

คำนำ

รายงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการสนับสนุนให้บุคลากรภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุมได้มีโอกาสผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและเผยแพร่ออกสู่ภายนอก โดยให้อาจารย์เสนอโครงการที่สำนักวิจัยซึ่งมีทั้งการวิจัยวิชาการและการวิจัยสถาบัน ทั้งนี้เพื่อให้คณาจารย์ได้พัฒนาความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแห่งรับรังสีแสงอาทิตย์โดยการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิชาการในด้านการประยุกต์ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ต่อไป และหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และยินดีน้อมรับคำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

นายธนภัทร พรหมวัฒนภักดี

ผู้วิจัย

พฤศจิกายน พ.ศ.2552

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณทั้งหมดในการจัดซื้ออุปกรณ์และได้ให้เวลาในการทำโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ รศ.นรินทร์ วัฒนกุล รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงงานวิจัย ตลอดจนการดำเนินงานและการเขียนรายงานวิจัยนี้



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : การเพิ่มประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์โดยการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล
ผู้วิจัย : นายธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและจัดสร้างเครื่องติดตามรังสีดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัลแบบปรับองศาได้ ซึ่งมีการออกแบบให้ติดตามดวงอาทิตย์ โดยมีการเคลื่อนที่สองแนวแกน คือแนวอัลติจูดและแนวอะซิมุท ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของแผงโซลาร์เซลล์ ใช้หลักการบังเงาของฉากกั้นมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม จากการทดสอบการทำงานพบว่า การติดตามดวงอาทิตย์เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนของการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ได้รับพบว่า การติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ ช่วง 15 องศา ให้กำลังไฟฟ้าดีกว่าการติดตามทุกๆ ช่วง 30 องศา และ 45 องศา และเมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้ระหว่างการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา และการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่พบว่า ที่แผงขนาด 5 Wp ให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 16.91 % ที่แผงขนาด 30 Wp ให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 18.85 % และที่แผงขนาด 50 Wp ให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 15.52 %

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

คำสำคัญ : แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เครื่องติดตามดวงอาทิตย์ อัลติจูด อะซิมุท

Research Title : The Efficiency Improvement of Solar Cell Using Digital Sun's Position Sensor

Name of Researcher : Mr.Thanapat Promwattanapakdee

Name of Institution : Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2552

ABSTRACT

This report aims to present about the 2 axes sun tracker which are altitude and azimuth lines. The system uses the shade blocking of a screen that has the phototransistor as a detector of beam radiation. The height of the screen is the identifier for the sensitivity operation or the period of tracking. The good point of this sun tracker is that it can fix the periodical tracking time, anyway the period may be shorter or longer as it depends on a design of the height of the screen in the beam radiation detector equipment without adding any additional circuit. The phototransistor position was designed for detecting beam radiation all over the 2 axes thoroughly and approaching to the aim immediately since the start of the operated time. From the test found that the sun tracker the average sun moving rate, it will be at 15 degrees/hr the value energy consumptions is increased. Besides, at the strong sunlight time, the deviation is proportionally decreased, in the contrast, at the weak sunlight time, the value is increased.

Keywords : Solar Cell ,Sun tracking, Altitude, Azimuth

สารบัญ

บทที่	หน้า
1	บทนำ..... 1
1.1	ความสำคัญและที่มาของการวิจัย..... 1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3	คำถามการวิจัย 2
1.4	สมมุติฐานการวิจัย 2
1.5	ขอบเขตของการวิจัย 2
1.6	นิยามศัพท์เฉพาะ..... 3
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1	แหล่งกำเนิดของรังสีดวงอาทิตย์..... 4
2.2	สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์..... 5
2.3	รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก 15
2.4	รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลกในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส 19
2.5	รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลกในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 21
2.6	การคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์บนพื้นเอียง 24
2.7	เซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR CELL) 25
2.8	วัสดุที่ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ 25
2.9	การแบ่งประเภทเซลล์แสงอาทิตย์..... 25
2.10	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบัน 26
2.11	หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์..... 26
2.12	ความยาวคลื่นแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์..... 27
2.13	ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ 28
2.14	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
2.15	สรุป..... 30

สารบัญ(ต่อ)

3	ระเบียบวิธีวิจัย.....	31
3.1	แบบแผนการวิจัย.....	31
3.2	วิธีดำเนินการศึกษา.....	31
3.3	การออกแบบวงจรจับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง.....	37
3.4	วงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	39
3.5	ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51.....	40
3.6	ฟังก์ชันการทำงานของชุดควบคุม.....	41
3.7	เครื่องมือวัด.....	43
3.8	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
4	ผลการทดลอง.....	44
4.1	การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอยู่กับที่.....	44
4.2	การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สถานะไม่มีโหลด.....	49
4.3	การทดลองวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงโซลาร์เซลล์ที่สถานะมีโหลดโดยทำการวัดค่าที่ มุม 15,30 และ 45 องศา และใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 W _p , 30W _p และ 50 W _p	53
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	71
5.3	ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	71
	บรรณานุกรม.....	72
	ภาคผนวก.....	74
	ภาคผนวก ก.....	75
	ภาพส่วนประกอบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์.....	75
	ภาพการทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์.....	75
	ภาคผนวก ข.....	81
	DATA SHEET IRFP460.....	82

DATA SHEET SG2525A.....	89
DATA SHEET FLYBACK TRANSFORMER 6174V-6006E LG (MC-019A)	101
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	102



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงค่าคงที่ A และ B ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย	21
2.2 แสดงค่าคงที่ C และ D สถานีต่างๆ ในประเทศไทย	22
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมง (I_p) ต่อรังสีรวม รายชั่วโมง (I) และดัชนีความใสบรรยากาศรายชั่วโมง (K_p) ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย	23
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายรายวันต่อรังสีรวมรายวัน และดัชนี ความใสบรรยากาศรายวัน (DAILY CLEARNESS INDEX, K_p) ของสถานีในประเทศไทย	23
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อรังสี	24
3.1 แสดงตารางความจริงของวงจรตรวจจับรังสีตรงแนวอัลติจูด	35
3.2 แสดงตารางความจริงของวงจรตรวจจับรังสีตรงแนวอะซิมูท	36
3.3 แสดงการทำงานของวงจรจับเคลื่อนมอเตอร์แนวอัลติจูดและแนวอะซิมูท	38
4.1 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 5 W_p แบบติดตั้งอยู่กับที่	46
4.2 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 30 W_p แบบติดตั้งอยู่กับที่	47
4.3 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 50 W_p แบบติดตั้งอยู่กับที่	48
4.4 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 W_p ที่สภาวะไม่มีโหลด	50
4.5 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 W_p ที่สภาวะไม่มีโหลด	51
4.6 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 W_p ที่สภาวะไม่มีโหลด	52
4.7 ผลการทดลองโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 W_p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา	54

สารบัญตาราง(ต่อ)

4.8 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 5 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 องศา.....	55
4.9 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 5 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 45 องศา.....	56
4.10 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์ เซลล์ขนาด 30 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา.....	59
4.11 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์ เซลล์ขนาด 30 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 องศา.....	60
4.12 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์ เซลล์ขนาด 30 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 45 องศา.....	61
4.13 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์ เซลล์ขนาด 50 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา.....	64
4.14 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์ เซลล์ขนาด 50 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 องศา.....	65
4.15 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์ เซลล์ขนาด 50 W _p และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 45 องศา.....	66
4.16 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 15 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่ ใช้แผงขนาด 5W _p , 30W _p และ 50W _p	69
4.17 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 30 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่ ใช้แผงขนาด 5W _p , 30W _p และ 50W _p	69
4.18 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 45 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่ ใช้แผงขนาด 5W _p , 30W _p และ 50W _p	70

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์.....	4
ภาพที่ 2.2 แสดงวงจรโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	5
ภาพที่ 2.3 แสดงโลกและท้องฟ้า.....	6
ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของท้องฟ้า.....	7
ภาพที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับศูนย์สูตรโลก.....	8
ภาพที่ 2.6 แสดงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า.....	9
ภาพที่ 2.7 แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบอาซิมุท-อัลติจูด.....	10
ภาพที่ 2.8 แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบศูนย์สูตร.....	11
ภาพที่ 2.9 แสดงการแปรค่าในรอบปีของความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์ เฉลี่ย (E_T) (IQBAL, 1983).....	13
ภาพที่ 2.10 แสดงมุมตกกระทบของลำแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง.....	14
ภาพที่ 2.11 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (IQBAL, 1983).....	16
ภาพที่ 2.12 แสดงรังสีเฉพาะขณะในระนาบตั้งฉากกับทิศของรังสีและระนาบของพื้นราบ.....	17
ภาพที่ 2.13 แสดงประเภทของเซลล์.....	26
ภาพที่ 2.14 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
ภาพที่ 2.15 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
ภาพที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
ภาพที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบชุดติดตามดวงอาทิตย์แบบปรับองศาได้.....	31
ภาพที่ 3.2 แสดงรูปของโครงสร้างทางกลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบปรับองศาได้.....	32
ภาพที่ 3.3 แสดงการบังคับเบงของฉากัน.....	33
ภาพที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของการรับแสงและหมายเลขของโฟโต้ทรานซิสเตอร์.....	34

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรซาร์จแบตเตอรี่	39
ภาพที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์AT89C51.....	40
ภาพที่ 3.8 ฟังก์ชันการทำงานของชุดติดตามดวงอาทิตย์.....	41
ภาพที่ 3.9 ฟังก์ชันการทำงานของชุดติดตามดวงอาทิตย์(ต่อ).....	42
ภาพที่ 4.1 แสดงการทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ที่สภาวะต่อโหลดในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่.....	45
ภาพที่ 4.2 แสดงวงจรการทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ที่สภาวะไม่มีโหลด.....	49
ภาพที่ 4.3 แสดงการทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ที่สภาวะต่อโหลด.....	53
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $5 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่.....	57
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่ากระแสค่ากระแส ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $5 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่.....	57
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $5 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศา	58
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $30 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศา.....	62
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $30 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศา.....	62
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $30 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศา	63
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด $50 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ45 องศา	67

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

- ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์
เซลล์ขนาด $30 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา.....67
- ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์
เซลล์ขนาด $50 W_p$ เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา.....68



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เนื่องจากปัญหาด้านพลังงานจึงมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้มากขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เทคนิคและวิธีการในการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หากจำแนกตามวิธีการที่ใช้ในการติดตามสามารถจำแนกการควบคุมออกได้ 3 แบบ คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive controlled unit) เป็นระบบที่ปราศจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อาศัยการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลว มวลของของเหลวที่ถ่ายเทไปมาจะทำหน้าที่ยกแผงรับพลังงานให้เคลื่อนที่ไปเสมือนว่าเคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะนี้คือไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ของแผงรับพลังงานและต้องการการบำรุงรักษาน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบอื่นข้อเสียคือระบบมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ แบบที่สองระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไมโครโพรเซสเซอร์ควบคุม (Microprocessor controlled unit) เป็นระบบที่มีการควบคุมตำแหน่งการติดตามด้วยไมโครโพรเซสเซอร์อัจฉริยะตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการหรืออาจทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ข้อดีคือมีความแม่นยำค่อนข้างสูงแต่มีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบค่อนข้างสูง และสุดท้ายเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุม (Electro-Optically controlled unit) อาศัยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยการตรวจจับรังสีตรงด้วยอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสง ซึ่งสามารถประยุกต์เอาคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ เช่น โฟโอดีไดโอด โฟโอดีทรานซิสเตอร์ หรือ แอลดีอาร์ เป็นต้น ส่วนสำคัญของเทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะนี้คือ ความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ระบบอาจไม่ทำงานเมื่อมีความเข้มของแสงน้อย เช่น เมื่อเกิดการบังเงาของเมฆ หรือในสภาพที่ท้องมีดริ่ม อย่างไรก็ตามในงานบางอย่างอาจไม่จำเป็นต้องติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา การติดตามในลักษณะเป็นช่วงๆอาจได้ประโยชน์มากกว่า ในแง่ของการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ในงานวิจัยนี้จะสร้างระบบติดตามที่สามารถกำหนดองศาในการติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วงได้ ทำการทดสอบการทำงานในแต่ละช่วงองศาในแนวอะซิมูทและแนวอัลติจูดและหาองศาที่เหมาะสมในด้านการได้รับพลังงาน สำหรับเป็นแนวทางกำหนดการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างชุดตรวจจับความเข้มของรังสีและชุดติดตามดวงอาทิตย์แบบกำหนดองศา
- 1.2.2 กำหนดช่วงองศาที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์(Solar cell)
- 1.2.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรังสีตรงของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมในการรับรังสีของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 คำถามการวิจัย

- 1.3.1 การติดตามดวงอาทิตย์แบบกำหนดช่วงองศาของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ได้รับกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพต่างกันหรือไม่
- 1.3.2 การติดตามดวงอาทิตย์แบบกำหนดช่วงองศาของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ได้รับกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพมากกว่าแบบอยู่กับที่หรือไม่
- 1.3.3 การติดตามดวงอาทิตย์แบบกำหนดช่วงองศาของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมควรเป็นอย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

สามารถกำหนดช่วงองศาที่เหมาะสมในการติดตามดวงอาทิตย์ทั้งในแนวอะซิมุทและแนวอัลติจูดเพื่อให้แผงรับประสิทธิภาพมีประสิทธิภาพและได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ตลอดเวลา

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 กลุ่มเป้าหมายหรือประชากร
 - ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการได้รับพลังงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วงองศาต่างๆ ดังนี้
 - (1) แนวอะซิมุท ที่ 15 30 และ 45 องศา
 - (2) แนวอัลติจูด ที่ 15 30 และ 45 องศา
 - ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการได้รับพลังงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับแผงขนาด 5 Wp , 30 Wp และ 50 Wp

1.5.2 ระยะเวลาในการวิจัย

- (1) สร้างชุด โครงสร้างและชุดตรวจจับรังสีแสงอาทิตย์ ระยะเวลา 6 เดือน
- (2) ทดสอบองค์ประกอบในการรับพลังงานที่องศา 15, 20, 30 ระยะเวลา 4 เดือน
- (3) สรุปผลการทดสอบ ระยะเวลา 2 เดือน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

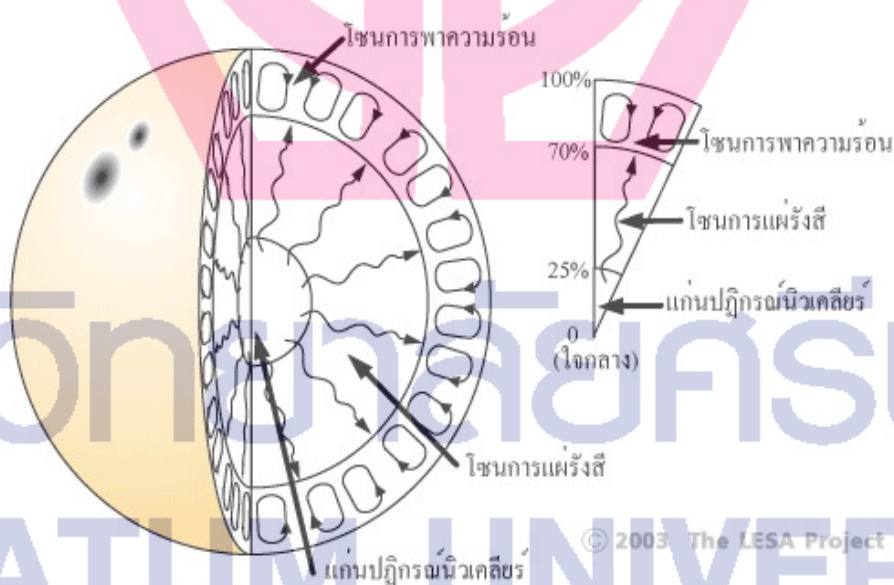
Solar Cell	แผงรับรังสีแสงอาทิตย์
Sun Tracking	การติดตามดวงอาทิตย์
Altitude	มุมสูงเป็นระยะทางตามมุมที่วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไป
Azimuth	ค่ามุมที่วัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออก
High Efficiency	ประสิทธิภาพสูง
Radiation	การแผ่รังสี
Collection Efficiency	ประสิทธิภาพการเก็บความร้อน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งกำเนิดของรังสีดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์และเป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ (solar system) ซึ่งมีโลกและดาวเคราะห์อื่นๆ เป็นบริวารมวลของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1.989×10^{30} กิโลกรัม หรือประมาณ 3 แสนเท่าของมวลโลกมวลจำนวนมากนี้กดทับกันด้วยแรงโน้มถ่วงทำให้บริเวณใจกลางมีความดันสูงถึง 3.4×10^{16} ปาสคาล และอุณหภูมิสูง 15×10^6 เคลวิน จนทำให้เกิดปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ขึ้น จากปฏิกิริยาดังกล่าวไฮโดรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดวงอาทิตย์จะหลอมรวมกันเป็นฮีเลียมและให้พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นในช่วงของรังสีแกมมาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะส่งผ่านออกมาภายนอกผ่านมวลสารชั้นถัดออกมามวลสารเหล่านี้จะดูดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นยาวขึ้นเมื่อมาถึงผิวดาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นในช่วงแสงสว่างและรังสีอินฟราเรด

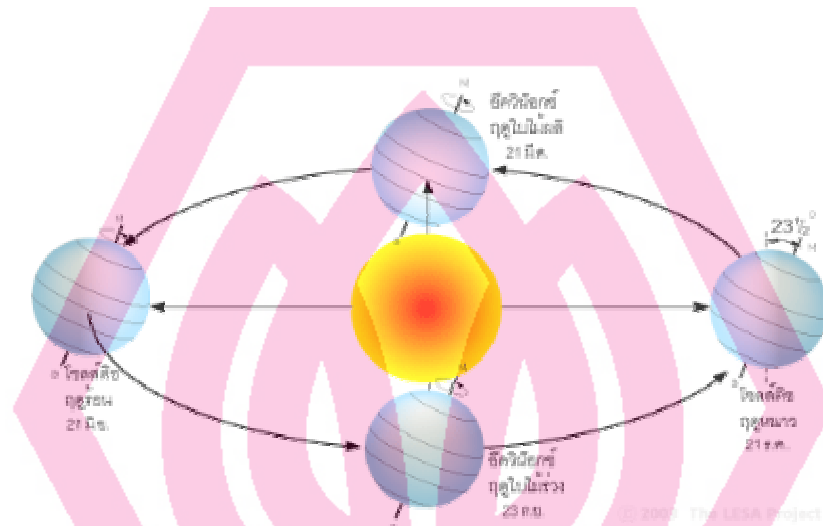


ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของดวงอาทิตย์

2.2 สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์

2.2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรีโดยมีความรี (eccentricity) เท่ากับ 0.016722 มีระยะกึ่งแกนหลัก (semi-major axis) 1.4968×10^8 กิโลเมตร โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่งของวงรีดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ระนาบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เรียกว่าระนาบสุริยวิถี (ecliptic plane) แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยวิถี $23\frac{1}{2}$ องศา ดังนั้นระนาบศูนย์สูตร (equatorial plane) ของโลกจึงทำมุมกับระนาบสุริยวิถี $23\frac{1}{2}$ องศา ด้วยการที่แกนหมุนของโลกเอียงนี้ทำให้โลกหันซีกเหนือและซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากน้อยต่างกัน ใน ขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยโลกจะหันซีกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน หรือ โซลส์ติกส์ฤดูร้อน (summer solstice) ณ ตำแหน่งนี้กลางวันของซีกโลกเหนือจะยาวที่สุด โลกจะหันซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม หรือ โซลส์ติกส์ฤดูหนาว (winter solstice) ดังนั้นการเกิดฤดูกาลจึงเป็นผลมาจากการที่แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยวิถี

เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 1.496×10^8 กิโลเมตร หรือ 1 หน่วยดาราศาสตร์ (astronomical unit, AU) โลกจะอยู่ที่ตำแหน่งใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด (perihelion) ที่ระยะห่าง 0.983 AU หรือในวันที่ 3 มกราคม และอยู่ที่ตำแหน่งไกลที่สุด (aphelion) ที่ระยะห่าง 1.017 AU ในวันที่ 4

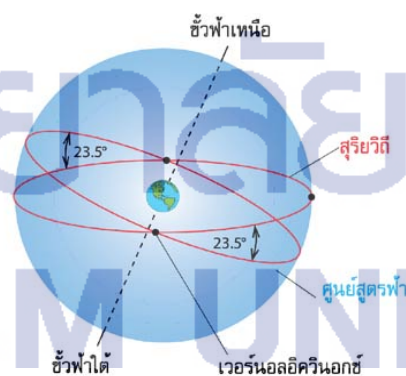
กรกฎาคม ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ระยะทางดังกล่าวแปรไปตามวันต่างๆ ในรอบปี ตามสมการต่อไปนี้ (Iqbal, 1983)

$$E_0 = (r/r_0)^2 = 1.000110 + 0.034221\cos\Gamma + 0.001280\sin\Gamma + 0.000719\cos 2\Gamma + 0.000077\sin 2\Gamma \quad (2.1)$$

- เมื่อ
- Γ = $2\pi(d_n-1)/365$
 - Γ = มุมวัน (day angle) [เรเดียน]
 - r = ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ [km]
 - r_0 = ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ [1.496×10^8 km]
 - d_n = ลำดับของวันในรอบปี [$d_n = 1$ สำหรับวันที่ 1 มกราคม]

2.2.2 ทรงกลมท้องฟ้าและทางเดินปรากฏของวัตถุ

ขณะที่โลกโคจรไปรอบดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก โลกจะหมุนรอบตัวเองไปในทิศเดียวกันด้วย ถ้าสมมุติว่าเราอยู่ที่ผิวโลก ณ ตำแหน่งละติจูด และลองจิจูดใดๆ ตัวเราก็จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกันด้วย ถ้าสมมุติว่าเราอยู่ที่ผิวโลกและถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางเมื่อเรามองไปรอบๆ ตัวเราจะเห็นขอบฟ้ากลม ทั้งนี้เพราะสายตาเรามองได้ไกลสุดเท่ากันทุกทิศทุกทาง และถ้าแหงนขึ้นดูข้างบนเราก็จะเห็นท้องฟ้าโค้งเป็นครึ่งทรงกลมครอบเราอยู่ เพราะเรารับรู้แสงที่มาจากท้องฟ้าซึ่งเกิดจากการกระเจิงของบรรยากาศมาเข้าตาเราเท่ากันทุกทิศทาง



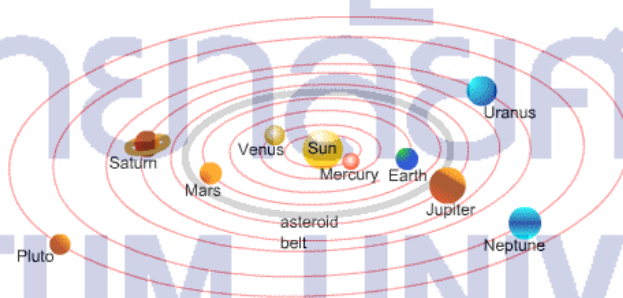
ภาพที่ 2.3 แสดง โลกและท้องฟ้า

ดวงดาวต่างๆ ซึ่งอยู่ไกลมากจะถือว่าอยู่นิ่งกับที่เทียบกับการเคลื่อนของโลก เราจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการหมุนรอบตัวของโลกจากทิศตะวันตกไปตะวันออกผ่านดวงดาวต่างๆ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกกว้างใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของวัตถุต่างๆ บนโลก เราจึงมีความรู้สึกว่

พื้นผิวโลกอยู่ร่วมกับที่และดวงดาวต่างๆ เป็นฝ่ายเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกรอบแกนหมุนซึ่งขนานกับแกนหมุนของโลก เรียกแกนหมุนนี้ว่าแกนหมุนท้องฟ้า ระนาบของพื้นโลกที่เราอยู่เรียกว่า ระนาบขอบฟ้า (horizontal plane) จากหลักเรขาคณิตสามารถพิสูจน์ได้ว่าแกนหมุนท้องฟ้าจะทำมุมกับระนาบขอบฟ้าเท่ากับละติจูดที่เราอยู่ โดยทั่วไปสายตาของมนุษย์ไม่สามารถบอกความแตกต่างของระยะทางระหว่างตนเองกับวัตถุ 2 ชิ้น ซึ่งแต่ละชิ้นอยู่ห่างจากเราไม่เท่ากัน ถ้าวัตถุทั้งสองอยู่ไกลเรามาก สายตาของเราจะสังเกตเห็นวัตถุเหล่านั้นอยู่ห่างจากเราเท่ากันหมด ด้วยเหตุนี้เราจึงเห็นท้องฟ้ามีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมครอบเราอยู่ โดยมีเทหวัตถุ (celestial object) เช่น ดาวฤกษ์ต่างๆ ยึดติดกับทรงกลมท้องฟ้าและเคลื่อนที่รอบแกนหมุนซึ่งขนานกับแกนหมุนของโลกด้วยอัตราเดียวกับอัตราการหมุนของโลกรอบตัวเองคือ 1 รอบต่อวัน

ถ้าดาวฤกษ์ดวงหนึ่งอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบศูนย์สูตรโลก ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเองคนที่อยู่ ณ ตำแหน่งศูนย์สูตรจะเห็นดาวดวงนี้เคลื่อนที่จากขอบฟ้าด้านตะวันออกไปยังขอบฟ้าตะวันตกในระนาบที่ขนานกับระนาบศูนย์สูตรโลก เรียกระนาบดังกล่าวว่าระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า (celestial equator) ถึงแม้ว่าคนที่ไม่ได้อยู่ที่ศูนย์สูตรก็จะเห็นการเคลื่อนที่ของดาวดังกล่าวเช่นเดียวกับคนที่อยู่ที่ศูนย์สูตร ทั้งนี้เพราะระยะทางบนโลกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะทางจากโลกถึงดาวต่างๆ ระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าจะอยู่ในแนวตะวันออกตะวันตกและตั้งฉากกับแกนหมุนของทรงกลมท้องฟ้าเช่นเดียวกับในกรณีของแกนหมุนของโลกซึ่งตั้งฉากกับระนาบศูนย์สูตรของโลก

สำหรับดาวอื่นที่มีได้อยู่ในระนาบเดียวกันกับระนาบศูนย์สูตรของโลกก็จะมีการเคลื่อนที่ติดไปกับทรงกลมท้องฟ้าในระนาบที่ขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าด้วยอัตราเดียวกันกับอัตราการหมุนของโลกท้องฟ้าที่ปรากฏว่าผู้สังเกตทั่วไปจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.4

