

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023254 11. ลค. 7532

## คำนำ

เนื่องจากไมโครโฟนแบบรับเสียงทิศทางเดียว ที่มีขายตามท้องตลาดมีราคาแพงมาก จึงคิดว่าถ้าสามารถทำไมโครโฟนแบบนี้ ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน มีความคงทนในการใช้งาน นอกสถานที่และราคาถูกลงกว่า จะทำให้ไมโครโฟนชนิดนี้เป็นที่นิยมมากขึ้น แล้วยังนำไปใช้งานอื่นๆ นอกจากงานด้านถ่ายทอดเสียงเช่น ใช้ตรวจจับทิศทางของเสียงว่าแหล่งกำเนิดเสียงมาจากทิศทางใด

จากทฤษฎี มีวิธีที่ทำไมโครโฟนแบบนี้หลายวิธีแต่ วิธีที่นิยมกันคือ ใช้จานพาราโบลิก รับเสียง แล้วสะท้อนมาที่จุดโฟกัส เอาไมโครโฟนมารับเสียงตรงจุดโฟกัส แต่วิธีนี้ไม่ค่อยสะดวกในการใช้งานนักเพราะเกะกะ อีกวิธีคือ ใช้ท่อแบบต่างๆ แล้วให้เสียงหักล้างทาง เฟสกัน ทำให้เสียงที่ผ่านมาถึงไดอะแฟรม มีเพียงทิศทางตรงกับท่อเท่านั้น

## สารบัญ

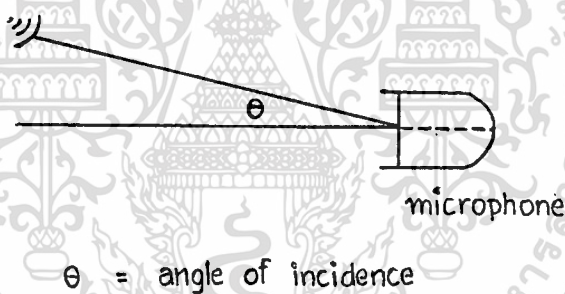
	หน้า
บทนำ .....	1
บทที่ 1 คุณสมบัติของไมโครโฟน .....	2
บทที่ 2 ไดอานแฟรม .....	3
บทที่ 3 ชนิดของไมโครโฟน .....	9
บทที่ 4 ลักษณะการรับเสียงของไมโครโฟน .....	42
บทที่ 5 ไมโครโฟนทิศทางเดี่ยวชนิดต่างๆ .....	50
บทที่ 6 วงจรและการออกแบบ .....	62
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง .....	67
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผล .....	75
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทนำ

ไมโครโฟน เป็นเครื่องมือที่กำหนดที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ไมโครโฟนจะประกอบไปด้วยไดอะแฟรมซึ่งมีอยู่หลายชนิด หรือ ส่วนเคลื่อนที่ ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณทางเสียง เอาพุกที่ออกมาจะเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัญญาณที่เสมือนทั้งรูปร่างและขนาดกับสัญญาณทางอินพุต

สิ่งซึ่งต้องคำนึงถึงเกี่ยวกับไมโครโฟน ประการแรกคือ วัตถุที่ขัดขวางการรับเสียง และมุมจากแหล่งกำเนิดเสียงมายังไมโครโฟน (Angle of incidence) ซึ่งจะมีผลต่อความดันที่ส่งให้กับไดอะแฟรม ทำให้การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนเปลี่ยนแปลงไป สามารถควบคุมได้โดยการเลือกขนาดและรูปร่างของไมโครโฟน



ประการที่สอง คือ การเกิดกำทอน (Resonance) ในอากาศบริเวณใกล้กับไดอะแฟรม การเกิดกำทอนอาจลดลงได้โดยการออกแบบอย่างระมัดระวัง แต่ในบางสถานการณ์ การเกิดกำทอนสามารถนำมาใช้ทดแทนการสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนอื่นของไมโครโฟนที่ความถี่เดียวกันได้

ประการที่สาม คือ ความต้านทานของไมโครโฟน จะมีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาพุกกับความดันเสียง

บทที่ 1

คุณสมบัติของไมโครโฟน

คุณสมบัติโดยทั่วไป

ไมโครโฟนที่ดีจะต้องมีความแน่นอนในการตอบสนองสัญญาณเสียง คือ ถ้าสัญญาณเสียงมีระดับคงที่ ระดับแรงดันเอาพุทจะต้องคงที่ด้วยไม่ว่าจะอยู่ที่ความถี่ใด นอกจากนี้ไมโครโฟนจะต้องไม่ทำให้เกิดคลื่นฮาร์โมนิค สัญญาณเอาพุทจะต้องมีขนาดสูงกว่าสัญญาณรบกวน และไมโครโฟนไม่ควรจะตอบสนองต่อสัญญาณจากสิ่งแวดล้อม เช่น ไฟฟ้าสถิตย์ สนามแม่เหล็ก เป็นต้น

คุณสมบัติทางทิศทาง

คุณสมบัติทางทิศทางของไมโครโฟนอยู่ที่การเลือกใช้ ว่าต้องการใช้งานในลักษณะใดต้องการเสียงจากสถานแวดล้อมด้วย หรือต้องการแต่เสียงจากแหล่งกำเนิดเพียงอย่างเดียว

คุณสมบัติพิเศษ

โดยทั่วไปไมโครโฟนจะให้สัญญาณเอาพุทต่ำลง เมื่อห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง ในบางกรณีก็จำเป็นต้องใช้ไมโครโฟนจากระยะไกล ซึ่งเสียงรบกวนจากสถานแวดล้อมจะกลบเสียงจากแหล่งกำเนิด ไมโครโฟนที่ใช้ต้องมีตัวปรับแต่งเสียง (Equaliser) ร่วมอยู่ด้วย

ความไวของไมโครโฟน คือ การวัดเอาพุทของไมโครโฟนทางไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอินพุททางอคูสติก วัดได้สามวิธี คือ

1. แรงดันขณะเปิดวงจร ที่ ๑ เดซิเบล เท่ากับ 1 V/ $\mu$ bar

2. กำลังเอาพิกสูงสุด ที่ 0 เดซิเบล เท่ากับ 1 mW/10  $\mu$ bar

3. ระดับความไวของสมาคมไฟฟ้าอุตสาหกรรม ( Electronic Industries Association ) EIA. ที่ 0 เดซิเบล เท่ากับ EIA. มาตรฐาน SE-105

### สัญญาณรบกวน (Noise)

เป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังในการใช้ไมโครโฟน แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. เกิดจากตัวเอง(Self Noise)

2. จากแหล่งกำเนิดเสียงภายนอก (External Noise)

1. สัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวเอง เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ ที่มีอยู่ในวัตถุตัวนำ การเคลื่อนที่เป็นแบบสุ่ม ความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุตัวนำ กระแสที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันในสารกึ่งตัวนำ และเนื่องจากเป็นกระแสแบบสุ่ม ความถี่ของสเปกตรัมที่ได้จึงเป็นช่วงกว้าง

การเหนี่ยวนำชนิดนี้เกิดที่ด้านอินพุท และผ่านวงจรขยายออกมาที่เอาพิก

นอกจากนี้สวิตช์ หรือแหล่งจ่ายไฟก็ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ และถ้าเกิดที่ด้านอินพุทของวงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง ก็จะทำให้เกิดผลเสียมาก

ขณะที่คนออกแบบสามารถออกแบบเพื่อลดฮัม (hum) และสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟได้ ก็ยังต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวนอย่างอื่นอีก เช่น สัญญาณรบกวนระยะสั้น (Short Noise) เกิดจากกระแสอาโนดของสวิตช์ผ่านวงจรขยาย กระแสนี้เกิดจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มอิเล็กตรอนอิสระจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่ไปถึงอาโนดเปลี่ยนแปลงในช่วงสั้นๆ ทำให้เกิดไฟสลับที่มานับไม่ตรง

2 สัญญาณรบกวนจากภายนอก

-ภายในสถานที่ แก้วไข โดยการออกแบบและติดตั้งที่ดี

-ภายนอกสถานที่ เกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น การจราจร แก้ไขโดยใช้วัสดุซับเสียง  
มากขึ้นเสียงที่ไม่ต้องการ เกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ลม แก้ไขโดยใช้ระบบแดมพ์-มูฟริง เช่น ใช้  
ความต้านทานควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

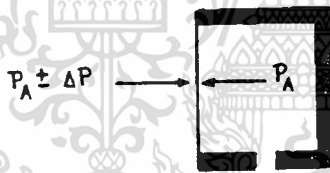
## บทที่ 2

### ไดอะแฟรม

ไดอะแฟรมจะรับแรงทางเสียงได้ 3 วิธีคือ จากการกระทำของแรงดันโดยตรงจากการกระทำเนื่องจากความแตกต่างของแรงดัน และจากการกระทำเนื่องจากการเลื่อนเฟส

#### การกระทำเนื่องจากแรงดัน

แหล่งกำเนิดเสียงจะส่งคลื่นเสียงออกมา โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความดันบรรยากาศ ถ้าความดันที่เปลี่ยนแปลงนี้สามารถแยกออกจากความดันของอากาศได้ ก็จะมีความดันส่งไปยังไดอะแฟรมของไมโครโฟน ไมโครโฟนที่ออกแบบเพื่อแยกความดันอากาศออกเรียกว่าใช้การทำงานของแรงดัน ซึ่งมีลักษณะประกอบไปด้วย แผ่นไดอะแฟรมบางๆ ซึงกันตัวไมโครโฟน ซึ่งที่อากาศมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศอยู่ด้านใน



รูป 2.1

ด้านหน้าของไดอะแฟรมจะได้รับความดันจากเสียง  $\pm \Delta P$  ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ  $P$  ด้านหลังของไดอะแฟรมจะเป็นอากาศ และมีช่องเล็กๆอยู่ที่ตัวไมโครโฟน ช่องนี้จะเป็นช่องที่ทำให้ความดันในตัวไมโครโฟนเท่ากับบรรยากาศ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงช้าเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วของเสียงไม่อาจผ่านช่องนี้ได้

ถ้า  $A$  คือพื้นที่ของไดอะแฟรมแรงดันทั้งหมดที่บริเวณด้านหน้าของไดอะแฟรมจะเท่ากับ  $A(P_A \pm \Delta P)$  และแรงดันที่ด้านหลังของไดอะแฟรมเท่ากับ  $AP_A$  ซึ่งความแตกต่างของแรงดันทั้งสองคือ แรงที่ไดอะแฟรมได้รับ

$$F = A(P_A \pm \Delta P) - AP_A$$

$$= \pm A \Delta P$$

แรงที่ไดอะแฟรมได้รับนี้แปรผันตามความดันทางเสียง และจะไม่ขึ้นกับความถี่ ไม่ว่าเสียงนั้นจะมาจากแหล่งกำเนิดบริเวณใด เพราะถือว่าขนาดของไดอะแฟรมและตัวไมโครโฟนมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของเสียง

การกระทำเนื่องจากความแตกต่างของความดัน

ไมโครโฟนแบบนี้ต่างจากแบบแรกคือ บริเวณด้านหน้าและหลังของไดอะแฟรม จะได้รับความดันเสียงทั้งสองด้าน คลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดจะถูกแยกจากกัน โดยความหนาของไดอะแฟรม และระยะทางที่คลื่นเสียงที่มายังไมโครโฟน ต้องอ้อมบริเวณหัวของไดอะแฟรม จากด้านหน้าไปด้านหลัง จะเท่ากับ  $d$  ซึ่งการกระทำเช่นนี้จะทำให้คลื่นเสียงด้านหน้าและด้านหลังของไดอะแฟรมมีเฟสต่างกันซึ่งขึ้นกับระยะทาง  $d$  เกิดความแตกต่างของแรงดัน และความแตกต่างแรงดันนี้ขึ้นอยู่กับ  $d$  และความถี่ของคลื่นเสียงด้วย ความดันที่ไดอะแฟรมได้รับจะเท่ากับ

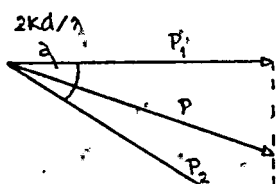
$$P = P_1 - P_2$$

$P_1$  คือ ความดันที่บริเวณด้านหน้าไดอะแฟรม

$P_2$  " " "หลัง" " มีขนาดเท่ากับ  $P$

แต่ต่างเฟส

$P_1$  และ  $P_2$  ต่างก็เป็นเวกเตอร์ ดังนั้นการบวกจึงต้องทำแบบเวกเตอร์ด้วย







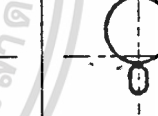
บทที่ 3  
ชนิดของไมโครโฟน

การแบ่งชนิดของไมโครโฟน ทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่หนึ่ง เป็นการแบ่งตามลักษณะการทำงานภายในไมโครโฟน เช่น คาร์บอนไมโครโฟน คริสตอลไมโครโฟน รีบบอนไมโครโฟน ไดนามิกไมโครโฟน คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟน

วิธีที่สอง เป็นการแบ่งตามลักษณะของการตอบสนองความถี่ ซึ่งแบ่งได้ดัง

ตาราง 3.1

MICROPHONE	OMNIDIRECTIONAL	BIDIRECTIONAL	DIRECTIONAL	"SUPER-CARDIOID"	"HYPER-CARDIOID"
Directional Response Characteristic					
Voltage Output	$E = E_0$	$E = E_0 \cos \theta$	$E = \frac{E_0}{2} (1 + \cos \theta)$	$\frac{E_0}{2} [\sqrt{3} - 1 + \cos \theta - \sqrt{3} \cos^2 \theta]$	$E = \frac{E_0}{4} (1 + 3 \cos \theta)$
Random Energy Efficiency (%)	100	33	33	27	25
Front Response Back Response	1	1	$\infty$	3.8	2
Front Random Response Total Random Response	0.5	0.5	0.67	0.93	0.87
Front Random Response Back Random Response	1	1	7	14	7
Equivalent Distance	1	1.7	1.7	1.9	2
Pickup Angle ( $\theta$ ) For 3-dB Attenuation		90°	130°	116°	100°
Pickup Angle ( $\theta$ ) For 6-dB Attenuation		120°	180°	156°	140°

ตาราง 3.1

### หลักการทํางานเกี่ยวกับแรงดันภายในไมโครโฟนมี 2 แบบ

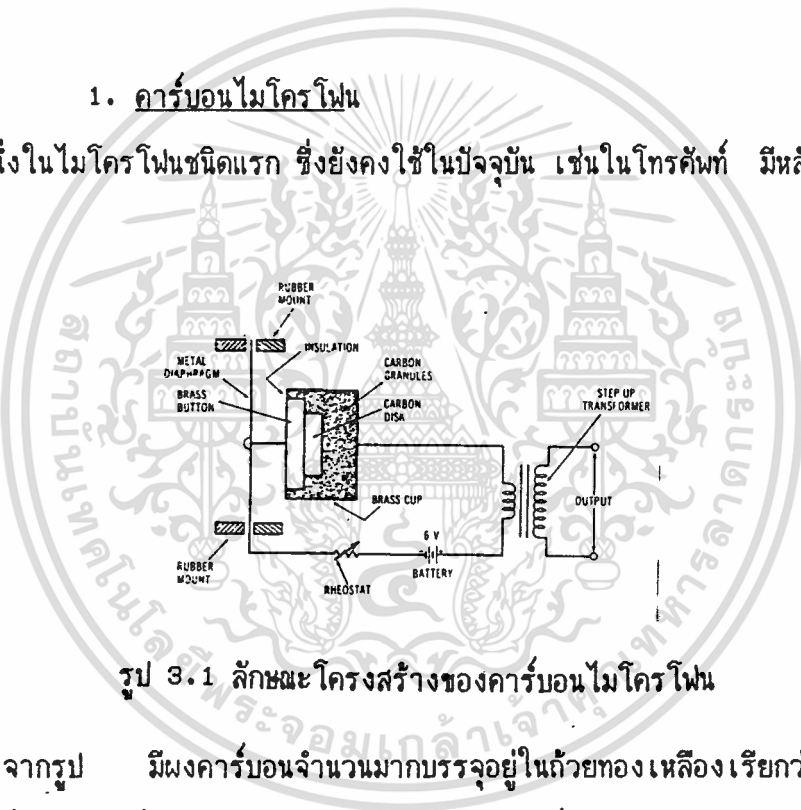
1. แบบใช้แรงดัน (pressure)
2. แบบใช้ความแตกต่างแรงดัน ( pressure-gradient)

ในที่นี้จะแบ่งตามลักษณะการทํางานภายในไมโครโฟนดังนี้

#### 1. คาร์บอนไมโครโฟน

เป็นหนึ่งในไมโครโฟนชนิดแรก ซึ่งยังคงใช้ในปัจจุบัน เช่น ในโทรศัพท์ มีหลักการทํางาน

ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนไมโครโฟน

จากรูป มีผงคาร์บอนจำนวนมากบรรจุอยู่ในถ้วยทองเหลืองเรียกว่า กระจุก (button) ซึ่งจะต่อกับกึ่งกลางของไดอะแฟรมโลหะ เมื่อสัญญาณเสียงเข้ามากระทบผิวของไดอะแฟรม จะรบกวนผงคาร์บอน ทำให้ความต้านทานที่ผิวสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้กระแสจากแหล่งจ่ายไฟมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของสัญญาณเสียงที่ไดอะแฟรมได้รับ

ค่าความต้านทานของถ้วยคาร์บอนมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีหม้อแปลงช่วยเพิ่มความต้านทาน แล้วยังเพิ่มขนาดของเอาพุท และ กำจัดสัญญาณไฟตรง กระแสที่ไหลผ่านกระจุกต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดโดยผู้ผลิต ไมเช่นนั้นผงถ่านอาจจะละลายได้

ถ้าเป็นชนิดมีกระดุม 2 ชั้น กระแสที่ไหลผ่านแต่ละชั้นจะต้องเท่ากันขณะได้อาแฟรม อยู่ในภาวะปรกติ

ควรระวังเวลาใช้ไม่ควรทำให้กระทบกระเทือน หรือ เคลื่อนที่มากเกินไป นอกจาก ไมโครโฟนตัวนั้นได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะ

ข้อเสียของคาร์บอนไมโครโฟนคือ

1. จะมีเสียงซ่าของความถี่สูงซึ่งเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานณ จุดสัมผัสของผงถ่าน
2. การตอบสนองความถี่จำกัด
3. มีการลดทอนค่อนข้างสูง

ซึ่งเหตุผลเหล่านี้ ทำให้คาร์บอนไมโครโฟน ไม่ถูกใช้ในงาน บันทึกเสียงหรืองานอื่น ๆ ที่ต้องการคุณภาพเสียงดีและการตอบสนองความถี่ช่วงกว้าง



## 2. คริสตอลไมโครโฟน

ไมโครโฟนชนิดนี้เคยเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากราคาไม่แพง มีค่าความต้านทานด้านอินพุตสูงและระดับเอาพุตสูง สามารถต่อเข้ากับกริดของวงจรขยายแบบหลอดได้โดยตรง จึงเหมาะสำหรับเป็นเครื่องบันทึกเทปภายในบ้านซึ่งสายไมโครโฟนสั้นและความต้านทานอินพุตสูง

ใช้คริสตอลวางในลักษณะรับแรงดันคลื่นเสียง เมื่อผลึกคริสตอลได้รับแรงดันคลื่นจะเกิดแรงดันไฟฟ้าหรือผลึกถูกป้อนกระแสไฟฟ้ามันจะเปลี่ยนรูปร่างไป จากปรากฏการณ์พิกโซอิเล็กทริก ใช้ผลึกดีเกลือ (Rochelle salt crystal) เป็นคริสตอล ซึ่งปลูกได้จากสารละลายอิ่มตัวโซเดียมโปรแตสเซียมตาเตรตเตตตาไฮเดรต ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส คริสตอลชนิดนี้ใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 องศาเซลเซียส และเป็นคนละชนิดกับ คริสตอลควอซซ์ ซึ่งใช้งานในวิทยุรับส่ง

คริสตอลที่นำมาใช้แบ่งออกเป็น

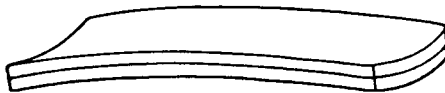
1. ซีนดัด (bender) เป็นชิ้นคริสตอลที่ถูกตัดในแนวระนาบหนึ่งทำให้มีคุณสมบัติทางด้านพิกโซเป็นแบบโค้งงอเท่านั้น
2. ซีนบิด (twister) เป็นชิ้นคริสตอลที่ถูกตัดในแนวระนาบหนึ่งทำให้มีคุณสมบัติทางด้านพิกโซเป็นแบบบิดเท่านั้น



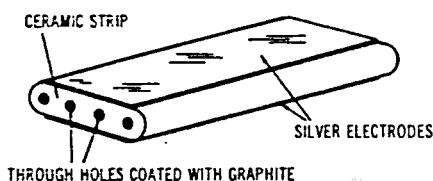
(A) Crystal twister bimorph.



