐาน IEC 269 หรือ VDE 0636 ประเภท D (Diazed) ใช้งานกับแรงดัน 500 V กระแสไม่เกิน 200 A พิกัดกระแสขณะอินเตอร์รัพท์ 70 KA ที่ 380 V ชนิดทำงานไว ตามปกติคาร์ทริดจ์ฟิวส์ประเภท D ถูกออกแบบไว้จำกัดกระแสลัดวงจรที่มีค่าสูง ฟิวส์หลอมละลายและดับอาร์กภายในเวลา 0.25 ไซเกิล

2.4.1.2.2 การป้องกันวงจรไฟฟ้าแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์

แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์คประกอบด้วยกลไกทางกล หน้าสัมผัส ตัวอินเตอร์รัพเตอร์ โดยชุดกลไกการทริปกระแสเกินต่ออนุกรมทางด้านภาระ ชุดทริปออกแบบให้มีความแม่นยำสูงในการเปิดวงจรในการดับอาร์คใช้ตามพิกัดกระแสที่ต้องการ

2.4.1.2.3 การป้องกันระบบต่อเชื่อมสู่กริดด้วยกับดักแรงดันเกิน

Wenham et al. (n.d.) กล่าวถึงการป้องกันระบบต่อเชื่อมสู่กริด จำเป็นต้องมีกับดักแรงดันเกิน (Surge arrestors) ป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในอินเวอร์เตอร์ ขณะเกิดแรงดันเกินในระบบต่อเชื่อมสู่กริด

2.4.1.2.4 การต่อลงดินระบบไฟฟ้า

พรเลิศ ยอดประทุม (2542) แสดงการต่อลงดินระบบไฟฟ้ากรณีปักแท่งหลักดิน แท่งเดียว โดยถือว่าดินบริเวณที่ต่อลงดินเป็นเนื้อเดียวกัน ดังสมการ (2-23)

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_G} \ln \frac{2L_G}{r} \quad (2-23)$$

เมื่อ R_G เป็นความต้านทานของหลักดินที่ปรากฏ หน่วย Ω

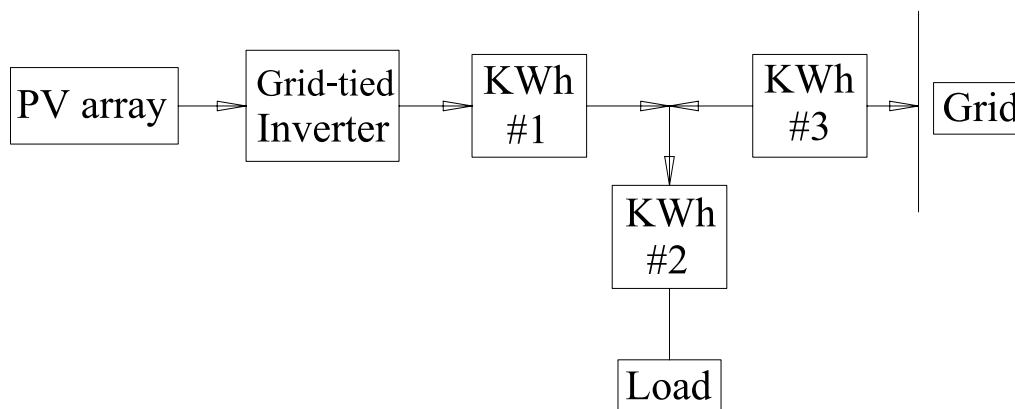
ρ เป็นความต้านทานจำเพาะของดิน หน่วย $\Omega\cdot m$

r เป็นรัศมีของแท่งหลักดิน หน่วย m

L_G เป็นความยาวแท่งหลักดิน หน่วย m

2.4.2 การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด

Pongchawee et al. (2000) แสดงการออกแบบการวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตด้วยวิธี Watthour meter ระบบการต่อเชื่อมสู่กริดที่จ่ายภาระในระบบทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด

วิธี Watthour meter ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตจำนวน 3 เครื่อง เครื่องวัดเครื่องที่ 1 ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตจากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านอินเวอร์เตอร์ เครื่องวัดเครื่องที่ 2 ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้ภาระ และเครื่องวัดเครื่องที่ 3 ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากอินเวอร์เตอร์ (เครื่องวัดเครื่องที่ 1) กรณีที่ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับมากกว่าการจ่ายภาระ และวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากกริดไลน์ให้กับภาระ (เครื่องวัดเครื่องที่ 2) กรณีที่กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับผ่านอินเวอร์เตอร์ได้น้อยกว่าภาระ หรือ จ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้กับภาระในเวลากลางคืน

2.5 ปรัชณัฏฐนกรรมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ และกระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ รายเดือนหรือรายปี ที่เป็นจุดข้อมูลของช่วงเวลา การหาสมการทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแทนพลังงานรายเดือน หรือรายปี ของพลังงานแสงอาทิตย์อินพุต อาศัยหลักการทำให้พอดีกับข้อมูล (Fit Curve) แบบ Least Squares Quadratic Polynomial Approximation และ หาพื้นที่ใต้สมการทางคณิตศาสตร์แบบสี่เหลี่ยมคางหมู ย่อยๆ หลายช่วง เปรียบเทียบค่ากัน

2.5.1 การหาสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ Fit Curve

Hoffman (1992) แสดงการประมาณค่า สมการโพลิโนเมียล ยกกำลัง n การหาค่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับข้อมูล จำนวน N ค่า (x_i, y_i) ซึ่งรูปแบบมาตรฐานสมการโพลิโนเมียล ที่ยกกำลัง n ดังสมการ (2-24)

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

ผลรวมของค่าความเบี่ยงเบนของกำลังสอง (S) เป็น

$$\begin{aligned} S(a_0, a_1, \dots, a_n) &= \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (Y_i - a_0 - a_1 x_i - \dots - a_n x_i^n)^2 \end{aligned}$$

ฟังก์ชันของ $S(a_0, a_1, \dots, a_n)$ มีค่าต่ำสุดเมื่อ

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^N 2(Y_i - a_0 - a_1 x_i - \dots - a_n x_i^n)(-1) = 0$$

⋮

$$\frac{\partial S}{\partial a_n} = \sum_{i=1}^N 2(Y_i - a_0 - a_1 x_i - \dots - a_n x_i^n)(-x_i^n) = 0$$

เอา 2 หารตลอด ได้

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N Y_i &= a_0 N + a_1 \sum_{i=1}^N x_i + \dots + a_n \sum_{i=1}^N x_i^n \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^N x_i^n Y_i &= a_0 \sum_{i=1}^N x_i^n + a_1 \sum_{i=1}^N x_i^{n+1} + \dots + a_n \sum_{i=1}^N x_i^{2n} \end{aligned} \quad (2-24)$$

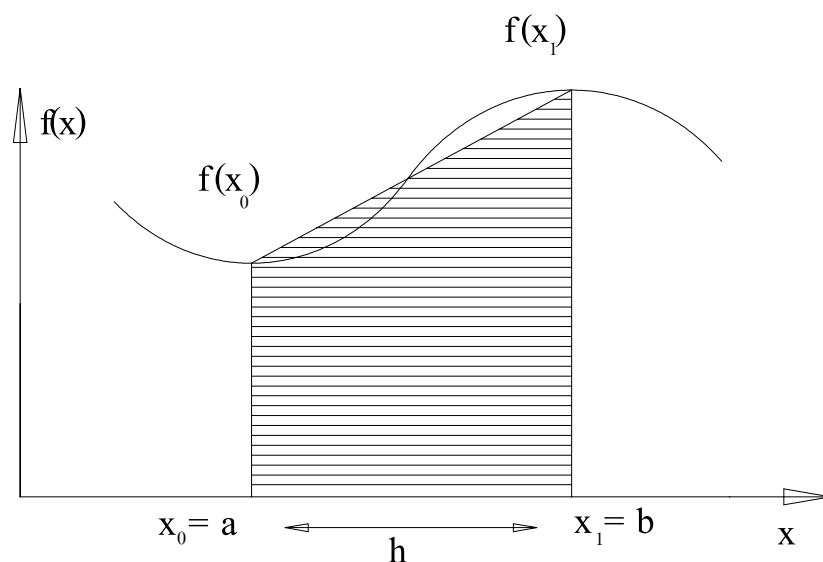
2.5.2 การหาพื้นที่ใต้สมการทางคณิตศาสตร์ด้วยการอินทิเกรต

Hoffman (1992) แสดงการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู มีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ (2-25)

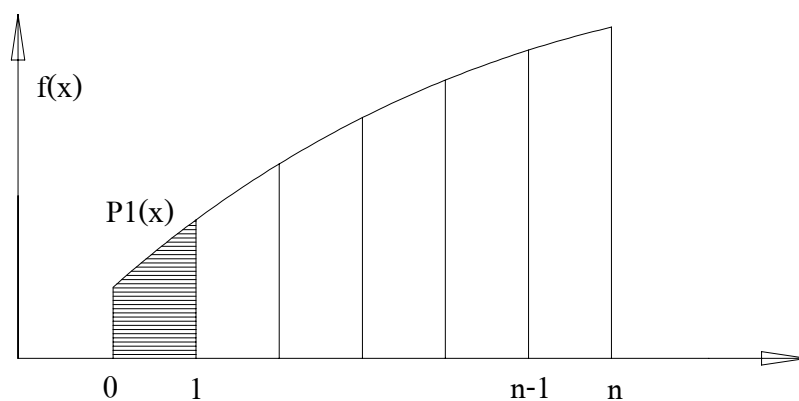
$$I = \int_a^b f(x) dx \quad (2-25)$$

เมื่อ $h = b - a$

การอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมูเพียงสี่เหลี่ยมเดียว มีค่าความผิดพลาดมาก จากช่วง a ถึง b ดังภาพที่ 2.16 ดังนั้นการอินทิเกรตให้ได้ค่าที่เที่ยงตรงมากขึ้นโดยแบ่งช่วง a ถึง b ออกเป็นช่วงย่อยๆ แล้วนำผลการอินทิเกรตช่วงย่อยๆ มารวมกันทำให้ค่าที่ได้เที่ยงตรงมากขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.16 การอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมูสี่เหลี่ยมเดียว



ภาพที่ 2.17 การอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมูย่อยๆ หลายช่วง

การหาพื้นที่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูย่อยๆ

สมการทางคณิตศาสตร์ช่วงย่อยๆ แบบสี่เหลี่ยมคางหมู แสดงดังสมการ (2-27)

$$\begin{aligned}\Delta I &= h \int_0^1 (f_0 + s \Delta f_0) ds \\ &= h \left(s f_0 + \frac{s^2}{2} \Delta f_0 \right) \Big|_0^1\end{aligned}$$

เมื่อ ΔI เป็นการรวมพื้นที่ในส่วนย่อย

$$\Delta f_0 = f_1 - f_0, \quad s = 1$$

$$\begin{aligned}\Delta I &= h \left(f_0 + \frac{1}{2} \Delta f_0 \right) \\ \Delta I &= h \left(f_0 + \frac{1}{2} (f_1 - f_0) \right) \\ \Delta I &= \frac{1}{2} h (f_0 + f_1)\end{aligned}$$

(2-27)

การรวมส่วนย่อย (ΔI) ทั้งหมด จากส่วนย่อยที่ 1 ถึง n

$$\begin{aligned}I &= \sum_{i=0}^{n-1} \Delta I_i \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{2} h_i (f_i + f_{i+1})\end{aligned}$$

เมื่อ $h_i = (x_{i+1} - x_i)$

การหาพื้นที่ได้สมการทางคณิตศาสตร์แบบสี่เหลี่ยมคางหมูย่อยๆ หลายช่วง แสดงดังสมการ (2-28)

$$I = \frac{1}{2} h (f_0 + 2f_1 + 2f_2 + \dots + 2f_{n-1} + f_n) \quad (2-28)$$

รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล (2000) แสดงคำสั่งของการวิเคราะห์ สมการทางคณิตศาสตร์แบบโพลิโนเมียลด้วยโปรแกรม Matlab (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก จ)

บทที่ 3

การออกแบบติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริด

3.1 กล่าวนำ

องค์ประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด มี 3 อย่าง ดังต่อไปนี้

3.1.1 กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Poly crystalline ของบริษัท Solarex รุ่น MSX 83

3.1.2 อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับต่อเชื่อมสู่กริด (Grid connected inverter) ของบริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด รุ่น Apollo G-304 ขนาด 3.5 KW

3.1.3 อุปกรณ์ป้องกันด้านกระแสสลับแรงดัน 230 V $\pm$ 10 % แบบเฟสเดียว (1 ϕ , 50 Hz) เพื่อต่อเชื่อมอินเวอร์เตอร์ กับระบบจำหน่ายของ กฟภ.

3.2 การออกแบบจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมสู่กริด

องค์ประกอบของการออกแบบจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมสู่กริด มีดังต่อไปนี้

3.2.1 Air mass

Wenham, Green and Watt (n.d.) พบว่า Air mass เป็นตำแหน่งมุมหรือเวลาการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์รายวัน ตามแนวแกนตั้ง ค่า Air mass แสดงดังสมการ (3-1)

$$\text{Air mass} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (3-1)$$

เมื่อ θ เป็นมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับแนวแกนตั้ง

ในรอบวัน ดวงอาทิตย์ทำมุม θ โดยเริ่มจาก -90° เมื่อเวลา 06.00 นาฬิกาผ่านไปยัง 0° เมื่อเวลา 12.00 นาฬิกาและ ที่ 90° เมื่อเวลา 18.00 นาฬิกา ตามลำดับ

ค่า Air mass 1.5 เปลี่ยนเป็นมุม θ เท่ากับ 48.2° หรือเป็นเวลาดวงอาทิตย์ฉายแสงมายังโลก เวลา 08.47 นาฬิกา และ Air mass 1 เปลี่ยนเป็นเวลาที่ดวงอาทิตย์ฉายแสงมายังโลก เวลา 12.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นเวลารับพลังงานแสงอาทิตย์ได้สูงสุดในรอบวัน ภายใต้อสมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ

3.2.2 อุณหภูมิเซลล์ ของเซลล์แสงอาทิตย์

การเลือกค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการออกแบบตามข้อมูลทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเซลล์ที่ใช้งานประมาณ 49°C และจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิเซลล์ในวันที่ 5 พฤศจิกายน 2543 สภาพอากาศ ท้องฟ้าแจ่มใสไม่มีเมฆ ในฤดูหนาว เวลา 08.47 นาฬิกา ค่าอุณหภูมิเซลล์ เท่ากับ 41.2°C แต่ในฤดูร้อนอุณหภูมิมีแนวโน้มสูงกว่าในฤดูหนาว ดังนั้นเลือกใช้งานที่อุณหภูมิของเซลล์ 49°C ที่ Air mass (AM) = 1.5 ในการออกแบบ

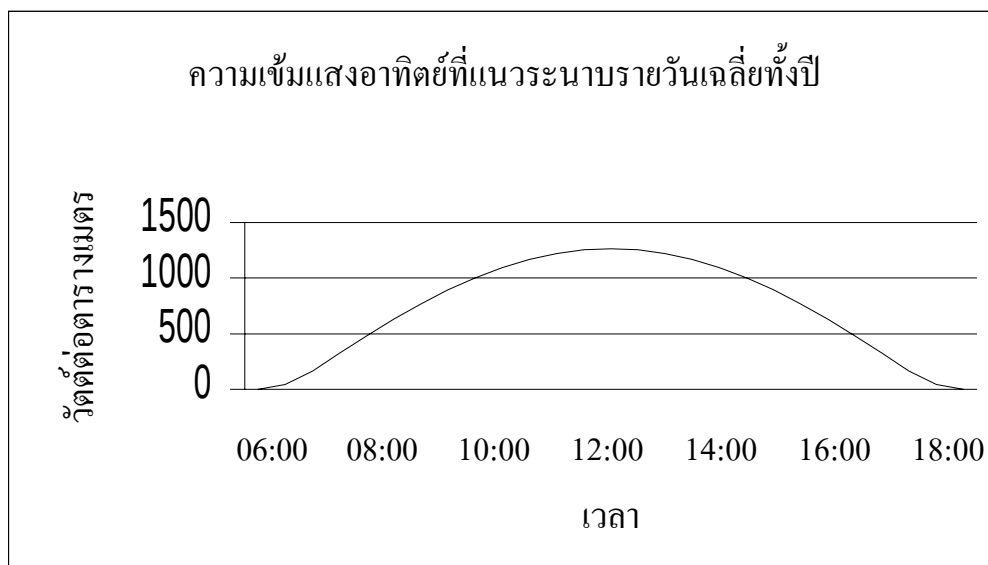
3.2.3 ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

Duffie and Beckman (1994) พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแนวระนาบ ฉายแสงมายังโลก ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ แสดงดังสมการ (3-2 และ 3-3)

$$G_0 = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos\left(\frac{360D}{365}\right)\right) (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (3-2)$$

ตัวอย่าง เลือก	D	=	1	
	ϕ	=	14.85°	
	G_{sc}	=	1367	W/m^2
	δ	=	$23.45^{\circ} \sin[360(284+n)/365]$	(3-3)
	δ	=	-23.01°	
	ω	=	0° (เวลา 12.00 นาฬิกา)	
	G_0	=	$1367 \left(1 + 0.033 \cos\left(\frac{360}{365}\right) (\cos 14.85^{\circ} \cos(-23.01^{\circ}) \cos 0^{\circ}) + \sin 14.85^{\circ} \sin(-23.01^{\circ})\right)$	
	G_0	=	1114.58	W/m^2

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ฉายแสงมายังโลก ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ตามแนวระนาบที่เวลาต่างๆ (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ก) และค่ารายวันเฉลี่ยทั้งปี แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่แนวระนาบรายวันเฉลี่ยทั้งปีตามสมมติฐาน ณ มทส.

Wenham, et al. (n.d.) พบว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นโลกในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ผ่านชั้นบรรยากาศ แสดงดังสมการ (3-4)

$$G_0 = G_{sc} (0.7^{(\text{Air mass})^{0.678}}) \quad (3-4)$$

เมื่อ Air mass 1.5

$$G_0 = 1367 (0.7^{(1.5)^{0.678}})$$

$$G_0 = 854.78 \quad \text{W/m}^2$$

เมื่อ Air mass 1

$$G_0 = 1367 (0.7^{(1)^{0.678}})$$

$$G_0 = 956.9 \quad \text{W/m}^2$$

จากสมการ (3-2) Air mass 1.5 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 894 W/m² และ สมการ (3-4) ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 854 W/m² แตกต่างกันประมาณ 40 W/m² ดังนั้นความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นโลกในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ผ่านชั้นบรรยากาศ เลือกใช้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 800 W/m² ตามข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการออกแบบ

ในงานวิจัยนี้ อินเวอร์เตอร์ เป็นตัวกำหนดขอบเขตการออกแบบกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบต่อเชื่อมตู้กริด มีขนาดเท่ากับ 3.5 KW การหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงวัน ใช้ค่า $A_m = 1$ แทนลงในสมการ (3-4) ได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เที่ยงวัน เท่ากับ 956.9 W/m^2 ใช้ Program Matlab หาค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่เวลาเที่ยงวันต่อแผง ที่ 956.9 W/m^2 $A_m = 1$ cell T 49°C ได้ค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงต่อแผงเท่ากับ 71.59 W (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับขนาดพิกัดอินเวอร์เตอร์ 3.5 KWหารด้วย กำลังไฟฟ้ากระแสตรงต่อแผงเท่ากับ 71.59 W ดังนั้น จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบ ณ บ้านไทยไฮเทค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เท่ากับ 48.88 แผง หรือประมาณ 48 แผงโดยประมาณ

กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานกับระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 48 แผง มีข้อกำหนดทางเทคนิค (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ค) ในการออกแบบระบบต่อเชื่อมตู้กริดใช้ข้อมูลทางเทคนิคเฉลี่ย ดังต่อไปนี้

Model type MSX 83, SW 95 H 17643571

Max system 600 V, min operating volt bypass diode I_f 6 A, Series fuse 10 A

Standard Test Condition (STC)@ 1000 W/m^2 $A_m = 1.5$ cell T 25°C

$P_{\max}$ 81.06 W V_{oc} 21.44 V

I_{sc} 5.31 A V_{pmax} 16.61 V

I_{pmax} 4.88 A

Standard Test Condition (STC)@ 800 W/m^2 $A_m = 1.5$ cell T 49°C

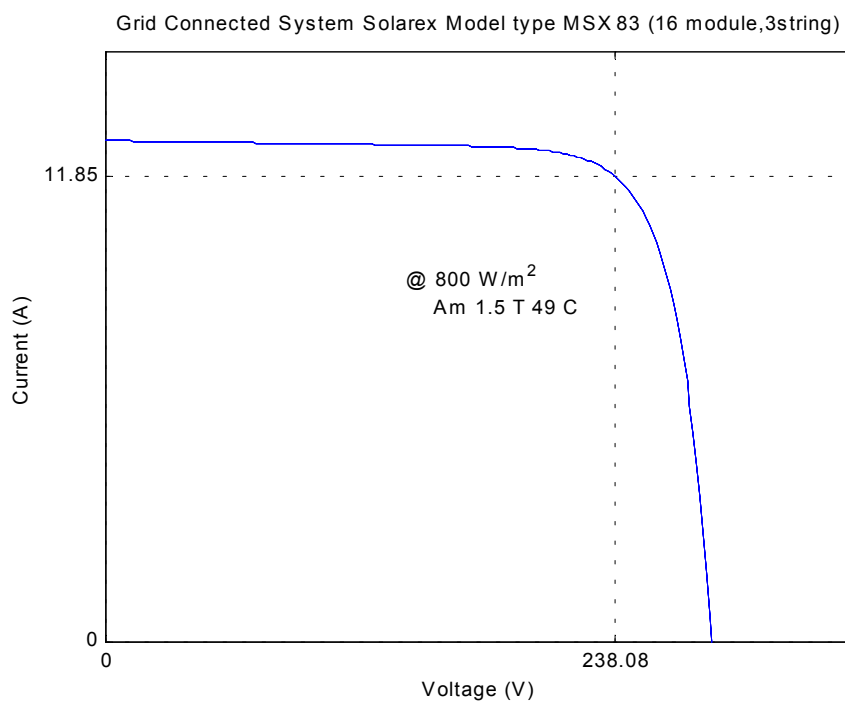
$P_{\max}$ 58.8 W I_{pmax} 3.95 A

3.2.4 การคำนวณหาจำนวนแผงและสตริง ที่ใช้งานกับระบบต่อเชื่อมตู้กริด

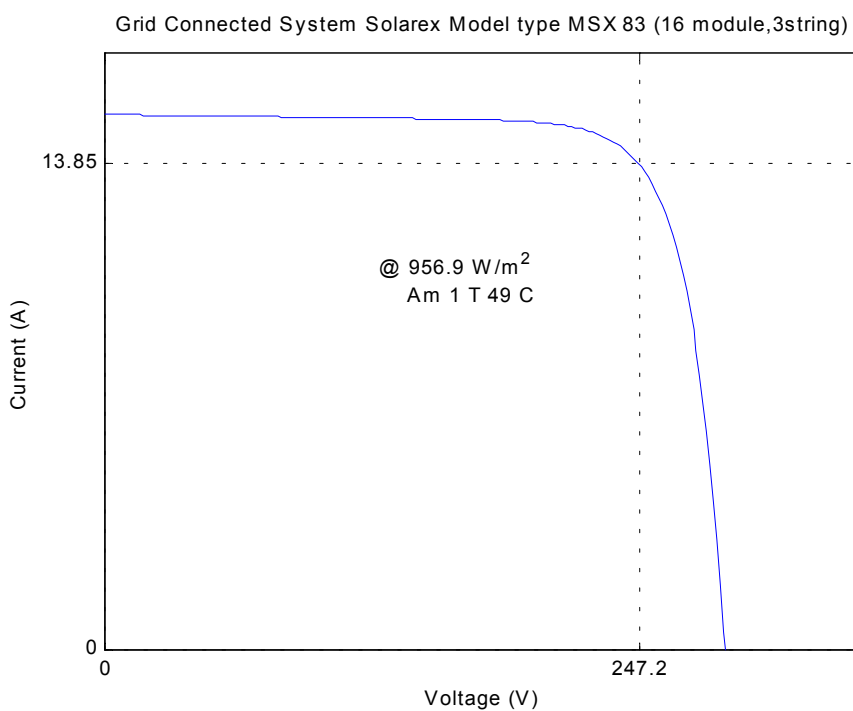
การหาจำนวนแผงต่อสตริงของระบบต่อเชื่อมตู้กริด หาได้จากข้อกำหนดทางเทคนิคของหน้าต่างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดของอินเวอร์เตอร์แบบกริดเท่ากับ 350 V หารด้วยแรงดันเปิดวงจรเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแผง เท่ากับ 21.44 V ดังนั้น จำนวนแผงต่อสตริง เท่ากับ 16.32 แผง หรือ 16 แผง โดยประมาณ

การหาจำนวนสตริงของระบบต่อเชื่อมตู้กริดหาได้จากจำนวนแผงทั้งหมด หารด้วยจำนวนแผงต่อสตริง ดังนั้น จำนวนสตริง เท่ากับ 3 สตริง

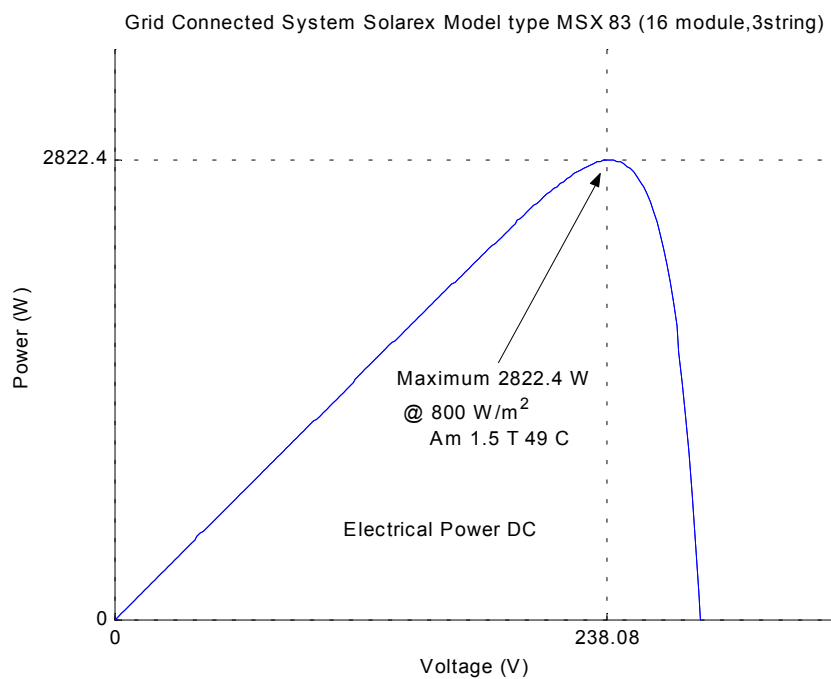
ความสัมพันธ์ของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของระบบต่อเชื่อมตู้กริดที่ออกแบบ แสดงดังภาพที่ 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5



ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์แรงดันและกระแส (V-I Curve)
PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 800 W/m² Am 1.5

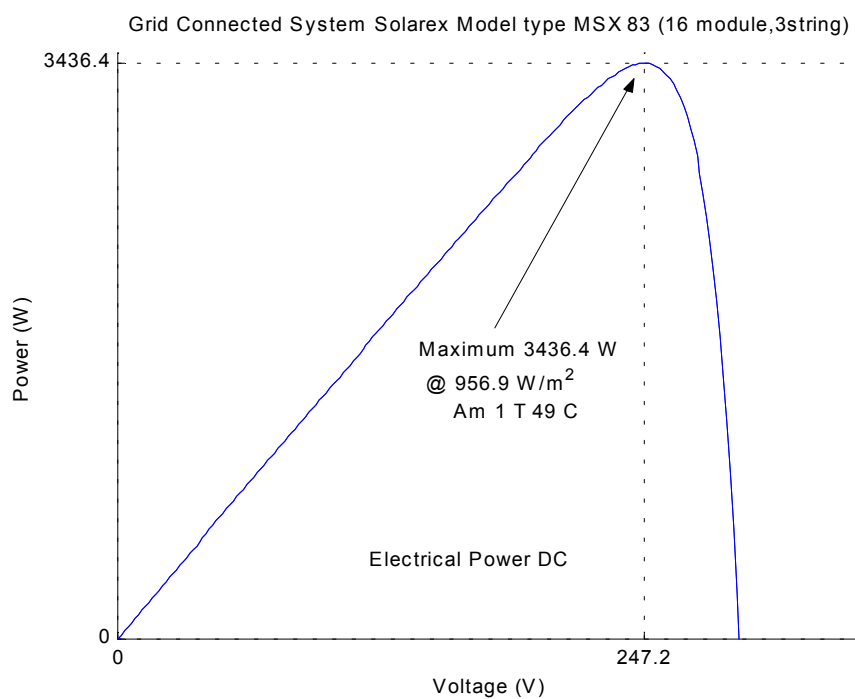


ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์แรงดันและกระแส (V-I Curve)
PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 956.9 W/m² Am 1



ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์แรงดันและกำลังไฟฟ้า (V-P Curve)

PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 800 W/m^2 Am 1.5

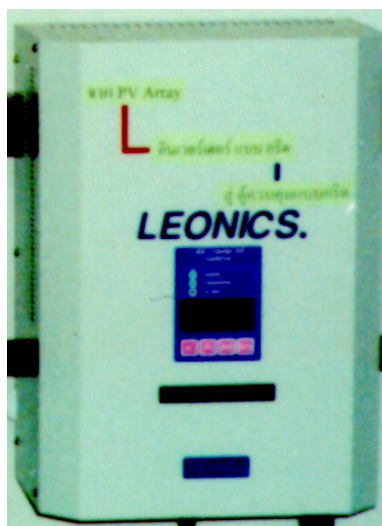


ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์แรงดันและกำลังไฟฟ้า (V-P Curve)

PV array จำนวน 48 แผง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 956.9 W/m^2 Am 1

อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบต่อเชื่อมสู่กริด (Grid connected inverter)

เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 165 – 350 V จากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 230 V ± 10 % แบบเฟสเดียว (1 ϕ , 50 Hz) ขนาด 3.5 KW แสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 อินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304 ขนาด 3.5 KW