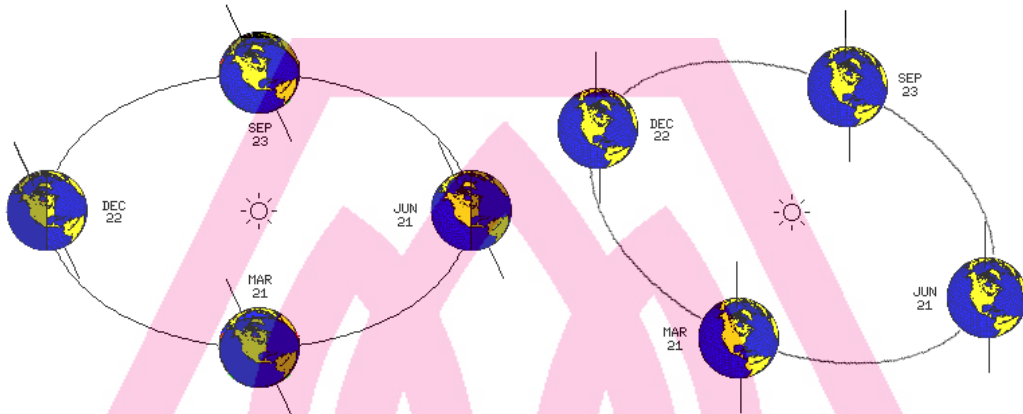


ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของท้องฟ้า

2.2.3 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์

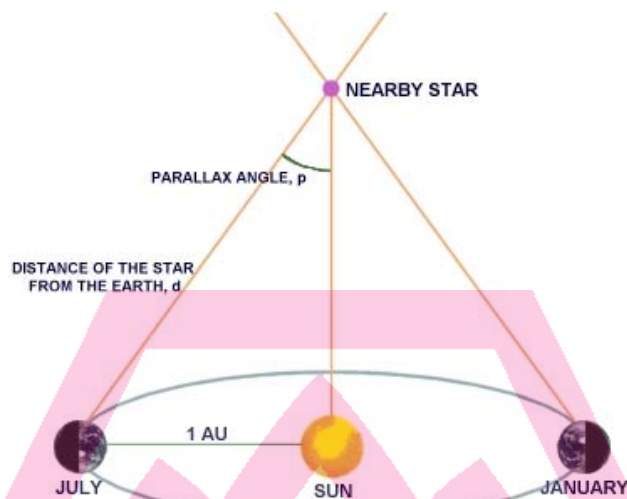
โดยทั่วไปตำแหน่งของดาวฤกษ์จะอยู่คงที่เมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ทั้งนี้เพราะดาวฤกษ์อยู่ไกลจากโลกมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นเรา

จึงเห็นดาวฤกษ์อยู่ในระนาบเดิมซึ่งขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่กรณีของดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนระนาบการเคลื่อนที่บนท้องฟ้าไปตามเวลาในรอบปี ทั้งนี้เพราะเหตุที่ดาวเหล่านี้อยู่ใกล้โลก และมีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ในกรณีดวงอาทิตย์จะสามารถแสดงให้เห็น ได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับศูนย์สูตรโลก

จากภาพที่ 2.5 จะเห็นว่าในวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และ 22 หรือ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบอิกเวเตอร์โลก สำหรับในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน ดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือระนาบอิกเวเตอร์มากที่สุด และวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม จะอยู่ใต้ระนาบอิกเวเตอร์มากที่สุด ดังนั้นระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจึงเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา บางครั้งอยู่ด้านเหนือและบางครั้งอยู่ด้านใต้ของระนาบอิกเวเตอร์ท้องฟ้าเนื่องจากระนาบอิกเวเตอร์ของโลกทำมุมกับระนาบสุริยวิถี $23\frac{1}{2}$ องศา ดังนั้นทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์จึงสามารถอยู่ห่างจากอิกเวเตอร์ได้มากที่สุด $23\frac{1}{2}$ องศา ลักษณะทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าแสดงได้ตามภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

จากภาพจะเห็นว่า ช่วงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือขอบฟ้า หรือความยาวของกลางวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรอบปี และขึ้นกับตำแหน่งเส้นรุ้งของผู้สังเกต โดยที่ในช่วงฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือของศูนย์สูตรท้องฟ้าและมีกลางวันยาวกว่าในช่วงฤดูหนาวซึ่งดวงอาทิตย์อยู่ทางใต้ของศูนย์สูตรท้องฟ้า

2.2.4 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

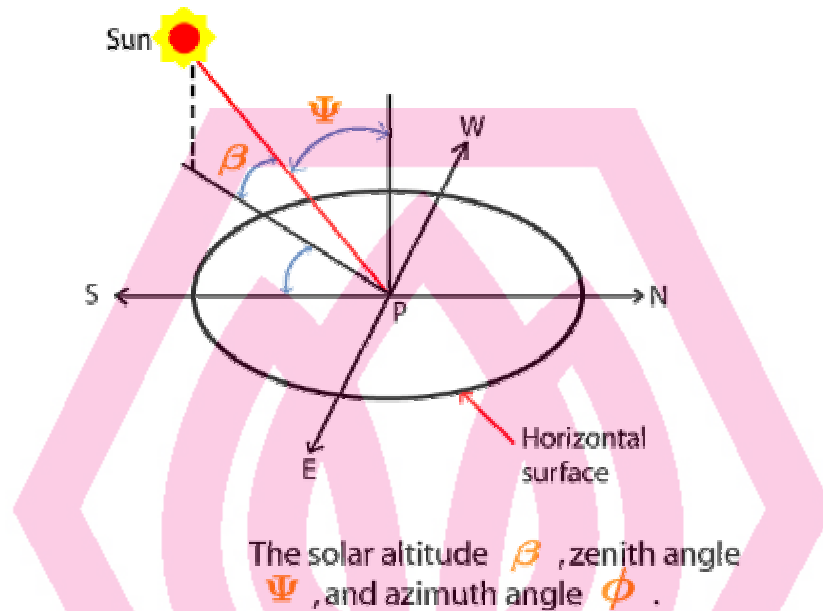
ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ อาจระบุบอกด้วยมุมหรือบอกด้วยส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า (celestial sphere) ที่รองรับมุมดังกล่าวก็ได้ ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์มีการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ 2 ระบบดังนี้

1) ระบบอาซิมุท-อัลติจูด (azimuth-altitude system) ระบบนี้ใช้มุม 2 มุม (ตามภาพที่ 2.7) เป็นตัวบอกตำแหน่งได้แก่

ก. มุมอาซิมุท (azimuth, ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ไปยังเงา (projection) บนระนาบขอบฟ้าของเส้นตรงซึ่งเชื่อมระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ โดยกับกำหนดว่าถ้าเงาดังกล่าวอยู่ด้านตะวันออกมุมอาซิมุทมีค่าเป็นบวกและทางตะวันตกมีค่าเป็นลบ ดังนั้น $-180 < \psi < 180$ องศา

ข. มุมอัลติจูด (altitude, α) เป็นมุมเมฆ ณ ตำแหน่งผู้สังเกตของเส้นตรงซึ่งเชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์กับผู้สังเกต จะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา สำหรับมุมที่อยู่ระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์เรียกว่ามุมเซนิต (zenith angle, θ_z) ซึ่งสามารถใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$

การบอกตำแหน่งโดยใช้ระบบอาซิมุท-อัลติจูด มีข้อดีคือเข้าใจได้ง่าย แต่ก็มีข้อด้อยคือค่าอาซิมุทและอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงไปทุกขณะตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนดวงอาทิตย์ตก และเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย



ภาพที่ 2.7 แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบอาซิมุท-อัลติจูด

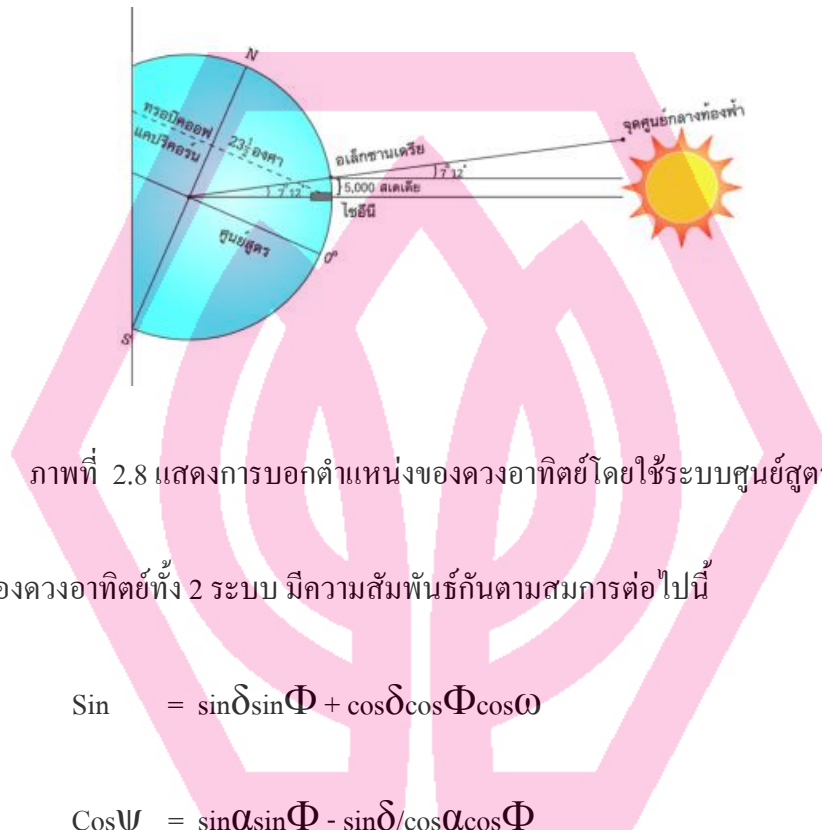
2) ระบบศูนย์สูตร (equatorial , system) ระบบนี้ใช้มุมหรือส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้าตามภาพที่ 2.8 เป็นตัวบอกตำแหน่งดังนี้

ก. เดคลิเนชัน (declination, δ) เป็นส่วนโค้งของวงกลม (great circle) ที่ผ่านขั้วทั้งสองของทรงกลมท้องฟ้าระหว่างเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ากับทางเดินของดวงอาทิตย์ตามภาพที่ 2.8 มีค่าอยู่ระหว่าง $-23\frac{1}{2} < \delta < 23\frac{1}{2}$ องศา ถือว่ามีค่าคงที่ในแต่ละวันและมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปี การเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\Delta = (0.006918 - 0.399912\cos\Gamma + 0.0070257\sin\Gamma - 0.006758\cos 2\Gamma + 0.000907\sin 2\Gamma - 0.002697\cos 3\Gamma + 0.00148\sin 3\Gamma)(180/JD) \quad (2.2)$$

- เมื่อ δ = เดคลิเนชัน [องศา]
 d_n = วันในรอบปี, $d_n = 1$ สำหรับวันที่ 1 มกราคม
 Γ = มุมวัน (day angle) [เรเดียน]

ข. มุมชั่วโมง (hour angle, ω) เป็นมุมที่ขั้วของทรงกลมท้องฟ้า (celestial pole) หรือส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้าระหว่างเส้นเมริเดียน (meridian) ของผู้สังเกต กับวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านดวงอาทิตย์และขั้วทั้งสองของทรงกลมท้องฟ้า มีค่าเป็นบวกเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันออกของเมริเดียน และเป็นลบเมื่ออยู่ทางตะวันตกของเมริเดียน



ภาพที่ 2.8 แสดงการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบศูนย์สูตร

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ มีความสัมพันธ์กันตามสมการต่อไปนี้

$$\sin \psi = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega \quad (2.3)$$

$$\cos \psi = \sin \alpha \sin \Phi - \sin \delta / \cos \alpha \cos \Phi \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- α = มุมอัลติจูด [องศา]
 - ψ = มุมอาซิมุมุท [องศา]
 - ω = มุมชั่วโมง [องศา]
 - Φ = ละติจูด [องศา]
 - δ = เคคลิเนชัน [องศา]

จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.3) และ (2.4) เราสามารถคำนวณหามุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้น (ω_s) และความยาวของกลางวันได้ กล่าวคือ ขณะที่ดวงอาทิตย์ขึ้น $\alpha = 0$ จะได้ว่า

$$\cos \omega_s = (-\sin \alpha \sin \Phi) / (\cos \delta \cos \Phi) \quad (2.5)$$

$$\text{หรือ} \quad \omega_s = \cos^{-1}(-\tan\delta \tan\Phi) \quad (2.6)$$

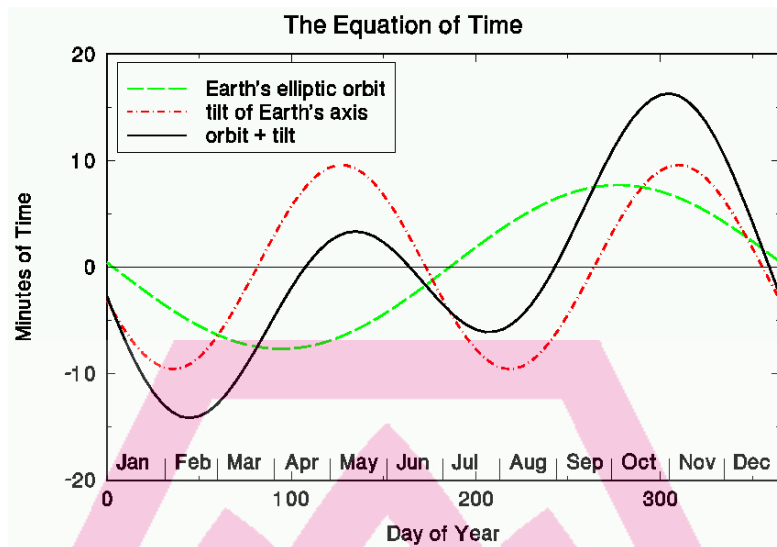
สำหรับมุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตกจะเท่ากับมุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้น แต่เครื่องหมายตรงกันข้าม ดังนั้นความยาวของวัน N_d จึงเท่ากับ $2\omega_s$ เขียนในหน่วยของชั่วโมงได้ดังนี้

$$N_d = \frac{2}{15} |\cos^{-1}(\tan\delta \tan\Phi)| \quad (2.7)$$

2.2.5 เวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ตามกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของเคปเลอร์ (Kepler) ดาวเคราะห์ต่างๆรวมถึงโลกจะโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ เส้นตรงที่เชื่อมระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จะกวาดพื้นที่ได้เท่ากัน ถ้าช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากัน ดังนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนวงโคจรจึงมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ช่วงเวลาที่ผู้สังเกตบนพื้นโลกเห็นดวงอาทิตย์ตรงศีรษะ 2 ครั้งติดต่อกัน หรือ 1 วัน มีความยาวไม่เท่ากัน การใช้เวลาที่อาศัยดวงอาทิตย์เป็นหลักหรือเวลาดวงอาทิตย์ (solar time) จึงไม่สะดวกในการเปรียบเทียบเหตุการณ์ต่างๆ ในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดเวลาที่สม่ำเสมอขึ้น โดยการนำเวลาดวงอาทิตย์ในวันที่ 1 มกราคม ปี ค.ศ.1900 มาแบ่งเป็น 86,400 ส่วน เรียก 1 ส่วนว่า 1 วินาที เรียกเวลานี้ว่าเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (solar mean time) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือชนิดที่คงที่ต่างๆ เช่น ลูกตุ้มนาฬิกา หรือความถี่ของการสั่นของอะตอมของธาตุบางชนิดและกำหนดว่า เวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย ณ เมืองกรีนวิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษเป็นเวลาสากล (universal time) หรือเวลากรีนวิช (Greenwich mean time, GMT) ในประเทศต่างๆ จะแบ่งเวลาออกเป็นเขตๆ เทียบกับเวลากรีนวิช ในแต่ละเขตจะมีเส้นลองจิจูดมาตรฐาน (standard longitude, L) และในเขตนั้นๆ จะใช้เวลาเดียวกัน เส้นลองจิจูดนี้จะห่างจากกรีนวิชเป็นจำนวนเท่าของ 15 องศา เช่น เส้นลองจิจูดมาตรฐานของประเทศไทยเท่ากับ 105 องศา (15x7) นั่นคือเวลาของประเทศไทยจะเร็วกว่าเวลากรีนวิช 7 ชั่วโมง เวลาในแต่ละเขตนี้มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า เวลามมาตรฐานถิ่น (local standard time, LST) เป็นเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกา (clock time) และใช้ในชีวิตประจำวันนั่นเอง สำหรับประเทศที่มีขนาดใหญ่ เช่น สหรัฐอเมริกาจะแบ่งเขตการใช้เวลามาตรฐานท้องถิ่นออกเป็นหลายเขต เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริงของกลางวันและกลางคืนของท้องถิ่นนั้นๆ

เวลาดวงอาทิตย์และเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันตามวันในรอบปี ซึ่งสามารถหาความแตกต่างๆ ได้จากสมการเวลา (equation of time) แสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงการแปรค่าในรอบปีของความแตกต่างระหว่างเวลาคงอาทิตย์กับเวลาคงอาทิตย์เฉลี่ย (E_t) (Iqbal, 1983)

สมการเวลาสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_t = 229.18 (0.000075 + 0.001868\cos\Gamma - 0.032077\sin\Gamma - 0.014615\cos 2\Gamma - 0.04089\sin 2\Gamma) \quad (2.8)$$

โดยที่ $\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365$
 เมื่อ E_t = สมการเวลา [นาที]
 Γ = มุมวัน(day angle) [เรเดียน]

เวลาคงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ กล่าวคือเมื่อ 12.00 น. ตามเวลาคงอาทิตย์ ค่า $\omega = 0^\circ$ ถ้าเวลาคงอาทิตย์เป็น 11.00 น. $\omega = 15^\circ$ เวลาคงอาทิตย์นี้สามารถคำนวณหาได้จากเวลามาตรฐานท้องถิ่น สมการเวลาและผลต่างระหว่างตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$ST = LST + 4(L_s - L_{loc}) + E_t \quad (2.9)$$

เมื่อ ST = เวลาคงอาทิตย์ [ชม:นาที]
 LST = เวลามาตรฐานท้องถิ่น [ชม:นาที]
 L_s = เส้นลองจิจูดมาตรฐาน [องศา]
 L_{loc} = เส้นลองจิจูดของผู้สังเกต [องศา]
 E_t = สมการเวลา [นาที]

ค่าของ $4(L_s - L_{loc})$ มีหน่วยเป็นนาที และค่าของ L_s และ L_{loc} เป็นลบเมื่ออยู่ทางตะวันออกของกรีนิช และเป็นบวก เมื่ออยู่ทางตะวันตกของกรีนิช

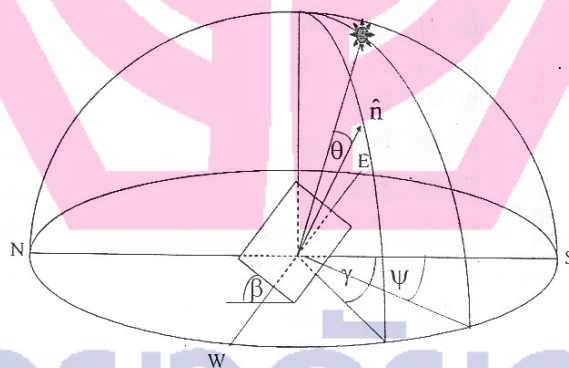
ความสัมพันธ์ระหว่างมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (2.10)$$

เมื่อ ω = มุมชั่วโมง [องศา]
 ST = เวลาดวงอาทิตย์ [ชม.]

2.2.6 มุมตกกระทบของลำแสงอาทิตย์ตกลงบนพื้นเอียง

ในการคำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ตกลงบนพื้นเอียง เราจำเป็นต้องทราบมุมระหว่างลำแสงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากของพื้นเอียงนั้น หรือมุมตกกระทบ (θ) กับระนาบขอบฟ้าและมีค่าอาซิมุทของเงาของเส้นตั้งฉาก ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.10 พื้นเอียงโดยทั่วไปจะหมายถึงระนาบที่ทำมุม β กับระนาบขอบฟ้า (horizontal plane) และเงาของเส้นตั้งฉากของพื้นเอียงมีค่ามุมอาซิมุท γ



ภาพที่ 2.10 แสดงมุมตกกระทบของลำแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง

มุมตกกระทบ (θ) ของลำแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงดังกล่าว สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \cos \beta - \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \omega (\cos \Phi \cos \beta \\ &\quad + \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega) \end{aligned} \quad (2.11)$$

เมื่อ θ = มุมตกกระทบของลำแสงบนพื้นเอียง
 δ = มุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

- ω = มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์
- β = มุมที่พื้นเอียงทำกับพื้นราบ
- γ = มุมอาซิมุทของเงาของเส้นตั้งฉากกับพื้นเอียง
- Φ = ละติจูด

หรือ
$$\cos\theta = \cos\beta\cos\theta_z + \sin\beta\sin\theta_z\cos(\psi-\gamma) \quad (2.12)$$

กรณีที่พื้นเอียงหันหน้าไปทางทิศใต้ มุมตกกระทบจะสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\cos\theta = \sin\delta\sin(\Phi-\beta) + \cos\delta\cos(\Phi-\beta)\cos\omega \quad (2.13)$$

และมุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นเอียง (ω) หาได้จากสูตร

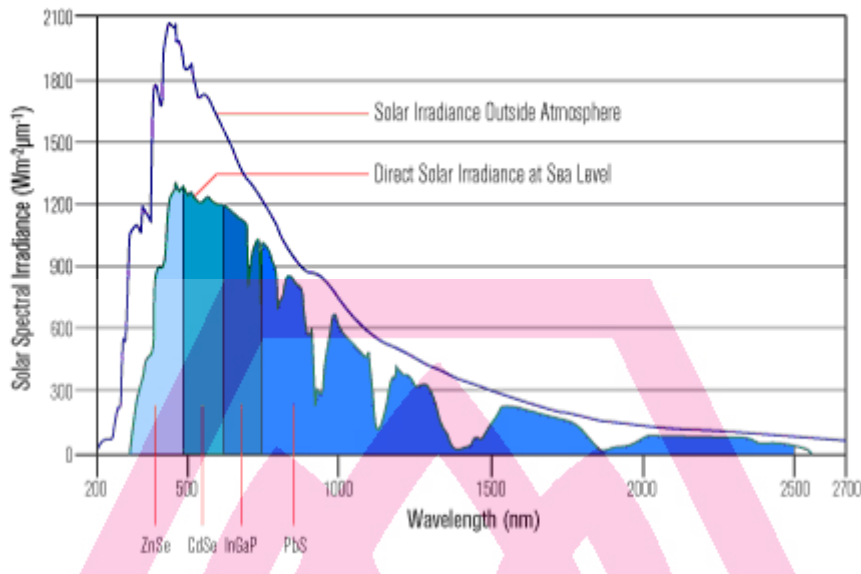
$$\omega_s = \min\{\cos^{-1}(-\tan\delta\tan\Phi), \cos^{-1}(-\tan\delta\tan(\Phi-\beta))\} \quad (2.14)$$

2.3 รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

2.3.1 สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

ความรู้เรื่องสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก มีความสำคัญต่อการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในอวกาศ เช่น เซลล์สุริยะของดาวเทียม และยานอวกาศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นพื้นฐานการคำนวณหาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลกด้วย อาศัยข้อมูลการวัดภาคพื้นดินและการวัดระดับสูงประกอบกับการคำนวณทางทฤษฎี จะได้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก ตามภาพที่ 2.11

Distribution of Power in Sunlight



ภาพที่ 2.11 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Iqbal, 1983)

2.3.2 ค่าคงที่สุริยะ (solar constant)

ค่าคงที่สุริยะ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทุกความยาวคลื่นที่ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วยต่อ 1 หน่วยเวลา ณ ตำแหน่งห่างจากดวงอาทิตย์ 1 AU นอกบรรยากาศโลก ค่าดังกล่าวมีความสำคัญและจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลก จากการวัดภาคพื้นดินและการวัดภาคพื้นดินและการวัดโดยอาศัยบอลูนและเครื่องบินในระดับสูง พบว่าค่าคงที่สุริยะ (I_{sc}) มีค่าเท่ากับ $1,353 \text{ w/m}^2$ ภายหลังได้มีการวัดและแก้ไขความคลื่อนต่างๆ เพิ่มเติมได้ค่าคงที่สุริยะเท่ากับ $1,367 \text{ w/m}^2$ หรือ $4,921 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{hr}$ ค่าดังกล่าวที่แก้ไขแล้วนี้เป็นที่ยอมรับขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (world meteorology organization, WMO) อย่างไรก็ตามค่าคงที่สุริยะทั้งสองมีความแตกต่างกันเพียง 1% เท่านั้น

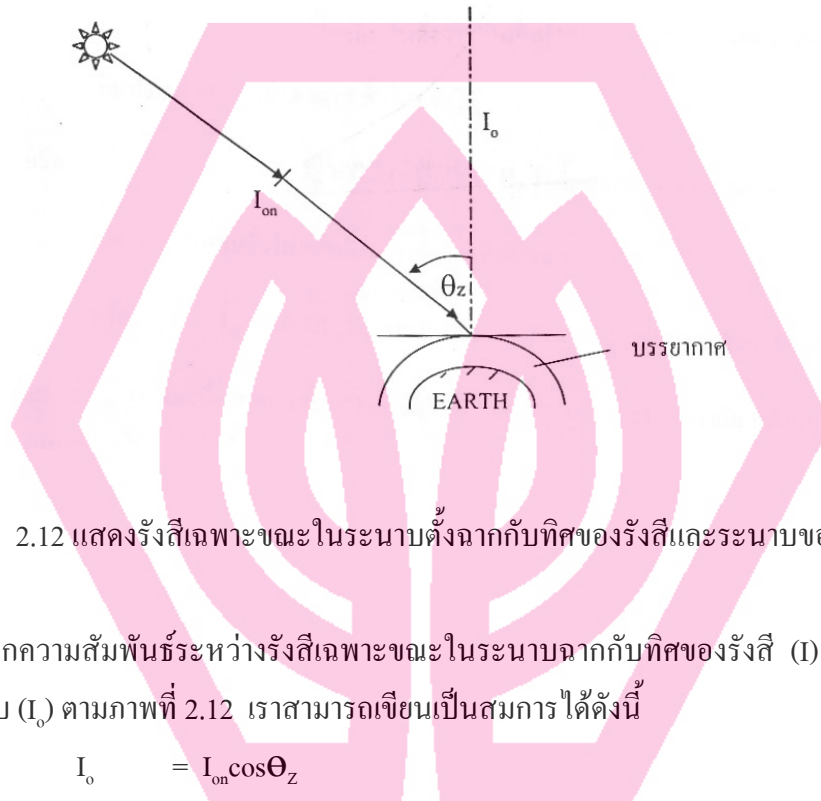
2.3.3 รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบ

ก. รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายชั่วโมง

รังสีดวงอาทิตย์เฉพาะขณะ (irradiance) หรือรังสีที่ตกกระทบตั้งฉากกับระนาบรับรังสีในขณะเวลาหนึ่งนอกบรรยากาศโลกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 I_{on} &= I_{sc} (r_0 / r)^2 \\
 \text{หรือ} \quad I_{on} &= I_{sc} E_o \\
 \text{เมื่อ} \quad I_{on} &= \text{รังสีดวงอาทิตย์เฉพาะขณะซึ่งตกตั้งฉากกับระนาบรับรังสี} \\
 &\quad \text{นอกบรรยากาศโลก [W/m}^2\text{]}
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

- I_{sc} = ค่าคงที่สุริยะ [$1,367 \text{ W/m}^2$]
- r_o = ระยะเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ [$1.496 \times 10^8 \text{ km}$]
- r = ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ [km]
- E_o = แพลคเตอร์สำหรับแก้ผลจากความรีของวงโคจร



ภาพที่ 2.12 แสดงรังสีเฉพาะขณะในระนาบตั้งฉากกับทิศของรังสีและระนาบของพื้นราบ

จากความสัมพันธ์ระหว่างรังสีเฉพาะขณะในระนาบฉากกับทิศของรังสี (I) กับในระนาบของพื้นราบ (I_o) ตามภาพที่ 2.12 เราสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_o = I_{on} \cos \theta_z \quad (2.16)$$

แต่ $\cos \theta_z = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega$ (2.17)

ดังนั้น $I_{on} = I_{sc} E_o (\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega)$ (2.18)

ค่า I_{on} ในสมการ (2.18) เป็นค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉพาะขณะ ถ้าต้องการทราบพลังงานของรังสีในช่วงเวลาหนึ่งจะเขียนสมการ (2.16) ได้ดังนี้

$$dI_o = 3600 I_{sc} E_o \cos \theta_z dt \quad (2.19)$$

โดยที่ I_{sc} เป็นค่าคงที่สุริยะในหน่วย W/m^2 และ dt มีหน่วยเป็นชั่วโมง

จาก $d\omega/dt = (2\pi/24 \text{ rad})/h$
 $dt = (12/\pi) d\omega$ (2.20)

แทน dt_0 จากสมการ (2.20) ลงในสมการ (2.19) จะได้

$$dI_0 = (12/\pi)3600I_{sc}E_0(\sin\delta\sin\Phi + \cos\delta\cos\Phi\cos\omega) \quad (2.21)$$

อินทิเกรต dI_0 ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงจะได้

$$I_0 = (12/\pi)3600I_{sc}E_0 \int (\sin\delta\sin\Phi + \cos\delta\cos\Phi\cos\omega)d\omega \quad (2.22)$$

เมื่อ ω_i เป็นมุมชั่วโมงของกึ่งกลางชั่วโมงที่พิจารณา

$$\text{หรือ} \quad I_0 = 3600I_{sc}E_0(\sin\delta\sin\Phi + (24/\pi)\sin(\pi/24)\cos\delta\cos\Phi\cos\omega_i) \quad (2.23)$$

แต่เนื่องจาก $(24/\pi)\sin(\pi/24) = 0.9972$ หรือประมาณเท่ากับ 1 ดังนั้น

$$I_0 = 3600I_{sc}E_0(\sin\delta\sin\Phi + \cos\delta\cos\Phi\cos\omega_i) \quad (2.24)$$

ข. รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวัน

ค่ารังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันบนพื้นราบ (H_0) หาได้จากการอินทิเกรตค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง

$$H_0 = (24/\pi)3600I_{sc}E_0 \int (\sin\delta\sin\Phi + \cos\delta\cos\Phi\cos\omega)d\omega \quad (2.25)$$

$$\text{หรือ} \quad H_0 = (24/\pi)3600I_{sc}E_0[(\pi/180)\omega_s(\sin\delta\sin\Phi + \cos\delta\cos\Phi\sin\omega_s)] \quad (2.26)$$

เมื่อ H_0 = รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันบนพื้นราบ [J/m^2-h]

ω_s = มุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตก [องศา]

I_{sc} = ค่าคงที่สุริยะ [$1,367 W/m^2$]

2.4 รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลกในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส

2.4.1 องค์ประกอบของบรรยากาศโลก

โดยทั่วไปองค์ประกอบของบรรยากาศแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1) อากาศแห้ง ได้แก่ โมเลกุลต่างๆ ของก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเฉื่อย ปริมาณของก๊าซเหล่านี้บางชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นกับสถานที่และสภาพภูมิอากาศ

2) ไอน้ำ ปริมาณของไอน้ำนิยมนับเป็นความสูงของคอลัมน์ของน้ำโดยสมมติว่าถ้าไอน้ำในคอลัมน์ซึ่งตั้งฉากกับผิวโลกกลั่นตัวเป็นน้ำหมด

3) ฝุ่น เป็นอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศสามารถบดบังปริมาณของฝุ่นได้หลายวิธีเช่น บดบังเป็นจำนวนอนุภาคของฝุ่นต่อ 1 หน่วยปริมาตรของอากาศหรือบดบังในรูปของทัศนวิสัย (visibility) และสภาพปั่นมัว (turbidity) ของบรรยากาศ เป็นต้น

2.4.2 มวลอากาศที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่าน (optical air mass)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมายังผิวโลกจะถูกดูดกลืน (absorption) และกระเจิง (scattering) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละออง ทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นโลกมีปริมาณลดลง การลดลงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและปริมาณของอนุภาคต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศ หรือขึ้นกับมวลของอากาศในคอลัมน์ที่รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่าน (m_{act}) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$m_{act} = \int \rho ds \quad (2.27)$$

เมื่อ m_{act} = เป็นมวลอากาศที่รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านจริง

S = ทางเดินของรังสีดวงอาทิตย์จริง (geometrical path length)

ρ = ความหนาแน่นอากาศ

สำหรับกรณีที่รังสีดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับผิวโลกจะได้มวลของอากาศ ($m_{act,v}$) ดังสมการ

$$m_{act,v} = \int \rho dz \quad (2.28)$$

เมื่อ Z ระยะทางในแนวตั้งฉากกับผิวโลก เราจะให้นิยามมวลอากาศสัมพัทธ์ที่รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่าน (m_r) ว่าเป็นอัตราส่วนของ m_{act} ต่อ $m_{act,v}$ หรือ

$$m_r = \int \rho ds / \int \rho dz \quad (2.29)$$

ค่า m_r นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์ โดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศโลก ถ้าอนุโลมว่า รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศมาถึงพื้นโลกเป็นเส้นตรง ค่า m_r สามารถหาได้ดังสมการ

$$m_r = 1 / \cos \theta_z \quad (2.30)$$

ค่า m_r ที่หาได้จากสมการนี้จะมีค่าความแม่นยำมากขึ้น เมื่อดวงอาทิตย์อยู่สูงจากขอบฟ้ามากๆ

2.4.3. การคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นโลกในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศมายังพื้นโลกจะถูกดูดกลืน (absorption) และถูกกระเจิง (scattering) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละอองของแข็งที่ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศรังสีที่เหลือและพุ่งตรงมาถึงพื้นโลกเรียกว่ารังสีตรง (direct radiation) สำหรับรังสีที่เกิดจากการกระเจิงจะเรียกว่ารังสีกระจาย (diffuse radiation) การคำนวณรังสีรวม (global radiation) ที่มาถึงพื้นดินซึ่งประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายสามารถทำได้โดยอาศัยทฤษฎีการดูดกลืนและการกระเจิงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยข้อมูลที่เกี่ยวกับองค์ประกอบของบรรยากาศค่ารังสีตรงเฉพาะขณะ (direct irradiance) ที่ความยาวคลื่น λ ینگตตั้งฉากกับระนาบบนผิวโลก (I) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$I_{\lambda} = I_0 \lambda e^{-(\tau'_{r\lambda} + \tau'_{acr\lambda} + \tau'_{w\lambda} + \tau'_{o\lambda} + \tau'_{g\lambda}) m_a} \quad (2.31)$$

- เมื่อ
- I_{λ} = สเปกตรัมความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกบนระนาบตั้งฉากกับลำแสง
 - $I_0 \lambda$ = สเปกตรัมรังสีตรงนอกบรรยากาศโลกบนระนาบตั้งฉากกับลำแสง
 - $\tau'_{r\lambda}$ = ความลึกเชิงแสง(optical depth) ของบรรยากาศอันเนื่องมาจากการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ
 - $\tau'_{acr\lambda}$ = ความลึกเชิงแสงของบรรยากาศอันเนื่องมาจากการกระเจิงและการดูดกลืนของฝุ่นละออง
 - $\tau'_{w\lambda}$ = ความลึกเชิงแสงของบรรยากาศอันเนื่องมาจากการดูดกลืนของไอน้ำ
 - $\tau'_{o\lambda}$ = ความลึกเชิงแสงของบรรยากาศอันเนื่องมาจากการดูดกลืนของโอโซน
 - $\tau'_{g\lambda}$ = ความลึกเชิงแสงของบรรยากาศอันเนื่องมาจากการดูดกลืนของก๊าซต่างๆ

2.5 รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นโลกในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม

โดยทั่วไปท้องฟ้ามักมีเมฆปกคลุม ปริมาณเมฆมีมากขึ้นกับช่วงในรอบวันฤดูกาลและสถานที่ ตามหลักการเราสามารถใช้อุทกวิทยาทางฟิสิกส์ นำค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นโลกในสภาพเมฆปกคลุมได้ ในการคำนวณดังกล่าวเราต้องทราบ ปริมาณ ชนิด ความหนา และตำแหน่งของเมฆ แต่ข้อมูลเหล่านี้หาได้ค่อนข้างยากและมักไม่มีการวัดเป็นประจำที่พื้นโลก ดังนั้นในทางปฏิบัติการหาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จึงอาศัยการวัดเป็นหลัก ดังนั้นในประเทศต่างๆ มีการจัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ขึ้น เพื่อเก็บข้อมูลระยะยาวสำหรับนำไปใช้ในงานต่างๆ สำหรับบริเวณที่ไม่มีการวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์แต่มีการวัดค่าปริมาณเมฆ หรือจำนวนชั่วโมงมีแดดเราสามารถหาค่าปริมาณดังกล่าวคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ได้เช่นกัน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.5.1 การคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากจำนวนชั่วโมงมีแดด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (\bar{H}) และจำนวนชั่วโมงมีแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (\bar{S}) จากสถานีวัดในประเทศต่างๆ พบว่า \bar{H} และ \bar{S} มีความสัมพันธ์ เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \quad (2.32)$$

เมื่อ \bar{H}_0 เป็นค่ารังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนนอกบรรยากาศโลก และ \bar{S}_0 เป็นค่าจำนวนชั่วโมงมีแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน a และ b เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับสถานี สำหรับกรณีของประเทศไทย ค่า a และ b แสดงไว้ดังตารางที่ 2.1 จากสมการดังกล่าวเราจึงสามารถคำนวณค่าความเข้มรังสีรวมจากจำนวนชั่วโมงมีแดดซึ่งมีการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ได้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ a และ b ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย

สถานี	a	b
1. กรุงเทพฯ	0.2905	0.3783
2. เชียงใหม่	0.3169	0.3465
3. อุบลราชธานี	0.3129	0.3846
4. สงขลา	0.2638	0.4912

2.5.2 การคำนวณความเข้มรังสีรวมจากปริมาณเมฆ

รังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (\bar{H}) มีความสัมพันธ์ในเชิงสถิติกับปริมาณเมฆรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (\bar{C}) ซึ่งสามารถเขียนเป็นรูปสมการทั่วไปได้ดังรูป

$$\bar{H}/\bar{H}_0 = c - d \bar{C} \quad (2.33)$$

เมื่อ c และ d เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับข้อมูลแต่ละชุดที่นำมาใช้หาความสัมพันธ์ดังกล่าว สมการนี้จะช่วยให้เราคำนวณค่า \bar{H} จากค่าปริมาณเมฆ \bar{C} ซึ่งมีการวัดกันทั่วไปตามสถานีอุตุนิยมวิทยาต่างๆ โดยค่าคงที่ c และ d ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทยแสดงไว้ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าคงที่ c และ d สถานีต่างๆ ในประเทศไทย

สถานี	c	d
1. เชียงใหม่	0.6362	0.0222
2. อุบลราชธานี	0.7716	0.0371
3. สงขลา	0.9095	0.0515

2.5.3 การคำนวณความเข้มรังสีกระจายจากความเข้มรังสีรวม

เนื่องจากการวัดรังสีกระจายมีความยุ่งยากมากกว่าการวัดรังสีรวม ดังนั้นสถานีวัดส่วนใหญ่จึงทำการวัดเฉพาะรังสีรวมเท่านั้น แต่ในการใช้งานโดยทั่วไป เราจำเป็นต้องทราบค่ารังสีกระจายหรือรังสีตรงด้วย ในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีกระจายและรังสีรวม และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้คำนวณค่ารังสีกระจายจากข้อมูลรังสีที่วัดได้ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไปนี้

ก. รังสีรายชั่วโมง

โดยทั่วไปนิยมแสดงสหสัมพันธ์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายชั่วโมง (I_0) ต่อรังสีรวมรายชั่วโมง (I) และดัชนีความใสบรรยากาศรายชั่วโมง (hourly clearness index, K_t) ดัชนีความใสบรรยากาศ คืออัตราส่วนของรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายชั่วโมง (I_0) สหสัมพันธ์ดังกล่าวของข้อมูลจากบริเวณต่างๆ ของโลก จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นกับภูมิอากาศที่ตั้งของสถานีวัดและคุณภาพของข้อมูลสำหรับกรณีของประเทศไทย สหสัมพันธ์ที่ได้สามารถเขียนในรูปสมการได้ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมง (I_d) ต่อรังสีรวมราย ชั่วโมง (I) และดัชนีความใสบรรยากาศรายชั่วโมง (K_t) ของสถานีต่างๆในประเทศไทย

สถานี	สมการ
1. เชียงใหม่	$\bar{I}_d/I = 0.8004 + 1.7152K_t - 7.3459K_t^2 + 5.578K_t^3$
2. อุบลราชธานี	$\bar{I}_d/I = 0.6934 + 2.3406K_t - 8.0802K_t^2 + 5.6614K_t^3$
3. สงขลา	$\bar{I}_d/I = 0.7091 + 189172K_t - 6.2693K_t^2 + 3.9744K_t^3$
4. นครปฐม	$\bar{I}_d/I = 0.6772 + 12.568K_t - 8.8866K_t^2 + 6.3828K_t^3$

ข. รังสีรายวัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลรังสีกระจายรายวัน (H_d) และรังสีรวมรายวัน (H) ซึ่งได้จากสถานีวัด ในประเทศไทย พบว่า อัตราส่วนของรังสีกระจายรายวันต่อรังสีรวมรายวันและดัชนีความใส บรรยากาศรายวัน (daily clearness index, K_T) สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายรายวันต่อรังสีรวมรายวัน และ ดัชนีความใสบรรยากาศรายวัน (daily clearness index, K_T) ของสถานีต่างๆในประเทศไทย

สถานี	สมการ
1. เชียงใหม่	$H_d/H = 1.3437 - 1.6790 K_T$
2. อุบลราชธานี	$H_d/H = 1.3316 - 1.5897 K_T$
3. สงขลา	$H_d/H = 1.2346 - 1.3829 K_T$
4. นครปฐม	$H_d/H = 1.3589 - 1.6665 K_T$

ค. รังสีรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

กรณีของรังสีรายวันเฉลี่ยต่อเดือน พบว่ามีสหสัมพันธ์เช่นเดียวกับกรณีของรังสีรายวัน สำหรับสหสัมพันธ์สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีกระจายรายวันเฉลี่ยต่อเดือนต่อรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และดัชนีความใสบรรยากาศรายวัน (daily clearness index, \bar{K}_T) ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย

สถานี	สมการ
1. เชียงใหม่	$\bar{H}_d/\bar{H} = 1.5391 - 2.2749 \bar{K}_T + 0.6102 \bar{K}_T^3$
2. อุบลราชธานี	$\bar{H}_d/\bar{H} = 1.9078 - 3.2908 \bar{K}_T + 1.9184 \bar{K}_T^3$
3. สงขลา	$\bar{H}_d/\bar{H} = 1.1739 - 1.5069 \bar{K}_T + 0.4904 \bar{K}_T^3$
4. นครปฐม	$\bar{H}_d/\bar{H} = 1.7872 - 2.9099 \bar{K}_T + 1.3020 \bar{K}_T^3$

2.6 การคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์บนพื้นเอียง

รังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นได้รับจะประกอบด้วยรังสี 3 ส่วน ได้แก่ รังสีตรง รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจายจากพื้นดิน ค่ารังสีตรงรายชั่วโมงที่ตกกระทบพื้นเอียง (I_{bt}) หาได้จากสมการ

$$I_{bt} = R_b I_b \quad (2.34)$$

เมื่อ I_b เป็นรังสีตรงรายชั่วโมงบนพื้นราบ สำหรับกรณีของซีกโลกภาคเหนือและพื้นเอียงหันหน้าไปทางทิศใต้ จะหา R_b ได้จากสมการ

$$R_b = \cos\theta/\cos\theta_z \quad (2.35)$$

เมื่อ θ เป็นมุมระหว่างลำแสงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเอียงกับเส้นตั้งฉากของพื้นเอียงนั้น และ θ_z เป็นมุมเซนนิธ (zenith angle) ของตำแหน่งดวงอาทิตย์

ค่ารังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ตกกระทบพื้นเอียง (I_{dt}) จะขึ้นกับ view factor ของพื้นเอียงเมื่อเทียบกับท้องฟ้า $(1+\cos\beta)/2$ และรังสีกระจายบนพื้นราบ (I_d) ในเวลานั้น ดังสมการ

$$I_{dt} = I_d(1+\cos\beta) \quad (2.36)$$

เมื่อ β เป็นมุมเอียงของพื้นเอียง

สำหรับค่ารังสีกระจายที่มาจากพื้นดิน I_{dg} จะขึ้นกับ view factor ของพื้นเอียงเทียบกับพื้นดิน $(1-\cos\beta)/2$ ค่ารังสีรวมที่ตกบนพื้นราบ (I) ในเวลานั้นและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (albedo, ρ) ของพื้นดิน ดังสมการ

$$I_{dg} = \frac{1}{2}I(1-\cos\beta) \quad (2.37)$$

ดังนั้นค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบพื้นเอียง (I_t) ซึ่งหันหน้าไปทางทิศใต้จะหาได้จากสมการ

$$I_t = I_{bt} + I_{dt} + I_{dg} \quad (2.38)$$

หรือ
$$I_d = R_b I_b + \frac{1}{2} I_d (1 + \cos\beta) + \frac{1}{2} I (1 - \cos\beta) \quad (2.39)$$

สำหรับการหาค่ารังสีรวมรายวันบนพื้นเอียงสามารถคำนวณได้จากผลรวมของรังสีรายชั่วโมง

2.7 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน

2.8 วัสดุที่ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุสำคัญที่ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันคือซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำ Chip ในคอมพิวเตอร์และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซิลิคอน (Si) เป็นสารที่ไม่มีพิษราคาถูกและมีมากเป็นอันดับ 2 ในโลกพบอยู่ในรูปสารประกอบ พบมากในทรายหรือหินควอตซ์ (SiO₂) ข้อเสียของ Si การทำให้บริสุทธิ์ และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์ฯ มีราคาแพง และแตกหักง่ายในขบวนการผลิต

2.9 การแบ่งประเภทเซลล์แสงอาทิตย์

ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้ตามวัสดุที่นำมาผลิตเซลล์โดยแยกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

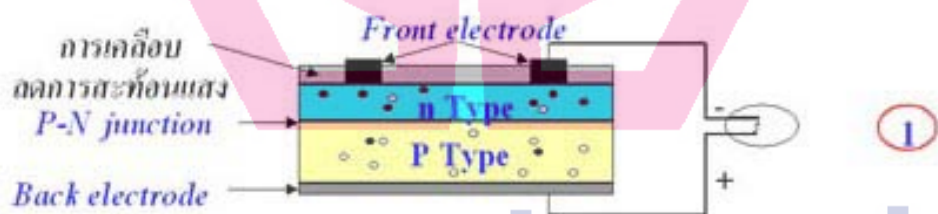
1. เซลล์ที่ทำจากซิลิคอน สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม crystalline group และ amorphous
2. เซลล์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ 2 หรือ 3 ธาตุ

2.10 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบัน



ภาพที่ 2.13 แสดงประเภทของเซลล์

2.11 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



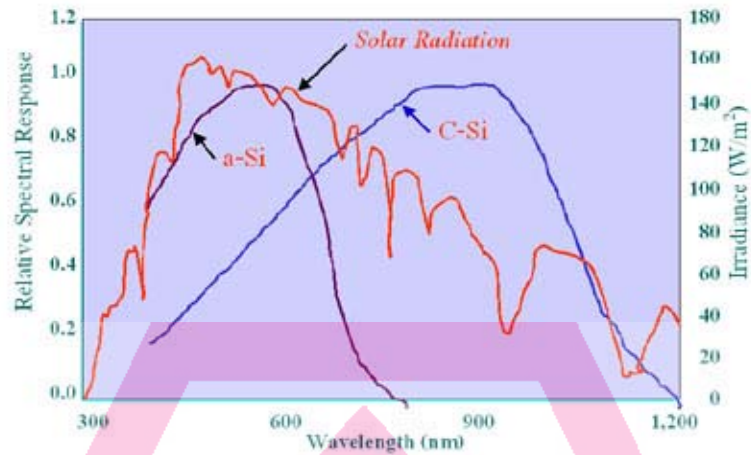
ภาพที่ 2.14 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

n type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้อุปโภคด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ n type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้อุปโภคด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย p n junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้าง

เล็กน้อย ด้านหลังของ p type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหุประจุที่อิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

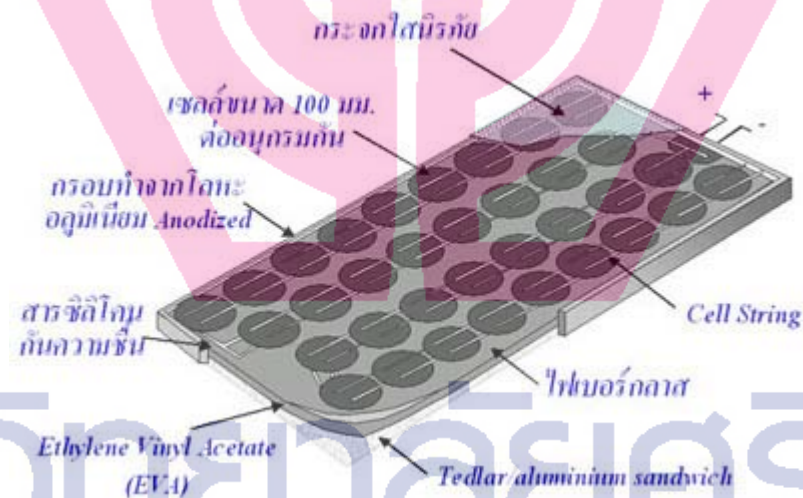
2.12 ความยาวคลื่นแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับแสงที่จะใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ได้นั้น ขอให้มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ทำเซลล์ ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ นั่นก็หมายความว่า ไม่จำเป็นต้องเป็นแสงอาทิตย์อย่างเดียว แสงจากแหล่งต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันก็สามารถใช้ได้ทุกอย่างก็ตามนอกจากช่วงพลังงานของแสงแล้ว ความเข้มของแสงก็เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าความเข้มไม่พอจำนวนประจุที่เกิดขึ้นก็จะไม่มากพอที่จะนำมาใช้งานจริงได้ แสงจันทร์นั้นทั้ง ๆ ที่จริงก็คือแสงสะท้อนจากดวงอาทิตย์ นำมาใช้งานได้ แต่เพราะความเข้มของแสงจันทร์บนผิวโลกอ่อนมาก จึงนำมาใช้งานไม่ได้ กราฟด้านล่างแสดงให้เห็นถึงข้อมูลเกี่ยวกับความไวต่อแสงในการเกิดประจุของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon (a-Si) และ Crystalline Silicon (C-Si) เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon (a-Si) นั้นมีประสิทธิภาพดีในช่วงความยาวคลื่นสั้น(พลังงานสูง) ของแสงอาทิตย์ ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Crystalline Silicon (C-Si) นั้นจะตอบสนองแสงในช่วงความยาวคลื่นค่อนข้างกว้าง โดยมีประสิทธิภาพดีในช่วงความยาวคลื่นยาวพลังงานต่ำของแสงอาทิตย์นอกจากนี้ ขอบเขตของแสงจากหลอดไฟนีออนและหลอดไฟทังสเตน สำหรับแสงจากหลอดไฟนีออนจะมีค่าความยาวคลื่นในช่วงคลื่นสั้นของดวงอาทิตย์นั้น ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon (a-Si) นั้นจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า Crystalline Silicon (C-Si) ส่วนในกรณีหลอดไฟทังสเตนนั้น จะมีช่วงความยาวคลื่นค่อนข้างกว้างและค่าความเข้มของ spectrum จะ มีค่าสูงในช่วงที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Crystalline Silicon สามารถรับได้ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Crystalline Silicon (C-Si) จะใช้งานได้ดีกว่า



ภาพที่ 2.15 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.13 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดี

มากเพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มีเวลาจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminated) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง

2.14 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน ที่ให้พลังงานในรูปแบบของรังสีความร้อนเราสามารถนำมาใช้งานได้ 2 ลักษณะคือ ในรูปความร้อนโดยตรงและในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า ในปัจจุบันมีวิกฤตพลังงานของโลกทำให้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นที่สนใจมากยิ่งขึ้นนักวิจัยหันมาวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และในการใช้งานจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ปัญหาสำคัญคือเมื่อดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งจากจุดเดิมทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ลดลง จึงมีนักวิจัยได้ศึกษาถึงการติดตามดวงอาทิตย์เพื่อลดปัญหาดังกล่าว

ภาณุวัฒน์ เนือยทอง, พัชรพร มงคลวัฒนากุล, เพ็ญพร ศิริลัทพร และ ผศ.ดร.เกรียงไกร อัครมาศบันลือ (2548) ได้ศึกษาถึงการควบคุมทิศทางของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยการระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์และการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ระบบควบคุมจะทำการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ตามเวลาหรือหาตำแหน่งที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดแล้วส่งสัญญาณไปที่มอเตอร์เพื่อหมุนแผงรับพลังงานไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ในการทดสอบระบบควบคุมทั้งสองวิธีแผงรับพลังงานแบบเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้ถูกนำมาใช้มอเตอร์ควบคุมทิศทาง 2 ตัว ถูกติดตั้งเข้ากับตัวแผงเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 2 แนวแกน จากการทดสอบพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผงรับพลังงานที่ตั้งอยู่กับที่ในแนว 14 องศาได้แล้ว การควบคุมแบบระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์จะทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ที่แผงรับพลังงานเพิ่มขึ้น 14.77% ในขณะที่การควบคุมแบบตรวจจับความเข้มแสงทำให้ค่าความต่างศักย์มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 20.38% และเมื่อเปรียบเทียบการควบคุมทั้งสองแบบจะพบว่าการควบคุมโดยใช้ความเข้มแสงเป็นหลักจะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าการควบคุมแบบระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์