(B) Ceramic bender bimorph.



(C) Crystal bender bimorph.



(D) Multimorph.

รูป 3.2 ซีนคริสตอลแบบบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในวิชาเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในสร้างได้หลายแบบคือ

1. การสัมผัสกับเสียงโดยตรง ดังรูป ๓ คลื่นเสียงจะตกกระทบผิวคริสตอลโดยตรง แล้วทำให้เกิดความเครียด ประกอบด้วยชั้นคริสตอลต่างกัน 2 ชั้นคือแบบโค้งงอและแบบบิดประกบติดกันโดยมีแผ่นฟอยล์บางๆคั่นกลางและต่อไปยังวงจรรขยายข้างหนึ่ง ส่วนแผ่นฟอยล์ที่ติดด้านบนก็ต่อไปวงจรภายนอกอีกข้างหนึ่ง

2. การสัมผัสกับเสียงโดยอ้อม ดังรูป B คลื่นเสียงจะตกกระทบไดอะแฟรมซึ่งต่อไปยังแผ่นคริสตอลและได้รับผลกระทบเมื่อคลื่นเสียงมากระทบไดอะแฟรม

รูป C เป็นคริสตอลแบบเซลเสียง ประกอบด้วยชั้นคริสตอลหลายชั้นต่อกัน

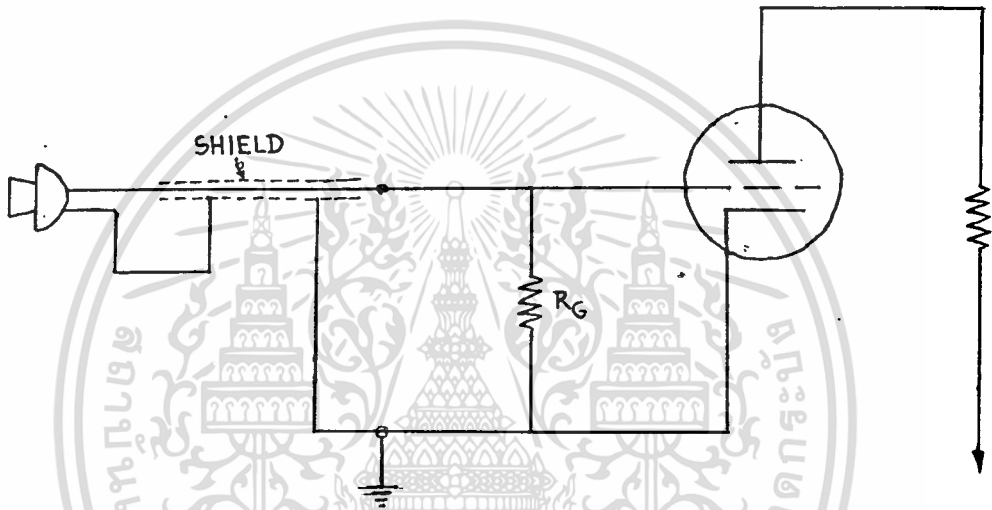
คริสตอลไมโครโฟนมีความต้านทานเอาพุทประมาณ 60k-100k โอห์ม การตอบสนองทางความถี่อยู่ในช่วง 80-6500 Hz แบบใช้ไดอะแฟรมมีแรงดันเอาพุทสูงแต่ช่วงผลตอบสนองความถี่จำกัดเนื่องจากโครงสร้าง แบบเซลเสียงมีแรงดันเอาพุทต่ำแต่ช่วงผลตอบสนองความถี่กว้าง

สามารถต่อไมโครโฟนให้มีแรงดันเอาพุทมากที่สุดแต่ให้มีค่าความต้านทานเอาพุทต่ำที่สุดโดยต่อแบบอนุกรมของชุดขนาน ดังรูป 3.3



เนื่องจากแบบใช้ไดอะแฟรมมีความจุภายในมีค่าประมาณ 0.03 uF และแบบเซลเดียวมีค่าประมาณ 0.005-0.015 uF ดังนั้นสายเคเบิลที่ใช้ควรวาวไม่เกิน 50 ฟุตมิฉะนั้นสายเคเบิลจะเป็นเสมือนตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนานกับความจุไฟฟ้าภายในไมโครโฟน สายเคเบิลที่ยาวจะทำให้ผลตอบสนองทางความถี่เลวลง ผลตอบสนองทางความถี่ของแบบใช้ไดอะแฟรมมีค่าประมาณ 80-6500 Hz และสูงสุดที่ 3500 Hz สำหรับคริสตอลไมโครโฟนที่ดีๆอาจมีผลตอบสนองทางความถี่ถึง 16000 Hz อย่างไรก็ตามการใช้งานที่ความถี่สูงควรมีวงจรปรับแต่ง

การต่อกับภาคขยาย อาจต่อดังรูป 3.4 คริสตอลไมโครโฟนทำตัวคล้ายตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับความต้านทานของกริด  $R_g$  ของแบบเซลล์เสียงควรมีค่า 3-5 Mโอห์ม  $R_g$  ของแบบไดอะแฟรมมีค่า 1-5 Mโอห์ม ถ้าลดความต้านทานกริดจะเกิดการลดทอนที่ความถี่ต่ำ



รูป 3.4 ภาคขยายของคริสตอลไมโครโฟน

### 3. เซรามิกไมโครโฟน

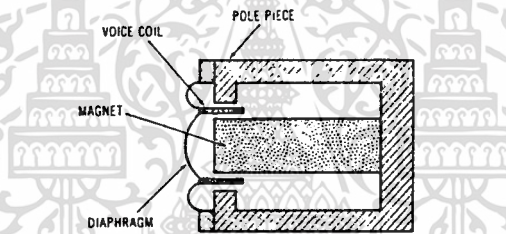
คุณสมบัติคล้ายคริสตอลไมโครโฟน แต่ต่างกันที่ใช้แบบเลียมไททาเนตซึ่งเป็นเซรามิก จึงสามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าโดยปกติเซรามิกไม่มีคุณสมบัติเป็นปิกโซแต่จะถูกทำให้ มีคุณสมบัติดังกล่าวได้ในขบวนการโพล่าไรซิ่ง ค่าความต้านทานเอาพุทก็เท่ากับคริสตอลไมโครโฟนประมาณ 1-5 Mโอห์ม เซรามิกไมโครโฟนเหมาะกับการใช้งานเช่น วิทยุรับส่ง เครื่องช่วยฟังแรงดันเอาพุท -59 ถึง 50 dB ที่ 0 dB = 1v/ $\mu$ bar  $Z_0 = 100$  kโอห์ม



#### 4. ไดนามิกไมโครโฟน

หรือไมโครโฟนแรงดัน (pressure) หรือไมโครโฟนขดลวดเคลื่อนที่ (moving coil) มีส่วนประกอบของไดอะแฟรมเหล็กและขดลวดเคลื่อนที่ที่อยู่ในสนามแม่เหล็กถาวร คลื่นเสียงที่กระทบกับผิวของ ไดอะแฟรมเป็นผลทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กและตัดเส้นแรงแม่เหล็ก ก่อให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ เป็นสัดส่วนกับจำนวน เส้นแรงแม่เหล็กที่ถูกตัดและความเร็วในการตัด แรงดันเอาพุทที่ออกมาจากขดลวดจะ เปลี่ยนไปขึ้นกับการ เปลี่ยนแปลงความดันของ เสียงที่กระทบบนแผ่น ไดอะแฟรม (สำหรับ ไมโครโฟนที่มีแรงดันเอาพุทเปลี่ยนแปลง ไปตามความเข้มของ เสียงและความดันนี้ เรียกว่า "แบบแรงดัน" (pressure type)

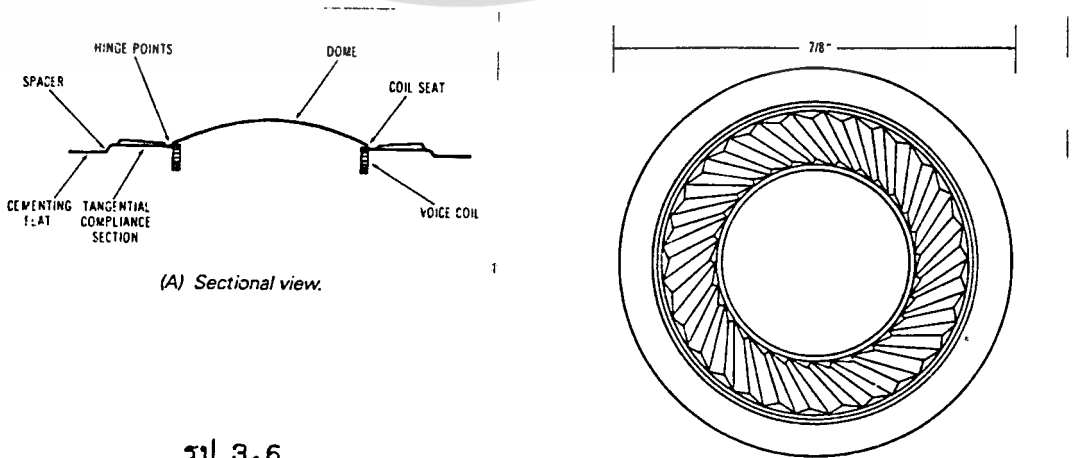
ดังรูป 3.5 แสดงภายในไดนามิกไมโครโฟน อย่างง่าย



รูป 3.5

ไดอะแฟรมเป็นส่วนสำคัญของไดนามิกไมโครโฟน จะเป็นโครงให้ขดลวดอยู่ตรงกลางช่องแม่เหล็ก

ไดอะแฟรมชนิดหลายทิศทางและขดลวด แสดงดังรูป 3.6



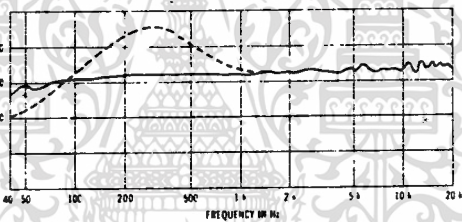
รูป 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(B) Top view.

ไดนามิกไมโครโฟนในยุคแรกๆ ไดอะแฟรมจะทำจากอลูมิเนียมซึ่งมีความบางกว่า 1 mm มีข้อดีคือ มีน้ำหนักเบาถ่าย ต่อการผลิตและมีความคงตัวสูง โดยเฉพาะกับอุณหภูมิและความชื้น แต่เนื่องจากความบางของมันทำให้ไม่ทนทานต่อแรงดันสูง จึงได้มีการทดลองเพื่อหาวัสดุมาแทน ซึ่งคือแผ่นฟิล์มของโพลีเอสเตอร์ (polyester) เรียกว่า "ไมลา" (mylar) ไมลามีความ เกรียดและความต้านทานสูง ยืดหยุ่นได้ดี และไมลายังสามารถใช้งานที่อุณหภูมิและความชื้น ต่างๆ ได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ นำมาทำเป็นไดอะแฟรมเมื่อถูกแรงดันจากมือก็ยังสามารถ ทำงานได้

ขดลวดเป็นตัวควบคุมมวลของไดอะแฟรม เนื่องจากทั้งขดลวดและไดอะ- แฟรมก็มีมวลซึ่งในทางไฟฟ้า เปรียบเสมือน เป็นค่าเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และตัวขดไดอะแฟรมเปรียบ เสมือนค่าความจุไฟฟ้า จะทำให้เกิดการก้ำกอนขึ้น ซึ่งในที่นี้จะมีความถี่ประมาณ 350 Hz จะเห็น ได้ดังรูป 3.7



รูป 3.7 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของไดอะแฟรมและขดลวด

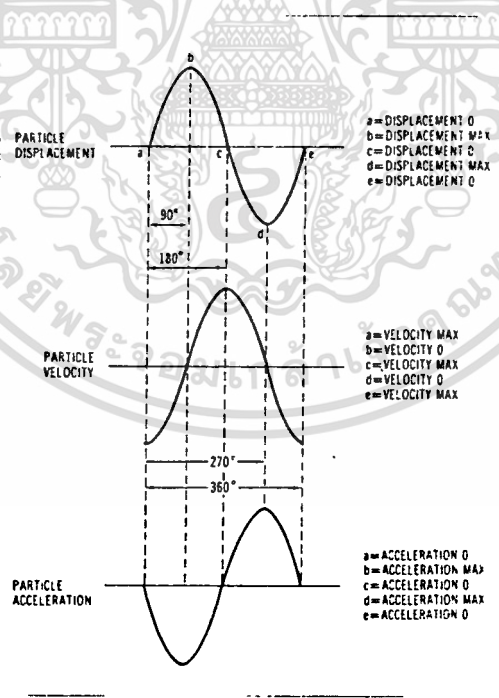
การก้ำกอนจะถูกกำจัดโดยความต้านทานทางเสียงซึ่งก็คือแหวน (felt ring) คลุมอยู่ด้านล่างของไดอะแฟรมความต้านทานนี้จะทำให้ผลของการก้ำกอนลดลง นอกจากนี้การลด ลงของกราฟการตอบสนองความถี่ช่วงหลัง 2000 Hz สามารถทำการแก้ไขได้โดย การทำให้เกิด การก้ำกอนของเสียงในตัวไมโครโฟน ด้วยการกำหนดให้มีช่องว่างด้านหลัง ซึ่งเปรียบเป็นค่าความ จุไฟฟ้า และมีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าคือมวลของไดอะแฟรมและขดลวด

นอกจากนี้ยังมีวงจรกำหนดรูปแบบอื่นๆคือ แบบหลอด ซึ่งจะต่อกับภายในและภายนอก ไมโครโฟนหลอดนี้จะเปรียบเป็นค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าช่วยทำให้ความถี่ต่ำกว่า 50 Hz ราบ เรียบ

รัศมีของส่วนโค้ง(dome) จะทำให้เกิดความตึงและเป็นค่าความจุในทางเสียง ในรูปของช่องว่างอากาศระหว่างไดอะแฟรมกับส่วนโค้งของซี่ว ค่าความจุนี้จะทำให้มีผลตอบสนองที่ความถี่สูงถึง 20 kHz

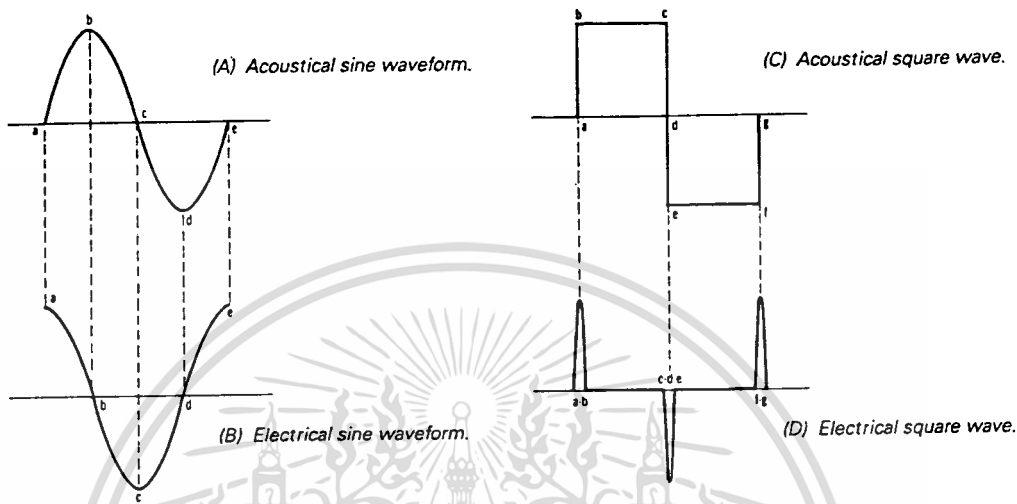
การควบคุมการกำหนดที่ความถี่สูง ต้องมีความต้านทานเพิ่มในตัวไมโครโฟนคือ ตัวกรอง(sintered bronze filter) หรือวงจรมีอนที่ถูกใส่ไว้หน้าไดอะแฟรม และตัวกรองนี้ยังทำหน้าที่ความสกปรกจากภายนอกไม่ให้เข้าไปในตัวไมโครโฟน ถ้ามีเศษแม่เหล็กตกเข้าไปในไมโครโฟน จนถึงบริเวณช่องว่างแม่เหล็ก จะเกิดสะสมกันอยู่บริเวณตอนบนของไดอะแฟรม และทำให้การตอบสนองความถี่เปลี่ยนแปลงไปหรืออาจทำให้ไมโครโฟนไม่สามารถทำงานได้

ถ้าเราสมมุติให้แรงดันเสียงที่ไมโครโฟนได้รับเป็นคลื่นระนาบ(plane wave) ที่บริเวณไกลจากแหล่งกำเนิด ความสัมพันธ์ระหว่างระยะขจัดของอนุภาคอากาศ กับ ความเร็วและความเร่งดังรูป 3.8



รูป 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะขจัด ความเร็ว ความเร่งของอนุภาค

จากรูป 3.9 จะแสดงให้เห็นถึงผลของแรงดันเสียงที่มีต่อไมโครโฟน (สมมุติให้ไมโครโฟนไม่มีมวล)



รูป 3.9 ผลของแรงดันเสียงที่มีต่อไดนามิกไมโครโฟน

รูป A เป็นลักษณะของเสียงใน 1 ช่วงคลื่น

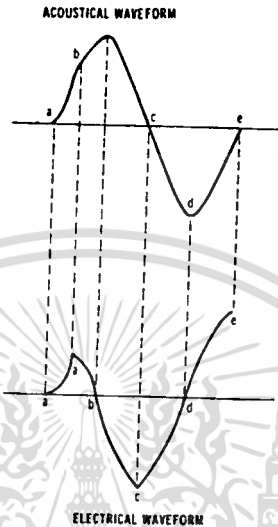
a คือ ความดันอากาศแอทโมสเฟียร์ (Atmospheric pressure) AT

b คือ ความดันอากาศแอทโมสเฟียร์รวมกับแรงดันที่เพิ่มขึ้น  $AT + \Delta$

รูป B จะแสดงให้เห็นว่า คลื่นไฟฟ้าจากเอาพุทของไดนามิกไมโครโฟน จะมีเฟสไม่ตรงกับคลื่นของเสียง ผลอันนี้จะไม่เด่นชัดนัก นอกจากมีการใช้ไมโครโฟนนี้ร่วมกับไมโครโฟนอื่น ที่ไม่ได้มีความแตกต่างเฟสของคลื่นเสียง 90° และผลอันนี้ทำให้ไม่ควรใช้ไดนามิกไมโครโฟนร่วมกับคอนเดนเซอร์หรือริบบอนไมโครโฟน

รูป C เป็นการอธิบายการทำงานของไดนามิกไมโครโฟน เราสมมุติให้ไมโครโฟนได้รับเสียงเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม และถือว่าไดอะแฟรมไม่มีมวล และผลที่ได้จะเป็นดังรูป D เมื่อคลื่นเสียงมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันจาก a ไป b ชดลวดจะเคลื่อนที่ (มีความเร็วเกิดขึ้น) ทำให้มีแรงดันเอาพุทจากไมโครโฟน เมื่อคลื่นเสียงเพิ่มจนมีค่าสูงสุดและมีขนาดคงที่เท่านั้นในช่วง b ถึง c จะไม่มีการเคลื่อนที่ของชดลวด ดังนั้นแรงดันเอาพุทจึงเป็น ศูนย์

ช่วง c ถึง e และ e ถึง f ก็จะเป็นในลักษณะเดียวกัน จะเห็นว่าไดนามิกไมโครโฟนไม่สามารถตอบสนองต่อคลื่นสี่เหลี่ยม แต่นั่นก็ไม่สำคัญนักเพราะในการใช้งานจริงสัญญาณเสียงไม่ได้เป็นเช่นนั้น



