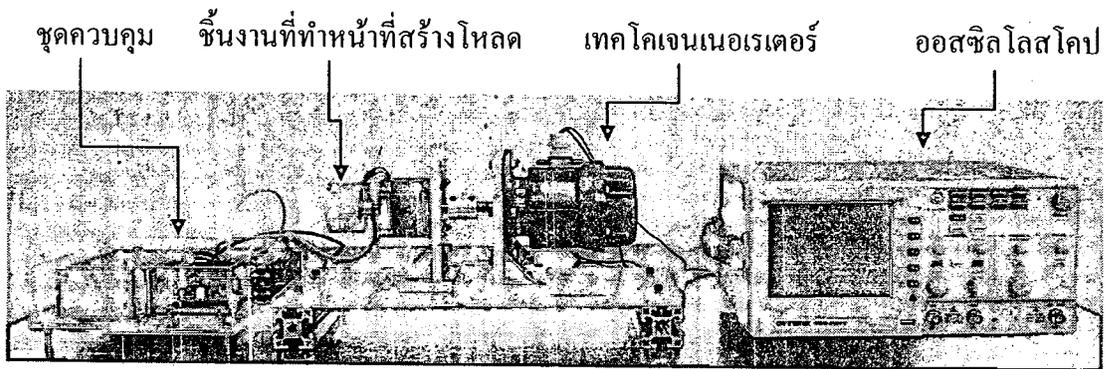


บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

สำหรับการออกแบบและสร้างชุดจำลองการทดสอบสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์ ที่ใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็กดังแสดงในภาพประกอบ 12 มีอุปกรณ์ต่างๆ ที่เลือกใช้ ทั้งนี้พิจารณาจากความเหมาะสมและความสอดคล้องกับเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก สามารถแสดงดังนี้



ภาพประกอบ 12 แสดงชุดจำลองการทดสอบสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์

3.1 สเต็ปมอเตอร์

สำหรับสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังในเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติขนาดเล็ก และชุดจำลองการทดสอบสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์ในครั้งนี้คือ สเต็ปมอเตอร์แบบผสมของบริษัท VEXTA รุ่น PK266-02B โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- แรงบิดสูงสุด: 127 (0.9) oz-in (N.m)
- มุมองศาในการเคลื่อนที่แต่ละสเต็ป: 1.8°
- เป็นมอเตอร์ขนาด: 24 Vdc (2.5 A/Phase)
- แรงเฉื่อยของสเต็ปมอเตอร์: $1.64 (300 \times 10^{-7})$ oz-in ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)



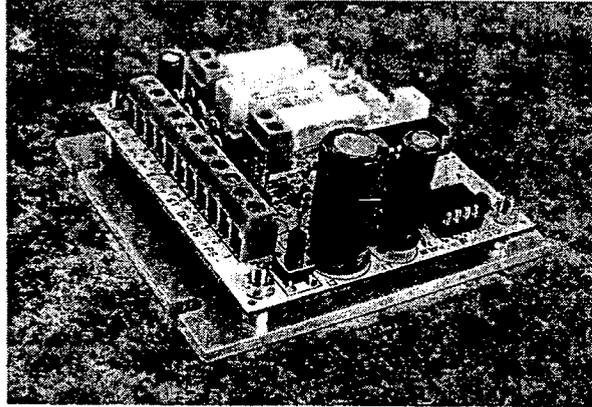
ภาพประกอบ 13 แสดงสตีปมอเตอร์ของบริษัท VEXTA รุ่น PK266-02B

3.2 ชุดควบคุม

3.2.1 บอร์ดควบคุมมอเตอร์

สำหรับบอร์ดควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในชุดจำลองการทดสอบสตีปมอเตอร์แบบผสม เป็นบอร์ดของ Mach Drive NB ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นโมดูลแยกแกนขับแบบไบโพลาร์
- สามารถขับกระแสสูงสุดแบบต่อเนื่องได้ 3 Amp/Phase และมีแรงดันใช้งาน 12-34 Vdc
- วงจรควบคุมกระแสเป็นแบบ Chopper ที่ความถี่สูง 100 kHz
- ใช้ได้กับมอเตอร์ทั้ง Bipolar และ Unipolar แบบ 4, 6, 8 เส้น
- มีวงจรป้องกันการลัดวงจรและระดับไฟสูงเกินที่กำหนด และหยุดทำงานอัตโนมัติเมื่อความร้อนเกิน 150 °C
- มีแรงดัน 5 Vdc Switching Regulator ในตัว ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟเพิ่ม
- สามารถเลือกไมโครสตีปปีงแบบ Full, 1/2, 1/8, 1/16 ได้
- สามารถตั้งไครว์ทอร์คและโฮลคทอร์คที่ 100%, 75%, 50% และ 25% จากทอร์คสูงสุดด้วยสวิตช์ปุ่มเดียว
- มี Mix-Decay หลายระดับให้เลือกใช้ให้เหมาะกับมอเตอร์และความเร็วสามารถปรับการ Decay ได้จากช้า, ปานกลาง และเร็ว เพื่อให้มอเตอร์วิ่งเรียบเร็วและมีอาการสั่นน้อย