อนุชา ดีผาง, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และ เจริญพร เลิศสถิตธนกร (2548) ได้ศึกษาถึงการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล นำเสนอเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ แบบ 2 แนวแกน คือแนวอัลติจูดและแนวอะซิมูท โดยใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ ความสูงของฉากกันเป็นตัว

กำหนดความไวหรือช่วงเวลาในการติดตาม ข้อดีของหลักการของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์นี้คือ สามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้ ซึ่งช่วงเวลาอาจสั้นหรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบความสูงของฉากกั้นในอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์โดยไม่ต้องมีการออกแบบวงจรเพิ่ม การวางตำแหน่งโฟโต้ทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้งสองแนวและเข้าหาเป้าหมายได้ทันทีที่เริ่มทำงาน จากการทดสอบพบว่าเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา หากคิดอัตราการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ 15 องศาต่อชั่วโมง ก็แสดงว่าเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทุก 10 นาที มีค่าเวลาในการทำงานของระบบประมาณ 37 องศาต่อวินาที และมีความไวในการเข้าหาจุดทำงาน 0.3 วินาที

ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี และ เอกชัย ดีศิริ (2550) ได้นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แนวแกน คือ แนวอัลติจูดและแนวอะซิมูท โดยใช้หลักการบังเงาของฉากกั้น มีโฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ความสูงของฉากกั้นเป็นตัวกำหนดความไวหรือช่วงเวลาในการติดตาม ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้คือ สามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้ ซึ่งช่วงของการติดตามสามารถกำหนดได้จากการออกแบบความสูงของฉากกั้น ในอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงโดยไม่ต้องออกแบบวงจรเพิ่ม การวางตำแหน่งโฟโต้ทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนวและเข้าหาตำแหน่งได้ทันทีเมื่อเริ่มใช้งาน อีกทั้งยังได้นำเทคโนโลยีของซีพีแอลดีมาใช้งานเพื่อความสะดวกในการแก้ไขปรับปรุงเงื่อนไขและลดการสูญเสียพลังงานของวงจรติดตามดวงอาทิตย์ จากการทดสอบพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา

2.15 สรุป

การศึกษาถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยการเพิ่มประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งการติดตั้งอยู่กับที่อาจทำให้ไม่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดของของอุปกรณ์ การเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์อาจทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นแต่การติดตามตลอดเวลาทำให้สูญเสียพลังงาน ดังนั้นการติดตามเป็นช่วงๆ อาจเป็นแนวทางที่ดีกว่า ผู้วิจัยจึงสร้างชุดติดตามดวงอาทิตย์แบบเป็นช่วงๆ โดยกำหนดองศาจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น และจะทำการเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับวิธีการอื่นเพื่อนำเสนอต่อไป

บทที่ 3

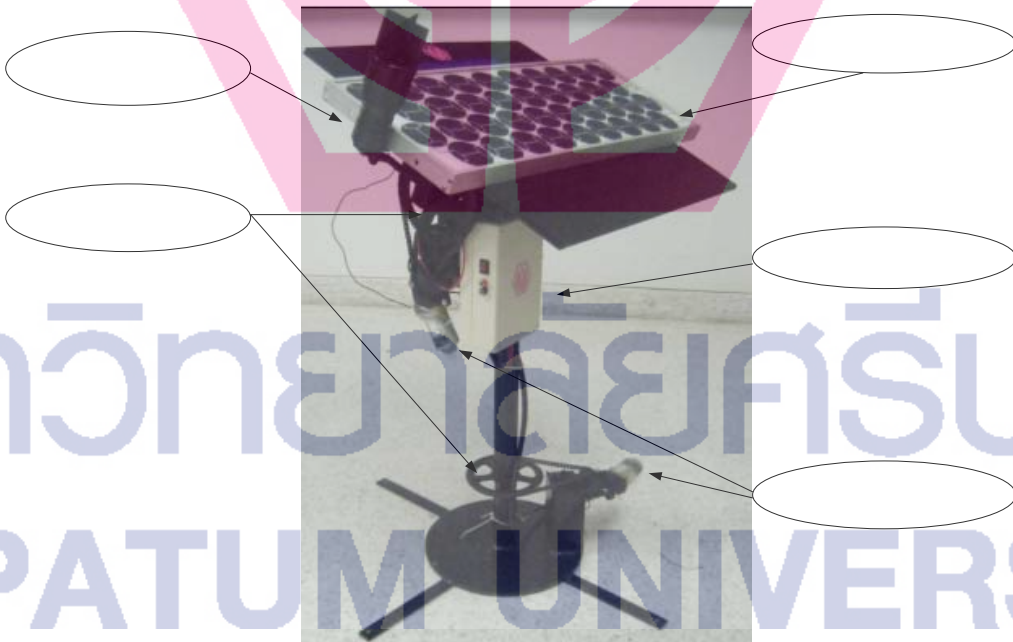
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แบบแผนการวิจัย

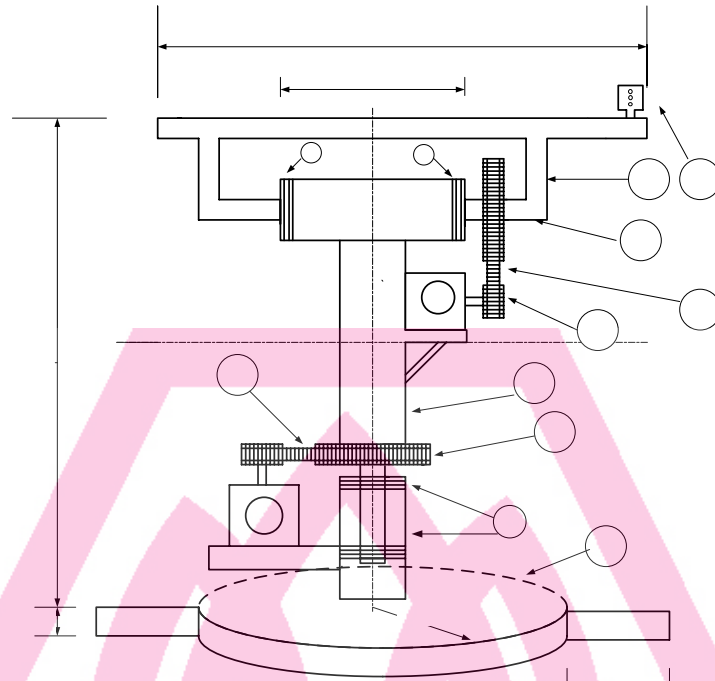
- 3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย
- 3.1.2 ออกแบบโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์แบบปรับองศาได้
- 3.1.3 ออกแบบชุดตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์
- 3.1.4 ออกแบบชุดขับเคลื่อนมอเตอร์
- 3.1.5 ประกอบชิ้นงานและทดสอบการทำงาน
- 3.1.5 เก็บข้อมูลการทดสอบที่สภาวะต่างๆ

3.2 วิธีดำเนินการศึกษา

- 3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบโครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์



ภาพที่ 3. 1แสดงส่วนประกอบชุดติดตามดวงอาทิตย์แบบปรับองศาได้



ภาพที่ 3.2 แสดงรูปของ โครงสร้างทางกลระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบปรับองศาได้

ชุดโครงสร้างทางกล

มีการออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แกนโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงและมี
ส่วนประกอบต่างๆดังนี้

หมายเลข 1. คือ ลูกปืนใช้ทั้งหมด 4 พวงแต่ละพวงมีรัศมีวงในเท่ากับ 17 มิลลิเมตร

หมายเลข 2. คือ เฟืองเป็นเฟืองโซ่ใช้ขับสองแนวแกนประกอบด้วยแกนอะซิสมุทและ
แนวแกนอัลติจูด โดยเฟืองขับมีรัศมี 1 เซนติเมตร และเฟืองตามมีรัศมี 7.5 เซนติเมตร

หมายเลข 3.คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12v, 110rpm, 36w แกนเพลลาขนาด 10 มิลลิเมตร
ซึ่งจะมีมอเตอร์สองตัว โดยมอเตอร์ตัวที่หนึ่งจะอยู่ข้างบนทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนแผงให้หมุนใน
แนวแกนอัลติจูดส่วนมอเตอร์ตัวข้างล่างจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนแผงในแนวแกนอะซิสมุท

หมายเลข 4. คือ เหล็กแบนมีความหนา 3 มิลลิเมตร

หมายเลข 5. คือ แกนเพลลารัศมีเท่ากับ 1.7 เซนติเมตร

หมายเลข 6. คือ ท่อเหล็กขนาด 2 นิ้ว มีความหนา 4 มิลลิเมตร

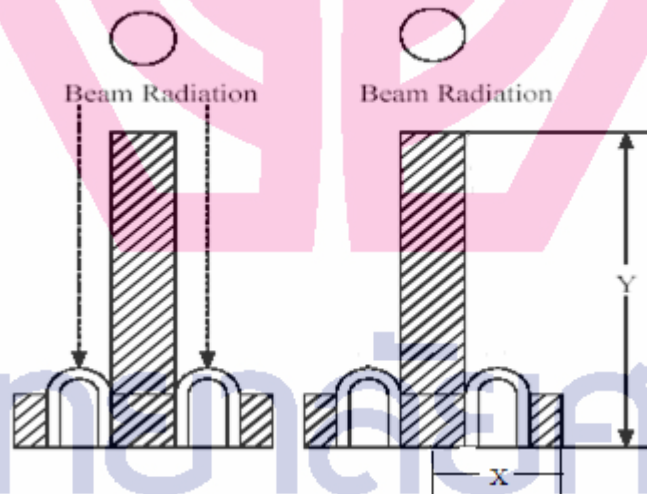
หมายเลข 7. คือ เหล็กตัดกลมมีรัศมี 15 เซนติเมตร และมีความหนา 10 มิลลิเมตร

หมายเลข 8. คือ อุปกรณ์ตรวจจับแสง

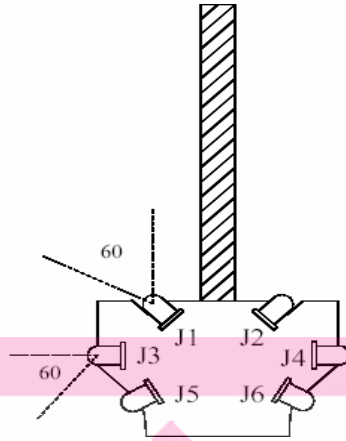
หมายเลข 9. คือ โซ่

ชุดตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โฟโตรีสตรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยอาศัยการตรวจจับรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับการตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์แนวอัลติจูด การตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์อาศัยการบังเงาของฉากกั้นแสดงดังภาพที่ 3.2 หลักการคือ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่รังสีตรงดวงอาทิตย์ขนานกับฉากกั้นโฟโตรีสตรานซิสเตอร์ทั้งสองจะได้รับแสงและอยู่ในสถานะ “ON” ทั้งคู่ และเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมฉากกั้นจะบังลำแสงให้เกิดเงาทำให้โฟโตรีสตรานซิสเตอร์ตัวที่ถูกบังแสงอยู่ในสถานะ “OFF” ก็จะไม่นำกระแสหรือนำกระแสได้น้อยมาก จึงกำหนดให้สถานะที่ทรานซิสเตอร์ได้รับแสงอยู่ในสถานะ “ON” ให้สถานะลอจิกเป็น “1” และกำหนดสถานะที่โฟโตรีสตรานซิสเตอร์ไม่ได้รับแสงให้อยู่ในสถานะ “OFF” ให้สถานะลอจิกเป็น “0” โฟโตรีสตรานซิสเตอร์ที่ใช้มีมุมรับแสงประมาณ 60 องศา ดังนั้นเพื่อให้การตรวจหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดแนวอัลติจูด จึงได้ทำการออกแบบใหม่ โดยใช้โฟโตรีสตรานซิสเตอร์ทั้งหมด 6 ตัวคือ J1, J2, J3, J4, J5 และ J6 ติดตั้งแสดงดังภาพที่ 3.2 ซึ่งมีการจัดวางตามลักษณะดังกล่าว ซึ่งจะทำให้เครื่องติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น สามารถที่จะติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้ทันทีไม่ว่าจะเริ่มดำเนินการใช้งานที่เวลาใดก็ตาม



ภาพที่ 3.3 แสดงการบังเงาของฉากกั้น



ภาพที่ 3. 4 แสดงตำแหน่งของการรับแสงและหมายเลขของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

จากภาพที่ 3.4 เป็นการแสดงตำแหน่งของการรับแสงของอุปกรณ์ตรวจจับแสงโดยมีหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่อ J1 กับ J2 เป็น 0 คือไม่ได้รับแสง เอาร์ทพุตที่ได้ Q1 กับ Q2 จะเท่ากับ 0 ทั้งหมดและเมื่อ J1 กับ J3 ได้รับแสงพร้อมกันคือเป็น 1 เอาร์ทพุตที่ได้ Q1 จะเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับ J2 กับ J4 ได้รับแสงพร้อมกันคือเป็น 1 เอาร์ทพุตที่ได้ Q2 จะเท่ากับ 1 คือโฟโต้ต้องทำงานกันเป็นคู่ๆ เช่น J1 กับ J3 และ J2 กับ J4 เพราะอยู่ฝั่งเดียวกัน ส่วน J5 กับ J6 นั้นเป็นตัวขานานของ J1 กับ J2 คือ J1 กับ J5 และ J2 กับ J6 เพื่อจะได้มองเห็นทั้ง 180 องศา

สำหรับแนวอะซิมุทสามารถใช้หลักการเดียวกันในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับรังสี โดยมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมด 6 ตัวคือ K1, K2, K3, K4, K5 และ K6 ซึ่งจัดวางตำแหน่งในลักษณะเดียวกันกับอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์แนวอัลติจูดและสามารถรวมการตรวจจับรังสีตรงทั้งสองแนวไว้ที่อุปกรณ์ตรวจจับรังสีอันเดียวกัน

ความสูงของฉากกั้น(Y) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y = \frac{X}{\tan\theta} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

โดยที่

X = ระยะฉากกั้นจนถึงขอบของหลอดอินฟราเรด

Θ = มุมที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนนั้นจากแนวเดิมที่ทำให้เกิดการคำนวณความสูง

ของฉากกั้น

ใช้หลักการออกแบบด้วยพีชคณิตบูลีนและสามารถเขียนตารางความจริงได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งจะสามารถเขียนสมการบูลีนได้ตามสมการที่ 3.2 และสมการ 3.3 และทำการออกแบบวงจรลอจิกเกตได้ โดยที่ Q1 และ Q2 คือเอาต์พุตของวงจรตรวจจับรังสีตรงซึ่งจะเป็นสัญญาณขับมอเตอร์แนวอัติโนมัติ

ตารางที่ 3.1 แสดงตารางความจริงของวงจรตรวจจับรังสีตรงแนวอัติโนมัติ

Input				Output	
J1	J2	J3	J4	Q1 หมุนทวน เข็มนาฬิกา	Q2 หมุนตาม เข็มนาฬิกา
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0

ตารางที่ 3.2 แสดงตารางความจริงของวงจรตรวจจับรังสีตรงแนวอะซิมุท

Input				Output	
K1	K2	K3	K4	Q3 หมุนทวน เข็มนาฬิกา	Q4 หมุนตาม เข็มนาฬิกา
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0

จากตารางความจริงที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 สามารถนำไปเขียนโปรแกรมควบคุมได้โดยที่ Q1 และ Q2 คือสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับรังสีตรง ซึ่งจะเป็นสัญญาณไปขับเคลื่อนมอเตอร์ในแนวอัลติจูดและแนวอะซิมุท

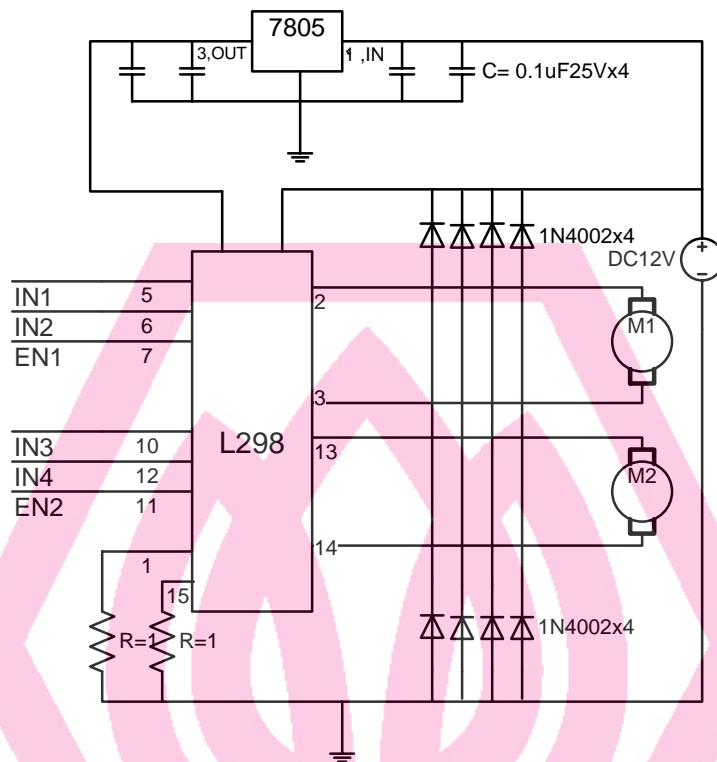
$$Q1 = J1.\bar{J2} + \bar{J2}.\bar{J3}.J4$$

สมการที่ 3.2

$$Q2 = \bar{J1}.J2 + \bar{J1}.J3.\bar{J4}$$

สมการที่ 3.3

3.3 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง



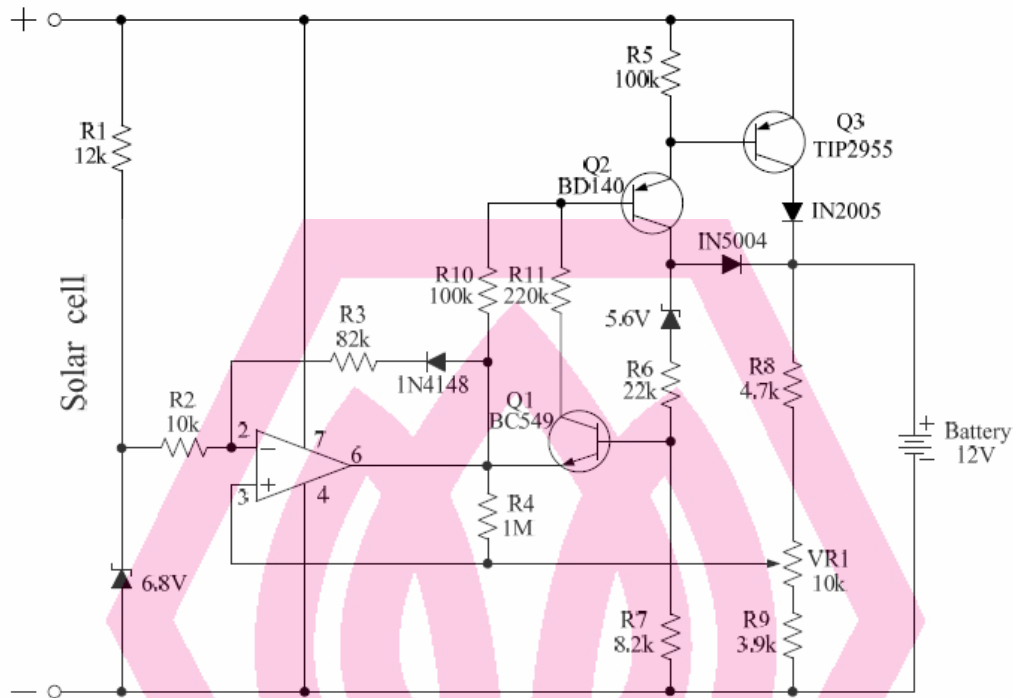
ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

จากภาพที่ 3.5 เป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ 2 ตัว โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อทำการจ่ายไฟ 12 V และ 5V ให้กับวงจรโดยไอซี L298 จะทำหน้าที่ขยายกระแสซึ่งมีไดโอด 1N4002 ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายให้กับวงจร โดยรับสัญญาณอินพุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาที่ขา 5, 7, 10 และ 12 ส่วนขา EN1 และ EN2 จะเป็นขาจุดชนวนให้กับไอซี L298 ซึ่งจะต้องได้รับลอจิก 1 เสมอวงจรจึงจะทำงานจากนั้นก็ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปขับเคลื่อนมอเตอร์ผ่านทางขา 21 ถึง 24 ซึ่งจะมีเงื่อนไขในการทำงานตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แนวอัลติจูดและแนวอะซิมุท

INPUT					OUTPUT	
EN	IN1	IN2	IN3	IN4	M1	M2
1	0	0	0	0	STOP	STOP
	0	0	0	1	STOP	REVERSE
	0	0	1	1	STOP	STOP
	0	1	0	0	REVERSE	STOP
	0	1	0	1	REVERSE	REVERSE
	0	1	1	0	REVERSE	FORWARD
	0	1	1	1	REVERSE	STOP
	1	0	0	0	FORWARD	STOP
	1	0	0	1	FORWARD	REVERSE
	1	0	1	0	FORWARD	FORWARD
	1	0	1	1	FORWARD	STOP
	1	1	0	0	STOP	STOP
	1	1	0	1	STOP	REVERSE
	1	1	1	0	STOP	FORWARD
	1	1	1	1	STOP	STOP

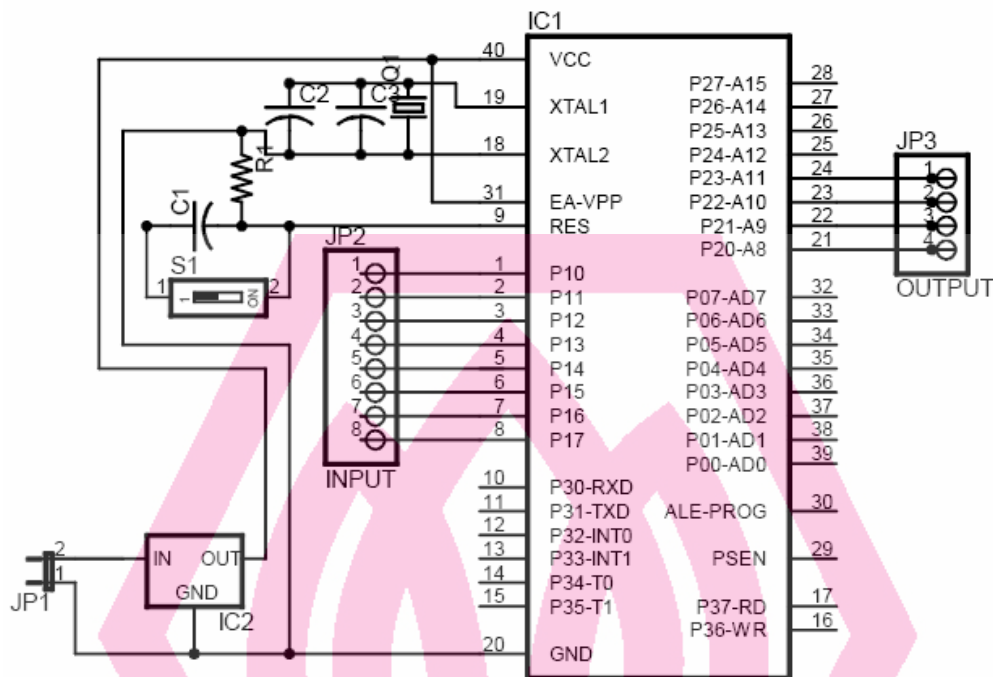
3.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่



ภาพที่ 3.6 แสดงวงจรชาร์จแบตเตอรี่

หลักการทำงาน เมื่อแบตเตอรี่อยู่ในสภาวะต่ำ (ประจุน้อย) ความต้านทานของแบตเตอรี่จะต่ำแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R9 และ VR1 จะมีศักดาแรงดันน้อยกว่าแรงดันที่ขา 2 ของ IC1 และเอาต์พุตของ IC1 จะมีศักดาเป็นลบและไบอัส Q₂ ให้เริ่มทำงานเป็นผลทำให้มีกระแสจำนวนหนึ่งไปไบอัส Q₃ ให้เริ่มทำงานซึ่งจะเป็นการเริ่มชาร์จแบตเตอรี่โดยผ่าน D3, D2 และ D3จะเป็นตัวบล็อกกระแสไม่ให้กระแสจากแบตเตอรี่ไหลย้อนกลับเข้า Q₂ และ Q₃ และเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จเต็มเอาต์พุตของ IC1 จะมีศักดาเป็นบวกทำให้ทรานซิสเตอร์ทุกตัวไม่ทำงานจึงเป็นการหยุดชาร์จแบตเตอรี่

