



# เครื่องตรวจจับโลหะ METAL DETECTOR



โดย  
นายชัยณรงค์ ตั้งเสงี่ยมวิสัย  
นายสมบัติ ชูรัตน์ชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2535 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจจับโลหะ

(Metal detector)

ผู้จัดทำ 1. นาย ชัยณรงค์ ตั้งเสงี่ยมวิสัย เลขประจำตัว 321069

2. นาย สมบัติ ชุนรัตน์ชัย เลขประจำตัว 321345

อ. Le Sanit: อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เกียรติศักดิ์ คมวัชร)

โดย

นาย ชัยณรงค์ ตั้งเสถียรวิสัย 321069

นาย สมบัติ ชูรัตน์ชัย 321345

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เกียรติศักดิ์ คมวัชร

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการตรวจจับโลหะ จุดประสงค์ของโครงการนี้คือการศึกษาว่าเครื่องตรวจจับโลหะสามารถออกแบบและทำงานได้อย่างไร

ในปริญญานิพนธ์ เราจะพิจารณาถึงวิธีการต่างๆของการตรวจจับโลหะ โดยทำการศึกษาเน้นที่วิธีการ induction balance เครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้หลักการนี้ ประกอบด้วยขดลวด 2 ขดโดยมีขดหนึ่งทำหน้าที่ส่งสนามแม่เหล็กออกไป และอีกขดทำการรับสนามแม่เหล็กที่สมมูล เมื่อมีโลหะผ่านเข้ามาในบริเวณนั้น จะทำให้สนามแม่เหล็กรอบขดลวดเกิดการไม่สมมูล ขดลวดตัวรับจะสามารถรับสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ สัญญาณนี้จะถูกขยาย, เรียงกระแส และนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง นำผลที่ได้ส่งต่อไปยังส่วนแสดงผลที่ทำหน้าที่ส่งเสียงเตือน

เครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้หลักการ IB มีใช้อย่างแพร่หลายเช่น เครื่องมือรักษาความปลอดภัย ทำเป็นงานอดิเรก ตลอดจนการค้นหาสมบัติ

## Metal detector

By

Mr.Chainarong Tangsangimwisai

Mr.Sombat Chunratanchai

Advisor

Mr.Kiattisak Khomwatchara

Abstract

This thesis is based on the studying of metal detection. The purpose of this project is to learn how the metal detector can operate and design.

In the thesis we will consider a number of different methods of metal detection. Eventually, we will emphasis on the induction balance (IB) method. The IB metal detector consists of two coils which one generates magnetic fields, another receives the balance fields. When metal is brought near to the coils an imbalance occurs and the receiver coil then picks up a signal that changes unequally. The output from this coil can be amplified, rectified and compared with reference signal then taked the result to drive the display terminal producing alarm sound.

The detector using induction balance (IB) technique is widely used in many intentions such as security equipment, hobby as well as treasure hunting.

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ เกียรติศักดิ์ คมวัชระ เป็นอย่างยิ่ง ที่ท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งยังสนับสนุนในด้านเครื่องมือ และ อุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นอย่างดี และยังคงคอยดูแลการทำงานของผู้เขียนอย่างใกล้ชิดจนสามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และ เพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
Abstract.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	2
บทที่ 3 ประเภทของเครื่องตรวจจับโลหะ (METAL DETECTOR).....	10
3.1. Beat Frequency Oscillator (BFO).....	10
3.2. VLF Phase Angle.....	11
3.3. Pulse Induction (PI).....	12
3.4. Off Resonance.....	13
3.5. Induction Balance (IB) และ Transmit/ receive (TR).....	14
บทที่ 4 การทดลอง.....	17
- การพันขดลวดและการจัดตำแหน่งขดลวด.....	17
- ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับโลหะ.....	18
- การใช้งานและการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะ.....	25
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	26
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	28
บรรณานุกรม.....	29
ภาคผนวก.....	30

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ลักษณะ current loop และโลหะทรงกลมที่ใช้คำนวณ	2
รูปที่ 2 แสดงคลื่นหรือสนามใด ๆ ที่เข้าตัวกลางหนึ่งและคิดค่า 0.37 %	3
รูปที่ 3 แสดงการเกิดผลในขดลวด เมื่อมีโลหะมาในสนามแม่เหล็ก	7
รูปที่ 4 Block Diagram ของวงจร Beat Frequency Oscillator (BFO)	10
รูปที่ 5 Block Diagram ของวงจร VLF Phase Angle	11
รูปที่ 6 Block Diagram ของวงจร Pulse Induction (PI)	12
รูปที่ 7 Block Diagram ของวงจร Off Resonance	14
รูปที่ 8 Block Diagram ของวงจร IB detector	15
รูปที่ 9 Block Diagram ของวงจร T/R detector	16
รูปที่ 10 แสดงการผันขดลวด รูป D Shape	17
รูปที่ 11 วงจรกำเนิดสัญญาณชาวยน์ และภาครับ (Oscillator)	19
รูปที่ 12 วงจรขยายสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier)	21
รูปที่ 13 วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier)	22
รูปที่ 14 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Window Comparator)	23
รูปที่ 15 สัญญาณ output ของ วงจร Window Comparator	24
รูปที่ 16 สัญญาณที่ภาคส่ง (Transmit Coil)	26
รูปที่ 17 สัญญาณที่ภาครับ (Recieve Coil)	26
รูปที่ 18 สัญญาณ output ของวงจรขยาย	26
รูปที่ 19 สัญญาณ output ของวงจรกรองสัญญาณ	27
รูปที่ 20 สัญญาณ output ของ Window Comparator	27

## บทที่ 1 บทนำ

เครื่องตรวจจับโลหะที่สร้างขึ้นโดยทั่วไป ประกอบด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์หลายส่วนมารวมกัน โดยใช้หลักการต่างๆดังจะกล่าวต่อไป เครื่องตรวจจับโลหะใช้งานในหลายด้าน อาทิ เช่น การค้นหาวัตถุโบราณ การหาท่อโลหะ สายไฟฟ้าที่ฝังในผนัง รวมไปถึงระบบป้องกันความปลอดภัยในสถานที่ต่างๆ ในโครงงานนี้จะพิจารณาชนิดต่างๆของเครื่องตรวจจับ ซึ่งรวมไปถึงระบบที่เป็นพื้นฐานจนถึงระบบที่ซับซ้อนที่สามารถบอกได้ว่าตรวจพบโลหะชนิดใด บอกความลึก ขนาดที่พบ ซึ่งในส่วนหลังนี้ก็จะมีความยุ่งยากของวงจรและราคาที่เพิ่มขึ้นด้วย

เครื่องตรวจจับโลหะ สามารถตรวจพบโลหะได้ โดยอาศัยหลักการคือ เมื่อมีโลหะผ่านเข้ามาในบริเวณขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กล้อมรอบ ทำให้สนามแม่เหล็กรอบขดลวด เกิดการเปลี่ยนแปลง ผลจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ สามารถทำการตรวจจับโดยใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในบางครั้งวัตถุที่ไม่ใช่โลหะอาจจะให้ผลเช่นเดียวกันก็ได้

เครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้ผลของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ได้แก่ เครื่องตรวจจับโลหะชนิด Induction balance โดยประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ขดแรกจะถูกขับโดยวงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดจะต่อเข้ากับวงจรตรวจจับและวงจรรขยายสัญญาณ ขดลวดทั้ง 2 ขดนี้จะต้องถูกวางในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการตรวจจับสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง เมื่อไม่มีโลหะขดรับจะมีพลังงานที่เกิดขึ้นจากขดส่งน้อยมาก นั่นคือสัญญาณมีขนาดเล็กที่สุด แต่เมื่อนำขดลวดเข้าไปใกล้โลหะ สนามแม่เหล็กจะถูกเปลี่ยนแปลง ขดรับจะสามารถรับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กนี้ได้ และนำไปผ่านวงจรรขยายสัญญาณ และวงจรตรวจจับ

ข้อดีของเครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้หลักการ Induction balance คือ ความสามารถในการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ และการค้นหาโลหะที่อยู่ในระดับลึก และจะไม่ตอบสนองต่อโลหะที่มีขนาดเล็ก แต่ความไวจะถูกครอบงำในบริเวณพื้นดินที่มีแร่ธาตุปน เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้ จะใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ระหว่าง 85 KHz ถึง 150 KHz แต่ผลของความถี่สูงนี้จะให้ผลไม่เท่าที่ควรในพื้นดินที่มีแร่ธาตุปนอยู่ เทคนิคที่ใช้แก้ปัญหานี้คือ การลดความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้ค่าประมาณ 3 KHz-5 KHz เพื่อให้ขดส่งส่งพลังงานได้มากขึ้น แต่ข้อเสียคือ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างมาก และความสามารถในการระบุตำแหน่งจะลดลง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎี

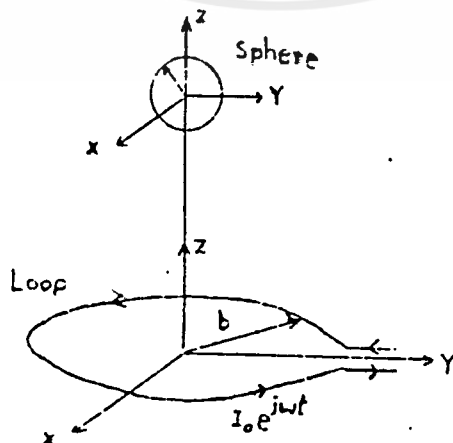
เครื่องตรวจจับโลหะแยกการทำงานตามลักษณะและวิธีการทำงานของเครื่อง แต่ส่วนสำคัญที่สุดจะอยู่ที่ขดลวด (Coil) ซึ่งเป็นตัวเกิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อตรวจพบโลหะและนำสัญญาณนี้ไปแสดงผล การเปลี่ยนแปลงในขดลวด เมื่อมีโลหะเข้าใกล้กัน จะเกิดจากสาเหตุ 2 ข้อคือการเกิด eddy current ในโลหะ และการเปลี่ยนแปลงความซึมซาบได้ (Permeability) ของตัวกลางจากผลของ Magnetism ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงภายในขดลวด เมื่อมีโลหะเข้าใกล้

