ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

# บทที่ 3

# วิธีการวิจัย

วิธีการในการวิจัยเพื่อการศึกษาและประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดคาบและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเพนดูลัม ซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุอุปกรณ์และมีวิธีการดำเนินการโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาและประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมมีดังต่อไปนี้

1. โลหะตันสำหรับใช้ทดลองหาจุดศูนย์กลางมวล

1.1 รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.16 เซนติเมตร ความยาว 4.83 เซนติเมตร มวล 298.90 กรัม

1.2 รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73 เซนติเมตร ความยาว 3.12 เซนติเมตร มวล 614.10 กรัม

1.3 รูปทรงหกเหลี่ยม ขนาดกว้าง 4.10 เซนติเมตร ความสูง 2.90 เซนติเมตร มวล 321.80 กรัม

1.4 แผ่นจานกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73 เซนติเมตร ความหนา 1.00 เซนติเมตร มวล 203.80 กรัม

1.5 แผ่นจานกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73 เซนติเมตร ความหนา 1.73 เซนติเมตร มวล 351.70 กรัม

1.6 แท่งโลหะกว้าง 1.25 เซนติเมตร ความยาว 45.50 เซนติเมตร มวล 166.00 กรัม

2. พลาสติกทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.49 เซนติเมตร มวล 47.50 กรัม

3. พลาสติกทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.1 เซนติเมตร มวล 20.15 กรัม

4. เชือก

# บทที่ 3

# วิธีการวิจัย

วิธีการในการวิจัยเพื่อการศึกษาและประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดคาบและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเพนดูลัม ซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุอุปกรณ์และมีวิธีการดำเนินการโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาและประยุกต์ใช้งานการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมมีดังต่อไปนี้

1. โลหะตันสำหรับใช้ทดลองหาจุดศูนย์กลางมวล

1.1 รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.16 เซนติเมตร ความยาว 4.83 เซนติเมตร มวล 298.90 กรัม

1.2 รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73 เซนติเมตร ความยาว 3.12 เซนติเมตร มวล 614.10 กรัม

1.3 รูปทรงหกเหลี่ยม ขนาดกว้าง 4.10 เซนติเมตร ความสูง 2.90 เซนติเมตร มวล 321.80 กรัม

1.4 แผ่นจานกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73 เซนติเมตร ความหนา 1.00 เซนติเมตร มวล 203.80 กรัม

1.5 แผ่นจานกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73 เซนติเมตร ความหนา 1.73 เซนติเมตร มวล 351.70 กรัม

1.6 แท่งโลหะกว้าง 1.25 เซนติเมตร ความยาว 45.50 เซนติเมตร มวล 166.00 กรัม

2. พลาสติกทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.49 เซนติเมตร มวล 47.50 กรัม

3 พลาสติกทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.1 เซนติเมตร มวล 20.15 กรัม

4. เชือก

## 3.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาและประยุกต์ใช้การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม สามารถแยกพิจารณาได้ตามขั้นตอนของวิธีดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการออกแบบระบบฮาร์ดแวร์เพื่อเชื่อมโยงชุดการทดลองเข้ากับคอมพิวเตอร์ และขั้นตอนการเขียนโปรแกรม โดยพิจารณาได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

1.1 อุปกรณ์สำหรับการออกแบบวงจรที่ใช้ในการตรวจจับและแปลงสัญญาณ

1. ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง(Light Dependent Resistor : LDR) จำนวน 1 ตัว
2. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
3. ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่ขนาด 1 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว ขนาด 5.6 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
4. ตัวเก็บประจุขนาด 0.1 ไมโครฟาราด จำนวน 1 ตัว
5. ไดโอดแปล่งแสง(Light Emitting Diode : LED) จำนวน 1 ตัว
6. เลนส์รวมแสง 1 อัน
7. ไอซีเบอร์ LM311 จำนวน 1 ตัว
8. แหล่งจ่ายไฟ $\pm 5$ โวลต์
9. สายไฟ
10. มัลติมิเตอร์สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า
11. ขาตั้งพร้อมที่จับ