รูป 3.10

จากรูป 3.10 แสดงให้เห็นถึงกลไกของไดนามิกไมโครโฟน เราจะให้มีทรานเซียนเกิดขึ้นโดยเริ่มจาก a ในคลื่นเสียง ซึ่งจะมีผลให้ความดันอากาศปรกติเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันด้วยหน้าคลื่นที่มาตกกระทบทำให้มีจุดยอด(over pressure)  $AT+\Delta$  หรือ b ไดอะแฟรมจะเกิดความเร็วสูงสุดในช่วงกึ่งกลางระหว่าง a และ b จะเห็นว่ามีความเร็วเป็นศูนย์ที่ b และเกิดเป็น a' ในรูปของคลื่นไฟฟ้าขึ้น ต่อจากนั้นคลื่นไฟฟ้าจะมีเฟสต่างจากเสียง  $90^\circ$  ดังเดิม a' จะแสดงให้เห็นถึงปัญหาของไดนามิกไมโครโฟน นอกจากปัญหาอื่น ๆ อีกมากซึ่งมีสาเหตุมาจากมวลของไดอะแฟรมที่ใช้ในงานจริง แสดงว่าถึงแม้ไดนามิกไมโครโฟนจะเป็นไมโครโฟนที่สมบูรณ์แบบปราศจากปัญหาเรื่องมวลแต่ก็ยังไม่สามารถจะให้สัญญาณไฟฟ้าทางเอาพุทที่สมบูรณ์ได้

เมื่อมีการสั่นของไดอะแฟรม ขดลวดจะเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงดันขึ้นแปรตามขนาดและความถี่ของการสั่น อย่างไรก็ตามไดอะแฟรมและขดลวด มีมวลค่าหนึ่ง และมวลทำให้เกิดความเฉื่อย ทำให้แม่เหล็กพยายามรักษาสภาพนิ่งเอาไว้ ขณะมีสัญญาณเสียงจะมีการเคลื่อน

ที่ในสองส่วน ซึ่งทำให้เอาพหุมีค่าได้จากสองส่วนคือ เกิดจากการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรมจากสัญญาณเสียงและการเคลื่อนที่ในวงจรแม่เหล็กเกิดจากการสั่นของโครงสร้าง ซึ่งอย่างหลัง เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

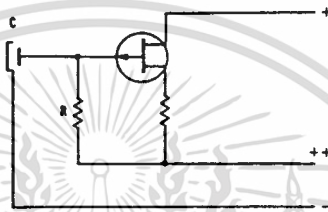
เมื่อกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกไป มวลของไดอะแฟรมและขดลวดจะต้องถูกลดลงแต่ก็มีขีดจำกัดในการลดลงอยู่ด้วยหรืออาจทำได้โดยจำกัดขอบเขตการตอบสนองความถี่ด้วยไดอะแฟรมที่มีความยืด หรือด้วยวงจรกรองความถี่ แต่จะทำให้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการใช้กับความถี่ช่วงกว้าง

ไมโครโฟนแบบนี้ไม่ต้องมีหม้อแปลงที่ภาคเอาพุทเพราะมีค่าความต้านทานเอาพุทไม่สูงเหมือนคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน สามารถใช้งานต่อกับปริแอมป์ที่มีค่าความต้านทานอินพุท 30 ถึง 50 โอห์ม แต่สามารถทำให้มีค่าความต้านทานอินพุทสูงขึ้นได้โดยการต่อหม้อแปลง

คุณสมบัติความเป็นทิศทางของไมโครโฟนแบบนี้ไม่ดีนัก เสียงทางด้านหลังจะเลี้ยวเบนเข้าทางด้านหน้าของไมโครโฟน โดยเฉพาะเมื่อความยาวคลื่นมีค่าประมาณเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไดอะแฟรม แต่ที่ความถี่สูงขึ้นไปผลของการเลี้ยวเบนจะลดลง สามารถเพิ่มความเป็นทิศทางโดยใช้แบบเฟิล (baffle) ที่มีผ้าไหมบางๆปิดขึ้นหนึ่ง ไล่ด้านหน้าของไมโครโฟน นอกจากจะช่วยให้ความเป็นทิศทางดีขึ้นแล้ว ก็ทำให้ผลตอบสนองทางความถี่ในช่วงความถี่ต่ำดีขึ้นด้วย

#### 4. คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนหรือคาปาซิเตอร์ไมโครโฟน มีหลักการทำงานคือ ระดับแรงดันเสียงจะทำให้ค่าตัวเก็บประจุที่หัวของไมโครโฟนเปลี่ยนแปลงโดยการหักเหแผ่นตัวเก็บประจุแผ่นหนึ่งไป เป็นผลให้สัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง หรือการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุ อาจใช้ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความถี่วิทยุ แล้วจะถูกตีมอดดูเลท (demodulate) ภายหลังโดยวงจรส่งความถี่หรือโดยวิธีแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ดังรูป 3.11



รูป 3.11 วงจรแบ่งแรงดัน

ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจะเป็นตัวแบ่งแรงดันระหว่างแหล่งจ่ายไฟ ++ กับ -

หัวของไมโครโฟนจะประกอบด้วย แผ่นตัวเก็บประจุเล็กๆ 2 แผ่น ขนาด 40-50 pF แผ่นหนึ่งจะยึดติดกับไดอะแฟรม อีกแผ่นเป็นแผ่นหลัง ในรูปนี้แผ่นหลังจะห่างจากไดอะแฟรมประมาณ 0.001 นิ้ว ซึ่งเอาพุกสามารถคำนวณนำได้จาก

$$E_o = E_a^2 P / 8dt$$

$E_o$  : แรงดันเอาพุก (โวลต์)

$E_a$  : แรงดันไฟตรงที่ขั้ว (โวลต์)

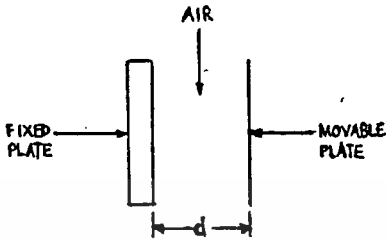
$a$  : รัศมีของส่วนแอกทินของไดอะแฟรม (ซ.ม.)

$P$  : แรงดัน (คายน์ต่อตารางเซนติเมตร)

$d$  : ช่องว่างระหว่างแผ่นหลังกับไดอะแฟรม (ซ.ม.)

$t$  : ความตึงของไดอะแฟรม (คายน์ต่อเซนติเมตร)

หัวหรือแคปซูล (capsule) ของไมโครโฟนประกอบด้วย แผ่นบางๆ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งเคลื่อนที่ได้ ส่วนอีกแผ่นตรึงอยู่กับที่ เป็นตัวอยู่กับที่



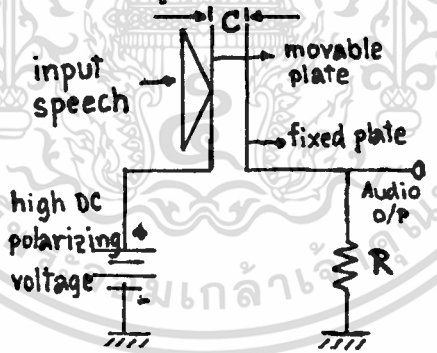
รูป 3.12

จากรูป 3.12 เป็นตัวเก็บประจุ ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ตามสมการ

$$Q = CV \quad (3-1)$$

- Q: ประจุ (คูลอมป์)
- C: ความจุ (ฟารัด)
- V: ความต่างศักย์ (โวลต์)

ไดอะแฟรมจะต่อกับแผ่นตรึงดังรูป 3.13

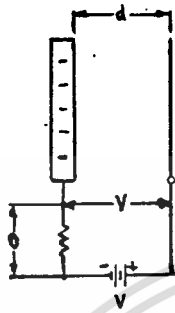


รูป 3.13

ใช้ไดอะแฟรมแบบอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminium Alloy) การเปลี่ยนแปลงของอลูมิเนียมไดอะแฟรมนี้เหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของตัวเก็บประจุแบบเปลี่ยนค่าได้

ค่าความจุขึ้นกับ พื้นที่ของแผ่นตรึงและตัวกลางระหว่างแผ่น (ในที่นี้คือ อากาศ) และระยะระหว่างแผ่น (ซึ่งแปรตามแรงดันเสียง)

นิวมาน (Neumann) ได้ออกแบบไว้ดังนี้ แผ่นทั้ง 2 แผ่น ต่อกับขั้วตรงกันข้ามของ แหล่งจ่ายไฟตรง ทำให้เกิดแรงดันที่ตัวเก็บประจุ ดังรูป 3.14



รูป 3.14

อิเล็กตรอนจะวิ่งจากแผ่นที่ต่อกับไฟบวกและถูกบังคับให้วิ่งผ่านค่าความต้านทานสูงๆ ไปยังแผ่นที่ต่อกับไฟลบ จนกระทั่งประจุบนแคปซูล (คือความแตกต่างระหว่างจำนวนอิเล็กตรอนที่แผ่นบวกและแผ่นลบ) เท่ากับผลคูณค่าความจุกับแรงดันขั้ว เมื่อถึงจุดสมดุลย์ก็จะมีกระแสไหลผ่านความต้านทานแต่ถ้าไมโครโฟนได้รับแรงดันคลื่นเสียง ค่าความจุของแคปซูลจะเปลี่ยนแปลง คือ

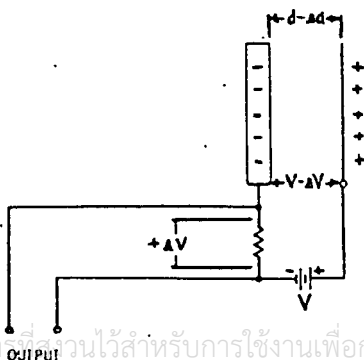
ถ้าระยะระหว่างแผ่นลดลง ค่าความจุจะเพิ่มขึ้น

ถ้าระยะระหว่างแผ่นเพิ่มขึ้น ค่าความจุจะลดลง

และจากสมการ 3.1 จะได้ว่าเมื่อค่า C เปลี่ยนแปลงทำให้ Q, V เปลี่ยนไปด้วย

ค่าความต้านทานที่ต่ออยู่นั้นทำให้ค่าคงที่เวลาของวงจร (time constant) ซึ่งมีค่านานกว่าคาบเวลาความถี่ของสัญญาณ ค่าคงที่เวลาของวงจรวัดจากเวลาในการอัดและคายประจุ และความต้านทานนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้ตัวเก็บประจุอัดประจุเร็วเกินไป แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงตามสมการ 3.2

$$\Delta V = Q/\Delta C \tag{3.2}$$



รูป 3.15

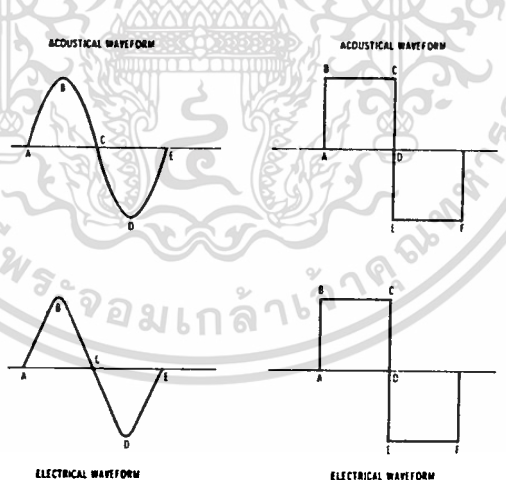
จากรูป 3.15

ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้น แรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต้องเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ แต่ชั่วครู่ตรงกันข้าม เอาแรงดันคร่อมตัวต้านทานเป็นค่าแรงดันเอาพุทแต่เนื่องจากแรงดันเอาพุทเป็นสัญญาณระดับต่ำและค่าความต้านทานสูง จึงต้องผ่านวงจรถยาย และวงจรถยายก็ควรทำให้สายสั้นที่สุด เพื่อป้องกันเสียงฮัม, สัญญาณรบกวนและการสูญเสียจึงทำวงจรถยายอยู่ในไมโครโฟน ดังนั้นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนต้องมีแหล่งจ่ายไฟในตัว ไมโครโฟนชนิดนี้เมื่อใช้ในที่ที่มีความชื้นสูงจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นได้เนื่องจากการอาร์คระหว่างแผ่นตัวเก็บประจุทั้งสอง

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนมีเวลาขึ้น (rise time) เร็วกว่าไดนามิกไมโครโฟน เนื่องจากไดนามิกไมโครโฟนมีมวลที่ไดอะแฟรมและขดลวดมากกว่า เวลาขึ้นของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนประมาณ 15  $\mu\text{s}$  ส่วนของไดนามิกไมโครโฟนประมาณ 40  $\mu\text{s}$

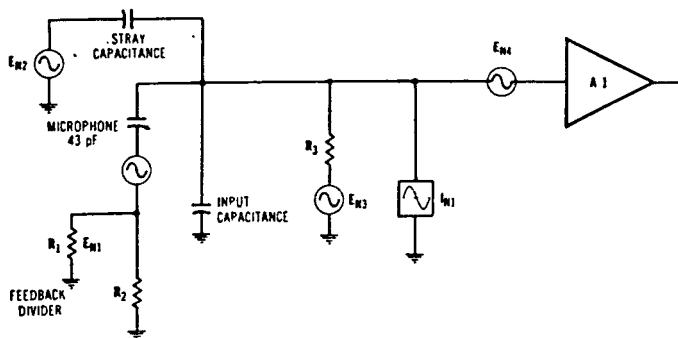
เฟสของสัญญาณเอาพุทของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน จะตรงกับเฟสของสัญญาณเสียง

ดังรูป 3.16



รูป 3.16 สัญญาณอินพุท เอาพุท ของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์

รูป 3.17 แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนภายในคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน



รูป 3.17 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในไมโครโฟนคอนเดนเซอร์

ซึ่งสัญญาณเอาพุทเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งถูกไบอัสด้วยแรงดันไฟฟ้าค่าสูง ตัวเก็บ-ประจุในไมโครโฟนนี้มีค่าประมาณ 43 pF หนึ่งในบรรดาแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ได้แก่  $E_{n4}$  ซึ่งเกิดในวงจรขยาย  $A_1$  นอกจากนี้วงจรขยายยังได้รับสัญญาณรบกวนจาก กระแส อินพุท  $I_{n1}$  ซึ่งทำให้มีคักดาตกรวมตัวเก็บประจุของแหล่งกำเนิด

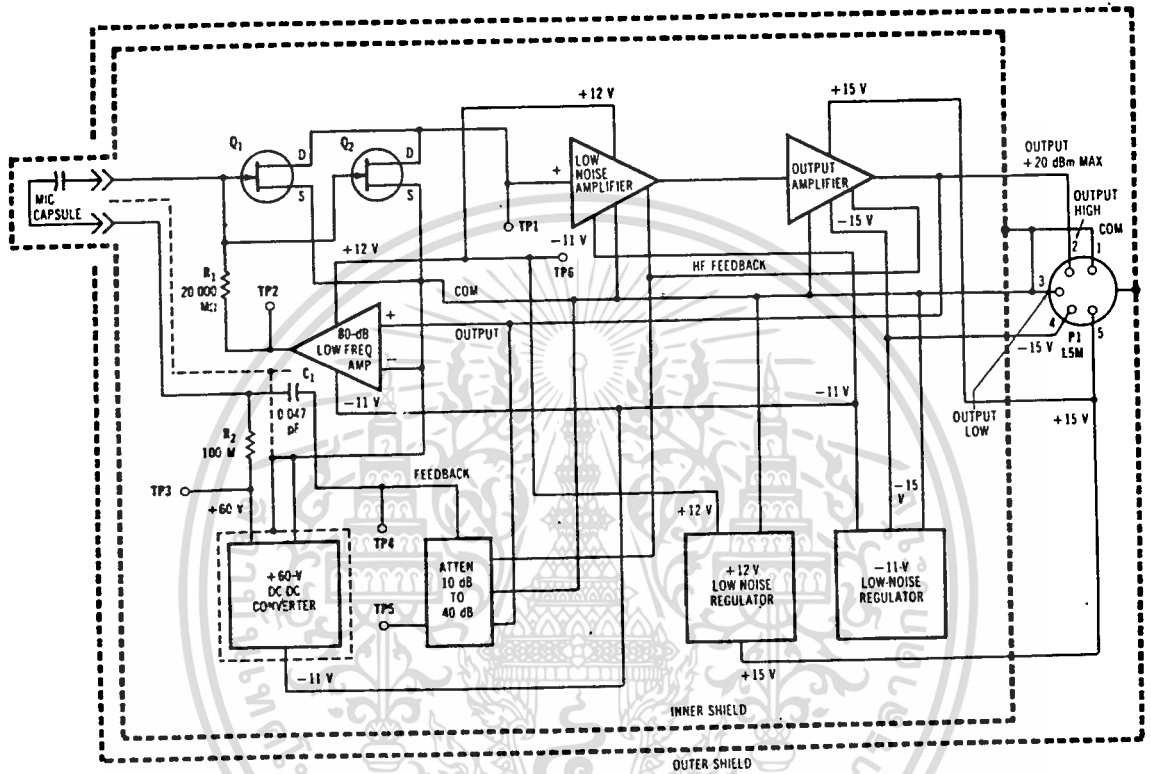
ตัวแปรอื่นที่มีผลต่ออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise, S/N) คือค่า ตัวเก็บประจุที่อินพุทของวงจรขยาย ซึ่งจะ ไปโหลดตัวเก็บประจุของไมโครโฟนทำให้เกิดการลด ทอนอินพุท ส่งผลให้สัญญาณรบกวนจากวงจรขยายมีผลมากขึ้นเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุท

ฮัม (Hum) เกิดขึ้นเนื่องจากค่าตัวเก็บประจุบนแผงวงจร (Stray capacitance) ต่อสัญญาณไฟสลับ  $E_{n2}$  จะส่งผลกระทบต่อวงจรเป็นอย่างมากหากไม่มีการป้องกัน ซีเนอร์ไดโอด, สายไฟ ของแหล่งกำเนิดก็สามารถก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้เช่นกัน

แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่ใหญ่ที่สุดคือ ความต้านทานที่ทำหน้าที่ไบอัสวงจรในไมโคร- โฟน โดยทั่วไปจะมีค่า 250 Mโอห์ม ซึ่งถือว่าต่ำมาก ทำให้มีกระแสสัญญาณรบกวนเนื่องจาก อนุหภูมิ  $E_{n3}$  มีค่าสูง ถ้าเพิ่มความต้านทานขึ้นเป็น 20,000 Mโอห์ม กระแสสัญญาณรบกวนจะถูก ลดลงด้วยอัตราส่วนรากที่สองของความต้านทาน

ตัวอย่างคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่มีกระแสสัญญาณรบกวนต่ำได้แก่ ไมโครโฟนที่ออก แบบโดย Richard Burwen มีระดับการลดสัญญาณรบกวนถึง 20-30 dBจากระดับแรงดันเสียง 15 dB

รูป 3.18 เป็นบล็อกไดอแกรมของไมโครโฟนรุ่น 3000 ชนิดสัญญาณรบกวนต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แคปซูลของตัวเก็บประจุจะมีแรงดันไบอัส 60 V แคปซูลจะต้องมีคุณสมบัติที่ดีคือ มีการตอบสนองความถี่ดีมากมีค่าตัวเก็บประจุสูง ทำให้กระแสสัญญาณรบกวนถูกลดทอนและมีเอาพุทค่อนข้างสูง และที่สำคัญคือ มีการป้อนกลับ (feedback) อนุกรมกับแคปซูล

ในระบบจะประกอบด้วย ภาคอินพุทของภาคขยายขั้นต้น ภาคขยายชนิดสัญญาณรบกวนต่ำและเอาพุทของภาคขยาย จะมีการป้อนกลับของสัญญาณเอาพุทบางส่วนไปยังส่วนล่างของแคปซูล และมีวงจรป้อนกลับย่อยเป็นวงจรขยายความถี่ต่ำ ป้อนให้ R1 20,000 Mโอห์ม ที่เป็นโหลดของแคปซูลซึ่งทำหน้าที่ไบอัสให้กับเฟ็ท (FET)

ในส่วนของภาคขยายขั้นต้น จะมีเฟ็ท 2 ตัว ซึ่งจะมีค่าทรานคอนดักแตนซ์ (transconductance) สูงและค่าตัวเก็บประจุต่ำ เพื่อลดทอนให้สัญญาณรบกวนมีขนาดลดลง ขณะปิดวงจรสัญญาณรบกวนอินพุทที่มีความถี่สูงมากจะมีค่าเพียง  $1/3 \mu\text{V}$  เท่านั้น วงจรขยายที่ความถี่ต่ำซึ่งทำหน้าที่ป้อนแรงดัน 0-1 V ให้ R<sub>1</sub> นี้ จะทำงานขณะเป็นไฟตรงเท่านั้น