3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

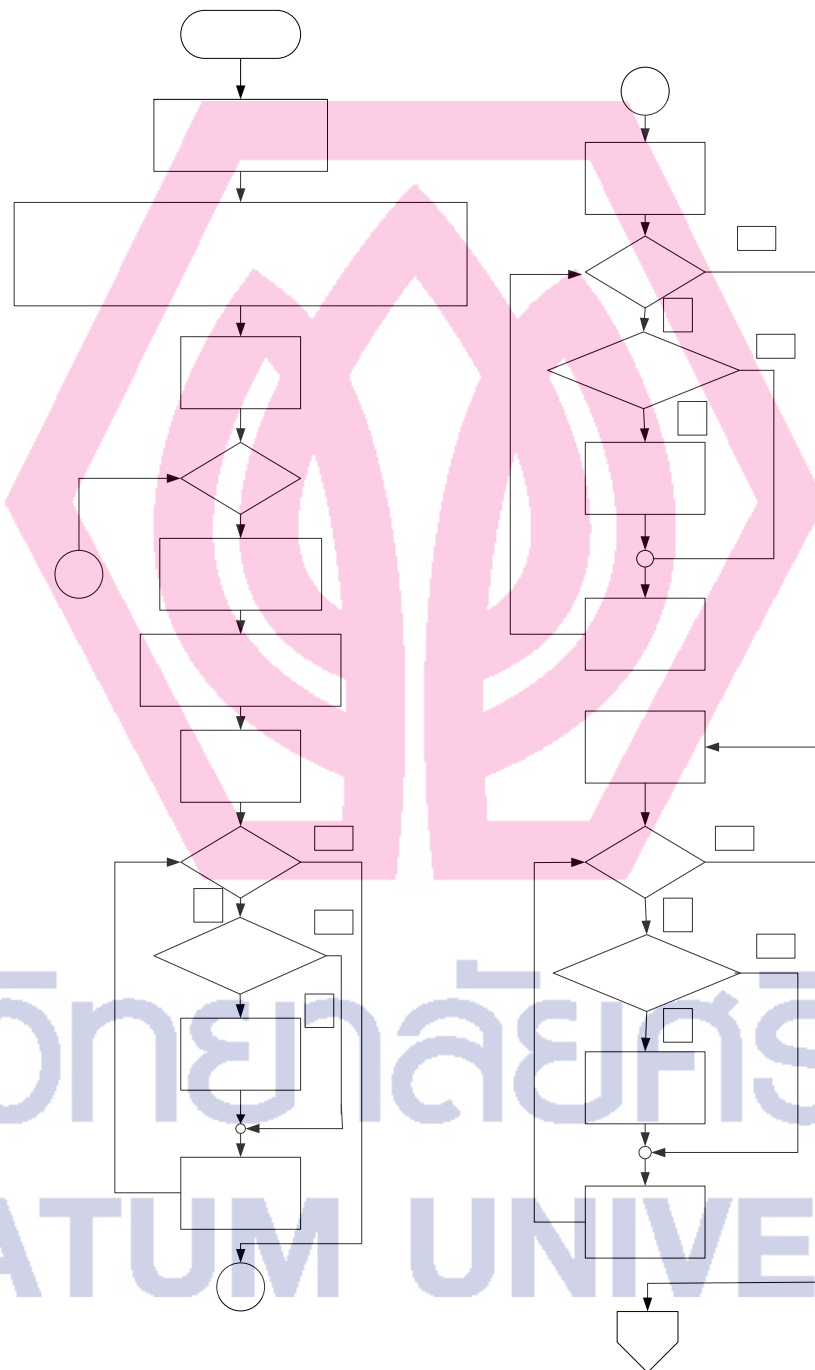


ภาพที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

จากภาพที่ 3.7 เป็นโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ในการใช้งานนั้น จะต้องจ่ายไฟเลี้ยง 5 V ให้กับวงจรโดยจ่ายเข้าที่ขา 40 และต่อกราวด์ที่ขา 20 ของไอซี จากวงจรจะเห็นว่าขา 1 ถึง 8 จะทำหน้าที่เป็นอินพุตรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงและขา 21 ถึง 24 จะทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต ซึ่งจะส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อให้ทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ดังภาคผนวก ก

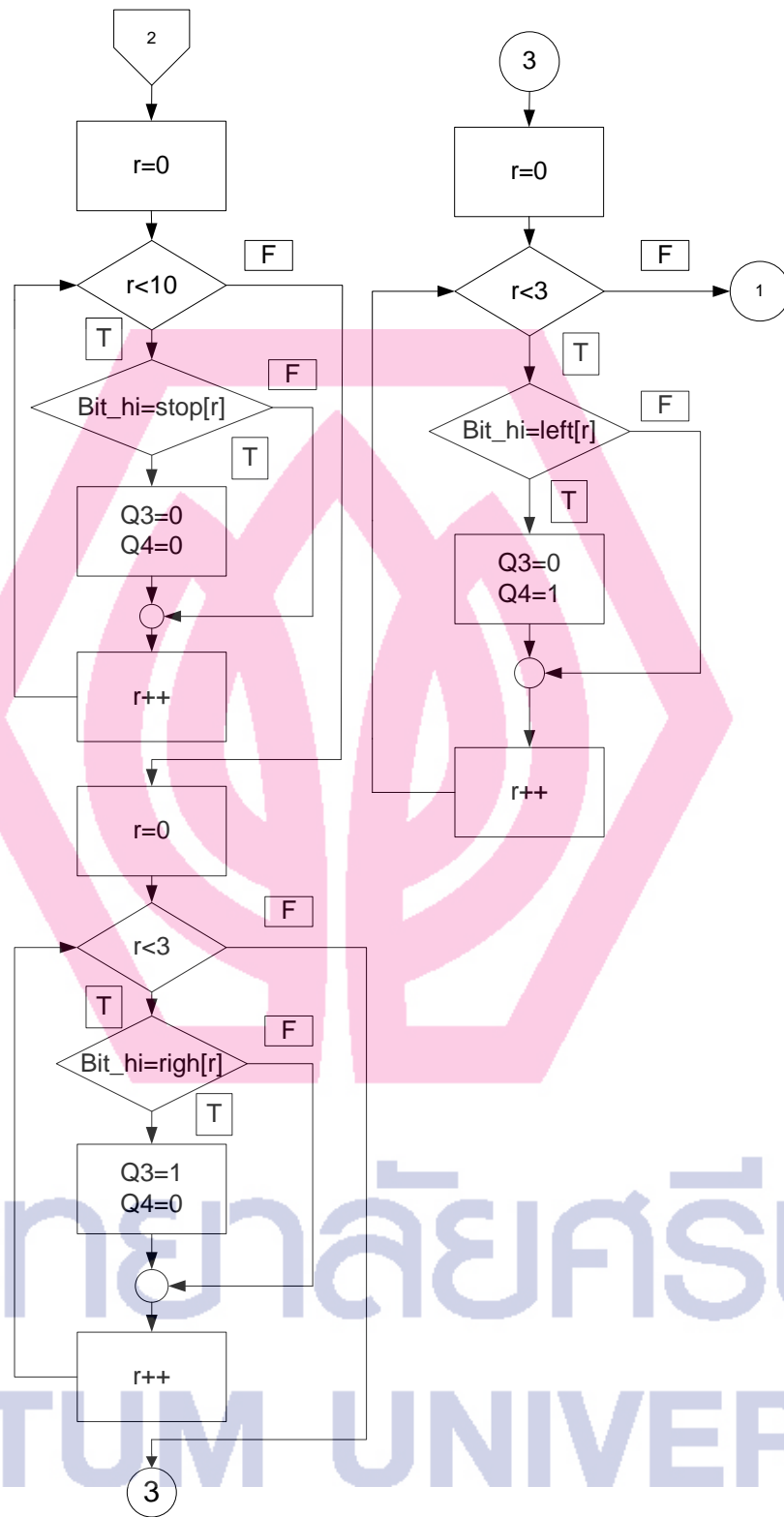
3.6 ฟังก์ชันการทำงานของชุดควบคุม

จากรายละเอียดโครงสร้างของชุดติดตามดวงอาทิตย์สามารถกำหนดเงื่อนไขต่างๆและแสดงเป็นฟังก์ชันการทำงานของชุดควบคุมได้ดังนี้



ภาพที่ 3.8 ฟังก์ชันการทำงานของชุดติดตามดวงอาทิตย์

Stop[10]={0x00,
0x0d,0x0e,0x0f}
Right[3]={0x01,0
Left[3]={0x02,0x



ภาพที่ 3.9 ฟังก์ชันการทำงานของชุดติดตามดวงอาทิตย์ต่อ

3.7 เครื่องมือวัด

3.3.1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

- เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าชนิด Multiver 3 H ยี่ห้อ HT รุ่น Vega 76
- เครื่องมือวัดแรงดัน กระแส ยี่ห้อ Digicon รุ่น DM640

3.3.2 เครื่องมือวัดทางด้านความร้อน

- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ/ความชื้น ยี่ห้อ Digicon รุ่น DM640

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพลังงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วงองศาต่างๆ ดังนี้

3.4.1 แรงดันไฟฟ้าที่แผงได้รับ

3.4.2 กระแสไฟฟ้าที่แผงได้รับ

3.4.3 กำลังไฟฟ้าที่แผงได้รับ

3.4.4 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้

3.4.4 สรุปผล

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอยู่กับที่และทำมุม 15 องศา กับพื้นดินในสถานะที่มีโหลด ซึ่งใช้แผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมด 3 ขนาด คือขนาด 5Wp, 30Wp และ 50 Wp ตามลำดับ

2. การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สถานะไม่มีโหลดและมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา ตามลำดับ

3. การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สถานะที่มีโหลดและมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา ตามลำดับ

ซึ่งมีวิธีการทดลองและผลการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอยู่กับที่สถานะที่มีโหลด

4.1.1 วัตถุประสงค์

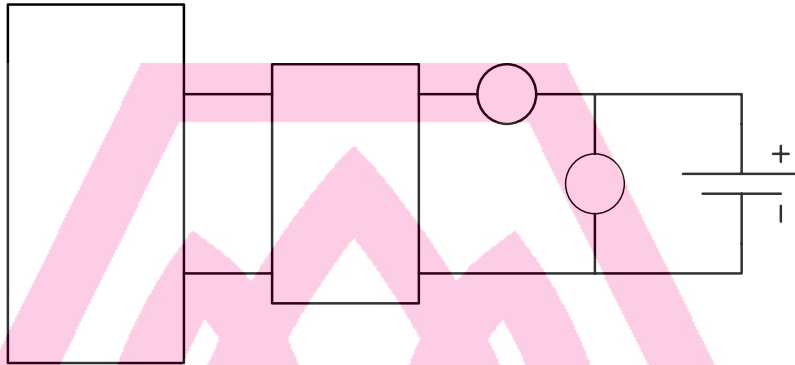
เพื่อหาค่ากระแส แรงดันและกำลังงานที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในกรณีที่ไม่มีภาระเคลื่อนที่

4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (1) แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5Wp, 30Wp และ 50 Wp ขนาดละ 1 แผง
- (2) โวลต์มิเตอร์ 1 เครื่อง
- (3) แอมป์มิเตอร์ 1 เครื่อง
- (4) แบตเตอรี่ 12 V. ขนาด 35 Ah. จำนวน 1 ลูก

4.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์
- (2) ต่อวงจรตามภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงการทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ที่สภาวะต่อโหลดในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่

- (3) ทำการวัดค่าแรงดัน และกระแสที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์โดยทำการวัดทุกๆ ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 07.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกาโดยใช้แผงขนาด 5 Wp
- (4) บันทึกผลการทดลองลงในตาราง 4.1
- (5) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนขนาดของแผงโซลาร์เซลล์จากขนาด 5 Wp , 30 Wp, 50 Wp ตามลำดับ
- (6) บันทึกผลการทดลองลงในตาราง 4.2 และ 4.3

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

แผงโซลาร์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp แบบติดตั้งอยู่กับที่

เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
07.00	11.738	0.082	0.966
08.00	11.982	0.095	1.138
09.00	12.054	0.127	1.530
10.00	12.357	0.154	1.903
11.00	12.487	0.209	2.609
12.00	12.492	0.264	3.298
13.00	12.495	0.287	3.586
14.00	12.472	0.251	3.130
15.00	12.338	0.216	2.665
16.00	11.911	0.124	1.477
17.00	11.863	0.087	1.320
เฉลี่ย	12.199	0.172	2.147

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp แบบติดตั้งอยู่กับที่

เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า(W)
07.00	12.085	0.807	9.752
08.00	12.117	1.065	12.905
09.00	12.225	1.094	13.374
10.00	12.289	1.371	16.849
11.00	12.486	1.873	23.386
12.00	12.491	2.008	25.082
13.00	12.495	2.011	25.127
14.00	12.472	1.661	20.716
15.00	12.326	1.612	19.870
16.00	12.108	1.057	12.798
17.00	12.097	0.854	10.330
เฉลี่ย	12.290	1.401	17.289

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp แบบติดตั้งอยู่กับที่

เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า(W)
07.00	12.034	1.331	16.017
08.00	12.120	1.702	20.628
09.00	12.230	1.864	22.796
10.00	12.306	2.048	25.202
11.00	12.358	2.153	26.607
12.00	12.462	2.590	32.276
13.00	12.490	3.002	37.495
14.00	12.471	2.622	32.698
15.00	12.425	2.347	29.161
16.00	12.265	1.838	22.543
17.00	12.065	1.672	20.172
เฉลี่ย	12.293	2.106	25.963

4.1.4 สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลในตาราง 4.1, 4.2 และ 4.3 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการนำเอาแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp, 30Wp และ50Wp มารับพลังงานแสงอาทิตย์โดยติดตั้งอยู่กับที่ จากการทดลองพบว่าโซลาร์เซลล์สามารถรับพลังงานได้ดีในช่วงเวลา 11.00 น.ถึง14.00น. ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีความเข้มของแสงมากและมีมุมในการรับพลังงานกว้างกว่าช่วงเวลาอื่นๆ จึงทำให้ได้รับพลังงานมาก

4.2 การทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สถานะไม่มีโหลด

4.2.1 วัตถุประสงค์

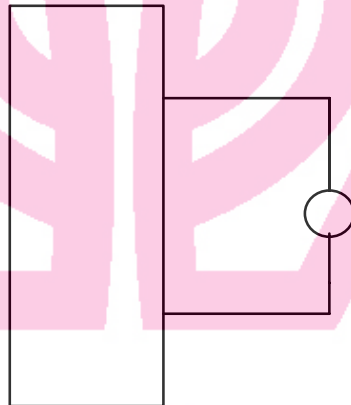
เพื่อทดลองหาว่าการติดตามดวงอาทิตย์ที่มุมและที่ขนาดแผงโซลาร์เซลล์สามารถให้แรงดันไฟฟ้า

4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (1) แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5Wp, 30Wp และ 50Wp ขนาดละ 1 แผง
- (2) โวลต์มิเตอร์ 1 เครื่อง
- (3) อุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ที่มุม 15, 30 และ 45 องศา

4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) ต่อวงจรดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงวงจรการทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ที่สถานะไม่มีโหลด

- (2) ทำการวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์โดยทำการวัดทุกๆ ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 07.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกา โดยใช้แผงขนาด 5Wp
- (3) บันทึกผลการทดลองลงในตาราง 4.4
- (4) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนขนาดของแผงโซลาร์เซลล์จากขนาด 5Wp เป็น 30Wp, 50 Wp และเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับแสงจาก 15 องศา เป็น 30, 45 องศา ตามลำดับ
- (5) บันทึกผลการทดลองลงในตาราง 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp ที่สภาวะไม่มี
โหลด

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)		
	15 องศา	30 องศา	45 องศา
07.00	15.78	15.53	15.44
08.00	15.83	15.68	15.76
09.00	17.27	15.89	15.82
10.00	17.53	16.02	15.95
11.00	17.72	16.25	16.18
12.00	17.91	17.84	16.57
13.00	18.64	17.91	16.89
14.00	17.85	16.82	16.75
15.00	16.87	16.71	16.62
16.00	16.74	16.63	16.45
17.00	15.48	15.08	15.03
เฉลี่ย	17.06	16.40	16.133

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp ที่สภาวะไม่มี
โหลด

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)		
	15 องศา	30 องศา	45 องศา
07.00	16.85	15.67	15.75
08.00	16.93	15.82	15.90
09.00	17.35	16.30	16.27
10.00	17.58	17.52	17.55
11.00	17.86	17.78	17.72
12.00	18.94	18.86	17.87
13.00	19.81	18.24	18.05
14.00	17.92	17.83	17.77
15.00	16.89	16.78	16.72
16.00	16.65	16.67	16.65
17.00	15.35	15.58	15.41
เฉลี่ย	17.46	17.01	16.864

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50Wp ที่สภาวะไม่มีโหลด

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)		
	15 องศา	30 องศา	45 องศา
07.00	16.86	16.35	16.31
08.00	17.07	16.65	16.54
09.00	17.24	16.68	16.67
10.00	17.83	16.97	16.93
11.00	18.56	17.29	17.31
12.00	18.81	17.80	17.74
13.00	19.57	18.46	18.33
14.00	18.45	18.37	18.30
15.00	18.31	17.59	17.28
16.00	17.63	17.38	17.16
17.00	16.37	16.23	16.08
เฉลี่ย	17.88	17.25	17.15

4.2.4 สรุปผลการทดลองที่สภาวะไม่มีโหลด

จากข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 เมื่อนำข้อมูลทั้ง 3 ตารางมาเปรียบเทียบกันพบว่า การติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ ช่วง 15 องศา จะมีแรงดัน (V) สูงกว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ ช่วง 30 องศา และ 45 องศา จึงสรุปได้ว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ ช่วง 15 องศา สามารถจ่ายแรงดันได้สูงสุด และช่วงเวลาที่สามารถจ่ายแรงดันออกมาค่อนข้างสูงก็คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 น. ถึงเวลา 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มของแสงมาก

4.3 การทดลองวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงโซลาร์เซลล์ โดยทำการวัดค่าที่การเคลื่อนที่ 15,30 และ 45 องศา

4.3.1 วัตถุประสงค์

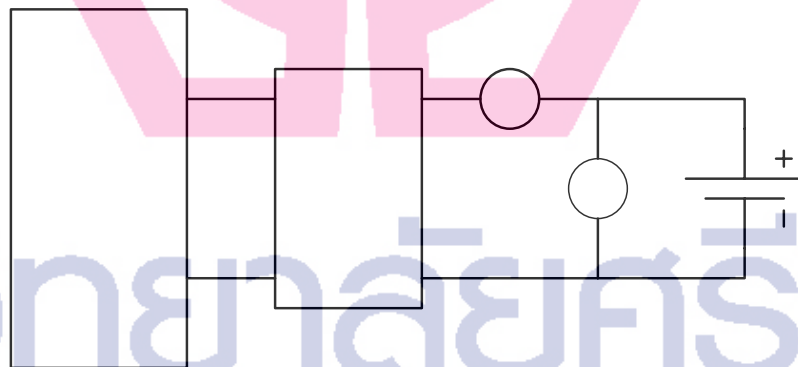
- (1) เพื่อหาค่ากระแสที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ของแผงโซลาร์เซลล์ขนาดต่างๆ
- (2) เพื่อทดลองหาว่าการติดตามดวงอาทิตย์ที่มุมเท่าใดจึงจะทำให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถรับพลังงานได้มากที่สุด

4.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (1) แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5Wp, 30Wp และ 50 Wp ขนาดละ 1 แผง
- (2) โวลต์มิเตอร์ 1 เครื่อง
- (3) แอมป์มิเตอร์ 1 เครื่อง
- (4) แบตเตอรี่ 12 V. ขนาด 35 Ah. จำนวน 1 ลูก

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) ต่อดวงจรตามภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงการทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของแผงโซลาร์เซลล์ที่สภาวะต่อโหลด

- (2) ทำการวัดค่าแรงดัน (V) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์โดยทำการวัดทุกๆ ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 07.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกาโดยใช้แผงขนาด 5 Wp
- (3) บันทึกผลการทดลองลงในตาราง 4.7, 4.8 และ 4.9
- (4) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนขนาดของแผงโซลาร์เซลล์จากขนาด 5 Wp เป็น 30Wp, 50 Wp และเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับแสงจาก 15 องศา เป็น 30, 45 องศาตามลำดับ
- (5) บันทึกผลการทดลองลงในตาราง 4.10 ถึง 4.15

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา

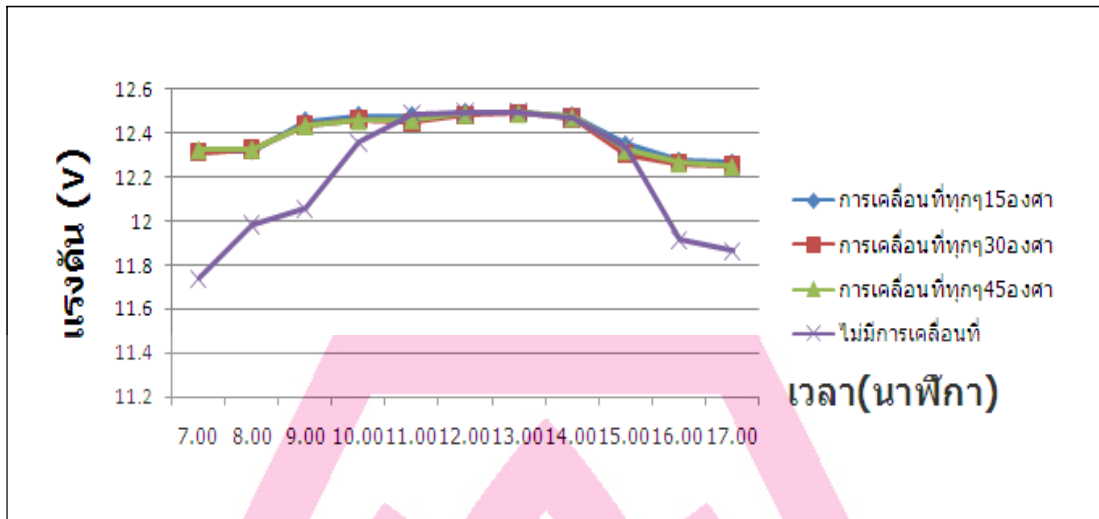
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.317	0.117	1.441
08.00	12.320	0.152	1.872
09.00	12.458	0.197	2.454
10.00	12.483	0.201	2.509
11.00	12.482	0.225	2.787
12.00	12.497	0.275	3.436
13.00	12.493	0.284	3.548
14.00	12.481	0.268	3.345
15.00	12.348	0.235	2.902
16.00	12.274	0.183	2.209
17.00	12.265	0.157	1.925
เฉลี่ย	12.402	0.209	2.584

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 องศา

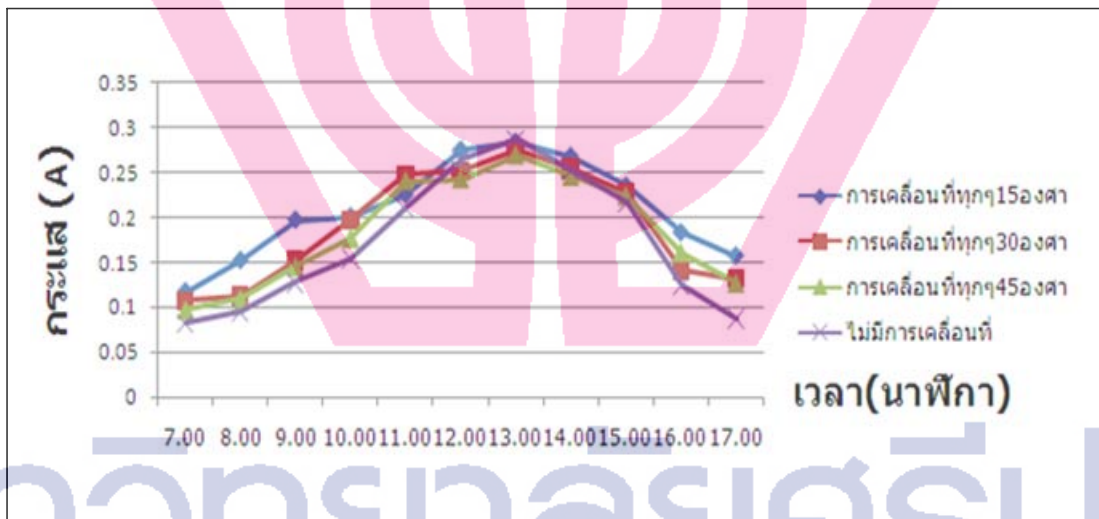
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.314	0.108	1.330
08.00	12.325	0.113	1.639
09.00	12.437	0.152	1.890
10.00	12.463	0.197	2.455
11.00	12.447	0.247	3.049
12.00	12.487	0.251	3.134
13.00	12.492	0.275	3.453
14.00	12.471	0.254	3.167
15.00	12.305	0.228	2.805
16.00	12.261	0.141	1.729
17.00	12.253	0.132	1.617
เฉลี่ย	12.389	0.191	2.388

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 45 องศา

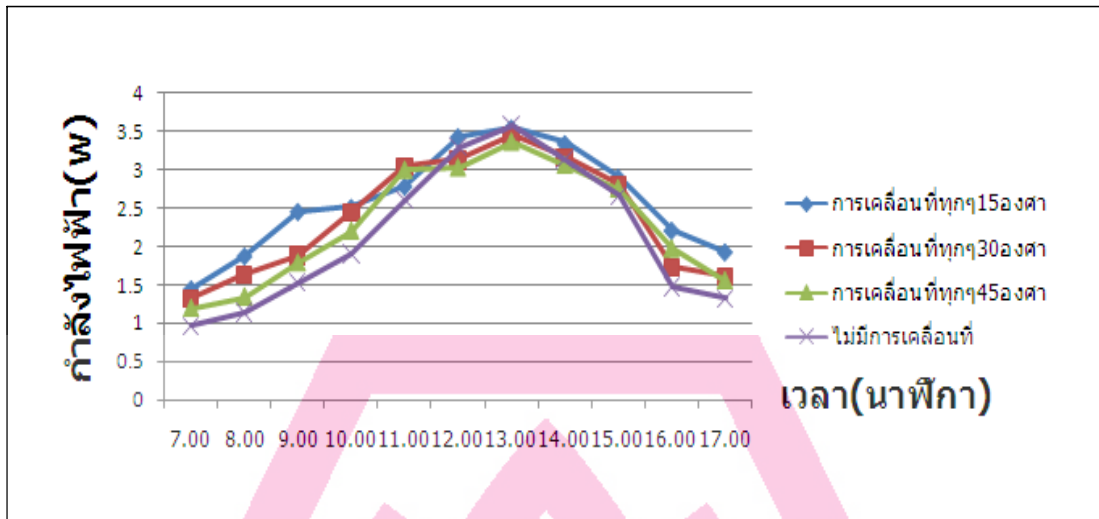
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.323	0.097	1.195
08.00	12.327	0.109	1.344
09.00	12.435	0.145	1.789
10.00	12.458	0.177	2.205
11.00	12.462	0.241	3.003
12.00	12.488	0.243	3.035
13.00	12.492	0.270	3.372
14.00	12.473	0.246	3.068
15.00	12.320	0.224	2.760
16.00	12.263	0.161	1.974
17.00	12.247	0.127	1.556
เฉลี่ย	12.390	0.185	2.300



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่ากระแสค่ากระแส A (ที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่) โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา และไม่มีการเคลื่อนที่

4.3.4 สรุปผลการทดลองเมื่อใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 W

จากผลการทดลองนำแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 5 Wp มารับพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมทั้งมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาเมื่อนำข้อมูลทั้ง 3 ตารางมาเปรียบเทียบกัน พบว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 สามารถจ่ายกระแสและแรงดันได้มากกว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 และทุกๆ 45 องศา โดยได้ค่ากระแส, แรงดัน และกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยมีค่าดังนี้คือ 12.40 (V), 0.21 (A) และ 2.58 (W) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา

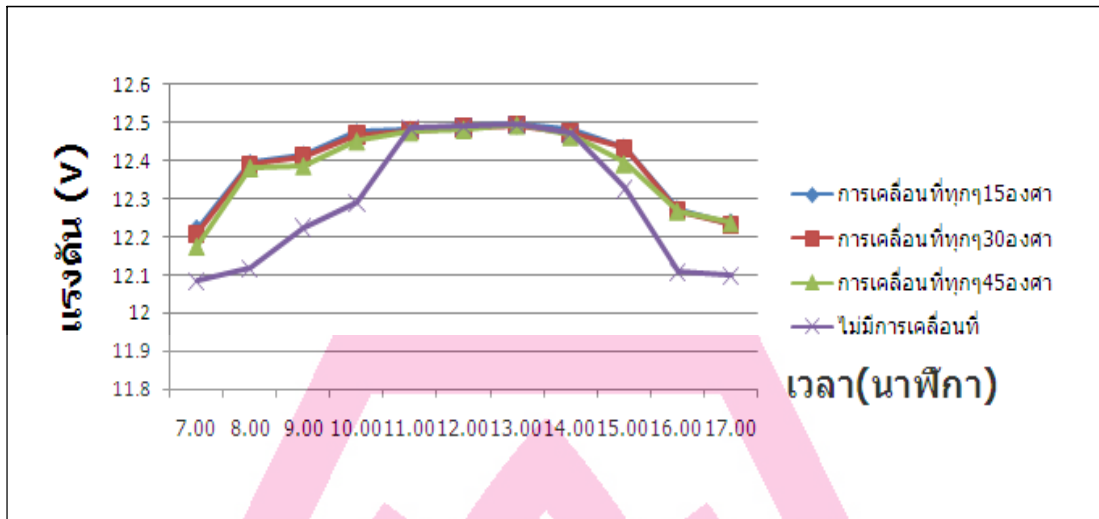
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.221	0.975	11.915
08.00	12.393	1.258	15.590
09.00	12.415	1.476	18.324
10.00	12.474	1.875	23.388
11.00	12.482	1.964	24.515
12.00	12.490	2.098	26.204
13.00	12.494	2.105	26.300
14.00	12.479	2.057	25.669
15.00	12.435	2.003	24.907
16.00	12.272	1.708	20.961
17.00	12.237	1.357	16.605
เฉลี่ย	12.400	1.716	21.307

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 องศา

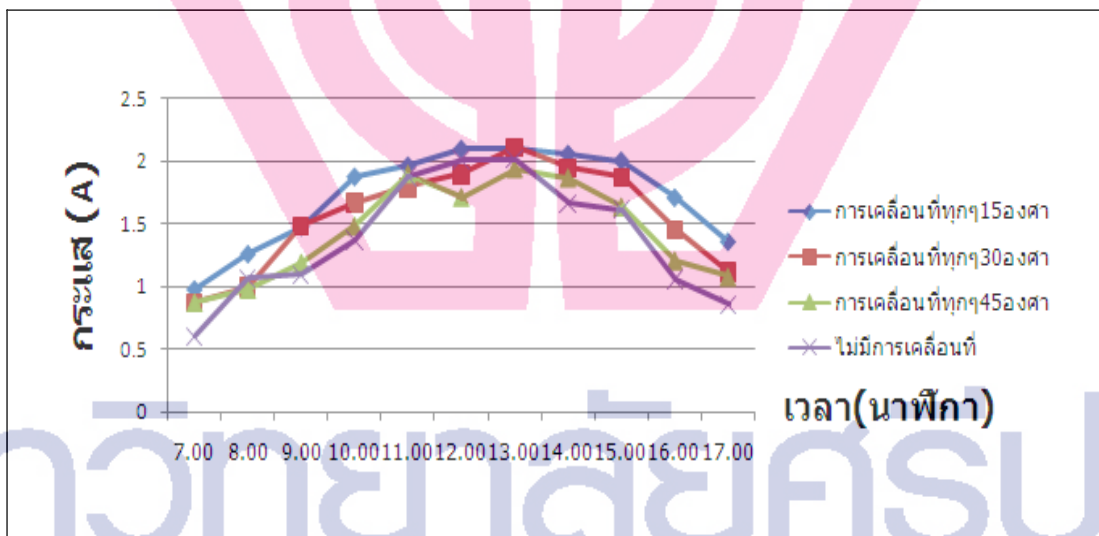
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.208	0.874	10.669
08.00	12.389	0.997	12.352
09.00	12.409	1.485	18.427
10.00	12.467	1.671	20.832
11.00	12.478	1.794	22.385
12.00	12.485	1.896	23.671
13.00	12.492	2.112	26.383
14.00	12.471	1.954	24.368
15.00	12.432	1.875	23.31
16.00	12.268	1.458	17.887
17.00	12.230	1.117	13.660
เฉลี่ย	12.393	1.566	19.449

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 45 องศา

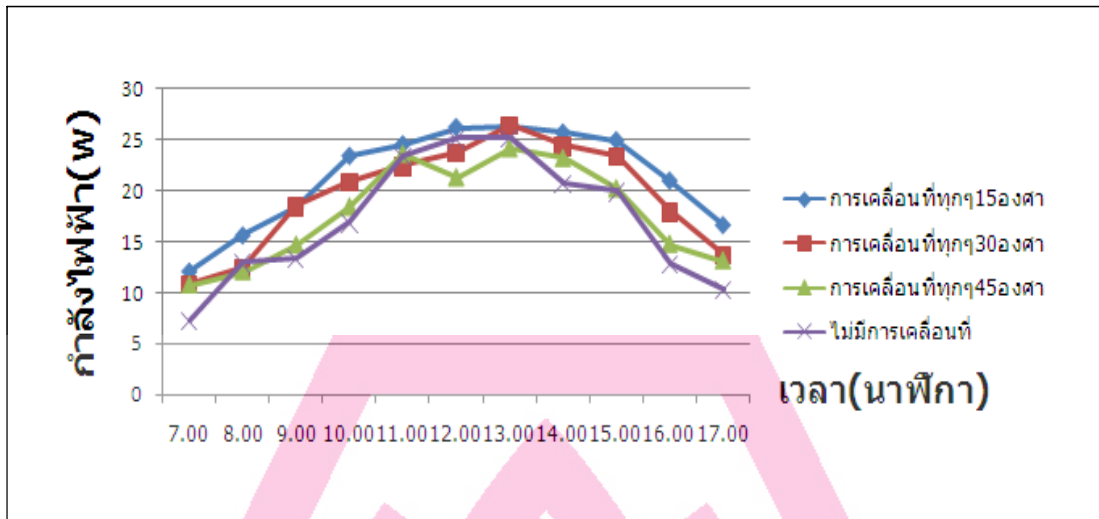
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.174	0.870	10.591
08.00	12.382	0.976	12.085
09.00	12.387	1.185	14.679
10.00	12.452	1.481	18.441
11.00	12.476	1.895	23.642
12.00	12.483	1.709	21.333
13.00	12.495	1.938	24.215
14.00	12.465	1.864	23.235
15.00	12.392	1.633	20.236
16.00	12.267	1.205	14.781
17.00	12.236	1.074	13.141
เฉลี่ย	12.398	1.439	17.852



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 W เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 W เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา และไม่มีการเคลื่อนที่

4.3.5 สรุปผลการทดลองเมื่อใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 W

จากผลการทดลองนำแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 W มารับพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมทั้งมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา เมื่อนำข้อมูลทั้ง 3 ตารางมาเปรียบเทียบกัน พบว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา สามารถจ่ายกระแสและแรงดันได้มากกว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 และทุกๆ 45 องศา โดยได้ค่ากระแส, แรงดันและกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยมีค่าดังนี้คือ 12.41 V, 1.71 A และ 21.32 W ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา

เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.035	1.861	22.397
08.00	12.127	2.194	26.607
09.00	12.305	2.320	28.548
10.00	12.358	2.364	29.214
11.00	12.442	2.428	30.209
12.00	12.478	2.971	37.072
13.00	12.493	3.074	38.403
14.00	12.477	2.893	36.096
15.00	12.325	2.734	33.697
16.00	12.267	2.572	31.551
17.00	12.238	1.985	24.292
เฉลี่ย	12.322	2.491	30.735

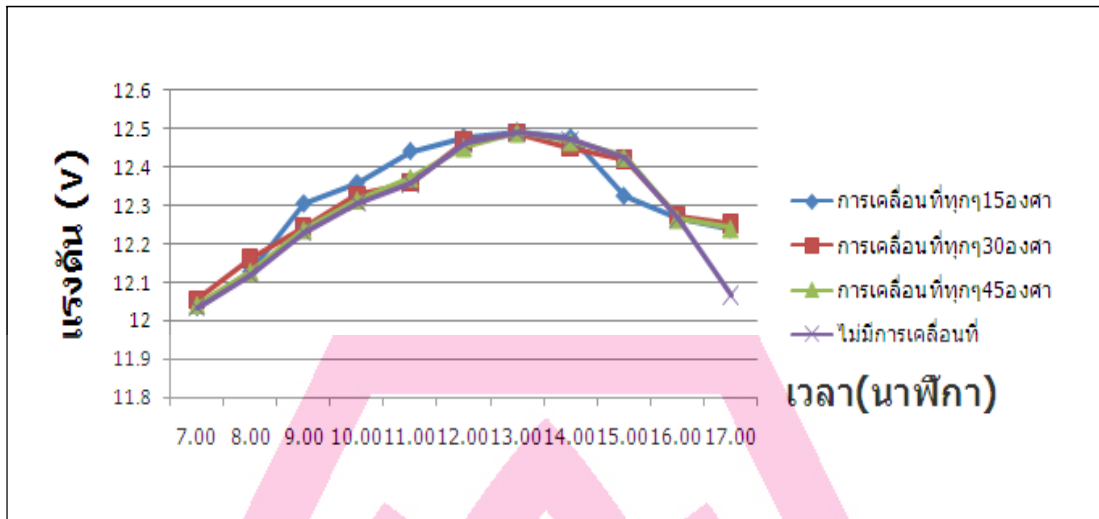
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 องศา

เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.057	1.641	19.785
08.00	12.163	2.086	25.372
09.00	12.245	2.120	25.959
10.00	12.328	2.307	28.441
11.00	12.361	2.358	29.147
12.00	12.467	2.871	35.792
13.00	12.488	2.974	37.139
14.00	12.451	2.883	35.896
15.00	12.420	2.652	32.938
16.00	12.274	2.481	30.451
17.00	12.253	1.842	22.570
เฉลี่ย	12.319	2.383	29.408

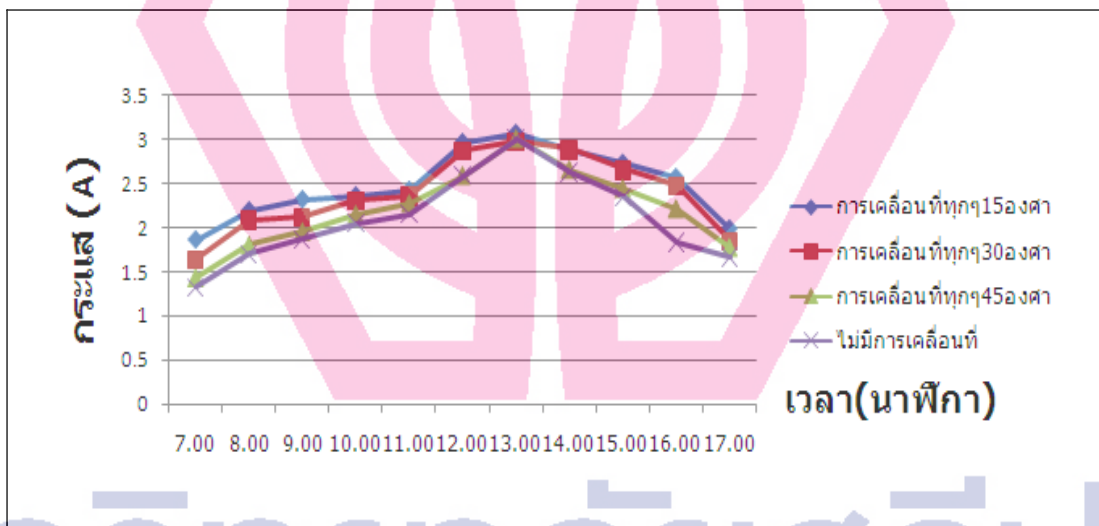
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองวัดค่าแรงดัน (V) และค่ากระแส (A) ที่ซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp และมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 45 องศา

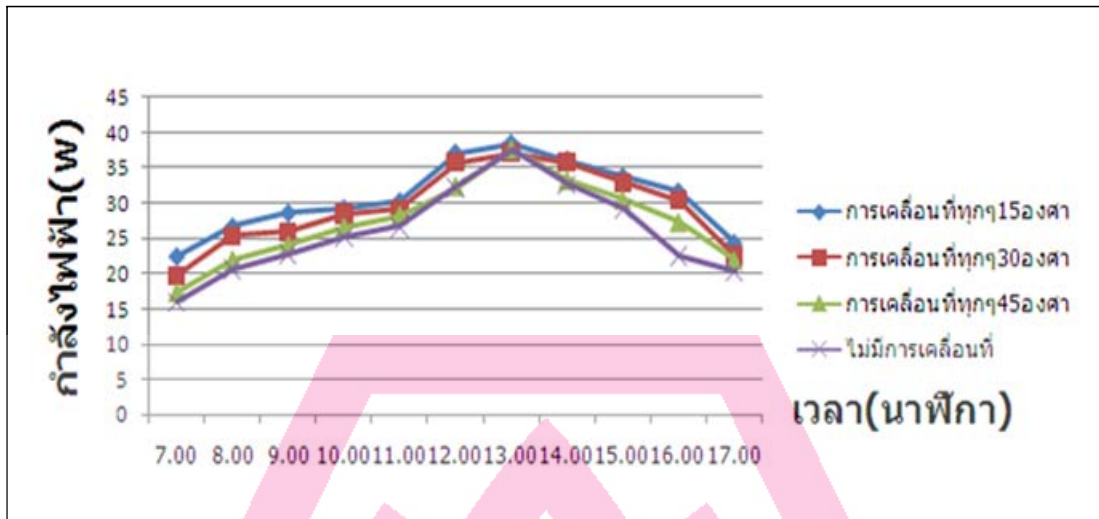
เวลา	ผลการตรวจวัด		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังงาน (W)
07.00	12.042	1.438	17.316
08.00	12.128	1.808	21.927
09.00	12.237	1.962	24.009
10.00	12.315	2.156	26.551
11.00	12.373	2.279	28.198
12.00	12.452	2.593	32.288
13.00	12.490	3.007	37.557
14.00	12.467	2.658	33.137
15.00	12.426	2.447	30.406
16.00	12.265	2.218	27.204
17.00	12.241	1.783	21.826
เฉลี่ย	12.313	2.214	27.311



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าแรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากระแสของแผงโซลาร์เซลล์ขณะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่ากำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ขณะซาร์จเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp เมื่อมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศาและไม่มีการเคลื่อนที่

4.3.6 สรุปผลการทดลองเมื่อใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp

จากผลการทดลองนำแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 Wp มารับพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมทั้งมีการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15, 30 และ 45 องศา เมื่อนำข้อมูลทั้ง 3 ตาราง มาเปรียบเทียบกัน พบว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 สามารถจ่ายกระแสและแรงดันได้มากกว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 และทุกๆ 45 องศา โดยได้ค่ากระแส, แรงดัน และกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยมีค่าดังนี้คือ 12.32 V, 2.49 A และ 30.74 W ตามลำดับ

4.3.7 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 30 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 15 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่

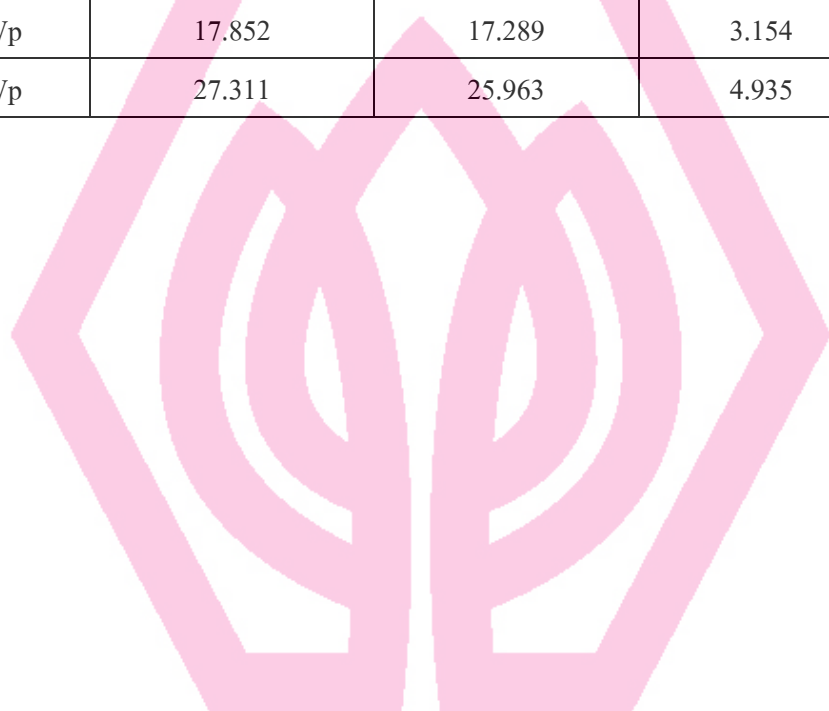
ขนาดแผง โซลาร์เซลล์ (Wp)	ค่ากำลังงานที่ได้รับโดยเฉลี่ย (W)		กำลังงานที่ได้รับ เพิ่มขึ้น (%)
	เคลื่อนที่ทุกๆ 15 องศา	ติดตั้งอยู่กับที่	
5 Wp	2.584	2.147	16.912
30 Wp	21.307	17.289	18.857
50 Wp	30.735	25.963	15.526

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 30 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่

ขนาดแผง โซลาร์เซลล์ (Wp)	ค่ากำลังงานที่ได้รับโดยเฉลี่ย (W)		กำลังงานที่ได้รับ เพิ่มขึ้น (%)
	เคลื่อนที่ทุกๆ 30 องศา	ติดตั้งอยู่กับที่	
5 Wp	2.388	2.147	10.092
30 Wp	19.449	17.289	11.105
50 Wp	29.408	25.963	11.714

ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับระหว่างที่แผงโซลาร์เซลล์มีการเคลื่อนที่ทุกๆ 45 องศา กับขณะที่แผงอยู่กับที่

ขนาดแผง โซลาร์เซลล์ (Wp)	ค่ากำลังงานที่ได้รับโดยเฉลี่ย (W)		กำลังงานที่ได้รับ เพิ่มขึ้น (%)
	เคลื่อนที่ทุกๆ 45 องศา	ติดตั้งอยู่กับที่	
5 Wp	2.300	2.147	6.652
30 Wp	17.852	17.289	3.154
50 Wp	27.311	25.963	4.935



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์โดยการติดตามตำแหน่ง ดวงอาทิตย์ เซิงดิจิตอลซึ่งประกอบไปด้วยชุดตรวจสอบและติดตามดวงอาทิตย์ และทำการทดสอบการทำงาน ซึ่งผลที่ได้จากทดสอบพบว่า การติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา จะทำให้โซลาร์เซลล์สามารถรับพลังงานได้มากกว่าการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 30 และทุกๆ 45 องศา เมื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังไฟฟ้าระหว่างการติดตามดวงอาทิตย์ทุกๆ 15 องศา กับ การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่ พบว่า แผงขนาด 5 Wp ให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 16.91 % แผงขนาด 30 Wp ให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 18.86 % และแผงขนาด 50 Wp ให้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 15.53 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

เครื่องติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นออกแบบให้มีการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วง องศาได้ 3 ช่วงองศา ห่างกัน 15 องศา และทำการทดสอบการทำงาน การออกแบบอาจกำหนดช่วง องศาห่างกันเกินไปอาจส่งผลต่อผลการทดสอบและผลสรุปที่ได้

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากการวิจัยพบว่าการติดตามดวงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลาส่งผลให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูง ประสิทธิภาพรวมในการรับพลังงานจะต่ำลงได้ การทำวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษา แนวทางการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรักษาประสิทธิภาพการได้รับพลังงาน



บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- พัชรินทร์ มงคลวัฒนากุล และเพ็ญพร ศิริลักษณ์. 2548. “ การเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เครื่องควบคุมทิศทางของแผงแบบตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์และตรวจจับความเข้มข้นของแสง.” **โครงการวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปีที่ 12, เล่มที่ 1 : หน้า 11-16.**
- ภาณุวัฒน์ เน้อยทอง และคณะ. 2548. “ การควบคุมทิศทางของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยการระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์และการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์.” **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลประเทศไทย ครั้งที่ 19. ปีที่ 19, เล่มที่ 1 : หน้า 56-61.**
- อนุชา ดีผาง และคณะ. 2548. “ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล.” **การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1.ปีที่ 1, เล่มที่ 1 : หน้า 101-103.**
- A. Konar, M Phil and A.K. Mandal. 1991. “Microprocessor base automatic sun tracker.” **IEE Proceedings-A. ปีที่ 1, เล่มที่ 1 : หน้า 138-141.**
- B. Koyunc and K.Balasubramanian.1991.“ Microprocessor Controlled Automatic Sun Tracker.” **IEEE Photovoltaic Specialists Conference 23th. ปีที่ 23, เล่มที่ 1 : หน้า 913-917.**
- Jame W. Stewart and Chao-Ying Wang.2001. “**CPLD Foundation Design and Simulation Software.**” Prentice-Hall.ปีที่ 23, เล่มที่ 1 : หน้า 913-917.
- P.Roth , A. Georgiev and H. Boudinov.2004. “Design and construction of a system for sun-tracking.” **Renewable Energy. ปีที่ 2, เล่มที่ 6 : หน้า 393-402.**
- Soteris A. Kalogirou.1996. “Design and Construction of A One-Axis Sun-Tracking.” **Solar Energy. ปีที่ 3, เล่มที่ 1 : หน้า 465-469.**



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



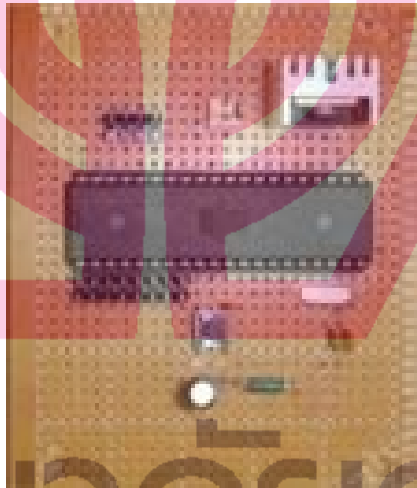
ภาคผนวก ก.

- ภาพส่วนประกอบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์
- ภาพการทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

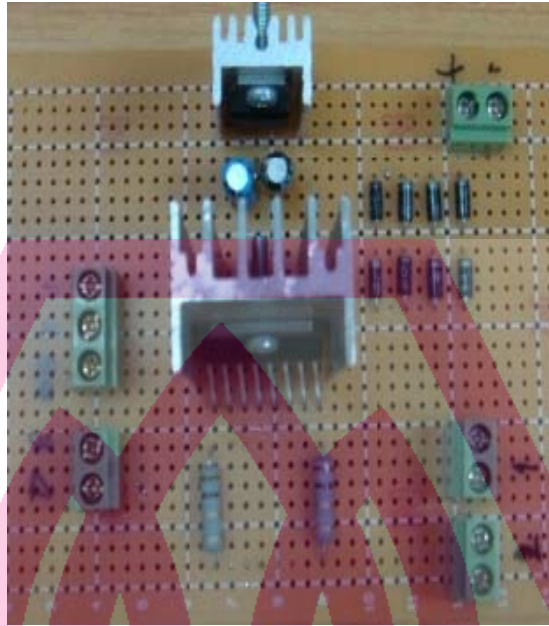


ภาพแสดงหัวตรวจจับแสงอาทิตย์



ภาพแสดงวงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพแสดงชุดวงจรขับมอเตอร์



ภาพแสดงชุดวงจรชาร์จแบตเตอรี่

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพแสดง โครงสร้างของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์จริง



ภาพแสดงเครื่องติดตามดวงอาทิตย์



ภาพแสดงการทดลองรับพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาวะที่ไม่มีโหลด



ภาพแสดงการทดลองวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด50W ที่สภาวะมีโหลด



ภาพแสดงการทดลองวัดค่าแรงดันและกระแสของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด50W ที่สภาวะมีโหลด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก ข.

Data Sheet

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

20A, 500V, 0.270 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17465.

Ordering Information

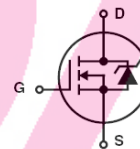
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP460	TO-247	IRFP460

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Features

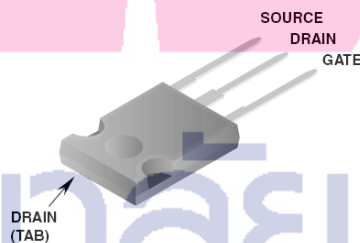
- 20A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.270\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging

JEDEC STYLE TO-247



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

IRFP460

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

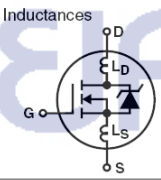
	IRFP460	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	500 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	500 V
Continuous Drain Current	I_D	20 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	12 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	80 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	250 W
Linear Derating Factor		2.0 W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4).	E_{AS}	960 mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260 $^\circ\text{C}$

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to $T_J = 125^\circ\text{C}$.

