

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
โดยโปรแกรม

PROGRAMABLE AIR-CONDITIONED CONTROL

จิตรลดา รัตนเมธานนท์

CHITRALADA RATANAMEATHANON

สุนีย์ ฉันทศาสตร์วิเศษ

SUNEE CHANTASADRUDSAMY

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2530

ปฏิทินพันธบัตรปีการศึกษา 2530

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม .

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยโปรแกรม

ผู้จัดทำ

1. นางสาว จิตรลดา รัตนเมธานนท์
2. นางสาว สุนีย์ ฉันทศาสตร์รัตมี

..... วันชัย ธีรจุฑา อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ วันชัย ธีรจุฑา)

สารบัญ

บทคัดย่อ

ABSTRACT

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	หลักการทํางาน	2
บทที่ 3	การคํานวณและการสร้าง	5
	3.1 ส่วนควบคุมการทํางานระยะไกล	5
	3.2 ส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์	21
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	27
บทที่ 5	สรุป	41
	กิตติกรรมประกาศ	
	หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
โดยโปรแกรม

จิตรลดา รัตนเมธานนท์
สุนีย์ ฉันทศาสตร์วัฒน์
วันชัย ธีรวิภา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2530

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยโปรแกรม (Programmable Air-Conditioned Control) เป็นการควบคุมการทำงานโดยอาศัยหลักการผสมคลื่นคำสั่ง, ข้อมูล เข้าสู่สายไฟฟ้า (A.C. Line) ซึ่งที่เครื่องปรับอากาศแต่ละตัวจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ, ตอบรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์ที่เป็นศูนย์กลางควบคุม โดยส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS-232C และอาศัยโปรแกรมทางซอฟต์แวร์ในการจัดระบบรับ-ส่งข้อมูล, ระบบการทำงานเพื่อตอบสนองแก่ผู้ใช้งาน สำหรับโครงการนี้ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์การควบคุมการทำงาน และเขียนโปรแกรมสำหรับเครื่องปรับอากาศเพียงตัวเดียว เพื่อทำการทดลองในการติดต่อข้อมูลภายในสายไฟฟ้า

PROGRAMABLE AIR-CONDITIONED CONTROL

CHITRALADA RATANAMEATHANON

SUNEE CHANTASADRUDSAMY

WANCHAI RIEWRUJA ADVISOR

1987

Abstract

Programmable air-conditioned control is used to control functions of air conditions by modulation control signals, data signals with carriers into A.C.line. Each air condition has its sensor, receiver-transmitter circuit to communicate with computer which is a control center. This project uses software to transmit to or receive from RS-232C (standard port). For this project, it has control function circuits and software for only one air condition to check receiving and transmitting data through A.C.line.

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้ อาคารต่าง ๆ เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตการทำงานของมนุษย์ ซึ่งจะต้องอาศัยพลังงานต่าง ๆ เข้ามามีส่วนช่วยในการในใช้ชีวิตอาศัยอยู่อย่างสะดวกสบาย จึงได้มีการจัดการระบบการใช้พลังงานขึ้นที่เรียกว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับอาคาร (Computer Based Building Automation System, BAS.) สามารถใช้ในงานระบบต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้า, ระบบปรับอากาศ, ระบบแสงสว่าง, ระบบระบายอากาศซึ่งจะมีลักษณะการใช้งานที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้มาก การแก้ไขโปรแกรมภายในก็สามารถทำได้ไม่ยาก ทำให้มีความคล่องตัวสูง ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยโปรแกรมก็เป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับอาคารนี้ด้วย

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ- โดยโปรแกรม- เป็นระบบที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ มีการจัดการควบคุมการใช้พลังงานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาถึงในด้านประหยัดค่าใช้จ่าย, พลังงาน, ช่วงเวลาในการเปิด-ปิดของระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับสภาพใช้งาน และสภาพแวดล้อม

ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยโปรแกรมนี้ ทำงานโดยอาศัยหลักการผลสมคลื่นความถี่ในสายไฟฟ้า ทำให้สามารถใช้งานได้กับอาคารที่สร้างใหม่ โดยไม่ต้องเพิ่มการวางสายให้ยุ่งยาก, ลื่นเปลือง และยังคงไว้ซึ่งความสวยงาม หรือสามารถใช้งานได้กับอาคารเก่าโดยไม่ต้องเดินสายเพิ่มเติมเลย และในลักษณะของการควบคุมการทำงาน ต้องการให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานเปิด-ปิดได้เพียงครั้งละ 1 เครื่องเท่านั้น ทำให้ความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ (Peak Demand) มีค่าไม่สูง เมื่อเทียบกับการเปิด-ปิดการทำงานครั้งละหลาย ๆ เครื่อง ทำให้สามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้อีกด้วย และ เนื่องจากระบบนี้อาศัยคอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางการควบคุมการทำงานทั้งหมด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์บางอย่างที่ส่วนอุปกรณ์ตอบรับปลายทาง ก็จะสามารถนำไปพัฒนาใช้ควบคุมการทำงานของระบบอื่น ๆ เช่น ระบบกันขโมย, ระบบป้องกันไฟไหม้ ได้อีกด้วย

บทที่ 2

หลักการทํางาน

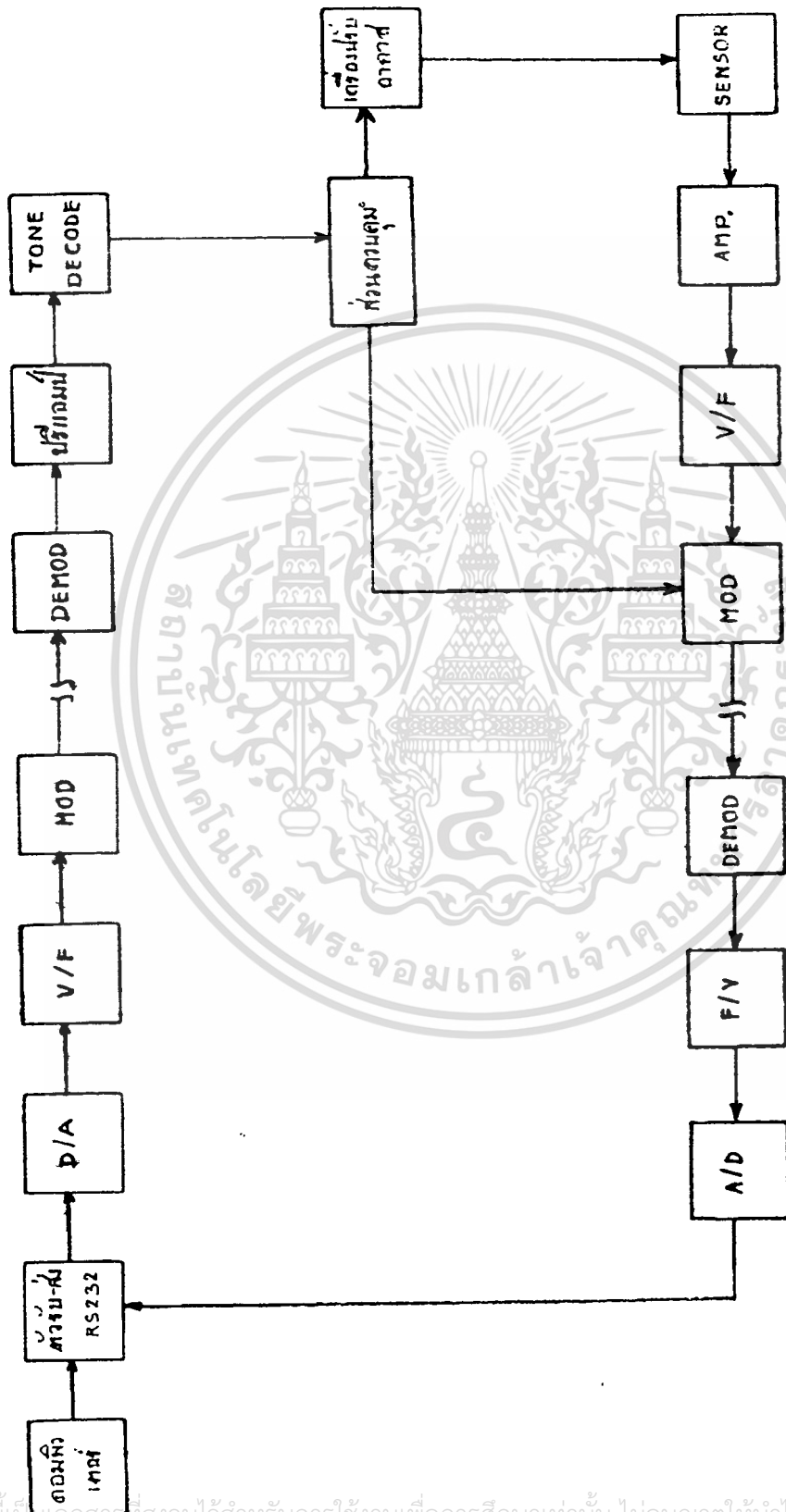
ระบบควบคุมการทํางานของเครื่องปรับอากาศ โดยโปรแกรม จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ

1. ด้านซอฟต์แวร์ ระบบที่ใช้ภาษาเทอร์โบซี (Turbo C) เพื่อเขียนโปรแกรมและชุดคำสั่งควบคุมการทํางาน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ทำให้เกิดความคล่องตัวสูงในการขยายงานให้กว้างขึ้น

2. ด้านฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วยงาน 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทํางานของเครื่องปรับอากาศระยะไกล และส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์

สำหรับส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์มีโครงสร้างการทํางานเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 และมีหลักการทํางานดังนี้

ข้อมูลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแบบขนานจะถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลแบบอนุกรมผ่านพอร์ท RS-232C จะถูกแปลงกลับเป็นข้อมูลแบบขนานที่วงจรแปลงระหว่างสัญญาณแบบขนานและแบบอนุกรม (Addressable Asynchronous Receiver/Transmitter) ส่งผ่านเข้าวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A Converter) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณโวลต์เตจ แล้วนำไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณความถี่ที่วงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณความถี่ (V/F Converter) หลังจากนั้นนำความถี่ที่ได้ไปผสมกับคลื่นพาหะ (Carrier Frequency) แบบฟรีแควนซีโมดูเลชัน (Frequency Modulation) ส่งผ่านเข้าไปในสายไฟฟ้า และเมื่อสัญญาณผ่านสายไฟฟ้าจะผ่านเข้าสู่วงจรแอมป์โมดูเลชัน ที่มีแท่งจูนซึ่งจูนค่าไว้ที่ค่าเดียวกับคลื่นพาหะจะได้รับการขยายโดยผ่านทางวงจรพรีแอมป์ลิฟาย (Pre-Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณที่อาจมีค่าลดลงไปเนื่องจากระยะทางไกล และดีโมดูเลชันสัญญาณออกมา จะได้สัญญาณส่งไปเลือกการทํางานของเครื่องปรับอากาศ โดยที่เครื่องปรับอากาศแต่ละตัวจะมีคลื่นความถี่ประจำเครื่อง ซึ่งจะได้รับ การกำหนดโดยวงจรโทนดีโคดเดอร์ (Tone Decoder) และวงจรโทนดีโคดเดอร์จะส่งสัญญาณเปลี่ยนระดับออกมาก็ต่อเมื่อ ความถี่ที่ได้รับมีค่าอยู่ในช่วงความถี่ที่กำหนดไว้ สัญญาณที่ได้จากวงจรโทนดีโคดเดอร์จะผ่านเข้าสู่ส่วนควบคุมการติดต่อ ส่วนควบคุมการติดต่อจะส่งสัญญาณมาเปิด-ปิดการทํางานของเครื่องปรับอากาศ หรือเป็นสัญญาณที่ไปกำหนดให้มีการผสมข้อมูล (คืออุณหภูมิที่อ่านมาได้จากส่วนวงจรตรวจจับอุณหภูมิ (Sensor) ซึ่งมีความเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับระดับโวลต์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตจ แล้วได้รับการแปลงเป็นสัญญาณความถี่เมื่อผ่านวงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณความถี่) เข้าสู่สายไฟฟ้าและดีโมดูลสัญญาณความถี่ออกมา นำมาแปลงเป็นสัญญาณโวลต์เตจที่วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณโวลต์เตจ (Frequency To Voltage Converter) แล้วจึงนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล ที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D Converter) เพื่อเป็นข้อมูลส่งเข้าตัวรับส่งพอร์ท RS-232C ของคอมพิวเตอร์ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณ และจัดส่งชุดคำสั่งการทำงานกลับไปควบคุมเครื่องปรับอากาศนั้น ๆต่อไป

สำหรับข้อมูลที่รับส่งผ่านทางคอมพิวเตอร์จะเป็นชุดคำสั่งควบคุมการทำงานและข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณ ซึ่งก็คือ อุณหภูมิ ข้อมูลจะมีรูป 3 ลักษณะ คือ

1. ส่งความถี่ประจำตัวเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องออกไป เพื่อเลือกเครื่องปรับอากาศที่ต้องการควบคุม
2. รับข้อมูลซึ่งในที่นี้คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องปรับอากาศที่ได้เลือกไว้
3. ส่งข้อมูลออกไปควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศนั้น โดยเป็นสัญญาณให้เปิด-ปิด หรือ คงไว้ซึ่งลักษณะการทำงานเดิม

สำหรับโครงสร้างทางซอฟต์แวร์นั้นจะมีลักษณะการทำงานคือ ทางซอฟต์แวร์จะมีส่วนติดต่อการใช้งานกับผู้ใช้ โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกและกำหนดข้อมูลในการทำงานสำหรับเครื่องปรับอากาศเครื่องใดเครื่องหนึ่ง เช่น เวลาในการเปิด-ปิดเครื่อง อุณหภูมิที่ต้องการจะควบคุม หลังจากนั้นทางซอฟต์แวร์จะส่งชุดคำสั่งไปอ่านค่าอุณหภูมิเข้ามา เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้กำหนดไว้ ต่อมาจะได้ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานสำหรับเครื่องปรับอากาศส่งผ่านออกมาทางพอร์ท RS-232C เพื่อผ่านโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์นำไปควบคุมต่อไป

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

เนื่องจากทางฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยงาน 2 ด้าน คือ

1. ส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศระยะไกล
2. ส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์

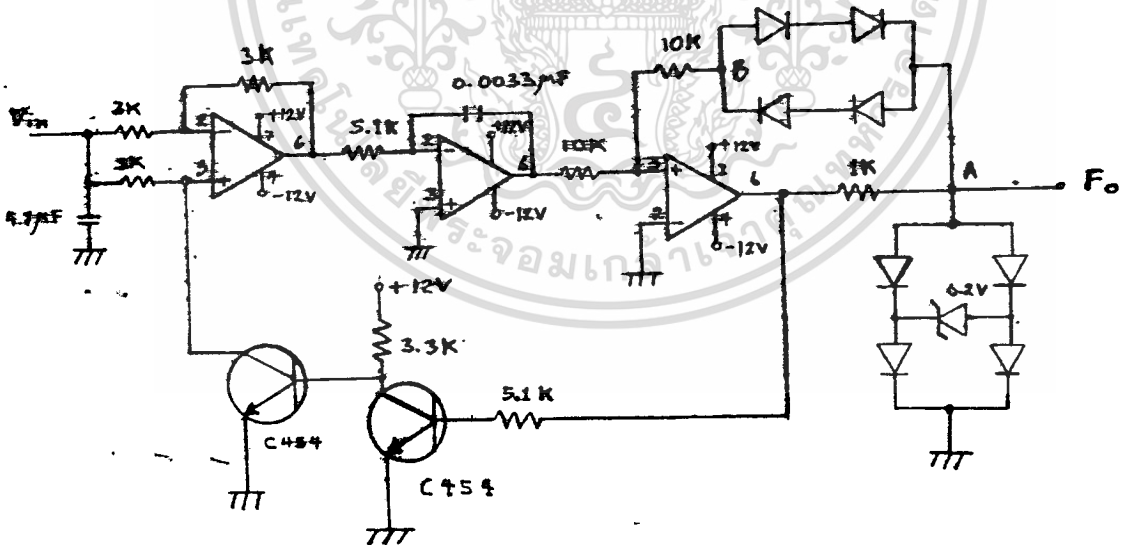
ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดการทำงาน, การคำนวณ, และการสร้างดังต่อไปนี้

3.1 ส่วนควบคุมการทำงานระยะไกล ประกอบด้วย

วงจรแปลงสัญญาณโวลต์ตรงเป็นสัญญาณความถี่

(Voltage to Frequency Converter)

วงจรนี้รับสัญญาณโวลต์ตรงจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนาล็อก นำมาแปลงเป็นสัญญาณความถี่เพื่อนำไปสมกับคลื่นพาหะที่วงจรเอนเอ็มไอเคิล โดยนิลักษณะการสร้างและการทำงานอธิบายตามรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 รายละเอียดวงจรแปลงสัญญาณโวลต์ตรงเป็นสัญญาณความถี่

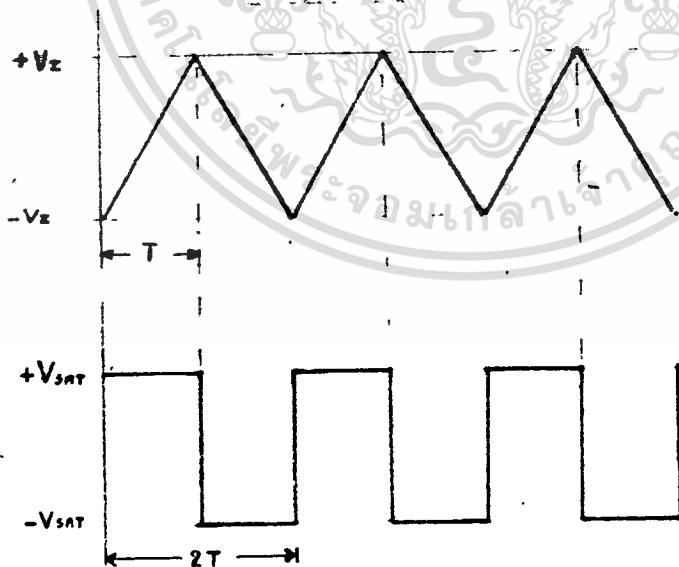
จากรูป สมมติเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นดังนี้

1) ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงาน ทำให้มีโวลต์เตจที่ซาโคลเลคเตอร์ มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์

2) ทรานซิสเตอร์ Q_1 ไม่ทำงาน ทำให้มีโวลต์เตจที่ซาเบสมีค่าเท่ากับ $-V_{\text{sat}}$ ($-V_{\text{sat}}$)

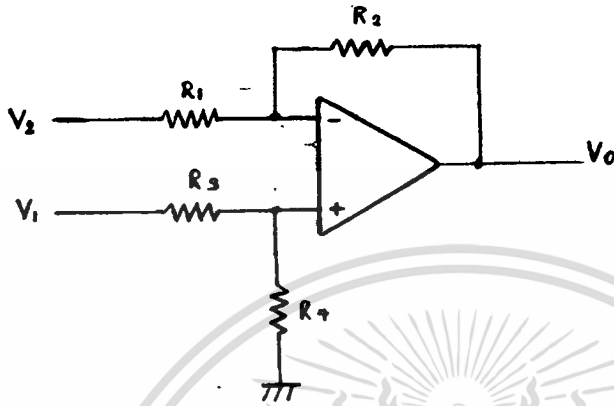
3) ที่จุด B ของออปแอมป์ตัวที่ 3 มีโวลต์เตจเท่ากับ $-V_z$ (โวลต์เตจคร่อมซีเนอร์ไดโอด) โดยที่จุด A มีค่าโวลต์เตจเป็น $+(V_z + 2V_{\text{Diode}})$ หรือ $-(V_z + 2V_{\text{Diode}})$ ซึ่ง $+(2V_{\text{Diode}})$ นี้จะชดเชยกับ $+(2V_{\text{Diode}})$ ของไดโอดตัวที่ D5-D6 และ D7-D8

เมื่อพิจารณาการทำงาน เริ่มต้นที่ซาโคลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_2 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ทำให้ออปแอมป์ตัวที่ 1 ทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ (Inverter) มีอัตราขยาย (Gain) เท่ากับ -1 จะได้โวลต์เตจเอาต์พุตมีค่าเป็น $-V_{\text{in}}$ เมื่อผ่านออปแอมป์ตัวที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรรวมอินทิเกรต (Integrator) จะได้เป็นสัญญาณแรมพ์ (Ramp) ข้ามกับสัญญาณโวลต์เตจ $-V_z$ ที่วงจรรวมพาราเตอร์ (Comparator) ที่ออปแอมป์ตัวที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณกราวนด์ (Ground) เมื่อสัญญาณแรมพ์มีขนาดมากกว่า $-V_z$ สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเป็น $+V_{\text{sat}}$ (ตามกราฟรูปที่ 2)



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจที่วงจรรวมพาราเตอร์

และสัญญาณโวลต์เตจที่จุด B มีค่าเท่ากับ $+V_z$ ซึ่งจะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงาน และ ทรานซิสเตอร์ Q_2 ไม่ทำงาน ทำให้ออปแอมป์ตัวที่ 1 มีหน้าที่เป็นวงจรมัฟเฟอร์ (Buffer) โดยที่วงจรมัฟเฟอร์นี้อธิบายได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 อธิบายวงจรมัฟเฟอร์เนื่องจากออปแอมป์ตัวที่ 1
พิจารณาวงจรในรูปที่ 1 โดยใช้วิธี SUPERPOSITION จะได้ว่า
เมื่อ $V_1 = 0$ จะได้

$$V_o = -(R_2/R_1) * V_2 \quad (3.1.1)$$

และ เมื่อ $V_2 = 0$ จะได้

$$V_o = (1 + R_2/R_1) * R_4 / (R_3 + R_4) * V_1 \quad (3.1.2)$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่า V_o ได้ดังสมการ

$$V_o = (1 + R_2/R_1) * R_4 / (R_3 + R_4) * V_1 - (R_2/R_1) * V_2 \quad (3.1.3)$$

กำหนดให้ $R_f = R_2 = R_4$ และ $R_i = R_1 = R_3$

จะได้

$$V_o = R_f/R_i * (V_1 - V_2) \quad (3.1.4)$$

เมื่อ Q_2 ไม่ทำงาน ทำให้ $R_4 = 0$ ดังนั้น

$$V_o = 2 * V_1 - V_1 = V_1 \quad (3.1.5)$$

ทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมามีค่าเป็น $+V_{in}$ แล้วผ่านวงจรอินทิเกรตมาเปรียบเทียบกับสัญญาณโวลต์เตจ $+V_z$ จนกระทั่งมีค่าน้อยกว่า 0 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมพาราเตอร์จะกลายเป็น $-V_{in}$ แล้วทำงานในลักษณะนี้เช่นเดิมวนไปเรื่อย ๆ ทำให้ได้สัญญาณความถี่ตามความต้องการออกมาที่ขาเอาต์พุตของออปแอมป์ตัวที่ 3

ความถี่จะมีค่ามากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการชาร์จและดิสชาร์จของตัวคาปาซิเตอร์ในวงจรอินทิเกรต ซึ่งเวลาในการชาร์จหรือดิสชาร์จแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ $R_4 * C_2$ ดังนั้นจะได้ค่าความถี่เท่ากับ $1/(2 * R_4 * C_2)$ และได้ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ V_{in} โดยขึ้นกับค่าของความต้านทาน และความประจุของตัวคาปาซิเตอร์ ดังสมการ

$$f = V_{in} * K(R_4 * C_2) \quad (3.1.6)$$

วงจรเอฟเอ็มโมดูเลต

(FM Modulation)

วงจรนี้จะทำการผสมสัญญาณความถี่ข้อมูลที่ได้มาจากวงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณความถี่ รวมกับสัญญาณคลื่นพาหะแบบความถี่ เพื่อส่งคลื่นผสมที่ได้เข้าสู่สาย เอ.ซี โดยที่วงจรนี้อาศัยวงจรโวลต์เตจคอนโทรลอสซิลเลต (Voltage Control Oscillator VCO.) ของตัวไอซีเบอร์ 4046 ซึ่งทำหน้าที่เป็น วงจรเฟสล็อกคูล (Phase Locked Loop) นำมาใช้ดังวงจรตามรูปที่ 5

กำหนดคลื่นพาหะมีความถี่เท่ากับ 200 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นสามารถคำนวณค่า R_3 , R_4 , C_2 ได้จากสมการ

$$f_{min} = 1/(R_4 * (C_2 + 32pF)) \quad (3.1.7)$$



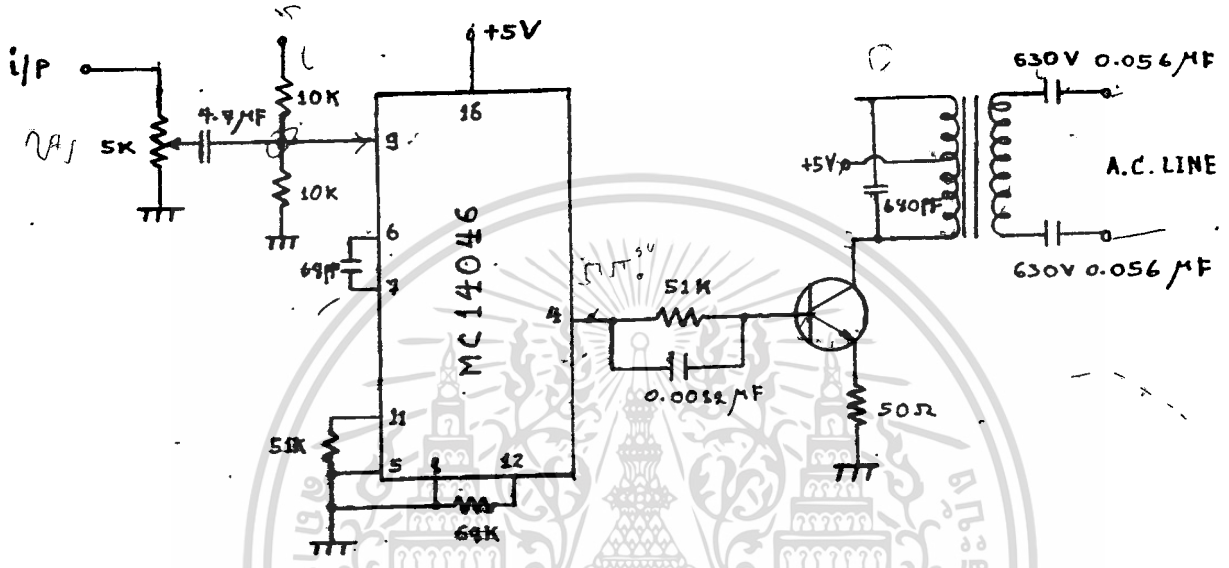
(3.1.8)

$$f_{max} = 1/(R3 * (C2 + 32pF))$$

โดยที่ $10K \leq R3 \leq 1M$

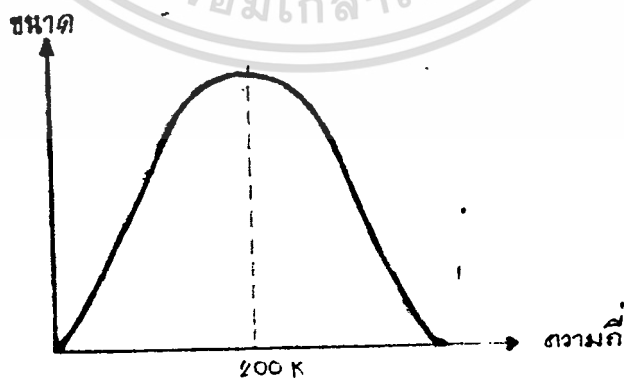
$10K \leq R4 \leq 1M$

$100pF \leq C2 \leq 0.01 F$



รูปที่ 5 รายละเอียดของวงจรเอนเอ็มโมดูล

ส่วนวงจรจูนความถี่ (Tank Tune) จะใช้ระบองไอเอฟ (IF Transformer) ของวิทยุ AM โดยเปลี่ยนค่า C_4 ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) ลดลงเหลือค่าเท่ากับ 200 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีค่าขนาด ต่อ ความถี่ดังแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าความถี่ และค่าความถี่ของแทงค์จูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

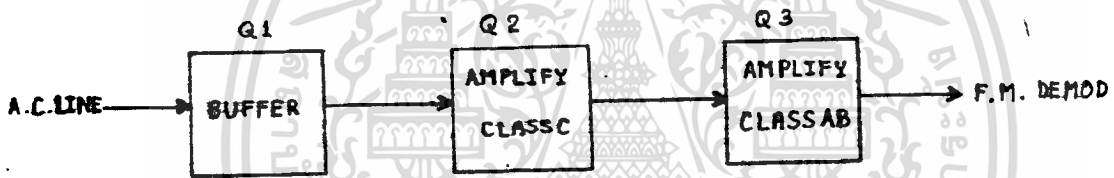
ดังนั้นสัญญาณที่ได้จากโวลท์เตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์ จะได้รับการผสมเข้าสู่สายไฟฟ้าผ่านทางวงจรแทรกคั่น

วงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลท

(FM. Demodulate)

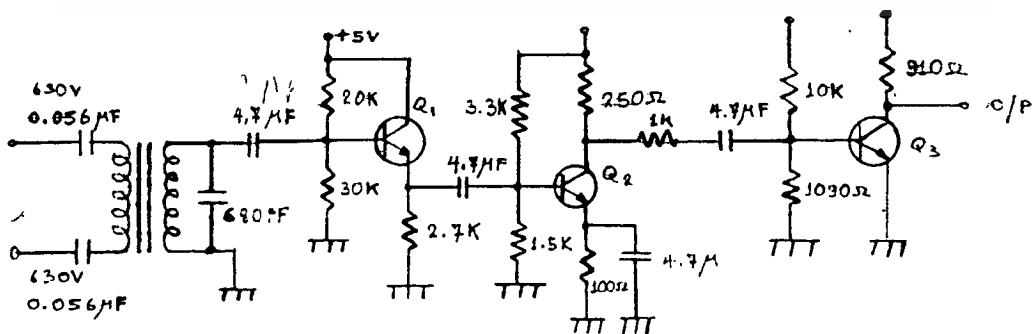
วงจรนี้รับสัญญาณผสมจากสาย เอ.ซี. มาทำการถอดสัญญาณ เพื่อกำจัดคลื่นพาหะออกไป และเพื่อเฉพาะสัญญาณข้อมูลเพื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานต่อไป เนื่องจากสัญญาณที่รับมาจากสาย เอ.ซี. อาจจะมีค่าโวลท์เตจลดลงเนื่องจากระยะทางไกล จึงนำสัญญาณที่รับได้มาผ่านวงจรปริแอมพลิฟายเสียก่อน ก่อนที่จะเข้าสู่วงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลท

สำหรับวงจรปริแอมพลิฟาย จะประกอบด้วยวงจรบัฟเฟอร์ และวงจรปริแอมพลิฟาย 2 คลาส คือ คลาส AB และ คลาส C ดังรายละเอียดในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขั้วต่อและแกนของวงจรก่อนที่จะเข้าสู่วงจรดีโมดูเลท

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรแอมพลิฟายคลาส AB เพียงอย่างเดียว จะได้ระดับสัญญาณที่ต่ำ ไม่พอต่อการรับวงจรส่วนต่อไป จึงเพิ่มส่วนวงจรแอมพลิฟายคลาส C เข้ามาช่วยขยายสัญญาณ ซึ่งจะมีรายละเอียดวงจรดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รายละเอียดวงจรปริแอมพลิฟาย

สำหรับวงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลทใน อากาศยานพัฒนาของวงจรเฟสล็อกคูลูมาช่วยในการกำจัดคลื่นพาหะออกไป และนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ซึ่งจะได้สัญญาณออกมาในลักษณะเดียวกันกับสัญญาณข้อมูลที่ได้ผสมเข้าไปในวงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลท หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรบัฟเฟอร์ก่อนที่จะเข้าสู่วงจรโทเนดีโคเดเตอร์ต่อไป

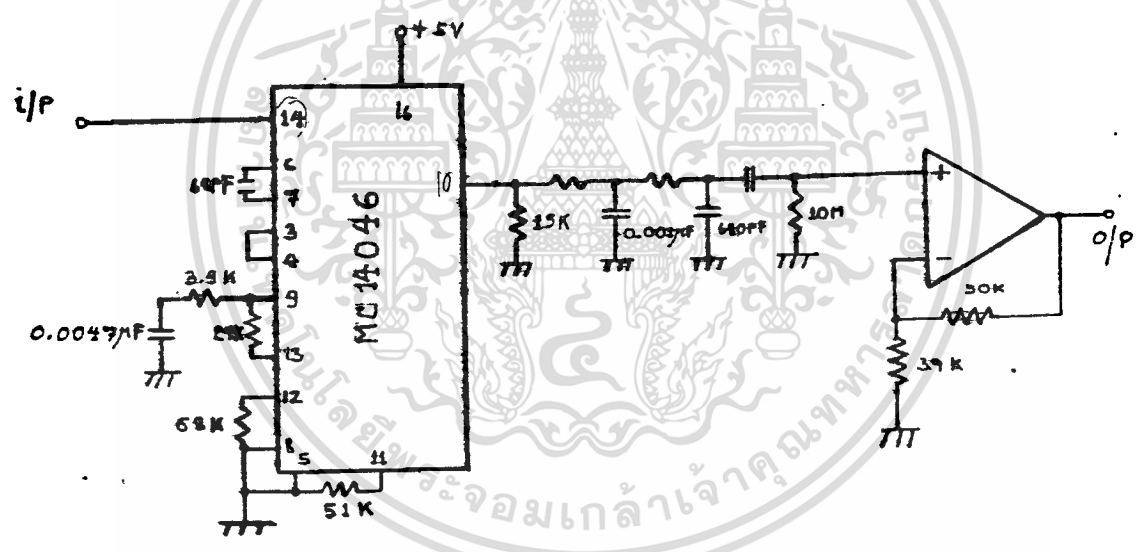
รายละเอียดภายในวงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลท จะเป็นไปตามรูปที่ 9 โดยที่ค่า R1, R2, C1 คำนวณเหมือนกับวงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลทสำหรับคลื่นพาหะเดียวกัน

สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านภายในวงจรเฟสล็อกคูลูคำนวณค่า R และ C ได้จากสมการ

$$R4 * C2 = 6 / f_{m \times} - N / (2 * * f) \quad (3.1.9)$$

$$(R3 + 3,000 \text{ โอห์ม}) * C2 = 100 * f / (f_{m \times})^2 - R4 * C2 \quad (3.1.10)$$

โดยที่ $f = f_{m \times} - f_{min}$



รูปที่ 9 รายละเอียดของวงจรดีโมดูเลท

เนื่องจากวงจรโทเนดีโคเดเตอร์มีข้อจำกัดของสัญญาณอินพุทว่า จะต้องมามีค่าไม่เกิน 200 มิลลิโวลท์ ดังนั้นจะต้องนำสัญญาณที่ได้มาจากวงจรเอฟเอ็มดีโมดูเลทมาผ่านวงจรขยายเพื่อที่จะมีค่าไม่เกิน 200 มิลลิโวลท์

วงจรโทเนดีโคเดอร์

(Tone Decoder)

วงจรโทเนดีโคเดอร์เป็นวงจรที่จะให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นศูนย์ออกมา ก็ต่อเมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าความถี่อยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ (Bandwidth BW.) หรือตรงกับค่าความถี่ศูนย์กลางที่ได้รับการกำหนดไว้ก่อน ดังนั้นจึงนำวงจรโทเนดีโคเดอร์มาใช้กำหนดความถี่ประจำตัวของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องที่ต้องการจะควบคุม

สำหรับค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับความถี่ศูนย์กลาง และแบนด์วิดท์ ดังสมการ

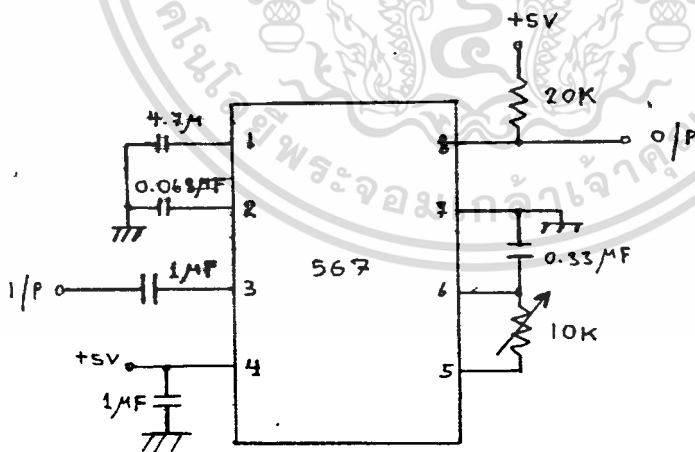
$$f_o = 1/(1.1 * R1 * C1) \quad (3.1.11)$$

$$BW = 1270 * (V_1 / (f_o * C2))^{1/2} \quad \text{ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ของ } f_o \quad (3.1.12)$$

โดยที่ V_1 เป็นสัญญาณโวลต์เตจอินพุทมีค่าไม่เกิน 200 มิลลิโวลต์

$C2$ เป็นค่าคาปาซิเตอร์ที่ขา 2 ของตัวโทเนดีโคเดอร์

ซึ่งจากสมการสามารถตั้งความถี่เปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ ความถี่เท่ากับ 100 เฮิรตซ์ ถึงความถี่เท่ากับ 200 กิโลเฮิรตซ์ และแบนด์วิดท์ในการทำงานเท่ากับ 30 เฮิรตซ์ โดยที่รายละเอียดของวงจรเป็นไปดังรูปที่ 10



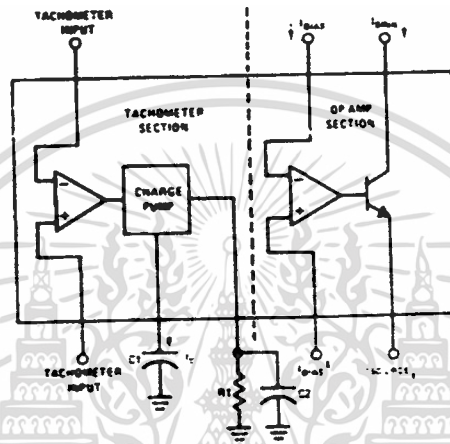
รูปที่ 10 วงจรโทเนดีโคเดอร์

วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณโวลต์ตรง

(Frequency To Voltage Converter)

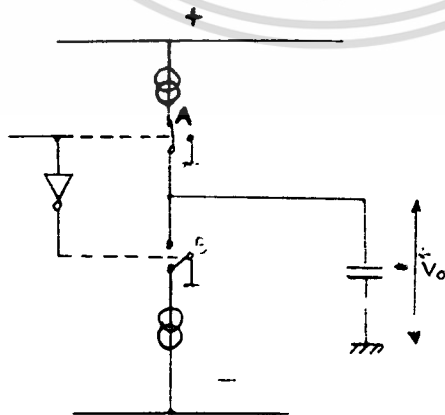
วงจรนี้นำสัญญาณความถี่จากวงจรเฟรมเอ็มดีโมดูเลท มาแปลงเป็นสัญญาณโวลต์ตรง
เพื่อป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ในโครงงานนี้อาศัยไอซีเบอร์ LM 2907 โดยที่มีลักษณะโครงสร้างภายใน และการทำงาน
ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ลักษณะการทำงานภายในของไอซีเบอร์ LM 2907

จากรูป วงจรจะรับสัญญาณความถี่อินพุตเข้าสู่วงจรคอมพาราเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณซึ่งจะ
ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็น 1 หรือ 0 เข้าไปที่ชาร์ตัม (CHARGE PUMP) ชาร์ตัมจะมีลักษณะ
การทำงานตามรูปที่ 12 คือ

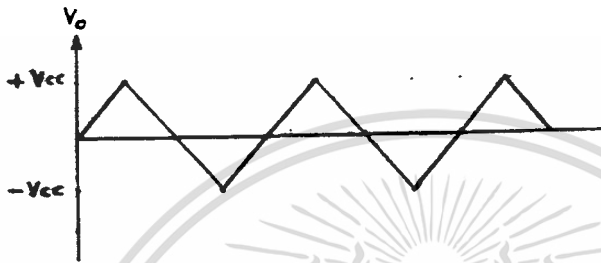


รูปที่ 12 ลักษณะการทำงานของชาร์ตัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเมื่อสัญญาณเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์เป็น 1 สวิตช์ (Switch) ตัวที่ 1 จะทำงาน สวิตช์ตัวที่ 2 จะไม่ทำงาน ทำให้วงจรทำหน้าที่เป็นแหล่งกระแสจ่ายออก (Current Source) จากแหล่งสัญญาณไฟบวก (V_{cc}) ผ่านโหลด (Load) ลงสู่กราวด์ และเมื่อสัญญาณเอาต์พุต จากวงจรถคอมพาราเตอร์เป็น 0 สวิตช์ตัวที่ 1 จะไม่ทำงาน และสวิตช์ตัวที่ 2 จะทำงาน แทน ทำให้วงจรทำหน้าที่เป็นแหล่งกระแสจ่ายเข้า (Current Sink) จากกราวด์ ผ่านโหลด เข้าสู่แหล่งสัญญาณไฟลบ ($-V_{cc}$) จึงทำให้เกิดลักษณะสัญญาณที่โหลดเป็นดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 รูปสัญญาณที่โหลดของวงจรถาร์กัม

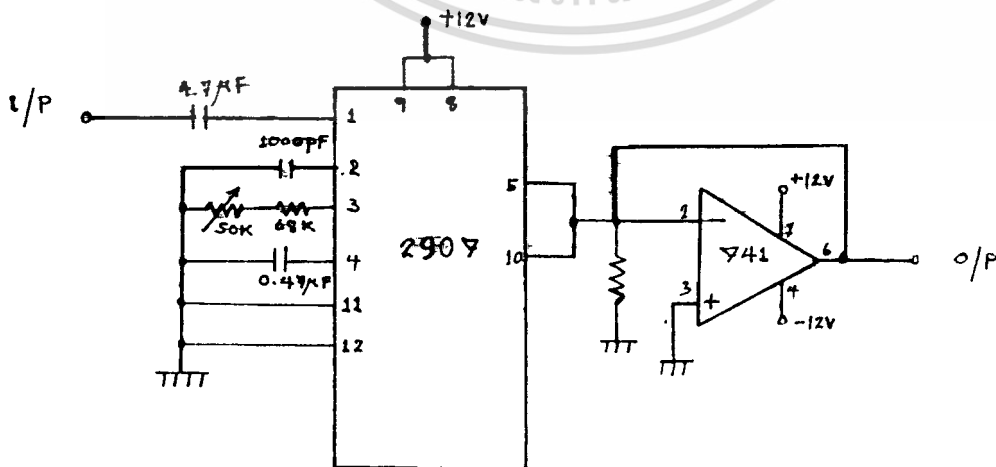
ต่อมา สัญญาณเอาต์พุตจากชาร์กัม จะผ่านวงจรถาร์กัมไปเข้าวงจรถคอมพาราเตอร์เพื่อ เปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุต ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณโวลต์เตจที่แปรตามความถี่อื่น คุก ดังสมการ

$$V_o = V_{cc} \frac{K}{1 + K} \quad \text{--- (3-1-13)}$$

(3-1-13)

โดยที่ K หักโดยมีค่าเท่ากับ 1

ทำให้รายละเอียดของวงจรถทั้งหมดเป็นดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 วงจรถแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณโวลต์เตจ

วงจรวัดอุณหภูมิ

(Sensor)

วงจรนี้มีหน้าที่วัดอุณหภูมิห้องออกมา แล้วส่งสัญญาณออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณโวลต์
 เตจ โดยใช้คุณสมบัติของไดโอดที่ว่า สัญญาณโวลต์เตจที่ตกคร่อมตัวไดโอด จะมีค่าลดลง 25
 มิลลิโวลต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส ดังกราฟที่แสดงคุณสมบัติของไดโอดดัง
 รูปที่นำวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ (Differential Amplifier) มาช่วยในการขยายสัญญาณ
 โวลต์เตจที่ได้มาจากไดโอด ตามรูปวงจรที่ 15

กำหนด $R_3 = R_5$, $R_2 = R_4$

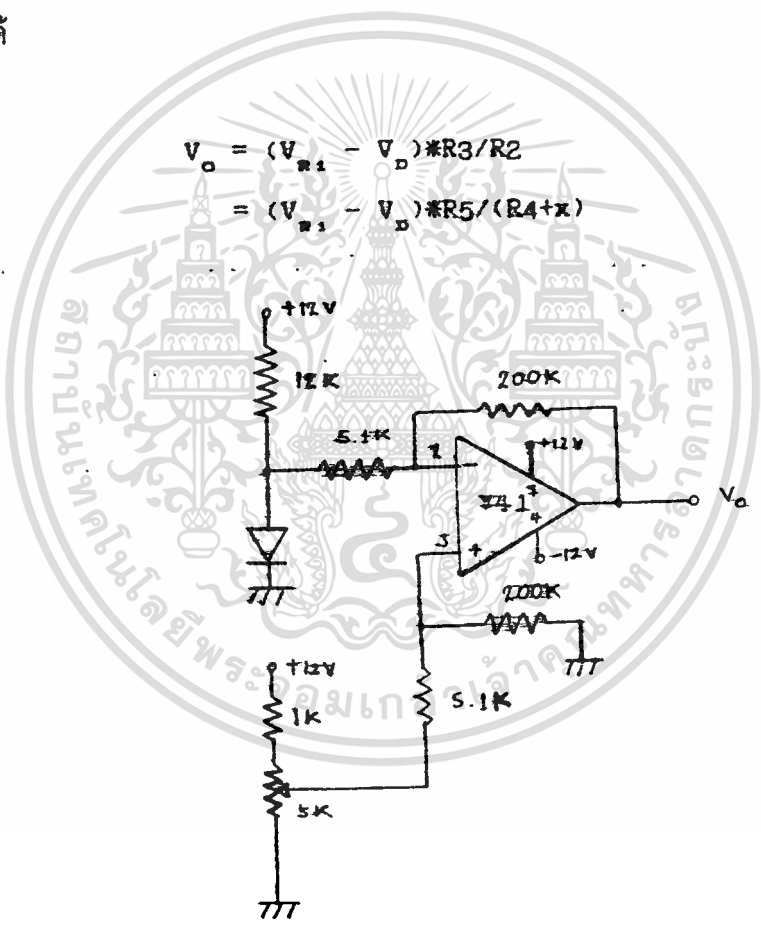
จากวงจรจะได้

$$V_o = (V_{D1} - V_D) * R_3 / R_2$$

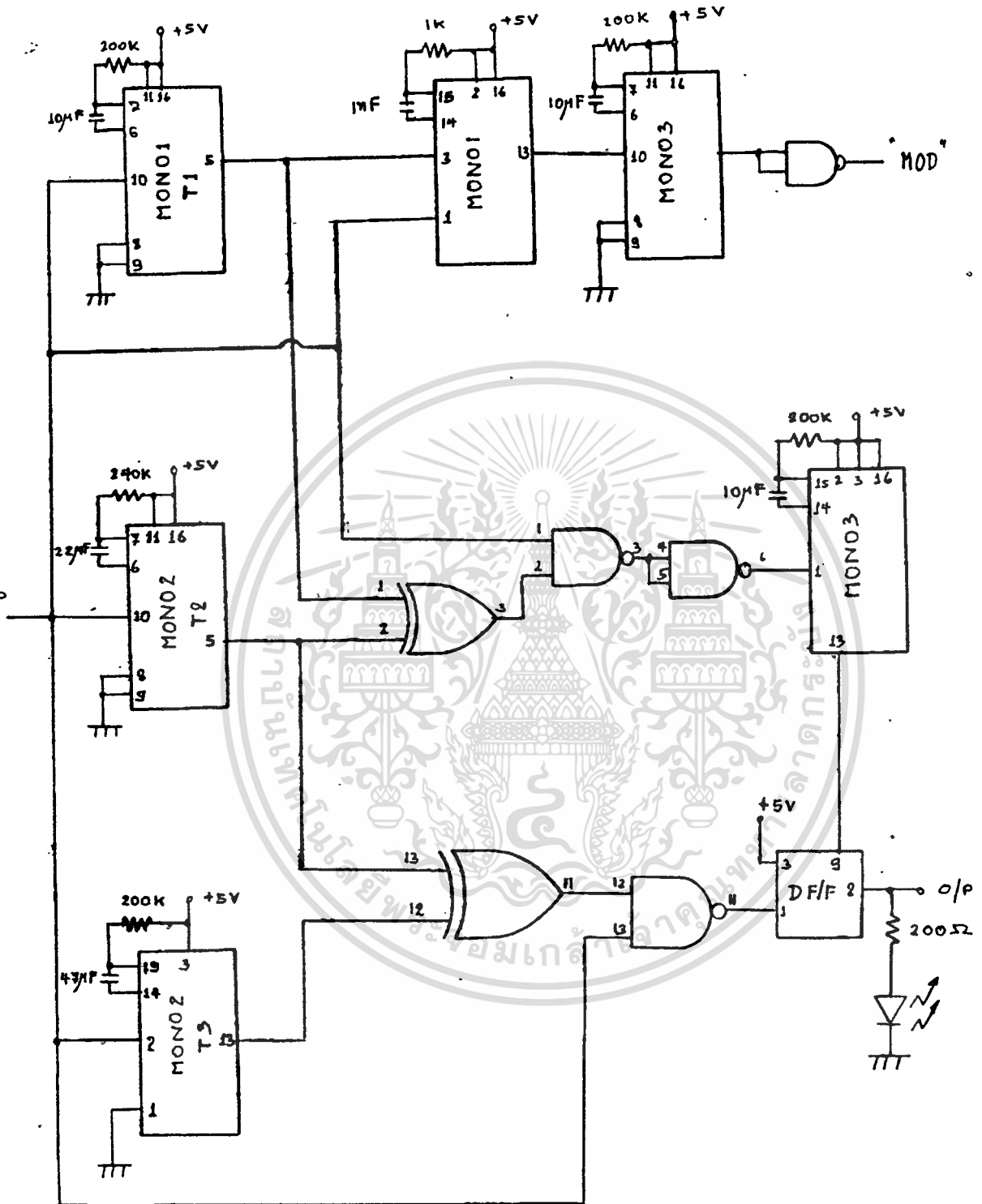
(3.1.14)

$$= (V_{D1} - V_D) * R_5 / (R_4 + x)$$

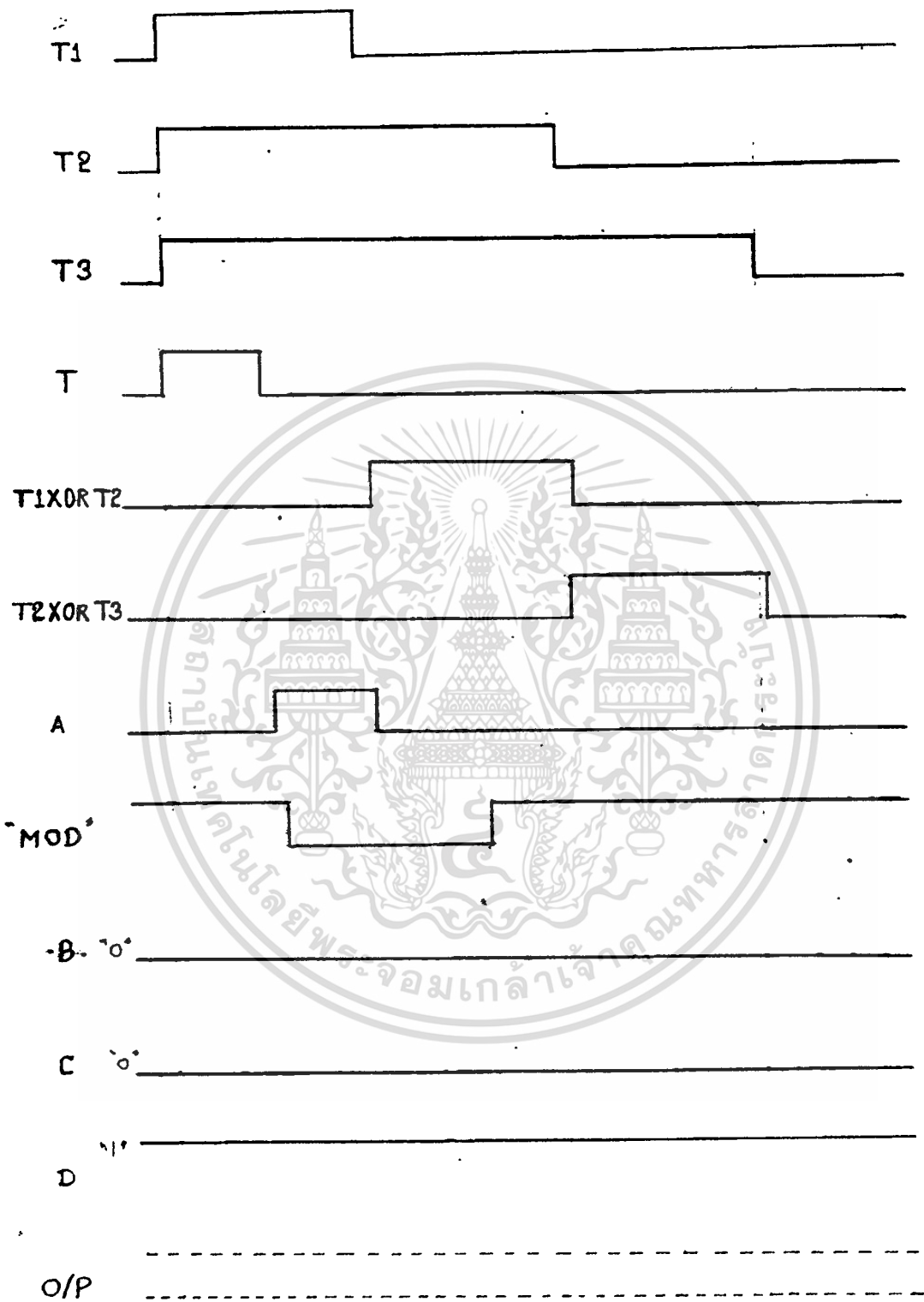
(3.1.15)



รูปที่ 15 วงจรวัดอุณหภูมิ

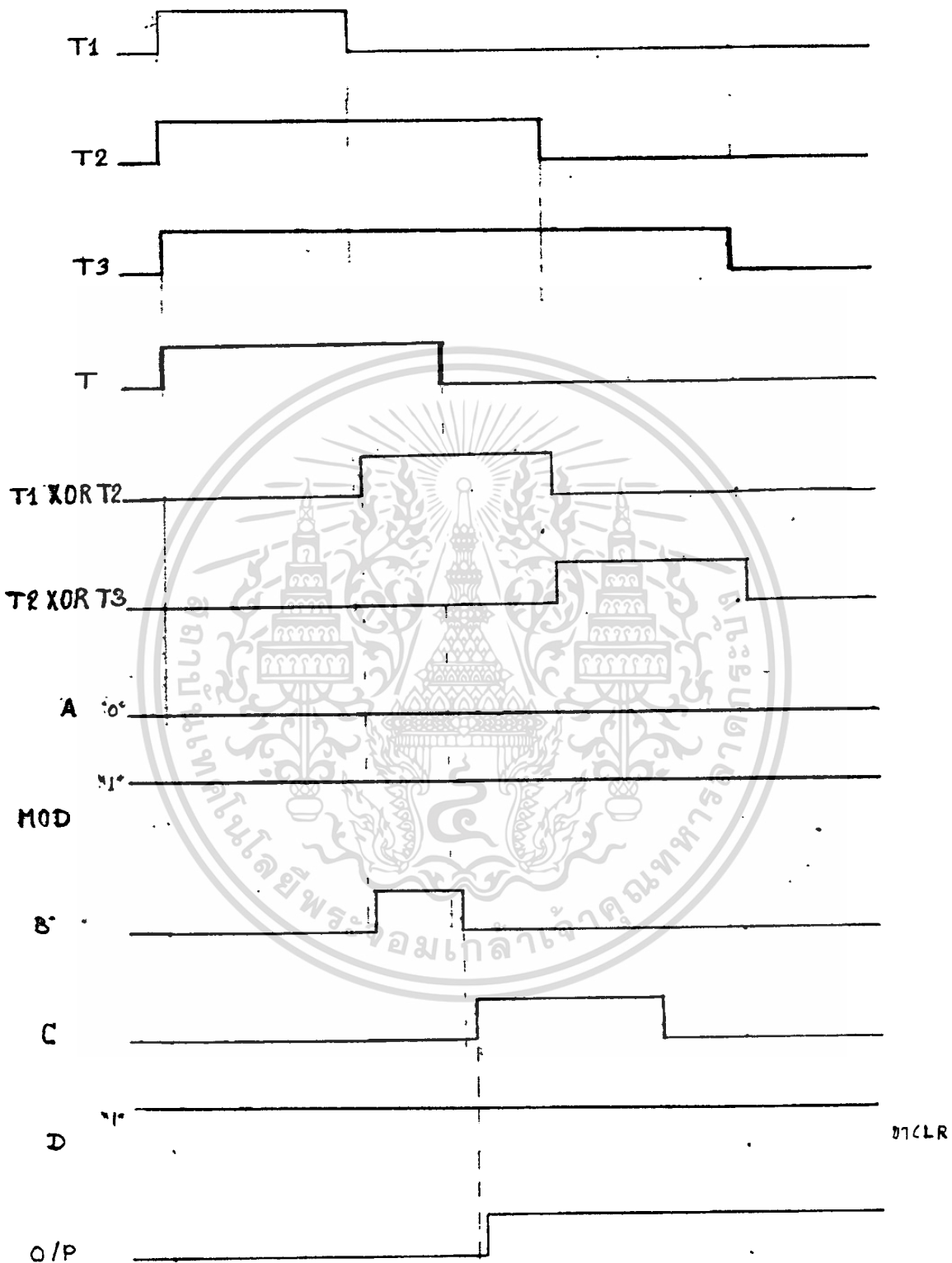


รูปที่ 16 รายละเอียดของวงจรส่วนควบคุมการทำงาน



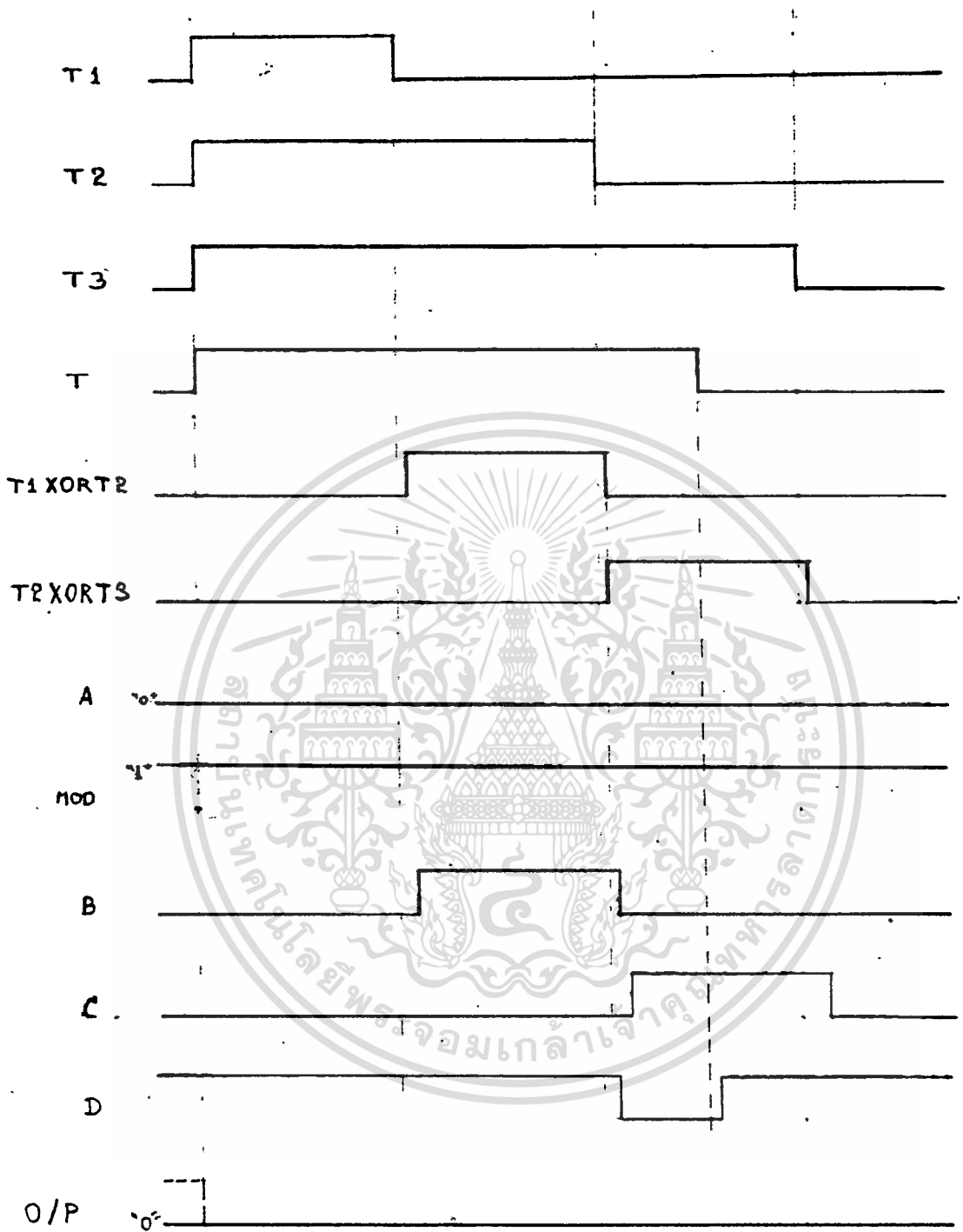
รูปที่ 17 เวลาการทำงานในกรณี $T < T_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 เวลาการทำงานในกรณี $T_1 < T < T_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ-19-วิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 เวลาการทำงานในกรณี $T_2 < T < T_3$

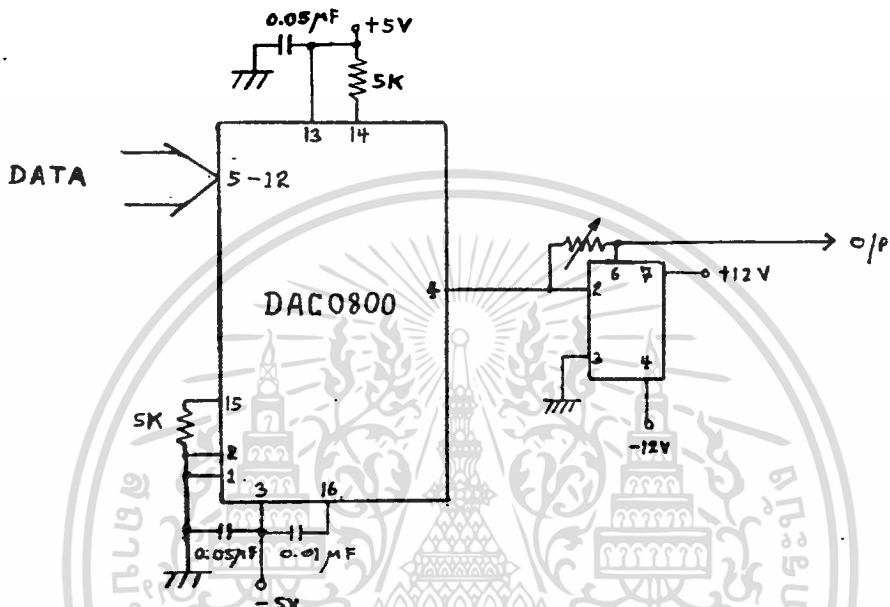
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนาล็อก

(Digital To Analog Converter)

วงจรมีไอซีสำเร็จรูปเบอร์ DAC ๐๘๐๐ ตามวงจรรูปที่ 2๐



รูปที่ 2๐ รายละเอียดวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณโวลต์เตจ

วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

(Analog To Digital Converter)

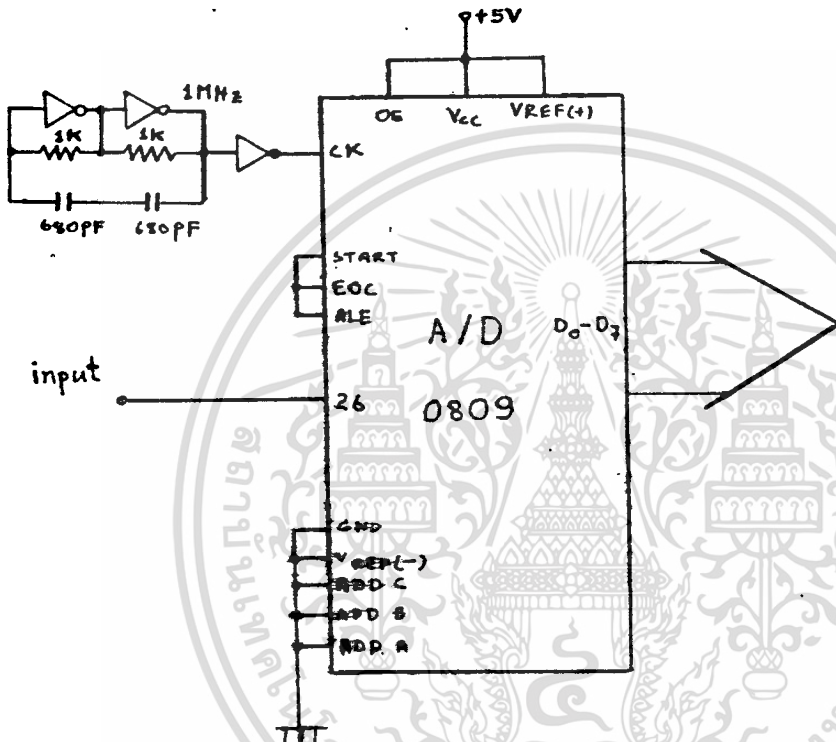
วงจรมีไอซีในการแปลงสัญญาณแอนาล็อกที่ได้รับมาจากวงจรที่แปลงความถี่เป็นสัญญาณโวลต์เตจ ก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่ปรแกรมที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โครงการนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ ADC ๐๘๐๑ ซึ่งมีคุณสมบัติแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ 8 บิต 8 ช่อง (Channel) กำหนดการทำงานของไอซีเป็นดังนี้

- 1) กำหนดตำแหน่งแอดเดรส (Address) ช่องที่ ๐๒๐ ดังนั้นจึงให้สัญญาณกราวด์ที่ขาแอดเดรส A, B, C
- 2) ในการทำงานไอซีต้องอาศัยสัญญาณคล็อก (Clock) 1 เมกกะเฮิรตซ์
- 3) ไอซีตัวนี้จะมีลักษณะการทำงานวนไปไม่ได้ตลอด เนื่องจากไอซีตัวนี้เมื่อทำการแปลงสัญญาณ

्यानเสีจ จะมีสัญญาณเอาท์พุท EOC ออกมา แล้วนำสัญญาณนี้ไปป้อนเข้าสู่ขา Start และ ALE เพื่อที่จะได้สามารถเริ่มต้นการทำงานครั้งต่อไป ซึ่งในลักษณะเช่นนี้ จะทำให้มีการทำงานวนตลอด

4) สัญญาณเอาท์พุทจะสามารถแสดงออกมาได้ ก็ต่อเมื่อ ที่ขา OE (Output Enable) ได้รับสัญญาณไบนารี 5 โวลท์
รายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในรูปที่ 21

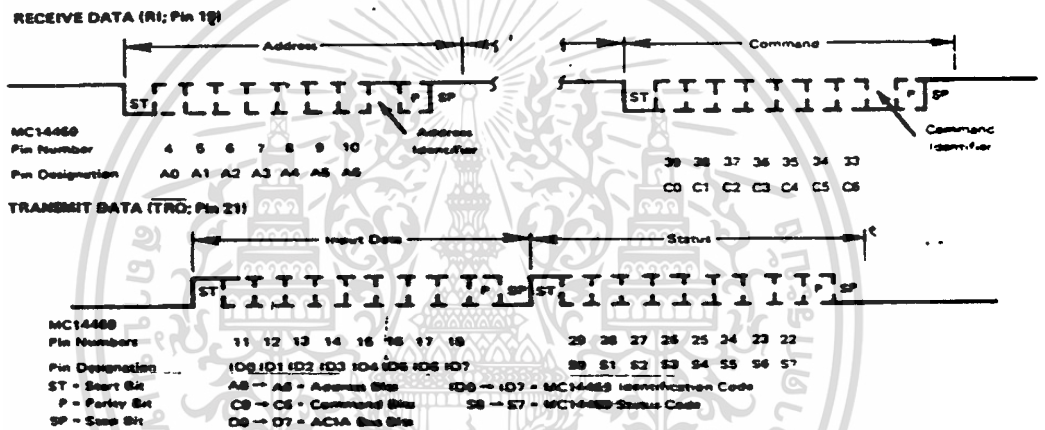


รูปที่ 21 รายละเอียดวงจรแปลงสัญญาณโวลต์เป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณแอนะล็อก

โครงการนี้ใช้ไอซีเบอร์ MC 14469 เป็นตัวติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต RS 232C กับอุปกรณ์ภายนอก โดยทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรับและตัวส่งข้อมูลซึ่งสามารถตั้งอัตราเร็วในการรับ-ส่ง (Baud Rate) ได้ถึง 9600 บิตต่อวินาที กำหนดการรับเป็นการแปลงข้อมูลจากอนุกรมเป็นแบบขนาน และการส่งเป็นการแปลงข้อมูลจากขนานเป็นแบบอนุกรม
การทำงานของวงจรมีแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. การรับข้อมูล จะเป็นการรับข้อมูลแบบอนุกรมจากพอร์ต RS 232C ผ่านเข้าวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณโวลต์เตจ โดยที่คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกมา 2 ชุด ชุดแรกเป็นการกำหนดแอดเดรสของพอร์ตที่ต้องการติดต่อมีขนาด 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit), บิตแอดเดรส 7 บิต (Address Bits), บิตที่กำหนดแอดเดรส (Address Identifier), บิตพาริตี (Parity Bit), บิตสิ้นสุด (Stop Bit) และชุดที่ 2 เป็นชุดคำสั่งขนาด 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit), บิตข้อมูล 7 บิต (Data Bits), บิตที่กำหนดคำสั่ง (Command Identifier), บิตพาริตี (Parity Bit), บิตสิ้นสุด (Stop Bit) รายละเอียดของบิตต่าง ๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 22

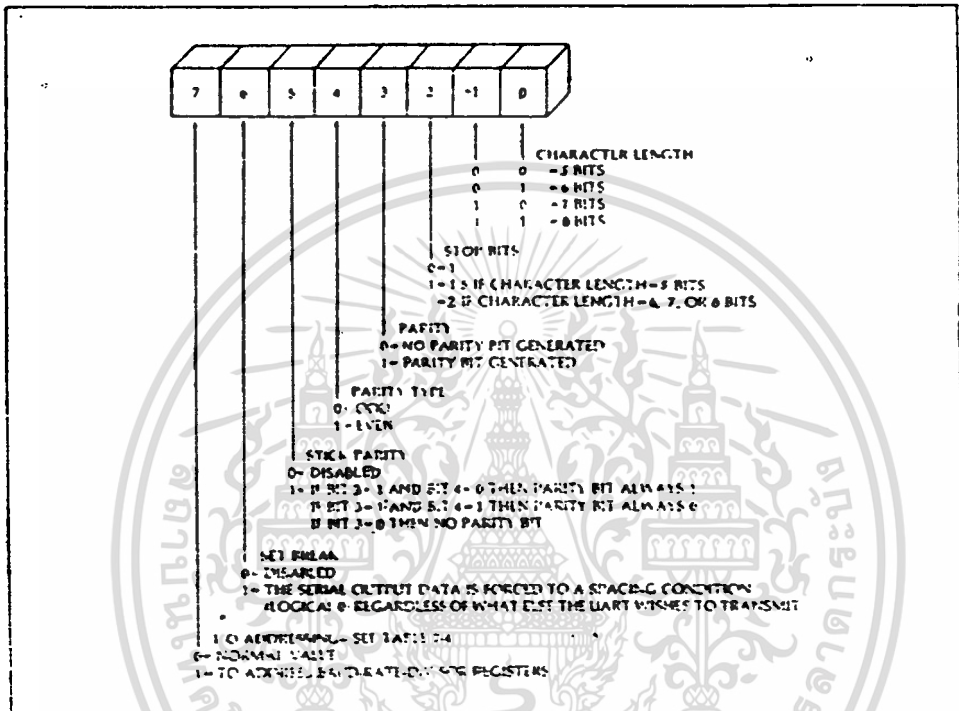


รูปที่ 22 รูปแบบของข้อมูลที่ไอซีเบอร์ MC 14469 ต้องการ

โดยในการรับข้อมูล MC 14469 จะกำหนดบิตเริ่มต้นเป็น "0" บิตสิ้นสุดเป็น "1" และนำบิต 8 ของข้อมูลชุดแรกเป็น "1" จะเป็นการบอกว่า ข้อมูลชุดนี้มีค่าแอดเดรส ถ้าแอดเดรสมีค่าตรงกับพอร์ตที่เลือกไว้ MC 14469 ตัวนั้นจะทำงาน คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลชุดที่ 2 ตามมา โดยข้อมูลชุดนี้จะมีบิต 8 มีค่าเป็น "0" ซึ่งแสดงว่า ชุดที่ 2 นี้มีข้อมูลที่ต้องการอยู่ MC 14469 จะรับข้อมูลแล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณแบบขนานออกมาที่ขาเอาท์พุท เมื่อจบขบวนการนี้จะมีสัญญาณสไตร์บเกิดขึ้นที่ขา CS

2. การส่งข้อมูล จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีสัญญาณสไตร์บจากขา CS ป้อนเข้าที่ขา Send หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลเข้ามา 2 ชุด ชุดละ 11 บิต ประกอบด้วยชุดข้อมูล และชุดแอดเดรส มีรายละเอียดเช่นเดียวกับชุดข้อมูลในการรับข้อมูล เพียงแต่สลับอันดับหน้า-หลังกัน ตามรูปที่ 22 นั้นคือในการส่งข้อมูล MC 14469 จะกำหนดให้บิตเริ่มต้นเป็น "1" และบิตสิ้นสุดเป็น "0"

เนื่องจากการทำงานรับ-ส่งของวงจรนี้ จะต้องทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ โดยที่คอมพิวเตอร์จะต้องอาศัยอุปกรณ์สนับสนุน (Chip Support) เบอร์ 8250 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ติดต่อแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Communication Element) เข้ามาช่วย จึงต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นเสียก่อน โดยมีรูปแบบการกำหนดดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 รูปแบบกำหนดค่าในไลน์-คอนโทรลรีจิสเตอร์

ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดค่าเป็น 00011011 หรือ 1B(Hex) และกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับ-ส่ง มีค่าเป็น 4800 บิต ต่อ วินาที ดังนั้นจะต้องเลือกค่าคำสั่งสำหรับค่าอัตราเร็วค่านี้ตามตารางที่แสดงไว้ดังในรูปที่ 24 โดยที่ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดได้นี้ จะต้องถูกส่งออกไปยังพอร์ตการทำงานของอุปกรณ์สนับสนุนเบอร์ 8250 ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานเป็นดังรูปที่ 25

สำหรับการทำงานรับ-ส่งข้อมูลของ MC 14469 เนื่องจากอุปกรณ์ตัวนี้จะมีการส่งสัญญาณสไตรป์ไปกำหนดการส่งข้อมูลทันทีที่มีการรับข้อมูลเข้ามา ดังนั้นภาวะในการรับ-ส่งจะเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน เพราะฉะนั้นในการรับ-ส่งข้อมูลของทางคอมพิวเตอร์ จะมีการรับข้อมูลทุกครั้งที่มีการติดต่อกับ MC 14469

Desired Baud Rate	Value for Baud Rate-Divisor Registers	
	MSB	LSB
50	03H	00H
75	06H	00H
110	04H	17H
134.5	03H	59H
150	03H	00H
300	01H	50H
600	00H	00H
1200	00H	60H
1800	00H	40H
2000	00H	3AH
2400	00H	30H
3600	00H	20H
4800	00H	10H
7200	00H	00H
9600	00H	00H

รูปที่ 24 ตารางแสดงค่าของอัตราเร็วในการรับ-ส่ง

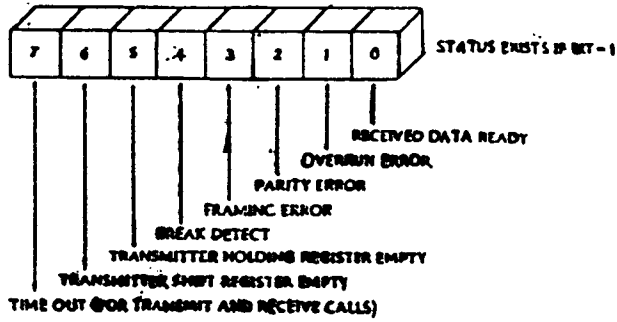
I/O Port Address	Input or Output	Register Selected
3F5H*	Output	Transmitter Holding Register
3FH*	Input	Receiver Data Register
3F5H†	Output	Baud-Rate Divisor (LSB)
3F9H†	Output	Baud-Rate Divisor (MSB)
3F9H*	Output	Interrupt-Enable Register
3FAH	Input	Interrupt-Identification Register
3F5H	Output	Line-Control Register
3FCH	Output	Modem-Control Register
3FDH	Input	Line-Status Register
3FEH	Input	Modem-Status Register

* Bit 7 of the line-control register = 0

† Bit 7 of the line-control register = 1

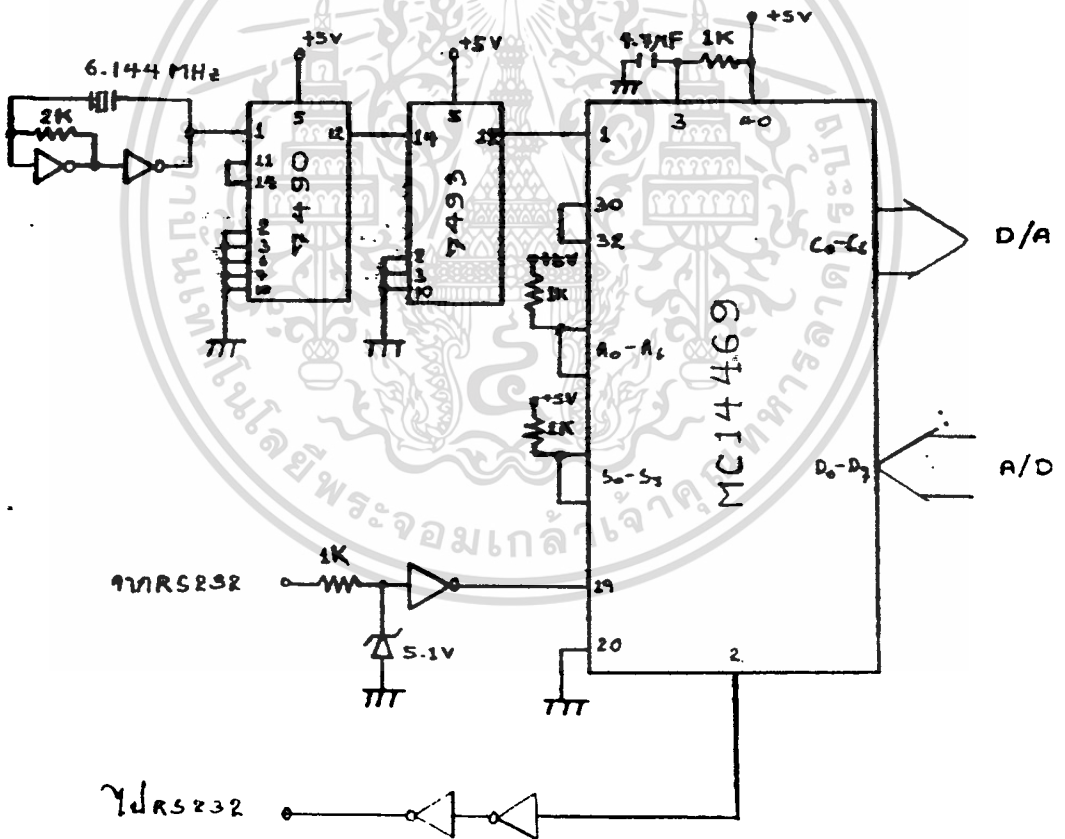
รูปที่ 25 ตารางแสดงพอร์ทการทำงานของ 8250

และในการรับ-ส่งข้อมูลแต่ละครั้ง สภาวะของรีจิสเตอร์ภายในคอมพิวเตอร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละบิตไปขึ้นอยู่กับความพร้อมในการรับ-ส่ง และความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรับ-ส่ง โดยที่รายละเอียดของบิตต่าง ๆ จะเป็นไปดังรูปที่ 26 ซึ่งในการทำงานรับ-ส่งข้อมูลจะต้องมีการตรวจสอบค่าที่บิตนี้เสียก่อน



(B) AH = communications line status.

รูปที่ 26 รูปแผนของบิตที่แสดงสถานะของรีจิสเตอร์
และมีรายละเอียดการทำงานดังรูปที่ 26 ก



รูปที่ 26 ก รายละเอียดการทำงาน

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการทดลองที่ใช้ในโครงการนี้ จะแบ่งการทำงานเป็นวงจรต่าง ๆ ดังนี้

1. วงจรแปลงสัญญาณโวลต์ตรงเป็นสัญญาณความถี่

จากสมการที่ 3.1.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณโวลต์ตรงที่ป้อนเข้ากับสัญญาณความถี่ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับค่าของ R_4 และ C_2 โครงการนี้ได้ทดลองเปลี่ยนค่า R_4 และ C_2 หลาย ค่าและบันทึกผลการทดลองได้ตามรูปที่ 27

จากผลการทดลองเลือกใช้ค่า R_4 เท่ากับ 5.1 กิโลโอห์ม และค่า C_2 เท่ากับ 0.0033 ไมโครฟารัด ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ V_{in} เป็น ความถี่ 2 กิโลเฮิรตซ์ ต่อ โวลต์ตรง 1 โวลต์

2. วงจรเอฟเอ็มโมดูลเลข

จากสมการ 3.1.7 และ 3.1.8 กำหนดค่า $f_{max} = 150$ กิโลเฮิรตซ์ และ $f_{min} = 250$ กิโลเฮิรตซ์ สามารถคำนวณค่า R_3 เท่ากับ 51 กิโลโอห์ม, ค่า R_4 เท่ากับ 68 กิโลโอห์ม, ค่า C_2 เท่ากับ 68 พิโคฟารัด

3. วงจรเอฟเอ็มดีโมดูลเลข

วงจรมีค่า R_1 , R_2 , C_1 เช่นเดียวกับกับวงจรเอฟเอ็มโมดูลเลข สำหรับวงจรโลว์พาสฟิวเตอร์จากสมการ 3.1.9 และ 3.1.10 คำนวณค่า R_3 ได้เท่ากับ 40 กิโลเฮิรตซ์, R_4 เท่ากับ 39 กิโลโอห์ม, C_2 เท่ากับ 0.0047 ไมโครฟารัด

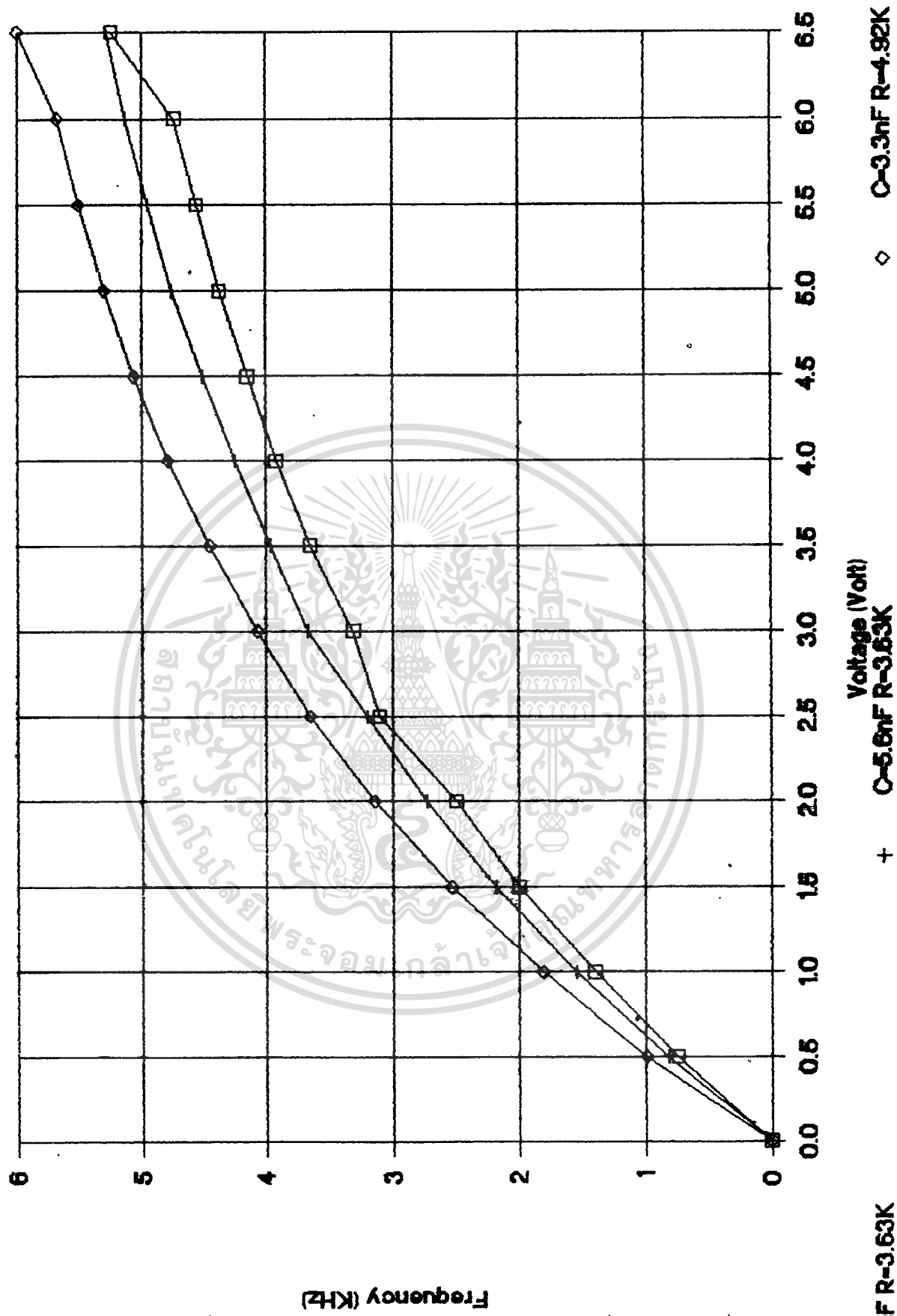
4. วงจรโทเนดีโคเดเดอร์

ความถี่ในช่วงแบนด์วิดท์ของวงจรมีค่าขึ้นอยู่กับความถี่ศูนย์กลาง, R_1 , C_1 , C_2 โดยที่โครงการนี้ได้เลือกใช้ $C_1 = 0.33$ ไมโครฟารัด, $C_2 = 0.068$ ไมโครฟารัด แล้วใช้ R_1 เป็นความต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดความถี่ศูนย์กลางได้โดยการปรับค่า R_1 เพียงตัวเดียว

5. วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณโวลต์ตรง

จากสมการที่ 3.1.13 กำหนดให้ค่าอัตราส่วนระหว่าง V_o ต่อ f_{in} มีค่าเป็น 1 โวลต์ ต่อ 1 กิโลเฮิรตซ์ สามารถคำนวณได้ค่า $C_1 = 1000$ พิโคฟารัด, $R_1 = 83$ กิโลโอห์ม

Voltage & Frequency Curve



รูปที่ 27 กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างโวลต์ที่ตกกับความถี่

เมื่อ R1 และ C1 เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

◇ C=8.2nF R=3.63K

+

C=5.6nF R=3.63K

Voltage (Volt)

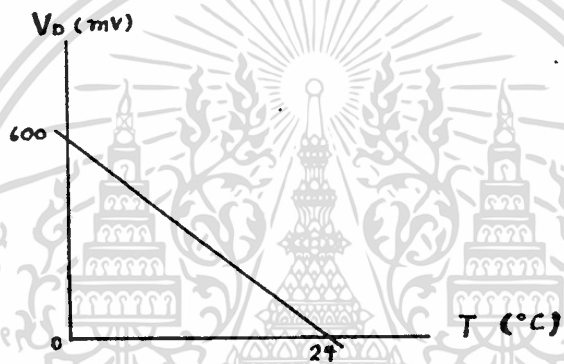
◇ C=3.3nF R=4.92K

และกำหนด $V_{T_{max}}$ มีค่าน้อยกว่า หรือ เท่ากับ 0.013 จะได้ค่า C_2 เท่ากับ 0.47 ไมโครฟารัด

จากการทดลอง สามารถบันทึกความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจและความถี่ เขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 29 ซึ่งในการทดลองจะใช้ความถี่ในช่วงที่ทำให้เกิดโวลต์เตจไม่เกิน 5 โวลต์ เพื่อป้องกันเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณความถี่ซึ่งใช้ในแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์

6. วงจรวัดอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่า ไดโอดจะมีสัญญาณโวลต์เตจลดลง 25 มิลลิโวลต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณโวลต์เตจคร่อมไดโอด กับอุณหภูมิ

เมื่อนำมาผ่านวงจรขยายสัญญาณ และได้ทดลองเปลี่ยนค่า R_3 และ R_5 ให้เป็น 500 กิโลโอห์ม หรือ 200 กิโลโอห์ม สามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังรูปที่ 30 และ รูปที่ 31 จากกราฟจะพบว่าเมื่อเลือกค่า R_3 และ R_5 เป็น 200 กิโลโอห์ม ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับโวลต์เตจเป็นสมการเส้นตรงดังนี้

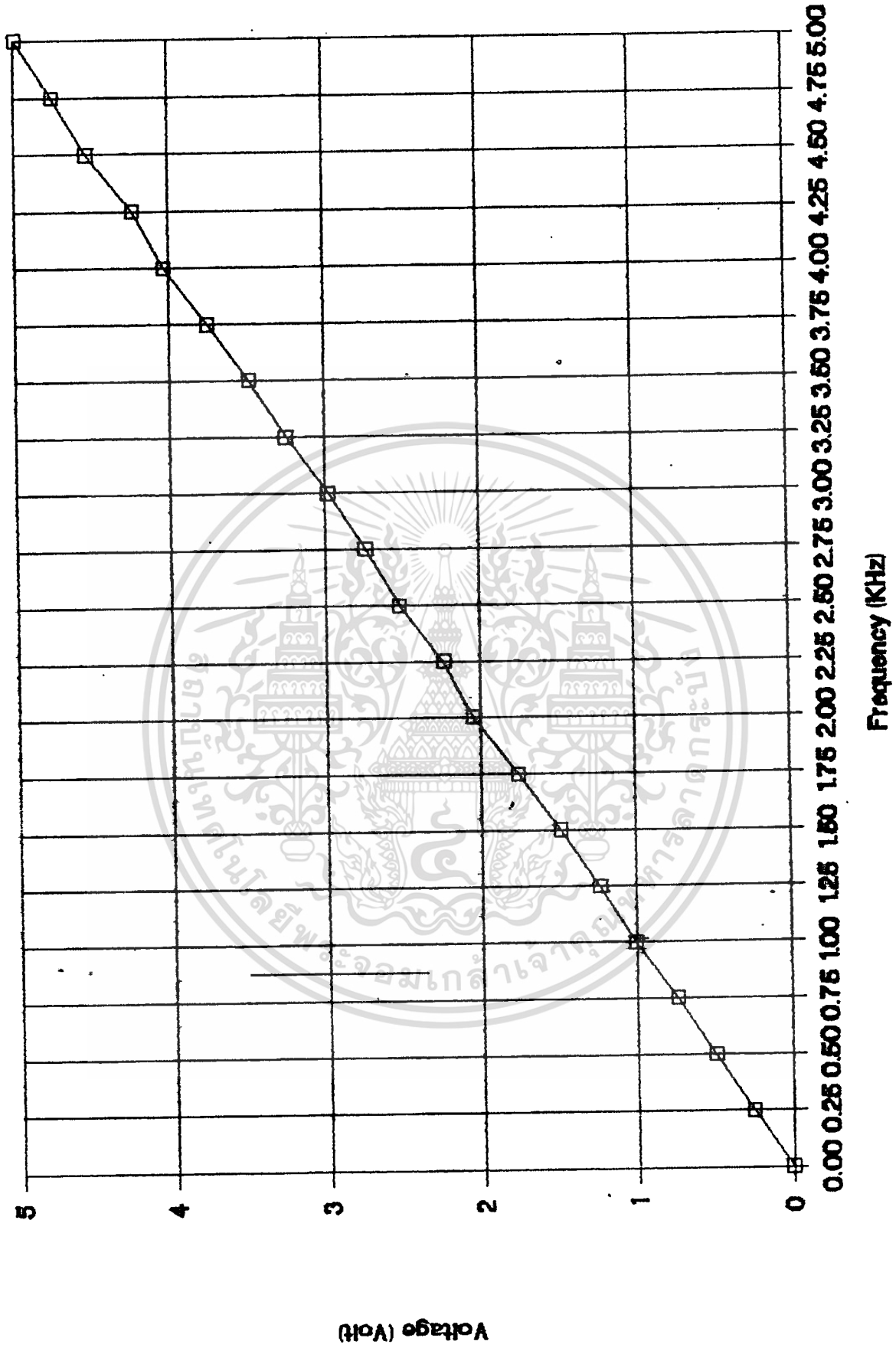
$$V_{out} = 0.0788 * Temp - 0.628$$

นั่นหมายถึง สัญญาณโวลต์เตจลดลง 78 มิลลิโวลต์ ต่อ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส

7. วงจรส่วนควบคุม

การหาค่า นัลส์วิตช์ของโมโนสเตเบิลแต่ละตัว หาได้จากสมการ

Frequency to Voltage Curve

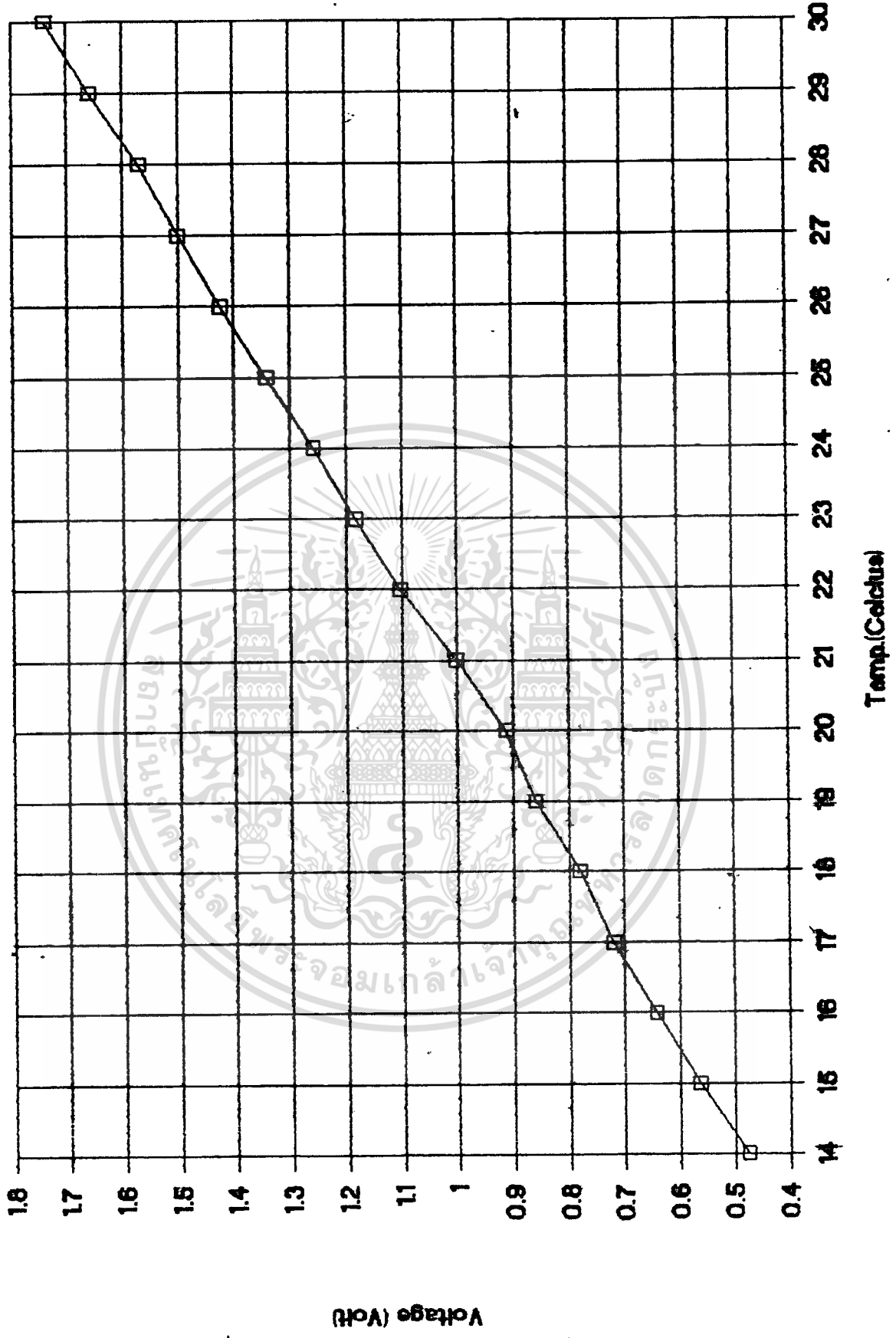


รูปที่ 29 ผลการทดลองของวงจรแปลงความถี่เป็นโวลต์เตจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา-30-ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage & Temperature Curve

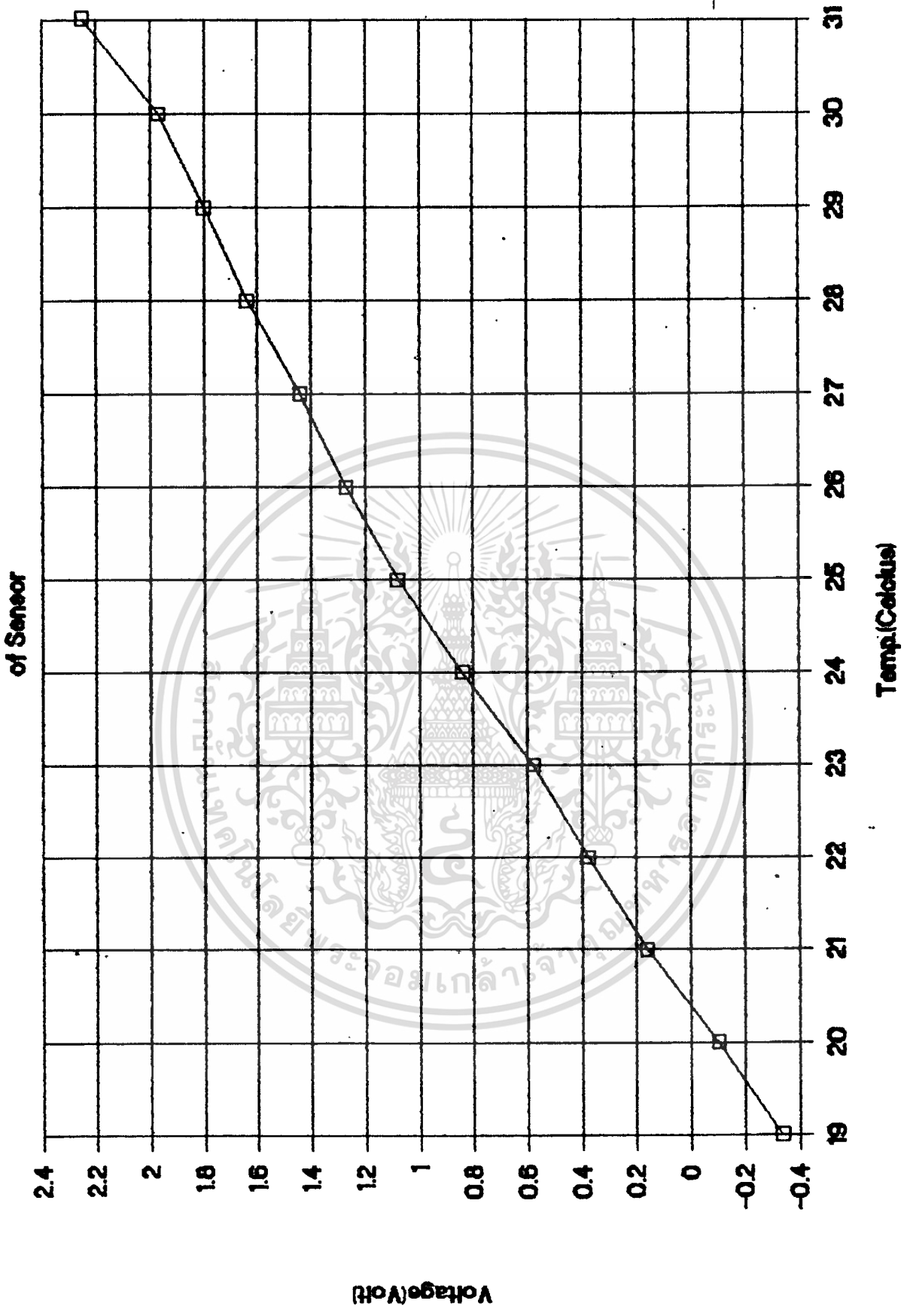
of Sensor



รูปที่ 30 ผลการทดลองของวงจรวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage & Temperature Curve



รูปที่ 31 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลเมื่อค่า R เปลี่ยนไป

$$T_w = K * R_x * C_x$$

กำหนดค่า $K = 0.37$ ในกรณีที่ $C_x \gg 1000$ พิโคฟารัด

กำหนดค่า $T_1 = 0.74$ msec ค่าวนได้ค่า $R_x = 200$ กิโลโอห์ม, $C_x = 10$ ไมโครฟารัด

กำหนดค่า $T_2 = 2.00$ msec ค่าวนได้ค่า $R_x = 240$ กิโลโอห์ม $C_x = 22$ ไมโครฟารัด

กำหนดค่า $T_3 = 3.478$ msec ค่าวนได้ค่า $R_x = 200$ กิโลโอห์ม $C_x = 47$ ไมโครฟารัด

จากการทดลองป้อนสัญญาณพัลส์วิดท์ T ตามเวลาการทำงานดังรูปที่ 17, 18, 19 จะได้ผลของสัญญาณความคมตามที่ต้องการ

8. วงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณดิจิตอล

ในการทดลองจะป้อนสัญญาณคลื่นอานขนาด 1 เมกกะเฮิรตซ์ ให้กับขา ck และบันทึกผลการทดลองจะได้ดังตารางที่ 32 แล้วได้ความสัมพันธ์เป็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล 5 เลดีต่อ 1 โวลต์

9. วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณโวลต์เตจ

ผลการทดลองวัดค่าระหว่างสัญญาณดิจิตอลและสัญญาณโวลต์เตจได้ค่าเป็นดังตารางที่

33

10. วงจรแปลงระหว่างสัญญาณแบบขนานกับสัญญาณแบบอนุกรม

กำหนดอัตราเร็วในการรับ-ส่งมีค่าเท่ากับ 4000 บิต ต่อ วินาที จะต้องใช้สัญญาณคลื่นที่มีความถี่ 307.2 กิโลเฮิรตซ์ ทำให้ต้องใช้คริสตอล (Crystal) ความถี่ 6.144 เมกกะเฮิรตซ์ผ่านวงจรหาร 20 จะได้สัญญาณความถี่ 307.2 กิโลเฮิรตซ์พอดี

กำหนด $A_0 - A_7$ และบิต 8 เป็น 1 สำหรับการรับ และ ให้ $S_0 - S_7$ เป็น 1 สำหรับการส่ง นั่นคือแอดเดรสมีค่าเท่ากับ FF(Hex) ซึ่งค่านี้จะเป็นสถานะของ MC 14469 ทั้งในการรับและการส่ง

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อกับวงจรมี ในกรณีที่กำหนดค่าเริ่มต้น จะมีรูปแบบคำสั่งเป็น

OUTPORT (03FB,0080)

OUTPORT (03F8,0018)

OUTPORT (03F9,0000)

OUTPORT (03FB,001B)

VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)	VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)	VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)
0	0	655	35	1315	70
10	1	673	36	1323	71
25	2	688	37	1363	72
40	3	700	38	1375	73
65	4	720	39	1390	74
80	5	750	40	1400	75
96	6	760	41	1418	76
119	7	780	42	1430	77
139	8	790	43	1445	78
155	9	809	44	1455	79
175	10	817	45	1500	80
192	11	837	46	1520	81
210	12	855	47	1540	82
224	13	900	48	1552	83
240	14	915	49	1568	84
252	15	930	50	1578	85
296	16	948	51	1595	86
310	17	960	52	1605	87
326	18	970	53	1640	88
348	19	993	54	1652	89
362	20	1004	55	1670	90
377	21	1035	56	1678	91
397	22	1050	57	1692	92
407	23	1065	58	1696	93
435	24	1078	59	1720	94
450	25	1093	60	1737	95
465	26	1100	61	1800	96
484	27	1120	62	1848	97
503	28	1127	63	1870	98
513	29	1225	64	1878	99
528	30	1233	65	1895	100
544	31	1262	66	1902	101
600	32	1272	67	1923	102
619	33	1285	68	1933	103
634	34	1293	69	1970	104

รูปที่ 32 ข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)	VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)	VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)
1985	105	2650	140	3320	175
2010	106	2670	141	3340	176
2020	107	2680	142	3360	177
2030	108	2740	143	3370	178
2045	109	2750	144	3380	179
2050	110	2770	145	3390	180
2110	111	2780	146	3400	181
2130	112	2790	147	3420	182
2140	113	2800	148	3440	183
2150	114	2820	149	3450	184
2170	115	2830	150	3470	185
2180	116	2860	151	3480	186
2190	117	2870	152	3490	187
2200	118	2890	153	3500	188
2240	119	2900	154	3510	189
2250	120	2910	155	3520	190
2270	121	2920	156	3650	191
2280	122	2930	157	3680	192
2290	123	2940	158	3700	193
2300	124	3060	159	3710	194
2320	125	3080	160	3720	195
2330	126	3090	161	3730	196
2460	127	3100	162	3740	197
2470	128	3110	163	3760	199
2490	129	3120	164	3780	199
2500	130	3130	165	3790	200
2510	131	3150	166	3810	201
2520	132	3180	167	3820	202
2540	133	3190	168	3830	203
2550	134	3210	169	3840	204
2580	135	3220	170	3850	205
2600	136	3230	171	3860	206
2620	137	3240	172	3930	207
2630	138	3250	173	3940	208
2640	139	3260	174	3950	209

รูปที่ 32 (ต่อ) ข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)	VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)	VOLTAGE (mV)	DATA (DEC)
3960	210	4280	225	4530	241
3970	211	4290	226	4540	242
3980	212	4300	227	4550	243
3990	213	4310	228	4560	244
4000	214	4320	229	4570	245
4040	215	4330	230	4580	246
4050	216	4370	231	4590	247
4060	217	4380	232	4620	248
4070	218	4390	233	4630	249
4080	219	4400	234	4640	250
4090	220	4410	235	4650	251
4100	221	4420	236	4660	252
4110	222	4430	237	4670	253
4250	223	4440	238	4680	254
4270	224	4520	239	4690	255

รูปที่ 32 (ต่อ) ข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณโวลต์เตจเป็นสัญญาณดิจิตอล

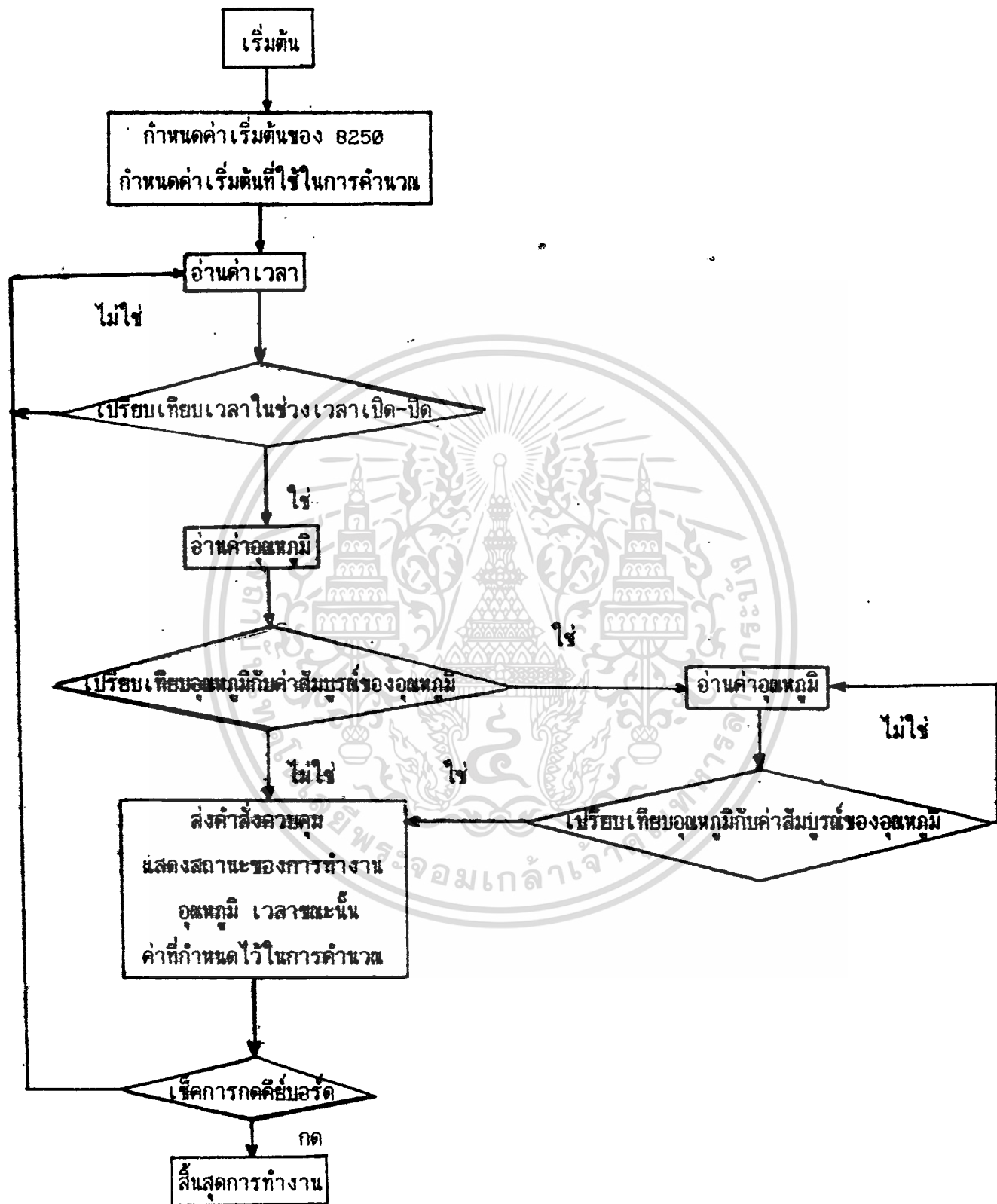
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA (DEC)	VOLTAGE (V)	DATA (DEC)	VOLTAGE (V)	DATA (DEC)	VOLTAGE (V)
0	0.002	87	1.700	174	3.390
5	0.100	92	1.800	179	3.500
10	0.190	97	1.890	187	3.650
15	0.290	102	1.990	192	3.750
20	0.390	106	2.090	196	3.830
26	0.500	112	2.190	202	3.980
31	0.600	117	2.290	208	4.060
36	0.700	122	2.390	215	4.110
41	0.800	128	2.490	219	4.190
46	0.900	133	2.590	220	4.280
48	0.940	138	2.690	224	4.370
56	1.090	144	2.810	228	4.480
61	1.190	149	2.900	232	4.640
67	1.300	154	3.010	242	4.710
72	1.400	160	3.120	247	4.810
77	1.500	164	3.200	251	4.900
82	1.600	169	3.300	255	4.990

รูปที่ 33 ข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณโวลต์เตจ

สำหรับไฟล์เวิร์กที่ในการทำงานทั้งหมดจะมีลักษณะการทำงานเป็นดังรูปที่ 34 และมีรายละเอียดในการทำงานอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. -โปรแกรมจะกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานของ 8250
-รับคำสั่งในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนค่าเริ่มต้นในการคำนวณ เช่น เวลาในการเปิด-ปิดการทำงาน, อุณหภูมิที่ต้องการ เป็นต้น
2. -อ่านค่าเวลาจากคอมพิวเตอร์
3. -เปรียบเทียบเวลาที่อ่านได้กับเวลาเปิด-ปิดที่ได้กำหนดไว้ ถ้าเวลาไม่อยู่ในช่วงเวลาการใช้งาน จะวนกลับไปอ่านค่าเวลาจากเครื่องใหม่ แล้วเปรียบเทียบจนกว่าจะได้เวลาอยู่ในช่วงที่ต้องการ
 - อ่านค่าอุณหภูมิจากวงจรภายนอก
 - เปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้กับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้จะมีช่วงอุณหภูมิเป็นค่าสัมบูรณ์ของอุณหภูมิที่กำหนด ลบด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ก็จะทำการส่งสัญญาณควบคุมให้เครื่องปรับอากาศทำงานสถานะเดิม และอ่านค่าอุณหภูมิเข้ามาเปรียบเทียบ จนกว่าจะได้ค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าสัมบูรณ์นั้น
4. -ส่งสัญญาณควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
 - แสดงสถานะในการทำงาน เวลาขณะนั้น อุณหภูมิที่กำหนดไว้ เวลาเปิด-ปิดที่กำหนดไว้ อุณหภูมิขณะนั้น
5. -เช็คการกดตำแหน่งคีย์บอร์ดว่า ต้องการให้เลิกการทำงานก่อนเวลาหรือไม่ ถ้ามีการกดคีย์บอร์ด โปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงาน แต่ถ้าไม่มีการกด โปรแกรมจะกลับไปทำงานที่ข้อ 2 วนต่อไป



รูปที่ 34 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่-39-ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรายละเอียดในการส่งคำสั่งควบคุมนี้ เนื่องจากในส่วนควบคุมการติดต่อได้อาศัยขนาดของพัลส์วิตช์มาเป็นตัวกำหนดการทำงาน โดยมีรายละเอียดเป็นดังนี้

1. $T < T_1$ วงจรจะผสมค่าของอุณหภูมิจากตัววัดได้เข้าสู่สายไฟหน้า และสัญญาณในการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศจะคงเป็นสถานะเดิม

2. $T_1 < T < T_2$ วงจรนี้จะส่งสัญญาณไปเปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และจะไม่ผสมค่าของอุณหภูมิจากตัววัดได้เข้าสู่สายไฟหน้า

3. $T_2 < T < T_3$ วงจรนี้จะส่งสัญญาณไปปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และจะไม่ผสมค่าของอุณหภูมิจากตัววัดได้เข้าสู่สายไฟหน้า เช่นเดียวกัน

ดังนั้นเมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการติดต่อกับระบบภายนอก จะมีกรณีการทำงาน 3 กรณีตามที่กล่าวไว้ โดยที่คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลค่าหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณโวลต์ เตจ และวงจรแปลงสัญญาณโวลต์ เตจ เป็นสัญญาณความถี่ ทำให้เกิดสัญญาณความถี่ที่มีค่าตรงกับ ความถี่ศูนย์กลาง หรือแบนด์วิดท์ของวงจรโหนดโคเดเตอร์ที่ได้รับการกำหนดไว้ก่อน เพื่อเลือก การทำงานของเครื่องปรับอากาศตัวนั้น และทำการหน่วงเวลาให้ตรงกับช่วงเวลาในการทำงาน ของทั้ง 3 กรณี หลังจากนั้นจะส่งค่าศูนย์ออกไป เพื่อทำให้เกิดเป็นสัญญาณพัลส์วิตช์จากวงจรโหนดโคเดเตอร์ นี้ออนเข้าสู่วงจรส่วนควบคุมการทำงานต่อไป

บทที่ 5

สรุป

โครงการนี้ได้ทดลองเชื่อมต่อกันระหว่างด้านฮาร์ดแวร์ และโปรแกรม ปรากฏว่าทางคอมพิวเตอร์สามารถรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางอุปกรณ์ส่วนที่อินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้องทั้งหมด แต่เมื่อมีการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ทางด้านคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ทางด้านส่วนรับปลายทางผ่านทางสายไฟฟ้า พบว่าสัญญาณพัลส์วีดท์ที่ได้มาจากวงจรโทดโคดเดอร์ ยังไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้อุปกรณ์ส่วนติดต่อเกิดปัญหา คือว่า สามารถส่งค่าข้อมูลผิดพลาดในสายไฟฟ้า และส่งสัญญาณไปเปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้เท่านั้น ดังนั้นควรจะมีการแก้ไขปรับปรุงในส่วนของวงจรโทดโคดเดอร์ให้สามารถตรวจจับความถี่ได้แม่นยำยิ่งขึ้น เพื่อที่จะสร้างสัญญาณพัลส์วีดท์ที่ไม่มีปัญหาอื่นเข้าสู่อุปกรณ์ส่วนติดต่อได้ต่อไป

สำหรับวงจรที่ผสมข้อมูล และถอดข้อมูล โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานนั้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทั้งหมดแล้ว ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงวงจร โทดโคดเดอร์ ไปเป็นวงจรที่สามารถตรวจจับความถี่ได้แม่นยำ รวมทั้งสร้างสัญญาณพัลส์วีดท์ที่ไม่มีผิดพลาด โครงการนี้จะสามารถนำไปใช้งานได้

ส่วนวงจรเซนเซอร์ที่วัดอุณหภูมินั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดภายในวงจรให้มีความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไวท์เตจ กับข้อมูลวีดท์ที่ต้องการ เช่น ตรวจวัดความร้อน ตรวจวัดปริมาณควีน ก็จะสามารถนำโครงการนี้ไปใช้ควบคุมในระบบป้องกันไฟไหม้ หรือระบบอื่น ๆต่อไป

กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์วันชัย ธีรรุจา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ช่วยให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ให้ความช่วยเหลือ และจัดหาอุปกรณ์ ตลอดจนถึงใจในการทำงานอย่างมาก ขอขอบคุณ อาจารย์ เกียรติวรรณ ทรงสิทธิ์ ที่ให้ความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ในด้านต่าง ๆ รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

ถ้าหากปริิณญาบัตรนี้จะมีประโยชน์อยู่บ้างก็ขอมอบความดีนั้นให้ อาจารย์ที่ปรึกษา ถ้ามีข้อผิดพลาดใด ๆ ฝ่ายผู้จัดทำขอรับผิดชอบแต่เพียงฝ่ายเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. National Semiconductor Corporation, "Linear Databook" 1982
2. National Semiconductor Corporation, "Logic Databook"
Volume II 1984
3. Motorola, "CMOS Databook" Prepared by Technical Information
Center
4. Ray Duncan, "Advanced MSDOS" Version 1.1-3.2, Microsoft
Press, 1986
5. Borland International, Inc, "Turbo C Reference Guide",
Copyright 1987
6. Borland International, Inc, "Turbo C Users Guide", Copyright
1987
7. IBM Corp., Personal Computer, "Technical Reference",
Copyright 1983