บทที่ 4

ขั้นตอนการสร้างและการคำนวณ

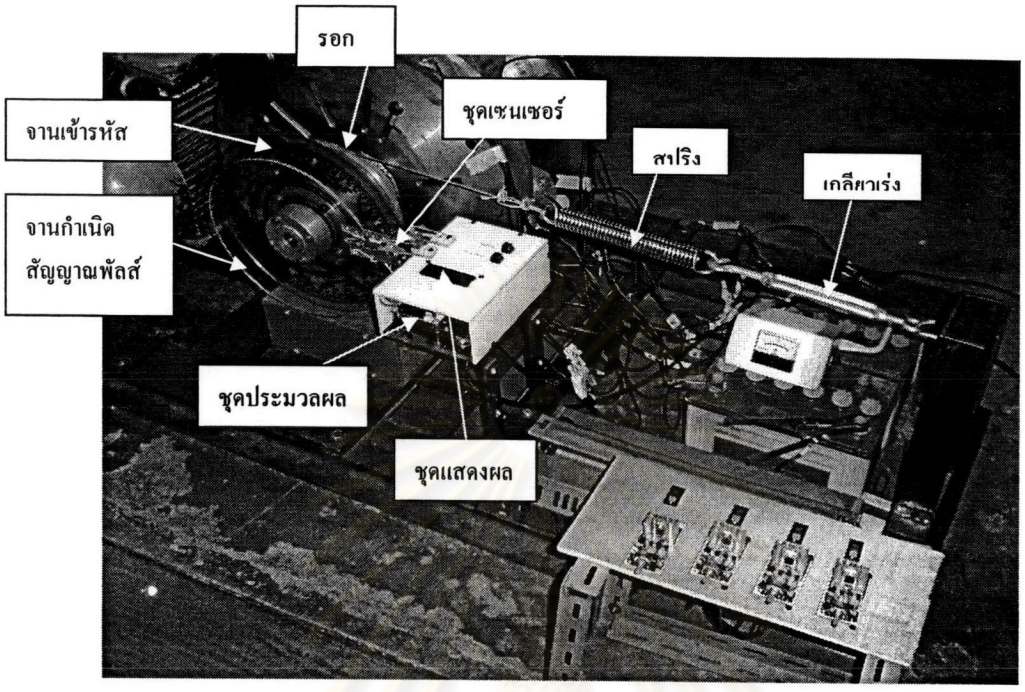
4.1 การวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์

การวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้วิธีการทำสมดุลแรงบนสเตเตอร์ โดยการติดตั้งรอกบนแนวเพลาเดียวกับสเตเตอร์ แล้วนำลวดสลิงที่ยึดสปริงมาคล้องไว้กับรอก เพื่อให้แนวเส้นการกระทำของแรงในสปริงตั้งฉากกับรัศมีรอกตลอดเวลา เมื่อมีแรงกระทำเกิดขึ้นบนสเตเตอร์ รอกที่ติดตั้งบนแกนเพลาเดียวกับสเตเตอร์เป็นตัวดึงสปริงให้ยืดออก โดยระยะยืดของสปริงจะสัมพันธ์กับมุมที่รอกหมุนไป ดังนั้นเครื่องมือสำหรับวัดแรงบิดนี้ จะคำนวณหาแรงภายในสปริงโดยรู้ระยะยืดจากการวัดมุมบิดของรอก ซึ่งวิธีการวัดมุมคล้ายคลึงกับเอ็นโค๊ดเดอร์แบบสัมบูรณ์ และนำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ เพื่อประมวลผลหาค่าความเร็วรอบ แรงบิด และกำลังทางกลที่เกิดขึ้น

4.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดแรงบิด

ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดแรงบิดแสดงได้ในรูปที่ 4.1 แต่ละส่วนมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1) ชุดประมวลผล ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์วัดมุม และเซนเซอร์วัดความเร็วรอบมาประมวลผลเพื่อหาค่าแรงบิด และกำลัง
2) ชุดเซนเซอร์วัดมุม ทำหน้าที่สร้างรหัสสัญญาณที่บอกตำแหน่งมุมที่หมุนไปของสเตเตอร์ส่งให้กับชุดประมวลผล ประกอบด้วย โฟโตไดโอด กับ led จำนวน 10 ชุด และจานเข้ารหัสทางแสง
3) ชุดเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ให้กับชุดประมวลผลเพื่อบอกความ เร็วรอบของโรเตอร์ ประกอบด้วยโฟโตไดโอด กับ led จำนวน 1 ชุด และจานกำเนิดสัญญาณพัลส์
4) ชุดแสดงผล ทำหน้าที่รับค่าที่ต้องการแสดงผลจากชุดประมวลผลมาแสดงผล
5) ชุดสมดุลแรง ทำหน้าที่สมดุลแรงที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ ประกอบด้วย สปริงดึง ลวดสลิง เกลียวเร่ง กริ๊บจับลวดสลิง และรอก

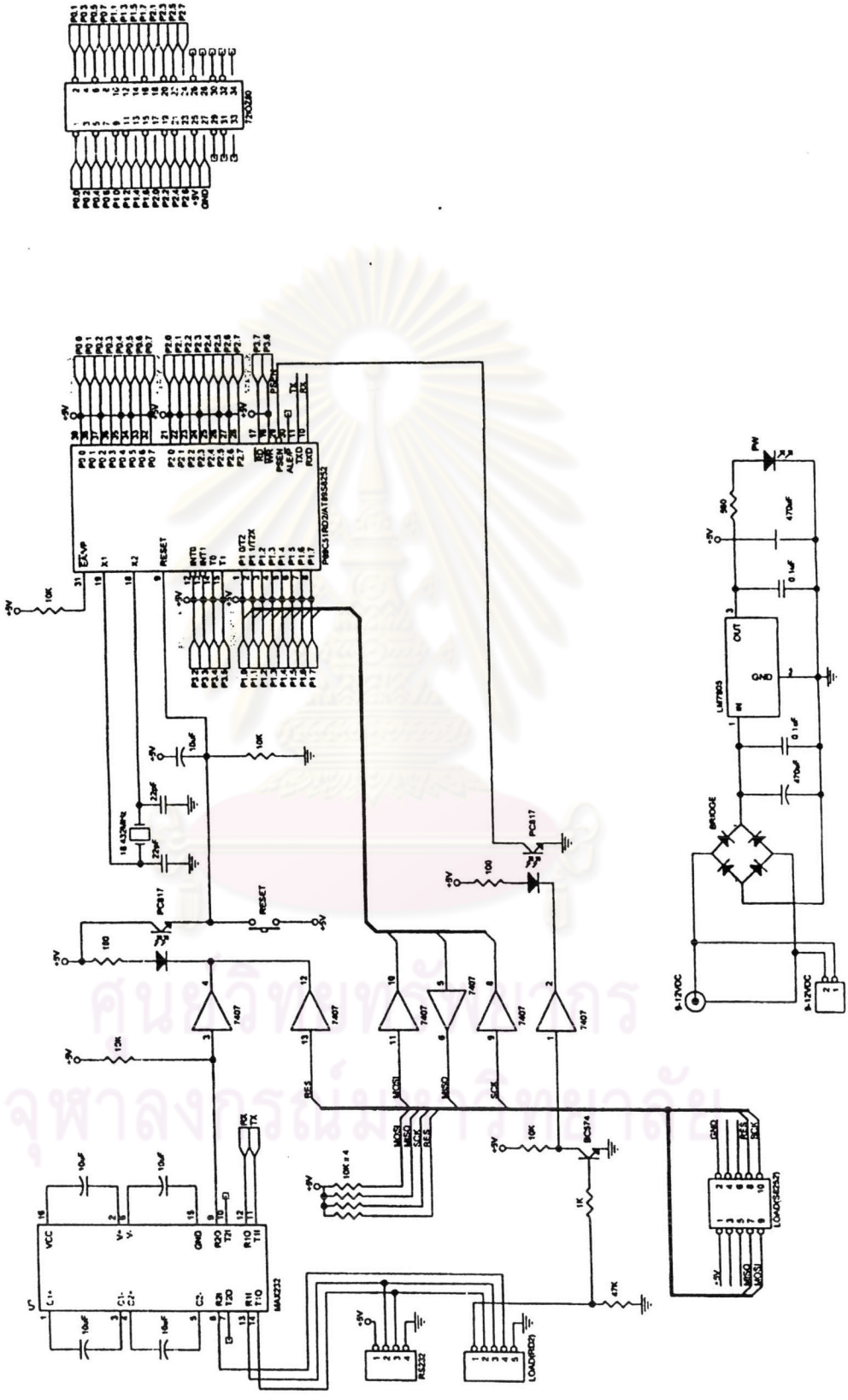


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือวัดแรงบิด

4.1.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวัดแรงบิด

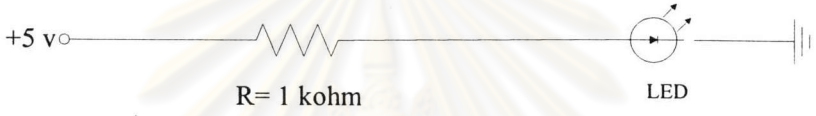
1). เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของ บริษัท อีทีที รุ่น cp-spi/s8252 V1 เป็นชุดประมวลผล เนื่องจากเป็นบอร์ดที่มีอุปกรณ์เท่าที่จำเป็นในการใช้งาน และมี PCB ขนาด 8.5x6 cm ให้สามารถนำไปต่อวงจรใช้งานอย่างอื่นได้ ภายในบอร์ดประกอบด้วยส่วนๆต่างดังนี้