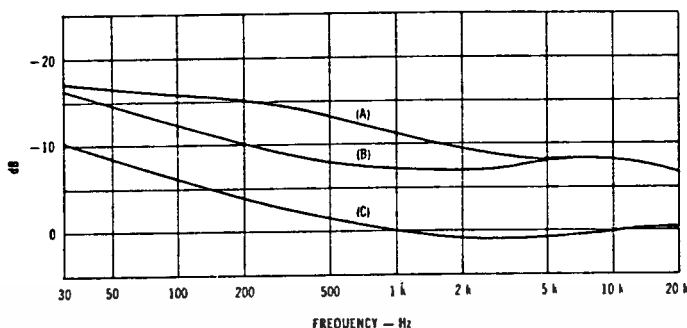
แหล่งจ่ายไฟชนิดสัญญาณรบกวนต่ำ ก็เป็นสิ่งสำคัญต่อวงจร ดังนั้นจึงต้องมีวงจรให้แรงคงที่ 12 V ซึ่งมีสัญญาณรบกวนเพียง 0.5  $\mu\text{V}$  และสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ถึง 100 dB วงจรแรงดันคงที่ขนาด -11 V จะมีสัญญาณรบกวนเพียง 2  $\mu\text{V}$  และสามารถลดทอนการกระเพื่อมและสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ -15 V จากภายนอกได้ถึง 90 dB วงจรแรงดันคงที่ขนาด -11 V จะใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับวงจรแปลงไฟตรง 60 V ซึ่งใช้ไบอัสแคปซูล

วงจรขยายภาคที่ 2 ก็ต้องเป็นชนิดสัญญาณรบกวนต่ำเช่นกัน ซึ่งออกแบบให้มีสัญญาณรบกวนเพียง 0.5  $\mu\text{V}$  เท่านั้น

ภาคอินพุทจะเป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายแรงดันเป็น 1 แต่จะให้กระแสเอาพุทสูง มีค่าความเพี้ยนต่ำ อัตราขยายทั้งหมดของวงจรจะหาได้จาก วงจรป้อนกลับจากเอาพุทผ่านวงจรลดทอน ซึ่งเลี้ยงด้านล่างของแคปซูล ซึ่งให้สัญญาณเอาพุทสูงสุด 20 dBm ที่ระดับความดังเสียง 140, 125, 110 dB

การป้องกันไมโครโฟนจากการฮัมและความถี่วิทยุจากวงจรขยาย ทำได้โดยการชิลล์วงจรถึง 2 ชั้น

สัญญาณรบกวนที่วัด ดังรูป 3.19



รูป 3.19 สัญญาณรบกวนจากส่วนต่างๆ ของไมโครโฟน

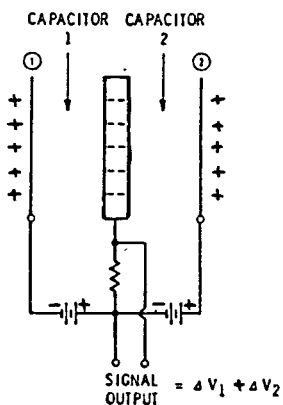
รูป C เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรขยาย ซึ่งต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 40 pF จากแหล่งกำเนิด

รูป A และ B เป็นระดับสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้นจากแคปซูล จะเห็นว่ามีสัญญาณรบกวนสูงกว่าวงจรรขยายถึง 6-12 dB ในแคปซูลสัญญาณรบกวนจะเกิดที่อากาศในบริเวณระหว่างไดอะแฟรมกับแผ่นหลังของตัวเก็บประจุ นอกจากนี้กลไกทางกลศาสตร์ซึ่งใช้ในการเปลี่ยนลักษณะทิศทางก็มีผลเช่นกัน

รูป A เป็นคาร์ดิอย และ รูป B เป็นแบบรับเสียงทุกทิศทาง ซึ่งจะมีสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 5 dB ที่ความถี่ 300 Hz

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนสามารถทำให้มีคุณสมบัติทิศทางารับเสียงได้หลายแบบเช่น

ถ้าต่อแบบรูป 3.20

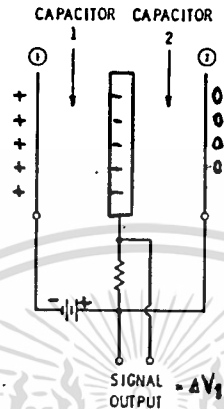


รูป 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

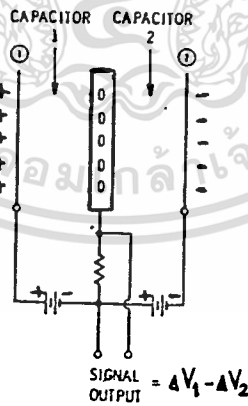
ให้แผ่นเคลื่อนที่ได้ประกบแผ่นตรึงแล้วจ่ายไฟที่แผ่นเคลื่อนที่ได้เป็นขั้วหนึ่ง และแผ่นตรึงเป็นขั้วตรงกันข้าม จะได้คุณลักษณะรับเสียงรอบทิศทาง

ถ้าต่อแบบรูป 3.21



รูป 3.21

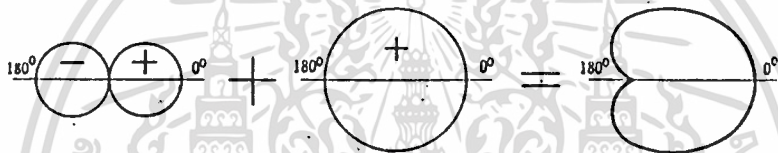
ถ้าความเข้มของแรงดันข้างหนึ่งเพิ่ม แต่ของอีกข้างหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงเพราะไม่ได้ต่อแรงดันขั้ว จะได้ลักษณะการบิดเบี้ยวเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน ถ้าต่อดังรูป 3.22



รูป 3.22

ต่อหัวของแผ่นเคลื่อนที่ได้ทั้ง 2 ให้ชี้ตัวตรงกันข้ามกัน และที่แผ่นตรึงเป็นกราวด์ จะได้คุณลักษณะรับเสียงเป็นรูปเลขแปด

มีอีกวิธีที่จะได้คุณลักษณะการรับเสียงเป็นรูปคาร์ดิอยคือ ใช้อุปกรณ์รับเสียง 2 ชิ้น แยกกันในไมโครโฟนตัวเดียว อันหนึ่งเป็นแบบรับเสียงทุกทิศทาง อีกอันรับเสียงเป็นรูปเลขแปด นำมาต่อแบบขนานกันจะได้ผลการรับเสียงเป็นรูปคาร์ดิอย แรงดันของเสียงที่มาถึงด้านหลังของอุปกรณ์รับเสียง 2 ทิศทาง จะกลับเฟสกับแรงดันที่เกิดจากอุปกรณ์รับเสียงรอบทิศทาง ทำให้ความไวต่อเสียงที่เข้าทางด้านหลังลดลง เอาพุกที่แกน  $90^\circ$  เกิดจากอุปกรณ์รับเสียงรอบทิศทาง อย่างเดียว ในขณะที่แกน  $0^\circ$  เอาพุกจากอุปกรณ์รับเสียงรอบทิศทาง และ อุปกรณ์รับเสียง 2 ทิศทาง มีค่าเท่ากันและเฟสตรงกัน จึงรวมเป็น 2 เท่า ดังรูป 3.23



รูป 3.23 การรวมกันเพื่อให้ได้ลักษณะการรับเสียงแบบคาร์ดิอย

วิธีนี้ใช้ได้กับไมโครโฟนทั้งแบบไฟฟ้าสถิตย์และแม่เหล็กไฟฟ้า

อุปกรณ์รับเสียงรอบทิศทาง และ อุปกรณ์รับเสียง 2 ทิศทาง ควรวางให้ใกล้กันที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้เฟสของสัญญาณที่มุม  $0^\circ$  แตกต่างกัน อาจใส่รวมกันไว้ในกล่องเดียวกัน ถ้าอัตราส่วนของลักษณะรอบทิศทางต่อลักษณะสองทิศทางเพิ่มขึ้น ความเป็นทิศทางจะเปลี่ยนจากซูเปอร์คาร์ดิอย ไปเป็นคาร์ดิอย ไปเป็นแบบรอบทิศทาง

เนื่องจากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนมีวงจรรขยายในตัว จึงควรมีเครื่องรอง(Pads) เพื่อลดทอนในกรณี ระดับแรงดันเสียงสูงมากจะทำให้เกินกำลังที่วงจรรขยายขั้นต้น เมื่อสัญญาณนี้ถูกส่งมาวงจรรขยายภายนอกจะเพี้ยน

ถ้าไมโครโฟนอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงขึ้น ผลตอบสนองของความถี่ต่ำจะเพิ่มขึ้น

เรียกว่า "ผลของความใกล้" (Proximity effect) จะสังเกตได้ที่ระยะประมาณ 2 ฟุต และมีผลมากขึ้นเมื่อระยะลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ความแตกต่างแรงดันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อระยะห่างน้อยลงเช่น ที่ระยะ 2 ฟุต ก็เพิ่มเป็น 2 เท่าของที่ 4 ฟุต ที่ระยะ 1 ฟุต ก็เป็น 16 เท่าของที่ 4 ฟุต

ปรากฏการณ์การนี้จะเกิดขึ้นตลอดช่วงความถี่ออดิโอ แต่ที่ความถี่สูงขึ้น คลื่นที่มาถึงด้านหน้าและด้านหลังของไมโครโฟนจะมีการเปลี่ยนแปลงเฟส เพราะความถี่สูงมีความยาวคลื่นสั้น ทำให้มีการหักล้างความแตกต่างแรงดันที่ความถี่สูงทำให้เฟสเรียบขึ้น ดังนั้นในการใช้งานที่ใกล้ก็จะต้องมีสวิชเลือกให้กดผลของความถี่ต่ำ เพื่อให้ได้กราฟที่เรียบ

#### วงจรมินิโทม (Phantom)

วงจรมินิโทม เป็นวงจรที่ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน AKG C-451E โดยทั่วไปวงจรมินิโทมของไมโครโฟน สามารถใช้งานกับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 9-52 V เนื่องจากมีวงจรมินิโทมแรงดันคงที่ ภายในทำหน้าที่จ่ายไฟตรงให้กับแคปซูลและยังช่วยให้ค่าความต้านทานของแคปซูลกับเอาพุทที่มีความต้านทานต่ำเข้ากันได้ (Match) พอดี

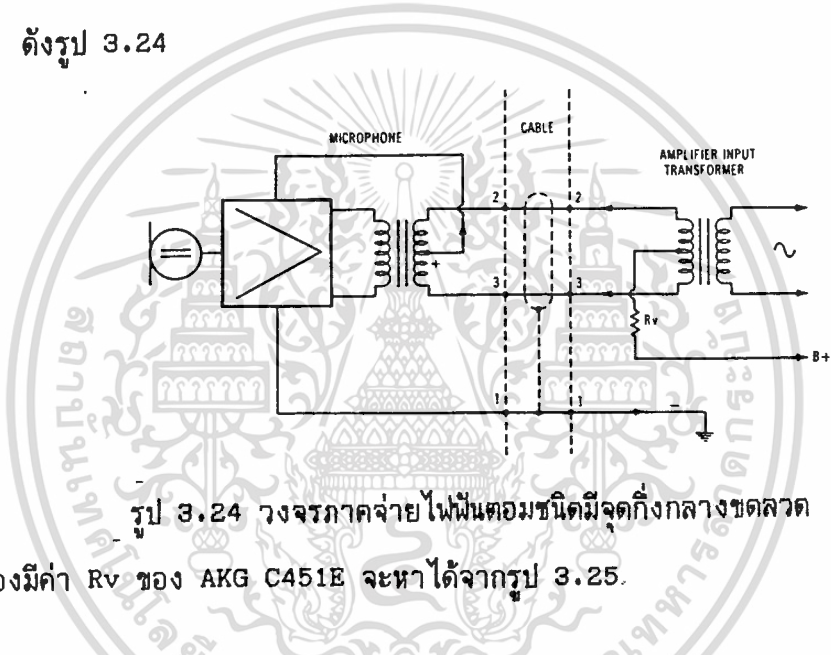
ไมโครโฟนมาตรฐานที่มีค่าความต้านทานต่ำและมีอินพุทแบบสมดุล (Balance input receptacles) จะง่ายต่อการออกแบบให้ใช้งานได้กับแรงดันต่างๆตลอดช่วงความถี่ ซึ่งทำให้มีข้อได้เปรียบหลายประการในด้านราคาและการใช้งานคือ

1. มีแหล่งจ่ายไฟพิเศษภายนอก แต่สายไฟที่แยกออกจากไมโครโฟนต้องไม่ยาวนัก
2. ต้องมีวงจรมินิโทมสำหรับขยายสัญญาณโดยตรงในเครื่องเสียง
3. ถ้าวางจรมินิโทมเป็นวงจรมินิโทมมาตรฐานที่มีค่าความต้านทานต่ำและเป็นชนิดสมดุล จะสามารถใช้งานไมโครโฟนต่างชนิดร่วมกันได้เช่น ไดนามิก , ริปบอน , คอนเดนเซอร์
4. ไมโครโฟนชนิดไดนามิก , ริปบอน , คอนเดนเซอร์ ที่มีวงจรมินิโทมจ่ายไฟของตัวเอง จะสามารถนำมาต่อกันได้โดยไม่ทำให้เอาพุทเปลี่ยนแปลงไป

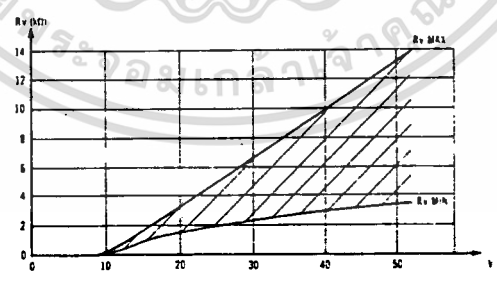
5. ในการบันทึกเสียงหรือการออกอากาศสามารถใช้งานคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนได้โดยไม่มีเส้นเบส คือใช้สายเคเบิล 2 เส้นต่อกับไมโครโฟนไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก

การใช้งานวงจรพีดทอม ต้องการแรงดันไฟฟ้าเท่ากับบ๊อตตา 2 และ 3 ของวงจร ขยายความต้านทานต่ำเท่านั้น ส่วนขาหนึ่งเป็นกราวด์และค่าลบของวงจร ขั้วของสายก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเว้นแต่จะต้องใช้งานเฟสที่แน่นอน ในการจ่ายไฟให้วงจรขยายทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟ 9-12 V ของวงจรขยาย B+ ที่จุดกึ่งกลางของขดลวดหม้อแปลง ของไมโครโฟน ดังรูป 3.24

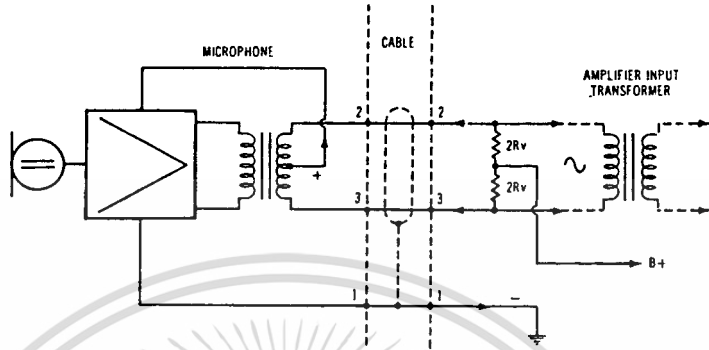


รูป 3.24 วงจรภาคจ่ายไฟพีดทอมชนิดมีจุดกึ่งกลางขดลวด และต้องมีค่า Rv ของ AKG C451E จะหาได้จากรูป 3.25.



รูป 3.25 กราฟแสดงค่าความต้านทานในวงจรพีดทอม ของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ AKG C-451E

2. ใช้ R 2 ตัว ทำให้มีจุดกึ่งกลางของวงจร เมื่อหม้อแปลงของไมโครโฟนไม่มีจุดกึ่งกลาง (Center-tapped) หรือจะใช้วงจรลวดทอนต่อกับขดลวดปฐมภูมิ แล้วต่อแหล่งจ่ายไฟ 9-12 V ของวงจรขยาย B+ เข้ากับจุดกึ่งกลางที่สร้างขึ้นด้วย R 332 โอห์ม , 1% 2 ตัว ดังรูป 3.26



รูป 3.26 วงจรภาคจ่ายไฟผ่านต่อมชนิดจุดกึ่งกลางขดลวดสมมติ

จุดกึ่งกลางของหม้อแปลงทุกตัวจะต้องไม่เป็นกราวด์ และถ้าใช้กับแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 12-52 V ค่า R เป็น 2 เท่าของ Rv ในรูป 3.25

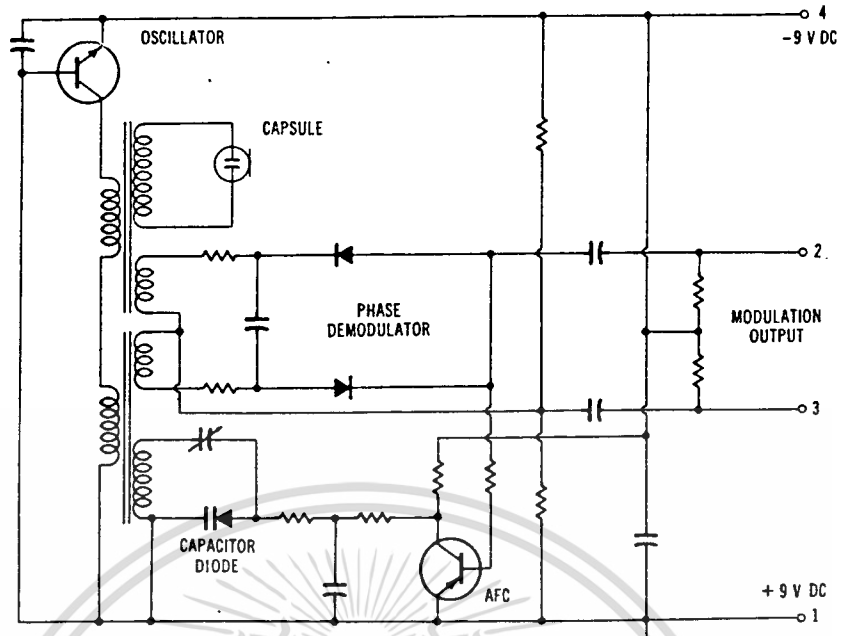
Rv ค่าสูงๆในรูปก่อน จะทำให้กระแสในวงจรมีค่าต่ำ

วิธีใช้งานวงจรฟันต่อม นี้สามารถใช้กับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่ผลิตจากบริษัทอื่นๆ ได้ด้วย

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่ใช้หลักของการมอดดูเลทความถี่คลื่นวิทยุ

ไมโครโฟนชนิดนี้เป็นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนชนิดหนึ่ง ซึ่งต่อกับออสซิลเลเตอร์ความถี่วิทยุ เมื่อมีเสียงมากระทบกับไดอะแฟรม ค่าตัวเก็บประจุที่ส่วนหัวเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความถี่นี้จะถูกรวม (Moddulate) กับความถี่ช่วงคลื่นวิทยุ และเอาทุกจากการรวมกันนี้จะแยกไปยังวงจรขยายปรกติ

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่ใช้หลักการนี้ ดังรูป 3.27



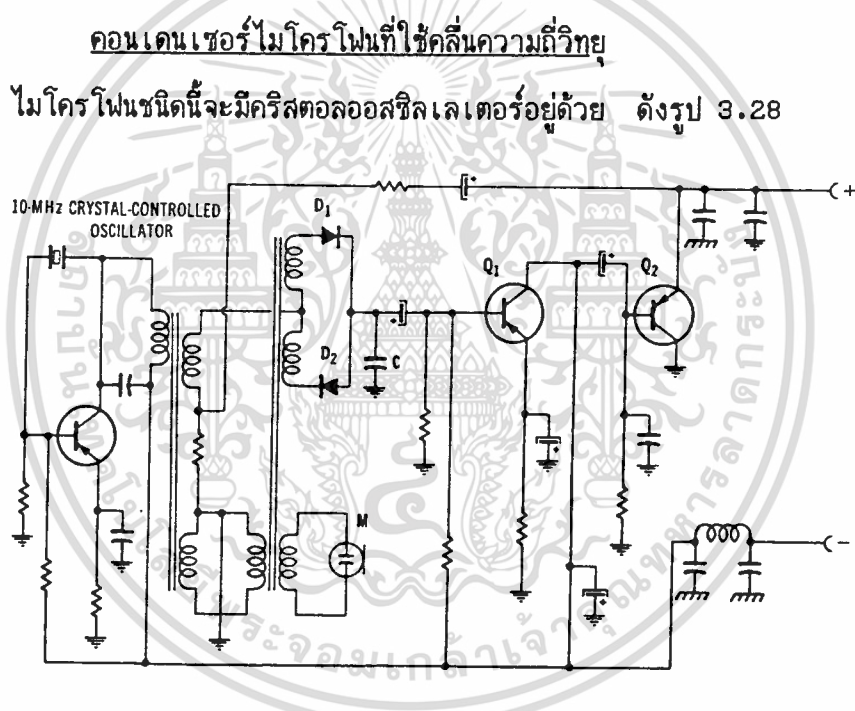
รูป 3.27 วงจรพื้นฐานภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนชนิดมอดดูเลทความถี่คลื่นวิทยุ

