รายการอ้างอิง

[1]. Brian D. Johnson,Spinal Traction in a Fitness Program,Synergy 2004

[2]. C.Norman Shealy,M.D.,Ph.D.,F.A.C.S.,Pierre L. Leroy,M.D.,F.A.C.S.,Pain Management,A Practical Guide for Clinicians,Fifth Edition Chapter 20,St.Lucie Press,Boca Raton,Florida

[3]. Rattana Rattanatharn MD.,Effective of Lumbar Traction with routine ConservativeTreatment in Acute Herniated Disc syndrome,Department of Physical Medicine and Rehabilitation,King Chulalongkorn Memorial Hospital

[4]. Oron A,Pintov S,Halperin N,Mirovsky Y,Continuous Passive Mobilization to the lower Vertebral Column-A Controlled Randomized Study,Department of Orthopeadics,Assaf Harofeh Medical Center,Zerifin,Israel

[5]. James M. Cox,D.C.,D.A.C.B.R.,Back into Research,August 2003,Volume 12,Issue 8

[6]. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ,การควบคุมระบบพลศาสตร์ Control of Dynamics Systems, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 419-421.

[7]. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์,รัชทิน จันทร์เจริญ,ระบบควบคุมเชิงเส้น Linear Control Systems, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): 15-22.

[8]. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์,เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม,สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): 65-68.

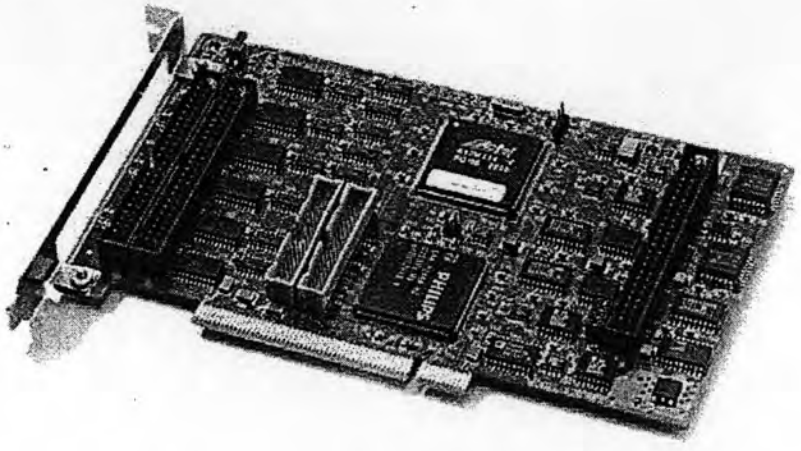
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังต่อไปนี้

1. แผ่นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกรวมทั้งตัวนับ (counter) ยี่ห้อ Sensoray รุ่น 626 จำนวน 1 ชุด

