

การควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนโดยใช้คอมพิวเตอร์
(COMPUTER - BASED MAGNETRON CONTROL POWER)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033315

การควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนโดยใช้คอมพิวเตอร์
(COMPUTER-BASED MAGNETRON POWER CONTROL)

นาย สุวัฒน์ สติรเรืองชัย 33100462
น.ส. เสาวลักษณ์ ลีวัณนะ 33100466

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผ.ศ. โมโนย โกรฤกษ์
ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการนำไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer) มาประยุกต์ใช้ ในการควบคุมกำลังงานเอาต์พุทของหลอดแมกนีตรอน (out power of magnetron) โดยใช้หลอดแมกนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟ (microwave) มาให้ความร้อนกับน้ำ โดยมีเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับความร้อน (sensor) ซึ่งจะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่แปรตามค่าอุณหภูมิไปที่คอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ทางจอของไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามค่าที่เราต้องการ โดยการคำนวณหาค่าผิดพลาด และสั่งงานแก้ไขไปยังวงจรภายนอก ให้ปรับค่ากำลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามที่เราต้องการ โดยมีจุดประสงค์ที่จะนำการทดลองที่ได้จากโครงการนี้ ไปประยุกต์ใช้งานด้านการแพทย์ในอนาคต คือนำไปพัฒนา เป็นเครื่องรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (hyperthermia)

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 Block Diagram	2
2.2 หลอดแมกนีตรอน	3
2.2.1 หลักการทำงานของหลอดแมกนีตรอน	
2.2.2 สมการแสดงปรากฏการณ์ของหลอดแมกนีตรอนที่สำคัญ	
2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	9
2.3.1 ซีเบคเอฟเฟค	
2.3.2 ลักษณะเฉพาะของเทอร์โมคัปเปิ้ล	
2.3.3 เทอร์โมคัปเปิ้ลที่ใช้ทั่วไป	
2.3.4 สายเอ็กเพนชัน	
2.3.5 เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน	
2.4 ระบบควบคุม	18
2.5 PID Digital	23
2.6 การประมาณค่าตามวิธีเรซิดิวซ์	25
2.7 หลักการของไดเรคชันคัปเปิลอร์	27
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	34
3.1 การออกแบบและการสร้างวงจรมหาสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ล	
3.2 การออกแบบสร้างแผ่นการ์ดอินเตอร์เฟส	35
3.3 Software ในการแสดงผลออกทางจอภาพ	42
3.4 การควบคุมกำลังขยายของหลอดแมกนีตรอน	54
3.5 การออกแบบและการสร้าง Directional Coupler	55
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน เราจะพบว่าได้มีการนำคลื่นไมโครเวฟ (microwave) มาใช้ประโยชน์ในหลายๆด้านดังเช่น ในการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave communication) หรือในงานอุตสาหกรรมการให้ความร้อน (microwave heating) นอกจากนี้ยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในครัวเรือน อันได้แก่ เตาอบไมโครเวฟ (microwave oven) หรือที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างยิ่งก็คือการนำคลื่นไมโครเวฟ มาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น เครื่องมือผ่าตัดรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ในการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้งานนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ก็คือการเลือกความถี่และกำลังงานให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยทั่วไปในการให้ความร้อน จะนิยมใช้ที่ความถี่ประมาณ 2450 เมกะเฮิรตซ์ (megahertz) ส่วนกำลังที่ใช้งานกันนั้น จะอยู่ในช่วง 50 - 930 วัตต์ (watt)

เนื่องจากโครงการนี้ ต้องการที่จะศึกษาถึงการใช้คลื่นไมโครเวฟในทางการแพทย์ ดังนั้น การควบคุมกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ จึงต้องมีความถูกต้องแม่นยำ นอนค่อนข้างสูง และมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดจึงควรเป็นระบบควบคุมดิจิทัลคอมพิวเตอร์ (digital computer control system) ทั้งนี้เพราะคอมพิวเตอร์มีความเร็วในการทำงาน และมีความสามารถในการคำนวณสูง ทำให้สามารถควบคุมระบบได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ สำหรับโครงการนี้ ใช้หลอดแมกนีตรอนที่นำมาจากเตาอบไมโครเวฟ มาให้ความร้อนแก่สารละลายทดสอบ แล้วแสดงผลอุณหภูมิ และควบคุมกำลังงานที่จ่ายแก่ระบบ (เท่ากับเป็นการควบคุมอุณหภูมิ) เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ด้วยการใช้วิธีการอินเตอร์เฟส (interface) ระหว่าง ตัวปรับกำลังงาน (power controller) กับไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อไป

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นบทต่าง ๆ ดังนี้คือ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการของระบบ ได้แก่ หลอดแมกนีตรอน เครื่องมือวัดอุณหภูมิ หลักการของไดเรคชันนัลคัปเปิลเลอร์ ในบทที่ 3 จะอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบ และการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น วงจรขยายสัญญาณเทอร์คัปเปิล วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัล เป็นอนาล็อกและจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (digital-to-analog and analog-to-digital converter) ซึ่งวงจรทั้งสองส่วนนี้จะรวมอยู่บนอินเตอร์เฟสการ์ด (interface card or prototype card) การปล่อยพลังงานให้แก่หลอดแมกนีตรอนซึ่งถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ในบทที่ 4 เป็นการทดลองและผลการทดลองของโครงการนี้ และในบทสุดท้าย คือในบทที่ 5 จะเป็นการสรุป และวิจารณ์ของโครงการนี้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

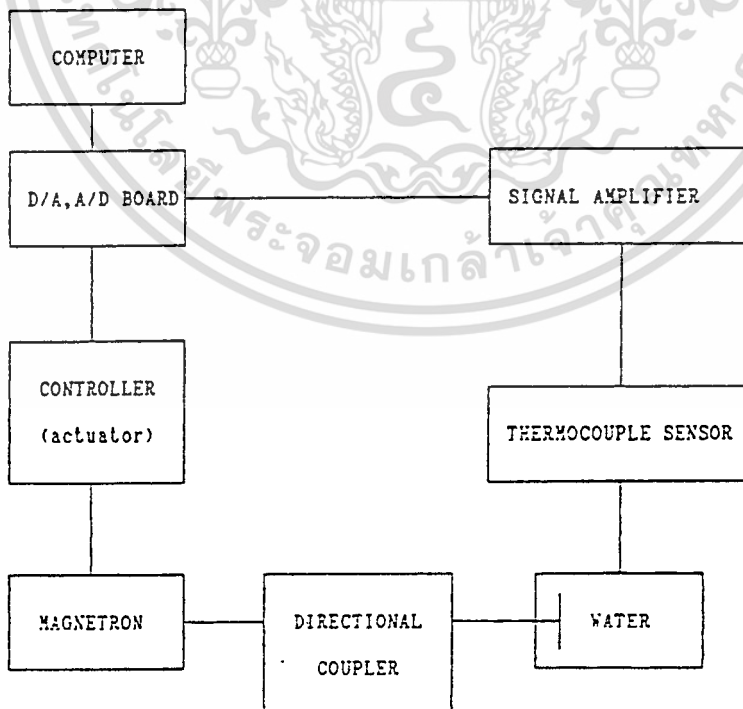
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ (system block diagram)

โครงสร้างระบบ ของโครงการนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงรูป 2.1 ซึ่งจากรูปจะอธิบายการทำงานของระบบได้ดังนี้

ขณะที่เราให้ความร้อนแก่สารละลายทดสอบ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งเป็นตัวตรวจจับความร้อน จะสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งแปรตามค่าอุณหภูมิขึ้นจากนั้นสัญญาณที่แปรตามอุณหภูมินี้ จะถูกส่งเข้าชุดวงจรขยายเพื่อขยายสัญญาณที่ได้ ให้มีระดับเหมาะสมที่จะป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล แล้วส่วนอินเทอร์เฟซส่งค่าให้คอมพิวเตอร์ จากนั้นจะทำให้การเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิที่วัดได้ กับค่าอุณหภูมิที่ต้องการที่ได้ตั้ง (set) เอาไว้ ว่ามีค่าผิดพลาด (error) หรือไม่ ถ้ามีจะทำการคำนวณ และส่งสัญญาณไปแก้ค่าผิดพลาดนั้นโดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกเพื่อส่งไปยังส่วนวงจรปรับค่ากำลังงาน (วงจรในส่วนนี้เรียกว่า แอคทูเอเตอร์ (actuator) ที่ จะจ่ายให้แก่หลอดแมกนีตรอน ตามที่คอมพิวเตอร์ต้องการ)

ระบบทั้งหมดจะทำตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น เป็นวงรอบหลายรอบ จนครบเวลาลิ้นสุดการควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สิ่งนี้ให้ฟรีให้ตัดแปลงเนื้อหาและอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่เราจะนำไปใช้

รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบการควบคุมกำลังงานของแมกนีตรอนด้วยคอมพิวเตอร์

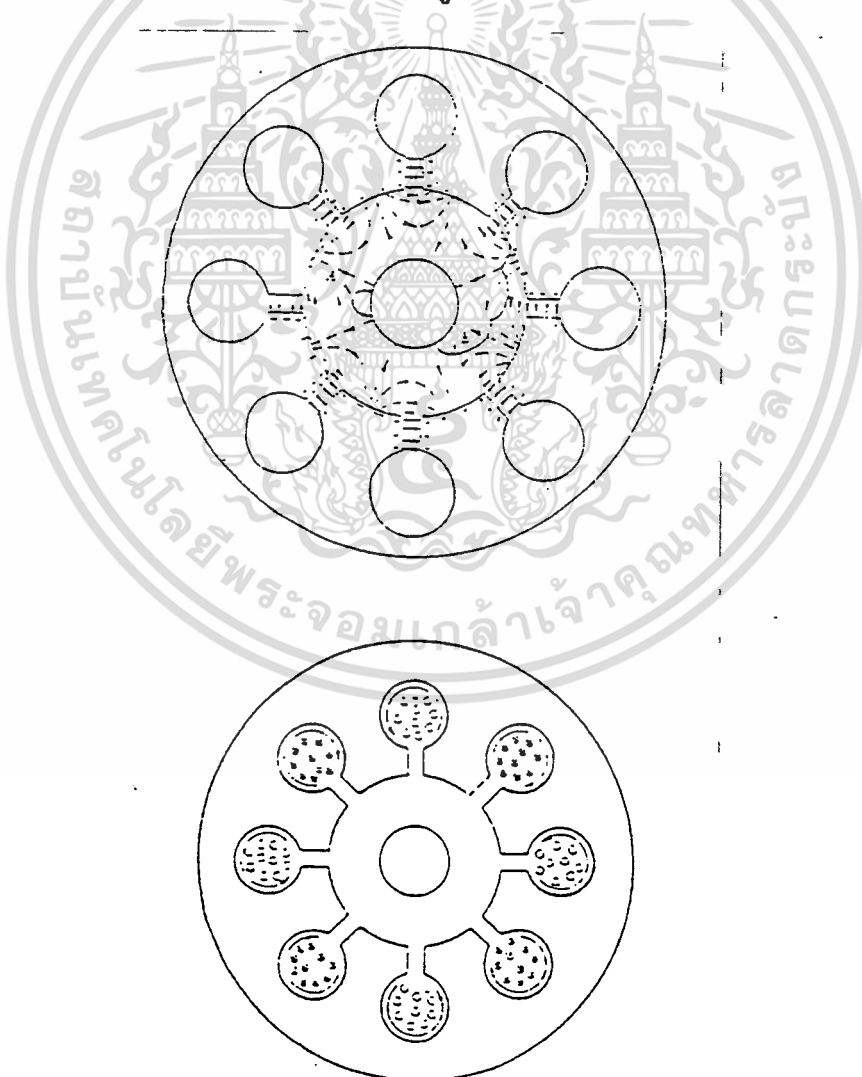
ว่าการทำงานของหลอดแมกนีตรอน จะทำงานภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สำหรับรูปที่ 2.3 จะเป็นรูปแสดงหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟชนิดหนึ่ง

2.2.1 หลักการทำงานของหลอดแมกนีตรอน

การทำให้หลอดแมกนีตรอนทำงานได้นั้น จะต้องมีอินพุต (input) ป้อนให้หลอดแมกนีตรอน

ก) ป้อนอินพุตความต่างศักย์สูง ขนาดประมาณ 4400 โวลต์ เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่าง อานอดและคาโธด จัดให้คาโธดเป็นขั้วลบ ส่วนอานอดต่อลงกราวด์

ข) ป้อนอินพุตสนามแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กในแนวแกนที่ขนานกับแกนของอานอดและคาโธด เดิมในหลอดแมกนีตรอนทั่วไป จะใช้แท่งแม่เหล็กถาวรซึ่งติดมาจากโรงงานของผู้ผลิต แต่เนื่องจากในโครงการนี้ต้องการจะปรับค่าสนามแม่เหล็กด้วย ดังนั้นเราจึงใช้ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยแสดงดัง ในรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างและลักษณะการทำงานของหลอดแมกนีตรอน
ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อักษรห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

คำจำกัดความที่สำคัญ ก็คือค่าสนามไฟฟ้าวิกฤต และค่าสนามแม่เหล็กวิกฤต โดยจะนิยามค่าทั้งสอง ได้ดังนี้

1) ถ้าป้อนสนามไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่ง ให้กับหลอดแมกนีตรอน ถ้าขณะนั้น สนามแม่เหล็กมีค่าน้อยๆ อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโอดทั้งหมด จะเดินทางไปยังแอโนด ดังนั้นกระแสแอโนดจะมีค่าคงที่ ต่อไปถ้าเราเพิ่มค่าสนามแม่เหล็กขึ้น กระแสแอโนดจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่า สนามแม่เหล็กค่าหนึ่ง กระแสแอโนดจะเป็นศูนย์ เราเรียกค่าสนามแม่เหล็กนี้ว่า 'ค่าสนามแม่เหล็กวิกฤต'

2) ถ้าเราจัดให้สนามแม่เหล็กคงที่ ให้กับหลอดแมกนีตรอน ที่ค่าสนามไฟฟ้า น้อย ๆ อิเล็กตรอนที่ออกจากคาโอด จะวิ่งวกกลับไปทีคาโอด และเมื่อเพิ่มค่าสนามไฟฟ้าไปจนมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต (V_c) อิเล็กตรอนจะเดินทางไปถึงแอโนดพอดี และเกิดกระแสแอโนดขึ้น

ในทางปฏิบัติ ที่จะให้หลอดแมกนีตรอนทำงานได้นั้น เรามักป้อนสนามไฟฟ้าต่ำกว่าค่าวิกฤต และให้สนามแม่เหล็กสูงกว่าค่าวิกฤต ตามเงื่อนไขอิเล็กตรอนจะเดินทางรอบบริเวณช่องว่างระหว่างแอโนดกับคาโอด ซึ่งเรียกว่า อินเตอร์แอคชั่นสเปส (interaction space) ส่วนที่มีความสำคัญมากก็คือ เรโซแนนซ์ควิตี้ (cavity resonator) ที่อยู่ในปลีอกของแอโนด เป็นส่วนที่มีการสั่น (oscillation) เกิดขึ้นต่อเนื่อง ภายในอินเตอร์แอคชั่นสเปส จะมีความถี่หลายความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) ที่ความถี่นี้อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้ากระแสตรง (DC field) ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแอโนดกับคาโอด จะนำเอาพลังงานนี้มาถ่ายเท ให้แก่ สนามไฟฟ้ากระแสสลับ (AC field) ที่เกิดจากการออสซิลเลท จากนั้นเราจึงนำ (coupling) ความถี่และกำลังงานนี้ไปใช้ในงาน

2.2.2 สมการแสดงปรากฏการณ์ของหลอดแมกนีตรอนที่สำคัญ

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ บางสมการที่เกี่ยวข้อง กับโครงงานนี้เท่านั้นสมการอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ตลอดจนรายละเอียดที่มากกว่าพิสูจนแต่ละสมการนั้น จะหาเพิ่มเติมได้ เอกสจาก เอกสารอ้างอิงภาคผนวก[10]รใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆของหลอดแมกนีตรอน

ความสัมพันธ์	สมการ
ค่าศักดาวิกฤต	$V_c = (eB^2/8m)[(r_a^2 \cdot r_c^2)/r_a]^2$
สนามแม่เหล็ก วิกฤต	$B = 2 \cdot (2m/e)^{1/2} ((r_a)^{1/2} / (r_a^2 - r_c^2)) (1 - r_c^2/r_a^2)^{-1}$ เมื่อ $B^2/V_a = (Bm/e)(r_a/r_a^2 - r_c^2))^2$
ค่าสนามแม่เหล็กต่ำสุดที่ทำให้ ให้ออสซิลเลท	$\lambda_{B \min} = 2568 [(N+4)/N]^2 [1 - (1 - (16N/N+4)^2)^{1/2}]$
ประสิทธิภาพ ของอิเล็กตรอน	$n_e = 1 - (V_a \cdot 2m) / (B^2 \cdot e \cdot d^2)$ $= 1 - (V_a/V_c) \cdot (B_c/B)^2$

เมื่อ V_a = แรงดันที่อาโนด (โวลต์)

r_a, r_c = รัศมีอาโนดกับคาโทด ตามลำดับ

e = ค่าประจุของอิเล็กตรอน

N = จำนวนเรโซเนเตอร์

m = มวลของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จะแปรตามค่ากระแสไฟตรง (Direct Current) ที่ป้อนให้ ดังนั้น เราสามารถเปลี่ยนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้ โดยการ

เปลี่ยนค่ากระแสไฟที่จ่ายให้หลอดโซลินอยด์

จากคุณสมบัติของหลอดแมกนีตรอนซึ่ง จะให้กำลังงานเอาต์พุต แปรตามค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็กก็เท่ากับว่าเป็นการให้กำลังงานเอาต์พุตที่ออกมาจากหลอดแมกนีตรอน เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วยเช่นกัน

2.2.3 คุณสมบัติของหลอดแมกนีตรอนที่ใช้

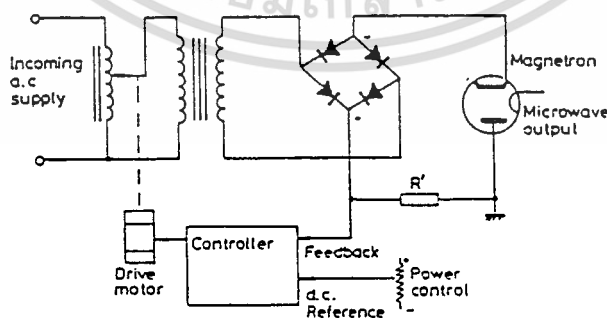
เป็นหลอดแมกนีตรอนชนิดที่ใช้อากาศเป็นตัวถ่ายเทความร้อน พร้อมด้วยแม่เหล็กถาวร ที่มีประสิทธิภาพสูง ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในบ้าน หลอดแมกนีตรอนทำงานที่ความถี่ค่า 2455 MHz และส่งกำลังงานคลื่นอาร์เอฟ ที่เอาต์พุต 930 Watt ด้วยประสิทธิภาพประมาณ 73% ทิศทางของการถ่ายเทความร้อนจะเป็นในลักษณะให้ลมเป่าผ่าน โครงสร้างจะอยู่ในมาตรฐานความปลอดภัย

2.2.4 การควบคุมกำลังงานเอาต์พุตของหลอดแมกนีตรอน

มีหลายวิธี สำหรับการให้พลังงานแรงดันสูง (high voltage) ที่เสถียร(stable) แก่หลอดแมกนีตรอน ผลที่ต้องการก็คือ กระแสเอาโนดที่คงที่อย่างแท้จริง ไม่ขึ้นกับแรงดัน EHT ที่กระเพื่อม หรือการเปลี่ยนแปลงของ อิมพีแดนซ์ของโหลด (workload impedance) สำหรับหลอดแมกนีตรอนที่คงสนามแม่เหล็กไว้ (เช่น ที่แม่เหล็กถาวร) หน่วยกำลังงานจะต้องมีการควบคุมการปรับค่า EHT เพื่อที่จะให้กระแสเอาโนดคงที่ วิธีการต่างๆมีดังนี้

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของทรานส์ฟอร์มเมอร์ (TRANSFORMER)

มอเตอร์ถูกควบคุมโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยค่าอินพุตของวงจรมีมาจากกระแสเอาโนด แล้วเปรียบเทียบกับค่าเปรียบเทียบที่เรากำหนดขึ้นมา ตามรูปที่ 2.4 ข้อเสียการตอบสนองจะช้า แต่ลักษณะทางกลศาสตร์ (mechanic) ก็จะทำให้เห็นลักษณะต่างๆ ได้ชัดเจน ข้อเสียอีกอย่างก็คือ เป็นระบบควบคุมที่ราคาแพง และไม่ค่อยจะได้ใช้

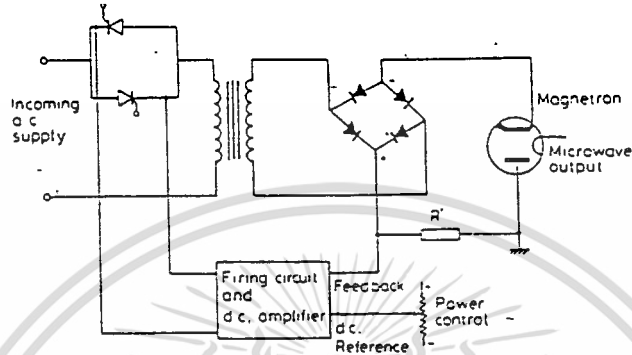


รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนอัตราส่วนของทรานส์ฟอร์มเมอร์

การควบคุมโดยใช้ไทรสเตอร์ (THYRISTER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในระบบนี้ จะใช้ไทรสเตอร์ (thyristor) ที่สามารถถูกควบคุมโดยการชีพเฟส
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 เป็นตัวควบคุมการป้อนไฟกระแสสลับ แก่ EHT ทรานส์ฟอร์มเมอร์ในระบบเซอร์โว (servo) ดัง

รูป 2.5 กระแสอาโนดจะถูกเซ็ทโดยกระแสไฟตรงอ้างอิง ซึ่งจะถูกเปรียบเทียบกับกระแสไฟตรง .แรงดัน คร่อม R' ค่าผลต่างของแรงดัน จะถูกขยาย และนำไปทริกซ์ (trig) วงจร เพื่อควบคุมมุมเฟสของไทรสเตอร์

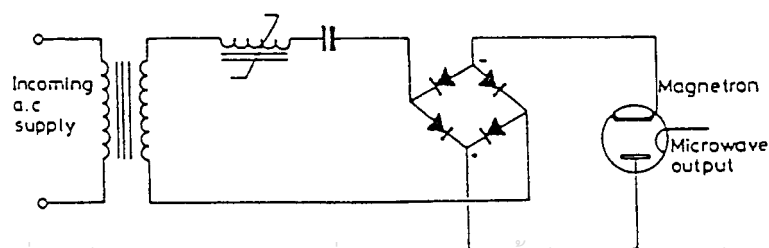


รูปที่ 2.5 การควบคุมมุมเฟสของกระแส

ระบบนี้จะมีเสถียรภาพดีและผลตอบสนองที่เร็วถึงจะถูกจำกัด ข้อเสียก็คือทำให้เกิดกระแสอาร์ค ของแมกนีตรอน และเพื่อที่จะลดผลที่เกิดขึ้น ก็ใช้ EHT ทรานฟอเมอร์ที่มีการรั่วไหลสูง (30-40%)