1.2 บอร์ด CP-JR6811

บอร์ด CP-JR6811 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดยบริษัท อีทีที จำกัด โดยใช้ซีพียู 68SEC811E2 ของโมโตโรลา ซึ่งมีขนาด 8 บิต และออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กกระทัดรัดและใช้งานได้ง่าย สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมที่เขียนขึ้นใส่เข้าไปในตัวซีพียูได้เอง โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม ทำให้มีความสะดวกในการพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง และยังเป็นบอร์ดที่รวบรวมอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ในตัวเอง เช่น พอร์ตอินพุต-เอาต์พุต วงจรตั้งเวลา ตัวนับระบบการอินเตอร์รัปต์หน่วยความจำรอม แรม และอีอีพรอม วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอล

(ADC) และส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม(Serial Communication Interface : SCI) ซึ่งรายละเอียดของบอร์ดสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

1.3 สายเชื่อมต่อสัญญาณ RS232

การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตสื่อสารอนุกรมระหว่างบอร์ด CP-JR6811 กับ พอร์ต COM1 หรือ COM2 ของไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการจัดรูปแบบในลักษณะฟูลดูเพล็กซ์แบบอะซิงโครนัส (Full-duplex asynchronous)ตามมาตรฐาน NRZ(non-return-to-zero) คือ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต บิตข้อมูล 8 หรือ 9 บิต และบิตหยุด 1 บิต โดยวงจรที่เกี่ยวข้องกับการรับ-ส่งข้อมูลทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม จะใช้ไอซี U4 ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนระดับสัญญาณ(line driver) ซึ่ง RS232 สามารถรับ-ส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ได้ในระยะทางประมาณ 50 ฟุต

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

2.1 โปรแกรม Microsoft Visual Basic Version 6.0 ของบริษัท Microsoft จำกัด เป็นโปรแกรมที่ใช้พัฒนาซอฟร์แวร์ในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ การควบคุมการทดลอง และการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2.2 โปรแกรม Sbasic ใช้พัฒนาโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของบอร์ด CP-JR6811 ในส่วนของฮาร์ดแวร์

## 3.3 วิธีดำเนินการ

ในการศึกษาและประยุกต์ใช้การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม ในครั้งนี้แบ่งวิธีดำเนินการออกเป็น4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์สำหรับวัดคาบและความเร็วของเพนดูลัม