ภาพประกอบ 14 แสดงบอร์ด Mach Drive NB

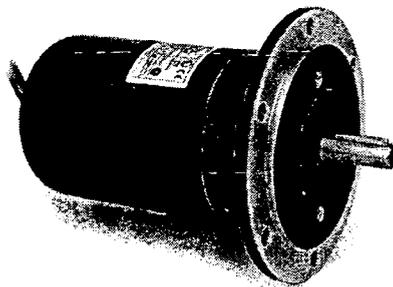
3.2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติ

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติ และชุดจำลองการทดสอบสเต็ปเปอร์มอเตอร์ในครั้งนี้ คือ โปรแกรม Mach3 ซึ่งเป็นตระกูลซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท Newfangled Solutions สำหรับงานด้าน CNC เบื้องต้น และในเวลาต่อมาได้รับความนิยมและถูกนำไปใช้อย่างจริงจังในภาคอุตสาหกรรมขนาดย่อม

3.2.3 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณป้อนกลับ

สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณป้อนกลับที่เลือกใช้ในที่นี้คือ เทค โคเจนเนอเรเตอร์ของบริษัท RADIO-ENERGIE รุ่น REO44N ที่มีคุณสมบัติดังนี้คือ

- เป็นเทค โคเจนเนอเรเตอร์แบบ Solid Shaft
- เป็นรุ่นที่ออกแบบมาแข็งแรงเป็นพิเศษ Protection IP55
- ขนาดเพลา 11 mm.
- สามารถเลือกระดับแรงดันได้ทั้ง 60 Vdc /1,000 rpm หรือ 100 Vdc / 1,000 rpm



ภาพประกอบ 15 แสดงเทคโคเจนเนอเรเตอร์ของบริษัท RADIO-ENERGIE รุ่น REO44N

3.3 ชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์

จากคุณสมบัติของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติคือ สเต็ปมอเตอร์ของบริษัท VEXTA รุ่น PK266-02B ซึ่งจากผลการทดสอบการขับเคลื่อนโดยส่งกำลังผ่านบอลสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $14 \times 10^{-3} \text{ m}$ และระยะพิตช์ $10 \times 10^{-3} \text{ m}$ พบว่ามีค่าความเร็วและความเร่งสูงสุดเท่ากับ 156 mm/s และ $3,281.15 \text{ mm/s}^2$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสำหรับค่าความเร่งที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณเพื่อหาแรงบิด T_1 และ T_2 จะใช้ค่าความเร่งเริ่มต้นที่เครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติสามารถทำงานได้จริง คือประมาณ 20 % ของความเร่งสูงสุดหรือมีค่าเท่ากับ 656.25 mm/s^2 สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ประกอบการคำนวณมีดังนี้

- มวลที่สเต็ปมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน X (M_x) เท่ากับ 16 kg
- มวลที่สเต็ปมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน Y (M_y) เท่ากับ 9.95 kg
- มวลที่สเต็ปมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน Z (M_z) เท่ากับ 2.61 kg
- มวลของตัวจับยึด (M_c) คือ 0.032 kg
- รัศมีวงนอกของตัวจับยึด (r_o) คือ $2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$
- รัศมีวงในของตัวจับยึด (r_i) คือ $9.5 \times 10^{-3} \text{ m}$
- เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู (D) คือ $14 \times 10^{-3} \text{ m}$
- ความหนาแน่นของบอลสกรู (ρ) คือ $7.83 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- ความยาวของบอลสกรูในแต่ละแนวแกน (L_i) คือ $40.65 \times 10^{-2} \text{ m}$
- ค่าประสิทธิภาพของบอลสกรู (η) คือ 0.96
- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบอลสกรู (μ) คือ 0.003
- ระยะพิตช์ของบอลสกรู (P) คือ $10 \times 10^{-3} \text{ m}$

3.3.1 แรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติ

ดังนั้นสำหรับแรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกัดชิ้นงานอัตโนมัติในแต่ละแนวแกนสามารถคำนวณได้จากสมการในด้านล่างคือ

$$T_{1,i} = T_{\text{friction}} + (J_{\text{coupling}} + J_{\text{screw}} + J_{\text{reflect}}) \times \alpha$$

