

การควบคุมอัตโนมัติแบบวงปิดของสเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้เปิด-ปิดวาล์ว
CLOSED LOOP CONTROL OF STEPPING MOTOR DRIVING CONTROL VALVE



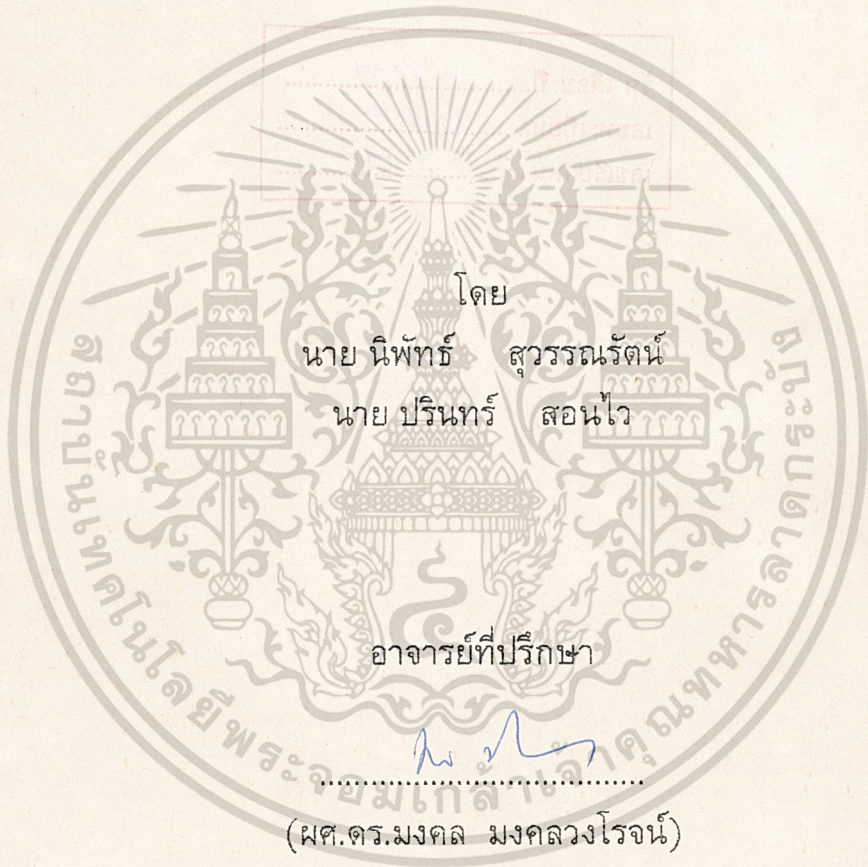
ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ใน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา ๒๕๖๖

033299

ปีการศึกษา 2536

การควบคุมอัตโนมัติแบบวงจรปิดของสเตปป์มอเตอร์ที่ใช้เปิด-ปิดวาล์ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLOSED LOOP CONTROL OF STEPPING MOTOR DRIVING CONTROL VALVE

NIPAT SUWANARAT

PRIN SONWAI

ADVISOR ASST. PROF. DR. MONGKOL MOMGKOLWONGROJ

ABSTRACT

This project deals with the development of closed loop position control for hydraulic system. The system is a second order hydraulic actuator. Hydraulic direction control valve which was recently developed using stepping motor is used to control the hydraulic actuator. Programable controller closed loop control in this project; P-control and PID-control are develop for this computer. The performance of the position of hydraulic control system would be increase according to the increase of pulse frequency supply to stepping motor as the result the hydraulic oil flow rate from the control valve driver by stepping motor would be increase. There are, the system response increase.

From experiment show good result of the response of step input with P-control and PID-control for the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอัตโนมัติแบบวงปิดของสเตปิ้งมอเตอร์ที่ใช้เปิด-ปิดวาล์ว

นายนิพัทธ์ สุวรรณรัตน์

นายปริณฑ์ สอนไว

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อธิบายถึง การควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ (Closed Loop control system) ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย การจำลองระบบควบคุมตำแหน่งของกระบอกสูบไฮดรอลิกเชิงตัวเลข และการจำลองระบบควบคุมตำแหน่งของกระบอกสูบไฮดรอลิกแบบอะนาลอก โดยใช้โมเดลสมการทางคณิตศาสตร์เป็นสมการลำดับที่สอง โดยใช้โปรแกรมสำหรับตัวควบคุมแบบ P-control และแบบ PID-control กับคอมพิวเตอร์ในโครงการนี้ ประสิทธิภาพทางตำแหน่งของการควบคุมระบบไฮดรอลิกระบบนี้ จะเพิ่มขึ้นตามค่าความถี่ของพัลส์ ที่ป้อนให้กับสเตปิ้งมอเตอร์ ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากวาล์วไฮดรอลิกถูกสเตปิ้งมอเตอร์ไปดันให้เปิดมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ผลตอบสนองของระบบดีขึ้น

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าได้ผลตอบสนองของระบบที่ดี ทั้งการควบคุมแบบ P-control และ PID-control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทคัดย่อ

บทที่ ๑	บทนำ	๑
บทที่ ๒	สแตปปีงมอเตอร์	๒
	๒.๑ นิยามของสแตปปีงมอเตอร์	
	๒.๒ การทำงานของสแตปปีงมอเตอร์	
	๒.๓ หลักการทำงานของสแตปปีงมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป	๓
	๒.๔ ชนิดของสแตปปีงมอเตอร์	๔
	๒.๕ ข้อดีและข้อเสียของสแตปปีงมอเตอร์	๑๔
	๒.๖ ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของสแตปปีงมอเตอร์	๑๔
	๒.๗ วงจรขับสแตปปีงมอเตอร์	
บทที่ ๓	วาล์วไฮดรอลิค	๑๘
	๓.๑ วาล์วควบคุมความดัน	
	๓.๒ วาล์วควบคุมอัตราการไหล	
	๓.๓ วาล์วควบคุมทิศทางการไหล	๑๕
บทที่ ๔	กระบอกสูบไฮดรอลิค	๒๑
	๔.๑ กระบอกสูบแบบทำงานสองทาง	
	๔.๒ กระบอกสูบแบบทำงานทางเดียว	๒๒
บทที่ ๕	ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันสำหรับระบบ	๒๔
	๕.๑ ลิตส์กรู	
	๕.๒ วาล์วควบคุมทิศทางการไหล	
	และกระบอกสูบไฮดรอลิคทางเดียว	
บทที่ ๖	โพเทนทีโอมิเตอร์	๒๗
บทที่ ๗	การแปลงผันสัญญาณเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์	๒๘
	๗.๑ การแปลงผันสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล	
	๗.๒ ET-PC 8255	๓๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อสงวนลิขสิทธิ์เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้นฉบับของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๘	สมการ PID ที่ใช้ในการควบคุม	๓๑
	๘.๑ การควบคุมแบบสัดส่วน	
	๘.๒ การคำนวณสมการ PID ในระบบดิจิทัล	๓๓
บทที่ ๙	ซอฟต์แวร์	๓๖
บทที่ ๑๐	การทดลองและผลการทดลอง	๓๕
	๑๐.๑ การหาค่าพารามิเตอร์ของสมการ	
	๑๐.๒ ผลการทดลอง	
บทที่ ๑๑	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	๖๒
	๑๑.๑ การควบคุมแบบ P	
	๑๑.๒ การควบคุมแบบ PID	

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

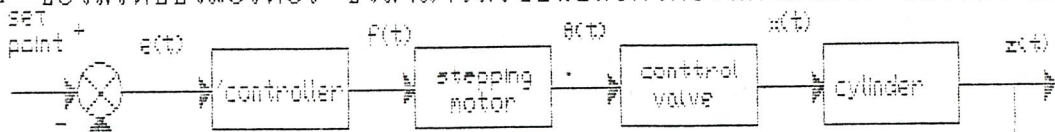
บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ระยะหลายปีที่ผ่านมา ราคาของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่กลับมีคุณภาพเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ทำให้มีการใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาเป็นตัวควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ที่ซับซ้อนได้มากขึ้นตามลำดับ ทำให้สามารถเพิ่มสมรรถภาพของระบบควบคุม

ในงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลที่เกี่ยวกับการควบคุมในปัจจุบัน คอมพิวเตอร์ก็ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานด้านการจำลองและวิเคราะห์ระบบควบคุมที่ซับซ้อน (simulation field) และยังใช้ในงานด้านการคำนวณและควบคุมระบบโดยตรง (computation and control) ด้วย

จากข้อดีของระบบคอมพิวเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น โครงการนี้จึงได้มีการศึกษาและทดลองปฏิบัติงานที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยที่คอมพิวเตอร์จะรับค่าสัญญาณวัดจากเครื่องมือวัดระยะ (potentiometer) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมายของการควบคุม (set point) แล้วคำนวณค่าสัญญาณควบคุม (control signal) ที่เหมาะสมเพื่อปรับสภาพของกระบวนการจากสภาพปัจจุบันให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ แต่เนื่องจากตัวควบคุม (controller) คือคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้สัญญาณแบบดิจิทัล แต่เครื่องมือวัดระยะใช้สัญญาณแบบอะนาล็อก ดังนั้นในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเข้าด้วยกัน จำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมกับอุปกรณ์นั้น ๆ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (analog to digital converter; ADC) ก่อนที่จะส่งสัญญาณจากเครื่องมือวัดระยะเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์และเมื่อสัญญาณส่งออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์ จะส่งสัญญาณผ่านการ์ด ET-PC 8255 ก่อนที่จะเข้าสู่

driver ของสเตปปีงมอเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของระบบรวมได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็นเอกสารหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ

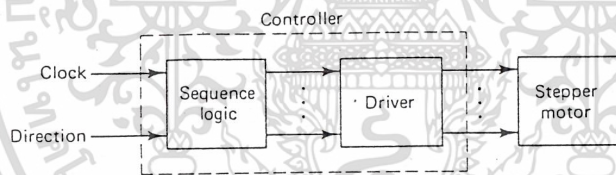
สเต็ปปีงมอเตอร์ (STEPPING MOTOR)

2.1) นิยาม ของสเต็ปปีงมอเตอร์

- จะมีเพลาหมุนเป็นสเต็ป
- ป้อนอินพุตด้วยพัลส์ที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
- จะสเต็ปไปหนึ่งสเต็ปในแต่ละพัลส์
- ขนาดของสเต็ปขึ้นอยู่กับการออกแบบสเต็ปปีงมอเตอร์
- ด้วยกระแสที่พอเพียงโดยวงจรไดรเวอร์

2.2) การทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์ในลำดับที่ถูกต้อง ด้วยวงจรถลอจิกสำหรับจัดลำดับ (sequencer logic)

คอนโทรลเลอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์

ในรูปที่ 2 สเต็ปปีงมอเตอร์จะทำงานเมื่อเราป้อน

- สัญญาณพัลส์นาฬิกา (clock pulses)
- อินพุตสำหรับควบคุมทิศทางการหมุน

คอนโทรลเลอร์ของสเต็ปปีงมอเตอร์จะอินเตอร์เฟส ได้โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์

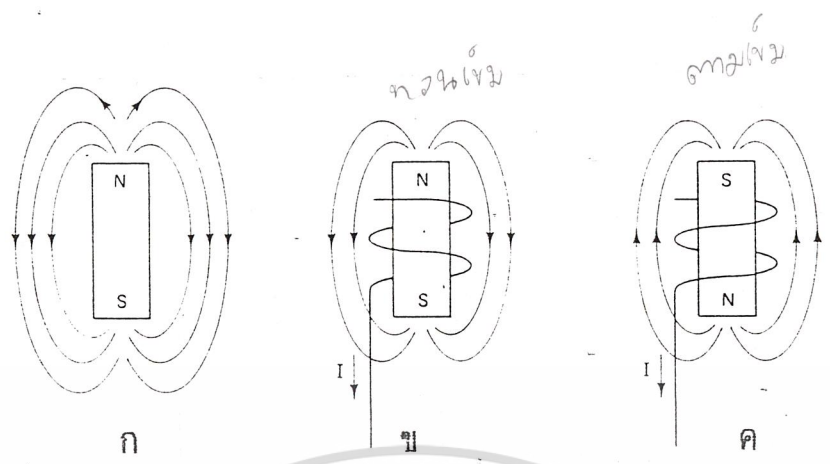
เซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สเต็ปปีงมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมาก เนื่องจากแต่ละไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุตพัลส์จะทำให้สเต็ปปีงมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเต็ปอย่างเที่ยงตรง

2.3) หลักการทำงานของสเตปป์มอเตอร์ทั่ว ๆ ไป

ในรูปที่ 3 แสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดในลักษณะต่าง ๆ

- ในรูปที่ 3 (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร
- 3 (ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I
- 3 (ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทางเมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทางและทิศทางไหลของกระแสไม่เปลี่ยนแปลง

ในรูปแบบที่ 4 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลลาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์เมเจอร์ มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้วซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (stator)

ในรูปที่ 4 ตำแหน่งของแกนอาร์เมเจอร์แม่เหล็กคือ a-a' ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ

$$F_n = F \cos \theta \quad (\text{แรงนี้ตั้งฉากกับแกน a-a'}) \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{ทอร์กผลรวม } T = F_n \cdot R \quad \text{----- (2)}$$

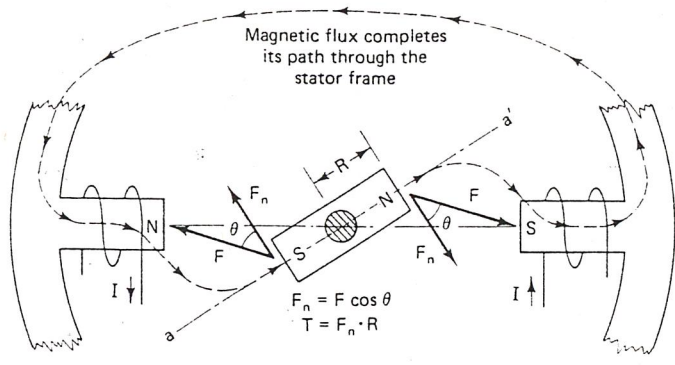
(ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์เมเจอร์ a-a' จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์) ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านั้นถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์เมเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ขู

ของสเตปป์เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้ว

เมื่อก่อนได้ ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์



รูปที่ 4 แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์กที่หมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ตำแหน่งที่สมดุล

2.4) ชนิดของสเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งของสเต็ปปีงมอเตอร์แบ่งได้หลายแบบดังนี้

- 1) สเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (PERMANENT MAGNET STEPPING MOTOR)
- 2) สเต็ปปีงมอเตอร์แบบคาร์ลัคแต้นซ์แปรค่าได้ (VARIABLE - RELUCTANCE STEPPING MOTOR)
- 3) สเต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด (HYBRID STEPPING MOTOR)

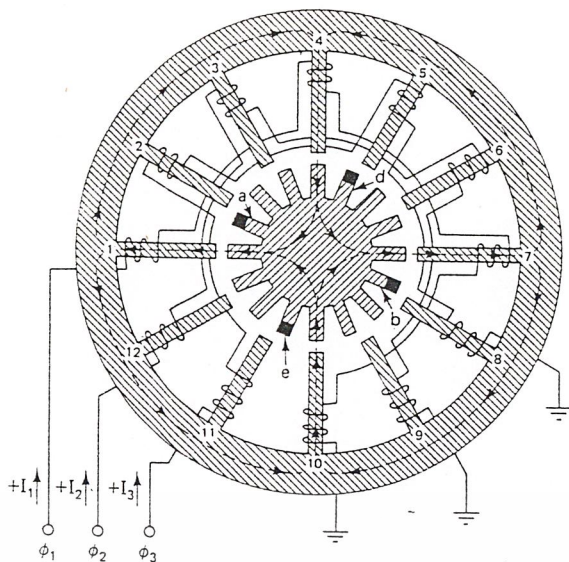
ซึ่งสเต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบคาร์ลัคแต้นซ์แปรค่าได้ จึงขอกล่าวถึงรายละเอียดชนิดนี้เท่านั้น

สเต็ปปีงมอเตอร์แบบคาร์ลัคแต้นซ์แปรค่าได้ที่มีสแตคเดียว (SINGLE-STACK VARIABLE-RELUCTANCE STEPPING MOTOR)

ตัวอย่างโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบคาร์ลัคแต้นซ์แปรค่าที่มีสแตคเดียว หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า VR สเต็ปปีงมอเตอร์ที่มีสแตคเดียวแสดงได้ในรูปที่ 5

VR สเต็ปปีงมอเตอร์ที่มีสแตคเดียวจะมีโรเตอร์เดี่ยว โรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสารแม่เหล็ก สเต็ปปีงมอเตอร์ในรูปที่ 5 มี 3 เฟสแต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือซี่ฟันของสเตเตอร์

ตัวอย่าง เฟสที่ 1 พันอยู่บนขั้วที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ ดังนั้นสเตเตอร์จะมี 12 ซี่ฟัน และในนี้ที่กำหนดให้โรเตอร์มี 16 ซี่ฟัน ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ด้านตรงกันข้ามกันจะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่างกันเพื่อเพิ่มความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เข้าและออกจากโรเตอร์



รูปที่ 5 สเตปปีงมอเตอร์แบบมีสแตกเตี้ยว่ามีรายละเอียดดังนี้

$N_r = 16, N_s = 12, X = 4$ โพล/เฟส, $\theta_p = 7.5$ องศา, $R_p = 48$ สเตป/รอบ

สมมติว่ากระแส I_1 บ่อนให้กับเฟสที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5 และโรเตอร์ทั้ง 4 ขั้วจะอยู่ในแนวขั้วที่ 1, 4, 7 และ 10 ของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าสู่โรเตอร์จากสเตเตอร์ที่ 4 และ 10 และออกจากโรเตอร์ไปยังขั้วของสเตเตอร์ที่ 1 และ 7 ซึ่งเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจรโดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ เราจะสังเกตได้ว่าปลายขั้วของสเตเตอร์ที่ 4 จะถูกเห็นขั้วนำเป็นขั้วเหนือ (เนื่องจากเส้นแรงออกจากขั้วที่ 4) และปลายของขั้วโรเตอร์ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับขั้วที่ 4 ของสเตเตอร์จะเป็นเส้นทางผ่านเข้าไปยังโรเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็ก และเห็นขั้วนำให้ปลายของขั้วของโรเตอร์นั้นเป็นขั้วใต้ การทำให้เกิดลักษณะเป็นแม่เหล็กจะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องผ่านช่องว่าง (gap) ระหว่างขั้วทั้งสองที่อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนขั้วของสเตเตอร์และโรเตอร์ที่เหลืออีก 3 คู่ก็เกิดลักษณะของแม่เหล็กในทำนองเดียวกัน

ในภาวะต่อไปเราจะให้โรเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องจ่ายพลังงานให้กับเฟส 3 ที่มีขดลวดพันอยู่บนขั้วที่ 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ด้วยกระแส I_3 หลังจากหยุดจ่ายกระแส I_1 แล้ว ในตอนนี้เส้นแรงแม่เหล็กจะหาทางเดินที่ต่างไปจากเดิมเพื่อทำให้วงจรแม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าหาเส้นทางไหลในลวดที่มีขดลวดตามทางที่ลัด) ในทำนองเดียวกัน เส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กก็จะหาเส้นทางเดินที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่อนุญาตให้คนอื่นใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
แม่เหล็กครบวงจร (เหมือนกับกระแสในวงจรไฟฟ้าหาเส้นทางไหลในลวดที่มีขดลวดตามทางที่ลัด)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบี่ยงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ช่องว่างอากาศระหว่างซี่ฟันจะทำให้เกิดคาร์ลัคแทนซ์ต่อเส้นแรงแม่เหล็ก ช่องว่างกว้างมากค่าคาร์ลัคแทนซ์ก็จะมีค่ามาก)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวเส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากขั้วที่ 2 และ 8 ของสเตเตอร์ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วเหนือ และเส้นแรงแม่เหล็กก็จะกระโดดผ่านช่องว่างไปยังซี่ฟันของโรเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ซี่ฟัน a และ b ของโรเตอร์เป็นซี่ที่อยู่ใกล้ที่สุดจะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้ เส้นแรงแม่เหล็กจะออกจากซี่ฟันที่ d และ e ของโรเตอร์ผ่านช่องว่างอากาศเข้าสู่ซี่ฟันที่ 5 และ 11 ของสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือของวงจรแม่เหล็กจะสมบูรณ์โดยผ่านโครงร่างของสเตเตอร์ ในระหว่างนั้นแรงของแม่เหล็กหรือแรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างซี่ฟันที่ 2 ของสเตเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำเป็นขั้วเหนือ) และซี่ฟัน a ของโรเตอร์ (ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นขั้วใต้) แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างคู่ขั้ว (11, e), (8, b) และ (5, d) ด้วย ดังที่ได้อธิบายในรูปที่ 4 ผลที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดทอร์คกระทำต่อโรเตอร์หมุนไปจนกระทั่งซี่ฟัน a, b, d และ e ของโรเตอร์อยู่ในแนวเดียวกับซี่ฟัน 2, 5, 8 และ 11 ของสเตเตอร์ตามลำดับขณะเวลาดังกล่าวช่องว่างระหว่างซี่ฟันจะมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของคาร์ลัคแทนซ์จะมีค่าต่ำสุดและเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดผ่านวงจรแม่เหล็กตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่สมดุลย์ของการขับเฟส 3 กระบวนการที่กล่าวมาแล้วโรเตอร์จะเคลื่อนที่ในทิศทาง CW หนึ่งสเตปเป็นมุม 7.5°

ลำดับการทำงานที่สมบูรณ์แสดงได้ในรูปที่ 6 เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นของซี่ฟันของโรเตอร์จะเป็นสีด้าเพื่อ

ให้เข้าใจได้ชัดเจนถึงการหมุนของโรเตอร์ในทิศทาง CW เมื่อเฟสถูกขับในลักษณะเรียงลำดับ 1-3-2-1 ซี่ฟันของโรเตอร์ที่เป็นสีด้าจะเคลื่อนที่ไป 3 สเตปคิดเป็นมุมได้เท่ากับ 22.5° เราจะขับเฟสในลักษณะเรียงลำดับเดิมซ้ำใหม่อีกเมื่อต้องการให้โรเตอร์หมุนต่อเนื่องในทิศทาง CW แต่ถ้าเราต้องการให้โรเตอร์หมุนในทิศทาง CCW เราต้องกลับการเรียงลำดับเฟสเป็น 1-2-3-1

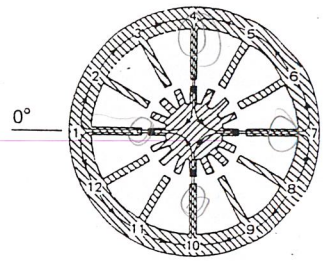
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียงลำดับเฟส

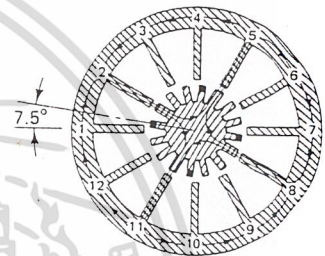
ตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็ก

ตำแหน่งโรเตอร์เริ่มต้น :

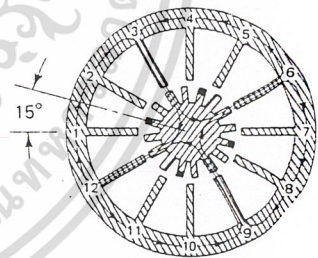
- เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน
- ชี้นของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชี้พื้นที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์

สเต็ปที่ 1: เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน

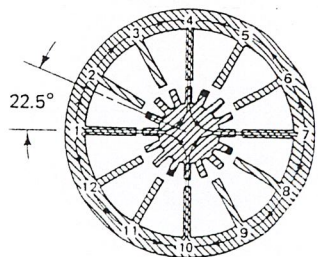
- ชี้นของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชี้พื้นที่ 2, 5, 8, 11 ของสเตเตอร์
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW เป็นมุม 7.5° ($1/3$ ช่วงห่างระหว่างชี้พื้นที่ของโรเตอร์)

สเต็ปที่ 2: เฟส ϕ_2 ได้รับพลังงาน

- ชี้นของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชี้พื้นที่ 3, 6, 9, 12 ของสเตเตอร์
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 15°

สเต็ปที่ 3: เฟส ϕ_1 ได้รับพลังงาน

- ชี้นของโรเตอร์จะอยู่ในแนวชี้พื้นที่ 1, 4, 7, 10 ของสเตเตอร์
- โรเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW รวมเป็นมุม 22.5° (เคลื่อนที่ได้ 1 ช่วงห่างระหว่างชี้พื้นที่ของโรเตอร์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 6 แสดงลำดับการสวิตช์ 3 สเต็ปของ VR สเต็ปปึงมอเตอร์แบบสแตคเตียและแสดงถึงตำแหน่งของโรเตอร์และเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อโรเตอร์เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ป

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ VR สเตปมอเตอร์

N_r = จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์

N_s = จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์

N_p = จำนวนเฟส

P_r = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์ (องศา)

P_s = ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของสเตเตอร์ (องศา)

θ_s = มุมสเตป (องศา)

R_s = อัตราการสเตปหรือความเร็วในการสเตป (สเตป/รอบ)

$X = N_s / N_p =$ จำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ต่อเฟส----- (3)

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสเตปมอเตอร์

1) ความห่างระหว่างปลายซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์ (tooth pitch)

$$P_r = \frac{360}{N_r} \text{----- (3)} \quad \text{และ} \quad P_s = \frac{360}{N_s} \text{----- (4)}$$

2) มุมสเตป (step angle)

ในรูปที่ 6 โรเตอร์จะเคลื่อนที่ในขนาดมุม P_r ได้เท่ากับ N_p สเตป ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้

$$\theta = \frac{P_r}{N_p} = \frac{360}{N_p N_r} \text{ องศา/สเตป} \text{----- (5)}$$

มุมสเตปจะเท่ากับความแตกต่างระหว่าง P_r และ P_s ดังนั้นเราจะหามุมสเตปได้เป็น

$$\theta = \left| P_r - P_s \right| \text{ องศา/สเตป} \text{----- (6)}$$

3) อัตราการสเตป (stepping rate)

ความเร็วในการสเตปต่อรอบ (360 องศา) หาได้เป็น

$$R_s = \frac{360}{\theta} = N_p N_r \text{ สเตป/รอบ} \text{----- (7)}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4) ความเร็วของสเต็ปมอเตอร์ (speed of stepping motor)

เมื่อเราป้อนอินพุตพัลส์ที่มีความถี่ (f) สเต็ปต่อพัลส์ให้กับสเต็ปมอเตอร์ มอเตอร์จะสเต็ปไปด้วยความเร็ว (สเต็ป) . (พัลส์)

พัลส์ วินาที

$$\frac{1}{R_s} \cdot (\text{รอบ}) \cdot f (\text{พัลส์}) \cdot (\text{สเต็ป}) \cdot 60 (\text{วินาที})$$

R_s สเต็ป วินาที พัลส์ นาที

ความเร็วของมอเตอร์ = $\frac{60f}{R_s} = \frac{60f}{N_p N_r} = \frac{60}{R_s} f$ (rpm) -----(8)

5) จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (number of stator poles per phase)

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟสต่อเฟส (X) = $\frac{N_s}{N_p}$ -----(9)

หรือ

$$X = \frac{R_s}{N_p(N_p+1)} = \frac{N_r}{(N_p+1)} \text{ -----(10)}$$

จำนวนโพลของสเตเตอร์ต่อเฟส (X) จะสัมพันธ์กับอัตราการสเต็ป หรือจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์สเต็ปมอเตอร์ในรูปที่ 5 สามารถสรุปการเลือกพารามิเตอร์บางตัวได้ดังตารางที่ 1

N_p	R_s	N_r	X	N_s
3	48	16	4	12
			8	24
4	48	12	4	16
4	64	16	?	?