- CPU ของ Atmel เบอร์ AT89S8252
- ส่วนวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 volt มีชุด Regulator สำหรับปรับระดับแรงดันไฟให้อยู่ที่ 5 Vdc คงที่ เพื่อใช้งานบนบอร์ด ส่วนของ Rectifier จะใช้วงจรบริดจ์ทำให้บอร์ดสามารถรับไฟได้ทั้งไฟกระแสตรงและไฟกระแสสลับ
- ส่วนวงจรที่ทำหน้าที่ดาวน์โหลดโปรแกรมลงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- ส่วนวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณรีเซตโดยวิธีการรีเซตแบบ Power- ON Reset
- ส่วนของการสร้างสัญญาณความถี่ด้วยคริสตอล ในบอร์ดรุ่นนี้ใช้คริสตอลความถี่ 18.432 MHz

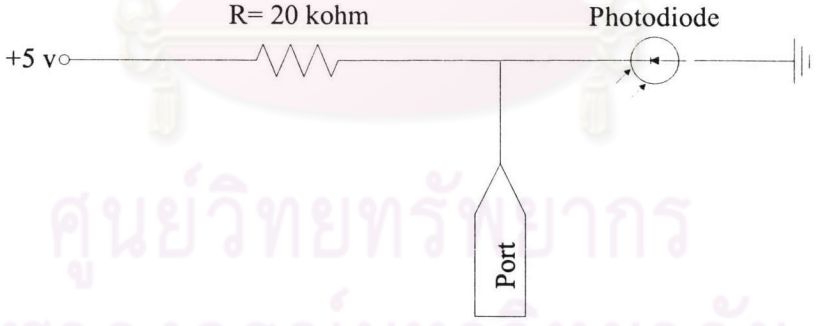


รูปที่ 4.2 Schematic Diagram ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

2). ทำการสร้างชุดเซนเซอร์วัดมุมและชุดเซนเซอร์วัดความเร็ว โดยซื้อโฟโตไดโอด และ Infared Led ขนาด 3 มม. ,ตัวต้านทาน ¼ w 20 kohms ,ตัวต้านทาน ¼ w 1 kohms จากนั้น นำโฟโตไดโอด และ Led มาต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยให้โฟโตไดโอดสำหรับวัดมุม ต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา P2.0 – P2.7 ,P1.7,P1.6 และโฟโตไดโอดสำหรับวัดความเร็วรอบต่อเข้าที่ขา P3.5 ในการต่อใช้งานโฟโตไดโอด จะต่อแบบไบอัสกลับ ส่วน Led จะต่อแบบไบอัสตรง ดังแสดงการต่อวงจรในรูปที่ 4.3

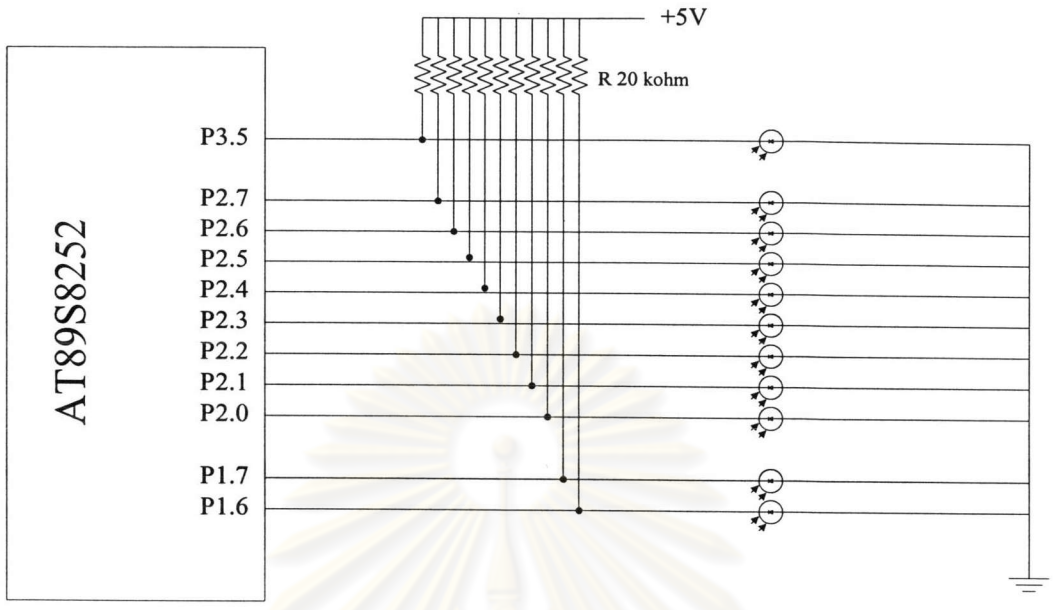


รูปที่ 4.3 (ก) การต่อวงจรแบบไบอัสตรงของ LED



รูปที่ 4.3(ข) การต่อวงจรแบบไบอัสกลับของโฟโตไดโอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 การต่อโฟโตไดโอดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

3) ทำการออกแบบตัวเข้ารหัสทางแสง โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบดังนี้

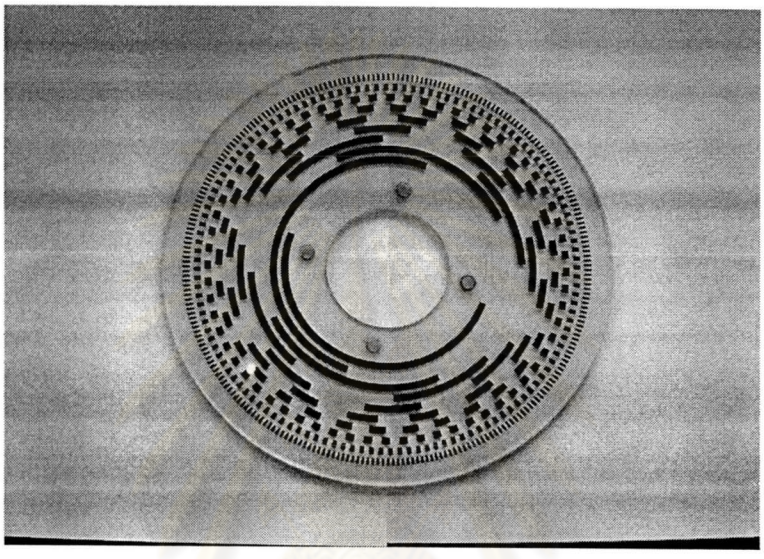
-ใช้รหัสเกรย์เป็นตัวเข้ารหัส เนื่องจากทุกคำรหัสที่อยู่ติดกันจะมีบิทเปลี่ยนแปลงเพียงบิทเดียว ซึ่งจะช่วยแก้ไขความผิดผลาดในการอ่านตำแหน่ง จากการที่ติดตั้งโฟโตไดโอดไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

-ในแต่ละบิตของตัวเข้ารหัสจะต้องอยู่ในตำแหน่งตรงกับโฟโตไดโอดที่ได้ติดตั้งไว้เรียบร้อยแล้ว

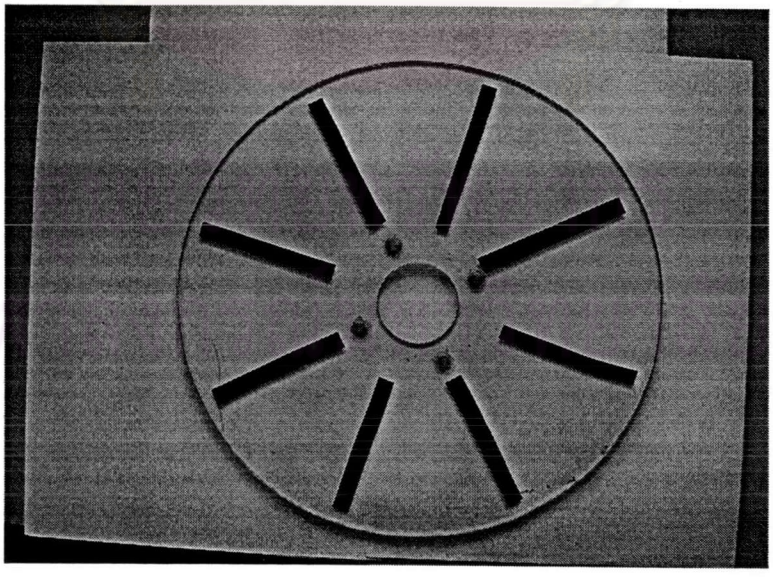
-ขนาดรัศมีของจานไม่น้อยเกินไป จนทำให้ความกว้างแถบดำหรือแถบขาวของบิทนอกสุดมีขนาดเล็กกว่าความกว้างช่องสลิทของแผ่นกันแสง ส่งผลให้เซนเซอร์ไม่สามารถแยกแยะสถานะลอจิก 1 หรือ 0 ได้