เมื่อ

$$T_{\text{friction}} = \frac{F_i \times P}{2\pi\eta}$$

เมื่อ

$$F_x, F_y = \mu M_i g + M_i a$$

และ

$$F_z = M_i g + M_i a$$

เมื่อ

$$J_{\text{coupling}} = \frac{M_c}{2} (r_i^2 + r_o^2)$$

เมื่อ

$$J_{\text{screw}} = \frac{M_b D^2}{8}$$

และ

$$J_{\text{reflect}} = M_i \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการจะได้อัตราแรงบิดรวม $T_{1,i}$ ในแต่ละแนวแกนคือ

$$T_{1,x} = 4.10 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

$$T_{1,y} = 3.41 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

$$T_{1,z} = 5.42 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

3.3.2 แรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเทคโคเจนเนอเรเตอร์ในชุดจำลอง

สำหรับแรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเทคโคเจนเนอเรเตอร์ในชุดจำลอง สามารถคำนวณได้จากสมการในด้านล่างคือ

$$T_2 = (J_{\text{coupling}} + J_{\text{tacho}}) \times \alpha$$

จากคุณสมบัติของเทคโคเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในชุดจำลองเป็นรุ่น REO44N ที่มีค่าแรงเฉื่อยเท่ากับ $9.5 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$ ดังนั้นจากสมการดังกล่าวจะได้อัตรา

$$T_2 = 4.03 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

3.3.3 ขนาดชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับชุดจำลอง

สำหรับชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับชุดจำลอง จะสามารถคำนวณหามวลได้จากสมการในด้านล่างคือ

$$M_{o,i} = \frac{2J}{r_o^2 - r_i^2}$$

เมื่อ

$$J = \frac{T_{1,i} - T_2}{\alpha}$$

อย่างไรก็ตามสำหรับค่าแรงบิด $T_{1,i}$ ที่คำนวณได้ทั้งสามแนวแกน เป็นค่าแรงบิดในขับเคลื่อนเครื่องกักชิ้นงานอัตโนมัติแบบไม่มีอัตราการป้อน หรือในขณะไม่มีการกักชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงของเครื่องกักชิ้นงานอัตโนมัติในขณะที่มีการกักชิ้นงาน กล่าวคือแรงบิดที่สเต็ปมอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกักชิ้นงานอัตโนมัติจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ สำหรับการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์ในครั้งนี้ จะทำการออกแบบชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์ โดยพิจารณาจากแรงบิดที่มีค่าเป็น 130%, 140%, 150%, 160% และ 170% ของค่าแรงบิด T_1 ในแต่ละแนวแกน

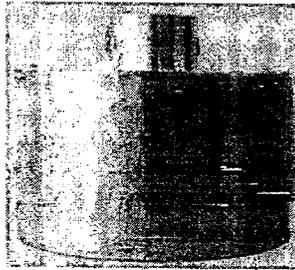
3.3.3.1 การเคลื่อนที่ในแนวระนาบ (x,y)

สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน x และแกน y เป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ที่จำเป็นต้องมีจังหวะการเคลื่อนที่ รวมทั้งความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่ที่เท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ในแนวระนาบที่ราบเรียบและสม่ำเสมอ ดังนั้นสำหรับค่าแรงบิด T_1 ที่จะนำมาพิจารณาเพื่อหาขนาดของชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์ในชุดจำลองควรมีค่าเดียวกัน และในที่นี้จะเลือกใช้ค่า $T_{1,x}$ ทั้งนี้เพราะแรงบิดในแนวแกน x มีค่ามากกว่าแรงบิดในแนวแกน y

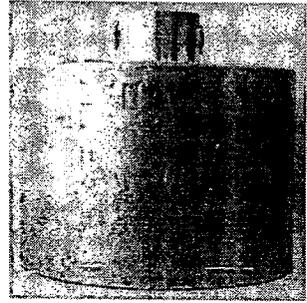
ดังนั้นจะได้ว่าชิ้นงานที่จะนำมาเป็นตัวสร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ในแนวระนาบมีทั้งหมด 5 ชิ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 16 คือ $M_{o,x,1} = 0.124 \text{ kg}$, $M_{o,x,2} = 0.163 \text{ kg}$, $M_{o,x,3} = 0.203 \text{ kg}$, $M_{o,x,4} = 0.242 \text{ kg}$ และ $M_{o,x,5} = 0.282 \text{ kg}$