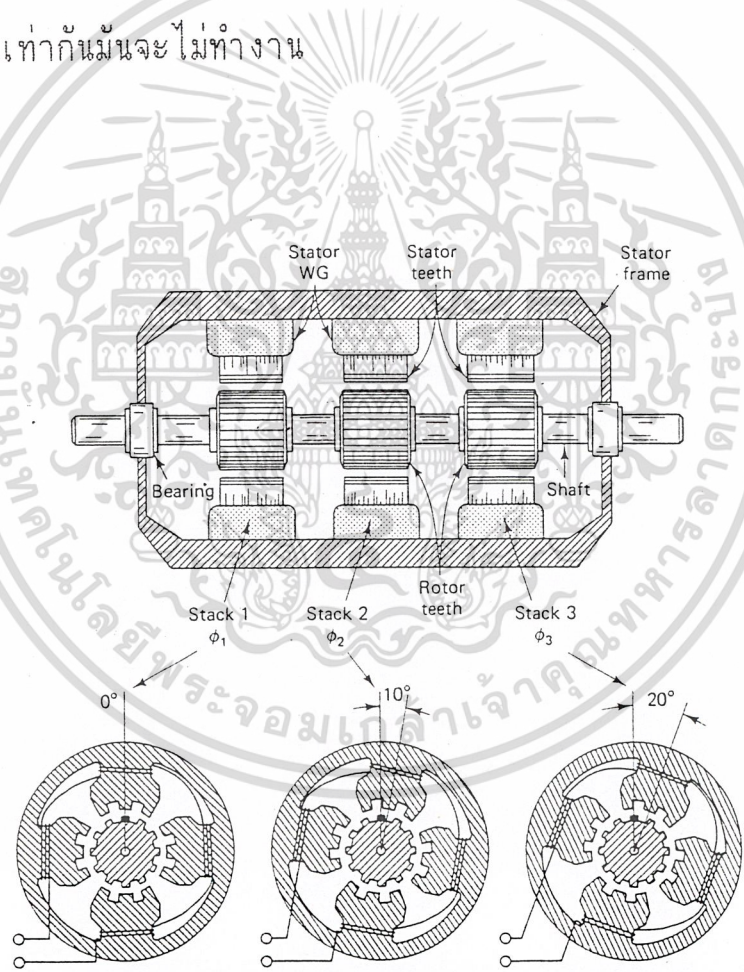
033299

สเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่าได้และมีหลายสแตค (MULTI-STACK VARIABLE-RELUCTANCE STEPPING MOTOR)

สเต็ปป์มอเตอร์แบบรีลักแตนซ์แปรค่าได้ (VR) และมีหลายสแตค สแตคในที่นี้หมายถึง เฟสซึ่งประกอบด้วยโรเตอร์ที่เป็นซี่ฟัน และโครงร่างของสเตเตอร์ที่อยู่รอบนอก

สเต็ปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 สแตค (หมายถึง 3 เฟส) มีโครงสร้างดังรูปที่ 7 ซึ่งถูกออกแบบให้สเตเตอร์ของแต่ละสแตคประกอบด้วย 4 โพล และแต่ละโพลมีซี่ฟัน 3 ซี่ ซึ่งต่างจาก VR สเต็ปป์มอเตอร์แบบสแตคเดียว (แต่ละโพลจะมีซี่ฟันเดียว)

ข้อสังเกต ในแต่ละสแตคจำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งต่างจาก VR สเต็ปป์มอเตอร์แบบสแตคเดียวคือ จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะไม่เท่ากันไม่ได้ ถ้าหากมีจำนวนซี่ฟันเท่ากันมันจะไม่ทำงาน



รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ VR ที่มี 3 เฟส โรเตอร์และสเตเตอร์ของแต่ละเฟส (สแตค) จะมีการใช้ 12 ซี่ฟันและมอสส์เต็ป 9 10 โยชน์แต่ละเฟสของสเตเตอร์ที่เรียงลำดับต่อเนื่องกันจะถูกจัดตำแหน่งให้ต่างกันเท่ากับ 1/3 ของช่องห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์

การทำงานของ VR สเตปปีงมอเตอร์ที่มี 3 สเตค

ไดอะแกรมส่วนล่างของรูปที่ 7 แสดงถึงโครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของ VR สเตปปีงมอเตอร์ที่มี 3 สเตค แต่ละสเตคมี $N_r = N_s$ และจะมีตำแหน่งของสเตเตอร์แตกต่างกันจากสเตเตอร์ในสเตคถัดไปเท่ากับ 10° ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์จะประกอบอยู่บนแกนเดียวกันและได้รับการปรับแต่งให้อยู่ในแนวกันอย่างสมบูรณ์

ตามปกติเราจะหาค่ามุมสเตป (หรือ index angle: θ_i) หาได้จากสมการเดียวกันคือ

$$\theta_i = \frac{P_r}{N_p} = \theta_s \quad \text{-----(11)}$$

ในกรณีนี้ $N_r = N_s = 12$ ดังนั้นเราหา $P_r = 360/12 = 30^\circ$ และค่า $\theta_i = 30/3 = 10^\circ$

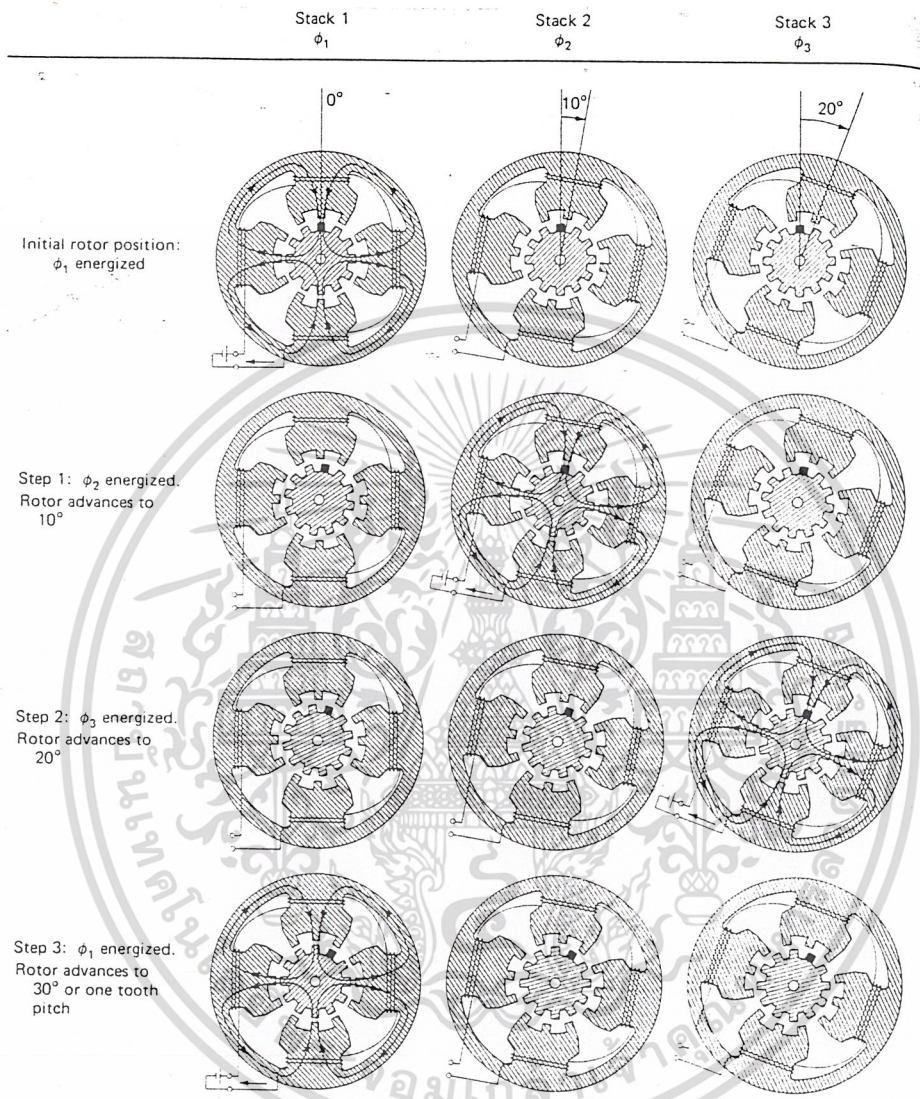
สเตปปีงมอเตอร์แบบ 3 สเตคถึงแม้ว่าโรเตอร์ทั้ง 3 อันจะติดอยู่บนเพลลาเดียวกัน สเตคทั้ง 3 สเตคจะมีวงจรมแม่เหล็กแยกกันดังนี้

เฟสที่ 1 ถูกขับด้วยกระแสเป็นเฟสเริ่มต้นให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์อยู่ในซี่เดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตคที่ 2 ในขณะที่จะมีตำแหน่งต่างกัน 10° และซี่ฟันของโรเตอร์-สเตคที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 20° ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสเตคที่ 1 และป้อนกระแสให้กับสเตคที่ 2 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10° ซึ่งทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตคที่ 2 อยู่ในแนวเดียวกัน ในขณะที่ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตคที่ 3 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10° ต่อจากนั้นเราหยุดจ่ายกระแสในสเตคที่ 2 และป้อนกระแสให้กับสเตคที่ 3 โรเตอร์จะหมุนไปอีก 10° ซึ่งจะทำให้ซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตคที่ 3 อยู่ในแนวเดียวกัน ส่วนซี่ฟันของโรเตอร์-สเตเตอร์ในสเตคที่ 1 จะมีตำแหน่งต่างกัน 10°

ลำดับการสวิตซ์กระแสในแต่ละสเตคแสดงได้ในรูปที่ 8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพลลาของสเตปปีงมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไป 1 ช่องของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (30°) ภายใน 3 สเตป

ตามปกติเพลลาของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปหนึ่งช่อง ของระยะห่างระหว่างซี่ฟันของโรเตอร์ (rotor tooth pitch) ด้วยการสเตปไป N_s สเตป เมื่อ N_s คือจำนวนสเตคที่ใช้ (หรือเท่ากับจำนวนเฟส) การลำดับสวิตซ์ที่แสดงในรูปที่ 8 เราสามารถนำมาเขียนตารางได้ดังรูปที่ 9 วงจรสวิตซ์ประกอบด้วย VRSM 3 เฟส (สัญลักษณ์ของสเตปปีงมอเตอร์) การขับเฟสแสดงไว้ที่ด้านล่างนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ได้ด้วยสวิตซ์และแหล่งกำเนิดซี



รูปที่ 8 แสดงลำดับของการสแตป VRSM แบบ 3 เฟส, $N = N_s = 12, P_r = 30^\circ$ และ $\theta_s = 10^\circ$ ที่ฟันของโรเตอร์สัปดาห์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทาง CW 10° ในแต่ละสแตป รวมทั้งหมด 30° เมื่อสแตปไปครบ 3 สแตปสำหรับการหมุนในทิศทาง CW ลำดับในการขับเฟส 1-2-3-1 และเมื่อต้องการให้หมุนในทิศทาง CCW ลำดับการขับเฟสต้องกลายเป็น 1-3-2-1

Step	S ₁	S ₂	S ₃
1	X		
2		X	
3			X
1	X		

Step	S ₁	S ₂	S ₃
1	X	X	
2		X	X
3	X		X
1	X	X	

ก

ข

Step	S ₁	S ₂	S ₃
1	X	X	
2		X	
3		X	X
4			X
5	X		X
6	X		
1	X	X	

ค



ง

รูปที่ 9 แสดงถึง VRSM แบบ 3 เฟส (ก) ตารางแสดงลำดับการขับเฟสเดียว ในทิศทาง CW (ข) ตารางแสดงลำดับการขับเฟส 2 เฟสในทิศทาง CW (ค) การขับแบบครึ่งสเตปในทิศทาง CW (ง) วงจรการสวิตช์เมื่อต้องการให้หมุนใน ทิศทาง CCW เราต้องกลับลำดับการขับ คือให้อ่านตาราง (ก) (ข) และ (ค) จากข้างล่างขึ้นไปข้างบน

จากตาราง (ก) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 เรียงตามลำดับมอเตอร์จะหมุนไป 1 สเตป ตาราง (ข) ถ้าเราขับเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 พร้อมกัน เฟลาของมอเตอร์จะหมุนไป 1/2 สเตป ต่อจากนั้นเราขับเฟสที่ 2 และเฟสที่ 3 พร้อมกันอีกก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปครบเต็ม 1 สเตป ดังนั้นการขับแบบ 2 เฟสเราลำดับการขับได้ดังนี้ 1-2, 2-3, 3-1 และ 1-2 กระทำซ้ำ ไม่มีการมีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เดิมไปเรื่อย ๆ

อย่างไรก็ตามการขับเคลื่อนแบบ 2 เฟสหรือ 1 เฟสจะให้การหมุนเป็นสเตปเท่ากัน ที่ต่างกันก็คือ การขับเคลื่อนแบบ 2 เฟส จะให้การหมุนของโรเตอร์นำหน้าการขับเคลื่อนเฟสเดี่ยวด้วยขนาด $1/2$ สเตป นอกจากนั้นการขับเคลื่อนแบบ 2 เฟสจะต้องการกระแสเป็น 2 เท่าของการขับเคลื่อนเฟสเดี่ยว

ตาราง (ค) แสดงการขับเคลื่อนแบบ 2 เฟสสลับกับการขับเคลื่อนเฟสเดี่ยว ซึ่งทำให้โรเตอร์หมุนไป $1/2$ สเตปเท่านั้น การขับเคลื่อนนี้จะทำให้จำนวนสเตปต่อรอบเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากเดิม

2.5) ข้อดีและข้อเสียของสเตปปีงมอเตอร์

ข้อดี

1. สามารถขับเคลื่อนแบบเปิด คือไม่ต้องมีสัญญาณป้อนกลับก็ได้ตำแหน่งที่แน่นอน และไม่มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ

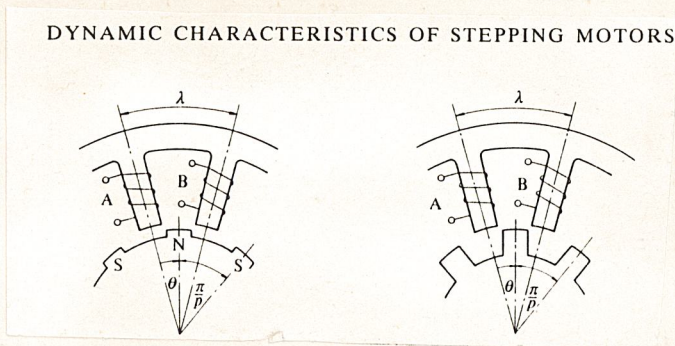
2. ไม่มีความผิดพลาดของตำแหน่งแบบสะสม
3. ไม่มีการตอบสนองต่อสัญญาณป้อนเข้าแบบสะสม
4. มีกลไกอย่างง่าย ต้องการการบำรุงรักษาเล็กน้อยหรือไม่ต้องการเลย
5. สามารถที่จะถูกหยุดได้ทันทีโดยไม่เสียหาย
6. ทนทานและแข็งแรง

ข้อเสีย

1. มี step angle คงที่
2. มี overshoot สูง และมีการลื่นของการตอบสนอง
3. มีความสามารถจำกัดในการรับภาระที่มีความเฉื่อยสูง
4. ภาระเนื่องจากความเสียดทานจะไปเพิ่มความผิดพลาดของตำแหน่งของการควบคุมแบบปิด แม้ว่าความผิดพลาดของตำแหน่งจะไม่สะสม
5. กำลังที่ได้และขนาดของสเตปปีงมอเตอร์ มีจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6) ทราานส์เฟอร์ฟังก์ชันของสเต็ปมอเตอร



รูป a แสดงแบบจำลองของสเต็ปมอเตอร

แรงบิด (torque) เกิดจากกระแส i_A ในขดลวด A

$$T_A = -pn\phi_M i_A \sin\theta \quad \text{-----1*}$$

ลักษณะเดียวกันแรงบิดที่เกิดจากกระแส i_B ในขดลวด B

$$T_B = -pn\phi_M i_B \sin(\theta - \beta) \quad \text{-----2*}$$

เมื่อ p = จำนวนคู่ของขั้วแม่เหล็ก, สมการการเคลื่อนที่ของโรเตอรคือ

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + pn\phi_M i_A \sin\theta + pn\phi_M i_B \sin(\theta - \beta) = 0 \quad \text{-----3*}$$

D = viscous damping coefficient, และสำหรับ stator winding

$$V - r i_A - L \frac{d i_A}{dt} - M \frac{d i_B}{dt} + \frac{d(n\phi_M \cos\theta)}{dt} = 0 \quad \text{-----4*}$$

$$V - r i_B - L \frac{d i_B}{dt} - M \frac{d i_A}{dt} + \frac{d(n\phi_M \cos(\theta - \beta))}{dt} = 0 \quad \text{-----5*}$$

เมื่อ V = DC terminal voltage

L = self-inductance of each phase

M = mutual inductance

r = stator-circuit resistance

สมการ 4* ถึงสมการ 5* เป็น non-linear differential equations และเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นเราจะใช้ linear ของสมการเหล่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_A = I_o + \Delta i_A \quad \text{-----7*}$$

$$i_B = I_o + \Delta i_B \quad \text{-----8*}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sin p\theta &= \sin\left(\frac{p\beta}{2} + p\Delta\theta\right) \\ &= \frac{\sin p\beta \cos p\Delta\theta + \cos \frac{p\beta}{2} \sin p\Delta\theta}{2} \quad \text{-----9*} \end{aligned}$$

เนื่องจาก $p\Delta\theta$ มีค่าน้อยมาก

$$\cos p\Delta\theta = 1 \quad \text{-----10*}$$

$$\sin p\Delta\theta = p\Delta\theta \quad \text{-----11*}$$

ดังนั้น

$$\sin p\theta = \frac{\sin p\beta + p \cos \frac{p\beta}{2} (\Delta\theta)}{2} \quad \text{-----12*}$$

ทำนองเดียวกัน

$$\begin{aligned} \sin p(\theta - \beta) &= \sin p\left(\frac{\beta}{2} + \Delta\theta + \frac{\beta}{2}\right) = -\sin p\left(\frac{\beta}{2} - \Delta\theta\right) \\ &= \frac{-\sin p\beta + p(\cos \frac{p\beta}{2})(\Delta\theta)}{2} \quad \text{-----13*} \end{aligned}$$

แทนสมการ 6*, 7*, 8*, 12*, 13* ลงในสมการ 3* จะได้สมการ

$$J \frac{d^2(\Delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\Delta\theta)}{dt} + p n \phi_M (I_o + \Delta i_A) \left\{ \frac{\sin p\beta}{2} + p(\cos \frac{p\beta}{2})(\Delta\theta) \right\} -$$

$$p n \phi_M (I_o + \Delta i_B) \left\{ \frac{\sin p\beta}{2} - p(\cos \frac{p\beta}{2})(\Delta\theta) \right\} = 0 \quad \text{-----14*}$$

ถ้าเราตัดเทอมที่เกิดจากการรบกวน เช่น $\Delta i_A \Delta\theta$ จะได้ linear equation ดังนี้

$$J \frac{d^2(\Delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\Delta\theta)}{dt} + 2p^2 \phi_M n I_o (\cos \frac{p\beta}{2})(\Delta\theta) +$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกรุ่นห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อเข้าถึงเจ้าของเอกสารชุดนี้เป็นการนำไปใช้

$$p \phi_M n (\sin \frac{p\beta}{2}) (\Delta i_A - \Delta i_B) = 0 \quad \text{-----15*}$$

มอเตอร์ single phase operation ให้ $\beta = 0$ นี้คือมีขดลวดขดเดียว จากสมการ 15* จะได้

$$J \frac{d^2(\Delta\theta)}{dt^2} + D \frac{d(\Delta\theta)}{dt} + 2p^2 \phi_M n I_o \Delta\theta = 0 \quad \text{-----16*}$$

และเขียนใหม่ได้

$$J \frac{d^2\theta_o(t)}{dt^2} + D \frac{d\theta_o(t)}{dt} + 2p^2 \phi_M n I_o \theta_o(t) = 2p^2 \phi_M n I_o \theta_i$$

take laplace transform โดย $\theta_o = 0, \frac{d\theta_o}{dt} = 0$ ที่ $t = 0$

$$(S^2 J + DS + 2P^2 \phi_M n I_o) \theta_o(S) = 2P^2 \phi_M n I_o \theta_i(S)$$

$$G(S) = \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{2p^2 \phi_M n I_o}{JS^2 + DS + 2P^2 \phi_M n I_o} = \frac{W_{np}^2}{S^2 + DS/J + W_{np}^2}$$

เมื่อ W_{np} คือ ความถี่เชิงมุมธรรมชาติ

ทรานส์เฟอว์ฟังก์ชันของสเต็ปมอเตอร์เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) ของสัญญาณพัลส์กับมุม (θ) ที่เคลื่อนที่ไปของเพลลา ของสเต็ปมอเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาแนะนำให้ใช้สมการที่อยู่ในรูป second order ซึ่งสรุปไว้ดังนี้

$$\frac{\theta(S)}{F(S)} = \frac{K_m}{S^2 + 2jW_n S + W_n^2} \quad \text{-----(12)}$$

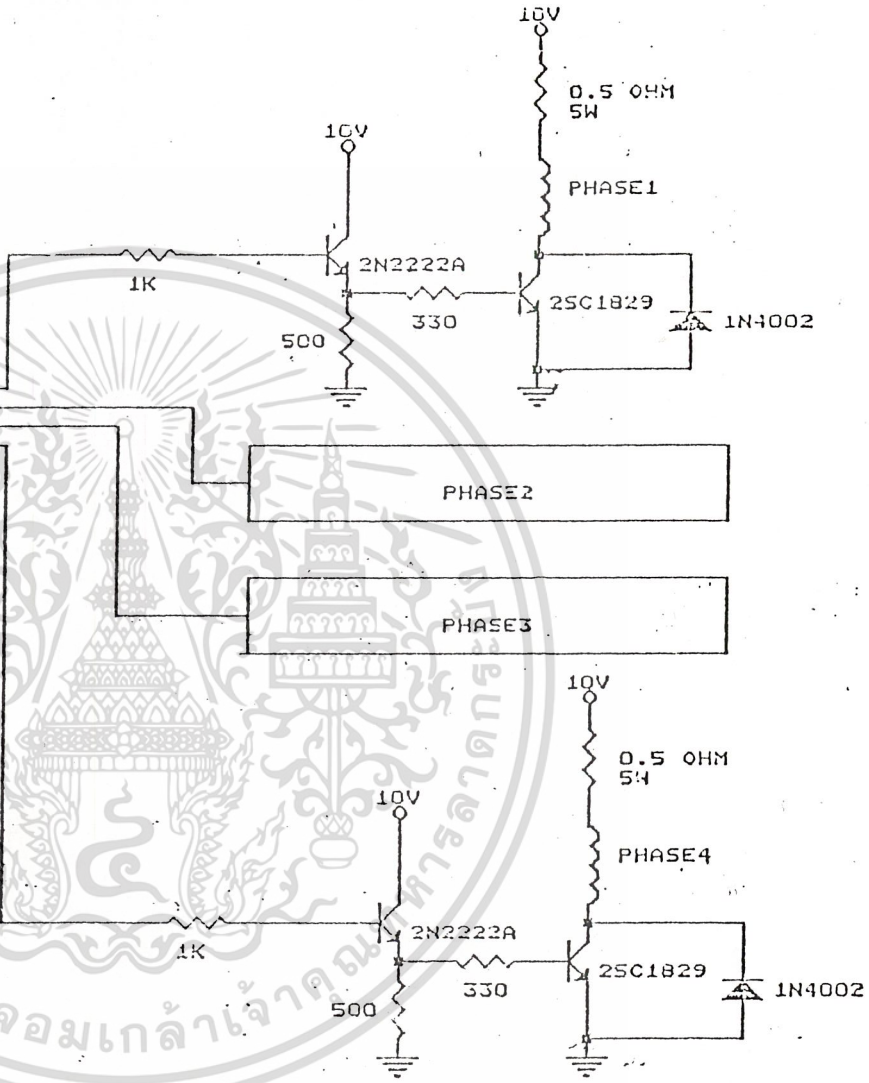
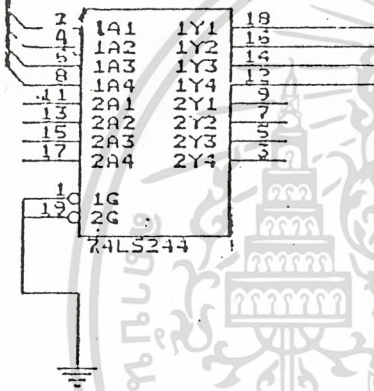
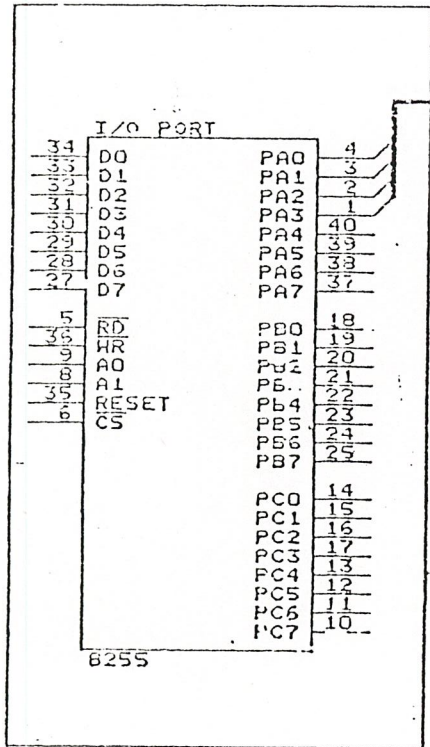
โดยที่ค่า j คือ Damping Ratio และ W_n คือ ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) เป็นค่าที่ได้จากการทดลองของอาจารย์ที่ปรึกษาดังนี้

$$j = 0.01 \text{ และ}$$

$$W_n = 15 \text{ rpm} = 0.25 \text{ rps}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FROM SINGLE BOARD



Title		
DRIVER CIRCUIT		
Size	Document Number	REV
A		
Date:	October 23, 1992	Sheet of

วาล์วไฮดรอลิก (HYDRALIC VALVE)

วาล์วไฮดรอลิกมีหลายประเภทด้วยกัน โดยแบ่งตามหน้าที่และลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

3.1) วาล์วควบคุมความดัน มีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ความดันในระบบสูงเกินกว่ากำหนด โดยวาล์วจะระบายน้ำมันไฮดรอลิกออกจากวงจร เมื่อความดันในวงจรไฮดรอลิกสูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้

3.2) วาล์วควบคุมอัตราการไหล เป็นวาล์วที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งอาจใช้หลักการของออร์ฟิชหรือทอตเทิลก็ได้ แต่ลักษณะที่เราสนใจคือแบบที่ใช้ออร์ฟิชดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงวาล์วควบคุมอัตราการไหล

ซึ่งสมการของอัตราการไหลเป็นดังนี้

$$q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{[(2g/\rho)(P_1 - P_2)]} \quad \text{-----(13)}$$