#### - ผลของ eddy current

Eddy current คือกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในตัวนำไฟฟ้า อันเนื่องมาจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงวิ่งผ่านตัวนำนั้น เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า จะเกิด eddy current ในแกนเหล็ก จากเส้นแรงแม่เหล็กที่พันในหม้อแปลงนั้น ถ้าแกนเหล็กบาง eddy current ก็เกิดขึ้นน้อยตามขนาดของแกน แต่ถ้าแกนเหล็กของหม้อแปลงมีขนาดใหญ่จะเกิด eddy current สูง จะมีผลโดยตรงกับขนาดของขดลวดที่ใช้พันหม้อแปลง ดังนั้นจะใช้หลักการเหล่านี้เพื่อทำเป็นหลักการของเครื่องตรวจจับโลหะ โดยให้ขดลวดเป็นเสมือนลวดที่ใช้พันในหม้อแปลง แต่พันด้วยแกนอากาศแทน และให้โลหะที่จะตรวจจับเสมือนเป็นแกนเหล็กในหม้อแปลง ซึ่งสามารถพิจารณาผลที่เกิดขึ้นทางทฤษฎีดังต่อไปนี้

ใช้ขดลวดนั้นเพียงรอบเดียวในการคำนวณ ใช้ขนาดรัศมี  $b$  และจ่ายกระแสให้ขดลวดด้วยค่า  $I_0 e^{j\omega t}$  และให้มีทรงกลมเล็กรัศมี  $a$  ลอยอยู่เหนือจุดกึ่งกลางของขดลวด ดังรูป



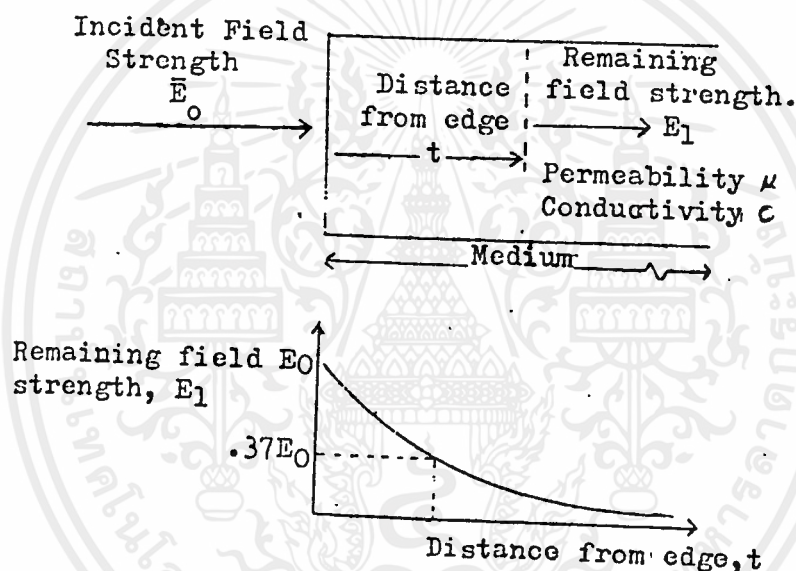
รูปที่ 1 ลักษณะ current loop และโลหะทรงกลมที่ใช้คำนวณนำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งชาติ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณ จะคำนวณเกี่ยวกับ แรงในทรงกลมพลังงานที่เข้าทรงกลม (ที่เกิด eddy current) และการเปลี่ยนแปลงค่า inductance ของขดลวด เนื่องจากโลหะทรงกลม

สิ่งสำคัญที่สุด คือ อัตราส่วน skin depth,  $\delta$  ต่อรัศมี

skin depth เป็นค่าของระยะทางของคลื่นที่เข้าไปในตัวนำหนึ่ง แล้วคลื่นถูกลดทอน (attenuated) เหลือ 1/2 หรือ 37% สามารถคำนวณค่า skin depth ได้ดังนี้

$$\text{skin depth, } \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \text{ เมตร ----- (1)}$$



รูปที่ 2 แสดงคลื่นหรือสนามใดๆที่เข้าตัวกลางหนึ่งและคิดค่า  $\delta$  0.37 %

โดย  $\omega$  เป็น circular frequency ( ความถี่ของสนามแม่เหล็กที่เข้าทรงกลม )

$\sigma$  เป็น ค่า conductivity ของโลหะทรงกลมนี้

$\mu_0$  เป็น ค่า permeability ของโลหะทรงกลมนี้ใน สุญญากาศ

ถ้าใช้ความถี่ 400 KHz มี  $\sigma = 10^7 \text{ ohm}^{-1} \text{ m}^{-1}$

จะได้ค่า  $\delta = 4 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.4 \text{ m.m}$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า โลหะทรงกลมที่ใช้ทกลองต้องมีขนาดเล็กที่สุด 1 cm. จึงจะได้

๒/๓๔๕ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $\mu/a \ll 1$  นี้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่สัมพันธ์กับขนาดที่ใช้กับเครื่องตรวจจับโลหะ เพราะถ้าความถี่ต่ำลง ค่า skin depth จะสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงว่าโลหะที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในขดลวดต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น

เมื่อใช้ค่า  $\mu/a \ll 1$  นี้ผลของ eddy current ทั้งหมดก็เปรียบเหมือนกระแสไหลวนอยู่ เฉพาะผิวของโลหะเท่านั้น ซึ่งเสมือนตัวป้องกัน magnetic flux ไม่ให้ผ่านเข้าไปภายในโลหะ ทำให้สามารถ สมมติได้ว่า ภายในโลหะมี  $B=0$  ได้

เมื่อมีโลหะเข้ามาอยู่ในสนามแม่เหล็กจะได้ว่า

$$B = \mu_0 (H+M) \text{ -----(2)}$$

$H$  = magnetic field

$M$  = magnetization ของโลหะ

$$\text{โดยที่ } H = (H_0 e^{j\omega t} - H_{\text{demag}})k \text{ -----(3)}$$

$k$  = unit vector

เทอม  $H_0 e^{j\omega t}$  เป็น magnetic field เมื่อไม่มีโลหะที่มี  $e^{j\omega t}$  อยู่ด้วย เนื่องจากเราจ่ายกระแส  $I_0 e^{j\omega t}$  ให้กับขดลวด จึงสร้างสนามแม่เหล็กเป็นไปตามกระแสด้วย

$H_{\text{demag}}$  = Demagnetizing field ซึ่งเกิดจากโลหะสร้างสนามที่ได้จากการเหนี่ยวนำของสนามเดิม ซึ่งจะมีทิศตรงข้ามสนามเดิม จึงลบกันดังสมการ (3)

เนื่องจากเป็นโลหะทรงกลม

$$H_{\text{demag}} = 1/3 M \text{ -----(4)}$$

จะได้

$$B = \mu_0 (H_0 e^{j\omega t} - 1/3 M + M) \text{ -----(5)}$$

เนื่องจากใช้โลหะที่  $\mu/a \ll 1$  ดังนั้นภายในโลหะเสมือน  $B=0$

จะได้

$$0 = \mu_0 (H_0 e^{j\omega t} + 2/3 M)$$

$$\text{ดังนั้น } M = -3/2 H_0 e^{j\omega t} k \text{ -----(6)}$$

จะหาค่า magnetic moment ของโลหะทรงกลมนั้น

โดยที่ magnetic moment,  $m = vM$

เมื่อ  $v$  = ปริมาตรของโลหะทรงกลม =  $4/3 \pi r^3$

$M$  = Magnetization ของโลหะ

จากสมการ (6) จะได้

$$m = [4/3\pi a^3] [-3/2Hoe^{j\omega t} k]$$

$$m = -2\pi a^3 Hoe^{j\omega t} k \text{ -----(7)}$$

เมื่อ  $a$  = รัศมีวงกลม

Magnetic moment,  $m$  เกิดขึ้นจากผลของ eddy current ที่ไหลวนที่ผิวโลหะทรงกลม ดังนั้นเราสามารถแสดงค่านี้ได้ให้อยู่ในรูปที่เป็นกระแสไหลวนใน loop coil ซึ่งเป็นขดลวด (coil) รัศมี  $a$  มีจำนวนหนึ่งรอบ

ได้ magnitude ของกระแสเป็น  $I\pi a^2$  ซึ่งเท่ากับ magnetic moment เพราะเป็นการเปรียบเทียบมาจากโลหะทรงกลมเดียวกัน

ดังนั้น 
$$I\pi a^2 = -2\pi a^3 r Hoe^{j\omega t}$$

$$I = -2aHoe^{j\omega t} \text{ -----(8)}$$

กระแสในสมการ (8) นี้ จะเป็นตัวสร้าง axial field

เนื่องจาก axial magnetic field เป็น

$$B = \frac{(I_0/2)\pi a^2 e^{j\omega t} k}{(b^2+z^2)^{3/2}} \text{ -----(9)}$$

จากสมการ (9) axial magnetic field ที่เกิดจาก Single loop รัศมี  $b$

ณ จุดบนแกนห่างออกไป  $z$  ด้วยกระแส  $I_0$

ดังนั้นตามสมการ (9) นี้ เมื่อทรงกลมมีกระแสดังสมการ (8) จะได้ axial magnetic field ของทรงกลมเป็น  $B_z$  ดังนี้

$$B_z = -(2\pi h_0 a^3 \mu_0 / 2) [e^{j\omega t} / 2(a^2+z^2)^{3/2}] k \text{ -----(10)}$$

ถ้าสมมติว่า สนามนี้คงที่อยู่เหนือพื้นที่ของ loop (รูปที่ 1) ดังนั้น flux ที่ไหลผ่าน loop เป็น

$$\phi_{loop} = \frac{-\mu_0 a^3 \pi b^2 \cdot b^2 \cdot I_0 e^{j\omega t}}{2(a^2+z^2)^{3/2} \cdot 2(b^2+z^2)^{3/2}} \text{ -----(11)}$$

ทำการเฉลี่ยตลอดช่วง

$$\phi_{loop} = [\mu_0 \pi a^3 b^4 / 8(a^2+z^2)^{3/2} (b^2+z^2)^{3/2}] I_0 \text{ -----(12)}$$

ค่า inductance จะเปลี่ยนได้เนื่องจากถูก induce ด้วย eddy current

ดังนั้น 
$$\Delta L = \frac{d\phi_{loop}}{dI_0} = \frac{\mu_0 \pi a^3 b^4}{8(a^2+z^2)^{3/2} (b^2+z^2)^{3/2}} \text{ -----(13)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Self inductance ของ loop เป็น

$$L = b\{\mu_0 [\ln(8b/d) - 2] + 1/4\mu_0\} \quad \text{-----(14)}$$

โดยที่  $d =$  รัศมีของขดลวด

ถ้า  $a = 0.5 \text{ cm}$ ,  $b = 2.5 \text{ cm}$ ,  $z = 0.5 \text{ cm}$ ,  $d = 1/8 \text{ inch}$ .