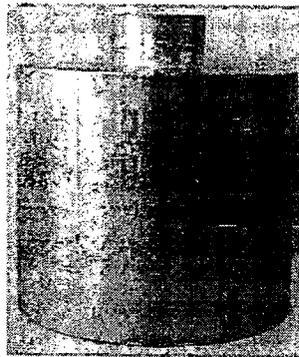
(ก)



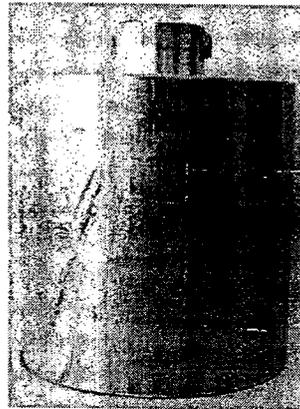
(ข)



(ค)

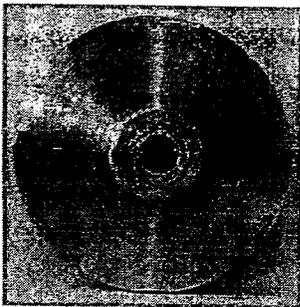


(ง)



(จ)

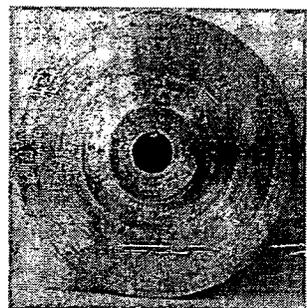
ด้านหน้า



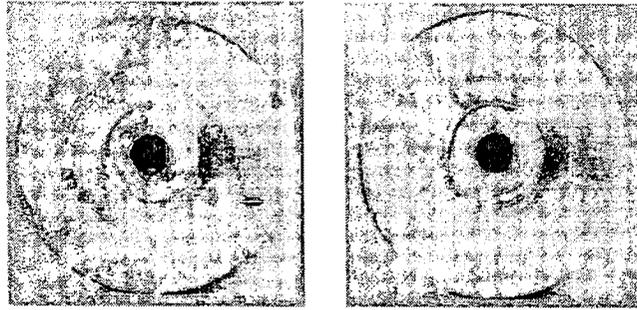
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

(จ)

ด้านบน

ภาพประกอบ 16 แสดงภาพของชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับชุดจำลอง สำหรับการเคลื่อนที่
ในแนวระนาบ (ก) $M_{o,x,1} = 0.124$ kg (ข) $M_{o,x,2} = 0.163$ kg (ค) $M_{o,x,3} = 0.203$ kg (ง) $M_{o,x,4} = 0.242$
kg และ (จ) $M_{o,x,5} = 0.282$ kg

3.3.3.2 การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (z)

สำหรับชิ้นงานที่จะนำมาเป็นตัวสร้างโหลดให้กับสเต็ปมอเตอร์สำหรับการ
จำลองการเคลื่อนที่ในแนวตั้งมีทั้งหมด 5 ชิ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 17 คือ $M_{o,z,1} = 0.112$ kg,
 $M_{o,z,2} = 0.134$ kg, $M_{o,z,3} = 0.156$ kg, $M_{o,z,4} = 0.178$ kg และ $M_{o,z,5} = 0.2$ kg



(ก)



(ข)



(ค)

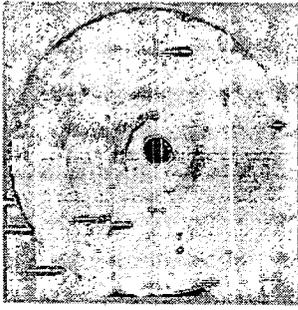


(ง)



(จ)

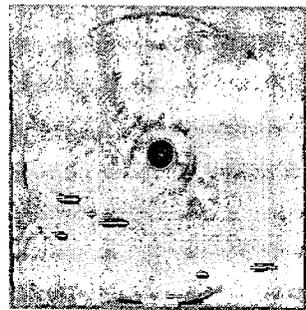
ด้านหน้า



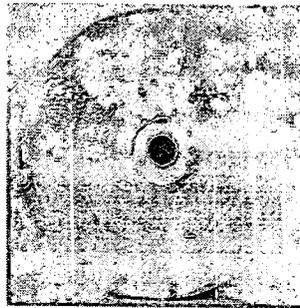
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