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10)	500	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2	-	4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$	20	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 11\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9)	-	0.24	0.27	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50\text{V}, I_{DS} > 11\text{A}$ (Figure 12)	13	19	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = 250\text{V}, I_D = 21\text{A}, R_{GS} = 4.3\Omega, R_D = 12\Omega,$ $V_{GS} = 10\text{V}$ MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	23	35	ns
Rise Time	t_r		-	81	120	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	85	130	ns
Fall Time	t_f		-	65	98	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate-Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 21\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS},$ $I_{G(REF)} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14). Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	120	190	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	18	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	62	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 10)	-	4100	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	480	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	84	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad	-	13	-	nH
		Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances				
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	0.50	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	$^\circ\text{C/W}$

IRFP460

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier	-	-	20	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	80	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 21\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	1.8	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 21\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	280	580	1200	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 21\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	3.8	8.1	18	μC

NOTES:

- Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
- Repetitive rating: pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
- $V_{DD} = 50\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 4.3\text{mH}$, $R_{GS} = 25\Omega$, Peak $I_{AS} = 20\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

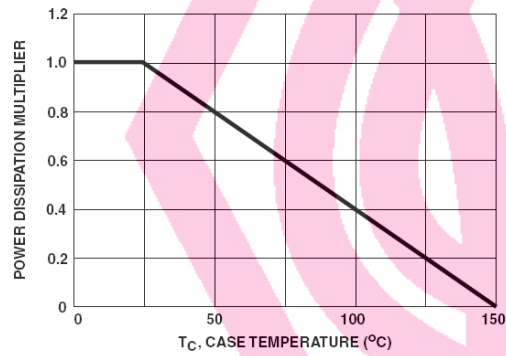


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

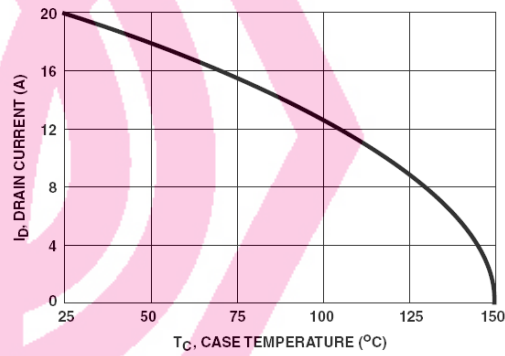


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

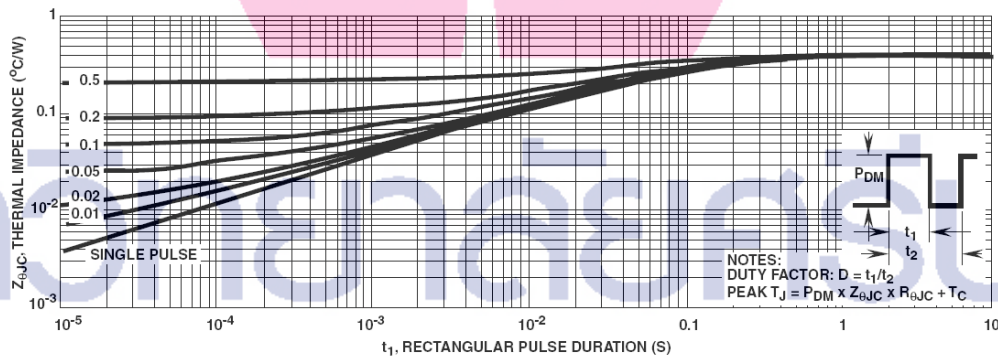


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

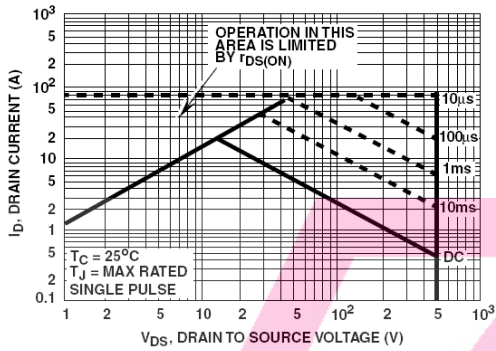


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

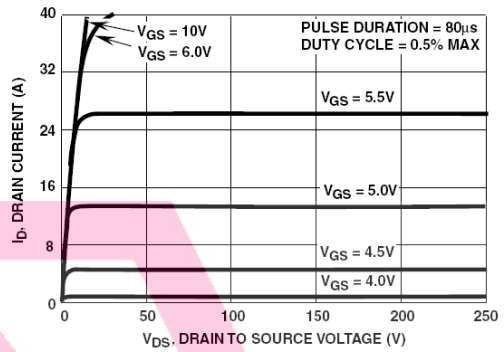


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

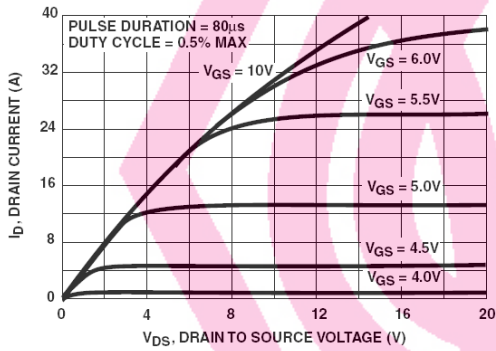


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

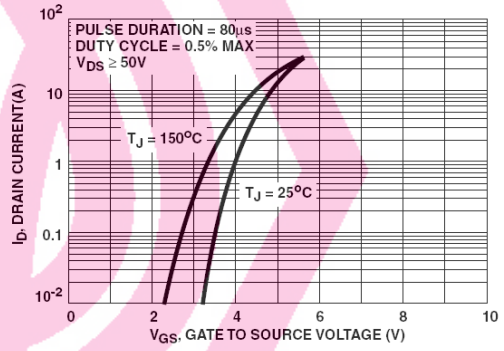


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

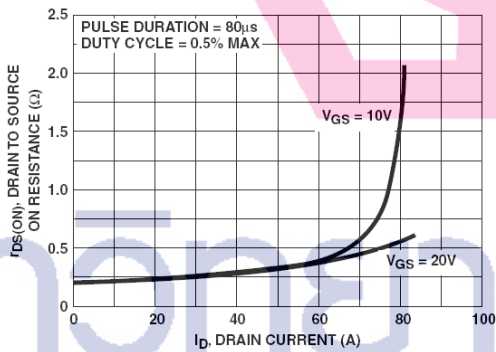


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

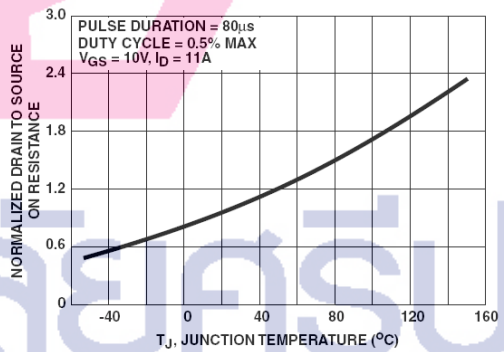


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

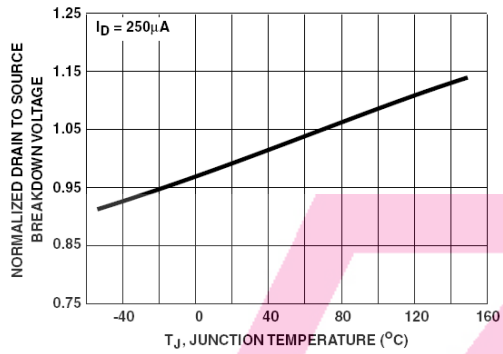


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

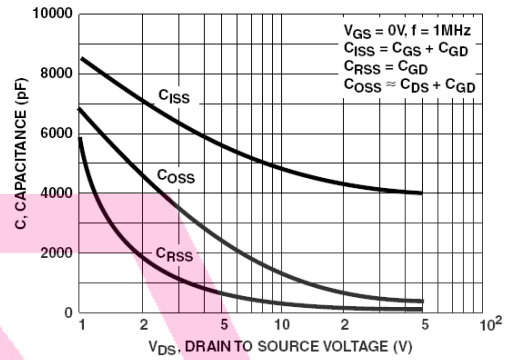


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

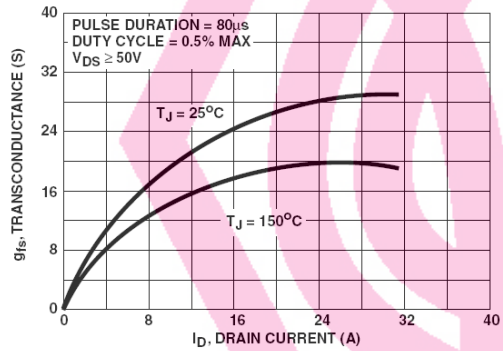


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

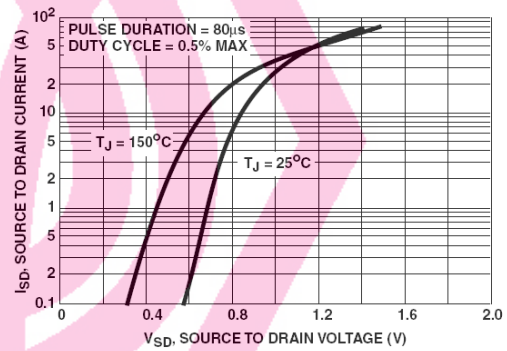


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

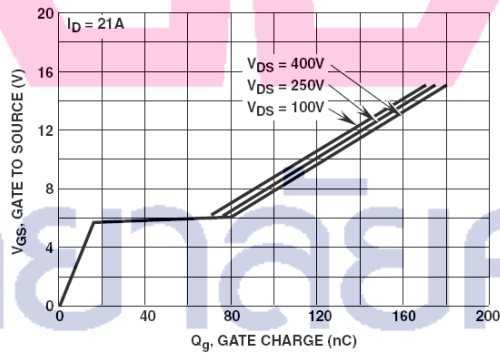


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

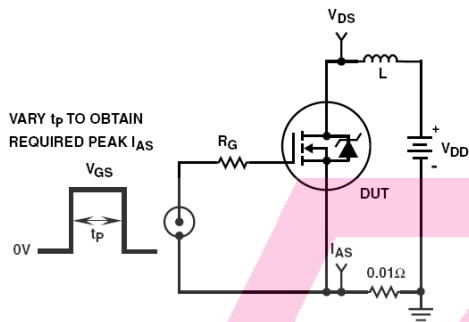


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

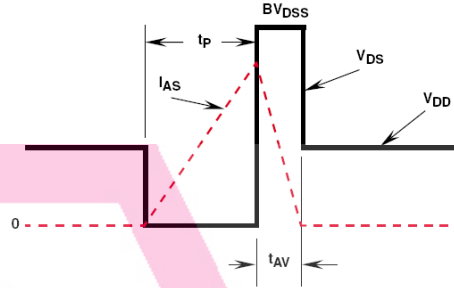


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

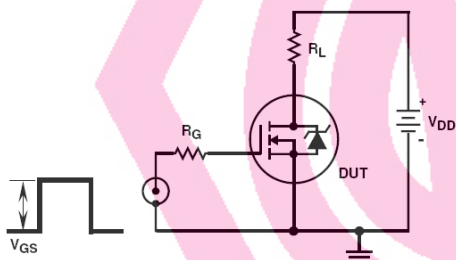


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

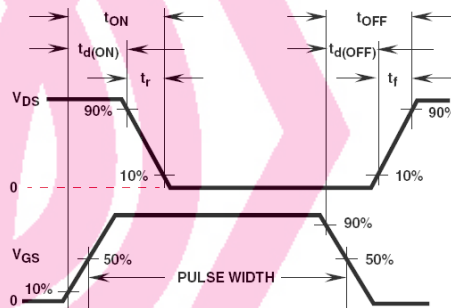


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

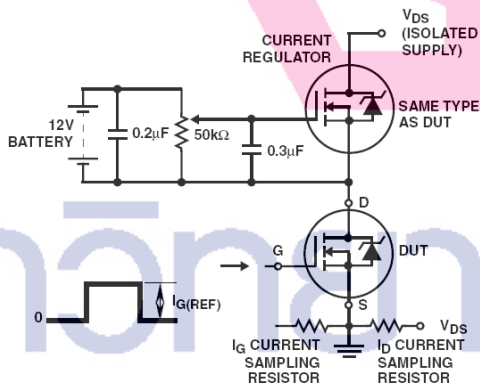


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

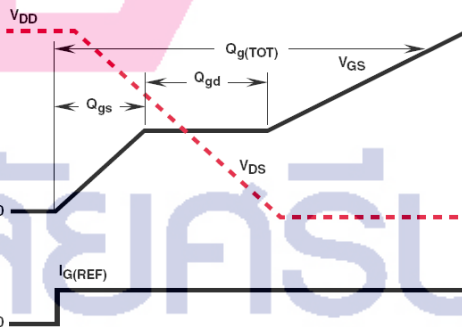


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE _x [™]	FAST [®]	OPTOLOGIC [™]	SMART START [™]	VCX [™]
Bottomless [™]	FAST _r [™]	OPTOPLANAR [™]	STAR [®] POWER [™]	
CoolFET [™]	FRFET [™]	PACMAN [™]	Stealth [™]	
CROSSVOLT [™]	GlobalOptoisolator [™]	POP [™]	SuperSOT [™] -3	
DenseTrench [™]	GTO [™]	Power247 [™]	SuperSOT [™] -6	
DOME [™]	HiSeC [™]	PowerTrench [®]	SuperSOT [™] -8	
EcoSPARK [™]	ISOPLANAR [™]	QFET [™]	SyncFET [™]	
E ² C MOS [™]	LittleFET [™]	QS [™]	TinyLogic [™]	
EnSigna [™]	MicroFET [™]	QT Optoelectronics [™]	TruTranslation [™]	
FACT [™]	MicroPak [™]	Quiet Series [™]	UHC [™]	
FACT Quiet Series [™]	MICROWIRE [™]	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR[®]POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

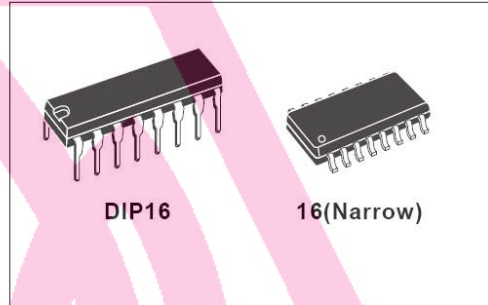
Rev. H4



**SG2525A
SG3525A**

REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS

- 8 TO 35 V OPERATION
- 5.1 V REFERENCE TRIMMED TO $\pm 1\%$
- 100 Hz TO 500 KHz OSCILLATOR RANGE
- SEPARATE OSCILLATOR SYNC TERMINAL
- ADJUSTABLE DEADTIME CONTROL
- INTERNAL SOFT-START
- PULSE-BY-PULSE SHUTDOWN
- INPUT UNDERVOLTAGE LOCKOUT WITH HYSTERESIS
- LATCHING PWM TO PREVENT MULTIPLE PULSES
- DUAL SOURCE/SINK OUTPUT DRIVERS

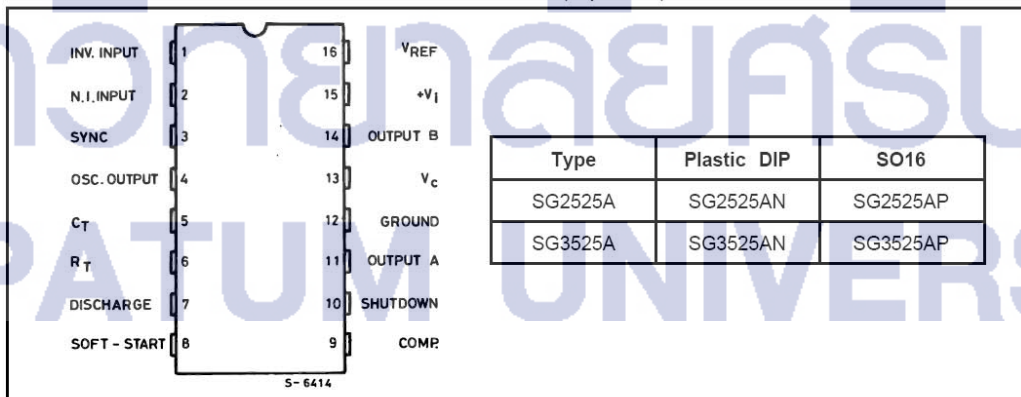


DESCRIPTION

The SG3525A series of pulse width modulator integrated circuits are designed to offer improved performance and lowered external parts count when used in designing all types of switching power supplies. The on-chip + 5.1 V reference is trimmed to $\pm 1\%$ and the input common-mode range of the error amplifier includes the reference voltage eliminating external resistors. A sync input to the oscillator allows multiple units to be slaved or a single unit to be synchronized to an external system clock. A single resistor between the C_T and the discharge terminals provide a wide range of dead time adjustment. These devices also feature built-in soft-start circuitry with only an external timing capacitor required. A shutdown terminal controls both the soft-start circuitry and the output stages, providing instantaneous

turn off through the PWM latch with pulsed shutdown, as well as soft-start recycle with longer shutdown commands. These functions are also controlled by an undervoltage lockout which keeps the outputs off and the soft-start capacitor discharged for sub-normal input voltages. This lockout circuitry includes approximately 500 mV of hysteresis for jitter-free operation. Another feature of these PWM circuits is a latch following the comparator. Once a PWM pulses has been terminated for any reason, the outputs will remain off for the duration of the period. The latch is reset with each clock pulse. The output stages are totem-pole designs capable of sourcing or sinking in excess of 200 mA. The SG3525A output stage features NOR logic, giving a LOW output for an OFF state.

PIN CONNECTIONS AND ORDERING NUMBERS (top view)



SG2525A-SG3525A

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

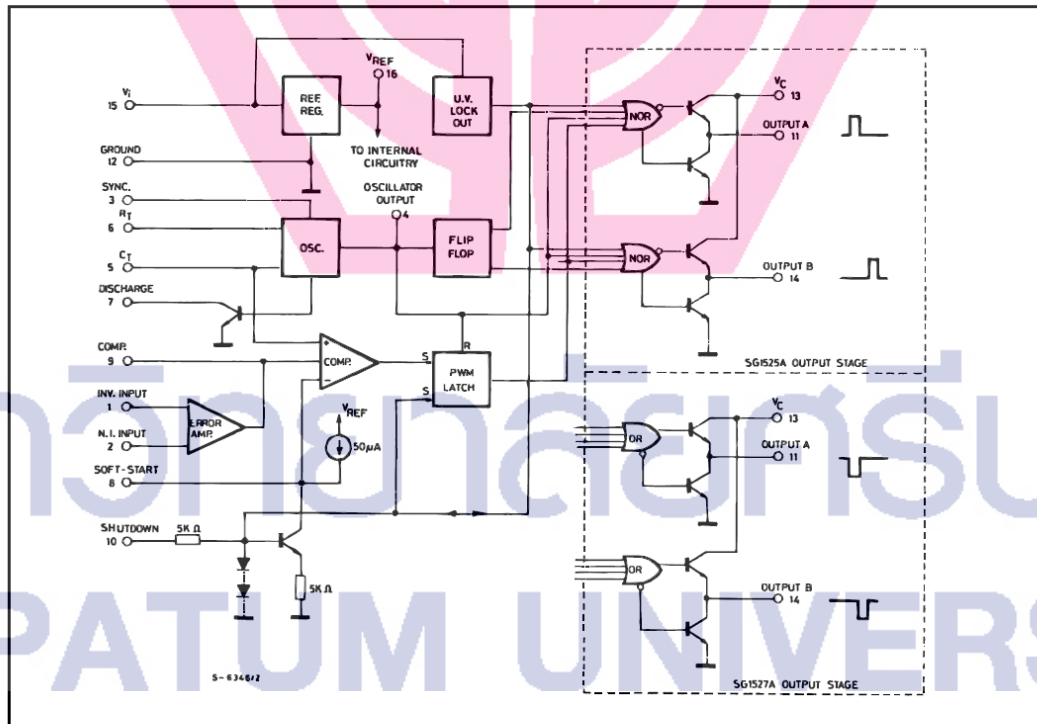
Symbol	Parameter	Value	Unit
V_i	Supply Voltage	40	V
V_C	Collector Supply Voltage	40	V
I_{OSC}	Oscillator Charging Current	5	mA
I_o	Output Current, Source or Sink	500	mA
I_R	Reference Output Current	50	mA
I_T	Current through C_T Terminal	5	mA
	Logic Inputs	- 0.3 to + 5.5	V
	Analog Inputs	- 0.3 to V_i	V
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{amb} = 70^\circ\text{C}$	1000	mW
T_j	Junction Temperature Range	- 55 to 150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	- 65 to 150	$^\circ\text{C}$
T_{op}	Operating Ambient Temperature : SG2525A SG3525A	- 25 to 85 0 to 70	$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	SO16	DIP16	Unit
$R_{th\ j-pins}$	Thermal Resistance Junction-pins	Max	50	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	80	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th\ j-alumina}$	Thermal Resistance Junction-alumina (*)	Max	50	$^\circ\text{C/W}$

* Thermal resistance junction-alumina with the device soldered on the middle of an alumina supporting substrate measuring 15 x 20 mm ; 0.65 mm thickness with infinite heatsink.

BLOCK DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V# i = 20 V, and over operating temperature, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	SG2525A			SG3525A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
REFERENCE SECTION									
V _{REF}	Output Voltage	T _J = 25 °C	5.05	5.1	5.15	5	5.1	5.2	V
ΔV _{REF}	Line Regulation	V _I = 8 to 35 V		10	20		10	20	mV
ΔV _{REF}	Load Regulation	I _L = 0 to 20 mA		20	50		20	50	mV
ΔV _{REF} /ΔT*	Temp. Stability	Over Operating Range		20	50		20	50	mV
*	Total Output Variation	Line, Load and Temperature	5		5.2	4.95		5.25	V
	Short Circuit Current	V _{REF} = 0 T _J = 25 °C		80	100		80	100	mA
*	Output Noise Voltage	10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz, T _J = 25 °C		40	200		40	200	μVrms
ΔV _{REF} *	Long Term Stability	T _J = 125 °C, 1000 hrs		20	50		20	50	mV
OSCILLATOR SECTION **									
*, •	Initial Accuracy	T _J = 25 °C		± 2	± 6		± 2	± 6	%
*, •	Voltage Stability	V _I = 8 to 35 V		± 0.3	± 1		± 1	± 2	%
Δf/ΔT*	Temperature Stability	Over Operating Range		± 3	± 6		± 3	± 6	%
f _{MIN}	Minimum Frequency	R _T = 200 KΩ C _T = 0.1 μF			120			120	Hz
f _{MAX}	Maximum Frequency	R _T = 2 KΩ C _T = 470 pF	400			400			KHz
	Current Mirror	I _{RT} = 2 mA	1.7	2	2.2	1.7	2	2.2	mA
*, •	Clock Amplitude		3	3.5		3	3.5		V
*, •	Clock Width	T _J = 25 °C	0.3	0.5	1	0.3	0.5	1	μs
	Sync Threshold		1.2	2	2.8	1.2	2	2.8	V
	Sync Input Current	Sync Voltage = 3.5 V		1	2.5		1	2.5	mA
ERROR AMPLIFIER SECTION (V_{CM} = 5.1 V)									
V _{OS}	Input Offset Voltage			0.5	5		2	10	mV
I _b	Input Bias Current			1	10		1	10	μA
I _{os}	Input Offset Current				1			1	μA
	DC Open Loop Gain	R _L ≥ 10 MΩ	60	75		60	75		dB
*	Gain Bandwidth Product	G _v = 0 dB T _J = 25 °C	1	2		1	2		MHz
*, I	DC Transconduct.	30 KΩ ≤ R _L ≤ 1 MΩ T _J = 25 °C	1.1	1.5		1.1	1.5		ms
	Output Low Level			0.2	0.5		0.2	0.5	V
	Output High Level		3.8	5.6		3.8	5.6		V
CMR	Comm. Mode Reject.	V _{CM} = 1.5 to 5.2 V	60	75		60	75		dB
PSR	Supply Voltage Rejection	V _I = 8 to 35 V	50	60		50	60		dB

SG2525A-SG3525A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	SG2525A			SG3525A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
PWM COMPARATOR									
	Minimum Duty-cycle				0			0	%
•	Maximum Duty-cycle		45	49		45	49		%
•	Input Threshold	Zero Duty-cycle	0.7	0.9		0.7	0.9		V
		Maximum Duty-cycle		3.3	3.6		3.3	3.6	V
*	Input Bias Current			0.05	1		0.05	1	μA
SHUTDOWN SECTION									
	Soft Start Current	V _{SD} = 0 V, V _{SS} = 0 V	25	50	80	25	50	80	μA
	Soft Start Low Level	V _{SD} = 2.5 V		0.4	0.7		0.4	0.7	V
	Shutdown Threshold	To outputs, V _{SS} = 5.1 V T _J = 25 °C	0.6	0.8	1	0.6	0.8	1	V
	Shutdown Input Current	V _{SD} = 2.5 V		0.4	1		0.4	1	mA
*	Shutdown Delay	V _{SD} = 2.5 V T _J = 25 °C		0.2	0.5		0.2	0.5	μs
OUTPUT DRIVERS (each output) (V_C = 20 V)									
	Output Low Level	I _{sink} = 20 mA		0.2	0.4		0.2	0.4	V
		I _{sink} = 100 mA		1	2		1	2	V
	Output High Level	I _{source} = 20 mA	18	19		18	19		V
		I _{source} = 100 mA	17	18		17	18		V
	Under-Voltage Lockout	V _{comp} and V _{SS} = High	6	7	8	6	7	8	V
I _C	Collector Leakage	V _C = 35 V			200			200	μA
t _r *	Rise Time	C _L = 1 nF, T _J = 25 °C		100	600		100	600	ns
t _f *	Fall Time	C _L = 1 nF, T _J = 25 °C		50	300		50	300	ns
TOTAL STANDBY CURRENT									
I _s	Supply Current	V _I = 35 V		14	20		14	20	mA

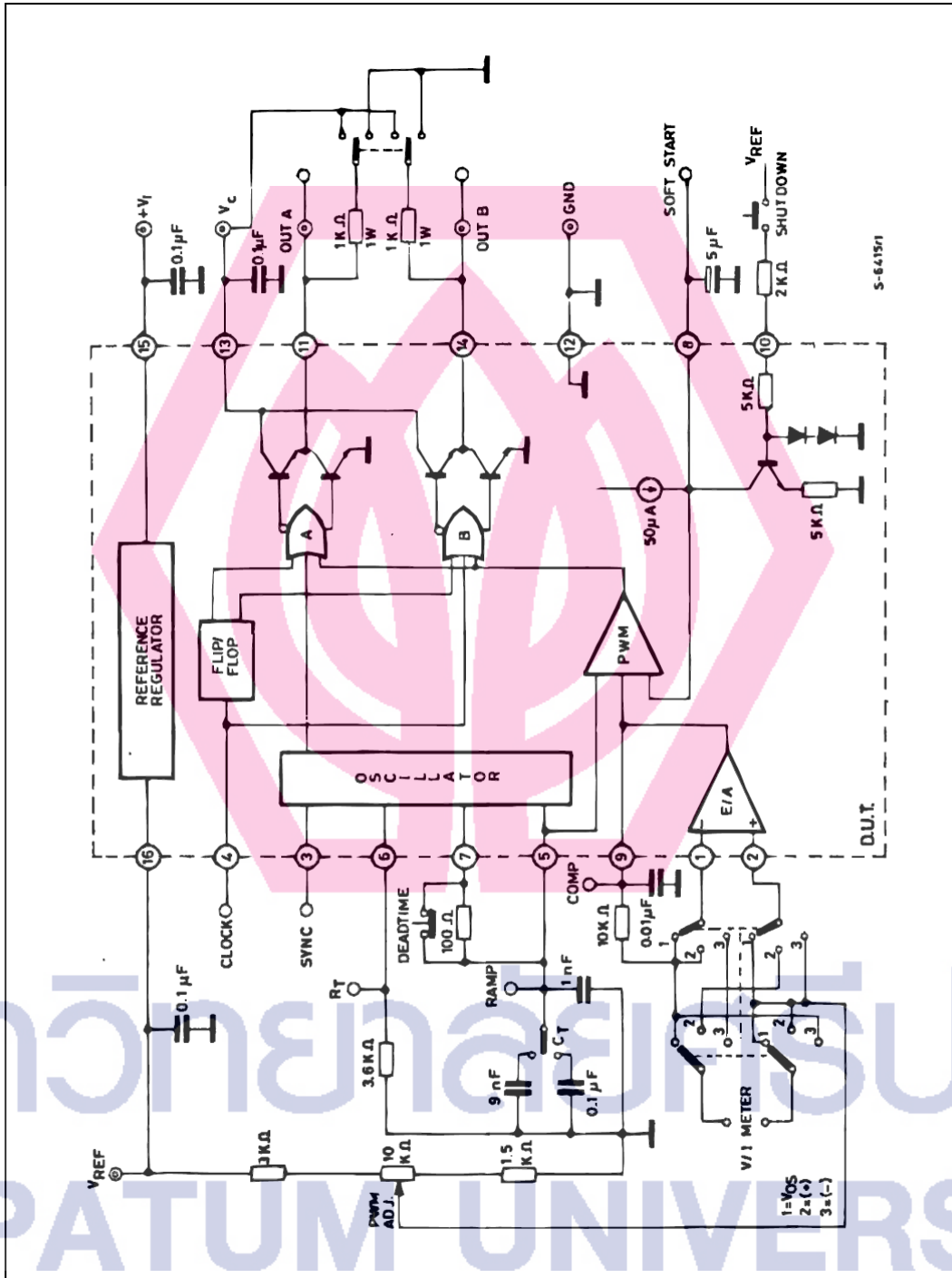
* These parameters, although guaranteed over the recommended operating conditions, are not 100 % tested in production.