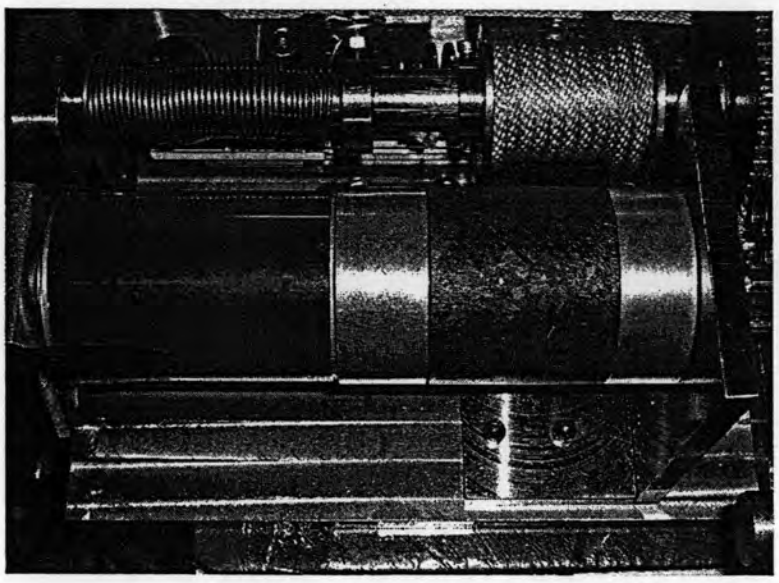


รูปที่ ก.1 แผ่นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

คุณสมบัติต่างๆที่สำคัญของวงจรแปลงสัญญาณ

1. 48 digital I/O channels.
2. 20 of the digital I/O Channels have edge detection and interrupt capability.
3. 7 of digital Outputs can be used as counter overflow outputs
4. Watchdog timer with several selectable reset periods that can reset the PCI bus.
5. 16 differential analog inputs (14 bit resolution)
6. 4 analog outputs (13 bit resolution) with remote sense inputs to compensate for any external output resistance.
7. Six 24 bit up/down counters arranged in 3 pairs with:
   - 7.1 Inputs that can be driven in various modes (1x,2x,4x) from incremental encoders inputs,the digital inputs,the paired counter's overflow,the system clock or software driven.
   - 7.2 Can be used as a programmable periodic interrupt generator.
   - 7.3 Can be preloaded/cleared on an overflow.

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน ยี่ห้อ Maxon รุ่น F 2260 $\Phi 60mm$ กำลัง 40 วัตต์พร้อมเฟืองทดอัตราส่วน 1:71 จำนวน 1 ชุด

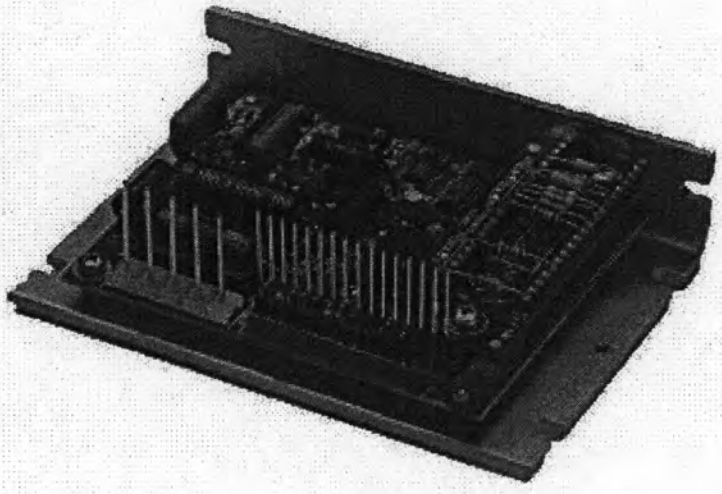


รูปที่ ก.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

ค่าคงที่ต่างๆ ของ F 2260 motor

1. Assigned power rating	40	W
2. Nominal Voltage	24.0	Vdc
3. No load speed	3,660	rpm
4. Stall torque	0.758	Nm
5. Speed/torque gradient	5.41	rpm/mNm
6. No load current	225	mA
7. Starting current	12.6	A
8. Terminal resistance	1.91	Ω
9. Max. permissible speed	5,000	rpm
10. Max. Continuous current	2.16	A
11. Max. Continuous torque	130	mNm
12. Max. efficiency	73	%
13. Torque constant	60.3	mNm/A
14. Speed constant	158	rpm/V
16. Rotor inertia	665	gcm^2
17. Terminal Inductance	0.63	mH

3. ชุดขยายกระแสและแรงดันไฟฟ้าขับมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brush-DC Servo Motor Amplifier) ยี่ห้อ Copley รุ่น 4212P สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องได้สูงสุด 6 แอมแปร์ จำนวน 1 ชุด

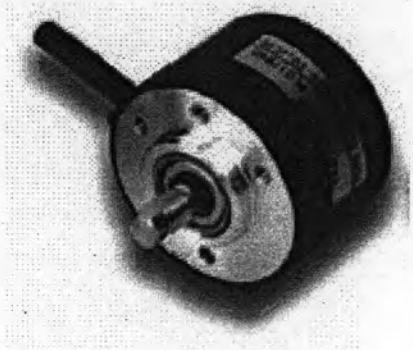


รูปที่ ก.3 ชุดขยายกระแสไฟฟ้าขับมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน

ค่าคงที่ต่างๆ ของ F 2260 motor

1. K_I	1.223	A / V
1. Input Voltage	24-90	VDC
2. Peak Current	12	A
3. Cont. Current	6	A
4. PWM Switching Frequency	25	kHz

4.อุปกรณ์วัดมุม (Encoder) ใช้ของยี่ห้อ Koyo รุ่น TRD-S2500VA ซึ่งเป็นแบบ Incremental Rotary Encoder โดยมีความละเอียดเท่ากับ 2500 พัลส์ต่อรอบ ซึ่งใช้ติดตั้งบนชุดอุปกรณ์วัดแรงดึงเชือก



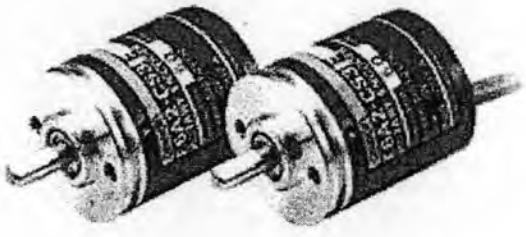
รูปที่ ก.4 อุปกรณ์วัดมุม

ภาคผนวก ข

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดมุม

ออพติคัลเอนโคดเดอร์ (optical encoder)

ออพติคัลเอนโคดเดอร์ คือ เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดระยะขจัดที่ให้ระยะขจัดเชิงเส้นหรือระยะขจัดเชิงมุมมีค่าแปรผันไปตามการส่งผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (source) จนถึงตัวตรวจจับแสง (detector) โดยให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล และเนื่องจากสัญญาณออกที่ได้จากออพติคัลเอนโคดเดอร์นี้เป็นสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัล จึงทำให้เซนเซอร์แบบนี้มีประโยชน์และมีความหมายสมกับการนำไปใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์และระบบดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างของออพติคัลเอนโคดเดอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ ข.1 ตัวอย่างของออพติคัลเอนโคดเดอร์ที่ใช้งานทั่วไป

ออพติคัลเอนโคดเดอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1) อินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์ (incremental encoder

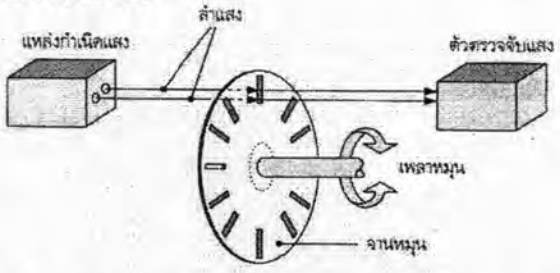
2) แอบโซลุตเอนโคดเดอร์ (absolute encoder)

อินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์ คือ ออพติคัลเอนโคดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดของแกนหมุนที่เกิดขึ้น จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตช่วงถัดไปจะถูกตรวจวัดและทำการแปลงให้อยู่ในรูปของระยะขจัดเชิงมุมที่เกิดขึ้นของเพลาหมุน

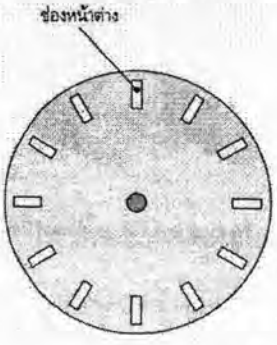
แอบโซลุตเอนโคดเดอร์ คือ ออพติคัลเอนโคดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดเชิงมุมทั้งหมดของเพลาหมุนที่เกิดขึ้น โดยนับจากตำแหน่งศูนย์

หลักการทำงานพื้นฐานอินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์แบบจานหมุนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ข.2 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นจานหมุนซึ่งยึดติดอยู่กับเพลาหมุนที่ต้องการจะตรวจวัดระยะขจัดเชิงมุม โดยมี LED (lignt emitting diode) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง แผ่นจานหมุนจะถูกเจาะให้เป็นร่องหรือในที่นี้จะเรียกว่า "ช่องหน้าต่าง (window)" เพื่อให้สำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสามารถพุ่งผ่านไปได้ และส่วนที่เหลือก็จะเป็นส่วนทึบแสงเพื่อปิดกั้นไม่ให้แสง