ดังนั้น ค่า inductance เปลี่ยนแปลงไปเป็น

$$\Delta L = 4.12 \times 10^{-7} \text{ H}$$

และค่า self inductance

$$L = 1.44 \times 10^{-6} \text{ H}$$

เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่า loop เกิดการเปลี่ยนแปลงถึง 30% ซึ่งผลนี้เองที่นำมาใช้กับ Metal detector โดยโลหะเข้าใกล้ขดลวด แล้วจะทำให้ค่า  $L$  ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป สามารถนำการเปลี่ยนแปลงของขดลวดนี้ไปเข้าวงจรตรวจจับ เพื่อใช้แสดงผล

จากการแสดงวิธีการทั้งหมดนี้ เป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า inductance ของขดลวด

การเปลี่ยนแปลงของค่า  $L$  เมื่อมีโลหะมาในระยะใกล้ขดลวดระยะหนึ่ง โดยคิดจากผลของ eddy current ซึ่งเกิดขึ้นในโลหะ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ flux เทียบกับกระแส eddy current

ผลของ eddy current ซึ่งเป็นกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในตัวนำไฟฟ้า เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงวิ่งผ่านตัวนำนั้น โดยใช้หลักการนี้มาใช้ในเครื่องตรวจจับโลหะเมื่อโลหะเข้าใกล้ขดลวด ผลของ eddy current จะทำให้ค่า inductance ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อจ่ายกระแสสลับให้แก่ขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวด เมื่อมีโลหะเข้าใกล้ขดลวดทำให้เกิด eddy current ในโลหะ โดยเขียนแทนขดลวดและโลหะในลักษณะของ Transformer coupling

#### - ผลของ Magnetism และ permeability

เนื่องจากโลหะชนิด Ferrous มีค่า permeability ( $\mu$ ) สูงมาก เมื่อโลหะผ่านเข้ามาในสนามแม่เหล็กของขดลวด ก็จะได้รับอำนาจแรงดึงดูดจากขดลวด แต่โลหะนี้จะทำให้ค่า inductance ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากค่า  $\mu$  ของโลหะมีค่าสูงมาก

เราจะแสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L$  ของขดลวดกับค่า  $\mu$  ของโลหะดังนี้  
ถ้า  $L_0$  เป็น inductance ของขดลวด เมื่อไม่มีโลหะเข้าใกล้

$L$  เป็น inductance ของขดลวดที่เพิ่มขึ้นไปหลังจากมีโลหะมาใกล้ขดลวด

ค่า  $L$  ที่เปลี่ยนไป  $dL = L - L_0$

เราจะหาค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงนี้ได้โดยการให้

Inductive energy,  $E =$  magnetic energy stored in the field

โดยที่ inductive energy,  $E = 1/2 Li^2$  -----(15)

$i =$  กระแสภายในขดลวด และ Magnetic energy stored ในขดลวดหาได้ดังนี้

เนื่องจาก Energy density  $w_m = 1/2 \mu H^2$  ซึ่งเป็น energy density จุด  
หนึ่งในสนามแม่เหล็ก จะเป็น energy ต่อหน่วยปริมาตร ดังนั้น

Total magnetic energy density  $= 1/2 \int \mu H^2 dV =$  magnetic energy stored

เนื่องจากให้ inductive energy = magnetic energy stored in the field

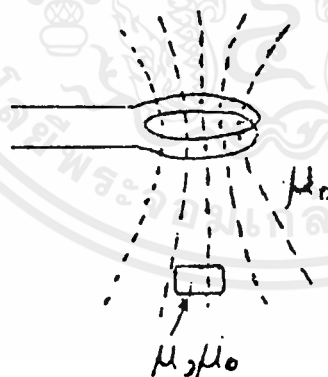
ฉะนั้นได้

$$1/2 Li^2 = 1/2 \int \mu H^2 dV \text{ -----(16)}$$

ถ้าไม่มีโลหะอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะได้

$$1/2 L_0 i^2 = 1/2 \int \mu_0 H^2 dV \text{ -----(17)}$$

แต่ถ้ามีโลหะอยู่ในสนามแม่เหล็กโดยโลหะมีค่า permeability  $= \mu$  ดังรูป 3



รูปที่ 3 แสดงการเกิดผลในขดลวด เมื่อมีโลหะมาในสนามแม่เหล็ก

$$\text{จะได้ } 1/2 Li^2 = 1/2 \int \mu H^2 dV - 1/2 \int \mu_0 H^2 dV + 1/2 \int \mu_0 H^2 dV \text{ -----(18)}$$

สมการ (18)-(17) จะได้

$$1/2 dLi^2 = 1/2 \int (\mu - \mu_0) H^2 dV \text{ -----(19)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก  $\mu = \mu_0 \mu_r$

$\mu$  = permeability ของโลหะที่เป็น Sample เข้ามาในสนามแม่เหล็กของขดลวด

$\mu_r$  = relative permeability

ดังนั้น  $dL = 1/i^2 \int_V (\mu_r - 1) \mu_0 H^2 dV$

จากสมการนี้พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า inductance ของขดลวด เมื่อมีโลหะเข้ามาใกล้ ถ้าใช้ coil เป็นวงจร resonant กับ Capacitor จะมีผลทางความถี่ดังนี้คือ

$$dW = (-w^2 CdL)/2$$

ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อเกิดค่า dL คือมีโลหะมาใกล้ ขดลวดนั้นจะทำให้ความถี่ของ LC resonant ลดลงไป

## 2.2 เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวด

ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic force) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างกระแสกับจำนวนรอบของขดลวดหรือเท่ากับผลคูณระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็กกับค่าการเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{mmf} = NI = HL$$

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด แล้วจะทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้นมา สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ได้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก และจะได้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมาจากผลของสนามแม่เหล็กนั่นเอง เส้นแรงแม่เหล็กนี้เองที่ทำให้เกิด linkage flux ซึ่ง flux นี้เองที่เรานำไปใช้งาน

จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) เมื่อแรงเคลื่อนผ่านลูปปิดหนึ่งๆจะมีกระแสไหลผ่านเกิดขึ้น โดยมีทิศทางตรงกันข้ามของกระแสสวนทางกับทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นเอง

ดังนั้นเมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้เกิดกระแสขึ้น ถ้ามีขดลวดพันด้วยจำนวนรอบเท่ากับ N รอบ เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ก็คือ  $\text{mmf} = NI$  นั่นเอง

จากความสัมพันธ์ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) และความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B) จะทำให้เกิด

$$B = \mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ซึ่งก็คือจะเกิดความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กบนตนเองและผลอันนี้เราก็จะได้ฟลักซ์แม่เหล็ก

(φ) หาได้จากผลคูณระหว่าง พื้นที่หน้าตัดของขดลวดกับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

$$\phi = BA$$

จากกฎของเลนซ์ (Lenze's Law) ถ้ามีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไหลผ่านลูปปิดอันหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดนั้น ๆ จะมีฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น ฟลักซ์แม่เหล็กตัวนี้จะทำให้เกิด linkage flux จากสมการ

$$X = N\phi$$

จากคุณสมบัติของ linkage flux ซึ่งเราต้องนำไปใช้งาน สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$mmf = NI = HL$$

$$I = HL/N = BL/\mu N$$



### บทที่ 3 ประเภทของเครื่องตรวจจับโลหะ (METAL DETECTOR)

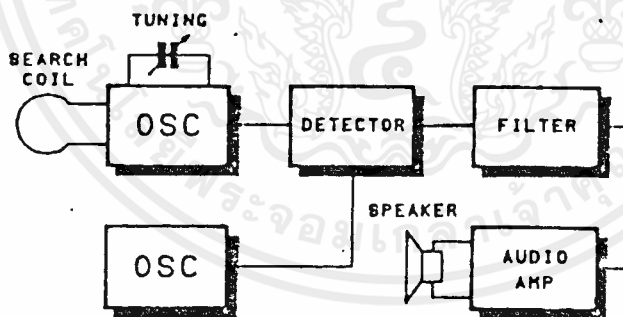
ในปัจจุบันได้มีการทำเครื่องตรวจจับโลหะ (METAL DETECTOR) ออกมามากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป แต่ที่ได้รับความนิยมและรู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

- 3.1. Beat Frequency Oscillator (BFO)
- 3.2. VLF Phase Angle
- 3.3. Pulse Induction (PI)
- 3.4. Off Resonance
- 3.5. Induction Balance (IB) และ Transmit/receive (TR)

ซึ่งจะได้อธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะแต่ละชนิด ดังต่อไปนี้