หลังจากนั้น ส่งไฟล์ที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อย ให้ร้านประเภททำป้าย สติ๊กเกอร์ สกรีนลวดลายลงบนแผ่นสติ๊กเกอร์ใส ซึ่งทางร้านแนะนำให้ใช้วิธีแบบฟิลม์สกรีน คือการถ่ายแสงผ่านฟิลม์ลงบนสติ๊กเกอร์ แล้วนำไปล้างลายอีกทีหนึ่ง ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่าในช่วงแถบดำของตัวเข้ารหัสสามารถกันแสงจาก LED ได้ อีกทั้งความคมชัดของเส้นก็อยู่ในระดับที่ไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านตำแหน่ง หลังจากนั้นนำสติ๊กเกอร์ที่ได้สกรีนลวดลายเรียบร้อยแล้ว ไปติดลงบนแผ่นพลาสติกใสหนาประมาณ 4 mm ขนาดรัศมี 297 mm

ในส่วนการทำจานกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะใช้แผ่นพลาสติกใสแบบเดียวกับจานเข้ารหัส แต่ขนาดรัศมีจะน้อยกว่า ขั้นตอนในการทำเพียงตัดสติ๊กเกอร์สีดำทึบให้กว้างประมาณ 1 cm ยาว 10 cm ติดบนแผ่นพลาสติกใสในแนวรัศมี โดยติดเป็นจำนวน 8 แถบ ให้ห่างเป็นมุมเท่าๆกัน ซึ่งจะทำให้แผ่นจานนี้กำเนิดสัญญาณพัลส์ได้ 8 ลูกต่อการหมุนของแผ่นจาน 1 รอบ



รูปที่ 4.5 จานเข้ารหัส



.รูปที่ 4.6 จานกำเนิดสัญญาณพัลส์

4). อุปกรณ์แสดงผลสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้งาน มีอยู่ 2 แบบ คือ LED 7 segment และ โมดูล LCD ในที่นี้เลือกการแสดงผลโดยใช้โมดูล LCD เนื่องจากในการใช้งานต้องการให้แสดงผลการทำงานเป็นข้อความตัวอักษรและตัวเลข ในขณะที่ LED 7 Segment จะเหมาะกับการแสดงผลตัวเลขมากกว่าตัวอักษร โมดูล LCD ที่เลือกใช้นี้เป็นแบบตัวอักษรขนาด 16 x 2 คือ สามารถแสดงผลได้ 2 บรรทัด โดยแต่ละบรรทัดสามารถแสดงตัวอักษรได้ 16 ตัว มีแสงในตัวด้านหลัง (Backlights) ขาต่างๆของ LCD โมดูลจะมี 14 ขา ดังนี้

ขาที่ 1 จะต่อกับกราวด์

ขาที่ 2 ใช้ต่อกับไฟเลี้ยง +5V

ขาที่ 3 เป็นขาอินพุทใช้ปรับความเข้มของตัวอักษร

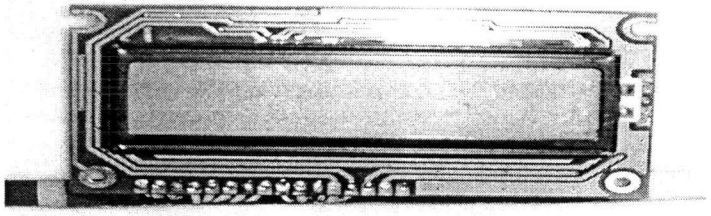
ขาที่ 4 (RS) เป็นขาอินพุทใช้เลือกชนิดของข้อมูลที่ประมวลผล ถ้าขานี้เป็น "0" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าเป็น "1" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลแสดงผล

ขาที่ 5 (R/W) เป็นขาอินพุท ถ้าขานี้เป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจาก LCD ถ้าขานี้เป็น "0"จะเป็นการเขียนข้อมูลลงใน LCD

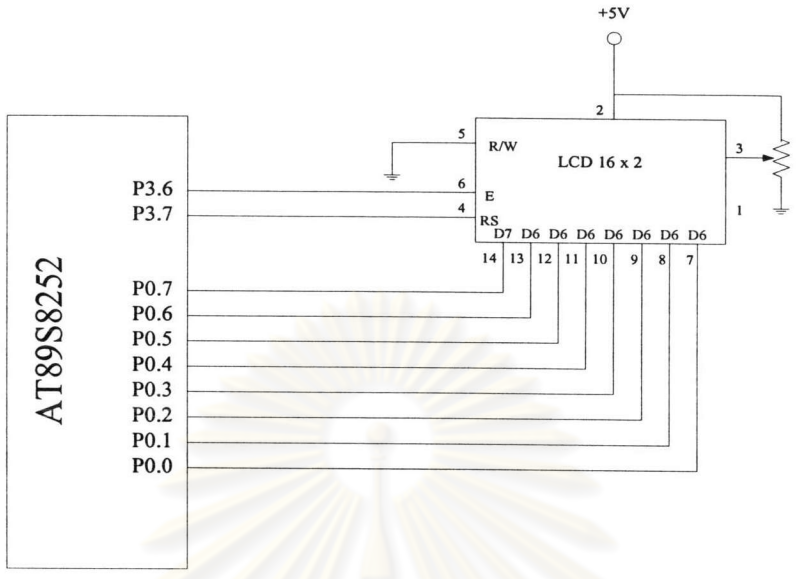
ขาที่ 6 (E) เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์ ให้โมดูล LCD ทำงาน

ขาที่ 7-14 (D0-D7) เป็นขารับส่งข้อมูลระหว่าง LCD กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมต่อใช้งานโมดูล LCD กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงได้ในรูปที่ 4.8 จะเห็นว่า ขาข้อมูล D0-D7 ของโมดูล LCD ต่อเข้ากับพอร์ต 0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์
ขาที่5 (R/W) ของโมดูล LCD ต่อลงกราวด์ เพื่อให้ขานี้เป็นลอจิก 0 ซึ่งจะเป็นการเขียนข้อมูลลงใน LCD อย่างเดียว
ขาที่ 4 (RS) ต่อเข้าที่ขา P3.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์
ขาที่ 6 (E) ต่อเข้าที่ขา P3.6 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

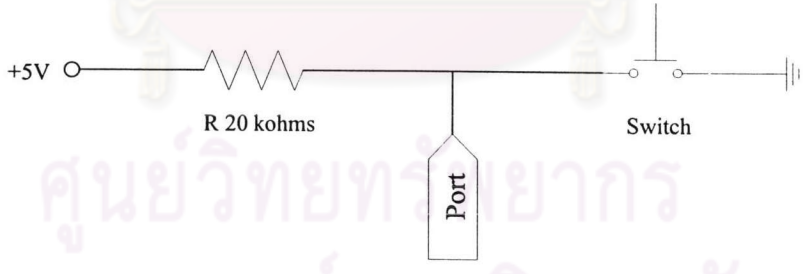


รูปที่ 4.7 โมดูล LCD –ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด



รูปที่ 4.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล LCD

5). ต่อสวิทช์เพื่อใช้ในการรีเซตค่ามุมหมุนของรอกให้เป็นศูนย์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางขา P3.3 และสวิทช์สำหรับเปลี่ยนโหมดการแสดงผลต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางขา P3.2 การต่อสวิทช์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงได้ดังรูปที่ 4.9

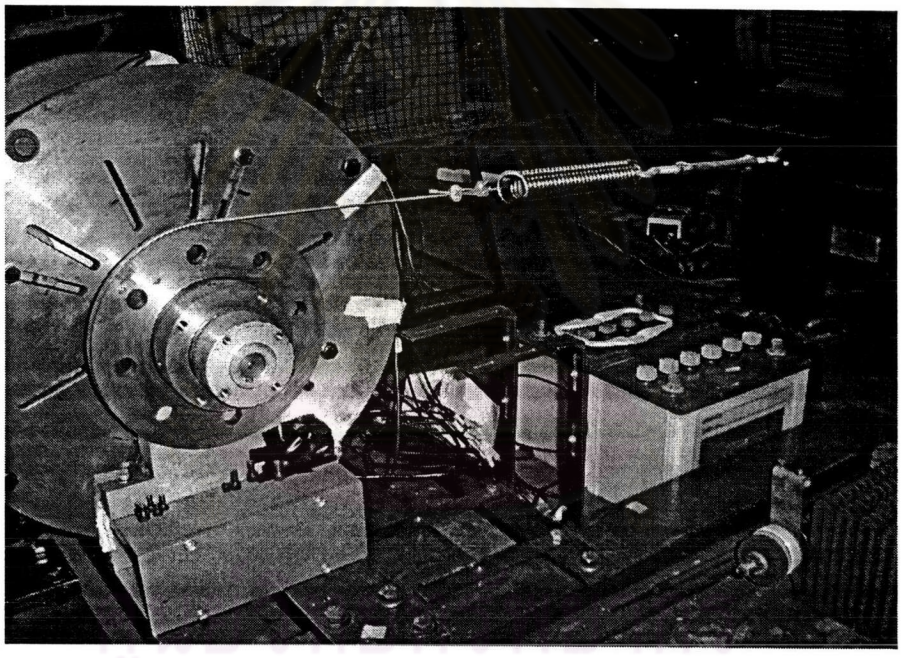


รูปที่ 4.9 การต่อสวิทช์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6) ทำการสร้างชุดสมดุลแรง ลำดับการสร้างและการประกอบมีดังต่อไปนี้

