



028807

13.๕๓.๕๖๖๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนโดยใช้คอมพิวเตอร์


ผู้จัดทำ

1. นายนิสุทธิ์ วงศ์สนธิ 30.1194

2. นายนิเชษฐ เขียวระนะกุล 30.1196




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(พศ. โทมัส โกรกฤษ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. กิตติชัย พาณิชปรมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 028807

การควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนโดยไมโครคอมพิวเตอร์
(COMPUTER-BASED MAGNETRON POWER CONTROL)

พิสุทธิ์ วงศ์สนิท 30.1194

พิเศษฐ เต็มชานะกุล 30.1196

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. โมนอ โกรฤกษ์

อ. กิตติชัย พานิชปฐมพงศ์

ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการนำไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) มาประยุกต์ใช้ ในการควบคุมกำลังงานเอาต์พุทของหลอดแมกนีตรอน (output power of magnetron) โดยใช้หลอดแมกนีตรอนเปลี่ยคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ให้ความร้อนกับสารละลายทดสอบ โดยมีเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับความร้อน (sensor) ซึ่งจะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่แปรตามค่าอุณหภูมิไปที่คอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ทางจอของไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะควบคุมอุณหภูมิให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยการคำนวณหาค่าผิดพลาด และการสั่งงานแก้ไขไปยังวงจรภายนอก ให้ปรับกำลังงานเพิ่มขึ้น หรือลดลง ตามที่ต้องการ และจะทำงานซ้ำเป็นวงรอบ (closed loop) เช่นนี้จนสิ้นสุดเวลาควบคุมที่ตั้งไว้ โดยมีจุดประสงค์ที่จะนำผลการทดลองที่ได้จากโครงการนี้ นำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการแพทย์ได้ในอนาคต คือนำไปพัฒนา เป็นเครื่องรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (hyperthermia)

Computer-Based Magnetron Power Control

Pisut vongsanit 30.1194

Bhichate chiewthanakhul 30.1196

Advisor:

Assistant Professor Monai Krairiksh

Mr. Kittichai Panichpathompong

1990

Abstract

This paper presents the application of microcomputer for controlling output power of magnetron. The tested solution, which simulated the heating material, is heated by microwave power and its temperature is sensed by a thermocouple. The thermocouple is interfaced with a microcomputer in order to control and display temperature. The application of interest is to develop a hyperthermia system.

.....

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ	3
2.2 หลอดแมกนีตรอน	3
2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล	8
2.4 ระบบควบคุม	16
2.5 การคำนวณสมการ PID ในระบบดิจิทัล (PID Digital Control)	22
2.6 การประมาณค่าตามวิธีของซีเกลอร์และนิโคลส์ (Ziegler-Nichols)	24
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	26
3.1 การออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล	26
3.2 การออกแบบการ์ดสำหรับการอินเตอร์เฟซ (Interface card)	31
3.3 ซอฟต์แวร์ (Software)	38
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
4.1 การทดลอง	48
4.2 การหาค่าพารามิเตอร์จากผลการทดลอง	55
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	56
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม ระบบการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน ด้วยคอมพิวเตอร์	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างและลักษณะการทำงานของหลอดแมกนีตรอนที่ใช้	5
รูปที่ 2.3 ซีเบค เอฟเฟคท์	9
รูปที่ 2.4 กฎของวงจรรเอกพันซ์	10
รูปที่ 2.5 กฎของโหลหะมีธฮันต์	11
รูปที่ 2.6 กฎของอุนทุมมิมีธฮันต์	11
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	12
รูปที่ 2.8 สายเอ็กซ์เทนชัน	14
รูปที่ 2.9 การวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล โดยใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุด ต่อมาตรฐาน	15
รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมแบบเปิด	16
รูปที่ 2.11 ระบบควบคุมแบบปิดหรือแบบป้อนกลับ	17
รูปที่ 2.12 ก) การควบคุมสองตำแหน่ง ข) แสดงการเกิดช่วงคิฟเฟอเรลเซียล	18
รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน	19
รูปที่ 2.14 แสดงการควบคุมตามสมการอินทิกรัล	20
รูปที่ 2.15 การควบคุมตามสมการอัตราการเปลี่ยนแปลง	21
รูปที่ 2.16 ก) แสดงการประมาณค่าอินทิกรัลเทอมของค่าผิดพลาด ข) แสดงการประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด	24
รูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบที่ใช้การประมาณค่าตามสมการ ซีเกลอร์-นิโคลส์	25
รูปที่ 2.18 ผลตอบสนองขณะไม่มีการควบคุม	25
รูปที่ 3.1 การออกแบบและสร้างวงจรรวจวัดอุณหภูมิ	26
รูปที่ 3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	27
รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณที่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้อง	28
รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิลที่ให้แรงดันเอาต์พุต 0-990 มิลลิโวลต์ ตลอดช่วง 0-99 องศาเซลเซียส	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่โรงเรียนนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5	วงจรขยายสัญญาณคิฟเฟอเรล เช็ลแบบอิมพีแดนซ์สูง	30
รูปที่ 3.6	แสดงบัสไซเคิลการอ่านข้อมูลของอินพุทและเอาต์พุทพอร์ท	31
รูปที่ 3.7	แสดงบัสไซเคิลการเขียนข้อมูลของอินพุทและเอาต์พุทพอร์ท	33
รูปที่ 3.8	แสดงการจัดหาสัญญาณบนสล็อตของคอมพิวเตอร์	34
รูปที่ 3.9	แสดงบล็อกไดอะแกรมของ ADC 0808	35
รูปที่ 3.10	แสดงลักษณะสัญญาณต่างๆ ของADC 0808	35
รูปที่ 3.11	แสดงการทำงานของฟิลิปส์ออบ-ดี	36
รูปที่ 3.12	แสดงวงจรดีค็ัดเตอร์ และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	37
รูปที่ 3.13	แสดงบัสทรานซ์ฟเวอร์ ชิพรีจิสเตอร์และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	37
รูปที่ 3.14	แสดงรูปโพล์วชาร์ตที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	39-41
รูปที่ 4.1	แสดงการทดลองการทำงานของระบบการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน	53
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา และวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ ก) อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ ข) อ่านค่าจากจอแสดงผลที่คอมพิวเตอร์	54

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหลอดแมกนีตรอน	7
ตารางที่ 2.2 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID ตามวิธี ซีเกลอร์-นิโคลส์	25
ตารางที่ 3.1 แสดงการดีไดค ของไอ.ซี.74LS138	31
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างเวลาที่ขุดหลุมิของระบบขณะไม่มีกร ควบคุม	49-51



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน เราจะพบว่าได้มีการนำคลื่นไมโครเวฟ(microwave) มาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ดังเช่น ในการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave communication) หรือในงานอุตสาหกรรมการให้ความร้อน (microwave heating) นอกจากนี้ยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในครัวเรือน อันได้แก่ เตาอบไมโครเวฟ(microwave oven) หรือที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างอื่นก็คือการนำคลื่นไมโครเวฟ มาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น เครื่องมือผ่าตัดรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ในการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้งานนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ก็คือการเลือกความถี่ และกำลังงานให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยทั่วไปในการให้ความร้อน จะนิยมใช้ที่ความถี่ประมาณ 2450 เมกะเฮิรตซ์(megahertz) ส่วนกำลังงานที่ใช้กันนั้น จะอยู่ในช่วง 100-2500 วัตต์(watt)

เนื่องจากโครงการนี้ ต้องการที่จะศึกษาถึงการใช้คลื่นไมโครเวฟ ในทางการแพทย์ ดังนั้น การควบคุมกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ จึงต้องมีความถูกต้องแน่นอนค่อนข้างสูง และมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุด จึงควรเป็น ระบบควบคุมดิจิทัลคอมพิวเตอร์(digital computer control system) ทั้งนี้เพราะคอมพิวเตอร์มีความเร็วในการทำงาน และมีความสามารถในการคำนวณสูง ทำให้สามารถควบคุมระบบได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

สำหรับโครงการนี้ ใช้หลอดแมกนีตรอนที่นำมาจากเตาอบไมโครเวฟ มาให้ความร้อนแก่สารละลายทดสอบ แล้วแสดงผลอุณหภูมิ และควบคุมกำลังงานที่จ่ายแก่ระบบ (เท่ากับเป็นการควบคุมอุณหภูมิด้วย) เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ด้วยการใช่วิธีการอินเทอร์เฟส(interfacing) ระหว่าง ตัวปรับกำลังงาน (power controller) กับ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อไป

ในปฏิทินฉบับนี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นบทต่างๆ ดังนี้คือ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการของระบบ ได้แก่ หลอดแมกนีตรอน เทอร์โมคัปเปิล การควบคุมแบบ PID(pid control)ในบทที่ 3 จะอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบ และการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล, วงจรแปลงสัญญาณ ดิจิตอลเป็นอนาลอกและจากอนาลอกเป็นดิจิทัล (digital-to-analog and analog-to-digital converter) ซึ่งวงจรทั้งสองส่วนนี้จะรวมอยู่บนอินเตอร์เฟสการ์ด(interface card or

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

prototype card) วงจรจ่ายกระแสไฟตรง ที่ทำหน้าที่ ปรับค่าสนามแม่เหล็กให้แก่
หลอดแมกนีตรอน ในบทที่ 4 เป็นการทดลองและผลการทดลองของโครงการนี้ และ
ในบทสุดท้าย คือในบทที่ 5 จะเป็นการสรุป และวิจารณ์ของโครงการทั้งหมด



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ(system block diagram)

โครงสร้างระบบ ของโครงการนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูป 2.1 ซึ่งจากรูป จะอธิบายการทำงานของระบบได้ดังนี้

ขณะที่เราให้ความร้อนแก่สารละลายทดสอบ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เทอร์โมคัปเปิลซึ่งเป็นตัวตรวจจับความร้อน จะสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งแปรตามค่าอุณหภูมิขึ้น จากนั้นสัญญาณที่แปรตามอุณหภูมินี้ จะถูกส่งเข้าสู่วงจรขยายเพื่อขยายสัญญาณที่ได้ ให้มีระดับเหมาะสมที่จะป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล แล้วจึงผ่านส่วนอินเตอร์เฟซส่งค่าให้คอมพิวเตอร์ ด้วยวิธีนี้คอมพิวเตอร์ก็จะทราบค่าอุณหภูมิ ของสารละลายทดสอบได้ และจะแสดงผลค่าอุณหภูมิที่วัดได้ออกทางจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิที่วัดได้ กับค่าอุณหภูมิที่ต้องการที่ได้ตั้ง(set) เอาไว้ ว่ามีค่าผิดพลาด(error)หรือไม่ ถ้ามีจะทำการคำนวณ และส่งสัญญาณไปแก้ค่าผิดพลาดนั้น โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก เพื่อไปยังส่วนวงจรปรับค่ากำลังงาน (วงจรในส่วนนี้เรียกว่าแอกชูเอเตอร์(actuator))ที่จะจ่ายให้แก่หลอดแมกนีตรอน ตามที่คอมพิวเตอร์ต้องการ

ระบบทั้งหมดจะทำตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น เป็นวงรอบหลายรอบ จนครบเวลาสิ้นสุดการควบคุม

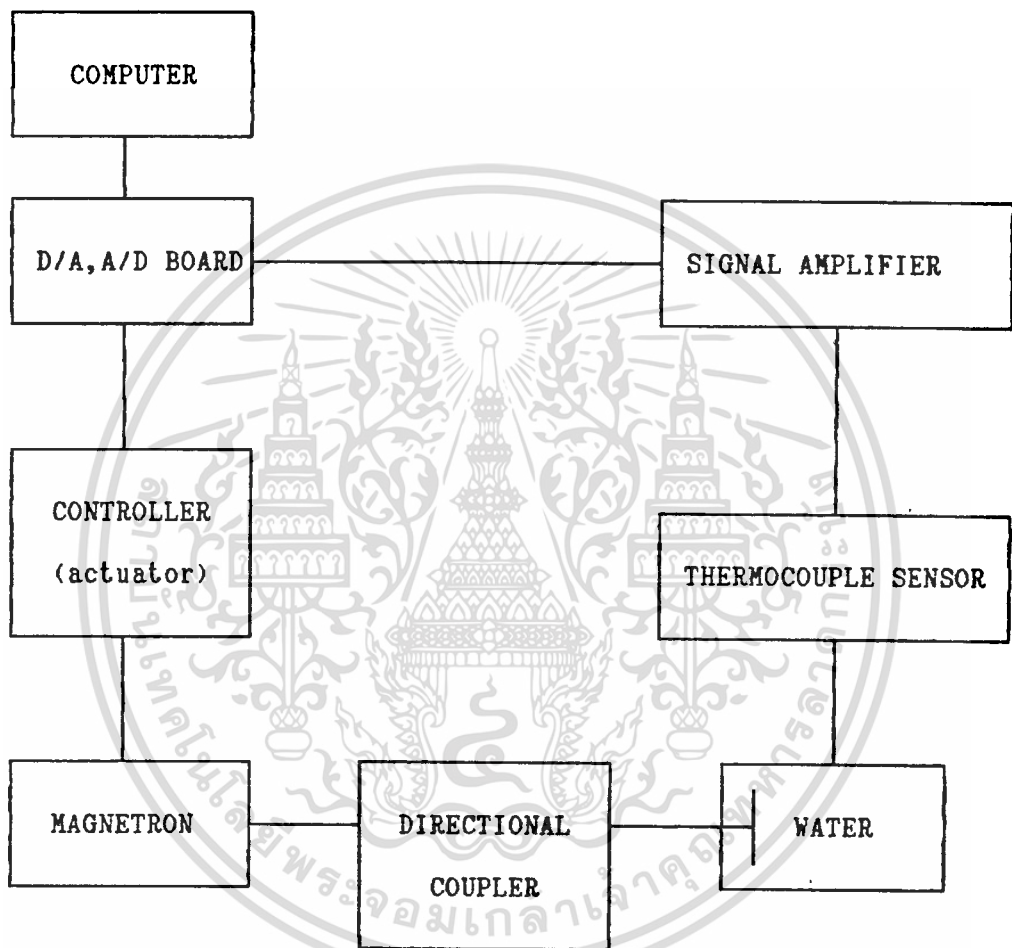
2.2 หลอดแมกนีตรอน

หลอดแมกนีตรอนเป็นหลอดสุญญากาศชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยส่วนแอโนด(anode) และคาโทด(cathode) แอโนดเป็นบล็อก(block)ทองแดงทรงกระบอก ซึ่งภายในบรรจุรีโซแนนท์ควิตี้(resonant cavity) จำนวนหนึ่ง ส่วนคาโทดอยู่ตรงกลางของหลอด

สำหรับหลอดแมกนีตรอนที่นำมาใช้ในโครงการนี้ มีลักษณะ และคุณสมบัติโดยสังเขปดังต่อไปนี้

- 1) เป็นหลอดแบบเดียวกับที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ
- 2) ให้ความถี่ไมโครเวฟเอาต์พุต(RF output) ได้สูงที่สุดถึง 500 วัตต์
- 3) ความถี่ในการออกสเปกตรัมคลื่นไมโครเวฟออกมา อยู่ในช่วงประมาณ 2450 เมกะเฮิรตซ์
- 4) สามารถปรับค่ากำลังงานเอาต์พุตได้ โดยการปรับค่าสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบการควบคุมกำลังงานของแมกนีตรอนด้วยคอมพิวเตอร์

(Blockdiagram of Computer-based Magnetron Power Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

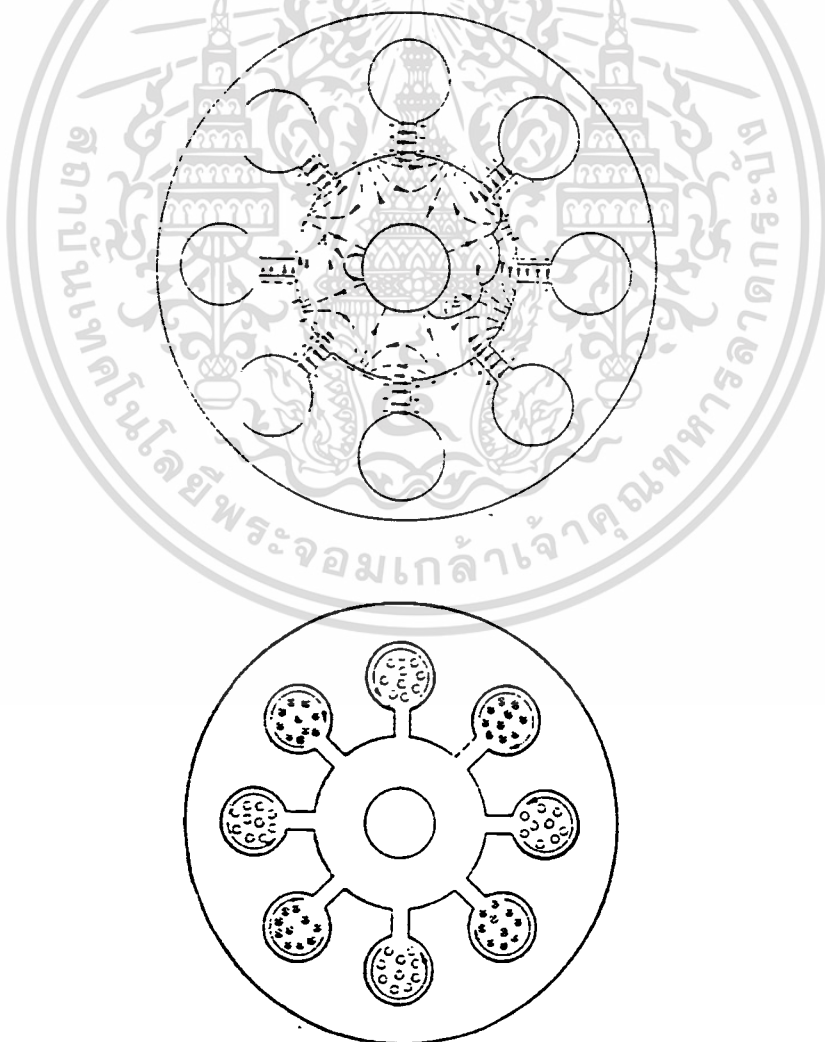
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการทำงานของหลอดแมกนีตรอน

การทำให้หลอดแมกนีตรอนทำงานได้นั้น จะต้องมีอินพุต(input)ป้อนให้หลอดแมกนีตรอน

ก) ป้อนอินพุตความต่างศักย์สูง ขนาดประมาณ 4400 โวลต์เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่าง คาโทดและคาโนดโดยจัดให้ คาโนดเป็นขั้วลบ ส่วนคาโนดต่อลงกราวด์ (ground)

ข) ป้อนอินพุตสนามแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กในแนวแกนที่ขนานกับแกนของคาโนดและคาโทด เดิมหลอดแมกนีตรอนทั่วไป จะใช้แท่งแม่เหล็กถาวรซึ่งติดมาจากโรงงานของผู้ผลิต แต่เนื่องจากในโครงการงานนี้ต้องการจะปรับค่าสนามแม่เหล็กด้วย ดังนั้นเราจึงใช้ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าช่วยดังแสดง ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างและลักษณะการทำงานของหลอดแมกนีตรอนที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากว่า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ถูกจัดให้มีทิศทางตั้งฉากกัน ขณะที่หลอดทำงาน อิเล็กตรอน (electron) ซึ่งถูกกระตุ้นจากคาโทดด้วยฮีทเตอร์ (heater) จะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งไปตามแนวแรงลัพท์ของสนามทั้งสอง ซึ่งเงื่อนไขการทำงานของหลอดแมกนีตรอน จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ค่าจำกัดความที่สำคัญ ก็คือค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต และค่าสนามแม่เหล็กวิกฤต โดยจะนิยามค่าทั้งสองได้ดังนี้

1) ถ้าป้อนสนามไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง ให้กับหลอดแมกนีตรอน ถ้าขณะนั้นสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยๆ อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทดทั้งหมด จะเดินทางไปยังแอโนด ดังนั้นกระแสแอโนดจะมีค่าคงที่ ต่อไปถ้าเราเพิ่มค่าสนามแม่เหล็กขึ้น กระแสแอโนดจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่า สนามแม่เหล็กค่าหนึ่ง กระแสแอโนดจะเป็นศูนย์ เราเรียกค่าสนามแม่เหล็กนี้ว่า "ค่าสนามแม่เหล็กวิกฤต"

2) ถ้าเราจัดให้สนามแม่เหล็กคงที่ ให้กับหลอดแมกนีตรอน ที่ค่าสนามไฟฟ้าน้อยๆ อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทด จะวิ่งวกกลับไปที่คาโทดหมด และเมื่อเพิ่มค่าสนามไฟฟ้าไปจนมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต (V_c) อิเล็กตรอน จะเดินทางไปยังแอโนด พอดีและเกิดกระแสแอโนดขึ้น