#### 3.1. Beat Frequency Oscillator (BFO)

เป็นชนิดที่ง่ายที่สุด โดยมีหลักการทำงานดัง Block diagram ต่อไปนี้



รูปที่ 4 Block Diagram ของวงจร Beat Frequency Oscillator (BFO)

ในวงจรนี้จะมี วงจร Oscillator 2 วงจร ซึ่งจะสร้างความถี่ออกมาที่ใกล้เคียงกันมาก โดยวงจรหนึ่ง จะใช้สร้างความเป็น Reference Frequency ส่วนอีกวงจรหนึ่งจะเปลี่ยนค่าความถี่ได้ โดยค่า inductance ที่ Search coil ขณะที่มีโลหะเข้าใกล้ เมื่อวงจร Oscillator ทั้งสอง มีความถี่ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำมาผ่านวงจร detector เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

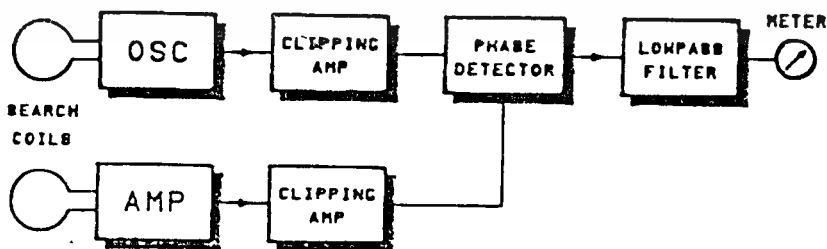
สัญญาณ output ที่ได้จะเกิดเป็นสัญญาณ "beat" ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าความถี่ทั้งสอง ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นสัญญาณที่เรารับฟังได้ (Low audio) โดยผ่านวงจร Filter แล้วส่งออกทาง headphone

สัญญาณที่ออกทาง headphone จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ขณะที่มิโลหะเข้าใกล้ Search coil คือ เมื่อเป็นโลหะชนิด ferrous จะมีผลทำให้ค่า inductance ที่ Search coil มีค่าเพิ่มขึ้น ความถี่ของวงจร Oscillator จะมีค่าลดลง ทำให้สัญญาณที่ออกทาง headphone นั้นตกลง ในทางตรงกันข้าม สำหรับโลหะที่เป็น non-ferrous จะมีผลทำให้ค่า inductance ที่ Search coil มีค่าลดลง ความถี่ Oscillator จะเพิ่มขึ้น ทำให้สัญญาณที่ headphone นั้นสูงขึ้น

สำหรับเครื่องชนิดนี้ จะใช้ความถี่สูง คือประมาณ 125 KHz ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดจาก ground capacitance และยังมีข้อเสียอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น ต้องใช้วงจร Oscillator 2 วงจร และต้องคอยปรับความถี่ใหม่ทุกครั้งที่ใช้งาน และมี sensitivity ที่ต่ำ แต่มีราคาถูกลง

### 3.2. VLF Phase Angle

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้ค่าความต่างเฟสมาเป็นตัวตรวจจับ ซึ่งมีการทำงานดังใน Block diagram ต่อไปนี้



รูปที่ 5 Block Diagram ของวงจร VLF Phase Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

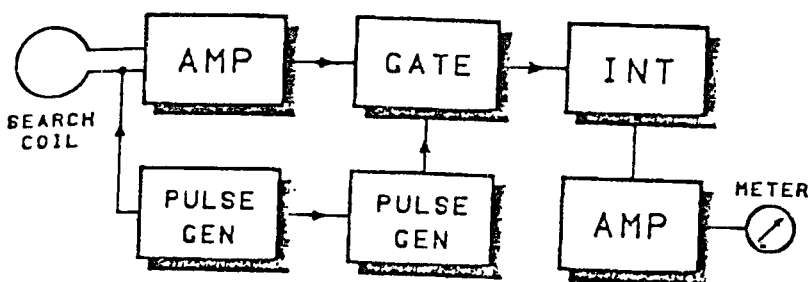
สำหรับวงจรนี้ จะใช้ ขดลวด 2 ขด ซึ่งทำหน้าที่เป็น Search coil โดยขดหนึ่ง จะต่ออยู่กับวงจร Oscillator ซึ่งจะสร้างสัญญาณที่เป็น Square wave ออกมาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่ง จะเป็นตัวรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแล้วนำไปเข้าวงจร Amplifier เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นนำสัญญาณ Square wave ทั้งสอง ไปเข้าวงจร Phase detector เพื่อสร้างสัญญาณที่เกิดจากความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง และเมื่อมีโลหะเข้าใกล้ Search coil จะทำให้ค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีความต่างเฟสมากขึ้น เมื่อโลหะนั้นเป็น ferrous และความต่างเฟสจะลดลงถ้าเป็นโลหะชนิด non-ferrous หลังจากนั้น สัญญาณที่ได้จากความต่างเฟสนี้จะผ่านเข้าวงจรกรองความถี่ชนิด Low pass filter เพื่อกรองคอมโปเนนต์ความถี่สูง และนำไปเร็คติไฟร์เป็นสัญญาณแรงดันดี.ซี. ซึ่งสามารถวัดได้จาก meter หรืออาจนำไปเข้า วงจร chopper เพื่อสร้างเป็นสัญญาณ Low audio ที่เราสามารถรับ ฟังได้

วิธีนี้จะใช้ที่ความถี่ต่ำ ๆ ประมาณ 3-6 KHz ซึ่งมีความสามารถทะลุทะลวงผ่านพื้นผิวบริเวณที่ตรวจจับได้ดี และป้องกันผลจาก ground capacitance ด้วย อย่างไรก็ตาม วงจรนี้จะกินกระแสมาก เพื่อให้ได้ sensitivity สูงๆ กับโลหะที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องใช้แบตเตอรี่ ขนาด ใหญ่ นอกจากนี้ ความสามารถในการหาค่าตำแหน่งที่แน่นอน (pinpoint) ก็ไม่ค่อยดี

สำหรับความสามารถในการตรวจจับ สำหรับเหรียญ 1 บาท ได้ในระยะ 60-80 mm. และสำหรับเหรียญ 5 บาท ได้ในระยะ 100-150 mm.

### 3.3. Pulse Induction (PI)

ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะชนิด PI เป็นดังรูปที่ 6



เนื่องจากเราทราบว่า Coil จะสร้างสนามแม่เหล็กออกไป เป็นสัดส่วนกับจำนวนของกระแสที่ผ่านเข้าไปใน Coil และจำนวนรอบของ Coil

จากวงจร Pulse Generator จะส่งสัญญาณที่เป็น Pulse ช่วงสั้น ๆ ไปยัง Search Coil ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ Coil ที่ขั้วขาลงของสัญญาณแต่ละ Pulse สนามแม่เหล็กบริเวณ Coil จะลดลง จนกระทั่ง Voltage ตกลงเป็น 0 ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน Coil แต่เนื่องจาก Coil สะสมพลังงานไว้ภายใน จึงเกิดเป็น back e.m.f. เนื่องจากสนามแม่เหล็กไหลกลับ ซึ่งทำให้ Voltage ครอบ Coil มีทิศตรงข้าม (Reverse Voltage) แต่เนื่องจากเป็นพลังงานสะสมจึงสลายตัวลงจน back e.m.f. ตกลงเป็น 0 และเราใช้การสลายตัวนี้เป็นจุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการตรวจจับโลหะ

เมื่อมีโลหะไม่ว่าจะเป็น Ferrous หรือ Non-Ferrous เข้าใกล้ Coil มันจะได้รับผลจาก สนามแม่เหล็ก เกิดเป็น eddy current หรือ magnetized ที่โลหะนั้นตามแต่ชนิดของโลหะและผลนี้จะเป็นชนิดใดก็ตาม จะทำให้ back e.m.f. ที่ตกไปเป็น 0 มีระยะเวลายาวกว่าเดิม

วงจร detector จะเป็นวงจรที่ตรวจจับจากพื้นที่ภายใต้สัญญาณของการ decay ของ back e.m.f. ซึ่งจะทำให้โดย นำสัญญาณจาก Coil มาขยาย และทำเป็น Sample Voltage ซึ่งไปเข้า integrator ซึ่งจะทำให้ integrator สร้าง output เป็น Voltage ที่เป็นสัดส่วนกับ เวลาในการ decay ของ back e.m.f. แล้วนำ Voltage จาก output ของ integrator นี้ไปควบคุม Voltage control oscillator (VCO) ซึ่งไปขับลำโพงอีกทีหนึ่ง

สำหรับเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะมี Sensitivity มาก โดยส่วนประกอบของเครื่องนี้จะเป็นโลหะไม่ได้ เพราะจะไปรบกวนและมีผลต่อเครื่องตรวจจับ แต่ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Ground Effect สำหรับข้อเสียคือ ไม่สามารถแยกได้ว่า โลหะชนิดนั้นเป็น Ferrous หรือ Non-Ferrous และยังต้องใช้ Power มากด้วย

### 3.4. Off Resonance

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้ จะมีหลักการทำงานคล้ายกับวิธี Beat Frequency

Oscillator (BFO) แต่อาศัยหลักการ balance ของสนามแม่เหล็กด้วยดังต่อไปนี้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในบางประการ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