การควบคุมแบบการใช้ปฏิกิริยาด้านที่เสถียร (SATURABLE REACTOR CONTROL)

เป็นวิธีที่ใช้สำหรับแมกนีตรอนที่มีกำลังต่ำ ดังในรูปที่ 2.6 ขดลวดเหนี่ยวนำที่ไม่เป็นเชิงเส้นมาต่อกับทรานฟอเมอร์ศักดาสูง จะทำให้เกิดรีโซแนนซ์ โดยมาต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุที่มีความถี่ซับซ้อนสูงกว่า 15 % ในการเกิดรีโซแนนซ์มีผลทำให้อิมพีแดนซ์มีค่าต่ำ ค่าอินดักแตนซ์จะลดลงพร้อมกับการเพิ่มของโวลเตจ เพื่อที่ว่าความถี่รีโซแนนซ์เพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มของอิมพีแดนซ์ของวงจร และการจำกัดการเพิ่มของกระแส ความเสถียรของกระแสอาโนดที่คืนสามารถถูกทำได้ จุดที่ดีของมัน คือ การปรับกำลังงานที่เฉพาะลงไปตามการแก๊ปของสวิตช์ ทรานฟอเมอร์ และเอาท์พุทของโวลสำหรับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่ป้อนเข้าไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 ความถี่เรโซแนนซ์ของแหล่งจ่ายที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน



2.2.3.1 การปรับค่าสนามไฟฟ้า

ค่าสนามไฟฟ้าระหว่างอาโนดกับคาโทด จะแปรตามค่าแรงดันไฟกระแสสลับ (Alternate Current) ที่ป้อนเข้าไป เช่น หลอดชนิดนี้ที่ใช้ในเตาอบ ซึ่งใช้ไฟ 220 โวลต์ เนื่องจากว่าในโครงการนี้ เราต้องการนำไปใช้ในงานด้านการแพทย์ ซึ่งไม่ต้องการกำลังงาน (Power) สูงนัก ดังนั้นเราจึงใช้ หม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับค่าได้ (Variable Boltage Transformer) มาปรับค่าแรงดันอินพุท เพื่อให้ได้เอาท์พุทอยู่ในช่วงที่ต้องการ ประมาณ 100 วัตต์ หรือน้อยกว่า

2.2.3.2 การปรับค่าสนามแม่เหล็ก

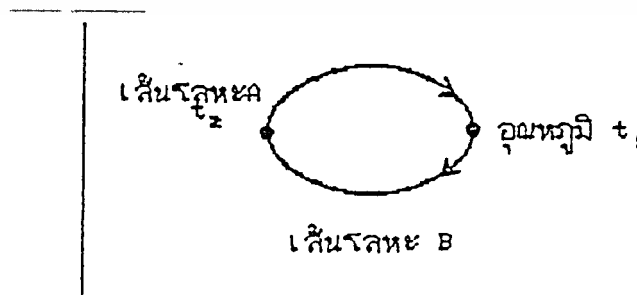
การที่เราลดค่าสนามไฟฟ้าดังกล่าวแล้วเพียงอย่างเดียว นั้น ยังไม่สามารถนำเครื่องนี้ไปใช้งานได้ ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้งานจริงนั้น ต้องการควบคุมกำลังงานเอาท์พุทให้คงที่ ทั้งนี้เนื่องจากต้องรักษาอุณหภูมิให้คงที่นั่นเอง ดังนั้นในที่นี้เราจะใช้การควบคุม โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็ก เพื่อปรับระบบให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจริง ๆ การปรับก็สามารถทำได้ โดยการ เพิ่มหรือลดค่ากระแส ที่จ่ายให้ขดลวดโซลินอยด์ ซึ่งเป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็ก ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มได้ (ความเข้มของสนามแม่เหล็กแปรผันตามค่ากระแสที่จ่าย)

2.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้มากที่สุดในการอุตสาหกรรม เทอร์โมคัปเปิลซึ่งเป็นส่วนวัดอุณหภูมินั้นถูกคิดค้น โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อที เจ ซีเบค (T.J. Seebeck) ดังนั้นปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล เรียกว่า ซีเบค เอฟเฟคต์ (Seebeck effect)

2.3.1 ซีเบคเอฟเฟคต์

ซีเบคเอฟเฟคต์ มีหลักการคือ ถ้านำโลหะสองชนิด มาประกอบกันเป็นวงจรมอด (เทอร์โมคัปเปิล) และถ้าทำให้อุณหภูมิที่จุดต่อทั้ง 2 ต่างกัน จะเกิดเทอร์มอลอิเลคโตรโมทีฟ ฟรอสท์ (Thermal Electromotive Force) ซึ่งทำให้มีกระแสไหลในวงจรมอดเป็นส่วนกับอุณหภูมิต่างที่เกิดขึ้นดังรูป 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 ซีเบคเอฟเฟคต์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิจุดสัมผัสของโลหะ A,B เป็น t_1 และ t_2 โดย $t_1 < t_2$ ถ้ากระแสไหลจาก A ไป B ตามลูกศรในรูป กล่าวได้ว่าตัวนำ A เมื่อเทียบกับ B แล้วเป็นบวก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การจับคู่กันของโลหะทั้งสอง และอุณหภูมิต่างกันที่จุดต่อ ($t_1 - t_2$) โดยจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E &= F(t_2) - F(t_1) \\ &= a(t_2 - t_1) + (t_2^2 - t_1^2) \quad (2.3.1) \end{aligned}$$

ในที่นี้ให้

E = เทอร์มอล อี เอ็ม เอฟ (Thermal e.m.f.) ที่เกิดขึ้น ของเทอร์โมคัปเปิล

t_1, t_2 = อุณหภูมิที่จุดต่อ หน่วย องศาเซลเซียส (degree celcius)

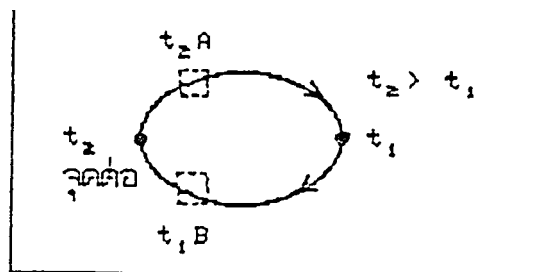
a, b = ค่าคงที่แตกต่างไปตามวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิล

เมื่อเกิดความต่างของอุณหภูมิจะเกิดความร้อนไหลขึ้นในโลหะ อิเล็กตรอนจะไหลตามความร้อน กรณีที่วงจร (เทอร์โมคัปเปิล) ปิด ที่ปลายทั้งสองจะมีประจุไฟฟ้าสะสมอยู่ ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ กระแสไฟฟ้า (ที่เกิดจากความร้อน) ไหลจนเกิดสมดุลย์ หรือ เทอร์มอล อี.เอ็ม.เอฟ. V_{AB} ที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิของจุดต่อทั้ง T_1 และ T_2 เท่านั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิมีกฎพื้นฐาน 3 ข้อดังกล่าวต่อไปนี้

1) กฎของวงจรรเอกพันธ์ (Law of homogeneous circuit)

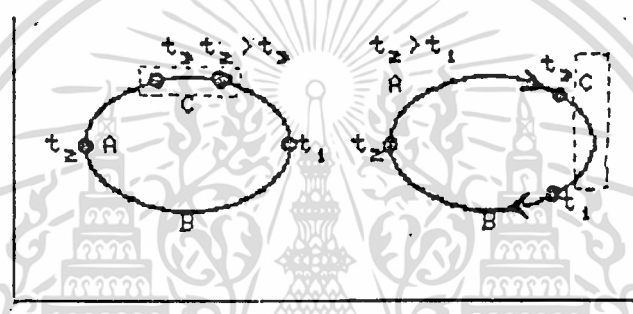
ในวงจรรโลหะเอกพันธ์ที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด ชนิดเดียวกัน แม้ว่ารูปร่างและการกระจายอุณหภูมิต่างกันไป ก็จะเพิ่มความร้อนเข้าไปก็ไม่มีกระแสไหลนั้นคือตามรูปที่ 2.8 เทอร์มอล อีเอ็มเอฟ จะถูกกำหนดโดย t_1, t_2 แต่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิระหว่างโลหะแต่ละชนิด t_3, t_4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้รูปที่ 2.8 กฎของวงจรรเอกพันธ์ เป็นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กฎของโลหะมัธยันต์ (Law of intermediate metal)

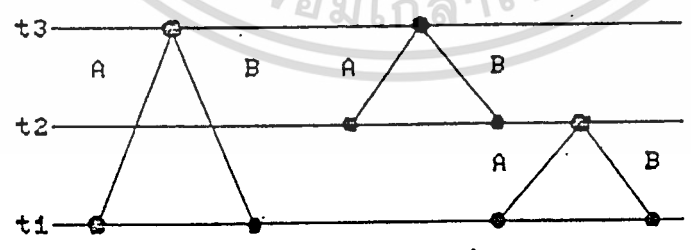
วงจรทั้งหมดที่ประกอบด้วยโลหะต่างกันหลายชนิดและมีอุณหภูมิเท่ากัน จะไม่มีเทอร์มอล อี.เอ็ม.เอฟ.เกิดขึ้นในวงจรนั้น ตามรูปที่ 2.9 แม้จะใส่โลหะ C แทรกอยู่ระหว่างกลาง ถ้าปลายทั้งสองข้างมีอุณหภูมิเท่ากันคือ t_3 แล้วแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโลหะ A,B และที่ t_1, t_2 เท่านั้น จะไม่เกี่ยวกับโลหะ C ที่ใส่ไว้ตรงกลางเลย นอกจากนี้ถ้าใส่โลหะมัธยันต์นี้ไว้ที่ส่วนหนึ่งของวงจร เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric) ถ้าปลายทั้งสองของโลหะมัธยันต์นี้ มีอุณหภูมิเท่ากัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กฎของโลหะมัธยันต์

3) กฎของอุณหภูมิมัธยันต์ (Law of intermediate thermal)

เทอร์มอล อี เอ็มเอฟ ขณะต่ออุณหภูมิจุดต่อเทอร์โมคัปเปิลเป็น t_1, t_3 นั้น จะเท่ากับผลบวกของเทอร์มอล อี เอ็ม เอฟ ขณะต่ออุณหภูมิของจุดต่อเทอร์โมคัปเปิลเป็น t_3, t_2 และ t_2, t_1 ตามรูปที่ 2.10



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

รูปที่ 2.10 กฎของอุณหภูมิมัธยันต์

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

2.3.2 ลักษณะเฉพาะของเทอร์โมคัปเปิล

กล่าวตามหลักการของเทอร์โมคัปเปิลแล้ว โลหะต่างชนิดกันแบบใดก็สามารถสร้างเป็นเทอร์โมคัปเปิลได้ แต่จะต้องพิจารณาถึงจุดที่ใช้งานต่อไปนี้

1. เทอร์มอล อี เอ็ม เอฟ ที่เกิดขึ้นต้องมากพอที่จะวัดได้แม่นยำ
2. ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน เทอร์มอล อี เอ็ม เอฟ ที่เกิดขึ้น จะต้องเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง และถ้าเป็นไปได้ควรเป็นเชิงเส้น (Linear)
3. ต้องมีเสถียรภาพทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์ต่อบรรยากาศที่วัด
4. ความสามารถทำซ้ำ (Reproducibility) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแต่ละล็อต (Lot) ที่ผลิต ต้องดี

5. ความต้านทานทางไฟฟ้า และสัมประสิทธิ์ความต้านทานทางอุณหภูมิจะต้องน้อยเพื่อที่จะไม่เกิดอุปสรรคในการใช้งาน
6. การสร้างสายเทอร์โมคัปเปิลง่าย และราคาไม่แพง

2.3.3 เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ทั่วไป

ในปัจจุบันนี้เทอร์โมคัปเปิลที่มีอยู่หลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับโลหะที่ใช้ทำ และเหมาะที่จะใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน สำหรับอุณหภูมิที่เราใช้ อยู่ในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมลอะลูเมล (C.A.)

2.3.3.1 เทอร์โมคัปเปิลแบบ PR

มีความแม่นยำสูงสุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนด โดยมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS) เนื่องจากทำโลหะมีค่าจึงทนความร้อนสูงสุด ใช้งานในบรรยากาศได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ไม่มีปัญหา ถ้าใช้งานที่อุณหภูมิเกินกว่านี้ เมล็ดผลึกของโลหะ จะค่อย ๆ ใหญ่ขึ้น ทำให้เปราะ ต่อการสั่นหรือกระแทก

โดยทั่วไป มีความทนทานต่อการออกซิเดชัน (Oxidation) ส่วนบรรยากาศรีดักชัน (Reduction) โดยเฉพาะในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจน (H_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไฮโดรซัลไฟด์ (H_2S) ของอุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส และบรรยากาศของไอโลหะ จะไม่ค่อยมีความทนทาน ดังนั้น ต้องใช้หลอดป้องกันที่ทำจากเซรามิกเสมอ

2.3.3.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมลอะลูเมล

เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ ใช้งานกันกว้างมากในวงการอุตสาหกรรม JIS (Japan Industrial Standard) จะกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างแน่นอน ทำให้เป็นฉนวนไฟฟ้าและต้องระวังปัญหารอยสัมผัสด้วยเวลาต่อกับเส้นลวดอื่น

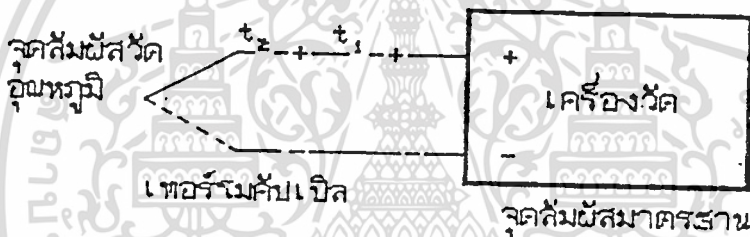
เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมลอะลูเมล จะมีเสถียรภาพในสภาวะออกซิเดชัน แต่ในสภาวะรีดักชัน จะไม่ทน ถึงแม้จะเคลือบด้วยออกไซด์ก็สามารถป้องกันได้ชั่วขณะเท่านั้น สายอลูเมลจะเปราะกว่าสายโครเมล ถ้าหากโดนก๊าซซกปรกแล้ว จะทำให้เกิดผลึกที่ไม่ควรเกิดขึ้น ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีหลอดป้องกันและต้องอ้างอิงถึงจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ บริเวณรอยต่อของหลอดป้องกัน ทำให้สายขาดได้ง่าย ถึงแม้จะไม่ได้รับแรงจากภายนอก

แฉกขรยต่อของหลอดปองกัน ทำให้อายชาดได้อาย ถึงแม้อจะไมไดรับแรงจากภายนอก

การทนความร้อน ความเม่นยา ความสามารถทำซ้ำก่อนข้างดี ลักษณะคุณสมบัตินอง อี.เอ็ม.เอฟ. ก็เกือบเป็นเส้นตรง

2.3.4 สายเอ็กเทนชัน

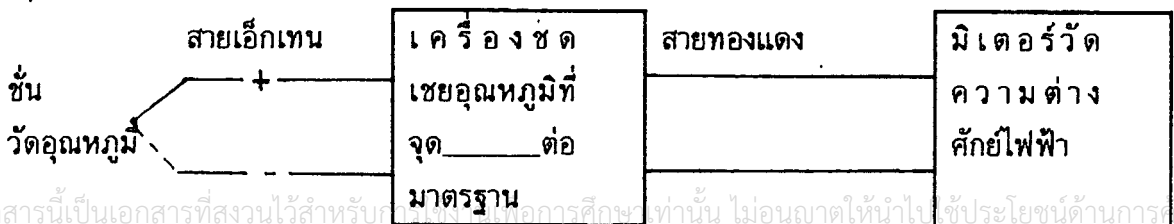
รูป 2.11 จะแสดงให้เห่นว่าการวัดอุณหภูมิตามปกตินั้น ระหว่างขั้วของเทอร์โมคัปเปิลกับขั้วของเครื่องมือวัดจะมีอุณหภูมิที่แตกต่ากันอยู่ อุณหภูมิที่ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลนั้นขึ้นอยู่กบสายการใช้งาน บางที่อาจขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส หรือกว่านั้น เพื่อที่จะชดเชยอุณหภูมิที่ขั้วของเทอร์โมคัปเปิล ต้องใช้สายชดเชยที่ให้คุณสมบัตินองแรงเคลื่อนไฟฟ้า กบเทอร์โมคัปเปิล ถ้าต่ากว่า 90 องศาเซลเซียส ก็จะใช้แบบธรรมดา ถ้าต่ากว่า 150 องศาเซลเซียสก็ใช้แบบทนความร้อน สายนี้เรียกว่า 'สายเอ็กเทนชัน'



รูปที่ 2.11 สายเอ็กเทนชัน

2.3.5 เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน

ตามหลักการของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้กล่าวมาแล้ว จะพบว่าเครื่องมือวัดอุณหภูมิ แบบเทอร์โมคัปเปิลนี้ใช้วัด เทอร์มอล อี.เอ็ม.เอฟ. ที่เกิดจากผลต่าของอุณหภูมิที่จุดต่อสองจุด ดังนั้นจึงต้องรักษาอุณหภูมิที่จุดหนึ่งให้คงที่ (จุดต่อมาตรฐาน) หรือทำการชดเชยตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลโดยทั่วไป จะติดตั้งวงจรชดเชยอุณหภูมิ โดยอัตโนมัติแบบใช้ไฟฟ้า ตามอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลงของจุดต่อมาตรฐาน ไว้ภายในเครื่องดังนั้นจึงไม่ต้องใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่ออีก แต่ในกรณีที่ใช้เครื่องมือต่าความต่าคักย์วัดอุณหภูมิ โดยตรง ตามรูป 2.12 จะต้องใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐานตามชนิดของเทอร์โมคัปเปิล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกบใช้ภายในอาคารศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 การวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลโดยใช้เครื่องชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน

จุดต่อวัดอุณหภูมิเป็นจุดต่อสายเทอร์โมคัปเปิลวางไว้ด้านที่รับอุณหภูมิ จุดต่อมาตรฐานเป็นจุดต่อระหว่างสายเทอร์โมคัปเปิลกับสายตัวนำหรือสายเอ็กซ์เทนชัน มักจะรักษาให้อุณหภูมิคงที่ เช่นอุณหภูมิที่จุดน้ำแข็ง เป็นต้น สายเอ็กซ์เทนชัน หมายถึง สายที่ใช้ประกอบกับเทอร์โมคัปเปิลซึ่งมีลักษณะสมบัติทาง เทอร์มอลอิเลคทริก เกือบจะเหมือนกับสายเทอร์โมคัปเปิลในช่วงอุณหภูมิวัดรวมถึงอุณหภูมิปกติด้วย ทำด้วยลวดตัวนำที่มีจำนวนหุ้ม 1 คู่ ใช้ต่อระหว่างหัวเทอร์โมคัปเปิลและจุดสัมผัสมาตรฐาน ซึ่งสำหรับชดเชยค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงที่หัวของเทอร์โมคัปเปิล

1. แบบแช่ด้วยน้ำแข็ง

ใช้น้ำแข็งที่บดจนละเอียดใส่ลงในขวดหรือกระป๋องแก้ว Dewar เพื่อรักษาจุดต่อมาตรฐานให้เป็น 0 องศาเซลเซียส มีความจำเป็นมากสำหรับกรณีที่ใช้ในการกำหนดสเกล หรือใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือวัดที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง

2. แบบอิเล็กทรอนิกส์

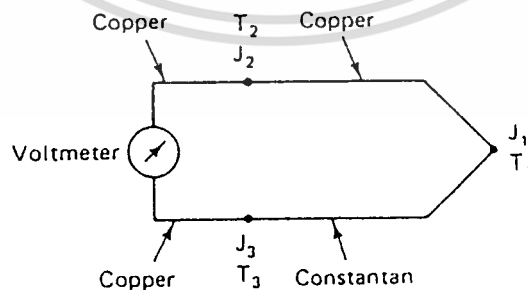
เนื่องจากเครื่องชดเชยแบบแช่ด้วยน้ำแข็ง ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานจึงมีการใช้เครื่องมือที่จะรักษาให้อุณหภูมิเป็น 0 องศาเซลเซียส

3. แบบซีเนอร์

เครื่องมือชดเชยอุณหภูมิสองแบบที่กล่าวมาจะต้องรักษาอุณหภูมิ ที่จุดต่อมาตรฐานให้เป็น 0 องศาเซลเซียสเสมอ แต่สำหรับเครื่องชดเชยแบบซีเนอร์นี้ จะชดเชยอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของจุดต่อมาตรฐานด้วยค่าไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเหมือนกับว่าอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน เป็น 0 องศาเซลเซียส อยู่ตลอดเวลา

2.3.5.1 พิจารณาเทอร์โมโวลต์เตจ

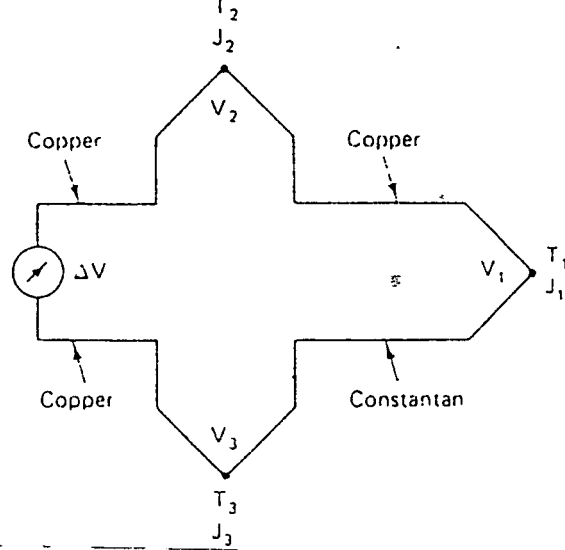
ถ้าหากเราต่อโวลท์มิเตอร์โดยตรงเข้าเทอร์โมคัปเปิล ค่าที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์จะไม่ใช่ค่า เทอร์มอลอี.เอ็ม.เอฟ ของความแตกต่างอุณหภูมิ T_1 และ T_2 ที่เราต้องการรู้ เพราะว่าโวลท์มิเตอร์จะสร้างวงจรเทอร์มอลอิเลคทริกขึ้นใหม่เอง ดังรูป 2.13



(a)

ก) การต่อโวลท์มิเตอร์โดยตรงเข้าเทอร์โมคัปเปิลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) วงจรที่สมมาตรกับ ก)