ผ่านไปได้ ตัวตรวจจับแสงเป็นส่วนทำหน้าที่ตรวจจับลำแสงที่ผ่านมาจากช่องหน้าต่างเพื่อสร้างให้เป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรต่อไป



รูปที่ ข.2 อินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์ แบบจานหมุน

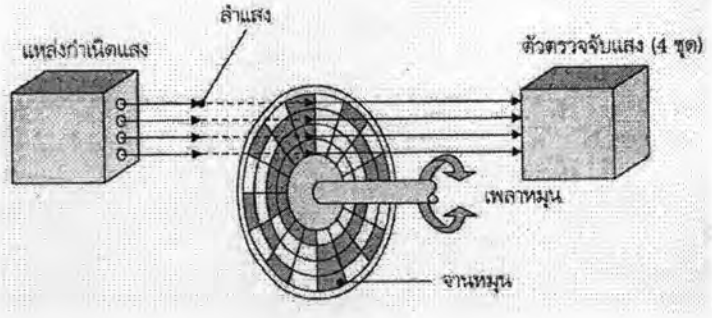


รูปที่ ข.3 จานหมุนของอินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์

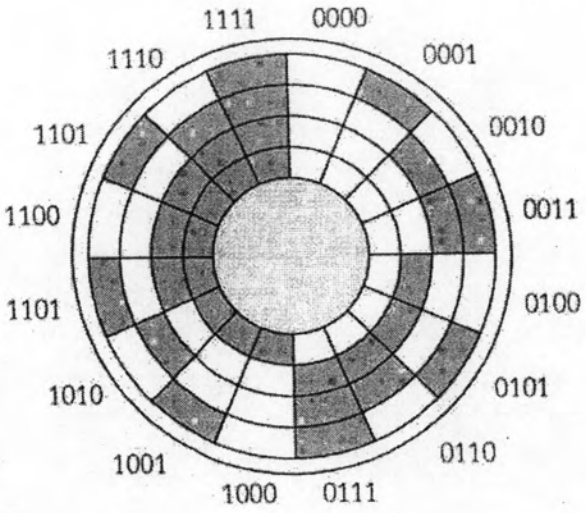
ลักษณะจานหมุนของอินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์แสดงดังรูปที่ 3.19 เมื่อเพลามีการหมุนขึ้น (หรือมีการเคลื่อนที่เชิงมุมเกิดขึ้น) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดสามารถพุ่งผ่านไปยังตัวตรวจจับแสงได้โดยผ่านช่องหน้าต่างบนจานหมุนนอกเหนือจากนั้นก็จะถูกปิดกั้นด้วยจานหมุน นั่นหมายความว่าจำนวนลำแสงที่สามารถพุ่งไปยังตัวตรวจจับแสงได้ต้องมีค่าเท่ากับจำนวนช่องหน้าต่างบนจานหมุนนั่นเอง ดังนั้น ตัวตรวจจับแสงจึงสร้างสัญญาณพัลส์เอาต์พุตตามจำนวนของลำแสงที่ได้รับซึ่งมีค่าสอดคล้องเป็นไปตามการหมุนของเพลาหรือจานหมุน และมุมต่างเฟสของสัญญาณพัลส์เอาต์พุตนั้นแสดงถึงทิศทางของการหมุน ทำให้สรุปได้ว่าจำนวนพัลส์มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมในการหมุนของเพลา และระยะขจัดเชิงมุมที่เกิดขึ้นจึงสามารถคำนวณได้จากตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดไว้ ค่าความละเอียด (resolution) ที่ได้จากการวัดขึ้นอยู่กับจำนวนช่องหน้าต่างบนจานหมุน กล่าวคือ หากช่องหน้าต่างมีจำนวนมากขึ้นก็จะทำให้ค่ารีโซลูชันมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก 2π เรเดียน (360°) หารด้วยจำนวนช่องหน้าต่างบนจานหมุน (มีจำนวนประมาณ 60 ช่องจนถึง 1,000 ช่อง) และโดยทั่วไปค่ารีโซลูชันของอินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์แบบจานหมุนนี้มีค่าอยู่ในช่วง0.0034 เรเดียน (0.2°) ถึง 0.102 เรเดียน (6°) สำหรับแอบโซลุดเอนโคดเดอร์มีส่วนประกอบแสดงได้ดังรูปที่ ข.4 โดยมีหลอด LED จำนวน 4 หลอดทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงส่งลำแสงผ่านจานหมุนไปยัง