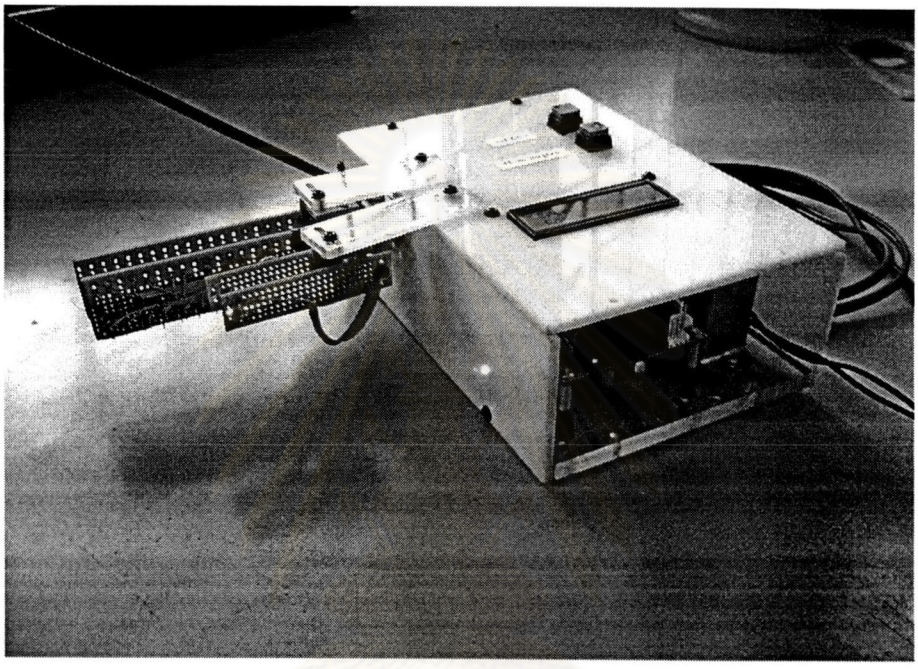
- ออกแบบรอกและสปริงให้สามารถทนรับแรงที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ได้
- สั่งทำรอกและซื้อสปริงตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้
- นำรอกมาสวมเข้ากับเพลาที่ต่อมาจากสเตเตอร์
- ยึดสปริงกับรอกด้วยลวดสลิงและเกลียวเร่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากนั้นปรับเกลียวเร่งจนสปริงมีความยาว 153 mm เพื่อดึงให้ลวดสลิงมีความตึงก่อนเริ่มทดสอบ และหลีกเลี่ยงความไม่เป็นเชิงเส้นของค่าคงที่สปริงในช่วงที่ขดสปริงเริ่มแยกจากกัน



รูปที่ 4.10 การติดตั้งรอกและสปริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6). ทำกล่อง และกำหนดตำแหน่งการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ จากนั้นเจาะกล่องเพื่อติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดเซนเซอร์ โมดูล LCD และสวิทช์ต่างๆ ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.11 แสดงภาพการติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดเซนเซอร์เข้ากับกล่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 การวัดมุมของจานเข้ารหัส

ในลำดับแรก จะกล่าวถึงการทำงานของชุดเซนเซอร์วัดมุม ซึ่งประกอบไปด้วย LED โฟโตไดโอด และจานเข้ารหัสตำแหน่ง โดย LED ทำหน้าที่เป็นตัวเปล่งแสง โฟโตไดโอด ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสง จากรูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งจานเข้ารหัสตำแหน่ง LED และโฟโตไดโอด เข้าด้วยกัน ในการทำงานถ้าหาก LED เปล่งแสงผ่านจานเข้ารหัส ไปตกกระทบตัวโฟโตไดโอดได้ จะทำให้ความต้านทานในตัวโฟโตไดโอดลดลง และยอมให้กระแสไหลผ่าน โดยกระแสไฟจะไหลจากแหล่งจ่ายไฟ 5 V ผ่านตัวต้านทาน 20 โอหม์ แล้วไหลผ่านโฟโตไดโอด ลงสู่กราวด์ ดังนั้น จะไม่มีกระแสไหลเข้าที่ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งต่ออยู่ระหว่างตัวต้านทานและโฟโตไดโอด ขานี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์จึงอยู่ในสถานะลอจิก 0 แต่ถ้าหากแสงจาก LED ถูกกันด้วยแถบดำบนจานเข้ารหัส ทำให้ไม่มีแสงไปตกกระทบตัวโฟโตไดโอด กระแสไฟก็จะไหลผ่านโฟโตไดโอดไม่ได้ แต่จะไหลลงไปที่ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นที่ขานี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์จึงอยู่ในสถานะลอจิก 1 ด้วยเหตุนี้ คำรหัสที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับจะขึ้นอยู่กับรูปแบบรหัสที่ใช้เป็นตัวเข้ารหัสตำแหน่ง ซึ่งในที่นี้ใช้รหัสเกรย์เป็นตัวเข้ารหัสตำแหน่ง เพื่อลดข้อผิดผลาดในขั้นตอนการติดตั้งโฟโตไดโอด แต่เนื่องจากรหัสเกรย์เป็นรหัสไม่ถ่วงน้ำหนัก คือ จะไม่สามารถรู้ตำแหน่งของคำรหัสบนจานเข้ารหัสได้ทันที ต้องแปลงให้เป็นรหัสถ่วงน้ำหนักก่อน ซึ่งรหัสถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมคือ รหัสฐานสอง

การแปลงรหัสเกรย์เป็นรหัสฐานสอง มีวิธีดังต่อไปนี้

1. เริ่มจากบิทที่มีนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ก่อน พิจารณาตามรูปที่ 4.13 นัยสำคัญสูงสุดของรหัสเกรย์ คือบิทวงในสุดของจานเข้ารหัส ในบิทนี้ บิทของรหัสฐานสองจะเหมือนกับบิทของรหัสเกรย์
2. ในบิทถัดมาของรหัสเกรย์ ถ้ามีค่าเป็น 1 แล้ว บิทของรหัสฐานสองที่ได้จะตรงข้ามกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า แต่ถ้าบิทของรหัสเกรย์มีค่าเป็น 0 บิทของรหัสฐานสองที่ได้จะเหมือนกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า
3. ทำตามหลักเกณฑ์ในข้อที่ 2 ไปเรื่อยๆจนครบทุกบิต

ยกตัวอย่างการแปลงรหัสเกรย์เป็นรหัสฐานสอง ให้พิจารณาในรูปที่ 4.13 ตามเส้น AB คำรหัสเกรย์ คือ 1010100111

เริ่มที่บิทแรกของรหัสเกรย์ คือ 1 โดยการใช้กฎข้อที่ 1 บิทของรหัสฐานสองจะเหมือนกับบิทของรหัสเกรย์ ฉะนั้น บิทแรกของรหัสฐานสอง คือ 1

บิทที่สองของรหัสเกรย์ คือ 0 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 0 บิทของรหัสฐานสองจะเหมือนกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่สองของรหัสฐานสอง คือ 1

บิทที่สามของรหัสเกรย์ คือ 1 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 1 บิทของรหัสฐานสองจะตรงข้ามกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่สามของรหัสฐานสอง คือ 0

บิทที่สี่ของรหัสเกรย์ คือ 0 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 0 บิทของรหัสฐานสองจะเหมือนกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่สี่ของรหัสฐานสอง คือ 0

บิทที่ห้าของรหัสเกรย์ คือ 1 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 1 บิทของรหัสฐานสองจะตรงข้ามกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่ห้าของรหัสฐานสอง คือ 1

บิทที่หกของรหัสเกรย์ คือ 0 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 0 บิทของรหัสฐานสองจะเหมือนกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่หกของรหัสฐานสอง คือ 1

บิทที่เจ็ดของรหัสเกรย์ คือ 0 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 0 บิทของรหัสฐานสองจะเหมือนกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่เจ็ดของรหัสฐานสอง คือ 1