3.3 การออกแบบขนาดสายไฟฟ้าที่ใช้กับระบบต่อเชื่อมสู่กริด

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช (2539) พบว่าแรงดันตกมีความสำคัญในการออกแบบขนาดสายไฟฟ้าที่ใช้กับระบบต่อเชื่อมสู่กริดสาเหตุมาจากระบบต่อเชื่อมสู่กริดแบบปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล มีการติดตั้งกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดินสะดวกต่อการปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอยู่ห่างจากตัวอาคารป้องกันการบดบังแสงอาทิตย์ แรงดันตกในการวิจัยนี้มีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระหว่างแหล่งจ่ายกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทาง กับจุดรับไฟฟ้าปลายทาง (อินเวอร์เตอร์แบบกริด) ค่าแรงดันตก แก้ไขโดยการเพิ่มขนาดสายและลดระยะทางของการเดินสายไฟฟ้า ค่าแรงดันตก แสดงดังสมการ (3-5)

$$V_D = 2IL(R + jX) \quad (3-5)$$

เมื่อ I เป็นกระแสที่ไหลในตัวนำ หน่วย A

L เป็นระยะทางของตัวนำ หน่วย m

R เป็นความต้านทานของสายเส้นเดียว หน่วย Ω/m

จากข้อกำหนดทางเทคนิคแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Model MSX 83 มีค่ากระแสลัดวงจร 5.31 A และแรงดันเปิดวงจร 21.44 V ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1000 W/m^2 ดังนั้น ค่ากระแสลัดวงจรแต่ละสตริงมีค่าเท่ากับ 5.31 A ด้วย แต่กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีจำนวนสตริง เท่ากับ 3 สตริง ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ $15.93 \text{ V} \approx 16 \text{ A}$ และมีแรงดันขณะเปิดวงจรของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ แรงดันขณะเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คูณด้วย จำนวนแผงต่อสตริง เท่ากับ $343.04 \text{ V} \approx 343 \text{ V}$ ระยะทางของสายเมนจากตู้ Pull Box กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถึงตู้ Pull Box อินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 35 m

ขวลิต ดำรงค์รัตน์ (2533) แสดงค่าความต้านทานของสายอลูมิเนียมหุ้มฉนวนเส้นเดียว ขนาด 50 mm^2 มีค่า R เท่ากับ $0.00061 \Omega/\text{m}$

$$\begin{aligned} V_D &= (2)(16)(35)(0.061 + j0) \\ &= 0.6832 \text{ V} \end{aligned}$$

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำสุดของหน้าต่างอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 165 V เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์แรงดันตก} &= (0.6832)/(165)(100) \\ &= 0.414 \% \end{aligned}$$

3.4 การออกแบบฟิวส์ป้องกันอินเวอร์เตอร์

การป้องกันอินเวอร์เตอร์ด้วยคาร์ทริดจ์ฟิวส์ตามมาตรฐาน IEC 269 หรือ VDE 0636 ซึ่งเป็นคาร์ทริดจ์ฟิวส์ประเภท D (Diazed) ที่ใช้กับ แรงดัน 500 V และกระแสไม่เกิน 200 A พิกัดกระแสขณะอินเตอร์รัพต์ 70 KA ที่ 380 V ชนิดแบบทำงานไว ตามปกติ คาร์ทริดจ์ฟิวส์ประเภท D ถูกออกแบบไว้จำกัดกระแสลัดวงจรที่มีค่าสูง ฟิวส์จะหลอมละลายและดับอาร์กภายในเวลา 0.25 ไซเกิล

จากกระแสลัดวงจรระบบต่อเชื่อมสู่กริดตามการออกแบบ เท่ากับ 15.93 A ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ฟิวส์ป้องกันอินเวอร์เตอร์ชนิด DII พิกัดกระแส 20 A จำนวน 2 ชุด ป้องกันระบบไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต จำนวน 1 ชุด และป้องกันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต จำนวน 1 ชุด

3.5 การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันอินเวอร์เตอร์

การออกแบบเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันอินเวอร์เตอร์แบ่งเป็น 2 ระบบ

3.5.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรงอินพุตอินเวอร์เตอร์

3.5.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

จากค่ากระแสลัดวงจรระบบต่อเชื่อมตู้กริดเท่ากับ 15.93 A ดังนั้น เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ ชนิดโมลต์เคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีพิกัด 20 A จำนวน 2 ชุด ใช้ป้องกันระบบไฟฟ้ากระแสตรง อินพุต จำนวน 1 ชุด และป้องกันระบบไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต จำนวน 1 ชุด

3.6 การป้องกันระบบต่อเชื่อมตู้กริดด้วยกับดักแรงดันเกิน

ในการป้องกันการกระเพื่อมของแรงดันชั่วครู่ (Transient Voltage Surge) สามารถป้องกันได้ด้วยกับดักแรงดันเกิน Model LS-211C มีคุณสมบัติดังนี้

3.6.1 ใช้กับระบบ 1 เฟส แรงดัน 240 V ย่านแรงดันใช้งาน 180-280 V ความถี่ 40 - 60 Hz

3.6.2 กระแสสูงสุด 20 KA ที่แรงดัน 600V

3.7 การออกแบบการต่อลงดินระบบต่อเชื่อมตู้กริด

ในการวิจัยนี้ใช้หลักดินมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (2r) เท่ากับ 1.42 cm ยาว (L) 2 m จากการสำรวจลักษณะดินบริเวณรอบบ้านไทยไฮเทค เลือกค่าความต้านทานของดินร่วนลักษณะเปียก (ρ) เท่ากับ 10 Ω -m และ สมมติฐานดินเป็นเนื้อเดียวกัน กรณีปักแท่งหลักดิน ชนิดหลักเดี่ยว

พรเลิศ ยอดประทุม (2542) แสดงการหาค่าความต้านทานของแท่งหลักดิน ดังสมการ (2-6)

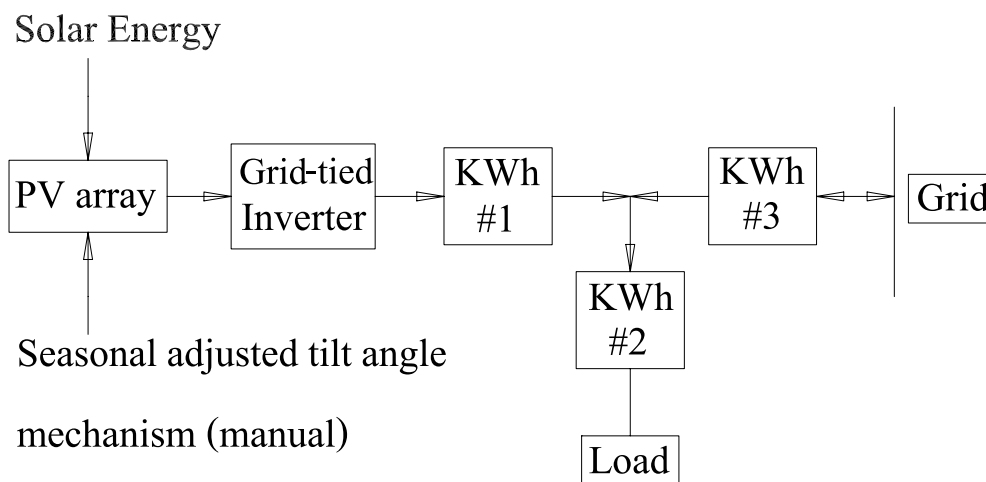
$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{r} \quad (2-6)$$

$$R_G = \frac{10}{4\pi} \ln \frac{4}{0.0071}$$

$$R_G = 5 \quad \Omega$$

3.8 การออกแบบติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริด

การออกแบบติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ บ้านไทยไฮเทค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีแผนภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การออกแบบระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ บ้านไทยไฮเทค มทส.

3.9 การออกแบบเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด

3.9.1 เครื่องวัดเครื่องที่ 1 วัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตจาก กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านอินเวอร์เตอร์แบบกริด

3.9.2 เครื่องวัดเครื่องที่ 2 วัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับภายในบ้านไทยไฮเทค

3.9.3 เครื่องวัดเครื่องที่ 3 มีคุณสมบัติการหักลบค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (Net meter) โดยวัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายจากกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านอินเวอร์เตอร์แบบกริดกรณี พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเหลือใช้งานจากภาระ หรือรับจากระบบจำหน่าย กฟภ. (กริดไลน์) กรณี พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับไม่พอใช้งานสำหรับภาระ

3.10 การออกแบบการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาลระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ มทส.

การเพิ่มพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริดให้สูงขึ้น จากการติดตั้งกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ (15°) ตลอดปี โดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ซึ่งแบ่งฤดูกาล และปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ดังต่อไปนี้

ฤดูหนาว (1 พฤศจิกายน - 28 กุมภาพันธ์) ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30° กับแนวระนาบ

ฤดูร้อน (1 มีนาคม - 30 เมษายน) ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15° กับแนวระนาบ

ปลายฤดูฝน (1 กันยายน - 31 ตุลาคม) ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15° กับแนวระนาบ

ฤดูฝน (1 พฤษภาคม - 31 สิงหาคม) ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับแนวระนาบ

Duffie and Beckman (1994) พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับ ทางเดินดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลและ การบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ในงานวิจัยนี้ได้สมมติฐานว่าไม่มีการบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

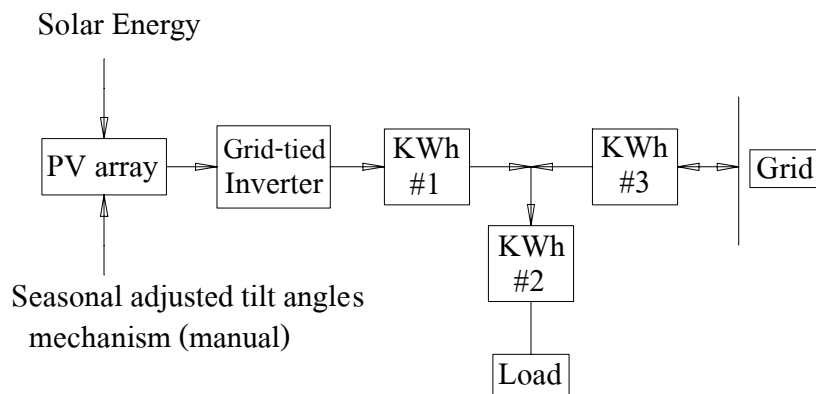
Strong and Scheller (1993) พบว่าการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิจารณาจากการรวมฟังก์ชันของมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลกรายปี (มุม Altitude [α]) และระยะเวลาของการฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกรายวัน (มุม Azimuth) รายปี (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ประกอบกัน

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ติดตั้งระบบต่อเชื่อมสู่กริดตามการออกแบบ

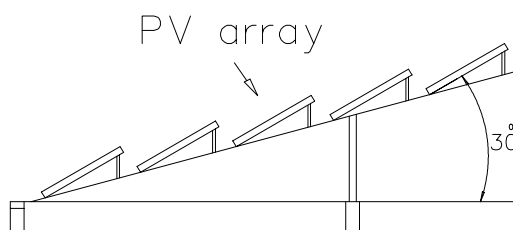
ติดตั้งการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด

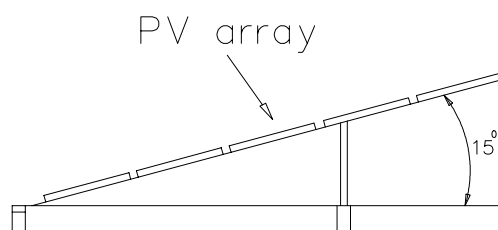
4.2 วัดกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ของเซลล์แสงอาทิตย์และปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล

วัดกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบระหว่างมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30° กับ 15° ในฤดูหนาว และ 0° กับ 15° ในฤดูฝน และปรับมุมเอียงแผงฯตามฤดูกาล ดังนี้ ฤดูหนาว ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30° กับแนวระนาบ แสดงดังภาพที่ 4.2



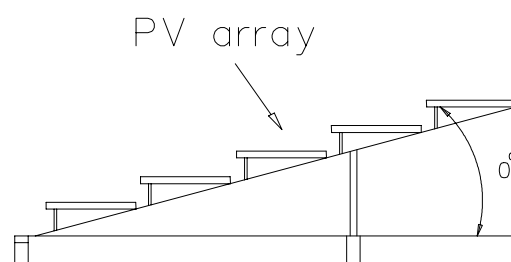
ภาพที่ 4.2 การปรับมุมเอียงกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูหนาว

ฤดูร้อนและปลายฤดูฝน ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15° กับแนวระนาบ แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูร้อน และปลายฤดูฝน

ฤดูฝน ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับแนวระนาบ แสดงดังภาพที่ 4.4



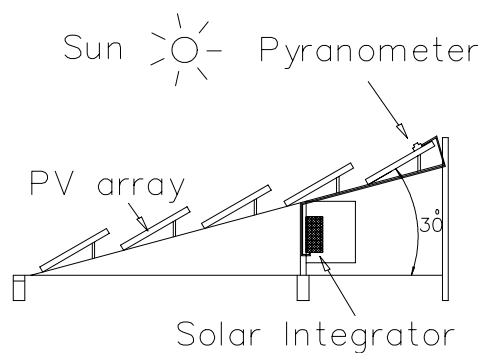
ภาพที่ 4.4 การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูฝน

วัสดุที่ใช้ในการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นท่อพีวีซี ขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 5 ท่อน นำมาตัดยาวท่อนละ 16.5 ซม. จำนวน 96 ท่อน ใช้สำหรับปรับมุมเอียงในฤดูหนาว และฤดูฝน

4.3 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตของระบบต่อเชื่อมตู้กริด

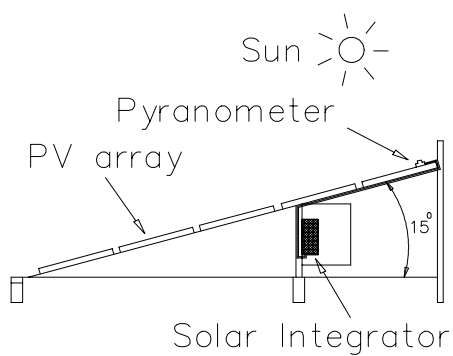
การวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตของระบบต่อเชื่อมตู้กริด ด้วยเครื่องรวมพลังงานแสงอาทิตย์ (มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ชุดรับแสงอาทิตย์ [Pyranometer] และ ชุดบันทึกค่าพลังงานแสงอาทิตย์สะสม [Solar Integrator]) โดยติดตั้งเครื่องวัด 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

ฤดูหนาว ปรับมุมเอียง Pyranometer 30° กับแนวระนาบ แสดงดังภาพที่ 4.5



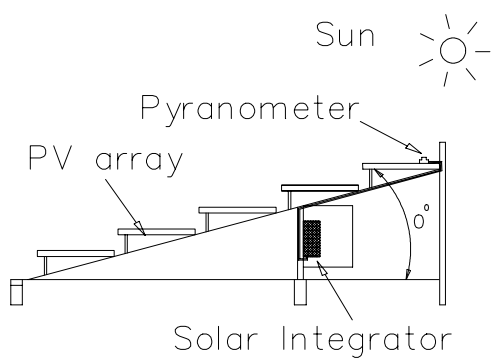
ภาพที่ 4.5 การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ฤดูหนาว

ฤดูร้อนและปลายฤดูฝน ปรับมุมเอียง Pyranometer 15° กับแนวระนาบ แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ฤดูร้อน

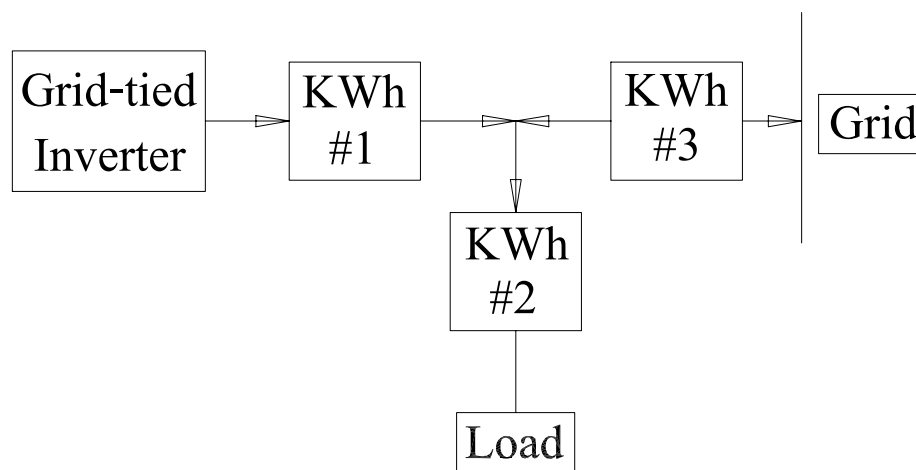
ฤดูฝน ปรับมุมเอียง Pyranometer เท่ากับแนวระนาบ แสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 การติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ฤดูฝน

4.4 การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด

ทำการทดลองด้วยวิธี Watthour method ระยะเวลา 1 ปี แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด

เครื่องวัดเครื่องที่ 1 วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านอินเวอร์เตอร์แบบกริด

เครื่องวัดเครื่องที่ 2 วัดภาระพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ณ บ้านไทยโฮเทค

เครื่องวัดเครื่องที่ 3 วัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ แลกเปลี่ยนระหว่างกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านอินเวอร์เตอร์แบบกริด กับระบบจำหน่าย กฟภ. (กริดไลน์)

4.5 การวัดประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304

หาค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์รุ่น Apollo G-304 โดยหาอัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตต่อพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต

4.6 การวัดประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมสู่กริด

หาค่าประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมสู่กริดโดยการวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตของระบบตามฤดูกาลและวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์วิธีเชิงเลขแบบเส้นตรง

4.7 อุปกรณ์ที่ใช้งาน

กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น MSX 83 จำนวน 48 แผง

อินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304 ขนาด 3.5 KW จำนวน 1 เครื่อง

กัปดักแรงดันเกิน รุ่น LS-211C ขนาด 20 KA จำนวน 1 ชุด

สายอลูมิเนียมหุ้มฉนวน ขนาด 50 มม. จำนวน 70 เมตร

ฟิวส์ป้องกันอินเวอร์เตอร์ ขนาด 20 A จำนวน 2 ชุด

เซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันอินเวอร์เตอร์ ขนาด 20 A จำนวน 2 ชุด

หลักดิน ϕ ขนาด 1.42 cm ยาว 2 เมตร จำนวน 4 ชุด

4.8 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ

Solar integrator จำนวน 1 เครื่อง

Datalogger multimeter รุ่น 2730 จำนวน 2 เครื่อง

Datalogger multimeter รุ่น 2732 จำนวน 1 เครื่อง

Computer จำนวน 2 เครื่อง

UPS จำนวน 1 เครื่อง

Watt-hour meter ขนาด 15 A จำนวน 3 เครื่อง

4.9 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ระยะเวลาในการดำเนินการเก็บข้อมูล พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต
รายวัน เป็นเวลา 1 ปี (พ.ศ.2544)

4.10 สถานที่เก็บรวบรวมข้อมูล

ณ บ้านไทยไฮเทค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ละติจูด 14.85° เหนือ)

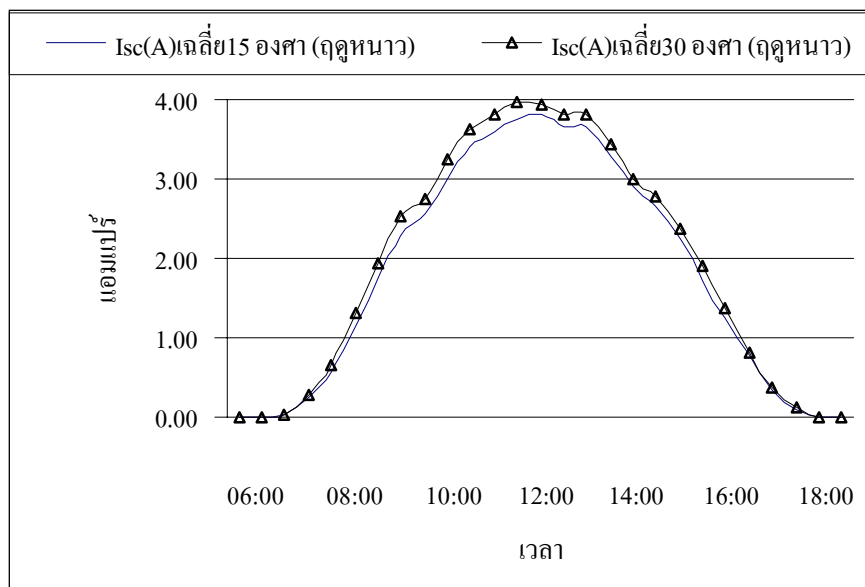
บทที่ 5

ผลการดำเนินการ

5.1 ผลการวัดกระแสลัดวงจร (Isc) ของเซลล์แสงอาทิตย์

5.1.1 เปรียบเทียบกระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (ฤดูหนาว)

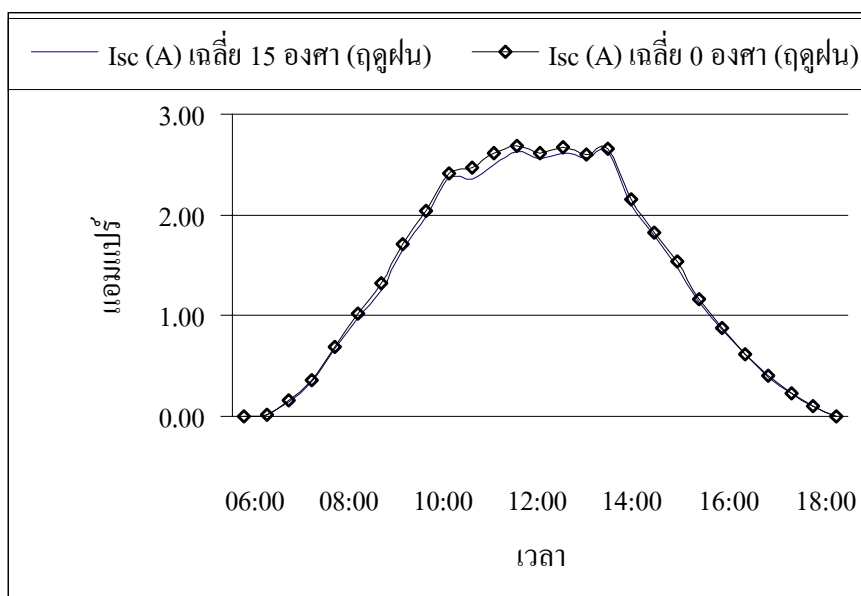
เมื่อปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30° กับ 15° แสดงดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูหนาว ระหว่างมุม 30° กับ 15°

5.1.2 เปรียบเทียบกระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (ฤดูฝน)

เมื่อปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0° กับ 15° แสดงดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบกระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ฤดูฝน ระหว่างมุม 0° กับ 15°

5.2 ผลการวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุต

การวัดพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตตามฤดูกาลด้วยเครื่องรวมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar integrator) ในระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมตู้กริด แบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาล ดังต่อไปนี้

5.2.1 ฤดูหนาว (ม.ค.-ก.พ.และพ.ย.-ธ.ค.) ปรับชุดรับแสง (Pyranometer) ทำมุม 30° กับแนวระนาบ

5.2.2 ฤดูร้อน (มี.ค.-เม.ย.) และปลายฤดูฝน (ก.ย.-ต.ค.) ปรับชุดรับแสง (Pyranometer) ทำมุม 15° กับแนวระนาบ

5.2.3 ฤดูฝน (พ.ค.-ส.ค.) ปรับชุดรับแสง (Pyranometer) เท่ากับแนวระนาบ

พลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งเดือน เมื่อปรับมุมเอียงชุดรับแสง (Pyranometer) ตามฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตรายวันเฉลี่ยทั้งเดือน เมื่อปรับหาค่ารับแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

เดือน-ปี	พลังงานแสงอาทิตย์ (KWh)/m ²
Jan-01	151.9
Feb-01	140.9
Mar-01	133.9
Apr-01	171.6
May-01	150.4
Jun-01	151.7
Jul-01	141.6
Aug-01	132.6
Sep-01	138.2
Oct-01	139.0
Nov-01	161.9
Dec-01	172.1

การหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งเดือนของระบบต่อเชื่อมตู้กริด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ พื้นที่รับแสงทั้งหมดของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์คูณด้วยพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งเดือน (KWh/m²)

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์} &= (11.4)(15.2) && \text{cm}^2 \\ &= 173.28 && \text{cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{จำนวนเซลล์ของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง} = 36 \quad \text{เซลล์}$$

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง} &= (173.28)(36) && \text{cm}^2 \\ &= 6238.08 && \text{cm}^2 \\ &= 0.6238 && \text{m}^2\end{aligned}$$

$$\text{จำนวนแผงของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์} = 48 \quad \text{แผง}$$

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่รับแสงของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์} &= (0.6238)(48) && \text{m}^2 \\ &= 29.94 && \text{m}^2\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนจ่ายให้ระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ ตารางที่ 5.1
คูณด้วยพื้นที่รับแสงของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตเฉลี่ยรายเดือนจ่ายให้ระบบต่อเชื่อมตู้กริด

เดือน-ปี	พลังงานแสงอาทิตย์ (KWh)
Jan-01	4547.9
Feb-01	4218.6
Mar-01	4009.0
Apr-01	5137.7
May-01	4503.0
Jun-01	4541.9
Jul-01	4239.5
Aug-01	3970.0
Sep-01	4137.7
Oct-01	4161.7
Nov-01	4847.3
Dec-01	5152.7

5.3 ผลการวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสะสมเอาต์พุตที่ได้จากระบบต่อเชื่อมตู้กริด

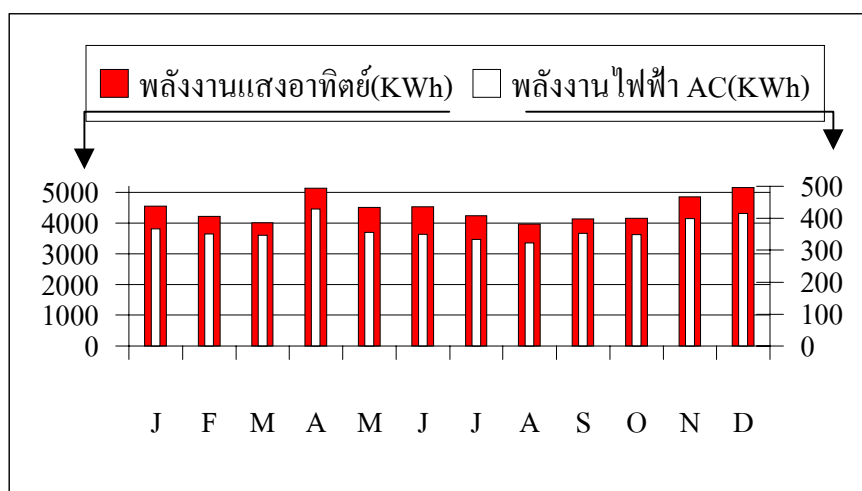
ค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตสะสมรายเดือนจากระบบต่อเชื่อมตู้กริด เมื่อมีการ
ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มทส. แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตสะสมรายเดือนจากระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ มทส.

เดือน-ปี	พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ(KWh)
Jan-01	366.7
Feb-01	350.6
Mar-01	347.5
Apr-01	429.4
May-01	355.9
Jun-01	350.3
Jul-01	333.2
Aug-01	321.9
Sep-01	353.2
Oct-01	348.4
Nov-01	398.5
Dec-01	415.3

การเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต ของระบบต่อเชื่อมสู่กริด แสดงดังภาพที่ 5.3

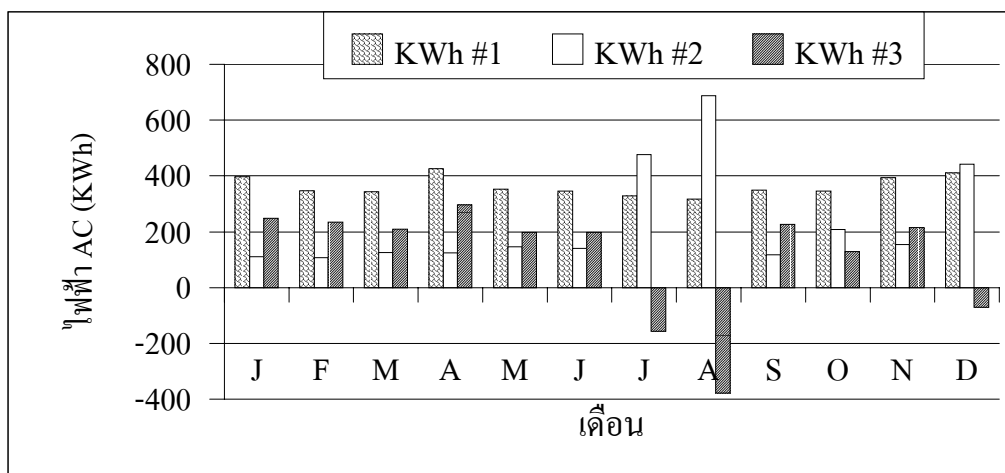
การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต ด้วยวิธี Watthour meter ประกอบด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (Kilowatthour meter) จำนวน 3 ชุด เปรียบเทียบค่าระหว่างพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จาก กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ (KWh #1), ภาระภายในบ้านไทยไฮเทค (KWh #2) และพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่หักล้าง (Net meter) จากระบบกริดไลน์ กฟภ. (KWh #3) ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตรายปีจากเครื่องวัด (Kilowatthour meter) จำนวน 3 ชุด แสดงดังตารางที่ 5.4 และ ภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.3 กราฟพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ
เอาต์พุตรายเดือนของระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ มทส.