โดยที่ C_d = Discharge Coefficient ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ที่ใส่เข้าไปในสมการเพื่อแก้ loss และ Error ของ Bernoulli's Equation (Ideal Theory) และ Assumptions ต่าง ๆ

$$A = \text{พื้นที่ที่น้ำมันไหลผ่าน (Spool Port)} = \pi \cdot d \cdot x$$

$$g = \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Acceleration)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ Spool}$$

ซึ่งจะเห็นว่า

$$q = f[A, (P_s - P)] \text{ อย่างไม่ใช่เชิงเส้น } \text{-----(14)}$$

$$= f_1[x, P]$$

และเมื่อทำให้เป็นเชิงเส้น

$$q = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x} \right|_i \cdot x + \left. \frac{\partial f_1}{\partial p} \right|_i \cdot p \text{ -----(15)}$$

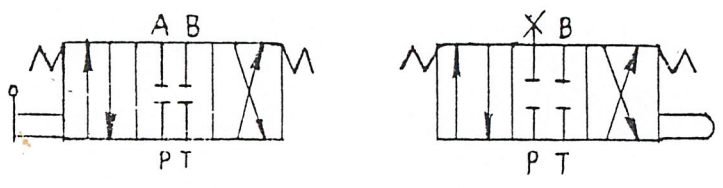
หรือ $q = C_1 \cdot x - C_2 \cdot p \text{ -----(16)}$

โดยที่ $C_1 = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x} \right|_i \text{ -----(17)}$

$$C_2 = \left. \frac{\partial f_1}{\partial p} \right|_i \text{ -----(18)}$$

เครื่องหมายของ C_2 เป็นลบเนื่องจาก เมื่อ P เพิ่มขึ้น Q จะลดลง

3.3) วาล์วควบคุมทิศทางไหล เป็นวาล์วที่ใช้ควบคุมทิศทางของอุปกรณ์ไฮดรอลิก เช่น กระจบอกสูบไฮดรอลิก, มอเตอร์ไฮดรอลิก โดยจะควบคุมให้น้ำมันไฮดรอลิกไหลเข้าทางใด ทางหนึ่งของอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่เราต้องการ และวาล์วชนิดนี้เป็นวาล์วที่ใช้ในการทดลองของโครงงานนี้ โดยเป็นวาล์วชนิดสปูลวาล์ว แบบ 4/3 (4 ช่องทางไหลและมี 3 ตำแหน่ง) ใช้มือโยกและกลับตำแหน่งปกติโดยสปริงดังแสดงในรูปที่ 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าจะผิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารผู้จัดทำที่มีการนำเข้าไปใช้
รูปที่ 11 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์วจริง ๆ และวาล์วที่ดัดแปลงแล้วที่ใช้ในงานจริง

ซึ่งจากหลักการของมือโยกจะเห็นได้ว่าเราไม่สามารถทำให้ตัวสปูลหยุดอยู่ ณ ตำแหน่งใดๆ ยกเว้นตำแหน่งปกติโดยถ้าเราต้องการให้ตัวสปูลหยุดอยู่ที่ตำแหน่งใด เราจะต้องถือคั่นโยกไว้ตลอด จากเหตุผลดังกล่าวโครงการนี้จึงมีการดัดแปลงวาล์วนี้ใหม่ โดยถอดคั่นโยกออกแล้วนำมาต่อโดยตรงกับบอลสกรูในระบบส่งกำลังทำให้เป็นวาล์วชนิดสปูลวาล์วแบบ 4/2 ซึ่งสามารถควบคุมตำแหน่งได้ 2 ตำแหน่งซึ่งเวลาใช้งานจริงจะปิดช่อง A ไว้ดังแสดงในรูปที่ 11



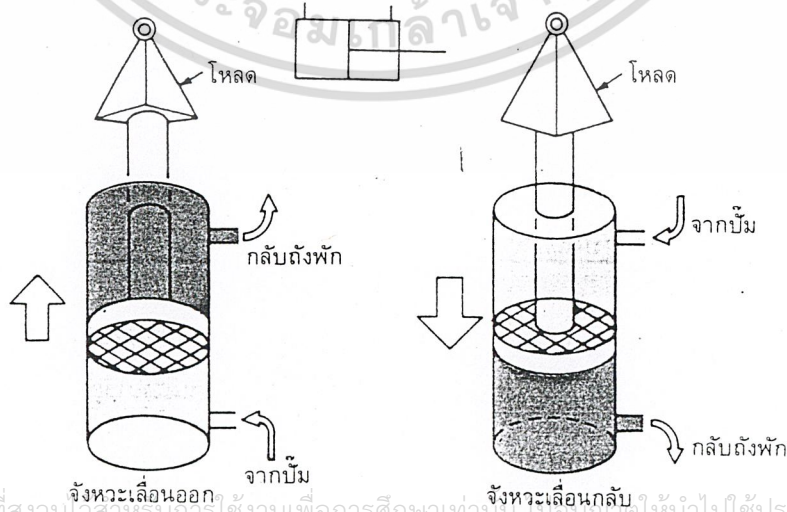
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกสูบไฮดรอลิก (HYDRAULIC CYLINDER)

กระบอกสูบไฮดรอลิก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากของระบบไฮดรอลิก มีหน้าที่รับน้ำมันไฮดรอลิกที่ส่งมาจากปั๊มและวาล์วควบคุมต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยน กำลังของของไหล(fluid power) ให้เป็น กำลังงานกล(mechanical power) โดยการเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เมื่อน้ำมันไฮดรอลิกป้อนเข้าสู่กระบอกสูบทำให้เกิดงานขึ้น โดยอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของกระบอกสูบ จึงอาจกล่าวได้ว่า ระบบไฮดรอลิกทุกระบบประกอบด้วยอุปกรณ์นี้เสมอ ในระบบควบคุมอัตโนมัติจึงถือว่า กระบอกสูบไฮดรอลิกเป็นส่วนประกอบที่เป็นต้นกำลัง ในบางครั้งจึงเรียกว่า อุปกรณ์ต้นกำลัง (actuator) ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของกระบอกสูบได้ 2 ชนิดดังนี้

4.1) กระบอกสูบแบบทำงานสองทาง (DOUBLE ACTING CYLINDER) กระบอกสูบมาตรฐานส่วนใหญ่เป็นแบบทำงานได้สองทาง ตัวกระบอกทำจากท่อเหล็กชุบโครเมียม

กระบอกสูบนี้สามารถทำงานได้สองด้าน ตัวกระบอกส่วนใหญ่ทำจากเหล็กกล้าแบบไม่มีตะเข็บ โดยปิดทั้งด้านหัวและท้ายไม่มีการรั่ว และมีซีลป้องกันรั่วที่ก้านสูบอีกชั้นหนึ่ง ส่วนตัวก้านสูบอาจทำจากเหล็กกล้าหรือเหล็กหล่อมีความมันวาว ไม่มีรอยขีดข่วนและทนการเสียดสีได้ดี ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้ซีลสึกหรอเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นให้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า-

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 12 แสดงการทำงานของกระบอกสูบสองทาง

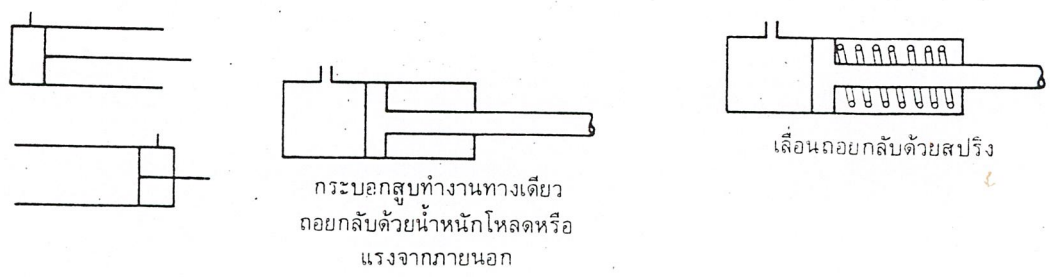
รูปที่ 12 เป็นลักษณะของการทำงานของกระบอกสูบชนิดสองทางแบบมาตรฐานทั่วไป เมื่อน้ำมันเข้าสู่กระบอกสูบด้านหนึ่งจะดันลูกสูบให้เลื่อนไปอีกด้าน ในขณะที่เดียวกันน้ำมันที่ด้านนี้จะถูกลูกสูบดันกลับถึงพักที่ความดันบรรยากาศหรือความดันต่ำ การทำงานเช่นนี้จะเกิดขึ้นสลับกันทั้งสองด้านทำให้ลูกสูบเลื่อนกลับไปกลับมา โดยมีวาล์วควบคุมทิศทางเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันที่ป้อนให้แก่กระบอกสูบ ส่วนความดันในกระบอกสูบที่เกิดขึ้นจนทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ทำงานได้จะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับโหลดที่กระทำอยู่ที่ปลายก้านสูบ

4.2) กระบอกสูบแบบทำงานทางเดียว (SINGLE ACTING CYLINDER) กระบอกสูบชนิดนี้มีด้านกำลังเพียงด้านเดียว ส่วนด้านที่ไม่ได้ให้กำลังเป็นรูต่อระบายขนาดเล็ก (air vent) เพื่อระบายอากาศที่เข้ามาในกระบอกสูบตอนก้านสูบเลื่อนเข้า โดยทั่วไปใช้กับงานเบา ๆ

กระบอกสูบทิศทางเดียวนี้ มีลักษณะการถอยกลับของลูกสูบสองแบบ คือ

4.2.1) แบบลูกสูบถอยกลับด้วยแรงภายนอก ในจังหวะกลับลูกสูบจะกลับตำแหน่งเดิมโดยอาศัยแรงจากน้ำหนักหรือแรงอื่นภายนอก ดังรูปที่ 13

4.2.1) แบบลูกสูบถอยกลับด้วยแรงสปริง สปริงในกระบอกสูบเป็นตัวดันลูกสูบกลับตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 13 โดยสปริงจะต้องเอาชนะแรงเสียดทานภายในและดันน้ำมันออกจากกระบอกสูบกลับไปถึงพัก ส่วนมากแล้วประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของแรงกระบอกสูบจะเป็นแรงของสปริง เพื่อต้องการดึงก้านสูบกลับตำแหน่งเดิม ซึ่งในการนี้ทำให้สูญเสียพลังงานขณะเริ่มต้นไปประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์นั่นเอง กระบอกสูบแบบนี้จะมีตัวกระบอกยาวกว่าแบบทำงานสองทิศทางที่มีช่วงชักเท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 13 สัญลักษณ์แทนกระบอกทำงานทางเดียวแบบต่าง ๆ

การหาความสัมพันธ์ของ Output (y) ที่มีต่อ Input (q) ของกระบอกสูบไฮดรอลิกทำได้โดยใช้หลักการ Continuity คือ

$$q = A \cdot \frac{dy}{dt} \quad \text{-----(19)}$$

การคำนวณแรงที่จะไปขับไหลตามมวล m ทำได้โดย หาผลต่างของแรงดันที่กระทำต่อ พื้นที่ทั้งสองด้านของลูกสูบ (Piston) โดยใช้กฎข้อที่สองของ Newton ($\Sigma F = m \cdot a$) กล่าวคือ

$$- k \cdot y - p_u \cdot A_u + P \cdot A = m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} \quad \text{-----(20)}$$

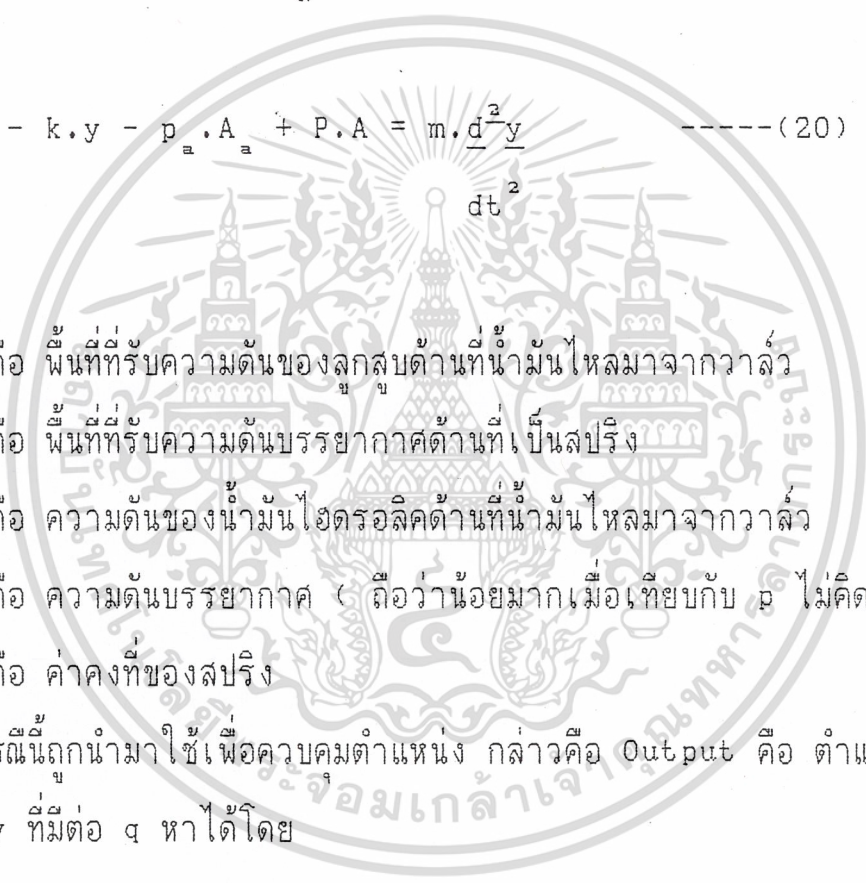
- โดยที่ A คือ พื้นที่รับความดันของลูกสูบด้านที่น้ำมันไหลมาจากวาล์ว
- A_u คือ พื้นที่รับความดันบรรยากาศด้านที่เป็นสปริง
- p คือ ความดันของน้ำมันไฮดรอลิกด้านที่น้ำมันไหลมาจากวาล์ว
- p_u คือ ความดันบรรยากาศ (ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ p ไม่คิดพจน์นี้)
- k คือ ค่าคงที่ของสปริง

ในกรณีที่อุปกรณ์ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมตำแหน่ง กล่าวคือ Output คือ ตำแหน่ง (y) ความสัมพันธ์ของ y ที่มีต่อ q หาได้โดย

$$y = \frac{1}{AD} \cdot q \quad \text{-----(21)}$$

ซึ่งจะเห็นว่า y เป็นสัดส่วนกับ Integral ของ q นั่นคือ ในระบบที่ไม่มีการป้อนกลับ ค่าของ y จะสุดจังหวะ (stroke) ของลูกสูบที่ทุกค่าของ q (Infinite)

ฉะนั้นการนำเอา กระบอกสูบไฮดรอลิก มาใช้ควบคุมตำแหน่ง จะต้องมีการป้อนกลับหรือมี Bias ตัวขยับอุปกรณ์อื่นอย่างใดอย่างหนึ่งเสมอ เช่น สปริง



ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันสำหรับระบบ (TRANSFER FUNCTION for PLANT)

ระบบประกอบด้วยสแตปปีงมอเตอร์ (ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันที่สมการ (12), lead screw และวาล์วควบคุมทิศทางไหลและกระบอกลูบไฮดรอลิกทิศทางเดียวหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันได้ดังนี้

5.1) LEAD SCREW เป็นตัวเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุม (θ) จากเพลลาของสแตปปีงมอเตอร์ ให้เป็นการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น (x) ซึ่งหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{X(S)}{\theta(S)} = \frac{h}{2\pi} \quad \text{----- (22)}$$

ซึ่ง lead screw มี pitch diameter 10 มิลลิเมตร

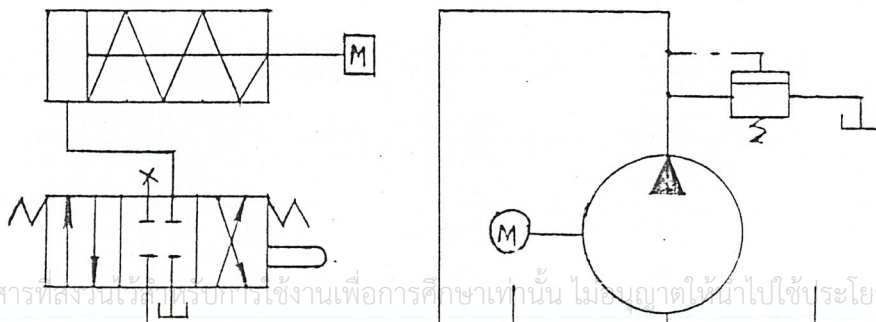
มี ระยะ lead (h) 2 มิลลิเมตร

แทนค่าในสมการ (22) จะได้

$$\frac{X(S)}{\theta(S)} = \frac{0.002}{2\pi} = 0.000318 \quad \text{----- (23)}$$

5.2) วาล์วควบคุมทิศทางไหล และกระบอกลูบไฮดรอลิกทางเดียว สามารถหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันรวมทั้งสองอุปกรณ์ได้ดังนี้

จากรูปที่ 14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 14 แสดงการต่อกันระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกระบอกลูบไฮดรอลิก

จากสมการที่ (16) เราได้สมการ

$$q = C_1 \cdot x - C_2 \cdot p \quad \text{-----}(24)$$

และจากสมการที่ (20) ย้ายข้างสมการจะได้ p ดังนี้ (ไม่คิดพจน์ $p_u \cdot A_u$)

$$p = \frac{m \cdot d^2 y}{A dt^2} - \frac{k \cdot y}{A} \quad \text{-----}(25)$$

จากสมการ (25) ได้ค่า p แล้วแทนค่าในสมการ (24) จะได้

$$q = C_1 \cdot x - C_2 \frac{m \cdot d^2 y}{A dt^2} - C_2 \frac{k \cdot y}{A} \quad \text{-----}(26)$$

จากสมการ (21) เราได้สมการ

$$q = A \cdot \frac{dy}{dt} \quad \text{-----}(21)$$

สมการ (26) เท่ากับสมการ (21) จะได้

$$A \cdot \frac{dy}{dt} = C_1 \cdot x - C_2 \frac{m \cdot d^2 y}{A dt^2} - C_2 \frac{k \cdot y}{A} \quad \text{-----}(27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จัดรูปใหม่จะได้ $C_2 \frac{m \cdot d^2 y}{A dt^2} + A \cdot \frac{dy}{dt} + C_2 \frac{k \cdot y}{A} = C_1 \cdot x$ -----(28)

$$C_2 \frac{m \cdot d^2 y}{A dt^2} + A \cdot \frac{dy}{dt} + C_2 \frac{k \cdot y}{A} = C_1 \cdot x$$

แล้ว take laplace จะได้

$$C_2 \frac{m \cdot S^2}{A} Y(S) + A \cdot S Y(S) + C_2 \frac{k \cdot Y(S)}{A} = C_1 \cdot X(S) \text{ ----- (29)}$$

จะได้ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของวาล์วควบคุมทิศทางไหลและกระบอกสูบไฮดรอลิกทางเดียว

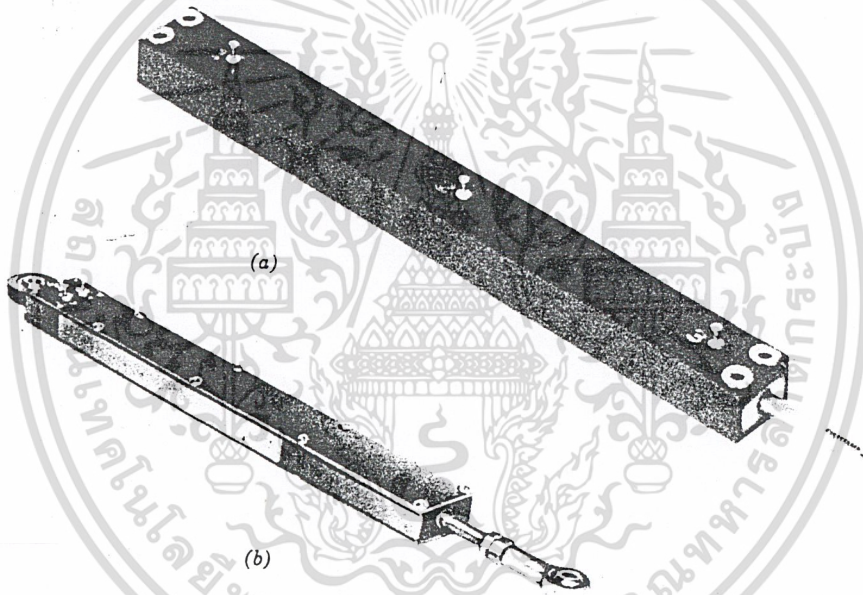
$$\frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{C_1}{C_2 (m/A) \cdot S^2 + A \cdot S + C_2 (k/A)} \text{ ----- (30)}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพเทนทีโอมิเตอร์ (POTENTIO METER)

โพเทนทีโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า อินพุตที่ป้อนเข้าโพเทนทีโอมิเตอร์จะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่แบบเชิงกล อาจจะเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบหรือเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นก็ได้ เมื่อป้อนโวลต์เตจเข้าที่ปลายข้างที่อยู่กับที่ของโพเทนทีโอมิเตอร์ เอ้าท์พุทโวลต์เตจจะได้ออกมาที่ปลายของส่วนที่เคลื่อนที่ของโพเทนทีโอมิเตอร์ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วของการหมุนหรือระยะการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น รูปที่ 15 แสดงถึงโพเทนทีโอมิเตอร์ชนิดลิเนียร์ที่มีวงจรถายอยู่ภายในตัวด้วย ความคลาดเคลื่อนของความต้านทานของโพเทนทีโอมิเตอร์ชนิดมาตรฐานจะอยู่ระหว่าง ± 5 เปอร์เซ็นต์ และ ± 10 เปอร์เซ็นต์



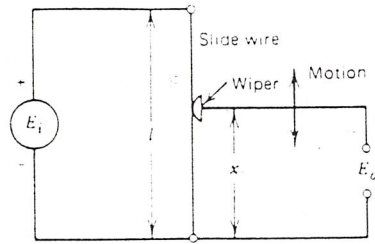
รูปที่ 15 โพเทนทีโอมิเตอร์แบบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงที่มีวงจรถายอยู่ภายในตัวด้วย

ส่วนรูปที่ 16 แสดงถึงวงจรถายของโพเทนทีโอมิเตอร์ที่เป็นแบบลิเนียร์ เนื่องจากโวลต์เตจตกคร่อมขั้วที่ปรับค่าได้และกราวด์ จะเป็นสัดส่วนกับการเคลื่อนที่ของก้านสลับและโพเทนทีโอมิเตอร์ เมื่อป้อนโวลต์เตจคร่อมขั้วอยู่กับที่โพเทนทีโอมิเตอร์สามารถใช้แสดงค่าตำแหน่งสมบูรณ์ของก้านสลับ เอ้าท์พุทโวลต์เตจ $v(t)$ จะเป็นสัดส่วนกับตำแหน่งของก้านสลับ $y(t)$

ดังสมการ
$$\frac{V(S)}{Y(S)} = K \quad \text{----- (31)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K = ค่าคงที่ของโพเทนทีโอมิเตอร์



รูปที่ 16 แสดงถึงวงจรของโพเทนทีโอมิเตอร์แบบลิเนียร์



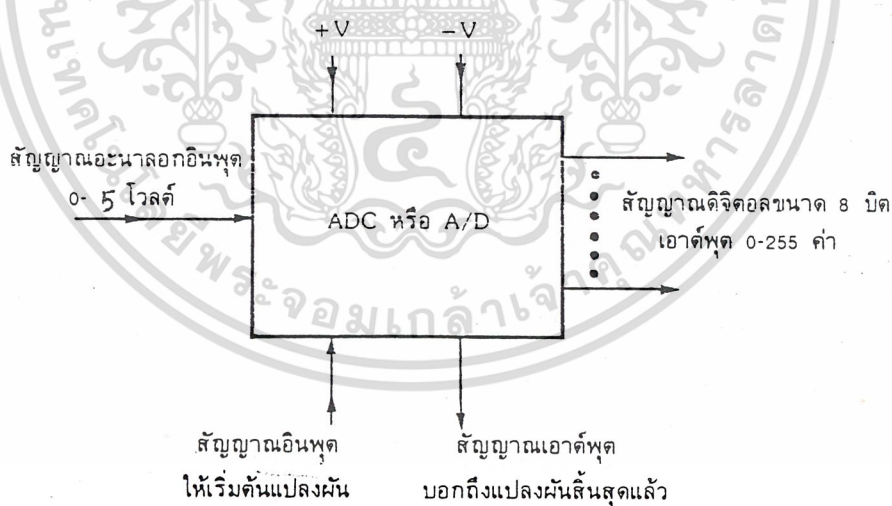
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงสัญญาณเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์

7.1) การแปลงผันสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D หรือ ADC)

ในระบบคอมพิวเตอร์มีการทำงานเป็นแบบดิจิตอล เสมอแต่มีระดับสัญญาณเป็น 0 และ 1 แต่ในการประยุกต์ใช้งานจริง มักจะเกี่ยวข้องกับสัญญาณที่เป็นอะนาลอก สัญญาณอะนาลอกก็คือสัญญาณที่มีความแตกต่างหลาย ๆ ระดับ สัญญาณเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน น้ำเสียง ในทางอิเล็กทรอนิกส์เราสามารถแปลงโวลต์ที่แท้จริงให้อยู่ในรูปของสัญญาณเหล่านี้ได้ การจะเชื่อมต่อเข้ากันได้กับสัญญาณดิจิตอล จำเป็นต้องมีการแปลงเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแบบอะนาลอก

การแปลงผันสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลที่เรียกว่า ADC หรือ A/D เป็นการแปลงสัญญาณแรงดันในช่วงใด ๆ เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อที่จะนำเข้าสู่ Personal Computer ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ IC A/D converter เบอร์ 0804 ของบริษัท HARRIS ป้อนค่า Analog Voltage Input Range 0V to 5V (Single +5v Supply) เปลี่ยนเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต ค่าจาก 0 ถึง $255(2^8-1)$



รูปที่ 17 ไตอะแกรม ADC หรือ A/D

ถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็น 0 โวลต์ ค่าดิจิตอล 8 บิตจะเท่ากับ 0 แต่ถ้าแรงดันอินพุตมีค่ามากที่สุดคือ 5 โวลต์ค่าของดิจิตอลสูงสุดจะเท่ากับ 255 ตามลำดับ ฉะนั้นการคิดแรงดันอินพุตช่วงใด ๆ ที่ทำให้ค่าดิจิตอลเปลี่ยนไป 1 ค่า สามารถหาได้จาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอินพุตมากที่สุด/ค่าดิจิตอลมากที่สุด = $5/255$

= 0.019608

= 0.02 โวลต์

นั่นคือ ค่าแรงดันอินพุต 0.02 โวลต์ จะทำให้ค่าตัวเลขดิจิตอลเปลี่ยนไปเป็น 1 ดูรายละเอียดของ analog to digital converter ได้ที่ภาคผนวก

7.2) ET-PC 8255 จะเป็น card ต่อขยายระบบเครื่อง personal computer ให้มีส่วนของ input, output port ใช้งานมากขึ้น โดยจะมี port ใช้งานเป็น input หรือ output จำนวน 9 port หรือ 72 bit I/O ดูรายละเอียด ET-PC 8255 ได้ที่ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ PID ที่ใช้ในการควบคุม