ในทางปฏิบัติ ที่จะให้หลอดแมกนีตรอนทำงานได้นั้น เรามักป้อนสนามไฟฟ้าค่ามากกว่าค่าวิกฤต และให้สนามแม่เหล็กสูงกว่าค่าวิกฤต ตามเงื่อนไข อิเล็กตรอนจะเดินทางรอบบริเวณช่องว่างระหว่างแอโนดกับคาโทด ซึ่งเรียกว่า อินเตอร์แอคชั่นสเปซ (interaction space) ส่วนที่มีความสำคัญมากก็คือ เวย์นเน็ทคาวิตี (cavity resonator) ที่อยู่ในลอคของแอโนด เป็นส่วนที่มีการสั่น (oscillation) เกิดขึ้นต่อเนื่อง ภายในอินเตอร์แอคชั่นสเปซ จะมีความถี่หลายความถี่เกิดขึ้น แต่จะมีความถี่เดียวที่เป็นความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) ที่ความถี่นี้ อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้ากระแสตรง (DC field) ที่เกิดระหว่างขั้วแอโนดกับคาโทด จะนำเอาพลังงานนั้นมาถ่ายทอดให้แก่ สนามไฟฟ้ากระแสสลับ (AC field) ที่เกิดจากการอออสซิลเลท จากนั้นเราจึงนำ (coupling) ความถี่และกำลังงานนี้ไปใช้งาน

2.2.2 สมการแสดงปรากฏการณ์ของหลอดแมกนีตรอนที่สำคัญ

ในที่นี้จะได้กล่าวเฉพาะ บางสมการที่เกี่ยวข้อง กับโครงงานนี้เท่านั้น

สมการอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ตลอดจนรายละเอียดที่มาการพิสูจน์แต่ละสมการ นั้นจะหาเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดิมได้จาก เอกสารอ้างอิงในภาคผนวก [10]

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหลอดแมกนีตรอน

ความสัมพันธ์	สมการ
ค่าศักดาวิกฤต	$V_c = (eB^2 / 8m) [(r_m^2 - r_c^2) / r_m]^2$ (2.2.2.1)
สนามแม่เหล็กวิกฤต	$B_c = 2 * (2m/e)^{1/2} ((r_m)^{1/2} / (r_m^2 - r_c^2)) (1 - r_c^2 / r_m^2)^{-1}$ (2.2.2.2)
	เมื่อ $B^2 / V_c = (8m/e) (r_m / (r_m^2 - r_c^2))^2$ (2.2.2.3)
ค่าสนามแม่เหล็กค่าสุด ที่ทำให้ฮออสซิลิก	$\lambda B_{m, \text{min}} = 2568 [(N+4) / N]^2 [1 - (1 - (16N / (N+4))^2)]^{1/2}$ (2.2.2.4)
ประสิทธิภาพของ อิเล็กตรอน	$\eta_e = 1 - (V_m * 2m) / (B^2 * e * d^2)$ $= 1 - (V_m / V_c) * (B_c / B)^2$ (2.2.2.5)

เมื่อ V_m = แรงดันที่เอาโนด (โวลต์)

r_m, r_c = รัศมีเอาโนดกับคาโทด ตามลำดับ

e = ค่าประจุของอิเล็กตรอน

N = จำนวนเนโชนเคอร์

m = มวลของอิเล็กตรอน

เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จะแปรตามค่ากระแสไฟตรง(Direct Current) ที่ป้อนให้ ดังนั้น เราก็สามารถเปลี่ยนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้ โดยการเปลี่ยนค่ากระแสไฟที่จ่ายให้ขดลวดโซลินอยด์

จากคุณสมบัติของหลอดแมกนีตรอนซึ่ง จะให้กำลังงานเอาต์พุต แปรตามค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ที่ป้อนให้ ดังนั้นการเพิ่มหรือลดค่าสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก ก็เท่ากับว่าเป็นการทำให้กำลังงานเอาต์พุตที่ออกมาจากหลอดแมกนีตรอน เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วยเช่นกัน

2.2.3 การควบคุมกำลังงานเอาต์พุตของหลอดแมกนีตรอน

2.2.3.1 การปรับค่าสนามไฟฟ้า

ค่าสนามไฟฟ้าระหว่างแอนโอดกับคาโทด จะแปรตามค่าแรงดันไฟกระแสสลับ(Alternate Current) ที่ป้อนเข้าไป เช่น หลอดชนิดนี้ที่ใช้ในเตาอบ ซึ่งใช้ไฟ 220 โวลต์ ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจะสูงมากให้กำลังงานได้สูงถึงประมาณ 500 วัตต์ แต่เนื่องจากว่าในโครงการนี้ เราต้องการนำไปใช้ในงานด้านการแพทย์ ซึ่งไม่ต้องการกำลังงาน(Power)สูงมากนัก ดังนั้นเราจึงใช้ หม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer) มาปรับค่าแรงดันอินพุต เพื่อให้ได้เอาต์พุตในช่วงที่ต้องการ ประมาณ 100 วัตต์หรือน้อยกว่า

2.2.3.2 การปรับค่าสนามแม่เหล็ก

การที่เราลดค่าสนามไฟฟ้าดังที่กล่าวแล้วเพียงอย่างเดียวนั้น ยังไม่สามารถนำเครื่อง นี้ไปใช้งานได้ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานจริงนั้น ต้องการควบคุมกำลังงานเอาต์พุตให้คงที่ ทั้งนี้เนื่องจากต้องการรักษาอุณหภูมิให้คงที่นั่นเอง ดังนั้นในที่นี้ เราจะใช้การควบคุม โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็ก เพื่อปรับระบบให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจริงๆ การปรับก็สามารถทำได้ โดยการเพิ่มหรือการลดค่ากระแส ที่จ่ายให้ขดลวดโซลินอยด์ ซึ่งเป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็ก ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มได้ (ความเข้มของสนามแม่เหล็กแปรผันตามค่ากระแสที่จ่าย)

2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล

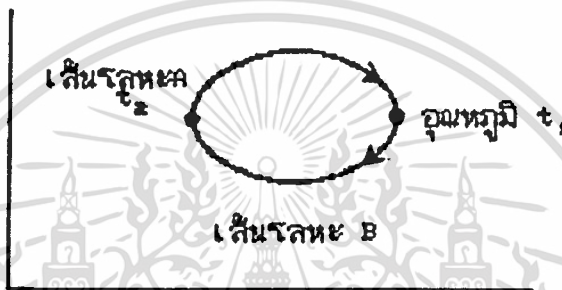
เทอร์โมคัปเปิล เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้มากที่สุด ในวงการอุตสาหกรรม เทอร์โมคัปเปิลซึ่งเป็นส่วนวัดอุณหภูมินั้นถูกคิดค้น โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ ที.เจ. ซีเบค (T.J. Seebeck) ดังนั้นปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล จึง



เรียกว่า ซีเบค เอฟเฟกต์ (Seebeck effect)

2.3.1 ซีเบคเอฟเฟกต์

ซีเบคเอฟเฟกต์ มีหลักการคือ ถ้านำโลหะสองชนิด มาประกอบกันเป็นวงจรปิด (เทอร์โมคัปเปิ้ล) และถ้าทำให้อุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสองต่างกันจะเกิด เทอร์มอล อิเล็กโตรโมทีฟ ฟอर्स (Thermal Electromotive Force) ซึ่งทำให้มีกระแสไหล ในวงจรเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิต่างที่เกิดขึ้นดังรูป 2.3



รูป 2.3 ซีเบค เอฟเฟกต์

อุณหภูมิจุดสัมผัสของโลหะ A, B เป็น t_1 และ t_2 โดย $t_1 < t_2$ ถ้ากระแสไหล จาก A ไป B ตามลูกศรในรูป กล่าวได้ว่าตัวนำ A เมื่อเทียบกับ B แล้วเป็นบวก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การจับคู่กันของโลหะทั้งสอง และอุณหภูมิต่าง ที่จุดต่อ $(t_2 - t_1)$ โดยจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$E = F(t_2) - F(t_1) = a(t_2 - t_1) + b(t_2^2 - t_1^2) \quad (2.3.1)$$

ในที่นี้ให้

E = เทอร์มอล อี.เอ็ม.เอฟ. (thermal e.m.f.) ที่เกิดขึ้นของ
เทอร์โมคัปเปิ้ล (มิลลิโวลต์)

t_1, t_2 : อุณหภูมิที่จุดต่อ หน่วย องศาเซลเซียส (degree celcius)

a, b : ค่าคงที่แตกต่างไปตามวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิ้ล

เมื่อเกิดความต่างของอุณหภูมิจะเกิดความร้อนไหลขึ้นในโลหะ อิเล็กตรอนจะ

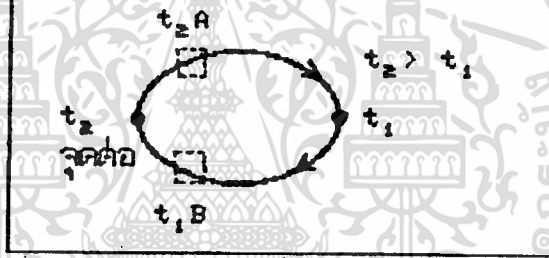
เอกสารไหลตามความร้อนกรณีท่วงจร (เทอร์โมคัปเปิ้ล) เปิดที่ปลายทั้งสองจะมีประจุไฟฟ้าสะสมอยู่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 99- ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 028807

ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ กระแสไฟฟ้า(ที่เกิดจากความร้อน)ไหลจนเกิดสมดุลย์ หรือ เทอร์มอด อี.เอ็ม.เอฟ. V_{AB} ที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิของจุดต่อทั้ง T_1 และ T_2 เท่านั้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิมีกฎพื้นฐาน 3 ข้อดังต่อไปนี้

1)กฎของวงจรเอกพันธ์ (Law of homogeneous circuit)

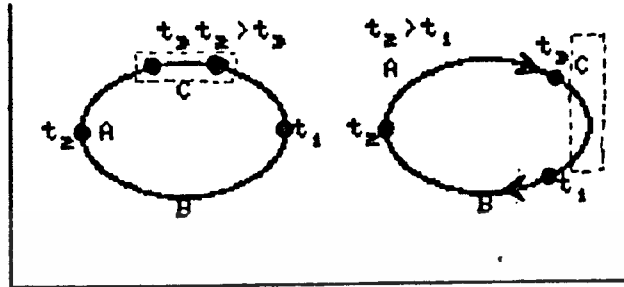
ในวงจรโลหะเอกพันธ์ที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด ชนิดเดียวกัน แม้ว่ารูปร่างและการกระจายอุณหภูมิจะต่างกันไป ก็จะเพิ่มความร้อนเข้าไปก็ไม่มีกระแสไหล นั่นคือตามรูปที่ 2.4 เทอร์มอด อีเอ็มเอฟ จะถูกกำหนดโดย t_1, t_2 แต่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิระหว่างโลหะแต่ละชนิด t_3, t_4



รูปที่ 2.4กฎของวงจรเอกพันธ์

2)กฎของโลหะมัธยันต์ (Law of intermediate metal)

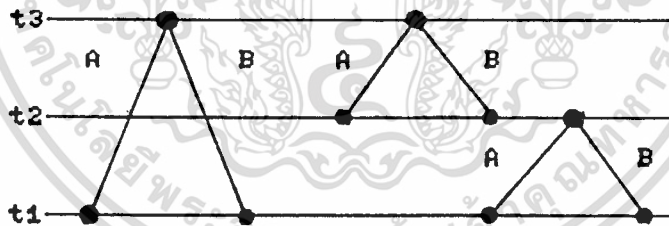
วงจรทั้งหมดที่ประกอบด้วยโลหะต่างกันหลายชนิดและมีอุณหภูมิเท่ากัน จะไม่มีเทอร์มอด อี.เอ็ม.เอฟ. เกิดขึ้นในวงจรนั้น ตามรูปที่ 2.5แม้จะใส่โลหะ C แทรกอยู่ระหว่างกลาง ถ้าปลายทั้งสองข้างมีอุณหภูมิเท่ากันคือ t_3 แล้วแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิด จะขึ้นอยู่กับโลหะ A,B และที่ t_1, t_2 เท่านั้น จะไม่เกี่ยวกับโลหะ C ที่ใส่ไว้ตรงกลางเลย นอกจากถ้าใส่โลหะมัธยันต์นี้ไว้ที่ส่วนหนึ่งของวงจร เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric) ถ้าปลายทั้งสองของโลหะมัธยันต์นี้ มีอุณหภูมิเท่ากัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลง ตาม



รูป 2.5 กฎของโลหะมีถันต์

3) กฎของอุณหภูมิมีถันต์ (Law of intermediate thermal)

เทอร์มอล อี. เอ็ม. เอฟ. ขณะที่อุณหภูมิจุดต่อเทอร์โมคัปเปิลเป็น t_1, t_2 นั้น จะเท่ากับผลบวกของเทอร์มอล อี. เอ็ม. เอฟ. ขณะที่อุณหภูมิของจุดต่อเทอร์โมคัปเปิล เป็น t_3, t_2 และ t_2, t_1 ตามรูปที่ 2.6



แรงเคลื่อนไฟฟ้า $(t_3 - t_1)$ เท่ากับ $E(t_3 - t_2) + E(t_2 - t_1)$

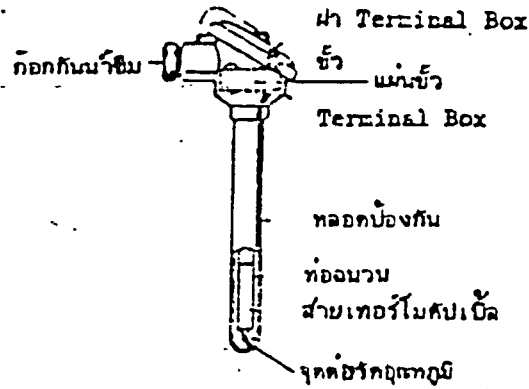
รูปที่ 2.6 กฎของอุณหภูมิมีถันต์

กฎ 3 ข้อ สามารถสรุปรวมได้ดังนี้ ผลบวกทางพีชคณิต ของเทอร์มอล อี. เอ็ม. เอฟ. ที่เกิดขึ้นจะเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิของจุดต่อ (t_2) ได้

2.3.2 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิล , ท่อฉนวนหุ้มสาย , หลอดป้องกัน และเทอร์มินอลบ็อกซ์ (Terminal Box) เวลาติดตั้งอาจมีพวกแฟรงค์ (Flange) หรือนิบเปิล (Nipple) ติดเข้ามาได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะแสดงเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ทั่วไป

เอกสารและรวมทั้งโครงสร้างภายในด้วยใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.7 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิ้ล

1. สายเทอร์โมคัปเปิ้ล : ใช้วัดโลหะสองชนิดทำเป็นขาเทอร์โมคัปเปิ้ลและให้ปลายสายเชื่อมติดกันไว้

2. ท่อนวน : ป้องกันสายเทอร์โมคัปเปิ้ลและไม่ให้สายกับหลอดป้องกันด้วงจรวัดที่ท่อนวนทำจากเซรามิกที่ทนความร้อน รูปร่างมีทั้งแบบกลมหรือแบนรูปไข่

3. หลอดป้องกัน : ป้องกันจุดสัมผัสวัดความร้อนและสายเทอร์โมคัปเปิ้ลจากวัตถุที่จะวัดความร้อนและก๊าซที่อยู่รอบๆ

4. เทอร์มอล็อกซ์ : เป็นที่สำหรับบรรจุผงที่ต่อสายเอ็กซ์เทนชัน (Extension Wire) จากเครื่องวัดกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าด้วยกัน มีแบบขั้วอยู่ภายในกับขั้วเปิดออกสู่บรรยากาศ มักทำจากโลหะผสมที่มีขนาดเบา

2.3.3 ลักษณะเฉพาะของเทอร์โมคัปเปิ้ล

กล่าวตามหลักการของเทอร์โมคัปเปิ้ลแล้ว โลหะต่างชนิดกันแบบใดก็สามารถสร้างเป็นเทอร์โมคัปเปิ้ลได้ แต่จะต้องพิจารณาถึงจุดที่ใช้งานต่อไปนี้

1. เทอร์มอล็อกซ์. เอ็ม. เอฟ. ที่เกิดขึ้นต้องมากพอที่จะวัดได้แม่นยำ
 2. ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน เทอร์มอล็อกซ์. เอ็ม. เอฟ. ที่เกิดขึ้น จะต้องเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง และถ้าเป็นไปได้ควรเป็นเชิงเส้น (Linear)

3. ต้องมีเสถียรภาพทั้งทางเคมีและทางนิลลิสต์ต่อบรรยากาศที่วัด

4. ความสามารถทำซ้ำ (Reproducibility) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแต่ละล็อต (Lot) ที่ผลิต ต้องดี

5. ความต้านทานทางไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ความต้านทานทางอุณหภูมิจะต้องน้อยเพื่อที่จะไม่เกิดอุปสรรคในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 6. การสร้างสายเทอร์โมคัปเปิ้ลง่าย และราคาไม่แพงให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา -12- จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ทั่วไป

ในปัจจุบันนี้เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้มีอยู่หลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับโลหะที่ใช้ทำ และเหมาะที่จะใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สำหรับอุณหภูมิที่เราใช้อยู่ในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมอลอะลูเมด (C.A.)

2.3.4.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ PR

มีความแม่นยำสูงสุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนด โดยมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS) เนื่องจากทำจากโลหะมีค่าจึงทนความร้อนสูงสุด ใช้งานในบรรยากาศได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) โดยไม่มีปัญหา ถ้าใช้งานที่อุณหภูมิเกินกว่านี้ เมล็ดผลึกของโลหะ จะค่อยๆ ใหญ่ขึ้น ทำให้เปราะ ต่อการฉีกหรือแตก

โดยทั่วไปแล้ว มีความทนทานต่อการออกซิเดชัน (oxidation) ส่วนในบรรยากาศรีดิวซ์ (reduction) โดยเฉพาะในการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) ไฮโดรเจน (H_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไฮโดรซัลไฟด์ (H_2S) ของอุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส และบรรยากาศของไฮโดรเจน จะไม่ค่อยมีความทนทาน ดังนั้นต้องให้หลอดป้องกันที่ทำจากเซรามิกเสมอ

2.3.4.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมอลอะลูเมด

เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ใช้งานกันกว้างมากในวงการอุตสาหกรรม JIS (Japan Industrial Standard) จะกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายแต่ละชนิดตามอุณหภูมิที่ใช้งาน สายเทอร์โมคัปเปิลจะมีผิวออกไซด์เคลือบอยู่อย่างค่อนข้างแน่นหนา ทำให้เป็นฉนวนไฟฟ้าและต้องระวังปัญหาการออสซึมผิวด้วยเวลาค่อยกับเส้นลวดอื่น

เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมอลอะลูเมด จะมีเสถียรภาพในสภาวะออกซิเดชัน แต่ในสภาวะรีดิวซ์ จะไม่ทน ถึงแม้จะเคลือบผิวออกไซด์ก็สามารถป้องกันได้ชั่วขณะเท่านั้น สายอลูเมดจะเปราะกว่าสายโครเมด (C) ถ้าหากโดนก๊าซสกปรกแล้วจะทำให้เกิดผลึกที่บริเวณรอยต่อของหลอดป้องกัน ทำให้สายขาดได้ง่ายถึงแม้จะไม่ได้รับแรงจากภายนอก

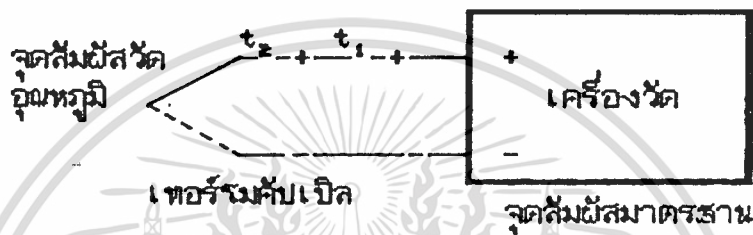
การทนความร้อน ความแม่นยำ ความสามารถทำซ้ำค่อนข้างดี ลักษณะคุณสมบัติของ อี. เอ็ม. เอฟ. ก็เกือบเป็นเส้นตรง

2.3.5 สายเอ็กซ์เทนชัน

รูป 2.8 จะแสดงให้เห็นว่าการวัดอุณหภูมิตามปกตินั้น ระหว่างหัวของ

เทอร์โมคัปเปิลกับหัวของเครื่องวัดจะมีอุณหภูมิที่ต่างกันอยู่ อุณหภูมิที่หัวของเทอร์โมคัปเปิลนั้น

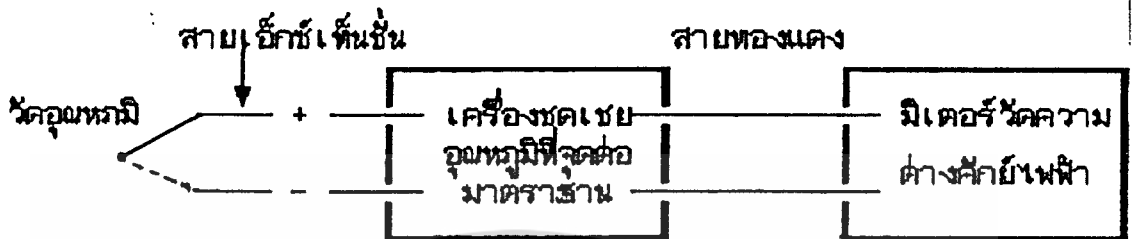
ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน บางทีอาจขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส หรือกว่านั้น เพื่อที่จะ
 ชดเชยอุณหภูมิที่ตัวของเทอร์โมคัปเปิ้ล ต้องใช้สายชดเชยที่ให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้า
 กับเทอร์โมคัปเปิ้ล ถ้าต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส ก็จะใช้แบบธรรมดา ถ้าต่ำกว่า 150
 องศาเซลเซียสก็ใช้แบบทนความร้อน สายนี้เรียกว่า "สายเอ็กซ์เทนชัน"