ตารางที่ 5.4 การวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตรายเดือนด้วยวิธี Watthour meter

เดือน-ปี	KWh # 1	KWh # 2	KWh # 3
Jan-01	396.4	109.5	248.3
Feb-01	346.4	106.9	235.0
Mar-01	342.8	125.9	209.9
Apr-01	424.9	123.3	296.1
May-01	351.2	146.1	197.2
Jun-01	345.8	140.2	198.2
Jul-01	328.5	475.3	-156.0
Aug-01	317.2	686.9	-378.6
Sep-01	348.7	116.3	225.9
Oct-01	344.5	207.3	128.5
Nov-01	394.0	153.9	214
Dec-01	410.8	441.7	-70.8

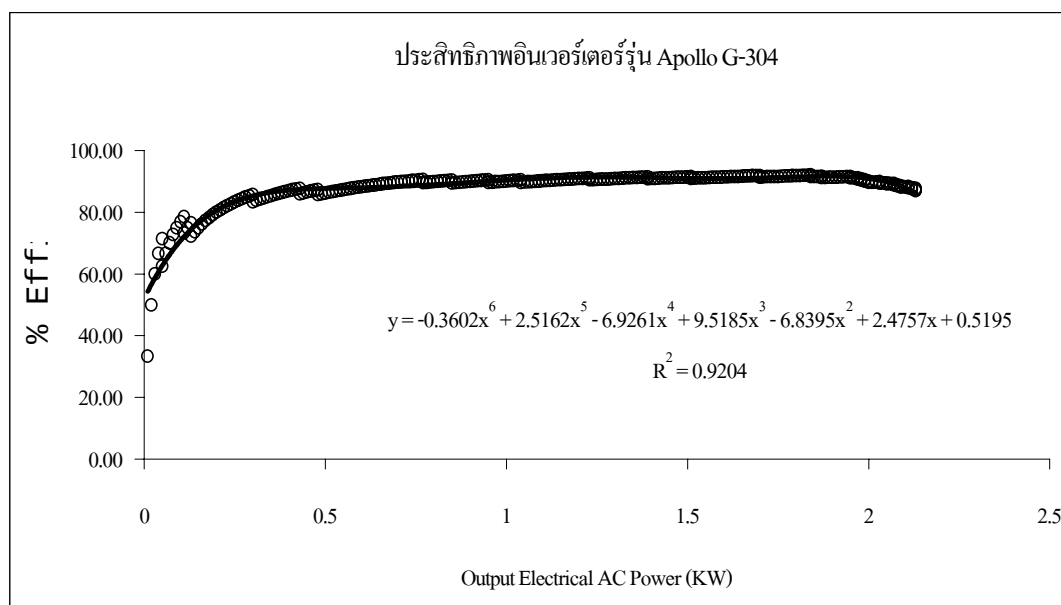


ภาพที่ 5.4 กราฟการวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต วิธี Watthour meter

5.4 ผลการวัดประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต และไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ง)

ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304 แสดงดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304

5.5 ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมสู่กริด

การหาค่าของประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมสู่กริด (η)

η เท่ากับ พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับรายวันเฉลี่ยเอาต์พุตหารด้วย พลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยอินพุต คูณด้วย 100

พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตระบบต่อเชื่อมสู่กริด เท่ากับ พื้นที่รับแสงทั้งหมดของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์คูณด้วยพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งเดือน

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์} &= (11.4)(15.2) && \text{cm}^2 \\
 &= 173.28 && \text{cm}^2 \\
 \text{จำนวนเซลล์ของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง} &= 36 && \text{เซลล์} \\
 \text{พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง} &= (173.28)(36) && \text{cm}^2 \\
 &= 6238.08 && \text{cm}^2 \\
 &= 0.6238 && \text{cm}^2 \\
 \text{จำนวนแผงของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์} &= 48 && \text{แผง} \\
 \text{พื้นที่รับแสงของกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์} &= (0.6238)(48) && \text{cm}^2 \\
 &= 29.94 && \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง เลือก พลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยเดือน กุมภาพันธ์ เท่ากับ 5.03 KWh/m^2

พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับรายวันเฉลี่ยเดือน กุมภาพันธ์ เท่ากับ 12.52 KWh

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยอินพุต} &= (5.03)(29.94) && \text{KWh} \\
 &= 150.6 && \text{KWh} \\
 \text{พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับรายวันเฉลี่ยเอาต์พุต} &= 12.52 && \text{KWh} \\
 \eta &= (12.52)/(150.6)(100) \\
 &= 8.31 \quad \%
 \end{aligned}$$

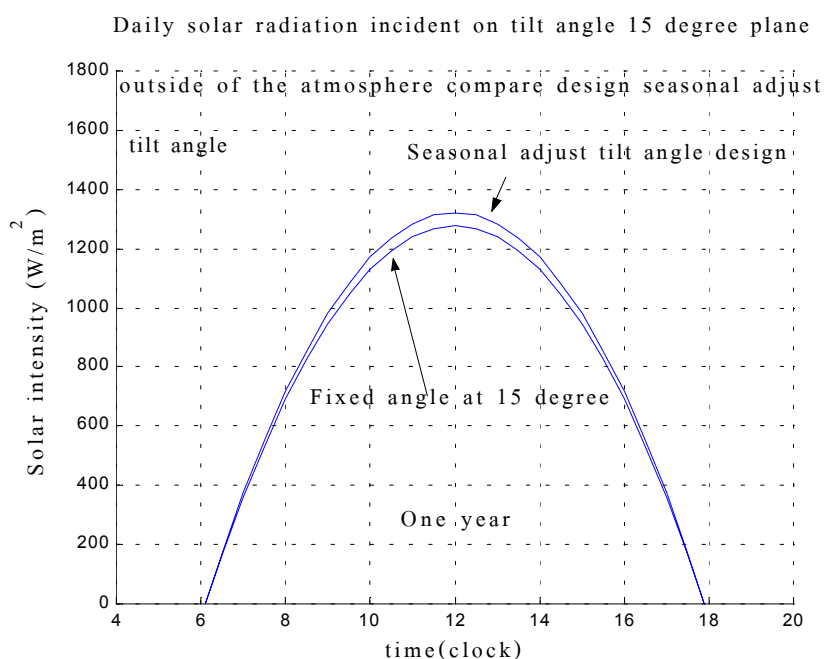
ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพรายเดือนระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ มทส.

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
η	8.06	8.31	8.67	8.36	7.91	7.71
เดือน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
η	7.86	8.11	8.54	8.37	8.22	8.06

5.6 การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อปรับมุมเอียงแผง ๑ ตามฤดูกาล

Hoffman (1992) วิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ฉายแสงมายังโลกภายใต้สมมติฐานว่าไม่มี การบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ อาศัยหลักการรวมพื้นที่ได้สมการทางคณิตศาสตร์จากการ วิเคราะห์เชิงเลขของสมการโพลิโนเมียลกำลังสองของความเข้มแสงอาทิตย์ หากความแตกต่าง ระหว่างพื้นที่ของมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ กับการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสง อาทิตย์ตามฤดูกาล (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ฉ)

ณ มทส. (ละติจูด 14.85° เหนือ) การวิเคราะห์เชิงเลขของสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง มี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ฉายแสงมายังโลกเฉลี่ยรายปี ระหว่างมุมเอียง กลุ่มแผงแสงอาทิตย์ 15° คงที่ตลอดปี เป็น $y = -36.6x^2 + 878.4x - 3995.5$ คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 10.03 KWh/m^2 พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 3662.05 KWh/m^2 กับ การปรับมุมเอียงกลุ่มแผง แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เป็น $y = -37.9x^2 + 910.2x - 4139.9$ คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.40 KWh/m^2 พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 3795.27 KWh/m^2 คิดเป็นพลังงานเพิ่มขึ้นต่อวันเท่ากับ 0.37 KWh/m^2 พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 133.23 KWh/m^2 คิดเป็นพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นทั้งปี เท่ากับ 3.64% แสดงดังภาพที่ 5.6

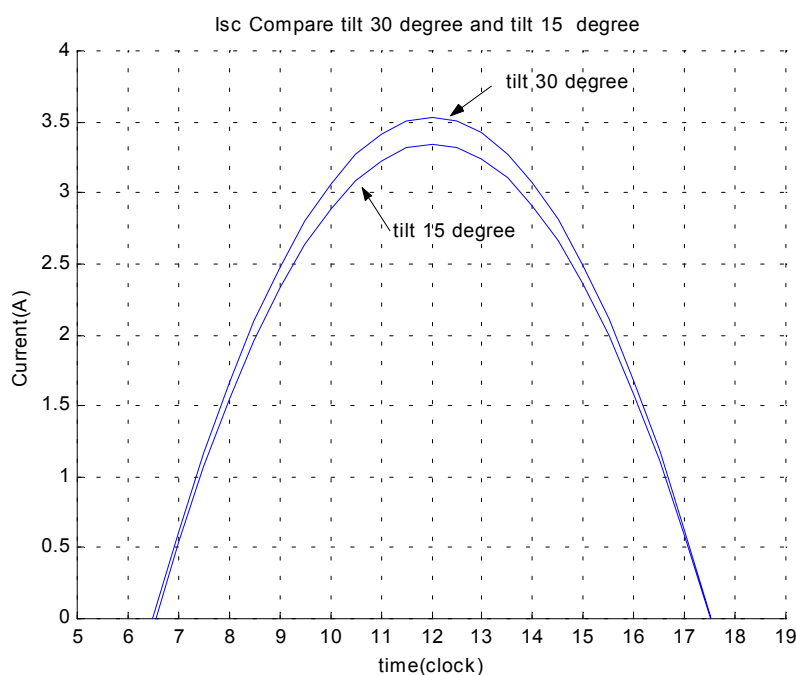


ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์ที่ฉายแสงมายังโลกรายวันเฉลี่ยทั้งปี ระหว่างมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ 15° กับ ปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

5.7 การวิเคราะห์กระแสลัดวงจร (Isc) เมื่อปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล

5.7.1 ค่ากระแสลัดวงจร (Isc) ของเซลล์แสงอาทิตย์ (ฤดูหนาว)

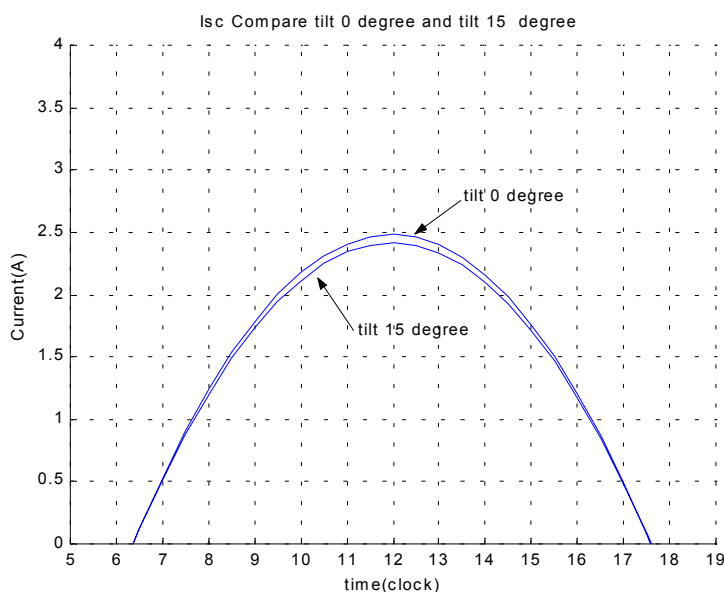
เมื่อปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับมุม 30° กับ 15° มีสมการพหุนามกำลังสองเป็น $y = -0.12x^2 + 2.89x - 13.73$ และ $y = -0.12x^2 + 2.76x - 13.14$ ค่ากระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 6.5 % แสดงดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจร (Isc) เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (ฤดูหนาว) เมื่อปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่าง 30° กับ 15°

5.7.2 ค่ากระแสลัดวงจร (Isc) ของเซลล์แสงอาทิตย์ (ฤดูฝน)

เมื่อปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบ มุม 0° กับ 15° มีสมการพหุนามกำลังสองเป็น $y = -0.08x^2 + 1.91x - 8.9$ และ $y = -0.08x^2 + 1.87x - 8.72$ ค่ากระแสลัดวงจรเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 2.8 % แสดงดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจร (Isc) เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (ฤดูฝน) เมื่อปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่าง 0° กับ 15°

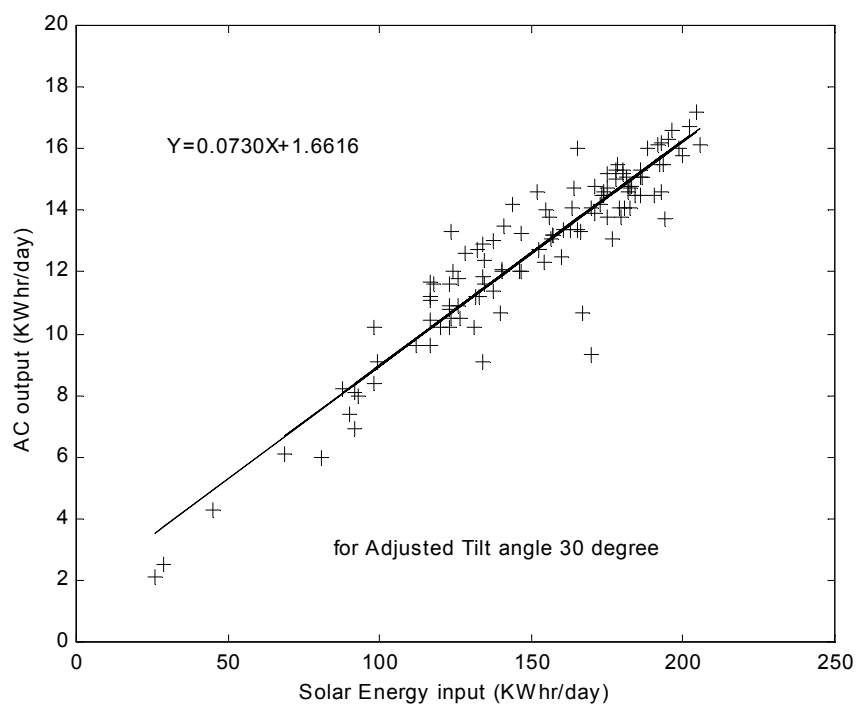
5.8 การวิเคราะห์ระบบต่อเชื่อมตู้กริดโดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาล

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตและพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต ที่ได้จากการทดลองของระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส. ที่ระบบกำลังกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 2.8 กิโลวัตต์ ที่ 800 W/m^2 AM 1.5 Tcell 49°C เมื่อปรับมุมเอียงของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น 3 ระดับ (30° , 15° และ 0° หรือแนวระนาบ) วิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์วิธีเชิงเลขแบบเส้นตรง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

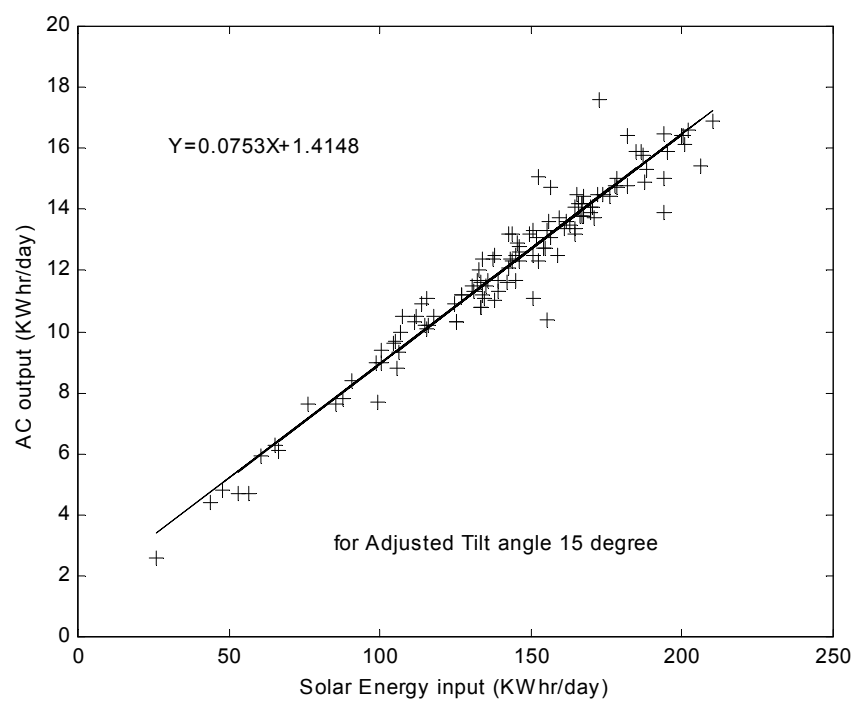
5.8.1 ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์มุม 30° กับแนวระนาบ ทำการวิเคราะห์เชิงเลขแบบเส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 5.9

5.8.2 ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์มุม 15° กับแนวระนาบ ทำการวิเคราะห์เชิงเลขแบบเส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 5.10

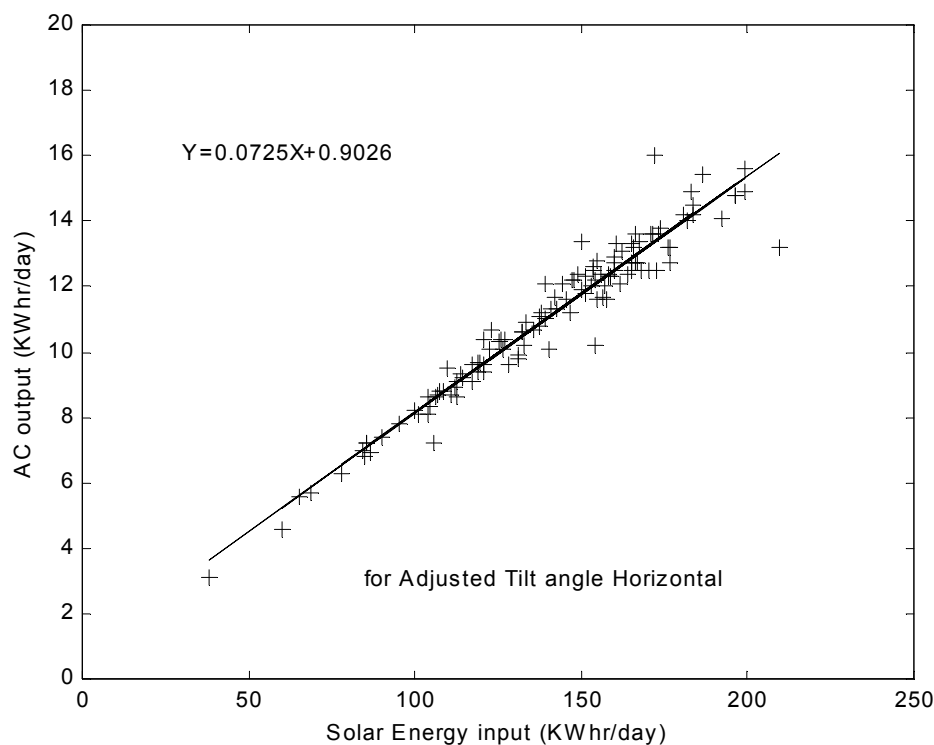
5.8.3 ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แนวระนาบ ทำการวิเคราะห์เชิงเลขแบบเส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต แสดงดังภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.9 พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มุมเอียง 30°



ภาพที่ 5.10 พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มุมเอียง 15°



ภาพที่ 5.11 พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่เนวระนาบ

5.9 การคิดค่าไฟฟ้า

การคิดค่าไฟฟ้าระบบต่อเชื่อมสู่กริด โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนประเภท 6 ณ มทส. มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.9.1 ค่าไฟฟ้าฐาน หมายถึง ไฟฟ้าที่แยกตามกลุ่มผู้ใช้ไฟ ประเภทต่างๆ โดยสะท้อนถึงต้นทุนค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้า, ค่าระบบสายส่งไฟฟ้า, ค่าใช้จ่ายในการบริการและค่าผลิตพลังงานไฟฟ้า ภายใต้สัมมุติฐานความต้องการใช้ไฟฟ้า อัตราแลกเปลี่ยนและราคาเชื้อเพลิงประกอบด้วย

ค่าพลังงานไฟฟ้า 1-150 KWh หน่วยละ 1.8047 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า 151-400 KWh หน่วยละ 2.7781 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า 400 KWh ขึ้นไป หน่วยละ 2.978 บาท

ค่าบริการ 81.8 บาท

5.9.2. ค่าไฟฟ้าแปรผัน หรือ FT (Energy adjustment charge) หมายถึง ค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้ในค่าไฟฟ้าฐานอันเนื่องมาจากการต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าที่

นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้าฯ ได้แก่ ค่าเชื้อเพลิง อัตราแลกเปลี่ยน เงินตราต่างประเทศ และอัตราเงินเฟ้อ ซึ่งค่า FT จะมีการปรับทุกๆ 4 เดือน

5.9.3. ค่าภาษี 7%

เลือก เดือน เมษายน 2544 จำนวนพลังงานไฟฟ้าสะสมที่วัดได้ 429.4 KWh

ไฟฟ้าฐานมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าพลังงานไฟฟ้า 1-150 KWh หน่วยละ 1.8047 บาท เป็นเงิน 270.71 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า 151-400 KWh หน่วยละ 2.7781 บาท เป็นเงิน 694.53 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า 400 KWh ขึ้นไป หน่วยละ 2.978 บาท เป็นเงิน 87.55 บาท

ค่าบริการ 40.9 บาท

รวมค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน เดือน เม.ย. เป็นเงิน 1093.68 บาท

ค่า (FT) หน่วยละ 0.2444 บาท เป็นเงิน 104.95 บาท

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% เป็นเงิน 76.56 บาท

รวมค่าไฟฟ้าทั้งสิ้นเดือน เม.ย. เป็นเงิน 1275.19 บาท

ค่าไฟฟ้าของระบบต่อเชื่อมสู่กริดรายเดือน ณ มทส. ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบังคับของเมฆและชั้นบรรยากาศแสดงดังตารางที่ 5.6 (ดูเพิ่มเติมภาคผนวก ข)

ตารางที่ 5.6 พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและค่าไฟฟ้าระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงฯ คงที่ (15°) กับการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาล ตามสมมติฐาน

เดือน	พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (KWh)	ค่าไฟฟ้าที่มุมแผงฯ	ค่าไฟฟ้าที่ปรับมุม
	มุมคงที่ 15°	ปรับมุมตามฤดูกาล	คงที่ 15° (บาท)
			แผงฯ ตามฤดูกาล (บาท)
ม.ค.- ก.พ. 2544	686.4	717.3	1899.00
มี.ค.-เม.ย. 2544	776.9	776.9	2280.61
พ.ค.-มิ.ย. 2544	665.0	706.2	1923.09
ก.ค.-ส.ค. 2544	625.4	655.1	1803.91
ก.ย.-ต.ค. 2544	701.6	701.6	2035.77
พ.ย.-ธ.ค. 2544	764.1	813.8	2220.36
รวม	4219.5	4370.9	12162.74
			12645.23

ค่าไฟฟ้าของระบบต่อเชื่อมผู้กริรายเดือน ณ มทส. ตามเปอร์เซ็นต์ของกระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นระหว่างมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ 15°ตลอดปี กับการปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามฤดูกาล ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและค่าไฟฟ้าระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงฯ คงที่ (15°) กับ การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงฯ ตามฤดูกาล ตามเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจร

เดือน	พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (KWh)		ค่าไฟฟ้าที่มุมแผงฯ	ค่าไฟฟ้าที่ปรับมุม
	มุมคงที่15 ⁰	ปรับมุมตามฤดูกาล	คงที่15 ⁰ (บาท)	แผงฯ ตามฤดูกาล (บาท)
ม.ค.- ก.พ.2544	676.1	717.3	1867.05	1992.97
มี.ค.-เม.ย. 2544	776.9	776.9	2280.61	2280.61
พ.ค.-มิ.ย. 2544	689.1	706.2	2001.21	2056.31
ก.ค.-ส.ค. 2544	636.8	655.1	1840.61	1900.12
ก.ย.-ต.ค. 2544	701.6	701.6	2035.77	2035.77
พ.ย.-ธ.ค. 2544	761.1	813.8	2210.54	2379.44
รวม	4241.6	4370.9	12235.80	12645.23

5.10 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต มทส.กับ สถานีไฟฟ้าวังหมี่

ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต มทส.กับ สถานีไฟฟ้าวังหมี่ ตั้งแต่ วันที่ 1 มีนาคม 2544 ถึง 28 ธันวาคม 2544 โดยสถานีไฟฟ้าวังหมี่ปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ (15°) ตลอดปี ได้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตทั้งสิ้น 3447.1 KWh และมทส. ปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ได้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตทั้งสิ้น 3558.56 KWh ดังนั้น มทส. ได้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตมากกว่าสถานีไฟฟ้าวังหมี่ เท่ากับ 111.46 KWh คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น 2.23 %

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาการออกแบบและติดตั้งระบบต่อเชื่อมตู้กริดโดยการฟื้นฟูระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลิกใช้งาน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ละติจูด 14.85° เหนือ) ให้สามารถใช้งานได้แบบต่อเชื่อมตู้กริด โดยการปรับมุมเอียงกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลเพื่อให้ได้ผลิตพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุตสูงขึ้นกว่า การติดตั้งกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์แบบมุมคงที่ (15°) ตลอดปี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1.1 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบต่อเชื่อมตู้กริด เมื่อมีการปรับมุมเอียงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล มีค่าเท่ากับ 8.2 %

6.1.2 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G – 304 ขนาด 3.5 KW เท่ากับ 88 %

6.1.3 ประสิทธิภาพเฉลี่ยเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบต่อเชื่อมตู้กริด เมื่อมีการปรับมุมเอียงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เท่ากับ 9.3 %

6.1.4 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อปรับมุมเอียงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลเปรียบเทียบกับมุมเอียงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ 15° ตลอดปี มีรายละเอียดดังนี้

ฤดูหนาวให้กระแสลัดวงจรต่อแผง เพิ่มขึ้น 6.5 %

ฤดูฝนให้กระแสลัดวงจรต่อแผง เพิ่มขึ้น 2.8 %

6.1.5 พลังงานแสงอาทิตย์อินพุตของระบบต่อเชื่อมตู้กริด ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ เปรียบเทียบระหว่างการปรับมุมเอียงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลกับมุมเอียงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ 15° ตลอดปี ได้พลังงานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.64 % และพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จากระบบต่อเชื่อมตู้กริดเมื่อปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ปี 2544 เท่ากับ 4371 KWh คิดเป็นเงิน 12,645.23 บาท

การออกแบบติดตั้งกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน สามารถปรับมุมเอียงของแผง ๆ ได้ สะดวกกว่าการติดตั้งกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และสามารถปรับกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้รับแสงอาทิตย์โดยขนานกับทางเดินของดวงอาทิตย์ในรอบวันได้ตามต้องการทำให้ได้รับ

พลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดในเวลาเที่ยงวัน ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ปริมาณมากในรอบวัน เริ่มตั้งแต่เวลาประมาณ 09.00 – 15.00 นาฬิกา ดังนั้น การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตเพิ่มขึ้นด้วย แต่การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน มีข้อเสีย คือ ต้องใช้สายไฟฟ้าเพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์มายังอินเวอร์เตอร์ยาวกว่า แบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งบนพื้นดินมากขึ้นในกรณีติดตั้งตามบ้านพักอาศัย และต้องคำนึงถึงผลกระทบจากการบดบังแสงอาทิตย์บริเวณบ้านใกล้เคียงด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ในการวิจัยครั้งต่อไป เห็นควรวิจัยเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิ ส่งผลต่อระดับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสภาพอากาศแห้งแล้งเป็นส่วนใหญ่และมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (กุมภาพันธ์ 2543). แผนและแนวทางการวิจัยและพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ (พ.ศ.2544-พ.ศ.2545). คณะทำงานจัดทำนโยบายแผนและแนวทาง.
- ชาย ชีวะเกตุ. (เมษายน 2544). เป้าหมายโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ.2544 - พ.ศ.2545 (แผน9). สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ.
- ชลิต ดำรงรัตน์. (2533). การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. (เล่มที่1). กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ธนบูรณ์ ศศิกานูเดช. (2538). การป้องกันระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ธนบูรณ์ ศศิกานูเดช. (2539). การออกแบบระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- พรเลิศ ยอดประทุม. (เมษายน 2544). การต่อลงดิน (2). ใน การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมการส่งและจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (หน้า 1- 13) กรุงเทพฯ: ชมรมวิศวสถาปัตย์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. (2543). คู่มือการใช้ Matlab ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: อินโฟเพรส.
- Buaxkhiew, C. and Jivacate, C. (2000). The Role of PV in Thailand's Electricity system. **The National energy Policy Office (NEPO).**
- Goswami, D.Y., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). **Principles of solar engineering.** (2nd ed.). Philadelphia: George H. Buchanan Co.
- Hoffman, J.D. (1992). **Numerical Methods for Engineers and Scientists.** Singapore: Mc Graw - Hill.
- Jivacate, C. (2000). Photovoltaic (PV) Technology. **Presented at 7th APEC Coal Flow Seminar.** Bangkok, Thailand.
- Jivacate, C., et al. (1999). Thailand's First Cost - Share PV Roof-Top Grid Connected Pilot Project. **Presented at the 11th International Photovoltaic Science and Engineering Conference.** Sept 1999. (PV-Sec 11). Hokkaido, Japan.

- Pongchawee, D., et al. (2000). Operation of a PV Grid Connected Power system. **First Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 1st-2nd**. (pp 25 - 30). Chiang Mai, Thailand.
- Strong, S. J. and Scheller, W. G. (1993). **The solar electric house**. (3rd ed.). Massachusetts: Still River.
- Wenham, S.R., Green, M.A. and Watt, M.E. (n.d.). **Applied photovoltaics**. Australia: Centre for Photovoltaic Devices and systems.

ภาคผนวก ก

ตารางค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกภายใต้สมมติฐานว่า
ไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ณ มทศ.

ตารางที่ ก.1 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) ที่เวลาต่างๆในรอบวัน ที่แนวระนาบ ณ มทส.

เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
06:00	0	0	3.34	56.40	109.60	132.37
06:30	36.74	88.08	157.93	224.97	269.10	286.10
07:00	200.13	256.74	328.57	390.67	425.89	437.21
07:30	357.89	419.59	493.33	550.65	577.27	583.12
08:00	507.32	573.84	649.39	702.19	720.66	721.32
08:30	645.86	716.85	794.08	842.69	853.60	849.45
09:00	771.14	846.16	924.91	969.73	973.81	965.31
09:30	881.00	959.57	1039.66	1081.15	1079.24	1066.92
10:00	973.58	1055.13	1136.34	1175.03	1168.07	1152.53
10:30	1047.28	1131.21	1213.31	1249.77	1238.79	1220.70
11:00	1100.85	1186.50	1269.25	1304.09	1290.19	1270.24
11:30	1133.36	1220.06	1303.21	1337.06	1321.39	1300.30
12:00	1144.26	1231.31	1314.59	1348.11	1331.85	1310.38
12:30	1133.36	1220.06	1303.21	1337.06	1321.39	1300.30
13:00	1100.85	1186.50	1269.25	1304.09	1290.19	1270.24
13:30	1047.28	1131.21	1213.31	1249.77	1238.79	1220.70
14:00	973.58	1055.13	1136.34	1175.03	1168.07	1152.53
14:30	881.00	959.57	1039.66	1081.15	1079.24	1066.92
15:00	771.14	846.16	924.91	969.73	973.81	965.31
15:30	645.86	716.85	794.08	842.69	853.60	849.45
16:00	507.32	573.84	649.39	702.19	720.66	721.32
16:30	357.89	419.59	493.33	550.65	577.27	583.12
17:00	200.13	256.74	328.57	390.67	425.89	437.21
17:30	36.74	88.08	157.93	224.97	269.10	286.10
18:00	0	0	3.34	56.40	109.60	132.37

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

เวลา	ก.ก.	ส.ก.	ก.ย.	ต.ก.	พ.ย.	ธ.ก.
06:00	121.39	77.70	15.41	0	0	0
06:30	277.23	241.55	181.65	109.65	48.73	21.01
07:00	430.41	402.60	349.42	277.88	212.63	181.92
07:30	578.31	558.10	511.41	440.32	370.87	337.29
08:00	718.39	705.38	664.85	594.17	520.76	484.45
08:30	848.27	841.94	807.10	736.81	659.72	620.88
09:00	965.72	965.42	935.73	865.79	785.38	744.26
09:30	1068.72	1073.71	1048.54	978.91	895.59	852.45
10:00	1155.51	1164.96	1143.60	1074.23	988.45	943.62
10:30	1224.60	1237.60	1219.27	1150.12	1062.38	1016.21
11:00	1274.82	1290.40	1274.27	1205.27	1116.11	1068.96
11:30	1305.29	1322.44	1307.65	1238.74	1148.72	1100.97
12:00	1315.51	1333.19	1318.84	1249.96	1159.65	1111.71
12:30	1305.29	1322.44	1307.65	1238.74	1148.72	1100.97
13:00	1274.82	1290.40	1274.27	1205.27	1116.11	1068.96
13:30	1224.60	1237.60	1219.27	1150.12	1062.38	1016.21
14:00	1155.51	1164.96	1143.60	1074.23	988.45	943.62
14:30	1068.72	1073.71	1048.54	978.91	895.59	852.45
15:00	965.72	965.42	935.73	865.79	785.38	744.26
15:30	848.27	841.94	807.10	736.81	659.72	620.88
16:00	718.39	705.38	664.85	594.17	520.76	484.45
16:30	578.31	558.10	511.41	440.32	370.87	337.29
17:00	430.41	402.60	349.42	277.88	212.63	181.92
17:30	277.23	241.55	181.65	109.65	48.73	21.01
18:00	121.39	77.70	15.41	0	0	0

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

เวลา	พ.ค.-มิ.ย.	ก.ค.-ส.ค.	พ.ค.-ส.ค.	ม.ค.-ธ.ค.
06:00	120.98	99.55	110.27	43.02
06:30	227.60	259.39	268.49	161.90
07:00	431.55	416.50	424.03	324.51
07:30	580.20	568.20	574.20	481.51
08:00	720.99	711.89	716.44	630.23
08:30	851.52	845.11	848.31	768.10
09:00	969.56	965.57	967.56	892.78
09:30	1073.08	1071.21	1072.14	1002.12
10:00	1160.30	1160.23	1160.27	1094.25
10:30	1229.75	1231.10	1230.42	1167.60
11:00	1280.21	1282.61	1281.41	1220.91
11:30	1310.85	1313.87	1312.36	1253.27
12:00	1321.11	1324.35	1322.73	1264.11
12:30	1310.85	1313.87	1312.36	1253.27
13:00	1280.21	1282.61	1281.41	1220.91
13:30	1229.75	1231.10	1230.42	1167.60
14:00	1160.30	1160.23	1160.27	1094.25
14:30	1073.08	1071.21	1072.14	1002.12
15:00	969.56	965.57	967.56	892.78
15:30	851.52	845.11	848.31	768.10
16:00	720.99	711.89	716.44	630.23
16:30	580.20	568.20	574.20	481.51
17:00	431.55	416.50	424.03	324.51
17:30	277.60	259.30	268.49	161.90
18:00	120.98	99.55	110.27	43.02

ตารางที่ ก.2 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) ที่เวลาต่างๆในรอบวัน มุม 15° กับแนวระนาบ ณ มทส.

เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
06:00	0	0	3.42	55.57	103.76	122.87
06:30	42.20	97.04	164.88	222.50	254.96	265.58
07:00	230.42	283.37	343.45	386.59	403.58	405.85
07:30	412.15	463.27	515.88	545.02	547.09	541.29
08:00	584.28	633.67	679.19	695.09	683.01	669.58
08:30	743.87	791.66	830.60	834.22	809.02	788.52
09:00	888.18	934.52	967.52	960.02	922.98	896.07
09:30	1014.74	1059.80	1087.59	1070.36	1022.91	990.39
10:00	1121.38	1165.37	1188.77	1163.33	1107.12	1069.87
10:30	1206.28	1249.42	1269.32	1237.35	1174.16	1133.15
11:00	1267.98	1310.50	1327.86	1291.14	1222.88	1179.13
11:30	1305.43	1347.58	1363.39	1323.79	1252.46	1207.04
12:00	1317.99	1360.00	1375.31	1334.73	1262.37	1216.40
12:30	1305.43	1347.58	1363.39	1323.79	1252.46	1207.04
13:00	1267.98	1310.50	1327.86	1291.14	1222.88	1179.13
13:30	1206.28	1249.42	1269.32	1237.35	1174.16	1133.15
14:00	1121.38	1165.37	1188.77	1163.33	1107.12	1069.87
14:30	1014.74	1059.80	1087.59	1070.36	1022.91	990.39
15:00	888.18	934.52	967.52	960.02	922.98	896.07
15:30	743.87	791.66	830.60	834.22	809.02	788.52
16:00	584.28	633.67	679.19	695.09	683.01	669.58
16:30	412.15	463.27	515.88	545.02	547.09	541.29
17:00	230.42	283.37	343.45	386.59	403.58	405.85
17:30	42.20	97.04	164.88	222.50	254.96	265.58
18:00	0	0	3.42	55.57	103.76	122.87

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

เวลา	ก.ก.	ส.ก.	ก.ย.	ต.ก.	พ.ย.	ธ.ก.
06:00	113.73	75.37	15.55	0	0	0
06:30	259.82	234.80	185.91	118.65	55.39	24.53
07:00	403.42	391.52	357.92	301.25	242.24	212.42
07:30	542.07	542.83	524.01	477.55	422.65	393.84
08:00	673.39	686.15	681.33	644.54	593.54	565.67
08:30	795.15	819.03	827.19	799.36	751.96	724.98
09:00	905.25	939.19	959.07	939.35	895.23	869.04
09:30	1001.81	1044.56	1074.74	1062.13	1020.87	995.38
10:00	1083.17	1133.35	1172.21	1165.59	1126.73	1101.84
10:30	1147.94	1204.04	1249.80	1247.95	1211.02	1186.59
11:00	1195.02	1255.42	1306.19	1307.81	1272.27	1248.19
11:30	1223.59	1286.60	1340.42	1344.14	1309.45	1285.57
12:00	1233.17	1297.05	1351.89	1356.32	1321.91	1298.11
12:30	1223.59	1286.60	1340.42	1344.14	1309.45	1285.57
13:00	1195.02	1255.42	1306.19	1307.81	1272.27	1248.19
13:30	1147.94	1204.04	1249.80	1247.95	1211.02	1186.59
14:00	1083.17	1133.35	1172.21	1165.59	1126.73	1101.84
14:30	1001.81	1044.56	1074.74	1062.13	1020.87	995.38
15:00	905.25	939.19	959.07	939.35	895.23	869.04
15:30	795.15	819.03	827.19	799.36	751.96	724.98
16:00	673.39	686.15	681.33	644.54	593.54	565.67
16:30	542.07	542.83	524.01	477.55	422.65	393.84
17:00	403.42	391.52	357.92	301.25	242.24	212.42
17:30	259.82	234.80	185.91	118.65	55.39	24.53
18:00	113.73	75.37	15.55	0	0	0

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

เวลา	ม.ค.-ก.พ.	มี.ค.-เม.ย.	พ.ค.-มิย.	ก.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ต.ค.	พ.ย.-ธ.ค.
06:00	0	29.49	113.32	94.55	7.78	0
06:30	69.62	193.69	260.27	247.31	152.28	39.96
07:00	256.89	365.02	404.72	397.47	329.59	227.33
07:30	437.71	530.45	544.19	542.45	500.78	408.25
08:00	608.98	687.14	676.30	679.77	662.93	579.60
08:30	767.76	832.41	798.77	807.09	813.27	738.47
09:00	911.35	963.77	909.52	922.22	949.21	882.13
09:30	1037.27	1078.98	1006.65	1023.18	1068.44	1008.12
10:00	1143.38	1176.05	1088.50	1108.26	1168.90	1114.29
10:30	1227.85	1253.33	1153.65	1175.99	1248.87	1198.81
11:00	1289.24	1309.50	1201.01	1225.22	1307.00	1260.23
11:30	1326.50	1343.59	1229.75	1255.09	1342.28	1297.51
12:00	1339.00	1355.02	1239.38	1265.11	1354.10	1310.01
12:30	1326.50	1343.59	1229.75	1255.09	1342.28	1297.51
13:00	1289.24	1309.50	1201.01	1225.22	1307.00	1260.23
13:30	1227.85	1253.33	1153.65	1175.99	1248.87	1198.81
14:00	1143.38	1176.05	1088.50	1108.26	1168.90	1114.29
14:30	1037.27	1078.98	1006.65	1023.18	1068.44	1008.12
15:00	911.35	963.77	909.52	922.22	949.21	882.13
15:30	767.76	832.41	798.77	807.09	813.27	738.47
16:00	608.98	687.14	676.30	679.77	662.93	579.60
16:30	437.71	530.45	544.19	542.45	500.78	408.25
17:00	256.89	365.02	404.72	397.47	329.59	227.33
17:30	69.62	193.69	260.27	247.31	152.28	39.96
18:00	0	29.49	113.32	94.55	7.78	0

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

เวลา	มี.ค.-เม.ย.,ก.ย.-ต.ค.	ม.ค.-ธ.ค.
06:00	18.63	40.86
06:30	172.98	160.52
07:00	347.30	330.17
07:30	515.61	493.97
08:00	675.04	649.12
08:30	822.84	792.96
09:00	956.49	923.03
09:30	1073.71	1037.11
10:00	1172.47	1133.23
10:30	1251.10	1209.75
11:00	1308.25	1265.37
11:30	1342.93	1299.12
12:00	1354.56	1310.44
12:30	1342.93	1299.12
13:00	1308.25	1265.37
13:30	1251.10	1209.75
14:00	1172.47	1133.23
14:30	1073.71	1037.11
15:00	956.49	923.03
15:30	822.84	792.96
16:00	675.04	649.12
16:30	515.61	493.97
17:00	347.30	330.17
17:30	172.98	160.52
18:00	18.63	40.86

ตารางที่ ก.3 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) ที่เวลาต่างๆในรอบวัน มุม 30° กับแนวระนาบ ณ มทส.

เวลา	ม.ค.	ก.พ.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.-กพ.	พ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-กพ., พ.ย.-ธ.ค.
06:00	0	0	0	0	0	0	0
06:30	44.79	99.38	58.27	26.37	72.09	42.32	57.20
07:00	245.00	290.67	255.33	228.43	267.83	241.88	254.86
07:30	438.30	475.36	445.61	423.52	456.83	434.57	445.70
08:00	621.40	650.29	625.83	608.32	635.84	617.07	626.46
08:30	791.15	812.48	792.92	779.64	801.81	786.28	794.04
09:00	944.65	959.14	944.01	934.56	951.89	939.28	945.59
09:30	1079.27	1087.76	1076.52	1070.42	1083.51	1073.47	1078.49
10:00	1192.70	1196.13	1188.17	1184.91	1194.42	1186.54	1190.48
10:30	1283.01	1282.42	1277.06	1276.05	1282.71	1276.56	1279.63
11:00	1348.64	1345.12	1341.67	1342.29	1346.88	1341.98	1344.43
11:30	1388.47	1383.18	1380.88	1382.49	1385.83	1381.68	1383.76
12:00	1401.83	1395.94	1394.02	1395.97	1398.88	1395.00	1396.94
12:30	1388.47	1383.18	1380.88	1382.49	1385.83	1381.68	1383.76
13:00	1348.64	1345.12	1341.67	1342.29	1346.88	1341.98	1344.43
13:30	1283.01	1282.42	1277.06	1276.05	1282.71	1276.56	1279.63
14:00	1192.70	1196.13	1188.17	1184.91	1194.42	1186.54	1190.48
14:30	1079.27	1087.76	1076.52	1070.42	1083.51	1073.47	1078.49
15:00	944.65	959.14	944.01	934.56	951.89	939.28	945.59
15:30	791.15	812.48	792.92	779.64	801.81	786.28	794.04
16:00	621.40	650.29	625.83	608.32	635.84	617.07	626.46
16:30	438.30	475.36	445.61	423.52	456.83	434.57	445.70
17:00	245.00	290.67	255.33	228.43	267.83	241.88	254.86
17:30	44.79	99.38	58.27	26.37	72.09	42.32	57.20
18:00	0	0	0	0	0	0	0

ภาคผนวก ข

ตารางระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาทีก)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาทีก)
1-Jan	1	-23.01	-79.12	52.14	83.53	334.14	668.27
2-Jan	2	-22.93	-78.13	52.22	83.56	334.24	668.48
3-Jan	3	-22.84	-77.14	52.31	83.59	334.35	668.70
4-Jan	4	-22.75	-76.15	52.40	83.62	334.47	668.94
5-Jan	5	-22.65	-75.16	52.50	83.65	334.60	669.19
6-Jan	6	-22.54	-74.18	52.61	83.68	334.73	669.46
7-Jan	7	-22.42	-73.19	52.73	83.72	334.87	669.75
8-Jan	8	-22.30	-72.20	52.85	83.76	335.03	670.05
9-Jan	9	-22.17	-71.21	52.98	83.80	335.18	670.37
10-Jan	10	-22.04	-70.22	53.11	83.84	335.35	670.70
11-Jan	11	-21.90	-69.23	53.25	83.88	335.53	671.05
12-Jan	12	-21.75	-68.24	53.40	83.93	335.71	671.42
13-Jan	13	-21.60	-67.25	53.55	83.98	335.90	671.80
14-Jan	14	-21.44	-66.26	53.71	84.02	336.10	672.20
15-Jan	15	-21.27	-65.27	53.88	84.08	336.30	672.61
16-Jan	16	-21.10	-64.29	54.05	84.13	336.52	673.03
17-Jan	17	-20.92	-63.30	54.23	84.18	336.73	673.47
18-Jan	18	-20.73	-62.31	54.42	84.24	336.96	673.92
19-Jan	19	-20.54	-61.32	54.61	84.30	337.19	674.39
20-Jan	20	-20.34	-60.33	54.81	84.36	337.43	674.87
21-Jan	21	-20.14	-59.34	55.01	84.42	337.68	675.36
22-Jan	22	-19.93	-58.35	55.22	84.48	337.93	675.87
23-Jan	23	-19.71	-57.36	55.44	84.55	338.19	676.39
24-Jan	24	-19.49	-56.37	55.66	84.62	338.46	676.92
25-Jan	25	-19.26	-55.38	55.89	84.68	338.73	677.47
26-Jan	26	-19.03	-54.40	56.12	84.75	339.01	678.02
27-Jan	27	-18.79	-53.41	56.36	84.82	339.29	678.59
28-Jan	28	-18.55	-52.42	56.60	84.90	339.58	679.17
29-Jan	29	-18.30	-51.43	56.85	84.97	339.88	679.76
30-Jan	30	-18.04	-50.44	57.11	85.05	340.18	680.36
31-Jan	31	-17.78	-49.45	57.37	85.12	340.49	680.97

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Feb	32	-17.52	-48.46	57.63	85.20	340.80	681.60
2-Feb	33	-17.25	-47.47	57.90	85.28	341.12	682.23
3-Feb	34	-16.97	-46.48	58.18	85.36	341.44	682.87
4-Feb	35	-16.69	-45.49	58.46	85.44	341.76	683.53
5-Feb	36	-16.40	-44.51	58.75	85.52	342.09	684.19
6-Feb	37	-16.11	-43.52	59.04	85.61	342.43	684.86
7-Feb	38	-15.82	-42.53	59.33	85.69	342.77	685.54
8-Feb	39	-15.52	-41.54	59.63	85.78	343.12	686.23
9-Feb	40	-15.21	-40.55	59.94	85.87	343.46	686.93
10-Feb	41	-14.90	-39.56	60.25	85.95	343.82	687.63
11-Feb	42	-14.59	-38.57	60.56	86.04	344.17	688.35
12-Feb	43	-14.27	-37.58	60.88	86.13	344.53	689.07
13-Feb	44	-13.95	-36.59	61.20	86.22	344.90	689.80
14-Feb	45	-13.62	-35.60	61.53	86.32	345.27	690.53
15-Feb	46	-13.29	-34.62	61.86	86.41	345.64	691.28
16-Feb	47	-12.95	-33.63	62.20	86.50	346.01	692.03
17-Feb	48	-12.62	-32.64	62.53	86.60	346.39	692.78
18-Feb	49	-12.27	-31.65	62.88	86.69	346.77	693.54
19-Feb	50	-11.93	-30.66	63.22	86.79	347.16	694.31
20-Feb	51	-11.58	-29.67	63.57	86.89	347.54	695.09
21-Feb	52	-11.23	-28.68	63.92	86.98	347.93	695.87
22-Feb	53	-10.87	-27.69	64.28	87.08	348.33	696.65
23-Feb	54	-10.51	-26.70	64.64	87.18	348.72	697.44
24-Feb	55	-10.15	-25.71	65.00	87.28	349.12	698.24
25-Feb	56	-9.78	-24.73	65.37	87.38	349.52	699.04
26-Feb	57	-9.41	-23.74	65.74	87.48	349.92	699.84
27-Feb	58	-9.04	-22.75	66.11	87.58	350.32	700.65
28-Feb	59	-8.67	-21.76	66.48	87.68	350.73	701.46

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Mar	60	-8.29	-20.77	66.86	87.78	351.14	702.28
2-Mar	61	-7.91	-19.78	67.24	87.89	351.55	703.10
3-Mar	62	-7.53	-18.79	67.62	87.99	351.96	703.92
4-Mar	63	-7.15	-17.80	68.00	88.09	352.38	704.75
5-Mar	64	-6.76	-16.81	68.39	88.20	352.79	705.58
6-Mar	65	-6.38	-15.82	68.77	88.30	353.21	706.41
7-Mar	66	-5.99	-14.84	69.16	88.41	353.63	707.25
8-Mar	67	-5.60	-13.85	69.55	88.51	354.04	708.09
9-Mar	68	-5.20	-12.86	69.95	88.62	354.46	708.93
10-Mar	69	-4.81	-11.87	70.34	88.72	354.89	709.77
11-Mar	70	-4.41	-10.88	70.74	88.83	355.31	710.62
12-Mar	71	-4.02	-9.89	71.13	88.93	355.73	711.47
13-Mar	72	-3.62	-8.90	71.53	89.04	356.16	712.31
14-Mar	73	-3.22	-7.91	71.93	89.15	356.58	713.16
15-Mar	74	-2.82	-6.92	72.33	89.25	357.01	714.02
16-Mar	75	-2.42	-5.93	72.73	89.36	357.43	714.87
17-Mar	76	-2.02	-4.95	73.13	89.47	357.86	715.72
18-Mar	77	-1.61	-3.96	73.54	89.57	358.29	716.58
19-Mar	78	-1.21	-2.97	73.94	89.68	358.72	717.43
20-Mar	79	-0.81	-1.98	74.34	89.79	359.14	718.29
21-Mar	80	-0.40	-0.99	74.75	89.89	359.57	719.14
22-Mar	81	0.00	0.00	75.15	90.00	360.00	720.00
23-Mar	82	0.40	0.99	75.55	90.11	360.43	720.86
24-Mar	83	0.81	1.98	75.96	90.21	360.86	721.71
25-Mar	84	1.21	2.97	76.36	90.32	361.28	722.57
26-Mar	85	1.61	3.96	76.76	90.43	361.71	723.42
27-Mar	86	2.02	4.95	77.17	90.53	362.14	724.28
28-Mar	87	2.42	5.93	77.57	90.64	362.57	725.13
29-Mar	88	2.82	6.92	77.97	90.75	362.99	725.98
30-Mar	89	3.22	7.91	78.37	90.85	363.42	726.84
31-Mar	90	3.62	8.90	78.77	90.96	363.84	727.69

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Apr	91	4.02	9.89	79.17	91.07	364.27	728.53
2-Apr	92	4.41	10.88	79.56	91.17	364.69	729.38
3-Apr	93	4.81	11.87	79.96	91.28	365.11	730.23
4-Apr	94	5.20	12.86	80.35	91.38	365.54	731.07
5-Apr	95	5.60	13.85	80.75	91.49	365.96	731.91
6-Apr	96	5.99	14.84	81.14	91.59	366.37	732.75
7-Apr	97	6.38	15.82	81.53	91.70	366.79	733.59
8-Apr	98	6.76	16.81	81.91	91.80	367.21	734.42
9-Apr	99	7.15	17.80	82.30	91.91	367.62	735.25
10-Apr	100	7.53	18.79	82.68	92.01	368.04	736.08
11-Apr	101	7.91	19.78	83.06	92.11	368.45	736.90
12-Apr	102	8.29	20.77	83.44	92.22	368.86	737.72
13-Apr	103	8.67	21.76	83.82	92.32	369.27	738.54
14-Apr	104	9.04	22.75	84.19	92.42	369.68	739.35
15-Apr	105	9.41	23.74	84.56	92.52	370.08	740.16
16-Apr	106	9.78	24.73	84.93	92.62	370.48	740.96
17-Apr	107	10.15	25.71	85.30	92.72	370.88	741.76
18-Apr	108	10.51	26.70	85.66	92.82	371.28	742.56
19-Apr	109	10.87	27.69	86.02	92.92	371.67	743.35
20-Apr	110	11.23	28.68	86.38	93.02	372.07	744.13
21-Apr	111	11.58	29.67	86.73	93.11	372.46	744.91
22-Apr	112	11.93	30.66	87.08	93.21	372.84	745.69
23-Apr	113	12.27	31.65	87.42	93.31	373.23	746.46
24-Apr	114	12.62	32.64	87.77	93.40	373.61	747.22
25-Apr	115	12.95	33.63	88.10	93.50	373.99	747.97
26-Apr	116	13.29	34.62	88.44	93.59	374.36	748.72
27-Apr	117	13.62	35.60	88.77	93.68	374.73	749.47
28-Apr	118	13.95	36.59	89.10	93.78	375.10	750.20
29-Apr	119	14.27	37.58	89.42	93.87	375.47	750.93
30-Apr	120	14.59	38.57	89.74	93.96	375.83	751.65

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาทีก)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาทีก)
1-May	121	14.90	39.56	90.05	94.05	376.18	752.37
2-May	122	15.21	40.55	90.36	94.13	376.54	753.07
3-May	123	15.52	41.54	90.67	94.22	376.88	753.77
4-May	124	15.82	42.53	90.97	94.31	377.23	754.46
5-May	125	16.11	43.52	91.26	94.39	377.57	755.14
6-May	126	16.40	44.51	91.55	94.48	377.91	755.81
7-May	127	16.69	45.49	91.84	94.56	378.24	756.47
8-May	128	16.97	46.48	92.12	94.64	378.56	757.13
9-May	129	17.25	47.47	92.40	94.72	378.88	757.77
10-May	130	17.52	48.46	92.67	94.80	379.20	758.40
11-May	131	17.78	49.45	92.93	94.88	379.51	759.03
12-May	132	18.04	50.44	93.19	94.95	379.82	759.64
13-May	133	18.30	51.43	93.45	95.03	380.12	760.24
14-May	134	18.55	52.42	93.70	95.10	380.42	760.83
15-May	135	18.79	53.41	93.94	95.18	380.71	761.41
16-May	136	19.03	54.40	94.18	95.25	380.99	761.98
17-May	137	19.26	55.38	94.41	95.32	381.27	762.53
18-May	138	19.49	56.37	94.64	95.38	381.54	763.08
19-May	139	19.71	57.36	94.86	95.45	381.81	763.61
20-May	140	19.93	58.35	95.08	95.52	382.07	764.13
21-May	141	20.14	59.34	95.29	95.58	382.32	764.64
22-May	142	20.34	60.33	95.49	95.64	382.57	765.13
23-May	143	20.54	61.32	95.69	95.70	382.81	765.61
24-May	144	20.73	62.31	95.88	95.76	383.04	766.08
25-May	145	20.92	63.30	96.07	95.82	383.27	766.53
26-May	146	21.10	64.29	96.25	95.87	383.48	766.97
27-May	147	21.27	65.27	96.42	95.92	383.70	767.39
28-May	148	21.44	66.26	96.59	95.98	383.90	767.80
29-May	149	21.60	67.25	96.75	96.02	384.10	768.20
30-May	150	21.75	68.24	96.90	96.07	384.29	768.58
31-May	151	21.90	69.23	97.05	96.12	384.47	768.95

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Jun	152	22.04	70.22	97.19	96.16	384.65	769.30
2-Jun	153	22.17	71.21	97.32	96.20	384.82	769.63
3-Jun	154	22.30	72.20	97.45	96.24	384.97	769.95
4-Jun	155	22.42	73.19	97.57	96.28	385.13	770.25
5-Jun	156	22.54	74.18	97.69	96.32	385.27	770.54
6-Jun	157	22.65	75.16	97.80	96.35	385.40	770.81
7-Jun	158	22.75	76.15	97.90	96.38	385.53	771.06
8-Jun	159	22.84	77.14	97.99	96.41	385.65	771.30
9-Jun	160	22.93	78.13	98.08	96.44	385.76	771.52
10-Jun	161	23.01	79.12	98.16	96.47	385.86	771.73
11-Jun	162	23.09	80.11	98.24	96.49	385.96	771.91
12-Jun	163	23.15	81.10	98.30	96.51	386.04	772.08
13-Jun	164	23.21	82.09	98.36	96.53	386.12	772.24
14-Jun	165	23.27	83.08	98.42	96.55	386.19	772.37
15-Jun	166	23.31	84.07	98.46	96.56	386.25	772.49
16-Jun	167	23.35	85.05	98.50	96.57	386.30	772.59
17-Jun	168	23.39	86.04	98.54	96.58	386.34	772.68
18-Jun	169	23.41	87.03	98.56	96.59	386.37	772.74
19-Jun	170	23.43	88.02	98.58	96.60	386.40	772.79
20-Jun	171	23.44	89.01	98.59	96.60	386.41	772.82
21-Jun	172	23.45	90.00	98.60	96.60	386.42	772.83
22-Jun	173	23.45	90.99	98.60	96.60	386.42	772.83
23-Jun	174	23.44	91.98	98.59	96.60	386.40	772.81
24-Jun	175	23.42	92.97	98.57	96.60	386.38	772.77
25-Jun	176	23.40	93.96	98.55	96.59	386.36	772.71
26-Jun	177	23.37	94.95	98.52	96.58	386.32	772.64
27-Jun	178	23.34	95.93	98.49	96.57	386.27	772.54
28-Jun	179	23.29	96.92	98.44	96.55	386.22	772.43
29-Jun	180	23.24	97.91	98.39	96.54	386.15	772.31
30-Jun	181	23.18	98.90	98.33	96.52	386.08	772.16

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Jul	182	23.12	99.89	98.27	96.50	386.00	772.00
2-Jul	183	23.05	100.88	98.20	96.48	385.91	771.82
3-Jul	184	22.97	101.87	98.12	96.45	385.81	771.63
4-Jul	185	22.89	102.86	98.04	96.43	385.71	771.41
5-Jul	186	22.80	103.85	97.95	96.40	385.59	771.18
6-Jul	187	22.70	104.84	97.85	96.37	385.47	770.94
7-Jul	188	22.59	105.82	97.74	96.33	385.34	770.68
8-Jul	189	22.48	106.81	97.63	96.30	385.20	770.40
9-Jul	190	22.36	107.80	97.51	96.26	385.05	770.10
10-Jul	191	22.24	108.79	97.39	96.22	384.90	769.79
11-Jul	192	22.11	109.78	97.26	96.18	384.73	769.46
12-Jul	193	21.97	110.77	97.12	96.14	384.56	769.12
13-Jul	194	21.83	111.76	96.98	96.10	384.38	768.76
14-Jul	195	21.67	112.75	96.82	96.05	384.20	768.39
15-Jul	196	21.52	113.74	96.67	96.00	384.00	768.00
16-Jul	197	21.35	114.73	96.50	95.95	383.80	767.60
17-Jul	198	21.18	115.71	96.33	95.90	383.59	767.18
18-Jul	199	21.01	116.70	96.16	95.84	383.38	766.75
19-Jul	200	20.82	117.69	95.97	95.79	383.15	766.31
20-Jul	201	20.64	118.68	95.79	95.73	382.92	765.85
21-Jul	202	20.44	119.67	95.59	95.67	382.69	765.37
22-Jul	203	20.24	120.66	95.39	95.61	382.44	764.89
23-Jul	204	20.03	121.65	95.18	95.55	382.19	764.39
24-Jul	205	19.82	122.64	94.97	95.48	381.94	763.87
25-Jul	206	19.60	123.63	94.75	95.42	381.67	763.35
26-Jul	207	19.38	124.62	94.53	95.35	381.40	762.81
27-Jul	208	19.15	125.60	94.30	95.28	381.13	762.26
28-Jul	209	18.91	126.59	94.06	95.21	380.85	761.70
29-Jul	210	18.67	127.58	93.82	95.14	380.56	761.12
30-Jul	211	18.42	128.57	93.57	95.07	380.27	760.54
31-Jul	212	18.17	129.56	93.32	94.99	379.97	759.94

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาทีก)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาทีก)
1-Aug	213	17.91	130.55	93.06	94.92	379.67	759.33
2-Aug	214	17.65	131.54	92.80	94.84	379.36	758.72
3-Aug	215	17.38	132.53	92.53	94.76	379.04	758.09
4-Aug	216	17.11	133.52	92.26	94.68	378.72	757.45
5-Aug	217	16.83	134.51	91.98	94.60	378.40	756.80
6-Aug	218	16.55	135.49	91.70	94.52	378.07	756.14
7-Aug	219	16.26	136.48	91.41	94.43	377.74	755.48
8-Aug	220	15.96	137.47	91.11	94.35	377.40	754.80
9-Aug	221	15.67	138.46	90.82	94.26	377.06	754.12
10-Aug	222	15.36	139.45	90.51	94.18	376.71	753.42
11-Aug	223	15.06	140.44	90.21	94.09	376.36	752.72
12-Aug	224	14.74	141.43	89.89	94.00	376.01	752.01
13-Aug	225	14.43	142.42	89.58	93.91	375.65	751.29
14-Aug	226	14.11	143.41	89.26	93.82	375.28	750.57
15-Aug	227	13.78	144.40	88.93	93.73	374.92	749.84
16-Aug	228	13.45	145.38	88.60	93.64	374.55	749.10
17-Aug	229	13.12	146.37	88.27	93.54	374.17	748.35
18-Aug	230	12.79	147.36	87.94	93.45	373.80	747.60
19-Aug	231	12.45	148.35	87.60	93.35	373.42	746.84
20-Aug	232	12.10	149.34	87.25	93.26	373.04	746.07
21-Aug	233	11.75	150.33	86.90	93.16	372.65	745.30
22-Aug	234	11.40	151.32	86.55	93.07	372.26	744.52
23-Aug	235	11.05	152.31	86.20	92.97	371.87	743.74
24-Aug	236	10.69	153.30	85.84	92.87	371.48	742.95
25-Aug	237	10.33	154.29	85.48	92.77	371.08	742.16
26-Aug	238	9.97	155.27	85.12	92.67	370.68	741.36
27-Aug	239	9.60	156.26	84.75	92.57	370.28	740.56
28-Aug	240	9.23	157.25	84.38	92.47	369.88	739.75
29-Aug	241	8.86	158.24	84.01	92.37	369.47	738.94
30-Aug	242	8.48	159.23	83.63	92.27	369.06	738.13
31-Aug	243	8.10	160.22	83.25	92.16	368.66	737.31

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Sep	244	7.72	161.21	82.87	92.06	368.24	736.49
2-Sep	245	7.34	162.20	82.49	91.96	367.83	735.66
3-Sep	246	6.96	163.19	82.11	91.85	367.42	734.83
4-Sep	247	6.57	164.18	81.72	91.75	367.00	734.00
5-Sep	248	6.18	165.16	81.33	91.65	366.58	733.17
6-Sep	249	5.79	166.15	80.94	91.54	366.17	732.33
7-Sep	250	5.40	167.14	80.55	91.44	365.75	731.49
8-Sep	251	5.01	168.13	80.16	91.33	365.32	730.65
9-Sep	252	4.61	169.12	79.76	91.23	364.90	729.80
10-Sep	253	4.22	170.11	79.37	91.12	364.48	728.96
11-Sep	254	3.82	171.10	78.97	91.01	364.06	728.11
12-Sep	255	3.42	172.09	78.57	90.91	363.63	727.26
13-Sep	256	3.02	173.08	78.17	90.80	363.21	726.41
14-Sep	257	2.62	174.07	77.77	90.69	362.78	725.56
15-Sep	258	2.22	175.05	77.37	90.59	362.35	724.70
16-Sep	259	1.81	176.04	76.96	90.48	361.93	723.85
17-Sep	260	1.41	177.03	76.56	90.37	361.50	723.00
18-Sep	261	1.01	178.02	76.16	90.27	361.07	722.14
19-Sep	262	0.61	179.01	75.76	90.16	360.64	721.28
20-Sep	263	0.20	180.00	75.35	90.05	360.21	720.43
21-Sep	264	-0.20	180.99	74.95	89.95	359.79	719.57
22-Sep	265	-0.61	181.98	74.54	89.84	359.36	718.72
23-Sep	266	-1.01	182.97	74.14	89.73	358.93	717.86
24-Sep	267	-1.41	183.96	73.74	89.63	358.50	717.00
25-Sep	268	-1.81	184.95	73.34	89.52	358.07	716.15
26-Sep	269	-2.22	185.93	72.93	89.41	357.65	715.30
27-Sep	270	-2.62	186.92	72.53	89.31	357.22	714.44
28-Sep	271	-3.02	187.91	72.13	89.20	356.79	713.59
29-Sep	272	-3.42	188.90	71.73	89.09	356.37	712.74
30-Sep	273	-3.82	189.89	71.33	88.99	355.94	711.89