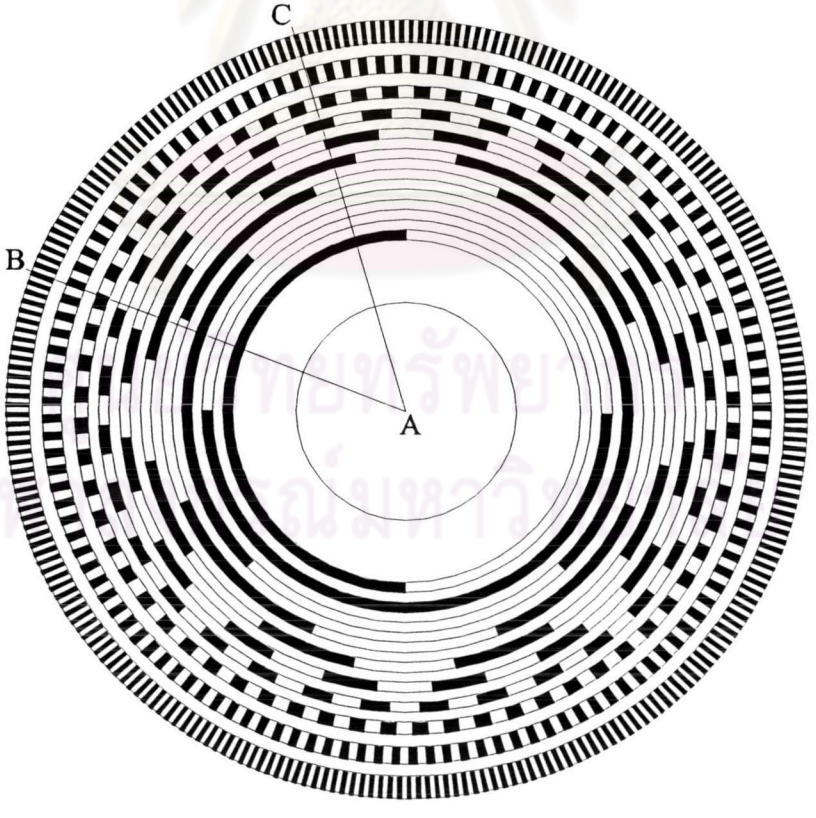
บิทแปดของรหัสเกรย์ คือ 1 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 1 บิทของรหัสฐานสองจะตรงข้ามกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่แปดของรหัสฐานสอง คือ 0

บิทที่เก้าของรหัสเกรย์ คือ 1 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 1 บิทของรหัสฐานสองจะตรงข้ามกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่เก้าของรหัสฐานสอง คือ 1

บิทที่สิบของรหัสเกรย์ คือ 1 โดยการใช้กฎข้อที่ 2 ถ้าบิทของรหัสเกรย์เป็น 1 บิทของรหัสฐานสองจะตรงข้ามกับบิทของรหัสฐานสองก่อนหน้า ฉะนั้นบิทที่สิบของรหัสฐานสอง คือ 0

เมื่อนำค่าในแต่ละบิทมาเขียนรวมกัน จะได้รหัสฐานสอง คือ 1100111010

รูปที่ 4.12 ชุดเซนเซอร์และจานเข้ารหัสทางแสง



รูปที่ 4.13 ภาพแสดงรหัสเกรย์ความละเอียด 10 บิท

สำหรับวิธีการหามุมหมุนของจานเข้ารหัส จะยกตัวอย่าง โดยสมมุติให้จานเข้ารหัสหมุนผ่านเซนเซอร์จากเส้น AB ไปที่เส้น AC แสดงเป็นลำดับขั้นตอน ดังนี้

1). แปลงคำรหัสที่เส้น AB และ AC จากรหัสเกรย์ให้เป็นรหัสฐานสอง

ที่เส้น AB คำรหัสเกรย์ คือ 1010100111 เมื่อแปลงเป็นรหัสฐานสองจะได้ 1100111010

ที่เส้น AC คำรหัสเกรย์ คือ 1000111001 เมื่อแปลงเป็นรหัสฐานสองจะได้ 1111010001

2). แปลงรหัสเลขฐานสองที่เส้น AB และ AC ให้เป็นเลขฐานสิบ

ที่เส้น AB เมื่อแปลงจากรหัสฐานสองเป็นเลขฐานสิบ มีค่าเป็น 826

ที่เส้น AC เมื่อแปลงจากรหัสฐานสองเป็นเลขฐานสิบ มีค่าเป็น 977

3). นำเลขฐานสิบที่เส้น AC ลบด้วยเลขฐานสิบที่เส้น AB ได้ผลลัทธ์ คือ 151

4) ที่ความละเอียดของตัวเข้ารหัสขนาด 10 บิท มีจำนวนคำรหัสเท่ากับ 2^{10} หรือ 1024 คำรหัสต่อมุมทั้งหมด 360 องศา

การเปลี่ยนแปลงของคำรหัสบนจานเข้ารหัสไปจำนวน 1 คำรหัส จะทำให้จานเข้ารหัสหมุนไปเป็นมุมเท่ากับ $\frac{360}{1024} \times 1 =$ 0.35 องศา

เพราะฉะนั้น หากจานเข้ารหัสหมุนจากเส้น AB ไปที่เส้น AC หรือมีการเปลี่ยนแปลงคำรหัสไปจำนวน 151 คำรหัส จะทำให้จานเข้ารหัสหมุนไปเป็นมุมเท่ากับ $\frac{360}{1024} \times 151$ = 53.08 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 การวัดความเร็วรอบของโรเตอร์

การหาความเร็วรอบของโรเตอร์ จะใช้ประโยชน์จากตัวไทเมอร์/เคาน์เตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยให้ไทเมอร์0 ทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลา และให้ไทเมอร์1ทำหน้าที่เป็นตัวนับสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้ามาทางขา T1(P3.5) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไทเมอร์ 0 จับเวลาครบตามที่ตั้งเวลาไว้ ก็ให้ไทเมอร์ 1 หยุดนับสัญญาณพัลส์ จำนวนพัลส์ที่ไทเมอร์ 1 นับได้ก็จะนำไปใช้คำนวณหาค่าความเร็วรอบต่อไป

ในการทำงานเป็นตัวจับเวลาของไทเมอร์ 0 นี้ จะใช้โหมดการทำงานในโหมด 1 หรือโหมดไทเมอร์ 16 บิท ค่าในรีจิสเตอร์ TH0,TL0 จะเพิ่มขึ้นทุกๆแมชชีนไซเคิล โดย CPU ที่นำมาใช้นี้ทำงานที่ความถี่ 18.432 MHz และ 1 แมชชีนไซเคิลใช้สัญญาณนาฬิกา 12 ลูก ค่าเวลาของแมชชีนไซเคิลหาได้ดังนี้

ที่จำนวนสัญญาณนาฬิกา 18.432×10^6 ลูก ใช้เวลา 1 วินาที

จำนวนสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก จะใช้เวลา $\frac{12}{18.432} \times 10^{-6} = 0.651$ ไมโครวินาที

หรือ 1 แมชชีนไซเคิลใช้เวลา 0.651 ไมโครวินาที

กำหนดให้ไทเมอร์จับเวลา 1 ms ดังนั้น จะต้องให้ไทเมอร์นับจำนวนแมชชีนไซเคิลเท่ากับ

$$\frac{1 \times 10^3}{0.651 \times 10^{-6}} = 1536 \text{ แมชชีนไซเคิล}$$

ค่าเริ่มต้นที่จะโปรแกรมให้กับไทเมอร์ 0 คือ 65536-1536 = 64000 หรือ $F9FF_{16}$ โดยค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ TH0 คือ 0xF9 ($F9_{16}$) และค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ TL0 คือ 0xFF (FF_{16}) นั่นคือ ไทเมอร์ 0 จะเริ่มนับจาก 64000 หรือ $F9FF_{16}$ ไปจนถึง 65536 หรือ $FFFF_{16}$ ซึ่งแสดงว่าได้นับผ่านมา 1536 แมชชีนไซเคิล หรือ 1 ms แล้ว เมื่อค่าในรีจิสเตอร์ไทเมอร์เปลี่ยนจาก $FFFF_{16}$ เป็น 0000_{16} จะทำให้บิท TF0 เป็นลอจิก 1 ซึ่งบิท TF0 สามารถโปรแกรมให้อินเทอร์รัพท์ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และเขียนโปรแกรมให้การอินเทอร์รัพท์แต่ละครั้งเพิ่มค่าตัวแปร tick ขึ้นหนึ่งค่า ถ้าตัวแปร tick มีค่าเป็น 1000 หมายความว่า เวลาได้เดินมาเป็นเวลา 1000 ms หรือ 1 วินาทีแล้ว แต่การกำหนดช่วงเวลาให้ไทเมอร์บางครั้งอาจได้ค่าเวลามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเวลาที่เป็นจริง จึงต้องปรับค่าตัวแปร tick ให้ใกล้เคียง 1 วินาทีมากที่สุด ในที่นี้ใช้การทดสอบโดยต่อ LED เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรมให้ LED กระพริบเมื่อตัวแปร tick มีค่า 1000 จากนั้นปล่อยให้

ระบบทำงาน และใช้นาฬิกาจับเวลา 1 นาที ถ้า LED กระพริบมากกว่า 60 ครั้ง แสดงว่าต้องหน่วงเวลาให้นานขึ้น โดยกำหนดให้ตัวแปร tick มีค่ามากขึ้น ถ้า LED กระพริบน้อยกว่า 60 ครั้ง ก็จะต้องกำหนดให้ตัวแปร tick มีค่าน้อยลง หลังจากปรับค่าแล้ว จะได้ค่าของตัวแปร tick เท่ากับ 875 ถึงจะทำให้ LED กระพริบได้ 60 ครั้ง นั่นคือไทเมอร์สามารถนับเวลา 1 นาทีได้ใกล้เคียงกับนาฬิกาจริง