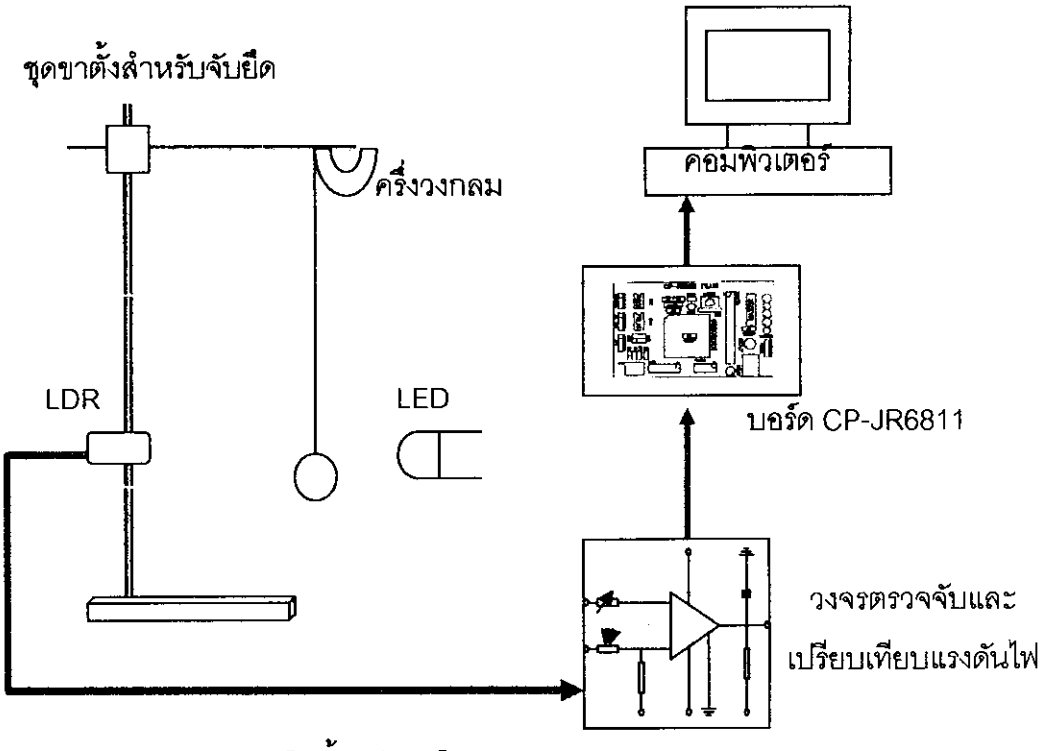
ตอนที่ 2 การเขียนโปรแกรม

ตอนที่ 3 การทดลองหาคาบและความเร็วของเพนดูลัมอย่างง่ายเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี

ตอนที่ 4 การประยุกต์ใช้เพนดูลัมในการหาจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ

**ตอนที่ 1 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์สำหรับวัดคาบและความเร็วของเพนดูลัม**

ในขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบวงจรสำหรับใช้ตรวจวัดคาบและความเร็วของการเคลื่อนที่ โดยใช้ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง ซึ่งความต้านทานของตัวต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแสงมาตกกระทบเป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดที่ไปตกกระทบ ซึ่งจะใช้ LED ที่ให้แสงสีแดงเนื่องจากตัวต้านทานแปรค่าตามแสงจะตอบสนองได้ดีที่สุดกับแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งจะอยู่ที่ขอบของสเปกตรัมสีแดงแต่สัญญาณที่ได้ยังไม่เหมาะสมในการนำไปประมาลผลจึงต้องแปลงสัญญาณที่ได้ก่อน และเนื่องจากหากใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิตอล(ADC)ที่มีอยู่ในตัวของบอร์ด CP-JR6811 จะต้องเสียเวลาจากการเปลี่ยนลอจิกที่บิต CSEL ประมาณ 10 มิลลิวินาที ซึ่งในการวัดคาบการเคลื่อนที่ต้องการความละเอียดของข้อมูลมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ LM311 ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณที่ได้จากตัวต้านทานแปรค่าตามแสงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม โดยจะแปลงสัญญาณออกมาเป็นพัลส์(Pulse)ก่อน แล้วจึงส่งไปประมวลผลโดยบอร์ด CP-JR6811 ซึ่งจะใช้ขา TIC2 และ TIC3 ในการตรวจจับสัญญาณขาขึ้นและขาลงของพัลส์ที่ส่งมา โดยสามารถแสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ทดลองดังภาพประกอบ 7