รูปที่ 2.8 สายเอ็กซ์เทนชัน

2.3.6 เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน

ตามหลักการของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ได้กล่าวมาแล้ว จะพบว่าเครื่องวัดอุณหภูมิ แบบ
 เทอร์โมคัปเปิ้ลนี้ใช้วัด เทอร์มอด อี.เอ็ม.เอฟ. ที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อสองจุด
 ดังนั้นจึงต้องรักษาอุณหภูมิที่จุดหนึ่งให้คงที่ (จุดต่อมาตรฐาน) หรือทำการชดเชยตามอุณหภูมิที่
 เปลี่ยนไป เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ลโดยทั่วไป จะติดตั้งวงจรชดเชยอุณหภูมิ
 โดสฮัดโนมิติแบบใช้ไฟฟ้า ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของจุดต่อมาตรฐาน วิศวกรในเครื่อง
 ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่ออีก แต่ในกรณีที่ใช้เครื่องวัดความต่างศักย์
 วัดอุณหภูมิ โดยตรง ตามรูป 2.9 จะต้องใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐานตามชนิด
 ของเทอร์โมคัปเปิ้ล



รูป 2.9 การวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ลโดยใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน จุดต่อวัดอุณหภูมิเป็นจุดต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลวางไว้ด้านที่จะรับอุณหภูมิ จุดต่อมาตรฐานเป็นจุดต่อระหว่างสายเทอร์โมคัปเปิ้ลกับสายค้ำน้ำหนักหรือสาย เอ็กซ์เทนชัน มักจะรักษาให้อุณหภูมิคงที่ เช่นอุณหภูมิที่จุดน้ำแข็ง เป็นต้น สายเอ็กซ์เทนชัน หมายถึงสายที่ใช้ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลซึ่งมีลักษณะสมบัติทาง เทอร์มอด อิเลคทริก เกือบจะเหมือนกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ช่วงอุณหภูมิวัดรวมถึงอุณหภูมิกัดด้วย ทำด้วยลวดค้ำน้ำหนักที่มีฉนวนหุ้ม 1 คู่ ใช้ต่อระหว่างขั้วเทอร์โมคัปเปิ้ลและจุดสัมผัสมาตรฐานซึ่งสำหรับชดเชยค่าผิดพลาด ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงที่ขั้วของเทอร์โมคัปเปิ้ล

1. แบบแช่ค้ำน้ำหนัก ใช้ค้ำน้ำหนักที่มั่นคงและเสถียรในขวดหรือกระเปาะแก้ว เดวาร์ (Dewar) เพื่อรักษาจุดต่อมาตรฐานให้เป็น 0 องศาเซลเซียส มีความจำเป็นมากสำหรับกรณีที่ใช้ในการกำหนดสเกล หรือใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือวัดที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง

2. แบบอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเครื่องชดเชยแบบแช่ค้ำน้ำหนัก ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานจึงมีการใช้เครื่องมือที่จะรักษาให้อุณหภูมิเป็น 0 องศาเซลเซียส

3. แบบซีเนอร์

เครื่องมือชุดเซตอุณหภูมิสองแบบที่กล่าวมาจะต้องรักษาอุณหภูมิ ที่จุดต่อมาตรฐาน ให้เป็น 0 องศาเซลเซียสเสมอ แต่สำหรับเครื่องมือแบบซีเนอร์นี้จะชุดเซตอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลงของจุดต่อมาตรฐานด้วยค่าไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเหมือนกับว่า อุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน เป็น 0 องศาเซลเซียส อยู่ตลอดเวลา

2.4 ระบบควบคุม

การควบคุมอัตโนมัติ(Automatic Control) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในงานด้านวิศวกรรม เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องยนต์กลไก ในอากาศยาน เป็นต้น

ระบบควบคุมอาจแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักได้คือ ระบบควบคุมแบบระบบปิด(closed loop control system) และระบบควบคุมแบบระบบเปิด(open-loop control system)

ระบบควบคุมแบบระบบเปิด เป็นระบบควบคุมที่ เอาท์พุทของระบบ จะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบระบบเปิดนั้น เอาท์พุทของระบบจะไม่มีการถูกนำมาเปรียบเทียบกับอินพุท เพื่อทำการควบคุมระบบเลย ตัวอย่างของระบบเปิดแบบนี้ ได้แก่การควบคุมด้วยมนุษย์โดยตรง (manual control)

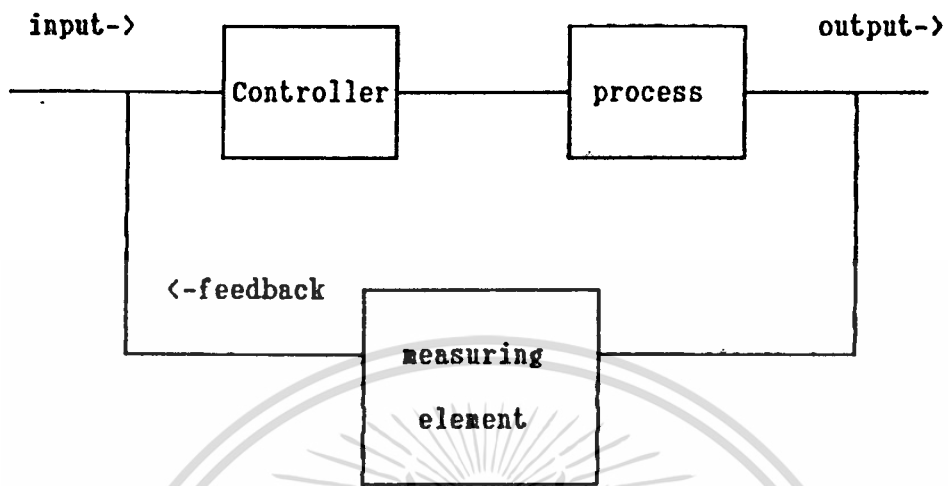


รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมแบบเปิด

ส่วนระบบควบคุมในระบบปิดนั้น จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับระบบเปิดที่กล่าวมาข้างต้น คือ ในระบบนี้สัญญาณเอาท์พุทจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบระบบปิด ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ(Feedback control system)นั่นเอง ในกรณีนี้ สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน(actuating error signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุท กับสัญญาณป้อนกลับที่มาจากกระบวนการ (process)

จะถูกป้อนให้ตัวควบคุม(controller) เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยลง เพื่อให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เอาท์พุทที่ต้องการในที่สุด



รูปที่ 2.11 ระบบควบคุมแบบระบบปิดหรือแบบป้อนกลับ

ชนิดต่างๆของระบบควบคุมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำแนกตามลักษณะของ
 กรีธาการควบคุม มีดังต่อไปนี้

- ก) ระบบควบคุมแบบสองตำแหน่ง (two-position) หรือแบบเปิด-ปิด (on-off)
- ข) ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (proportional)
- ค) ระบบควบคุมแบบอินทิกรัล (integral)
- ง) ระบบควบคุมแบบสัดส่วนและอินทิกรัล หรือที่เรียกว่า PI
- จ) ระบบควบคุมแบบสัดส่วนและอัตราการเปลี่ยนแปลง หรือ PD
- ฉ) ระบบควบคุมแบบ สัดส่วน อินทิกรัล และอัตราการเปลี่ยนแปลง หรือ PID

2.4.1 การควบคุมแบบสองตำแหน่ง

การควบคุมแบบสองตำแหน่ง หรือ ON-OFF นี้ การควบคุมจะทำงานใน
 ตำแหน่งที่คงที่ เพียงสองตำแหน่งเท่านั้น (ON-OFF) การควบคุมแบบนี้เป็นการควบคุมแบบ
 ง่าย ๆ และเสถียรค่าใช้จำนน้อย มักใช้ในระบบที่ขอมรับการออสซิลเลต (oscillate) ได้

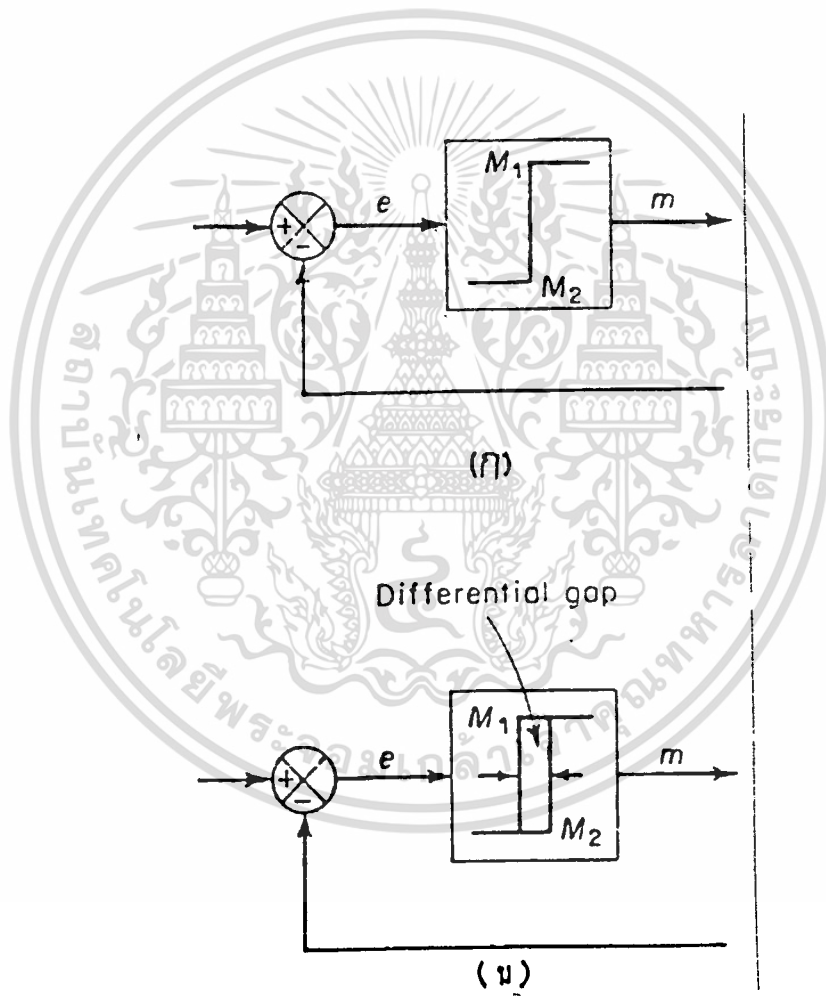
ถ้าให้สัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุมเป็น $u(t)$ และสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน
 เป็น $e(t)$ ในการควบคุมแบบสองตำแหน่งนั้น สัญญาณ $u(t)$ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุด
 และค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นกับค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนว่าเป็นบวกหรือลบ คือ

$$u(t) = u_1 \text{ เมื่อ } e(t) > 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ เมื่อใช้ $e(t) < 0$ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (2.4.1) ด้านการคำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา -17- จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ m_1 และ m_2 เป็นค่าคงที่ ปกติ m_2 จะเป็น 0 หรือ $-m_1$

รูปที่ 2.12 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมสองตำแหน่ง และสำหรับ ช่วงซึ่งสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน เปลี่ยนไปก่อนการเปลี่ยนตำแหน่ง (switching) ของการควบคุมนั้นจะเรียกว่า ช่วงคิฟเฟอเรนเชียล (differential gap) ดังแสดงในรูปที่ 2.12(ก) ช่วงคิฟเฟอเรนเชียล นี้บางครั้งเป็นการทำให้เกิดขึ้นเพื่อป้องกัน ON-OFF บ่อสเกินไป โดยเราจะยอมให้มีค่าผิดพลาดได้ช่วงหนึ่ง (มากกว่า 0 เล็กน้อย) ถึงค่อจะมีการเปลี่ยนค่า $m(t)$ ซึ่งแต่เดิมถ้าไม่มีช่วงคิฟเฟอเรนเชียล



รูปที่ 2.12ก) การควบคุมสองตำแหน่ง

ข) แสดงการเกิดช่วงคิฟเฟอเรนเชียล

2.4.2 การควบคุมแบบสัดส่วน(Proportional)

ในกระบวนการบางอย่างการควบคุมแบบ สองตำแหน่ง จะไม่ใช่วิธีการควบคุมที่ดี ถ้าต้องการความแน่นอนในการควบคุมพลังงานไหลเข้า เพื่อให้เป็นสัดส่วน กับค่าที่ต้องการ การ เราต้องการใช้การควบคุมแบบสัดส่วน ความสัมพันธ์ ระหว่างสัญญาณควบคุม(หรือ เอาท์พุทของตัวควบคุม) กับสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

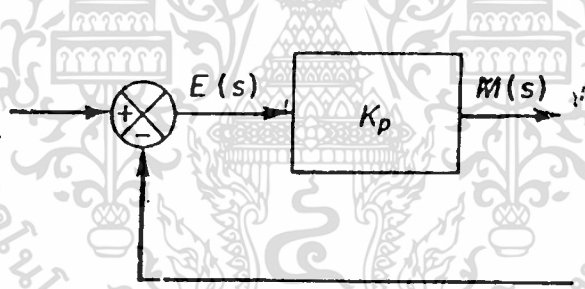
$$m(t) = K_p e(t) \quad \dots\dots\dots (2.4.2.1)$$

โดยที่ $m(t)$ = ขนาดสัญญาณควบคุมที่เวลา t

K_p = อัตราการขยาย(Proportional gain)

$e(t)$ = ค่าผิดพลาดที่เวลา t

โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของเซนซิวิตี(sensitivity) หรืออัตราขยายสัดส่วน (proportional gain) ได้ รูปที่ 2.13 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน



รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

รูปที่ 2.13 แสดงขนาดของสัญญาณควบคุมที่ค่าผิดพลาดต่างๆจะพบว่าขนาดสัญญาณควบคุมจะสูงสุดที่ 100% ดังนั้นถ้าสัญญาณควบคุมเป็น 100% แล้วถึงจะเพิ่มค่าผิดพลาด ก็ไม่มีผลต่อสัญญาณควบคุมและถ้าค่าสัญญาณควบคุมมีค่าต่ำสุดที่ 0% แล้วสัญญาณควบคุมจะแปรตามค่าผิดพลาดในช่วงหนึ่งๆเท่านั้น เรียกช่วงนี้ว่า PB(Proportional Band) ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของ K_p เมื่อค่าผิดพลาดเป็น 0 สัญญาณควบคุมจะมีขนาดเท่ากับ PB ซึ่งใช้ได้เฉพาะสภาวะหนึ่ง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวภาระ(load change) หรือมีการรบกวน 1(Disturbance)ระบบ ค่าPBนี้จะต้องแก้ไข

การควบคุมตามสมการ P จะได้ค่าผิดพลาดค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างอินพุท

อ้างอิงกับค่าสัญญาณเอาท์พุทที่วัดได้ ในขณะเวลาที่ระบบก่อนนั้นเข้าสู่สภาวะ คงที่ (steady

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

state) เช่นในระบบควบคุมแบบสัดส่วน ชนิดอันดับหนึ่ง (first-order proportional control) [3](pp167-168) ค่าสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดขึ้นที่ภาวะคงที่ จะมีค่าประมาณ $K/(K+1)$ เท่าของค่าที่ต้องการ นั่นคือ ค่าผิดพลาดที่ภาวะนี้ จะมีค่า $1/(1+K)$ ดังนั้นถ้าต้องการค่า ออฟเซ็ท น้อยๆ ค่าอัตราขยาย K_p จะต้องมีค่ามากๆ

2.4.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล

การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดสัญญาณควบคุมจะขึ้นกับลักษณะเดิมของค่าผิดพลาดจากระบบ ลักษณะเดิมนั้นจะวัดได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ระหว่างค่าผิดพลาดและเวลา นั่นคือขนาดของสัญญาณควบคุมจะเป็นอัตราส่วนกับพื้นที่ใต้กราฟ ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นจนถึงเวลาปัจจุบัน เป็นไปตามสมการดังนี้

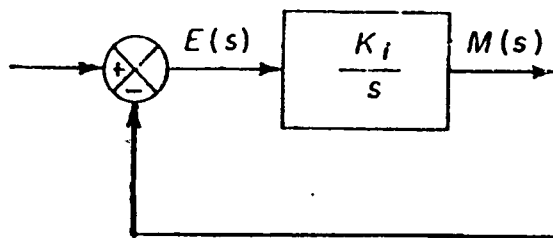
$$m(t) = 1/T_i \int e(t) dt \quad \dots\dots\dots (2.4.3.1)$$

เมื่อ $e(t)$ = ขนาดสัญญาณควบคุมที่เวลา t

T_i = ค่าคงที่ อินทิกรัล

$e(t)$ = ค่าผิดพลาดที่เวลา t

พิจารณารูป 2.14 จะเห็นว่า การควบคุมแบบอินทิกรัลขึ้นกับลักษณะเดิมของค่าผิดพลาด จึงเป็นไปได้ที่ขณะที่ค่าผิดพลาด เป็น 0 แล้ว แต่ยังมี การเปลี่ยนแปลง ของสัญญาณการควบคุม เนื่องจากยังมีลักษณะเดิมของค่าผิดพลาดอยู่ จึงทำให้สามารถแก้ไขขนาดสัญญาณควบคุมเมื่อค่าผิดพลาดเป็น 0 ให้มีค่าเหมาะสมกับระบบได้ ถึงแม้ว่า จะมีการรบกวนระบบก็ตาม นั่นคือสามารถกำจัดค่าออฟเซ็ทให้หมดไปได้ แต่จะมีข้อเสียคือขณะที่เริ่มต้นทำงาน จะเกิด "โอเวอร์ชูต (over shoot)" สูงมากไม่เหมาะที่จะทำงานตัวเดียว แต่ควรใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น



การควบคุมแบบอัตรากาการเปลี่ยนแปลง (Derivative)

การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดสัญญาณควบคุมจะขึ้นกับอัตรากาการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดในขณะนั้น จะไม่ขึ้นกับขนาดของค่าผิดพลาดโดยตรง ดังนั้นจะเป็นไปได้ที่ค่าผิดพลาดจะเป็น 0 ในขณะที่สัญญาณควบคุม เป็นไปตามสมการ

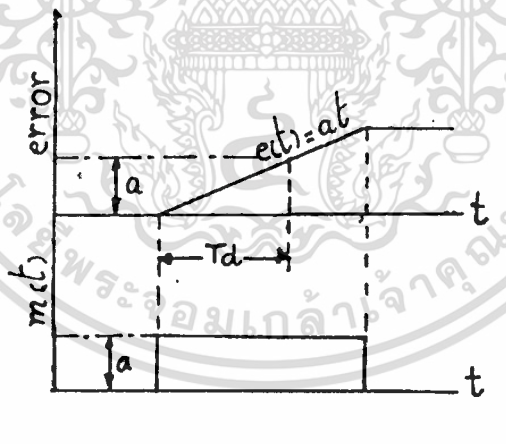
$$m(t) = T_d [de(t)/dt] \dots\dots\dots (2.4.4.1)$$

โดย $m(t)$ = สัญญาณควบคุมที่เวลา t

T_d = ค่าคงที่อัตรากาการเปลี่ยนแปลง (derivative time)

$e(t)$ = ค่าผิดพลาดที่เวลา t

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นว่า การควบคุมแบบนี้ ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดก็จะมีสัญญาณควบคุม จึงจะต้องใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่นเสมอ แต่มีข้อดีในช่วงการเริ่มต้นควบคุม (transient)



รูปที่ 2.15 การควบคุมตามสมการอัตรากาการเปลี่ยนแปลง

2.4.4 การควบคุมแบบPI

การควบคุมแบบPI สามารถจะแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p / T_i \int e(t) dt \dots\dots\dots (2.4.5.1)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของอัตรากาการขยายหรือ เกนสัดส่วน

T_i เป็นค่าเวลาอินทิกรัล (integral time)

2.4.5 การควบคุมแบบ PD

การควบคุมแบบ PD สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$m(t) = K_p.e(t) + K_p.T_d.de(t)/dt \quad \dots\dots\dots(2.4.5.1)$$

ค่าของ K_p และ T_d นั้นจะเป็นค่าที่สามารถปรับได้และในบางครั้งจะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมแบบอัตรา (rate control) ทั้งนี้เพราะขนาดของสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน

ในขบวนการบางอย่าง อาจจะมีเวลาและความต้านทานมากกว่าหนึ่ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในกระบวนการ จึงอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า time lag ขึ้นได้ ปัญหาเกี่ยวกับ time lag ส่วนมากจะเกิดในระบบกระบวนการเกี่ยวกับความร้อน การควบคุมแบบ Derivative นี้อาจเรียกว่าการควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า