ทรานซิสเตอร์จะทำให้ฮอสซิลเลเตอร์ 2 ตัว ถูกกระตุ้นและปรับให้อยู่ที่ความถี่เดียวกัน คือ 3.7 MHz เออาพุทของวงจรจะถูกแปลงโดยวงจรตรวจเฟสแบบบริดจ์ ซึ่งทำงานมอดดูเลทเชิงเส้นในช่วงกว้างด้วยแรงดันของคลื่นความถี่วิทยุจากวงจรฮอสซิลเลเตอร์ค่าต่ำ ขนาดและชีวของเออาพุทของวงจรบริดจ์จะขึ้นกับมุมเฟสระหว่างแรงดันที่คลื่นความถี่สูงทั้งสอง แคปซูลของไมโครโฟนจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุของวงจรฮอสซิลเลเตอร์ตัวหนึ่ง เมื่อมีคลื่นเสียงมากกระทบไดอะแฟรม จะเกิดการลั่นขึ้นและจะถูกตรวจโดยเฟสของคลื่น จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นที่เออาพุทของบริดจ์

ไดอะแฟรมของไมโครโฟนจะเป็นโลหะ เพื่อให้มีค่าตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ วงจรควบคุมความถี่อัตโนมัติ (Automatic frequency control) ที่ทำงานได้ในช่วงกว้างโดยใช้ไดโอดตัวใหญ่ เพื่อป้องกันผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและผลของความคลาดเคลื่อนอันจะทำให้วงจรไม่สมดุลย์ ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ใช้มานาน

ตัวต้านทานโพลดภายในจะมีค่า 200 โอห์ม สัญญาณจะผ่านจากบริดจ์ไปยังตัวเก็บ

ประจุ 2 ตัวโดยตรง และจะมีระดับเอาพุทที่โหนด -51 ถึง -40 dB (ขึ้นกับลักษณะทิศทางของ ไมโครโฟน) ที่ระดับเสียง 1 ดายน์/ตารางเซนติเมตร อัตราส่วนสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน และความมาเพี้ยนจะไม่ขึ้นกับโหนด เนื่องจากมีวงจรถบรีดจ์ แต่การใช้งานตัวต้านทานโหนดจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 30-200 โอห์ม



รูป 3.28 วงจรพื้นฐานของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่ใช้คริสตอลสร้างคามถี่

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนโดยทั่วไปจะมีค่าความต้านทานอินพุท ของภาควงจรขยาย ขึ้นตัน ประมาณ 100 Mโอห์ม ซึ่งทำให้ต้องจัดหั่วตัวเก็บประจุกับวงจขยายขึ้นตันอยู่ใกล้กัน แต่ ไมโครโฟนชนิดนี้มีค่าความต้านทานต่ำกว่ำ เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงตัวเก็บประจุที่ความถี่วิทยุมากกว่ำที่ความถี่เสียง หั่วไมโครโฟนชนิดนี้แทนที่จะต่อกับแรงดันไฟตรงสูงๆ กลับต่อกับแรงดันค่าต่ำๆที่มีความถี่ในช่วงความถี่วิทยุ

เนื่องจากทั้งวงจขยายขึ้นตันและคริสตอลอสซิลเลเตอร์ ออกแบบโดยใช้ทรานซิสเตอร์ เอก จึงทำให้ต้องใชหั่วส่งกำเนิดไฟตรง 12 v ด้วย ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.28 เอาพุทของออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 10 MHz จะถูกสวิตช์เป็นช่วงๆ โดย โดย  $D_1$  และ  $D_2$  จะสวิตช์ตัวเก็บประจุ วงจรสวิตช์นี้จะมีเฟสต่างจากออสซิลเลเตอร์  $90^\circ$  จากการต่อคัปปลิ่งและการกำหนดของวงจรส่วน M (ในรูป) ขณะไม่มีเสียง ทำให้แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุเป็นศูนย์ เมื่อมีเสียงมากกระทบไดโอดแอฟรม เฟสของวงจรสวิตช์จะเปลี่ยนแปลงโดยแปรตามความดันเสียงและจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าซึ่งเกิดจากเสียงคร่อมที่ตัวเก็บประจุ เอาพุทของไดโอดในส่วนของวงจรสวิตช์จะต่อตรงกับวงจรขยายที่เป็นทรานซิสเตอร์ มีอัตราขยาย 12 dB โดยมีวงจรป้อนกลับแบบลบ เพื่อจำกัดอัตราขยาย

เมื่อกำจัดผลของสัญญาณรบกวนที่ที่เกิดจากส่วนออสซิลเลเตอร์ความถี่วิทยุ (RF-OSC) จะใช้คริสตอลเป็นตัวควบคุมการออสซิลเลท สัญญาณรบกวนในส่วนออสซิลเลเตอร์จะแปรผกผันกับค่า Q ของวงจร เนื่องจากค่า Q ของคริสตอลสูงมากและมีเสถียรภาพดี จึงไม่ต้องมีวงจรทดแทนแต่อย่างใด

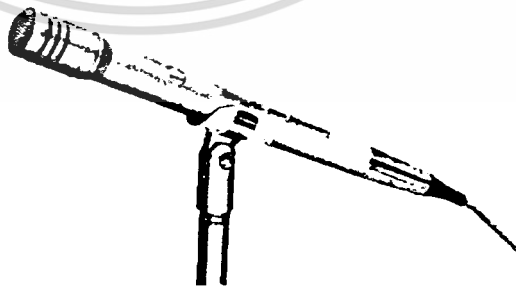
เอาพุทจะมาจากหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ปรับค่าความต้านทานเป็น 100 โอห์ม เพื่อให้พอดีกับความต้านทานโหลด 2 K โอห์ม หรือมากกว่านั้น ขดลวดเหนี่ยวนำความถี่วิทยุจะต่อกับเอาพุทเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนวงจรคลื่นความถี่วิทยุและยังป้องกันคลื่นความถี่วิทยุข้างนอกไม่ให้เหนี่ยวนำเข้ามาในวงจรไมโครโฟน

### 5. อิเล็กทรอนิกส์ไมโครโฟน

อิเล็กทรอนิกส์ไมโครโฟนเป็นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนชนิดหนึ่งซึ่งส่วนตัวเก็บประจุที่หัวไมโครโฟนจะมีประจุถาวรอยู่แล้ว ทำให้ไม่ต้องป้อนแรงดันค่าสูงๆ การออกแบบไมโครโฟนชนิดนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้เฉพาะด้าน จึงมีการพัฒนาไม่กว้างขวางนัก ในยุคแรกๆ ได้มีการลดความซับซ้อนของวงจรเลี้ยงแรงดันสูงๆ ของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนออกไป แต่ก็มีปัญหาเนื่องจากความไม่แน่นอนในการใช้งานในสภาพแวดล้อม ทำให้ข้อดีไม่เด่นชัดนัก แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาจนสามารถใช้งานในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงถึง 50 °C และความชื้น 95% เป็นเวลา 1 ปี โดยความไวของไมโครโฟนลดลงเพียง 1 dB เท่านั้น และถ้าเป็นในสภาพปรกติการลดลงของประจุถาวรที่ถูกสร้างขึ้นจะต่ำมาก ถ้าให้ไมโครโฟนอยู่ในสภาพที่วงจรถูกช็อตไว้และอยู่ในที่แห่งอุณหภูมิปรกติ จะพบว่าภายใน 3 ปี จะไม่มีการหายไปของประจุเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพของประจุในตัวเก็บประจุดีมาก ทั้งนี้ขบวนการสร้างสาร ตลอดจนการทำความสะอาดและการอัดประจุ จะมีผลโดยตรงต่อเสถียรภาพ

อิเล็กทรอนิกส์ไมโครโฟนจะแก้ไขวงจรของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนโดยตัดวงจรแปลงไฟตรง หรือวงจรซับซ้อนต่างๆออกให้สามารถใช้ได้ด้วยแรงดันไฟตรงธรรมดาต่ำๆ

ตัวอย่างของอิเล็กทรอนิกส์ไมโครโฟนได้แก่ Shure SM81 ดังรูป 3.29

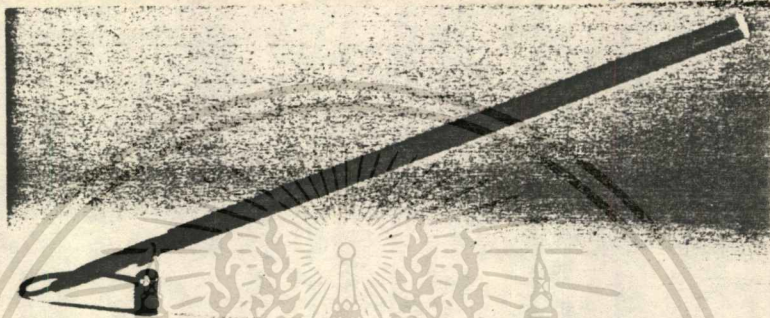


รูป 3.29 อิเล็กทรอนิกส์ไมโครโฟนชนิดทิศทางเดียว SHURE SM81

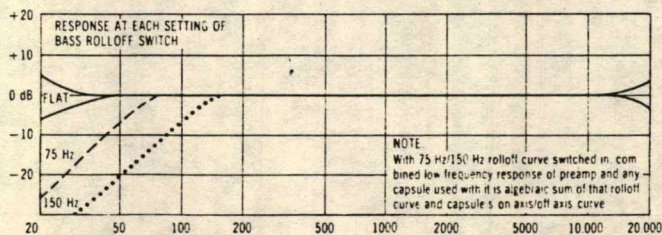
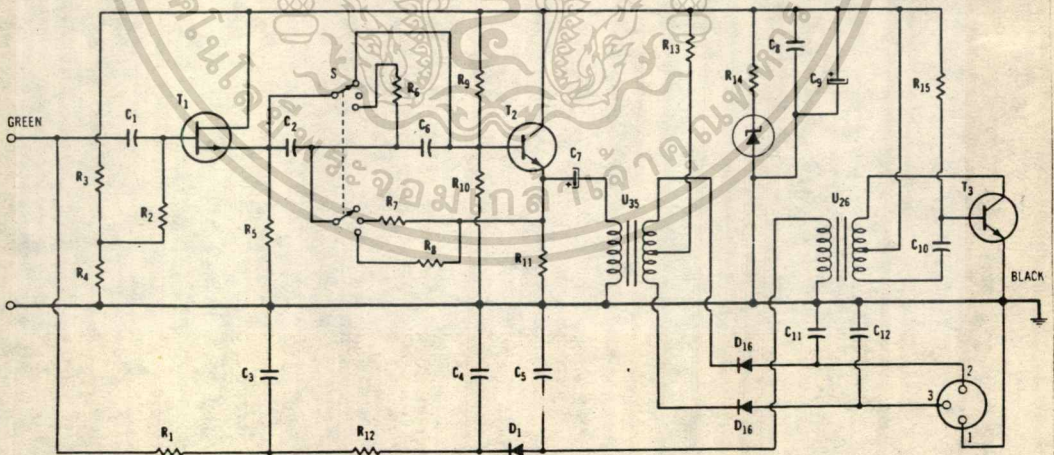
แผ่นที่ให้ไฟเลี้ยงไมโครโฟน และแผ่นหลังซึ่งมีฐานรองเป็นฉนวน สารอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมใช้ได้แก่ เทฟลอน (Teflon) และอาครา (Acclar) วัสดุที่ใช้ทำฐานรองเช่น โพลีโพรพิลีน (Polypropylene), ไมลาร์ (Mylar) แต่ไมลาร์เหมาะจะทำเป็นไดอะแฟรมมากกว่า โดยเฉพาะด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่างของคอนเดนเซอร์ ไมโครโฟน

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน คุณภาพสูงที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในสตูดิโอ , การกระจายเสียง , บนเวที ตลอดจนในคอนเสิร์ต ได้แก่ AKG C-451E ดังรูป 3.30



รูป 3.30 AKG C-451E ซึ่งจัดเป็นไมโครโฟนเป็นชนิดหนึ่ง ภายในเป็นดังรูป 3.31 ไมโครโฟนนี้มีลักษณะรอบกวางต่ำ มีความแน่นอนสูงทั้งในระยะสั้นและในระยะยาว ไมโครโฟนนี้จะใช้กระแสและแรงดันต่ำ โดยมีวงจรภาคจ่ายไฟเป็นวงจรฟันทอม (Phantom) ซึ่งจะจ่ายผ่านสายเคเบิล 2 เส้นที่ถูกชิลส์ไว้อย่างดี

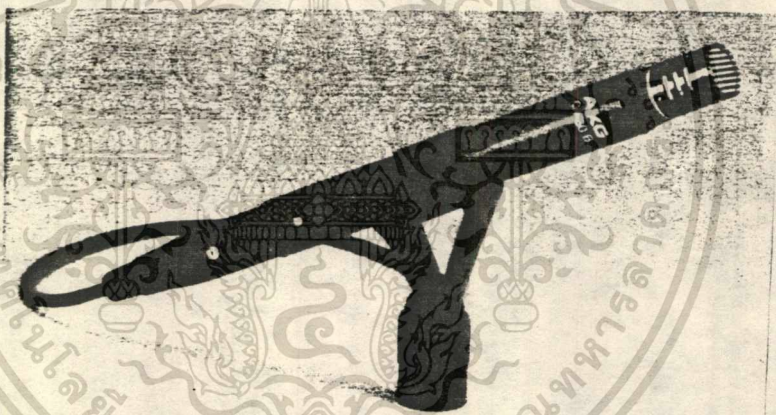


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูป 3.31 วงจรภายในของ AKG C-451E และกราฟการตอบสนองความถี่  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคปซูลของไมโครโฟนประกอบด้วย ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นเซรามิกที่มีทองอยู่ด้วย และไดอะแฟรมโลหะซึ่งถูกยึดอย่างถาวร ขั้วเซรามิกจะมีฉนวนหุ้มกันไม่ให้เกิดการช็อตกันระหว่าง ขั้วกับไดอะแฟรม ผลก็คือจะได้ไมโครโฟนที่มีความทนทานต่ออุณหภูมิ ความชื้น และไม่เกิดการ เสื่อม

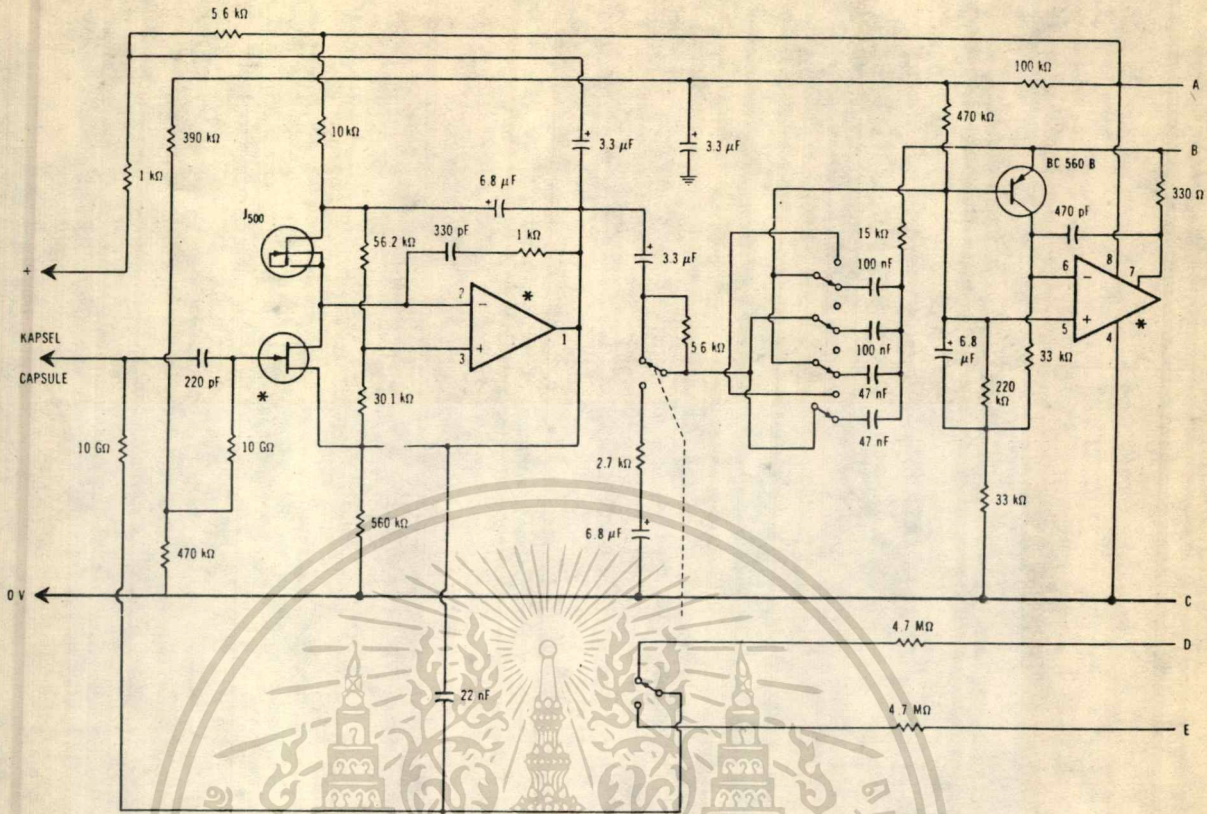
C-451E สามารถเปลี่ยนส่วนแคปซูลเพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะทิศทางจาก แบบรับ เสียงรอบทิศทางไปเป็นคาร์ดิอยด์ หรือ ไฮเปอคาร์ดิอยด์ เพื่อให้เหมาะกับสภาพการรับเสียง

AKG C-460B ดังรูป 3.32 เป็นไมโครโฟนที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้มีอัตราส่วน S/N สูงขนาดของวงจรมายาวจะใหญ่ขึ้น

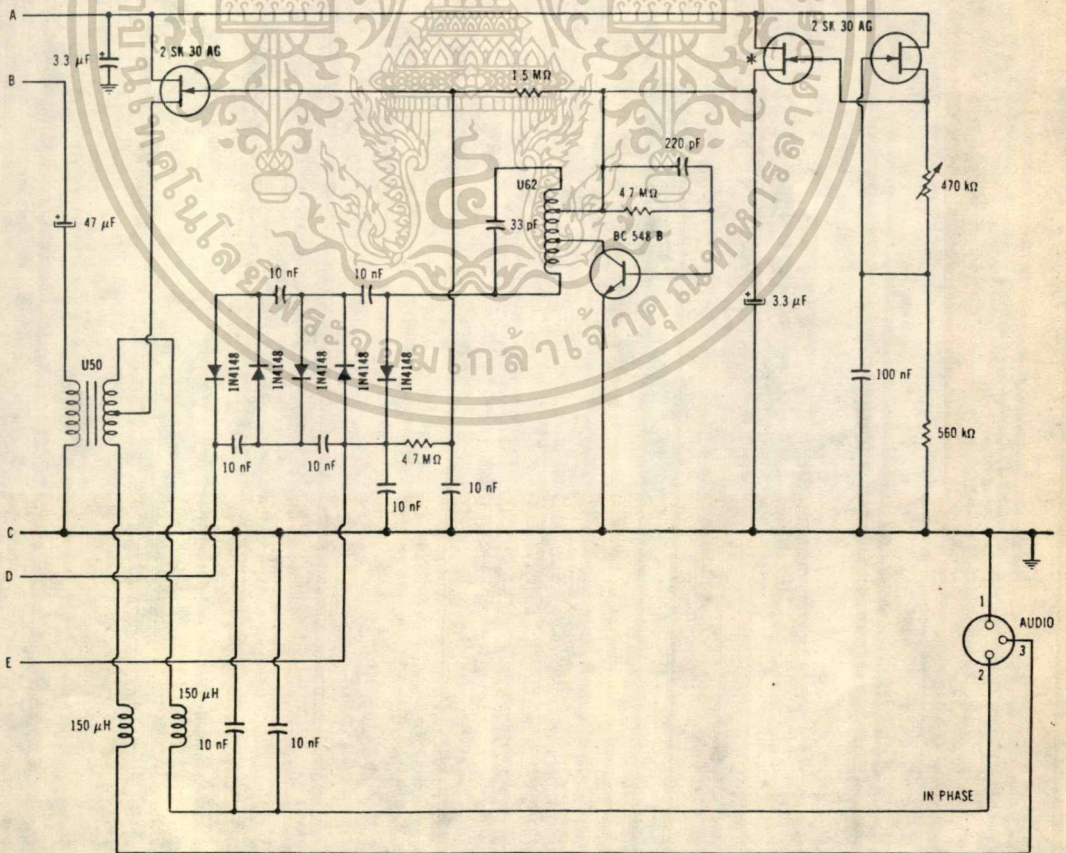


รูป 3.32 ไมโครโฟน AKG C-460B

เพื่อเพิ่มอัตราส่วน S/N , ลดความเพี้ยน และเพิ่มช่วงไดนามิก (Dynamic range) วงจรได้ถูกออกแบบใหม่ ดังรูป 3.33



