# ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิตอลด้วยซีพีแอลดี

# The Sun Tracking System Using a CPLD-based Position Sensor

ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี* ● เอกชัย ดีศิริ*


## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์ แบบ 2 แนวแกน คือ แนวอัลติจูดและแนวอะซิมุธ โดยใช้หลักการบังเงาของฉากกั้น มีโฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ความสูงของฉากกั้นเป็นตัวกำหนดความไวหรือช่วงเวลาในการติดตาม ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้คือ สามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้ ซึ่งช่วงของการติดตามสามารถกำหนดได้จากการออกแบบความสูงของฉากกั้น ในอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงโดยไม่ต้องออกแบบวงจรเพิ่ม การวางตำแหน่งโฟโต้ทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์คลอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนว และเข้าหาตำแหน่งได้ทันทีเมื่อเริ่มใช้งาน อีกทั้งยังได้นำเทคโนโลยีของซีพีแอลดีมาใช้งาน เพื่อความสะดวกในการแก้ไขปรับปรุงเงื่อนไขและลดการสูญเสียพลังงานของวงจรติดตามดวงอาทิตย์ จากการทดสอบพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา หากคิดอัตราการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทุก 15 องศาต่อชั่วโมง แสดงว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ทุก 10 นาที มีผลตอบสนองทางเวลาของระบบประมาณ 35 องศาต่อวินาที มีค่าเวลาในการทำงานของระบบประมาณ 0.3 วินาที นอกจากนี้พบว่าในช่วงที่มีแดดแรงจัดความคลาดเคลื่อนจะลดลง



## Abstract

This research presents the 2 axes sun tracking system which are altitude and azimuth. The system uses the shade blocking of a screen that has the phototransistor as a detector of beam radiation. The sensitivity and period for tracking depends on a height of the screen. The good point of this sun tracker is the periodical tracking time is fixed, the period may be shorter or longer as it depends on a designed of a height of screen in the beam radiation detector equipment without additional circuit. The position of a phototransistor was designed cover 2 axes for detects a beam radiation and approaching to the aim immediately since the start of operated time. The new technologies of CPLD has been use to reduce a power consumptions and more flexible control for logic circuit decision of the sun tracking. From the tested found that the sun tracker set has an average deviation about 2.5 degree, from the calculation , the average sun moving rate will be at 15 degrees/hr, it significantly represent the sun tracker set could tracking in every 10 minutes which has a response time around 35 degrees/second and sensitivity for adjusting to the operation point around 0.3 second. However, the deviation is proportionally decreased in the strong sunlight time.


* อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

## 1. บทนำ

เทคนิคและวิธีการในการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง หากจำแนกตามวิธีการที่ใช้ในการติดตาม[4] สามารถจำแนกการควบคุมออกได้ 3 แบบ คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive controlled unit) เป็นระบบที่ปราศจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อาศัยการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลว มวลของของเหลวที่ถ่ายเทไปมาจะทำหน้าที่ยกแผงรับพลังงานให้เคลื่อนที่ไปเสมือนว่าเคลื่อนที่ตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะนี้คือไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ของแผงรับพลังงาน ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบอื่น ข้อเสียคือระบบมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ แบบที่สองระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม (Microprocessor controlled unit) เป็นระบบที่มีการควบคุมตำแหน่งการติดตามด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ อาจระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการหรืออาจทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ข้อดีคือมีความแม่นยำค่อนข้างสูงแต่มีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบค่อนข้างสูง และสุดท้ายเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุม (Electro-Optically controlled unit) อาศัยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยการตรวจจับรังสีตรงด้วยอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มแสง ซึ่งสามารถประยุกต์เอาคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ เช่น โฟโต้ไดโอด[1] โฟโต้ทรานซิสเตอร์ หรือแอลดีอาร์[2][5] เป็นต้น ส่วนสำคัญของเทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะนี้คือ ความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ระบบอาจไม่ทำงานเมื่อมีความเข้มของแสงน้อย เช่น เมื่อเกิดการบังเงาของเมฆ หรือในสภาพที่ท้องมืดครึ้ม อย่างไรก็ตามในงานบางอย่างอาจไม่จำเป็นต้องติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา การติดตามในลักษณะเป็นช่วงอาจได้ประโยชน์มากกว่าในแง่ของการประหยัดพลังงาน งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการสร้างระบบตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยการตรวจจับรังสีตรงด้วยหลักการวงจรดิจิตอลอีกทั้งยังได้นำเทคโนโลยีของซีพีแอลดีมาใช้งานเพื่อความสะดวกและลดการสูญเสียพลังงานของวงจรติดตามดวงอาทิตย์ใช้ ซึ่งเป็นวิธีการง่ายๆ และค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบค่อนข้างต่ำ