2.4.6 การควบคุมแบบ PID

การควบคุมแบบนี้ ได้จากการรวมเอาการควบคุมแบบสัดส่วน แบบอินทิกรัล และแบบอัตราการเปลี่ยนแปลงเข้าไว้ด้วยกัน การควบคุมแบบ PID ในระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถจะแสดงได้ในรูปของสมการดังต่อไปนี้

$$m(t) = K_p.e(t) + K_p.T_d.de(t) + K_p/T_i \int e(t)dt \quad \dots\dots\dots(2.4.6.1)$$

2.5 การควบคุมแบบ PID ในระบบดิจิทัล

ในระบบดิจิทัล จะมีการสุ่มตัวอย่าง (sample) ค่าตัวแปรของระบบ มาทำการคำนวณ โดยมีช่วงเวลาการสุ่มที่ (sampling time) คงที่ ดังนั้นการคำนวณตามสมการ PID ในระบบดิจิทัล จะทำในช่วงเวลาสั้นๆ (T_s) เท่านั้น ไม่ได้ทำแบบต่อเนื่อง จึงต้องมีการแปลงสมการ PID เพื่อโปรแกรมในระบบดิจิทัลต่อไป โดยจะแยกพิจารณาสมการดังนี้

2.5.1 สมการอินทิกรัล (I)

จากสมการที่ (2.4.3.1) สมการการควบคุมแบบอินทิกรัลคือ

$$m_i(t) = 1/T_i \int e(t)dt$$

พิจารณาเฉพาะ อินทิกรัลเทอม

$$C_i(t) = \int e(t)dt \quad \dots\dots\dots(2.5.1.1)$$

พิจารณารูปที่ 2.18 พบว่าค่า $C_i(t)$ ก็คือพื้นที่ใต้กราฟนั่นเอง ซึ่งถ้าแบ่งออกเป็นช่วงเล็กๆ ช่วงละ T_s เท่านั้น จะสามารถประมาณพื้นที่ดังกล่าวได้ด้วยผลรวมของผลคูณ

ระหว่างค่าผิดพลาดที่เวลา t กับค่าคงที่ T_s หรืออธิบายได้ดังสมการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e(t) = T_u e_0 + T_u e_1 + T_u e_2 + \dots + T_u e_k ; k=T/T_u$$

$$= T_u \sum e_i \quad \dots (2.5.1.2)$$

เมื่อ $T_u =$ ค่าเวลาสุ่ม

$e_i =$ ค่าผิดพลาดเวลาสุ่มลำดับที่ i

$T =$ เวลาทั้งหมดที่ควบคุม

2.5.2 สมการอัตราการเปลี่ยนแปลง

พิจารณาสมการการควบคุมแบบอัตราการเปลี่ยนแปลง

$$m_u(t) = T_u [de(t)/dt]$$

พิจารณารูปที่ 12.16(b) พบว่าค่า $C_u(t) = [de(t)/dt]$ คือผลต่างระหว่างค่าผิดพลาดในช่วงเวลาเล็กๆ (dt) ค่าหนึ่งหารด้วยค่าของช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถแทนค่าของช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถแทนค่าของช่วงเวลาเล็กๆ นี้ได้ด้วยค่าของ T_u

ดังนั้น จะได้ว่า

$$de(t)/dt = [e(k) - e(k-1)]/T_u \quad \dots (2.5.2.1)$$

พิจารณาสมการ PID

$$m(t) = K_p \{ e(t) + 1/T_i \int e(t) dt + T_d [de(t)/dt] \}$$

แทนค่า สมการ (2.5.1.2) และ (2.5.2.1) ลงไปในสมการ PID

$$m(k) = K_p \{ e(k) + 1/T_i [T_s \sum e_i] + T_d [e(k) - e(k-1)]/T_s \}$$

$$m(k-1) = K_p \{ e(k-1) + 1/T_i [T_s \sum e_i] + T_d [e(k-1) - e(k-2)]/T_s \}$$

$$m(k) - m(k-1) = K_p \{ e(k) + T_s/T_i e(k) + T_d/T_s e(k) - T_d/T_s e(k-1)$$

$$- e(k-1) - T_d/T_s e(k-1) + T_d/T_s e(k-2) \}$$

$$= K_p \{ [1 + (T_s/T_i) + (T_d/T_s)] e(k) - [1 + (2T_d/T_s)] e(k-1)$$

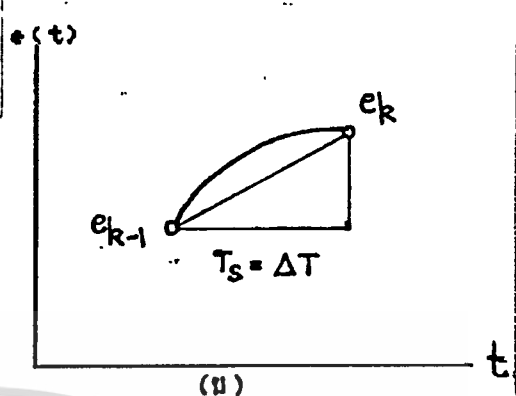
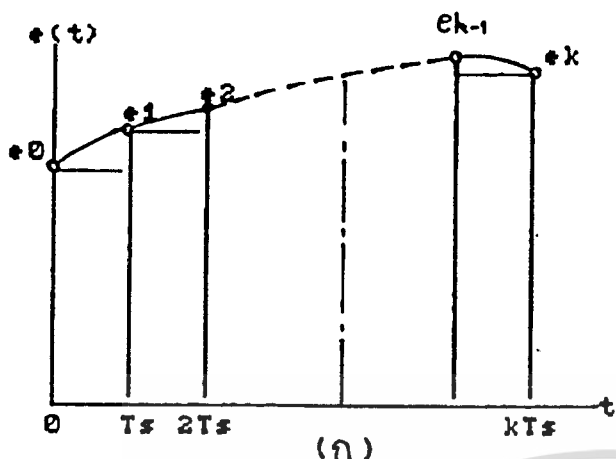
$$+ [T_d/T_s] e(k-2) \}$$

ดังนั้น $m(k) = m(k-1) + \alpha e(k) + \beta e(k-1) + \gamma e(k-2)$

โดย $\alpha = K_p [1 + (T_s/T_i) + (T_d/T_s)]$

$\beta = -K_p [1 + 2(T_d/T_s)]$

$\gamma = K_p (T_d/T_s)$



รูปที่ 2.16(ก) แสดงการประมาณค่าอินทิกรัล ทอมของค่าผิดพลาด

(ข) แสดงการประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด

2.6 การประมาณค่าตามวิธีของซีเกลเลอร์และนิโคลส์

(Zeegler - Nichols Estimation Method)

ในการควบคุมตามสุมการ PID จำเป็นจะต้องหาค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 3 ชนิดคือ K_p, T_i, T_d ให้เหมาะสมกับ ระบบ เพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ จะหาได้เมื่อทราบทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer function) ของ กระบวนการ แต่การจะหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการจริงๆ นั้น เป็นไปได้ยาก เพราะ จะมีตัวแปรกระบวนการมากมาย ดังนั้นจึงใช้ทฤษฎีการประมาณค่าของซีเกลเลอร์และ นิโคลส์ ซึ่งจะประมาณทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบเหลือเพียง

$$T = (r/s)e^{-Ls}P \quad \dots\dots\dots(2.6.1)$$

เมื่อ T = เอาท์พุทของกระบวนการ

P = อินพุทที่จ่ายให้แก่วกระบวนการ

r = อัตราการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทต่อเวลา

L = เวลาหน่วงในหน่วยวินาที

ซึ่งทรานเฟอร์ฟังก์ชันนี้ จะใกล้เคียงกับกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำ จึงพอจะ ใช้ได้ในการหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น โดสที่อินพุท(P)คือพลังงานที่จ่ายแก่ระบบ และ เอาท์พุท (T)คืออุณหภูมิของสารทดสอบในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร รูปที่ 2.17 จะแสดงบล็อกโคแอกแกรมของระบบนี้ ส่วนในรูปที่ 2.18 จะแสดง การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 24 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

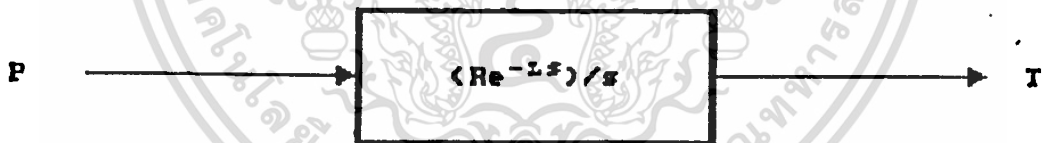
ผลตอบสนองขณะที่ไม่มีการควบคุม (opened-loop) ซึ่งจะสามารถหาค่าจาก r และ L ได้ จากกราฟทดลองกระบวนการจริงๆ

ให้ $R = r/\text{เปอร์เซ็นต์ของอินพุตที่จ่ายให้โดยไม่มีการควบคุม}$

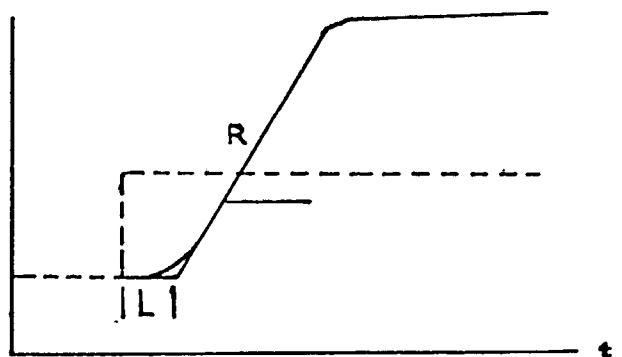
จากทฤษฎีนี้จะประมาณ ค่าพารามิเตอร์ K_p, T_i, T_d เพื่อจะได้ผลตอบสนองเมื่อ มีการควบคุม (closed loop) ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID ตามวิธีซีเกลอร์-นิโคลส์

Mode	K_p	T_i	T_d
P	$1/RL$	-	-
PI	$0.9/RL$	$3.3L$	-
PID	$1.2/RL$	$2L$	$0.5L$



รูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบที่ใช้การประมาณค่าตามสมการ ซีเกลอร์-นิโคลส์



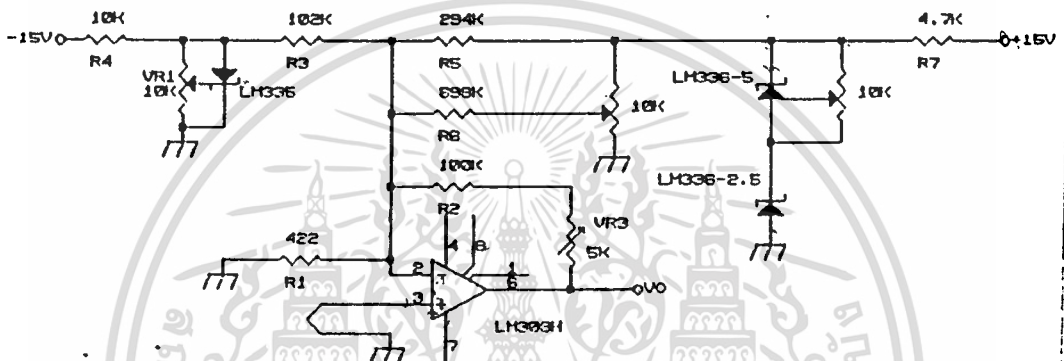
รูปที่ 2.18 ผลตอบสนองขณะที่ไม่มีการควบคุม

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

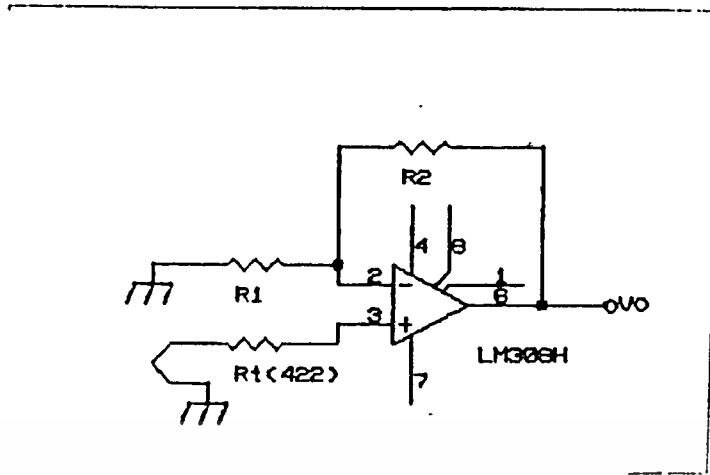
3.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล

สามารถออกแบบและสร้างได้ดังรูป 3.1



รูป 3.1 การออกแบบและสร้างวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิลชนิด โครเมิล-อะลูเมิล มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ประมาณ 422 โอห์มที่สัญญาณไฟฟ้ขนาด 40.7 ไมโครโวลต์ต่อองศาเซลเซียส ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) และจะใช้ วงจรขยายสัญญาณให้ห้สัญญาณเอาต์พุต 10 มิลลิโวลต์ ($\text{mV}/^{\circ}\text{C}$) สำหรับส่วนวงจรขยาย สัญญาณนี้ประกอบด้วย ออปแอมป์ (Operational Amplifier) คอ์ในลักษณะ วงจรขยาย แบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) ดังรูป 3.2



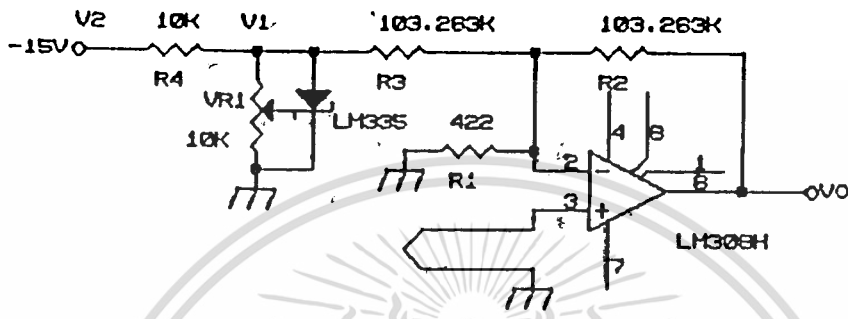
รูป 3.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

การคำนวณหา อัตราการขยายเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราการขยาย} &= V_{out} / V_{in} = R2/R1 + 1 \quad \dots (3.1.1) \\ &= 10 / (40.7 \times 10^3) \quad (\text{mv}/^{\circ}\text{C}) (\text{mv}/^{\circ}\text{C}) \\ &= 245.7 \end{aligned}$$

จากรูป 3.2 จากการคำนวณเราได้ อัตราการขยายของวงจร (Amplifier Voltage Gain) เท่ากับ 245.7, R_1 เท่ากับ 422 โอห์ม, R_2 เท่ากับ 103.263 กิโลโอห์ม และเอาต์พุตอินพุตที่ศูนย์ของเทอร์โมคัปเปิ้ล (R_c) เท่ากับ 422 โอห์ม ในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิ้ล เราจำเป็นจะต้องให้จุดต่อมาตรฐานเป็น 0 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เราจะใช้อ่างน้ำแข็งเป็นจุดต่อมาตรฐาน แต่คนที่ใช้อ่างน้ำแข็งก็จะเป็นการสะดวกกว่าถ้าเราใช้เทคนิคที่รู้จักกันว่า "การชดเชยรอยต่อที่เย็น" ดังนั้นในโครงการนี้ เราจึงต้องมีวงจรชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน ในขณะที่ใช้การชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐานแบบซีเนอร์ โดยที่เมื่อชดเชยอุณหภูมิแล้วจะเสมือนกับว่าอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐานเป็น 0 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจริงอยู่ที่อุณหภูมิค่าอื่นก็ตาม เราใช้ ตัวชดเชยอุณหภูมิ ซึ่งมีคุณสมบัติคือ จะมีค่าแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิ และมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้น (linear) เราใช้คุณสมบัติที่น่าสนใจคือ มีการเปลี่ยน แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 10 mV/C จากค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และการมีกาใช้งานได้ตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส สำหรับการ

ตัวชดเชยอุณหภูมิที่ใช้คือ LM 335 เพื่อชดเชยอุณหภูมิห้องดังรูป 3.3

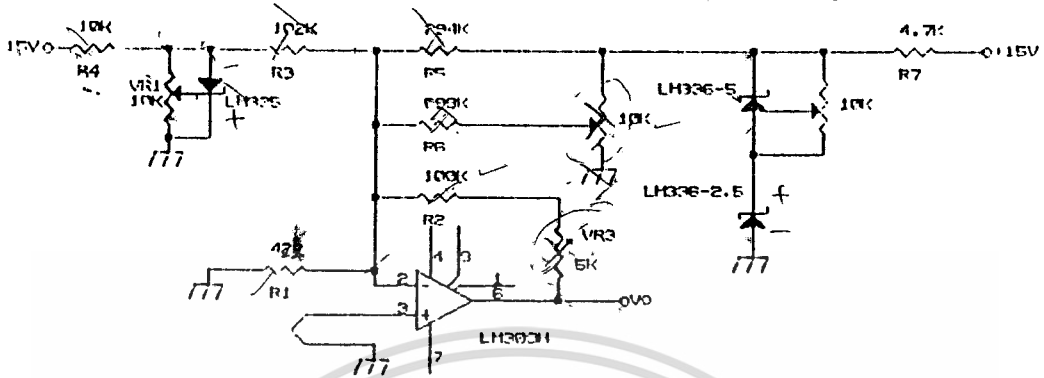


รูป 3.3 วงจรขยายสัญญาณที่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้อง

จากรูป 3.3 คำนวณได้ R_2 เท่ากับ 103.263 กิโลโอห์ม และ R_3 เท่ากับ 10 กิโลโอห์มที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส LM335 ให้แรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 2.98 โวลต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ต้องการเอาต์พุต เพียง 250 มิลลิโวลต์ จะมีค่าเกินรวมอยู่ถึง 2.73 โวลต์ จะต้องกำจัดค่า Output ที่เกินโดยใช้ ไดโอดอ้างอิง (Precision reference diode) ซึ่งในที่นี้ใช้ LM 329 ให้แรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 0.95 โวลต์ เป็นตัวรักษาระดับถึงแม้ว่าอุณหภูมิเปลี่ยนไปค่าเอาต์พุตที่ให้กับยังคงที่

ในทางปฏิบัติแล้วออปแอมป์จะเกิดแรงดันออฟเซต (offset voltage) ภายใน และจะขยายออกมาที่เอาต์พุตด้วย ในการกำจัดแรงดันออฟเซตจะต้องป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าที่ ขั้วลบ (Inverting Input) เพื่อแก้ค่าออฟเซตที่เกินมา แต่สำหรับวงจรแอมพลิฟายเออร์ที่เราจะใช้จะพบว่า แรงดันเอาต์พุต มีค่ามากเมื่อเทียบกับแรงดันเอาต์พุตที่เกิดออฟเซตจึงไม่จำเป็นต้องชดเชยในวงจรนี้ และเราจะได้วงจรที่สมบูรณ์ดังรูป 3.4

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



4.7×10^2

$4.7k$

$100k$

10

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

2 2 1 1
3 4
4 5

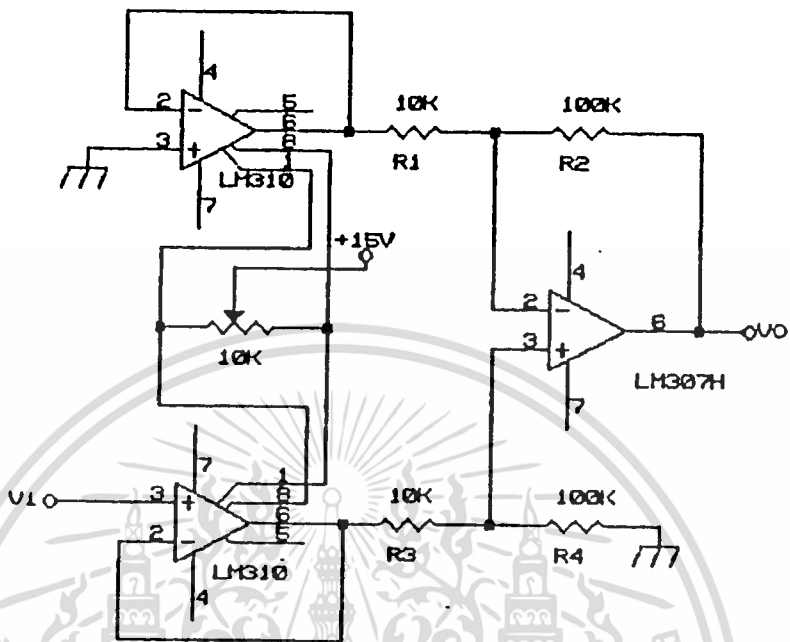
รูป 3.4 วงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ให้ แรงดันเอาต์พุต 0-990 มิลลิโวลต์ ตลอดช่วง 0-99 องศาเซลเซียส

เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิ้ลยังต่ำ ถ้าเรานำไปเป็น อินพุตของ ไอ.ซี. แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต (I.C. 8 bit Analog to Digital converter) ที่มีระดับอินพุตที่รับได้อยู่ในช่วง 0-10 โวลต์ จะมีผลทำให้ข้อมูลที่ได้อ้างอิงไม่ละเอียด ดังนั้นจึงต้องผ่านวงจรขยายสัญญาณเพื่อจะได้สัญญาณที่เหมาะสมก่อนเข้าวงจร แปลงสัญญาณ (A/D) ต่อไป

3.1.1 วงจรขยายสัญญาณคิฟเฟอเรนเชียลแบบอิมพีแดนซ์สูง

(High Input Impedance Differential Amplifier)

ในวงจรขยายสัญญาณ แรงดันอินพุต ที่มีค่าน้อยเราจำเป็นต้องทำให้วงจร มีค่าอิมพีแดนซ์สูงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมี วงจรขยายชนิดบัพเฟอร์ก่อนที่จะผ่านวงจรขยายคิฟเฟอเรนเชียล ต่อไป ดังรูป 3.5



รูป 3.5 วงจรขยายสัญญาณคัพเพอเรลชนิดแบบอิมพีแดนซ์สูง
(High Input Impedance Differential Amplifier)

จากรูป 3.5 LM 310 จะทำหน้าที่เป็นวงจรมัฟเฟอร์ (อัตราขยายของแรงดัน $A_v = 1$) เนื่องจาก ออปแอมป์ มีค่าออฟเซ็ทเกิดขึ้นภายในตัวมันเองและ วงจรมัฟเฟอร์ ที่ใช้มีอัตราขยายค่า จึงต้องมีการชดเชยเนื่องจากออฟเซ็ทที่เกิดขึ้น จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัฟเฟอร์ จึงจะเข้าวงจรคัพเพอเรลเรลเซียด ซึ่งเราต้องการแรงดันเอาต์พุตสูงสุด 10 โวลต์ จึงใช้อัตราขยาย เท่ากับ 10 ค่าขนาดได้ R_2 เท่ากับ R_3 เท่ากับ 10 กิโลโอห์ม และจากการคำนวณได้ R_1 เท่ากับ R_4 เท่ากับ 100 กิโลโอห์ม

เมื่อต่อวงจรขยายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ อินพุต ของวงจรคัพเพอเรลเรลเซียด จะได้ แรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 100 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส ก่อนที่จะเข้า แปลงสัญญาณขนาดออกเป็นดิจิตอลต่อไป

3.2 การออกแบบการ์ดสำหรับอินเตอร์เฟซ (Interface card)

การอินเตอร์เฟซ ไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC) นั้น เราจะสร้างอินเตอร์เฟซการ์ดขึ้นมา โดยบนการ์ดจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

- ก) ส่วนถอดรหัส (DECODER)
- ข) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A-D Converter)
- ค) วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (D-A Converter)
- ง) ส่วนพักข้อมูล (STORAGE REGISTER)

ก) ส่วนถอดรหัส

ส่วนนี้เป็นการถอดรหัสอ้างอิงหมายเลขพอร์ท (ADDRESS BUS) และสัญญาณควบคุม (CONTROL BUS) จากหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (CPU) โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS138, 74LS02 และ 74LS04

สำหรับรหัสอ้างอิงหมายเลขพอร์ทนั้น สำหรับเครื่อง IBM PC ได้กำหนดค่าให้ใช้ อินพุตและเอาต์พุตพอร์ท (I/O PORT) ระหว่างค่า 300 ถึง 31F (300 HEX-31F HEX)

พิจารณาคุณสมบัติของไอซีเบอร์ 74LS138 ที่ใช้ในการถอดรหัสในโครงการนี้ ถ้า G2A เป็น LOW (0), G2B เป็น LOW (0), G1 เป็น HIGH (1) และ

ตารางที่ 3.1 การ DECODE ของ IC 74LS138

C	B	A	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

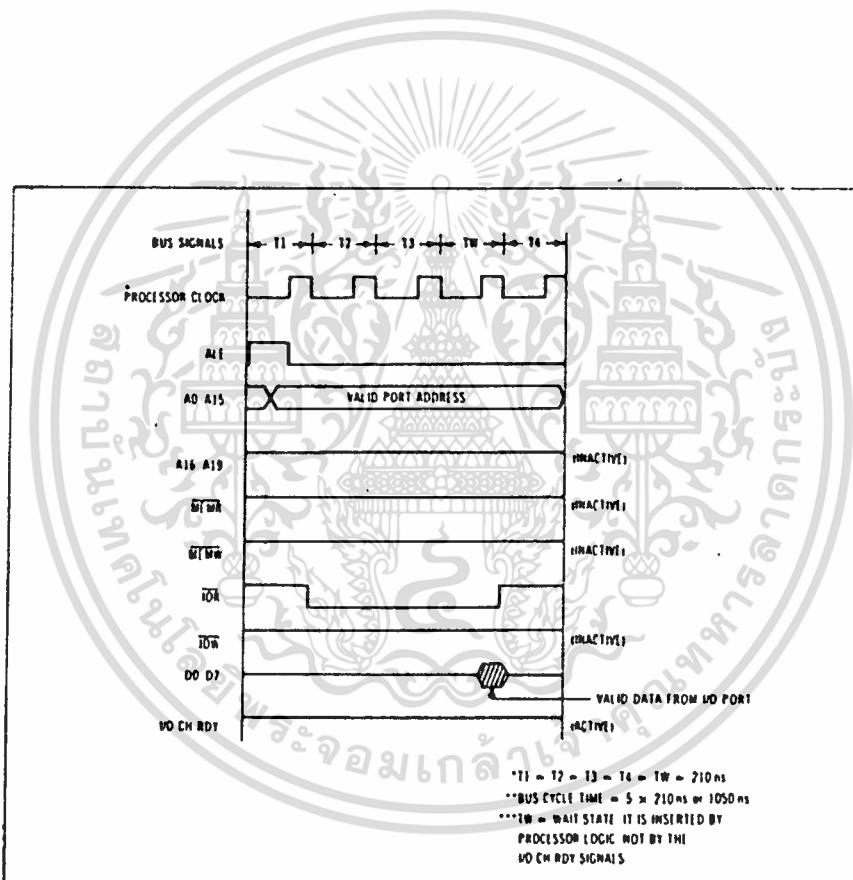
เพราะฉะนั้นจากวงจรถอดรหัส เราจะได้รหัสพอร์ทดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา ๓31 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A/D CONVERTER ADDRESS PORT คือ 300[HEX]

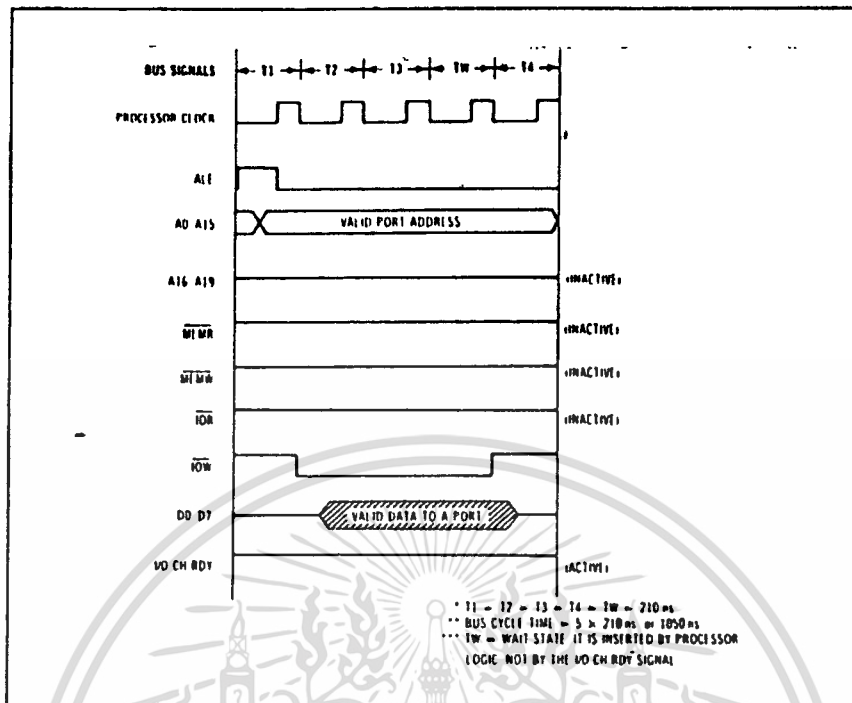
D/A CONVERTER #CH1 ADDRESS PORT คือ 301[HEX]

D/A CONVERTER #CH2 ADDRESS PORT คือ 302[HEX]

ในส่วนของวงจรถอดรหัส (DECODER CIRCUIT) จะทำงานสัมพันธ์กับสัญญาณควบคุม (CONTROL BUS) เสมอ



รูปที่ 3.6 แสดงบัสไซเคิลการอ่านข้อมูลของอินพุตและเอาต์พุตพอร์ท



รูปที่ 3.7 แสดงบัสไซเคิลการเขียนข้อมูลของอินพุตและเอาต์พุตพอร์ท

รายละเอียดของสัญญาณที่เราใช้บนสล๊อต

AO-A9 สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ใช้ในการกำหนดแอดเดรส (ADDRESS) ของอุปกรณ์ I/O ของระบบ สัญญาณนี้ถูกสร้างขึ้นโดย PROCESSOR หรือถูกสร้างจาก DMA CONTROLLER

DO-D7 สัญญาณที่ใช้ได้ทั้งอินพุต (INPUT) และเอาต์พุต (OUTPUT) สำหรับอุปกรณ์ I/O

OSC สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ของ CLOCK โดย OSCILLATOR ความถี่ 14.31818 MHz

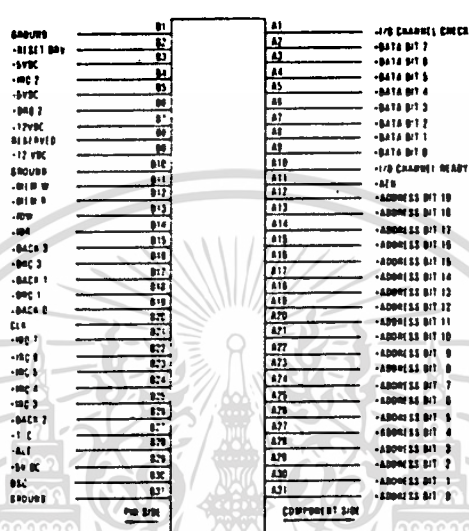
RESET DRV สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ใช้ในการ RESET ระบบ และจะทำงานเมื่อสัญญาณเป็น HIGH

-IOR สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ทำหน้าที่ควบคุมให้อุปกรณ์ I/O ส่งข้อมูลมาที่ DATA BUS สัญญาณนี้จะทำงานที่ LOW

-IOW สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ทำหน้าที่ควบคุมให้อุปกรณ์ I/O อ่านข้อมูลจาก DATA BUS สัญญาณนี้จะทำงานที่ LOW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ-33-ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AEN สัญญาณเข้าพท (OUTPUT SIGNAL) จะทำงานที่ HIGH ใช้เมื่อไม่ต้องการให้ระบบติดต่อกับอุปกรณ์ I/O



รูปที่ 3.8 แสดงการจัดขาสัญญาณบนสล็อตของคอมพิวเตอร์

ข) ส่วนแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR)

ในที่นี้เราใช้ไอซีเบอร์ ADC0808 ซึ่งสามารถรับสัญญาณแอนาล็อก (ANALOG INPUT) ได้ 8 ช่อง (CHANNEL) ให้สัญญาณดิจิทัล (DIGITAL OUTPUT) 8 บิต
 ขาค่าคุณที่ใช้มีดังนี้

- ALE (ADDRESS LOAD ENABLE) ทำหน้าที่ LATCH MULTIPLEXER ADDRESS INPUT และทำงานเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (CLOCK) เปลี่ยนจาก LOW (0) TO HIGH (1)
- ADDRESS (A, B, C) ทำหน้าที่ในการเลือกช่องสัญญาณเข้า (INPUT CHANNEL)
- START OF CONVERSION ควบคุมการเริ่มทำงานของการแปลงสัญญาณแอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล
- OUTPUT ENABLE ควบคุมการส่งสัญญาณดิจิทัล (DIGITAL OUTPUT)
- สัญญาณนาฬิกา (CLOCK) 447 KHz ได้จากสัญญาณ OSC ทารด้วย 32 ซึ่งในที่นี้

ค) ส่วนแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (DIGITAL TO ANALOG CONVERTER)

ส่วนนี้ใช้ไอซีเบอร์ DAC0808 แปลงสัญญาณดิจิทัล 8 บิต เป็นสัญญาณอนาล็อก 0-10 โวลต์

ง) ส่วนพักข้อมูล (STORAGE REGISTER)

- ไอซีเบอร์ 74LS245 (BI-DIRECTIONAL BUS TRANCEIVER) เป็นส่วนพักข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ส่งมา และยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก A/D ไปยังคอมพิวเตอร์อีกด้วย กล่าวคือ 74LS245 สามารถส่งข้อมูลได้ 2 ทาง

- ไอซีเบอร์ 74LS244 (BUFFERS AND LINE DRIVERS) ช่วยให้สัญญาณควบคุมที่ผิดเพี้ยนไปให้อยู่ในรูปสัญญาณที่ถูกต้อง

- ไอซีเบอร์ 74LS278 (STORAGE REGISTER) เป็น OCTAL D-FLIP FLOPS การทำงานจะควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกาจากวงจรถอดรหัส (DECODER) ในการทำงานของไอซีเบอร์นี้เราจะต้องให้สัมพันธ์กับ ADDRESS BUS และ CONTROL BUS (-IOW) ด้วยในการทำงานของ D-FLIP FLOPS นั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (CLOCK) เปลี่ยนจาก LOW (0) เป็น HIGH (1) เท่านั้นดังรูป

Figure 7-10. Waveforms of D-type flip-flop.

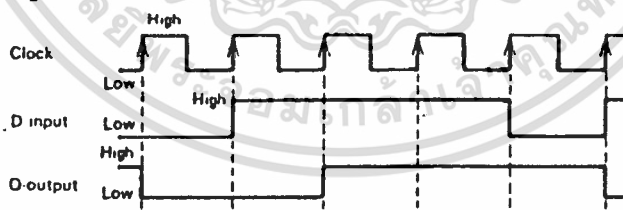
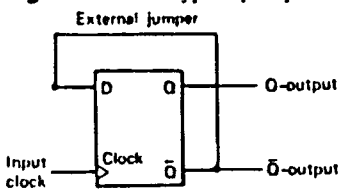


Figure 7-11. D-type flip-flop connected as toggle stage.



รูปที่ 3.11 แสดงการทำงานของฟลิปฟลอป-ดี (D FLIP-FLOP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ -36- ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ซอฟต์แวร์ (SOFTWARE)

เป็นส่วนโปรแกรมที่จะทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ ให้สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการคือ ให้รับค่าข้อมูล (สัญญาณที่แทนค่าอุณหภูมิ) ของกระบวนการ แล้วทำการแสดงผลอุณหภูมิบนจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมนั้นซึ่งในที่นี้ ได้เขียนด้วย ภาษาปาสคาล (PASCAL LANGUAGE) จะทำการคำนวณตามสมการ PID ที่ ได้ กำหนดเอาไว้ในโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม สามารถเขียนได้เป็นโฟลว์ชาร์ต (flowchart) ได้ดังรูป 3.14 จากโฟลว์ชาร์ต จะพบว่าในโปรแกรมจะต้องมีค่าคงที่ หรือสมการที่ต้อง กำหนดในการควบคุมดังนี้

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าอุณหภูมิ

$$\text{ค่าศักดาไฟฟ้า} = \text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{C}) / 10$$

3.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID

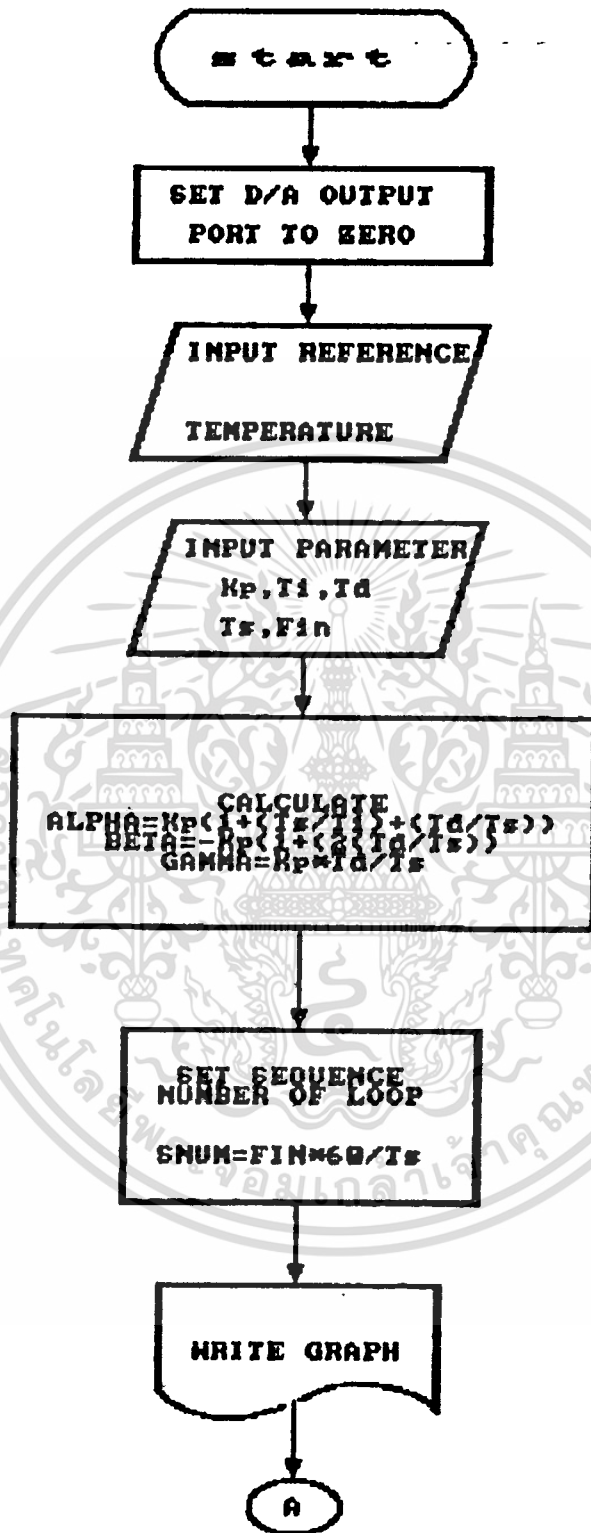
ได้แก่ K_p, T_i, T_d ซึ่งหาได้โดยการจำลองงานความร้อน ให้ระบบแล้วอ่าน ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามเวลา โดยใช้ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์เริ่มต้นของสมการ PID ตามวิธี ซีเกลอร์-นิโคลส์ ซึ่งได้กล่าวเอาไว้ในบทที่ 2

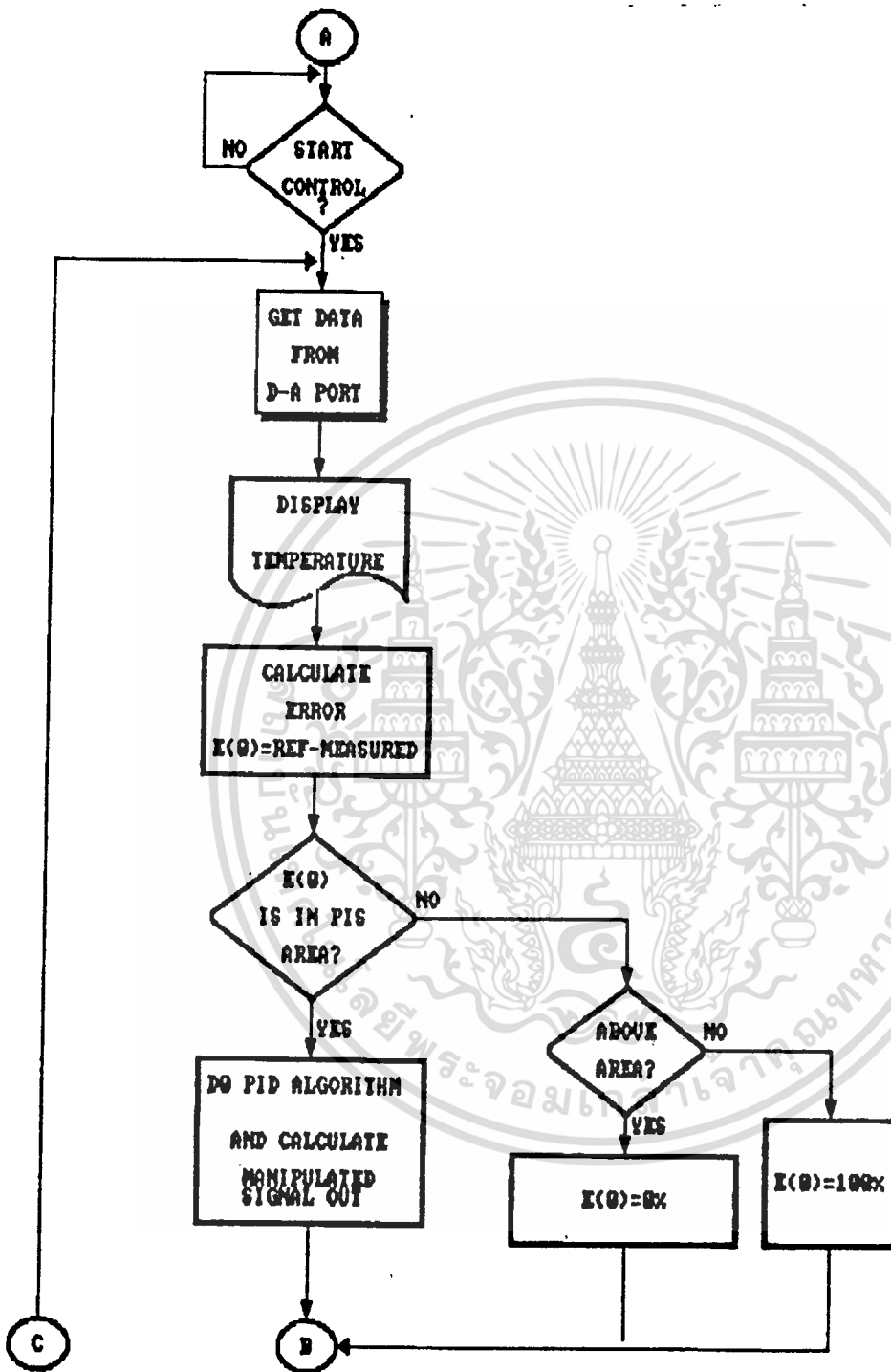
3.3.3 ค่าเวลาสุ่ม (T_s)