8.1) ชนิดของการควบคุม (CONTROL ACTION or MODE OF CONTROL) หมายถึง ชนิดหรือวิธีการทำงานของส่วนที่เป็นตัวควบคุม (controller) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนของสัญญาณคลาดเคลื่อน (error signal); [ผลต่างระหว่าง สัญญาณเอาต์พุต (output signal) กับสัญญาณอินพุต (input signal)] ของทั้งระบบ ซึ่งชนิดของการควบคุมแบ่งได้ดังนี้

8.1.1) การควบคุมแบบสัดส่วน (PROPORTIONAL CONTROL; P) การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดของสัญญาณควบคุม (control signal) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณคลาดเคลื่อน ดังสมการ

$$P(t) = K_p \cdot DE(t) + P_o \quad \text{----- (32)}$$

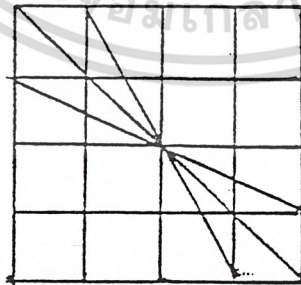
โดย $P(t)$ = ขนาดสัญญาณควบคุมที่เวลา t

K_p = กำลังขยาย (proportional gain)

$DE(t)$ = สัญญาณคลาดเคลื่อนที่เวลา t

P_o = ขนาดสัญญาณควบคุมเมื่อ $DE(t) = 0$

DE, 100 %



100 % (Error)

รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง CONTROL SIGNAL กับ ERROR SIGNAL

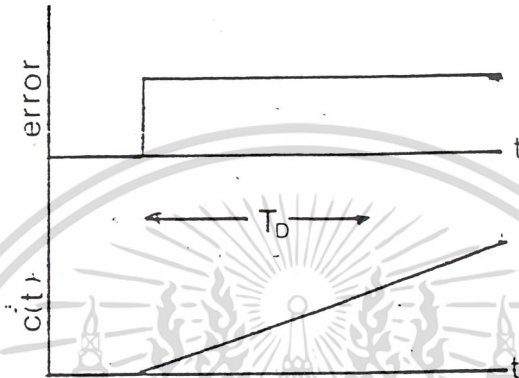
คุณสมบัติของการควบคุมแบบสัดส่วน

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต เร็วขึ้น
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- ทำให้ระบบรวมมีความคลาดเคลื่อน เกิดขึ้นเสมอ

8.1.2) การควบคุมแบบรวม (INTEGRAL CONTROL; I) การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดสัญญาณควบคุมจะเป็นอัตราส่วนกับพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงเวลาปัจจุบัน ดังสมการ

$$P(t) = K_i \int DE(t)dt + P_0 \quad \text{----- (33)}$$

โดย $K_i = \frac{1}{\text{ค่าคงที่ (integral time)}}$



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง CONTROL SIGNAL กับ ERROR SIGNAL

กล่าวคือ หาก error signal เป็น step change แล้ว control signal จะเป็น ramp function ซึ่งมีความชันแปรผันกับขนาดของ $DE(t)$

คุณสมบัติของการควบคุมแบบรวม

- ทำให้ระบบควบคุมรวมไม่มีความคลาดเคลื่อนในการควบคุม แต่มีค่าการตอบสนองสูงสุดเกิดขึ้น ทำให้ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมกระบวนกรในช่วงแรกมากกว่ากระบวนกรเดิม

- ทำให้กระบวนกรตอบสนองต่อสัญญาณเข้าจากภายนอกช้าลง เมื่อเทียบกับกระบวนกรเดิม และผลการตอบสนองจะมีการแกว่งเกิดขึ้นเสมอ

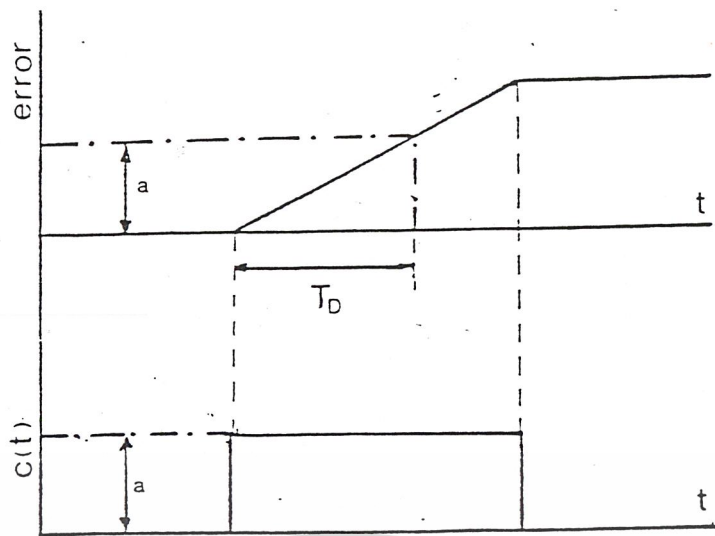
- การปรับค่า K_i เพิ่มขึ้นทำให้กระบวนกรตอบสนองเร็วขึ้น แต่มีการแกว่งเพิ่มขึ้นทำให้เสถียรภาพของระบบรวมลดลง

8.1.3) การควบคุมแบบอัตรา (DERIVATIVE CONTROL; D) การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดของสัญญาณควบคุมจะขึ้นอยู่กับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณผิดพลาดในขณะนั้น ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$P(t) = K_d \frac{dDE(t)}{dt} \quad \text{----- (34)}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $K_d =$ ค่าคงที่ (derivative time)



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง CONTROL SIGNAL กับ ERROR SIGNAL

ซึ่งจะเห็นว่าตัวควบคุมชนิดนี้จะให้ control signal ที่ค่าของ error signal มีการเปลี่ยนแปลง และถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า error signal ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า control signal จึงต้องใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่นเสมอ

คุณสมบัติของการควบคุมแบบอัตรา

- จะส่งสัญญาณควบคุมเพื่อปรับสภาวะกระบวนการ ก่อนความคลาดเคลื่อนจริงจะเกิดขึ้นกับกระบวนการ

- ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการให้ดีขึ้น

8.1.4) การควบคุมแบบผสม (MIXED-MODE OF CONTROL ACTION) การควบคุมลักษณะนี้ จะให้สัญญาณควบคุมในลักษณะที่ เหมือนกับการเอาลักษณะสัญญาณควบคุมแต่ละชนิดมาผสมกัน จะเป็นการรวมเอาข้อดีของการควบคุมแต่ละชนิดไว้ด้วย เช่น PID-CONTROL จะรวมเอาข้อดีของการของทั้ง 3 แบบที่กล่าวมา ซึ่งจะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$P(t) = K_p \cdot DE(t) + K_i \cdot \int DE(t) dt + K_d \cdot \frac{dDE(t)}{dt} + P_0 \quad \text{---(35)}$$

8.2) การคำนวณสมการ PID ในระบบดิจิทัล ในระบบดิจิทัลจะมีการส่งตัวอย่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (sample) ค่าของตัวแปรมาทำการคำนวณ โดยในช่วงเวลาการส่ง (sampling time: DT) คงที่ (ถ้ากรณีใดๆ พลังงาน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปรงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงคู่มือเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้) ดังนั้นการคำนวณสมการ PID ในระบบดิจิทัลจะทำทุกช่วงเวลา DT เท่านั้น ไม่ได้ทำแบบต่อเนื่อง จึงต้องแปลงสมการ PID เพื่อใช้ในระบบดิจิทัลต่อไป ดังนี้

8.2.1) สมการอินทิกรัล I

$$P(t) = K_i \cdot DE(t) \cdot DT \quad \text{----- (36)}$$

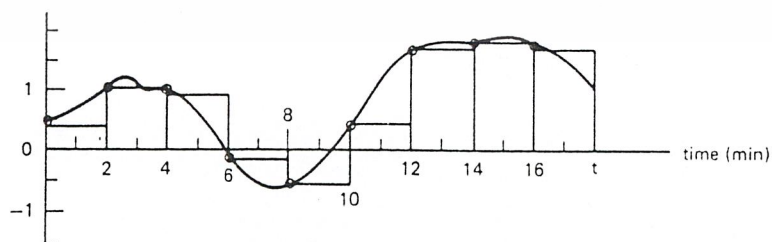
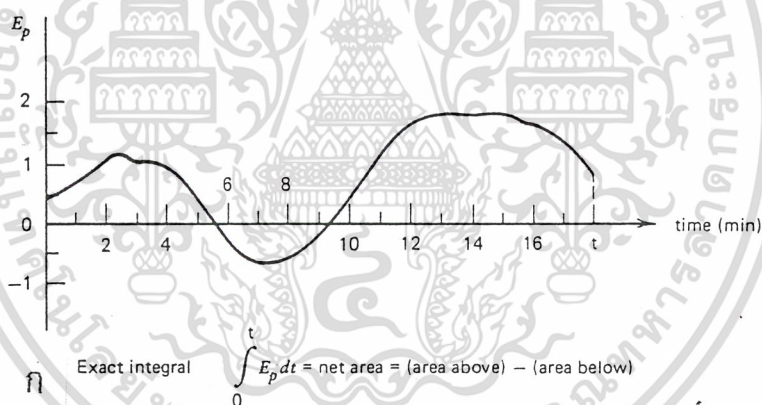
พิจารณารูป 21 พบว่าค่า $\int DE(t) dt$ ก็คือ พื้นที่ใต้กราฟนั่นเอง ซึ่งถ้าแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่วงเล็ก ๆ ช่วงละ DT จะสามารถประมาณพื้นที่ดังกล่าวได้ด้วย ผลคูณของผลรวมระหว่างค่าผิดพลาดที่เวลาใด ๆ กับค่าคงที่ DT

$$DE(t) = DE_1 + DE_2 + \dots + DE_k ; k = t/DT$$

$$= DE_i \quad \text{----- (37)}$$

โดยที่ $DE_i =$ ค่าผิดพลาดที่เวลาสัมลัดับ i

$DT =$ ค่าเวลาสัม



ข) Approximate integral = sum of rectangle areas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 21 RECTANGULAR INTEGRATION APPROXIMATION

8.2.2) สมการ DERIVATIVE D

$$P(t) = K_d \cdot \frac{dDE(t)}{dt} \quad \text{-----}(34)$$

ค่า $dDE(t)/dt$ คือผลต่างระหว่างค่าผิดพลาดที่ช่วงเวลาเล็ก ๆ (dt) ค่าหนึ่งหารด้วยค่าของช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถแทนค่าของช่วงเวลาเล็ก ๆ นี้ได้ด้วยค่าของ DT ดังนั้นจะได้ว่า

$$dDE(t)/dt = [DE_k - DE_{k-1}]/DT \quad \text{-----}(38)$$

8.2.3) สมการ PID

พิจารณาสมการ PID

$$P(t) = K_p \cdot \{ DE(t) + K_i \cdot \int DE(t) dt + K_d \cdot [dDE(t)/dt] \}$$

แทนค่าจากสมการ 36, 37, และ 38 จะได้

$$P(i) = K_p \cdot \{ DE_i + K_i \cdot DT \cdot DE_i + K_d \cdot [DE_k - DE_{k-1}]/DT$$

$$P(i-1) = K_p \cdot \{ DE_{i-1} + K_i \cdot DT \cdot DE_{i-1} + K_d \cdot [DE_{k-1} - DE_{k-2}]/DT \}$$

แก้สมการ $P(i) - P(i-1)$ จะได้

$$P(i) = P(i-1) + A \cdot DE_i - B \cdot DE_{i-1} + C \cdot DE_{i-2} \quad \text{-----}(39)$$

$$A = K_p + K_p \cdot K_i \cdot DT + K_p \cdot K_d / DT$$

$$B = K_p + 2 \cdot K_p \cdot K_d / DT$$

$$C = K_p \cdot K_d / DT$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ คือ ส่วนของโปรแกรมที่ทำการรับข้อมูลเข้ามาทำการคำนวณ ตามสมการควบคุมของกระบวนการ และส่งค่าที่คำนวณแล้วออกไป ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ภาษาซี (c-language) บนคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ต (flow chart) ได้ดังรูปที่ 22 จากโฟลว์ชาร์ตจะเห็นได้ว่าโปรแกรมจะต้องมีค่าคงที่หรือสมการที่ต้องกำหนดในการควบคุมดังนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างคักดาไฟฟ้ากับระยะทางการเคลื่อนที่

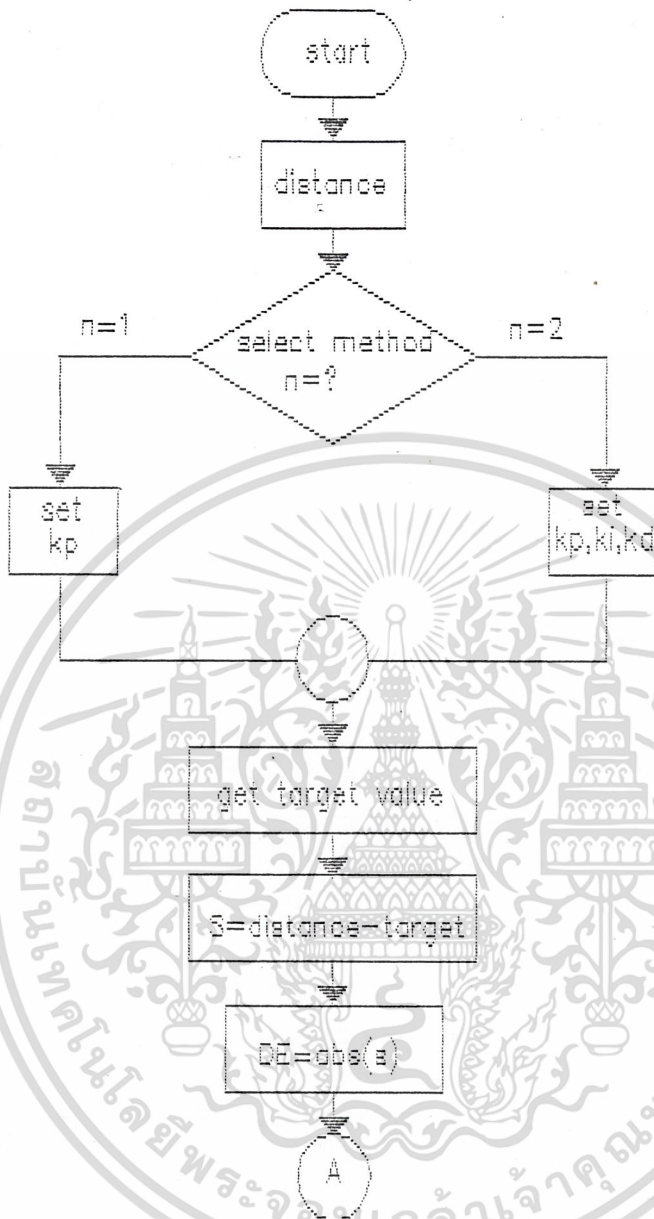
$$\text{ระยะทางการเคลื่อนที่} = \frac{5 \cdot AD}{255} \quad \text{----- (40)}$$

โดยที่ AD = คักดาไฟฟ้าที่ได้จาก A/D

2) ค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID ได้แก่ K_p, K_i และ K_d ซึ่งหาได้จากการทดลองรัน (run) กระบวนการโดยการลองเปลี่ยนค่า K_p, K_i และค่า K_d ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าที่ดีที่สุด

3) ค่า DT (SAMPLING TIME) คือช่วงเวลาที่ใช้ในการวัดค่าข้อมูลจากกระบวนการควรตั้งให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยดูจากอัตราการเพิ่มขึ้นของระยะทางของกระบวนการเทียบกับเวลา

เมื่อได้ข้อมูลจากระบบตามข้อ 1 ถึงข้อ 3 แล้ว สามารถเขียนสมการภาษาซี ซึ่งได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองและผลการทดลอง

10.1) การหาค่าพารามิเตอร์ของสมการ P และสมการPID การหาค่าพารามิเตอร์ของสมการ P และ PID ที่เหมาะสม เนื่องจากกระบวนการจริงเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนในการหาค่าพารามิเตอร์ K_p, K_i และ K_d ของโครงการนี้ใช้วิธีลองผิดลองถูก (trial and error) โดยการใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ SIMULATION ทราנסเฟอริงก์ขึ้นของระบบรวม (ค่านี้จะไม่ทำให้ระบบรวมสูญเสียเสถียรภาพ) เป็นค่าเริ่มต้นในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนได้ผลการตอบสนองของกระบวนการที่ได้ผลการควบคุมที่ดีที่สุด

สำหรับสมการการควบคุมแบบ P ได้

$$K_p = 20$$

สำหรับสมการการควบคุมแบบ PID

$$K_p = 15$$

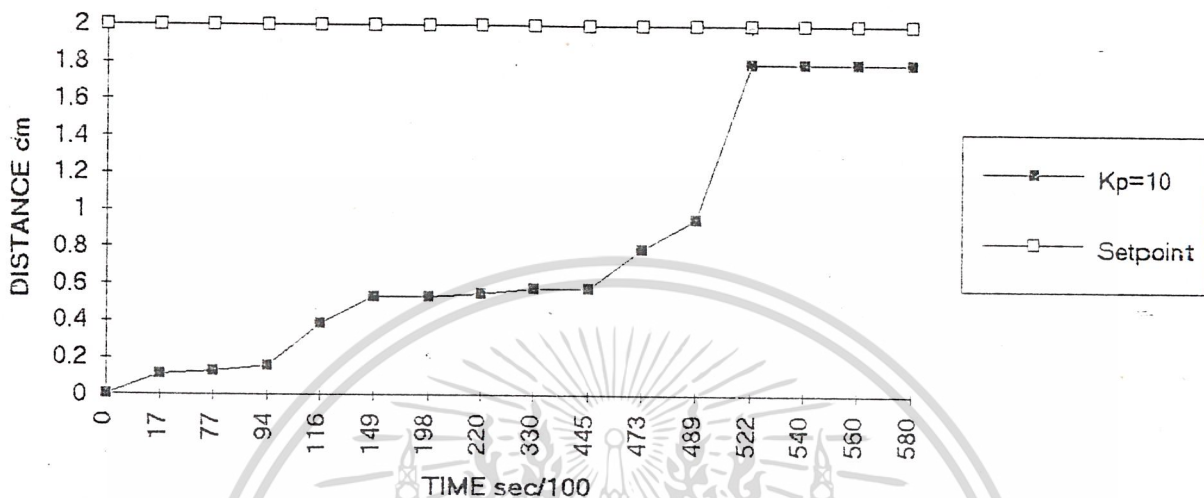
$$K_i = 0.1$$

$$K_d = 0.00007$$

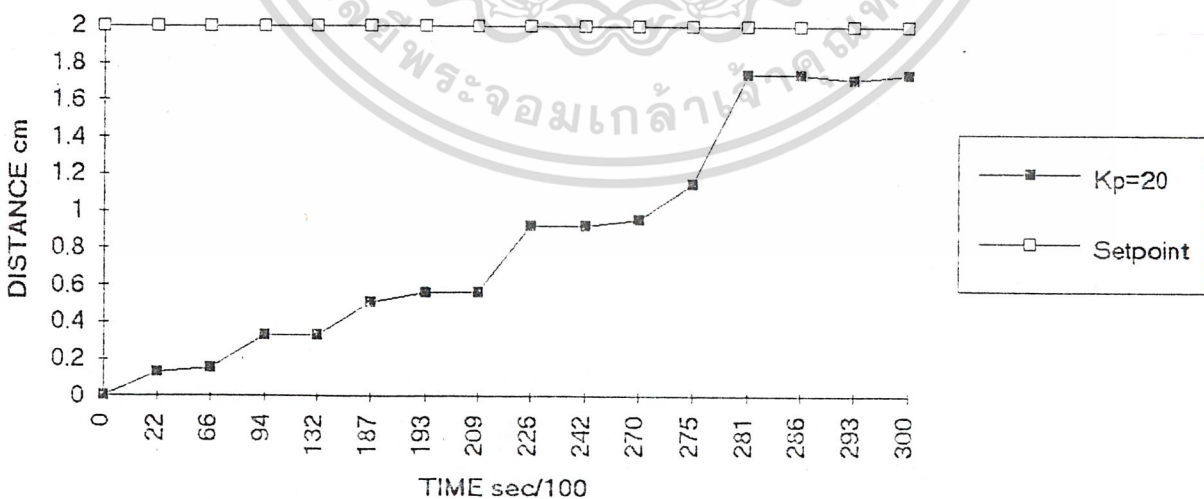
10.2) ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

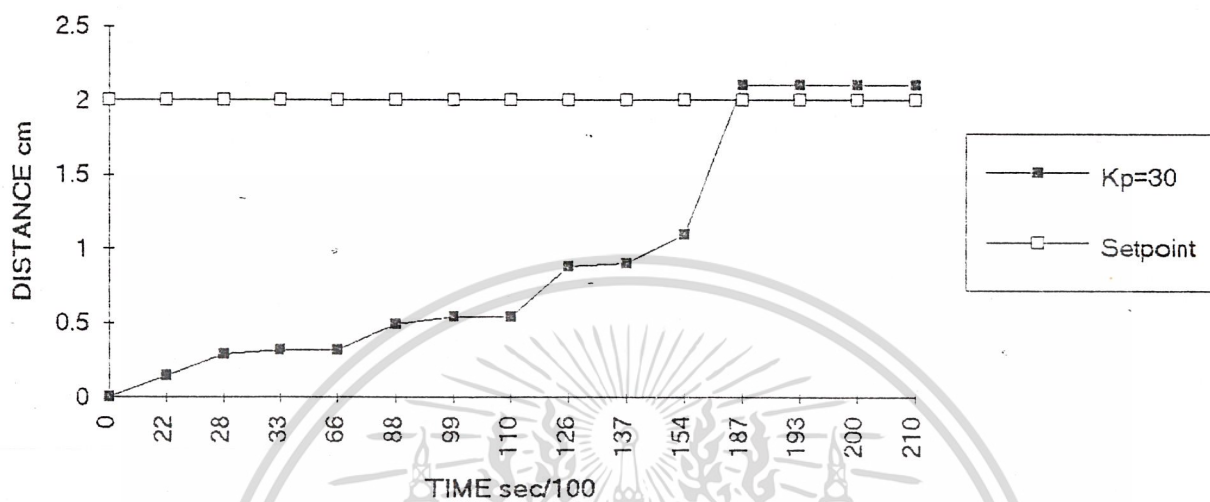


DISTANCE vs TIME



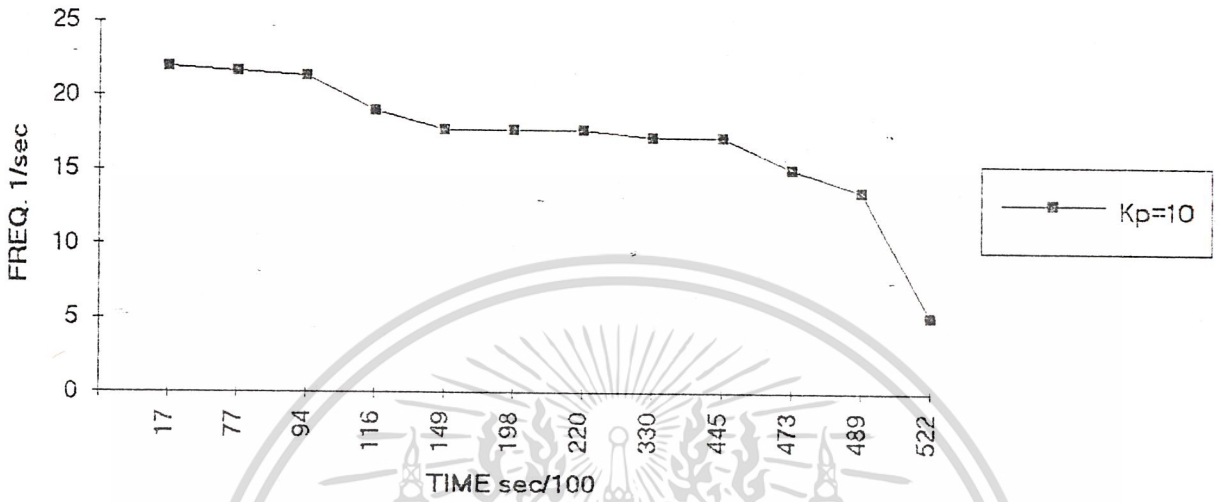
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

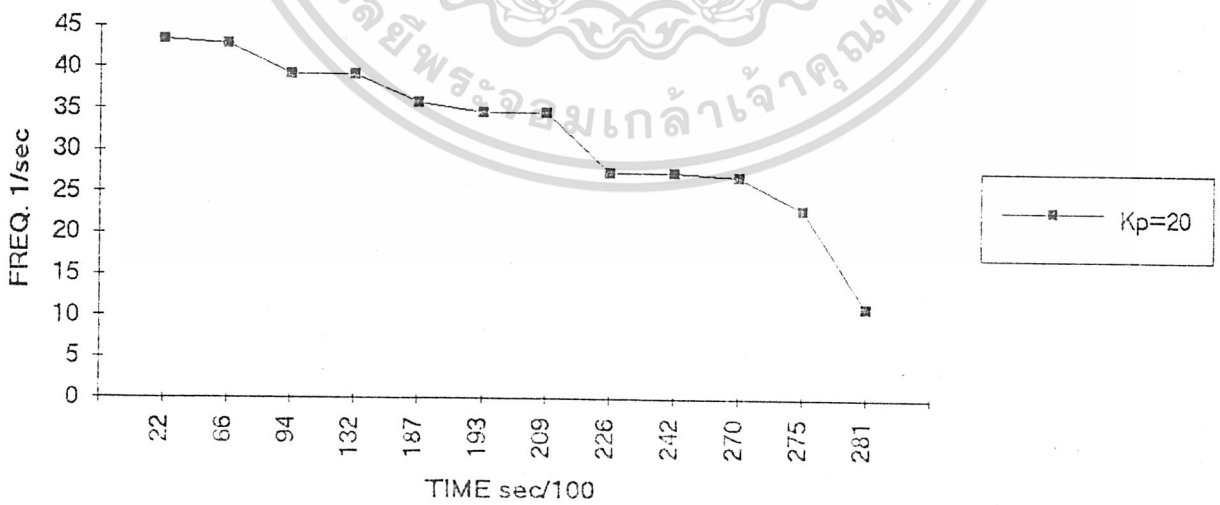


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=2]

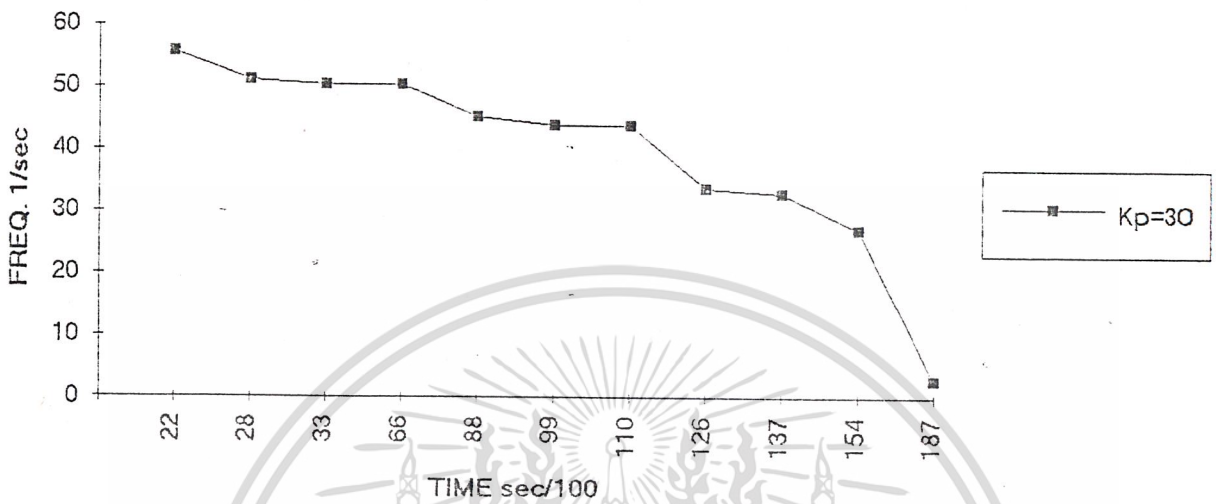


FREQ. vs TIME [Setpoint=2]