## 2. CPLD

CPLD (Complex Programmable Logic Device)[3] เป็นอุปกรณ์ที่ได้มีการออกแบบวงจรโครงสร้างภายในเป็นวงจรลอจิกพื้นฐานต่างๆ คือ AND Array, OR Array และ Macrocell ต่อกันอยู่เป็นกลุ่ม มีทั้งวงจรคอมบิเนชัน และซีเควนเชียล อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการออกแบบวงจรสูง คือ สามารถกำหนดโครงสร้างการทำงานภายใน CPLD ได้อย่างอิสระ โดย CPLD ถือว่าอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับ FPGA (Field Programmable Gate Array) จะต่างกันตรงที่ CPLD เมื่อทำการโปรแกรมแล้วข้อมูลจะไม่สูญหายแม้จะไม่มีไฟเลี้ยงจ่ายให้ก็ตาม ส่วน FPGA ข้อมูลที่ถูกโปรแกรมเข้าไปจะสูญหายเมื่อเราหยุดจ่ายไฟแต่ FPGA มีวงจรโครงสร้าง และฟังก์ชันการทำงานที่ซับซ้อนกว่า CPLD ซึ่งโดยทั่วไป FPGA จะถูกใช้เป็นต้นแบบในการสร้างหรือทดลองออกแบบไอซีต่างๆ ซึ่งผู้ออกแบบสามารถทำได้เองโดยไม่ต้องให้โรงงานผลิตไอซีทำให้ อีกทั้งในการตรวจสอบหรือการจำลองการทำงานยังทำได้ง่ายและยังมีเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนางานด้านนี้อีกมากมายเนื่องจาก CPLD สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้

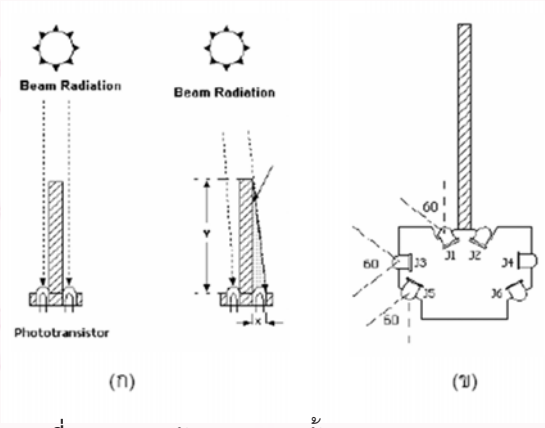
ตลอดแม้ไม่มีไฟเลี้ยงจ่ายให้และมีราคาที่ถูกกว่าของ FPGA ดังนั้นจึงค่อนข้างเหมาะสำหรับการนำมาใช้หรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงานที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เนื่องจากมีข้อจำกัดของจำนวนเกตและโครงสร้างภายในโดยมีจำนวนเกตและความซับซ้อนน้อยกว่า FPGA ทำให้การออกแบบวงจรรวมที่มีความซับซ้อนมาก ที่ต้องใช้เกตภายในจำนวนมากไม่ได้ อย่างไรก็ตามทั้ง FPGA และ CPLD ต่างก็มีวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาที่เหมือนกัน ดังนั้นเมื่อเราศึกษาการใช้งาน CPLD ให้เข้าใจอย่างดีแล้วก็จะสามารถใช้งาน FPGA ได้เช่นเดียวกัน