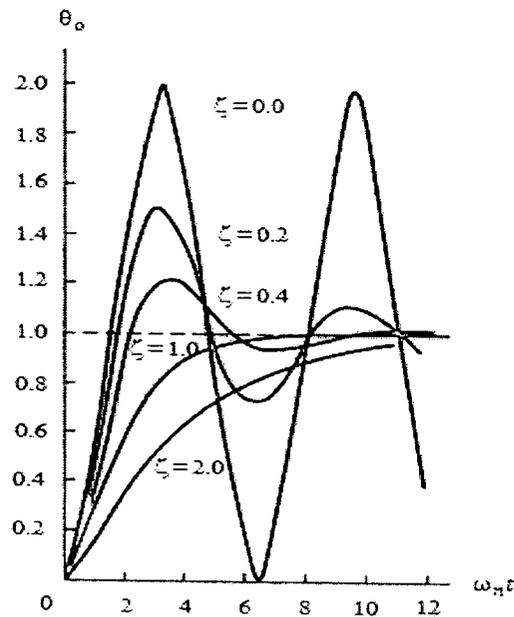
(จ)

ด้านบน

ภาพประกอบ 17 แสดงภาพของชิ้นงานที่ทำหน้าที่สร้างโหลดให้กับชุดจำลอง สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (ก) $M_{o.z.1} = 0.112 \text{ kg}$ (ข) $M_{o.z.2} = 0.134 \text{ kg}$ (ค) $M_{o.z.3} = 0.156 \text{ kg}$ (ง) $M_{o.z.4} = 0.178 \text{ kg}$ และ (จ) $M_{o.z.5} = 0.2 \text{ kg}$

3.4 การตรวจวัดเพื่อหาสมรรถนะของสเต็ปมอเตอร์

สำหรับการตรวจวัดเพื่อหาการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ โดยอาศัยชุดทดสอบการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ในครั้งนี้ ก็เพื่อหาค่าความเร็ว และความเร่งที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์มีสมรรถนะสูงสุด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตัวอย่างการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ในภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงการตอบสนองของระบบอันดับสองที่ได้รับอินพุทแบบขั้นบันได เมื่อระบบมีค่า ζ ที่แตกต่างกัน

จากภาพประกอบ 18 พบว่าเมื่อ $\zeta=1$ การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์จะเข้าสู่การตอบสนองในช่วงคงตัว (Steady state response) เร็วที่สุด โดยที่การตอบสนองยังไม่เกิดการโอเวอร์ชูดขึ้น จึงถือได้ว่าเป็นสถานะคงกล่าว สเต็ปมอเตอร์มีการทำงานด้วยสมรรถนะในด้านความไวในการตอบสนองสูงสุด ในขณะที่การตอบสนองยังไม่เกิดปรากฏการณ์โอเวอร์ชูดขึ้น

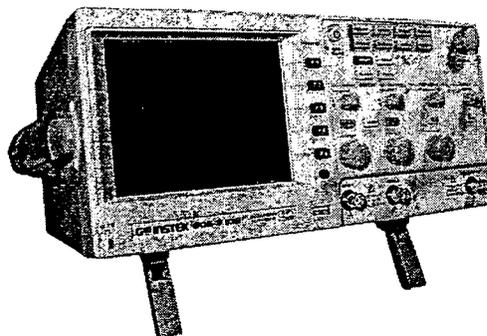
ดังนั้นสำหรับการทดสอบเพื่อหาการตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์ในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วและความเร่ง ที่สเต็ปมอเตอร์มีการตอบสนองด้วยความไวที่สูงที่สุดในขณะที่การตอบสนองยังคงไม่เกิดการโอเวอร์ชูด รวมทั้งจะต้องเป็นค่าความเร็วและความเร่งที่ส่งผลให้การตอบสนองในการทำงานของเครื่องกักอัดโนมิตขนาดเล็ก มีการทำงานที่ต่อเนื่อง และราบเรียบที่สุด จึงจะถือได้ว่าเป็นค่าความเร็วและความเร่งที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลให้การตอบสนองของสเต็ปมอเตอร์มีสมรรถนะสูงสุด

3.5 ออสซิลโลสโคป

สำหรับออสซิลโลสโคปที่เลือกใช้สำหรับวัดสัญญาณจากตัวป้อนกลับสัญญาณในครั้งนี้ เป็นของบริษัท GW INSTREK รุ่น GDS 2062 โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- Scope Type: Bench

- Scope Channels: 2 Analogue
- Bandwidth: 60MHz
- Meter Display Type: TFT Color
- Sampling Rate: 1GSPS
- Input Impedance: 1Mohm
- Rise Time: 5.8ns
- Supply Voltage Min: 100VAC
- Supply Voltage Max: 240VAC
- Plug Type: Euro, UK
- External Depth: 254mm
- External Height: 142mm
- External Width: 310mm
- Input Voltage: 300V
- No. of Channels: 2
- Oscilloscope Bandwidth: 60MHz
- Weight: 4.3kg



ภาพประกอบ 19 แสดงออสซิลโลสโคป รุ่น BK Precision 2160A