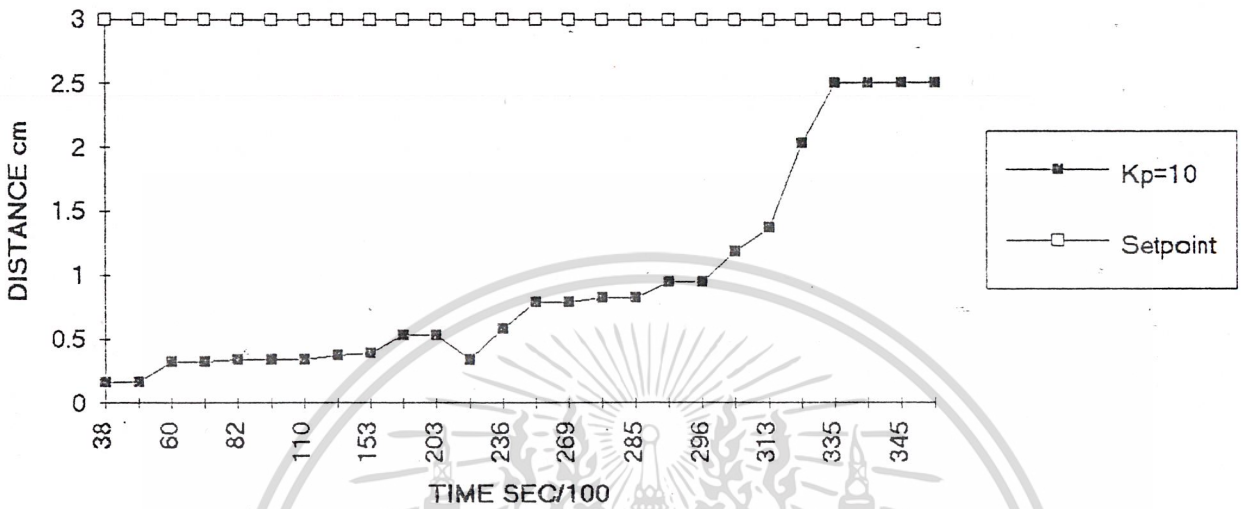
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint= 2]

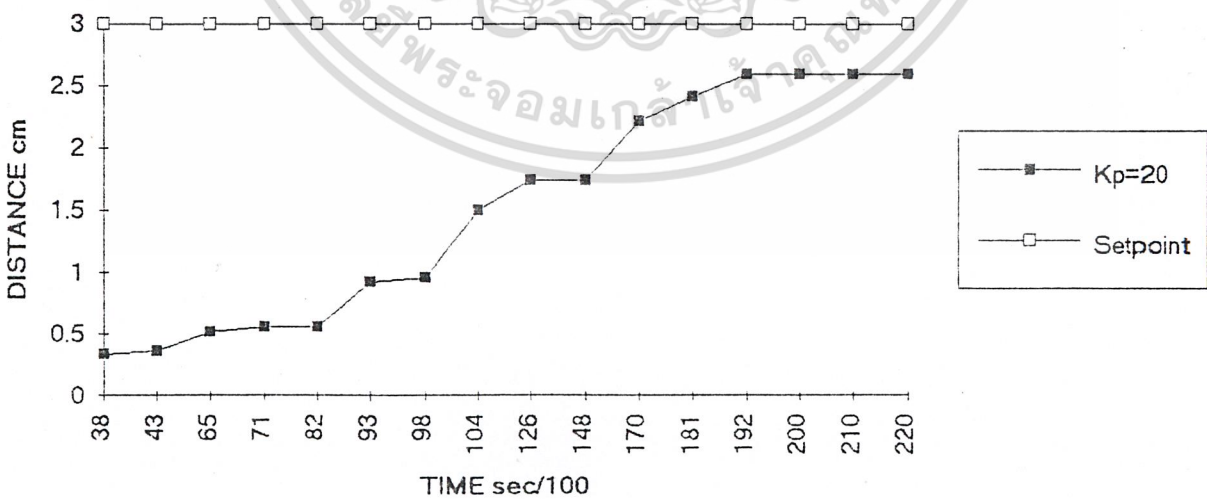


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE VS TIME

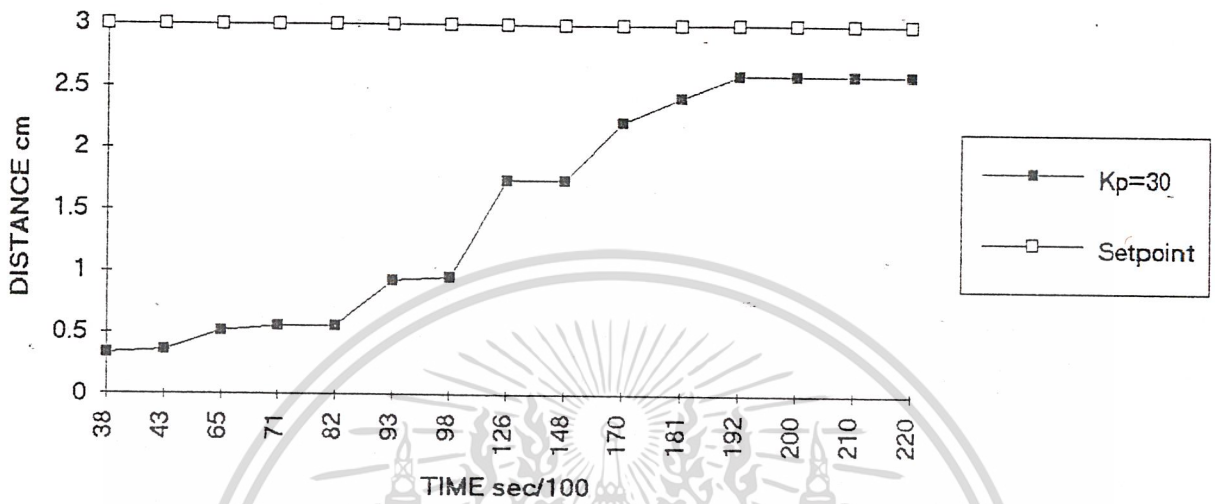


DISTANCE vs TIME



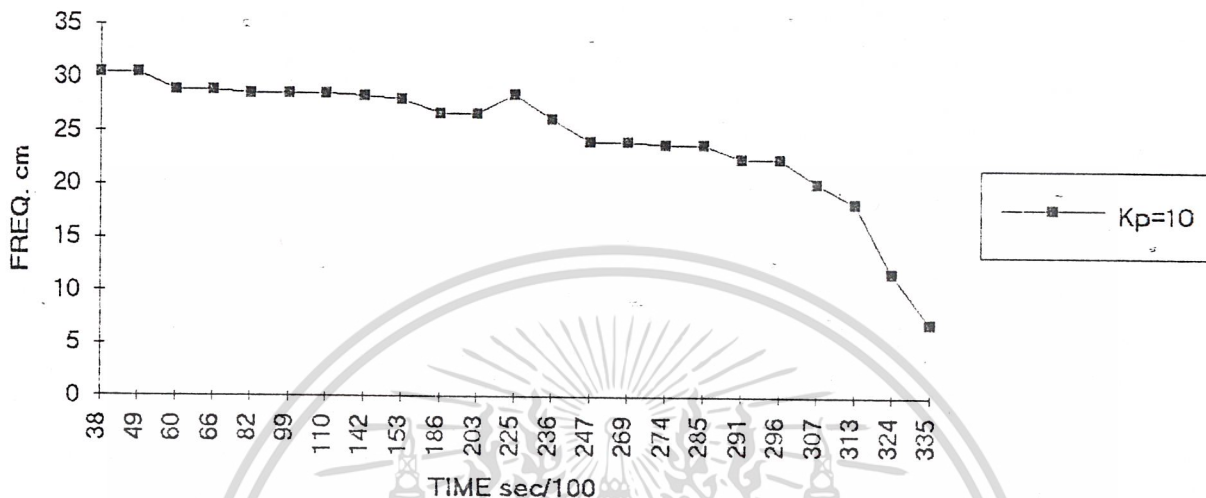
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

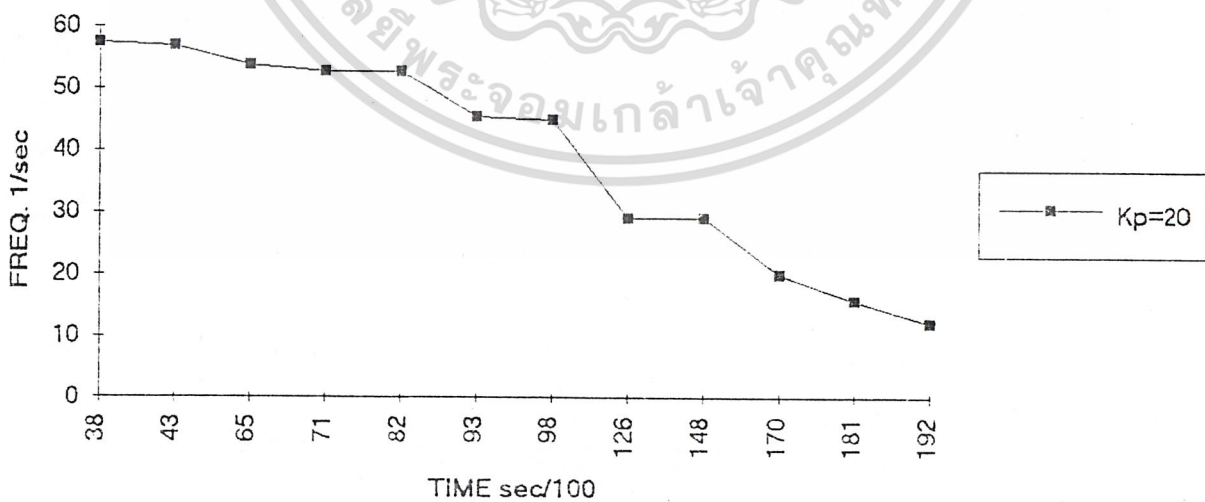


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME[Setpoint=3]

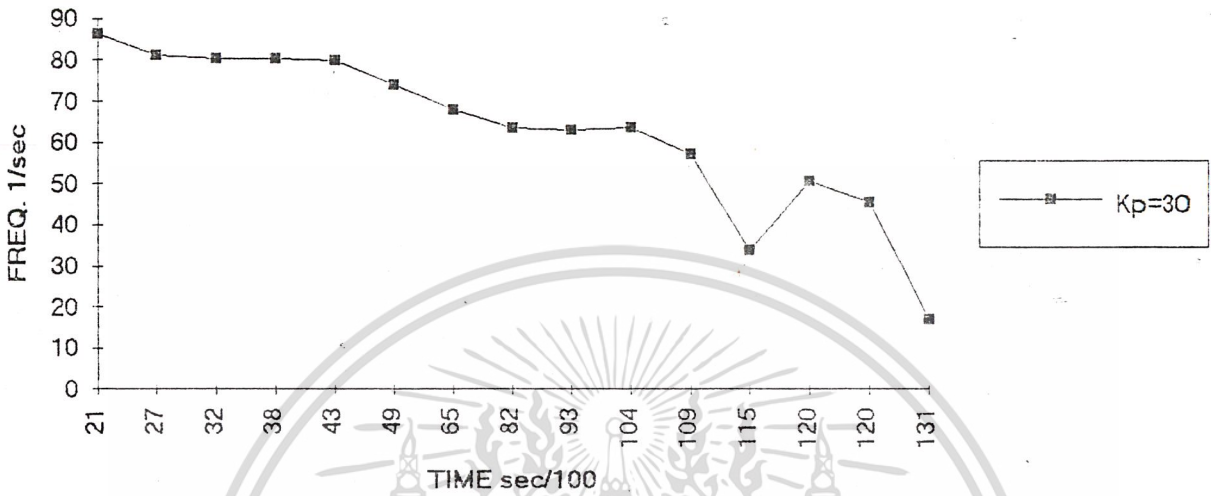


FREQ. vs TIME[Setpoint=3]



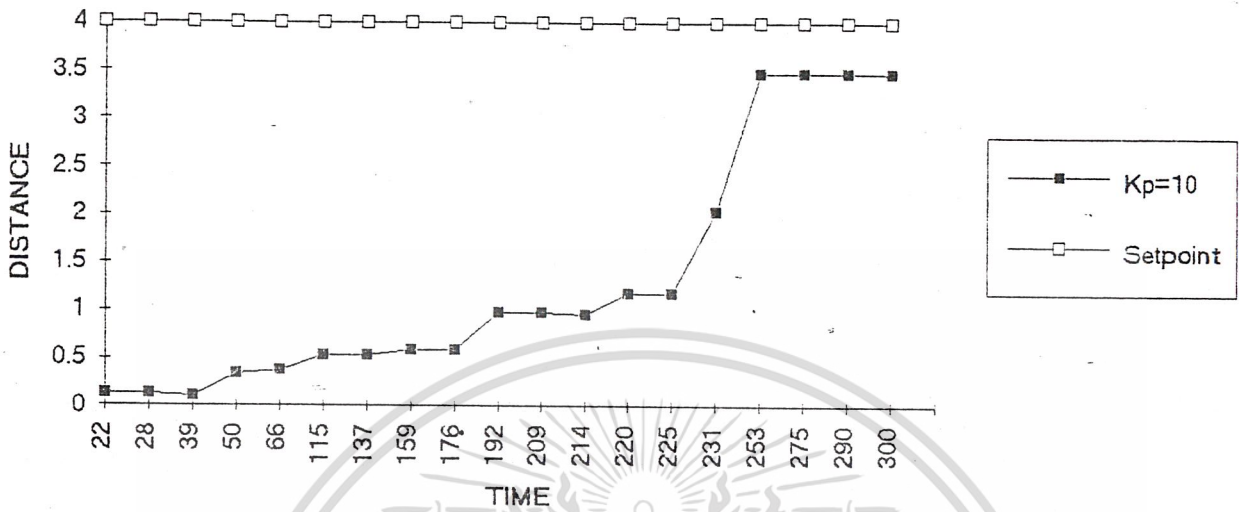
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=3]

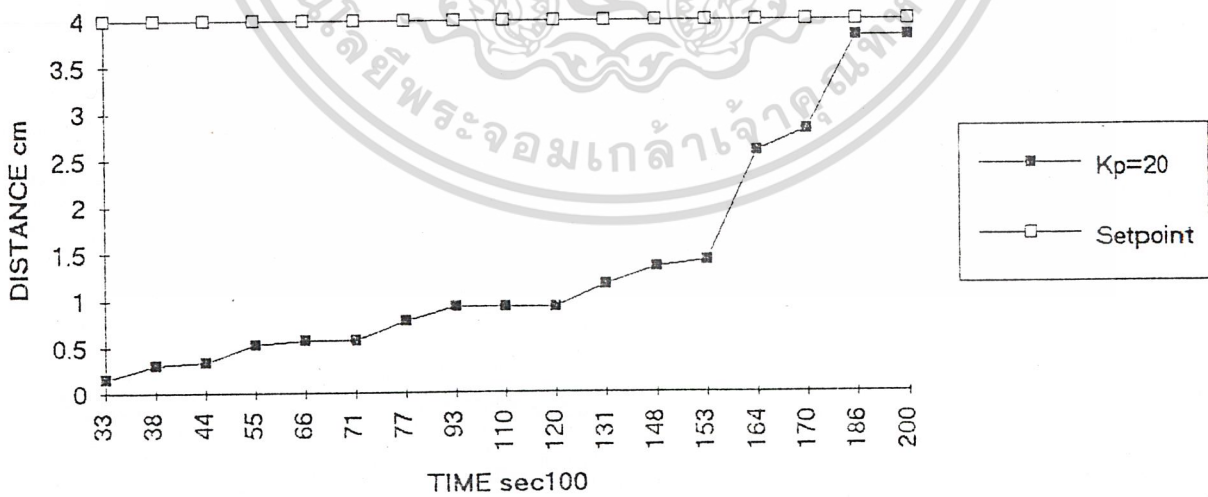


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

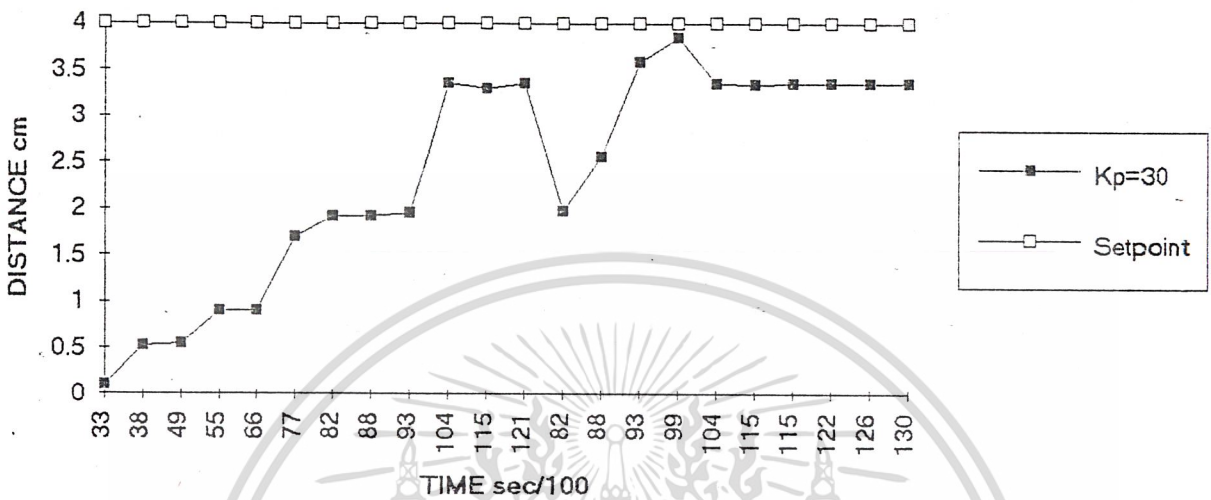


DISTANCE vs TIME



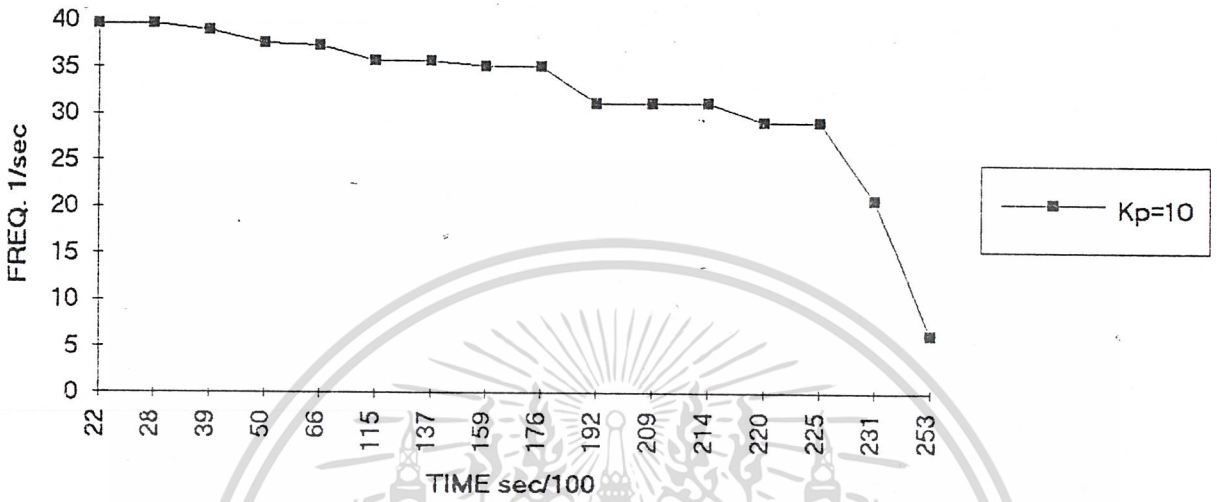
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

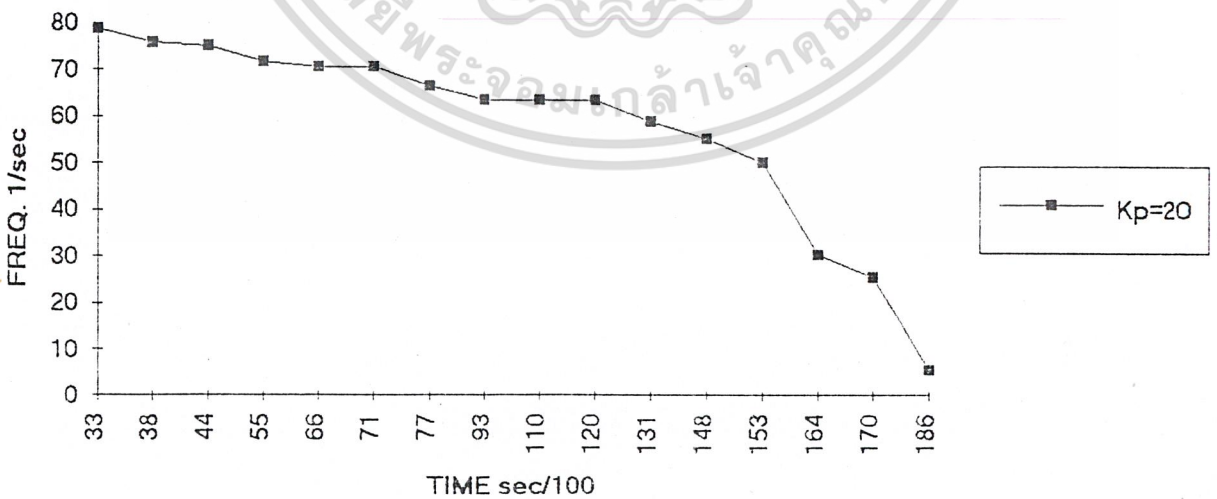


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME

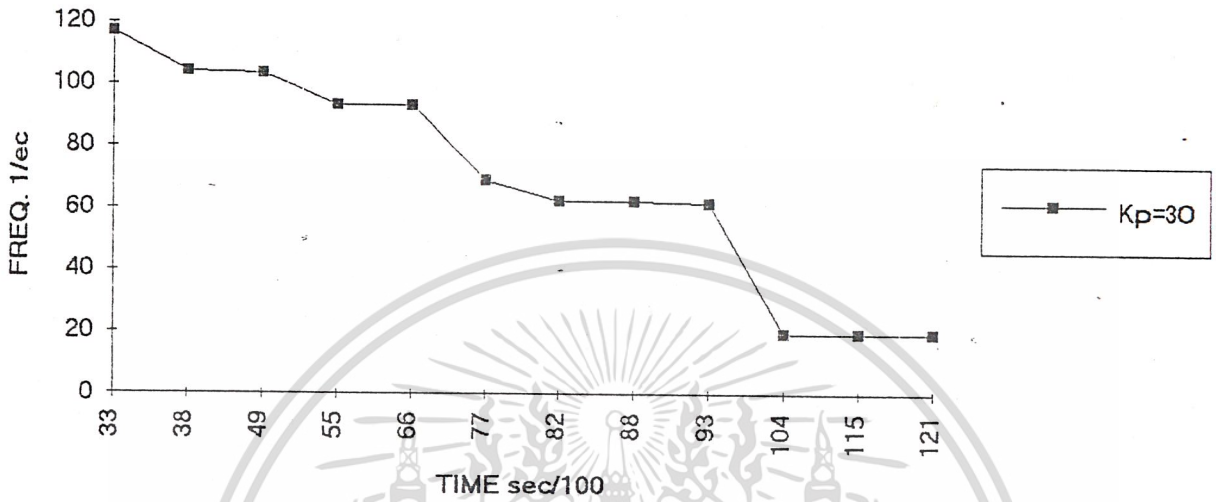


FREQ. vs TIME[Setpoint=4]



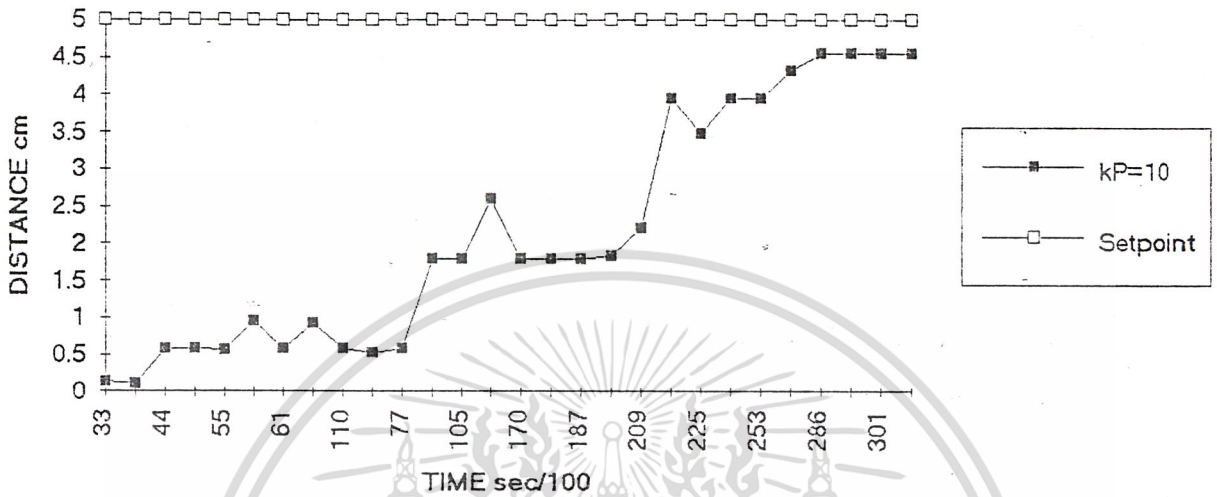
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME[Setpoint=4]