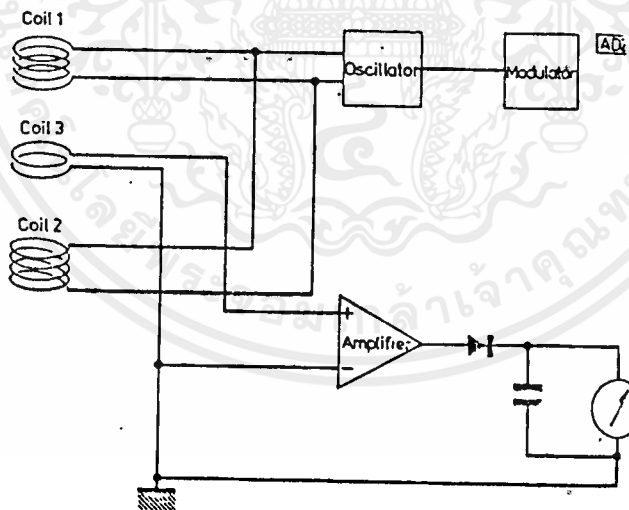
หลักการทํางาน

วงจรออสซิลเลเตอร์จะส่งสัญญาณไปยังขดลวดส่ง (Transmit coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวด ขดลวดรับ (Receive coil) ซึ่งวางเหลื่อม (Overlapping) กันกับขดลวดส่งจะรับสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมดุล (Balance) ทำให้เกิดสัญญาณที่เอาท์พุทเพียงเล็กน้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลยเมื่อโลหะผ่านเข้ามาในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดการไม่สมดุล (Imbalance) ของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่ขดรับเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำไปผ่านวงจรขยาย (Amplifier) วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรอง (Filter) จะได้สัญญาณเอาท์พุทจากระบบเป็นสัญญาณแรงเคลื่อนค.ศ. นำสัญญาณนี้ไปใช้แสดงผลโดยต่อเข้ากับมิเตอร์, วงจรกำเนิดเสียง หรืออุปกรณ์ที่สามารถแสดงผลอื่นได้

เครื่องมือตรวจจับโลหะที่ใช้หลักการ Induction Balance (IB) จะแบ่งเป็น 2 ชนิดดังนี้

- 1. IB detector (Induction balance) ประกอบด้วย ขดลวดตรวจจับ 3 ชุด

ดังรูป



Block diagram of an IB detector. Coil 2 is wound in the reverse direction to Coil 1 . .

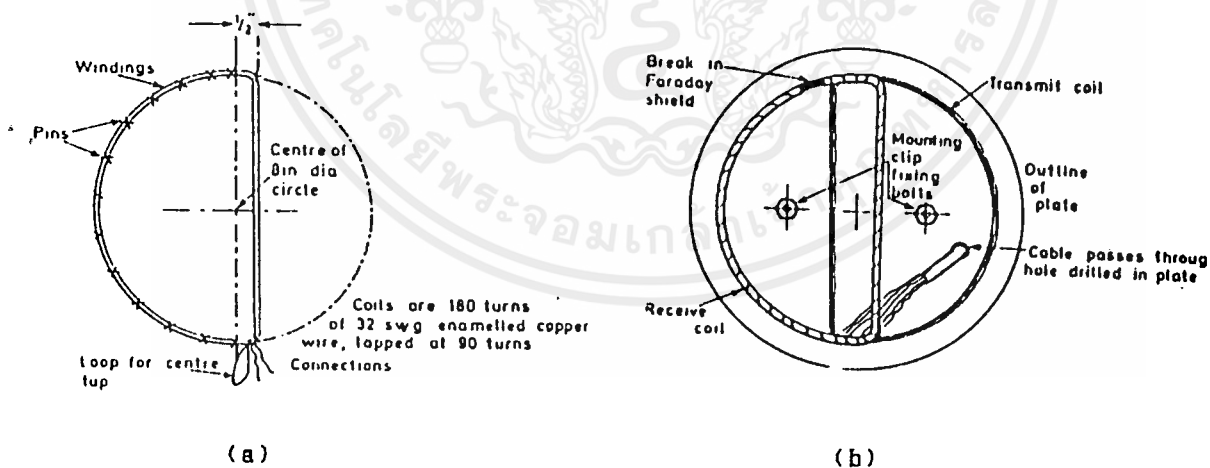
รูปที่ 8 Block Diagram ของวงจร IB detector

วงจรออสซิลเลเตอร์จะผลิตความถี่ป้อนเข้าขดลวด 2 ชุด โดยเรียงขดลวดทั้งสามดังนี้  
วงขดลวดทั้งสามซ้อนกัน โดยเว้นระยะห่างจากขดลวดขดกลาง ขดลวดที่อยู่ด้านบนและด้านล่างจะ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง

1. การพันขดลวดและการจัดตำแหน่งขดลวด

การพันขดลวด จะพันให้เป็นรูป D shape ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 10 วิธีการพันคือจะพันไปในทิศทางเดียวกันตลอด และจะ tap ตรงกลางออกมาส่วนหนึ่งแล้วพันต่อไปในทิศทางเดิม โดยจำนวนรอบเท่ากับในตอนแรก เสร็จแล้วจะพบว่ามียขดลวด 2 เส้นและส่วนที่ tap อีกหนึ่งเส้นซึ่งจะใช้เป็นขั้วไว้ต่อใช้งานต่อไป จากนั้นก็ยัดขดลวดเข้าด้วยกันซึ่งอาจใช้ขดลวดที่เหลือมัดรอบ ๆ เพื่อให้ขดลวดที่พันอยู่ตัวและจัดรูปได้ง่าย แล้วจัดรูปให้เป็นลักษณะรูปตัว D ดังในรูป 10(a) แล้วพันขดลวดอีกอันหนึ่งในลักษณะเดิม ให้เหมือนอันเดิมทุกประการ แล้วนำมาวางซ้อนกันให้เหลื่อมกันเล็กน้อย ดังในรูปที่ 10(b) แล้วนำไปทดลองกับวงจร (ซึ่งจะได้อีกกล่าวในหัวข้อต่อไป) ตรวจสอบตำแหน่งของขดลวดที่ทำให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุด เมื่อได้ตำแหน่งที่แน่นอนแล้วก็ยัดขดลวดให้อยู่ในตำแหน่งนั้นคงที่อย่าให้เคลื่อนเพราะจะทำให้สัญญาณที่ได้เปลี่ยนไปและไม่แน่นอน ซึ่งจากการทดลองเราจะใช้ เรซิน เทเคลือบขดลวดไว้ซึ่งได้ผลเป็นอย่างดี และสำหรับวิธีการเทเรซิน ได้อธิบายไว้อย่างละเอียดอยู่ในส่วนภาคผนวกแล้ว



รูปที่ 10 แสดงการพันขดลวด รูป D Shape

สำหรับการเลือกขนาดขดลวด จำนวนรอบการพัน และรัศมีการพันขดลวดนั้น หลังจากที่ได้ศึกษาและทดลองพันขดลวดในภาคการศึกษาที่แล้ว โดยการเปลี่ยนขนาดของขดลวด จำนวนรอบและรัศมีการพันขดลวดในแบบต่างๆหลายแบบ จึงเลือกใช้ขดลวด เบอร์ 32 พันจำนวน 100 รอบ และ tap 50 และมีรัศมี 7 ซม. เนื่องจากให้ผลดีที่สุด โดยเกณฑ์ในการพิจารณาขดลวดคือ ควรเลือกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดที่มีขนาดใหญ่และพันจำนวนรอบมาก ๆ เพราะจะทำให้ค่า inductance มาก มีผลให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง แต่ก็ไม่ควรให้มากเกินไปเพราะจะต้องจ่ายกระแสที่มากตามไปด้วย ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งผลอันนี้จะได้จากการทดลองเท่านั้น

2. ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) สามารถแบ่งเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 4 ส่วนดังนี้

- 2.1. วงจรกำเนิดสัญญาณช่ายน์ และภาครับ (Oscillator)
- 2.2. วงจรขยายสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier)
- 2.3. วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier)
- 2.4. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Window Comparator) และแสดงผล

สำหรับรายละเอียดในแต่ละวงจรมีดังนี้

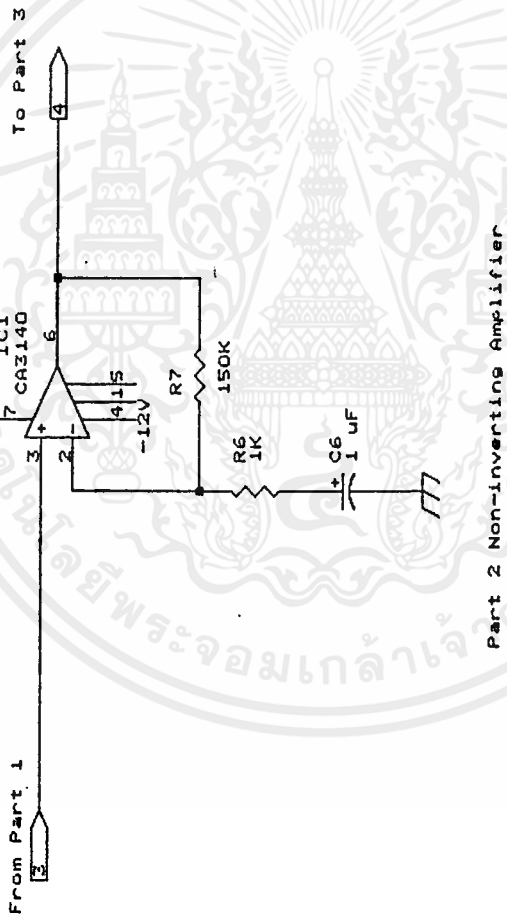
2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณช่ายน์ และภาครับ (Oscillator) มีวงจรดังรูปที่ 11

จากวงจร เราใช้  $L_1$  และ  $C_1$  เป็นตัวสร้างสัญญาณออสซิลเลต (sine wave) แล้วส่งออกไปรอบ ๆ ขดลวดส่ง (Transmit Coil) ในรูปของสนามแม่เหล็ก ด้วยความถี่ค่าหนึ่ง ที่คำนวณได้จากสมการ

$$f = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$$

ซึ่งจากการทดลอง เราคำนวณได้สัญญาณ sine ที่มีความถี่ เท่ากับ 3 KHz จากนั้นขดลวดรับ (Recieve Coil) ที่อยู่ใกล้ ๆ กันจะรับสัญญาณเข้ามาซึ่งมีความถี่และเฟสเหมือนเดิม แต่จะมีขนาดแอมพลิจูด ลดลงไปบ้างเนื่องจากการสูญเสียไปในอากาศ โดยในวงจรจะมี  $C_2$  เป็นตัวกรองสัญญาณ noise ออก และมี  $D_1$  กับ  $D_2$  เป็นตัวรักษาระดับแรงดันให้คงที่ และยังมี  $C_3$  เป็นตัวป้อนกลับสัญญาณ เมื่อมีโลหะเข้ามาใกล้ขดลวด จะทำให้ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเนื้อโลหะจะมีการดูดซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไว้ ซึ่งเราจะนำเอาสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดแอมพลิจูดนี้ ไปตรวจจับเพื่อที่จะบอกได้ว่ามีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดหรือเครื่องตรวจจับของเรา