## 3. การออกแบบ

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการบังเงาในการตามรังสีตรงของดวงอาทิตย์ โดยมอเตอร์กระแสตรงทำหน้าที่ขับเคลื่อนชุดติดตาม อุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์สร้างจากโฟโต้ทรานซิสเตอร์ให้หันหน้าและตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ในส่วนของการออกแบบจะแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของวงจรตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ส่วนของวงจรขับมอเตอร์และส่วนของโครงสร้างทางกลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

### 3.1 อุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์

งานวิจัยนี้เลือกใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยอาศัยการตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์เป็นตัวบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ สำหรับการตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์แนวอัลติจูด การตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์อาศัยการบังเงาของฉากกั้นดังรูปที่ 1 (ก) โดยมีหลักการคือเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่รังสีตรงขนาน กับฉากกั้นโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะได้รับแสงและอยู่ในสภาวะ “ON” ทั้งคู่ และเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมฉากกั้นจะบังลำแสงทำให้เกิดเงาทำให้โฟโต้ทรานซิสเตอร์ที่ถูกบังจะอยู่ในสภาวะ “OFF” คือไม่นำกระแสหรือนำกระแสน้อยมาก กำหนดสภาวะที่โฟโต้ทรานซิสเตอร์ได้รับแสงซึ่งอยู่ในสภาวะ “ON” ให้มีสภาวะลอจิกเป็น “1” และกำหนดสภาวะที่โฟโต้ทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับแสงซึ่งอยู่ในสภาวะ “OFF” ให้มีสภาวะลอจิกเป็น “0” โฟโต้ทรานซิสเตอร์ ที่ใช้มีมุมรับแสงประมาณ 60 องศา ดังนั้นเพื่อให้การตรวจหาตำแหน่งดวงอาทิตย์คลอบคลุมตลอดแนวอัลติจูด จึงทำการออกแบบให้มีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมด 6 ตัว คือ J1,J2,J3,J4,J5 และ J6 ติดตั้งตามรูปที่ 1 (ข) ซึ่งการจัดวางโฟโต้ทรานซิสเตอร์ในลักษณะดังกล่าวจะทำให้ระบบสามารถติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้ทันทีไม่ว่าจะเริ่มต้นการใช้งานที่เวลาใดก็ตาม




**รูปที่ 1** (ก) การบังเงาของฉากกั้น
(ข) มุมรับแสง ตำแหน่งและหมายเลขของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

ความสูงของฉากกั้น (Y) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y = \frac{X}{\tan\theta} \qquad (1)$$

เมื่อ X คือ ระยะจากฉากกั้นจนถึงขอบของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

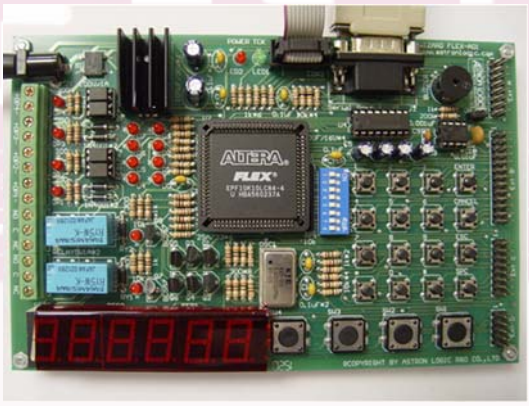
$\theta$ คือ มุมที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากแนวเดิมที่ทำให้เกิดเงา