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Oct	274	-4.22	190.88	70.93	88.88	355.52	711.04
2-Oct	275	-4.61	191.87	70.54	88.77	355.10	710.20
3-Oct	276	-5.01	192.86	70.14	88.67	354.68	709.35
4-Oct	277	-5.40	193.85	69.75	88.56	354.25	708.51
5-Oct	278	-5.79	194.84	69.36	88.46	353.83	707.67
6-Oct	279	-6.18	195.82	68.97	88.35	353.42	706.83
7-Oct	280	-6.57	196.81	68.58	88.25	353.00	706.00
8-Oct	281	-6.96	197.80	68.19	88.15	352.58	705.17
9-Oct	282	-7.34	198.79	67.81	88.04	352.17	704.34
10-Oct	283	-7.72	199.78	67.43	87.94	351.76	703.51
11-Oct	284	-8.10	200.77	67.05	87.84	351.34	702.69
12-Oct	285	-8.48	201.76	66.67	87.73	350.94	701.87
13-Oct	286	-8.86	202.75	66.29	87.63	350.53	701.06
14-Oct	287	-9.23	203.74	65.92	87.53	350.12	700.25
15-Oct	288	-9.60	204.73	65.55	87.43	349.72	699.44
16-Oct	289	-9.97	205.71	65.18	87.33	349.32	698.64
17-Oct	290	-10.33	206.70	64.82	87.23	348.92	697.84
18-Oct	291	-10.69	207.69	64.46	87.13	348.52	697.05
19-Oct	292	-11.05	208.68	64.10	87.03	348.13	696.26
20-Oct	293	-11.40	209.67	63.75	86.93	347.74	695.48
21-Oct	294	-11.75	210.66	63.40	86.84	347.35	694.70
22-Oct	295	-12.10	211.65	63.05	86.74	346.96	693.93
23-Oct	296	-12.45	212.64	62.70	86.65	346.58	693.16
24-Oct	297	-12.79	213.63	62.36	86.55	346.20	692.40
25-Oct	298	-13.12	214.62	62.03	86.46	345.83	691.65
26-Oct	299	-13.45	215.60	61.70	86.36	345.45	690.90
27-Oct	300	-13.78	216.59	61.37	86.27	345.08	690.16
28-Oct	301	-14.11	217.58	61.04	86.18	344.72	689.43
29-Oct	302	-14.43	218.57	60.72	86.09	344.35	688.71
30-Oct	303	-14.74	219.56	60.41	86.00	343.99	687.99
31-Oct	304	-15.06	220.55	60.09	85.91	343.64	687.28

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาที)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาที)
1-Nov	305	-15.36	221.54	59.79	85.82	343.29	686.58
2-Nov	306	-15.67	222.53	59.48	85.74	342.94	685.88
3-Nov	307	-15.96	223.52	59.19	85.65	342.60	685.20
4-Nov	308	-16.26	224.51	58.89	85.57	342.26	684.52
5-Nov	309	-16.55	225.49	58.60	85.48	341.93	683.86
6-Nov	310	-16.83	226.48	58.32	85.40	341.60	683.20
7-Nov	311	-17.11	227.47	58.04	85.32	341.28	682.55
8-Nov	312	-17.38	228.46	57.77	85.24	340.96	681.91
9-Nov	313	-17.65	229.45	57.50	85.16	340.64	681.28
10-Nov	314	-17.91	230.44	57.24	85.08	340.33	680.67
11-Nov	315	-18.17	231.43	56.98	85.01	340.03	680.06
12-Nov	316	-18.42	232.42	56.73	84.93	339.73	679.46
13-Nov	317	-18.67	233.41	56.48	84.86	339.44	678.88
14-Nov	318	-18.91	234.40	56.24	84.79	339.15	678.30
15-Nov	319	-19.15	235.38	56.00	84.72	338.87	677.74
16-Nov	320	-19.38	236.37	55.77	84.65	338.60	677.19
17-Nov	321	-19.60	237.36	55.55	84.58	338.33	676.65
18-Nov	322	-19.82	238.35	55.33	84.52	338.06	676.13
19-Nov	323	-20.03	239.34	55.12	84.45	337.81	675.61
20-Nov	324	-20.24	240.33	54.91	84.39	337.56	675.11
21-Nov	325	-20.44	241.32	54.71	84.33	337.31	674.63
22-Nov	326	-20.64	242.31	54.51	84.27	337.08	674.15
23-Nov	327	-20.82	243.30	54.33	84.21	336.85	673.69
24-Nov	328	-21.01	244.29	54.14	84.16	336.62	673.25
25-Nov	329	-21.18	245.27	53.97	84.10	336.41	672.82
26-Nov	330	-21.35	246.26	53.80	84.05	336.20	672.40
27-Nov	331	-21.52	247.25	53.63	84.00	336.00	672.00
28-Nov	332	-21.67	248.24	53.48	83.95	335.80	671.61
29-Nov	333	-21.83	249.23	53.32	83.90	335.62	671.24
30-Nov	334	-21.97	250.22	53.18	83.86	335.44	670.88

ตารางที่ ข.1 ระยะเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น ครึ่งวัน และ 1 วัน ในรอบปี ณ มทส.

วันเดือน	D	δ	B	α	H_{SR}, H_{SS}	H_{TSR}, H_{TSS} ครึ่งวัน (นาทีก)	$H_{TSR-TSS}$ 1 วัน (นาทีก)
1-Dec	335	-22.11	251.21	53.04	83.82	335.27	670.54
2-Dec	336	-22.24	252.20	52.91	83.78	335.10	670.21
3-Dec	337	-22.36	253.19	52.79	83.74	334.95	669.90
4-Dec	338	-22.48	254.18	52.67	83.70	334.80	669.60
5-Dec	339	-22.59	255.16	52.56	83.67	334.66	669.32
6-Dec	340	-22.70	256.15	52.45	83.63	334.53	669.06
7-Dec	341	-22.80	257.14	52.35	83.60	334.41	668.82
8-Dec	342	-22.89	258.13	52.26	83.57	334.29	668.59
9-Dec	343	-22.97	259.12	52.18	83.55	334.19	668.37
10-Dec	344	-23.05	260.11	52.10	83.52	334.09	668.18
11-Dec	345	-23.12	261.10	52.03	83.50	334.00	668.00
12-Dec	346	-23.18	262.09	51.97	83.48	333.92	667.84
13-Dec	347	-23.24	263.08	51.91	83.46	333.85	667.69
14-Dec	348	-23.29	264.07	51.86	83.45	333.78	667.57
15-Dec	349	-23.34	265.05	51.81	83.43	333.73	667.46
16-Dec	350	-23.37	266.04	51.78	83.42	333.68	667.36
17-Dec	351	-23.40	267.03	51.75	83.41	333.64	667.29
18-Dec	352	-23.42	268.02	51.73	83.40	333.62	667.23
19-Dec	353	-23.44	269.01	51.71	83.40	333.60	667.19
20-Dec	354	-23.45	270.00	51.70	83.40	333.58	667.17
21-Dec	355	-23.45	270.99	51.70	83.40	333.58	667.17
22-Dec	356	-23.44	271.98	51.71	83.40	333.59	667.18
23-Dec	357	-23.43	272.97	51.72	83.40	333.60	667.21
24-Dec	358	-23.41	273.96	51.74	83.41	333.63	667.26
25-Dec	359	-23.39	274.95	51.76	83.42	333.66	667.32
26-Dec	360	-23.35	275.93	51.80	83.43	333.70	667.41
27-Dec	361	-23.31	276.92	51.84	83.44	333.75	667.51
28-Dec	362	-23.27	277.91	51.88	83.45	333.81	667.63
29-Dec	363	-23.21	278.90	51.94	83.47	333.88	667.76
30-Dec	364	-23.15	279.89	52.00	83.49	333.96	667.92
31-Dec	365	-23.09	280.88	52.06	83.51	334.04	668.09

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Jan	1	-23.0116	-79.1209	51.9884	83.4655	5.56	34	6.26	17.34	-3.60687	105	15.61	6.42	17.50
2-Jan	2	-22.9305	-78.1319	52.0695	83.4913	5.57	34	6.26	17.34	-4.05363	105	16.05	6.42	17.50
3-Jan	3	-22.8427	-77.1429	52.1573	83.5192	5.57	34	6.26	17.34	-4.49562	105	16.50	6.42	17.51
4-Jan	4	-22.748	-76.1538	52.252	83.5492	5.57	34	6.26	17.34	-4.93245	105	17	6.43	17.51
5-Jan	5	-22.6466	-75.1648	52.3534	83.5814	5.57	34	6.26	17.34	-5.36371	105	17	6.43	17.52
6-Jan	6	-22.5385	-74.1758	52.4615	83.6156	5.57	34	6.26	17.34	-5.78901	105	18	6.43	17.52
7-Jan	7	-22.4237	-73.1868	52.5763	83.6518	5.58	35	6.25	17.35	-6.20795	105	18	6.44	17.53
8-Jan	8	-22.3023	-72.1978	52.6977	83.6901	5.58	35	6.25	17.35	-6.62015	105	19	6.44	17.53
9-Jan	9	-22.1742	-71.2088	52.8258	83.7304	5.58	35	6.25	17.35	-7.02525	105	19	6.44	17.54
10-Jan	10	-22.0396	-70.2198	52.9604	83.7726	5.58	35	6.25	17.35	-7.42288	105	19	6.44	17.55
11-Jan	11	-21.8985	-69.2308	53.1015	83.8169	5.59	35	6.25	17.35	-7.81267	105	20	6.45	17.55
12-Jan	12	-21.7509	-68.2418	53.2491	83.863	5.59	35	6.25	17.35	-8.19429	105	20	6.45	17.56
13-Jan	13	-21.5968	-67.2527	53.4032	83.9111	5.59	36	6.24	17.36	-8.56739	105	21	6.45	17.56
14-Jan	14	-21.4363	-66.2637	53.5637	83.9611	5.60	36	6.24	17.36	-8.93165	105	21	6.45	17.57
15-Jan	15	-21.2695	-65.2747	53.7305	84.0129	5.60	36	6.24	17.36	-9.28674	105	21	6.45	17.57
16-Jan	16	-21.0963	-64.2857	53.9037	84.0665	5.60	36	6.24	17.36	-9.63237	105	22	6.45	17.58
17-Jan	17	-20.917	-63.2967	54.083	84.122	5.61	36	6.24	17.36	-9.96823	105	22	6.45	17.58
18-Jan	18	-20.7314	-62.3077	54.2686	84.1792	5.61	37	6.23	17.37	-10.294	105	22	6.46	17.59
19-Jan	19	-20.5397	-61.3187	54.4603	84.2382	5.62	37	6.23	17.37	-10.6095	105	23	6.46	18.00
20-Jan	20	-20.3419	-60.3297	54.6581	84.2988	5.62	37	6.23	17.37	-10.9144	105	23	6.46	18.00
21-Jan	21	-20.138	-59.3407	54.862	84.3612	5.62	37	6.23	17.37	-11.2084	105	23	6.46	18.00
22-Jan	22	-19.9282	-58.3516	55.0718	84.4252	5.63	38	6.22	17.38	-11.4914	105	23	6.46	18.01
23-Jan	23	-19.7125	-57.3626	55.2875	84.4908	5.63	38	6.22	17.38	-11.7631	105	24	6.46	18.02
24-Jan	24	-19.491	-56.3736	55.509	84.558	5.64	38	6.22	17.38	-12.0232	105	24	6.46	18.02
25-Jan	25	-19.2636	-55.3846	55.7364	84.6267	5.64	39	6.21	17.39	-12.2717	105	24	6.46	18.03
26-Jan	26	-19.0306	-54.3956	55.9694	84.697	5.65	39	6.21	17.39	-12.5082	105	25	6.46	18.03
27-Jan	27	-18.7919	-53.4066	56.2081	84.7688	5.65	39	6.21	17.39	-12.7326	105	25	6.46	18.04
28-Jan	28	-18.5477	-52.4176	56.4523	84.842	5.66	39	6.21	17.39	-12.9448	105	25	6.46	18.04
29-Jan	29	-18.2979	-51.4286	56.7021	84.9166	5.66	40	6.20	17.40	-13.1447	105	25	6.45	18.05
30-Jan	30	-18.0428	-50.4396	56.9572	84.9927	5.67	40	6.20	17.40	-13.332	105	25	6.45	18.05
31-Jan	31	-17.7823	-49.4505	57.2177	85.0701	5.67	40	6.20	17.40	-13.5067	105	26	6.45	18.06

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Feb	32	-17.5165	-48.4615	57.4835	85.1488	5.68	41	6.19	17.41	-13.6686	105	26	6.45	18.06
2-Feb	33	-17.2455	-47.4725	57.7545	85.2288	5.68	41	6.19	17.41	-13.8177	105	26	6.45	18.07
3-Feb	34	-16.9695	-46.4835	58.0305	85.31	5.69	41	6.19	17.41	-13.9539	105	26	6.45	18.07
4-Feb	35	-16.6883	-45.4945	58.3117	85.3925	5.69	42	6.18	17.42	-14.0771	105	26	6.45	18.08
5-Feb	36	-16.4023	-44.5055	58.5977	85.4762	5.70	42	6.18	17.42	-14.1873	105	26	6.44	18.08
6-Feb	37	-16.1114	-43.5165	58.8886	85.561	5.70	42	6.18	17.42	-14.2845	105	26	6.44	18.09
7-Feb	38	-15.8157	-42.5275	59.1843	85.647	5.71	43	6.17	17.43	-14.3686	105	26	6.44	18.09
8-Feb	39	-15.5153	-41.5385	59.4847	85.734	5.72	43	6.17	17.43	-14.4396	105	26	6.44	18.09
9-Feb	40	-15.2104	-40.5495	59.7896	85.8222	5.72	43	6.17	17.43	-14.4976	105	26	6.43	18.10
10-Feb	41	-14.9009	-39.5604	60.0991	85.9113	5.73	44	6.16	17.44	-14.5426	105	27	6.43	18.10
11-Feb	42	-14.587	-38.5714	60.413	86.0015	5.73	44	6.16	17.44	-14.5745	105	27	6.43	18.11
12-Feb	43	-14.2688	-37.5824	60.7312	86.0926	5.74	44	6.16	17.44	-14.5935	105	27	6.42	18.11
13-Feb	44	-13.9463	-36.5934	61.0537	86.1847	5.75	45	6.15	17.45	-14.5996	105	27	6.42	18.11
14-Feb	45	-13.6198	-35.6044	61.3802	86.2776	5.75	45	6.15	17.45	-14.593	105	27	6.41	18.12
15-Feb	46	-13.2892	-34.6154	61.7108	86.3715	5.76	45	6.15	17.45	-14.5736	105	27	6.41	18.12
16-Feb	47	-12.9546	-33.6264	62.0454	86.4662	5.76	46	6.14	17.46	-14.5416	105	27	6.41	18.13
17-Feb	48	-12.6162	-32.6374	62.3838	86.5617	5.77	46	6.14	17.46	-14.4972	105	26	6.40	18.12
18-Feb	49	-12.2741	-31.6484	62.7259	86.658	5.78	47	6.13	17.47	-14.4404	105	26	6.40	18.13
19-Feb	50	-11.9283	-30.6593	63.0717	86.7551	5.78	47	6.13	17.47	-14.3715	105	26	6.39	18.13
20-Feb	51	-11.579	-29.6703	63.421	86.8529	5.79	47	6.13	17.47	-14.2905	105	26	6.39	18.14
21-Feb	52	-11.2263	-28.6813	63.7737	86.9514	5.80	48	6.12	17.48	-14.1977	105	26	6.38	18.14
22-Feb	53	-10.8703	-27.6923	64.1297	87.0506	5.80	48	6.12	17.48	-14.0932	105	26	6.38	18.14
23-Feb	54	-10.511	-26.7033	64.489	87.1504	5.81	49	6.11	17.49	-13.9773	105	26	6.37	18.15
24-Feb	55	-10.1486	-25.7143	64.8514	87.2508	5.82	49	6.11	17.49	-13.8501	105	26	6.37	18.15
25-Feb	56	-9.78319	-24.7253	65.2168	87.3519	5.82	49	6.11	17.49	-13.7119	105	26	6.36	18.15
26-Feb	57	-9.41489	-23.7363	65.5851	87.4535	5.83	50	6.10	17.50	-13.563	105	26	6.36	18.15
27-Feb	58	-9.04381	-22.7473	65.9562	87.5557	5.84	50	6.10	17.50	-13.4034	105	25	6.35	18.16
28-Feb	59	-8.67004	-21.7582	66.33	87.6583	5.84	51	6.09	17.51	-13.2336	105	25	6.35	18.16
29-Feb	60	-8.29371	-20.7692	66.7063	87.7615	5.85	51	6.09	17.51	-13.0538	105	25	6.34	18.16

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Mar	61	-7.91491	-19.7802	67.0851	87.8651	5.86	51	6.09	18.51	-12.8642	105	25	6.33	18.16
2-Mar	62	-7.53377	-18.7912	67.4662	87.9692	5.86	52	6.08	18.52	-12.6652	105	25	6.33	18.17
3-Mar	63	-7.1504	-17.8022	67.8496	88.0737	5.87	52	6.08	18.52	-12.457	105	24	6.32	18.17
4-Mar	64	-6.76491	-16.8132	68.2351	88.1786	5.88	53	6.07	18.53	-12.24	105	24	6.32	18.17
5-Mar	65	-6.37742	-15.8242	68.6226	88.2838	5.89	53	6.07	18.53	-12.0144	105	24	6.31	18.17
6-Mar	66	-5.98803	-14.8352	69.012	88.3894	5.89	54	6.06	18.54	-11.7807	105	24	6.30	18.17
7-Mar	67	-5.59688	-13.8462	69.4031	88.4954	5.90	54	6.06	18.54	-11.539	105	24	6.30	18.18
8-Mar	68	-5.20406	-12.8571	69.7959	88.6016	5.91	54	6.06	18.54	-11.2899	105	23	6.29	18.18
9-Mar	69	-4.8097	-11.8681	70.1903	88.7081	5.91	55	6.05	18.55	-11.0335	105	23	6.28	18.18
10-Mar	70	-4.41392	-10.8791	70.5861	88.8149	5.92	55	6.05	18.55	-10.7703	105	23	6.28	18.18
11-Mar	71	-4.01682	-9.89011	70.9832	88.9219	5.93	56	6.04	18.56	-10.5006	105	23	6.27	18.18
12-Mar	72	-3.61854	-8.9011	71.3815	89.0291	5.94	56	6.04	18.56	-10.2248	105	22	6.26	18.18
13-Mar	73	-3.21919	-7.91209	71.7808	89.1365	5.94	57	6.03	18.57	-9.94325	105	22	6.25	18.18
14-Mar	74	-2.81888	-6.92308	72.1811	89.2441	5.95	57	6.03	18.57	-9.65634	105	22	6.25	18.19
15-Mar	75	-2.41773	-5.93407	72.5823	89.3518	5.96	57	6.03	18.57	-9.36444	105	21	6.24	18.19
16-Mar	76	-2.01587	-4.94505	72.9841	89.4596	5.96	58	6.02	18.58	-9.06793	105	21	6.23	18.19
17-Mar	77	-1.61342	-3.95604	73.3866	89.5676	5.97	58	6.02	18.58	-8.76721	105	21	6.22	18.19
18-Mar	78	-1.21048	-2.96703	73.7895	89.6756	5.98	59	6.01	18.59	-8.46266	105	20	6.22	18.19
19-Mar	79	-0.80719	-1.97802	74.1928	89.7837	5.99	59	6.01	18.59	-8.15468	105	20	6.21	18.19
20-Mar	80	-0.40365	-0.98901	74.5963	89.8918	5.99	60	6.00	18.60	-7.84366	105	20	6.20	18.20
21-Mar	81	1.51E-14	0	75	90	6.00	0	6.00	18.00	-7.53	105	20	6.20	18.20
22-Mar	82	0.403653	0.98901	75.4037	90.1082	6.01	0	6.00	18.00	-7.21409	105	19	6.19	18.19
23-Mar	83	0.807187	1.97802	75.8072	90.2163	6.01	1	5.59	18.01	-6.89634	105	19	6.18	18.20
24-Mar	84	1.210481	2.96703	76.2105	90.3244	6.02	1	5.59	18.01	-6.57715	105	19	6.17	18.20
25-Mar	85	1.613417	3.95604	76.6134	90.4324	6.03	2	5.58	18.02	-6.2569	105	18	6.17	18.20
26-Mar	86	2.015875	4.94505	77.0159	90.5404	6.04	2	5.58	18.02	-5.93601	105	18	6.16	18.20
27-Mar	87	2.417735	5.93407	77.4177	90.6482	6.04	3	5.57	18.03	-5.61486	105	18	6.15	18.20
28-Mar	88	2.818879	6.92308	77.8189	90.7559	6.05	3	5.57	18.03	-5.29386	105	17	6.14	18.20
29-Mar	89	3.219187	7.91209	78.2192	90.8635	6.06	3	5.57	18.03	-4.97338	105	17	6.14	18.20
30-Mar	90	3.618542	8.9011	78.6185	90.9709	6.06	4	5.56	18.04	-4.65384	105	17	6.13	18.21
31-Mar	91	4.016824	9.89011	79.0168	91.0781	6.07	4	5.56	18.04	-4.3356	105	16	6.12	18.21

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Apr	92	4.413916	10.8791	79.4139	91.1851	6.08	5	5.55	18.05	-4.01905	105	16	6.11	18.21
2-Apr	93	4.809701	11.8681	79.8097	91.2919	6.09	5	5.55	18.05	-3.70458	105	16	6.11	18.21
3-Apr	94	5.204059	12.8571	80.2041	91.3984	6.09	6	5.54	18.06	-3.39256	105	15	6.10	18.21
4-Apr	95	5.596876	13.8462	80.5969	91.5046	6.10	6	5.54	18.06	-3.08335	105	15	6.09	18.21
5-Apr	96	5.988035	14.8352	80.988	91.6106	6.11	6	5.54	18.06	-2.77732	105	15	6.08	18.21
6-Apr	97	6.377419	15.8242	81.3774	91.7162	6.11	7	5.53	18.07	-2.47483	105	14	6.08	18.21
7-Apr	98	6.764913	16.8132	81.7649	91.8214	6.12	7	5.53	18.07	-2.17623	105	14	6.07	18.21
8-Apr	99	7.150403	17.8022	82.1504	91.9263	6.13	8	5.52	18.08	-1.88187	105	14	6.06	18.22
9-Apr	100	7.533774	18.7912	82.5338	92.0308	6.14	8	5.52	18.08	-1.59209	105	14	6.05	18.22
10-Apr	101	7.914912	19.7802	82.9149	92.1349	6.14	9	5.51	18.09	-1.30721	105	13	6.05	18.22
11-Apr	102	8.293705	20.7692	83.2937	92.2385	6.15	9	5.51	18.09	-1.02756	105	13	6.04	18.22
12-Apr	103	8.670041	21.7582	83.67	92.3417	6.16	9	5.51	18.09	-0.75345	105	13	6.03	18.22
13-Apr	104	9.043807	22.7473	84.0438	92.4443	6.16	10	5.50	18.10	-0.48519	105	12	6.03	18.22
14-Apr	105	9.414893	23.7363	84.4149	92.5465	6.17	10	5.50	18.10	-0.22308	105	12	6.02	18.22
15-Apr	106	9.78319	24.7253	84.7832	92.6481	6.18	11	5.49	18.11	0.032592	105	12	6.01	18.23
16-Apr	107	10.14859	25.7143	85.1486	92.7492	6.18	11	5.49	18.11	0.281556	105	12	6.01	18.23
17-Apr	108	10.51098	26.7033	85.511	92.8496	6.19	11	5.49	18.11	0.523538	105	11	6.00	18.23
18-Apr	109	10.87025	27.6923	85.8703	92.9494	6.20	12	5.48	18.12	0.758282	105	11	5.59	18.23
19-Apr	110	11.22631	28.6813	86.2263	93.0486	6.20	12	5.48	18.12	0.98554	105	11	5.59	18.23
20-Apr	111	11.57904	29.6703	86.579	93.1471	6.21	13	5.47	18.13	1.205076	105	11	5.58	18.23
21-Apr	112	11.92833	30.6593	86.9283	93.2449	6.22	13	5.47	18.13	1.416665	105	11	5.58	18.24
22-Apr	113	12.2741	31.6484	87.2741	93.342	6.22	13	5.47	18.13	1.620092	105	10	5.57	18.24
23-Apr	114	12.61622	32.6374	87.6162	93.4383	6.23	14	5.46	18.14	1.815156	105	10	5.56	18.24
24-Apr	115	12.95461	33.6264	87.9546	93.5338	6.24	14	5.46	18.14	2.001666	105	10	5.56	18.24
25-Apr	116	13.28916	34.6154	88.2892	93.6285	6.24	15	5.45	18.15	2.179445	105	10	5.55	18.24
26-Apr	117	13.61977	35.6044	88.6198	93.7224	6.25	15	5.45	18.15	2.348326	105	10	5.55	18.25
27-Apr	118	13.94634	36.5934	88.9463	93.8153	6.25	15	5.45	18.15	2.508156	105	9	5.54	18.25
28-Apr	119	14.26878	37.5824	89.2688	93.9074	6.26	16	5.44	18.16	2.658794	105	9	5.54	18.25
29-Apr	120	14.587	38.5714	89.587	93.9985	6.27	16	5.44	18.16	2.800113	105	9	5.53	18.25
30-Apr	121	14.90089	39.5604	89.9009	94.0887	6.27	16	5.44	18.16	2.931997	105	9	5.53	18.25

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-May	122	15.21036	40.5495	89.7896	94.1778	6.28	17	5.43	18.17	3.054344	105	9	5.52	18.26
2-May	123	15.51533	41.5385	89.4847	94.266	6.28	17	5.43	18.17	3.167067	105	9	5.52	18.26
3-May	124	15.8157	42.5275	89.1843	94.353	6.29	17	5.43	18.17	3.270088	105	9	5.51	18.26
4-May	125	16.11139	43.5165	88.8886	94.439	6.30	18	5.42	18.18	3.363347	105	9	5.51	18.26
5-May	126	16.4023	44.5055	88.5977	94.5238	6.30	18	5.42	18.18	3.446793	105	9	5.50	18.27
6-May	127	16.68835	45.4945	88.3117	94.6075	6.31	18	5.42	18.18	3.520393	105	8	5.50	18.27
7-May	128	16.96945	46.4835	88.0305	94.69	6.31	19	5.41	18.19	3.584124	105	8	5.50	18.27
8-May	129	17.24553	47.4725	87.7545	94.7712	6.32	19	5.41	18.19	3.637976	105	8	5.49	18.27
9-May	130	17.5165	48.4615	87.4835	94.8512	6.32	19	5.41	18.19	3.681957	105	8	5.49	18.28
10-May	131	17.78227	49.4505	87.2177	94.9299	6.33	20	5.40	18.20	3.716083	105	8	5.49	18.28
11-May	132	18.04278	50.4396	86.9572	95.0073	6.33	20	5.40	18.20	3.740387	105	8	5.48	18.28
12-May	133	18.29794	51.4286	86.7021	95.0834	6.34	20	5.40	18.20	3.754913	105	8	5.48	18.29
13-May	134	18.54768	52.4176	86.4523	95.158	6.34	21	5.39	18.21	3.75972	105	8	5.48	18.29
14-May	135	18.79192	53.4066	86.2081	95.2312	6.35	21	5.39	18.21	3.75488	105	8	5.47	18.29
15-May	136	19.03059	54.3956	85.9694	95.303	6.35	21	5.39	18.21	3.740476	105	8	5.47	18.29
16-May	137	19.26363	55.3846	85.7364	95.3733	6.36	21	5.39	18.21	3.716607	105	8	5.47	18.30
17-May	138	19.49095	56.3736	85.509	95.442	6.36	22	5.38	18.22	3.683382	105	8	5.47	18.30
18-May	139	19.7125	57.3626	85.2875	95.5092	6.37	22	5.38	18.22	3.640924	105	8	5.46	18.30
19-May	140	19.92821	58.3516	85.0718	95.5748	6.37	22	5.38	18.22	3.589369	105	8	5.46	18.31
20-May	141	20.13801	59.3407	84.862	95.6388	6.38	23	5.37	18.23	3.528864	105	8	5.46	18.31
21-May	142	20.34185	60.3297	84.6581	95.7012	6.38	23	5.37	18.23	3.459568	105	9	5.46	18.31
22-May	143	20.53966	61.3187	84.4603	95.7618	6.38	23	5.37	18.23	3.381652	105	9	5.46	18.32
23-May	144	20.73138	62.3077	84.2686	95.8208	6.39	23	5.37	18.23	3.295301	105	9	5.45	18.32
24-May	145	20.91696	63.2967	84.083	95.878	6.39	24	5.36	18.24	3.200708	105	9	5.45	18.32
25-May	146	21.09634	64.2857	83.9037	95.9335	6.40	24	5.36	18.24	3.098079	105	9	5.45	18.33
26-May	147	21.26947	65.2747	83.7305	95.9871	6.40	24	5.36	18.24	2.98763	105	9	5.45	18.33
27-May	148	21.4363	66.2637	83.5637	96.0389	6.40	24	5.36	18.24	2.869587	105	9	5.45	18.33
28-May	149	21.59678	67.2527	83.4032	96.0889	6.41	24	5.36	18.24	2.744189	105	9	5.45	18.34
29-May	150	21.75085	68.2418	83.2491	96.137	6.41	25	5.35	18.25	2.611681	105	9	5.45	18.34
30-May	151	21.89848	69.2308	83.1015	96.1831	6.41	25	5.35	18.25	2.472321	105	10	5.45	18.34
31-May	152	22.03962	70.2198	82.9604	96.2274	6.42	25	5.35	18.25	2.326375	105	10	5.45	18.35