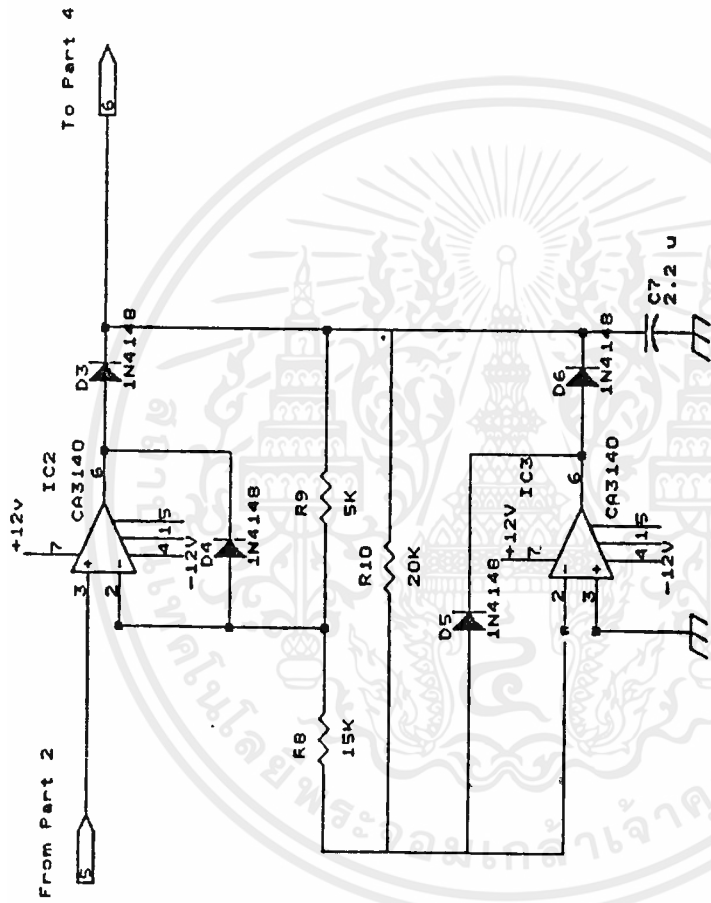
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Non-Inverting Amplifier	
Size Document Number	REV
A	
Date:	March 15, 1993 Sheet of

รูปที่ 12 วงจรขยายสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part 3 Fullwave rectifier

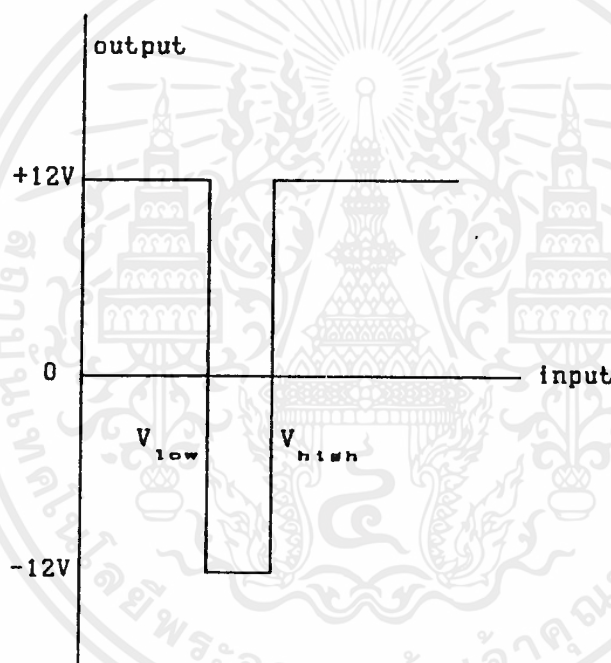
Fullwave rectifier	
Size Document Number	REV
A	
Date: March 15, 1993	Sheet of

รูปที่ 13 วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ  $V_{high}$  และ  $V_{low}$  จะเป็นแรงดันอ้างอิงคงที่ ซึ่งปรับได้จาก  $VR_1$  และ  $VR_2$  ตามลำดับ (โดย  $V_{high}$  ต้องมีค่ามากกว่า  $V_{low}$ ) เมื่อมีสัญญาณ input เข้ามา มีแรงค่าน้อยกว่า  $V_{low}$  จะทำให้ได้ output ของ  $IC_1$  เป็น low (-12V) และ output ของ  $IC_2$  เป็น high (+12V) และ output รวมจะเป็น high

เมื่อสัญญาณ input มีค่าแรงดันมากกว่า  $V_{low}$  แต่น้อยกว่า  $V_{high}$  จะทำให้ได้ output ของ  $IC_1$  เป็น low และ output ของ  $IC_2$  เป็น low และ output รวมเป็น low แต่เมื่อสัญญาณ input มีค่าแรงดันมากกว่า  $V_{high}$  จะทำให้ได้ output ของ  $IC_1$  เป็น high และ output ของ  $IC_2$  เป็น low และ output รวมเป็น high ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณ output ของวงจรในส่วนนี้ได้ดังรูป



รูปที่ 15 สัญญาณ output ของ วงจร Window Comparator

เมื่อได้สัญญาณ output ดังในรูปแล้ว ก็นำไปป้อนให้กับตัว Buzzer เพื่อให้แสดงผลโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวสวิตช์ ซึ่งมีการทำงานดังนี้

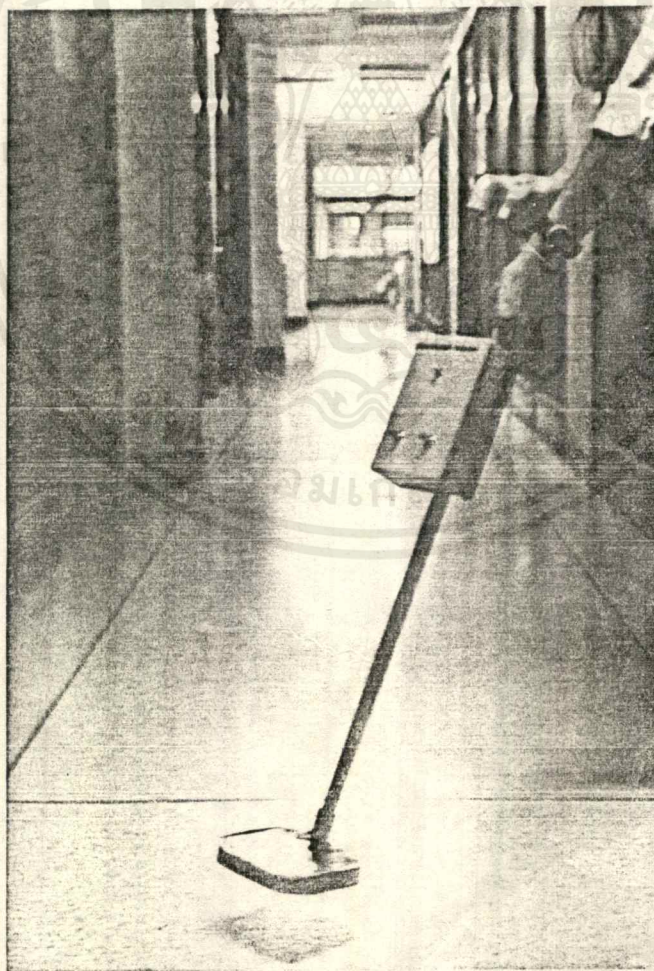
เมื่อสัญญาณ output เป็น high (+12V) จะทำให้มีกระแส bias ทรานซิสเตอร์ให้ทำงาน (on) ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะมี voltage เท่ากับขาคีมิตเตอร์ คือเท่ากับ 0 V ทำให้ voltage คร่อม Buzzer เท่ากับ 12V Buzzer จะทำงานโดยมีเสียงออกมา แต่เมื่อสัญญาณ output เป็น low (-12V) ก็จะไม่มีการ bias ให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนนี้ส่วนนี้เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (off) ขาคอลเลคเตอร์เสมือนปล่อยลอย Buzzer จึงไม่ทำงาน ก็จะไม่มีการมีเสียงออกมา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานและการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะ

ขั้นแรก เราต้องปรับให้ค่า  $V_{high}$  และ  $V_{low}$  อยู่ระหว่างค่าของสัญญาณไฟตรง (DC) ที่ได้จากวงจร Full Wave Rectifier โดยปรับให้แคบที่สุด ซึ่งขณะนี้จะได้สัญญาณ output ของวงจร Window Comparator เป็น low ทำให้ Buzzer ยังไม่ทำงาน

จากนั้น เมื่อมีโลหะเข้าไปใกล้ขดลวด (Search Coil) จะทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลให้ระดับของสัญญาณไฟตรง (DC) เปลี่ยนแปลงด้วย จนเลยหรือออกนอกขอบเขตของ  $V_{high}$  หรือ  $V_{low}$  จะทำให้ได้สัญญาณ output ของ วงจร Window Comparator เป็น high ซึ่งจะไปขับให้ Buzzer ทำงาน ส่งเสียงร้องบอก เราก็จะทราบทันทีว่ามีโลหะอยู่ใกล้ในรัศมีของขดลวด (Search Coil)