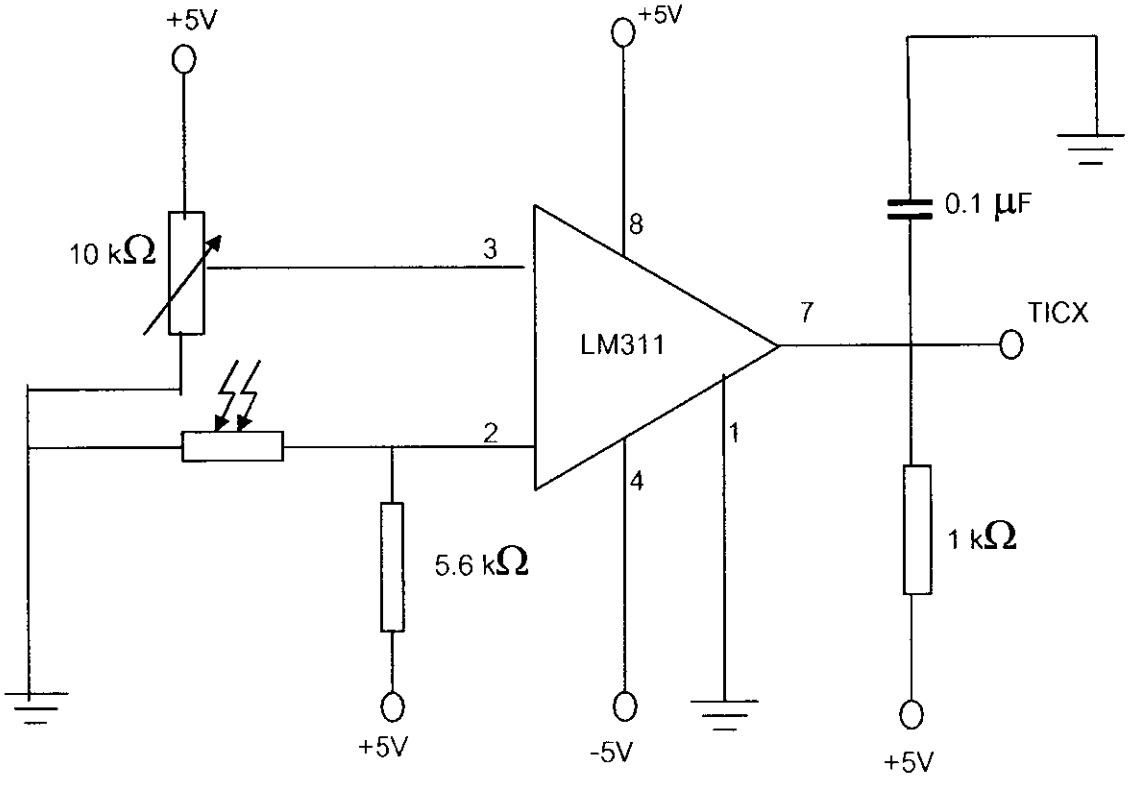



ภาพประกอบ 7 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

ซึ่งสามารถแสดงองค์ประกอบและหลักการทำงานของอุปกรณ์การทดลองดังนี้

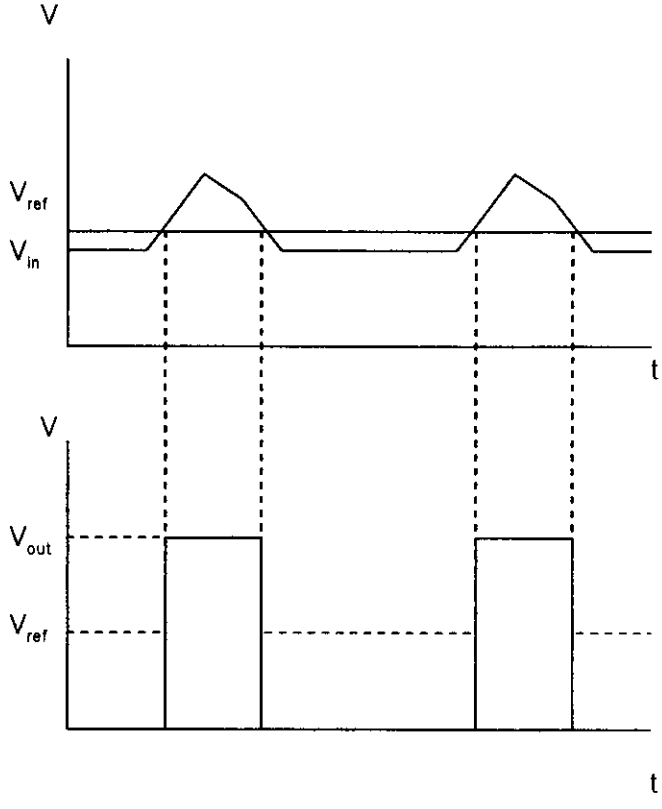
1.1 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณจากตัวตานทานแปรค่าตามแสง

ในการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณจะใช้คุณสมบัติของตัวต้านทานแปรค่าตามแสง ซึ่งจะมีความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแสงมาตกกระทบเป็นตัวตรวจจับ โดยเมื่อให้เพนดูลัมเคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสงที่ตกบนตัวต้านทานแปรค่าตามแสง จะทำให้ความต้านทานของตัวต้านทานเปลี่ยนไป แรงดันไฟฟ้าจึงเกิดความแตกต่างกันระหว่างขณะที่มีแสงตกกระทบบนตัวต้านทานกับขณะที่ลำแสงถูกเพนดูลัมตัดผ่าน แต่เนื่องสัญญาณที่ได้และจากนั้นก็เปลี่ยนสัญญาณที่ได้ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมโดยใช้ไอซีเบอร์ LM311 ซึ่งมีจะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตัวต้านทานแปรค่าได้กับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ โดยหากแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแปรค่าตามแสงต่ำกว่าที่กำหนดก็จะมีแรงดันเอาต์พุต(output)เป็น 0 โวลต์ และถ้าแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแปรค่าตามแสงมีค่ามากกว่าแรงดันเปรียบเทียบก็จะให้แรงดันเอาต์พุตเป็น 5 โวลต์ โดยลักษณะการต่อวงจรแสดงดังภาพประกอบ 8




ภาพประกอบ 8 แสดงวงจรตรวจจับและแปลงสัญญาณโดยการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

จากภาพประกอบ 8 ทดลองหาค่าแรงดันอ้างอิงซึ่งจะใช้เป็นแรงดันเปรียบเทียบ โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแปรค่าตามแสง ซึ่งจะพบว่าสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแปรค่าตามแสงเปลี่ยนแปลง เมื่อลำแสงที่ตกกระทบตัวต้านทานถูกเพนดูลัมตัดผ่าน และสัญญาณที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับคาบของการเคลื่อนที่ของเพนดูลัม แต่เนื่องจากลักษณะของสัญญาณที่ได้ไม่เรียบสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องแปลงสัญญาณที่ได้ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมโดยใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าช่วย ดังนั้นจึงต้องหาค่าแรงดันอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบในการแปลงสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นรูปพัลส์และมีคาบตรงกับคาบของการเคลื่อนที่ของเพนดูลัม ทั้งนี้ในการหาค่าแรงดันอ้างอิงสามารถทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม ซึ่งสามารถพิจารณาลักษณะของสัญญาณได้จากภาพประกอบ 9




ภาพประกอบ 9 แสดงสัญญาณที่ได้จากตัวต้านทานแปรค่าตามแสงและสัญญาณเอาต์พุต

เมื่อ $V_{ref}$ = แรงดันอ้างอิง

$V_{in}$ = แรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแปรค่าตามแสง

$V_{out}$ = แรงดันเอาต์พุต

จากภาพประกอบ 9 เมื่อกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงที่เหมาะสมก็จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ซึ่งมีความเรียบสม่ำเสมอ และให้คาบที่สอดคล้องกับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการตัดผ่านลำแสงที่ตกกระทบตัวต้านทานแปรค่าตามแสงของเพนดูลัม และความกว้างของพัลส์ที่ได้สามารถจะนำไปคำนวณหาความเร็วของเพนดูลัมที่ตำแหน่งสมดุลได้

1.2 การเชื่อมโยงกับวงจรตรวจจับและแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากับบอร์ด CP-JR6811 (ชัยวัฒน์, 2538 : 174-183)

การเชื่อมโยงส่วนเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับบอร์ด CP-JR6811 ทำได้โดยการใช้สายไฟเชื่อมขาสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเบอร์ LM311 กับขา TIC2 และ TIC3 ของบอร์ด ซึ่งจะทำหน้าที่คอยตรวจจับสัญญาณขาขึ้นและขาลงของสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า โดยการกำหนดค่ารีจีสเตอร์(register)ที่เกี่ยวข้องในตัวตั้งเวลาโปรแกรมได้ ซึ่งรายละเอียดของรีจีสเตอร์ต่างๆสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

**ตอนที่ 2 การเขียนโปรแกรม**

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดลองและจัดเก็บข้อมูลของงานวิทยานิพนธ์นี้ จะแบ่งโปรแกรมที่ใช้งานออกเป็น 2 ส่วนคือ

2.1 โปรแกรมส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานของบอร์ด CP-JR6811 เพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรมSbasic ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ข หัวข้อที่ 1

2.2 โปรแกรมส่วนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Visual Basic ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ข หัวข้อที่ 2