ใช้หลักการวงจรดิจิตอลสร้างตารางความจริงได้ดังตารางที่ 1 และพีชคณิตบูลีนสามารถเขียนสมการบูลีนได้ตามสมการ (2) และ (3) และจากสมการสามารถสร้างวงจรลอจิกเกตได้ดังรูปที่ 2 โดยที่ Q1 และ Q2 คือเอาท์พุทของวงจรตรวจจับรังสีตรง ซึ่งจะเป็นสัญญาณขับมอเตอร์แนวอัลติจูด

สมการบูลีนที่สร้างขึ้น

$$Q_1 = J_1\bar{J}_2 + \bar{J}_2\bar{J}_3J_4 \qquad (2)$$

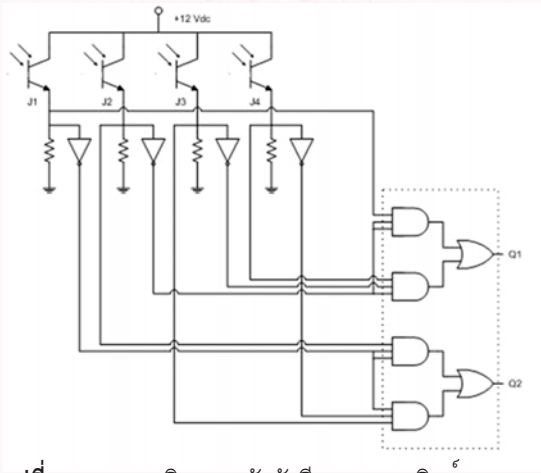
$$Q_2 = \bar{J}_1J_2 + \bar{J}_1\bar{J}_4J_3 \qquad (3)$$



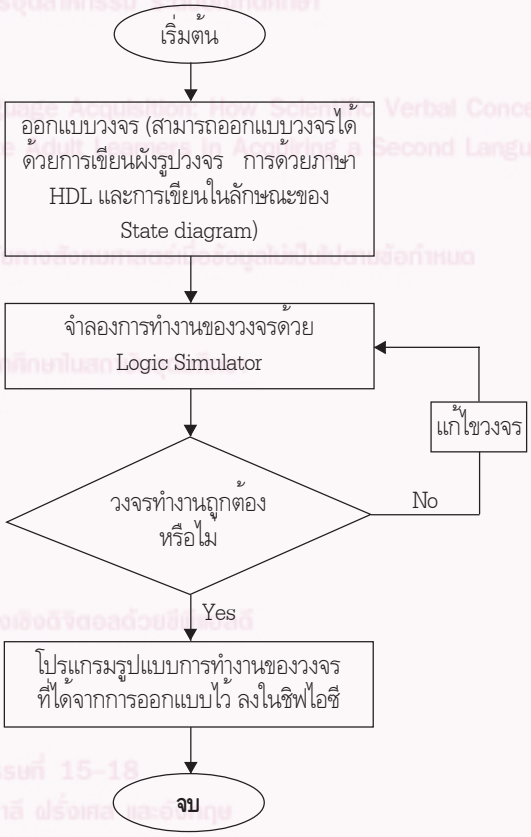
**รูปที่ 3** CPLD (Complex Programmable Logic Device)

**ตารางที่ 1** ตารางความจริงของวงจรตรวจจับรังสีตรง

| INPUT | | | | OUTPUT | |
|---|---|---|---|---|---|
| J1 | J2 | J3 | J4 | Q1 | Q2 |
| 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 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 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 |