ในส่วนการทำงานเป็นตัวนับ(Counter)ของไทเมอร์ 1 จะใช้โหมดการทำงานในโหมดที่ 2 หรือ โหมดไทเมอร์ 8 บิทแบบตั้งค่าอัตโนมัติ โดยค่าเริ่มต้นของ TL1 คือ 0x00 เมื่อไทเมอร์ 0 เริ่มจับเวลา รีจิสเตอร์ TL1 ก็จะเริ่มนับสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้ามาทางขา T1(P3.5) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณพัลส์ 1 ลูก ก็จะเพิ่มค่าใน TL1 ขึ้นหนึ่งค่า เมื่อไทเมอร์ 0 นับเวลาครบ 1 วินาที จะโปรแกรมให้ไทเมอร์ 1 หยุดนับ และเก็บค่าใน TL1 ไว้ในตัวแปรใดๆที่กำหนดขึ้นมา โดยค่าในตัวแปรนั้นก็จะนำไปใช้คำนวณความเร็วรอบ และกำลังทางกล จากนั้น ก็จะเซตค่า TL1 = 0x00 เพื่อเริ่มนับครั้งต่อไป การคำนวณหาค่าความเร็วรอบสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

ความเร็วรอบ (รอบ/วินาที) = จำนวนพัลส์ที่ไทเมอร์ 1 นับได้/จำนวนแถบสีดำ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) = ความเร็วรอบ (รอบ/วินาที) x 60

ยกตัวอย่างการคำนวณ โดยสมมุติให้จำนวนพัลส์ที่ไทเมอร์ 1 นับได้เท่ากับ 200 ลูก

$$\text{ความเร็วรอบ (รอบ/วินาที)} = \frac{200}{8} = 25 \text{ รอบ/วินาที}$$

$$\text{ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)} = 25 \times 60 = 1500 \text{ รอบ/นาที}$$

หากจำนวนพัลส์ที่นับได้เพิ่มเป็น 201 ลูก จะได้ค่าความเร็วรอบเท่ากับ

$$\text{ความเร็วรอบ (รอบ/วินาที)} = \frac{201}{8} = 25.125 \text{ รอบ/วินาที}$$

$$\text{ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)} = 25.125 \times 60 = 1507.5 \text{ รอบ/นาที}$$

จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ 1 ลูก ทำให้ค่าความเร็วรอบแตกต่างกัน 7.5 องศา เราสามารถเพิ่มความละเอียดของการวัดความเร็วรอบให้มากกว่านี้ โดยการเพิ่มจำนวนแถบสีดำบนแผ่นจานให้มากขึ้น

4.2 การออกแบบชุดสมดุลแรง

4.2.1 การคำนวณหาขนาดขดลวดสปริง

สปริงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งในการวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์ โดยทำหน้าที่สมดุลแรงที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ ฉะนั้นก่อนการเลือกซื้อสปริงเพื่อนำไปใช้งาน จำเป็นต้องมีการคำนวณหาขนาดของขดลวดสปริง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถทนรับแรงที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดการครากตัวหรือเกิดความเสียหาย ขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้

1. หาขนาดของแรงที่มากสุดที่กระทำบนสปริง

มอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดกำลัง 7.45 kW

ความเร็วรอบต่ำสุดที่ใช้ในการทดสอบ 1500 rpm (ที่ความเร็วรอบต่ำสุดจะให้แรงบิดมีค่าสูงสุด)

แรงบิด (N.m) = กำลังงาน (W) / ความเร็วรอบ (rad/s)

$$= 7456/(1500\times 2\pi/60)$$

= 47.46 N.m

แรงที่ใช้ดึงสปริง (N) = แรงบิด (N.m) / รัศมีรอก(m)

= 47.46 / 0.115

= 412.69 N

2 เลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำสปริงให้เป็น ASTM A228 จากตารางที่ 3.1 จะได้ A= 2150 , x=0.154 แทนค่า A และ X ลงในสมการที่ 3.1 จะได้ความต้านแรงดึงต่ำสุด (σ_u) คือ

$$\sigma_u = \frac{2150}{d^{0.154}} \quad N/mm^2$$

กำหนดให้การใช้งานจัดเป็นประเภทงานเบาจาก ตารางที่ 3.3 ความเค้นเฉือนออกแบบสำหรับสปริงดึง (τ_d) คือ

$$\tau_d = (0.8\times 0.405)\sigma_u$$

$$= \frac{697}{d^{0.154}} \quad N/mm^2$$

ทดลองเลือกดัชนีสปริง (C) เท่ากับ 5 จากรูปที่ 3.2 จะได้ค่าตัวประกอบ K = 1.3 และให้แรงดึงชั้นต้นเป็นศูนย์

$$\tau_d = K\frac{8FC}{\pi d^2}$$

$$\frac{697}{d^{0.154}} = \frac{1.3\times 8\times 413\times 5}{\pi d^2}$$

d = 3.44 mm

4.2.2 การประเมินค่าคงที่ของสปริง

กำหนดให้ระยะยืดของสปริงเมื่อสปริงรับแรงสูงสุดไม่เกิน 150 mm ค่าคงที่ของสปริงเท่ากับ

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{413}{150} = 2.75 \text{ N/mm}$$

จำนวนขดของสปริง

$$n = \frac{Gd}{8kC^3} = \frac{80000 \times 3.44}{8 \times 2.75 \times 5^3} = 100 \text{ ขด}$$

ความยาวสปริงขณะยังไม่ยืดเท่ากับ

$$L = d(n+1) = 3.44(100+1) = 347 \text{ mm}$$

เมื่อรวมความยาวของสปริงและระยะยืดสูงสุดของสปริงแล้ว พบว่ามีความยาวมากกว่าระยะช่องว่างที่ใช้ติดตั้ง จึงต้องเพิ่มค่าคงที่ของสปริง (k) มากขึ้น เพื่อลดระยะยืดของสปริงให้น้อยลง และเพิ่มค่าดัชนีสปริง (C) ให้มากขึ้นเพื่อลดจำนวนขดสปริงหรือความยาวสปริงให้น้อยลง

กำหนดให้ ค่าคงที่ของสปริงเพิ่มขึ้นเป็น 4 N/mm และดัชนีสปริงเพิ่มขึ้นเป็น 6

ระยะยืดสูงสุดของสปริงเท่ากับ

$$\delta = \frac{F}{k} = \frac{413}{4} = 103 \text{ mm}$$

จำนวนขดของสปริงลดลงเหลือ

$$n = \frac{Gd}{8kC^3} = \frac{80000 \times 3.44}{8 \times 4 \times 6^3} = 40 \text{ ขด}$$

ความยาวสปริงขณะยังไม่ยืดลดลงเหลือ

$$L = d(n+1) = 3.44(40+1) = 141 \text{ mm}$$

แต่เนื่องจากสปริงที่มีขายตามท้องตลาดจะไม่มีขนาดตรงกับที่ได้คำนวณไว้ จึงต้องหาสปริงที่มีขนาดใกล้เคียงมากที่สุด และไม่ทำให้ค่าคงที่ของสปริงเปลี่ยนไปมากนัก ซึ่งสปริงที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุด มีขนาดขดลวด 4.2 mm ,เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30.4 mm ,จำนวนขดสปริง 35 ขด เมื่อคำนวณหาค่าคงที่ของสปริงได้เท่ากับ 5.0 N/mm ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์สามารถนำมาใช้งานได้

4.2.3 การออกแบบรอก

ในการออกแบบรอกมีหลักการคือ หากออกแบบให้เส้นผ่านศูนย์กลางรอกยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้มุมหมุนของรอกยิ่งมีค่ามาก ในที่นี้กำหนดให้รอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 230 mm เราสามารถหามุมหมุนของรอกที่ระยะยืดสูงสุดของสปริงได้ดังนี้

สปริงตัวที่นำมาใช้งานมีค่า k เท่ากับ 5.0 N/mm ทำให้มีระยะยืดสูงสุดของสปริงเท่ากับ

$$\delta = \frac{F}{k} = \frac{413}{5} = 83 \text{ mm}$$

คำนวณหามุมหมุนของรอกจากสมการ

$$\delta = \theta \times \frac{\pi}{180} \times r$$

$$83 = \theta \times \frac{\pi}{180} \times 115$$

$$\theta = 41 \text{ องศา}$$

นั่นคือ หากสปริงยืดออกไปด้วยระยะยืดสูงสุดเท่ากับ 83 mm จะทำให้รอกหมุนไปเป็นมุม 41 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 วิธีการคำนวณหาค่าแรงบิดและกำลังทางกล