**ตอนที่ 3 การทดลองหาคาบและความเร็วของเพนดูลัมอย่างง่ายเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี**

สำหรับในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองวัดคาบและความเร็วของเพนดูลัมอย่างง่ายโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทดลองคู่กับคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่แสดงผลและจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งมีวิธีดำเนินการดังนี้

3.1 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งประกอบไปด้วยชุดขาตั้งพร้อมแขนสำหรับแขวนลูกตุ้มเพนดูลัม วงจรตรวจจับและแปลงสัญญาณโดยการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า LED พร้อมเลนส์รวมแสงเพื่อโฟกัสแสงให้เป็นลำไปตกกระทบบนตัวต้านทานแปรค่าตามแสง ครึ่งวงกลมสำหรับวัดมุม และติดตั้งอุปกรณ์ต่างดังภาพประกอบ 7 เมื่อทำการทดลอง LED จะส่งแสงไปตกกระทบบน LDR ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวที่ให้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่มีความสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมอย่างง่าย โดยในการติดตั้งจะต้องให้ลำแสงตกกระทบบน LDR พอดีและในขณะที่เพนดูลัมเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งต่ำที่สุดหรือตำแหน่งสมดุลลำแสงที่ตกกระทบบน LDR จะถูกตัดผ่านทำให้ความต้านทานของ LDR เปลี่ยนไปจากเดิม โดยเมื่อสัญญาณที่เกิดขึ้นถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า วงจรก็จะเปลี่ยนสัญญาณที่ได้ให้เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเรียบและเป็นพัลส์ที่มีคาบตรงกับคาบของเพนดูลัมที่กำลังทดลอง

3.2 ทำการทดลองโดยป้อนข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความยาวของเส้นเชือก
- มุมเริ่มต้น
- ความกว้างของวัสดุที่ใช้ตัดลำแสง

ซึ่งโปรแกรมจะนำข้อมูลที่ใส่ให้ไปคำนวณหา คาบ และความเร็วที่ตำแหน่งสมดุล ตามทฤษฎีเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดลอง โดยในการทดลองจะเริ่มทดลองที่มุม 5 องศา จากนั้นจะทำการเพิ่มขนาดของมุมเริ่มต้นให้โตขึ้นเรื่อยๆครั้งละ 5 องศาจนถึงมุม 90 องศา ทำการบันทึกค่าคาบของการเคลื่อนที่ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และความเร็วที่ตำแหน่งสมดุลที่ได้จากการทดลอง โดยความเร็วที่ตำแหน่งสมดุลโปรแกรมสามารถคำนวณจากความกว้างของวัตถุที่ใช้ตัดลำแสงหารด้วยความกว้างของพัลส์ที่วัดได้

3.3 เปลี่ยนขนาดความยาวของแขนของเพนดูลัมแล้วทดลองซ้ำตามข้อ 2

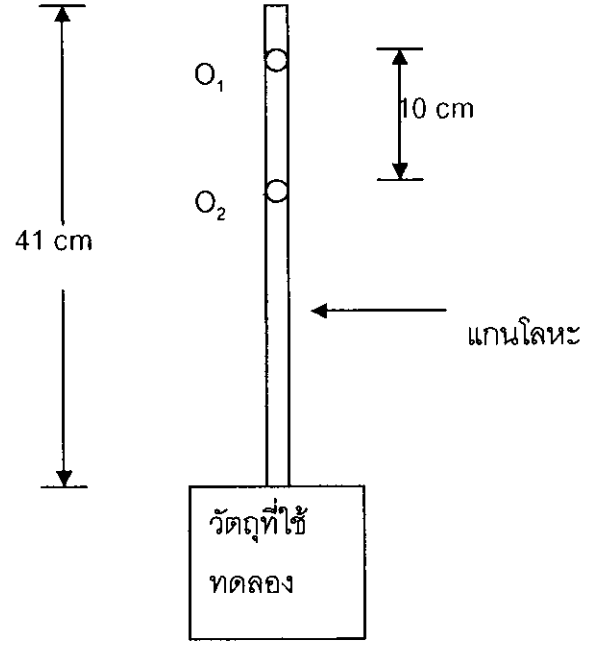
3.4 เปลี่ยนวัตถุที่ใช้เป็นลูกตุ้มของเพนดูลัมแล้วทำการทดลองตามข้อ 2 และข้อ 3