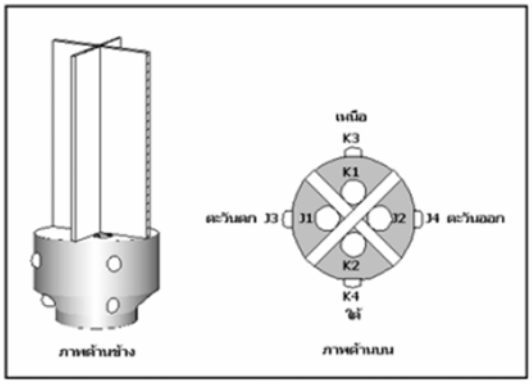



**รูปที่ 2** วงจรลอจิกตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์แนวอัลติจูด




**รูปที่ 4** โฟล์วชาร์ทแสดงขั้นตอนการออกแบบวงจรลอจิกภายใน

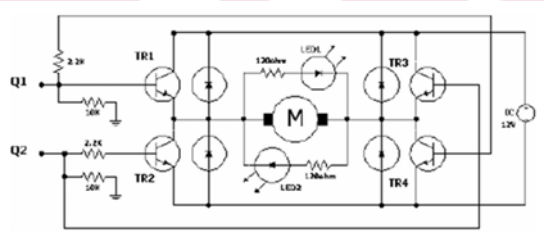
สำหรับในแนวอะซิมุธสามารถใช้หลักการเดียวกันในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบรังสีตรง ทำการออกแบบให้มีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ทั้งหมด 6 ตัว คือ K1,K2,K3, K4,K5 และ K6 ซึ่งจัดวางตำแหน่งในลักษณะเดียวกับอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์แนวอัลติจูดและสามารถรวมอุปกรณ์ตรวจจับทั้งสองแนวเป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ดังรูปที่ 5



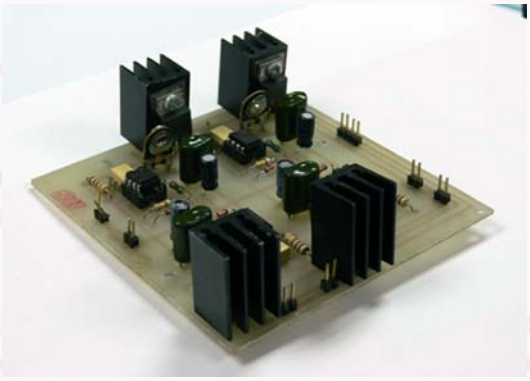

**รูปที่ 5** แสดงตำแหน่งและหมายเลขของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ตรวจสอบรังสีตรงของดวงอาทิตย์ทั้งสองแนว

### 3.2 วงจรขับมอเตอร์

ส่วนขับเคลื่อนของระบบติดตามดวงอาทิตย์จะใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนในสองแนวแกน คือ แนวอัลติจูดและแนวอะซิมุธ มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ มีการทดรอบด้วยเกียร์เฮดได้ความเร็วรอบสุดท้ายคือ 8 รอบต่อนาที ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ วงจรขับเคลื่อนแนวอัลติจูดและวงจรขับเคลื่อนแนวอะซิมุธ ซึ่งทั้งสองส่วนใช้วงจรขับเคลื่อนในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** วงจรขับมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ตามแนวอัลติจูด



**รูปที่ 7** วงจรขับมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ตามแนวอัลติจูด

### 3.3 โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างทางกลของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์หมายถึง อุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วยส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูดและแนวอะซิมุธ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด

ประกอบไปด้วยเบ้าโลหะรูปตัว T ซึ่งประยุกต์จากข้อต่อโลหะสามทางและตลับลูกปืนพร้อมแกนหมุน โดยมีเหล็กพับฉากสำหรับติดตั้งตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนโดยมีฟันเฟืองอัตราทดที่ 1:1 ใส่ที่แกนหมุนและเพลาของมอเตอร์ดังรูปที่ 8(ก)

**3.3.2 ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมุธ**

ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นท่อโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. ใส่ตลับลูกปืนที่หัว-ท้ายพร้อมแกนหมุน ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนโดยมีฟันเฟืองอัตราทด 1:1 ใส่ที่แกนหมุนและเพลาของมอเตอร์ดังรูปที่ 8(ข)

(ก) (ข)

**รูปที่ 8** โครงสร้างทางกล (ก) ส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด (ข)ส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมุธ

**รูปที่ 9** โครงสร้างทางกลรวมเมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

## 4. การทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์

การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบไว้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ การทดสอบผลการตอบสนองทางเวลาและความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์

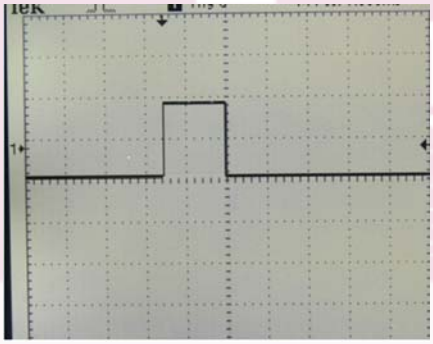
### 4.1 การทดสอบผลการตอบสนองทางเวลา

การทดสอบทำโดยนำระบบของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มาทดสอบการติดตามของแสงไฟของหลอดไฟชนิดหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ ทำการทดสอบนี้เพื่อดูผลของเวลาที่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้ในการติดตามตำแหน่งของดวงไฟเมื่อมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง ตามตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ตารางบันทึกผลการทดลอง

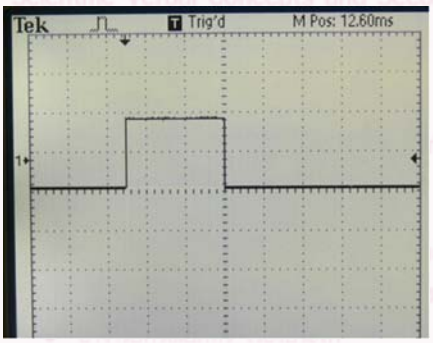
| ตำแหน่งหลอดไฟ | ความไว | ค่าการตอบสนอง |
|---|---|---|
| 15 องศา | 0.3 วินาที | 0.40 วินาที |
| 45 องศา | 0.3 วินาที | 1.35 วินาที |
| 90 องศา | 0.3 วินาที | 2.40 วินาที |

จากการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อดูผลตอบสนองทางเวลาของระบบ พบว่ามีการตอบสนองทางเวลาที่ดี เฉลี่ยอยู่ที่ 35 องศา ต่อวินาที และมีค่าความไวในการเข้าหาจุดทำงาน 0.3 วินาที



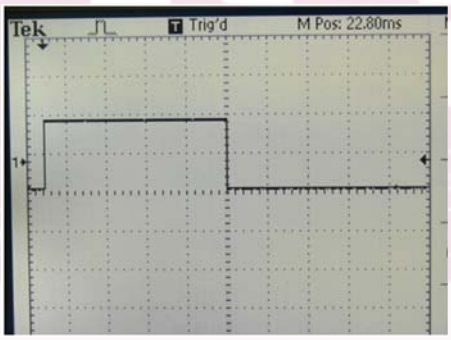
Y-axis Voltage : 5 Volt/Div
X-axis Time : 0.25 /Div