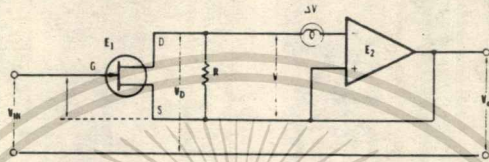
\* SELECTED TYPES



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อรูป 3.33 เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนของวงจรขยายส่วนมากจะมาจากวงจรขยายภาคแรก

รูป 3.34 เป็นวงจรที่ใช้โดยให้แรงดันไฟฟ้าที่ตัวทรานสดิวเซอร์คังที่ โดยการควบคุมกระแสอินพุทให้คังที่



รูป 3.34 ลักษณะภายในวงจรภาคอินพุทของ AGK C-460B

ภายในวงจร AGK C460-B แรงดัน  $V_{g1}$ ,  $V_o$  และ  $V_s$  มีความแตกต่างกันเพียงประมาณ 0.1 % เท่านั้น ทำให้สัญญาณรบกวนซึ่งเข้ามาในวงจรพร้อม  $V_{in}$  ผ่านวงจรขยายมีขนาดเพียง 1/91 ของแรงดัน  $V_o$  มีการเพิ่มวงจรความถี่ต่ำของบัทเตอร์เวิร์ด อันดับที่ 2 เข้าไปในวงจร เอาพุทจะถูกต่อแบบคัปปลิงผ่านหม้อแปลง ซึ่งเป็นขดลวดขนาดใหญ่ ทำให้สามารถให้ระดับเอาพุทที่สูงได้ที่ความถี่ต่ำ

การลัดทอนในช่วงระหว่าง ตัวเก็บประจุกับวงจรขยาย ซึ่งเกิดขึ้นจากการต่อตัวเก็บประจุชานกับอินพุท หรือโดยการลัดอัตรายายที่อินพุท ด้วยวิธีใช้วงจรบ่อนกลับแบบลบ ปรกติจะทำให้เกิดกระแสคายประจุ (Discharge) ซึ่งมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น AGK C460-B จะออกแบบให้มีการลดแรงดันไฟฟ้าลดลง 1/3 ของปรกติ โดยใช้ตัวต้านทานแบ่งแรงดันในสายสัญญาณเสียงดังรูปนี้ เอาพุทของไมโครโฟนจะถูกป้องกันจากความถี่วิทยุโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่อชานกัน ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันสัญญาณรบกวน จากสถานีวิทยุทั่วไป กระแสทั้งหมดที่หมุนเวียนในไมโครโฟน จะมีค่าต่ำมากคือ น้อยกว่า 1 mA

การใช้งานไมโครโฟนสป็อต (Spot microphone) ในภาพยนตร์มากขึ้นเนื่องจากมีขนาดเล็กสามารถซ่อนได้ง่ายและคุณภาพเสียงดี CK1X และ CK2X เป็นแคปซูลขนาดเล็ก พร้อม

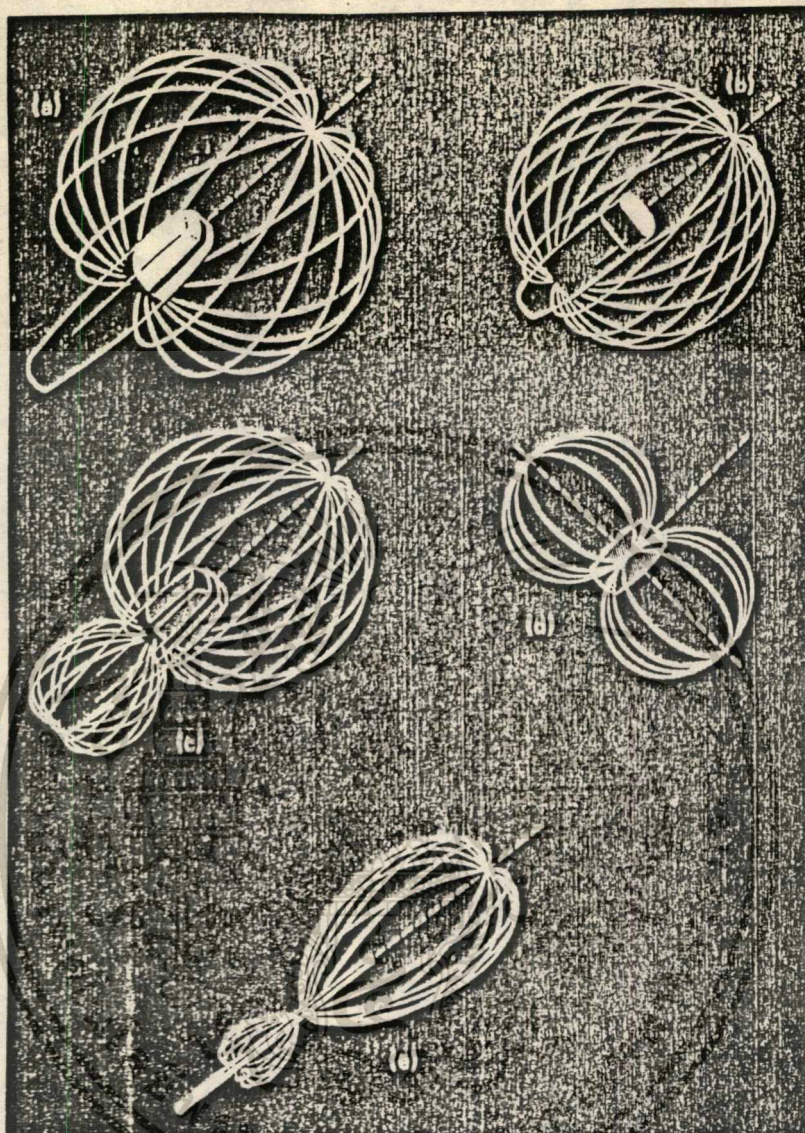
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งมีภาคขยายขึ้นต้นภายใน รวมถึงตัวแปลงไฟ (Adapter) ซึ่งต่อกับวงจรของ AKG C460B ซึ่ง  
อยู่ภายนอก สามารถใช้งานโดยให้ไมโครโฟนห่างจากวงจรได้ถึง 20 ฟุต

ข้อดีของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน คือ

1. ไดอานแฟรมมีขนาดเล็กและมวลต่ำ ซึ่งจะลดผลของการสั่น (Vibrate pickup)
2. มีการตอบสนองความถี่ที่ราบเรียบและเป็นช่วงกว้าง
3. ทนทานและสามารถใช้งานในการวัดระดับเสียงที่มีระดับความดันสูงมากๆ ได้
4. สัญญาณรบกวนต่ำ
5. หัวมีขนาดเล็กและมีการแทรกแซงต่ำ

ถ้าใช้งานในที่ที่มีความชื้นต้องมีสารกันชื้น



โพลากราฟในระบบ 3 มิติของไมโครโฟนชนิดต่างๆ

- a. ไมโครโฟนคาร์ตอย
- b. ไมโครโฟนทุกทิศทาง
- c. ไมโครโฟนไฮเปอร์คาร์ตอย
- d. ไมโครโฟน 2 ทิศทาง
- e. ไมโครโฟนปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

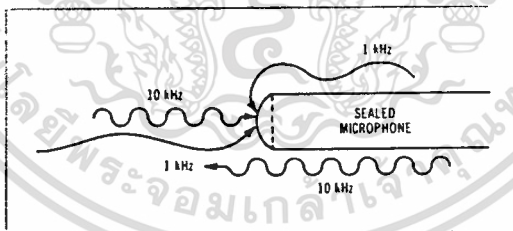
ลักษณะการรับเสียงของไมโครโฟน

ในการออกแบบการรับเสียงทำได้ 3 แบบคือ

1. แบบรับเสียงทุกทิศทาง(Omnidirectional)

ไมโครโฟนแบบนี้จะมีความไวในการรับเสียงจากทุกทิศทางเท่ากัน โพลารกราฟจะเป็นแบบทรงกลม ดังในตาราง 3.1 ไดอะแฟรมของไมโครโฟนชนิดนี้จะรับเสียงแต่ด้านหน้าเท่านั้น ไม่มีการหักล้างของเสียงจากด้านหน้าและด้านหลังของไดอะแฟรม

ความมีทิศทางของไมโครโฟนจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางของไมโครโฟน มีค่าใกล้เคียงความยาวคลื่น ดังรูป 4.1 ดังนั้นถ้าต้องการใช้ไมโครโฟนแบบนี้ที่ความถี่สูง ควรทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้จากคุณสมบัติการเลี้ยวเบนของคลื่น ถ้าความยาวคลื่นของเสียงมีค่าใกล้เคียงกับขนาดของวัตถุ คลื่นสามารถผ่านวัตถุนั้นได้ แต่ถ้าความยาวคลื่นมากกว่าขนาดของวัตถุคลื่นจะมีการเลี้ยวเบน



รูป 4.1 ความมีทิศทางของไมโครโฟนรอบทิศทางเมื่อความถี่สูงขึ้น

การตอบสนองต่างๆจะเริ่มขยายออกที่ความถี่ซึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าประมาณ 1/10 ของความยาวคลื่น (  $D = \lambda/10$  ) ดังนั้นความถี่ที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคือ

$$f = v/10d$$

เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วเสียง ( ฟุต / วินาที )

$10d$  คือ ความยาวคลื่น ( ฟุต )

ตัวอย่างเช่น ไมโครโฟนมีเส้นผ่าศูนย์กลางของไดอะแฟรม  $d = 1/2$  นิ้ว จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติรอบทิศทาง ที่

$$f = 1130 / (10(0.5/12)) \\ = 2712 \text{ Hz.}$$

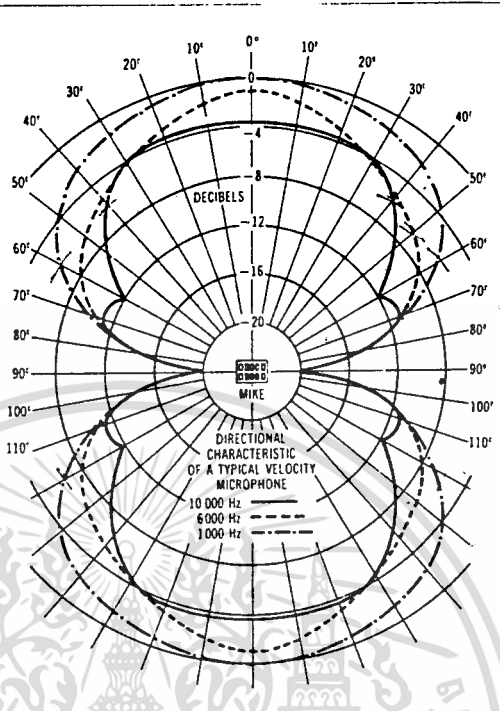
และจะลดลงประมาณ 3 dB. ที่ 10,000 Hz.

จากรูปการรับเสียงเป็นทรงกลม จึงได้สัมประสิทธิ์การส่งพลังงานเป็น 100% และอัตราส่วนการรับเสียง ด้านหน้าต่อด้านหลังหรือด้านข้าง ของไมโครโฟนเป็น 1:1 คือ ความไว ของการรับเสียงทุกทิศทางเท่ากัน ทำให้ได้ดัชนีความเป็นทิศทางเท่ากับ 0 dB. ซึ่งเป็นประโยชน์ในการใช้งานบางอย่าง เช่น ใช้รับเสียงในการสนทนาของคนทั้งโต๊ะหรือทั้งห้อง แต่อาจมีผลเสียถ้าใช้ในที่มีเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม

## 2. แบบรับเสียง 2 ทิศทาง

ไมโครโฟนแบบนี้รับเสียงจากด้านหน้าและหลังได้ดีเท่า ๆ กัน แต่รับเสียงทางด้านข้างได้น้อยมาก จะได้โพลารแกรม ดังตาราง 3.1 เรียกว่า กราฟรูปเลข 8

เนื่องจากไมโครโฟนแบบนี้รับเสียงด้านข้างต่างจากด้านหน้าและหลัง จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งพลังงาน 33% หรืออาจกล่าวได้น่าน้อยกว่าแบบรอบทิศทาง 67% อัตราส่วนการรับเสียงด้านหน้าต่อด้านหลังเท่ากับ 1:1 ด้านหน้าต่อด้านข้างเป็นอินฟินิตี้ ดัชนีความเป็นทิศทางเท่ากับ 4.8 มีประโยชน์ในงานบางอย่าง เช่น รับเสียงจาก 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน เนื่องจากความเป็นทิศทางเพิ่มขึ้น ระยะทางการรับเสียงก่อนการบ้อนกลับในทิศทางตรง จึงมากกว่าแบบรับเสียงทุกทิศทาง 1.7 เท่า จากรูป 4.2 การรับเสียงด้านหน้าจะลดลง 6 dB. เมื่อมุม 60 องศา ถึง 60 องศา เป็นมุม 120 และด้านหลังก็เช่นกัน และจากคุณสมบัติ การเลี้ยวเบนของคลื่น มุมที่เสียงลดลง 6 dB. จึงเปลี่ยนไปและแคบลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น



รูป 4.2 โพลารกราฟของไมโครโฟน 2 ทิศทาง

### 3. แบบรับเสียงทิศทางเดียว

ไมโครโฟนแบบนี้มีความไวในการรับเสียงจากด้านหน้ามากกว่าด้านอื่นๆ โดยเฉลี่ย 20-30 เดซิเบล

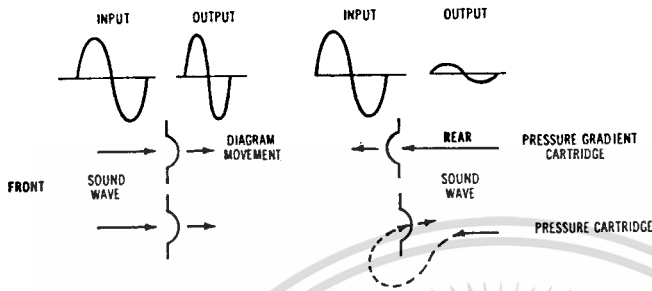
อาจเรียกไมโครโฟนแบบนี้ได้หลายอย่างเช่น คาร์ดีอย (Cardioid) แบบเป็นทิศทาง, ซุปเปอร์คาร์ดีอย (Super-Cardioid) หรือไฮเปอร์คาร์ดีอย (Hyper-Cardioid) รูปโพลารกราฟที่ได้เรียก "คาร์ดีอย" เนื่องจากมีรูปร่างคล้ายหัวใจดังตาราง 3.1 ไมโครโฟนแบบนี้เป็นที่นิยมใช้มากเพราะ ขจัดเสียงรบกวนที่ไม่ต้องการได้ดี

มีข้อดีดังนี้

1. เสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมน้อย
2. เกน (gain) ก่อนการป้อนกลับ (feedback) มีค่ามากเมื่อใช้ในทิศทางตรง
3. แยกแยะทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้ดี

สามารถทำได้จากคุณสมบัติ 2 แบบ

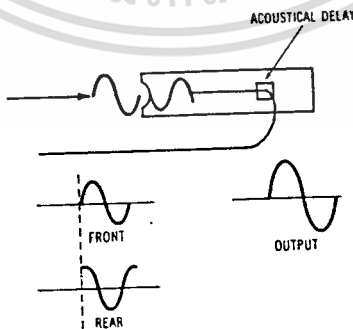
1. รวมคุณสมบัติของความดันบนไดอะแฟรม (pressure diaphragm) และความแตกต่างความดันของไดอะแฟรม (pressure gradient diaphragm) ดังรูป 4.3



รูป 4.3

เนื่องจากแบบความแตกต่างความดัน รับเสียงสองทิศทางและแบบความดันรับเสียงจากทุกทิศทาง มีการรวมกันของคลื่นด้านหน้าไดอะแฟรมและมีการหักล้างของคลื่นจากด้านหลังของไดอะแฟรม เพราะความแตกต่างของเฟสคลื่นเป็น 180 องศา แต่วิธีนี้มีราคาแพง และไม่นิยมใช้ในไมโครโฟนทั่วไป

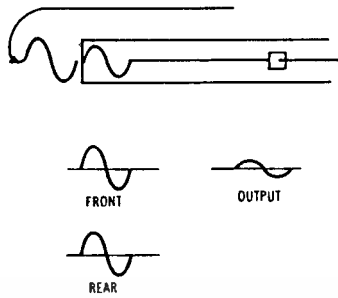
2. แบบนี้นิยมใช้มาก ใช้ไดอะแฟรมอันเดียวและการหน่วงเวลาทางเสียงที่เข้าทางด้านหลังของไดอะแฟรม เมื่อคลื่นเสียงเข้าทางด้านหน้าของไดอะแฟรม เสียงทางด้านหลังต้องผ่านวงจรหน่วงเวลาดังรูป 4.4 แรงดันด้านหน้าเป็น 0 องศา ในขณะที่ด้านหลังอยู่ระหว่าง 0 - 180 องศา ดังรูป 4.5 ถ้าแรงดันด้านหลังเป็น 180 องศา เอาพุก จะเป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติแรงดันด้านหลังอาจเป็น 0 องศา จึงไปรวมกับด้าน อินพุต ได้เอาพุกเป็นสองเท่า



(A) Normal.