รูปที่ 2.13 การวัดค่า อี เอ็ม เอฟ ของเทอร์โมคัปเปิล

ที่รอยต่อ J_2 ของทองแดงกับทองแดง จะไม่สร้างเทอร์โมลอี.เอ็ม.เอฟ ($v_2=0$) อย่างไรก็ตามรอยต่อตรง J_3 เป็นทองแดงกับคอนสแตนแทน ซึ่งค่า อี.เอ็ม.เอฟของ v_3 จะเพิ่มขึ้น ทักลางกับค่า v_1 ดังนั้นค่าที่อ่านได้ที่โวลท์มิเตอร์ จะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างระหว่าง v_1 กับ v_3 และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง T_1 และ T_3 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$T_1 = F(V_1 - V_3) = F(\nabla V)$$

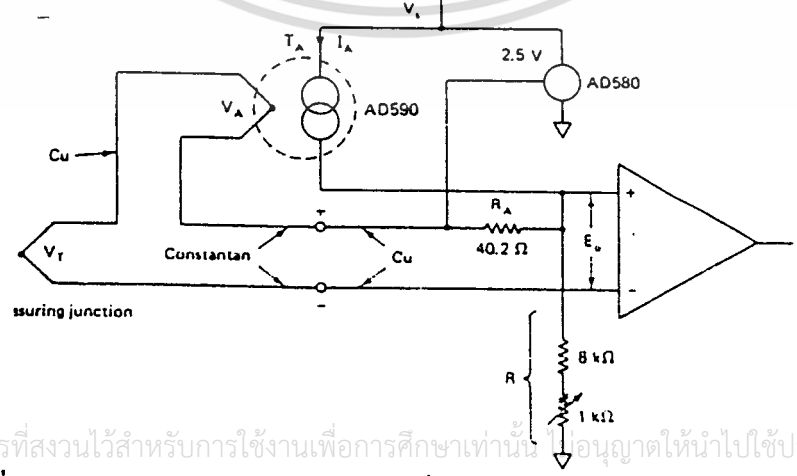
$$\nabla V = G(T_1 - T_3)$$

ถ้าเราใส่รอยต่อตรง J_3 ในอ่างน้ำแข็ง สมการจะกลายเป็น

$$\nabla V = G(T_1)$$

จะเห็นว่า ∇V เป็นสัดส่วนกับ T_1 ที่รอยต่อ J_1

ในการใช้งานจริง จะไม่ใส่รอยต่อ J_3 ในอ่างน้ำแข็ง แต่จะบวกค่าโวลท์เดจที่ตรงข้ามกับ v_2 เข้าไปแทน ซึ่งจะทำให้ v_2 เป็น 0 ทำให้สามารถได้เอาท์พุทโวลท์เดจเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ v_1 และเทคนิคนี้เราเรียกว่า เทคนิคการชดเชยรอยต่อที่เย็น



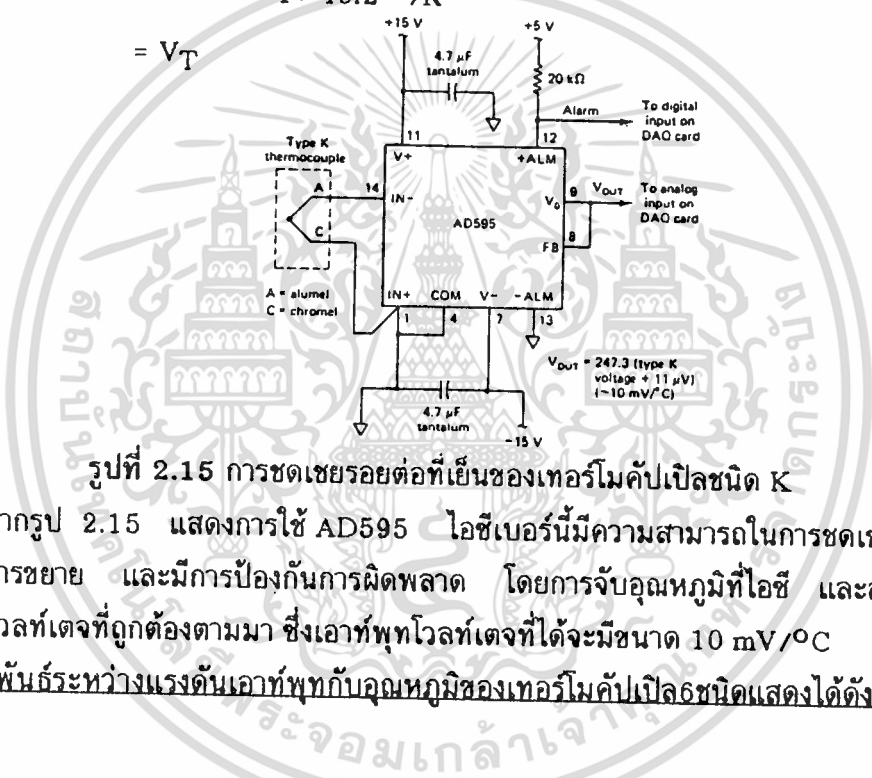
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.14 แสดงวงจรการชดเชยรอยต่อที่เย็นสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ที่มีการนำไปใช้

จากรูปเทอร์โมคัปเปิลชนิด ทองแดง-คอนสแตนแตน (แบบT) จะถูกชดเชยแรงดันไฟฟ้า โดยกระแสเอาต์พุตของอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิ AD 590 ถ้าอุณหภูมิ T_A ของรอยต่อที่เย็นเพิ่มขึ้น แรงดัน V_A จะเพิ่มขึ้น ∇V และเอาต์พุต I_A ของ AD 590 จะเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับกระแส I_A ส่วนใหญ่จะไหลผ่านความต้านทาน R_A และสร้างแรงดัน ∇V ที่ตรงข้ามที่ซึ่งจะหักล้างกับ ∇V และแรงดัน E_0 จะเท่ากับ V_T ตามที่ต้องการ โดยไม่ถูกผลกระทบจาก V_A และที่ AD580 จะมีแรงดัน 2.5-V อ้างอิงอยู่ ดังสมการ

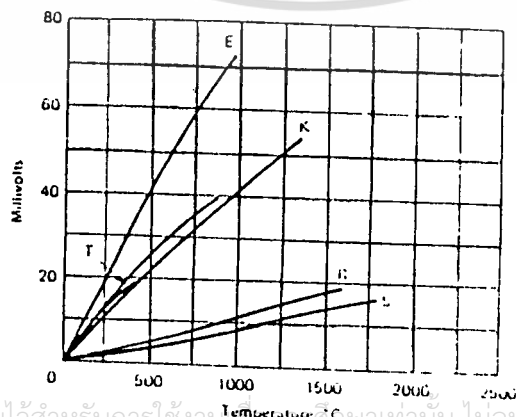
$$E_0 = V_T - V_A + I_A 40.2 \frac{\Omega}{R} + 2.5V - 2.5V$$

$$= V_T$$



รูปที่ 2.15 การชดเชยรอยต่อที่เย็นของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

จากรูป 2.15 แสดงการใช้ AD595 โอซีเบอร์นี้มีความสามารถในการชดเชยรอยต่อที่เย็น มีการขยาย และมีการป้องกันการผิดพลาด โดยการจับอุณหภูมิที่โอซี และส่งเอาต์พุตโวลต์เตจที่ถูกต้องตามมา ซึ่งเอาต์พุตโวลต์เตจที่ได้จะมีขนาด 10 mV/°C ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิดแสดงได้ดังรูปกราฟที่ 2.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อข้อผิดพลาดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 แสดงสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตโวลต์เตจกับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิด 6 ชนิด

- โดยที่ E คือชนิด โครเมล-คอนสแตนแตน
- J คือชนิด เหล็ก-คอนสแตนแตน
- K คือชนิด โครเมล-อะลูเมล
- R คือชนิด แพททินัม-แพททินัม 13% โรเดียม
- S คือชนิด แพททินัม-แพททินัม 10% โรเดียม
- T คือชนิด ทองแดง-คอนสแตนแตน

จากกราฟ จะเห็นว่าเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะให้เอาท์พุทเป็นเส้นตรงในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 1000°C และเพื่อความแม่นยำในการใช้เทอร์โมคัปเปิล จะต้องมีการปรับช่วงอุณหภูมิให้เหมาะสม เลือกใช้ช่วงกราฟให้เหมาะสม

2.3.5.2 การปรับเทอร์โมมิเตอร์

เพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิแม่นยำ จำเป็นที่จะต้องรักษาอุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐานได้ รวมทั้งการชบวนการที่จะมีการปรับอุปกรณ์ทำงาน ด้วยอุณหภูมิมาตรฐานเพื่อที่จะให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด และไม่ว่าการวัดจะแม่นยำเพียงไร ถ้าอุปกรณ์ไม่ได้มีการปรับอย่างถูกต้องผลลัพธ์ที่ได้ก็จะไม่ถูกต้องด้วย มีกฎที่สำคัญสำหรับการปรับอยู่ 4 ข้อ คือ

- 1.) ต้องแน่ใจว่าการติดตั้งอุปกรณ์จับสัญญาณ ต้องใกล้ชิดเท่าที่จะเป็นไปได้ ระดับของการจุ่ม, อุณหภูมิล้อมรอบ การป้องกันและการบรรจุ ล้วนมีผลต่อผลของความรอรอบ ๆ อุปกรณ์จับสัญญาณทั้งสิ้น
- 2.) ต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับ สภาพแวดล้อม ชบวนการต่าง ๆ ต้องมีความผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- 3.) เทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงหลัก จะต้องมีความแม่นยำ ระดับของความไม่แน่นอน จะยอมให้มีได้เพียงเล็กน้อยในการออกแบบ นี่หมายความว่าในการปรับเทอร์โมมิเตอร์หรืออุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ อาจมีค่าความผิดพลาดได้มากที่สุด $\pm 1^{\circ}\text{C}$ โดยที่เทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงจะมีค่าผิดพลาดได้มากที่สุดไม่มากไป
- 4.) ต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์อ้างอิงหลักจะต้องแม่นยำอย่างต่อเนื่องโดยตัวมันเอง สิ่งนี้อาจจะทำได้ โดยอ้างอิงไปยังอุณหภูมิมาตรฐาน (เช่น จุดเยือกแข็ง) หรือโดยการปรับเครื่องมือใหม่ที่มาตรฐาน NBS (The National Bureau of Standards) หรือการทดสอบของห้องแล็บ

สัญญาณรบกวนในเทอร์โมคัปเปิล

เพราะว่า แรงดันเอาท์พุทของเทอร์โมคัปเปิล มีระดับน้อยมาก (เป็นระดับไมโครโวลท์) การที่สามารถถูกรบกวนได้ง่าย การดัดแปลงหรือการเปลี่ยนแปลงในสัญญาณการวัดนั้นอาจป้องกันได้ โดยใช้ช่อนาล็อกไม่แอ็กทีฟฟิวเตอร์อื่น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบควบคุม

การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในงานด้านวิศวกรรม เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องยนต์กลไก ในอากาศยาน เป็นต้น

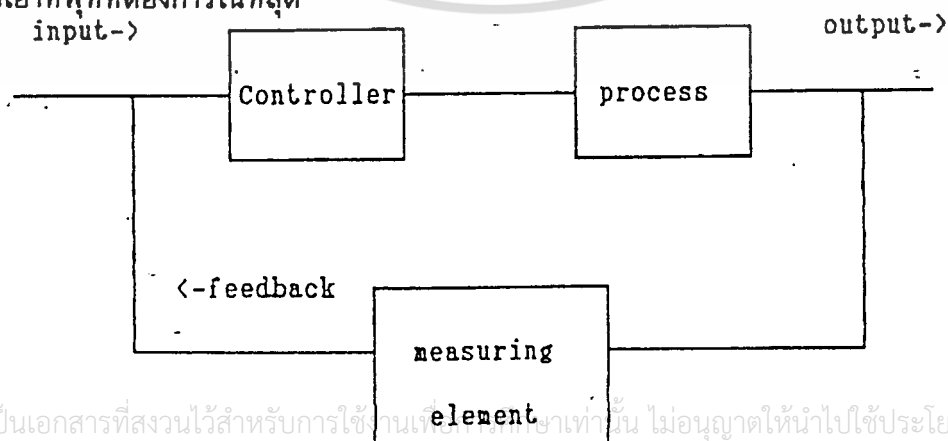
ระบบควบคุมอาจแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักได้คือ ระบบควบคุมแบบระบบปิด (closed loop control system) และระบบควบคุมแบบเปิด (open-loop control system)

ระบบควบคุมแบบระบบเปิด เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุตของระบบ จะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบระบบเปิดนั้น เอาต์พุตของระบบจะไม่มีการถูกนำมาเปรียบเทียบกับอินพุต เพื่อทำการควบคุมระบบเลย ตัวอย่างของระบบเปิดแบบนี้ ได้แก่การควบคุมมนุษย์โดยตรง (manual control)



รูปที่ 2.17 ระบบควบคุมแบบเปิด

ส่วนระบบควบคุมในระบบปิดนั้น จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับระบบเปิดที่กล่าวมาข้างต้น คือ ในระบบนี้สัญญาณเอาต์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบระบบปิด ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) นั่นเอง ในกรณีนี้สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating error signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุต กับสัญญาณป้อนกลับที่มาจากการวัดในกระบวนการ (Process) จะถูกป้อนให้ตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง เพื่อให้ได้เอาต์พุตที่ต้องการในที่สุด



รูปที่ 2.18 ระบบควบคุมแบบระบบปิดหรือแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ชนิดต่าง ๆ ของระบบควบคุมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำแนกตามลักษณะของกริยาการควบคุม 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

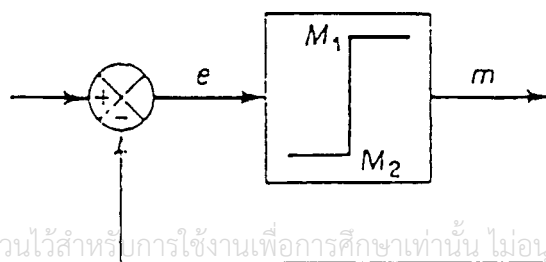
การควบคุมแบบสองตำแหน่ง หรือ ON-OFF นี้ การควบคุมจะทำงานในตำแหน่งคงที่ เพียงสองตำแหน่งเท่านั้น (ON-OFF) การควบคุมแบบนี้เป็นการควบคุมแบบง่าย ๆ และเสียค่าใช้จ่ายน้อย มักใช้ในระบบที่ยอมรับการออสซิลเลท (Oscillate) ได้

ถ้าให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น $m(t)$ และสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนเป็น $e(t)$ ในการควบคุมแบบสองตำแหน่งนั้น สัญญาณ $m(t)$ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นกับค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนว่าเป็นบวกหรือลบคือ

$$\begin{aligned} m(t) &= m_1 \quad e(t) > 0 \\ &= m_2 \quad e(t) < 0 \end{aligned}$$

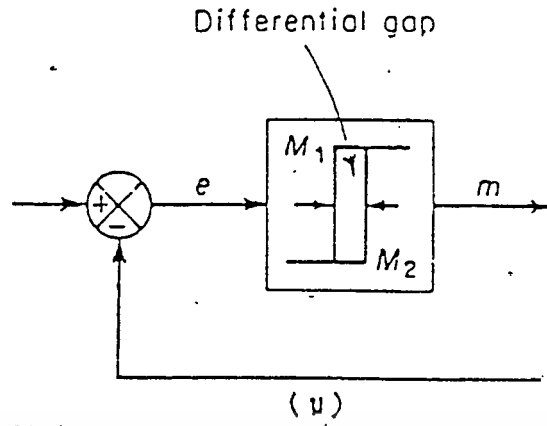
โดยที่ m_1 และ m_2 เป็นค่าคงที่ ปกติ m_2 จะเป็น 0 หรือ $-m_1$

รูปที่ 2.19 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมสองตำแหน่ง และสำหรับช่วงซึ่งสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน เปลี่ยนไปก่อนการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (switching) ของการควบคุมนั้นจะเรียกว่า ช่วงดิฟเฟอเรนเชียล (differential gap) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 (ก) ช่วงดิฟเฟอเรนเชียล นี้บางครั้งเป็นการทำให้เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยเกินไป โดยเราจะยอมให้มีค่าผิดพลาดได้ช่วงหนึ่ง (มากกว่า 0 เล็กน้อย) ถึงค่อยมีการเปลี่ยนค่า $m(t)$ แต่เดิมถ้าไม่มีช่วงดิฟเฟอเรนเชียล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 ก) การควบคุมสองตำแหน่ง



รูปที่ 2.19 ข) แสดงการเกิดช่วงดิฟเฟอเรนเชียล

2.4.2 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional)

ในกระบวนการบางอย่างการควบคุมแบบสองตำแหน่ง จะไม่ใช่วิธีการควบคุมที่ดี ถ้าต้องการความแน่นอนในการควบคุมพลังงานไหลเข้า เพื่อให้เป็นสัดส่วนกับค่าที่ต้องการ เราจึงต้องใช้การควบคุมแบบสัดส่วนกับค่าที่ต้องการ เราต้องการการใช้การควบคุมแบบสัดส่วน ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม (หรือเอาต์พุตของตัวควบคุม) กับสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

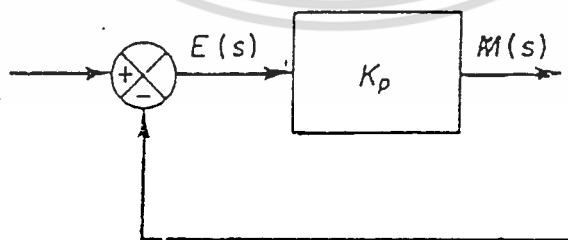
$$m(t) = K_p e(t) \quad \dots\dots (2.4.2.1)$$

โดยที่ $m(t)$ = ขนาดของสัญญาณควบคุมที่เวลา t

K_p = อัตราการขยาย(Proportional gain)

$e(t)$ = ค่าผิดพลาดที่เวลา t

โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของเซนซิวิตี (sensitivity) หรืออัตราขยายสัดส่วน (proportional gain) ได้ รูปที่ 2.20 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน



รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

รูปที่ 2.20 แสดงขนาดของสัญญาณควบคุมที่ค่าผิดพลาดต่างๆ จะพบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ขนาดสัญญาณควบคุมสูงสุดที่ 100% ดังนั้นถ้าสัญญาณควบคุมเป็น 100% แล้วถึงจะไม่วางกรูใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้ สัญญาณควบคุมจะมีค่าผิดพลาดในช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น เรียกช่วงนี้ว่า PB 0%แล้ว

(Proportional Band) ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของ K_p เมื่อค่าผิดพลาดเป็น 0 แล้วสัญญาณควบคุมจะมีขนาดเท่ากับ PB ซึ่งใช้ได้เฉพาะสภาวะหนึ่ง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวภาระ (load change) หรือมีการรบกวน (Disturbance) ระบบ ค่า PB นี้จะต้องแก้ไข

การควบคุมตามสมการ P จะได้ค่าผิดพลาดค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างอินพุทกับค่าสัญญาณเอาต์พุทที่วัดได้ ในขณะเวลาที่ระบบค่อนข้างเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) เช่น ในระบบควบคุมแบบสัดส่วนอันดับหนึ่ง (first-order proportional control) [3] (pp167-168) ค่าสัญญาณเอาต์พุทที่เกิดขึ้นที่ภาวะคงที่ จะมีค่าประมาณ $K/(K+1)$ เท่าของค่าที่ต้องการ นั่นคือ ค่าผิดพลาดที่ภาวะนี้จะมีค่า $1/(1+K)$ ดังนั้นถ้าต้องการค่าออฟเซ็ทน้อยๆ ค่าอัตราขยาย K_p จะมีค่ามากๆ

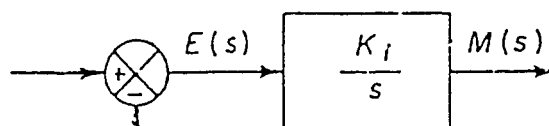
2.4.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล

การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดสัญญาณควบคุมจะขึ้นกับลักษณะเดิมของค่าผิดพลาดจากระบบ ลักษณะเดิมนี้อาจวัดได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ระหว่างค่าผิดพลาดและเวลา นั่นคือขนาดของสัญญาณควบคุมจะเป็นอัตราส่วนกับพื้นที่ใต้กราฟ ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นจนถึงปัจจุบันเป็นไปตามสมการดังนี้

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

เมื่อ $e(t)$ = ขนาดสัญญาณควบคุมที่เวลา t
 T_i = ค่าคงที่ อินทิกรัล
 $e(t)$ = ค่าผิดพลาดที่เวลา t

พิจารณาตามรูป 2.21 จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเดิมของค่าผิดพลาด จึงเป็นไปได้ที่ขณะที่ค่าผิดพลาด เป็น 0 แล้ว แต่ยังมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการควบคุม เนื่องจากยังมีลักษณะเดิมของค่าผิดพลาดอยู่ จึงทำให้สามารถแก้ไขขนาดสัญญาณควบคุมเมื่อค่าผิดพลาดเป็น 0 ให้มีค่าเหมาะสมกับระบบได้ ถึงแม้ว่าจะมีการรบกวนระบบก็ตาม นั่นคือ สามารถกำจัดค่าออฟเซ็ทให้หมดไป แต่มีข้อเสียคือ ขณะที่เริ่มต้นจะเกิด 'โอเวอร์ชูต(over shoot)' สูงมากไม่เหมาะที่จะทำงานตัวเดียว แต่ควรใช้ร่วมกับการควบคุมอย่างอื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.21 การควบคุมตามสมการการอินทิกรัล

การควบคุมแบบอัตรการเปลี่ยนแปลง (Derivative)

การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดสัญญาณควบคุมจะขึ้นกับอัตรการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดในขณะนั้น จะไม่ขึ้นกับขนาดของค่าผิดพลาดโดยตรง ดังนั้นจะเป็นไปได้ที่ค่าผิดพลาดจะเป็นศูนย์ ในขณะที่สัญญาณควบคุม เป็นไปตามสมการ

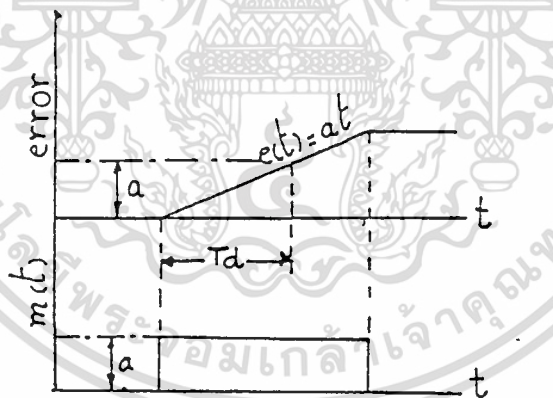
$$m(t) = T_d[de(t)/dt] \quad \dots\dots(2.4.3.2)$$