คือช่วงเวลาการวัดค่าข้อมูล จากกระบวนการ ซึ่งจะต้องตั้งให้เหมาะสมกับกระบวนการที่ใช้ โดยดูจากอัตราการเพิ่มหรืออัตราการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิของน้ำในกระบวนการเทียบกับเวลา

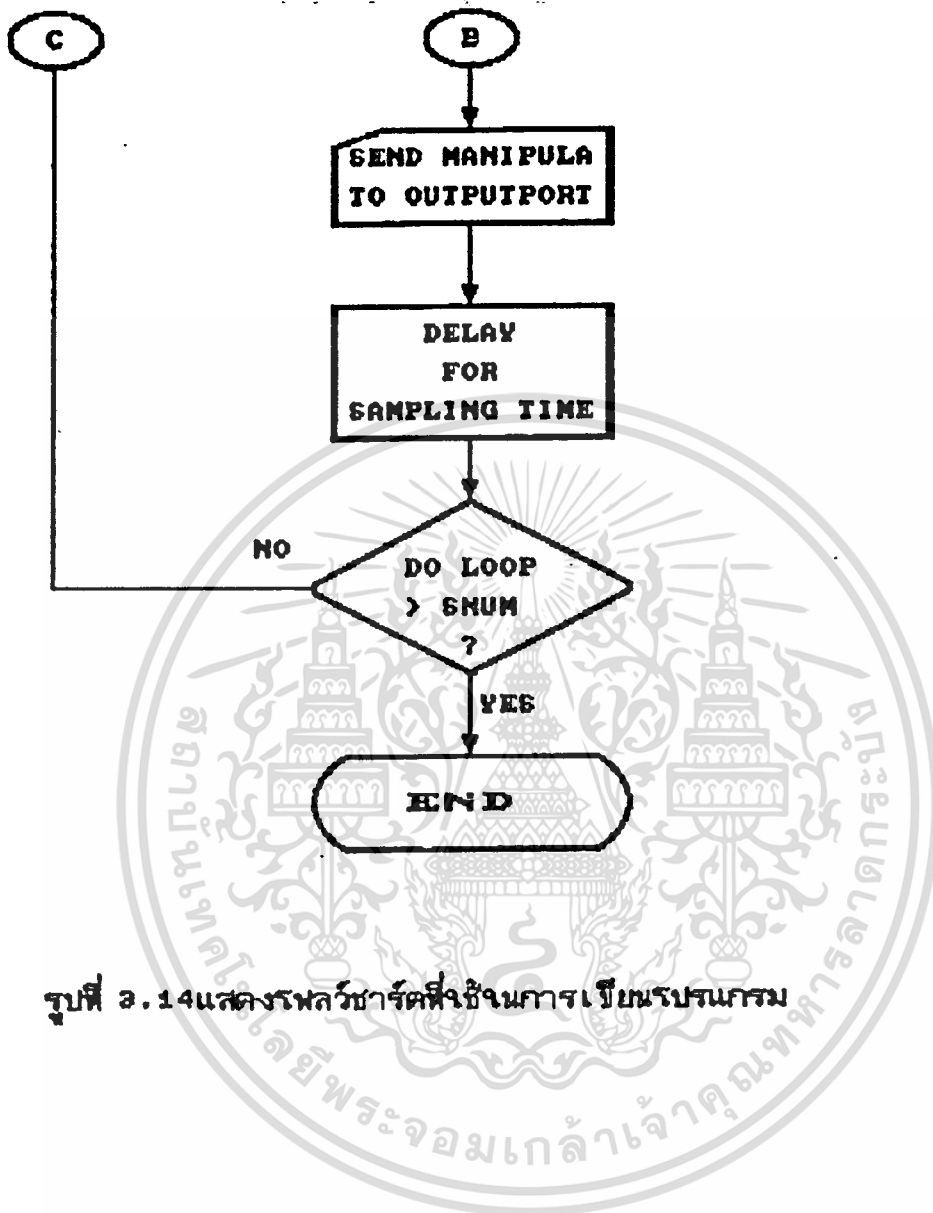
3.3.4 ค่าเวลาสิ้นสุดการควบคุม

คือช่วงระยะเวลาที่ต้องการควบคุม ช่วงเวลาควบคุมนี้ควรตั้งให้เหมาะสม ทั้งอัตราการเพิ่มอุณหภูมิและ ระดับของอุณหภูมิที่ต้องการด้วย





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.14 แสดงรหัสเวิร์กชีตที่ใช้งานการเขียนโปรแกรม

```

PROGRAM Tempcontrol (input,output);
USES Crt,Graph;
CONST  ch1=0;
VAR    ch:Char;
        ta,tim1,tmp1,fin,Ts,x,maxx,maxy: Integer;
        reftemp,Kp,Ti,Td,Alpha,Beta,Gamma: Real;

```

```

PROCEDURE Initgph;
VAR    driver,mode: Integer;
BEGIN
    Detectgraph(driver,mode);
    Initgraph(driver,mode,'');
    maxx:=getmaxx;maxy:=getmaxy;

```

```
END;
```

```
PROCEDURE Scale(f1:integer);
```

```
Var    dot1,a,b,c: integer;
```

```
        d1,tm_:string;
```

```
BEGIN
```

```
    Cleardevice;
```

```
    Line(20,276,700,276);
```

```
    Line(20,10,20,276);
```

```
    Outtextxy(5,0,'Temperature [C]');
```

```
    Outtextxy(640,280,'Time [MIN]');
```

```
    dot1:=Round(f1/3);
```

```
    a:=216;
```

```
    While a <= 616 Do
```

```

BEGIN

    Str(dot1,d1);

    Outtextxy(a,280,d1);

    dot1:=dot1+Round(f1/3);

    Line(a+4,276,a+4,271);

    a:=a+200;

END;

Line(20,265,25,265);

Outtextxy(0,265,'20');

b:=30;

c:=235;

While b<=100 Do
BEGIN
    Line(20,c,25,c);

    Str(b,tm_);

    Outtextxy(0,c,tm_);

    b:=b+10;

    c:=c-30;

END;

Outtextxy(30,340,'Press ESC -> Stop');

END;

```

```
PROCEDURE Gphdisplay(temp1:real;T,f:integer);
```

```
VAR tm2,tmp,dot2:integer;
```

```
driver,mode:integer;
```

```
st,ti:String;
```

```
BEGIN
```

```

setviewport(0,0,maxx,maxy,true);

Str(temp1:3:3,st);

ta:=ta+T;

Str(ta,ti);

If temp1 < 20 Then

tmp:=265+(Round((20-temp1)*11/20))

else

tmp:=265-(Round(temp1-20)*3);

dot2:=Round(f/3);

tim2:=Round(tim1+(10*T/(3*dot2)));

Moveto(tim1,tmp1);

Lineto(tim2,tmp);

tim1:=tim2;

tmp1:=tmp;

setviewport(0,300,maxx,maxy-20,true);

clearviewport;

Outtextxy(40,0,'CH1 = ');

Outtextxy(85,0,st);

Outtextxy(150,0,'C');

Outtextxy(200,0,'TIME = ');

Outtextxy(260,0,ti);

Outtextxy(300,0,'SEC');

END;

```

```
PROCEDURE PIDprocess (rtemp,alp,be,gam:Real;T,fn:Integer);
```

```
CONST pidarea = 2.0;
```

```
VAR snum:integer;
```

```

pidzone : real;

temp1,temp2:real;

AD1,AD2,mm,m1:byte;

e0,e1,e2,m0:real;

ch:char;

```

```

BEGIN

```

```

    tim1:=20;tmp1:=276;ta:=0;

```

```

    ch:=#00;

```

```

    Initgph;

```

```

    Scale(fn);

```

```

    snum:=Round(((fn*60)/T)+0.5);

```

```

    e1:=0;

```

```

    e2:=0;

```

```

    m1:=0;

```

```

    Repeat

```

```

        BEGIN

```

```

            Port[#300]:= ch1; {select channel A/D channel 1 }

```

```

            Delay(12); {delay for convert to digital}

```

```

            AD1:= Port[#300];

```

```

                {get data}

```

```

            temp1:=AD1*100/255;

```

```

            e0:=AD1-(rtemp/20/0.019531);

```

```

            pidzone:=pidarea/20/0.019531;

```

```

            If Abs(e0)>=pidzone Then

```

```

                BEGIN

```

```

                    m0:=m1+(a1p*e0)+(b1e*e1)+(g1m*e2);

```

```

                    mm:=Round(m0+0.5);

```

-45-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if mm>150 then mm:=150;
        if mm<64 then mm:=64;

    END;

    If e0>pidzone Then mm:=150;
    If e0<-pidzone Then mm:=64;

    Port[#301]:=mm;

    m1:=mm;
    e1:=e0;
    e2:=e1;
    If Keypressed Then ch:=Readkey;
    If ch<> #27 Then
    BEGIN
        Delay(T#1000);
        Gphdisplay(temp1,T,fn);
    END
    Else Closegraph;

END;

until ch=#27;

END;

{end for PID Process}

BEGIN {MAIN}

    Port[#301]:=00;{set zero port [HEX]301}
    Port[#302]:=00;{set zero port [HEX]302}

    {set all parameter}

    ClrScr;

    Write('set the desired temperature degree celcius ');

    Readln(reftemp);

```

```

Write ('input PID coefficient Kp,Ti,Td ');
Readln(Kp,Ti,Td);
Write('input sample time period (Ts)in seconds ');
Readln(Ts);
Write('input final time (minute)');
Readln(fin);