3.5 นำค่าต่างๆที่บันทึกได้จากการทดลองไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลทางทฤษฎี

**ตอนที่ 4 การประยุกต์ใช้เพนดูลัมในการหาจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ**

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมในการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุโดยมีขั้นตอนดังนี้

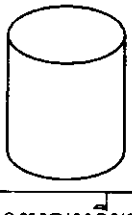
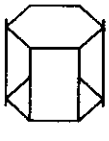
4.1 ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองเหมือนกับตอนที่ 3 แต่เปลี่ยนจากการทดลองโดยใช้ลูกตุ้มเพนดูลัมอย่างง่ายเป็นเพนดูลัมเชิงประกอบ ซึ่งมีแกนโลหะติดอยู่กับวัตถุที่ต้องการหาจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อย โดยแกนโลหะที่ใช้จะถูกเจาะรูสำหรับแขวนบนใบมีด 2 ตำแหน่ง ซึ่งการใช้ใบมีดเป็นแกนหมุนจะช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่จุดหมุนให้มีค่าน้อยลง ในการคำนวณหาค่าที่ต้องการจึงสามารถตัดผลที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานที่จุดหมุนออก และที่ปลายด้านหนึ่งของแกนโลหะจะออกแบบให้มีน็อตสำหรับยึดวัตถุที่นำมาทดลอง เพื่อสามารถเปลี่ยนวัตถุที่ใช้ทำการทดลองได้สะดวกดังภาพประกอบ 10




ภาพประกอบ 10 แสดงแกนโลหะที่ใช้สำหรับการทดลองเพนดูลัมเชิงประกอบ

โดยตัวอย่างวัตถุที่นำมาทดลองเพื่อหาจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อย ประกอบด้วยวัตถุรูปทรงต่างๆดังตาราง 1 เนื่องจากเพื่อเป็นการทดลองเครื่องมือที่สร้างขึ้นวัตถุที่นำมาและต้องการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีในการทดลองนี้จึงใช้เฉพาะวัตถุที่มีสมมาตรและมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งเราสามารถวัดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยได้โดยตรง

ตาราง 1 ตัวอย่างวัตถุที่นำมาทดลอง

| รูปทรง | ขนาด(cm) | มวล(g) |
|---|---|---|
| แผ่นจานกลม | เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73<br>หนา 1 | 203.80 |
| | เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73<br>หนา 1.73 | 531.70 |
| | เส้นผ่านศูนย์กลาง 3<br>หนา 0.50 | 43.00 |
| ทรงกระบอก  | เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.16<br>สูง 4.83 | 298.90 |
| | เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.73<br>สูง 3.12 | 614.10 |
| ทรงหกเหลี่ยม  | กว้าง 4.10<br>สูง 2.90 | 321.8 |

4.2 ป้อนข้อมูลเริ่มต้นให้กับโปรแกรมเพื่อใช้อ้างอิงในการคำนวณดังนี้

- ความยาวของแกน
- มวลของแกน
- มวลของวัตถุที่ใช้ทำการทดลอง

จากนั้นแขวนแกนโลหะกับใบมีดให้จุดหมุนอยู่ที่ตำแหน่ง $O_1$ ทดลองหาคาบเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมเชิงประกอบครั้งที่ 1 แล้วเปลี่ยนตำแหน่งของจุดหมุนเป็น $O_2$ ทดลองหาคาบเฉลี่ยของเพนดูลัมเชิงประกอบครั้งที่ 2 โดยให้มุมเริ่มต้นของการหมุนทั้งสองครั้งเท่ากับ 30 องศา แล้วบันทึกผลการทดลองทั้งสองครั้งที่ได้

4.3 ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 โดยเปลี่ยนวัตถุที่ใช้ทดลอง

4.4 นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาจุดศูนย์กลางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อย