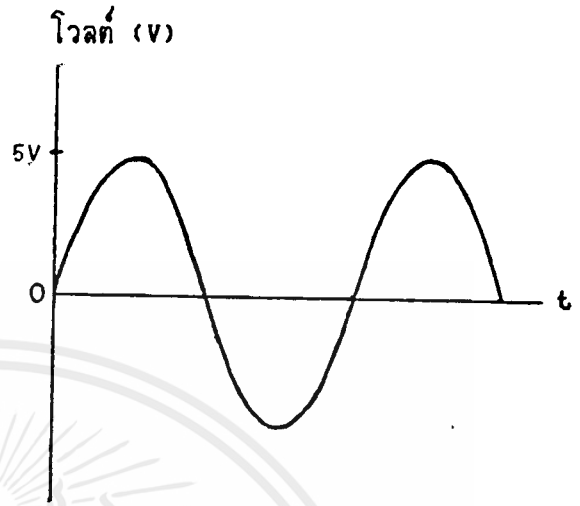
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 ผลการทดลอง

เมื่อทดลองต่อวงจรแล้วทำการวัดสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ในวงจรสามารถแสดงสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ดังนี้

1. สัญญาณที่ภาคส่ง (Transmit Coil)

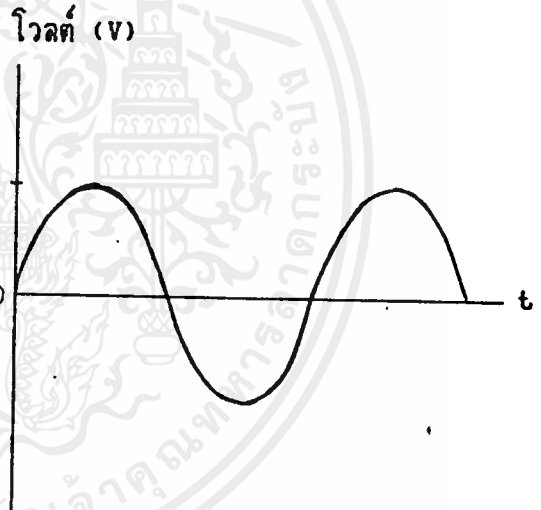
จะเป็นสัญญาณ sine wave มีความถี่ที่ 3 KHz ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 สัญญาณที่ภาคส่ง (Transmit Coil)

2. สัญญาณที่ภาครับ (Recieve Coil)

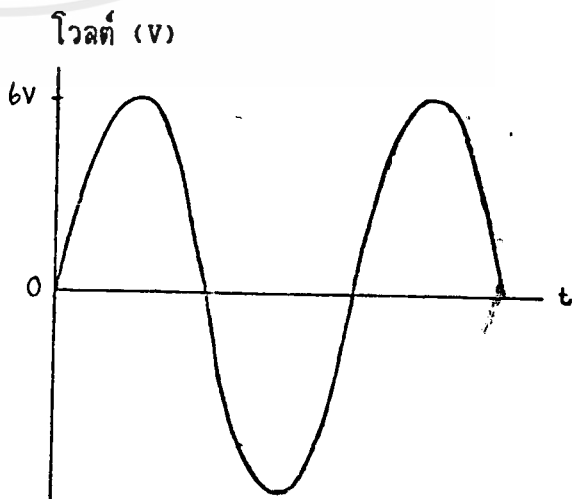
จะมีสัญญาณเหมือนกับภาคส่ง แต่จะมีขนาดแอมพลิจูดลดลงไปบ้างเนื่องจากการสูญเสียในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 สัญญาณที่ภาครับ (Recieve Coil)

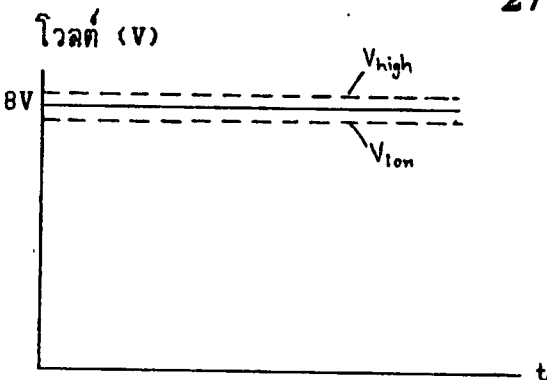
3. สัญญาณ output ของวงจรขยาย จะ

มีเฟสและความถี่เหมือนกับสัญญาณ input แต่จะมีขนาดแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น 150 เท่า ดังรูปที่ 18



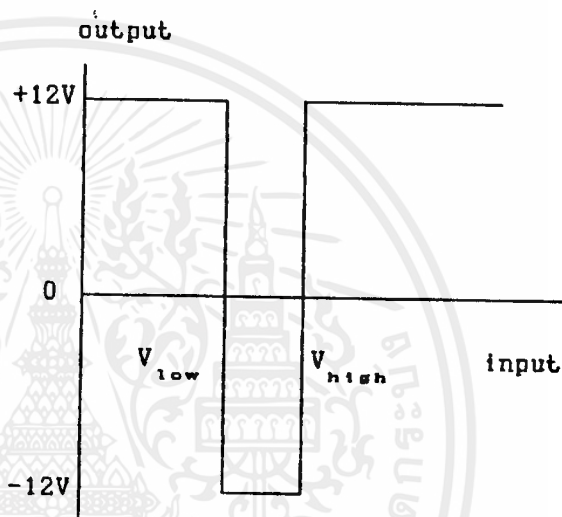
รูปที่ 18 สัญญาณ output ของวงจรขยาย

4. สัญญาณ output ของวงจรกรองสัญญาณ จะได้เป็นสัญญาณไฟตรง (DC) มีขนาดประมาณ 8 V ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 สัญญาณ output ของวงจรกรองสัญญาณ

5. สัญญาณ output ของ Window Comperator ถ้าสัญญาณไฟตรง(DC)อยู่ในช่วง  $V_{high}$  และ  $V_{low}$  แล้วจะได้ output เป็น -12V แต่ถ้านสัญญาณไฟตรง(DC)มีค่ามากกว่า  $V_{high}$  หรือ น้อยกว่า  $V_{low}$  แล้วจะได้ output เป็น +12V ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 สัญญาณ output ของ Window Comperator

เมื่อนำเครื่องตรวจจับโลหะนี้ ไปทดลองกับโลหะต่าง ๆ แล้ววัดระยะที่สามารถตรวจจับโลหะ นั้นได้ จะได้ผลดังตารางข้างล่างนี้

ชนิดโลหะ	ระยะ (ซ.ม.)	ชนิดโลหะ	ระยะ (ซ.ม.)
เหรียญ 5 บาท	7.5	ทองแดง (6x10 cm)	14.0
เหรียญ 1 บาท	5.0	เหล็ก (5x8 cm)	10.0
เหรียญ 50 สตางค์	4.0	อลูมิเนียม (6x10 cm)	8.0

## บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตรวจจับโลหะ คือ

- ความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณขดลวด ถ้าสนามแม่เหล็กมีความเข้มมากเกินไปและกระจายไปได้บริเวณกว้างจะทำให้ความไวในการตรวจจับดีขึ้น การเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของขดลวด กระแสที่จ่ายให้ขดลวด แต่การทำเช่นนั้น จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช่ไปในขดลวด ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง ฉะนั้นการกำหนดจำนวนรอบ และกระแสที่จ่ายให้แก่ขดลวดนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบว่า ต้องการให้เครื่องตรวจจับนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับมากน้อยเพียงใด
- ขนาดของเส้นลวดที่ใช้พัน ควรมีขนาดใหญ่ และต้องพันขดลวดให้มีจำนวนรอบที่มากพอ เพื่อให้ได้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมากๆ และการพันให้ขดลวดให้มีรัศมีกว้างทำให้ตรวจจับได้ในบริเวณกว้าง แต่การเลือกใช้ขดลวดที่มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้มีน้ำหนักมากและต้องจ่ายกระแสมากขึ้นตามไปด้วย เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน
- ตำแหน่งที่วางขดลวดรับและส่ง การจัดวางตำแหน่งของขดลวดทั้งสองมีผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจจับอย่างมาก โดยจะต้องจัดวางขดลวดในตำแหน่งที่ทำให้ได้สัญญาณที่ขดรับมีแอมพลิจูดน้อยที่สุดในขณะที่ไม่มีโลหะ และต้องทำการยึดขดลวดที่ได้จัดตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนของขดรับ ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อสัญญาณที่ขดรับ ทำให้ประสิทธิภาพลดน้อยลง
- ความถี่ในการออสซิลเลตของขดส่ง ตามปกติแล้วจะอยู่ระหว่าง 85 KHz ถึง 150 KHz ความถี่ในย่านนี้ จะทำให้ความไวในการตรวจจับสูง แต่มีข้อเสียคือ ถ้าในบริเวณที่ใช้ตรวจจับเป็นดินที่มีแร่ธาตุผสมอยู่มาก จะทำให้เครื่องให้สัญญาณที่ผิดพลาดได้ สามารถแก้ไขโดยทำการลดความถี่ในการออสซิลเลตของขดส่ง ที่ความถี่ระหว่าง 3-6 KHz ซึ่งทำให้ความไวในการตรวจจับลดลงไปด้วย
- ขนาดของวัตถุที่ตรวจจับ มีผลต่อระยะห่างที่สามารถตรวจจับได้ นั่นคือถ้าวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่ ระยะที่สามารถตรวจจับได้ก็จะเพิ่มขึ้น
- การปรับแต่งระหว่างการใช้งานมีผลต่อความไวในการตรวจจับดังนี้ การปรับ  $V_{high}$  และ  $V_{low}$  ให้ใกล้เคียงระดับสัญญาณไฟตรงมากเท่าไร ก็จะเพิ่มความไวในการตรวจจับ ดังนั้นขณะใช้งานจึงต้องทำการปรับ  $V_{high}$  และ  $V_{low}$  ตลอดเวลา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. R.A.Penfold ."LOW COST METAL LOCATOR".Everyday Electronics.  
June,1979.page 348-352.
2. The Prof ."PHASER METAL DETECTOR" . Practical Electronics.  
October,1988.page 12-17.
3. The Prof ."METAL DETECTOR". Practical Electronics.July,1988.  
page 17-21.
4. Ron De Jong."PROSPÉCTOR Metal Detector".Electronics Australia.  
November,1979.page 54-60.
5. Andy Flind."E.E.Buccaneer Induction Balance Metal Detector".  
Everday Electronics.July,1987.page 352-355.
6. คณะอนุกรรมการปรับปรุงคัมภีร์เทคนิคทางวิศวกรรม. "คัมภีร์เทคนิควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์".  
มกราคม 2531 โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

วิธีใช้และส่วนผสมเรซินหล่อใส (เบอร์ 240 BS ของเฮอรั่ม)

เรซินเบอร์นี้ ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาจากโรงงานแล้ว (มีสีฟ้าอ่อน) เวลาใช้งานใส่  
แต่ตัวทำแข็งอย่างเดียว มีคุณสมบัติดังนี้

1. เนื้อเรซินใสเหมือนแก้ว
2. มีความเหนียวกว่าเบอร์อื่น ๆ ไม่แตกง่าย
3. แห้งช้ามาก แห้งสนิทประมาณ 8-10 ชั่วโมง บางครั้งอาจต้องใช้ความร้อนอบ หรือ  
ตากแดดช่วยให้แห้งเร็วขึ้น

อัตราส่วนผสมของเรซิน เบอร์ 240 BS นี้ใช้ประมาณ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก

เรซิน

น้ำหนักเรซิน

1,000 กรัม (1 ก.ก.)