โดย $m(t)$ = สัญญาณควบคุมที่เวลา t

T_d = ค่าคงที่อัตรการเปลี่ยนแปลง

$e(t)$ = ค่าผิดพลาดที่เวลา t

จากรูป 2.22 จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้ ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด ก็จะไม่มีสัญญาณควบคุม จึงต้องใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่นเสมอแต่มีข้อดีในช่วงการเริ่มต้นควบคุม(transcient)



รูปที่ 2.22 การควบคุมตามสมการอัตรการเปลี่ยนแปลง

2.4.4 การควบคุมแบบ PI

การควบคุมแบบ PI สามารถจะแสดงได้ตัวสมการต่อไปนี้

$$m(t) = K_p.e(t) + K_p/T_i \int_0^t e(t)dt \quad \dots\dots(2.4.4.1)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของอัตรขยายหรือเกนสัดส่วน

T_i เป็นค่าเวลาอินทิกรัล (integral time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.4.5 การควบคุมแบบ PD

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุอันสมควรและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การควบคุมแบบ PD สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

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

ค่าของ K_p และ T_d นั้นจะเป็นค่าที่ปรับได้และในบางครั้งจะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมแบบอัตรา (rate control) เพราะขนาดของสัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุม จะเป็นสัดส่วนส่วนกับอัตราเปลี่ยนแปลงสัญญาณความคลาดเคลื่อน

ในขบวนการบางอย่าง อาจจะมีเวลาและความต้านทานมากกว่าหนึ่ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในกระบวนการ จึงอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า time lag ขึ้นได้ ปัญหาเกี่ยวกับ time lag ส่วนมากจะเกิดในระบบกระบวนการเกี่ยวกับความร้อน การควบคุมแบบ Derivative นี้ อาจเรียกว่าการควบคุมแบบคาดการณ์ล่วงหน้า

2.4.6 การควบคุมแบบPID

การควบคุมแบบนี้ ได้จากการรวมเอาการควบคุมแบบสัดส่วน แบบอินทิกรัลและแบบอัตราโนมีติ สามารถจะแสดงได้ในรูปของสมการดังต่อไปนี้

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

2.5 การควบคุมแบบPIDในระบบดิจิทัล

ในระบบดิจิทัลจะมีการสุ่มตัวอย่างค่าของตัวแปรของระบบ มาทำการคำนวณ โดยมีช่วงเวลาการสุ่มที่คงที่ ดังนั้นการคำนวณตามสมการ PID ในระบบดิจิทัล จะทำในช่วงเวลาสั้น ๆ (T_e) เท่านั้น ไม่ได้ทำแบบต่อเนื่อง จึงต้องมีการแปลงสมการ PID เพื่อโปรแกรมในระบบดิจิทัลต่อไป โดยแยกพิจารณา

2.5.1 สมการอินทิกรัล

จากสมการที่ (2.4.3.1) สมการการควบคุมแบบอินทิกรัลคือ

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

พิจารณาเฉพาะ อินทิกรัลเทอม

$$c_i(t) = \int e(t)dt \dots\dots\dots(2.5.1.1)$$

พิจารณารูปที่ 2.23 พบว่าค่า $C(t)$ ก็คือพื้นที่ใต้กราฟนั่นเอง ซึ่งถ้าแบ่งออกเป็นส่วนเป็นช่วงเล็กๆ ช่วงละ T_e เท่านั้น จะสามารถประมาณพื้นที่ดังกล่าวได้ด้วยผลรวมของผลคูณระหว่างค่าผิดพลาดที่เวลาสุ่มใดๆ กับค่าคงที่ T_m หรืออธิบายได้ดังสมการ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อ T_s = ค่าเวลาสุ่ม

e_i = ค่าผิดพลาดเวลาที่สุ่มลำดับที่ i

T = เวลาทั้งหมดที่ควบคุม

2.5.2 สมการอัตราการเปลี่ยนแปลง

$$m_d(t) = T_d [de(t)/dt]$$

พิจารณารูปที่ 2.23(b) พบว่าค่า $C_d(t)=[de(t)/dt]$ คือผลต่างระหว่างค่าผิดพลาดในช่วงเวลาเล็กๆ (dt) ค่าหนึ่งหารด้วยค่าของช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถแทนค่าของช่วงเวลา เล็กๆ นี้ได้ด้วยค่าของ T_s ดังนั้นจะได้ว่า

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

พิจารณาสมการ PID

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

แทนค่าสมการ (2.5.1.2) และ (2.5.2.1) ลงไปในสมการ PID

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

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

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

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

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

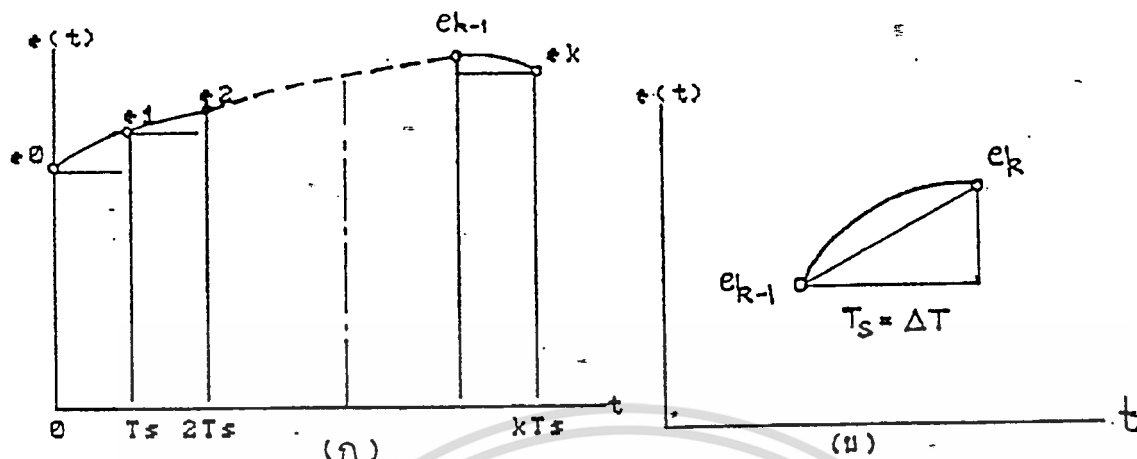
$$+ [T_d/T_s] \cdot e(k-2) \}$$

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

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

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

$$\gamma = K_p (T_d/T_s)$$



รูปที่ 2.23 (ก) แสดงการประมาณค่าอินทิกรัลเทอมของค่าผิดพลาด

(ข) แสดงการประมาณค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด

2.6 การประมาณค่าตามวิธีของซีเกลอร์และนิโคลส์ (Zeegler-Nichols

Estimation Method)

ในการควบคุมตามสมการ PID จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ K_p, T_i, T_d ให้เหมาะสมกับระบบ เพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ จะหาได้เมื่อทราบทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer function) ของกระบวนการ แต่การจะหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการจริง ๆ นั้น เป็นไปได้ยาก เพราะจะมีกระบวนการตัวแปรมากมาย ดังนั้นจึงใช้ทฤษฎีการประมาณค่าของซีเกลอร์และนิโคลส์ ซึ่งจะประมาณทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบเหลือเพียง

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

T= เอาท์พุทของกระบวนการ

P= อินพุทที่จ่ายให้แก่กระบวนการ

r= อัตราการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทต่อเวลา

L= เวลาหน่วงในหน่วยวินาที

ซึ่งทรานเฟอร์ฟังก์ชันนี้ จะใกล้เคียงกับกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำ จึงพอจะใช้ได้ในการหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น โดยให้อินพุท (P) คือพลังงานที่จ่ายแก่ระบบ และเอาท์พุท (T) คืออุณหภูมิของสารทดสอบในกระบวนการ

รูปที่ 2.24 จะแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบนี้ ส่วนในรูปที่ 2.25 จะแสดงผลตอบสนองของขณะที่ไม่มีการควบคุม (opened-loop) ซึ่งจะสามารถหาค่าจาก r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปเผยแพร่เช่นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

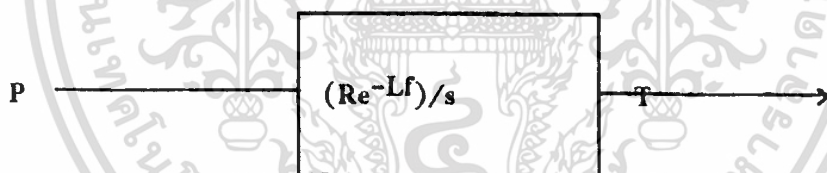
และ L ได้จากผลการทดลองของกระบวนการจริง ๆ

ให้ $R = r$ /เปอร์เซ็นต์ของอินพุทที่จ่ายให้โดยไม่มีการควบคุม

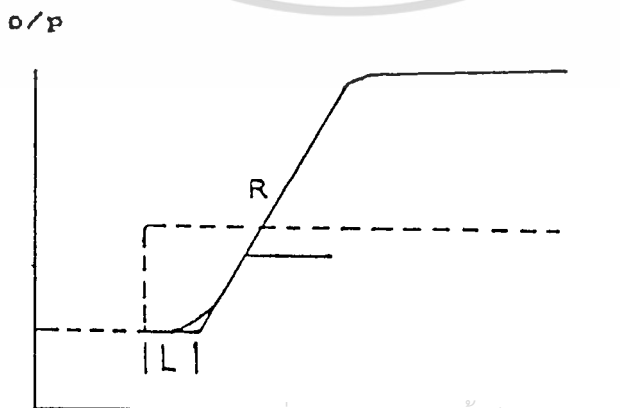
จากทฤษฎีนี้จะประมาณ ค่าพารามิเตอร์ K_p, T_i, T_d เพื่อจะได้ผลตอบสนองเมื่อมีการควบคุม (closed loop) ได้ดังนี้

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 2.24 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบที่ใช้การประมาณค่าตามสมการซีเกลอร์-นิโคลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

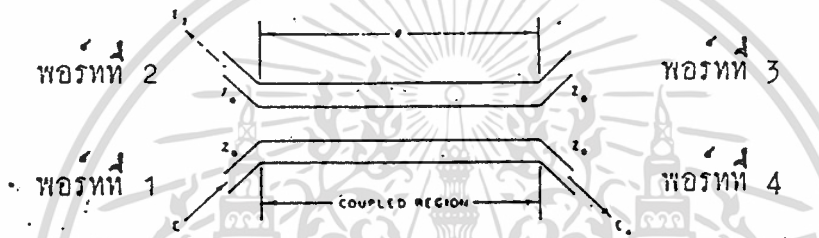
รูปที่ 2.24 ผลตอบสนองขณะที่ไม่มีการควบคุม

2.7 ไดรেকชันนัลคัปเปิลเลอร์ (DIRECTIONAL COUPLER)

คัปเปิลเลอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบ SHIELD COUPLER-STRIP TRANSMISSION

LINE คือเป็นโลหะ 2 แผ่นวางขนานกันอยู่ดังรูป 2.5 จากรูปจะเห็นว่ามียู่ด้วยกัน 4 พอร์ต จำแนกได้ดังนี้

- พอร์ตที่ 1 เป็นพอร์ตอินพุท (INPUT PORT)
- พอร์ตที่ 4 เป็นพอร์ตเอาต์พุท (OUTPUT PORT)
- พอร์ตที่ 2 เป็นพอร์ตคัปปลิงอินพุท (INPUT-COUPLING PORT)
- พอร์ตที่ 3 เป็นพอร์ตคัปปลิงเอาต์พุท (OUTPUT-COUPLING PORT)



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะของคัปเปิลเลอร์

ถ้ากำหนดให้พลังงานที่เข้าไปยังพอร์ตที่ 1 เป็น P_1 และพลังงานที่ได้จากพอร์ตที่ 2,3 และ 4 เป็น P_2, P_3 และ P_4 ตามลำดับ แล้วจะได้ว่า ค่าคัปปลิง และค่าไดเรกทิวิตีของคัปเปิลเลอร์เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{คัปปลิง} = 10 \log (P_1/P_2) \dots\dots\dots(2.7.1)$$

$$\text{ไดเรกทิวิตี} = 10 \log(P_2/P_3) \dots\dots\dots(2.7.2)$$

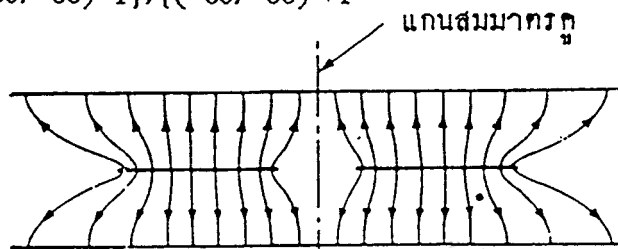
ในการออกแบบคัปเปิลเลอร์ สมการที่ใช้มีดังนี้

$$Z_{oo} * Z_{oe} = (Z_o)^2 \dots\dots\dots(2.7.3)$$

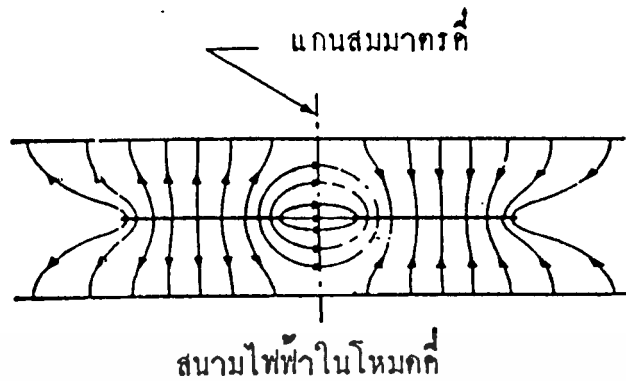
$$E_2 / E = (jk \sin \Theta) / \{ (1-k^2) \cos \Theta + j \sin \Theta \} \dots\dots\dots(2.7.4)$$

$$E_4 / E = (1-k^2) / \{ (1-k^2) \cos \Theta + j \sin \Theta \} \dots\dots\dots(2.7.5)$$

$$k = \{ (Z_{oe}/Z_{oo}) - 1 \} / \{ (Z_{oe}/Z_{oo}) + 1 \} \dots\dots\dots(2.7.6)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานที่ภาควิชาศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สนามไฟฟ้าในโหมก
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ล้วนทั้งห้ามิให้ตัดแบบลงปัญหาและต้องอ้างอิงถึงน้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 2.26 ก) แสดงลักษณะการกระจายของคลื่นในโหมก



รูปที่ 2.26 ข) แสดงลักษณะการกระจายของคลื่นในโหมดคี่

เมื่อ Z_{oo} เป็นคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ในโหมดคี่ (ODD-MODE CHARACTERISTIC

Z_{oe} เป็นคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ในโหมดคู่ (EVEN-MODE CHARACTERISTIC IMPEDANCE)

k เป็นตัวกำหนดค่าคัปปลิง (COUPLING FACTOR)

Θ เป็นความยาวของแผ่นโลหะ

จากสมการที่ 2.7.4 เพื่อที่จะให้ E_3/E มีค่ามากที่สุด

$$\sin \Theta = 1$$

$$\Theta = 1$$

นั่นคือความยาวของแผ่นโลหะ = Θ

$$= \lambda / 4 \text{ ของความถี่คลื่นที่ใช้งาน}$$

จากสมการที่ (2.7.3)

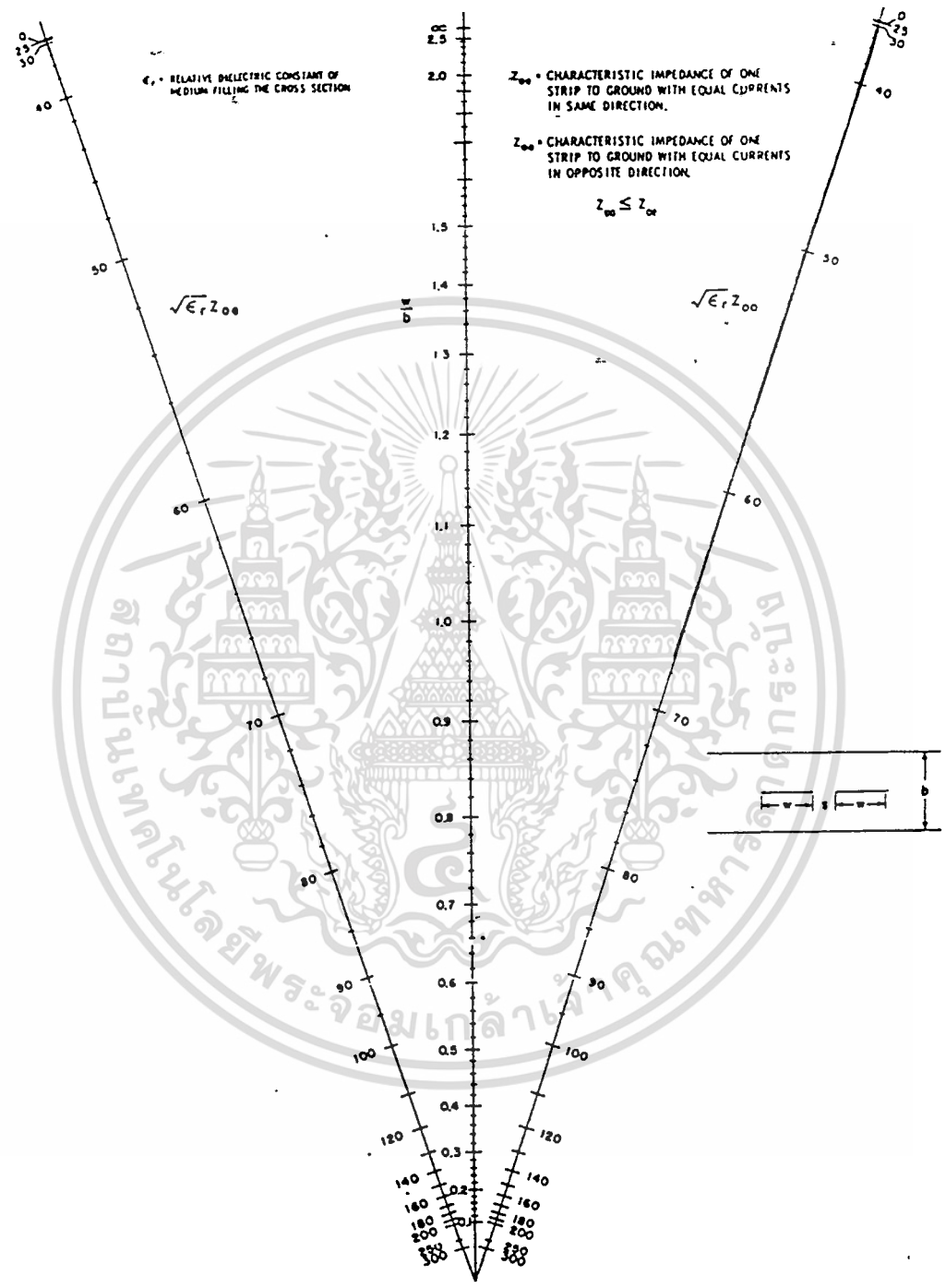
$$Z_{oe} = (Z_o)^2 / Z_{oo}$$

แทนลงในสมการที่ (2.7.6) จะได้

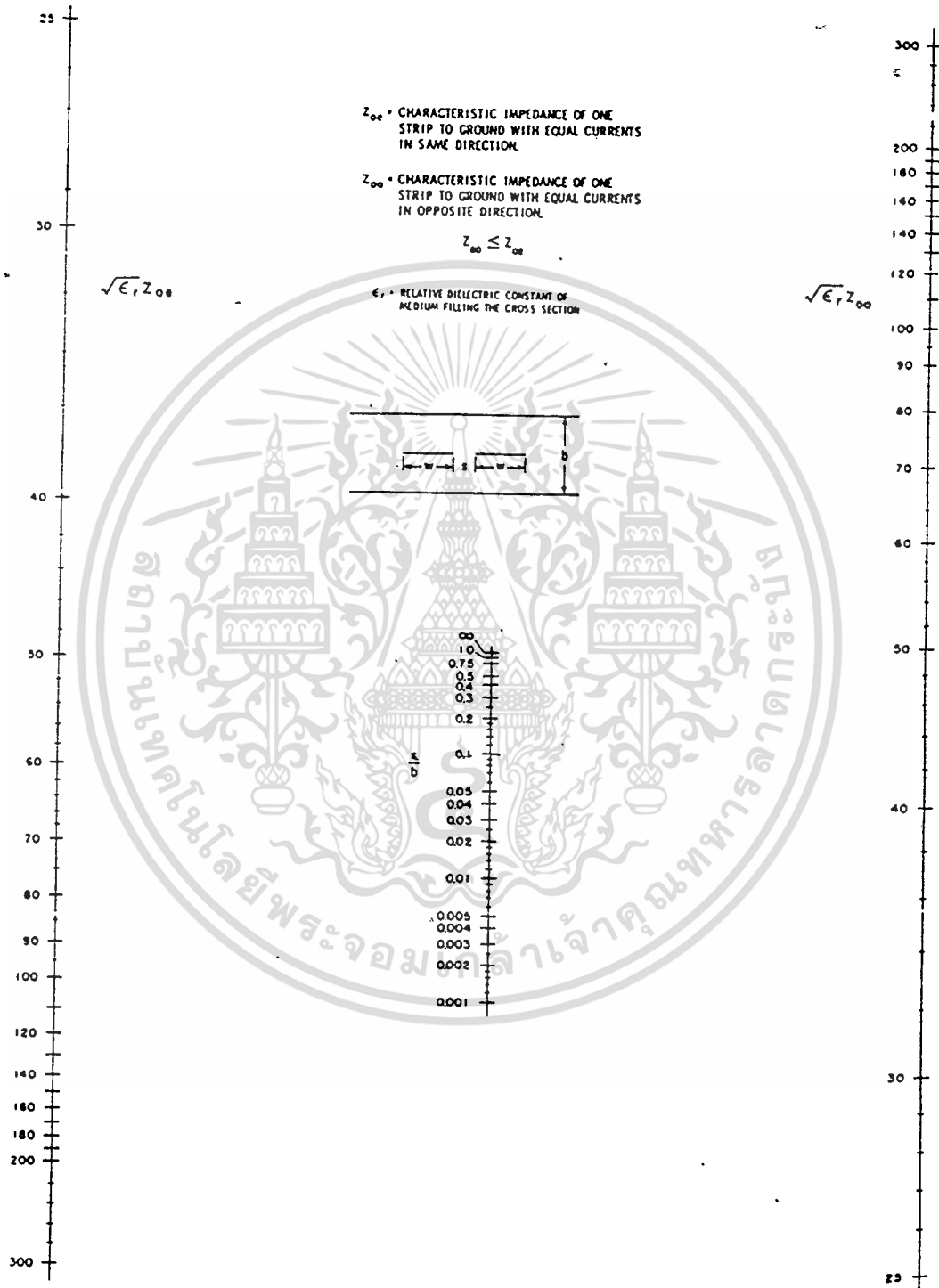
$$Z_{oo} = Z_o \cdot [(1-k)/(1+k)]^{1/2} \dots\dots\dots(2.7.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ เช่นเดียวกัน เมื่อแทนค่า

$$Z_{oo} = (Z_o)^2 / Z_{oe}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.27 แสดงการหาค่า w/b จากโนโมแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28 แสดงการหาค่า s/b จากโนโมแกรม

จากสมการที่ (2.7.3) ลงในสมการที่ (2.7.6) จะได้

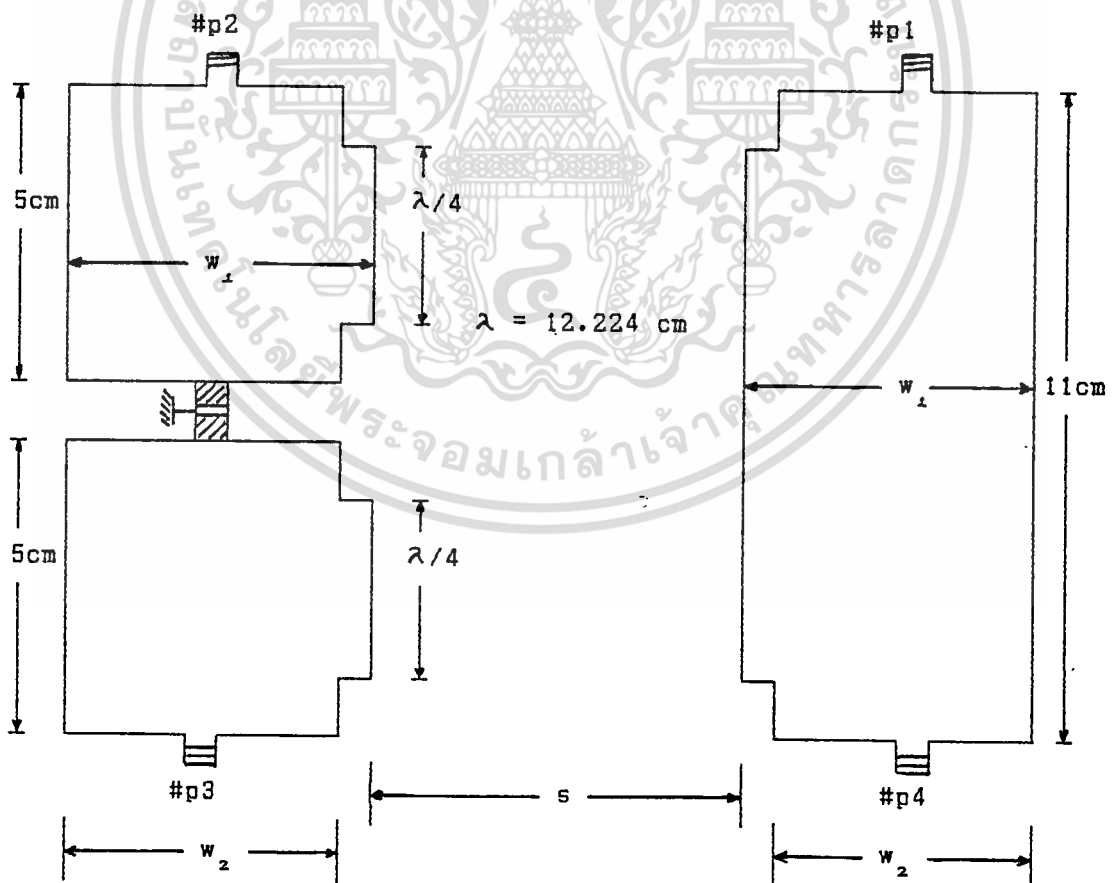
$$Z_{oe} = Z_o \cdot [(1+k)/(1-k)]^{1/2} \quad (2.7.8)$$

เมื่อแทนค่า k ลงในสมการที่ (2.7.7) และ (2.7.8) ก็จะได้ค่า

Z_{oo} และ Z_{oe} ตามลำดับ จากค่า Z_{oo} และ Z_{oe} นำไปใช้หาขนาดความกว้าง และความห่างของขนาดแผ่นโลหะทั้งสองได้จาก รูปที่ 2.27 และรูปที่ 2.28 โดยที่ ϵ_r คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (RELATIVE DIELECTRIC CONSTANT) ของตัวกลางระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ซึ่งในที่นี้คืออากาศ ($\epsilon_r = 1$)

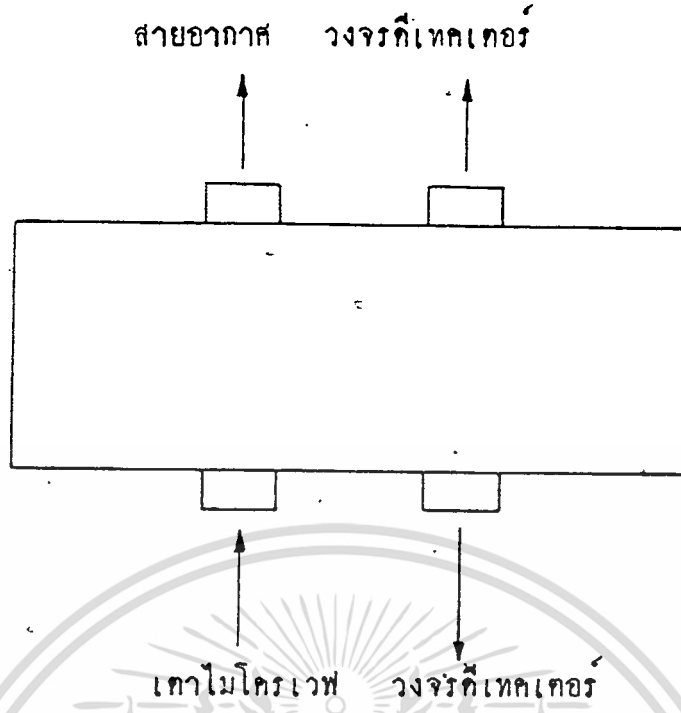
จากค่า w/b และ s/b ที่ได้จากรูปทั้งสองเมื่อกำหนดให้ b คงที่ ก็จะได้ค่า w และ s ตามลำดับ

จากค่า w, s และ b ก็จะสามารถสร้างคัปเปิลอร์ ที่มีค่าคัปปลิงตามที่กำหนดได้ หมายเหตุ แผ่นโลหะทั้งสอง ต้องตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม และจัดวางดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงการจัดวางแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงการต่อใช้งานคัปเปิลอร์

จากค่าที่หาอัตราส่วนระหว่าง $s/b = w/b$ จากกราฟนั้น ค่า s/b ที่ได้จะไม่ค่อยละเอียด ซึ่งไม่สามารถกำหนดค่า $s/b = w/b$ ที่แน่นอนได้ ดังนั้นในการคำนวณจริงๆ จะมีสูตรที่สามารถ คำนวณหาค่า s ได้ ดังต่อไปนี้

$$\frac{s}{b} = \frac{1}{\pi} \operatorname{Ln} \left[\operatorname{coth} \frac{94.15\pi C_v}{\sqrt{\epsilon_r Z_0} \sqrt{1-C_v^2}} \right] \tag{2.7.9}$$

$$\frac{w}{b} = \frac{94.15\sqrt{1-C_v}}{\sqrt{\epsilon_r Z_0} \sqrt{1+C_v}} - \frac{1}{\pi} \operatorname{Ln} [2(1+e^\phi)] \tag{2.7.10}$$

$$\phi = -\frac{188.3\pi C_v}{\sqrt{\epsilon_r Z_0} \sqrt{1-C_v^2}} \tag{2.7.11}$$

C_v = ค่าการคัปปลิงของสัญญาณ

ϵ_r = ไดอิเล็กตริก

$$Z_0 \sqrt{\epsilon_r} = \frac{94.15}{\frac{w}{bx} + \frac{C_f}{0.0885\epsilon_r}} \tag{2.7.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ส่วนตัวเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_f = \frac{0.0885\epsilon_r}{\pi} \left[2 \operatorname{Ln} \left(\frac{1}{x} + 1 \right) - \left(\frac{1}{x} - 1 \right) \operatorname{Ln} \left(\frac{1}{x^2} - 1 \right) \right] \tag{2.7.13}$$

$$x = 1 - \frac{t}{b} \quad \dots\dots\dots(2.7.14)$$

t = ความหนาทรานสมิตที่ชั้นลาย(mm.)

w = ความกว้างทรานสมิตที่ชั้นลาย(cm.)

b = ความสูงโดเล็กชั้นนัลด์ปเปลอร์(cm.)

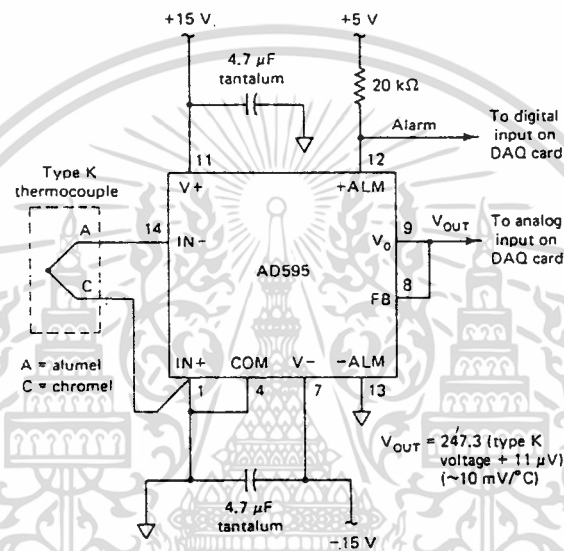


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล สามารถออกแบบและสร้างได้ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 การชดเชยรอยต่อที่เย็นของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

จากรูป 3.1 แสดงการใช้ AD595 ไอซีเบอร์นี้มีวงจรมีฟังก์ชันที่สามารถชดเชยรอยต่อที่เย็น มีวงจรถ่ายสัญญาณ และมีการป้องกันการผิดพลาดภายในตัวไอซีเอง โดยการจับอุณหภูมิที่ไอซี และส่งเอาต์พุตโวลต์ที่ขยายแล้ว และถูกต้องตามมา ซึ่งเอาต์พุตโวลต์ที่ได้อาจมีขนาด 10 mV/°C ถึงแม้ว่าไอซีเบอร์นี้ จะใช้กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K แต่เนื่องจากช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน ถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเอาต์พุตโวลต์ที่ขยาย และอุณหภูมิ ในรูปที่ 2.16 จะเห็นว่า เส้นกราฟของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และ T มีความเป็นเส้นตรงเหมือนกันและทับกัน ทำให้สามารถนำไอซีเบอร์นี้ไปใช้งานกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ตามที่โครงการนี้ใช้ได้ ภายใน AD 595 นี้จะสามารถชดเชยรอยต่อที่เย็นได้ สาเหตุที่ต้องมีการชดเชยอุณหภูมิที่รอยต่อ ก็เนื่องจากการใช้งานเทอร์โมคัปเปิล เราจำเป็นต้องให้จุดต่อมาตรฐานเป็น 0 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เราจะใช้อ่างน้ำแข็งเป็นจุดต่อมาตรฐาน แต่แทนที่จะใช้อ่างน้ำแข็งก็จะเป็นการไม่สะดวกกว่า ถ้าเราใช้ที่รู้จักกันว่า "การชดเชยรอยต่อที่เย็น" ดังนั้นในโครงการนี้ เราจึงต้องมีการชดเชยอุณหภูมิที่จุดต่อมาตรฐาน โดยที่เมื่อชดเชยอุณหภูมิแล้วจะเหมือนกับว่าอุณหภูมิ

ที่จุดต่อมาตรฐานเป็น 0 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจริงอยู่ที่ค่าอื่นก็ตาม ในการชดเชย จะมีค่าแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิ และมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้น (linear) เราใช้คุณสมบัติที่น่าสนใจคือ มีการเปลี่ยนแรงดัน เอาต์พุตเท่ากับ 10 mV/C จากค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

สำหรับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ผ่านการขยายและชดเชยอุณหภูมิจาก AD 595 แล้ว จะต้องนำไปเข้าผ่านการตรวจแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ควบคุมต่อไป

3.2 การออกแบบการ์ดสำหรับการอินเตอร์เฟส (Interface card)

การอินเตอร์เฟส ไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC) เราจะสร้างอินเตอร์เฟสการ์ดขึ้นมา โดยบนการ์ดจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

- ก) ส่วนถอดรหัส (DECODER)
- ข) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A-D Converter)
- ค) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก
- ง) ส่วนพักข้อมูล (STORAGE REGISTER)

ก) ส่วนถอดรหัส

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

สำหรับรหัสอ้างอิงหมายเลขพอร์ทนั้น สำหรับเครื่อง IBMPC ได้กำหนด ให้ใช้อินพุตและเอาต์พุตพอร์ท (I/O PORT) ระหว่างค่า 300 ถึง 31F (300 HEX- 31F HEX)

พิจารณาคุณสมบัติของไอซีเบอร์ 74LS138 ที่ใช้ในการถอดรหัสของ โครงการนี้ ถ้า G2A เป็น LOW (0) , G2B เป็น LOW (0), G1 เป็น HIGH (1)

ตารางที่ 3.1 การ DECODE ของ IC 74LS138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1การDECODE ของIC 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	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	0	1	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

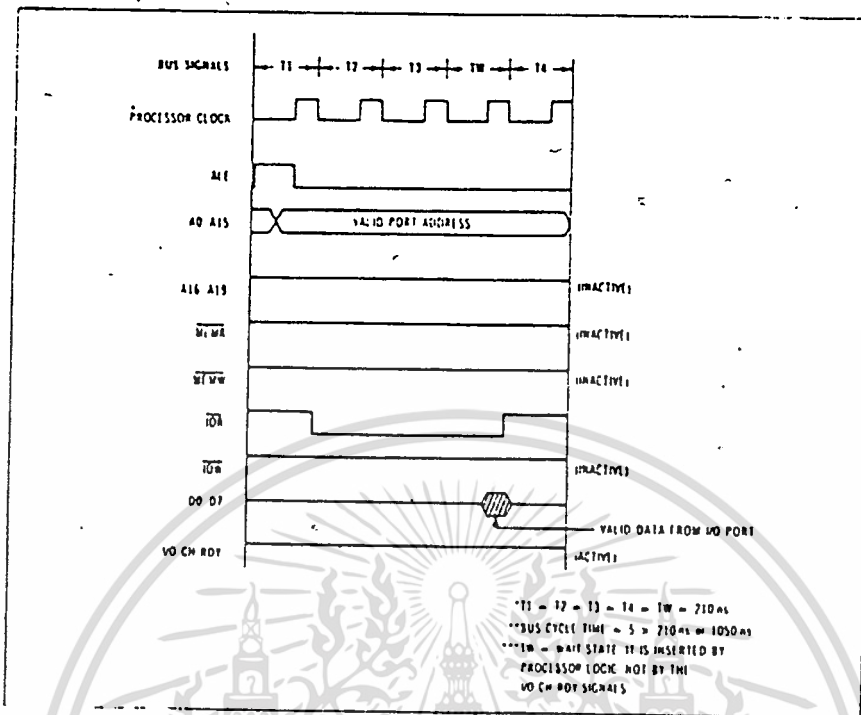
เพราะฉะนั้นจากวงจรถอดรหัส เราจะได้รหัสพอร์ทดังนี้

A/D CONVERTER ADDRESS PORT คือ 300 [HEX]

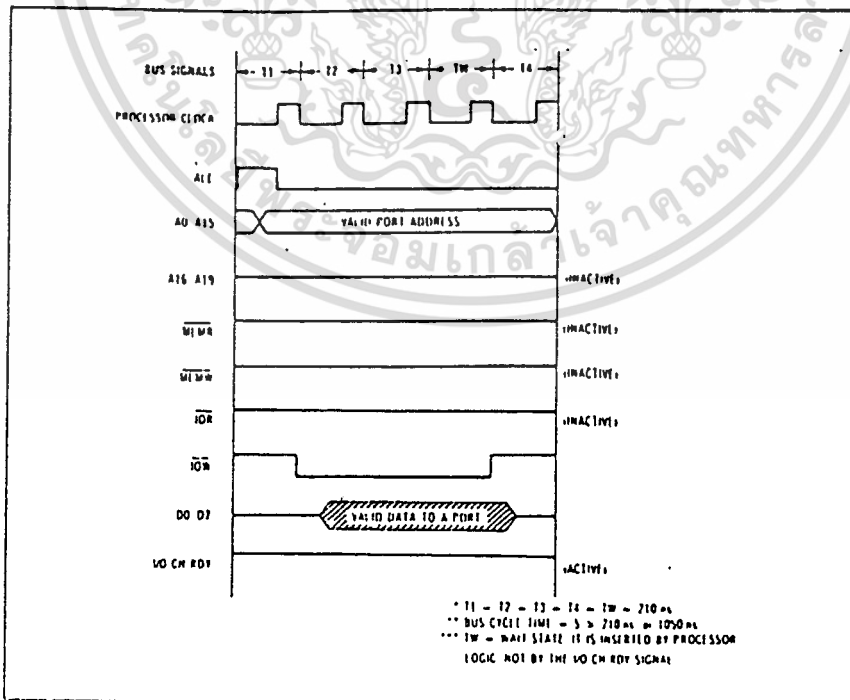
D/A CONVERTER #CH1 ADDRESS PORT คือ 301 [HEX]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ในส่วนของวงจรถอดรหัส (DECODER CIRCUIT) จะทำงานสัมพันธ์กับบ้านการค้า
ไม่วางควบคุม (CONTROL BUS) เสมอ หมายความว่าและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงบัสไซเคิลการอ่านข้อมูลของอินพุตและเอาต์พุตพอร์ท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงบัสไซเคิลการเขียนข้อมูลของอินพุตและเอาต์พุตพอร์ท

รายละเอียดของสัญญาณที่เราใช้บนสล๊อต

A0-A9 สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ใช้ในการกำหนดแอสเตรส (ADDRESS) ของอุปกรณ์ I/O ของระบบ สัญญาณนี้ถูกสร้างขึ้นโดย PROCESSOR หรือถูกสร้างจาก DMA CONTROLLER

D0-D7 สัญญาณที่ใช้ได้ทั้งอินพุต (INPUT) และ (OUTPUT) สำหรับอุปกรณ์ I/O

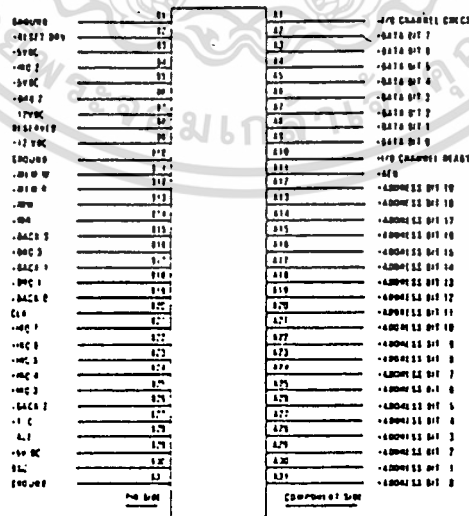
OSC สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ของ CLOCK โดย OSCILLATOR ความถี่ 14.31818 MHz

RESET DRV สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) ใช้ในการ RESET ระบบ และทำงานเมื่อสัญญาณเป็น 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

AEN สัญญาณเอาต์พุต (OUTPUT SIGNAL) จะทำงานที่ HIGH ใช้เมื่อไม่ต้องการให้ระบบติดต่อกับ I/O



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.4 แสดงการจัดขาของสัญญาณบนสล๊อตของคอมพิวเตอร์

ข) ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR) ในที่นี้เราใช้ไอซีเบอร์ ADC0808 ซึ่งสามารถรับสัญญาณอนาลอก (ANALOG INPUT) ได้ 8 ช่อง (CHANNEL) ให้สัญญาณดิจิทัล (DIGITAL OUTPUT) 8 บิต

ขาคำคัญที่ใช้มีดังนี้

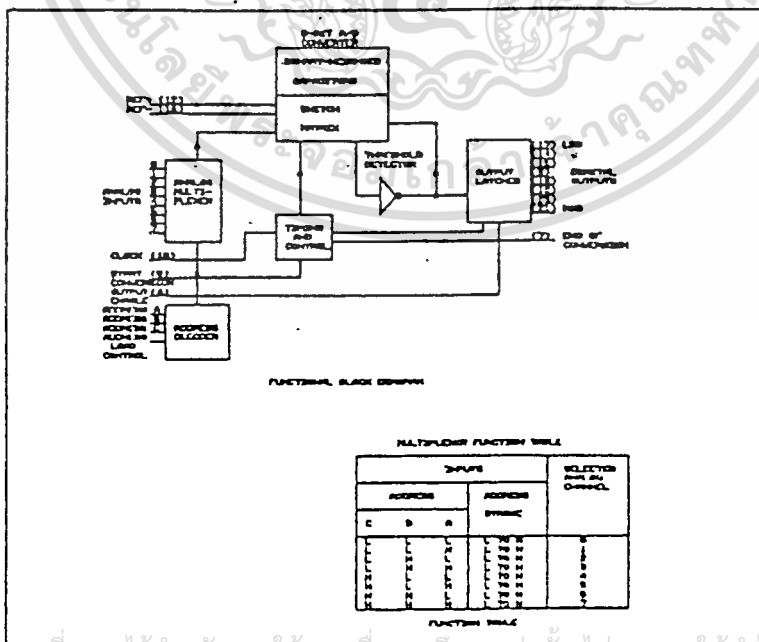
-ALE (ADDRESS LOAD ENABLE) ทำหน้าที่ LATCH MULTIPLEXER ADDRESS INPUT และทำงานเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา(CLOCK) เปลี่ยนจาก LOW (0) TO HIGH (1)

-ADDRESS (A,B,C) ทำหน้าที่ในการเลือกช่องสัญญาณเข้า (INPUT CHANNEL)

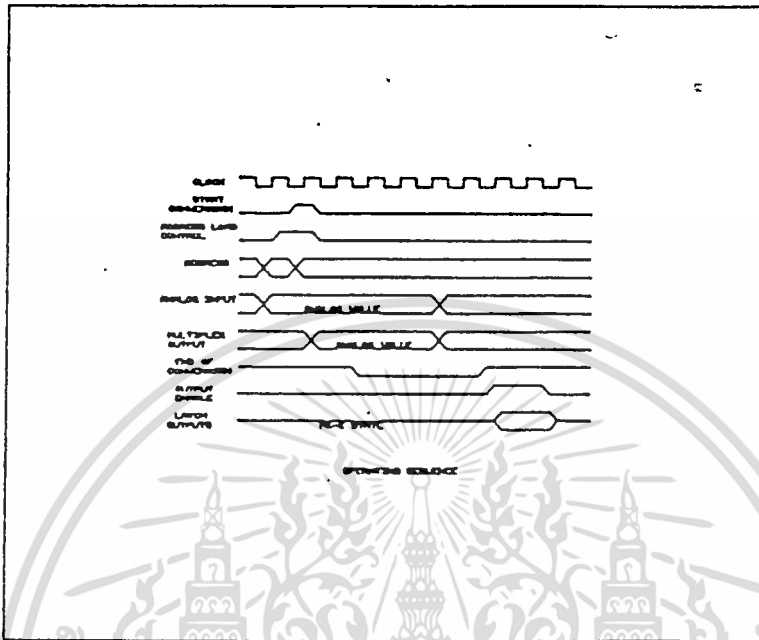
-START OF CONVERSION ควบคุมการเริ่มทำงานของการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิทัล

-OUTPUT ENABLE ควบคุมการส่งสัญญาณดิจิทัล (DIGITAL OUTPUT) -สัญญาณนาฬิกา (CLOCK) 447 KHz ได้จากสัญญาณ OSC ทหารด้วย 32ซึ่งในที่นี้ใช้เบอร์ 74LS393 เป็นวงจรหาร

ในการออกแบบเราจะต้องให้สัญญาณ ALE, ADDRESS (A,B,C) และ START OF CONVERSION ทำงานสัมพันธ์กันเสมอ นอกจากนี้ยังต้องสัมพันธ์กับ BUS CONTROL ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.5**แสดงบล็อกไดอะแกรมของ ADC0808 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของสัญญาณต่างๆของ ADC 0808

ค) ส่วนแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (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 ไปยังคอมพิวเตอร์ กล่าวคือ 74LS245 สามารถส่งข้อมูลได้ 2 ทาง

-ไอซีเบอร์ 74LS244 (BUFFERS AND LINE DRIVERS) ช่วยให้สัญญาณควบคุมที่ผิดเพี้ยนไปให้อยู่ในรูปที่ถูกต้อง

-ไอซีเบอร์ 74LS273 (STORAGE REGISTER) เป็น OCTAL D-FLOPS FLOPS การทำงานจะควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกาจากวงจรถอดรหัส (DECODER) ในการทำงานของไอซีเบอร์นี้ เราจะต้องให้สัมพันธ์กับ ADDRESS BUS และ CONTROL BUS (LOW) ด้วยในการทำงานของ D-FLIP FLOPS นั้นจะเกิดขึ้น เมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (CLOCK) เปลี่ยนจาก LOW (0) เป็น HIGH (1) เท่านั้นดังรูป

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

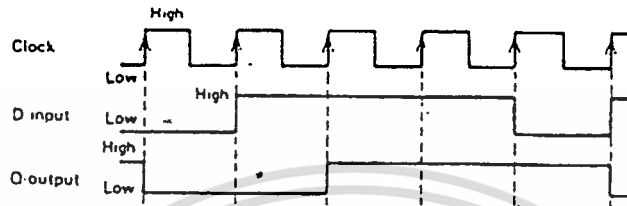
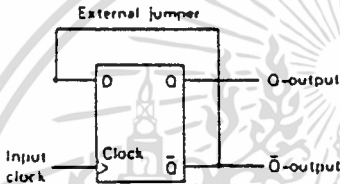
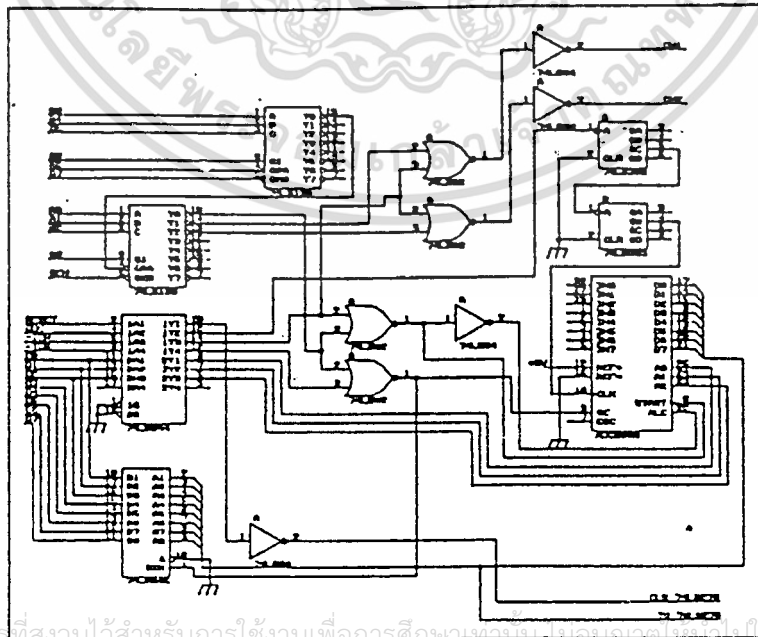


Figure 7-11. D-type flip-flop connected as toggle stage.



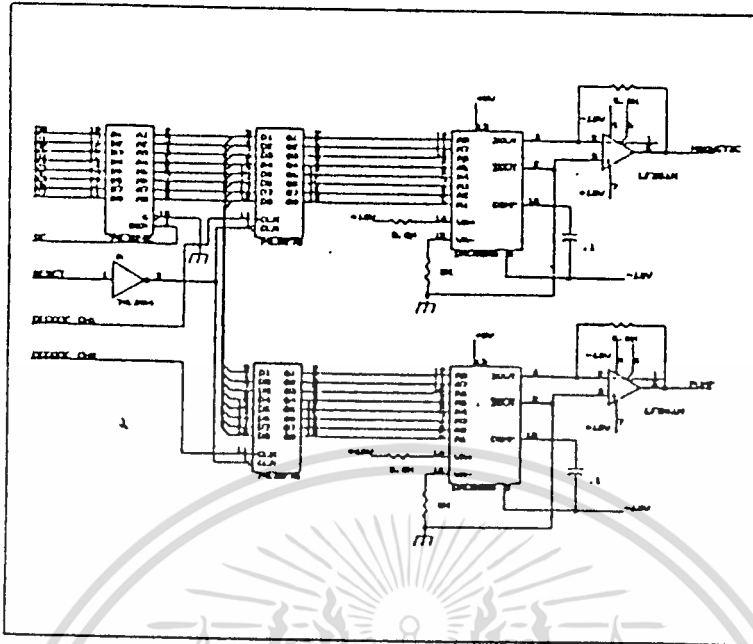
รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานของฟลิปฟลอป-ดี(D FLIP-FLOP)



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรตีโค้ดเดอร์ และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น ลีททั้งหมดมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงบัสดรานชิฟเวอร์ ชิพริจิสเตอร์และวงจรแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก

3.3 ซอฟต์แวร์ (SOFTWARE)

เป็นส่วนโปรแกรมที่จะทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ ให้สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการคือ ใ้รับค่าข้อมูล (สัญญาณที่แทนค่าอุณหภูมิ) ของขบวนการ แล้วทำการแสดงผลอุณหภูมิบนจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมนี้อันซึ่งในที่นี้ได้เขียนด้วย ภาษาปาสคาล (PASCAL LANGUAGE) จะทำการคำนวณตาม ที่ได้กำหนดเอาไว้ในโปรแกรม

ขั้นตอนของการทำงานของโปรแกรม สามารถเขียนได้เป็นโฟลว์ชาร์ต (flow chart) ได้ดังรูป 3.10 จากโฟลว์ชาร์ต จะพบว่าในโปรแกรมจะต้องมีค่าคงที่ หรือสมการที่ต้องกำหนดในการควบคุมดังนี้

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าอุณหภูมิ

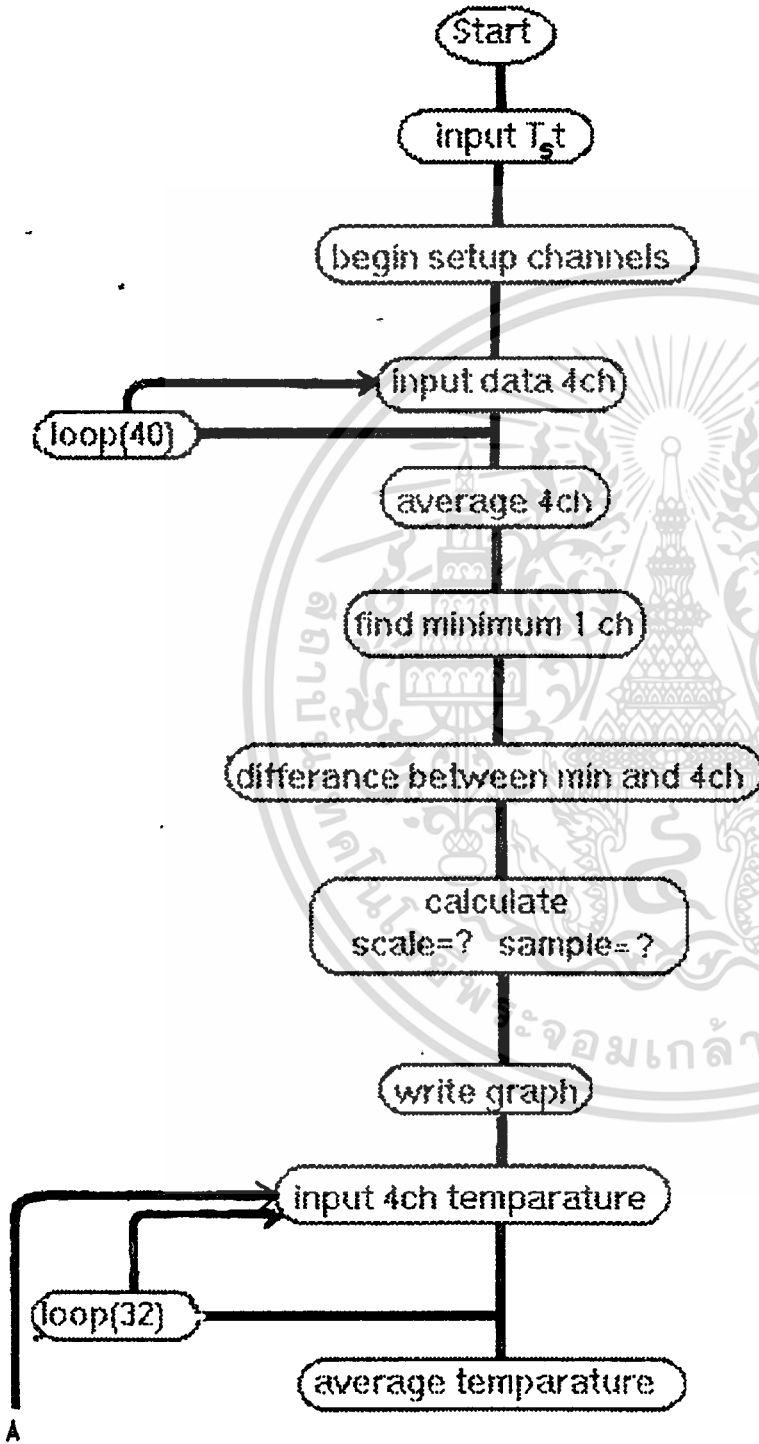
$$\text{ค่าศักดาไฟฟ้า} = \text{อุณหภูมิ} (^\circ\text{C}) / 10\text{mV}$$

3.3.2 ค่าเวลาสุ่ม (T_s)

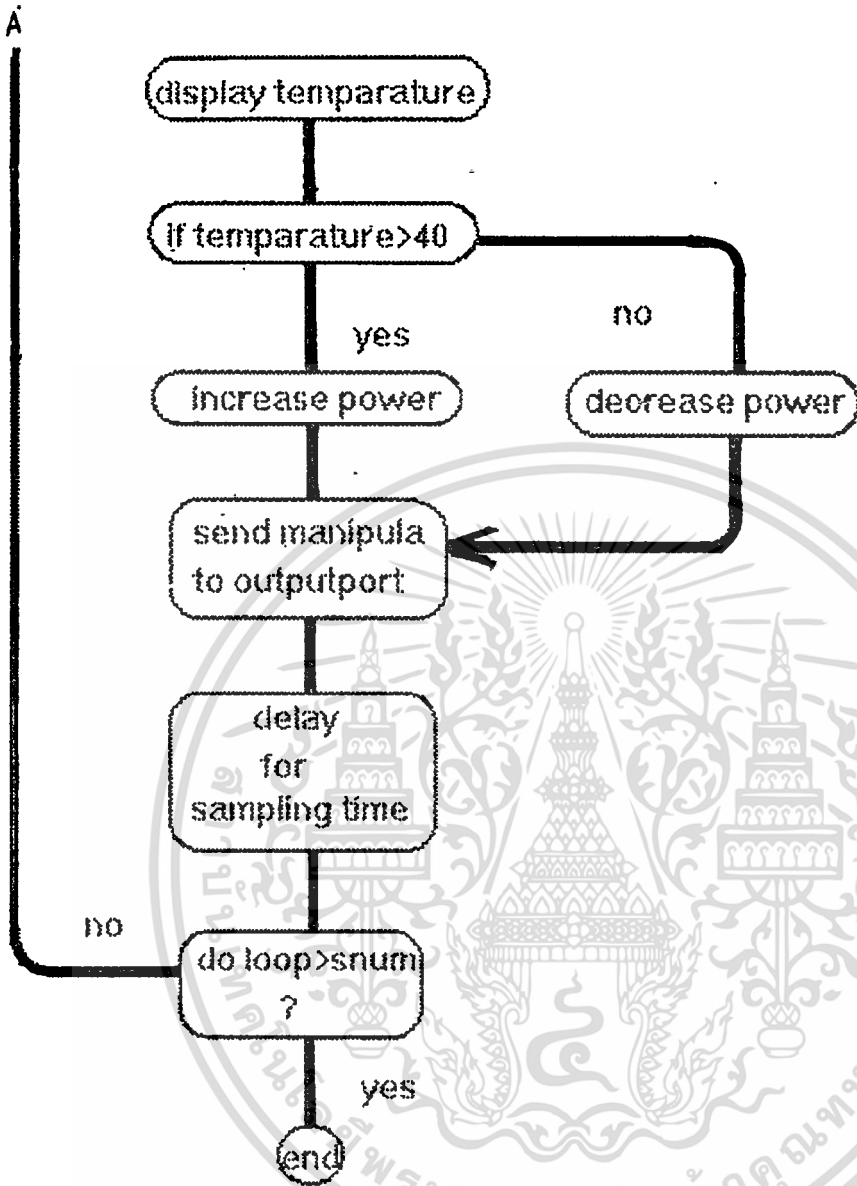
คือช่วงเวลาการวัดค่าข้อมูล จากกระบวนการ ซึ่งจะต้องตั้งค่าให้เหมาะสม กับกระบวนการที่ใช้ โดยดูจากอัตราการเพิ่มหรืออัตราการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิของน้ำในกระบวนการเทียบเวลา

3.3.3 ค่าเวลาสิ้นสุดการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คือช่วงระยะเวลาที่ต้องการควบคุม ช่วงเวลาควบคุมนี้ควรตั้งให้เหมาะสม
 ไม่ว่ากันถึงอันนี้ สิ่งหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ ค่าคงที่ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สมทั้งอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ และระดับของอุณหภูมิที่ต้องการด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PROGRAM Tempcontrol (input,output);
USES Crt,Graph;
CONST ch1=0;
CONST chnrl=4;
type Datin = array[1..chnrl] of byte;
type Data = array[1..chnrl] of real;
type Sdata = array[1..chnrl] of string;
type Intdata= array[1..chnrl] of integer;
VAR ch:Char;
    ta,fin,Ts,x,maxx,maxy:Integer;
    qq3,uu3,rr3,tt3,one,two,three,four,reftemp,Kp,Ti,Td,Alpha,Beta,Gamma:Real;
    tim1,tmp1:Intdata;

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
    setcolor(3);
    Cleardevice;
    Line(20,276,700,276);
    Line(20,10,20,276);
    Outtextxy(5,0,"Temperature [C]");
    Outtextxy(555,290,"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:=205;
While b<=60 Do
BEGIN
    Line(20,c,25,c);
    Str(b,tm_);
    Outtextxy(0,c,tm_);
    b:=b+10;
    c:=c-60;
END;
Outtextxy(30,340,'Press ESC -> Stop');
END;

```

```

PROCEDURE showdata (temperature:Sdata,time:string);
BEGIN

```

```

    setviewport(0,305,maxx,349,true);
    clearviewport;
    setcolor(13);

```

```

    Outtextxy(20,0,'CH1 = ');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Outtextxy(65,0,temperature[1]);
Outtextxy(130,0,'C');
    setcolor(9);
    Outtextxy(180,0,'CH2 = ');
    Outtextxy(225,0,temperature[2]);
    Outtextxy(290,0,'C');
        setcolor(10);
        Outtextxy(340,0,'CH3 = ');
        Outtextxy(385,0,temperature[3]);
        Outtextxy(450,0,'C');
            setcolor(14);
            Outtextxy(500,0,'CH4 = ');
            Outtextxy(545,0,temperature[4]);
            Outtextxy(610,0,'C');
setcolor(3);
Outtextxy(500,15,'TIME = ');
Outtextxy(565,15,time);
Outtextxy(600,15,'SEC');

END; { SHOW DATA }
PROCEDURE STEP(step:integer);
VAR
    a,i,d integer;
    aa :real;
BEGIN
i:=784;
    aa:=Exp(Ln(2)*step);
    a :=Round(aa);
    Port[i]:=a;
    delay(100);port[i]:=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
END; { OUT CONTROL STEP MOTOR }
```

```
PROCEDURE Control(con:real);
```

```
VAR
```

```
    cout,cou : integer;
```

```
    tempp,tem: real;
```

```
BEGIN
```

```
    tempp:=Round(con);
```

```
    if tempp > 40 then
```

```
        for cou:=0 to 3 do
```

```
            step(cou)
```

```
    else if tempp < 34 then
```

```
        for cou:=0 to 3 do
```

```
            begin
```

```
                cout:=3-cou;
```

```
                step(cout);
```

```
            end;
```

```
END;{ CONTROL POWER }
```

```
PROCEDURE Gphdisplay(temp:Data;T,finteger);
```

```
VAR    count,dot2:integer;
```

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

```
    ti:String;
```

```
    st:Sdata;
```

```
    tmp,tim2:Intdata;
```

```
BEGIN
```

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

```
    ta:=ta+T;
```

```
    Str(ta,ti);
```

```
    for count:=1 to chnrl do
```

```
        BEGIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if count=1 then setcolor(13)
  else if count=2 then setcolor(9)
  else if count=3 then setcolor(10)
  else if count=4 then setcolor(14);
Str(temp[count]:3:3,st[count]);

If temp[count] < 20 Then
  tmp[count]:=265+(Round((20-temp[count])*11/20))
  else
    tmp[count]:=265-(Round(temp[count]-20)*6);
dot2:=Round(f/3);
tim2[count]:=Round(tim1[count]+(10*T/(3*dot2)));
Moveto(tim1[count],tmp1[count]);
Lineto(tim2[count],tmp[count]);
tim1[count]:=tim2[count];
tmp1[count]:=tmp[count];
END;
showdata (st,ti);
END;

PROCEDURE PIDprocess (qq3,uu3,rr3,tt3:Real,T,fn:Integer);
CONST pidarea = 2.0;
CONST po=767;
VAR countt,count,snum,tt,code,t1,cha,loop :integer;
    pidzone,w,x,y,z :real;
    temp :Data;
    AD,mm,m1 :byte;
    Inputt :Array[1..120] of real;
    input :Datain;
    e0,e1,e2,m0 :real;

```

เอกสารนี้ char: เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

st      :Sdata;
BEGIN
  for count:=1 to chnrl do
    BEGIN tim1[count]:=20;tmp1[count]:=276; END;
  ta:=0;
  ch:=#00;
  Initgph;
  Scale(fn);
  snum:=Round(((fn*60)/T)+0.5);
  cha:=6;
  Repeat
  for tt:=1 to 3 do
  BEGIN
  w:=0;x:=0;y:=0;z:=0;
  for loop:=1 to 32 do
  BEGIN
  for count:=1 to chnrl do
  BEGIN
  Port[po+count]:= 0;    {set Port channel=0 }
  Delay(2);              {delay for convert to digital}
  inputt[count]:= Port[po+count]; . {get data}
  Delay(2);
  END;
  w:=inputt[1]+w;
  x:=inputt[2]+x;
  y:=inputt[3]+y;
  z:=inputt[4]+z;
  END;
  input[1]:=Round(w/30);
  input[2]:=Round(x/30);
  input[3]:=Round(y/30);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

input[4]:=Round(z/30);
temp[1]:=(input[1]-Round(qq3))*80/255;
temp[2]:=(input[2]-Round(uu3))*80/255;
temp[3]:=(input[3]-Round(rr3))*80/255;
temp[4]:=(input[4]-Round(tt3))*80/255;
delay(5);
for count:=1 to chnrl do
begin
Gphdisplay(temp,T,fn);
Delay(T*900);
if tt=2 then
if count=4 then
begin
val(st[4],t1,code);
control(t1);
end;
If Keypressed Then ch:=Readkey;
If ch<> #27 Then
Else Closegraph;
end;
END;
until ch=#27;
END;
{end for PID Process}
PROCEDURE SETUP(var qq3,uu3,rr3,tt3:real);
VAR q,qq2,uu2,rr2,tt2,k,i:Integer;
qq1,uu1,rr1,tt1,minimum:Real;
ww,xx,yy,zz:Array[1..100] of Integer;
BEGIN
q:=20;

```

เอกสารนี้เป็น for i:=1 to q do ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  Port[768]:=0;delay(10);ww[i]:=port[768];delay(10);
  Port[769]:=0;delay(10);xx[i]:=port[769];delay(10);
  Port[770]:=0;delay(10);yy[i]:=port[770];delay(10);
  Port[771]:=0;delay(10);zz[i]:=port[771];delay(10);
end;

qq2:=0;uu2:=0;rr2:=0;tt2:=0;
for i:=1 to q do
  begin
    qq2:=ww[i]+qq2;
    uu2:=xx[i]+uu2;
    rr2:=yy[i]+rr2;
    tt2:=zz[i]+tt2;
  end;
qq1:=0;uu1:=0;rr1:=0;tt1:=0;
  qq1:=(qq2)/q;
  uu1:=(uu2)/q;
  rr1:=(rr2)/q;
  tt1:=(tt2)/q;
if qq1<=uu1 then
  minimum:=qq1
else
  minimum:=uu1;
  if rr1<=minimum then
    minimum:=rr1;
  if tt1<=minimum then
    minimum:=tt1; write(minimum*80/255:3:3);
  qq3:=qq1-minimum;
  uu3:=uu1-minimum;
  rr3:=rr1-minimum;
  tt3:=tt1-minimum;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
END;  
BEGIN {MAIN}  
  ClrScr;  
  Write('input sample time period (Ts) in seconds');  
  Readln(Ts);  
  Write('input final time (minute)');  
  Readln(fin);  
  setup(qq3,uu3,rr3,tt3);  
  PIDprocess(qq3,uu3,rr3,tt3,Ts,fin);  
END.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรก ควรจะต้อง มีการอุ่นไส้หลอดแมกนีตรอนก่อน เป็นเวลาเล็กน้อย เพื่อการทำงานที่นำเชื่อถือ ถ้าหลอดแมกนีตรอน ทำงาน ภายใต้อุณหภูมิที่เย็น (โดยไม่มีการเริ่มให้ความร้อนก่อน) ควรจะต้องมีการป้องกันไดโอด จากแรงดันที่เพิ่มสูงขึ้นชั่วขณะ ซึ่งมักจะเกิดขึ้น ในทรานส์ฟอร์มเมอร์เป็นบางครั้ง และเพื่อที่จะลดการเกิดแรงดันที่เพิ่มขึ้นชั่วขณะ การเชื่อมต่อไส้หลอด F, FA กับ ขดลวด ของ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ จะเชื่อมต่อดังรูป ซึ่งจะทำให้ กระแสอาโนด ของหลอดแมกนีตรอนลดลง และแรงดันอาโนดเพิ่มขึ้น

3.5 การออกแบบและการสร้างไดเรคชันนัลคัปเปิลเลอร์

เนื่องจากกำลังงาน ที่ออกมาจาก หลอดแมกนีตรอน (Meganetron) ที่ความถี่ ประมาณ 2,450 เมกกะเฮิร์ตซ์ มีค่า 930 วัตต์ ซึ่งมีค่าสูงมาก โดยที่เราจะนำกำลังงานที่ได้นี้ ส่งไปยังน้ำที่จะทดสอบ ซึ่งคอยวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเราจำเป็นต้องรู้ว่า หลอด แมกนีตรอนได้จ่ายกำลังงานมากน้อยเพียงใด จำเป็นต้องใช้ไดเรคชันนัลคัปเปิลเลอร์ไปแยก กำลังงานส่วนหนึ่งเข้าเครื่องวัด

คัปปลิงแพคเตอร์ หาจากสมการ

$$45 \text{ dB} = 10 \log (p_1/p_3)$$

จากสูตรที่ (2.7.9)

ค่า $b = 2.5 \text{ cm.}$

$\epsilon = 1$

$Z_0 = 50 \text{ โอห์ม}$

จะได้ $s = 6.82 \text{ cm.}$

$w = 3.72 \text{ cm.}$

แมทซิ่งระหว่างคอนเนคเตอร์กับทรานสมิทชันไลน์ เมื่อแทนค่า $t=1.2 \text{ cm.}$ (ความหนาของ แผ่น) , $w = 3.72 \text{ cm.}$ (ความกว้าง) , $b = 2.5 \text{ cm.}$ (ความสูงของไดเรคชันนัลคัปเปิลเลอร์)

จากสูตรที่ อิมพีแดนซ์ของทรานสมิทชันไลน์ (Z_0) = 45 โอห์ม

$$\text{สมการ } Z_i = \sqrt{50Z_0}$$

อิมพีแดนซ์ของแมทซิ่ง $Z_L = 47 \text{ โอห์ม}$

จะได้ความกว้างของแมทซิ่ง = 3.27 cm.

จากการทดสอบ ความถี่ 2.45 MHz ค่าคัปปลิง = 43 dB

ทรานสมิทชันไลน์ลอส = -1.48 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

1. ตอนที่ 1 (ไม่เปิดหลอดแมกนีตรอน)

1.1 ใช้น้ำเป็นตัวทดลอง โดยวัดอุณหภูมิของน้ำ 4 จุด แล้วผ่านเข้าคอมพิวเตอรื เพื่อแสดงผลของอุณหภูมิที่วัดได้ทางหน้าจอ การแสดงผลของอุณหภูมิจะแสดง 4 ค่าของระดับอุณหภูมิ และจุดในระดับที่ต่าง ๆ กัน

1.2 เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำ โดยเติมน้ำร้อนให้อุณหภูมิของน้ำ มีค่าเปลี่ยนไปเพื่อตรวจสอบว่าอุณหภูมิที่วัดได้ มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดย่านอุณหภูมิที่เราต้องการวัด (30 - 60 องศาเซลเซียส) ค่าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ ผลที่ให้ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

2. ตอนที่ 2 (เปิดหลอดแมกนีตรอน)

2.1 ทำการทดลองวัดตอนที่ 1

2.2 ตั้งระดับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

2.3 ทำการต่อสัญญาณ output จากคอมพิวเตอรืเพื่อควบคุมการคอนโทรลการปรับส่วน high power ของแมกนีตรอนโดยให้ low power ของหลอดมีค่าคงที่

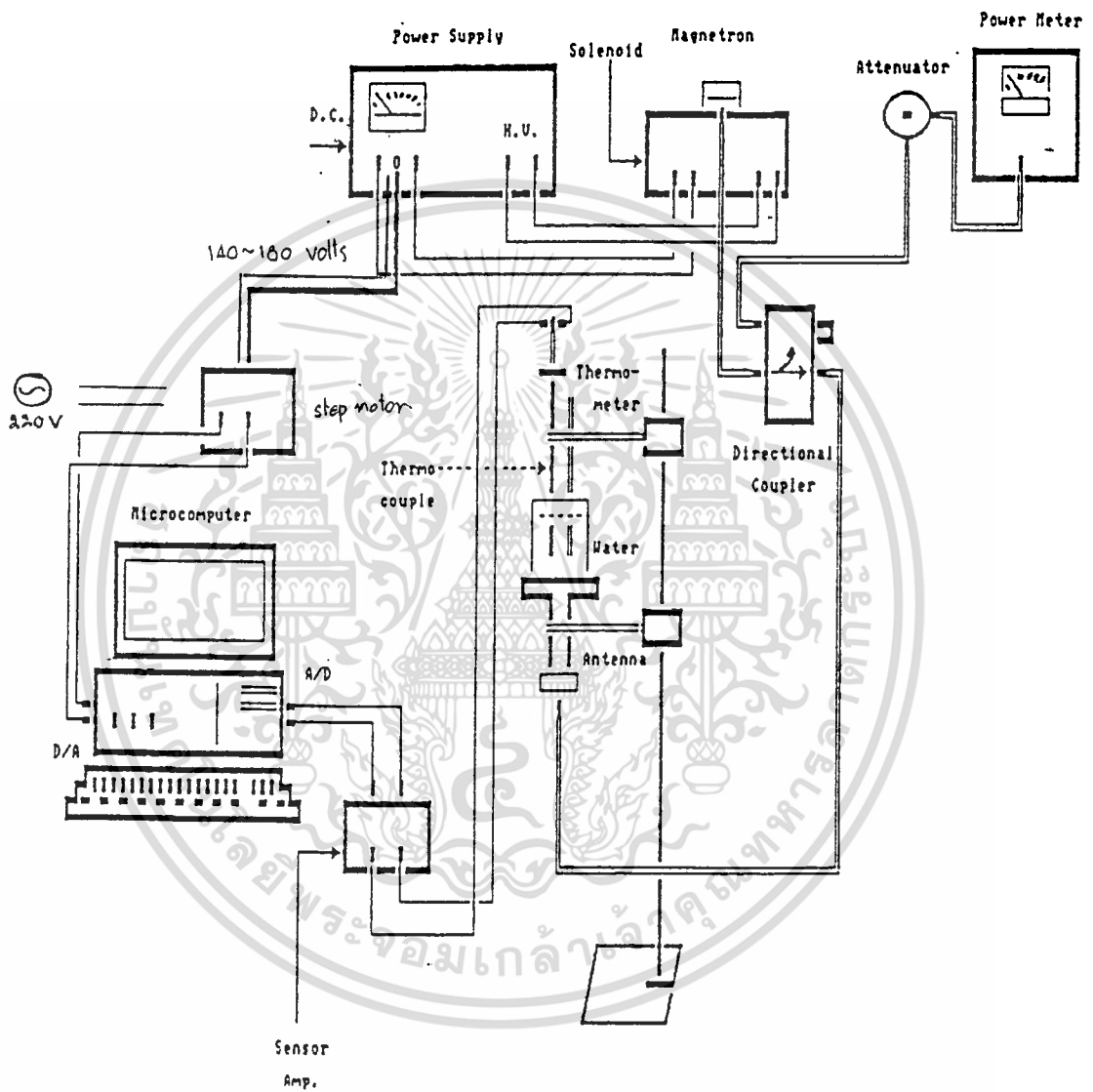
2.4 เริ่มทำการทดลองเปิดหลอดแมกนีตรอนผลที่ได้จากการวัดของเทอร์โมคัปเปิ้ล ทำให้สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ล มีการผิดพลาดของสัญญาณทำให้ค่าที่วัดได้ไม่เป็นไปตามอุณหภูมิของน้ำ

ผลการทดลอง

จากตอนที่ 1 สำหรับการวัดอุณหภูมิของน้ำโดยเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อเปรียบกับการแสดงอุณหภูมิออกทางหน้าจอคอมพิวเตอรื ผลที่ได้มีค่า ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าชุดอุณหภูมินี้ สามารถใช้งานได้จริง

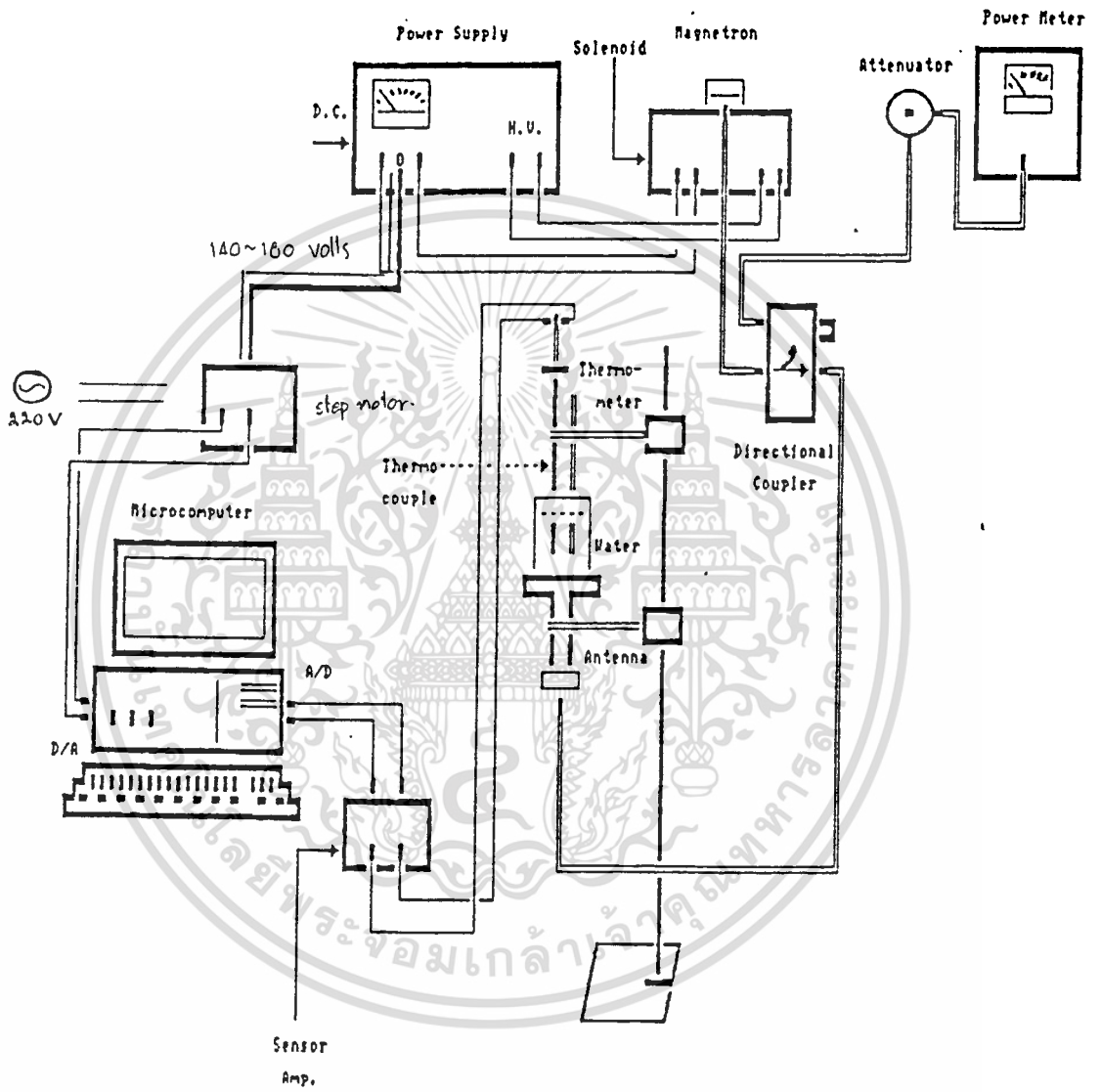
จากตอนที่ 2 เมื่อต่อหลอดแมกนีตรอนเข้ากับระบบ จะทำให้ค่าอุณหภูมิที่แสดงออกทางจอคอมพิวเตอรื แกว่ง ไม่คงที่ ทำให้ไม่สามารถนำค่าของอุณหภูมิกำหนดการปล่อยพลังงาน ของหลอดแมกนีตรอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

ในการศึกษาเกี่ยวกับ การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน จากการศึกษาดูทดลอง พบว่าสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงระบบทั้งหมด มีหลายส่วนด้วยกัน ซึ่งได้กล่าวแยกพิจารณาเป็นส่วน ๆ ดังนี้

หลอดแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน จึงอาจจะกล่าวได้ว่า เป็นหัวใจสำคัญของระบบก็ได้ ดังนั้นหลอดแมกนีตรอนที่จะนำมาใช้จะต้องควบคุมความถี่ และรวมทั้งค่าของกำลังงานเอาท์พุทที่จ่ายออกมาให้ได้ตามต้องการ ซึ่งในโครงการนี้เราใช้ความถี่ 2450 MHz ซึ่งเป็นความถี่ค่าหนึ่ง ที่มีผลในการรักษาโรคมะเร็ง แต่ในด้านหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ ใช้หลอดแมกนีตรอนที่ใช้ทำเตาอบนำมาทดลองที่ค่ากำลังงานค่อนข้างสูงมาก ประมาณ 930 วัตต์ ซึ่งในการทดลองก็ได้ลดค่ากำลังงานลง การลดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุท จากที่ใช้ตามปกติคือ 220 โวลต์จากที่โรงงานผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ ก็ทดลองลดลงมาเหลือ 140-180 โวลต์เพื่อที่เอาท์พุทของหลอดอยู่ระหว่าง 50 -100 วัตต์ และไม่สามารถลดให้ต่ำลงไปมากกว่านี้อีก เนื่องจากหลอดจะไม่สามารถทำงานต่อไปได้ และการที่เราไม่ได้ใช้ค่าอินพุทให้ตรงตามที่ออกแบบใช้งานเดิม จะทำให้การทำงานของหลอดแมกนีตรอนไม่แน่นอน เกิดการกระเพื่อมของคลื่นที่ปล่อยออกมาสูง ปัญหาอีกประการหนึ่งในเรื่องเกี่ยวกับ หลอดแมกนีตรอนก็คือระบบสายนำสัญญาณที่จะต้องทนรับคลื่นที่ กำลังสูงมาก ทำให้อาจจะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนได้ และสัญญาณรบกวนที่ออกจากหลอดแมกนีตรอนไปเข้าสายส่งไฟฟ้ากำลัง (Power Line) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญมากในการติดตั้งระบบการวัดอุณหภูมิ ทำให้เกิดการวัดอุณหภูมิที่ไม่เที่ยงตรง ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมระบบนี้จึงต้องพยายามแก้ไขการรบกวน

ในด้านเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ที่ได้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในระบบโครงการนี้ ส่วนของวงจรรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ล มีสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมก็คือวงจรรขยายสัญญาณที่จะให้ค่าสัญญาณแปรตามค่าอุณหภูมินั้นจะต้องมีค่าถูกต้อง แม่นยำ แน่นอน และประสิทธิภาพดี จึงจะส่งค่าไปที่คอมพิวเตอร์ได้ถูกต้อง ปัญหาเกี่ยวกับวงจรส่วนนี้ก็คือการแก้ปัญหาทางซอฟต์แวร์โดยการปรับค่าเริ่มต้น และรับค่าเริ่มต้น แล้วหาสัมประสิทธิ์ เพื่อแสดงผลการวัดอุณหภูมิในตรงกับค่าจริง

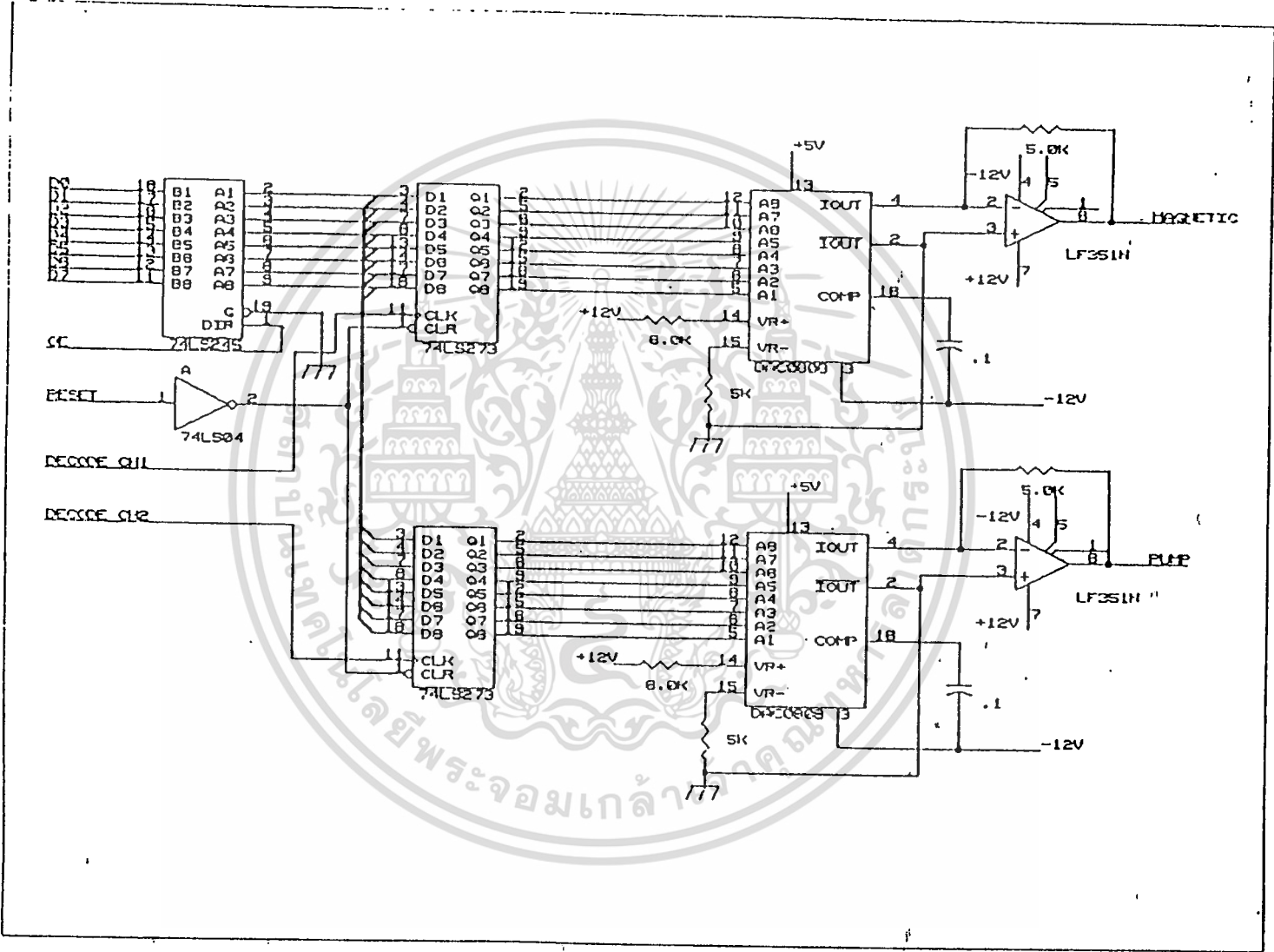
ส่วนของงานที่เกี่ยวกับด้านคอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำงานได้ดี การหาค่าอินพุทเข้าโดยการเฉลี่ยค่าอินพุท จะทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาดน้อย ผลที่ได้ไม่ตรงตามต้องการอยู่บ้าง แต่ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากผลจากส่วนอื่นที่ต่อเนื่องมายังส่วนฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นก็ยังเป็นเรื่องเกี่ยวกับความแม่นยำถูกต้องของอุปกรณ์หรือชิพ (Chip) บางตัว เช่น IC ADC 0808

บางครั้งก็ยังมีข้อผิดพลาดในการแปลงสัญญาณอยู่บ้าง แต่น้อยมากจนถือว่ายอมรับได้ ส่วนด้านซอฟต์แวร์หรือตัวโปรแกรมที่ใช้ นั้น เมื่อมีการพัฒนาระบบในส่วนประกอบอื่น ๆ ส่วนของซอฟต์แวร์นี้จะต้องมีการพัฒนาตามไปด้วย

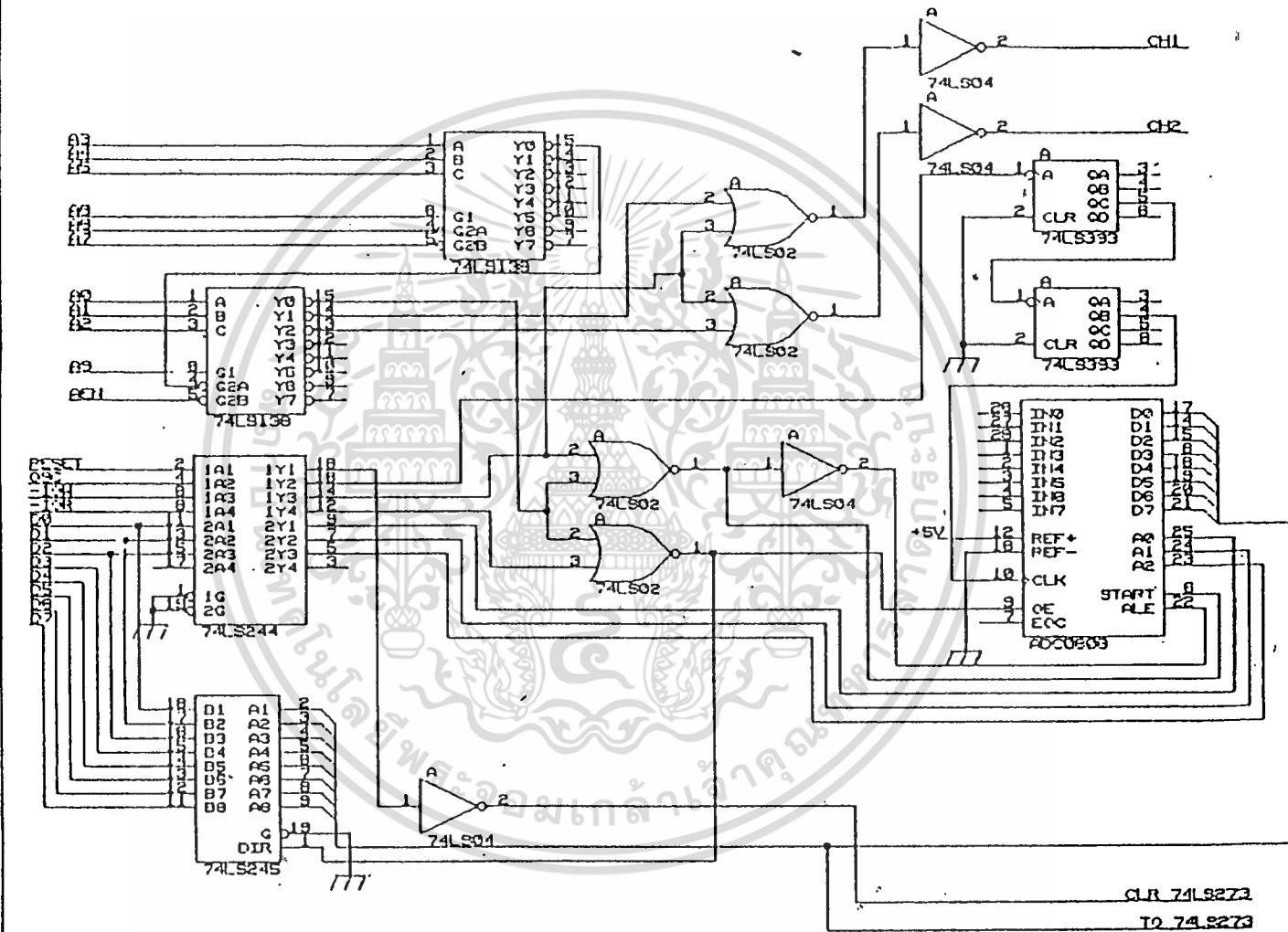


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอนุกรมการถอดชุดหมอนบินของเครื่องการระดมสมอง



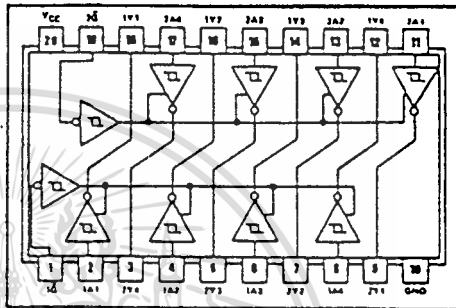
ออกแบบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล



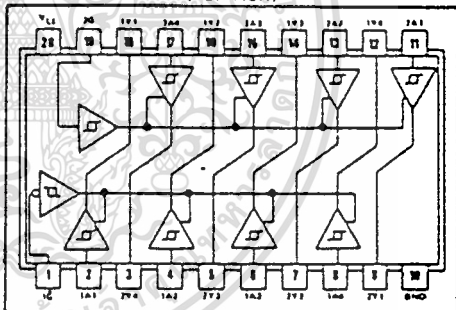
TYPES SN54LS240, SN54LS241, SN54LS244, SN54S240, SN54S241, SN74LS240, SN74LS241, SN74LS244, SN74S240, SN74S241 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

	Typical IOL (Sink Current)	Typical IOH (Source Current)	Typical Propagation Delay Times		Typical Enable/Disable Times	Typical Power Dissipation (Enabled)	
	Current	Current	Inverting	Noninverting	Times	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

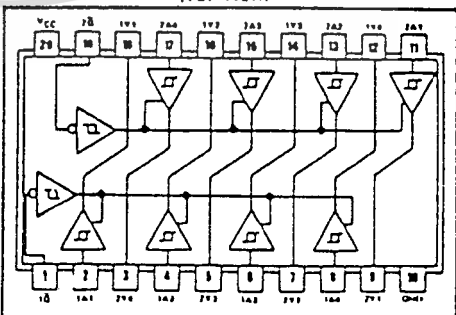
SN54LS240, SN54S240 ... J
SN74LS240, SN74S240 ... J OR N
(TOP VIEW)



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



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



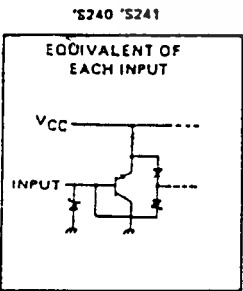
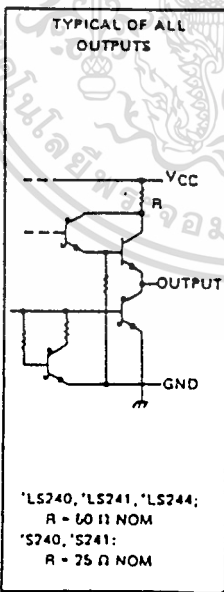
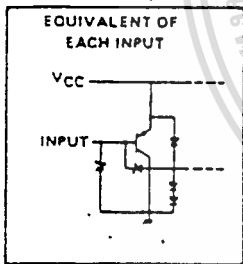
- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- P-N-P Inputs Reduce D-C Loading
- Hysteresis at Inputs Improves Noise Margins

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

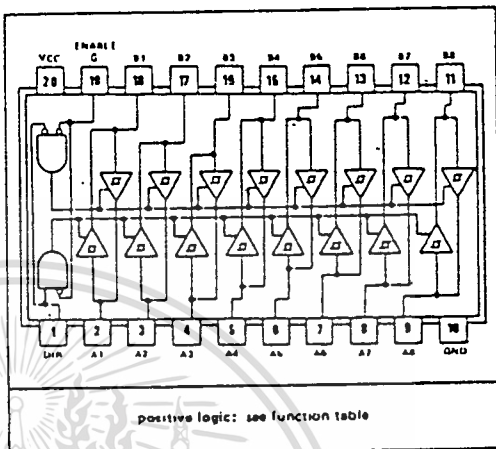


TYPES SN54LS245, SN74LS245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

BULLETIN NO. DL-S 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

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



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

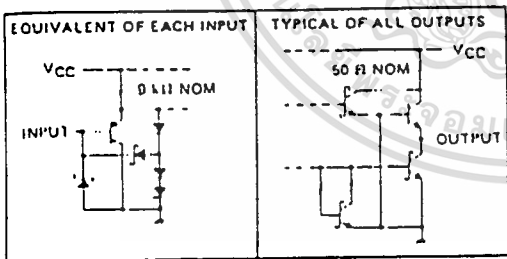
description

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 (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 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*	-55°C to 125°C
SN74LS*	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 160°C

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

Copyright © 1979 by Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

POST OFFICE BOX 225017 • DALLAS, TEXAS 75225

TTL
MSI

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

BULLETIN NO. DL-5 7611804, 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

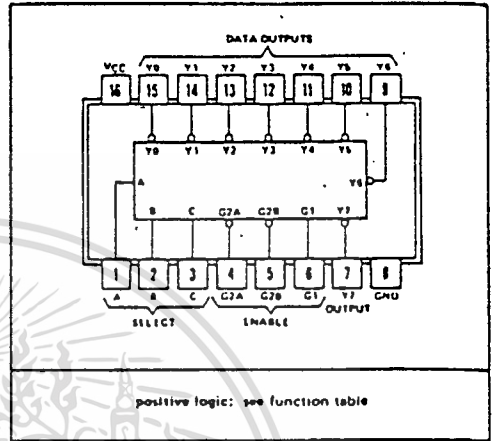
These Schottky-clamped TTL MSI circuits are designed to be used in high-performance memory-decoding or data-routing applications requiring very short propagation delay times. In high performance memory systems these decoders can be used to minimize the effects of system decoding. When employed with high-speed 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.

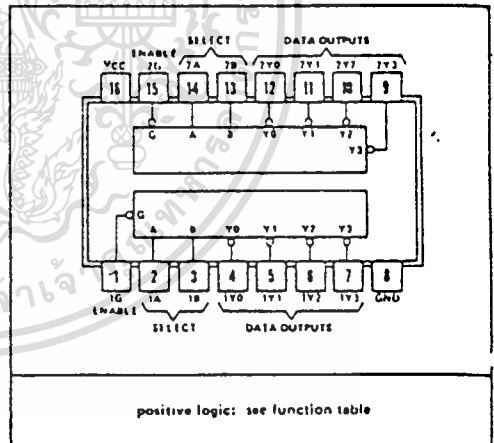
All of these decoders/demultiplexers feature fully buffered inputs each of which represents only one normalized Series 54LS/74LS load ('LS138, 'LS139) or one normalized Series 54S/74S load ('S138, 'S139) to its driving circuit. All inputs are clamped with high-performance Schottky diodes to suppress 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)

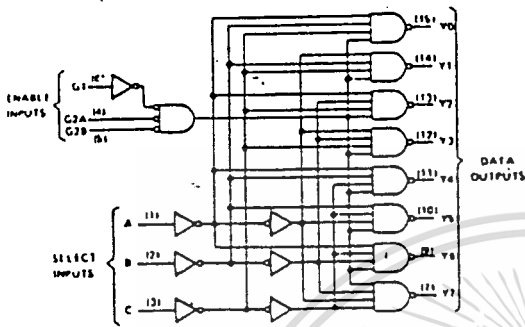


positive logic: see function table

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

functional block diagrams and logic

'LS138, 'S138

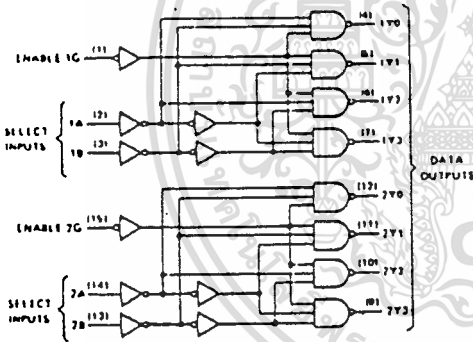


'LS138, 'S138
FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS								
ENABLE	SELECT										
G1 G2*	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X H*	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H
H L	L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H
H L	L	L	H	H	L	H	H	L	H	H	H
H L	L	L	H	H	H	L	H	H	L	H	H
H L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	L	H
H L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	L	H
H L	H	H	L	H	H	H	H	H	L	H	L
H L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L

*G2 = G2A + G2B
H = high level, L = low level, X = irrelevant

'LS139, 'S139



'LS139, 'S139
(EACH DECODER/DEMULTIPLEXER)
FUNCTION TABLE

INPUTS		OUTPUTS				
ENABLE	SELECT					
G	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3
H	X	X	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H
L	H	L	H	H	L	H
L	H	H	H	H	L	L

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

schematics of inputs and outputs

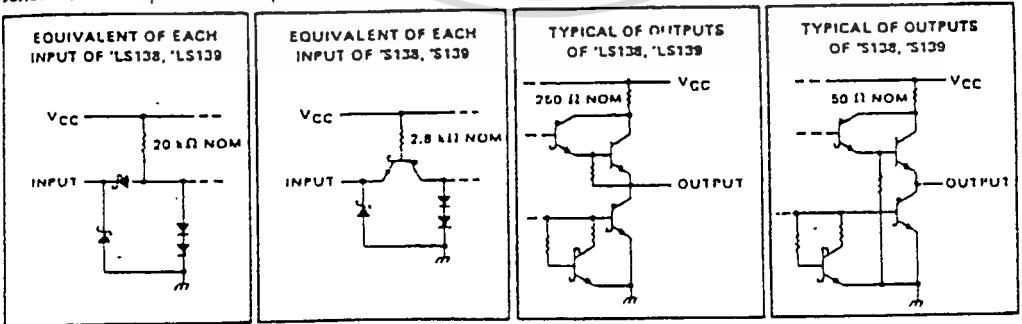
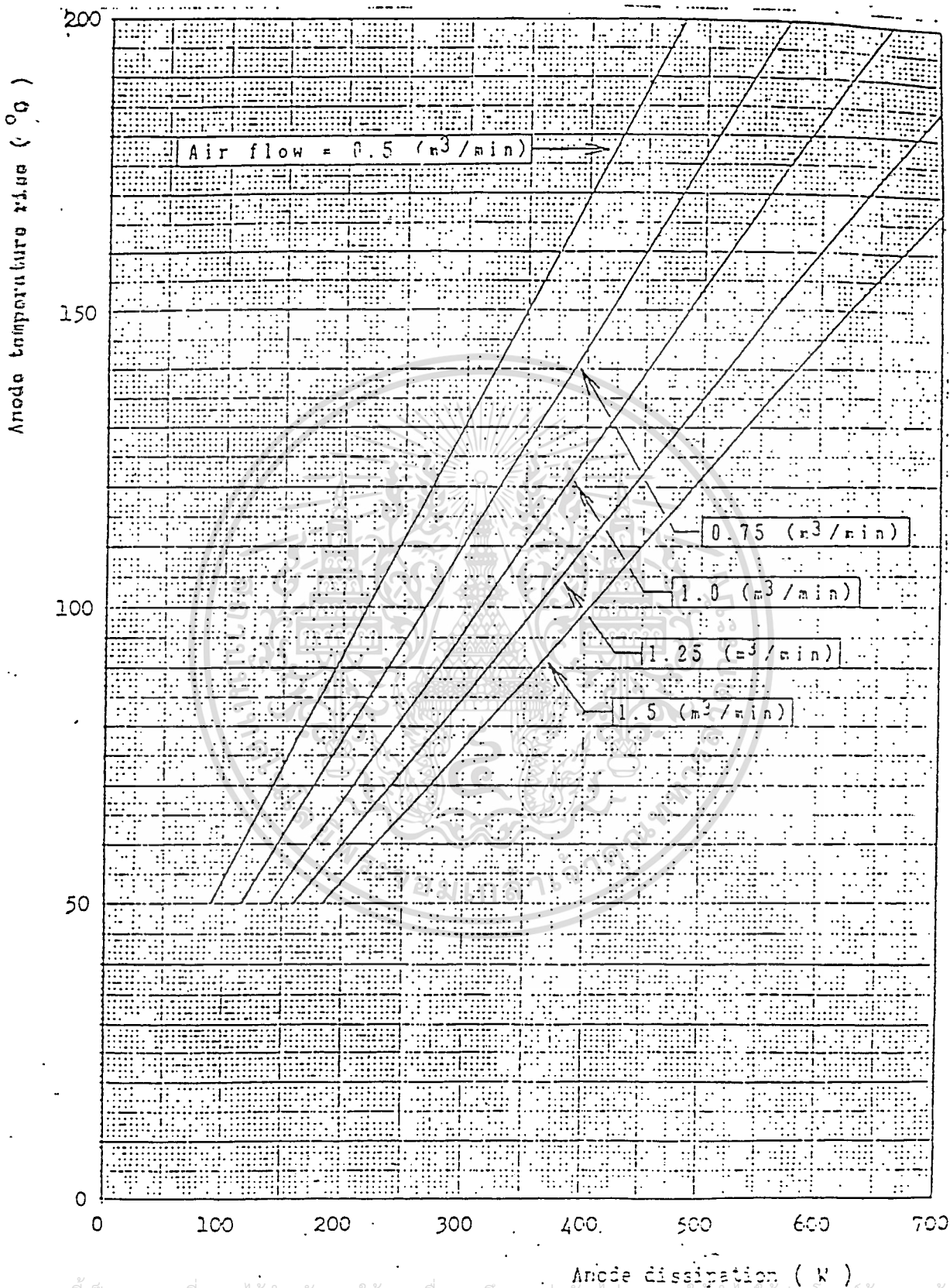


Fig. 3 ANODE DISSIPATION vs. ANODE TEMPERATURE

mm.



TTL
MSI

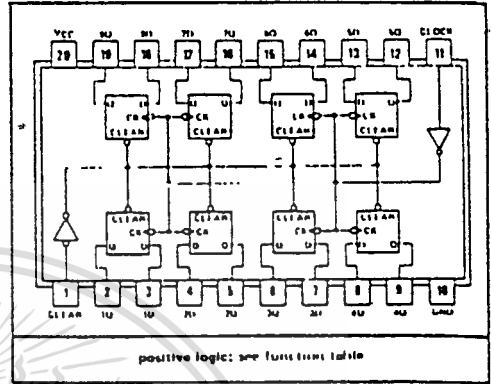
TYPES SN54273, SN54LS273, SN74273, SN74LS273

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



FUNCTION TABLE
(EACH FLIP-FLOP)

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

See explanation of function tables on page 3 B.

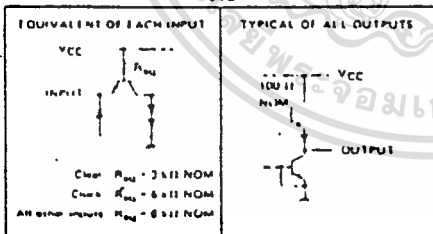
description

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

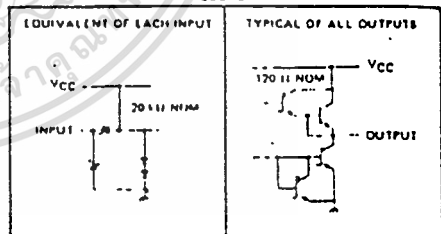
Information at the D inputs meeting the setup time requirements is transferred to the Q outputs on the positive going edge of the clock pulse. Clock triggering occurs at a particular voltage level and is not directly related to the transition time of the positive-going pulse. When the clock input is 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.

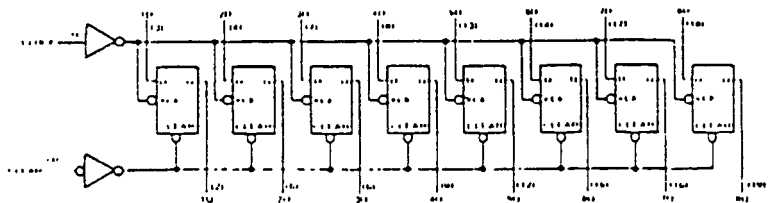
schematics of inputs and output
'273



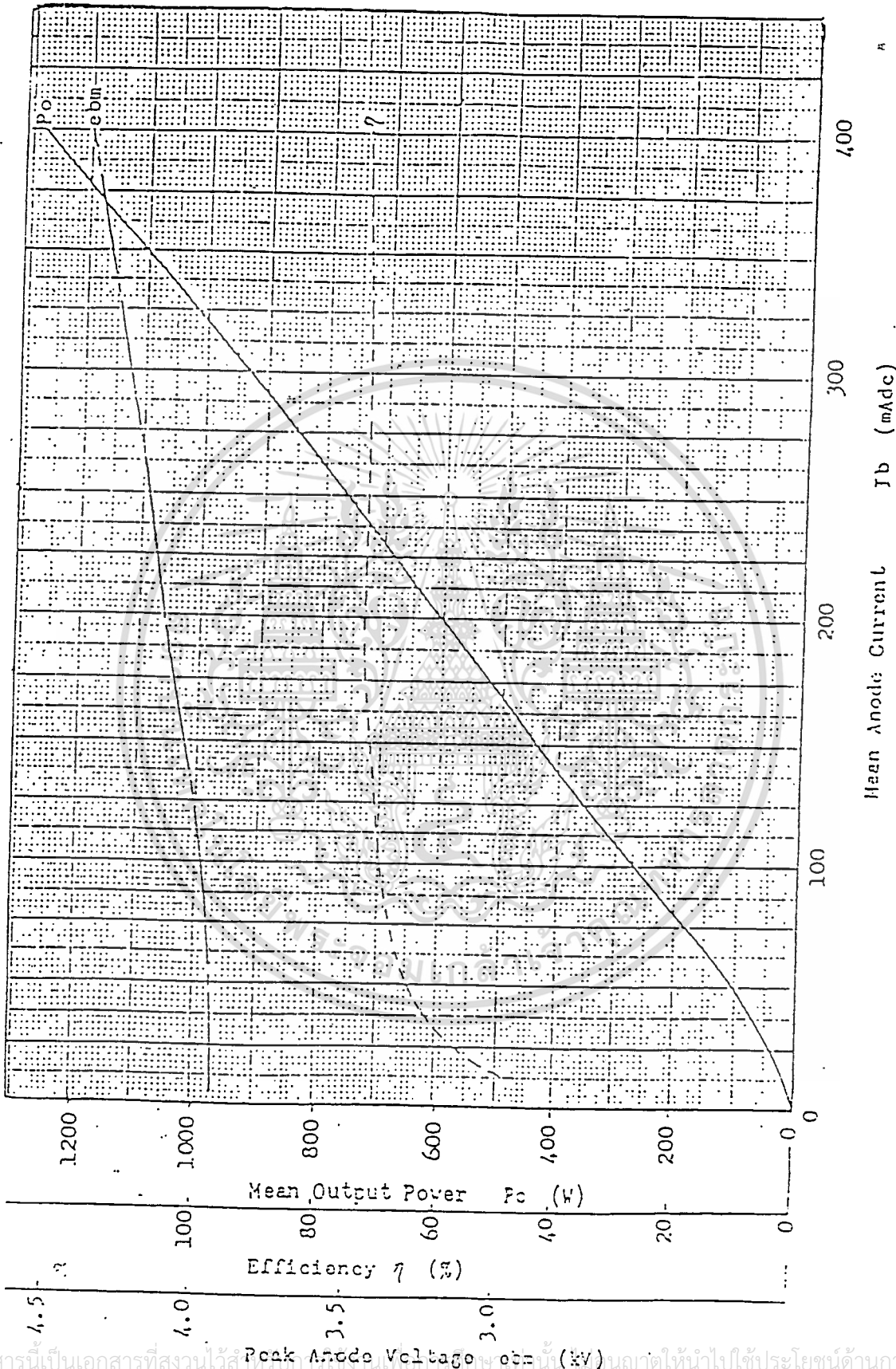
'LS273



functional block diagram



Performance Chart



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Issued	การแก้ไข	ทั้ง	Sym	ได้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข
9/10/85	Revision	Date		

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้อาจไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจาก

1. อาจารย์ โมไนย ไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อ
งานนี้
2. พี่กิตติศักดิ์ วายุกัด และพี่พงษ์พัฒน์ น้อยแรม พี่ที่ห้อง Project ที่ คอยดูแลและช่วย
แก้ไขปัญหา
3. เพื่อน ๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1.บุญเลิศ เอี่ยมทัศนาศนา, "เรียนรู้ภาษาปาสคาลด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0-5.0", ซีเอ็ดดูเคชั่น 273 หน้า, 2532
- 2.ธนินทร์ ถาวรศาสนวงศ์, ทินกร ดุ๊ก, "การอินเตอร์เฟส IBM PC", ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 256 หน้า
- 3.กิตติ ศีรเศรษฐ, "อุปกรณ์วัดและการควบคุมขบวนการ"
- 4."คู่มือเทียบเบอร์ไอซี ทีทีแอล (The World IC Data & Cross-Reference Guide)", ซีเอ็ดดูเคชั่น, 398 หน้า
- 5.Darold Wobschall, "Circuit Design for Electronic Instrumentation", Analog and Digital Devices from sensor to display, Mc Graw-Hill Book Company.
- 6.Katsuhiko Ogata, "Introduction to Digital Technology", John Wiley and Sons.
- 7."The TTL Data Book for Design Engineer", 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, Inv.,1984.
- 11.A.C.Metaxas BR.J.Meredith, "Industrial Microwave Heating", Peter peregrinus Ltd.,1983.
- 12.Bharathi Bhat,Shiban K.Koul, "Stripline-Like Transmission Lines for Microwave Intregrated Circuits", Wiley Eastern Limited, 1989.
- 13.Harlan Howe, JR, "Stripline Circuit Design", Microwave Associates Burlington, Mass, 1974.
- 14.Willis J.Tompkins, John G. Webster, "Interfacing Sensors to the IBM PC", Prentice Hall, 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้