รูป 4.4 ในทางปฏิบัติ ลักษณะเสียงที่ผ่านวงจรหน่วงเวลา

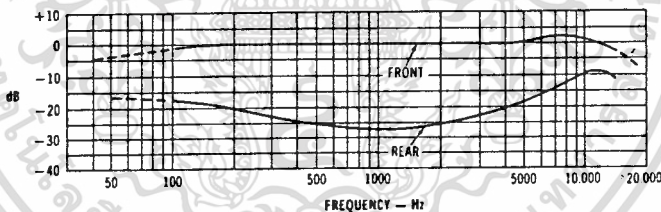
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5 ในทางทฤษฎีต้องการให้เสียงเกิดการหน่วงเวลา 180 องศา

เมื่อคลื่นเข้าทางด้านหลังของไมโครโฟนจะมากกระทบด้านหน้าและด้านหลังของไดอะแฟรมในเวลาเดียวกัน เฟสเดียวกันจึงเกิดการหักล้างขึ้น

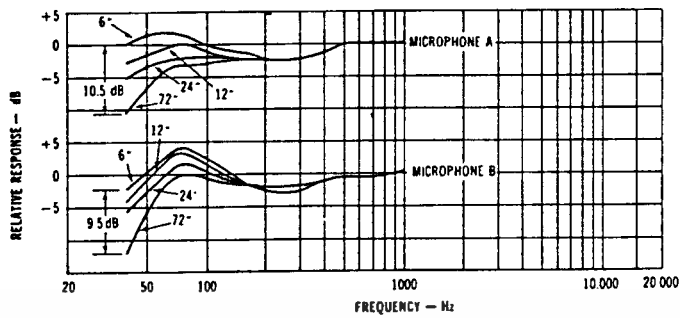
การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนแบบคาร์ตอยด์อย ไม่เรียบเหมือนแบบรับเสียงทุกทิศทางเนื่องจาก ค่าความต้านทานทางอคูสติกและผลจากการหักล้างของเสียง ถึงแม้การรับเสียงด้านหน้าจะราบเรียบในช่วงอডিโอ แต่ผลตอบสนองของเสียงจากด้านหลังจะเพิ่มขึ้นที่ความถี่สูงและความถี่ต่ำดังรูป 4.6



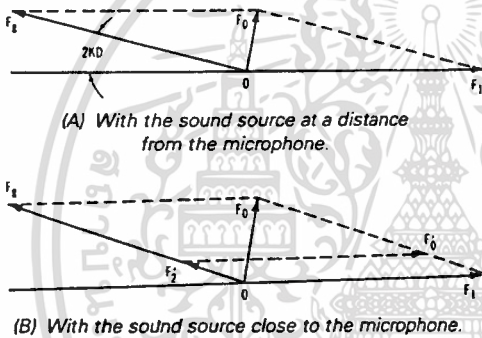
รูป 4.6 การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนทิศทางเดียว

ความแตกต่างของผลตอบสนองของเสียงด้านหน้าและด้านหลัง ในช่วงความถี่กลางมีค่า 15 และ 30 เดซิเบล และที่ความถี่สูงและต่ำมีค่า 5 ถึง 10 เดซิเบล ดังรูป 4.6

ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ไดอะแฟรมยิ่งขึ้น ผลตอบสนองของความถี่ต่ำจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของความใกล้ชิด ดังรูป 4.7 ผลของความใกล้ชิดทำให้ ขนาดของแรงดันด้านหน้ามีผลมากกว่าด้านหลัง อธิบายโดยรูปเวกเตอร์ไดอะแกรมดังรูป 4.8a สมมติแหล่งกำเนิดเสียงห่างจากไมโครโฟนระยะหนึ่ง



รูป 4.7 การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนคาร์ดิอย เมื่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดและไมโครโฟนเปลี่ยนแปลง



รูป 4.8 เวกเตอร์ไดอะแกรมของไมโครโฟนชนิดทิศทางเดียว

มุม  $2KD$  ได้จาก

$D$  คือ ระยะทางทางอคูสติก จากด้านหน้าถึงด้านหลัง

$K$  คือ  $2\pi/\lambda$

รูป 4.8b เป็นเวกเตอร์ไดอะแกรม เมื่อให้แหล่งกำเนิดเสียงใกล้ไมโครโฟน สมมติว่าแรงดันเสียงบนด้านหน้าของไดอะแฟรม ของทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากัน

$F_1$  เป็นแรงด้านหน้าของไดอะแฟรม ทั้งสองแบบ

$F_2$  เป็นแรงด้านหลังของไดอะแฟรม จากแหล่งกำเนิดห่างระยะหนึ่ง

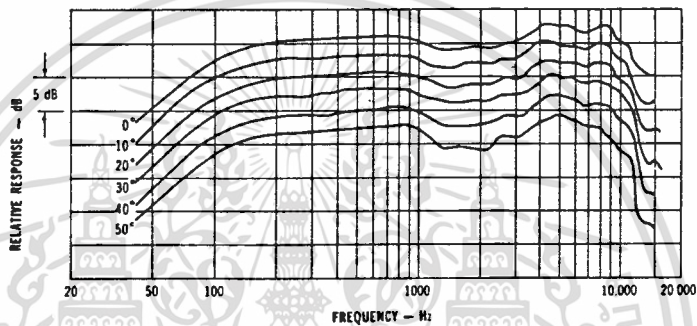
$F_2'$  เป็นแรงด้านหลังของไดอะแฟรม จากแหล่งกำเนิดห่างระยะหนึ่งที่ใกล้กว่า  $F_2$

$F_0$  เป็นผลรวมของเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 F<sub>0</sub>' เป็นผลรวมของเวกเตอร์ ที่มีขนาดใหญ่กว่า F<sub>0</sub>อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

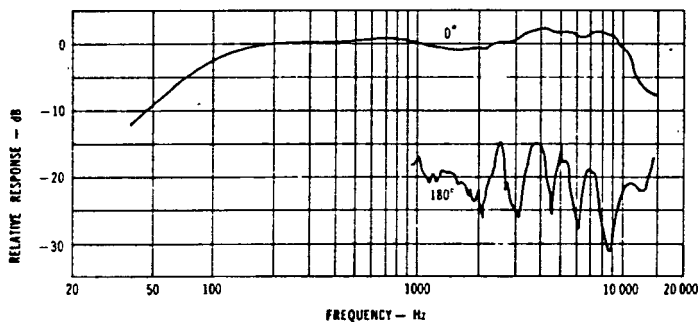
ขนาด  $F'_0$  ที่เพิ่มขึ้นทำให้ เอาหูจากไมโครโฟนเพิ่มขึ้นที่ความถี่ต่ำ จะเป็นประโยชน์ถ้าต้องการเพิ่มความถี่เบสก็ได้โดยลดระยะทาง

รูป 4.9 เป็นกราฟแสดงคุณสมบัติการรับเสียงด้านหน้าของไมโครโฟน โดยปรับความถี่เปลี่ยนไปเรื่อยๆ ซึ่งกราฟแบบนี้เห็นแกนออฟได้ชัดเจนกว่ากราฟโพล่า เพราะได้ดูที่ความถี่ต่อเนื่อง



รูป 4.9 คุณสมบัติการรับเสียงของไมโครโฟนเมื่อแหล่งกำเนิดอยู่ที่มุมต่างๆ

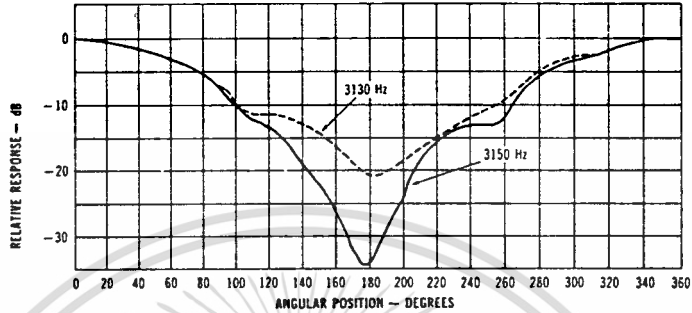
แต่ถ้าดูเฉพาะกราฟผลตอบแทนจากด้านหลัง จะเห็นว่ามีลักษณะแกว่งไปมาขึ้นๆลงๆ ทำให้ดูลักษณะโพล่าไม่ได้ ได้แต่ระดับสัญญาณที่มุมใดมุมหนึ่ง และที่ความถี่สูงขึ้นไปกราฟก็จะยิ่งแกว่งมากขึ้นดังรูป 4.10 ทำให้เราไม่สามารถทำไมโครโฟนทิศทางเดียวที่ความถี่สูงได้ องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อการตอบสนองด้านหลังคือ การเลี้ยวเบน เนื่องจากไมโครโฟนเป็นวัตถุที่อยู่ในบริเวณที่มีคลื่นเสียงผ่าน ผลการเลี้ยวเบนขึ้นกับความถี่และมีแนวโน้มที่จะทำให้ ความเป็นอุดมคติของอุปกรณ์เลื่อนเฟส (Phase shift) ในไมโครโฟนแบบรับเสียงทิศทางเดียวเปลี่ยนไป



รูป 4.10 การตอบสนองความถี่สูงของไมโครโฟนเมื่อแหล่งกำเนิดอยู่ด้านหลัง

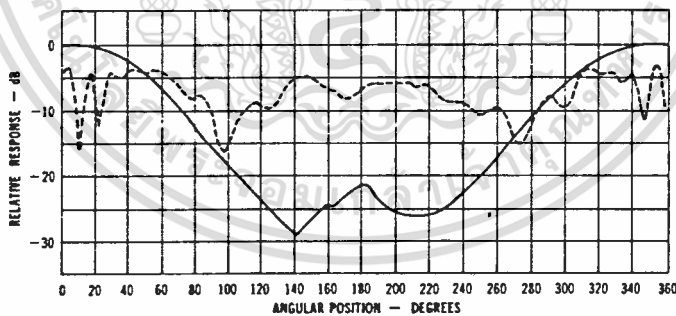
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางอยู่ในระดับความถี่สูงของไมโครโฟนเมื่อแหล่งกำเนิดอยู่ด้านหลัง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.11 จะเห็นว่าได้ผลของสองความถี่เท่า ๆ กัน แต่ในแกนออฟ (180 องศา) ความถี่แตกต่างกัน 20 เฮิรตซ์ ก็ได้ผลแตกต่างกันมาก โดยอธิบายไม่ได้



รูป 4.11 การตอบสนองความถี่ที่มุม 180 องศา ของเสียง 2 ความถี่ใกล้เคียงกัน

การใช้ไมโครโฟนแบบที่ต้องระวัง ไม่ให้มีวัตถุกีดขวางมาอยู่ใกล้ไมโครโฟน เช่น ถ้ามีศีรษะคนกีดขวางหน้าไมโครโฟน 2 นิ้วจะลดความสามารถในการแยกทิศทางของไมโครโฟนลงไป เพราะศีรษะเป็นเหมือนที่สะท้อนของคลื่น และป้อนกลับไปยังไมโครโฟน ดังรูป 4.12 นี้ไม่ใช่ข้อบกพร่องของไมโครโฟนแต่เป็นผลที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นการใช้ไมโครโฟนแบบนี้จะต้องระวังในเรื่องบริเวณที่จะใช้งานมาก



รูป 4.12 การตอบสนองความถี่เมื่อมีคนขวางอยู่หน้าไมโครโฟน (เส้นประ)

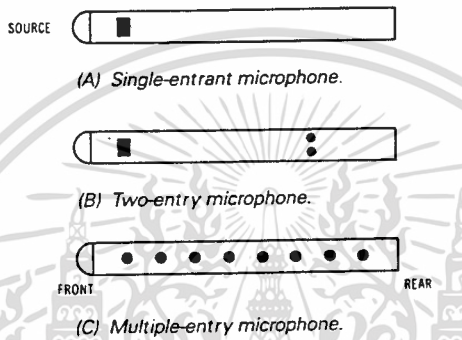
นิยมใช้ไมโครโฟนในงานทีวี หรือกระจายเสียง หรือรับเสียงจังหวะของการเต้นแอ๊บบ (tab) แล้วยังนำมาใช้ร่วมกับไมโครโฟนอื่นในงานพูด หรือสัมภาษณ์แต่ละคนจากกลุ่มใหญ่ๆ และจะใช้ได้ดีที่สุดในงานนอกสถานที่ โดยเฉพาะรายการที่มีการเคลื่อนไหวของแหล่งกำเนิดเสียงอย่างรวดเร็ว ยากที่จะยกไมโครโฟนตามไปได้ เช่นในการแข่งขันอเมริกันฟุตบอล

บทที่ 5

ไมโครโฟนทิศทางเดี่ยวชนิดต่าง

แยกตามจำนวนช่องของเสียงที่เข้าด้านหลัง ปรกติเสียงจะเข้าทางช่องด้าน

หลังของไมโครโฟนผ่านช่องของตัวไมโครโฟนดังรูปที่ 5.1



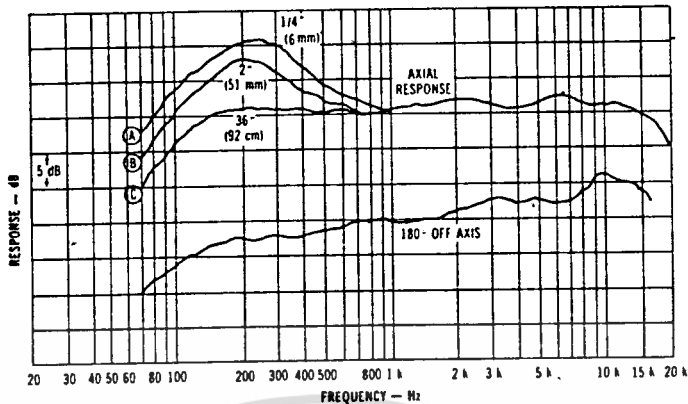
รูป 5.1 ไมโครโฟนคาร์ตอยด์ 3 ชนิดแรก

5.1 ไมโครโฟนคาร์ตอยด์แบบช่องเดี่ยว

ไมโครโฟนแบบนี้ช่องจะถูกเจาะห่างจากไดอะแฟรมในช่วง  $1 \frac{1}{2}$  นิ้วและมีผลจากสิ่งที่ไม่ใกล้เคียงไมโครโฟนมากดังรูปที่ 5.2 เป็นไมโครโฟนแบบช่องเดี่ยวซึ่งผลต้อบสนองความถี่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงไมโครโฟนมีค่าลดลงดังกราฟรูป 5.3 และมีค่าสูงสุดเมื่อระยะห่างเป็น  $1 \frac{1}{2}$  นิ้ว ค่าต่ำสุดเมื่อระยะห่างเกิน 24 นิ้ว อาจให้ผลนี้ให้เป็นประโยชน์ในการใช้งานที่ต้องการผลของความถี่ต่ำที่เปลี่ยนแปลงได้

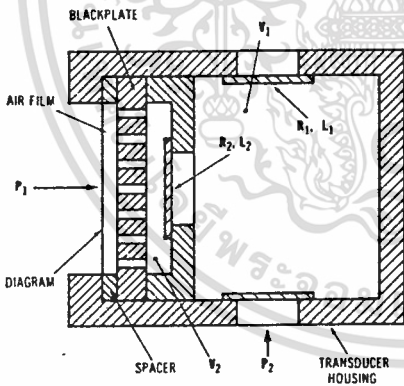


รูป 5.2 ไมโครโฟนช่องเดี่ยว Electro-voice DS35



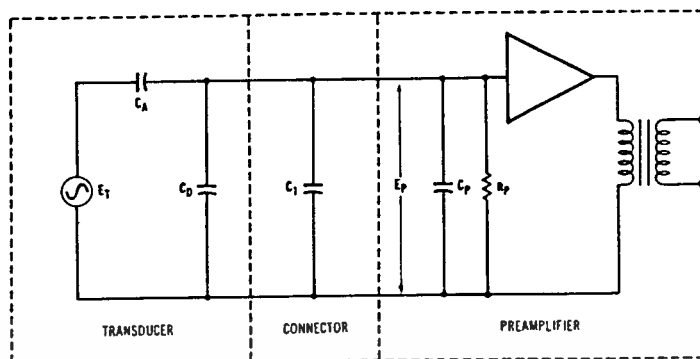
รูป 5.3 การตอบสนองความถี่ของ DS35 ที่ระยะต่างๆ

ตัวอย่างไมโครโฟนแบบช่องเดี่ยวอีกอันหนึ่งคือ Shure SM-81 ทำงานโดยใช้ความแตกต่างของแรงดันดังรูปที่ 3.29 และ 5.4 เป็นรูปตัดขวางของตัวแปลงกำลัง (Transducer) รูปที่ 5.5 ซึ่งให้เห็นถึงวงจรตัวแปลงกำลังและภาคขยาย แรงดัน  $P_1$  เข้าทางด้านหน้าของไดอะแฟรม  $P_2$  เป็นแรงดันเข้าทางด้านข้างของตัวแปลงกำลัง



รูป 5.4 ภาพตัดขวางของ Shure SM81

$Z_o$  เป็นค่าความต้านทานทางเสียงของไดอะแฟรมรวมกับความต้านทานของฟิล์มอากาศบางๆ ระหว่างไดอะแฟรมกับแผ่นหลัง (Back Plate) แรงดัน  $P_2$  กระทบผิวด้านหลังของไดอะแฟรมผ่านฉากที่ปิดช่องด้านข้างของตัวแปลงกำลังซึ่งมีความต้านทานกำลัง  $R_1$  และความเฉื่อย  $L_1$  เข้าไปในช่องความจุ  $V_1$  ด้วยค่าผ่าน  $C_1$



รูป 5.5 วงจรขยายภาคแรกและตัวแปลงกำลังของ Shure SM81

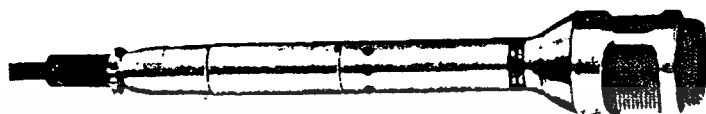
ฉากที่ 2 ความต้านทาน  $R_2$  ความเฉื่อย  $L_2$  เข้าไปในช่องความจุ  $V_2$  ด้วยค่าผ่าน  $C_2$  แล้วผ่านเข้าไปถึงแผ่นหลังในที่สุด

วงจรประกอบด้วย  $L_1, R_1, C_1, L_2, R_2, C_2$  เป็นวงจรแลดเดอร์ (Ladder Network) ที่มีการสูญเสียเนื่องจากความเฉื่อย ทำให้มีการหน่วงเวลาแรงดัน  $P_2$  จึงได้คุณสมบัติเป็นคาร์ดิอย ซึ่งเป็นจริงที่ความถี่ต่ำและกลาง แต่ที่ความถี่สูงการลดทอนมีค่าสูงมาก ทำให้ผลของแรงดัน  $P_2$  ที่ด้านหลังไดอานแฟรมมีค่าน้อย ไมโครโฟนจึงทำตัวเป็นแบบรับเสียงทุกทิศทางมากขึ้น เพราะแรงดัน  $P_1$  มีผลมากกว่าดังนั้นที่ความถี่สูงความเป็นทิศทางของไมโครโฟนได้จากการเลี้ยวเบนของเสียงรอบขนาดของตัวแปลงกำลังที่เหมาะสม

## 5.2 ไมโครโฟนคาร์ดิอยแบบ 2 ช่อง

ตัวอย่างไมโครโฟนแบบนี้คือ Shure SM53 และ SM54

SM53 ดังรูป 5.6 เสียงความถี่ต่ำที่เข้าทางด้านหลังที่ทางเข้าห่างจากจุดศูนย์กลางไดอานแฟรมประมาณ 4.75 นิ้ว และความถี่สูงเข้าที่ทางเข้าห่างประมาณ 1 นิ้ว ที่ทางผ่านเกิดความถี่ประมาณ 800 และ 1,000 เฮิรตซ์ ซึ่งที่แต่ละทางเข้ามักจะมีหลายรูเจาะบนตัวไมโครโฟน

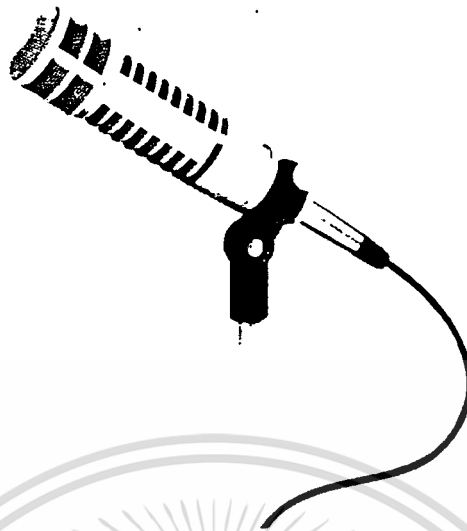


รูป 5.6 ไมโครโฟนชนิด 2 ข้อง Shure SM53

การทำรูปแบบอย่างนี้ เพราะบางครั้งเวลาใช้มือที่จับไมโครโฟนอาจจะปิดรูใดรูหนึ่งไป ก็ยังมีรูอื่น ๆ ให้แรงดันเสียงเข้าไปได้ ไมโครโฟนนี้ก็จะได้ผลตอบสนองทางโพลารภาพเป็นคาร์ดิอยเหมือนกัน และได้มุมรับเสียงด้านหน้าที่กว้าง การกำจัดเสียงรบกวนและการควบคุมการป้อนกลับที่ดีด้วย