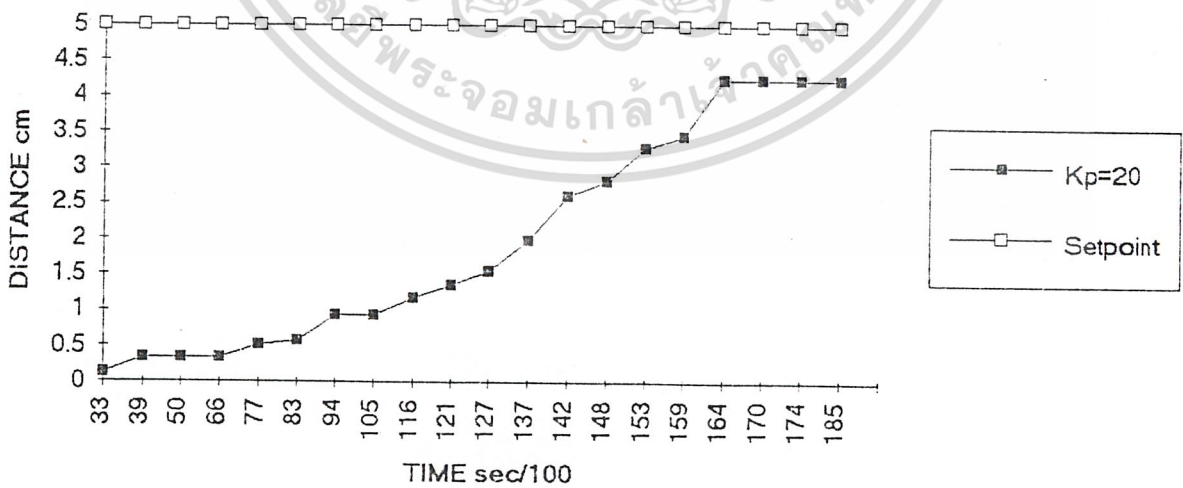


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

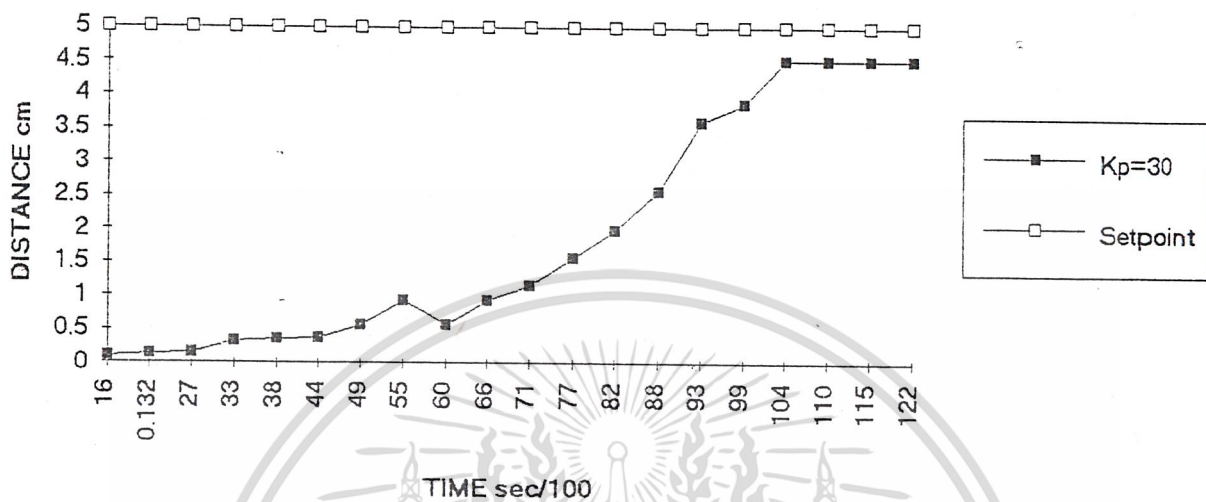


DISTANCE vs TIME



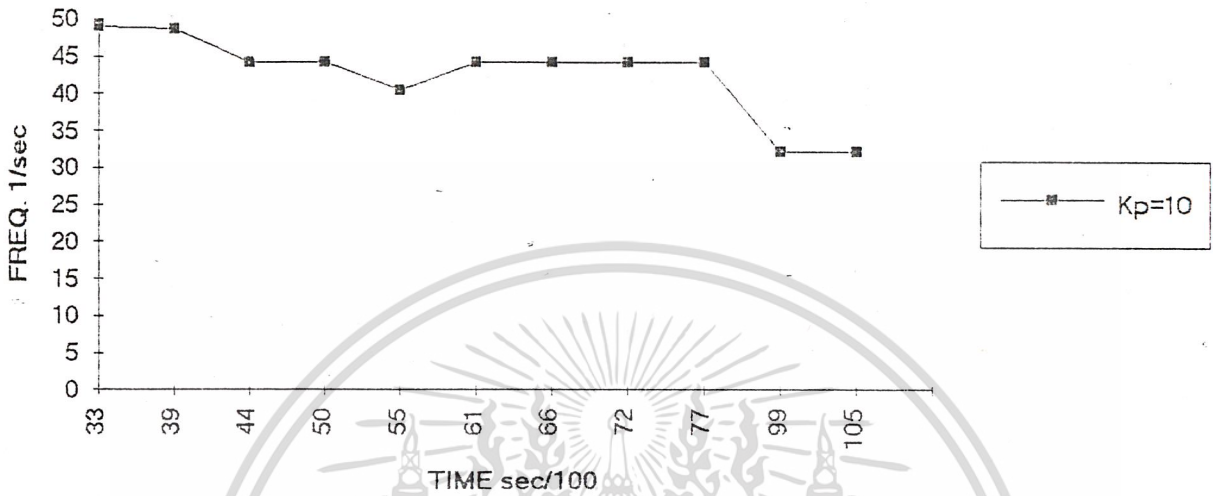
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

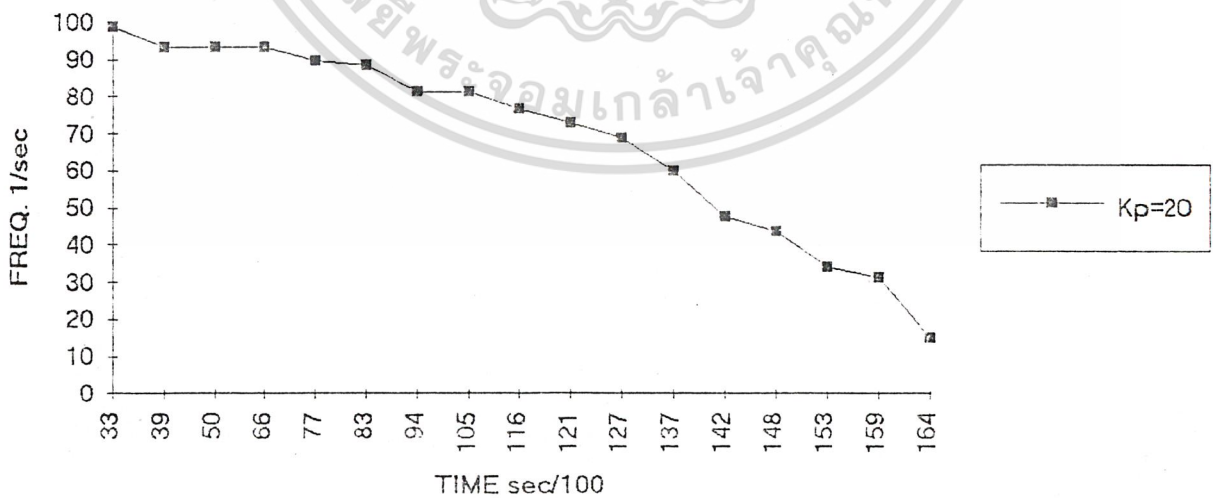


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=5]

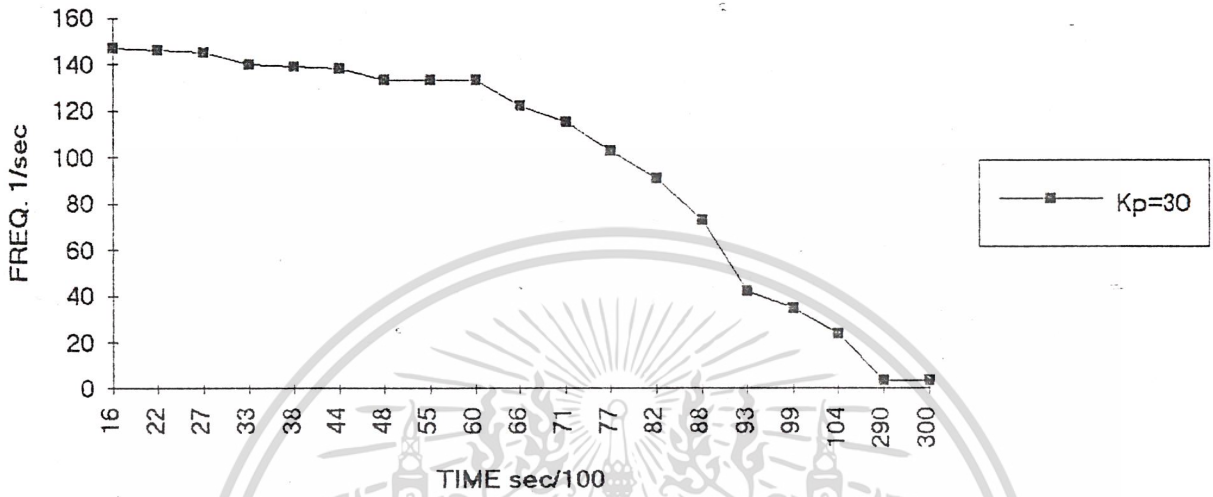


FREQ. vs TIME [Setpoint=5]



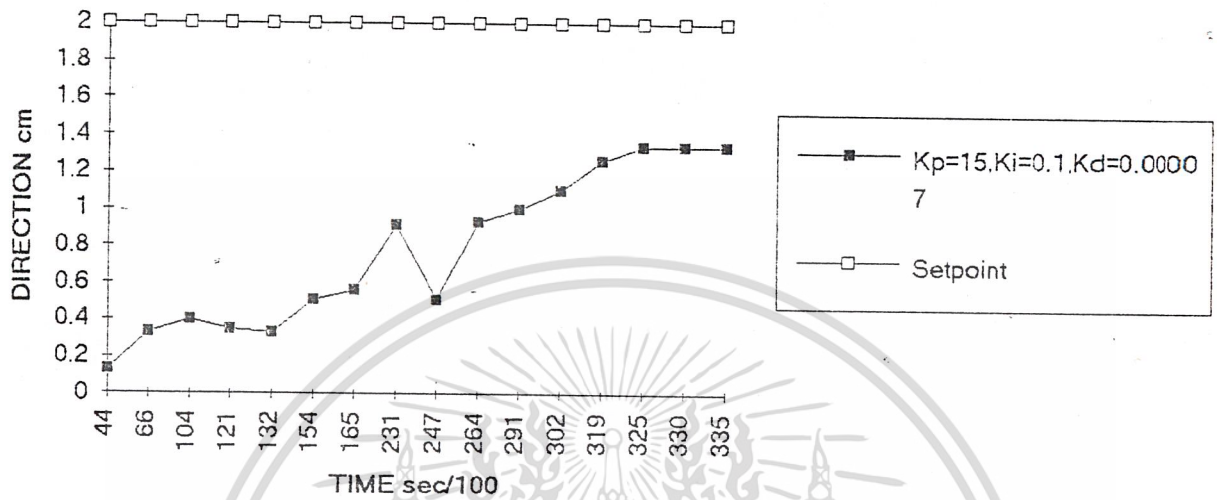
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=5]

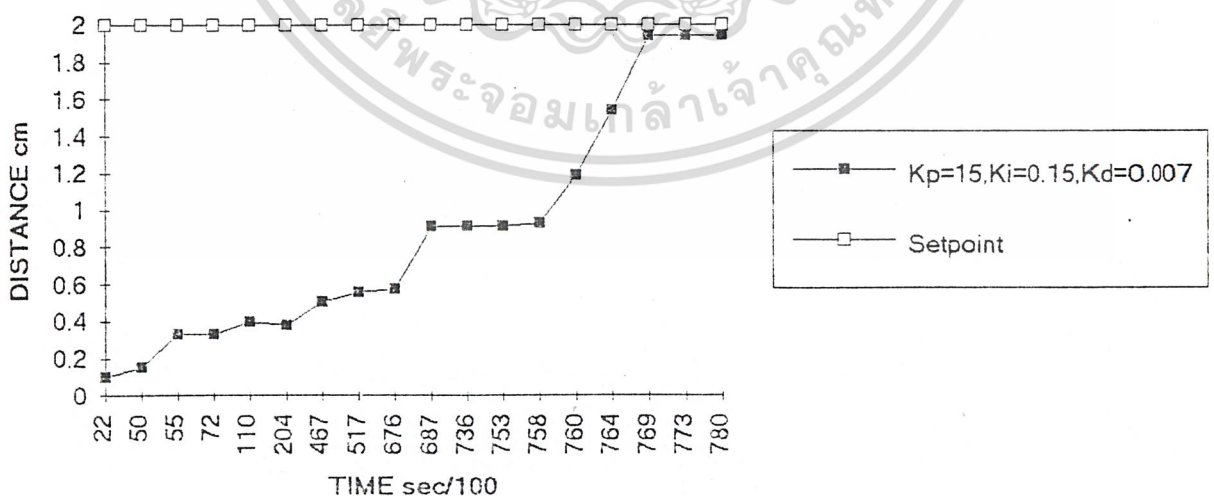


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

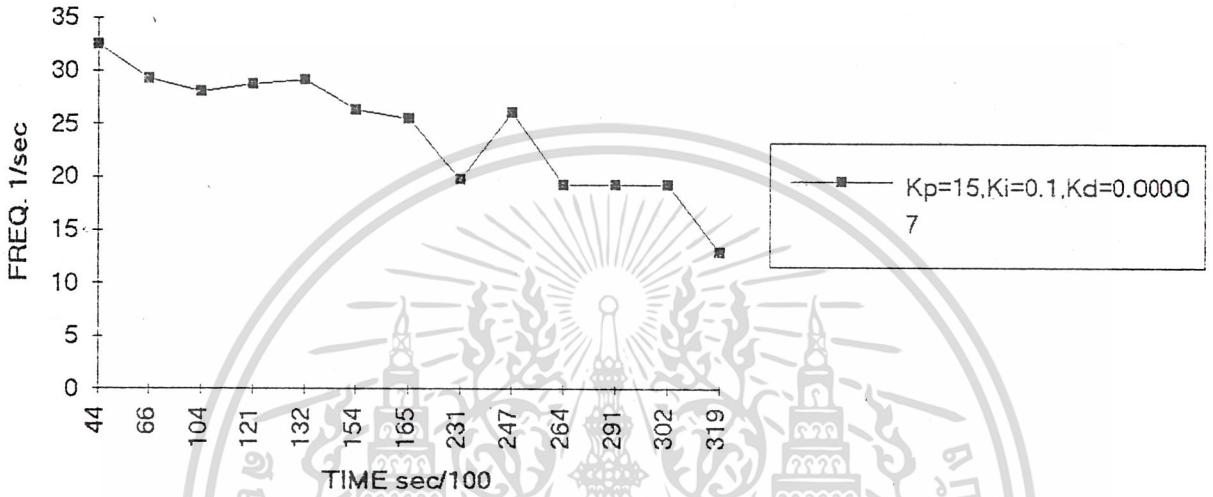


DISTANCE vs TIME

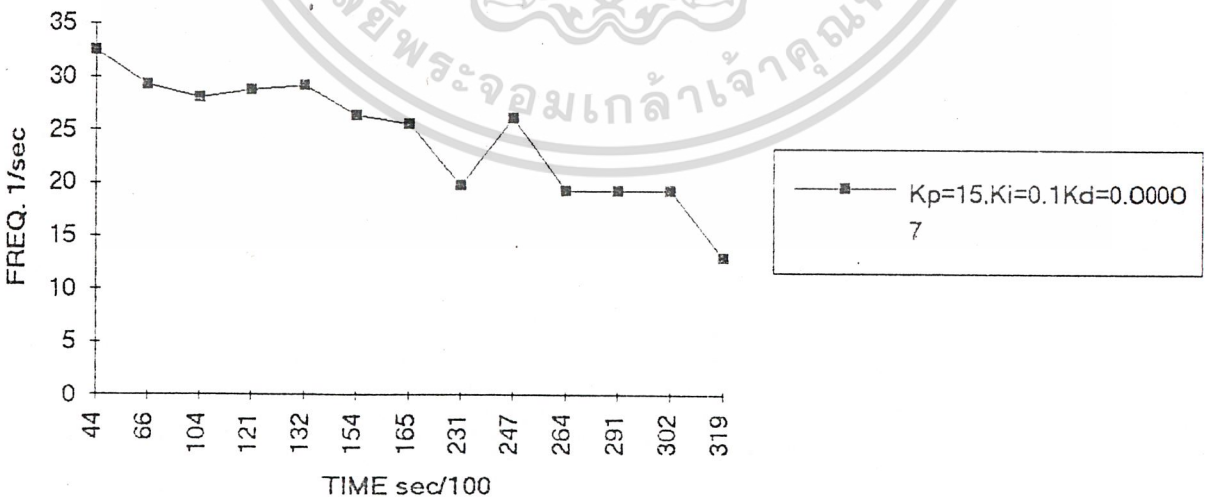


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=2]

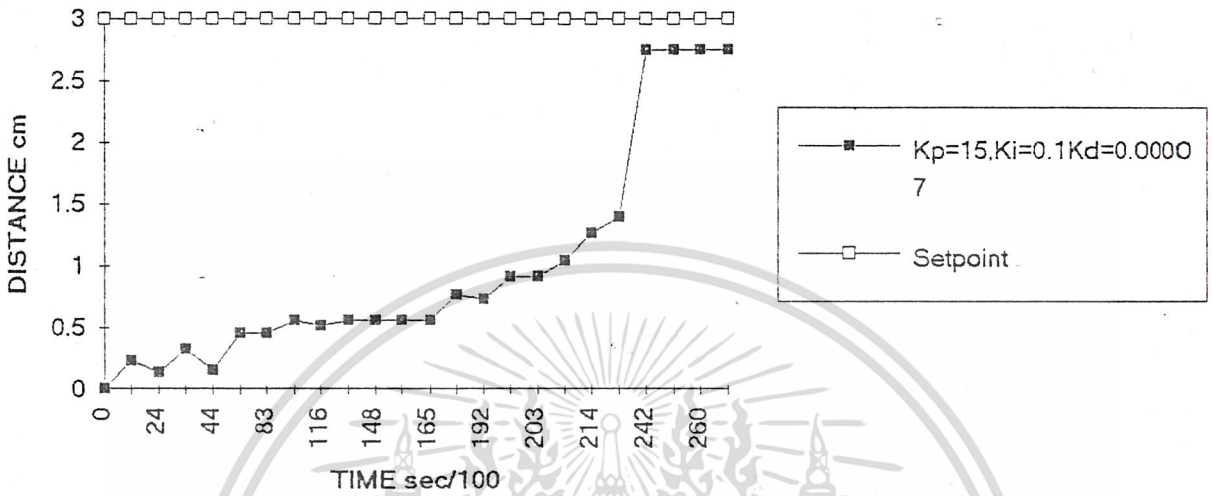


FREQ. vs TIME [Setpoint=2]

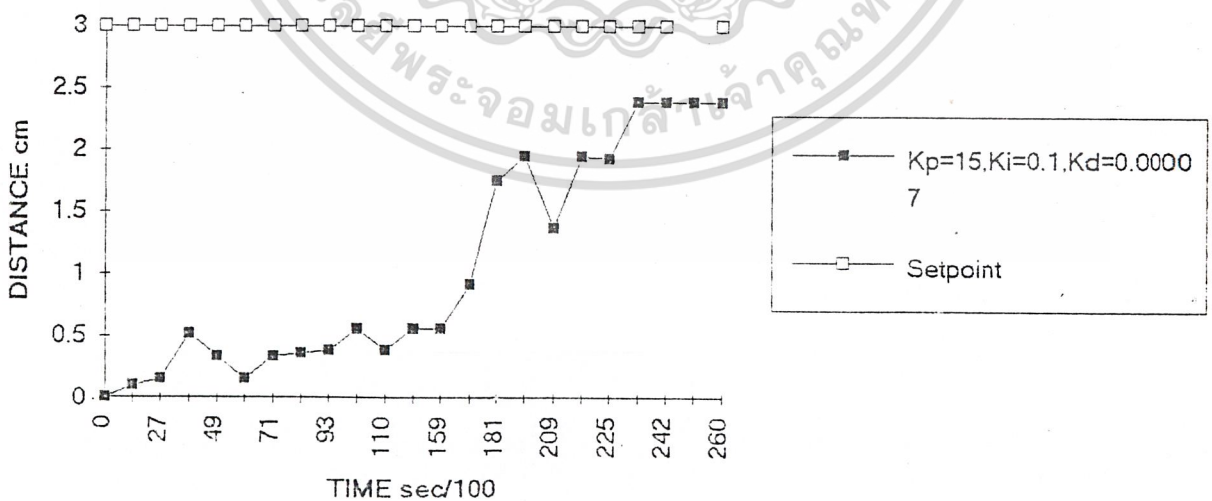


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME [Setpoint=3]

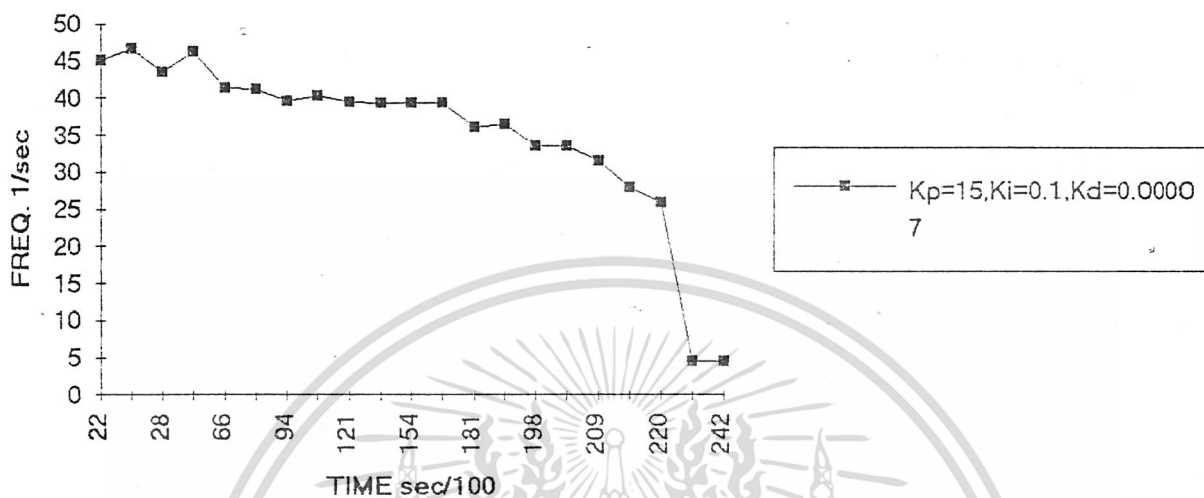


DISTANCE vs TIME

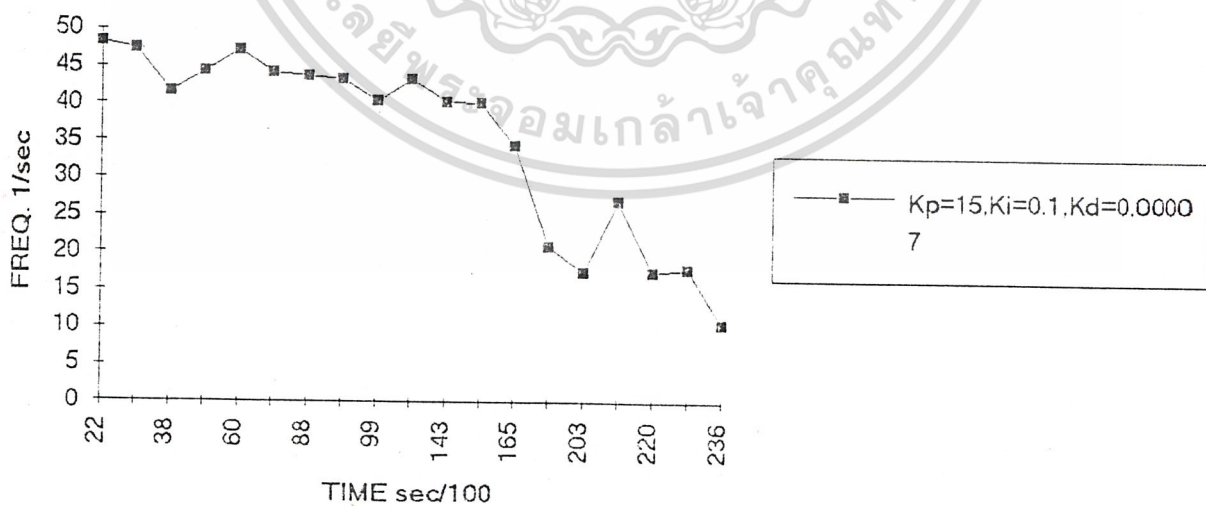


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=3]

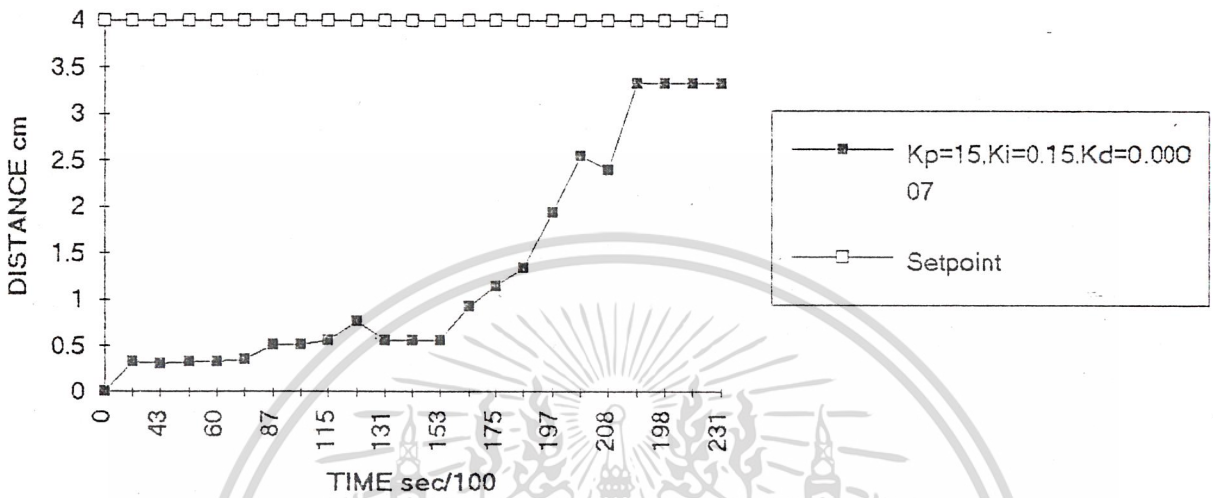


FREQ. vs TIME [Setpoint=3]