จากการออกแบบรอกและสปริงในหัวข้อ 4.2 ทำให้รู้ค่าคงที่ของสปริงและรัศมีรอก ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้จะนำไปใช้คำนวณหาแรงบิดและกำลังทางกล แสดงได้ตามสมการดังนี้

$$T = F \times r \tag{4.1}$$

เมื่อ T คือ แรงบิด (N.m)

F คือ แรงภายนอกที่ใช้ดึงสปริง (N)

r คือ รัศมีรอก (m)

แรงภายนอกที่ใช้ดึงสปริง คำนวณได้จากสมการ

$$F = F_i + k\delta \tag{4.2}$$

เมื่อ F_i คือ แรงดึงภายในสปริงตอนเริ่มต้นเพื่อดึงให้ลวดสลิงมีความตึงก่อนเริ่มทดสอบ (N)

k คือ ค่าคงที่ของสปริง (N/m)

δ คือ ระยะยืดสปริง (m)

ระยะยืดสปริงจะมีความสัมพันธ์กับมุมหมุนของรอก ดังนี้

$$\delta = \theta \times \frac{\pi}{180} \times r \tag{4.3}$$

เมื่อ θ คือ มุมหมุนของรอก (องศา)

แทนสมการ (4.3) ลงในสมการ (4.2) จะได้แรงภายนอกที่ใช้ดึงสปริงดังนี้

$$F = F_i + \left(k \times \theta \times \frac{\pi}{180} \times r \right) \tag{4.4}$$

แทนสมการ (4.4) ลงในสมการ (4.1) จะได้แรงบิดเท่ากับ

$$T = \left(F_i \times r\right) + \left(k \times \theta \times \frac{\pi}{180} \times r^2 \right) \tag{4.5}$$

เมื่อรู้ค่าแรงบิดจากสมการ (4.5) และความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ จะสามารถคำนวณกำลังทางกลได้จากสมการ

$$P = T \times \omega \tag{4.6}$$

เมื่อ P คือ กำลังทางกล (W)

T คือ แรงบิด (N.m)

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ (rad/s)

ซึ่งวิธีการคำนวณดังกล่าวนี้ก็จะนำไปใช้เป็นแนวคิดในการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถคำนวณแรงบิดและกำลังกลได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด

4.4.1 การทดสอบเพื่อหาแรงดึงภายในสปริงเริ่มต้น (F_i)

การทดสอบจะเริ่มทดสอบที่ความยาวสปริงขณะยังไม่ยืดเท่ากับ 146.7 mm (ไม่รวมความยาวขอเกี่ยว) จากนั้นก็เพิ่มโหลดให้กับสปริงแล้วใช้เวอร์เนียวัดความยาวสปริงที่น้ำหนักต่างๆ ข้อมูลที่ได้มาก็จะนำไปคำนวณหาค่าคงที่ของสปริง แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 (การวัดความยาวสปริงในการทดสอบนี้ไม่รวมความยาวขอเกี่ยว)

น้ำหนัก(kg)	ความยาวสปริง(mm)	ระยะยืด(mm)	ค่าคงที่ของสปริง(N/mm)
0-7	147.0	0.3	228.900
7-8	147.2	0.2	49.050
8-9	148.7	1.5	6.540
9-10	150.5	1.8	5.450
10-11	152.4	1.9	5.163
11-12	154.4	2.0	4.905
12-13	156.4	2.0	4.905
13-14	158.3	1.9	5.163
14-15	160.4	2.0	4.905

ตารางที่ 4.1 การทดสอบหาค่าคงที่ของสปริงในช่วงที่ขดสปริงเริ่มแยกจากกัน

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าโหลดที่ทำให้สปริงเริ่มยืดได้มีค่าเท่ากับ 7 kg และค่าคงที่ของสปริงจะลดลงเรื่อยๆจนมีค่าคงที่ที่น้ำหนัก 11-12 kg ซึ่งสปริงมีความยาวอยู่ในช่วง 152.4-154.4 mm จึงกำหนดให้ความยาวสปริงมีค่าเท่ากับ 153 mm เป็นความยาวเริ่มต้นของสปริงก่อนที่จะเริ่มทดสอบในแต่ละครั้ง จากนั้นก็นำสปริงไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer เพื่อหาค่าแรงดึงที่ทำให้สปริงยืดจนมีความยาว 153 mm พบว่าต้องใช้แรงดึงเท่ากับ 11.6 kg ซึ่งค่านี้จะใช้เป็นค่าแรงดึงภายในสปริงช่วงเริ่มต้นของการทดสอบ

4.4.2 การทดสอบเพื่อหาค่าคงที่ของสปริง (k)

สปริงตัวที่นำมาใช้งานนี้ มีความยาวสปริงขณะยังไม่ยืด 146.7 mm (ไม่รวมความยาวขอเกี่ยว) จำนวนขดสปริง 35 ขด ขนาดขดลวด 4.2 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30.4 mm การทดสอบหาค่าคงที่ของสปริงจะเริ่มทดสอบที่ความยาวสปริงประมาณ 205 - 206 mm เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่เป็นเชิงเส้นของสปริงในช่วงที่ขดสปริงเริ่มแยกจากกัน ในการทดสอบจะทำโดยใช้เครื่อง Tensometer สร้างแรงดึงให้กับสปริงแล้วใช้เวอร์เนียวัดความยาวของสปริงทั้งในช่วงที่เพิ่มโหลดและลดโหลดโดยทดสอบเป็นจำนวน 7 รอบ จากนั้นก็จะนำมาคำนวณเพื่อหาค่าคงที่ของสปริง ผลการทดสอบเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2-4.15 และในตารางที่ 4.16 – 4.17 ได้แสดงค่าคงที่สปริงเฉลี่ยที่น้ำหนักต่างๆในช่วงการเพิ่มโหลดและลดโหลด ตามลำดับ (การวัดความยาวของสปริงในการทดสอบนี้จะรวมความยาวขอเกี่ยวด้วย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	206	-	-
10	227.5	21.5	4.563
20	247.5	20	4.905
30	267.5	20	4.905
40	287.5	20	4.905
50	307.8	20.3	4.833
ค่าเฉลี่ย			4.822

ตารางที่ 4.2 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 1

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	307.8	-	-
40	287.4	20.4	4.809
30	267.7	19.7	4.980
20	247.5	20.2	4.856
10	227.3	20.2	4.856
0	206	21.3	4.606
ค่าเฉลี่ย			4.821

ตารางที่ 4.3 การทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	206	-	-
10	227	21	4.671
20	247	20	4.905
30	267	20	4.905
40	287.2	20.2	4.856
50	307.1	19.9	4.930
ค่าเฉลี่ย			4.854

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 2

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	307.1	-	-
40	288	19.1	5.136
30	268.5	19.5	5.031
20	247	21.5	4.563
10	225	22	4.459
0	205.2	19.8	4.955
ค่าเฉลี่ย			4.829

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	205.2	-	-
10	226.3	21.1	4.649
20	246.2	19.9	4.930
30	266.6	20.4	4.809
40	286.3	19.7	4.980
50	306.5	20.2	4.856
ค่าเฉลี่ย			4.845

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 3

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	306.5	-	-
40	286.5	20	4.905
30	266.7	19.8	4.955
20	246.5	20.2	4.856
10	224.5	22	4.459
0	205	19.5	5.031
ค่าเฉลี่ย			4.841

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 3

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	206	-	-
10	227.2	21.2	4.627
20	247.3	20.1	4.881
30	267.3	20	4.905
40	287.2	19.9	4.930
50	307.1	19.9	4.930
ค่าเฉลี่ย			4.854

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 4

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	307.1	-	-
40	283.5	23.6	4.157
30	264	19.5	5.031
20	244.2	19.8	4.955
10	225.3	18.9	5.190
0	205.5	19.8	4.955
ค่าเฉลี่ย			4.857

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	206	-	-
10	226.8	20.8	4.716
20	246.7	19.9	4.930
30	266.6	19.9	4.930
40	286.7	20.1	4.881
50	306.2	19.5	5.031
ค่าเฉลี่ย			4.897

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 5

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	306.2	-	-
40	282.5	23.7	4.139
30	263.2	19.3	5.083
20	243.8	19.4	5.057
10	224.7	19.1	5.136
0	205.3	19.4	5.057
ค่าเฉลี่ย			4.894

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 5

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	206	-	-
10	226.7	20.7	4.739
20	246.6	19.9	4.930
30	266.7	20.1	4.881
40	286.5	19.8	4.955
50	306.3	19.8	4.955
ค่าเฉลี่ย			4.892

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 6

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	306.3	-	-
40	282.4	23.9	4.105
30	263	19.4	5.057
20	243.6	19.4	5.057
10	224.4	19.2	5.109
0	205.2	19.2	5.109
ค่าเฉลี่ย			4.887

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
0	206	-	-
10	226.9	20.9	4.694
20	246.9	20	4.905
30	266.9	20	4.905
40	286.7	19.8	4.955
50	306.8	20.1	4.881
ค่าเฉลี่ย			4.868