500 กรัม

100 กรัม

30 กรัม (1 ถ้วยแดง)

ใช้ตัวทำแข็ง

7 กรัม (หรือ 5 ซี.ซี.)

4 กรัม (หรือ 3 ซี.ซี.)

1 กรัม (ประมาณ 1 ซี.ซี. หรือ 25 หยด)

0.5 กรัม (ประมาณ 10-12 หยด ของ

หลอด 15 ซี.ซี.)

ส่วนผสมตามตัวอย่างนี้ ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จึงถอดออกจากแม่พิมพ์ได้  
แล้ววางไว้ จนกว่าจะแห้งสนิท 10 ชั่วโมง

คำแนะนำและข้อควรระวัง

1. ถ้าทำงานช่วงบ่ายแดดร้อนจัด ควรลดตัวทำแข็งลงใช้ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ ถ้าทำงาน  
ช่วงค่ำ หรือตอนฝนตก อากาศเย็นต้องเพิ่มตัวทำแข็งเป็น 1-2 เปอร์เซ็นต์ (ไม่ควรใช้มากกว่านี้  
เพราะชิ้นงานจะแตกร้าวเองได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เรซินมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยา คือ ระยะแรก จะเป็นลักษณะคล้ายวันภายใน 20-30 นาที ระยะที่สอง จะเกิดความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนแห้งสนิท ฉะนั้นเมื่อใส่ตัวทำแข็งแล้วต้องรีบกวนให้เข้ากัน และใช้งานให้หมดภายใน 20 นาที (แล้วแต่ความชำนาญ)

3. ถ้างานที่หล่อเป็นชิ้นใหญ่ หรือหนามาก ต้องลดตัวทำแข็งลง เพราะปริมาณเรซินมากก็จะเกิดความร้อนมาก ทำให้แห้งเร็วขึ้นอาจทำไม่ทัน และเมื่อขึ้นงานแห้งสนิทจะแตกเอง ถ้าใส่ตัวเร่งมาก (ต้องลดลง)

4. ควรผสมสีหรือผงหินอ่อนในเรซินก่อนและแช่ทิ้งไว้ครึ่งวัน ในขณะที่กวนให้เข้ากันมันจะเกิดฟองมาก ควรตั้งทิ้งไว้ให้ฟองหมดเสียก่อน แล้วจึงนำมาแบ่งใส่ตัวทำแข็งภายหลังเมื่อจะใช้งาน

5. เรซินทุกเบอร์ ถ้าเก็บไว้นานหลายเดือนจะข้นมากใช้วานไม่ได้ ต้องผสมโมโนไสไตรน (หรือสไตรีน โมโนเมอร์) ประมาณ 5-7 % ของน้ำหนักเรซิน กวนให้เข้ากันให้เรซินเหลวเหมือนใหม่ แล้วทิ้งให้ฟองอากาศหมดก่อนประมาณ 3 ชั่วโมงขึ้นไป จึงแบ่งออกมาผสมตัวทำแข็งใช้งานต่อไป

# μA741

## FREQUENCY-COMPENSATED OPERATIONAL AMPLIFIER

### FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

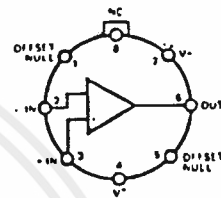
**GENERAL DESCRIPTION** — The μA741 is a high performance monolithic Operational Amplifier constructed using the Fairchild Planar\* epitaxial process. It is intended for a wide range of analog applications. High common mode voltage range and absence of latch-up tendencies make the μA741 ideal for use as a voltage follower. The high gain and wide range of operating voltage provides superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications. Electrical characteristics of the μA741A and E are identical to MIL-M-38510/10101.

- NO FREQUENCY COMPENSATION REQUIRED
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- LARGE COMMON MODE AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGES
- LOW POWER CONSUMPTION
- NO LATCH-UP

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Supply Voltage	
μA741A, μA741, μA741E	±22 V
μA741C	±18 V
Internal Power Dissipation (Note 1)	
Metal Can	500 mW
Molded and Hermetic DIP	670 mW
Mini DIP	310 mW
Flatpak	570 mW
Differential Input Voltage	±30 V
Input Voltage (Note 2)	±15 V
Storage Temperature Range	
Metal Can, Hermetic DIP, and Flatpak	-65°C to +150°C
Mini DIP, Molded DIP	-55°C to +125°C
Operating Temperature Range	
Military (μA741A, μA741)	-55°C to +125°C
Commercial (μA741E, μA741C)	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering)	
Metal Can, Hermetic DIPs, and Flatpak (60 s)	300°C
Molded DIPs (10 s)	260°C
Output Short Circuit Duration (Note 3)	Indefinite

**CONNECTION DIAGRAMS**  
**8-LEAD METAL CAN**  
 (TOP VIEW)  
 PACKAGE OUTLINE 5B

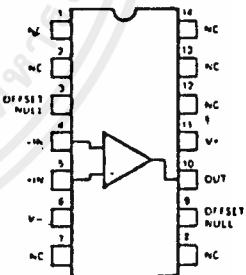


Note: Pin 4 connected to case

**ORDER INFORMATION**

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AHM
μA741	μA741HM
μA741E	μA741EHC
μA741C	μA741MC

**14-LEAD DIP**  
 (TOP VIEW)  
 PACKAGE OUTLINE 6A, 8A



**ORDER INFORMATION**

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741ADM
μA741	μA741DM
μA741E	μA741EDC
μA741C	μA741DC
μA741C	μA741PC

**8 LEAD MINIDIP**  
 (TOP VIEW)  
 PACKAGE OUTLINES 6T 8T  
 PACKAGE CODES T R

**ORDER INFORMATION**

TYPE	PART NO.
μA741C	μA741TC
μA741C	μA741RC

**10 LEAD FLATPAK**  
 (TOP VIEW)  
 PACKAGE OUTLINE 3F

**ORDER INFORMATION**

TYPE	PART NO.
μA741A	μA741AFM
μA741	μA741FM

Notes on following pages.

\*Planar is a patented Fairchild process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD LINEAR INTEGRATED CIRCUITS •  $\mu$ A741

$\mu$ A741A					
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_S = \pm 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)					
PARAMETERS (see definitions)	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$R_S < 50\Omega$		0.8	3.0	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current			3.0	30	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5	nA/°C
Input Bias Current			30	80	nA
Power Supply Rejection Ratio	$V_S = +10, -20; V_S = +20, -10V, R_S = 50\Omega$		15	50	$\mu V/V$
Output Short Circuit Current		10	25	35	mA
Power Dissipation	$V_S = \pm 20V$		80	150	mW
Input Impedance	$V_S = \pm 20V$	1.0	6.0		M $\Omega$
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 20V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 15V$	50			V/mV
Transient Response (Unity Gain)	Rise Time		0.25	0.8	$\mu s$
	Overshoot		6.0	70	%
Bandwidth (Note 4)		437	1.5		MHz
Slew Rate (Unity Gain)	$V_{IN} = \pm 10V$	0.3	0.7		V/ $\mu s$
The following specifications apply for $-55^\circ C < T_A < +125^\circ C$					
Input Offset Voltage				4.0	mV
Input Offset Current				70	nA
Input Bias Current				210	nA
Common Mode Rejection Ratio	$V_S = \pm 20V, V_{IN} = \pm 15V, R_S = 50\Omega$	80	95		dB
Adjustment For Input Offset Voltage	$V_S = \pm 20V$	10			mV
Output Short Circuit Current		10		40	mA
Power Dissipation	$V_S = \pm 20V$	$-55^\circ C$		165	mW
		$+125^\circ C$		135	mW
Input Impedance	$V_S = \pm 20V$	0.5			M $\Omega$
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V, R_L = 10k\Omega$		$\pm 16$		V
		$R_L = 2k\Omega$	$\pm 15$		V
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 20V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 15V$	32			V/mV
	$V_S = \pm 5V, R_L = 2k\Omega, V_{OUT} = \pm 2V$	10			V/mV

**NOTES**

- Rating applies to ambient temperatures up to  $70^\circ C$ . Above  $70^\circ C$  ambient, derate linearly at  $6.3mW/^\circ C$  for the metal can,  $8.3mW/^\circ C$  for the DIP and  $7.1mW/^\circ C$  for the Flatpak.
- For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- Short circuit may be to ground or either supply. Rating applies to  $-125^\circ C$  case temperature or  $75^\circ C$  ambient temperature.
- Calculated value from:  $BW(MHz) = \frac{0.35}{\text{Rise Time } (\mu s)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้