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Jun	153	22.17424	71.2088	82.8258	96.2696	6.42	25	5.35	18.25	2.174118	105	10	5.45	18.35
2-Jun	154	22.30228	72.1978	82.6977	96.3099	6.42	25	5.35	18.25	2.015832	105	10	5.45	18.35
3-Jun	155	22.42371	73.1868	82.5763	96.3482	6.42	25	5.35	18.25	1.85181	105	10	5.45	18.36
4-Jun	156	22.53849	74.1758	82.4615	96.3844	6.43	26	5.34	18.26	1.682351	105	10	5.45	18.36
5-Jun	157	22.6466	75.1648	82.3534	96.4186	6.43	26	5.34	18.26	1.507763	105	10	5.45	18.36
6-Jun	158	22.748	76.1538	82.252	96.4508	6.43	26	5.34	18.26	1.328358	105	11	5.45	18.36
7-Jun	159	22.84266	77.1429	82.1573	96.4808	6.43	26	5.34	18.26	1.144458	105	11	5.45	18.37
8-Jun	160	22.93054	78.1319	82.0695	96.5087	6.43	26	5.34	18.26	0.956389	105	11	5.45	18.37
9-Jun	161	23.01164	79.1209	81.9884	96.5345	6.44	26	5.34	18.26	0.764485	105	11	5.45	18.37
10-Jun	162	23.08591	80.1099	81.9141	96.5582	6.44	26	5.34	18.26	0.569083	105	11	5.45	18.38
11-Jun	163	23.15334	81.0989	81.8467	96.5797	6.44	26	5.34	18.26	0.370526	105	12	5.45	18.38
12-Jun	164	23.21392	82.0879	81.7861	96.599	6.44	26	5.34	18.26	0.169161	105	12	5.45	18.38
13-Jun	165	23.26761	83.0769	81.7324	96.6162	6.44	26	5.34	18.26	-0.03466	105	12	5.46	18.38
14-Jun	166	23.31441	84.0659	81.6856	96.6311	6.44	27	5.33	18.27	-0.24058	105	12	5.46	18.39
15-Jun	167	23.3543	85.0549	81.6457	96.6439	6.44	27	5.33	18.27	-0.44824	105	12	5.46	18.39
16-Jun	168	23.38727	86.044	81.6127	96.6545	6.44	27	5.33	18.27	-0.65729	105	13	5.46	18.39
17-Jun	169	23.41331	87.033	81.5867	96.6628	6.44	27	5.33	18.27	-0.86735	105	13	5.46	18.40
18-Jun	170	23.43241	88.022	81.5676	96.6689	6.44	27	5.33	18.27	-1.07807	105	13	5.46	18.40
19-Jun	171	23.44457	89.011	81.5554	96.6728	6.44	27	5.33	18.27	-1.28907	105	13	5.47	18.40
20-Jun	172	23.44978	90	81.5502	96.6745	6.44	27	5.33	18.27	-1.5	105	14	5.47	18.40
21-Jun	173	23.44805	90.989	81.552	96.6739	6.44	27	5.33	18.27	-1.71048	105	14	5.47	18.40
22-Jun	174	23.43936	91.978	81.5606	96.6711	6.44	27	5.33	18.27	-1.92014	105	14	5.47	18.41
23-Jun	175	23.42373	92.967	81.5763	96.6661	6.44	27	5.33	18.27	-2.12863	105	14	5.47	18.41
24-Jun	176	23.40116	93.956	81.5988	96.6589	6.44	27	5.33	18.27	-2.33556	105	14	5.48	18.41
25-Jun	177	23.37165	94.9451	81.6283	96.6495	6.44	27	5.33	18.27	-2.54059	105	15	5.48	18.41
26-Jun	178	23.33522	95.9341	81.6648	96.6378	6.44	27	5.33	18.27	-2.74334	105	15	5.48	18.41
27-Jun	179	23.29187	96.9231	81.7081	96.6239	6.44	26	5.34	18.26	-2.94347	105	15	5.48	18.41
28-Jun	180	23.24162	97.9121	81.7584	96.6079	6.44	26	5.34	18.26	-3.1406	105	15	5.49	18.42
29-Jun	181	23.18449	98.9011	81.8155	96.5896	6.44	26	5.34	18.26	-3.3344	105	15	5.49	18.42
30-Jun	182	23.12048	99.8901	81.8795	96.5692	6.44	26	5.34	18.26	-3.5245	105	16	5.49	18.42

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Jul	183	23.04963	100.879	81.9504	96.5466	6.44	26	5.34	18.26	-3.71057	105	16	5.50	18.42
2-Jul	184	22.97194	101.868	82.0281	96.5219	6.43	26	5.34	18.26	-3.89226	105	16	5.50	18.42
3-Jul	185	22.88745	102.857	82.1126	96.495	6.43	26	5.34	18.26	-4.06924	105	16	5.50	18.42
4-Jul	186	22.79617	103.846	82.2038	96.466	6.43	26	5.34	18.26	-4.24118	105	16	5.50	18.42
5-Jul	187	22.69814	104.835	82.3019	96.435	6.43	26	5.34	18.26	-4.40776	105	16	5.51	18.42
6-Jul	188	22.59338	105.824	82.4066	96.4018	6.43	26	5.34	18.26	-4.56866	105	17	5.51	18.42
7-Jul	189	22.48193	106.813	82.5181	96.3666	6.42	25	5.35	18.25	-4.72357	105	17	5.51	18.42
8-Jul	190	22.36382	107.802	82.6362	96.3293	6.42	25	5.35	18.25	-4.87219	105	17	5.52	18.42
9-Jul	191	22.23908	108.791	82.7609	96.29	6.42	25	5.35	18.25	-5.01421	105	17	5.52	18.42
10-Jul	192	22.10775	109.78	82.8923	96.2487	6.42	25	5.35	18.25	-5.14937	105	17	5.52	18.42
11-Jul	193	21.96987	110.769	83.0301	96.2055	6.41	25	5.35	18.25	-5.27737	105	17	5.52	18.42
12-Jul	194	21.82548	111.758	83.1745	96.1603	6.41	25	5.35	18.25	-5.39795	105	17	5.53	18.42
13-Jul	195	21.67462	112.747	83.3254	96.1132	6.41	24	5.36	18.24	-5.51085	105	18	5.53	18.42
14-Jul	196	21.51734	113.736	83.4827	96.0641	6.40	24	5.36	18.24	-5.61581	105	18	5.53	18.42
15-Jul	197	21.35368	114.725	83.6463	96.0132	6.40	24	5.36	18.24	-5.7126	105	18	5.54	18.42
16-Jul	198	21.18369	115.714	83.8163	95.9605	6.40	24	5.36	18.24	-5.80099	105	18	5.54	18.42
17-Jul	199	21.00743	116.703	83.9926	95.906	6.39	24	5.36	18.24	-5.88074	105	18	5.54	18.42
18-Jul	200	20.82494	117.692	84.1751	95.8496	6.39	23	5.37	18.23	-5.95167	105	18	5.55	18.41
19-Jul	201	20.63629	118.681	84.3637	95.7915	6.39	23	5.37	18.23	-6.01356	105	18	5.55	18.41
20-Jul	202	20.44151	119.67	84.5585	95.7317	6.38	23	5.37	18.23	-6.06623	105	18	5.55	18.41
21-Jul	203	20.24068	120.659	84.7593	95.6702	6.38	23	5.37	18.23	-6.10951	105	18	5.55	18.41
22-Jul	204	20.03385	121.648	84.9661	95.607	6.37	22	5.38	18.22	-6.14322	105	18	5.56	18.41
23-Jul	205	19.82109	122.637	85.1789	95.5422	6.37	22	5.38	18.22	-6.16723	105	18	5.56	18.40
24-Jul	206	19.60245	123.626	85.3975	95.4758	6.37	22	5.38	18.22	-6.18138	105	18	5.56	18.40
25-Jul	207	19.37801	124.615	85.622	95.4078	6.36	22	5.38	18.22	-6.18556	105	18	5.57	18.40
26-Jul	208	19.14782	125.604	85.8522	95.3383	6.36	21	5.39	18.21	-6.17964	105	18	5.57	18.40
27-Jul	209	18.91195	126.593	86.088	95.2673	6.35	21	5.39	18.21	-6.16354	105	18	5.57	18.39
28-Jul	210	18.67049	127.582	86.3295	95.1948	6.35	21	5.39	18.21	-6.13715	105	18	5.57	18.39
29-Jul	211	18.42349	128.571	86.5765	95.1209	6.34	20	5.40	18.20	-6.10041	105	18	5.58	18.39
30-Jul	212	18.17103	129.56	86.829	95.0455	6.34	20	5.40	18.20	-6.05325	105	18	5.58	18.38
31-Jul	213	17.91319	130.549	87.0868	94.9688	6.33	20	5.40	18.20	-5.99562	105	18	5.58	18.38

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Aug	214	17.65004	131.538	87.35	94.8908	6.33	20	5.40	18.20	-5.92749	105	18	5.58	18.37
2-Aug	215	17.38166	132.527	87.6183	94.8114	6.32	19	5.41	18.19	-5.84884	105	18	5.59	18.37
3-Aug	216	17.10812	133.516	87.8919	94.7308	6.32	19	5.41	18.19	-5.75965	105	18	5.59	18.37
4-Aug	217	16.82952	134.505	88.1705	94.6489	6.31	19	5.41	18.19	-5.65994	105	18	5.59	18.36
5-Aug	218	16.54594	135.495	88.4541	94.5658	6.30	18	5.42	18.18	-5.54973	105	18	6.00	18.36
6-Aug	219	16.25744	136.484	88.7426	94.4815	6.30	18	5.42	18.18	-5.42904	105	17	5.59	18.35
7-Aug	220	15.96414	137.473	89.0359	94.3961	6.29	18	5.42	18.18	-5.29792	105	17	5.59	18.35
8-Aug	221	15.6661	138.462	89.3339	94.3096	6.29	17	5.43	18.17	-5.15643	105	17	6.00	18.34
9-Aug	222	15.36342	139.451	89.6366	94.222	6.28	17	5.43	18.17	-5.00466	105	17	6.00	18.34
10-Aug	223	15.05618	140.44	89.9438	94.1334	6.28	17	5.43	18.17	-4.84267	105	17	6.00	18.33
11-Aug	224	14.74449	141.429	89.7445	94.0437	6.27	16	5.44	18.16	-4.67058	105	17	6.01	18.33
12-Aug	225	14.42842	142.418	89.4284	93.9531	6.26	16	5.44	18.16	-4.4885	105	16	6.00	18.32
13-Aug	226	14.10808	143.407	89.1081	93.8615	6.26	15	5.45	18.15	-4.29655	105	16	6.01	18.32
14-Aug	227	13.78356	144.396	88.7836	93.7689	6.25	15	5.45	18.15	-4.09488	105	16	6.01	18.31
15-Aug	228	13.45496	145.385	88.455	93.6755	6.25	15	5.45	18.15	-3.88364	105	16	6.01	18.31
16-Aug	229	13.12237	146.374	88.1224	93.5813	6.24	14	5.46	18.14	-3.66299	105	16	6.02	18.30
17-Aug	230	12.78589	147.363	87.7859	93.4861	6.23	14	5.46	18.14	-3.43312	105	15	6.01	18.29
18-Aug	231	12.44562	148.352	87.4456	93.3902	6.23	14	5.46	18.14	-3.19421	105	15	6.01	18.29
19-Aug	232	12.10166	149.341	87.1017	93.2935	6.22	13	5.47	18.13	-2.94646	105	15	6.02	18.28
20-Aug	233	11.75412	150.33	86.7541	93.1961	6.21	13	5.47	18.13	-2.6901	105	15	6.02	18.27
21-Aug	234	11.40309	151.319	86.4031	93.098	6.21	12	5.48	18.12	-2.42535	105	14	6.02	18.27
22-Aug	235	11.04869	152.308	86.0487	92.9991	6.20	12	5.48	18.12	-2.15245	105	14	6.02	18.26
23-Aug	236	10.69101	153.297	85.691	92.8996	6.19	12	5.48	18.12	-1.87165	105	14	6.02	18.25
24-Aug	237	10.33017	154.286	85.3302	92.7995	6.19	11	5.49	18.11	-1.58321	105	14	6.02	18.25
25-Aug	238	9.966258	155.275	84.9663	92.6987	6.18	11	5.49	18.11	-1.2874	105	13	6.02	18.24
26-Aug	239	9.599397	156.264	84.5994	92.5974	6.17	10	5.50	18.10	-0.9845	105	13	6.03	18.23
27-Aug	240	9.229692	157.253	84.2297	92.4955	6.17	10	5.50	18.10	-0.67481	105	13	6.03	18.23
28-Aug	241	8.857252	158.242	83.8573	92.3931	6.16	10	5.50	18.10	-0.35862	105	12	6.03	18.22
29-Aug	242	8.482187	159.231	83.4822	92.2902	6.15	9	5.51	18.09	-0.03626	105	12	6.03	18.21
30-Aug	243	8.104609	160.22	83.1046	92.1868	6.15	9	5.51	18.09	0.29197	105	12	6.03	18.20
31-Aug	244	7.724629	161.209	82.7246	92.0829	6.14	8	5.52	18.08	0.625728	105	11	6.03	18.20

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Sep	245	7.34236	162.198	82.3424	91.9786	6.13	8	5.52	18.08	0.964679	105	11	6.03	18.19
2-Sep	246	6.957916	163.187	81.9579	91.8739	6.12	7	5.53	18.07	1.308478	105	11	6.03	18.18
3-Sep	247	6.571409	164.176	81.5714	91.7688	6.12	7	5.53	18.07	1.656773	105	10	6.03	18.17
4-Sep	248	6.182956	165.165	81.183	91.6634	6.11	7	5.53	18.07	2.009203	105	10	6.03	18.17
5-Sep	249	5.79267	166.154	80.7927	91.5576	6.10	6	5.54	18.06	2.365401	105	10	6.03	18.16
6-Sep	250	5.400668	167.143	80.4007	91.4516	6.10	6	5.54	18.06	2.724993	105	9	6.03	18.15
7-Sep	251	5.007065	168.132	80.0071	91.3452	6.09	5	5.55	18.05	3.087601	105	9	6.04	18.14
8-Sep	252	4.611979	169.121	79.612	91.2385	6.08	5	5.55	18.05	3.452841	105	9	6.04	18.14
9-Sep	253	4.215526	170.11	79.2155	91.1317	6.08	5	5.55	18.05	3.820321	105	8	6.04	18.13
10-Sep	254	3.817824	171.099	78.8178	91.0246	6.07	4	5.56	18.04	4.189648	105	8	6.04	18.12
11-Sep	255	3.418991	172.088	78.419	90.9172	6.06	4	5.56	18.04	4.560424	105	7	6.04	18.11
12-Sep	256	3.019145	173.077	78.0191	90.8098	6.05	3	5.57	18.03	4.932247	105	7	6.04	18.10
13-Sep	257	2.618404	174.066	77.6184	90.7021	6.05	3	5.57	18.03	5.304712	105	7	6.04	18.10
14-Sep	258	2.216887	175.055	77.2169	90.5943	6.04	2	5.58	18.02	5.67741	105	6	6.04	18.09
15-Sep	259	1.814713	176.044	76.8147	90.4864	6.03	2	5.58	18.02	6.049931	105	6	6.04	18.08
16-Sep	260	1.412001	177.033	76.412	90.3784	6.03	2	5.58	18.02	6.421864	105	6	6.04	18.07
17-Sep	261	1.008871	178.022	76.0089	90.2704	6.02	1	5.59	18.01	6.792796	105	5	6.04	18.06
18-Sep	262	0.605442	179.011	75.6054	90.1622	6.01	1	5.59	18.01	7.162313	105	5	6.04	18.05
19-Sep	263	0.201834	180	75.2018	90.0541	6.00	0	6.00	18.00	7.53	105	4	6.04	18.05
20-Sep	264	-0.20183	180.989	74.7982	89.9459	6.00	0	6.00	18.00	7.895443	105	4	6.04	18.04
21-Sep	265	-0.60544	181.978	74.3946	89.8378	5.99	59	6.01	17.59	8.25823	105	4	6.04	17.63
22-Sep	266	-1.00887	182.967	73.9911	89.7296	5.98	59	6.01	17.59	8.617947	105	3	6.04	17.62
23-Sep	267	-1.412	183.956	73.588	89.6216	5.97	58	6.02	17.58	8.974185	105	3	6.05	17.62
24-Sep	268	-1.81471	184.945	73.1853	89.5136	5.97	58	6.02	17.58	9.326534	105	3	6.05	17.61
25-Sep	269	-2.21689	185.934	72.7831	89.4057	5.96	58	6.02	17.58	9.67459	105	2	6.05	17.60
26-Sep	270	-2.6184	186.923	72.3816	89.2979	5.95	57	6.03	17.57	10.01795	105	2	6.05	17.59
27-Sep	271	-3.01914	187.912	71.9809	89.1902	5.95	57	6.03	17.57	10.35621	105	2	6.05	17.58
28-Sep	272	-3.41899	188.901	71.581	89.0828	5.94	56	6.04	17.56	10.68898	105	1	6.05	17.58
29-Sep	273	-3.81782	189.89	71.1822	88.9754	5.93	56	6.04	17.56	11.01587	105	1	6.05	17.57
30-Sep	274	-4.21553	190.879	70.7845	88.8683	5.92	55	6.05	17.55	11.33649	105	1	6.05	17.56

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Oct	275	-4.61198	191.868	70.388	88.7615	5.92	55	6.05	17.55	11.65047	105	0	6.05	17.55
2-Oct	276	-5.00707	192.857	69.9929	88.6548	5.91	55	6.05	17.55	11.95742	105	0	6.05	17.55
3-Oct	277	-5.40067	193.846	69.5993	88.5484	5.90	54	6.06	17.54	12.25698	105	0	6.06	17.54
4-Oct	278	-5.79267	194.835	69.2073	88.4424	5.90	54	6.06	17.54	12.54879	105	-1	6.06	17.53
5-Oct	279	-6.18296	195.824	68.817	88.3366	5.89	53	6.07	17.53	12.8325	105	-1	6.06	17.53
6-Oct	280	-6.57141	196.813	68.4286	88.2312	5.88	53	6.07	17.53	13.10775	105	-1	6.06	17.52
7-Oct	281	-6.95792	197.802	68.0421	88.1261	5.88	53	6.07	17.53	13.37421	105	-1	6.06	17.51
8-Oct	282	-7.34236	198.791	67.6576	88.0214	5.87	52	6.08	17.52	13.63155	105	-2	6.06	17.50
9-Oct	283	-7.72463	199.78	67.2754	87.9171	5.86	52	6.08	17.52	13.87945	105	-2	6.06	17.50
10-Oct	284	-8.10461	200.769	66.8954	87.8132	5.85	51	6.09	17.51	14.1176	105	-2	6.07	17.49
11-Oct	285	-8.48219	201.758	66.5178	87.7098	5.85	51	6.09	17.51	14.34569	105	-2	6.07	17.48
12-Oct	286	-8.85725	202.747	66.1427	87.6069	5.84	50	6.10	17.50	14.56343	105	-3	6.07	17.48
13-Oct	287	-9.22969	203.736	65.7703	87.5045	5.83	50	6.10	17.50	14.77054	105	-3	6.07	17.47
14-Oct	288	-9.5994	204.725	65.4006	87.4026	5.83	50	6.10	17.50	14.96675	105	-3	6.07	17.47
15-Oct	289	-9.96626	205.714	65.0337	87.3013	5.82	49	6.11	17.49	15.1518	105	-3	6.08	17.46
16-Oct	290	-10.3302	206.703	64.6698	87.2005	5.81	49	6.11	17.49	15.32543	105	-3	6.08	17.45
17-Oct	291	-10.691	207.692	64.309	87.1004	5.81	48	6.12	17.48	15.48742	105	-3	6.08	17.45
18-Oct	292	-11.0487	208.681	63.9513	87.0009	5.80	48	6.12	17.48	15.63753	105	-4	6.08	17.44
19-Oct	293	-11.4031	209.67	63.5969	86.902	5.79	48	6.12	17.48	15.77556	105	-4	6.09	17.44
20-Oct	294	-11.7541	210.659	63.2459	86.8039	5.79	47	6.13	17.47	15.90129	105	-4	6.09	17.43
21-Oct	295	-12.1017	211.648	62.8983	86.7065	5.78	47	6.13	17.47	16.01455	105	-4	6.09	17.43
22-Oct	296	-12.4456	212.637	62.5544	86.6098	5.77	46	6.14	17.46	16.11516	105	-4	6.09	17.42
23-Oct	297	-12.7859	213.626	62.2141	86.5139	5.77	46	6.14	17.46	16.20295	105	-4	6.10	17.42
24-Oct	298	-13.1224	214.615	61.8776	86.4187	5.76	46	6.14	17.46	16.27778	105	-4	6.10	17.41
25-Oct	299	-13.455	215.604	61.545	86.3245	5.75	45	6.15	17.45	16.33951	105	-4	6.10	17.41
26-Oct	300	-13.7836	216.593	61.2164	86.2311	5.75	45	6.15	17.45	16.38802	105	-4	6.11	17.41
27-Oct	301	-14.1081	217.582	60.8919	86.1385	5.74	45	6.15	17.45	16.4232	105	-4	6.11	17.40
28-Oct	302	-14.4284	218.571	60.5716	86.0469	5.74	44	6.16	17.44	16.44496	105	-4	6.11	17.40
29-Oct	303	-14.7445	219.56	60.2555	85.9563	5.73	44	6.16	17.44	16.45323	105	-4	6.12	17.39
30-Oct	304	-15.0562	220.549	59.9438	85.8666	5.72	43	6.17	17.43	16.44792	105	-4	6.12	17.39
31-Oct	305	-15.3634	221.538	59.6366	85.778	5.72	43	6.17	17.43	16.42901	105	-4	6.12	17.39

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Nov	306	-15.6661	222.527	59.3339	85.6904	5.71	43	6.17	17.43	16.39644	105	-4	6.13	17.38
2-Nov	307	-15.9641	223.516	59.0359	85.6039	5.71	42	6.18	17.42	16.35019	105	-4	6.13	17.38
3-Nov	308	-16.2574	224.505	58.7426	85.5185	5.70	42	6.18	17.42	16.29027	105	-4	6.14	17.38
4-Nov	309	-16.5459	225.495	58.4541	85.4342	5.70	42	6.18	17.42	16.21667	105	-4	6.14	17.38
5-Nov	310	-16.8295	226.484	58.1705	85.3511	5.69	41	6.19	17.41	16.12941	105	-4	6.14	17.37
6-Nov	311	-17.1081	227.473	57.8919	85.2692	5.68	41	6.19	17.41	16.02855	105	-4	6.15	17.37
7-Nov	312	-17.3817	228.462	57.6183	85.1886	5.68	41	6.19	17.41	15.91412	105	-4	6.15	17.37
8-Nov	313	-17.65	229.451	57.35	85.1092	5.67	40	6.20	17.40	15.78619	105	-4	6.16	17.37
9-Nov	314	-17.9132	230.44	57.0868	85.0312	5.67	40	6.20	17.40	15.64484	105	-4	6.16	17.36
10-Nov	315	-18.171	231.429	56.829	84.9545	5.66	40	6.20	17.40	15.49016	105	-3	6.17	17.36
11-Nov	316	-18.4235	232.418	56.5765	84.8791	5.66	40	6.20	17.40	15.32228	105	-3	6.17	17.36
12-Nov	317	-18.6705	233.407	56.3295	84.8052	5.65	39	6.21	17.39	15.14129	105	-3	6.18	17.36
13-Nov	318	-18.912	234.396	56.088	84.7327	5.65	39	6.21	17.39	14.94736	105	-3	6.18	17.36
14-Nov	319	-19.1478	235.385	55.8522	84.6617	5.64	39	6.21	17.39	14.74061	105	-3	6.19	17.36
15-Nov	320	-19.378	236.374	55.622	84.5922	5.64	38	6.22	17.38	14.52123	105	-3	6.19	17.36
16-Nov	321	-19.6025	237.363	55.3975	84.5242	5.63	38	6.22	17.38	14.28939	105	-2	6.20	17.36
17-Nov	322	-19.8211	238.352	55.1789	84.4578	5.63	38	6.22	17.38	14.04527	105	-2	6.20	17.36
18-Nov	323	-20.0339	239.341	54.9661	84.393	5.63	38	6.22	17.38	13.78909	105	-2	6.21	17.36
19-Nov	324	-20.2407	240.33	54.7593	84.3298	5.62	37	6.23	17.37	13.52106	105	-2	6.21	17.36
20-Nov	325	-20.4415	241.319	54.5585	84.2683	5.62	37	6.23	17.37	13.24142	105	-1	6.22	17.36
21-Nov	326	-20.6363	242.308	54.3637	84.2085	5.61	37	6.23	17.37	12.9504	105	-1	6.22	17.36
22-Nov	327	-20.8249	243.297	54.1751	84.1504	5.61	37	6.23	17.37	12.64826	105	-1	6.23	17.36
23-Nov	328	-21.0074	244.286	53.9926	84.094	5.61	36	6.24	17.36	12.33527	105	0	6.23	17.36
24-Nov	329	-21.1837	245.275	53.8163	84.0395	5.60	36	6.24	17.36	12.01171	105	0	6.24	17.36
25-Nov	330	-21.3537	246.264	53.6463	83.9868	5.60	36	6.24	17.36	11.67787	105	0	6.24	17.36
26-Nov	331	-21.5173	247.253	53.4827	83.9359	5.60	36	6.24	17.36	11.33405	105	1	6.25	17.36
27-Nov	332	-21.6746	248.242	53.3254	83.8868	5.59	36	6.24	17.36	10.98056	105	1	6.25	17.37
28-Nov	333	-21.8255	249.231	53.1745	83.8397	5.59	35	6.25	17.35	10.61772	105	1	6.26	17.37
29-Nov	334	-21.9699	250.22	53.0301	83.7945	5.59	35	6.25	17.35	10.24587	105	2	6.27	17.37
30-Nov	335	-22.1077	251.209	52.8923	83.7513	5.58	35	6.25	17.35	9.865348	105	2	6.27	17.37

วันเดือนปี	วัน(ปี)	delta(s)	B	alfa	hss or hsr	เวลา ชม.	เวลา นาที	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก	ET	lst	(-ET-4(lst-llocal)	ดวงอาทิตย์ขึ้น	ดวงอาทิตย์ตก
1-Dec	336	-22.2391	252.198	52.7609	83.71	5.58	35	6.25	17.35	9.476507	105	3	6.28	17.37
2-Dec	337	-22.3638	253.187	52.6362	83.6707	5.58	35	6.25	17.35	9.079706	105	3	6.28	17.38
3-Dec	338	-22.4819	254.176	52.5181	83.6334	5.58	35	6.25	17.35	8.675315	105	3	6.29	17.38
4-Dec	339	-22.5934	255.165	52.4066	83.5982	5.57	34	6.26	17.34	8.263711	105	4	6.29	17.38
5-Dec	340	-22.6981	256.154	52.3019	83.565	5.57	34	6.26	17.34	7.845277	105	4	6.30	17.38
6-Dec	341	-22.7962	257.143	52.2038	83.534	5.57	34	6.26	17.34	7.420407	105	5	6.30	17.39
7-Dec	342	-22.8874	258.132	52.1126	83.505	5.57	34	6.26	17.34	6.989498	105	5	6.31	17.39
8-Dec	343	-22.9719	259.121	52.0281	83.4781	5.57	34	6.26	17.34	6.552956	105	5	6.32	17.39
9-Dec	344	-23.0496	260.11	51.9504	83.4534	5.56	34	6.26	17.34	6.111191	105	6	6.32	17.40
10-Dec	345	-23.1205	261.099	51.8795	83.4308	5.56	34	6.26	17.34	5.66462	105	6	6.33	17.40
11-Dec	346	-23.1845	262.088	51.8155	83.4104	5.56	34	6.26	17.34	5.213665	105	7	6.33	17.40
12-Dec	347	-23.2416	263.077	51.7584	83.3921	5.56	34	6.26	17.34	4.75875	105	7	6.34	17.41
13-Dec	348	-23.2919	264.066	51.7081	83.3761	5.56	34	6.26	17.34	4.300307	105	8	6.34	17.41
14-Dec	349	-23.3352	265.055	51.6648	83.3622	5.56	33	6.27	17.33	3.838767	105	8	6.35	17.42
15-Dec	350	-23.3717	266.044	51.6283	83.3505	5.56	33	6.27	17.33	3.374569	105	9	6.35	17.42
16-Dec	351	-23.4012	267.033	51.5988	83.3411	5.56	33	6.27	17.33	2.908152	105	9	6.36	17.42
17-Dec	352	-23.4237	268.022	51.5763	83.3339	5.56	33	6.27	17.33	2.439955	105	10	6.36	17.43
18-Dec	353	-23.4394	269.011	51.5606	83.3289	5.56	33	6.27	17.33	1.970423	105	10	6.37	17.43
19-Dec	354	-23.448	270	51.552	83.3261	5.56	33	6.27	17.33	1.5	105	11	6.37	17.44
20-Dec	355	-23.4498	270.989	51.5502	83.3255	5.56	33	6.27	17.33	1.02913	105	11	6.38	17.44
21-Dec	356	-23.4446	271.978	51.5554	83.3272	5.56	33	6.27	17.33	0.558257	105	11	6.38	17.45
22-Dec	357	-23.4324	272.967	51.5676	83.3311	5.56	33	6.27	17.33	0.087827	105	12	6.39	17.45
23-Dec	358	-23.4133	273.956	51.5867	83.3372	5.56	33	6.27	17.33	-0.38172	105	12	6.39	17.46
24-Dec	359	-23.3873	274.945	51.6127	83.3455	5.56	33	6.27	17.33	-0.84993	105	13	6.39	17.46
25-Dec	360	-23.3543	275.934	51.6457	83.3561	5.56	33	6.27	17.33	-1.31638	105	13	6.40	17.47
26-Dec	361	-23.3144	276.923	51.6856	83.3689	5.56	33	6.27	17.33	-1.78062	105	14	6.40	17.47
27-Dec	362	-23.2676	277.912	51.7324	83.3838	5.56	34	6.26	17.34	-2.24222	105	14	6.41	17.48
28-Dec	363	-23.2139	278.901	51.7861	83.401	5.56	34	6.26	17.34	-2.70075	105	15	6.41	17.48

29-Dec	364	-23.1533	279.89	51.8467	83.4203	5.56	34	6.26	17.34	-3.15577	105	15	6.41	17.49
30-Dec	365	-23.0859	280.879	51.9141	83.4418	5.56	34	6.26	17.34	-3.60687	105	16	6.42	17.49
31-Dec	366	-23.0116	281.868	51.9884	83.4655	5.56	34	6.26	17.34	-4.05363	105	16	6.42	17.50

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลทางเทคนิคกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลทางเทคนิคกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ ณ มทศ.