**รูปที่ 10** ภาพสัญญาณที่ขั้วของมอเตอร์เมื่อวัดด้วยออสซิลโลสโคป ขณะทดลองตำแหน่งดวงไฟที่มุม 15 องศา




Y-axis Voltage : 5 Volt/Div
X-axis Time : 0.25 /Div

**รูปที่ 11** ภาพสัญญาณที่ขั้วของมอเตอร์เมื่อวัดด้วยออสซิลโลสโคป ขณะทดลองตำแหน่งดวงไฟที่มุม 45 องศา




Y-axis Voltage : 5 Volt/Div
X-axis Time : 0.25 /Div

**รูปที่ 12** ภาพสัญญาณที่ขั้วของมอเตอร์เมื่อวัดด้วยออสซิลโลสโคป ขณะทดลองตำแหน่งดวงไฟที่มุม 90 องศา

### 4.2 การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์

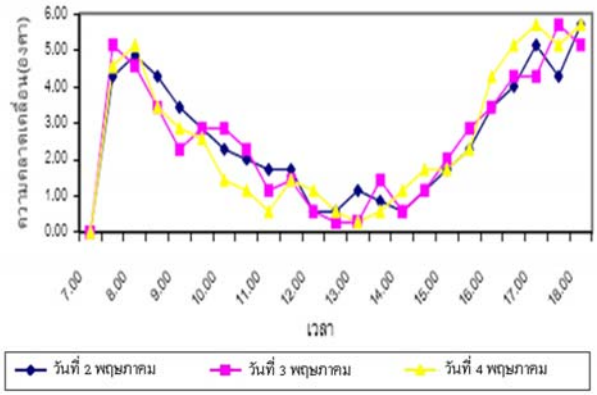
การทดสอบกระทำโดยนำเครื่องติดตามดวงอาทิตย์มาทดสอบการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องตลอดวัน ภายใต้เงื่อนไขสภาพท้องฟ้าที่เป็นแบบฟ้าใส การทดสอบนี้เพื่อทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมานี้สามารถใช้งานได้จริงหรือไม่และระบบมีความคลาดเคลื่อนในการติดตามเท่าใด

**รูปที่ 13** แสดงภาพขณะทดสอบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 13 เป็นการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบสภาพการทำงานจริงและความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 3 วัน คือ วันที่ 2, 3 และ 4 พฤษภาคม 2549 ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบวันฟ้าใส (Clear Sky) กล่าวคือ มีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน พบว่าระบบสามารถติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้ดีมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในช่วงที่มีแดดจัดประมาณ 0.3 องศา และมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดขณะที่มีแสงแดดอ่อนๆ ประมาณ 5.7 องศา

## 5. สรุป

จากการทดสอบระบบติดตามดวงอาทิตย์ ที่สร้างขึ้น พบว่ามีผลตอบสนองทางเวลาของระบบประมาณ 35 องศาต่อวินาที และเมื่อทดสอบความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ พบว่าเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ที่ออกแบบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2.5 องศา หากคิดอัตราการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ 15 องศาต่อชั่วโมง ก็แสดงว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์เฉลี่ยทุก 10 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณแสง การวางตำแหน่งของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ และความคลาดเคลื่อนจากเฟืองทดในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลาที่แดดแรงจัดความคลาดเคลื่อนจะมีค่าลดลง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบที่ออกแบบสามารถใช้งานได้ดีในงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มากนัก สามารถค้นหาตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้ทันทีที่เริ่มใช้งาน ข้อดีของหลักการของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์นี้ คือ สามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะเป็นช่วงได้ ซึ่งช่วงเวลาอาจสั้นหรือมากกว่านี้ ขึ้นกับการออกแบบความสูงของฉากกั้นในอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ ซึ่งจะต้องทำการศึกษามุมหรือช่วงที่เหมาะสมที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยที่ระบบใช้พลังงานน้อยที่สุดต่อไปต่อไป




**รูปที่ 14** ค่าความคาดเคลื่อนเมื่อทดสอบการทำงานเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ ภายใต้ลักษณะท้องฟ้าแบบฟ้าใส

## เอกสารอ้างอิง


A. Konar, M Phil and A.K. Mandal. **Microprocessor baseautomatic sun tracker.** IEE Proceedings-A 1991;138(4).

B. Koyunc and K.Balasubramanian. **A Microprocessor Controlled Automatic Sun Tracker.** IEEE Photovoltaic Specialists Conference 23rd 1991; August: 913-917.

Jame W. Stewart and Chao-Ying Wang. **CPLD Foundation Design and Simulation Software.** Prentice-Hall, 2001.

P.Roth , A. Georgiev and H. Boudinov. **Design and construction of a system for sun-tracking.** Renewable Energy 29 (2004) 393-402.

Soteris A. Kalogirou. **Design and Construction of A One-Axis Sun-Tracking.** Solar Energy 1996; 57(6): 465-469.