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงเพิ่มโหลด ครั้งที่ 7

น้ำหนัก (kg)	ความยาวสปริง (mm)	ระยะยืดสปริง (mm)	ค่าคงที่สปริง (N/mm)
50	306.8	-	-
40	282.7	24.1	4.071
30	263.3	19.4	5.057
20	244	19.3	5.083
10	224.5	19.5	5.031
0	205.2	19.3	5.083
ค่าเฉลี่ย			4.865

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบค่าคงที่ของสปริงในช่วงลดโหลด ครั้งที่ 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำหนัก (kg)	ค่าคงที่สปริงเฉลี่ย (N/mm)
0	-
10	4.666
20	4.912
30	4.891
40	4.923
50	4.916
ค่าเฉลี่ย	4.862

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่สปริงที่น้ำหนักต่างๆในช่วงการเพิ่มโหลด

น้ำหนัก (kg)	ค่าคงที่สปริงเฉลี่ย (N/mm)
50	-
40	4.474
30	5.027
20	4.918
10	4.892
0	4.971
ค่าเฉลี่ย	4.856

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่สปริงที่น้ำหนักต่างๆในช่วงการลดโหลด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การควบคุมแรงบิด

การควบคุมแรงบิดของเครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน คือการควบคุมปริมาณฟลักซ์แม่เหล็กที่ขดลวด โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวด แนวทางในการปรับปริมาณกระแสไฟฟ้า มีดังนี้

1). การใช้โซลิดสเตตรีเลย์ เพื่อตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่จะไหลไปยังโหลด โซลิดสเตตรีเลย์มีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีกระแสไฟควบคุมจ่ายเข้าทางด้านอินพุต จะทำให้โซลิดสเตตรีเลย์เริ่มทำงาน นำกระแสด้านเอาท์พุตไหลไปยังโหลด แต่เมื่อหยุดป้อนกระแสไฟควบคุมด้านอินพุต จะทำให้โซลิดสเตตหยุดทำงานไม่นำกระแสไปยังโหลด ดังนั้น หากต้องการควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลไปยังโหลดสามารถทำได้ โดยการควบคุมความถี่และระยะเวลาของกระแสควบคุมด้านอินพุต

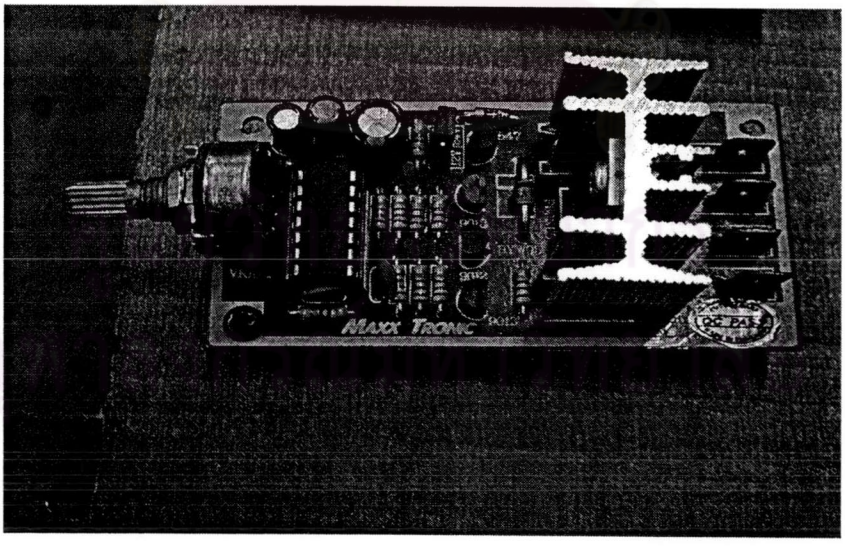
2). การใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ PWM มาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมปริมาณกระแสที่คอยล์ วงจรนี้สามารถเลือกใช้กับแหล่งจ่ายไฟได้ 2 แบบ คือ 12 V และ 24 V

3). การใช้ตัวต้านทานมาต่ออนุกรมเข้ากับวงจรจ่ายไฟให้คอยล์ เพื่อทำหน้าที่จำกัดปริมาณกระแส ไฟที่ไหลในวงจร หากปรับให้ความต้านทานมีค่ามาก กระแสไหลในวงจรก็จะน้อย หากความต้านทานมีค่าน้อยกระแสไหลในวงจรก็จะมีค่ามาก

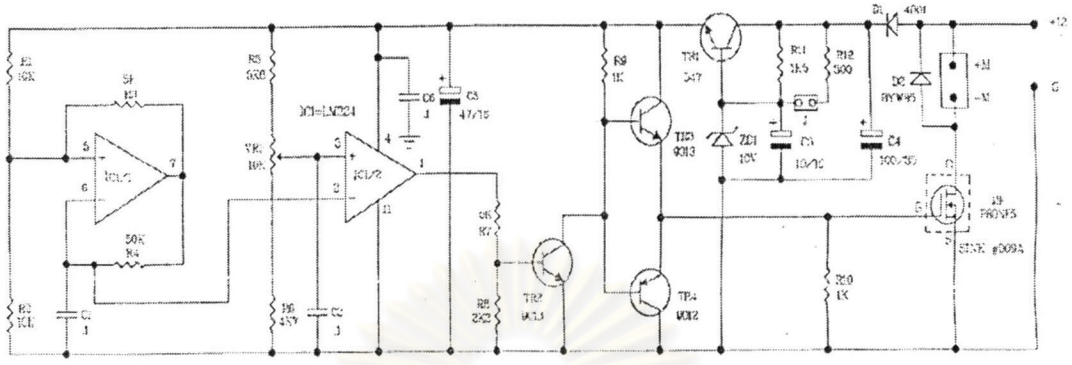
ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีที่ 2 และ 3 มาใช้ควบคุมกระแส เนื่องจากมีราคาถูก และใช้งานง่าย สามารถปรับค่าแรงดันไฟได้ตามต้องการ แต่ทั้งสองวิธีมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณกระแส หากต้องการควบคุมแรงบิดที่มีค่าสูง ก็สามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ หรือเพิ่มจำนวนวงจรให้มากขึ้น ในตารางที่ 4.18 แสดงถึงผลการทดสอบของวงจรปรับแรงดันไฟแบบ PWM ที่สภาวะการติดตั้งคอยล์ 3 คู่ในตำแหน่งที่สมดุลและมีความเร็วโรเตอร์เท่ากับ 1380 rpm พบว่า วงจรปรับแรงดันไฟแบบ PWM สามารถควบคุมกำลังทางกลได้ 5.37 kW ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ 7.5 kW ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้นั้นสามารถควบคุมกำลังทางกลได้เพียง 2.62 kW เท่านั้น ดังนั้นในการนำตัวต้านทานปรับค่าได้ไปใช้ควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ขนาด 7.5 kW ได้นั้นจำเป็นต้องใช้วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า PWM ควบคู่กันไปด้วย

แรงดันไฟฟ้า(V)	กำลังกล(W)	แรงบิด(N.m)
10	2149	14.87
11	2493	17.4
12	3005	20.97
13	3481	24.51
14	3747	26.62
15	4358	30.13
16	4448	31.18
17	5374	37.85

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบวงจรปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ PWM



รูปที่ 4.14 วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ PWM



รูปที่ 4.15 Schematic Diagram วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าแบบ PWM

จุดต่อใช้งานและจุดปรับแต่ง

จุด +12V เป็นจุดต่อไฟตรงขนาด 12 โวลท์ เพื่อนำไปเลี้ยงวงจรทั้งหมด

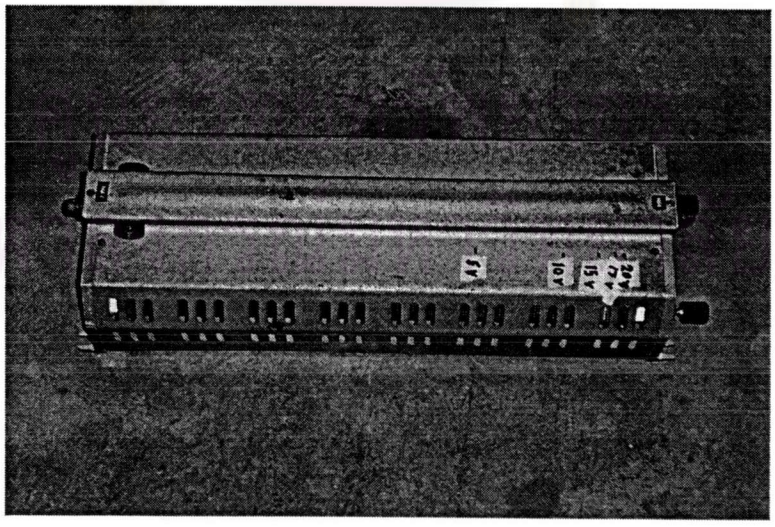
จุด +M เป็นจุดต่อขั้วบวกของคอยล์

จุด –M เป็นจุดต่อขั้วลบของคอยล์

จุด G เป็นจุดต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ

VR10K ใช้สำหรับปรับแรงดันไฟที่ทางออกของวงจร

J1 ใช้สำหรับเลือกระดับของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 4.16 ตัวต้านทานปรับค่าได้