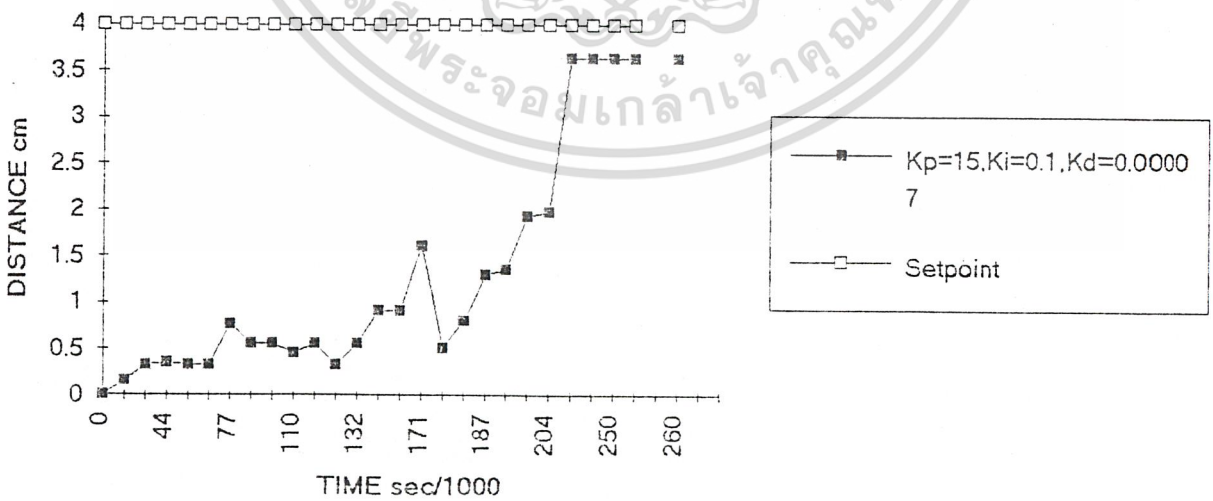


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE vs TIME

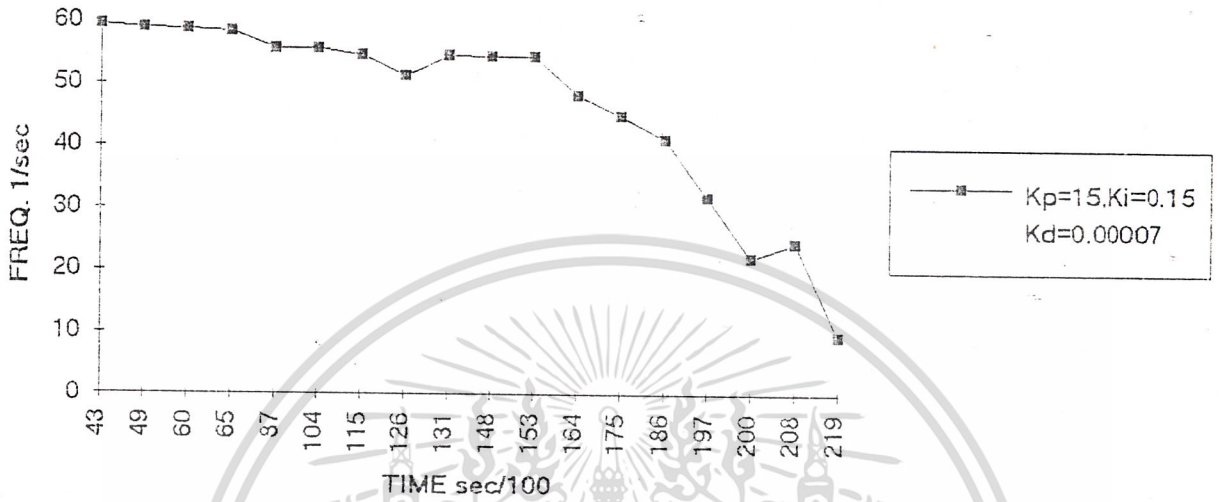


DISTANCE vs TIME

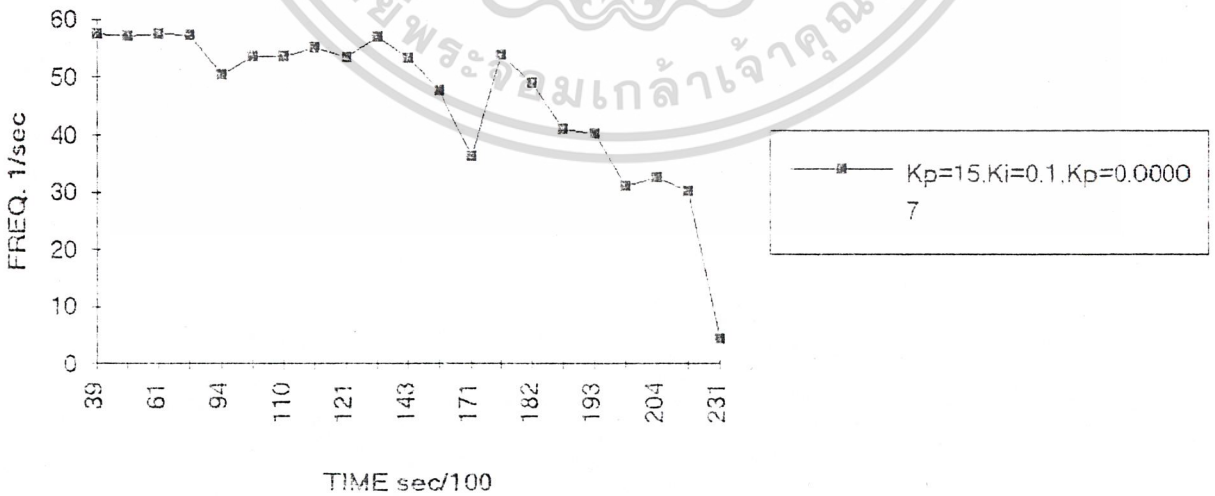


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ. vs TIME [Setpoint=4]



FREQ. vs TIME [Setpoint=4]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

11.1) การควบคุมแบบ P ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา เมื่อเพิ่มค่า K_p มากขึ้น กระบวนการจะเข้าสู่ค่า SET POINT เร็วขึ้นที่ทุก ๆ ค่าของ SET POINT แต่ค่า K_p จะมีค่าจำกัดอยู่ค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งถ้าเพิ่มค่า K_p มากเกินค่า ๆ นี้ทำให้ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้

11.2) การควบคุมแบบ PID ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาจะคล้ายกับการควบคุมแบบ P แต่ค่าในตอนเริ่มต้นจะแกว่งมาก

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับเวลา จะเห็นได้ว่าความถี่จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งกระบวนการเข้าสู่ SET POINT ค่าความถี่ที่จุดนั้นเกือบจะเป็นศูนย์ ทั้งการควบคุมแบบ P และ PID

การทดลองที่ใช้การทดลองแบบ PID จากผลการทดลองจะเห็นว่าไม่มี OVERSHOOT หรือ OSCILLATE ก่อนที่กระบวนการจะเข้าสู่เสถียรภาพ เนื่องจากว่าควบคุมทิศทางทำงานได้แค่ 2 ทิศทาง คือตำแหน่งเปิดกับตำแหน่งปิด

รูปที่ 23

จากรูป เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งเปิด รูป P ต่อกับ B กระบอกสูบจะถูกดันออก ถ้าถ้านสูบถูกดันออกไปมากกว่าค่า SET POINT เซลล์บีมมอเตอร์ก็จะหมุนกลับเพื่อปิดวาล์ว แต่ถ้านสูบไม่สามารถเลื่อนกลับได้ เนื่องจาก รูป B ถูกปิดไว้ จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้จากการควบคุมแบบ PID ไม่เป็นไปตามทฤษฎี (ไม่มี overshoot)

```

#include<time.h>
#include<dos.h>
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
#define PORT_A1 0x300 /* Port A on the 8255 No.1 */
#define CTRL_1 0x303 /* 8255 control register */
#define PORT_A2 0x308 /* Port A on the 8255 No.2 */
#define CTRL_2 0x30b /* 8255 control register */
#define Fmax 500 /* Duty time maximum ( millisec) */
#define ESC 0x1b
#define pid1 " P "
#define pid2 " PID "
float getdata();
output(int i,float F);
float process(float DE,int n);
float P=0.0,DE1=0.0,DE2=0.0,Kp=15,Kd=0.00007,Ki=0.15;
main()
{ struct time old;
  struct time now;
  float target,DE,F,x[500],temp[500];
  float told,tnow,distance,s;
  char ceB='y' || 'n' || 'Y' || 'N';
  int i=1,j,k,k1,k2,c,n,m;
  int pid=pid2;
  double Tsec[500];
  clrscr();
  window(5,3,70,70);textbackground(WHITE);textcolor(LIGHTRED);
  gotoxy(7,5);cprintf("Desired distance is [0.0-5.0 cm] ");
  scanf("%f",&distance);
  gotoxy(7,8);
  cprintf("DO YOU WANT TO CHANGE SOLUTION METHOD__< %s>(Y or N)?",pid);
  scanf("%s",&ceB);
  if(ceB=='n' || ceB=='N')
  {
    gotoxy(7,12);cprintf("Choose Method Control is PID");
    gotoxy(7,14);cprintf("Change constant Kp is <%4.2f>__",Kp);
    scanf("%f",&Kp);
    gotoxy(7,15);cprintf("Change constant Kd is <%6.5f>__",Kd);
    scanf("%f",&Kd);
    gotoxy(7,16);printf("Change constant Ki is <%4.2f>__",Ki);
    scanf("%f",&Ki);
    n=2;
  }
  if(ceB=='y' || ceB=='Y')
  {
    gotoxy(7,14);cprintf("1.P");
    gotoxy(7,15);cprintf("2.PID");
    gotoxy(7,16);cprintf("Choose Method Control (1-2):");
    scanf("%d",&n);
    if(n==1)
    {
      pid=pid1;
      gotoxy(7,17);cprintf("Kp=%4.2f\n",Kp);
      gotoxy(7,18);cprintf("DO YOU WANT TO CHANGE Kp(Y or N)?");
      scanf("%s",&ceB);
      if(ceB=='y' || ceB=='Y')
      gotoxy(7,19);cprintf("Change constant Kp is <%4.2f>__",Kp);
      scanf("%f",&Kp);
    }
  }
  if(n==2)
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการ scan หรือการพิมพ์ใด ๆ ก็ตาม หากต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pid=pid2;
gotoxy(7,20);cprintf("Kp=%4.2f Ki=%4.2f Kd=%4.2f\n",Kp,Ki,Kd);
gotoxy(7,21);cprintf("DO YOU WANT TO CHANGE Kp,Ki,Kd (Y or N)?");
scanf("%s",&ceB);
if(ceB=='y' || ceB=='Y')
{
gotoxy(7,22);cprintf("Change constant Kp is <%4.2f>__",Kp);
scanf("%f",&Kp);
gotoxy(7,23);cprintf("Change constant Kd is <%4.2f>__",Kd);
scanf("%f",&Kd);
gotoxy(7,24);cprintf("Change constant Ki is <%4.2f>__",Ki);
scanf("%f",&Ki);
}
}
}

```

```

gettime(&old);
told=old.ti_sec*100+old.ti_hund;
target=getdata();
s=distance-target;
DE=fabs(s);
k=0;k1=0;k2=0;
while(DE>0.186)

```

```

{
F=process(DE,n);
if(i>4) i=1;
if(s>0)
{
if(i>4) i=1;
output(i,F);
}
if(s<0)
{
if(i==1)
{
j=4;
m=j;
output(j,Fmax);
++k1;
}
if(i!=1)
{
j=m-1;
m=j;
output(j,Fmax);
++k2;
}
}
}

```

```

++i;
x[k]=target;
temp[k]=F;
target=getdata();
s=distance-target;
DE=fabs(s);

```

เอกสารนี้ได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการนำเอกสารนี้ไปดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Tsec[k]=tnow-told;
++k;
}
k=k-(k1+k2);
i=4;j=0;

```

```

F=Fmax;
while(j<k)
{
    if(i<1) i=4;
    output(i,F);
    --i;++j;
}
clrscr();
printf("                Kp=%4.2f Ki=%4.2f Kd=%6.5f distance=%4.2f cm\n"
        ,Kp,Ki,Kd,distance);
printf("                distance(cm) frequency(1/sec) time(sec/100) \n");
j=0;
for(i=0;i<k;++i)
{
    printf("%16.2f%16.2f%18.21f\n",x[i],temp[i],Tsec[i]);
    ++j;
    if(j>20)
    {
        c=getch();
        if(ESC==c)
            clrscr();
        j=0;
    }
}
}
float getdata()
{
    float temp;
    int ad;
    outp(CTRL_2,0x90); /* Set the 8255 to mode 0 with port A as */
                    /* input port and the remain as output port */
    ad=inportb(PORT_A2);
    temp=(ad*5.0)/255;
    return(temp);
}
output(int i,float F)
{
    float T;
    T=1/F*1000;
    if(T<2)
    {
        gotoxy(7,16);cprintf("Time struction flux is not enough");
        exit(1);
    }
    outp(CTRL_1 ,0x86);
    switch(i){
        case 1: outp(PORT_A1,0x33);delay(T);break;
        case 2: outp(PORT_A1,0x66);delay(T);break;
        case 3: outp(PORT_A1,0xcc);delay(T);break;
        case 4: outp(PORT_A1,0x99);delay(T);break;
    }
}
float process(float DE,int n)
{
    float A,B,C,DT=0.5,Py;
    if(n==1)
        Py=Kp*DE;
    if(n==2)
    {
        A=Kp+(Kp*Ki*DT)+(Kp*Kd/DT);
        B=Kd+(2*Kp*Kd/DT);
        C=P*Kd/DT;
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถเผยแพร่ผลงาน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Pv=P+(A*DE)-(B*DE1)+(C*DE2);  
P=Pv-(A*DE);  
DE2=DE1;  
DE1=DE;  
}  
return(fabs(Pv));  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5

Output



$$K_p = 6.289 \times 10^{-5}$$

$$= 9.434 \times 10^{-5}$$

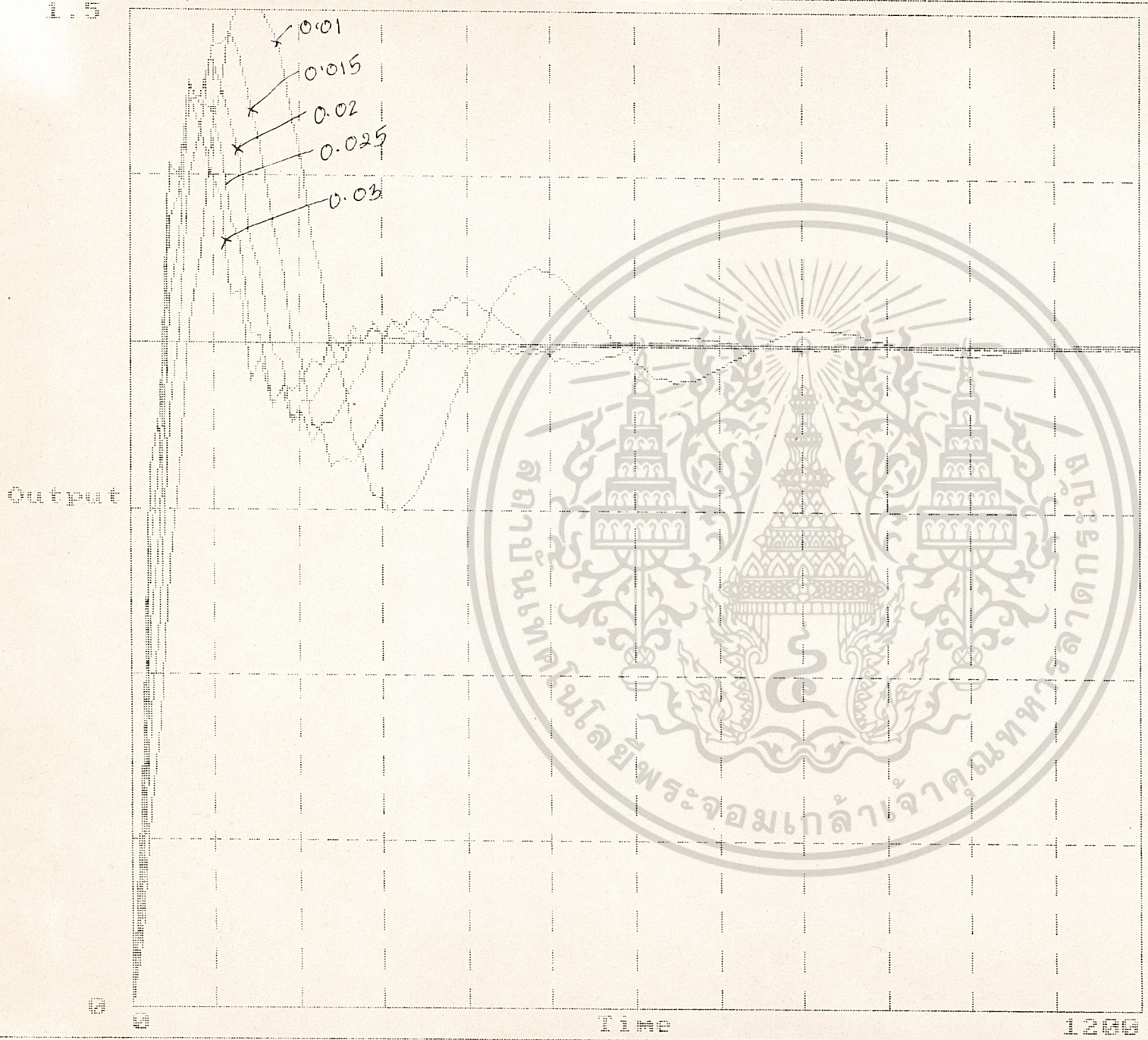
$$= 1.258 \times 10^{-4}$$

$$= 1.572 \times 10^{-4}$$

$$b = 0.01$$

$$c = 7 \times 10^{-8}$$

TIME DOMAIN
 Closed-loop
 Plant + Controller
 Step input
 Linear control



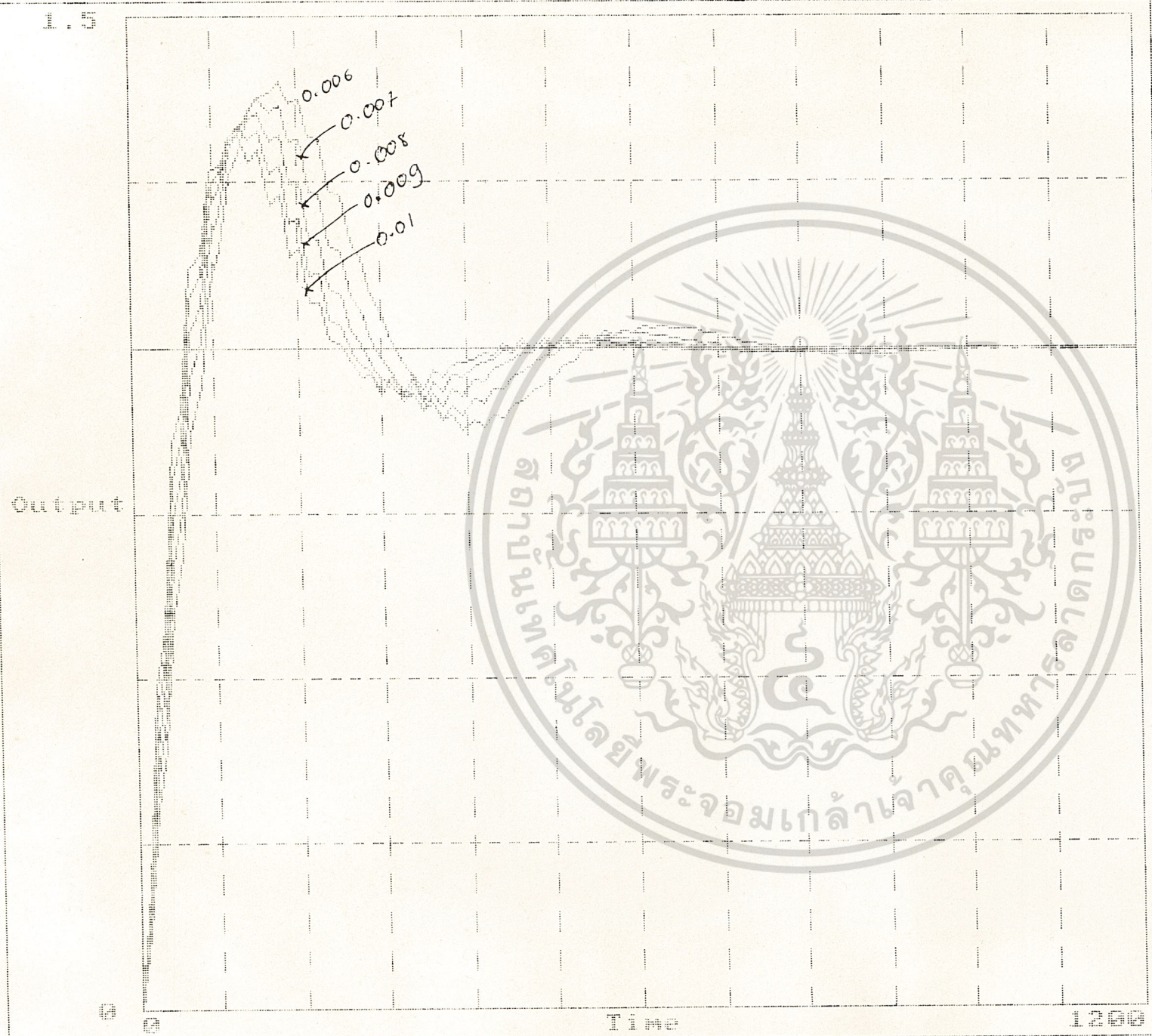
TIME DOMAIN
 Closed-loop
 Plant + Controller
 Step input
 Linear control

Transfer function: $G(s) = 0.01(1+25s)$

Controller: $G_c(s) = 0.00318$

Delay 0

Plant: $G_p(s) = \frac{1}{(s^2+0.005s+0.0025)}$

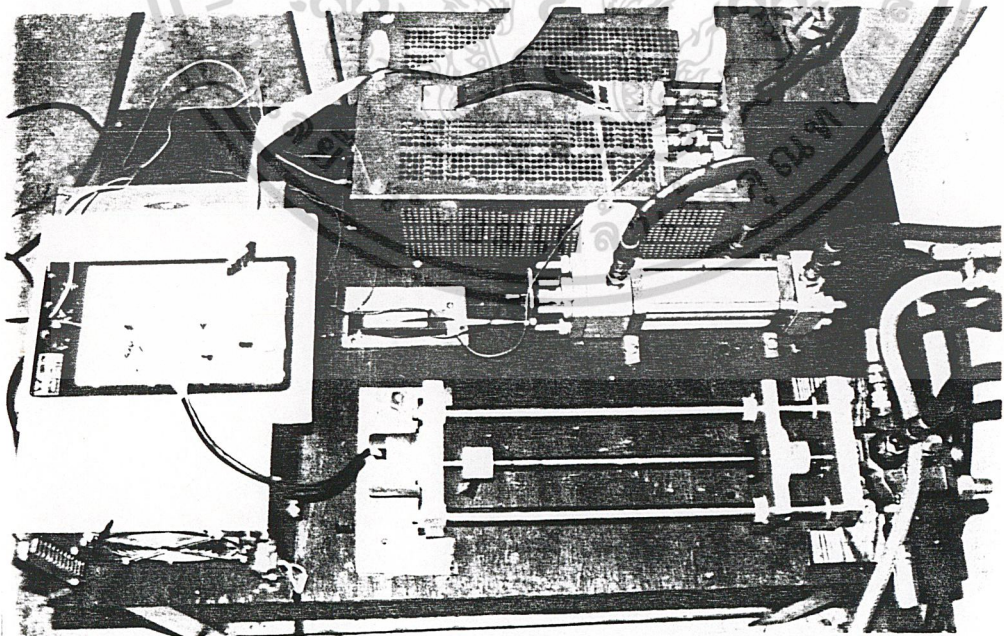
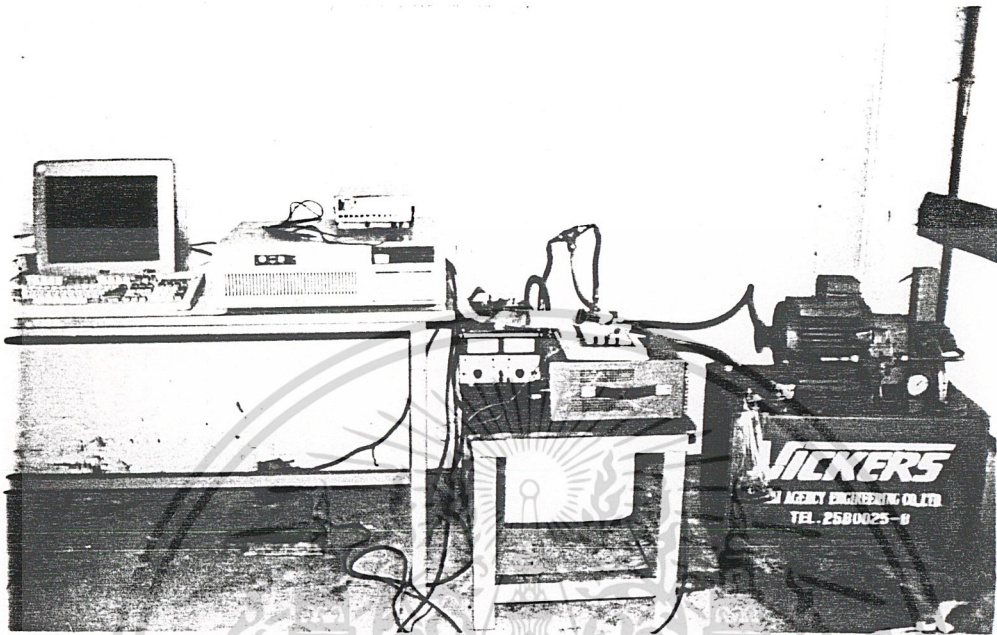


TIME DOMAIN

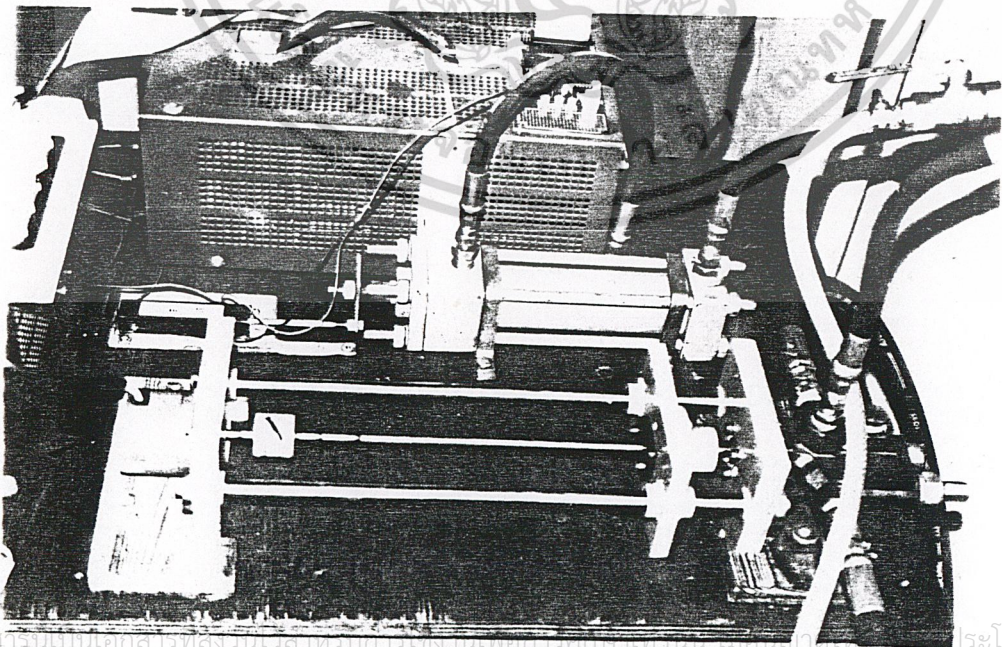
Closed-loop
 Plant + Controller
 Step input
 Linear control

$G(s) = \frac{0.00318}{(s^2 + 0.005s + 0.0625)(s^2 + 1.437s)}$

Delay 0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนสำหรับสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้
 ปรึกษาโครงการวิจัย
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
 ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0802 - ADC0804

8-Bit μ P-Compatible A/D Converters

GENERAL DESCRIPTION

The ADC0802 family are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters which use a modified potentiometric ladder, and are designed to operate with the 8080A control bus via three-state outputs. These converters appear to the processor as memory locations or I/O ports, and hence no interfacing logic is required.