กลุ่มที่ 1	STC@ 1000 W/m ² ,Am 1.5,Tcell 25 ⁰ C					STC@ 800 W/m ² ,Am 1.5,Tcell 49 ⁰ C		
	P _{max}	V _{OC}	I _{SC}	V _{pmax}	I _{pmax}	P _{max}	I _{pmax}	V _{pmax}
1	81.60	21.50	5.38	16.30	5.01	59.20	4.00	14.80
2	81.50	21.50	5.38	16.50	4.95	59.00	4.05	14.57
3	80.20	21.30	5.29	16.60	4.83	58.20	3.95	14.73
4	82.10	21.50	5.32	16.80	4.88	59.60	3.95	15.09
5	80.20	21.30	5.31	16.40	4.88	58.10	3.95	14.71
6	81.00	21.50	5.24	16.60	4.88	58.80	3.94	14.92
7	81.40	21.40	5.40	16.40	4.97	58.90	3.97	14.84
8	80.00	21.30	5.28	16.40	4.86	57.90	3.98	14.55
9	81.00	21.30	5.30	16.60	4.87	58.70	3.99	14.71
10	80.20	21.40	5.24	16.60	4.84	58.20	3.89	14.96
11	80.50	21.40	5.32	16.30	4.95	58.40	3.91	14.94
12	81.20	21.40	5.39	16.40	4.97	58.80	3.97	14.81
13	81.50	21.40	5.33	16.60	4.92	59.10	4.03	14.67
14	80.20	21.40	5.26	16.60	4.84	58.20	3.93	14.81
15	80.40	21.30	5.34	16.40	4.90	58.20	3.91	14.88
16	80.50	21.30	5.29	16.40	4.92	58.20	4.02	14.48
เฉลี่ย	80.84	21.39	5.32	16.49	4.90	58.59	3.97	14.78

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

กลุ่มที่ 2	STC@ 1000 W/m ² ,Am 1.5,Tcell 25 ⁰ C					STC@ 800 W/m ² ,Am 1.5,Tcell 49 ⁰ C		
	P _{max}	V _{OC}	I _{SC}	V _{pmax}	I _{pmax}	P _{max}	I _{pmax}	V _{pmax}
1	80.00	21.50	5.27	16.50	4.85	57.90	3.97	14.58
2	80.10	21.60	5.16	16.80	4.78	58.30	3.87	15.06
3	82.90	21.60	5.33	16.80	4.94	60.20	3.95	15.24
4	80.40	21.40	5.37	17.00	4.73	58.50	3.87	15.12
5	80.30	21.30	5.30	16.40	4.90	58.30	3.89	14.99
6	80.90	21.30	5.30	16.50	4.91	58.50	3.97	14.74
7	80.00	21.40	5.30	16.60	4.82	58.00	3.86	15.03
8	80.90	21.20	5.35	16.60	4.86	58.70	3.98	14.75
9	82.40	21.50	5.32	17.00	4.86	59.90	3.98	15.05
10	80.10	21.50	5.19	16.70	4.79	58.20	3.92	14.85
11	82.80	21.50	5.36	17.00	4.85	60.20	3.97	15.16
12	81.10	21.40	5.26	16.60	4.89	58.80	3.94	14.92
13	81.00	21.40	5.37	16.60	4.87	58.70	3.94	14.90
14	81.00	21.40	5.32	16.50	4.89	58.80	3.89	15.12
15	83.50	21.50	5.36	16.70	5.01	60.50	4.10	14.76
16	80.90	21.50	5.24	16.90	4.77	58.80	3.91	15.04
เฉลี่ย	81.14	21.44	5.30	16.70	4.86	58.89	3.94	14.96

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

กลุ่มที่ 3	STC@ 1000 W/m ² ,Am 1.5,Tcell 25 ⁰ C					STC@ 800 W/m ² ,Am 1.5,Tcell 49 ⁰ C		
	P _{max}	V _{OC}	I _{SC}	V _{pmax}	I _{pmax}	P _{max}	I _{pmax}	V _{pmax}
1	81.00	21.30	5.34	16.70	4.84	58.80	3.96	14.85
2	80.40	21.40	5.32	16.40	4.89	58.30	3.88	15.03
3	81.80	21.60	5.42	16.40	5.00	59.10	4.09	14.45
4	80.40	21.50	5.22	16.60	4.86	58.40	3.88	15.05
5	81.40	21.40	5.36	16.60	4.91	59.00	3.98	14.82
6	81.90	21.60	5.38	16.30	5.01	59.20	4.10	14.44
7	80.90	21.50	5.39	17.00	4.75	58.90	3.89	15.14
8	81.90	21.50	5.34	16.60	4.93	59.40	3.95	15.04
9	82.50	21.50	5.38	16.80	4.90	59.90	3.97	15.09
10	80.40	21.40	5.26	16.70	4.80	58.30	3.93	14.83
11	80.00	21.50	5.23	16.70	4.80	58.00	3.83	15.14
12	81.80	21.50	5.30	16.60	4.93	59.30	3.98	14.90
13	80.50	21.40	5.26	16.60	4.82	58.30	3.91	14.91
14	80.70	21.50	5.25	16.70	4.83	58.60	3.95	14.84
15	82.90	21.60	5.32	17.00	4.88	60.30	3.99	15.11
16	80.60	21.70	5.27	16.60	4.84	58.60	3.92	14.95
เฉลี่ย	81.19	21.49	5.32	16.64	4.87	58.90	3.95	14.91
เฉลี่ยรวม	81.06	21.44	5.31	16.61	4.88	58.80	3.95	14.88

ภาคผนวก ง

ตารางข้อมูลประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G-304

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
0.03	0.01
0.04	0.02
0.05	0.03
0.06	0.04
0.07	0.05
0.08	0.05
0.09	0.06
0.1	0.07
0.11	0.08
0.12	0.09
0.13	0.1
0.14	0.11
0.15	0.11
0.16	0.12
0.17	0.13
0.18	0.13
0.19	0.14
0.2	0.15
0.21	0.16
0.22	0.17
0.23	0.18
0.24	0.19
0.25	0.2
0.26	0.21
0.27	0.22
0.28	0.23
0.29	0.24
0.3	0.25

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
0.31	0.26
0.32	0.27
0.33	0.28
0.34	0.29
0.35	0.3
0.36	0.3
0.37	0.31
0.38	0.32
0.39	0.33
0.4	0.34
0.41	0.35
0.42	0.36
0.43	0.37
0.44	0.38
0.45	0.39
0.46	0.4
0.47	0.41
0.48	0.42
0.49	0.43
0.5	0.43
0.51	0.44
0.52	0.45
0.53	0.46
0.54	0.47
0.55	0.48
0.56	0.48
0.57	0.49
0.58	0.5

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
0.59	0.51
0.6	0.52
0.61	0.53
0.62	0.54
0.63	0.55
0.64	0.56
0.65	0.57
0.66	0.58
0.67	0.59
0.68	0.6
0.69	0.61
0.7	0.62
0.71	0.63
0.72	0.64
0.73	0.65
0.74	0.66
0.75	0.67
0.76	0.68
0.77	0.69
0.78	0.7
0.79	0.71
0.8	0.72
0.81	0.73
0.82	0.74
0.83	0.75
0.84	0.76
0.85	0.77
0.86	0.77

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
0.87	0.78
0.88	0.79
0.89	0.8
0.9	0.81
0.91	0.82
0.92	0.83
0.93	0.84
0.94	0.85
0.95	0.85
0.96	0.86
0.97	0.87
0.98	0.88
0.99	0.89
1	0.9
1.01	0.91
1.02	0.92
1.03	0.93
1.04	0.94
1.05	0.95
1.06	0.95
1.07	0.96
1.08	0.97
1.09	0.98
1.1	0.99
1.11	1
1.12	1.01
1.13	1.02
1.14	1.03

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
1.15	1.04
1.16	1.04
1.17	1.05
1.18	1.06
1.19	1.07
1.2	1.08
1.21	1.09
1.22	1.1
1.23	1.11
1.24	1.12
1.25	1.13
1.26	1.14
1.27	1.15
1.28	1.16
1.29	1.17
1.3	1.18
1.31	1.19
1.32	1.2
1.33	1.21
1.34	1.22
1.35	1.23
1.36	1.23
1.37	1.24
1.38	1.25
1.39	1.26
1.4	1.27
1.41	1.28
1.42	1.29

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
1.43	1.3
1.44	1.31
1.45	1.32
1.46	1.33
1.47	1.34
1.48	1.35
1.49	1.36
1.5	1.37
1.51	1.38
1.52	1.39
1.53	1.39
1.54	1.4
1.55	1.41
1.56	1.42
1.57	1.43
1.58	1.44
1.59	1.45
1.6	1.46
1.61	1.47
1.62	1.48
1.63	1.49
1.64	1.5
1.65	1.51
1.66	1.51
1.67	1.52
1.68	1.53
1.69	1.54
1.7	1.55

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
1.71	1.56
1.72	1.57
1.73	1.58
1.74	1.59
1.75	1.6
1.76	1.61
1.77	1.62
1.78	1.63
1.79	1.64
1.8	1.65
1.81	1.66
1.82	1.67
1.83	1.68
1.84	1.69
1.85	1.7
1.86	1.7
1.87	1.71
1.88	1.72
1.89	1.73
1.9	1.74
1.91	1.75
1.92	1.76
1.93	1.77
1.94	1.78
1.95	1.79
1.96	1.8
1.97	1.81
1.98	1.82

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
1.99	1.83
2	1.84
2.01	1.84
2.02	1.85
2.03	1.86
2.04	1.87
2.05	1.87
2.06	1.88
2.07	1.89
2.08	1.9
2.09	1.91
2.1	1.92
2.11	1.93
2.12	1.94
2.13	1.95
2.14	1.95
2.15	1.96
2.16	1.97
2.17	1.97
2.18	1.98
2.19	1.98
2.2	1.99
2.21	1.99
2.22	2
2.23	2
2.24	2.01
2.25	2.02
2.26	2.03

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
2.27	2.03
2.28	2.04
2.29	2.05
2.3	2.05
2.31	2.06
2.32	2.07
2.33	2.07
2.34	2.08
2.35	2.08
2.36	2.09
2.37	2.09
2.38	2.1
2.39	2.11
2.4	2.11
2.41	2.12
2.42	2.12
2.43	2.13
2.44	2.13
2.45	2.13
2.46	2.14
2.47	2.15
2.48	2.15
2.49	2.15
2.5	2.16
2.51	2.16
2.52	2.16
2.53	2.17
2.54	2.17

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ รุ่น Apollo G - 304

อินพุต (KW)	เอาต์พุต (KW)
2.55	2.17
2.56	2.18
2.57	2.18
2.58	2.19
2.59	2.19
2.6	2.19
2.61	2.2
2.62	2.2
2.63	2.2
2.64	2.21
2.65	2.21
2.66	2.22
2.67	2.22
2.68	2.23
2.69	2.23
2.7	2.23
2.71	2.24
2.72	2.24
2.73	2.24
2.74	2.25
2.75	2.25
2.76	2.26

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
0.33
0.50
0.60
0.67
0.71
0.63
0.67
0.70
0.73
0.75
0.77
0.79
0.73
0.75
0.76
0.72
0.74
0.75
0.76
0.77
0.78
0.79
0.80
0.81
0.81
0.82
0.83
0.83

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
0.84
0.84
0.85
0.85
0.86
0.83
0.84
0.84
0.85
0.85
0.85
0.86
0.86
0.86
0.87
0.87
0.87
0.88
0.88
0.86
0.86
0.87
0.87
0.87
0.87
0.86
0.86
0.86

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

0.86

0.87

0.87

0.87

0.87

0.88

0.88

0.88

0.88

0.88

0.88

0.89

0.89

0.89

0.89

0.89

0.89

0.89

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.91

0.90

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.89

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.90
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.90
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91
0.92
0.91
0.91
0.91
0.91
0.91

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

0.91

0.91

0.91

0.91

0.91

0.91

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.91

0.91

0.91

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0 92

0 92

0 92

0 92

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.92

0.91

0.91

0.91

0.91

0.91

0.91

0.91

0.92

0.92

0.91

0.91

0.91

0.91

0.91

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

0.90

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
0.89
0.89
0.90
0.89
0.89
0.89
0.89
0.89
0.89
0.89
0.88
0.88
0.88
0.88
0.88
0.88
0.88
0.87
0.87
0.87
0.87
0.87
0.86
0.86
0.86
0.86
0.86
0.85

ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
0.85
0.85
0.85
0.85
0.85
0.84
0.84
0.84
0.84
0.84
0.83
0.83
0.83
0.83
0.83
0.83
0.83
0.82
0.82
0.82
0.82
0.82

ภาคผนวก จ

การออกแบบมูมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ตามฤดูกาลระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มทส.

วิธีการออกแบบมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลระบบต่อเชื่อมสู่กริด ณ มทส.

การเพิ่มพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุตระบบต่อเชื่อมสู่กริดให้สูงขึ้นจากการติดตั้งกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ (15°) ตลอดปี โดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ซึ่งการแบ่งฤดูกาล ดังต่อไปนี้

ฤดูหนาว (1 พฤศจิกายน - 28 กุมภาพันธ์)

ฤดูร้อน (1 มีนาคม - 30 เมษายน)

ฤดูฝน (1 พฤษภาคม - 31 สิงหาคม)

ปลายฤดูฝน (1 กันยายน - 31 ตุลาคม)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับทางเดินดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลและการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศในงานวิจัยนี้ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์พิจารณาจากการรวมฟังก์ชันของมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลกรายปี (มุม Altitude [α]) และระยะเวลาของการฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกรายวัน (มุม Azimuth) รายปี ประกอบกัน

การหาค่ามุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลก (α)

การหาค่ามุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลก (α) แสดงดังสมการ (จ-1)

$$\alpha \quad \text{เท่ากับ} \quad 90^{\circ} - \phi + \delta \quad (\text{จ-1})$$

$$\delta \quad \text{เท่ากับ} \quad 23.45^{\circ} \sin\left(360^{\circ} \left[\frac{284 + D}{365^{\circ}}\right]\right) \quad (\text{จ-2})$$

เมื่อ D เป็น จำนวนวันรายปี

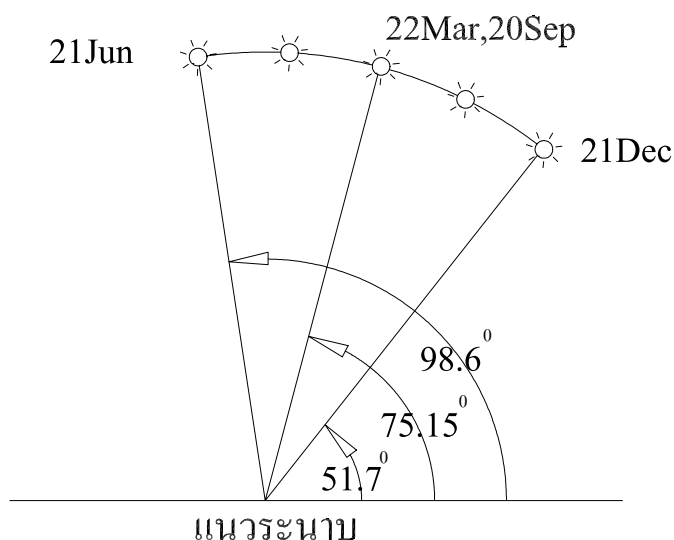
ϕ เป็น ตำแหน่งละติจูด ณ จุดติดตั้ง

ตัวอย่าง เลือก D เท่ากับ 1

$$\alpha \quad \text{เท่ากับ} \quad 90^{\circ} - 14.85^{\circ} - 23.01^{\circ}$$

$$\text{เท่ากับ} \quad 52.14^{\circ}$$

ค่ามุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลก ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ละติจูด 14.85° เหนือ) รายปี (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) เมื่อวันที่ 21 มิถุนายน มุมสูงสุดระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลกเท่ากับ 98.6° และวันที่ 21 ธันวาคม มุมต่ำสุดระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลกเท่ากับ 51.7° แสดงดังภาพที่ จ.1



ภาพที่ จ.1 ทางเดินดวงอาทิตย์สูงสุดและต่ำสุด ณ ละติจูด 14.85° เหนือ

จากลักษณะมุม α รายปี สามารถจัดกลุ่มฤดูกาลเป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 (ฤดูหนาว)

กลุ่มที่ 2 (ประกอบด้วย 2.1 [ฤดูร้อน] และ 2.2 [ปลายฤดูฝน])

กลุ่มที่ 3 (ฤดูฝน)

การหาค่าเฉลี่ย ทางเดินดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นค่ากลางการออกแบบปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ดูรายละเอียด ภาคผนวก ข มุม α รายปี มีดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 (1 พฤศจิกายน ถึง 28 กุมภาพันธ์) ค่ามุม α เริ่มจาก 59.79° ถึง 66.48° ตามลำดับ โดยผ่านมุม α ต่ำสุด เท่ากับ 51.7° เมื่อวันที่ 21 ธันวาคม การพิจารณามุม α แบ่งออกเป็น 2 ช่วง

ช่วงที่ 1 จาก 1 พฤศจิกายน ถึง 21 ธันวาคม ผลต่างมุม α_1 เท่ากับ 8.09°

ช่วงที่ 2 จาก 21 ธันวาคม ถึง 28 กุมภาพันธ์ ผลต่างมุม α_2 เท่ากับ 14.78°

ค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_{1-2} เท่ากับ ผลรวม α_1 และ α_2 หารด้วย 2 เท่ากับ 11.44°

ดังนั้น มุม α (กลุ่มที่ 1) เท่ากับ ผลรวมของมุม α ต่ำสุด (51.7°) กับค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_{1-2} เท่ากับ 63.14°

กลุ่มที่ 2.1 (1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน) มุม α เริ่มจาก 66.86° ถึง 89.74° ผลต่างมุม α_3 เท่ากับ 22.88° ค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_3 เท่ากับ 11.44°

กลุ่มที่ 2.2 (1 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม) มุม α เริ่มจาก 82.87° ถึง 60.09° ผลต่างมุม α_4 เท่ากับ 22.78° ค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_4 เท่ากับ 11.39°

ค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_{3-4} เท่ากับผลรวม α_3 และ α_4 หาดด้วย 2 เท่ากับ 11.42° และค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α ต่ำสุด (ฤดูร้อนกับปลายฤดูฝน) เท่ากับ ผลรวมมุม α ต่ำสุด ฤดูร้อน (66.86°) กับ มุม α ต่ำสุดปลายฤดูฝน (60.09°) หาดด้วย 2 เท่ากับ 63.48° ดังนั้นมุม α กลุ่มที่ 2 เท่ากับ ผลรวมของมุม α ต่ำสุด (ฤดูร้อนกับปลายฤดูฝน) กับค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_{3-4} เท่ากับ 74.9°

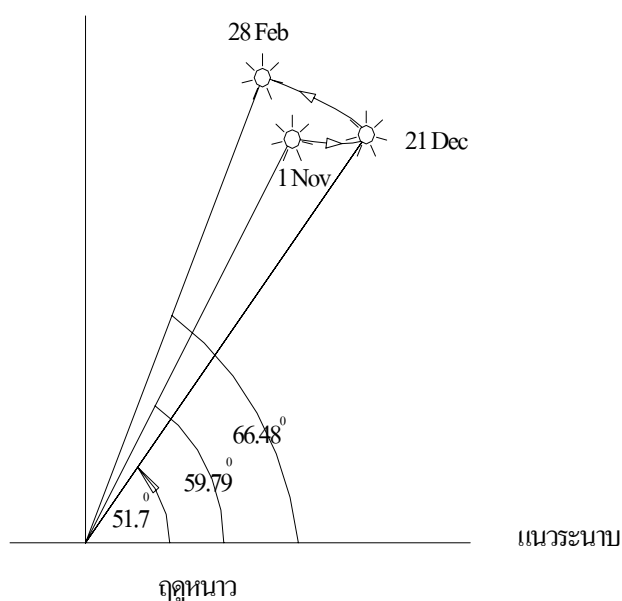
กลุ่มที่ 3 (1 พฤษภาคม ถึง 31 สิงหาคม) มุม α เริ่มจาก 90.05° ถึง 83.25° ตามลำดับ โดยผ่านมุม α สูงสุด เท่ากับ 98.6° เมื่อวันที่ 21 มิถุนายน การพิจารณามุม α แบ่งออกเป็น 2 ช่วง

ช่วงที่ 1 จาก 1 พฤษภาคม ถึง 21 มิถุนายน ผลต่างมุม α_5 เท่ากับ 8.55°

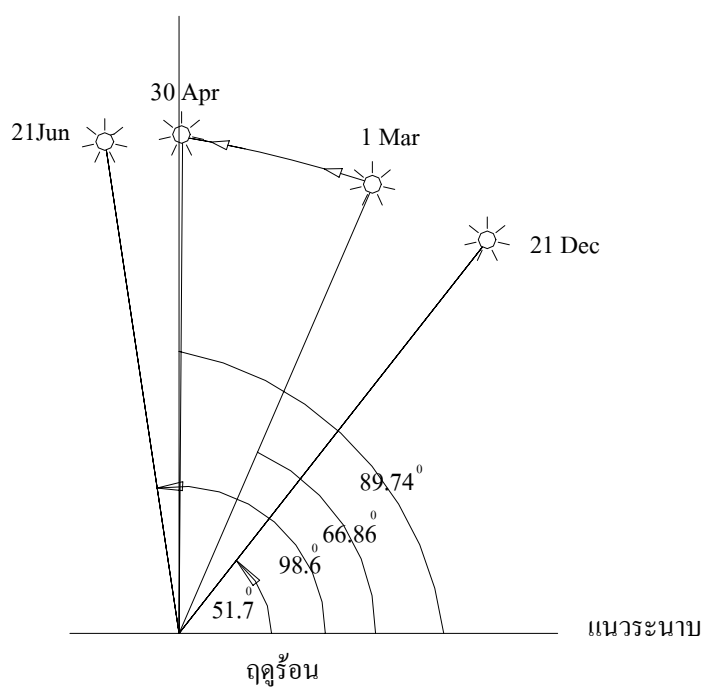
ช่วงที่ 2 จาก 21 มิถุนายน ถึง 31 สิงหาคม ผลต่างมุม α_6 เท่ากับ 15.35°

ค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_{5-6} เท่ากับ ผลรวม α_5 และ α_6 หาดด้วย 2 เท่ากับ 11.95°

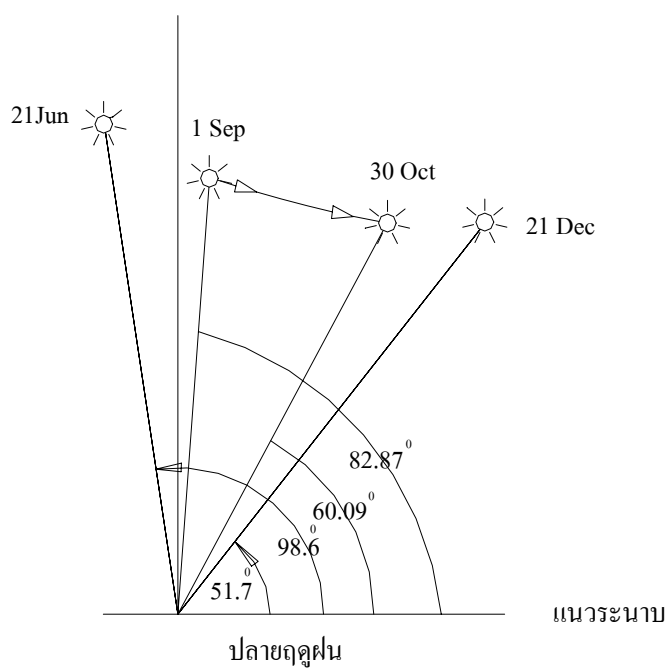
ดังนั้น มุม α (กลุ่มที่ 3) เท่ากับ ผลต่างของมุม α สูงสุด (98.6°) กับค่าเฉลี่ยของผลรวมมุม α_{5-6} เท่ากับ 86.65°



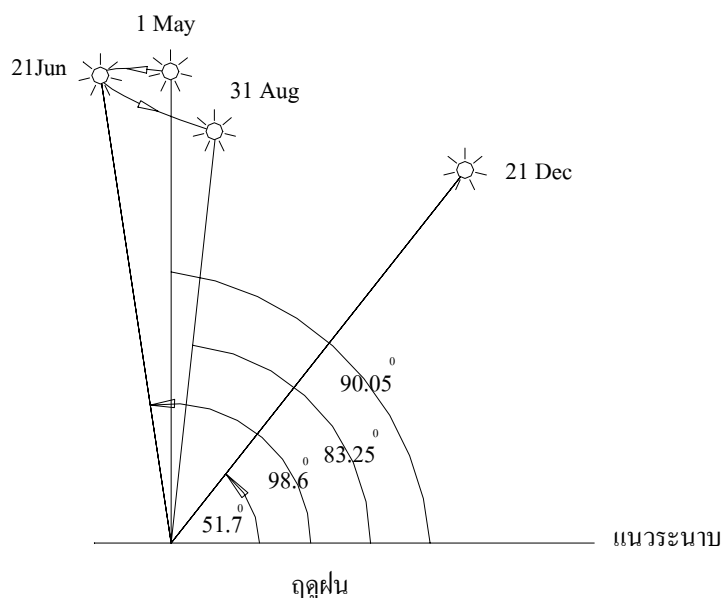
ภาพที่ จ.2 ทางเดินดวงอาทิตย์ฤดูแล้ง ณ ละติจูด 14.85° เหนือ



ภาพที่ จ.3 ทางเดินดวงอาทิตย์ฤดูร้อน ณ ละติจูด 14.85° เหนือ



ภาพที่ จ.4 ทางเดินดวงอาทิตย์ปลายฤดูฝน ณ ละติจูด 14.85° เหนือ



ภาพที่ จ.5 ทางเดินดวงอาทิตย์ฤดูฝน ณ ละติจูด 14.85° เหนือ

การหาค่าระยะเวลาของการฉายแสงของดวงอาทิตย์ที่พื้น โลกประจำวัน (มุม Azimuth) ของรอบปี

จากภาคผนวก ข แสดงเวลาดวงอาทิตย์ขึ้นและตกรายปี ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ละติจูด 14.85° เหนือ) มีความสัมพันธ์ระหว่าง มุม α กับระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกครั้งวัน เมื่อวันที่ 21 ธันวาคม ระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกครั้งวันเท่ากับ 333.58 นาที เมื่อวันที่ 21 มิถุนายน ระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกครั้งวันเท่ากับ 386.42 นาที ซึ่งความแตกต่างของระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกครั้งวันทั้งปี เท่ากับ 52.84 นาที หรือความแตกต่างของระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกประจำวันทั้งปี เท่ากับ 105.68 นาที (1 ชั่วโมง 45 นาที)

ดังนั้นค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลก ตามการแบ่งกลุ่มฤดูกาล สามารถเปลี่ยนกลับเป็น มุม α ได้ตามภาคผนวก ข มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 (1 พฤศจิกายน ถึง 28 กุมภาพันธ์) ค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกครั้งวันเท่ากับผลรวมระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้น โลกครั้งวันจาก 1 พฤศจิกายน ถึง 28 กุมภาพันธ์ หารด้วยจำนวนวันตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน ถึง 28 กุมภาพันธ์ เท่ากับ 338.67 นาที เปลี่ยนเป็นมุม α เท่ากับ 55.89°

กลุ่มที่ 2.1 (1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน) ค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ครึ่งวันเท่ากับผลรวมระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกครึ่งวัน จาก 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน หาคด้วยจำนวนวันตั้งแต่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน เท่ากับ 363.72 นาฬิกา

กลุ่มที่ 2.2 (1 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม) ค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ครึ่งวันเท่ากับผลรวมระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกครึ่งวัน จาก 1 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม หาคด้วยจำนวนวันตั้งแต่ 1 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม เท่ากับ 355.66 นาฬิกา

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกครึ่งวัน กลุ่มที่ 2 เท่ากับ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกครึ่งวัน กลุ่มที่ 2.1 กับ กลุ่มที่ 2.2 เท่ากับ 359.69 นาฬิกา เปลี่ยนเป็นมุม α เท่ากับ 74.75°

กลุ่มที่ 3 (1 พฤษภาคม ถึง 31 สิงหาคม) ค่าเฉลี่ยระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ครึ่งวันเท่ากับผลรวมระยะเวลาฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกครึ่งวัน จาก 1 พฤษภาคม ถึง 31 สิงหาคม หาคด้วยจำนวนวันตั้งแต่ 1 พฤษภาคม ถึง 31 สิงหาคม เท่ากับ 381.12 นาฬิกา เปลี่ยนเป็นมุม α เท่ากับ 94.41°

เพราะฉะนั้น มุม α เฉลี่ยที่พิจารณาจากการรวมฟังก์ชันของมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบบนพื้นโลกรายปี (มุม Altitude [α]) และระยะเวลาของการฉายแสงของดวงอาทิตย์บนพื้นโลกรายวัน (มุม Azimuth) รายปี ประกอบกัน มีดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ฤดูหนาว (1 พฤศจิกายน ถึง 28 กุมภาพันธ์) ค่ามุม α เท่ากับ $([63.14^\circ + 55.89^\circ]/2)$ เท่ากับ 59.52°

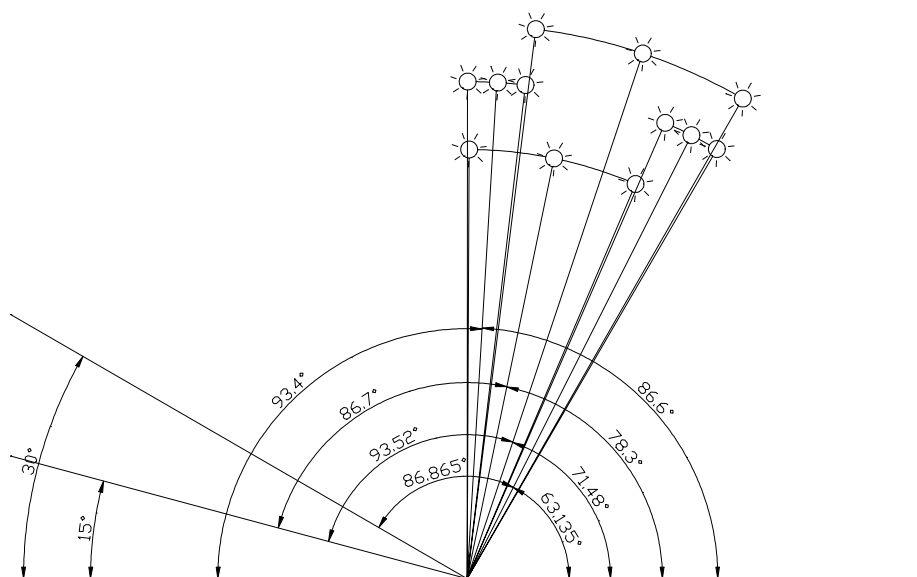
กลุ่มที่ 2 ฤดูร้อน (1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน) และปลายฤดูฝน (1 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม) มีค่ามุม α เท่ากับ $([74.9^\circ + 74.75^\circ]/2)$ เท่ากับ 74.83°

กลุ่มที่ 3 ฤดูฝน (1 พฤษภาคม ถึง 31 สิงหาคม) มีค่ามุม α เท่ากับ $([86.65^\circ + 94.41^\circ]/2)$ เท่ากับ 90.53°

ดังนั้นการปรับมุมเชิงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล มีดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \beta (\text{ฤดูหนาว}) &= 90^\circ - \alpha (\text{ฤดูหนาว}) \\
 &= 90^\circ - 59.52^\circ \\
 &= 30.48^\circ \text{ หรือ ประมาณ } 30^\circ \\
 \beta (\text{ฤดูร้อนและปลายฤดูฝน}) &= 90^\circ - \alpha (\text{ฤดูร้อน}) \\
 &= 90^\circ - 74.83^\circ \\
 &= 15.17^\circ \text{ หรือ ประมาณ } 15^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta \text{ (ฤดูฝน)} &= 90^\circ - \alpha \text{ (ฤดูฝน)} \\
 &= 90^\circ - 90.53^\circ \\
 &= -0.53^\circ \text{ หรือ ประมาณ } 0^\circ
 \end{aligned}$$