alpha:=Kp*(1+(Ts/Ti)+(Td/Ts));
beta :=-1*(Kp*(1+2*(Td/Ts)));
gamma:=Kp*Td/Ts;
Writeln (Alpha,Beta,Gamma);
PIDprocess(reftemp,Alpha,Beta,Gamma,Ts,fin);

```

END.



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

4.1.1 การทดลองแบบที่ 1

การทดลองนี้มีวิธีการทดลองดังนี้คือ

ก) ทำการทดลอง โดยใช้ น้ำ เป็น สารทดสอบ นั่นคือ น้ำ จะ รับ พลังงาน คลื่น ไมโครเวฟ ที่ มา จาก หลอด แมกนีตรอน โดย ปริมาตร ของ น้ำ ที่ ใช้ ทดสอบ ใน ที่ นี้ คือ 400 ลูกบาศก์ เซนติเมตร บรรจุ ใน ภาชนะ รูปร่าง ทรงกระบอก ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 8 เซนติเมตร

ข) แร้ง คั้น ไฟ ฟ้า กระแส สลับ ที่ ป้อน ให้ เป็น อินพุท จะ เป็น ดัง นี้ คือ ในช่วง เริ่มต้น ของ การ ที่ จะ ทำ ให้ หลอด คิด คือ เริ่ม ปลด อย คลื่น ออก มา ได้ จะ ต้อง ป้อน ไฟ 220 โวลท์ เหมือน กับการ ใช้ งาน ของ เตาอบ โดยทั่ว ไป หลังจากนั้น เรา จะ ลด ค่า แร้ง คั้น ไฟ ฟ้า ให้ อย ใน ช่วง 180 โวลท์ เพื่อ ช่วย ใน การ ลด ค่า กำลัง งาน เอาท์ พูท ไม่ ให้ สูง จน มาก เกิน ไป แต่ เรา ก็ ไม่ สามารถ ลด ค่า ไป ได้ มาก กว่า นี้ เพราะ หลอด จะ ไม่ ทำงาน

ค) การ ปรับ สนาม แม่เหล็ก ไฟฟ้า ใน ที่ นี้ ใช้ การ สร้าง สนาม แม่เหล็ก ไฟฟ้า ไป ทัก ล้าง กับ สนาม แม่เหล็ก จาก แม่เหล็ก ถาวร เพื่อ ปรับ ให้ กำลัง งาน ไม่ สูง มาก โดย ทำ การ ทดลอง โดย ป้อน แร้ง ส ให้อุณหภูมิของน้ำที่ค่ากระแส 5 แอมป์

ง) จุ่ม เทอร์โมคัปเปิล และ เทอร์โมมิเตอร์ ลง ใน น้ำ ที่ ระดับ ความ ลึก เท่า กัน คือ ที่ ความ ลึก จาก ผิว น้ำ 4 เซนติเมตร (จาก ความ ลึก ทั้งหมด ประมาณ 9 ซม.)

จ) อ่าน ค่า และ จด บันทึก อุณหภูมิ ของ น้ำ เมื่อ เวลา เปลี่ยน ไป ด้วย การ ใช้ วิธี วัด จาก เทอร์โมมิเตอร์ วิธี หนึ่ง และ อีก วิธี คือ อ่าน ค่า จาก คอมพิวเตอร์ ซึ่ง รับ สัญญาณ มา จาก วงจร ขยาย สัญญาณ เทอร์โมคัปเปิล แล้ว จะ แสดง อุณหภูมิ ทั้ง ใน แบบ ตัว เลข บนจอ และ ใน แบบ รูป กราฟ ฟิล (graphic) โดย ทำ การ อ่าน ค่า ทุก 30 วินาที

จากการทดลองตามวิธีข้างต้นจะได้ ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของระบบขณะไม่มีการควบคุม

เวลา (นาที)	ค่าอุณหภูมิ (องศา C)	
	เทอร์โมมิเตอร์	จากคอมพิวเตอร์
0	26.5	-
0.5	28.0	26.667
1.0	30.0	30.196
1.5	31.8	*31.8
2.0	33	31.765
2.5	34.8	33.725
3.0	36	35.294
3.5	37.5	36.078
4.0	38.7	38.039
4.5	40.0	39.216
5.0	40.8	40.392
5.5	44.0	43.529
6.0	44.0	*43.0
6.5	44.0	43.253
7.0	44.5	43.922
7.5	45.5	45.882
8.0	46.0	45.882
8.5	46.8	46.173
9.0	47.5	48.235
9.5	46.8	47.843
10.0	48.2	49.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1(ต่อ)

เวลา(นาที)	เทอร์โมมิเตอร์	ค่าจากคอมพิวเตอร์
10.5	48.9	50.196
11.0	49.5	49.412
11.5	49.8	49.412
12.0	44.9	49.412
12.5	50.0	51.373
13.0	50.4	51.373
13.5	51.2	52.157
14.0	51.2	51.765
14.5	51.7	52.941
15.0	52.1	52.549
15.5	52.0	52.549
16.0	52.2	52.549
16.5	52.5	52.941
17.0	52.6	52.941
17.5	52.5	53.333
18.0	52.3	53.333
18.5	52.2	52.941
19.0	52.1	53.725
19.5	52.1	52.549
20.0	52.2	54.118
20.5	53.0	54.118
21.0	54.0	54.510
21.5	54.6	54.902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1(ต่อ)

เวลา(นาที)	เทอร์โมมิเตอร์	จากคอมพิวเตอร์
22.0	55.5	57.647
22.5	56.0	*56.0
23.0	57.0	57.647
23.5	57.5	58.039
24.0	57.2	58.431
24.5	58.6	59.216
25.0	59.0	*59.0
25.5	59.8	60.392
26.0	60.0	60.784
26.5	60.5	61.176
27.0	61.0	61.961
27.5	61.3	62.353
28.0	61.6	62.745
28.5	62.0	63.529
29.0	62.5	63.922
29.5	63.0	*63.0
30.0	63.1	64.314

หมายเหตุ

* หมายถึงมีความผิดพลาดมากในขณะอ่านค่า ด้วยคอมพิวเตอร์ จึงใช้ข้อมูลจากการอ่าน เทอร์โมมิเตอร์แทน เพื่อให้สามารถ พล็อต(plot)รูปกราฟได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

จากผลการทดลองที่ได้ เราสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID ได้

เอกสารนี้คือ เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลา สามารถคำนวณได้ โดยใช้ เครื่องคำนวณและป้อนข้อมูลระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เฉพาะในช่วงที่ค่าอุณหภูมิมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง คือในช่วงเริ่มต้นการให้ความร้อน ซึ่งจะอยู่ในช่วงประมาณ 3 นาที แรก

เมื่อใช้ข้อมูลจากเทอร์โมมิเตอร์ จะได้

$$\begin{aligned} T &= 3.2511 * t + 26.334 \\ &= 0.0542 * t + 26.334 \quad (^\circ\text{C}) \quad \dots\dots(4.1.1.1) \end{aligned}$$

และ เมื่อใช้ข้อมูลจากการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ จะได้

$$\begin{aligned} T_c &= 3.053 * t + 26.238 \\ &= 0.0509 * t + 26.238 \quad (^\circ\text{C}) \quad \dots\dots(4.1.1.2) \end{aligned}$$

เมื่อ T, T_c เป็นค่าอุณหภูมิ ที่เวลา t ใดๆ
 t เป็นค่าเวลา ในหน่วยวินาที

ซึ่งถ้าเราพิจารณาว่า ที่เงื่อนไขการอินพุตเริ่มต้นที่ใช้เป็นกำลังงาน 100% (คือ ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 180 โวลต์ ค่าสนามแม่เหล็กทิศทางหักล้าง 5 แอมป์)

จากทฤษฎีการประมาณค่า ความสัมพันธ์ของ ซีเกลอร์-นิโคลส์ ที่ได้กล่าวไว้ใน บทที่ 2 หัวข้อ 2.6 และในที่นี้จะใช้สมการที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์ ค่า L และ r ใน ตารางที่ 2.2 คือ

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ต่อเวลา (r)

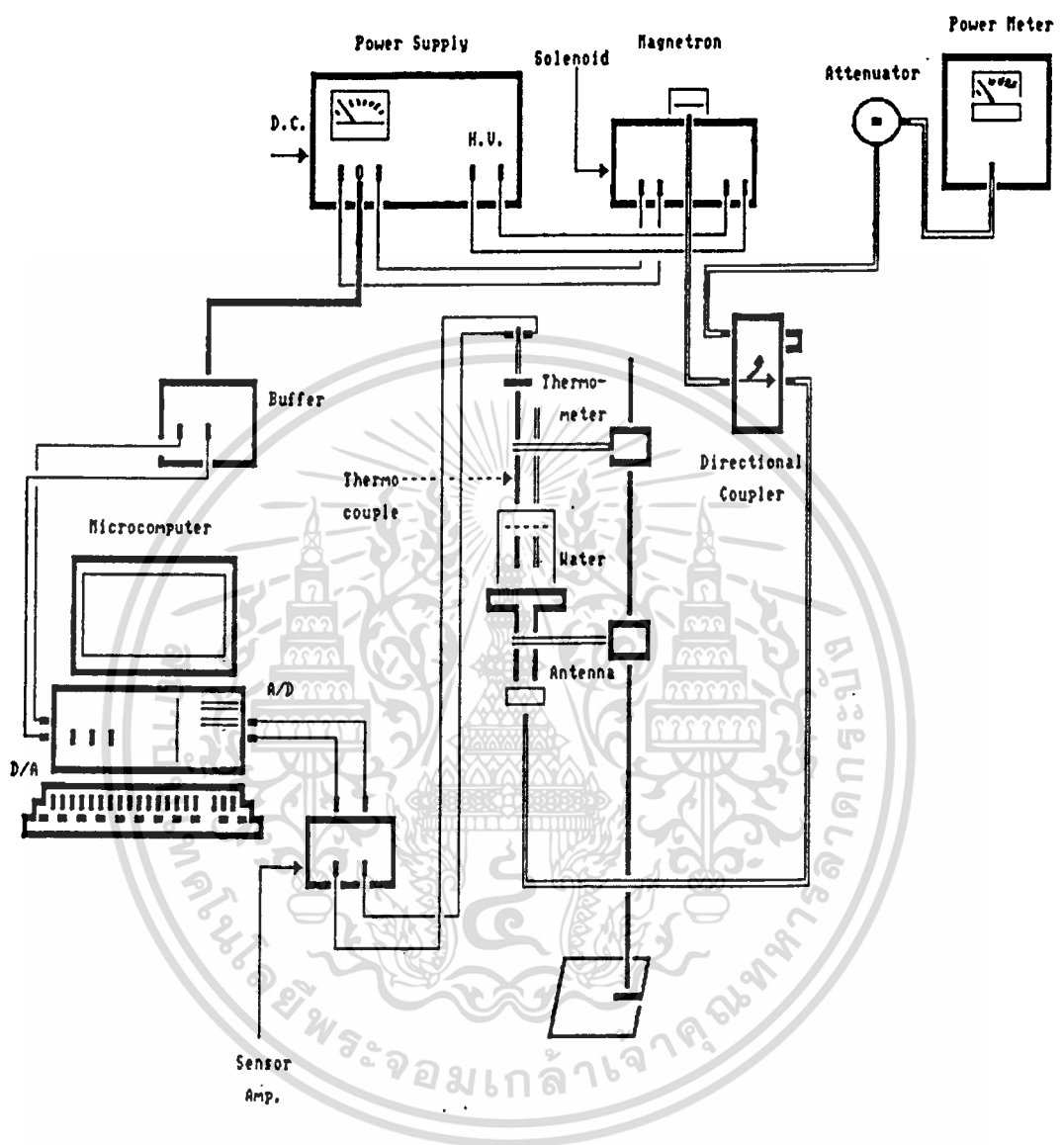
$$\begin{aligned} r &= R \text{ (เนื่องจากทดสอบด้วยอินพุต 100\%)} \\ &= 0.0542 \quad (^\circ\text{C/วินาที}) \end{aligned}$$

ค่าเวลาหน่วง ของกระบวนการ (L)

$$\begin{aligned} &= (26.5 - 26.334) / 0.0542 \text{ วินาที} \\ &= 3.0627 \quad \text{วินาที} \end{aligned}$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ของการทดลองแสดงดังรูป

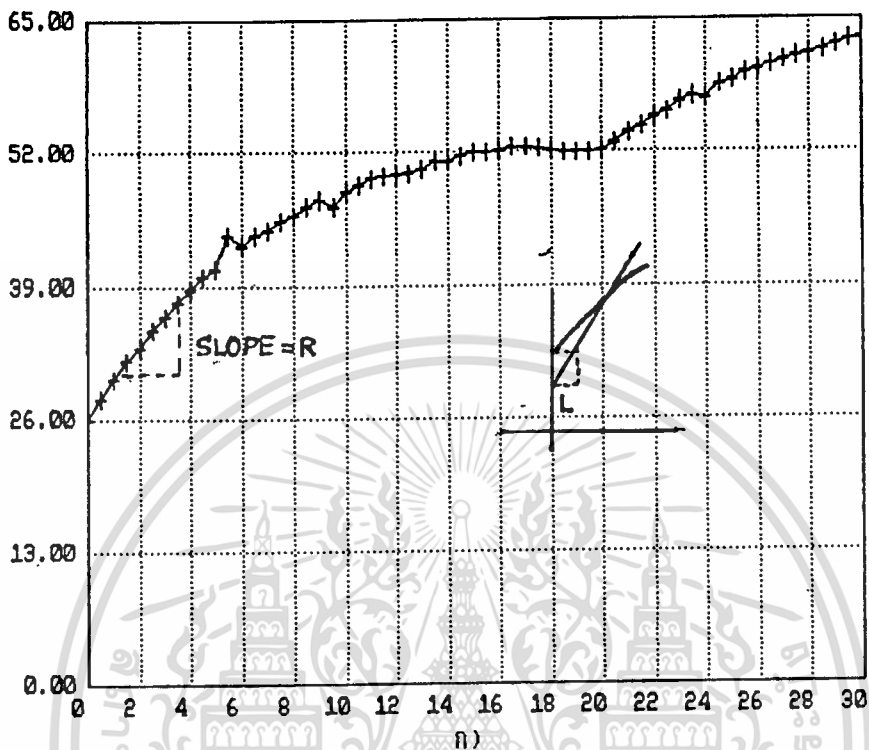
ที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการทดลองการทำงานของระบบการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

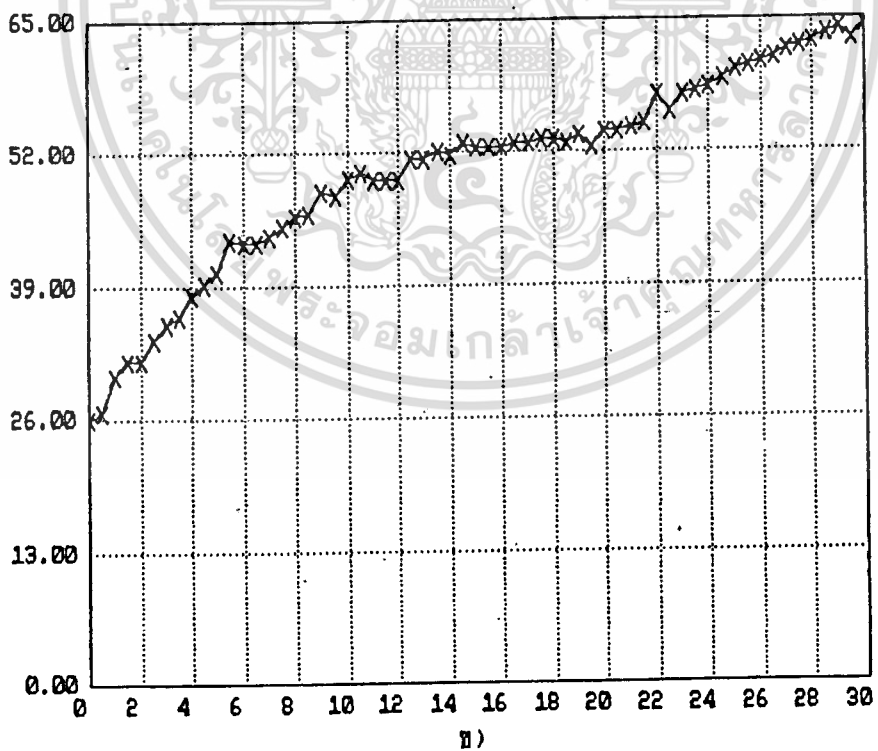
อุณหภูมิ

(°C)



เวลา

(นาที)



เวลา

(นาที)

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา และวิธีการหาค่าพารามิเตอร์

ก) อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์

ข) อ่านค่าจากจอแสดงผลผลทึ่คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างโดยระบบเอกสารใช้เองเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ PID

จากตารางที่ 2.2 การหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นก่อนการควบคุม ตามวิธีการของซีเกดอร์-นิโคลส์ โดยแทนค่า L และ R ที่ได้จากการทดลอง

$$\begin{aligned} 1) \text{ ค่าอัตราขยายสัดส่วน} \quad K_p &= 1.2/R_L \\ &= 1.2/(0.0542*3.0627) \\ &= 7.229 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ ค่าเวลาอินทิกรัล} \quad T_i &= 2L \\ &= 2*3.0627 \\ &= 6.1254 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ ค่าเวลาอัตราการเปลี่ยนแปลง} \quad T_d &= 0.5L \\ &= 1.53135 \end{aligned}$$

เมื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นนี้ได้แล้วก็นำค่าเหล่านี้เป็นข้อมูลให้กับ
รวมกับค่าอื่น ๆ ที่ทราบหรือกำหนดค่าได้ก่อนแล้วเป็นอินพุตให้แก่ซอฟต์แวร์ หรือ โปรแกรม
ที่ได้เขียนไว้ ก็ส่วนสามารถนำไปใช้ทดลองควบคุมระบบได้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

ในการศึกษาเกี่ยวกับ การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ ในการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน จากการศึกษาคลวง พบว่า สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงของระบบทั้งหมด มีหลายส่วนด้วยกัน ซึ่งจะได้กล่าวแยกพิจารณาเป็นส่วนๆ ดังนี้

เริ่มจากตัวหลอดแมกนีตรอน เนื่องจากเราต้องการนำผลการทดลองและข้อมูลที่ได้จากโครงการนี้ ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการแพทย์ ในอนาคต ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว หลอดแมกนีตรอนนี้ จึงอาจจะกล่าวได้ว่า เป็นหัวใจสำคัญของระบบก็ได้ ดังนั้น หลอดแมกนีตรอนที่จะนำมาใช้ จะต้องเลือกใช้ ให้เหมาะสมที่สุด ทั้งความถี่ และรวมทั้งค่าของกำลังงานเอาต์พุตที่จ่ายออกมา คือจะต้องมีความถี่ที่มีผลรักษาในด้านการแพทย์ ซึ่งในโครงการนี้ เราใช้ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ซึ่งเป็นความถี่ค่าหนึ่งที่มีผลในการรักษาโรคมะเร็ง แต่ในด้านกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ นี้ ยังมีข้อจำกัด หรือข้อบกพร่องอยู่บ้าง คือหลอดแมกนีตรอนชนิดที่ใช้ทำเตาอบ ที่เรานำมาทดลองนี้ มีค่ากำลังงานค่อนข้างสูงมากประมาณ 500 วัตต์ ซึ่งในการทดลองก็ได้พยายาม ทดลองลดค่ากำลังงานลงเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น การลดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุต จากที่ใช้กันตามปกติคือ 220 โวลต์ จากที่โรงงานผู้ผลิต ได้ออกแบบไว้ ก็ทดลองลดลงมาเหลือ 180 โวลต์ และไม่สามารถลดลงต่ำลงไปได้อีก เนื่องจากหลอดจะไม่สามารถทำงานต่อไปอีกได้ และการที่เราไม่ได้ใช้ค่าอินพุต ให้ตรงตามที่ออกแบบใช้งานเดิม จะทำให้การทำงานของหลอดแมกนีตรอนไม่แน่นอน มีการกระเพื่อมของคลื่นที่ปล่อยออกมาสูง ปัญหาอีกอย่างในเรื่องเกี่ยวกับ หลอดแมกนีตรอน ก็คือระบบสายนำสัญญาณที่จะต้องทนรับคลื่น ที่กำลังงานสูงมาก ทำให้อาจเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเราสามารถเลือก หรือจัดหาหลอดที่เหมาะสมมาใช้งานได้แล้ว ปัญหาเรื่องนี้ก็จะลดลงไป

ในด้านเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์ที่ได้นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบในระบบในโครงการนี้ด้วยนั้น ส่วนของวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเบิล มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมก็คือ วงจรขยายสัญญาณที่จะให้ค่าสัญญาณแปรตามค่าอุณหภูมินั้น จะต้องมีความถูกต้องแน่นอนและแม่นยำ และยังจะต้องมีเสถียรภาพอีกด้วย จึงจะส่งค่าไปที่คอมพิวเตอร์ได้ถูกต้อง ปัญหาเกี่ยวกับวงจรส่วนนี้ก็คือ เรื่องการจัดหาอุปกรณ์มาสร้างวงจรให้ตรงกับที่ออกแบบไว้ บางครั้งต้องมีการดัดแปลงวงจร เปลี่ยนไปจากเดิม เพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สามารถใช้อุปกรณ์ทดแทนได้ ทำให้คุณสมบัติของวงจรต้องด้อยลงไปบ้าง นอกจากนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่แทนค่า อุณหภูมินี้ อาจจะมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ในบางขณะ ทั้งนี้อาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดการเหนี่ยวนำ(induce)ขึ้นในสายนำสัญญาณต่างๆ อันเนื่องมาจากผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

ส่วนของงานที่เกี่ยวข้องกับค่านคอมพิวเตอร้นั้น สามารถทำงานได้ดีพอสมควร แม้จะมีปัญหาอยู่เล็กน้อยบางส่วน ที่ได้ผลไม่ตรงตามต้องการอยู่บ้าง แต่ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากผลจากส่วนอื่น ที่เกิดต่อเนื่องมา ถึงส่วน ฮาร์ดแวร์(hardware) ของคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้น ก็เป็นเรื่องเกี่ยวกับความแม่นยำถูกต้อง ของอุปกรณ์ หรือ ชิพ(chip)บางตัว เช่น ไอ.ซี ADC 0808 บางครั้งก็ยังมีข้อผิดพลาดในการแปลงสัญญาณอยู่บ้าง แต่ก็น้อยมากจนถือว่ายอมรับได้ ส่วนในด้านซอฟต์แวร์หรือตัวโปรแกรมที่ใช้ นั้น เมื่อมีการพัฒนาระบบ ในส่วนประกอบอื่นๆ ส่วนของซอฟต์แวร์นี้ก็จะต้องมีการพัฒนาตามไปด้วย เช่น เมื่อมีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (sensor) เพิ่มมากขึ้น โปรแกรมก็จะต้องมีการเพิ่มส่วนรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และส่วนแสดงผลก็ต้องพัฒนาให้สามารถแสดงผล อุณหภูมิของตัวตรวจวัดอุณหภูมิทุกๆตัวได้ด้วย

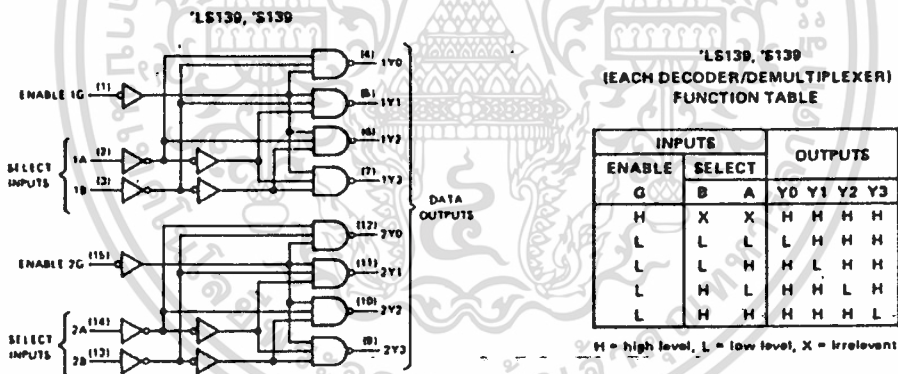
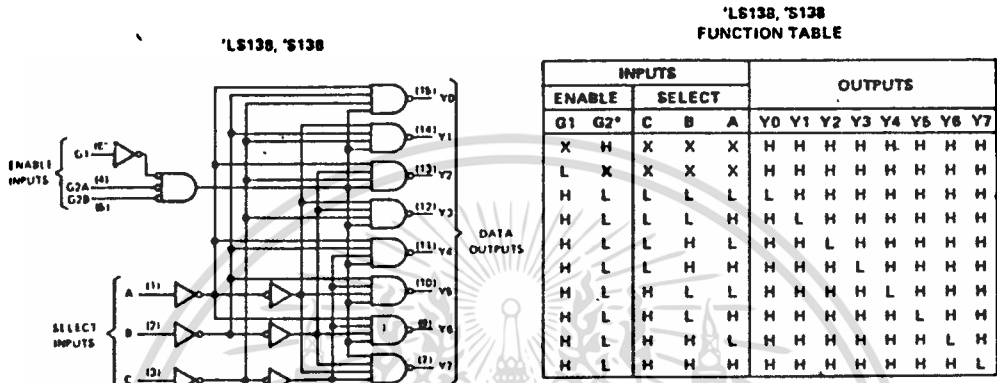
ในด้านการศึกษาเกี่ยวกับควบคุมแบบต่างๆ โดยเฉพาะ การควบคุมแบบPID นั้น ก็จะต้องทำการทดลองหลายครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด นอกจากนี้ การควบคุมแบบPID นี้ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงส่วนของระบบไป เช่น มีการเปลี่ยนชนิดสารทดสอบ การเปลี่ยนตัวจ่ายพลังงาน เช่น สายอากาศ ก็จะต้องทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลใหม่ เพื่อที่จะได้ใช้หาค่าพารามิเตอร์ของระบบเป็นค่าใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับระบบใหม่นั้นเอง

ถึงแม้ว่าระบบนี้ จะมีปัญหาหรือ ส่วนประกอบที่จะต้องพัฒนาอีกมากพอสมควร แต่ก็น่าจะเป็นประโยชน์หรือ เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการพัฒนาปรับปรุงในโอกาสต่อไป ว่า ควรจะต้องมีการพัฒนา หรือ เพิ่มเติมส่วนใด ให้ดีขึ้นบ้าง จนถึงจุดที่ การพัฒนาสามารถไปถึงการใช้งานเป็นเครื่องรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟได้อย่างแท้จริง

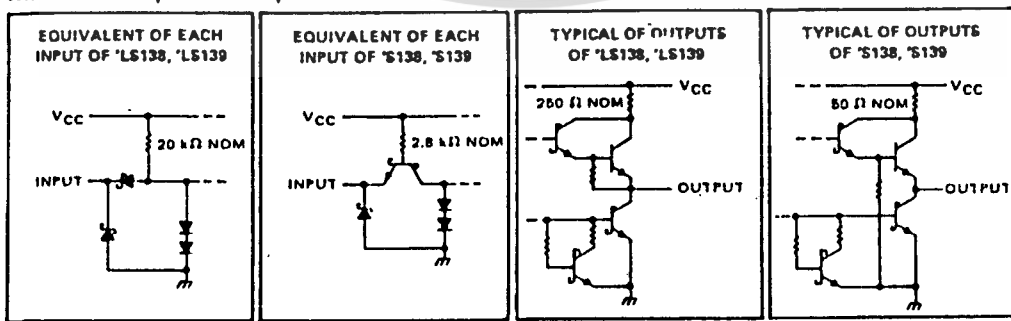
ภาคผนวก

TYPES SN54LS138, SN54S138, SN54LS139, SN54S139 SN74LS138, SN74S138, SN74LS139, SN74S139 DECODERS/DEMULTIPLEXERS

functional block diagrams and logic



schematics of inputs and outputs



TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED
POST OFFICE BOX 5012 • DALLAS, TEXAS 75222

7-135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TTL
MSI**

**TYPES SN54LS138, SN54LS139, SN54S138, SN54S139,
SN74LS138, SN74LS139, SN74S138, SN74S139
DECODERS/DEMULTIPLEXERS**

BULLETIN NO. DL-S 7811804, DECEMBER 1972—REVISED OCTOBER 1976

- Designed Specifically for High-Speed: Memory Decoders Data Transmission Systems
- 'S138 and 'LS138 3-to-8-Line Decoders Incorporate 3 Enable Inputs to Simplify Cascading and/or Data Reception
- 'S139 and 'LS139 Contain Two Fully Independent 2-to-4-Line Decoders/ Demultiplexers
- Schottky Clamped for High Performance

TYPE	TYPICAL PROPAGATION DELAY (3 LEVELS OF LOGIC)	TYPICAL POWER DISSIPATION
'LS138	22 ns	32 mW
'S138	8 ns	245 mW
'LS139	22 ns	34 mW
'S139	7.5 ns	300 mW

description

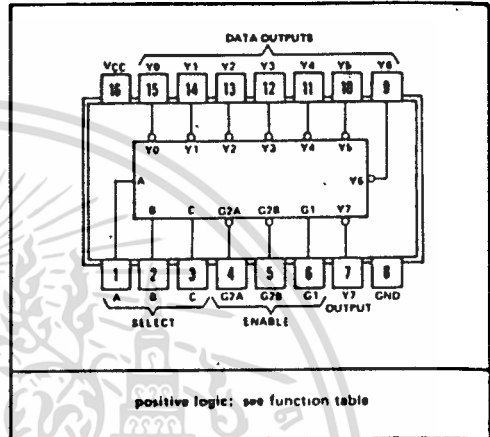
These Schottky-clamped TTL MSI circuits are designed to be used in high-performance memory-decoding or data-routing applications requiring very short propagation delay times. In high-performance memory systems these decoders can be used to minimize the effects of system decoding. When employed with high-speed memories utilizing a fast-enable circuit the delay times of these decoders and the enable time of the memory are usually less than the typical access time of the memory. This means that the effective system delay introduced by the Schottky-clamped system decoder is negligible.

The 'LS138 and 'S138 decode one-of-eight lines dependent on the conditions at the three binary select inputs and the three enable inputs. Two active-low and one active-high enable inputs reduce the need for external gates or inverters when expanding. A 24-line decoder can be implemented without external inverters and a 32-line decoder requires only one inverter. An enable input can be used as a data input for demultiplexing applications.

The 'LS139 and 'S139 comprise two individual two-line-to-four-line decoders in a single package. The active-low enable input can be used as a data line in demultiplexing applications.

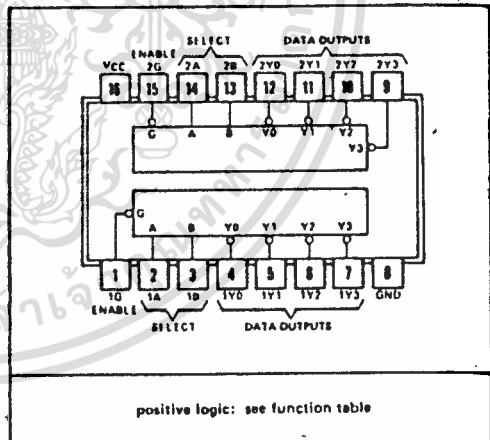
All of these decoders/demultiplexers feature fully buffered inputs each of which represents only one normalized Series 54LS/74LS load ('LS138, 'LS139) or one normalized Series 54S/74S load ('S138, 'S139) to its driving circuit. All inputs are clamped with high-performance Schottky diodes to suppress line-ringing and simplify system design. Series 54LS and 54S devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C; Series 74LS and 74S devices are characterized for 0°C to 70°C industrial systems.

SN54LS138, SN54S138 ... J OR W PACKAGE
SN74LS138, SN74S138 ... J OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



positive logic: see function table

SN54LS139, SN54S139 ... J OR W PACKAGE
SN74LS139, SN74S139 ... J OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



positive logic: see function table

TYPES SN54LS240, SN54LS241, SN54LS244, SN54S240, SN54S241, SN74LS240, SN74LS241, SN74LS244, SN74S240, SN74S241 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

	Typical I _{OL} (Sink Current)	Typical I _{OH} (Source Current)	Typical Propagation Delay Times		Typical Enable/Disable Times	Typical Power Dissipation (Enabled)	
			Inverting	Noninverting		Inverting	Noninverting
SN54LS*	12 mA	-12 mA	10.5 ns	12 ns	18 ns	130 mW	135 mW
SN74LS*	24 mA	-15 mA	10.5 ns	12 ns	18 ns	130 mW	135 mW
SN54S*	48 mA	-12 mA	4.5 ns	6 ns	9 ns	450 mW	538 mW
SN74S*	64 mA	-15 mA	4.5 ns	6 ns	9 ns	450 mW	538 mW

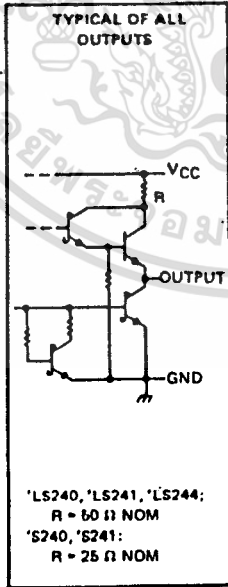
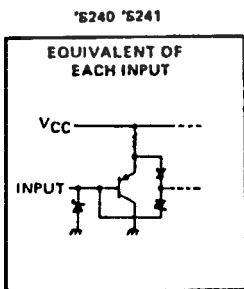
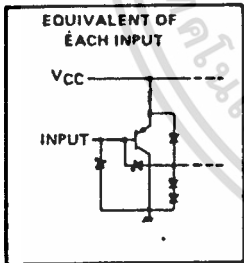
- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- P-N-P Inputs Reduce D-C Loading
- Hysteresis at Inputs Improves Noise Margins

description

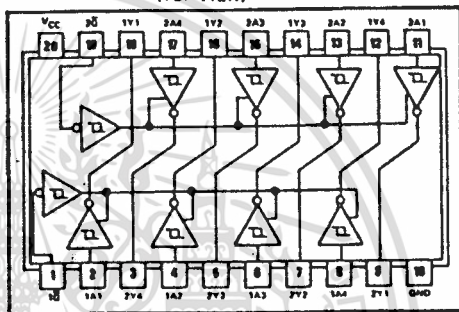
These octal buffers and line drivers are designed specifically to improve both the performance and density of three-state memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented receivers and transmitters. The designer has a choice of selected combinations of inverting and noninverting outputs, symmetrical \bar{G} (active-low output control) inputs, and complementary \bar{G} and \bar{G} inputs. These devices feature high fan-out, improved fan-in, and 400-mV noise-margin. The SN74LS* and SN74S* can be used to drive terminated lines down to 133 ohms.

schematics of inputs and outputs

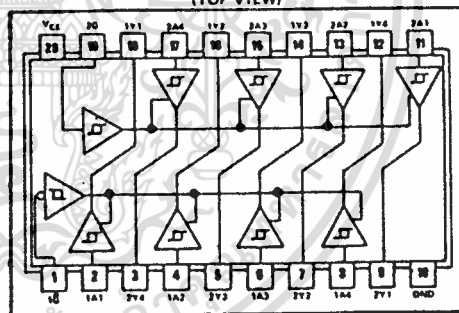
'LS240, 'LS241, 'LS244



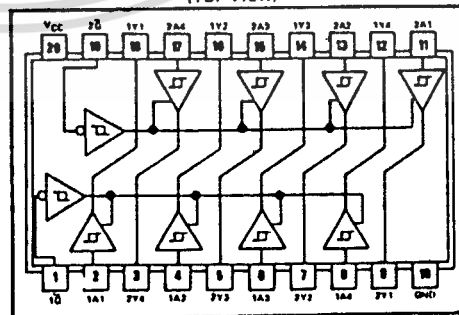
SN54LS240, SN54S240... J
SN74LS240, SN74S240... J OR N
(TOP VIEW)



SN54LS241, SN54S241... J
SN74LS241, SN74S241... J OR N
(TOP VIEW)



SN54LS244... J
SN74LS244... J OR N
(TOP VIEW)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TTL
MSI

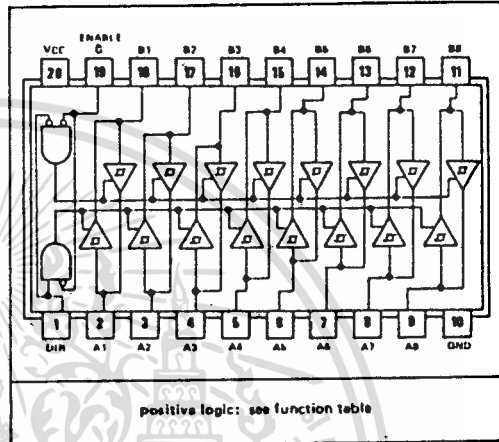
TYPES SN54LS245, SN74LS245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

BULLETIN NO. DLS 12471, OCTOBER 1976—REVISED FEBRUARY 1979

- Bi-directional Bus Transceiver in a High-Density 20-Pin Package
- 3-State Outputs Drive Bus Lines Directly
- P-N-P Inputs Reduce D-C Loading on Bus Lines
- Hysteresis at Bus Inputs Improve Noise Margins
- Typical Propagation Delay Times, Port-to-Port . . . 8 ns
- Typical Enable/Disable Times . . . 17 ns

TYPE	I_{OL} (SINK CURRENT)	I_{OH} (SOURCE CURRENT)
SN54LS245	17 mA	-12 mA
SN74LS245	24 mA	-15 mA

SN54LS245 . . . J PACKAGE
SN74LS245 . . . J OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



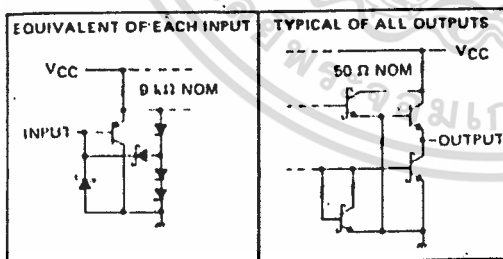
description

These octal bus transceivers are designed for asynchronous two-way communication between data buses. The control function implementation minimizes external timing requirements.

The device allows data transmission from the A bus to the B bus or from the B bus to the A bus depending upon the logic level at the direction control (DIR) input. The enable input (\bar{G}) can be used to disable the device so that the buses are effectively isolated.

The SN54LS245 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74LS245 is characterized for operation from 0°C to 70°C .

schematics of inputs and outputs



FUNCTION TABLE

ENABLE \bar{G}	DIRECTION CONTROL DIR	OPERATION
L	L	B data to A bus
L	H	A data to B bus
H	X	Isolation

H = high level, L = low level, X = irrelevant

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	7 V
Input voltage	7 V
Off-state output voltage	5.5 V
Operating free-air temperature range: SN54LS ¹	-55°C to 125°C
SN74LS ²	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

NOTE 1. Voltage values are with respect to network ground terminal.

Copyright © 1979 by Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 275012 • DALLAS, TEXAS 75225

7-349

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

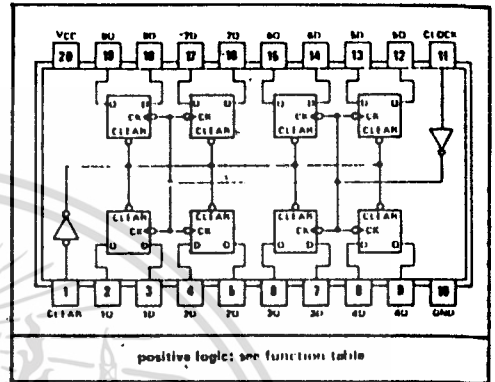
TTL
MSI

TYPES SN54273, SN54LS273, SN74273, SN74LS273
OCTAL D-TYPE FLIP-FLOP WITH CLEAR

BULLETIN NO. DL-5 7612091, OCTOBER 1976

- Contains Eight Flip-Flops with Single-Rail Outputs
- Buffered Clock and Direct Clear Inputs
- Individual Data Input to Each Flip-Flop
- Applications Include:
Buffer/Storage Registers
Shift Registers
Pattern Generators

SN54273, SN54LS273 ... J PACKAGE
SN74273, SN74LS273 ... J OR N PACKAGE



description

These monolithic, positive-edge-triggered flip-flops utilize TTL circuitry to implement D-type flip-flop logic with a direct clear input.

Information at the D inputs meeting the setup time requirements is transferred to the Q outputs on the positive-going edge of the clock pulse. Clock triggering occurs at a particular voltage level and is not directly related to the transition time of the positive-going pulse. When the clock input is at either the high or low level, the D input signal has no effect at the output.

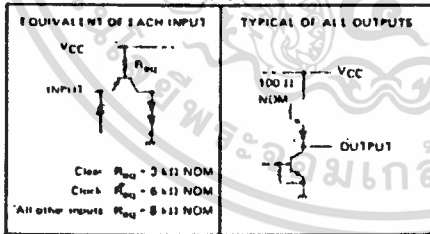
These flip-flops are guaranteed to respond to clock frequencies ranging from 0 to 30 megahertz while maximum clock frequency is typically 40 megahertz. Typical power dissipation is 39 milliwatts per flip-flop for the '273 and 10 milliwatts for the 'LS273.

FUNCTION TABLE
(EACH FLIP-FLOP)

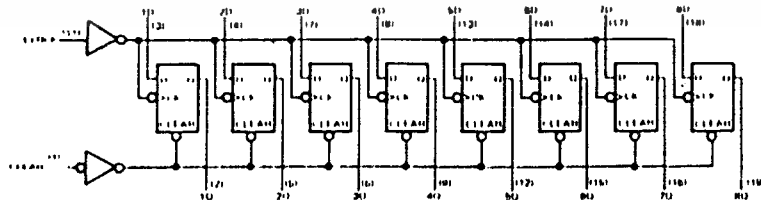
INPUTS			OUTPUT
CLEAR	CLOCK	D	Q
L	X	X	L
H	1	H	H
H	1	L	L
H	L	X	Q ₀

See explanation of function tables on page 3-8.

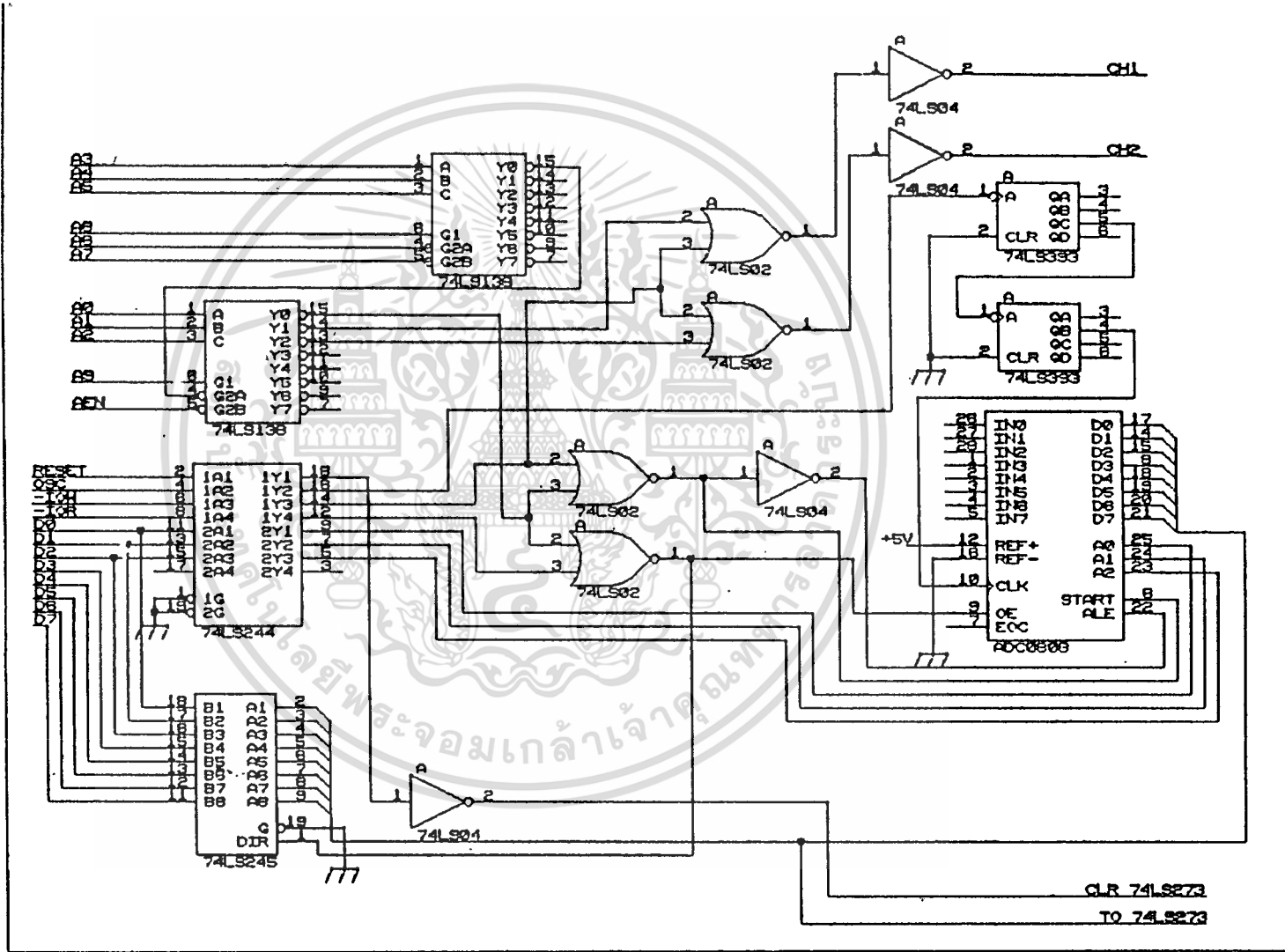
schematics of inputs and output
'273



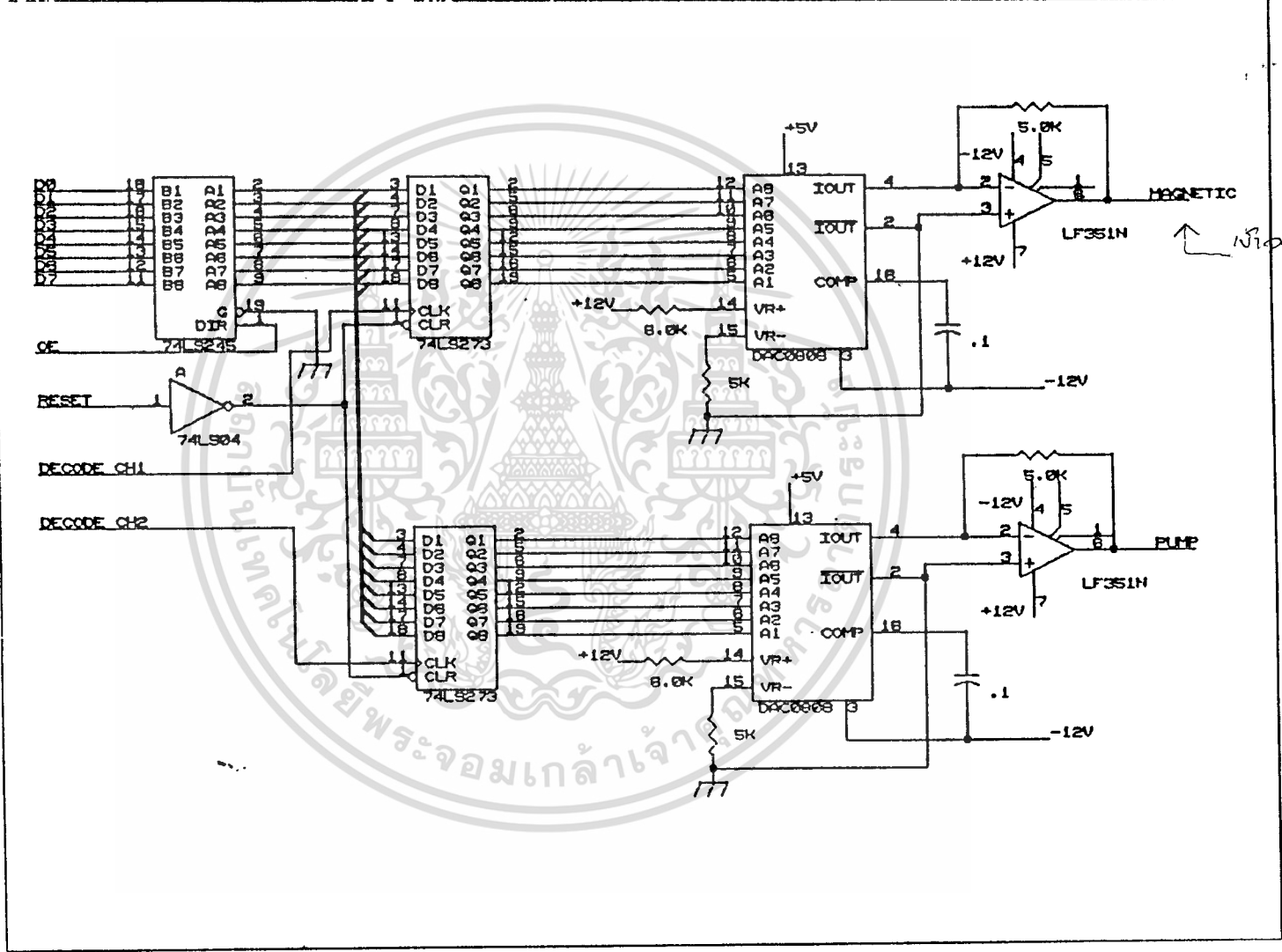
functional block diagram



ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบระบบดิจิทัล และระบบฝังตัว



ขอเสนอโครงข่ายของระบบการควบคุมมอเตอร์ 2 เฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์



↑ Voltage buffer

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้โดยรับคำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก
อาจารย์ที่ปรึกษา คือ

ผศ. ไมโนย ไกรฤกษ์

อ. กิตติชัย พาณิชปฐมนพงศ์

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณผู้
ลาตกระบัง ทั้งนี้เพราะโครงการนี้ได้แนวทางและข้อมูลบางส่วนมาจากปริญญานิพนธ์ของรุ่นพี่
ปีการศึกษาที่ผ่านมา ตลอดจนเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่ได้เคยให้คำแนะนำและช่วยเหลือใน
การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางนิสฺสัทธิ วงศ์สินทิ

นายนิเชษฐ เขี้ยวธนกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1) บุญเลิศ เอี่ยมทัศนาศนา, "เรซินรู้ ภาษาปาสคาลด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0-5.0", ซีเอ็ดดูเคชั่น 273 หน้า, 2532
- 2) ชานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์, ทินกร คึก, "การอินเทอร์เฟส IBM PC", พลิทส์เซ็นเตอร์, 256 หน้า
- 3) กิตติ ศิริเศรษฐ, "อุปกรณ์วัดและการควบคุมขบวนการ".
- 4) "คู่มือเทียบเบอร์ไอซี ที่ทันแล (The World IC Data & Cross-Reference Guide), ซีเอ็ดดูเคชั่น, 398 หน้า
- 5) Darold Wobschall, "Circuit Design for Electronic instrumentation Anaolg and Digital Devices from sensor to display), Mc Graw-Hill Book Company.
- 4) Lewis C. Eggebrecht, "Interfacing To The IBM Personal Computer", Howard W. Sam & Co., Inc., 246 p., 1983
- 5) Louis Nashelsky, "Introduction to Digital Technology", John Wiley and Sons.
- 6) Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", Prentice-Hall, 836p., 1987.
- 7) "The TTL Data Book for Design Engineers", Texas Instrument incorporated.
- 8) "Linear and Interface Circuit Applications", Mc Graw-Hill (Texas Instrument).
- 9) Bennett, s. and Linkens, D.A. (eds.), " Real-time Computer Control , Peter Peregrinus, Stevenage, 1984.
- 10) George B. Collins, "MICROWAVE MAGNETRON", Mc Graw-Hill Book Company , Inc., 1948.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้