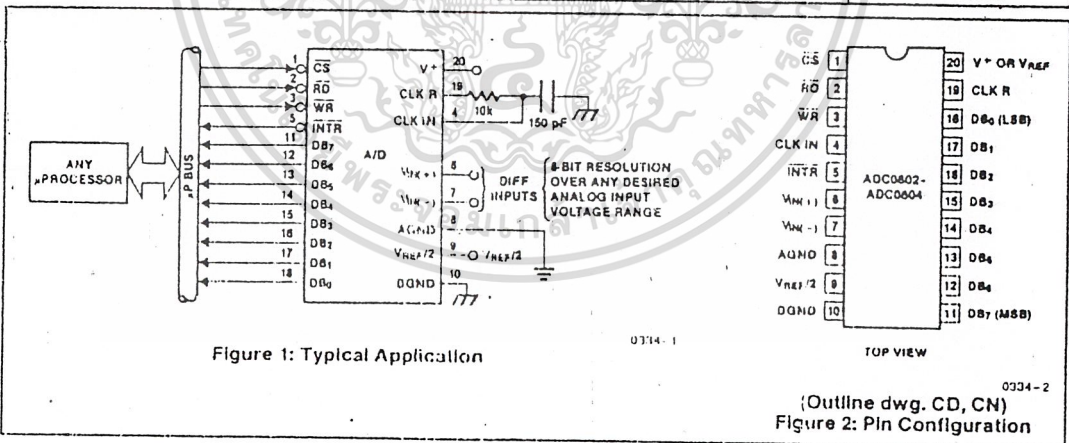
The differential analog voltage input has good common-mode-rejection, and permits offsetting the analog zero-input-voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

FEATURES

- 80C48 and 80C80/85 Bus Compatible — No Interfacing Logic Required
- Conversion Time < 100 μ s
- Easy Interface to Most Microprocessors
- Will Operate in a "Stand Alone" Mode
- Differential Analog Voltage Inputs
- Works With Bandgap Voltage References
- TTL Compatible Inputs and Outputs
- On-Chip Clock Generator
- 0V to 5V Analog Voltage Input Range (Single +5V Supply)
- No Zero-Adjust Required

ORDERING INFORMATION

Part Number	Error	External Conditions	Temperature Range	Package
ADC0802LCN ADC0802LCD ADC0802LD ADC0802LD/HR	$\pm 1/2$ bit $\pm 3/4$ bit ± 1 bit ± 1 bit	$V_{REF/2} = 2.500$ VDC (No Adjustments)	0°C to +70°C -40°C to +85°C 55°C to +125°C 55°C to +125°C	20 pin Plastic DIP 20 pin CERDIP 20 pin CERDIP 20 pin CERDIP
ADC0803LCN ADC0803LCD ADC0803LD	$\pm 1/2$ bit $\pm 3/4$ bit ± 1 bit	$V_{REF/2}$ Adjusted for Correct Full-Scale Flagging	0°C to +70°C -40°C to +85°C -55°C to +125°C	20 pin Plastic DIP 20 pin CERDIP 20 pin CERDIP
ADC0804LCN ADC0804LCD	± 1 bit ± 1 bit	$V_{REF/2} = 2.500$ VDC (No Adjustments)	0°C to +70°C -40°C to +85°C	20 pin Plastic DIP 20 pin CERDIP



HARRIS SEMICONDUCTOR'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITIONS OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

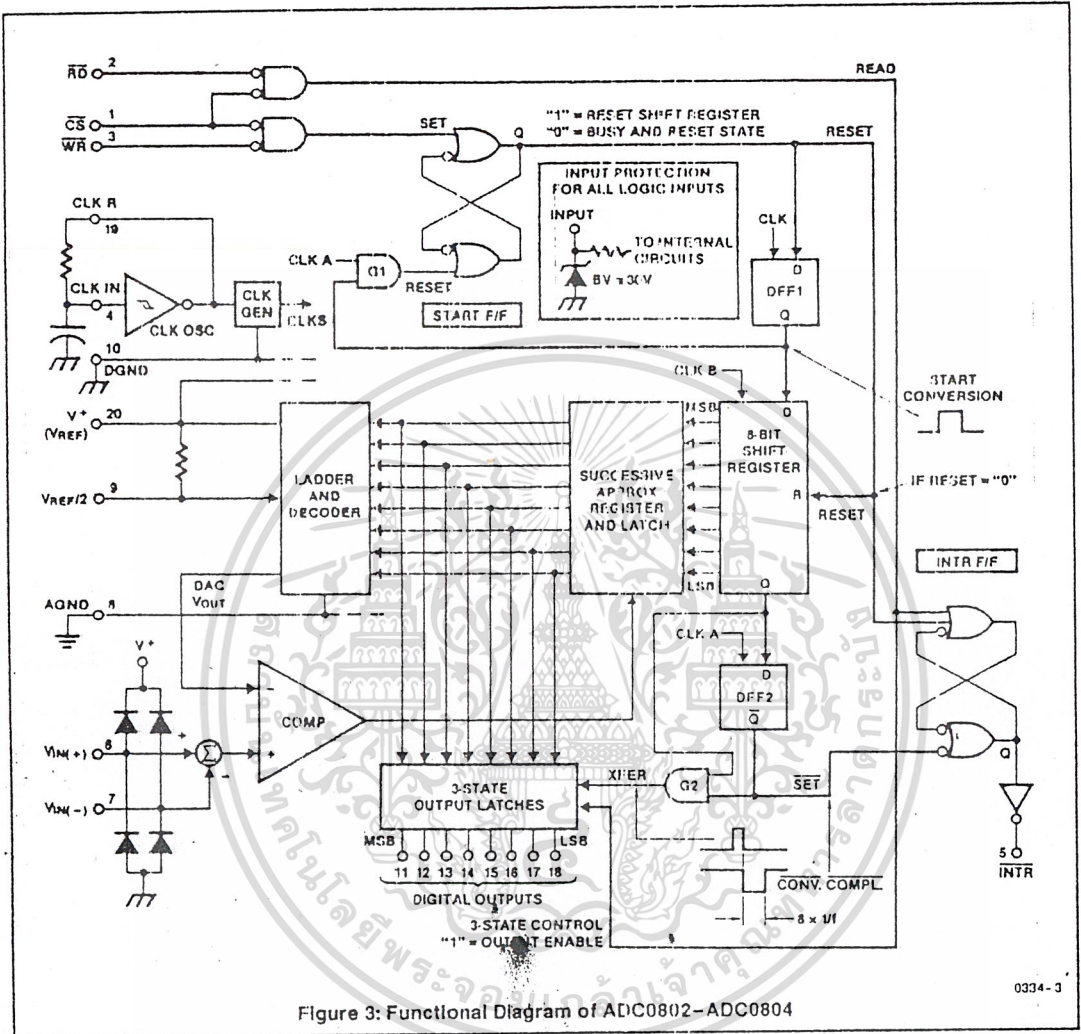


Figure 3: Functional Diagram of ADC0802-ADC0804

0334-3

ADC0802-ADC0804

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	6.5V
Voltage at Any Input	-0.3V to (V ₊ + 0.3V)
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A = +25°C	875mW
Lead Temperature (Soldering, 10sec)	300°C

OPERATING RATINGS

Temperature Range	-55°C to +125°C
ADC0802/03LD	-55°C to +125°C
ADC0802/03/04LCD	-40°C to +85°C
ADC0802/03/04LCN	0°C to +70°C
Supply Voltage Range	4.5V to 6.3V

NOTE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Notes 1 and 7)

Converter Specifications: V₊ = 5V, T_A = +25°C and f_{CLK} = 640kHz unless otherwise stated.

Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
ADC0802 Total Unadjusted Error	V _{REF/2} = 2.500V			± 1/2	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error	V _{REF/2} Adjusted for Correct Full-Scale Reading			± 1/2	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error	V _{REF/2} = 2.500V			± 1	LSB
V _{REF/2} Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3		kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND - 0.05		V ₊ + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range		± 1/16	± 1/8	LSB
Power Supply Sensitivity	V ₊ = 5V ± 10% Over Allowed Input Voltage Range		± 1/16	± 1/8	LSB

Converter Specifications: V₊ = 5V, 0°C ≤ T_A ≤ +70°C and f_{CLK} = 640 kHz unless otherwise stated.

Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
ADC0802: Total Unadjusted Error	V _{REF/2} = 2.500V			± 1/2	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error	V _{REF/2} Adjusted for Correct Full-Scale Reading			± 1/2	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error	V _{REF/2} = 2.500V			± 1	LSB
V _{REF/2} Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3		kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND - 0.05		V ₊ + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range		± 1/16	± 1/8	LSB
Power Supply Sensitivity	V ₊ = 5V ± 10% Over Allowed Input Voltage Range		± 1/16	± 1/8	LSB

ADC0802-ADC0804

ADC0802-ADC0804

Converter Specifications: $V_{DD} = 5V$, $-25^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$ and $f_{CLK} = 640\text{ kHz}$ unless otherwise stated.

Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
ADC0802: Total Unadjusted Error	$V_{REF}/2 = 2.500V$			$\pm 3/4$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full-Scale Reading			$\pm 3/4$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error	$V_{REF}/2 = 2.500V$			+ 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3		k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND - 0.05		$V^+ + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V^+ = 5V \pm 10\%$ Over Allowed Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

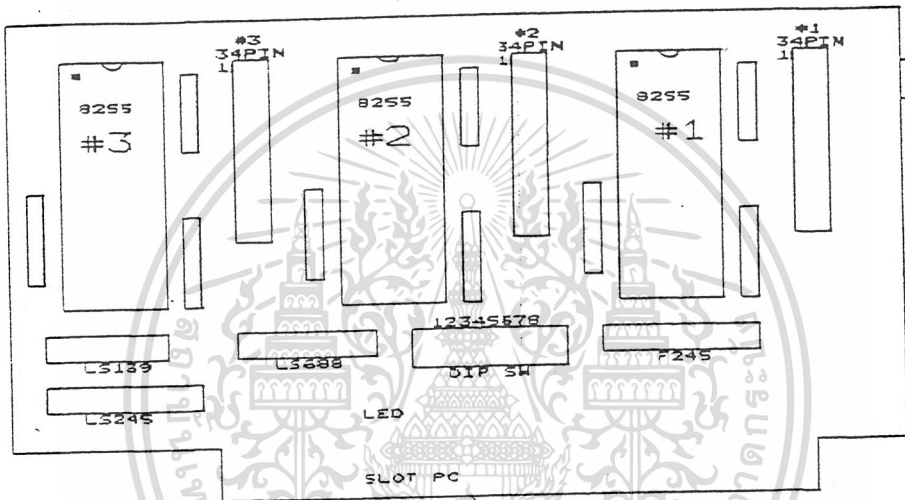
Converter Specifications: $V_{DD} = 5V$, $-55^{\circ}C \leq T_A \leq +125^{\circ}C$ and $f_{CLK} = 640\text{ kHz}$ unless otherwise stated.

Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
ADC0802: Total Unadjusted Error	$V_{REF}/2 = 2.500V$			± 1	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full-Scale Reading			+ 1	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error	$V_{REF}/2 = 2.500V$			$\pm 1 1/4$	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3		k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND - 0.05		$V^+ + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V^+ = 5V \pm 10\%$ Over Allowed Input Voltage Range		$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

ET-PC CARD SERIAL
ET-PC 8255

ลักษณะของ ET-PC 8255

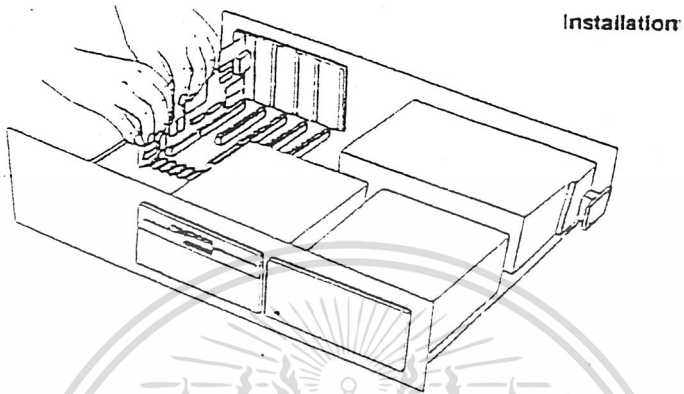


ET-PC 8255 จะเป็น CARD ต่อขยายระบบเครื่อง PC ใหม่ส่วนของ INPUT , OUTPUT PORT ใช้งานมากขึ้น โดยจะมี PORT ใช้งานเป็น INPUT หรือ OUTPUT จำนวน 9 PORT หรือ 72 BIT I/O

การติดตั้ง ET-PC 8255 กับเครื่อง PC

1. ปิด SW. POWER ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC นั้นก่อน
2. เปิดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์
3. SET DIP SW. ตำแหน่ง PORT ของ CARD ET-PC 8255 ไม่ใช่ตรงกับตำแหน่ง PORT ของ CARD อื่นๆ (ดูได้ในเรื่อง SET DIP SW. ตำแหน่ง PORT)

- นำ CARD ET-PC 8258 ใส่นำไปตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ทาง SLOT PC 62 PIN ดูการใส่ CARD ให้เรียบร้อยสนิทติดต่อกับ SLOT PC



- ย้ายที่วางสายไฟจาก 34 PIN ไปใช้งานที่ใหม่ก่อนให้ เรียบร้อยแล้วเสร็จก่อน
- เปิด SW. POWER เครื่องคอมพิวเตอร์ PC

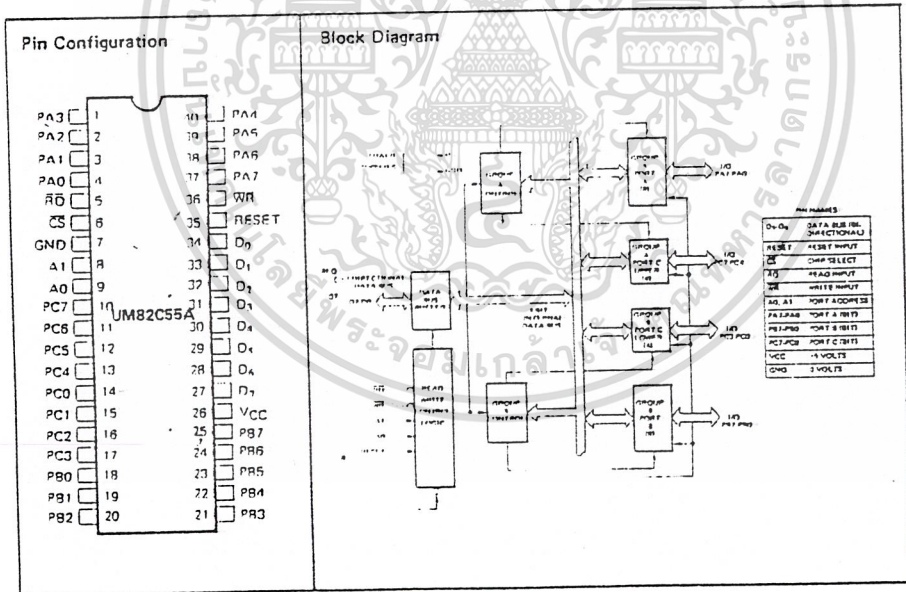


การทำงานของ ET-PC 8255

CARD ET-PC 8255 จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ก็คือ ส่วน IC 8255 ซึ่งเป็น IC ทำหน้าที่เป็น INPUT , OUTPUT PORT และส่วนของวงจร IC DECODE (เลือกตำแหน่งของ PORT 8255) คือ IC 74LS688 , 74LS139 และ DIP SW.

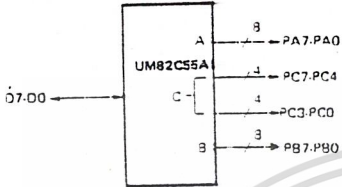
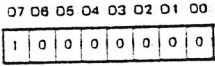
การใช้งาน IC 8255

IC 8255 นี้จะเป็น IC ซึ่งประกอบด้วย PORT ใช้งาน 3 PORT และอีก 1 PORT ควบคุมก่อนที่เราจะใช้งาน 8255 เราจะต้องส่งข้อมูลไปให้ยัง PORT ควบคุมก่อนว่าจะให้ PORT ทั้ง 3 PORT ของ 8255 ที่เหลือนั้นทำหน้าที่อะไร เป็น INPUT หรือ OUTPUT PORT เราจะต้องเป็นผู้กำหนด CONTROL CODE PORT ควบคุมดังรูป :-

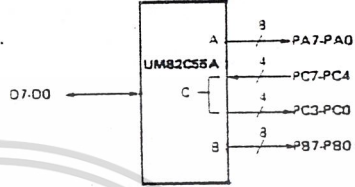
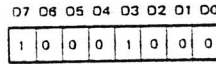


Mode 0 Configurations

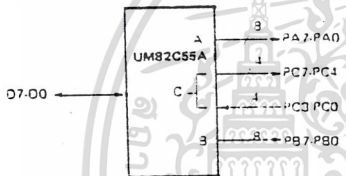
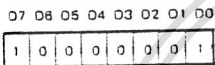
CONTROL WORD #0



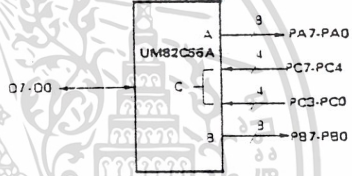
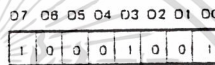
CONTROL WORD #4



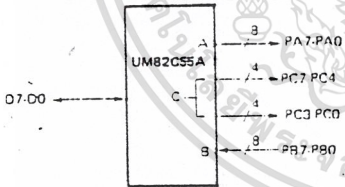
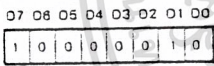
CONTROL WORD #1



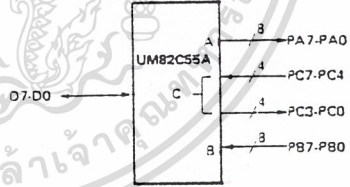
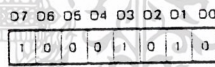
CONTROL WORD #5



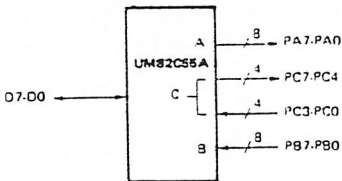
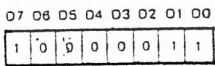
CONTROL WORD #2



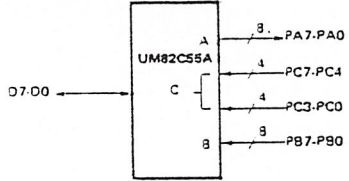
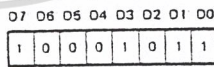
CONTROL WORD #6



CONTROL WORD #3

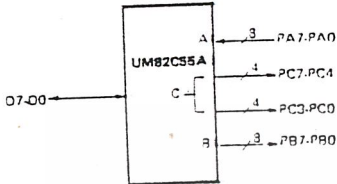
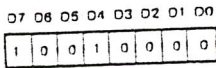


CONTROL WORD #7

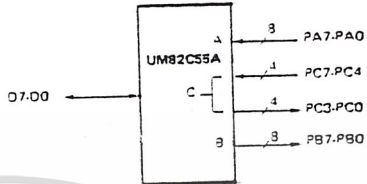
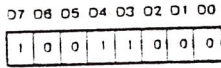


86

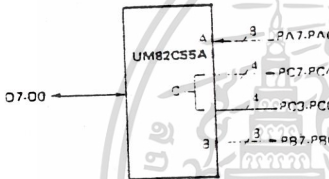
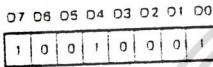
CONTROL WORD #8



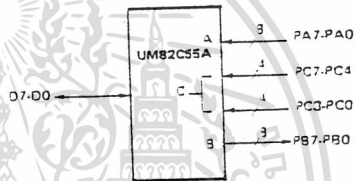
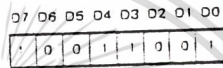
CONTROL WORD #12



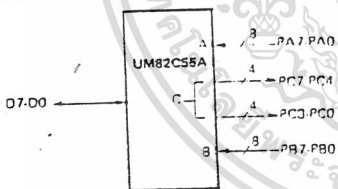
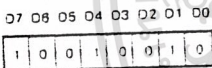
CONTROL WORD #9



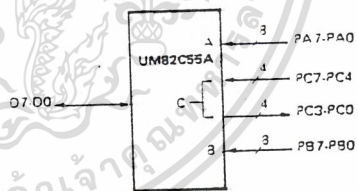
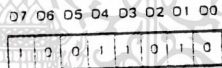
CONTROL WORD #13



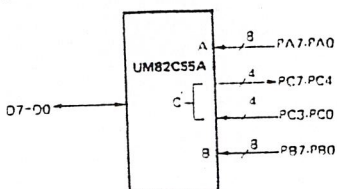
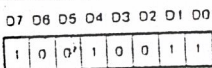
CONTROL WORD #10



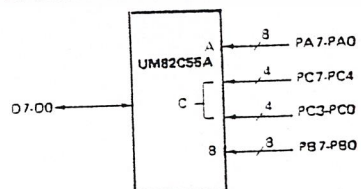
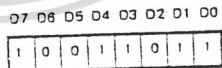
CONTROL WORD #14



CONTROL WORD #11



CONTROL WORD #15



Hex Range	Usage
000-00F	DMA Chip 8237A-5
020-021	Interrupt 8259A
040-043	Timer 8253-5
060-063	PPI 8255A-5
080-083	DMA Page Registers
0A ^X *	NMI Mask Register
0C ^X	Reserved
0E ^X	Reserved
200-20F	Game Control
210-217	Expansion Unit
220-24F	Reserved
278-27F	Reserved
2F0-2F7	Reserved
2F8-2FF	Asynchronous Communications (Secondary)
300-31F	Prototype Card
320-32F	Fixed Disk
378-37F	Printer
380-38C**	SDLC Communications
380-389**	Binary Synchronous Communications (Secondary)
3A0-3A9	Binary Synchronous Communications (Primary)
3B0-3BF	IBM Monochrome Display/Printer
3C0-3CF	Reserved
3D0-3DF	Color/Graphics
3E0-3E7	Reserved
3F0-3F7	Diskette
3F8-3FF	Asynchronous Communications (Primary)

* At power-on time, the Non Mask Interrupt into the 8088 is masked off. This mask bit can be set and reset through system software as follows:
Set mask: Write hex 80 to I/O Address hex A0 (enable NMI)
Clear mask: Write hex 00 to I/O Address hex A0 (disable NMI)

** SDLC Communications and Secondary Binary Synchronous Communications cannot be used together because their hex addresses overlap.

I/O Address Map

การ DECODE PORT

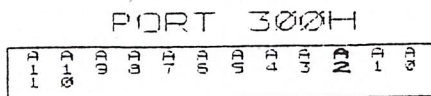
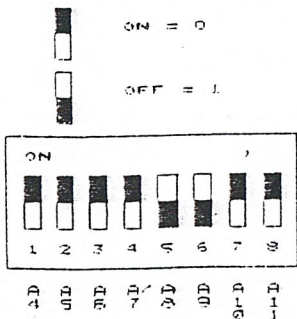
DECODE PORT 8255 บน CARD เราจะใช้ IC TTL 74LS688 , IC TTL 74LS139 และ DIP SW. 8 PIN เป็นวงจร DECODE เพื่อให้สามารถปรับ SET DIP SW. ตั้งตำแหน่งพอร์ต PORT ของ CARD ได้ โดยในการปรับ DIP SW. นั้นจะต้องไม่ไปตรงกับตำแหน่ง PORT ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ด้วย ดังรูป :-

โดย CARD ET-PC 8255 จะใช้ตำแหน่ง PORT 12 PORT ต่อ CARD

XX0H	PORT A (1)
XX1H	PORT B (1)
XX2H	PORT C (1)
XX3H	PORT CONTROL (1)
XX4H	PORT A (2)
XX5H	PORT B (2)
XX6H	PORT C (2)
XX7H	PORT CONTROL (2)
XX8H	PORT A (3)
XX9H	PORT B (3)
XXAH	PORT C (3)
XXBH	PORT CONTROL (3)

เราตั้งเบอร์ DECODE PORT ได้โดยการปรับ DIP SW. ซึ่งก็มาเท่ากับค่า ADDRESS นั้นๆ เช่น เราตั้งตำแหน่ง 300H จะ SET DIP SW. ดังนี้ :-

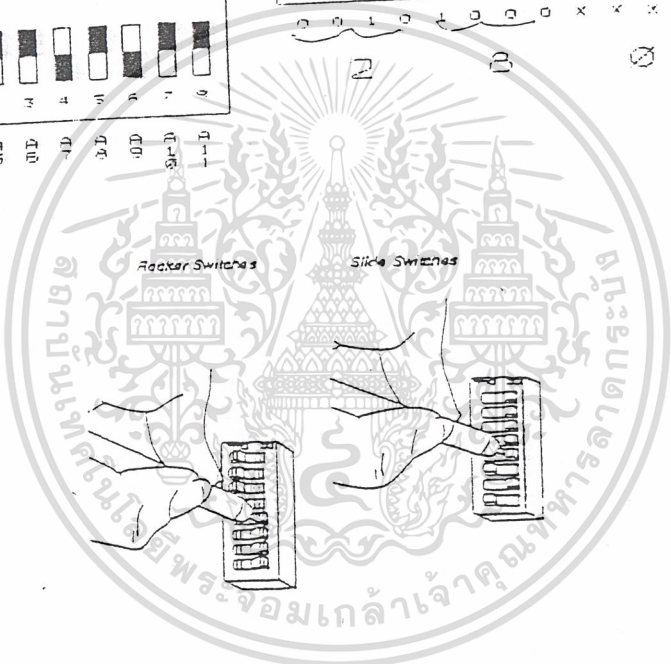
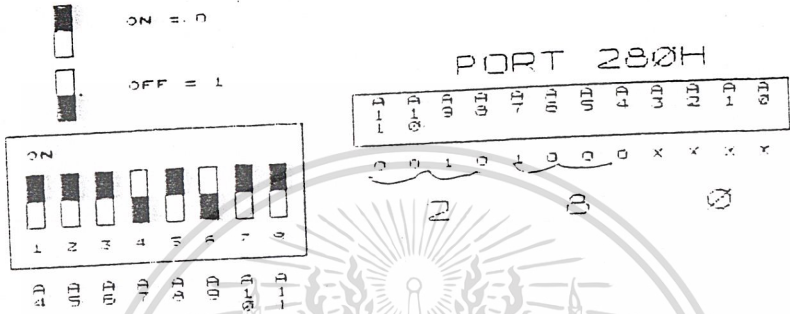
SET DIPSW #PORT



Handwritten binary code: 0 1 0 1, 1 0 1 0, 0 1 0 1, 0 0 1 1 0 0 1 1 33H

ถ้าต้องการตั้งตำแหน่ง 280H จะ SET DIP SW. ดังนี้ :-

SET DIPSW #PORT



กิติกรรมประกาศ

- ขอขอบพระคุณ ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ให้คำปรึกษาอันมีค่ามาตลอด
- ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษารุ่นที่ 29 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่คอยเป็นกำลังใจให้กันและกันเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. "AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS", BENJAMIN C. KUO , 1987
2. "PROCESS CONTROL INSTRUMENTATION TECHNOLOGY", WILLEY BOOK COPANY 573 P. , 1988
3. "พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม ในกระบวนการอุตสาหกรรม", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , 2536



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้