• Tested at f_{osc} = 40 KHz (R_T = 3.6 KΩ, C_T = 10nF, R_D = 0 Ω). Approximate oscillator frequency is defined by :

$$f = \frac{1}{C_T(0.7 R_T + 3 R_D)}$$

■ DC transconductance (g_m) relates to DC open-loop voltage gain (G_v) according to the following equation : G_v = g_m R_L where R_L is the resistance from pin 9 to ground. The minimum g_m specification is used to calculate minimum G_v when the error amplifier output is loaded.

TEST CIRCUIT



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (•)

Parameter	Value
Input Voltage (V_i)	8 to 35 V
Collector Supply Voltage (V_C)	4.5 to 35 V
Sink/Source Load Current (steady state)	0 to 100 mA
Sink/Source Load Current (peak)	0 to 400 mA
Reference Load Current	0 to 20 mA
Oscillator Frequency Range	100 Hz to 400 KHz
Oscillator Timing Resistor	2 K Ω to 150 K Ω
Oscillator Timing Capacitor	0.001 μ F to 0.1 μ F
Dead Time Resistor Range	0 to 500 Ω

(•) Range over which the device is functional and parameter limits are guaranteed.

Figure 1 : Oscillator Charge Time vs. R_T and C_T .

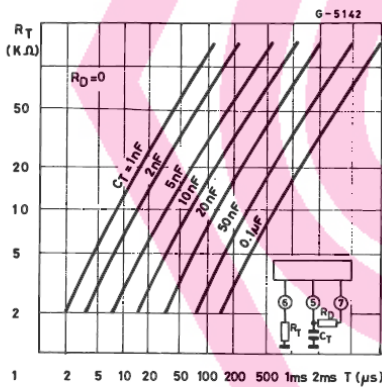


Figure 2 : Oscillator Discharge Time vs. R_D and C_T .

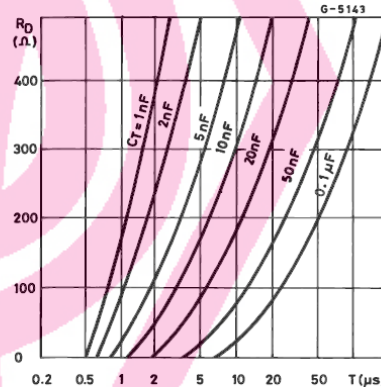


Figure 3 : Output Saturation Characteristics.

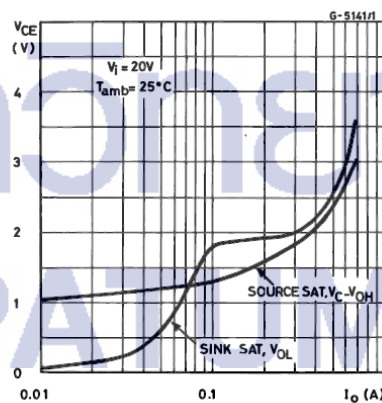


Figure 4 : Error Amplifier Voltage Gain and Phase vs. Frequency.

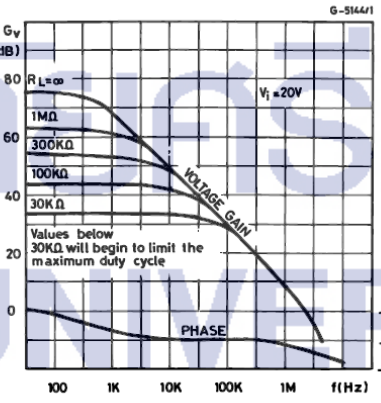
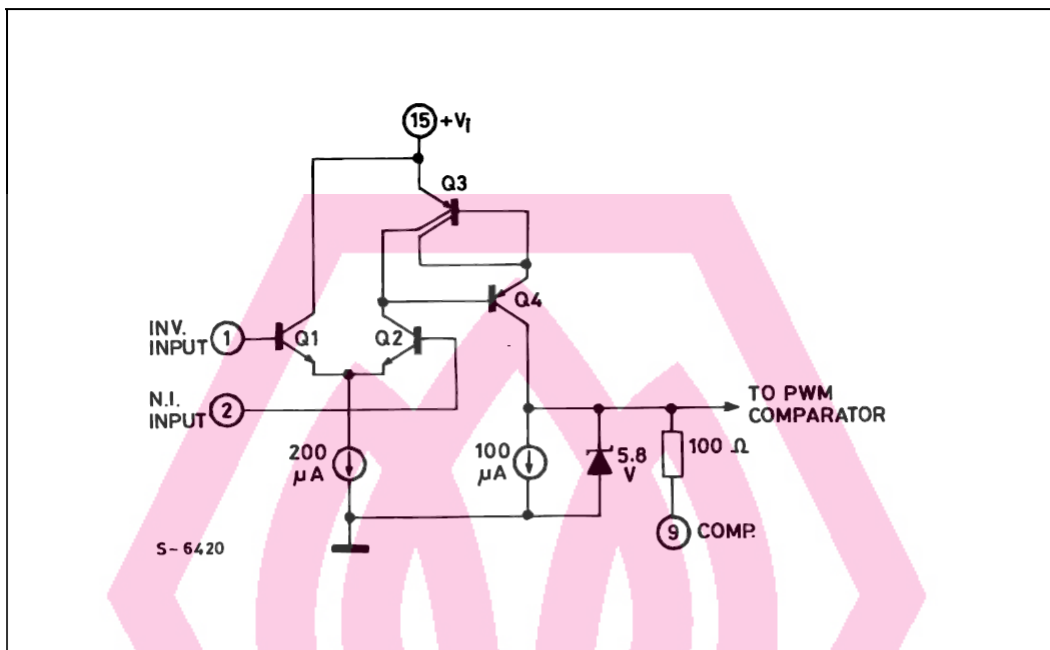


Figure 5 : Error Amplifier.



PRINCIPLES OF OPERATION

SHUTDOWN OPTIONS (see Block Diagram)

Since both the compensation and soft-start terminals (Pins 9 and 8) have current source pull-ups, either can readily accept a pull-down signal which only has to sink a maximum of 100 μA to turn off the outputs. This is subject to the added requirement of discharging whatever external capacitance may be attached to these pins.

An alternate approach is the use of the shutdown circuitry of Pin 10 which has been improved to enhance the available shutdown options. Activating this circuit by applying a positive signal on Pin 10 performs two functions : the PWM latch is immedi-

ately set providing the fastest turn-off signal to the outputs ; and a 150 μA current sink begins to discharge the external soft-start capacitor. If the shutdown command is short, the PWM signal is terminated without significant discharge of the soft-start capacitor, thus, allowing, for example, a convenient implementation of pulse-by-pulse current limiting. Holding Pin 10 high for a longer duration, however, will ultimately discharge this external capacitor, recycling slow turn-on upon release.

Pin 10 should not be left floating as noise pickup could conceivably interrupt normal operation.

Figure 6 : Oscillator Schematic.

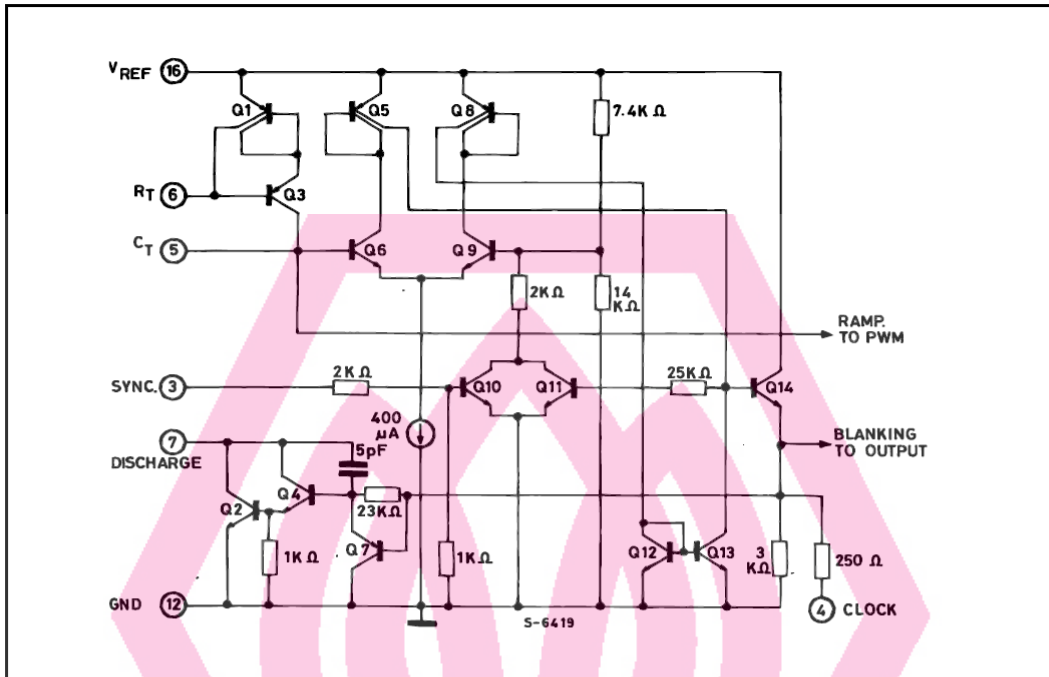


Figure 7 : Output Circuit (1/2 circuit shown).

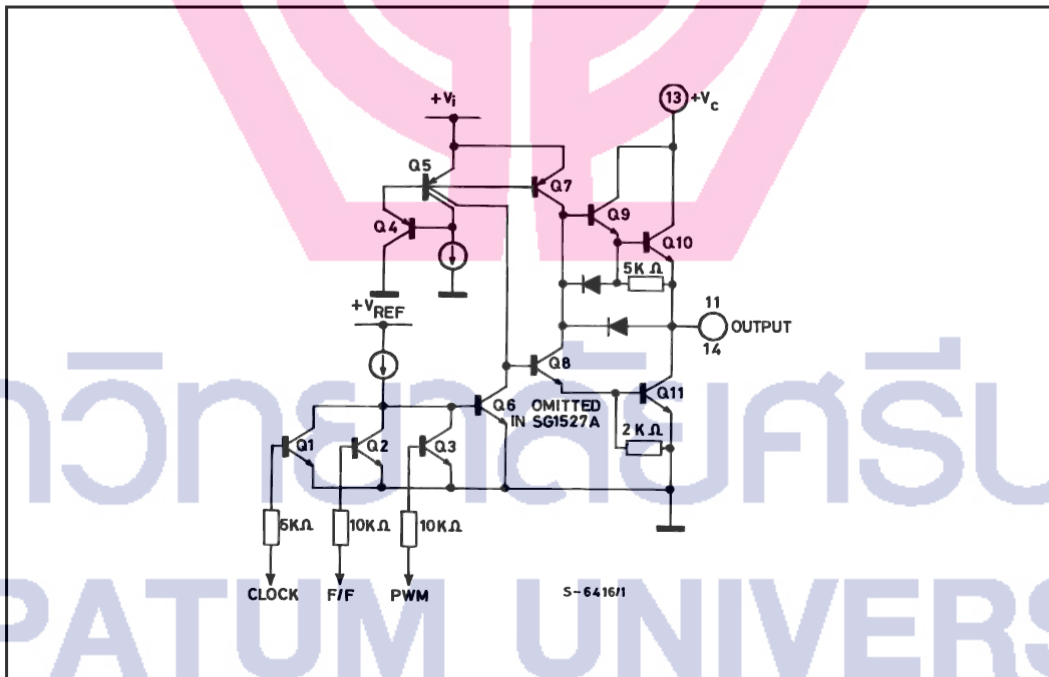
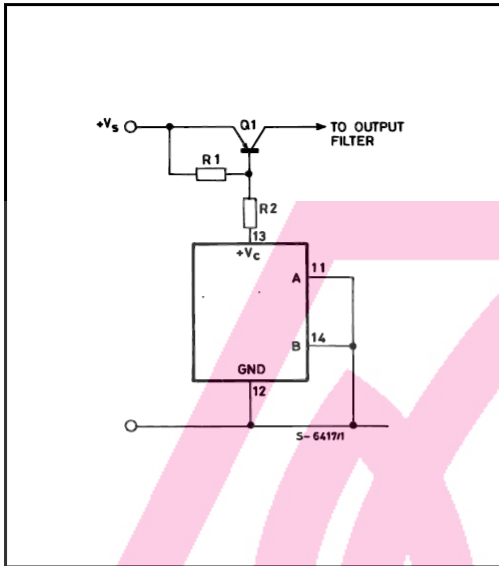
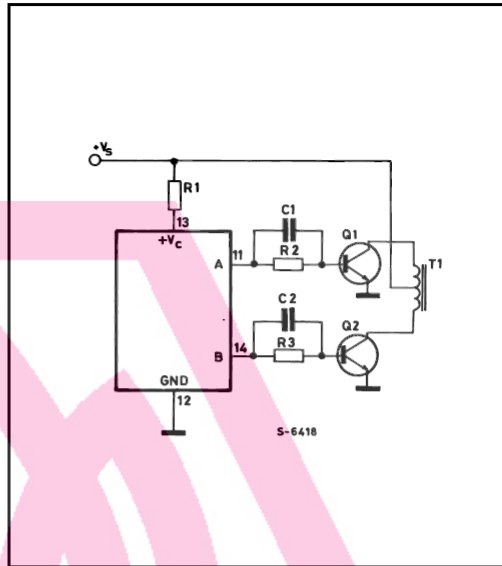


Figure 8.



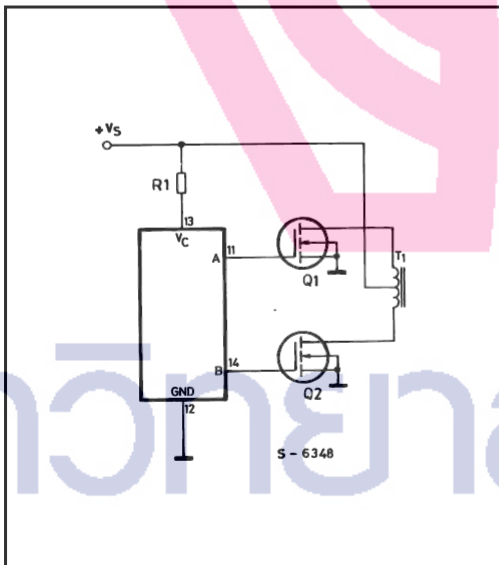
For single-ended supplies, the driver outputs are grounded. The V_C terminal is switched to ground by the totem-pole source transistors on alternate oscillator cycles.

Figure 9.



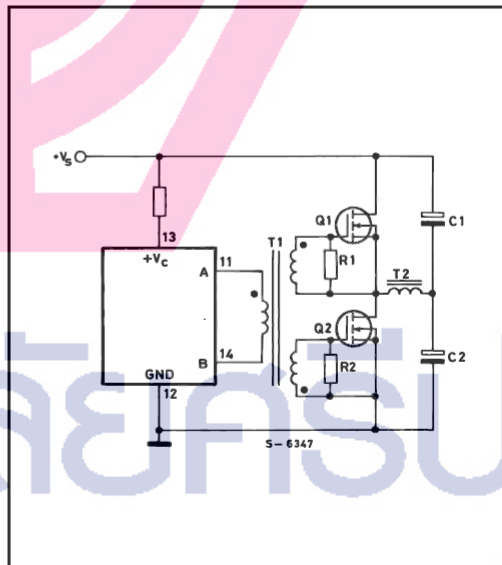
In conventional push-pull bipolar designs, forward base drive is controlled by $R_1 - R_3$. Rapid turn-off times for the power devices are achieved with speed-up capacitors C_1 and C_2 .

Figure 10.



The low source impedance of the output drivers provides rapid charging of Power Mos input capacitance while minimizing external components.

Figure 11.

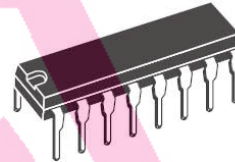


Low power transformers can be driven directly. Automatic reset occurs during dead time, when both ends of the primary winding are switched to ground.

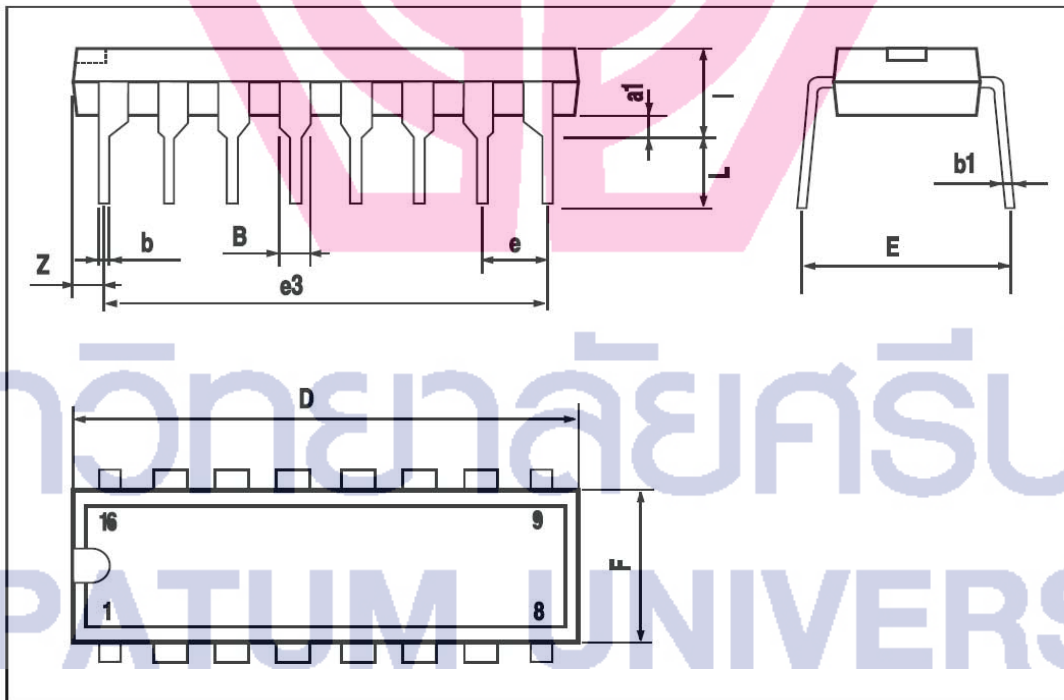
SG2525A-SG3525A

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

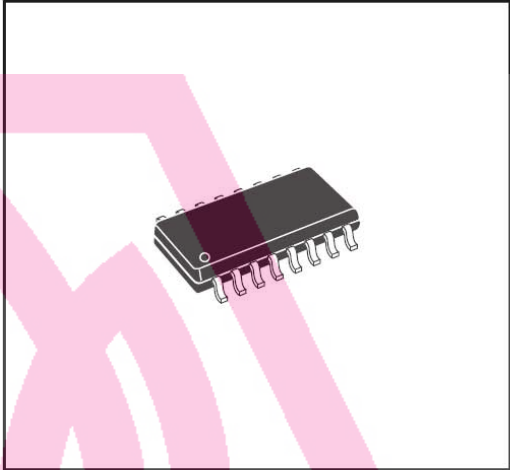


DIP16



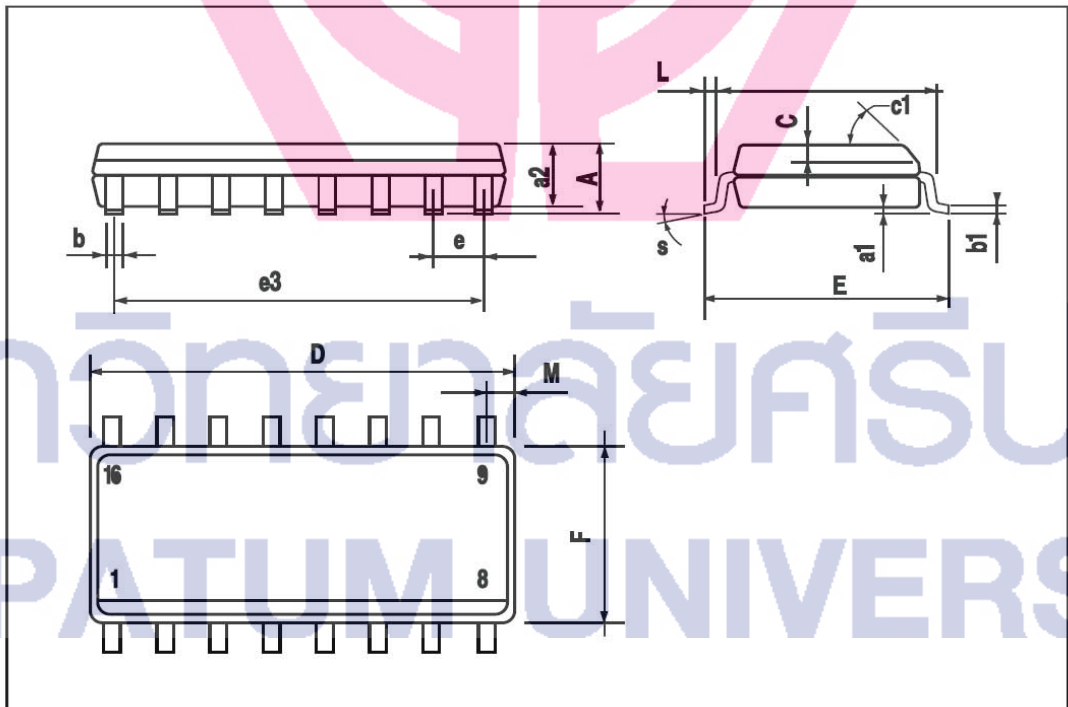
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F (1)	3.8		4	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.209
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8°(max.)					

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



SO16 Narrow

(1) D and F do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.006inch).





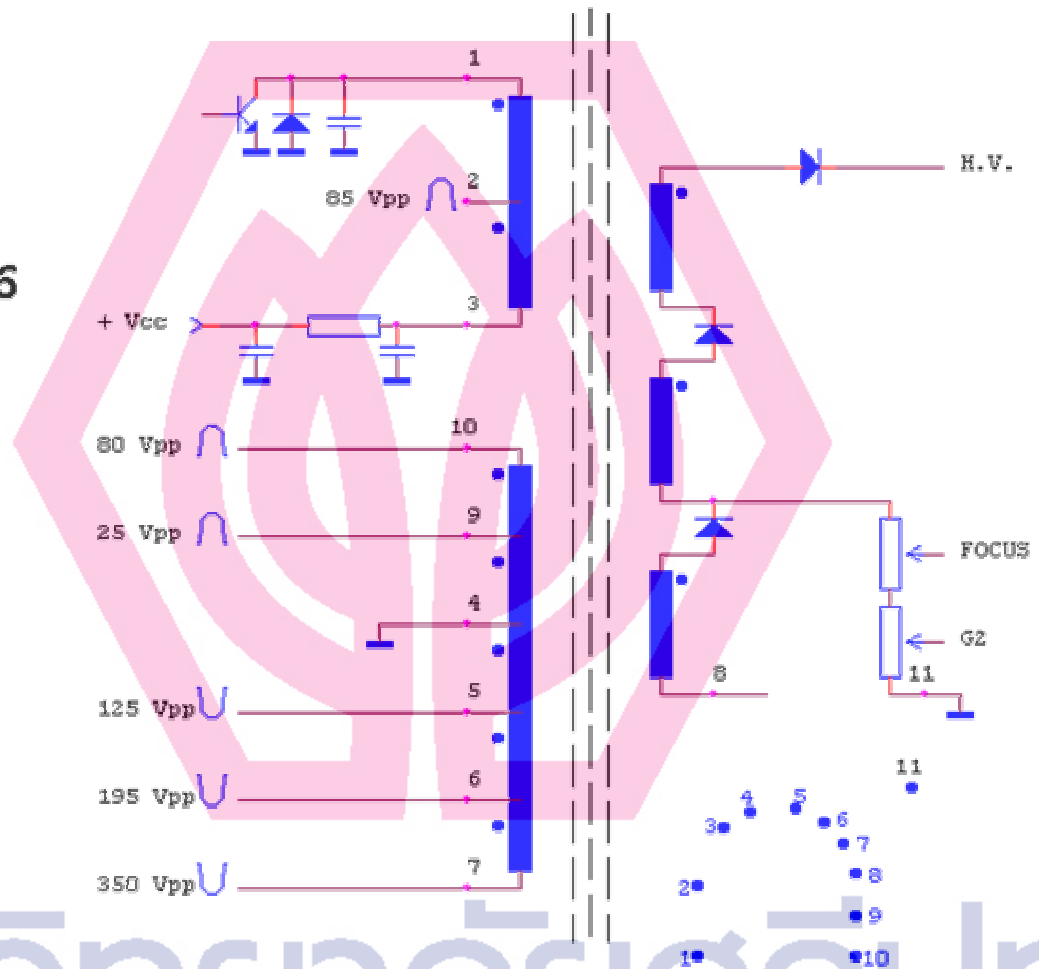
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUNIVERSITY

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.
<http://www.st.com>



HR 7906



INSTRUM.	MAT	+	COL	↓ A	↓ 1	↓ 2	↓ 3	TYPE
STVDST-01	21.4	3	1	8	11	4		90

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายธนภัทร พรหมวัฒนภักดี
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 15 เมษายน 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดกำแพงเพชร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 77/1 ถ.บัวจรัส ต.ลานหอย อ.บ้านด่านลานหอย จ.สุโขทัย 64140
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	B.Eng (Electrical Engineering) วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ. 2546	M.Eng (Energy Engineering) วศ.ม (วิศวกรรมพลังงาน) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY