



เครื่องวัด SWR และชุดควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องปรับอากาศ

SWR Meter and Air Condition Remote Control



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๔๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

040391

เครื่องวัด SWR และชุดควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องปรับอากาศ

SWR Meter and Air Condition Remote Control

โดย

นาย มังกร ศรีตรครเลิศ 38014396

นาย วันชัย ฤาเดช 38014452

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.สมยศ จุณณะปิยะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัด SWR และชุดควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องปรับอากาศ

SWR Meter and Air Condition Remote Control

ผู้จัดทำ

1. นาย มังกร ศรีลครเลิศ 3801496

2. นายวันชัย ฤาเดช 38014452


----- อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.สมยศ จุณณะปิยะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัด SWR และชุดควบคุมระยะไกลเครื่องปรับอากาศ

SWR Meter and Air Condition Remote Control

โดย นายมังกร ศรีตรครเลิศ 38014396

นายวันชัย ฤาเดช 38014452

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สมยศ จุณณะปิยะ

บทคัดย่อ

โครงการในส่วนแรกนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ในช่วงความถี่ 1.5-70 MHz ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นในการรับและส่งคลื่นวิทยุ ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากสำหรับนักวิทยุสมัครเล่น ในรายละเอียดของโครงการในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นนิ่ง วิธีคำนวณเกี่ยวกับอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (standing wave ratio) ตลอดจนทำการทดลองและสร้างเครื่องมือนี้ขึ้นมา

สำหรับโครงการในส่วนที่สองก็เป็นการศึกษาเกี่ยวกับแอร์รีโมทคอนโทรล (Air Remote Control) ซึ่งใช้เป็นเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องปรับอากาศ โดยรายละเอียดและขอบเขตของโครงการนี้แสดงให้เห็นถึงทฤษฎีและการทำงานของบอร์ดควบคุมและตัวรีโมท ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันด้วยสายเคเบิล และแสดงถึงส่วนต่างๆภายในตัวรีโมท ไม่ว่าจะเป็นสวิทช์ปิด-เปิด สวิทช์ตั้งอุณหภูมิ สวิทช์เลือกโหมดการทำงานและสวิทช์เลื่อนเพื่อเลือกความแรงของพัดลมกระจายอุณหภูมิ ตลอดจนการทำการทดลองและสร้างเครื่องมือนี้ขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในรายวิชา Project II ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาโทรคมนาคม

ABSTRACT

This first part of this project is a study SWR meter for 1.5-70 MHz which is an indispensable for transmitting and receiving the radio wave. In the description and boundary of this project is to study to the theory of standing wave and the solution to calculate the standing wave ratio (SWR) throughout the experiment and construction this instrument.

For this the second part of this project is to study the Air Condition Remote Control which use the thermostat for air. The description and boundary of this project show the theory and operating of main controller and remote unit. It is connected by cable

and show to another component in remote unit. It consists on-off switch, temperature set up, mode of operating and air ventilated switch.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

PART I

หน้า

เครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งในช่วงความถี่ 1.5-70 MHz

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีหรือหลักการ	2
	2.1 คลื่นนิ่ง	2
	2.2 รายละเอียดของวงจรและหลักการทำงาน	8
บทที่ 3	การสร้างและการคำนวณ	11
	3.1 การสร้าง	11
	3.2 การคำนวณ	12
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	14
บทที่ 5	บทวิจารณ์และบทสรุป	17
	หนังสืออ้างอิง	21

PART II

แอร์รีโมทคอนโทรล

บทที่ 1	บทนำ	22
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	23
	2.1 รายละเอียดและหลักการทำงานของบอร์ดควบคุม	25
	2.2 รายละเอียดและหลักการทำงานของตัวรีโมท	29
บทที่ 3	การสร้างและการคำนวณ	31
	3.1 การสร้าง	31
	3.2 การคำนวณ	33
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	37
บทที่ 5	บทวิจารณ์และบทสรุป	43
	ภาคผนวก	47
	กิตติกรรมประกาศ	63
	หนังสืออ้างอิง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio Meter) เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในเครื่องมือที่ใช้สำหรับการรับ และการส่งคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มักจะพบบ่อยสำหรับนักวิทยุสมัครเล่นมันจะมีความเกี่ยวข้องอยู่เสมอรหว่างสายเชื่อมต่อของเครื่องรับเครื่องส่ง และสายเคเบิลแกนร่วม (Coaxial Cable) ไปยังสายอากาศ ในระหว่างการส่งสัญญาณเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งจะจัดหาเครื่องแสดงกำลังส่ง ซึ่งดี พอ ๆ กับเครื่องมือแสดงอัตรากำลังส่งสัญญาณของเครื่องส่งกำลังความถี่วิทยุ (RF Power Transmitter) ไปยังเครื่องสะท้อนกำลังความถี่วิทยุ (กำลังที่สะท้อนเข้าไปยังเครื่องส่ง เพื่อให้เกิดการ mismatch ที่บางจุดในสายส่งสัญญาณ) เมื่อนักวิทยุสมัครเล่นมีเครื่องส่งกำลังที่สามารถส่งได้หลาย ๆ ครั้งและมีระบบสายอากาศมาก ๆ มันจะเป็นระบบการปฏิบัติงานที่ดีมากในการฝึกทักษะสำหรับ ตรวจสอบการ match ของสายอากาศ ที่ระดับเพาเวอร์ต่ำ ๆ ก่อนทำการเริ่มต้นการส่ง ในวิธีนี้ นักวิทยุสมัครเล่นทั้งหลายสามารถป้องกันเครื่องขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Amplifier) อันมีค่าของพวกเขาได้จากการ mismatch ของสัญญาณ ความสำเร็จและความปลอดภัยของสายเคเบิลแกนร่วม หรือการขาดการเชื่อมต่อกับสายอากาศ ในระหว่างการส่ง , นักวิทยุสมัครเล่นจะใช้สายตาข้างหนึ่งในการตั้งสเกล (Scale) ของเครื่องและส่วนต่าง ๆ บนหน้าปัทม์ของ Moving Coil Meter ในเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เพื่อให้แน่ใจว่า สัญญาณที่รับได้ที่สถานีรับเป็นสัญญาณที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คลื่นระนาบสองคลื่นเดินทางในทิศตรงข้ามกัน ; คลื่นนิ่ง

เมื่อพิจารณาถึงสภาพที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีคลื่นสองคลื่นเดินทางในทิศตรงข้ามกัน (สวนทางกัน) เช่นคลื่นที่เดินทางในทิศ $+X$ และ $-X$ เป็นต้น จะสมมติว่าคลื่นทั้งสองมีความถี่เดียวกันและมีลักษณะคลื่นเป็นแบบคลื่นไซน์เหมือนกัน เงื่อนไขที่คลื่นทั้งสองจะมีความถี่เดียวกันและมีลักษณะคลื่นเป็นคลื่นสะท้อนกลับของอีกคลื่นหนึ่ง เนื่องจากคลื่นทั้งสองเกิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของคลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่าน

อ้างถึงรูปที่ 2.1 สมมติว่าตัวกลางถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ซึ่งเป็นตัวกลางต่างชนิดกัน มีรอยต่อเป็นระนาบอยู่ระหว่างตัวกลางทั้งสองดังรูป มีคลื่นคลื่นหนึ่งที่กำเนิดในตัวกลางที่ 1 และเคลื่อนที่เข้ากระทบรอยต่อซึ่งจะเรียกว่าเป็นคลื่นตกกระทบ (Incident wave) คลื่นที่สะท้อนกลับจากรอยต่อจะเดินทางกลับเข้าไปในตัวกลางที่ 1 ซึ่งจะเรียกว่าเป็นคลื่นสะท้อน (reflected wave) ถ้าการสะท้อนกลับของคลื่นตกกระทบที่บริเวณรอยต่อไม่สมบูรณ์ ส่วนหนึ่งของคลื่นจะเดินทางต่อไปเข้าไปในตัวกลางที่ 2 และคลื่นนี้จะเรียกว่าเป็นคลื่นส่งผ่าน (transmitted wave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโซลูชันของสมการคลื่นสำหรับ E_y ดังที่ได้ในสมการที่ 2.1

$$E_y = \sin \beta (x+vt) + \sin \beta (x-vt) \quad (2.1)$$

จะเห็นว่ามียู สองนิพจน์แรกจะแทนคลื่นที่เดินทางในทิศ $-X$ (ไปทางซ้ายมือ) และนิพจน์ที่สองจะแทนคลื่นในทิศ $+X$ (ไปทางขวามือ) อ้างถึงโซลูชันในรูปเอ็กซ์โพเนนเชียลตารางที่ 2.1

จะให้คลื่นตกกระทบ (เดินทางไปทางซ้ายมือ) เป็น

$$E_{y0} = E_0 e^{j(\omega t + \beta x)} \quad (2.2)$$

และคลื่นสะท้อน (เดินทางไปทางขวามือ) เป็น

$$E_{y1} = E_1 e^{j(\omega t - \beta x + \delta)} \quad (2.3)$$

เมื่อ δ = ค่าเฟสเวลาของ E_{y1} ที่ล่วงหน้า (lead) เฟสเวลาของ E_{y0} ไปที่ $x = 0$ นั่นคือ

δ = ค่าการเลื่อนเฟสที่จุดที่เกิดการสะท้อน

E_0 = ขนาดของคลื่นตกกระทบ

E_1 = ขนาดของคลื่นสะท้อน

สนามไฟฟ้าทั้งหมด E_y จะเป็น

$$E_y = E_{y0} + E_{y1}$$

	ในรูปแบบตรีโกณมิติ	ในรูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
คลื่นไปทางขวา	$E_y = E_1 \sin(\omega t - \beta x)$	$E_y = E_1 e^{j(\omega t - \beta x)}$
คลื่นไปทางซ้าย	$E_y = E_0 \sin(\omega t + \beta x)$	$E_y = E_0 e^{j(\omega t + \beta x)}$
ผลรวมคลื่นทั้งสอง	$E_y = E_0 \sin(\omega t + \beta x) + E_1 \sin(\omega t - \beta x)$	$E_y = E_0 e^{j(\omega t + \beta x)} + E_1 e^{j(\omega t - \beta x)}$

ตารางที่ 2.1 โซลูชันของสมการคลื่น

ขนาดของสนามที่ขณะหนึ่งขณะใดของเวลาจะหาได้จากการเลือกเอกเฉพาะส่วนจริง (Re) หรือส่วนจินตภาพ (Im) ของสมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนั้นถ้า เลือกเอกเฉพาะส่วนจินตภาพจะได้ว่าค่าสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่ขณะหนึ่งใดของเวลาจะเป็น

$$E_y = \text{Im}E_y = E_0 \sin(\omega t + \beta x) + E_1 \sin(\omega t - \beta x + \delta) \quad 2.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $\delta = 0$ หรือ 180° สมการที่ 2.5 จะสามารถกระจายได้ดังนี้

$$E_y = E_0 \sin \omega t \cos \beta x + E_0 \cos \omega t \sin \beta x + E_1 \sin \omega t \cos \beta x - E_1 \cos \omega t \sin \beta x \quad 2.6$$

รวมเทอมที่มีฟังก์ชันเหมือนกันเข้าด้วยกัน จะได้

$$E_y = (E_0 + E_1) \sin \omega t \cos \beta x + (E_0 - E_1) E_0 \cos \omega t \sin \beta x \quad 2.7$$

ถ้าตัวกลางที่ 2 เป็นตัวนำสมบูรณ์ คลื่นสะท้อนจะมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ ถ้าเราให้ $X = 0$ เป็นตำแหน่งตรงรอยระหว่างตัวกลางที่ 1 และ ที่ 2 ความสัมพันธ์ที่ตรงรอยต่อสำหรับองค์ประกอบในทิศสัมผัสของ \vec{E} จะเป็น $E_y = 0$ ดังนั้น $E_1 = -E_0$ ที่รอยต่อ ($\delta = 180^\circ$) และสมการที่ 2.7 จะเป็น

$$E_y = 2 E_0 \cos \omega t \sin \beta x \quad 2.8$$

ความสัมพันธ์นี้จะแทนคลื่นซึ่งตั้งอยู่กับที่หรือคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ค่าของ E_y ที่ระยะทางจำเพาะค่าหนึ่งจะเป็นฟังก์ชันไซน์ของ X ค่าที่ขณะใดขณะหนึ่งของเวลาที่จุดจำเพาะจุดหนึ่งจะเป็นฟังก์ชันโคไซน์ของ t ค่าที่จุดสูงสุดของคลื่นจะเป็นผลรวมของค่าที่จุดสูงสุดของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน หรือเท่ากับ $2E_0$ คลื่นนิ่งชนิดนี้ซึ่งมี $|E_1| = |E_0|$ จะเป็นคลื่นนิ่งบริสุทธิ์ (pure standing wave) คลื่นชนิดนี้จะเกิดขึ้นในรีโซเนเตอร์ (resonators)

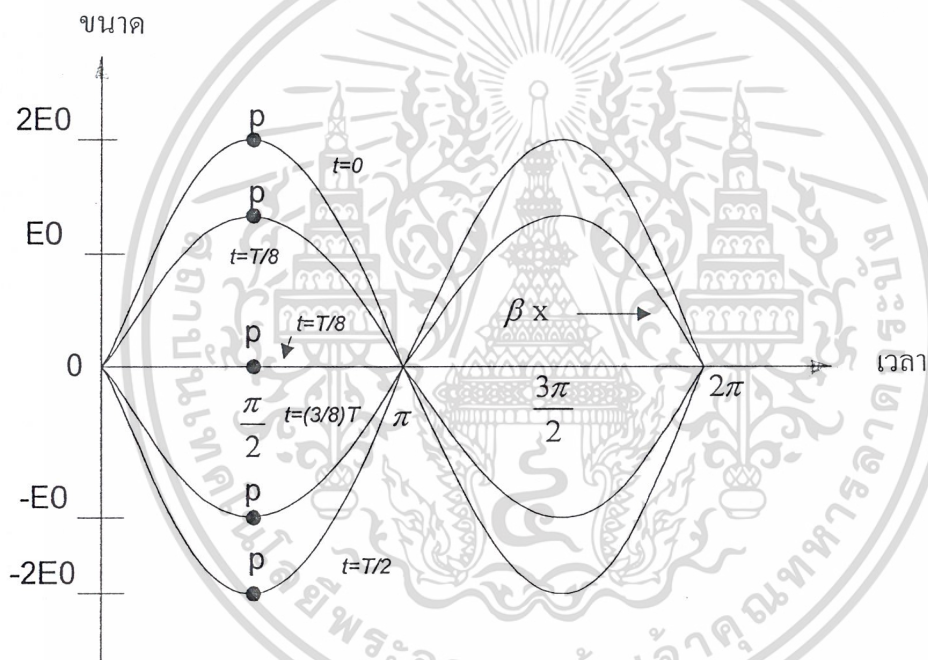
การเปลี่ยนแปลงของ E_y ต่อระยะทางและเวลาสำหรับคลื่นนิ่งบริสุทธิ์จะแสดงไว้ด้วยเส้นกราฟในรูปที่ 2.2 เป็นที่น่าสังเกตว่าจุดเฟสคงที่เช่นจุด P จะไม่มีการเคลื่อนที่ในทิศ X เลย แต่จะอยู่ในตำแหน่งเดิม ในขณะที่เวลาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ต่อไปจะมาหาเงื่อนไขต่าง ๆ เมื่อคลื่นสะท้อนมีขนาดเล็กกว่าคลื่นตกกระทบเช่นมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งดูบ้าง ดังนั้นจะได้ว่า $E_1 = -0.5 E_0$ หากค่าสมการที่ 2.7 สำหรับกรณีนี้ที่ค่าเวลาต่าง ๆ สี่ค่าจะได้เส้นกราฟต่าง ๆ ดังในรูปที่ 3 เส้นกราฟเหล่านั้นจะแสดงค่าของ E_y ในรูปฟังก์ชันของ x ที่เวลาต่าง ๆ กันคือ $0, 1/8, 1/4$ และ $3/8$ ของคาบเวลา ค่าสูงสุดของ E_y จะอยู่ในช่วงจาก $1.5 E_0$ ที่ $t=0$ ถึง $0.5 E_0$ ที่ $t=1/4$ ของคาบเวลา ค่าสูงสุดในรูปฟังก์ชันของ x ที่สังเกตตลอดช่วงหนึ่งของเวลาที่นานกว่าหนึ่งคาบเวลาจะมีลักษณะเช่นเดียวกับเอนวิโลพดังที่แสดง เอนวิโลพนี้จะคงอยู่กับที่ แต่จะพุ่งความสนใจไปที่จุดเฟสที่ P ของคลื่น จะเห็นได้ว่าคลื่นทั้งหมดที่ขณะหนึ่งใดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า เวลาจะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือ และจะเห็นได้เร็วกว่าความเร็วที่จุด P เคลื่อนที่ไปจะมีค่าไม่คงที่ ในไม่ช้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

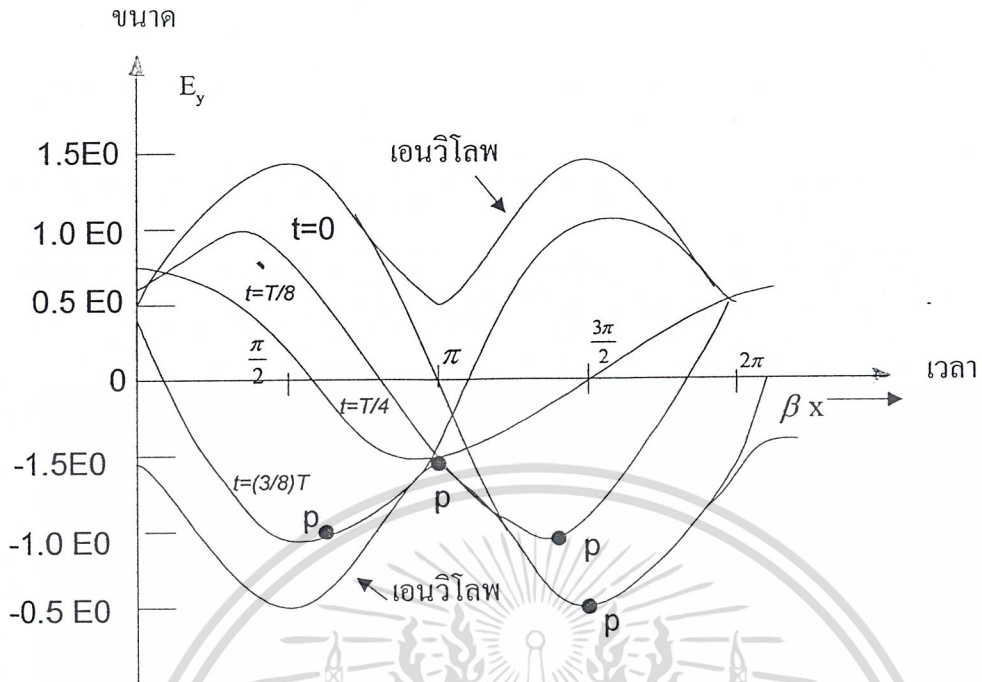
ระหว่างเวลา 0 และ $1/8$ ของคาบเวลาจุด P จะเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางประมาณ 0.5λ (0.1π) ในขณะที่ในอีก $1/8$ ของคาบเวลาต่อมา P เคลื่อนที่ได้ไกลกว่านั้นอีกประมาณ 4 เท่า หรือประมาณ 0.2λ (0.4π) ถึงแม้ว่าความเร็วเฉลี่ยของจุดเฟสคงที่จะมีค่าเท่ากับความเร็วสำหรับคลื่นที่เดินทางปกติก็ตาม แต่ขนาดที่ขณะหนึ่งใดของเวลาจะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าซึ่งมากกว่าและน้อยกว่าค่านี้

สรุปได้ว่ามีคลื่นที่มี E_y เป็นองค์ประกอบสองคลื่น คลื่นหนึ่งเดินทางไปในทิศ $-x$ และอีกคลื่นหนึ่งมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งเดินทางไปในทิศ $+x$ คลื่นทั้งสองจะเสริมกันที่บางจุดและหักล้างกันที่บางจุด คลื่นผลลัพธ์จะเดินทางไปในทิศ $-x$



รูปที่ 2.2 แสดงค่าของ E_y ที่เวลาต่าง ๆ กัน ในกรณีของคลื่นนิ่งบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เอนวิโลฟของคลื่นนิ่งสำหรับ $E_1 = -0.5 E_0$ กับคลื่นที่สัมพันธ์กันที่เวลาต่าง ๆ 4 ค่า คือ $t=0, t=T/8, t=T/4$ และ $t=3T/8$

เอนวิโลฟของเส้นกราฟของคลื่นที่ขณะหนึ่งขณะใดของเวลาในรูปที่ 2.3 จะเรียกว่าเป็นเส้นกราฟคลื่นนิ่งหรือเอนวิโลฟ ที่ตำแหน่ง βx ใด ๆ ค่ามากที่สุดของสนามที่บางเวลาในระหว่างรอบ (cycle) จะเท่ากับค่าในแนวแกนตั้งของเอนวิโลฟ

ในการคำนวณค่าของเอนวิโลฟของคลื่นนิ่ง เรามีวิธีคำนวณดังต่อไปนี้ ในสมการที่ 2.7 ให้

$$\begin{aligned} A &= (E_0 + E_1) E_0 \cos \beta x & 2.9 \\ B &= (E_0 - E_1) E_0 \sin \beta x \end{aligned}$$

กระจาย $\sin \omega t$ และ $\cos \omega t$ ออกในรูปของเอ็กโพเนนเชียล เราสามารถแสดงได้ว่า

$$A \sin \omega t + B \cos \omega t = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \gamma) \quad 2.10$$

สมการที่ 2.7 จึงสามารถเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_y \text{ ทั้งสิ้น } = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \gamma) \quad 2.11$$

กระจายสมการที่ 2.11 โดยอาศัยสมการที่ 2.9 จะได้ว่า

$$E_y = \sqrt{(E_0 + E_1)^2 \cos^2 \beta X + (E_0 - E_1)^2 \sin^2 \beta X} \sin(\omega t + \beta X) \quad 2.12$$

ค่ามากที่สุดของ E_y ที่บางตำแหน่งของ X ที่สังเกตตลอดช่วงเวลาอย่างน้อยที่สุดหนึ่งคาบ เวลาจะเกิดขึ้นเมื่อ $\sin(\omega t + \beta x) = 1$ ดังนั้นสำหรับรูปทรงของแอมพลิจูดของคลื่นนิ่งของ E_y จะได้

$$E_y = \sqrt{(E_0 + E_1)^2 \cos^2 \beta X + (E_0 - E_1)^2 \sin^2 \beta X} \quad 2.13$$

โดยปกติแล้วเรามักจะไม่สนใจให้ความสนใจในรูปทรงของแอมพลิจูดของคลื่นนิ่งที่ได้ในสมการที่ 2.13 เท่ากับให้ความสนใจในอัตราส่วนของค่ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุดสำหรับแอมพลิจูด ซึ่งจะเรียกว่าเป็นอัตราคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio ; SWR) ค่าศักดาไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ที่ระยะทาง X ใด ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนาม ดังนั้น SWR ในกรณีนี้จะเรียกว่าเป็นอัตราส่วนคลื่นนิ่งเชิงศักดาไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio ; VSWR) ค่ามากที่สุดของแอมพลิจูดจะขึ้นอยู่กับผลรวมของขนาดของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนคือ $(E_0 + E_1)$ ในขณะที่ค่าน้อยที่สุดจะขึ้นอยู่กับผลต่างของขนาดของคลื่นทั้งสองคือ $(E_0 - E_1)$ จากข้อมูลที่ได้นี้เราสามารถหาส่วนของคลื่นตกกระทบที่สะท้อนกลับมาได้ในรูปของคลื่นสะท้อนและสามารถหาส่วนที่ส่งผ่านได้ด้วย (ดูรูปที่ 2.1) สิ่งที่เราจะรู้จะมีค่ามากในการหาสภาพหรือธรรมชาติของเงื่อนไขต่าง ๆ ที่จุดเกิดการสะท้อนของคลื่นดังจะได้อธิบายต่อไป

ดังนั้นสำหรับ VSWR สามารถเขียนได้ว่า

$$VSWR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{E_0 + E_1}{E_0 - E_1} \quad 2.14$$

เมื่อคลื่นสะท้อนเป็นศูนย์ ($E_1 = 0$) ค่าของ VSWR จะเท่ากับหนึ่ง เมื่อคลื่นสะท้อนมีขนาดเท่ากับ คลื่นตกกระทบ ($E_1 = E_0$) ค่าของ VSWR จะเท่ากับอนันต์ ดังนั้นสำหรับค่าต่าง ๆ ทั้งหมดของคลื่นสะท้อนที่อยู่ในระหว่างนี้ ค่าของ VSWR จะอยู่ระหว่างหนึ่งและอนันต์

จากตารางพบว่าค่า SWR ที่ได้จะเป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับการเชื่อมต่อ (matching) ของเครื่องส่งไปยังสายโคแอกเชียลและระบบสายอากาศ แต่สิ่งนี้ไม่อาจกล่าวได้ว่า มันไม่มีการสูญเสีย (Loss) เกิดขึ้นมันเพียงแต่หมายความว่า เอาท์พุทของเครื่องส่งเกิดการเชื่อมต่อ (matched) กับรูปแบบ

อิมพีแดนซ์ ของโหลดโดยสายส่งสัญญาณ โดยจะ matched กับโหลดที่อยู่ในระยะของสายเคเบิล ซึ่งในความเป็นจริงผลของสายอากาศที่แมชไม่ถูกต้อง จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณในสายเคเบิล โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ ก็เพราะว่า ทั้งกำลังส่งและกำลังสะท้อน ก็มีผลทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณได้เช่นกัน

เป็นธรรมดาสำหรับการสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายโคแอกเซียลเนื่องจากคัมมิโหลด (dummy load) ซึ่งเป็นตัวดูดกลืนสัญญาณ ความยาวของสายโคแอกเซียล ซึ่งมีการลดทอนมากกว่า 20 dB ที่ การทดสอบความถี่จะมีกำลังสะท้อนเพียงเล็กน้อย จากคุณลักษณะดังกล่าว สามารถกล่าวได้ว่า มันจะมีลักษณะเป็นความต้านทานที่ดีในตัวส่งสัญญาณ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เป็นผลมาจากการมิสแมช (Mismatched) ในช่วงจาก 1.5 ถึง 2.0 นักวิทยุสมัครเล่นส่วนมากจะยอมรับเกี่ยวกับอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่สูงกว่า 2 เพื่อเป็นการกำหนดในการค้นหาสาเหตุของการมิสแมช หรือมีค่ามากกว่า 11 % ของกำลังส่งที่สูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของเพาเวอร์คั้นเหตุอีกอย่างของการมิสแมช อาจจะได้จากการจูนเครื่องขยายความถี่วิทยุ (RF amplifiers) ไม่ถูกต้อง ส่วนของสายโคแอกเซียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ไม่ถูกต้อง ปกติเป็นที่รู้จักกันคือ 50 / 75 โอห์ม นกที่จับอยู่บนสายอากาศ น้ำแข็งที่เกาะอยู่กับสายอากาศ น้ำในสายโคแอกเซียล หรือความผิดพลาดของตัวคอนเนคเตอร์ (Connector) แต่จะเป็นสาเหตุอะไรก็ตาม สามารถทำให้แน่ใจได้ในการกำจัดสิ่งเหล่านี้ก่อนที่จะเริ่มต้น การส่ง ไม่ว่าจะเกี่ยวกับเครื่องขยายความถี่วิทยุ สายโคแอกเซียล ตลอดจนระบบงานสายอากาศ โดยรายละเอียดนั้นจะใช้ซิงเกิ้ลไซด์แบนด์ (Single Side band) และวิธีเชิงเส้นอื่น ๆ เพื่อไม่ให้เอาที่ พุทเกิดการมิสแมชและไม่ให้สเปคตรัมของเอาท์พุทมีขนาดกว้างเกินไป

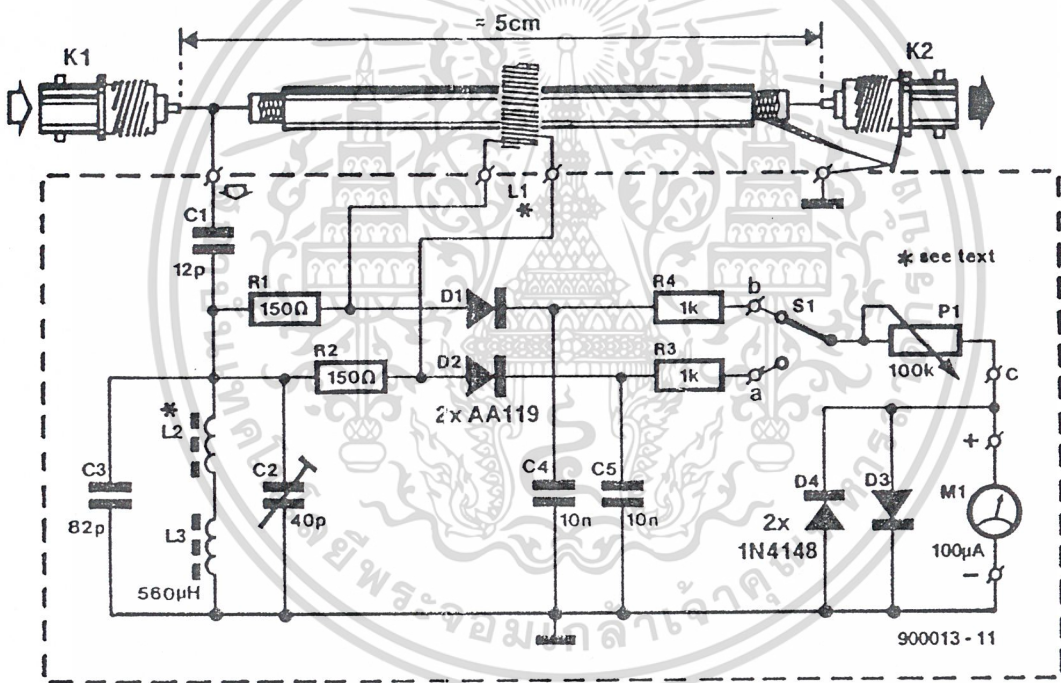
2.2 รายละเอียดของวงจร (Circuit Description)

สำหรับรายละเอียดของวงจรเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR meter) นั้นกำลังส่งและกำลังสะท้อนจะก่อให้เกิดศักดาไฟฟ้าของความถี่วิทยุ ในลักษณะของตัวเหนี่ยวนำโทรอยด์ (Toroid inductor) L_1 , ที่ซึ่งเป็นตำแหน่งรอบ ๆ ความยาวของสายโคแอกเซียลเคเบิล

หมายเหตุ : สายโคแอกเซียลนี้จะป็นกราวด์อยู่ข้างหนึ่ง เนื่องจากสายโคแอกเซียลที่มีกราวด์อยู่ทั้ง 2 ข้างจะไม่มีกรแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าศักดาไฟฟ้าของควมถี่วิทยุ (RF Voltage) จะถูกจ่ายออกมาโดยเครื่องส่ง ซึ่งเป็นคู่ของตัวเก็บประจุโดยผ่านทาง C_1 ที่ซึ่งกำลังส่งและกำลังสะท้อนสามารถทำการวัดค่าได้ การต่อตัวเก็บประจุ C_1 จะเชื่อมต่อเพื่อใช้ในการจูนวงจร $L_2 - L_3 - C_3 - C_2$ เพื่อปรับการให้เกดสัดส่วนในวงจรของเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ที่ความถี่ในระดับที่สูงกว่า ซึ่งค่าศักดาไฟฟ้าที่ส่งไปและสะท้อนกลับสามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้โดยไดโอด D_1 และ D_2 เพื่อสร้างค่าเพาเวอร์ที่สัมพันธ์กันของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ไดโอดเบอร์ AA119 นี้ถูกใช้เป็นค่าความจุไฟฟ้าที่ระดับต่ำ ซึ่งเป็นจุดที่สัมผัสกับไดโอดชนิดเจอร์มิเนียม (Germanium) กับค่าโวลต์เตจต่ำ ๆ ประมาณ 0.2 โวลต์ ที่อกเกิ้ลสวิทช์ S_1 จะใช้เลือกแสดงค่ากำลังส่ง หรือกำลังสะท้อนที่สัมพันธ์กับกำลังสอง



รูปที่ 2.4 แสดงรายละเอียดของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน

เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุตเข้ามา ค่าความเหนี่ยวนำ L_1 จะก่อให้เกิดค่าโวลเตจ ซึ่งมีลักษณะเป็น AC ซึ่งสามารถส่งผ่าน C_1 ได้ จากนั้นค่าโวลเตจจะถูกส่งมายังวงจรแทงค์เซอร์กิต (tank circuit) $L_2-L_3-C_3-C_2$ ซึ่งถ้าป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ วงจรก็สามารถทํางานได้เลย โดยไม่ต้องมีการปรับค่า C_2 แต่ถ้าสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณที่มีความถี่สูง ๆ เช่น 50 MHz หรือ 72 MHz ก่อนที่ค่าโวลเตจจะส่งมายังวงจร Low Filter จะต้องมีการปรับค่า C_2 เพื่อให้กำลังสะท้อนมีค่าต่ำที่สุด จากนั้นสวิตช์ S1 จะทำการเลือกที่จะแสดงผลของกำลังส่งหรือกำลังสะท้อน โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ P1 เมื่อปรับหาค่าโวลเตจสูงสุด (V_{max}) และหาค่าโวลเตจต่ำสุด (V_{min}) ซึ่งแสดงผลบนมิเตอร์ เพื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง จากสูตร

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการคำนวณ

3.1 การสร้าง

ในรายละเอียดของลายปริ้นซ์รูปวงจรถูกแสดงดังรูปที่ 3.1 เพื่อให้แน่ใจในการหลีกเลี่ยงหรือป้องกันไม่ให้ตัวเก็บประจุชนิดทริมเมอร์ C_2 นั้นร้อนเกินไปในระหว่างทำการบัดกรี ซ็อกเก็ต BNC ทั้งสองจะถูกเชื่อมโดยสายโคแอกเซียลขนาดเล็กที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ซึ่งในการสกรีนจะถูกเชื่อมต่อไปยังซ็อกเก็ตและบอร์ดที่สายอากาศข้างใดข้างหนึ่ง โดยสายโคแอกเซียลนี้将有ความยาวเพียง 40 มิลลิเมตร โดยใช้เบอร์ RG 174U ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-1 แสดงลายปริ้นซ์ของวงจร

ข้อมูลสำหรับการพันลวดทองแดง ของตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 มีดังนี้

ตัวเหนี่ยวนำ L_1

จะใช้การพันลวดทองแดง 30 รอบ โดยใช้สายทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร (SWG 36 ; AWG 34) เคลือบด้วยทองแดงชนิดเฟอร์ไรท์ FT 37 - 43 หรือใช้เบอร์ FB 43 - 2401 ซึ่งใช้แทนกันได้จากนั้นทำการกระจายเส้นลวดให้สม่ำเสมอทั้งบนแกน (Core) ของสายโคแอกเซียล ข้อควรระวัง ให้เอาสิ่งทีเคลือบออกในตอนสุดท้ายวางสายโคแอกเซียลให้ผ่านรู (Hole) และบัดกรีเส้นลวดของตัวเหนี่ยวนำที่ช่องของ L_1 และ PCB แล้วเชื่อมต่อสายโคแอกเซียลไปยังซ็อกเก็ต BNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเหนี่ยวนำ L_2

สามารถทำได้โดยการพันลวดทองแดง 6 รอบ โดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร (SWG 36 ; AWG 34) เคลือบด้วยลวดทองแดงตลอดความยาว 3 มิลลิเมตร ferrite bead หลังจากพันตัวเหนี่ยวนำแล้วให้เอาสิ่งที่เคลือบออกในตอนสุดท้าย แล้วทำการบัดกรีให้เรียบร้อย

สายปรีนซ์วงจรถ่ายที่เสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการประกอบในกล่อง และขนาดของกล่องที่ฝาปิดจะขึ้นอยู่กับมิเตอร์ที่ใช้ ฝาปิดจะทำการเจาะเพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องวัดระดับไฟ และสวิทช์ที่เลือกแสดงค่ากำลังส่งหรือกำลังสะท้อน

3.2 การคำนวณ

จากรูปแสดงความสัมพันธ์ของคลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อนและคลื่นส่งผ่าน ในรูปที่ 1 โดยการอ้างอิงโซลูชันในรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล ในตารางที่ 1 จะได้

$$E_{y0} = E_0 e^{j(\omega t + \beta x)}$$

สมการของคลื่นสะท้อน

$$E_{y1} = E_1 e^{j(\omega t - \beta x)}$$

เมื่อ E_0 = ขนาดของคลื่นตกกระทบ

E_1 = ขนาดของคลื่นสะท้อน

ดังนั้นจะได้ค่า SWR ที่ขึ้นอยู่กับผลรวมของขนาดคลื่นตกกระทบกับคลื่นสะท้อนคือ $E_0 + E_1$ หาค่าด้วยผลต่างของขนาดของคลื่นตกกระทบกับคลื่นสะท้อน ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$SWR = \frac{E_0 + E_1}{E_0 - E_1}$$

ถ้า $E_1 = 0$ จะได้ค่า $SWR = 1$

$E_1 = E_0$ จะได้ค่า $SWR = \infty$

ดังนั้นค่า SWR จะอยู่ระหว่างหนึ่งและอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ยังมีวิธีที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งได้อีก ถ้าทราบถึงค่ากำลังส่งและกำลังสะท้อน โดยสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_{\text{สะท้อน}}}{P_{\text{ส่ง}}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_{\text{สะท้อน}}}{P_{\text{ส่ง}}}}}$$

แต่สำหรับรายละเอียดในการทดลอง จะใช้สูตรก่อนหน้านี้เป็นหลัก ซึ่งจะมีความง่ายในการคำนวณมากกว่า และเป็นวิธีที่นิยมมากกว่า และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ในรูปของ dB สามารถคำนวณได้โดย

$$SWR \text{ (dB)} = 20 \log VSWR$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบและการนำไปใช้งาน

ในการทดสอบเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งนี้ จะทำการเชื่อมเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่เสร็จเรียบร้อยแล้วระหว่างเครื่องส่งคลื่นสั้นและโหลดที่รู้ว่าไม่มีการสะท้อนกลับ เช่น คัมมีโพลดและเพาเวอร์เรตติ้งที่มีค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม แล้วทำการส่งเอาท์พุทเพาเวอร์ไปเรื่อย ๆ ถ้าผลของกำลังส่งและกำลังสะท้อน ปรากฏว่าตรงกันข้าม ก็ให้ทำการเปลี่ยนข้อมูลภายในของตัวเหนี่ยวนำ L_1 หรือเปลี่ยนข้อมูลสวิตช์ S_1 ของเครื่องมือวัด

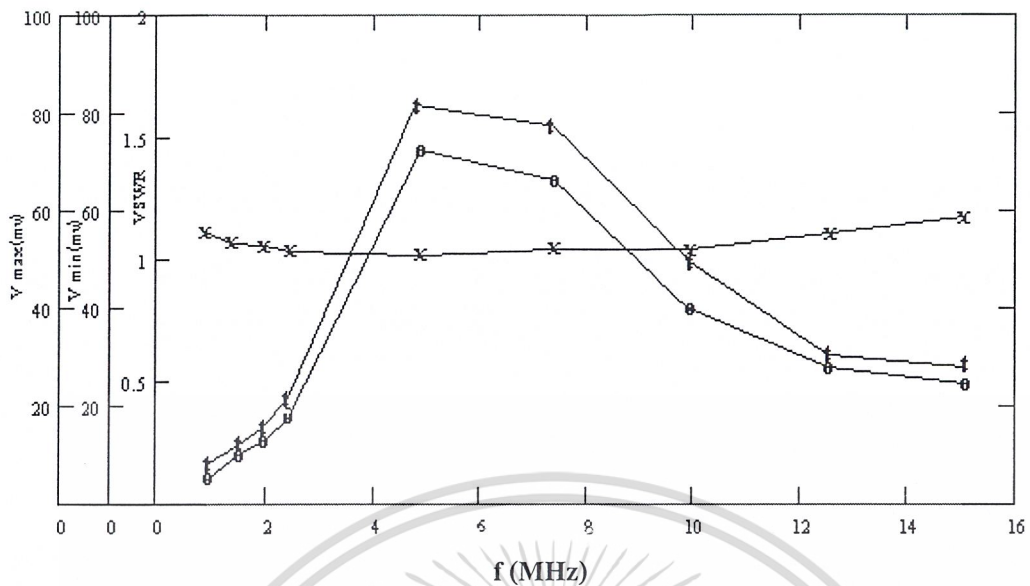
ถ้าคุณต้องการทดสอบสำเร็จเฉพาะในช่วงความถี่คลื่นสั้น บางทีอาจจะไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุชนิดทริมเมอร์ C_2 ถ้าคุณต้องการทดสอบสำเร็จที่ความถี่ 50 MHz หรือ 72 MHz ให้ทำการเชื่อมต่อกัมมีโพลดไปยังเอาท์พุทของเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งและปรับเปลี่ยนตัวเก็บประจุชนิดทริมเมอร์ C_2 เพื่อให้เกิดผลของค่ากำลังสะท้อนที่ต่ำที่สุด ในระหว่างที่ทำการส่งที่ระดับเพาเวอร์ต่ำ ๆ แล้วใช้เครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง หลังจากทำการเปลี่ยนสายเชื่อมต่อหรือระบบอากาศ แล้วทำการส่งเพาเวอร์ไปเรื่อย ๆ เลือกกำลังส่ง และปรับเปลี่ยนค่าเซนซิวิตี คอนโทรล (Sensitivity Control) โดย P_1 เพื่อให้มิเตอร์เปลี่ยนแปลง จากนั้นทำการปรับสวิตช์ไปยังกำลังสะท้อน ถ้ามิเตอร์วัดได้ค่าที่สูงกว่า แสดงว่าระบบสายอากาศไม่ดี

4.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการต่อโหลดที่มีค่า match กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเชียล คือมีค่า 50 โอห์ม จะได้ผลการทดลอง ตามตารางที่ 4.1

ความถี่ (MHz)	V_{max} (mV)	V_{min} (mV)	VSWR
1.0	6.25	5.3	1.18
1.5	10.3	9.1	1.13
2.0	15.0	13.75	1.10
2.5	20.3	19.37	1.05
5.0	80.25	75.0	1.07
7.5	75.0	68.75	1.09
10	44.0	40.0	1.10
12.5	34.4	29.1	1.18
15	29.2	23.8	1.23

เอกสารตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อโหลดที่มีค่าเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเชียล การคำนวณค่า VSWR ไม่วุ่นวายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



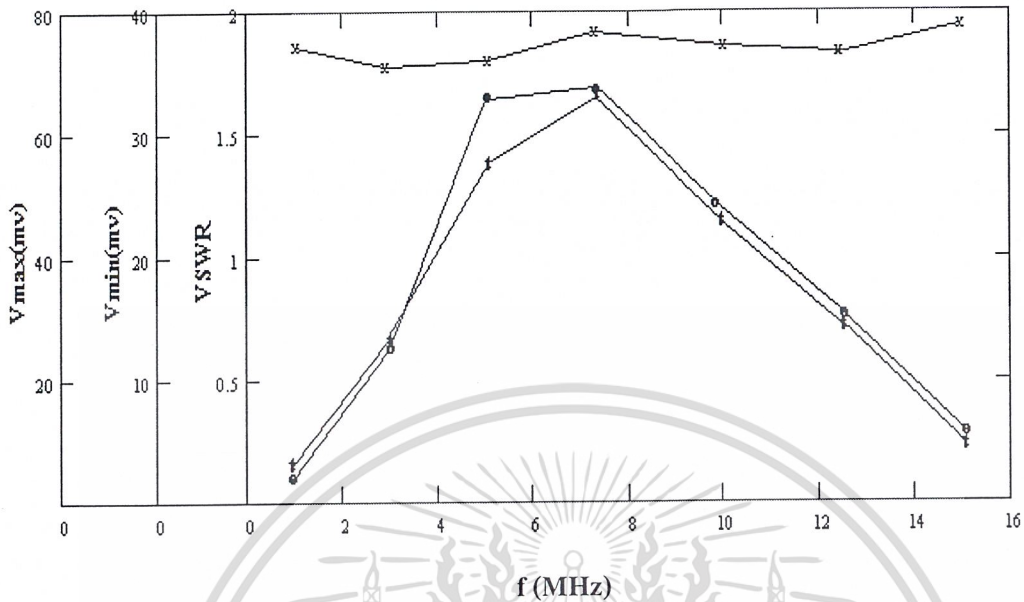
รูปที่ 4.1 แสดงรูปกราฟเมื่อต่อโหลดที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

ในกรณีที่เรารัดโหลดที่มีค่าไม่แม่นยำซึ่งกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกซ์เซี่ยล โดยจะ ใช้โหลดขนาด 100 โอห์มทำการทดลองจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ความถี่ (MHz)	V _{max} (mV)	V _{min} (mV)	VSWR
1.0	5.625	3.1	1.81
3.0	25.6	14.6	1.75
5.0	57.5	32.2	1.79
7.5	63.75	33.45	1.91
10	44.4	24.7	1.80
12.5	28.4	16.7	1.70
15	14.7	7.5	1.96

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อต่อโหลดที่มีค่าไม่เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกซ์เซี่ยล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงรูปกราฟเมื่อต่อ โหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 100 โอห์ม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 จะพบว่า ค่า VSWR ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับหนึ่งเนื่อง จากโหลดที่ใช้ต่อนั้น match กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกซ์เซี่ยล แต่ค่า VSWR ที่ได้ อาจมีค่าความผิดพลาด อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการวัด และจากผลการ ทดลองในตารางที่ 4.2 จะพบว่าค่า VSWR ที่ได้จะใกล้เคียงกับ 2 เมื่อทำการวัดที่ระดับความถี่ ต่างๆ กัน

ในกรณีที่ใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า C และตัวเหนี่ยวนำ L มาทำเป็นโหลดต่อที่ปลายสาย จะได้ค่า VSWR ที่มีค่าเป็นอนันต์ และในกรณีที่ทำการลัดวงจร (Short circuit) หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ก็จะได้ค่า VSWR เป็นอนันต์เช่นกัน

จากรูปกราฟประกอบผลการทดลองจะพบว่า เมื่อต่อโหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์ในแต่ละค่า จะได้ค่า V_{max} และค่า V_{min} จะมีค่าเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มเหมือนกัน ซึ่งจะทำให้ได้ค่า VSWR ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ในระดับความถี่ต่างๆตามอัตราส่วนของค่า V_{max} และค่า V_{min}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

เครื่องวัดอัตราคลื่นนิ่ง (SWR meter) เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นสำหรับการรับและส่งคลื่น เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ซึ่งก็คือ อัตราส่วนของกำลังความถี่วิทยุที่ส่งต่อวัตถุความถี่วิทยุที่สะท้อน

คลื่นนิ่ง (Standing Wave) เป็นคลื่นระนาบสองคลื่นที่เดินทางในทิศตรงกันข้าม ซึ่งในการส่งคลื่นเข้าไปในตัวกลาง จะมีทั้งคลื่นตกกระทบ และบางส่วนจะมีการสะท้อนกลับคืนมาตรงบริเวณที่รอยเตอร์ไม่สมบูรณ์ ซึ่งคลื่นทั้ง 2 นี้จะมีทิศทางตรงกันข้าม โดยอ้างถึงโซลูชันในรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล ในตาราง 2.1 ที่ได้

สมการของคลื่นตกกระทบ

$$E_{y0} = E_0 e^{j(\omega t + \beta x)}$$

และสมการของคลื่นสะท้อน

$$E_{y1} = E_1 e^{j(\omega t - \beta x)}$$

เมื่อ E_0 = ขนาดของคลื่นตกกระทบ E_1 = ขนาดของคลื่นสะท้อน

เราสามารถที่จะหาค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ได้จากสมการต่อไปนี้

$$SWR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{(E_0 + E_1)}{(E_0 - E_1)}$$

ข้อสังเกต เมื่อคลื่นสะท้อนเป็นศูนย์ ($E_1 = 0$) จะได้ว่า SWR เท่ากับหนึ่ง และเมื่อคลื่นสะท้อนมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ ($E_1 = E_0$) จะได้ว่า SWR เท่ากับอนันต์ ดังนั้นสำหรับค่าต่าง ๆ ทั้งหมดของคลื่นสะท้อนที่อยู่ในระหว่างนี้ ค่าของ SWR จะอยู่ระหว่างหนึ่งและอนันต์

โดยค่า SWR ที่ดีสำหรับการแผ่รังสีของเครื่องส่งไปยังสายโคแอกเชียลและระบบสายอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกับหนึ่ง กล่าวคือ จะต้องมีการสะท้อนน้อยที่สุด และมีการสูญเสียหรือการลดทอนในระบบสายอากาศที่น้อยที่สุดด้วย โดยการลดทอนภายในระบบอากาศส่วนมากจะเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

- ผลของระบบสายอากาศที่ matching ไม่ถูกต้องหรือสภาพของสายอากาศที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น มีน้ำอยู่ภายในเนื่องจากสายอากาศรั่ว เป็นต้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นให้แต่เพียงแต่เพียงอย่างเดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลของกำลังส่งและกำลังสะท้อน
- ผลจากการจูนเครื่องขยายความถี่วิทยุที่ไม่ถูกต้อง
- ผลของสายโคแอกเซียล ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ไม่ถูกต้อง (ปกติ คือ 50 หรือ 75 โอห์ม)
- ผลจากความผิดพลาดของตัวคอนเนคเตอร์ของเครื่องขยายความถี่วิทยุ

สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เพื่อไม่ให้เอาที่พุดเกิดการมีสเปคตรัมของเอาที่พุดมีขนาดกว้างเกินไป สามารถทำได้โดยใช้การชิ่งเกิลไซค์แบนด์ และวิธีเชิงเส้นอื่น ๆ

สำหรับรายละเอียดของวงจร สามารถสรุปหน้าที่ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

C_2 : เป็นตัวเก็บประจุชนิดทริมเมอร์ ใช้ในการปรับค่าโวลเตจ ในกรณีที่อินพุตที่เข้ามาเป็นสัญญาณความถี่สูง (50-72 MHz) เพื่อให้เกิดสัญญาณต่ำสุด โดยใช้ร่วมกับวงจรแทงค์ (tank circuit) $L_2-L_3-C_3-C_2$

P_1 : เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ ใช้ปรับค่า sensitivity เพื่อให้ได้ค่าโวลเตจสูงสุด (V_{max}) และต่ำสุด (V_{min}) สำหรับคำนวณค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

S_1 : เป็นทอกเกิลสวิตช์ เพื่อใช้ในการเลือกแสดงค่าศักดาไฟฟ้าที่ส่งและสะท้อน ที่สัมพันธ์กับกำลังส่ง

D_1, D_2 เป็นไดโอดเบอร์ AA119 เป็นตัวปรับเปลี่ยนค่าศักดาไฟฟ้าที่ส่งและสะท้อน เพื่อสร้างค่าเพาเวอร์ที่สัมพันธ์กันของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนกับเป็นความจุไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ ๆ

D_3, D_4 เป็นไดโอดเบอร์ 1N4148 ทำหน้าที่ให้ค่าโวลเตจที่เข้ามายังมิเตอร์มีค่าสเตเบิล (stable) กล่าวคือ ไม่ให้ค่าโวลเตจที่เข้ามามีค่าสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้จากมิเตอร์ไม่คงที่

L_1 : เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้สัญญาณความถี่ที่เข้ามาเปลี่ยนเป็นค่าโวลเตจ

C_1 : เป็นตัวที่มีลักษณะเหมือนตัวทวนสัญญาณอ้างอิง ซึ่งใช้เป็นทางผ่านของค่าศักดาไฟฟ้าที่เข้ามา

R_1, C_4 เป็นลักษณะของวงจร Low Pass Filter ซึ่งจะยอมให้เฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

R_2, C_5 เป็นลักษณะของวงจร Low Pass Filter เช่นเดียวกัน

และจากรายละเอียดของวงจรของเครื่องวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่ง สามารถที่จะสรุปส่วน

ประกอบของวงจรออกเป็น ส่วนที่เป็นอินพุตที่ใช้สำหรับป้อนสัญญาณทาง BNC ซ็อกเก็ต K_1 , ส่วนของวงจรแทงค์ $L_2-L_3-C_3-C_2$ ส่วนของวงจร Low Pass Filter R_1, C_4 และ R_2, C_5 , ส่วนของสวิตช์ S_1 ที่ใช้เลือกแสดงกำลังส่งหรือกำลังสะท้อน ตัวต้านทานปรับค่าได้ P_1 เพื่อหาว่า V_{max} หรือ

V_{min} และส่วนของมิเตอร์ที่ใช้แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คลื่นนิ่งเป็นผลมาจากคลื่นระนาบสองคลื่นที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้าม โดยทฤษฎีของคลื่นระนาบ กล่าวว่า คลื่นระนาบ (plane wave) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในระนาบที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ และมีขนาดของสนามมีค่าสม่ำเสมอในระนาบดังกล่าว

ในการทดลองในวงจรนี้ จะใช้คัมมิโพลด ซึ่งจะมีตำแหน่งที่อยู่ปลายสายเสมอ โดยใช้ขนาด 50 โอห์ม ต่อกับ BNC ซ็อกเก็ต K2 เพื่อให้คลื่นที่ส่งไม่มีการสะท้อน โดยคัมมิโพลดจะเป็นตัววัดคลื่นสัญญาณในรูปของความร้อนแล้วระบายออกทางอากาศ ซึ่งที่ใช้ค่าคัมมิโพลด 50 โอห์มนี้ เพื่อต้องการให้เข้ากับค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล ซึ่งมีขนาด 50 โอห์มเช่นกัน และการที่เราใช้ตัวต้านทานขนาด 50 โอห์มมาใช้เป็นคัมมิโพลดก็เพราะว่า ตัวต้านทานจะมีผลให้สัญญาณอินเฟส (inphase) กันกับสัญญาณที่เข้ามา ซึ่งถ้าหากใช้ตัวเก็บประจุจะมีผลทำให้มีเฟสหน้า 90 องศา หรือถ้าใช้ตัวเหนี่ยวนำก็จะทำให้มีเฟสตามหลัง 90 องศา แต่ที่ต้องการคือ การอินเฟสกัน

จากการใช้คัมมิโพลดจะทำให้ได้อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ใกล้เคียงกับหนึ่ง ซึ่งหมายความว่าสัญญาณสามารถส่งผ่านตัวกลางได้ดี โดยไม่มีการสะท้อนกลับ

จากการทดลอง ถ้าทำการลัดวงจร (short circuit) ค่า VSWR ที่วัดได้จะมีค่าเป็นอนันต์ เนื่องจากสัญญาณเกิดการสะท้อนกลับหมด ทำให้เกิดการเสริมกันและหักล้างกันของสัญญาณ ทำให้ค่าต่ำสุด ($E_0 - E_1$) มีค่าเป็นศูนย์ แต่ในกรณีที่ต่อปลายสายไว้ด้วยเมฆซึ่ง ค่า VSWR ที่ได้จะมีค่าเป็นหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด มีข้อสังเกตอีกอย่าง ก็คือจะพบว่า VSWR ที่ได้จะมีค่าน้อยลง และใกล้เคียงกับหนึ่ง เมื่อจุดสังเกตอยู่ห่างจากปลายสายส่งสัญญาณมากขึ้น แสดงค่า VSWR ดีขึ้น

ในการคำนวณหาว่า VSWR นั้น ค่าแรงดันสูงสุด V_{max} ของคลื่นนิ่ง ได้มาจากการบวกกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนที่มีเฟสตรงกัน (inphase) และสำหรับค่าแรงดันสูงสุด V_{min} ของคลื่นนิ่ง ได้มาจากการบวกกันของคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อนที่มีเฟสตรงกันข้าม(out of phase) ซึ่งจะทำให้ได้อัตราส่วนของแรงดัน VSWR ดังนี้

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

โดยค่า VSWR ที่แสดงในหน่วย dB จะมีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง SWR ซึ่งหาได้จาก

$SWR (dB) = 20 \log VSWR$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งเงินให้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

640391

ความสัมพันธ์ระหว่าง VSWR กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

$$\text{จาก VSWR} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_r + V_f}{V_r - V_f}$$

ทำการหารเศษและส่วนด้วย V_r จะได้

$$\text{VSWR} = \frac{1 + \frac{V_r}{V_i}}{1 - \frac{V_r}{V_i}}$$

แต่ $\Gamma = \frac{V_r}{V_i}$

ดังนั้น $\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$

จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ เป็น

$$\Gamma = \frac{\text{VSWR} - 1}{\text{VSWR} + 1}$$

อย่างไรก็ดีแล้วแต่ในการส่งสัญญาณ จะต้องการค่า VSWR ที่มีค่าใกล้เคียงกับหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีที่สุด โดยไม่มีการสะท้อนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ผศ.ดร.จเร สุรวัฒน์ปัญญา , “ วิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า (Engineering Electromagnetic) ” , ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. พิชัย ภักดีพานิชเจริญ , “ ทฤษฎีและการใช้งานย่านความถี่ ” สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
3. รศ.ดร. บัณฑิต โรจน์อารยานันท์ , “ วิศวกรรมไมโครเวฟ (Microwave Engineering) ” , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , พิมพ์ครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การปรับอากาศเป็นการใช้งานอย่างหนึ่งของการทำความเย็น ในสมัยก่อนการปรับอากาศได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการต่างๆในอุตสาหกรรมและการเก็บวัสดุมากกว่าการปรับอากาศให้สบายสำหรับคน จากเหตุผลอันนี้ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศก็ไม่ได้เพิ่มขึ้น ต่อมาจากการวิจัยพบว่าการปรับอากาศให้สบายสำหรับคนงานจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศก็เจริญเพิ่มมากขึ้นและการปรับอากาศก็นิยมแพร่หลายอยู่ตามสถานที่ต่างๆในปัจจุบัน และอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศก็คือ ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat Control) ซึ่งประกอบด้วยบอร์ดควบคุม (Main Control) และตัวรีโมท (Remote Unit) ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันด้วยสายเคเบิล (Cable) ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ทั้งสองสามารถที่จะควบคุมการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศได้ทั้งหมดซึ่งตัวรีโมทจะมีสวิทช์เลือกโหมดการทำงานต่างๆของเครื่องปรับอากาศได้แก่ สวิทช์ปิด-เปิด (On-Off) สวิทช์ตั้งอุณหภูมิ (Temp) สวิทช์เลื่อนเพื่อเลือกความแรงของพัดลมกระจายอุณหภูมิ (Fan) สวิทช์เลือกโหมดการทำงาน (Mode) และใบพัดปรับเปลี่ยนทิศทางกระจายอุณหภูมิ (Swing) ส่วนบอร์ดควบคุมจะประกอบด้วยจุดต่อไฟฟ้ากระแสสลับ จุดต่อวงจรภายนอกและตัวสัมผัสเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิสำหรับติดตั้งภายนอกบอร์ดควบคุมซึ่งส่วนประกอบต่างๆของตัวควบคุมอุณหภูมินี้จะช่วยให้การควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

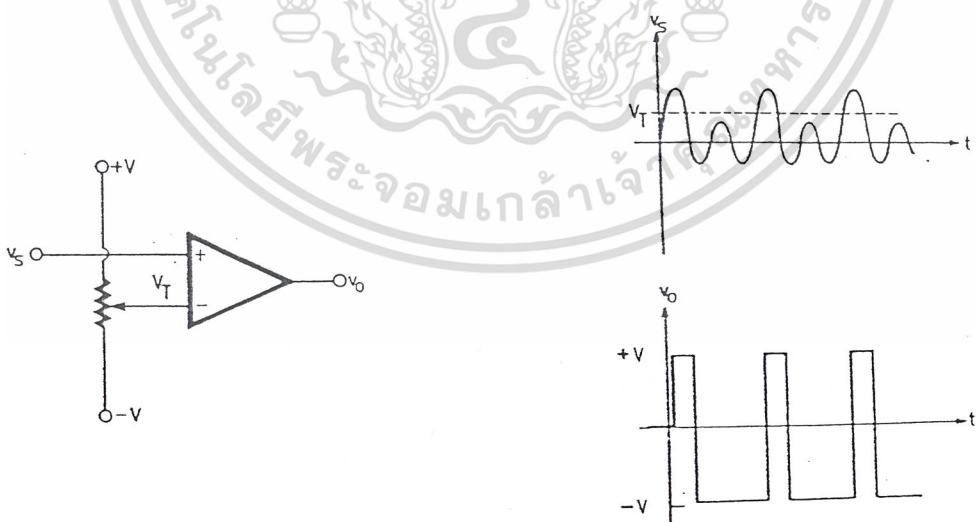
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

สำหรับทฤษฎีและหลักการของอุปกรณ์แอร์รี่โมทคอนโทรลนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยแยกอธิบายในส่วนของบอร์ดควบคุมและส่วนของตัวรีโมท ซึ่งในการอธิบายจะได้เน้นในเรื่องของหลักการทำงานและรายละเอียดในส่วนต่างๆ โดยแอร์รี่โมทคอนโทรลที่สร้างนี้เป็นชนิดที่ใช้สายในการส่งงานจากรีโมทไปยังเครื่องปรับอากาศและทั้งสองส่วนนี้มีการเชื่อมต่อกันด้วยสายเคเบิล มีย่านการตั้งอุณหภูมิตั้งแต่ 15-30 องศาเซลเซียสและมีการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงานประมาณ 2.5 นาที สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในส่วนของบอร์ดควบคุม มีดังนี้

วงจรถ่ายเทียบ (comparator)

วงจรถ่ายเทียบเป็นวงจรที่ไม่เชิงเส้น ซึ่งออปแอมป์อาจอยู่ในสภาพอิ่มตัวทางบวกหรือทางลบก็ได้ ดังนั้นต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างแรงดันขาเข้าทั้งสองข้างอาจมีมากก็ได้ วงจรถ่ายเทียบนี้ออปแอมป์จะมีอัตราขยายวงรอบเปิดสูงมาก หากแรงดันที่ขาเข้าไม่กลับหรือขาบวกมีค่าสูงกว่าทางขาเข้ากลับหรือขาลบเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ก็จะทำให้ออปแอมป์อิ่มตัวทางลบ หรือถ้าแรงดันที่ขาเข้ากลับมีค่าสูงกว่าทางขาเข้าไม่กลับเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ออปแอมป์ก็จะอิ่มตัวทางลบ ดังนั้นออปแอมป์วงรอบเปิดจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวงจรถ่ายเทียบว่า สัญญาณที่ขาข้างใดมีค่ามากกว่าอีกข้างหนึ่ง เช่น จากวงจรรูปที่ 2.1 ตั้งแรงดันที่ขาเข้ากลับของออปแอมป์ให้เท่ากับ V_T เมื่อใดที่สัญญาณเข้า V_s มีค่าสูงกว่า V_T แรงดัน V_o จะเท่ากับ $+V$ และเมื่อสัญญาณเข้า V_s มีค่าน้อยกว่า V_T แรงดัน V_o ก็จะเท่ากับ $-V$



รูปที่ 2.1 วงจรถ่ายเทียบโดยมี V_T เป็นแรงดันอ้างอิง

นอกจากนี้ในวงจรในส่วนของขาลบของออปแอมป์ที่เป็นคอมพาราเตอร์ จะมีทฤษฎีที่ใช้สำหรับการคำนวณค่าแรงดันที่เข้าที่ขาลบ ซึ่งทฤษฎีดังกล่าว คือ

วงจรแบ่งค่าแรงดัน (Voltage Divider)

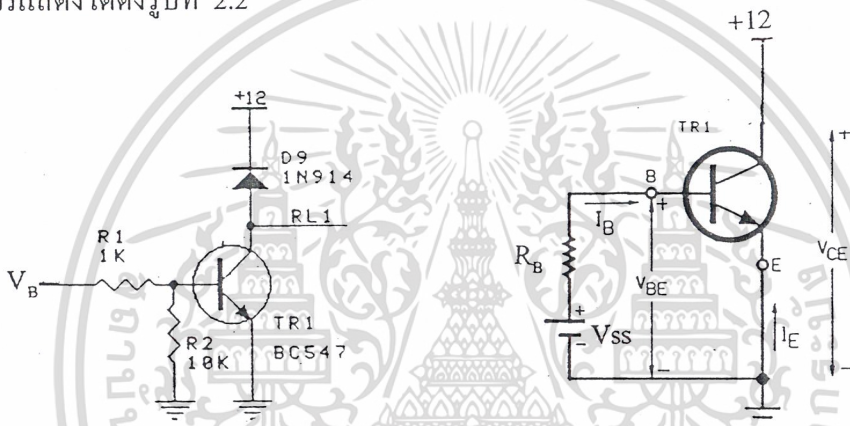
สำหรับทฤษฎีนี้ จะใช้ในการหาค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน สมมุติว่ามีตัวต้านทาน 2 ตัวคือ R_1 และ R_2 ต่อขนานกันอยู่ โดยมีตัวต้านทานตัวหนึ่งต่อกับค่าแรงดันไฟฟ้า E จะสามารถคำนวณค่าแรงดันที่ตกคร่อม R ทั้ง 2 ตัวได้จากสูตร

$$V_2 = [R_2 / (R_1 + R_2)] E$$

$$V_1 = [R_1 / (R_1 + R_2)] E$$

การคำนวณทรานซิสเตอร์

สำหรับการคำนวณทรานซิสเตอร์ของวงจรในส่วนของบอร์ดควบคุมซึ่งเป็นลักษณะของวงจรอิมิตเตอร์ร่วมนั้น จะเป็นการคำนวณหาค่ากระแสเพื่อใช้ในการขั้วเบสให้ทำงาน โดยรูปวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรทรานซิสเตอร์ในส่วนของบอร์ดควบคุม

จากวงจร จะได้ $V_{SS} = [R_2 / (R_1 + R_2)] V_B$

โดย V_B คือค่าแรงดันที่เข้ามาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

จากนั้นทำการคำนวณหาค่า R_B ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$R_B = [R_1 R_2 / (R_1 + R_2)]$$

ทำการวนลูปเพื่อหาค่า I_B จะได้

$$-V_{SS} + I_B R_B + V_{BE} = 0$$

$$I_B = (V_{SS} - V_{BE}) / R_B$$

และหาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ I_C เพื่อทำการขั้วเบสจากสมการ

$$I_C = \beta I_B \quad ; \beta = \text{อัตราขยายกระแส}$$

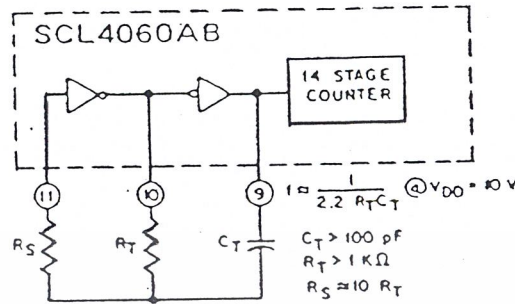
RC Oscillator Circuit

เราสามารถที่จะควบคุมความถี่ของออสซิลเลเตอร์โดยการใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

วงจรรวมจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์ ไม่ซึ่งในรายละเอียดของวงจรในส่วนราคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของบอร์ดควบคุมสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งจะสามารถหาค่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$f = 1 / 2.2 R_T C_T$$



รูปที่ 2.3 แสดง RC oscillator circuit

จากวงจร RC ออสซิลเลเตอร์จะได้ค่าความถี่เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าคาบเวลาที่สัญญาณนาฬิกา 1 ลูกใช้ไปจากสมการ $T = 1/f$ จากนั้นค่าคาบเวลานี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน โดยค่าการหน่วงเวลานี้จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของจำนวนสัญญาณนาฬิกาของแต่ละขาของไอซี MC14060 เมื่อดูในทิมมิ่งไดอะแกรมแล้วจะพบว่าต้องใช้สัญญาณนาฬิกาถึง 8192 ลูก ซึ่งแสดงว่ามีการหน่วงเวลานานที่สุด แต่ถ้าต้องการให้มีการหน่วงเวลาน้อยลงกว่านี้ก็สามารถทำได้โดยปรับการต่อวงจรของไอซี MC14060 โดยอาศัยทิมมิ่งไดอะแกรม

2.1 รายละเอียดและหลักการทำงานของบอร์ดควบคุม

รายละเอียดและหลักการทำงานของบอร์ดควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยจุดต่อไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งจะมีส่วนของวงจรเพาเวอร์ซัพพลายในการจ่ายไฟรวมทั้งทำหน้าที่ในการป้องกันแรงดันไฟเกินด้วย ซึ่งจะคอยตรวจสอบอุณหภูมิภายในตัวไอซีว่ามีค่าสูงเกินไปหรือเปล่า ถ้ามีค่าสูงวงจรนี้จะทำการลดกระแสหรือแรงดันเอาท์พุทของไอซีซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความร้อนบนตัวไอซีซึ่งจะส่งผลให้วงจรเสียหาย โดยจะมีไอซีเรกูเรเตอร์ซึ่งสามารถต่อวงจรได้ง่าย ในการต่อวงจรจะใส่ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ทางด้านอินพุทของไอซีเรกูเรเตอร์เพื่อป้องกันการเกิดการออสซิลเลตที่ความถี่สูงอันจะทำให้วงจรขาดเสถียรภาพในการทำงาน ส่วนทางด้านเอาท์พุทที่ออกจากเรกูเรเตอร์จะใส่ตัวเก็บประจุที่ใหญ่สักหน่อยเพื่อปรับปรุ้งแรงดันให้เรียบมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีจุดต่อวงจรภายนอกคือ ขา P1-P8 ซึ่งเป็นจุดต่อที่ใช้ต่อกับเครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องให้ทำงานตามที่ต้องการ โดยจุดต่อวงจรภายนอกนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับรีเลย์โดยเมื่อมีการขับรีเลย์ก็จะทำให้มีการเชื่อมต่อวงจรไปยังเครื่องปรับอากาศเพื่อให้ทำงานตามโหมดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก และในการขับรีเลย์ให้ทำงานนั้นก็จะต้องอาศัยค่ากระแสจากวงจรในส่วนของทรานซิสเตอร์ BC547 ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่ากระแสเท่ากับ 324 มิลลิแอมป์ซึ่งมากพอที่จะใช้ขับรีเลย์

ในโหมดการตั้งอุณหภูมินั้น เมื่อเรากดสวิทช์ตั้งอุณหภูมิจะเปรียบเสมือนกับการคำนวณค่าแรงดันที่ขาบวกของไอซี U_2 ซึ่งจะนำค่าแรงดันนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ขาลบ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าของเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) โดยเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงผกผันกับค่าของอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าของเทอร์มิสเตอร์จะลดลง จะทำให้ค่าแรงดันที่ขาลบของไอซี U_2 ลดลงด้วย โดยออปแอมป์ที่ใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) นี้ ถ้าหากแรงดันที่ขาบวกมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ขาลบ ก็จะทำให้ให้ออปแอมป์อิมพัลส์ทางบวก ในขณะที่เดียวกัน ถ้าหากแรงดันที่ขาบวกมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ขาลบ ออปแอมป์ก็จะอิมพัลส์ที่ขาลบ ดังนั้นถ้าหากแรงดันที่ขาบวกมีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาลบ ก็จะทำให้เอาต์พุตออกมาเป็น “1” ในทางตรงกันข้าม ถ้าแรงดันที่ขาบวกน้อยกว่าแรงดันที่ขาลบ ก็จะทำให้เอาต์พุตออกมาเป็น “0” ซึ่งเอาต์พุตนี้จะแสดงถึงสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ถ้าเอาต์พุตเป็น “1” แสดงว่ามีการทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์ ถ้าเอาต์พุตเป็น “0” คอมเพรสเซอร์จะไม่มีการทำงาน

ในกรณีที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน ซึ่งเอาต์พุตของออปแอมป์ออกมาเป็น “1” นั้น แรงดันเอาต์พุตที่จะเข้ามายังออปแอมป์ U_2 อีกตัวหนึ่งซึ่งจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบเช่นเดียวกัน แต่แรงดันที่จะเข้ามาที่ขาบวกของออปแอมป์ U_2 จะเป็น LOW หรือมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับขาลบ ซึ่งมีค่าแรงดันเท่ากับ 2.5 โวลต์โดยตลอด ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าไดโอด D_6 ซึ่งจะทำหน้าที่ดึงแรงดันลงมายังไอซี U_1 ในกรณีที่แรงดันไฟต่ำ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการหักล้างกับแรงดันจากเอาต์พุตของออปแอมป์ U_2 ตัวแรก จึงทำให้แรงดันที่จะเข้าที่ขาบวกของไอซี U_2 ตัวต่อมา มีค่าน้อยกว่าที่ขาลบ ดังนั้นจึงทำให้ไอซี U_1 คือ MC 14060 มีการสร้างคล็อก (clock) เพื่อทำการหน่วงเวลาขึ้น โดยการใช่วงจร RC ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งค่าของการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงานนี้จะมีค่าประมาณ 2.5 นาที ซึ่งจากการคำนวณแล้วจะได้ค่าการหน่วงเวลาประมาณ 160 วินาที ซึ่งค่าไทม์ไดอะแกรม (time diagram) ของไอซี U_1 นี้ แสดงดังตารางที่ 3.4 ดังนั้นหลังจากการหน่วงเวลาแล้วจะได้เอาต์พุตที่ออกทางขา 3 ของไอซี U_1 เป็น high หรือเป็นไฟบวก ซึ่งในตอนนี้ไดโอด D_6 จะทำหน้าที่ดันแรงดันไปยังขาบวกของไอซี U_2 ซึ่งแรงดันนี้จะถูกส่งไปรวมกับค่าแรงดันที่เอาต์พุตจากออปแอมป์ U_2 ตัวแรก ทำให้ได้ค่าแรงดันที่มากขึ้น และเมื่อนำค่าแรงดันนี้มาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ขาลบของออปแอมป์ U_2 ตัวที่ 2 จะทำให้แรงดันที่ขาบวกมีค่ามากกว่า และเอาต์พุตออกมาจะเป็น “1” ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสที่ทรานซิสเตอร์ TR_4 เพื่อนำไปขับรีเลย์ RL_4 ให้ทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมดคอมเพรสเซอร์ และเมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์เสร็จแล้วก็จะส่งสัญญาณมายังขารีเลย์ของไอซี U_1 เพื่อเลิกการทำงาน

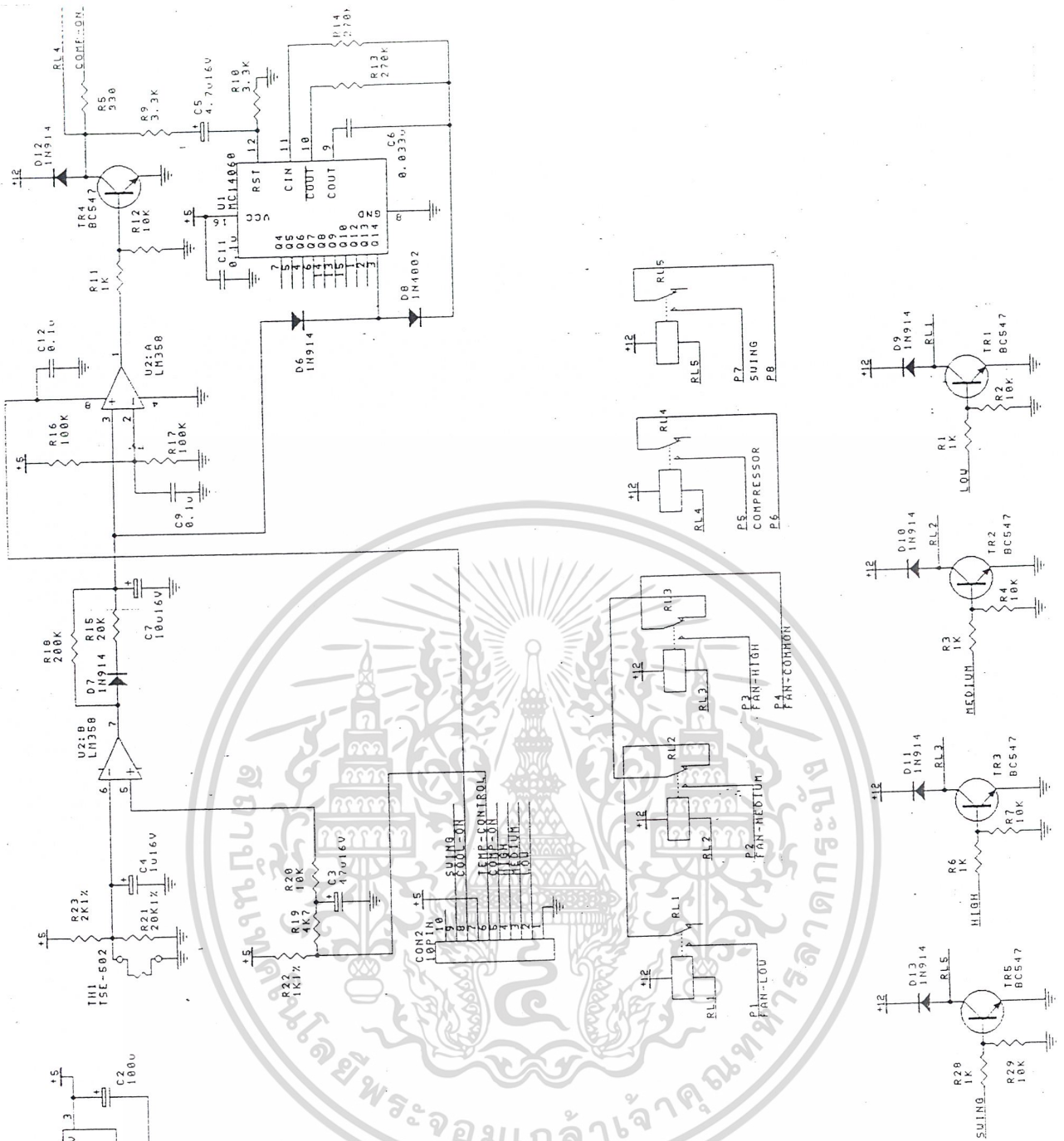
ในกรณีที่ต้องการให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด SWING เมื่อกดสวิทช์ให้ “ON” แล้ว แรงดันที่ออกมาซึ่งมีค่า 4.3 โวลต์ จะถูกนำมาใช้ร่วมกับทรานซิสเตอร์ TR_5 เพื่อทำให้เกิดค่า

กระแสในการขับรีเลย์ RL_5 ให้ทำงาน ซึ่งจะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด SWING โดยการเชื่อมต่อระหว่างสวิตช์จากรีเลย์โมทมายังส่วนของทรานซิสเตอร์ จะมีการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวคอนเนคเตอร์

ส่วนกรณีที่ต้องการให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมดพัดลม (FAN) เมื่อเรากดสวิตช์เลือกโหมดพัดลมแล้ว ก็จะมีสวิตช์เลือกความแรงของพัดลม ในกรณีที่เลือกความเร็วต่ำ ค่าแรงดันที่ออกมา 4.3 โวลต์ ก็จะทำให้เกิดกระแสที่ทรานซิสเตอร์ TR_1 เพื่อใช้ในการขับรีเลย์ RL_1 ซึ่งเป็นโหมด FAN-LOW และมีการเชื่อมต่อกับ RL_2 และ RL_3 จนไปถึงขา P_4 ซึ่งเป็น FAN-COMMON ก็แสดงว่าเป็นการเลือกโหมดพัดลมที่ต้องการความเร็วต่ำ ในกรณีที่ต้องการความเร็วปานกลางหรือความเร็วสูง ก็จะมีลักษณะคล้ายๆกันซึ่งจะเปลี่ยนเฉพาะตัวทรานซิสเตอร์และตัวรีเลย์ในการทำงาน โดยกรณี que เลือกความเร็วปานกลาง ทรานซิสเตอร์ TR_2 และรีเลย์ RL_2 จะทำงาน ส่วนกรณีที่เลือกความเร็วสูง ทรานซิสเตอร์ TR_3 และรีเลย์ RL_3 ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงรายละเอียดของวงจรของบอร์ดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รายละเอียดและหลักการทำงานของตัวรีโมท

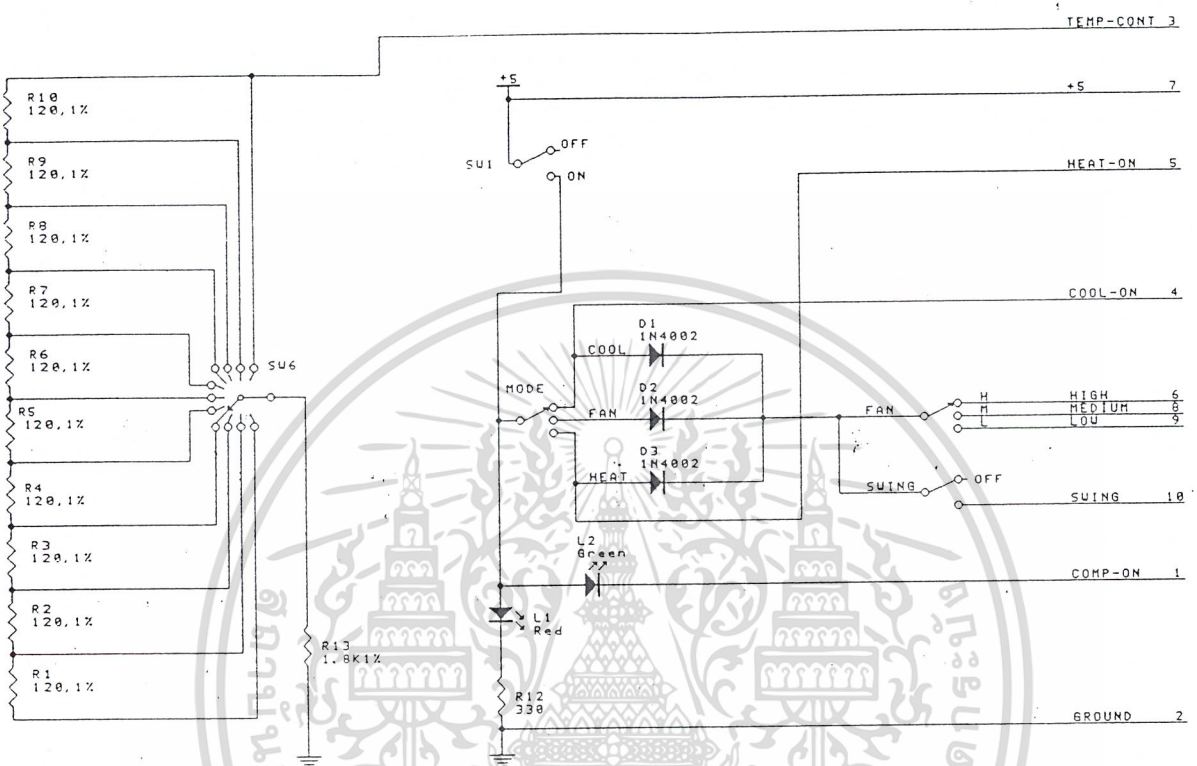
รายละเอียดของวงจรของตัวรีโมท แสดงดังรูป 2.5 ซึ่งในรายละเอียดจะประกอบด้วย

5 ส่วนตามหน้าที่การใช้งานซึ่งจะทำหน้าที่สอดคล้องร่วมกับบอร์ดควบคุมเพื่อการใช้งานเครื่องปรับอากาศดังนี้

- สวิตช์ปิด-เปิด (ON/OFF) ซึ่งจะมีไดโอดเปล่งแสง(LED) สีแดงในการแสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยถ้า LED ติดก็แสดงว่าเครื่องปรับอากาศทำงาน ถ้า LED ดับแสดงว่าเครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน
- สวิตช์ตั้งอุณหภูมิ (Temperature set-up switch) โดยจะสามารถตั้งอุณหภูมิได้ในช่วง 15-30 องศาเซลเซียส โดยในการกดสวิตช์แต่ละครั้งจะทำให้อุณหภูมิลดลงหรือเพิ่มขึ้น 1.5 องศาเซลเซียส
- สวิตช์เลือกโหมดการทำงาน (Mode selection switch) ซึ่งสามารถเลือกได้ 3 โหมดคือ โหมดความเย็น (Cool) โดยเครื่องปรับอากาศจะทำงานในระบบความเย็น และคอมเพรสเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ โดยเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานไดโอดเปล่งแสง (LED) สีเขียวจะติดซึ่งไดโอดตัวนี้จะแสดงสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โหมดพัดลม(FAN) โดยเครื่องปรับอากาศจะทำงานในสภาวะพัดลม ซึ่งโหมดนี้คอมเพรสเซอร์จะไม่มีการทำงานและ LED สีเขียวก็จะดับ และโหมดที่สามคือ โหมดความร้อน (HEAT) เครื่องปรับอากาศจะทำงานในระบบความร้อน โดยคอมเพรสเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้
- สวิตช์เลือกความแรงของพัดลมกระจายอุณหภูมิ (FAN speed selection switch) โดยเลือกได้ 3 ระดับ คือ HIGH เป็นการเลือกความเร็วสูง , MEDIUM เป็นการเลือกความเร็วปานกลาง และ LOW เป็นการเลือกความเร็วต่ำ
- สวิตช์ควบคุมการปิด - เปิดการทำงานของใบพัดกระจายอุณหภูมิ (AIR swing on/off switch) ซึ่งใช้ในการปรับเปลี่ยนทิศทางการกระจายอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOTE



รูปที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของวงจรของตัวรีโมท

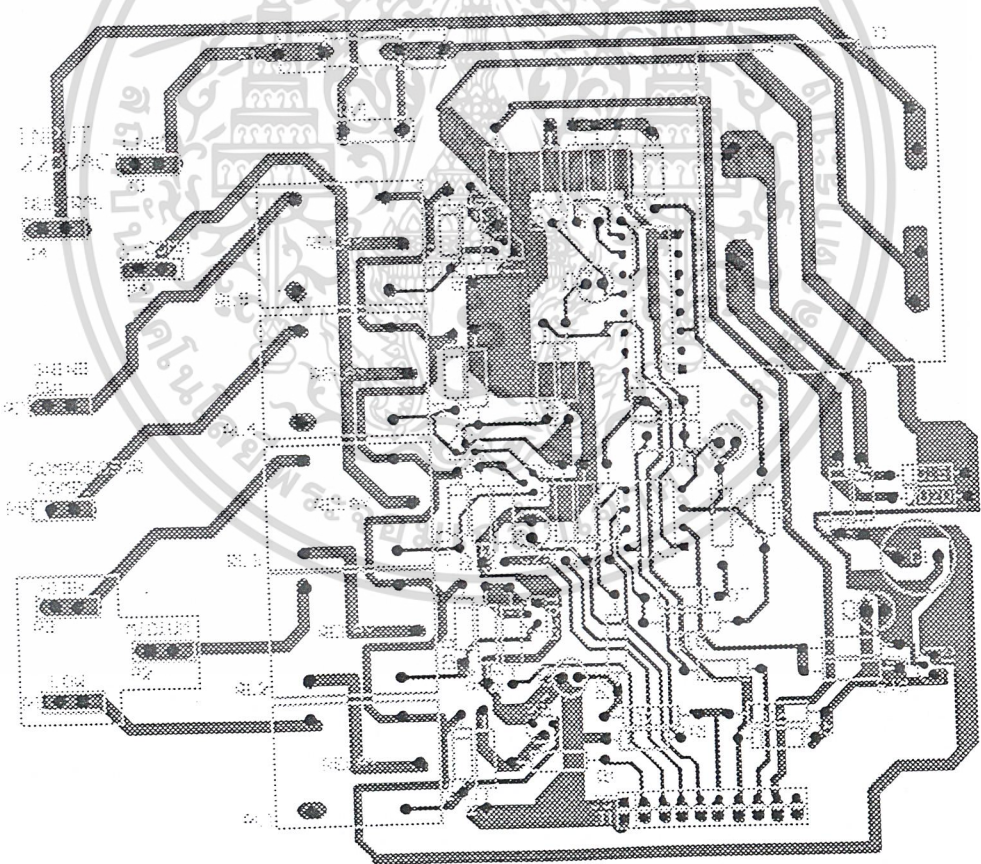
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการคำนวณ

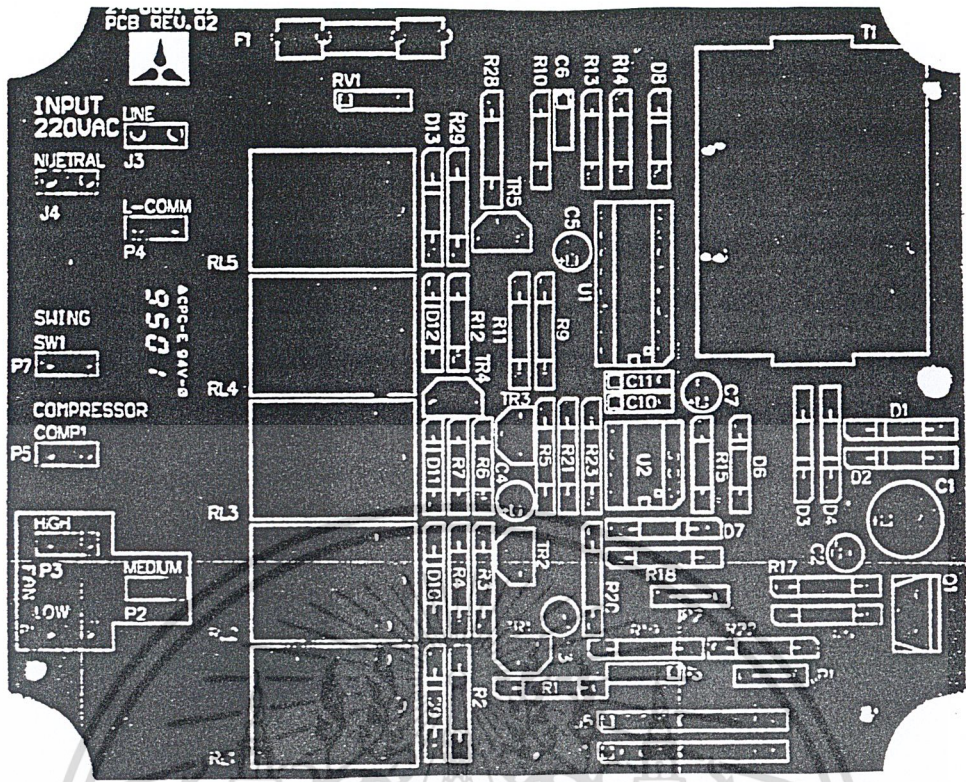
3.1 การสร้าง

ในรายละเอียดของลายปริ้นซ์รูปวงจรแสดงดังรูป 3.1 ซึ่งแสดงลายปริ้นซ์ของรูปวงจรในส่วนของบอร์ดควบคุมโดยการกัดลายทองแดงหรืออาจจะใช้วงจรมินิพีแอนด์พีก็ได้แต่อาจจะทำให้เสียเวลาในการสร้าง จากนั้นจัดการใส่อุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ 3.2 ซึ่งในลายปริ้นซ์นั้นจุด JP_1 เป็นจุดเชื่อมต่อของไฟเลี้ยงและจุด JP_2 เป็นจุดเชื่อมต่อจากขา 8 ของคอนเนคเตอร์ไปยังออปแอมป์ U_2 เบอร์ LM 358 ซึ่งสายเชื่อมโยงที่ใช้ควรเป็นแบบที่มีเส้นลวดเส้นในเส้นเดียวและมีขนาดเล็กพอที่จะใส่ลงในรูของแผ่นวงจรของลายปริ้นซ์ จากนั้นก็ทำการบัดกรีอุปกรณ์ต่างๆลงในแผ่นปริ้นซ์ สำหรับหม้อแปลงอาจจะบัดกรีไว้ภายนอกลายปริ้นซ์ก็ได้เพื่อป้องกันไม่ให้ไอซีร้อนเกินไป และในการบัดกรีไอซีนั้นจะต้องทำการบัดกรีซ็อกเก็ตก่อนเพื่อไม่ให้ไอซีร้อนเกินไปในระหว่างทำการบัดกรี สำหรับไอซี Q_1 เป็นไอซีเรกูเรเตอร์ให้ติดแผ่นระบายความร้อนขนาดเล็กไว้ด้วย



รูปที่ 3.1 แสดงลายปริ้นซ์ของวงจรถูกควบคุมในส่วนของบอร์ดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการใส่อุปกรณ์ในลายปริ้นซ์

สำหรับส่วนของตัวรีโมท ก็สามารถออกแบบโดยการใช้แผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์ โดยเลือกแผ่นที่มีขนาดพอเหมาะเพื่อความกะทัดรัดของตัวรีโมทซึ่งไม่ควรจะใช้ขนาดใหญ่เกินไป สำหรับการบัดกรีใส่อุปกรณ์นั้น ได้ใช้ซีลคเตอร์ (Selector) 3 ทางแทนสวิตซ์ที่ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานและสวิตซ์เลือกความแรงของพัดลมกระจายอุณหภูมิ หลังจากนั้นก็ทำการเดินสายเชื่อมโยงระหว่างบอร์ดควบคุมและตัวรีโมทโดยใช้สายแพร์(Pair) ขนาด 10 เส้นเพื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งสองหลังจากใส่อุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์หมดแล้ว โดยการเดินสายจะตัวคอนเนคเตอร์ช่วยซึ่งทำให้ดูเป็นระเบียบมากขึ้น

หลังจากใส่อุปกรณ์และเดินสายเชื่อมต่อเสร็จแล้วก็นำอุปกรณ์ทั้งหมดใส่ลงในกล่อง โดยในการออกแบบกล่องนั้นต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อภายนอกด้วย ซึ่งอุปกรณ์ที่เป็นสวิตซ์ต่างๆจะต้องโผล่ออกมาภายนอกเพื่อให้การหมุนสวิตซ์เลือกโหมดการทำงานหรือปรับอุณหภูมิเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็ว ส่วนภายนอกกล่องอาจเขียนสเกลของอุณหภูมิหรือชื่อของโหมดการทำงานไว้ด้วยเพื่อการใช้งานในการเลือกอุณหภูมิที่สะดวก

สำหรับการเดินสายเชื่อมต่อควรจะใช้สายไฟที่มีสีแตกต่างกันหลายสีและเป็นสายอ่อนและควรเดินสายให้เป็นระเบียบ พยายามเดินสายให้สั้นที่สุดและควรบัดกรีให้เรียบร้อยควรกระทำด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันความผิดพลาด จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง

ในการออกแบบกล่องที่จะใส่อุปกรณ์นั้น ขนาดของกล่องจะขึ้นอยู่กับขนาดลายปริ้นซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ชนด้านการค้าที่เราออกแบบ และในการเจาะรูต่างๆควรตรวจสอบตำแหน่งของอุปกรณ์ภายนอกให้ดีและทำการเจาะให้ตรงตำแหน่งเพื่อที่ในการประกอบอุปกรณ์ลงกล่องจะได้สวยงาม และหลังจากนำอุปกรณ์ลง

กล่องเสร็จแล้วก็ติดตัวอักษรลอกที่หน้ากล่องเพื่อแสดงโหมดการทำงานต่างๆ เพื่อความสะดวกและง่ายในการใช้งานของเครื่องมือ ส่วนจะเน้นที่หน้ากล่องของตัวรีโมทเพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ส่วนที่หน้ากล่องของบอร์ดควบคุมก็ไม่ต้องทำอะไรมาควรทำกล่องให้เรียบร้อยก็พอแล้วก็เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการสร้างอุปกรณ์ชิ้นนี้

3.2 การคำนวณ

จากวงจรในส่วนของรีโมท จะพบว่าค่าแรงดันที่ออกมาเพื่อนำไปยังคอนเนคเตอร์หรือต่อกับตัวทรานซิสเตอร์ BC 547 นั้นจะมีค่าเท่ากับ $5 - 0.7 = 4.3$ โวลต์ จากนั้นเราจะนำค่าแรงดันนี้เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสที่ใช้ในการขับรีเลย์ให้ทำงาน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

จากวงจรในส่วนของทรานซิสเตอร์ จะได้

$$V_{ss} = (10K\Omega) \times 4.3 / [(1K\Omega) + (10K\Omega)] = (10K\Omega) \times 4.3 / 11K\Omega$$

$$\text{ซึ่ง } (10K\Omega) / (10K\Omega)$$

ดังนั้นจะได้ $V_{ss} = 4.3$ โวลต์

$$R_B = (1K\Omega) \times (1K\Omega) / (1K\Omega + 10K\Omega) \approx 1K\Omega$$

วนลูปเพื่อหาค่า I_B จะได้

$$-V_{ss} + I_B R_B + V_{BE} = 0$$

$$I_B = (V_{ss} - V_{BE}) / R_B$$

$$= (4.3 - 0.7) / 1 \times 10^3$$

$$= 3.6 \text{ mA}$$

และหาค่า I_c จะได้

$$I_c = \beta I_B$$

$$= 90 (3.6 \text{ mA})$$

$$= 324 \text{ mA}$$

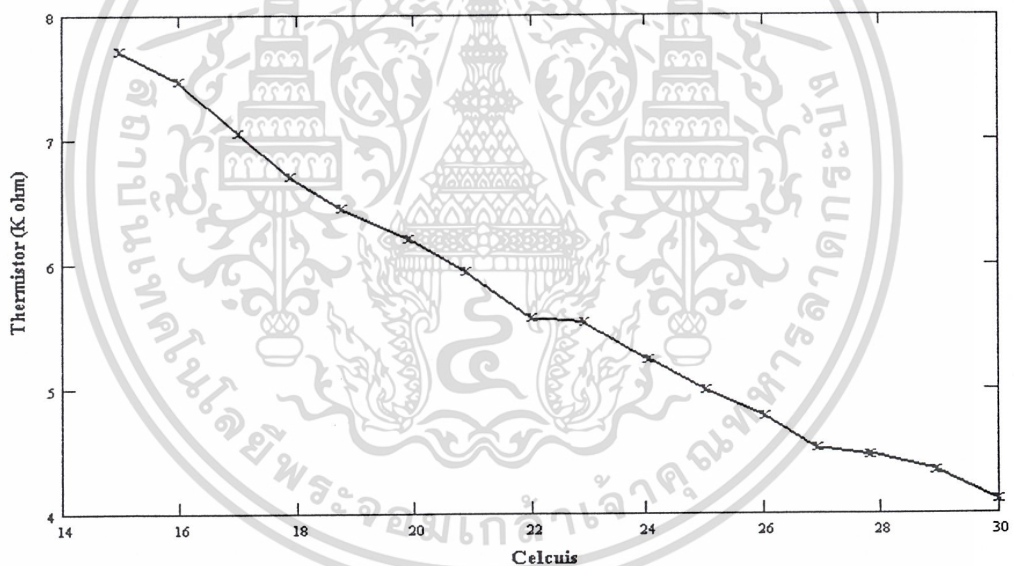
ดังนั้นจะได้ค่ากระแสที่ใช้ขับรีเลย์ เท่ากับ 324 มิลลิแอมป์

การคำนวณค่าแรงดันที่เข้าที่ขาลบของไอซี U_2 เมื่อค่าเทอร์มิสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยค่าของเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เทอร์มิสเตอร์ (กิโลโอห์ม)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เทอร์มิสเตอร์ (กิโลโอห์ม)
15	7.770	23	5.449
16	7.426	24	5.219
17	7.099	25	5.000
18	6.789	26	4.791
19	6.494	27	4.592
20	6.214	28	4.403
21	5.946	29	4.223
22	5.691	30	4.051

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของเทอร์มิสเตอร์ตามอุณหภูมิ



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของเทอร์มิสเตอร์ตามอุณหภูมิ

ในการคำนวณจะใช้สูตรการคำนวณตัวต้านทานที่ต่อขนานกันก่อน จากนั้นก็จะอาศัยทฤษฎีการแบ่งแรงดันที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 มาช่วยในการคำนวณ ดังตัวอย่าง

เมื่อคำนวณที่ 15 องศา จะได้ค่าแรงดันเข้าที่ขาลบของไอซี U_2 ดังนี้

ที่ 15 องศา ค่าของเทอร์มิสเตอร์มีค่าเท่ากับ 7.77 kohm

เมื่อต่อขนานกับ R ค่า 20 kohm จะได้ $= (7.77 \times 20) / (7.77 + 20) = 5.596$ kohm

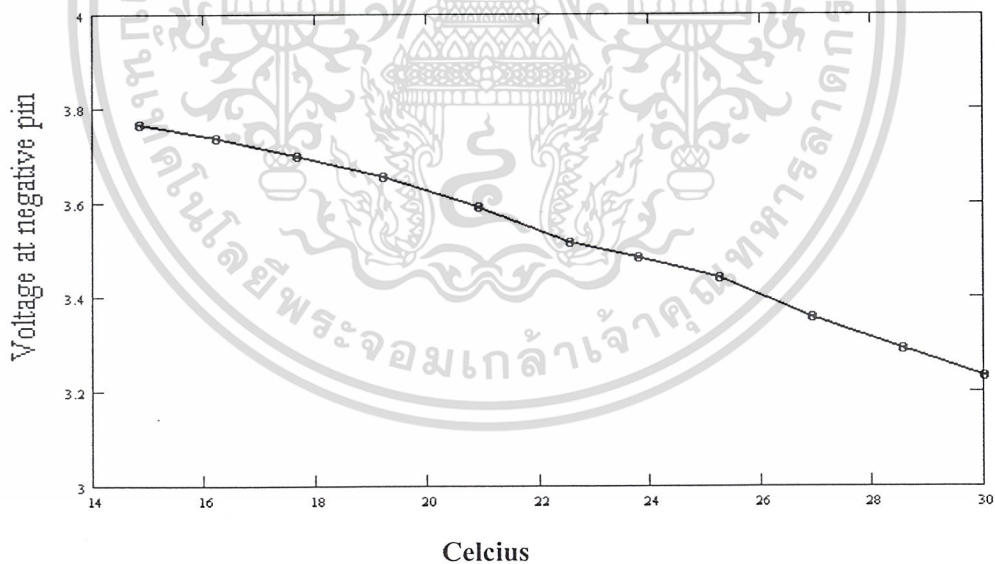
ซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำไปแบ่งแรงดันกับ R ค่า 1.8 kohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารจะได้ค่าแรงดันที่เข้าที่ขาลบของไอซี U_2 เท่ากับนั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา $= [5.596 / (5.596 + 1.8)] \times 5$ ส = 3.78 โวลต์ การนำไปใช้

ในการทำงานเดียวกันสำหรับค่าของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิอื่นๆ ก็สามารถใช้วิธีนี้ในการคำนวณ พอสรุปผลการคำนวณที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ดังตารางที่ 3.2

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าโวลต์เตจที่ขาลบของไอซี U ₂ (โวลต์)
15	3.78
16.5	3.73
18	3.69
19.5	3.64
21	3.59
22.5	3.54
24	3.49
25.5	3.43
27	3.37
28.5	3.32
30	3.26

ตาราง 3.2 แสดงค่าโวลต์เตจที่ได้จากการคำนวณเทอร์มิสเตอร์



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงผลการคำนวณที่ขาลบของคอมพาราเตอร์ นอกจากนี้ยังมีการคำนวณค่าโวลต์เตจที่ขาลบของไอซี U₁ ซึ่งจะได้ค่าดังนี้

$$V = 5 \left[\frac{100}{100+100} \right]$$

$$= 2.5 \text{ โวลต์}$$

ซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับขาวกตัวเดียวกันนี้เพื่อดูว่าคอมเพรสเซอร์มีทำงานหรือไม่
 หมายเหตุ: ถ้าขาวกมีค่ามากกว่าแสดงว่าคอมเพรสเซอร์มีทำงาน

และจากไทม์มิงไดอะแกรมของไอซี MC14060 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4 จะสามารถใช้ในการ
คำนวณค่าการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน ดังนี้

จากวงจร RC oscillator สามารถคำนวณหาค่าความถี่ได้ จากสูตร

$$f = (1 / 2.2R_T C_T)$$

เมื่อ $R = 270 \text{ kohm}$

$C = 0.033 \mu\text{F}$

ดังนั้น เมื่อแทนค่า R และ C ลงในสูตร จะได้

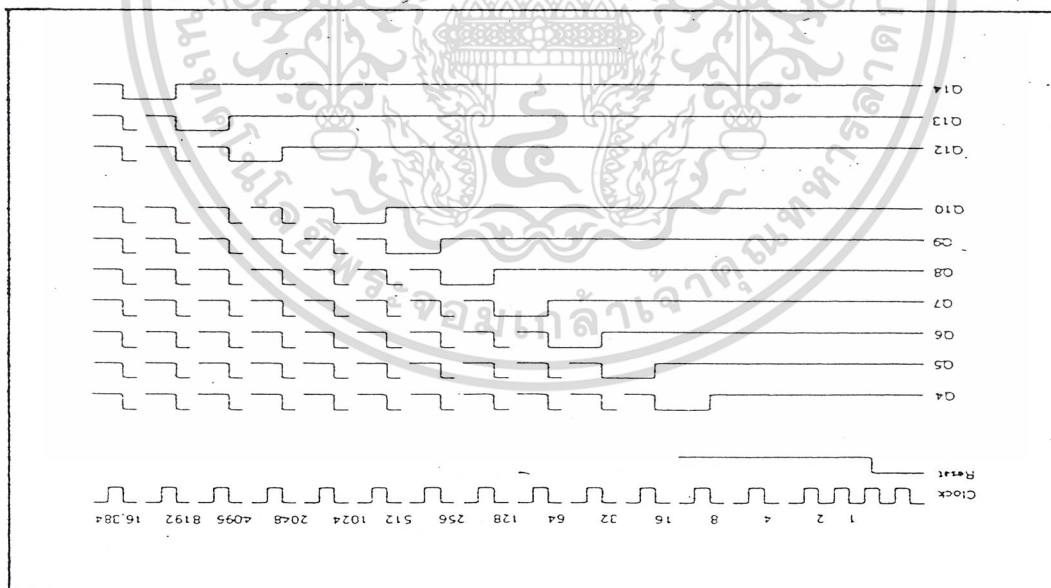
$$f = 1 / 2.2 \times 270 \times 10^3 \times 0.033 \times 10^{-6}$$

$$= 51 \text{ Hz}$$

จะได้คาบเวลา $T = 1/f = 1/51 = 0.0196$ วินาที

จากค่าคาบเวลาแสดงว่า clock 1 ลูก จะใช้เวลาเท่ากับ 0.0196 วินาที

จากไทม์มิงไดอะแกรม เมื่อต้องการให้เอาต์พุตออกที่ขา 3 หรือ Q_{14} ของไอซี
MC14060 ก็แสดงว่า ในการหน่วงเวลาจะต้องใช้ clock ทั้งหมด 8192 ลูก
ดังนั้น วงจรในส่วนนี้จะมีการหน่วงเวลาเท่ากับ 0.0196×8192
จะได้ ประมาณ 160 วินาที



รูปที่ 3.4 แสดงค่าไทม์มิงไดอะแกรมของไอซี MC14060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

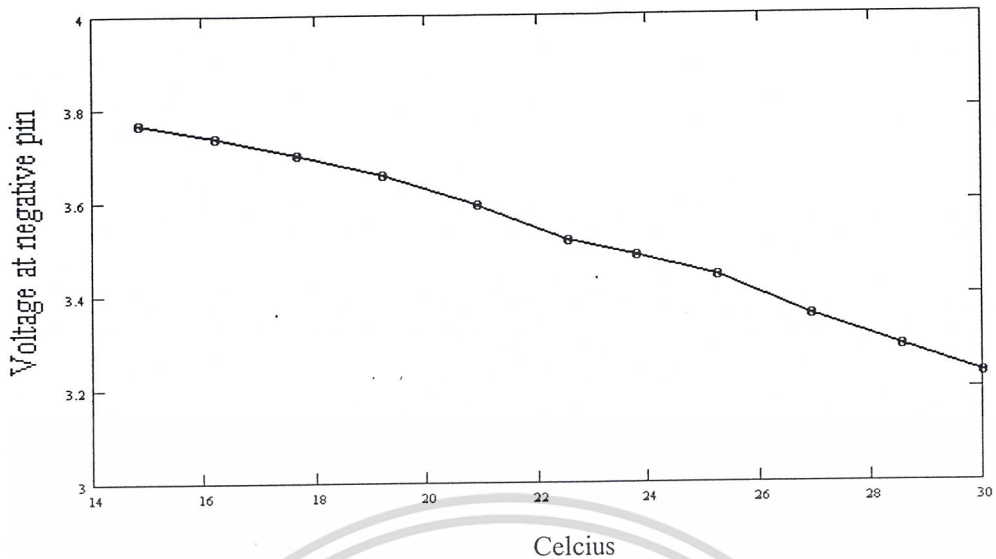
ในการทดลองนั้นได้ทำการทดลองในโหมดของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจากทฤษฎีจะพบว่าคอมเพรสเซอร์จะทำงานได้ดีต่อเมื่อแรงดันที่ขาบวกของออปแอมป์ U_2 ที่ได้จากการกวดสัญญาณตั้งอุณหภูมิ จะต้องมีย่านค่ามากกว่าแรงดันขาลบที่เปลี่ยนแปลงตามค่าของเทอร์มิสเตอร์ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่แรงดันที่ขาลบนั้นเนื่องจากไม่สามารถทำให้เทอร์มิสเตอร์มีอุณหภูมิต่ำลงได้ถึงขนาด 15 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงได้อาศัยการคำนวณเข้ามาช่วยบ้าง โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างขาบวกและขาลบควรมีค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีที่คอมเพรสเซอร์ไม่มีการทำงานค่าแรงดันที่ขาลบควรมีค่ามากกว่าเล็กน้อย และจากผลการทดลองก็จะพิจารณาถึงการทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์ต่อไป ซึ่งผลการทดลองจะได้ตามตารางที่ 4.1

4.2 ผลการทดลอง

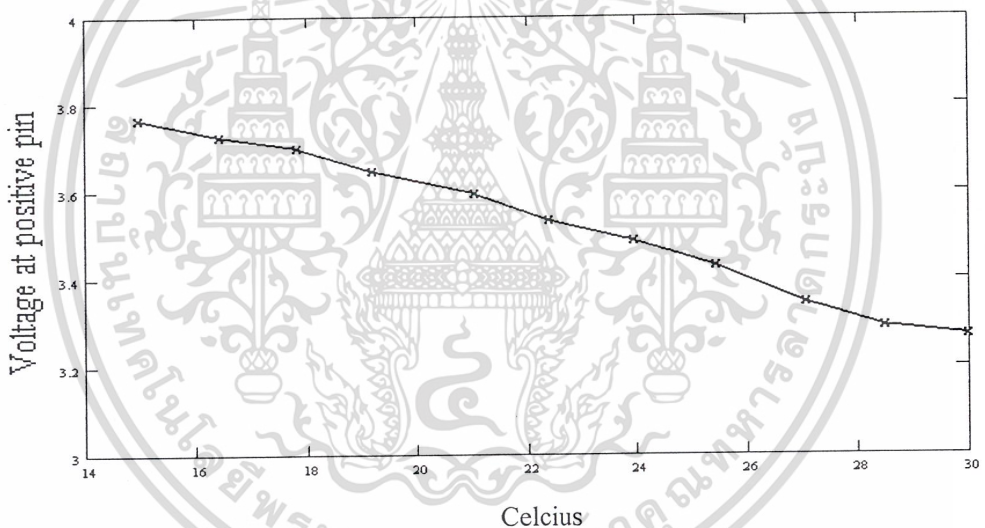
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	แรงดันที่ขาลบ (เทอร์มิสเตอร์) (โวลต์)	แรงดันที่ขาบวก (โวลต์)
15	3.78	3.77
16.5	3.73	3.73
18	3.69	3.69
19.5	3.64	3.64
21	3.59	3.58
22.5	3.54	3.54
24	3.49	3.48
25.5	3.43	3.43
27	3.37	3.37
28.5	3.32	3.30
30	3.26	3.23

ตาราง 4.1 แสดงผลการทดลองที่ขาบวกและขาลบของคอมพาราเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขาลบของคอมพาราเตอร์



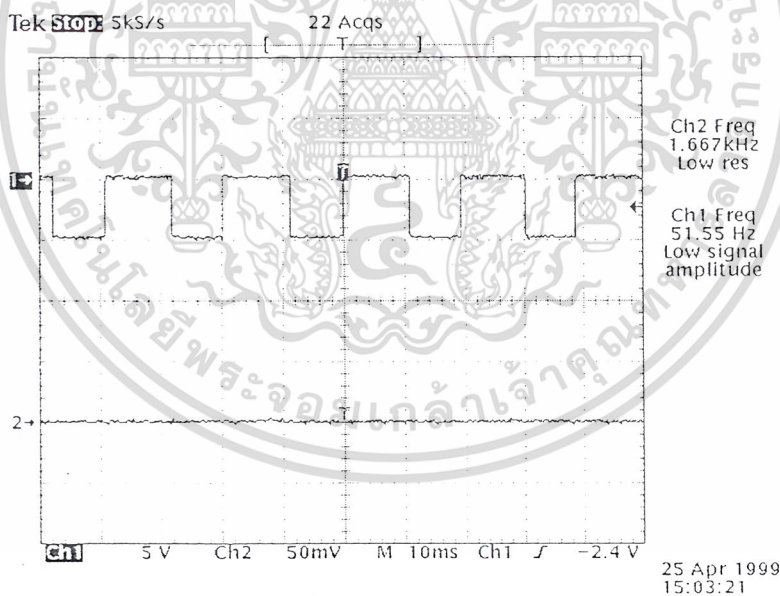
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขาบวกของคอมพาราเตอร์

จากการทดลองจะพบว่า ในอุณหภูมิที่เท่ากันค่าแรงดันที่ขาบวกจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันที่ขาลบเสมอหรือแรงดันที่ขาลบย่อมจะมีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาบวกเล็กน้อยในกรณีที่ไม่มีการทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์ และเมื่อพิจารณาถึงการทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์จะพบว่าค่าแรงดันที่ขาบวกจะมีค่ามากกว่าค่าแรงดันที่ขาลบเสมอในกรณีที่ขาลบวัดที่อุณหภูมิที่สูงกว่า แสดงว่ามีการทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์ เช่น เมื่อเราทำการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 21 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ค่าแรงดันที่ขาบวกเท่ากับ 3.58 โวลต์ และเมื่อพิจารณาค่าแรงดันที่ขาลบ

จะพบว่า ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 21 องศาเซลเซียส จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ขาบวก แสดงว่ามีการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ทำงานในโหมดของคอมเพรสเซอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

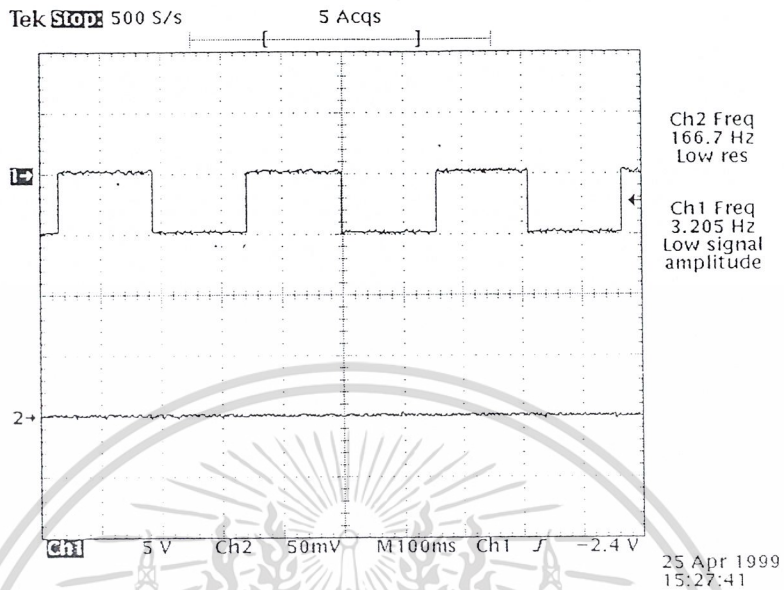
และจากผลการทดลองการวัดค่าแรงดันที่ขาบวกจะพบว่าค่าแรงดันจะลดลงตามการกดสวิทช์เลือก อุณหภูมิที่สูงขึ้น จากการทดลองอาจมีข้อผิดพลาดเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ซึ่งอาจเกิดจาก ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดและการทำการวัด การควบคุมอุณหภูมิที่ไม่คงที่ หรือตัวแปรกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ และอาจมีสาเหตุมาจากส่วนของอุปกรณ์ ทั้งในวงจรของบอร์ดควบคุมและตัวรีโมทเอง อันเป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลอง

สำหรับการทดลองและผลการทดลองในโหมดของคอมเพรสเซอร์นั้น เราได้ทำการวัดถึงสัญญาณนาฬิกา ซึ่งควรมีค่าความถี่ ประมาณ 51 เฮิร์ตตามการคำนวณที่ได้ และทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณที่ขาของไอซี MC14060 ในแต่ละขาที่เลือกใช้งานในการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน ซึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละขา โดยพิจารณาเปรียบเทียบตามค่าในไม้มิ่งไดอะแกรม ซึ่งทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้

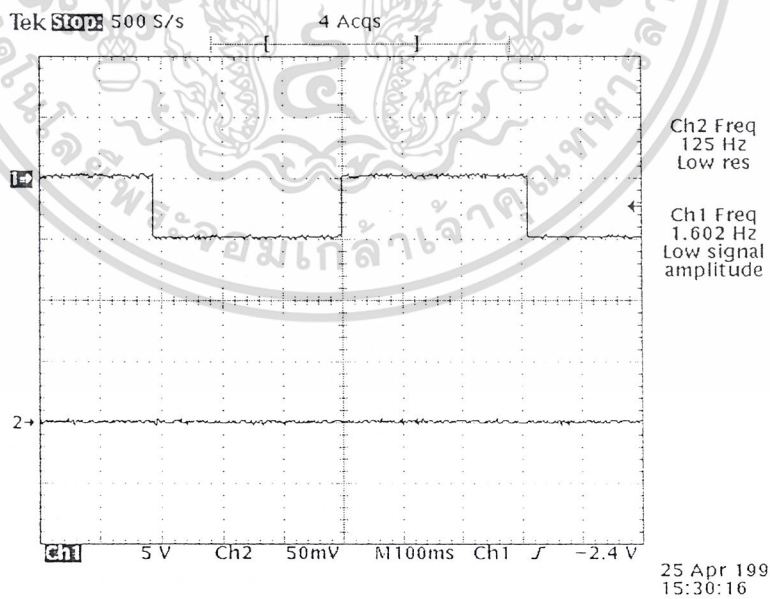


รูปที่ 4.3 แสดงรูปสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

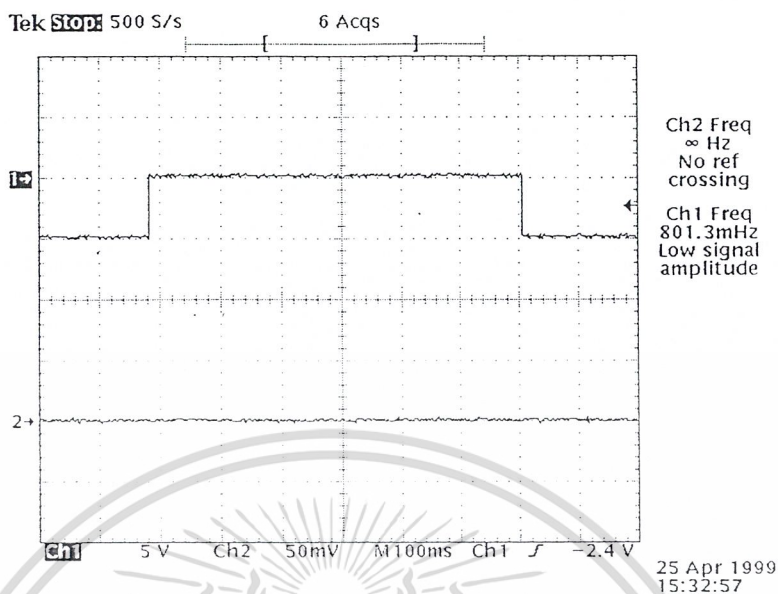


รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณเมื่อเลือกขา 7 ในการหน่วงเวลาให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน

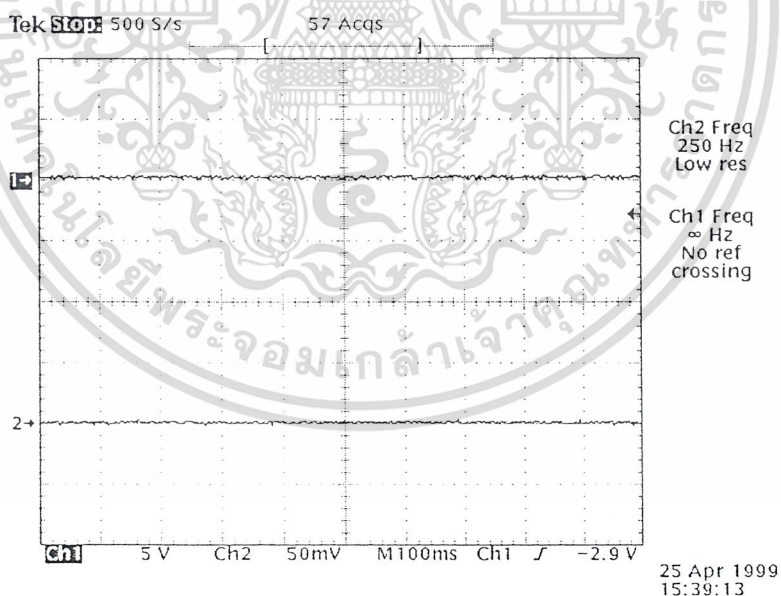


รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณเมื่อเลือกขา 5 ในการหน่วงเวลาให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในสื่อมวลชน การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณเมื่อเลือกขา 4 ในการหน่วงเวลาให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน



รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณเมื่อเลือกขา 3 ในการหน่วงเวลาให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองตั้งแต่รูปที่ 4.1 ถึง 4.5 จะพบว่าค่าคาบเวลาของสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหรือหมายความว่าสัญญาณจะมีค่าความถี่ลดลงเนื่องมาจากการทำงานในแต่ละขาของไอซีตัวนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลถึงการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงานซึ่งตรงตามทฤษฎีเมื่อเปรียบเทียบดูจากไม้มิ่งไคอะแกรม และจะพบว่าที่ขา 7 หรือขา Q_4 ของไอซี MC14060 จะมีการหน่วงเวลาน้อยที่สุด จากนั้นก็จะเป็นขา 5 ขา 4 ซึ่งจะมีค่าการหน่วงเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่ขา 3 หรือขา Q_{14} ซึ่งจะมีการหน่วงเวลามากที่สุด ซึ่งเป็นขาที่เราเลือกใช้งานเพื่อการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงานประมาณ 2.5 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

แอร์รีโมทคอนโทรล (Air Remote Control) เป็นชนิดที่มีสายรุ่น Cool,Heat ในการสั่งงานจากระยะไกล ซึ่งลักษณะทั่วไปของแอร์รีโมทคอนโทรลหรือตัวควบคุมอุณหภูมินี้ จะประกอบด้วยบอร์ดควบคุม(Mainboard) และตัวรีโมท (Remote Unit) โดยบอร์ดควบคุมจะประกอบด้วยจุดต่อไฟกระแสสลับ จุดต่อวงจรภายนอก และตัวสัมผัสเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิ สำหรับติดตั้งนอกบอร์ดควบคุม ส่วนที่เป็นรีโมทจะมีการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมด้วยสายเคเบิล ซึ่งแบ่งเป็น 5 ส่วนตามหน้าที่ใช้งานคือ

- สวิตช์ปิด-เปิดเครื่องปรับอากาศ (System ON/OFF switch)
- สวิตช์ตั้งอุณหภูมิ (Temperature set-up switch)
- สวิตช์เลือกโหมดการทำงาน (Mode selection switch)
- สวิตช์เลื่อนเพื่อเลือกความเร็วของพัดลมกระจายอุณหภูมิ (FAN speed selection switch)
- สวิตช์ปรับเปลี่ยนทิศทางการกระจายอุณหภูมิ (Air swing ON/OFF switch)

นอกจากนี้ตัวรีโมทยังประกอบด้วยส่วนที่แสดงสถานะการปิด-เปิด ของเครื่องปรับอากาศ และแสดงสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งแสดง โดยการให้ไดโอด แอลอีดี (LED) ซึ่งรายละเอียดและลักษณะการทำงานของแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. แอล อี ดี(LED) แสดงสถานะปิด-เปิดเครื่องปรับอากาศ
 - ติด – เครื่องปรับอากาศทำงาน
 - ดับ – เครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน
2. แอล อี ดี (LED) แสดงสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์
 - ติด – คอมเพรสเซอร์ทำงาน
 - ดับ – คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน
3. สวิตช์ตั้งอุณหภูมิ จะใช้ตั้งอุณหภูมิในช่วง High (30 องศาเซลเซียส) จนถึง Low (15 องศาเซลเซียส)
4. สวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด (ON/OFF) เครื่องปรับอากาศ
5. สวิตช์เลือกโหมดการทำงาน
 - โหมด COOL (ความเย็น) เครื่องปรับอากาศจะทำงานในระบบความเย็น โดยคอมเพรสเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้
 - โหมด FAN (พัดลม) เครื่องปรับอากาศจะทำงานในสภาวะพัดลม โดยคอมเพรสเซอร์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ไม่มีค่าสำหรับการทำงานหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหมค HEAT (ความร้อน) เครื่องปรับอากาศจะทำงานในระบบความร้อนโดยคอมเพรสเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิในห้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้
6. สวิตช์ควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของใบพัดกระจายอุณหภูมิ (Swing) ซึ่งจะทำการปิด-เปิดได้ตามต้องการ
 7. สวิตช์ควบคุมระดับความเร็วใบพัดของพัดลม ซึ่งปรับได้ตามต้องการ
 - HIGH เมื่อต้องการความเร็วสูง
 - MED เมื่อต้องการความเร็วปานกลาง
 - LOW เมื่อต้องการความเร็วต่ำ

สำหรับส่วนประกอบในส่วนของบอร์ดควบคุมจะประกอบด้วย จุดต่อไฟกระแสสลับ จุดต่อวงจรภายนอก และตัวสัมผัสเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิสำหรับติดตั้งภายนอกบอร์ดควบคุม ซึ่งจุดต่อไฟกระแสสลับจะใช้ต่อกับไฟบ้าน 220VAC ซึ่งมีวงจรป้องกันแรงดันไฟเกินรวมทั้งภาคจ่ายไฟหรือเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งวงจรนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ไอซีร้อนเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้ไอซีเสียหายโดยปกติจะพบว่าภาคจ่ายไฟเสียบ่อยๆก็เนื่องมาจากการทำงานที่ร้อนมากเกินไปซึ่งเมื่อเกิดอาการนี้ในภาคจ่ายไฟ จะทำให้แรงดันทางเอาท์พุทมีระดับสูงเกินไปส่งผลให้ไอซีเสียหายได้ง่าย โดยวงจรป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนบนไอซีมากเกินไปจะทำหน้าที่ตรวจสอบอุณหภูมิภายในตัวไอซีว่ามีค่ามากกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ถ้ามากกว่าจริงวงจรนี้ก็จะทำการลดปริมาณกระแสเอาท์พุทของไอซี โดยเทคนิคของวงจรนี้อยู่ที่ว่า เมื่ออุณหภูมิของไอซีเรกูเรเตอร์มีค่ามากขึ้น ซีเนอร์ไดโอดซึ่งมีสัมประสิทธิ์ของการแปรเปลี่ยนแรงดันตามอุณหภูมิเป็นบวกก็จะร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้แรงดันเปรียบเทียบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่แรงดันตกคร่อมระหว่างขาเบสและอีมีเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะมีค่าลดลงเมื่อถึงอุณหภูมิค่าหนึ่งที่ทำให้แรงดันเปรียบเทียบที่เกิดจากซีเนอร์ไดโอดมากขึ้นและแรงดันตกคร่อมเบสอีมีเตอร์ลดลงจนพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ดึงกระแสเบสลงกว่าค่า ผลที่ตามมาคือ ทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ลดลงซึ่งจะทำให้ไอซีร้อนน้อยลงและไม่พังในที่สุด

นอกจากนี้วงจรภายในของบอร์ดควบคุมยังมีรายละเอียดหรือความต้องการในการใช้งานดังนี้

- พิกัดทางไฟฟ้า 3.6 VA , 16.4 mA, 220 VAC
- ย่านความถี่ 50/60 Hz
- ย่านการตั้งอุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส
- พิกัดรีเลย์ 6A , 250 VAC , 1500 Vrms
- มีการหน่วงเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงานประมาณ 2.5 นาที

สำหรับในการสร้างเครื่องมือควบคุมอุณหภูมิดังกล่าวใช้แผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์ในการออกแบบส่วนของตัวรีโมทและใช้ซีเล็คเตอร์สามทางแทนการใช้สวิตช์สามทางที่ใช้สำหรับการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า

เลือกโหมคการทำงานและสวิตช์เลือกความแรงของพัดลมกระจายอุณหภูมิ ส่วนตัวบอร์ดควบคุมเราจะใช้ลายปริ้นซ์สำเร็จรูปเพื่อความสะดวกและความรวดเร็วในการสร้างซึ่งการนำไปใช้งานของแอร์รีโมทคอนโทรลนี้สามารถที่จะนำมาใช้ได้กับเครื่องปรับอากาศทุกรุ่น ทุกยี่ห้อ ซึ่งทำให้อุปกรณ์ตัวนี้มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์เป็นอย่างมาก

ส่วนหน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆในวงจร พอสรุปได้ดังนี้

- | | |
|---------------------------------------|--|
| ไอซี LM 358 | ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (comparator) ค่าแรงดันที่เข้ามาทางขาบวกที่เปลี่ยนแปลงตามการกดสวิตช์เลือกอุณหภูมิกับขาลบที่เปลี่ยนแปลงตามค่าของเทอร์มิสเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิ โดยถ้าขาบวกมีค่ามากกว่าจะได้เอาท์พุทออกมาเป็น “1” แสดงถึงการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ถ้าขาบวกมีค่าน้อยกว่า เอาท์พุทจะออกมาเป็น “0” คอมเพรสเซอร์ไม่มีการทำงาน |
| ไอซี MC 14060 | เป็น 14 stage binary counter and oscillator ซึ่งใช้สำหรับการนับเวลาเพื่อรอให้คอมเพรสเซอร์ทำงานประมาณ 2.5 นาที |
| ไอซี LM 7805 | เป็นเรกูเลเตอร์ในวงจรเพาเวอร์ซัพพลายหรือแหล่งจ่ายไฟ |
| รีเลย์ RL ₁ | เป็นรีเลย์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมเพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด FAN - LOW |
| รีเลย์ RL ₂ | เป็นรีเลย์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมเพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด FAN - MEDIUM |
| รีเลย์ RL ₃ | เป็นรีเลย์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมเพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด FAN - HIGH |
| รีเลย์ RL ₄ | เป็นรีเลย์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมเพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด compressor |
| รีเลย์ RL ₅ | เป็นรีเลย์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมเพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานในโหมด SWING |
| ทรานซิสเตอร์ BC 547 | ใช้เป็นวงจรคำนวณค่ากระแสที่ใช้ขับรีเลย์เพื่อให้รีเลย์เชื่อมต่อไปยังเครื่องปรับอากาศ |
| ไดโอด D ₆ | ทำหน้าที่เป็นตัวดึงไฟในกรณีที่มีค่าเป็น low หรือมีค่า 0 V และจะทำหน้าที่เป็นตัวดึงไฟในกรณีที่มีค่าเป็น high หรือมีค่า 5 V |
| ไดโอด D ₈ | เป็นตัวหยุดการอสซิลเลตเมื่อมีการนับเวลาเสร็จแล้ว |
| ไดโอด D ₉ -D ₁₃ | เป็นตัวป้องกันไม่ให้กระแสไหลย้อนกลับ |
| ซีเล็กเตอร์ SW ₆ | ใช้เป็นสวิตช์เลือกอุณหภูมิในย่าน 15 - 30 องศาเซลเซียส |
| สวิตช์ SW ₇ | เป็นสวิตช์ปิด-เปิด แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ |

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ว่า สวิตช์ SW₇ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้า เป็นสวิตช์ปิด-เปิด แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

LED L_1	เป็นไดโอดเปล่งแสงแสดงสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
LED L_2	เป็นไดโอดเปล่งแสง แสดงสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์
R_9, C_5	ใช้ส่งสัญญาณกลับมายังขาริเซตของไอซี MC14060 ในกรณีที่คอมเพรสเซอร์ไม่ทำงาน
D_7, R_{15}, R_{18}	ทำให้แรงดันจากเอาต์พุตของ U_1 มีการดิสรจั้งช้าๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

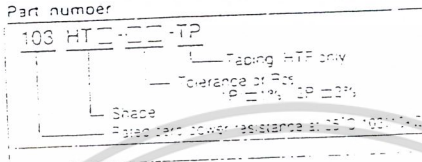


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HT THERMISTOR

HT thermistors are an entirely new type of thermistor for surface mounting (no reflow soldering), and were achieved from breakthrough advancements in technology. Our HT thermistors are sintered metal electrodes packaged in a resin mold, unlike conventional leaded thermistors, and can offer $\pm 2\%$ tolerance for a resistance value at 25°C.

HT series SMD Thermistors is not only compact surface mounting type but also highly accurate as well as highly reliable and is an answer to needs of today.



Specifications

Part No.	R_{25}	B-value	Resistance tolerance	Time constant	Rated power	Operating temp range
302HT(F)	3.0k Ω $\pm 2\%$	3660K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	3.0	5.0	-50~125
502HT(F)	5.0k Ω $\pm 2\%$	3660K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	5.0	5.0	-50~125
103HT(F)	10.0k Ω $\pm 2\%$	3435K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	10.0	5.0	-50~100
203HT(F)	20.0k Ω $\pm 2\%$	3760K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	20.0	5.0	-50~125
303HT(F)	30.0k Ω $\pm 2\%$	3760K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	30.0	5.0	-50~125
503HT(F)	50.0k Ω $\pm 2\%$	4055K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	50.0	5.0	-50~125
104HT(F)	100.0k Ω $\pm 2\%$	4390K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	100.0	5.0	-50~125
302HTS	3.0k Ω $\pm 2\%$	3435K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	3.0	5.0	-50~100
502HTS	5.0k Ω $\pm 2\%$	4055K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	5.0	5.0	-50~125
104HTS	100.0k Ω $\pm 2\%$	4390K $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	100.0	5.0	-50~125

R_{25} : Rated zero-power resistance value at 25°C. $\pm 1\%$ and $\pm 2\%$ are also available.
 B value: determined by rated zero-power resistance at 25°C and 55°C.
 Time constant: time when thermistor temperature reaches 63.2% of the temperature difference. The value is measured in the air.

Resistance-Temperature

Temperature (°C)	Type								Temperature (°C)	Type							
	302HT	502HT	103HT	203HT	303HT	503HT	104HT	302HT		502HT	103HT	203HT	303HT	503HT	104HT		
-50	182.1	303.4	367.7	1026	1839	3135	9564	50	1.109	1.349	4.147	7.532	11.45	17.93	32.51		
-40	93.35	155.5	204.7	540.5	810.3	1602	4572	60	0.7744	1.291	3.011	5.380	8.070	12.33	21.61		
-30	49.85	83.09	118.5	296.7	445.1	855.0	2292	70	0.5513	0.9189	2.224	3.861	5.792	8.568	14.66		
-20	27.75	46.25	71.02	169.2	253.5	474.4	1191	80	0.4000	0.6667	1.668	2.815	4.223	6.064	10.13		
-10	16.02	26.70	43.67	99.85	149.5	272.7	647.2	90	0.2951	0.4918	1.267	2.083	3.125	4.338	7.135		
0	9.541	15.90	27.70	50.87	76.31	161.9	365.0	100	0.2210	0.3683	0.9753	1.564	2.346	3.142	5.111		
10	5.376	9.793	18.07	38.21	57.32	99.13	212.5	110	0.1680	0.2800	0.7190	1.190	1.785	2.302	3.720		
20	3.729	6.214	12.11	24.66	36.99	62.39	127.7	120	0.1295	0.2158	0.5619	0.9159	1.374	1.705	2.746		
30	2.431	4.051	8.201	16.31	24.47	40.24	78.38	125	0.1142	0.1903	0.5067	0.8067	1.210	1.472	2.371		
40	1.623	2.705	5.311	11.04	16.55	25.55	50.03										

Unit: Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Celcius	Thermistor (Kohm)
-10	26.7
-9	25.3
-8	23.99
-7	22.76
-6	21.6
-5	20.5
-4	19.47
-3	18.5
-2	17.58
-1	16.72
0	15.9
1	15.12
2	14.39
3	13.7
4	13.04
5	12.42
6	11.84
7	11.26
8	10.76
9	10.26
10	9.793
11	9.344
12	8.918
13	8.516
14	8.133
15	7.77
16	7.426
17	7.092
18	6.789
19	6.494
20	6.214
21	5.946
22	5.691
23	5.449
24	5.219
25	5
26	4.791
27	4.592
28	4.403
29	4.223
30	4.051

Celcius	Thermistor (Kohm)
31	3.888
32	3.728
33	3.679
34	3.435
35	3.299
36	3.169
37	3.045
38	2.926
39	2.813
40	2.705
41	2.601
42	2.502
43	2.407
44	2.316
45	2.229
46	2.145
47	2.067
48	1.991
49	1.918
50	1.849
51	1.783
52	1.717
53	1.656
54	1.597
55	1.54
56	1.486
57	1.434
58	1.384
59	1.337
60	1.291
61	1.246
62	1.204
63	1.163
64	1.124
65	1.086
66	1.05
67	1.015
68	0.9819
69	0.9498
70	0.9189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM258, LM358, LM2904



3

Specifications and Applications Information

DUAL LOW POWER OPERATIONAL AMPLIFIERS

Utilizing the circuit designs perfected for recently introduced Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature 1) low power drain, 2) a common mode input voltage range extending to ground (V_{EE}), 3) Single Supply or Split Supply operation and 4) pin outs compatible with the popular MC1558 dual operational amplifier. The LM158 Series is equivalent to one-half of an LM124.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 Volts or as high as 32 Volts with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 to 32 Volts
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- Similar Performance to the Popular MC1558

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	LM158 LM258 LM358	LM2904	Unit
Power Supply Voltages				Vdc
Single Supply	V_{CC}	32	26	
Split Supplies	V_{CC}, V_{EE}	± 16	± 13	
Input Differential Voltage Range (1)	V_{IDR}	± 32	± 26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (2)	V_{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Input Forward Current (3)	I_{IF}	50	-	mA
				($V_1 < -0.3\text{ V}$)
Output Short Circuit Duration	t_S	Continuous		
Junction Temperature	T_J	175		$^\circ\text{C}$
Ceramic and Metal Packages		150		
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to -150		$^\circ\text{C}$
Ceramic and Metal Packages		-55 to -125		
Plastic Package				
Operating Ambient Temperature Range	T_A	-55 to -125	-	$^\circ\text{C}$
LM158		-25 to -65	-	
LM258		0 to -70	-	
LM358		-	-40 to +85	
LM2904				

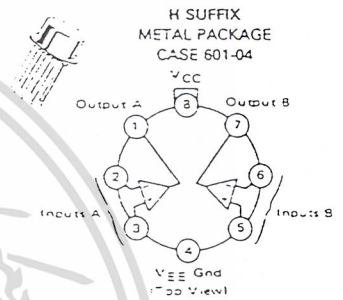
1 Split Power Supplies

2 For Supply Voltages less than 32 V for the LM158, 25.5 V for the LM358 and 26 V for the LM2904, the absolute maximum input voltage is equal to the V_{CC} voltage.

3 This input current will only exist when the voltage is negative at any of the input leads. Normal output states will reestablish when the input voltage returns to a voltage greater than -0.3 V.

DUAL DIFFERENTIAL INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

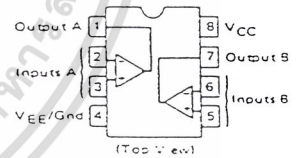
SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT



J SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693-02



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-04
(LM258, LM358, LM2904 only)



ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
LM158H	-55 to -125 $^\circ\text{C}$	Metal Can
LM158J	-55 to -125 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
LM2904H	-40 to -85 $^\circ\text{C}$	Metal Can
LM2904J	-40 to -85 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
LM2904N	-40 to -85 $^\circ\text{C}$	Plastic DIP
LM258H	-25 to -85 $^\circ\text{C}$	Metal Can
LM258J	-25 to -85 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
LM258N	-25 to -85 $^\circ\text{C}$	Plastic DIP
LM358H	0 to -70 $^\circ\text{C}$	Metal Can
LM358J	0 to -70 $^\circ\text{C}$	Ceramic DIP
LM358N	0 to -70 $^\circ\text{C}$	Plastic DIP

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

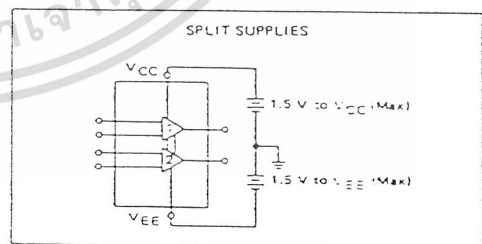
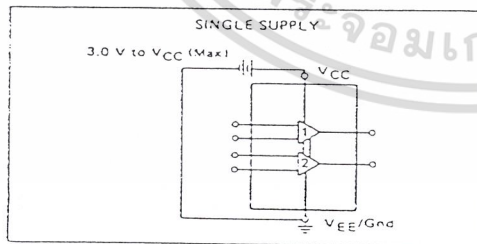
LM158, LM258, LM358, LM2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{Gnd}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LM158/LM258			LM358			LM2904			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V (26 V for LM2904), $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O \geq 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	$\Delta V_{IO} / \Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	$\Delta I_{IO} / \Delta T$	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	I_{IB}	-	-45	-150	-	-45	-250	-	-45	-250	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 2) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904), $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low}	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open-Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	-	100	-	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz $< f < 20\text{ kHz}$, Input Referenced		-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common-Mode Rejection Ratio $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMRR	70	85	-	65	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Output Voltage Range $R_L = 2\text{ k}\Omega$ ($R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ for LM2904)	V_{OR}	0	-	3.3	0	-	3.3	0	-	3.3	V
Output Voltage—High Limit ($T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low}) (Note 1) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904), $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 1)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	I_{OS}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{IO} = -10.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{OS}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 3)	I_{BS}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low}) (Note 1) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904), $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$, $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	mA

NOTES:

- $T_{\text{Low}} = -55^\circ\text{C}$ for LM158, $T_{\text{High}} = -125^\circ\text{C}$ for LM158
 $= -40^\circ\text{C}$ for LM258, $= -85^\circ\text{C}$ for LM2904
 $= -25^\circ\text{C}$ for LM258 and LM258
 $= 0^\circ\text{C}$ for LM358, $= -70^\circ\text{C}$ for LM358
- The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to $+32\text{ V}$ without damage (-26 V for LM2904).
- Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

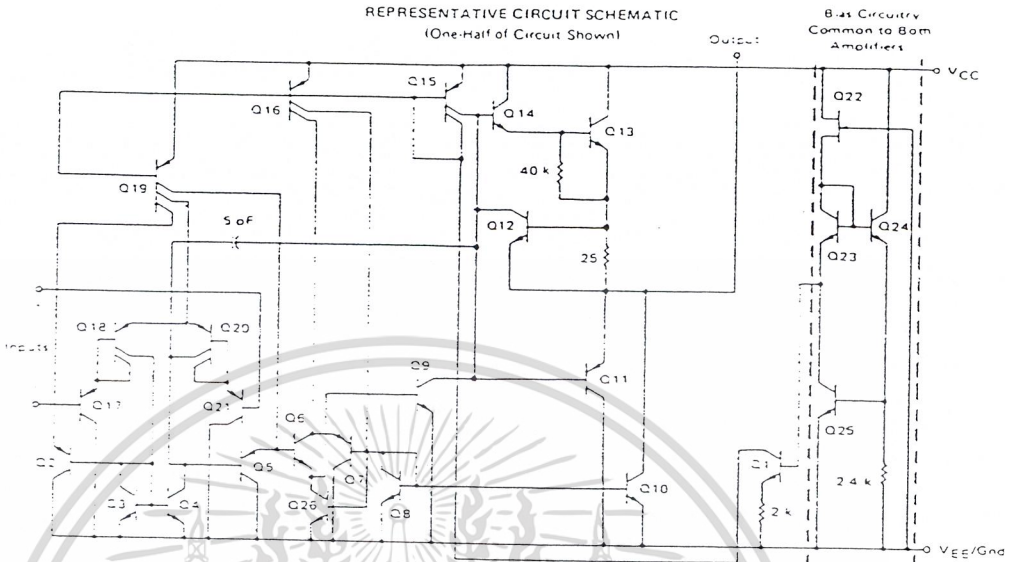


MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

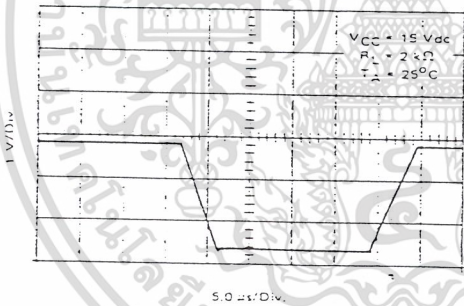
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM258, LM358, LM2904

3



LARGE SIGNAL VOLTAGE FOLLOWER RESPONSE



CIRCUIT DESCRIPTION

The LM158 Series is made using two internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance a smaller compensation capacitor (only 5 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common-mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM258, LM358, LM2904

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

FIGURE 1 – INPUT VOLTAGE RANGE

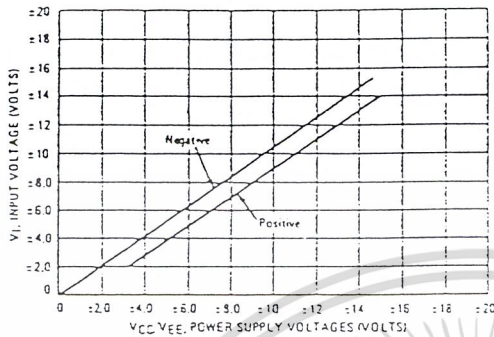


FIGURE 2 – OPEN LOOP FREQUENCY

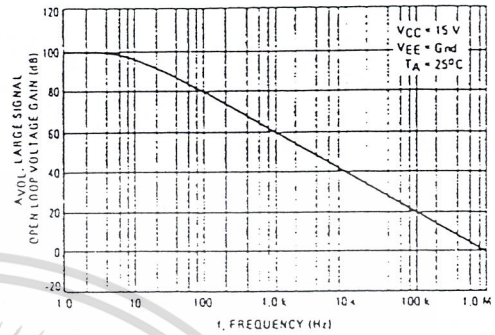


FIGURE 3 – LARGE-SIGNAL FREQUENCY RESPONSE

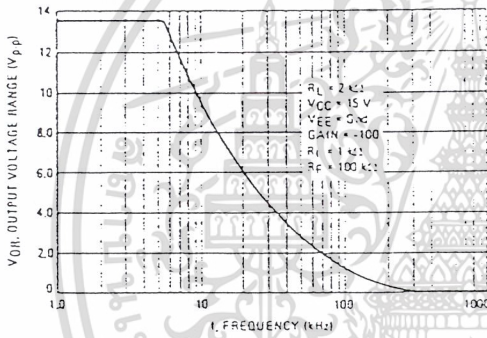


FIGURE 4 – SMALL-SIGNAL VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (Non-Inverting)

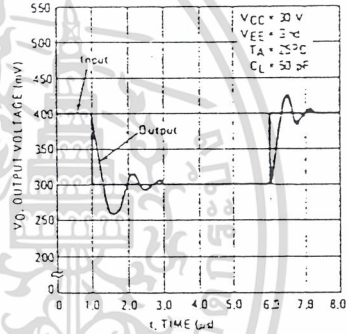


FIGURE 5 – POWER SUPPLY CURRENT versus POWER SUPPLY VOLTAGE

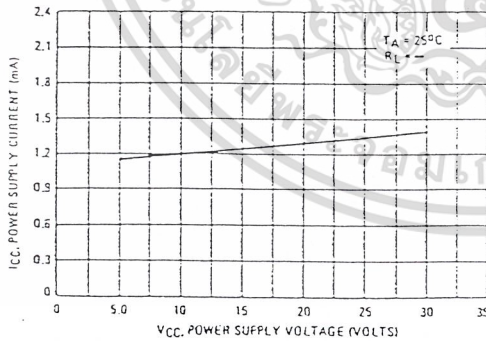
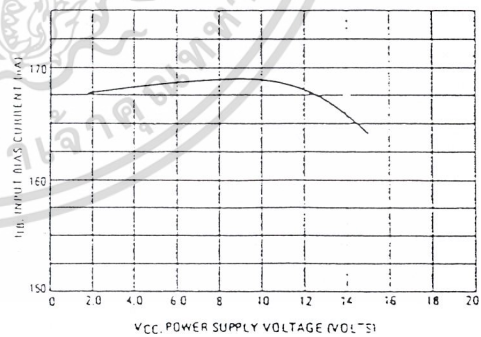


FIGURE 6 – INPUT BIAS CURRENT versus SUPPLY VOLTAGE



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM158, LM258, LM358, LM2904

APPLICATIONS INFORMATION

FIGURE 7 - VOLTAGE REFERENCE

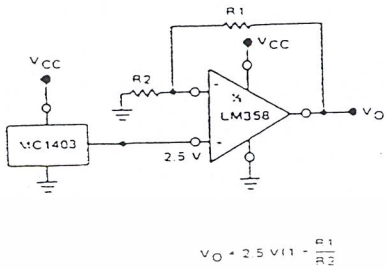


FIGURE 8 - WIEN BRIDGE OSCILLATOR

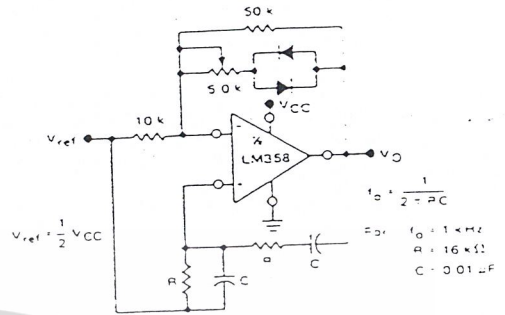


FIGURE 9 - HIGH IMPEDANCE DIFFERENTIAL AMPLIFIER

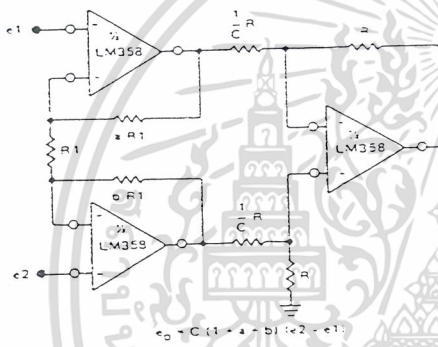


FIGURE 10 - COMPARATOR WITH HYSTERESIS

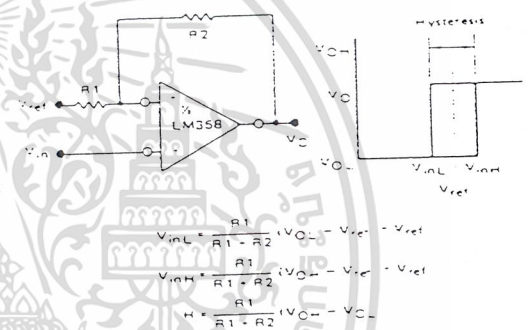
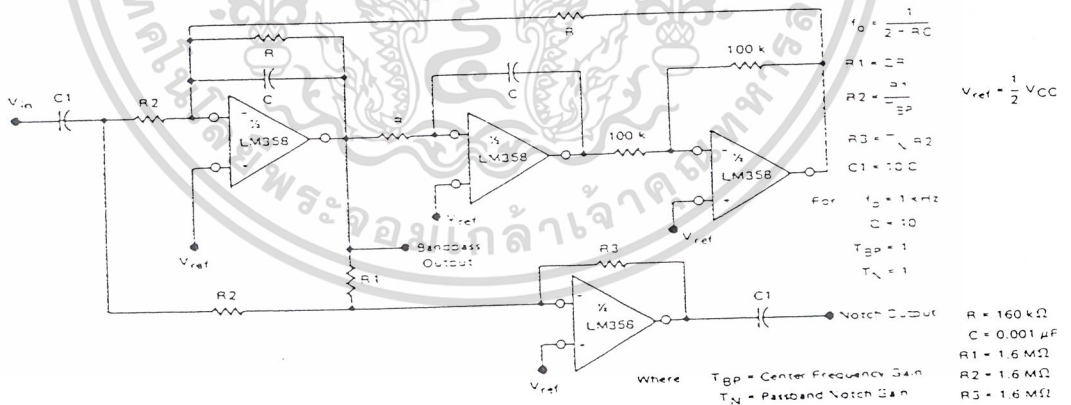


FIGURE 11 - BI-QUAD FILTER



MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION (continued)

FIGURE 12 - FUNCTION GENERATOR

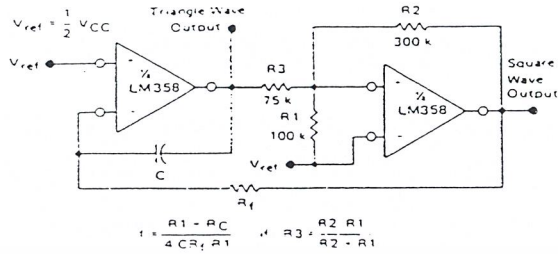
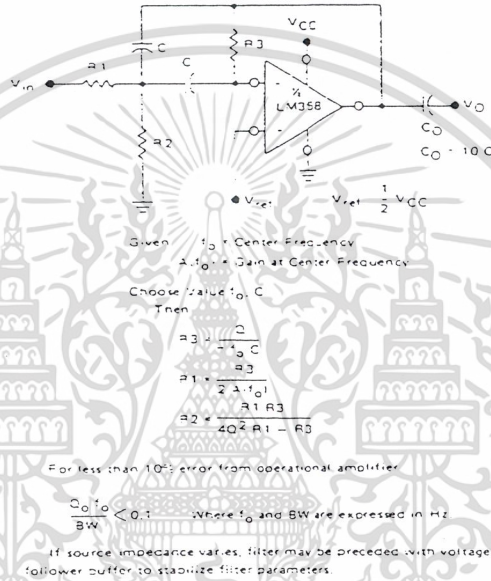


FIGURE 13 - MULTIPLE FEEDBACK BANDPASS FILTER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4060AB



CMOS 14-STAGE BINARY COUNTER AND OSCILLATOR

FEATURES

- ◆ 14 Fully Static Stages
- ◆ 10 Buffered Outputs Available
- ◆ Common Reset Line
- ◆ 8MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ All Active Oscillator Components on Chip for R-C or Crystal Control

DESCRIPTION

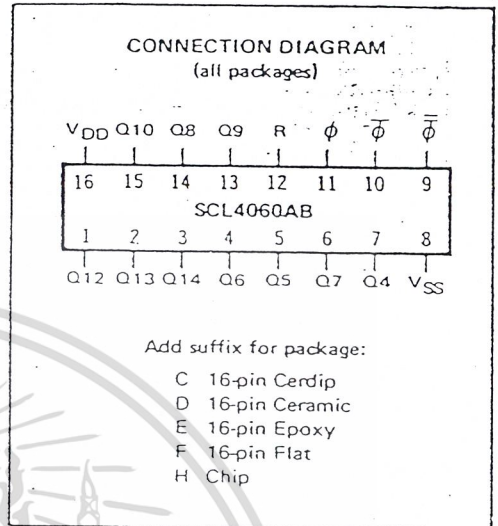
The SCL4060AB consists of an oscillator section and 14 ripple-carry binary counter stages. The oscillator configuration allows design of either R-C or crystal oscillator circuits. A Reset input is provided which resets the counter to the all-0's state. A high level on the Reset line accomplishes the reset function. The state of the counter is advanced one step in binary order on the negative transition of the Clock input ϕ . All inputs and outputs are fully buffered. Outputs are available from stages 4 through 10 and 12 through 14.

Applications include timers, frequency dividers, delay circuits and counter controls.

TRUTH TABLE

CLOCK	RESET	OUTPUT STATE
	0	No Change
	0	Advance to next state
X	1	All Outputs are low

X = Don't Care



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

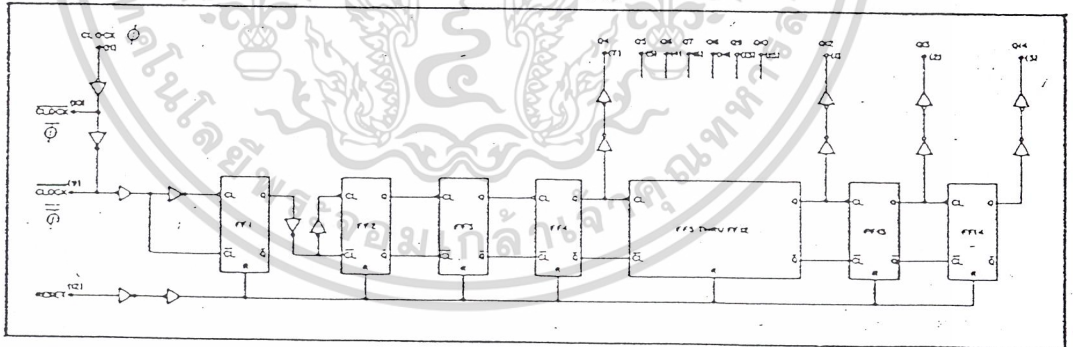
DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 Vdc

Operating Temperature T_A

C, D, F, H Device -55 to +125 °C

E Device -40 to +85 °C

LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS¹

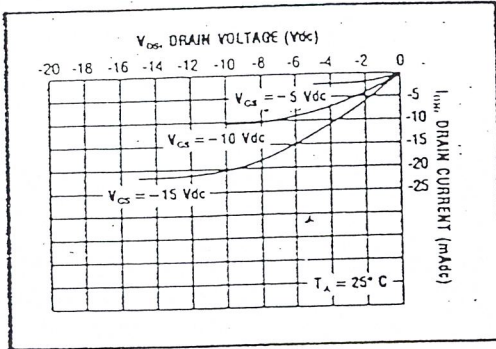
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C				T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.		
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} =V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	5	5	—	0.05	5	—	150	μA _{DC}	
			10	10	—	0.1	10	—	300		
			15	15	—	0.2	20	—	600		
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	I _{OH}	V _{OH} =4.6V V _{OH} =9.5V V _{OH} =13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	5	—	—	—	—	—	—	mA _{DC}	
			10	-0.15	—	-0.12	-0.5	—	-0.08		
			15	-0.37	—	-0.3	-1.15	—	-0.21		
			5	-1.25	—	-1.0	-4.5	—	-0.69		
			10	—	—	—	—	—	—		
			15	—	—	—	—	—	—		
E device	I _{OH}	V _{OH} =4.6V V _{OH} =9.5V V _{OH} =13.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	5	-0.14	—	-0.12	-0.5	—	-0.10	mA _{DC}	
			10	-0.35	—	-0.3	-1.15	—	-0.25		
			15	-1.2	—	-1.0	-4.5	—	-0.85		
			5	—	—	—	—	—	—		
			10	—	—	—	—	—	—		
			15	—	—	—	—	—	—		
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I _{OL}	V _{OL} =0.4V V _{OL} =0.5V V _{OL} =1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	5	0.15	—	0.12	0.5	—	0.08	mA _{DC}	
			10	0.37	—	0.3	1.0	—	0.21		
			15	1.25	—	1.0	5.8	—	0.69		
			5	—	—	—	—	—	—		
			10	—	—	—	—	—	—		
			15	—	—	—	—	—	—		
E device	I _{OL}	V _{OL} =0.4V V _{OL} =0.5V V _{OL} =1.5V V _{IN} =V _{SS} or V _{DD}	5	0.14	—	0.12	0.5	—	0.10	mA _{DC}	
			10	0.35	—	0.3	1.0	—	0.25		
			15	1.2	—	1.0	5.8	—	0.85		
			5	—	—	—	—	—	—		
			10	—	—	—	—	—	—		
			15	—	—	—	—	—	—		

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
= -40°C for E device.
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
= + 85°C for E device.

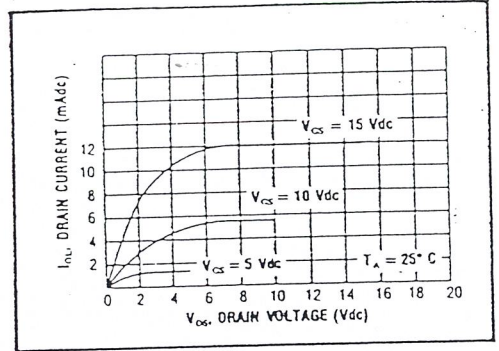
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
CLOCKED OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q4	t _{PLH, PHL}	5	—	650	1300
		10	—	325	650
		15	—	260	520
Q _i to Q _i + 1	t _{PLH, PHL}	5	—	150	300
		10	—	75	150
		15	—	60	120
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH, THL}	5	—	180	360
		10	—	90	180
		15	—	65	130
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	100	200
		10	—	50	100
		15	—	40	80
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	2.0	4.0	—
		10	4.0	8.0	—
		15	5	10	—
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME	t _{r,CL, f,CL}	5	15	—	—
		10	15	—	—
		15	5	—	—
RESET OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PHL}	5	—	300	600
		10	—	150	300
		15	—	120	240
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW _R	5	—	150	300
		10	—	75	150
		15	—	60	120
RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	250	500
		10	—	125	250
		15	—	100	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

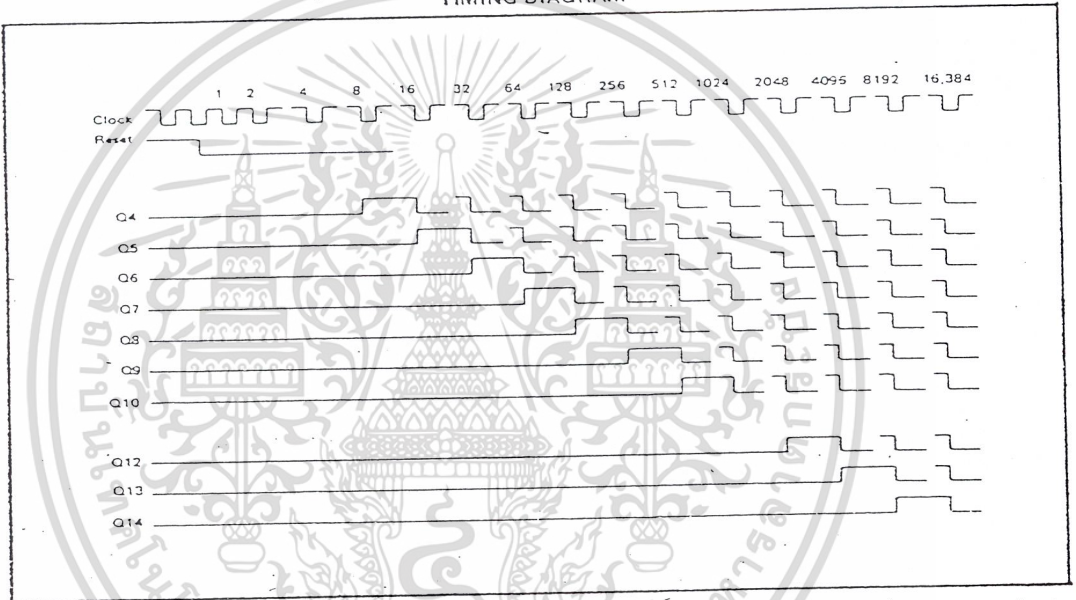


Typical P-Channel Source Current Characteristics

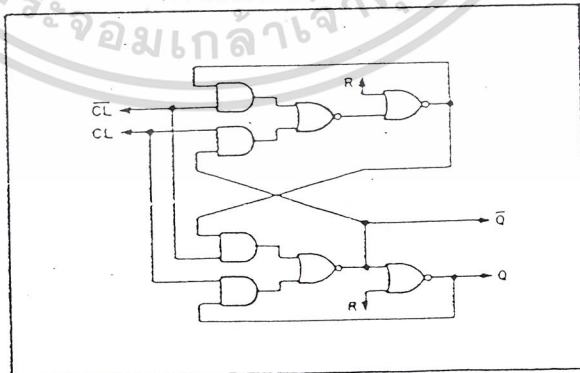


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

TIMING DIAGRAM

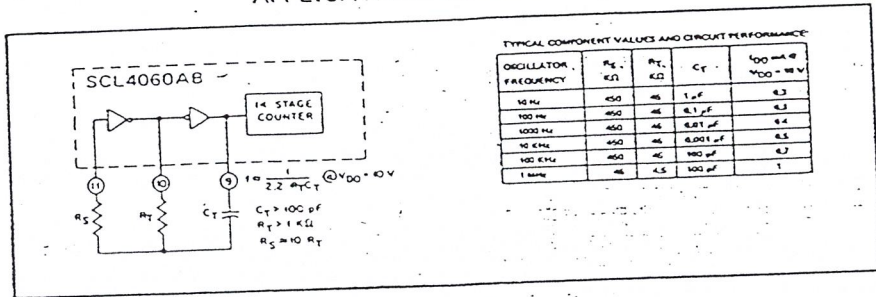


TYPICAL COUNTER STAGE

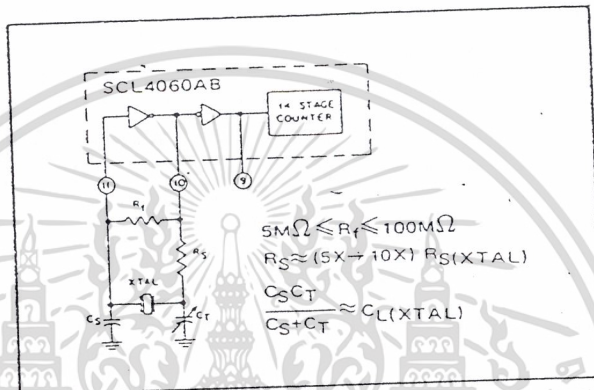


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

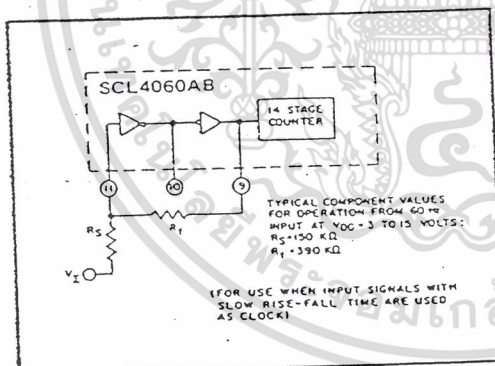
APPLICATIONS INFORMATION



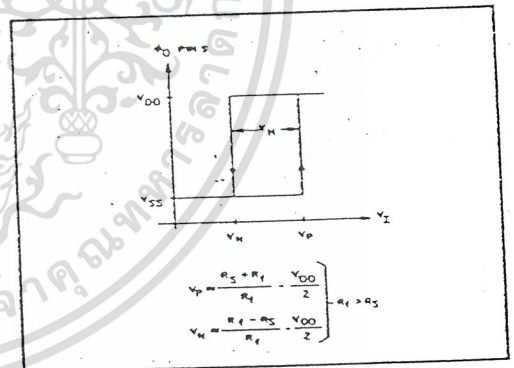
Typical RC oscillator circuit



Typical crystal oscillator circuit



Input pulse-shaping circuit (Schmitt trigger)



Input circuit characteristics for pulse-shaping circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7800 Series



THREE-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

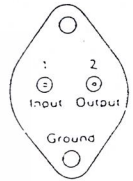
These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 ampere. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 Ampere
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

K SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 1-03
TO-204AA
(TO-3)

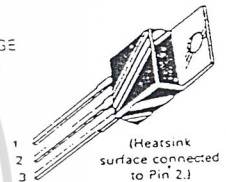


(Bottom View)

Pins 1 and 2 electrically isolated from case. Case is third electrical connection.

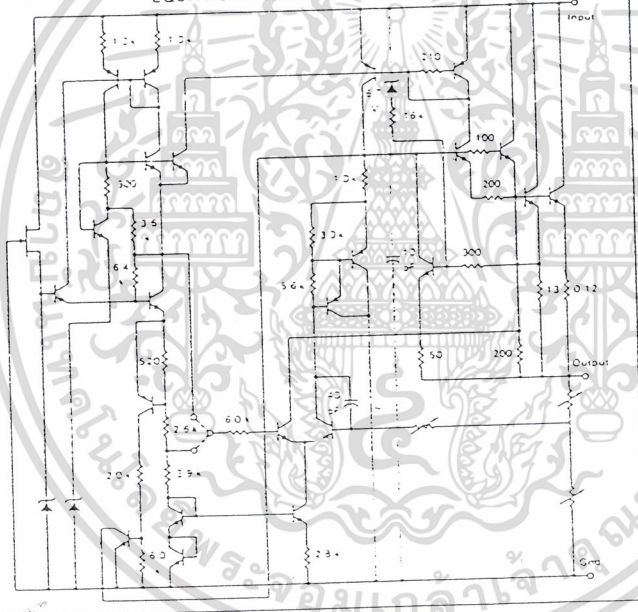
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A-02
TO-220AB

- Pin 1 Input
2 Ground
3 Output



(Heatsink surface connected to Pin 2.)

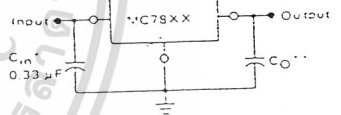
EQUIVALENT SCHEMATIC DIAGRAM



ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Temperature Range	Package
MC78XXX	4%	-55 to +150°C	Metal Power
MC78XXAK	2%		
MC78XXBK	4%	-40 to +125°C	Plastic Power
MC78XXCK	4%	0 to +125°C	
MC78XXACX	2%		
MC78XXCT	4%		
MC78XXACT	2%		
MC78XXBT	4%	-40 to +125°C	

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX = these two digits of the type number indicate voltage

* = C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** = C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response.

XX indicates nominal voltage

TYPE NO./VOLTAGE

MC7805	5.0 Volts	MC7815	15 Volts
MC7806	6.0 Volts	MC7818	18 Volts
MC7808	8.0 Volts	MC7824	24 Volts
MC7812	12 Volts		

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

MC7800 Series

MC7800 Series MAXIMUM RATINGS ($T_A = -25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (5.0 V - 18 V) (24 V)	V_{in}	35 40	Vdc
Power Dissipation and Thermal Characteristics			
Plastic Package			
$T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D	Internally Limited	Watts
Derate above $T_A = -25^\circ\text{C}$	$1/\theta_{JA}$	15.4	mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Air	θ_{JA}	65	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$T_C = +25^\circ\text{C}$	P_D	Internally Limited	Watts
Derate above $T_C = -75^\circ\text{C}$ (See Figure 1)	$1/\theta_{JC}$	200	mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Case	θ_{JC}	5.0	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Metal Package			
$T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D	Internally Limited	Watts
Derate above $T_A = -25^\circ\text{C}$	$1/\theta_{JA}$	22.5	mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Air	θ_{JA}	45	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$T_C = +25^\circ\text{C}$	P_D	Internally Limited	Watts
Derate above $T_C = -65^\circ\text{C}$ (See Figure 2)	$1/\theta_{JC}$	182	mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Case	θ_{JC}	5.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Junction Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range	T_J	-55 to +150 0 to +150 -40 to +150	$^\circ\text{C}$
	MC7800, A	-55 to +150	
	MC7800C, AC	0 to +150	
	MC7800, B	-40 to +150	

DEFINITIONS

Line Regulation — The change in output voltage for a change in the input voltage. The measurement is made under conditions of low dissipation or by using pulse techniques such that the average chip temperature is not significantly affected.

Load Regulation — The change in output voltage for a change in load current at constant chip temperature.

Maximum Power Dissipation — The maximum total device dissipation for which the regulator will operate within specifications.

Quiescent Current — That part of the input current that is not delivered to the load.

Output Noise Voltage — The rms ac voltage at the output, with constant load and no input ripple, measured over a specified frequency range.

Long Term Stability — Output voltage stability under accelerated life test conditions with the maximum rated voltage listed in the device's electrical characteristics and maximum power dissipation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC7800 Series

MC7805, B, C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 1) unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7805			MC7805B			MC7805C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = -25^\circ\text{C}$)	V_O	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	Vdc
Output Voltage ($15.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$) $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	—	—	—	—	—	—	4.75	5.0	5.25	Vdc
Line Regulation ($T_J = -25^\circ\text{C}$, Note 2) $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$	Reg _{line}	—	2.0	5.0	—	7.0	100	—	7.0	100	mV
Load Regulation ($T_J = -25^\circ\text{C}$, Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	—	25	100	—	40	100	—	40	100	mV
Quiescent Current ($T_J = -25^\circ\text{C}$)	I_B	—	3.2	6.0	—	4.3	8.0	—	4.3	8.0	mA
Quiescent Current Change $7.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	—	—	—	—	—	—	—	—	1.3	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	68	75	—	—	68	—	—	68	—	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	—	2.0	2.5	—	2.0	—	—	2.0	—	Vdc
Output Noise Voltage ($f_A = -25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	—	10	40	—	10	—	—	10	—	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	—	17	—	—	17	—	—	17	—	m Ω
Short-Circuit Current Limit ($f_A = -25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	—	0.2	1.2	—	0.2	—	—	0.2	—	A
Peak Output Current ($T_J = -25^\circ\text{C}$)	I_{max}	1.3	2.5	3.3	—	2.2	—	—	2.2	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV _O	—	-0.6	—	—	-1.1	—	—	-1.1	—	mV/ $^\circ\text{C}$

MC7805A, AC

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 1) unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	MC7805A			MC7805AC			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = -25^\circ\text{C}$)	V_O	4.9	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	Vdc
Output Voltage ($15.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$	V_O	4.2	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	Vdc
Line Regulation (Note 2) $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 12\text{ Vdc}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$ $7.3\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	—	2.0	10	—	7.0	50	mV
Load Regulation (Note 2) $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$ $250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	Reg _{load}	—	2.0	25	—	25	100	mV
Quiescent Current $T_J = -25^\circ\text{C}$	I_B	—	—	5.0	—	—	6.0	mA
Quiescent Current Change $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 25\text{ Vdc}$, $I_O = 500\text{ mA}$ $7.5\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 20\text{ Vdc}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$	ΔI_B	—	—	0.5	—	—	0.8	mA
Ripple Rejection $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$ $8.0\text{ Vdc} \leq V_{in} \leq 18\text{ Vdc}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	68	75	—	—	—	—	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = -25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	—	2.0	2.5	—	2.0	—	Vdc
Output Noise Voltage ($f_A = -25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	V_n	—	10	40	—	10	—	$\mu\text{V}/V_O$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	—	2.0	—	—	17	—	m Ω
Short-Circuit Current Limit ($f_A = -25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	—	0.2	1.2	—	0.2	—	A
Peak Output Current ($T_J = -25^\circ\text{C}$)	I_{max}	1.3	2.5	3.3	—	2.2	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV _O	—	± 0.6	—	—	-1.1	—	mV/ $^\circ\text{C}$

NOTES 1 $T_{low} = -55^\circ\text{C}$ for MC78XX, A
 $= 0^\circ$ for MC78XXC, AC
 $= -40^\circ\text{C}$ for MC78XXB

$T_{high} = -150^\circ\text{C}$ for MC78XX, A
 $= -125^\circ\text{C}$ for MC78XXC, AC, B

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะสำเร็จไม่ได้ ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์กอบชัย เดชหาญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา Project , อาจารย์ สมยศ จุณณะปิยะ และพี่ๆปริญญานิเทศศาสตร์ทุกคน รวมทั้ง พี่ณพนธ์ ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด ตลอดจนคุณนิจวรรณและคุณวรวิทย์ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการพิมพ์ กลุ่มของข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ชูชัย ธารสารตั้งเจริญ และ Advance Engineering Group, “ทฤษฎีวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์”
2. รศ.อักรเดช สิ้นธุภัก , “ การทำความเย็น ” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. Robert F. Coughlin and Frederick F. Driscoll “ การใช้งานอปแอมป์และลิเนียร์ไอซี ”
4. ดร.มงคล เดชนกรินทร์ , ดร.ชาติ ศรีไพพรรณ “อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้