ภาพที่ จ.3 การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ละติจูด 14.85° เหนือ
 ดังนั้น การออกแบบปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มทส. (ละติจูด
 14.85° เหนือ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฤดูหนาว ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30° กับแนวระนาบ

ฤดูร้อนและปลายฤดูฝน ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15° กับแนวระนาบ

ฤดูฝน ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับแนวระนาบ

ภาคผนวก น

คำสั่งโปรแกรม Matlab ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

การหาคำตอบของสมการโพลิโนเมียล

เมื่อค่าฟังก์ชัน $f(x)$ เท่ากับ ศูนย์ ด้วยการใช้ฟังก์ชัน roots ในโปรแกรม Matlab

คำสั่ง	รายละเอียด
Roots	คำนวณหารากของสมการโพลิโนเมียล เมื่อ A เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียล ที่เรียงจากเลขยกกำลังมากไปน้อย ซึ่งเราเรียก A ว่า เป็นเวกเตอร์สัมประสิทธิ์

การเปลี่ยนกลับจากรากของสมการโพลิโนเมียล ไปเป็น สมการโพลิโนเมียล

ในหัวข้อนี้จะตรงกันข้ามหรือเป็นส่วนกลับของหัวข้อที่ได้กล่าวไปข้างต้น กล่าวคือถ้าเรามีค่ารากของสมการโพลิโนเมียล แต่ไม่ทราบว่าฟังก์ชันของโพลิโนเมียลที่สอดคล้องกับค่ารากของเรานั้นมีสมการเป็นเช่นไร โปรแกรม MATLAB จะมีฟังก์ชัน สำหรับแก้ปัญหานี้ซึ่งก็คือ ฟังก์ชัน Poly

คำสั่ง	รายละเอียด
Poly (A)	การเปลี่ยนกลับจากรากของสมการโพลิโนเมียล ไปเป็นสมการโพลิโนเมียล เมื่อ A คือ รากของโพลิโนเมียล ที่ต้องการหาสมการโพลิโนเมียล

การสร้างสมการโพลิโนเมียลที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มข้อมูล

ข้อมูลต่าง ๆ จากการทดลองทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ จำเป็นจะต้องนำมาคลั่นกรองก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้นเราจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นโดยการสร้างสมการที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการ ลักษณะของสมการที่หาค่าได้นี้จะต้องสอดคล้องกับการกระจายของข้อมูล เราจะใช้ระเบียบวิธีการถดถอยแบบกำลังน้อยที่สุด (Least Square regression) หาฟังก์ชันหรือ สมการโพลิโนเมียลกำลัง ใด ๆ ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มข้อมูลที่กำหนดมาให้และถ้าสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่ง ($n=1$) ที่หาค่าได้เป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มข้อมูล เราเรียกวิธี การสร้าง ฟังก์ชันเส้นตรงนี้ว่า วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear regression) โปรแกรม Matlab มีฟังก์ชันเพื่อใช้ในการหาสมการโพลิโนเมียลที่เหมาะสมของกลุ่มข้อมูลที่เราแทนคือ ฟังก์ชัน Polyfit

คำสั่ง	รายละเอียด
Polyfit (x, y, n)	การหาสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามอันดับที่ n ที่เหมาะสมสำหรับจุดกลุ่มข้อมูล x, y ที่กำหนดมาให้โดยที่ x, y เป็นเวกเตอร์ของจุดกลุ่มข้อมูลของสมการพหุนามที่ต้องการหาค่า และ n เป็นกำลังสูงสุดหรืออันดับสูงสุดของสมการพหุนามที่ต้องการค่าสัมประสิทธิ์ผลลัพธ์จะเรียงจากเลขยกกำลังมากที่สุด (กำลัง n ที่กำหนด) ไปยังเลขยกกำลังต่ำสุด ตามลำดับ

ฟังก์ชันการหาพื้นที่ใต้สมการทางคณิตศาสตร์

การหาพื้นที่ใต้สมการทางคณิตศาสตร์แบบสี่เหลี่ยมคางหมูด้วยโปรแกรม Matlab มีฟังก์ชันดังนี้

คำสั่ง	รายละเอียด
trapz (x, y)	การหาอินทิเกรตของฟังก์ชัน y แบบ สี่เหลี่ยมคางหมู

ภาคผนวก ข

โปรแกรมค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 956.9 W T 49°C

โปรแกรม MSX3.m

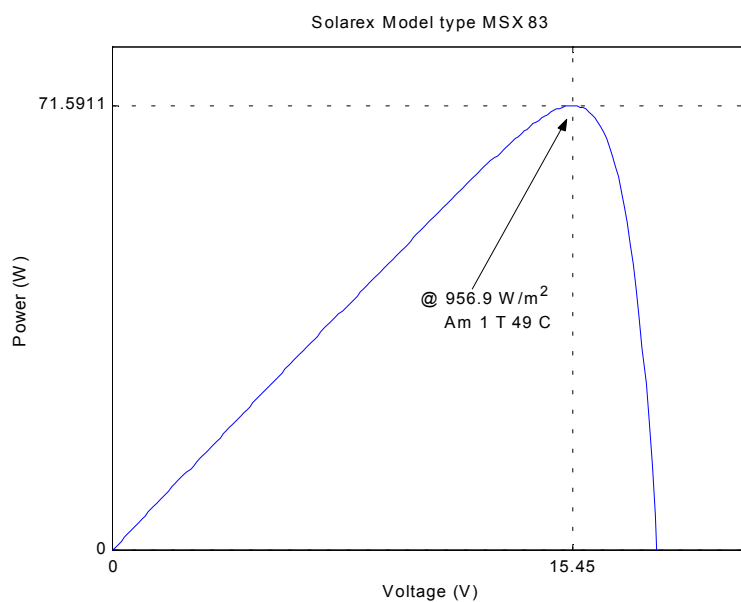
```
clear all
k=1.381e-23;eo=1.602e-19;T=322;Js=5.31;
Jo=5614.42995e-11;V=0:0.1:21.5;Rs=0.001488;Rj=100;
Jl=(0.9569*Js-Jo*((exp(eo*(V+(5.31*Rs))/k/T/36))-1)-((V+5.31*Rs)/Rj));
p=V.*(Jl);a=V;c=Jl;plot(a,a.*c);
title('Solarex Model type MSX83');
ylabel('Power (W)');xlabel('Voltage (V)');
axis([0 25 0 81.06])
Pmax=max(a.*c)
```

ผลการรันโปรแกรม

MSX3

Pmax =

71.5911



ภาพที่ ข.1 ค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ณ มทศ.

ภาคผนวก ข

ตารางการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตและค่าไฟฟ้าเมื่อ
ปรับมุมเอียงแผงฯ คงที่ (15°) ตลอดปี กับ การปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล
ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ณ มทส.

ตารางที่ ข.1 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตและค่าไฟฟ้า เมื่อปรับมุมเอียงแผงฯ คงที่ (15^0) ตลอดปี กับ ปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาลภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีการบดบังของเมฆและชั้นบรรยากาศ ณ มทส.

เดือน	ไฟฟ้ากระแสสลับ (KW-hr)		ค่าไฟฟ้า (บาท)	
	มุมเอียงแผงฯ	ปรับมุมเอียงแผงฯ	มุมเอียงแผงฯ	ปรับมุมเอียงแผงฯ
	คงที่ (15^0)	ตามฤดูกาล	คงที่ (15^0)	ตามฤดูกาล
ม.ค.2544	344.8	366.7	912.49	977.57
ก.พ.2544	341.6	350.6	986.51	1015.40
มี.ค.2544	347.5	347.5	1005.43	1005.43
เม.ย.2544	429.4	429.4	1275.19	1275.19
พ.ค.2544	339.8	355.9	980.74	1032.45
มิ.ย.2544	325.2	350.3	942.35	1023.86
ก.ค.2544	312.3	333.2	900.67	968.39
ส.ค.2544	313.1	321.9	903.23	931.73
ก.ย.2544	353.2	353.2	1033.27	1033.27
ต.ค.2544	348.4	348.4	1002.51	1002.51
พ.ย.2544	377.9	398.5	1096.93	1162.84
ธ.ค.2544	386.2	415.3	1123.43	1216.60
รวม	4219.5	4370.9	12162.74	12645.23

ภาคผนวก ฅ

ตารางการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อมุมเอียงแผงฯ
คงที่ (15°) ตลอดปี กับ ปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล

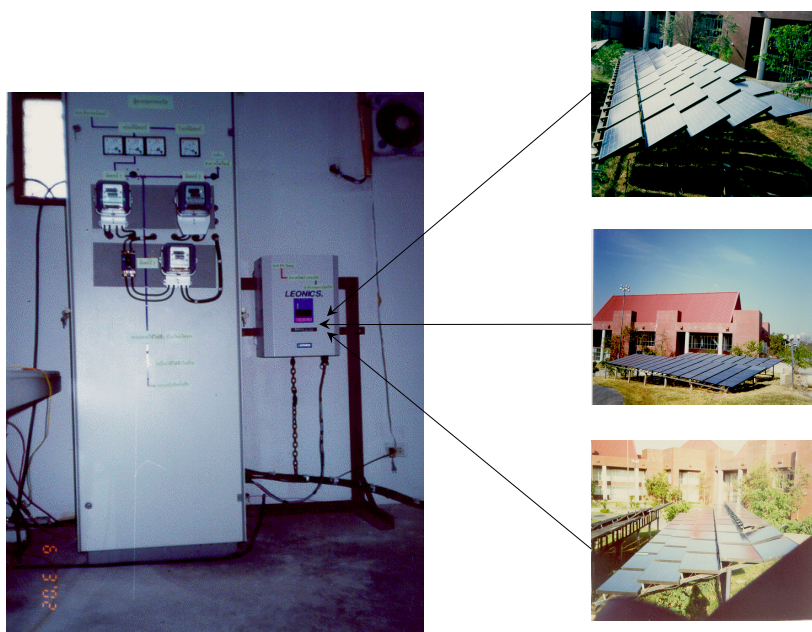
ตารางที่ ๗.1 การเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อปรับมุมเอียงแผงฯ คงที่ตลอดปี (15^0) กับปรับมุมเอียงแผงฯ ตามฤดูกาล

เดือน	Fix angle	Model fix angle	Avg. Energy fix angle (KWh/m ² /Day)	Seasonal Tilts angle	Model Seasonal Tilts angle	Avg. Energy Seasonal Tilts (KWh/m ² /Day)	Increase Energy (KWh/m ² /Day)	% Increase Energy
พ.ย.-ก.พ.	15^0	$y = -39.4x^2 + 944.5x - 4389.4$	9.7091	(ฤดูหนาว) 30^0	$y = -41.5x^2 + 996.4x - 4631$	10.236	0.527	5.43
พ.ค.-ส.ค.	15^0	$y = -32.4x^2 + 777.8x - 3440.8$	10.051	(ฤดูฝน) 0^0	$y = -34.2x^2 + 821.3x - 3632.5$	10.621	0.570	5.67
มี.ค.-เม.ย., ก.ย.-ต.ค.	15^0	$y = -38.x^2 + 912.9x - 4156.2$	10.382	(ฤดูร้อน) 15^0	$y = -38.x^2 + 912.9x - 4156.2$	10.382	0	0
ค่าเฉลี่ย	15^0	$y = -36.6x^2 + 878.4x - 3995.5$	10.033	ตามฤดูกาล	$y = -37.9x^2 + 910.2x - 4139.9$	10.398	0.365	3.64

เมื่อ y = ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้เฉลี่ยตามเงื่อนไขของเดือนขณะเวลาใดๆ
 x = ตำแหน่งเวลาใดๆ

ภาคผนวก ญ

ภาพระบบต่อเชื่อมสู่กริดตามการออกแบบ ณ มทส.



ภาพที่ ๑.๑ การออกแบบติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมตู้กริด
โดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มทส.

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

“การออกแบบติดตั้งและประเมินผลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมตู้กริด โดยการปรับมุมเอียงกลุ่ม
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล” ตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีสุรนารี (ปีที่ 8 ฉบับที่ 4 ตุลาคม –
ธันวาคม 2544 ISSN 0858-849X)

การออกแบบติดตั้งและประเมินผลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมสู่กริดโดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร¹, ไพบุญ ไชยนิล² และ อนันท์ อุ่นศิริไวย³*

Veerasathain, S.¹, Chaiyanil, P.² and Oonsivilai, A.³ (2001). Design Installation and Evaluation of a PV Grid Connected System with Seasonal Adjusted Tilt angles of PV array. Suranaree J. Sci. Technol. 8: 212-218.

Abstract

The purpose of this research project is to; design, install, test and analyze a PV grid connected system by restoring an abandoned stand - alone PV system at Suranaree University North - Eastern Thailand. Key issue of this project is the seasonal adjusted of PV array tilt angles in order to obtain more energy in comparison with a typical PV rooftop installation in which the PV array is fixed at the tilt angle of the roof.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือการออกแบบติดตั้ง ทดสอบและวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด (Grid connected) กับระบบจำหน่าย ของ กฟภ. โดยการฟื้นฟูระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอิสระ (Stand-alone) ซึ่งเลิกใช้งานแล้วที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย สาเหตุสำคัญของโครงการนี้คือการที่สามารถปรับมุมเอียง (Tilt angles) ของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ (PV array) ได้ตามฤดูกาลเพื่อให้ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ (PV rooftop) ซึ่งกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ ติดตั้งคงที่ ตามมุมเอียงของหลังคาบ้าน

บทนำ

องค์ประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด มี 3 อย่างดังต่อไปนี้	48 แผง ซึ่งให้กำลังผลิต 2.8 กิโลวัตต์ สูงสุด (KWp) ที่ ความเข้มแสง 800 W/m ² , Airmass (AM)=1.5
- กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Poly crystalline ของบริษัท Solarex รุ่น MSX 83 จำนวน	และอุณหภูมิหลังแผงเซลล์ 49°C แสดงดังภาพที่ 1 - อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแส

¹ บัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

* ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

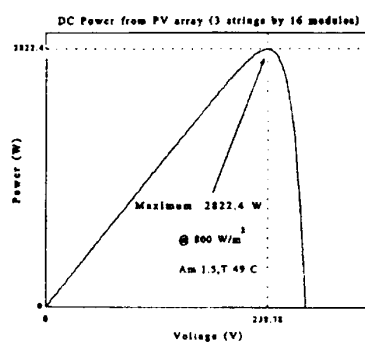


Figure 1. Characteristics of voltage and power electrical DC design grid connected System.

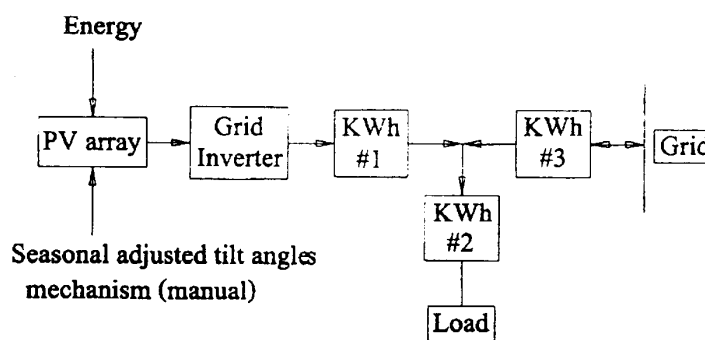


Figure 2. Block diagram of grid connected system with adjusted tilt angles PV array.

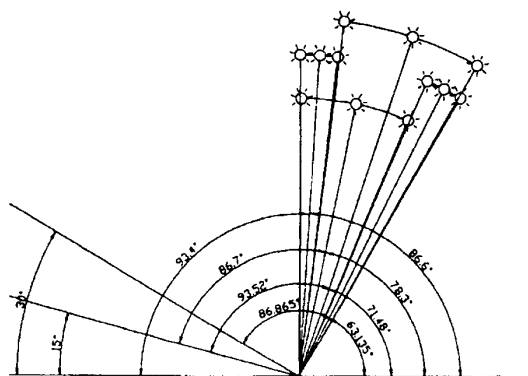


Figure 3. Seasonal adjusted tilt angles PV array with grid connected system.

สลับแบบต่อเชื่อมสู่กริด (Grid connected inverter) ของบริษัท Leonicus รุ่น Apollo G-304 ขนาด 3.5 กิโลวัตต์ (KW)

- แผงควบคุมด้านกระแสสลับที่แรงดัน 230 V, $\pm 10\%$, แบบเฟสเดียว (1 ϕ , 50 Hz) เพื่อต่อเชื่อมอินเวอร์เตอร์ กับระบบจำหน่ายของ กฟภ.

โครงสร้างระบบต่อเชื่อมสู่กริดแบบปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล แสดงดังภาพที่ 2

ในโครงการวิจัยนี้ มุมเอียงของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์จะถูกปรับเปลี่ยนตามฤดูกาลดังนี้

- ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ปรับที่ 30° จากแนวระนาบ
- ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-เมษายน และ กันยายน-ตุลาคม) ปรับที่ 15° จากแนวระนาบ
- ช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม - สิงหาคม) ปรับที่แนวระนาบ

ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลกับมุมเอียงคงที่ 15° ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นกรณีของการติดตั้งทั่ว ๆ ไป แสดงดังรูปที่ 3

ทฤษฎี

ทฤษฎีการวิเคราะห์มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล สมการพลังแสงอาทิตย์ภายนอกโลกที่ส่องมายังแนวระนาบที่ผิวโลก เป็น

$$G_0 = G_{sc} (1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})) (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (1)$$

เมื่อ n = จำนวนวันในรอบ 1 ปี
 ϕ = ละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง
 δ = มุมเอียงของแสงอาทิตย์
 ω = ตำแหน่งเวลาใน 1 วัน
 G_{sc} = ค่าคงที่ของแสงอาทิตย์
 สมการการส่งผ่านพลังแสงอาทิตย์จากแนวระนาบ ไปยังผิวเอียงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น

$$S_p = \frac{S \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

เมื่อ S = พลังแสงอาทิตย์ที่แนวระนาบ
 α = มุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบ
 β = มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากแนวระนาบ

การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์อาศัยหลักการรวมพื้นที่ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ จาก การวิเคราะห์เชิงเลขของสมการโพลิโนเมียลกำลังสองของพลังแสงอาทิตย์ หากค่าความแตกต่างระหว่างพื้นที่ของมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่กับปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ละติจูด 14.85° เหนือ) การวิเคราะห์เชิงเลขของสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พลังแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกเฉลี่ยรายปี ระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผง

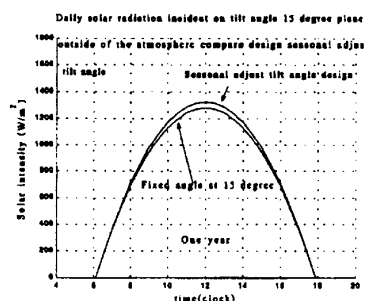


Figure 4. An average daily solar intensity between fix angle (15°) and seasonal adjusted tilt angles PV array per year.

การเปรียบเทียบการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ ระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่ตลอดปี (15°) กับ มุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 1

Table 1. Comparison between fix angle (15°) and seasonal adjusted tilt PV array data

เดือน	Fix angle	Model fix angle	Avg. Energy fix (KWh/m ² -Day)	Seasonal Tilts angle	Model Seasonal Tilts angle	Avg. Energy Seasonal Tilts (KWh/m ² -Day)	Increase Energy (KWh/m ² -Day)	% Increase Energy
ม.ค.-ก.พ.	15°	$y = -39.5x^2 + 949.2x - 4401.2$	9.867	30°	$y = -41.3x^2 + 991.9x - 4599.7$	10.305	0.437	4.43
มี.ค.-เม.ย.	15°	$y = -37.6x^2 + 901.4x - 4084.7$	10.475	15°	$y = -37.6x^2 + 901.4x - 4084.7$	10.475	0.00	0.00
พ.ค.-มิ.ย.	15°	$y = -31.8x^2 + 762.7x - 3362.7$	9.998	0°	$y = -33.9x^2 + 812.9x - 3583.7$	10.659	0.661	6.62
ก.ค.-ส.ค.	15°	$y = -33x^2 + 792.9x - 3518.8$	10.106	0°	$y = -34.6x^2 + 829.6x - 3681.3$	10.584	0.478	4.73
ก.ย.-ต.ค.	15°	$y = -38.5x^2 + 924.4x - 4227.7$	10.290	15°	$y = -38.5x^2 + 924.4x - 4227.7$	10.290	0.00	0.00
พ.ย.-ธ.ค.	15°	$y = -39.2x^2 + 939.9x - 4377.6$	9.5503	30°	$y = -41.7x^2 + 1001x - 4662.2$	10.168	0.618	6.47
ค่าเฉลี่ย	15°	$y = -36.6x^2 + 878.4x - 3995.5$	10.033	ตามฤดูกาล	$y = -37.9x^2 + 910.2x - 4139.9$	10.398	0.365	3.64

เมื่อ y = พลังแสงอาทิตย์ที่ได้รับตามรอบปีของเดือนจะเท่ากับ x

x = คำนวณค่าได้ ๆ

Table 2. AC Energy and cost of fix angle (15°) and seasonal adjusted tilt angles PV array.

เดือน	พลังงานไฟฟ้า AC (KWh) ที่ 15°	พลังงานไฟฟ้า AC (KWh) ที่ 15°	ค่าไฟฟ้าที่มุมแสงคงที่ 15° (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ปรับมุมตามฤดูกาล (บาท)
ม.ค.-ก.พ.	2544	686.4	717.3	1899.1
มี.ค.-เม.ย.	2544	776.9	776.9	2280.6
พ.ค.-มิ.ย.	2544	662.5	706.2	2056.3
ก.ค.-ส.ค.	2544	625.4	655.1	1900.1
รวม		2751.2	2855.5	8230.0

แสงอาทิตย์ 15° คงที่ตลอดปี เป็น $Y = -36.6X^2 + 878.4X - 3995.5$ คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.033 KWhr/m^2 , พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ $3662.045 \text{ KWhr/m}^2$ กับ การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เป็น $Y = -37.9X^2 + 910.2X - 4139.9$ คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.398 KWhr/m^2 , พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ $3795.270 \text{ KWhr/m}^2$ คิดเป็นพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อวันเท่ากับ 0.365 KWhr/m^2 , พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 133.225 KWhr/m^2 แสดงดังรูปที่ 4

ผลการทดลอง

ระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ระบบกำลังกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ประมาณ 2.8 กิโลวัตต์ ที่ 800 W/m^2 AM 1.5 Tcell 49°C เมื่อเงื่อนไขเป็น

1. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ที่มุม 30° ทำการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการ เส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ชุดดังรูปที่ 5
2. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ที่มุม 15° ทำการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการ เส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ชุดดังรูปที่ 6
3. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ที่แนวระนาบ ทำการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการ เส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ชุดดังรูปที่ 7

สรุป

จากการคำนวณค่าพลังแสงอาทิตย์ กรณีไม่คำนึงถึงชั้นบรรยากาศของโลกและอิทธิพลของเมฆ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้เฉลี่ยต่อวัน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ตำแหน่งละติจูด 14.85° เหนือ และมุมเอียงของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่ (15°) หันหน้ารับแสงทางทิศใต้ มีค่า เท่ากับ 10.033 KWhr/

m^2 แต่ได้มีการปรับมุมเอียงของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.398 KWhr/m^2 ดังนั้นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน เมื่อมีการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เท่ากับ 0.365 KWhr/m^2 คิดเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.64% ประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ

1. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ 30° กับแนวระนาบ (ม.ค.-ก.พ.) ประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ 9.01%
2. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ 15° กับแนวระนาบ (มี.ค.-เม.ย.) ประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ 8.52%
3. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ เท่ากับแนวระนาบ (พ.ค.-ส.ค.) ประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ 7.90%

การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์แบบตามฤดูกาลจะให้พลังงานสูงขึ้นในระดับหนึ่ง โดยมูลค่าการลงทุนจะไม่สูงมากนัก การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและค่าไฟฟ้าระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่ (15°) กับ การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาลแสดงดังตารางที่ 2

ประมาณการค่าใช้จ่าย กรณีที่ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมเอียงแผงเซลล์ตามฤดูกาลจำนวน 48 แผง เป็นเงิน 200 บาท ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับมุมกลุ่มแผงแสงอาทิตย์จำนวน 48 แผง ครั้งละ 1 ชั่วโมง จำนวนครั้งและคน ในการปรับมุมกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ เท่ากับ 4 ครั้งต่อปี จำนวน 1 คนต่อครั้ง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการปรับมุมเอียงแผงตามฤดูกาล ระยะเวลา 8 เดือน คิดเป็นเงินเท่ากับ 331.50 บาท

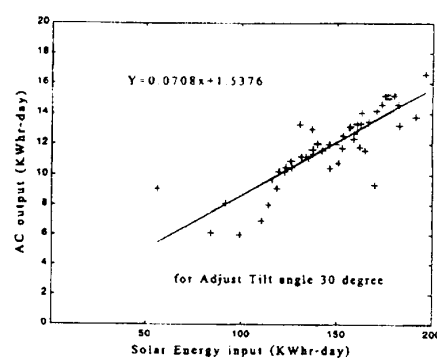


Figure 5. Solar intensity input and power electrical AC output at tilt angles PV array 30°.

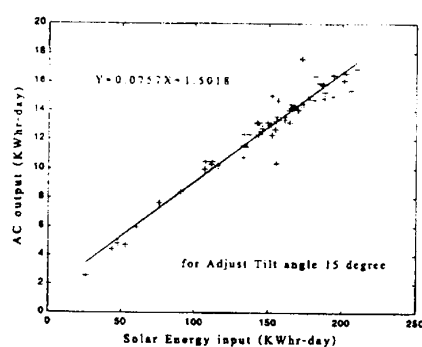


Figure 6. Solar intensity input and power electrical AC output at tilt angles PV array 15°.

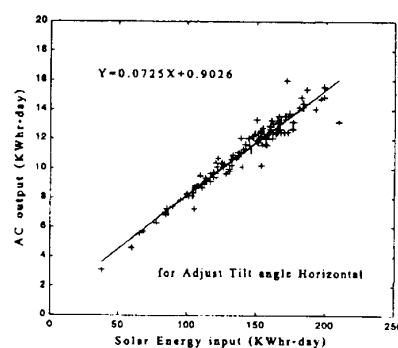


Figure 7. Solar intensity input and power electrical AC output at tilt angles PV array 0°.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผศ.ดร.ทวงเพ็ญ อินทรประวัตติ, รศ.ไพบุลย์ ไชยนิล และ ดร.อนันท์ อุ่นศิริไธย์ ที่ให้คำปรึกษา, นายทวิสิน บุญสม อผช. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (นครราชสีมา) และ นายสำเริง เกียรติปรารณา ประธานบริษัท Leonics แห่งประเทศไทยที่สนับสนุนเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชาวลิต คาร์กัรติณ. (2533). การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ธนบูรณ์ ศศิภาณุเดช. (2539). การออกแบบระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์. และวรัตน์ ภัทรอมรกุล. (2543). คู่มือการใช้ Matlab ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี:อินโฟเพรส.
- พรเลิศ ยอดประทุม. (เมษายน 2544). การต่อลงดิน (2). ในการประชุมทางวิชาการวิศวกรรม การส่งและจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (หน้า 1- 13) กรุงเทพฯ.: ชมรมวิศวกรรมปัดย์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (กุมภาพันธ์ 2543). แผนและแนวทางการวิจัย และพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ (พ.ศ.2544- พ.ศ. 2545):คณะทำงานจัดทำงานนโยบาย แผนและแนวทาง.
- ชาย ชีวะเกตุ. (เมษายน 2544).เป้าหมายโครงการ พลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ. 2544-พ.ศ. 2545 (แผน9):สำนักงานคณะกรรมการนโยบาย พลังงานแห่งชาติ.

- Strong, S.J. and Scheller, W.G. (1993). The solar electric house. Library of Congress Cataloging-in-Publication U.S.A.:USA.
- Goswami, D.Y., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). Principles of solar engineering. Philadelphia:George H. Buchanan Co.: USA.
- Wenham, S.R., Green, M.A. and Watt, M.E. Applied photovoltaics. National Library of Australia Cataloging-in- Publication.: Australia.
- Joe D. Hoffman. (1992). Numerical Methods for Engineers and Scientists. Singapore: McGraw-Hill.
- Pongchawee, D., Boonbumroong, U., Suwankhum, T., Peawkhaw K., Khumsee, S., Intasara., and A., Songprakorp, R., (2000). Operation of a PV Grid Connected Power system. First Regional conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 1st-2nd. (pp 25-30):Chiang Mai, Thailand.
- Janjai, S., and Tosing, K. (2000). A New for Calculating Global Radiation from Cloud Cover for Thailand. First Regional conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 1st-2nd. (pp 1-6):Chiang Mai, Thailand.
- Jivacate, C., Siripuckpong, P., Sinratanakdee, E., Prasertvigai, S., Limsawat, V., Naknam, W., Kunarak, U. and Pantacharoen, S. (1999). Thailand's First Cost-Share PV Roof-Top Grid Connected Pilot Project. Present at the 11th International Photovoltaic Science and Engineering Conference. (PV-Sec 11): Hokkaido Japan.
- Jivacate, C. (2000). Photovoltaic (PV) Technology. Presented at 7th Apec Coal Flow Seminar.: Bangkok Thailand.
- Buaxkhiew, C. and jivacate, C. (2000). The Role of PV in Thailand's Electricity system., The National energy Policy Office (NEPO).



บันทึกข้อความ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เทคโนโลยีสุรนารี
วันที่ 18.11.2545
ฉบับที่ 4.170.2545
เรื่อง 15.22 น.

ทพวทวธ. สำนักบริหารการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สถาบันวิจัยและพัฒนา โทร. 075-6756
 ๕ ๖๖ 51231 ๕ ๕ วันที่ ๕ กุมภาพันธ์ 2545
 เรื่อง การเสนอขอจัดพิมพ์และเผยแพร่เอกสารทางวิชาการในวารสารเทคโนโลยีสุรนารี ปีที่ ๘ ฉบับที่ 4

เรียน อาจารย์จก. ยืนยง ภูมิวิไล

ตามที่ท่านขอขออนุญาตให้สำนักบริหารการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จัดพิมพ์และเผยแพร่เอกสารทางวิชาการในวารสารเทคโนโลยีสุรนารี นั้น
 สำนักบริหารการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขอแจ้งให้ทราบว่า ขณที่บันทึกข้อความนี้ถึงท่านแล้ว กรุณาแจ้งการดำเนินการจัดทำเอกสารฉบับนี้ และจัดส่งต้นฉบับเอกสารฉบับนี้มาที่สำนักบริหารการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีที่ ๘ ฉบับที่ 4 ภายในวันที่ ๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๕ โดยมีการดำเนินการให้ทันก่อนปิดการรับเอกสารฉบับนี้ในวันที่ ๒๕๔๕ นี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(รองศาสตราจารย์ ศิริ สีนานา ผอ.สวทศ.)

บรรณาธิการ

ประวัติผู้เขียน

นาย สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร เกิดเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2505 ที่ อำเภอ อัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อ ปี 2540

ภายหลังสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จึงเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ที่ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะศึกษาระดับปริญญาโท มีผลงานวิชาการที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ 1 บทความ ดังที่ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก

ภาคผนวก