ตัวตรวจจับที่ติดตั้งไว้ทางด้านขวามือ เอนโคดเดอร์แบบนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคล้ายกับอินครีเมนทัลเอนโคดเดอร์ แต่ส่วนที่แตกต่างกันคือ แอบโซลุตเอนโคดเดอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมาอยู่ในรูปของเลขฐานสอง หรือเลขไบนารี (binary code) กล่าวคือ หากลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงมีตำแหน่งตรงกับช่องหน้าต่างและสามารถผ่านจานหมุนไปยังตัวตรวจจับแสงแล้ว ทำให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับมีสภาวะเป็น "high" หรือมีโลจิกเท่ากับ "1" แต่ในทางกลับกันหากลำแสงมีตำแหน่งตรงกับส่วนทึบแสงบนจานหมุนซึ่งปิดกั้นแสงไม่ให้พุ่งไปยังตัวตรวจจับแสง ทำให้สภาวะเช่นนี้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับแสงมีสภาวะเป็น "low" หรือมีโลจิกเท่ากับ "0" ดังนั้นเพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปเลขฐานสอง ช่องหน้าต่างบนแผ่นจานหมุนจึงต้องทำการเจาะให้เป็นไปตามลำดับของเลขฐานสองจาก 0 ถึง $2^n - 1$ โดยที่ n คือ จำนวนช่องแทรก (track) บนจานหมุน ตัวอย่างจานหมุนของแอบโซลุตเอนโคดเดอร์ที่มีจำนวนช่องแทรก n เท่ากับ 4 (4 บิต) ดังรูปที่ ข.5 กรณีเช่นนี้จำนวนระดับทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $2^4 = 16$ ระดับและลำดับของเลขฐานสองมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง ($2^4 - 1 = 15$) หรือตั้งแต่ 0000 จนถึง 1111ค่ารีโซลูชันสามารถหาได้จาก 2π เรเดียน (360°) หารด้วยจำนวนระดับทั้งหมด (16 ระดับ) ซึ่งจะได้ค่าความละเอียดในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 0.393 เรเดียน (22.5°) และถ้าเลือกใช้จานหมุนที่มีจำนวนช่องแทรก n เท่ากับ 8 (8 บิต) กรณีนี้จำนวนระดับทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $2^8 = 256$ ระดับและจะได้ค่ารีโซลูชันมีค่าเท่ากับ 0.024 เรเดียน (1.41°)

จากคุณสมบัติของออพติคัลเอนโคดเดอร์ทั้งสองแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้การประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่ของเซนเซอร์ดังกล่าว ถูกนำไปใช้ลักษณะของงานการควบคุมแบบเชิงเลข (numerical control) เช่น ระบบควบคุมเครื่องจักรกลเชิงเลข ระบบควบคุมเครื่องกัด-เครื่องไสด้วยคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงระบบการควบคุมตำแหน่ง และระบบโรบอทิก เป็นต้น



รูปที่ ข.4 แอบโซลุตเอนโคดเดอร์



รูปที่ ข.5 จานหมุนของแอบโซลุดเอนโคดเดอร์ กรณีจำนวนช่องแทรกเท่ากับ 4 (n=4)

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย จตุพร เอมอุดม เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ภูมิลำเนาอยู่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนดอนบอสโกวิทยา จังหวัด อุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมต้นจากโรงเรียนอุดรพิชัยรักษ์พิทยา และการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัด อุดรธานี หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาที่ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลในปีการศึกษา 2545 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2546