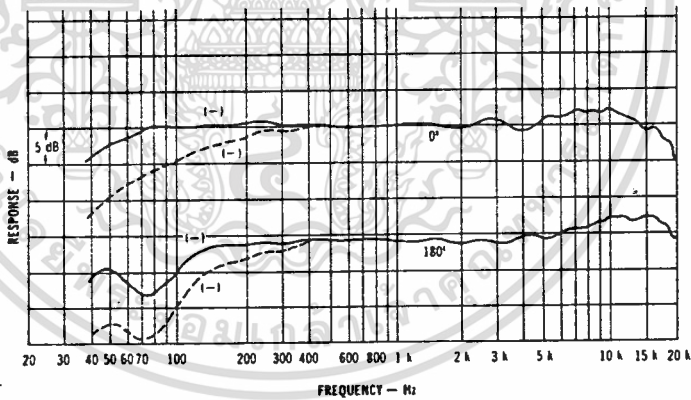
### 5.3 ไมโครโฟนคาร์ดิอยแบบ หลายช่อง

ตัวอย่างไมโครโฟนแบบนี้เช่น รูป 5.7 Electro-voice RE20 มีโครงสร้างคล้ายแบบช่องเดียวที่มีหลายช่องที่ระยะห่างจากไดอะแฟรมต่างกัน หรือช่องเดี่ยวแบบต่อเนื่อง ทางเข้าแต่ละทางถูกปรับเพื่อความถี่ต่างกัน ช่องที่ใกล้ไดอะแฟรมเจาะเพื่อช่วงความถี่สูง และช่องที่ไกลจากไดอะแฟรมเจาะเพื่อช่วงความถี่ต่ำ ประโยชน์ของการเจาะแบบนี้คือจะลดผลกระทบของ สิ่งแวดล้อมที่ใกล้ไมโครโฟนเพราะ ระยะของแหล่งกำเนิดเสียงและทางเข้าของความถี่ต่ำด้านหลังมีมาก การครอสโอเวอร์ ( Crossover ) จะถูกต้องขึ้น



รูป 5.7 ตัวอย่างไมโครโฟนหลายช่อง Electro-voice RE20

ไมโครโฟน RE20 ยังมีสวิตช์ลดผลความถี่ต่ำ เพื่อลดผลจากสิ่งแวดล้อมใกล้ไมโครโฟน เมื่อใช้งานใกล้ไมโครโฟน รูป 5.8 เส้นดำเข้มไม่ได้เปิดสวิตช์ เส้นประเปิดสวิตช์ จะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำผลที่ได้ลดลง



รูป 5.8 การตอบสนองความถี่ของ RE20 ที่มุม 0 และ 180 องศา

ไมโครโฟนทั้งสามแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นใช้หลักการ ทำให้เกิดความแตกต่างแรงดัน (gradient pressure) ขึ้นที่ด้านหน้าและด้านหลังของไดอะแฟรม

### 5.4 ไมโครโฟนปืน ( Shotgun Microphone )

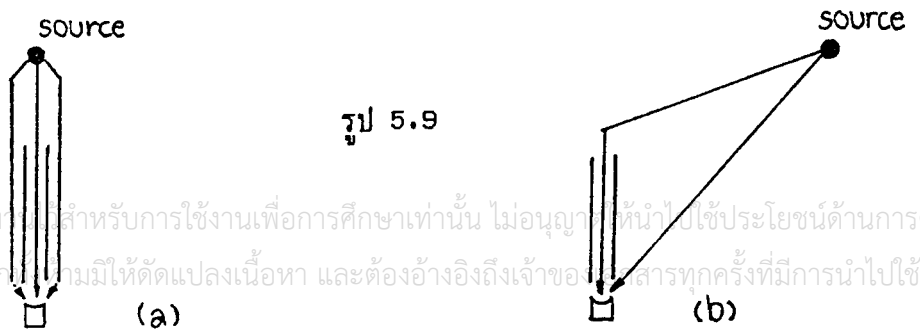
อลสัน (Olson) ได้อธิบายเรื่อง ไมโครโฟนแบบอินไลน์ (in-line) ในปี 1938 หรือเรียกว่า ไมโครโฟนปืน เพราะดูจากรูปร่าง และคุณสมบัติการรับเสียง

สมมติให้ใช้แหล่งกำเนิดเสียงแรงดันคงที่ แต่ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับไมโครโฟนเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มอัตราขยายของวงจรขยาย แต่การเพิ่มอัตราขยายนี้จะมีผลทำให้ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise ratio) ลดลงและมีสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เสียงจากทิศทางที่ไม่ต้องการอาจจะเข้ามาได้เท่ากับจากทิศทางที่ต้องการ ไมโครโฟนแบบนี้สามารถแก้ไขการจำกัดระยะทางข้างต้น ทำได้โดยเพิ่มความไวของไมโครโฟนและ ลดผลของเสียงที่ไม่ต้องการโดยเพิ่มความเบี่ยงทิศทางของไมโครโฟน

หลักการทำงานของไมโครโฟนปืนนี้มีพื้นฐานมาจากการนำท่อมาใส่ไว้ด้านหน้าของไมโครโฟนเพื่อให้เสียงมุมอื่นนอกจากมุม 0 องศาถูกกำจัดไป ท่อในส่วนที่ใกล้กับไมโครโฟนจะเว้นส่วนช่องว่างไว้ให้เสียงเข้าได้ดังรูป 5.9a เสียงจากมุมตรงกับไมโครโฟนจะผ่านจากท่อไปยังไมโครโฟนเป็นลักษณะเดียวกับเสียงที่เข้ามาบริเวณช่องว่าง ส่วนเสียงจากมุมอื่นลักษณะเสียงที่เข้ามาจากสองเส้นทางจะแตกต่างกัน เสียงที่ผ่านท่อจะมีระยะทางมากกว่าดังรูป 5.9b ซึ่งความแตกต่างกันของระยะทางนี้จะทำให้เกิดการหักล้าง หรือรวมกันของคลื่นเสียงขึ้นที่ด้านหน้าของไดอะแฟรม ถ้าความแตกต่างของระยะทางทั้งสองเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียง เฟสของเสียงจะต่างกัน 180 องศา ซึ่งแรงดันลัพธ์จะเท่ากับศูนย์

การหักล้างกันลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อระยะทางต่างกันเป็น  $1/2, 3/2, 5/2, \dots$  ของ ความยาวคลื่น แต่ในทางปฏิบัติเสียงมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเข้ม ทำให้การหักล้างกันของคลื่นมากกว่า 1-2 คลื่นทำได้ยาก คลื่นจะถูกหักล้างเพียงไม่กี่ความถี่ นอกจากนี้ระยะที่แตกต่างยังแปรตามมุมของแหล่งกำเนิดและความยาวท่อ ทำให้ความถี่ที่ถูกหักล้างไม่แน่นอนอีกด้วย

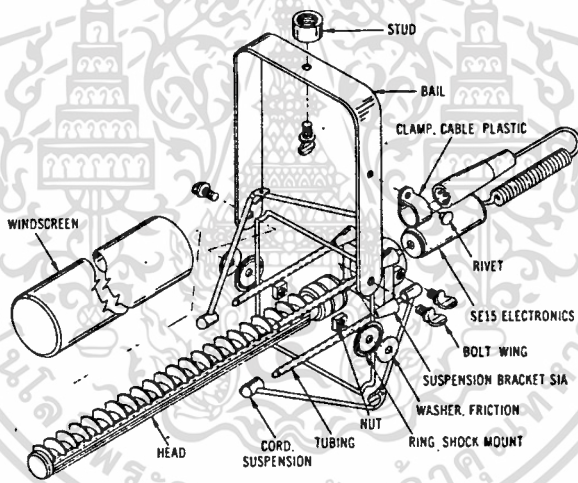
การพัฒนาหลักการทำงานนี้ทำได้สองวิธีคือ ใช้ท่อเจาะเป็นรูหรือช่องหลาย



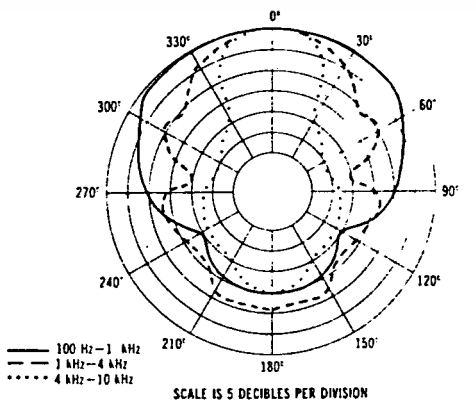
รูป 5.9

ช่องซึ่งก็คือ หลักการของไมโครโฟนเป็นนั่นเอง ส่วนอีกวิธีจะใช้ท่อที่มีความยาวแตกต่างกันหลายท่อมัดรวมกันซึ่งเป็นหลักการของไมโครโฟนแบบโร เฟิล

ตัวอย่างของไมโครโฟนเป็นเช่น Electro-voice CL42S ดังรูป 5.10 ใช้ท่อเจาะช่องเป็นแนวตลอดความยาวท่อ ช่องเหล่านี้ทำหน้าที่คล้ายเป็นความต้านทานทางอคูสติก แต่ละช่องมีความไวต่อแรงดันเสียงเท่ากัน และทำให้เกิดความต่างศักย์ขนาดเท่ากันที่เอาพุของตัวแปลงกำลัง ทุกๆช่องต่อกันผ่านท่อไปยังตัวแปลงกำลัง จึงเกิดการหน่วงเวลาทางอคูสติกที่อุปกรณ์ของตัวแปลงกำลัง เมื่อนำไปทดลองใช้คลื่นระนาบ ความไวที่เท่ากันและการหน่วงเวลาทำให้เกิดการแทรกสอดในทางด้านหน้าของตัวแปลงกำลัง ขนาดของการแทรกสอดขึ้นกับมุมของคลื่นระนาบกับแกนของท่อ ความเป็นทิศทางของไมโครโฟนแปรตามความถี่ด้วย คือถ้าความถี่ต่ำจะได้กราฟโพลารัมกว้างขึ้น ดังกราฟรูป 5.11



รูป 5.10 Electro-voice CL42S ตัวอย่างไมโครโฟนเป็น



รูป 5.11 โพลารแกรมของ CL42S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโฟนแบบอินไลน์ ใช้ได้ในระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง มากกว่า ไมโครโฟนธรรมดา 2-4 ฟุต มีดัชนีความเป็นทิศทางเท่ากับ 6:1 และมุมรับเสียง 80 องศา

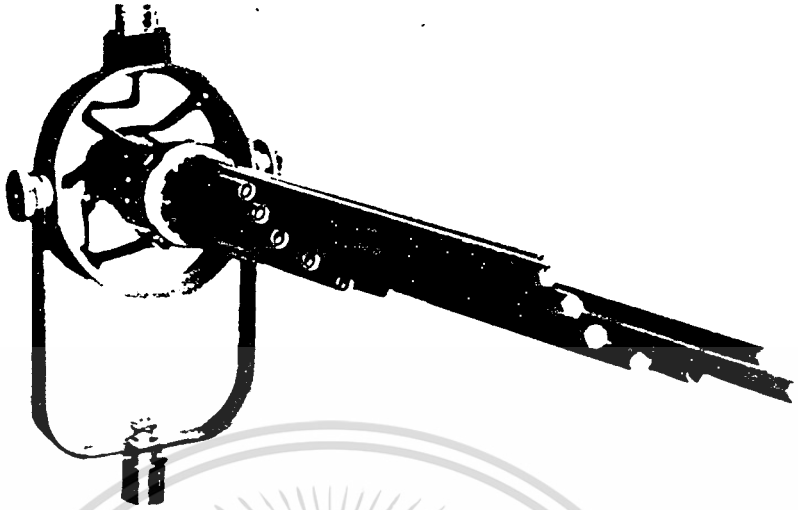
ไมโครโฟนแบบซูเปอร์อินไลน์ (Super in-line) ใช้รับเสียงในการแข่ง ม้าในสนาม ใช้ได้ไกลกว่าไมโครโฟนแบบอินไลน์ มีดัชนีความเป็นทิศทางเท่ากับ 30:1 และมุมรับเสียง 40 องศา การออกแบบเบื้องต้นของไมโครโฟนแบบซูเปอร์อินไลน์เหมือนแบบอินไลน์ แต่ใช้ที่ยาวกว่า และจำนวนช่องที่เจาะก็มากกว่า จึงรับเสียงได้มุมแคบกว่า (แบบซูเปอร์อินไลน์ ยาว 86 นิ้ว แบบอินไลน์ ยาว 13 นิ้ว)

ไมโครโฟนแบบคาร์ดิอยด์ใช้ได้ถึงระหว่าง 3 ฟุต ไมโครโฟนแบบคาร์ดิอยด์อินไลน์ใช้ได้ 6-9 ฟุต และไมโครโฟนแบบคาร์ดิอยด์ซูเปอร์อินไลน์ใช้ได้ถึง 40 ฟุต

ข้อควรระวังในการใช้ไมโครโฟนแบบอินไลน์คือ ผลตอบสนองทางความถี่และ เฟสไม่เรียบ เพราะใช้หลักการกักล้างของเฟส และที่ความถี่น้อยกว่า 200 เฮิรตซ์ ผลตอบสนองทางความถี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะที่ความถี่ต่ำต้องออกแบบเพื่อระวังการรับเสียงรอบทิศทาง

### 5.5 ไมโครโฟนแบบโรเฟิล

ไมโครโฟนแบบนี้มีลักษณะดังรูป 5.12 ใช้ต่อความยาวต่างกันหลายต่อต่อกับ ด้านหน้าของไดอะแฟรม ใช้ที่ยาวตั้งแต่ 2-60 นิ้ว ตัวแปลงกำลังอาจใช้แบบตัวเก็บประจุหรือ แบบไดนามิกก็ได้ การใช้ที่ต่อเล็กหลายต่อนี้เป็นทางเข้าของเสียง จะทำให้ไมโครโฟนรับเสียง เป็นทิศทางมากขึ้นจากหลักการที่ได้อธิบายไปแล้ว และการใช้ที่ต่อหลายต่อจะทำให้ครอบคลุมตลอด ช่วงความถี่เสียง เสียงจะเข้าที่ที่ยาวที่สุดก่อน และเข้าที่ที่สั้นกว่าลงมาตามลำดับ จนถึง ไดอะแฟรม จากระยะที่เสียงเดินทางต่างกันในที่ต่อความยาวต่าง ๆ นี้ จะทำให้เสียงที่ผ่านต่อมายัง ไดอะแฟรมมีเฟสต่างกัน และทำให้เสียงที่มุม 90 องศา ถูกหักล้างไปมาก เสียงจากมุม 180 องศา ก็จะยิ่งเกิดความต่างเฟสและหักล้างกันมากขึ้น ถ้าไม่มีที่ต่อเสียงจะเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยัง ไดอะแฟรมด้วยระยะทางที่เท่ากัน

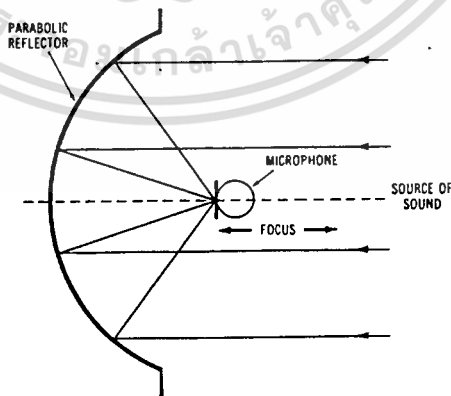


รูป 5.12 ไมโครโฟนไรเฟิล RCA

จากรูป 5.12 เป็นไมโครโฟน RCA MI-100006A ใช้ท่อพลาสติกขนาด 5/16 นิ้ว ความยาวตั้งแต่ 3-18 นิ้ว ต่อกับหัวไมโครโฟนรับเสียงรอบทิศทางแบบตัวเก็บประจุ

### 5.6 ไมโครโฟนแบบพาราโบลา

ไมโครโฟนแบบนี้ใช้จานพาราโบลาสะท้อนเสียงให้โฟกัสไปยังไมโครโฟน ทำให้รับเสียงได้เป็นทิศทาง ดังรูป 5.13 หากจุดโฟกัสโดยการเลื่อนไมโครโฟนเข้า-ออกจากจานพาราโบลา เพื่อให้รับเสียงดีที่สุด ไมโครโฟนแบบนี้นิยมใช้ในสนามแข่งม้า หรือ บริเวณกลุ่มคน



รูป 5.13 ลักษณะการรับเสียงของจานพาราโบลา

ถ้าขนาดของจานพาราโบลาเท่ากับขนาดของความยาวคลื่น จะรับเสียงได้ด้วยอัตราขยายสูงสุด และที่โฟกัสอัตราขยายสูงสุดที่ความถี่ปานกลาง ที่ความถี่สูงต้องลดระยะลงเล็กน้อยและความคมของมุมรับเสียงจะลดลง จาน  $D = 3$  ฟุต จะรับเสียงได้เป็นมุมคมชัดที่ความถี่ 8,000 เฮิรท์ แต่ที่ความถี่น้อยกว่า 200 เฮิรท์ จะใช้ไม่ได้ดังรูป 5.14 จาน  $D = 3$  ฟุต จะมีอัตราขยายต่อไมโครโฟนที่ไม่มีจานเป็น 10 เดซิเบล และสำหรับจาน 6 ฟุต อัตราขยายจะเป็น 16 เดซิเบล



รูป 5.14 โพลากราฟของไมโครโฟนแบบพาราโบลิกที่ความถี่ต่างๆ

### 5.7 ไมโครโฟนชุม

ไมโครโฟนแบบนี้ทำงานคล้ายกับการต่อเลนส์ชุม มักใช้ในงานด้านโทรทัศน์และภาพที่เคลื่อนที่ การรับเสียงขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

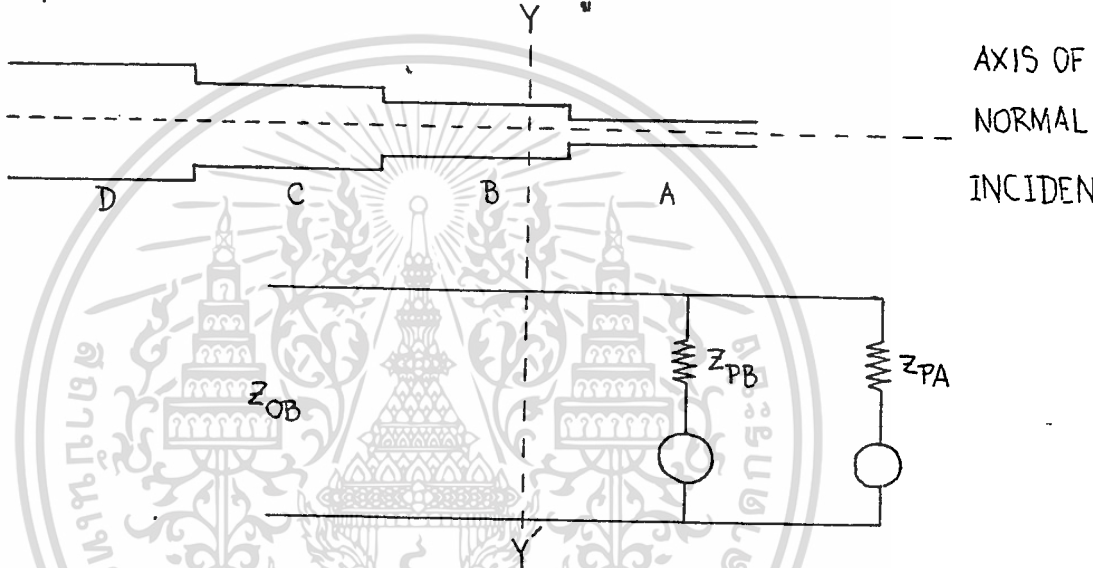
1. ความดัง
2. อัตราการสะท้อน (อัตราระหว่างเสียงโดยตรงต่อเสียงสะท้อน)
3. ผลตอบสนองของเสียงที่ต้องการ
4. ระดับและเวลาที่มาถึงหู ที่แตกต่างกันของหูทั้งสองข้าง

การใช้งานไมโครโฟนแบบนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งเราจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

### 5.8 ไมโครโฟนชนิดลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

ไมโครโฟนชนิดนี้ปลายท่อที่เป็นทางเข้าควรจะมีขนาดเล็ก ทำให้เสียงไม่ย้อน  
ออกไปทางด้านหน้าก่อนจะถึงไดอะแฟรม

หลักการทางานอธิบายได้โดยพิจารณา แยกปลายสองด้านออกจากกันด้วยระ  
บบความจุและการผ่าน (Cavity and Passage) ดังรูป 5.15



รูป 5.15

รูป ๕) แสดงถึงเสียงที่เข้ามาในท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเปลี่ยนแปลง  
อย่างรวดเร็วเป็นช่วงๆ เสียงที่เข้ามาในท่อเปรียบเหมือนตัวแปลงและความต้านทานภายใน  
ความต้านทาน  $Z_{PA}$  ของเสียงที่เข้ามาทางท่อ A เท่ากับค่าความต้านทาน  
เฉพาะ  $Z_{OA}$  ของส่วนนั้นคือ

$$Z_{PA} = Z_{OA} = \rho c / a_1$$

$$a_1 = \text{พ.ท.ตัดขวางของท่อ A}$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของอากาศ}$$

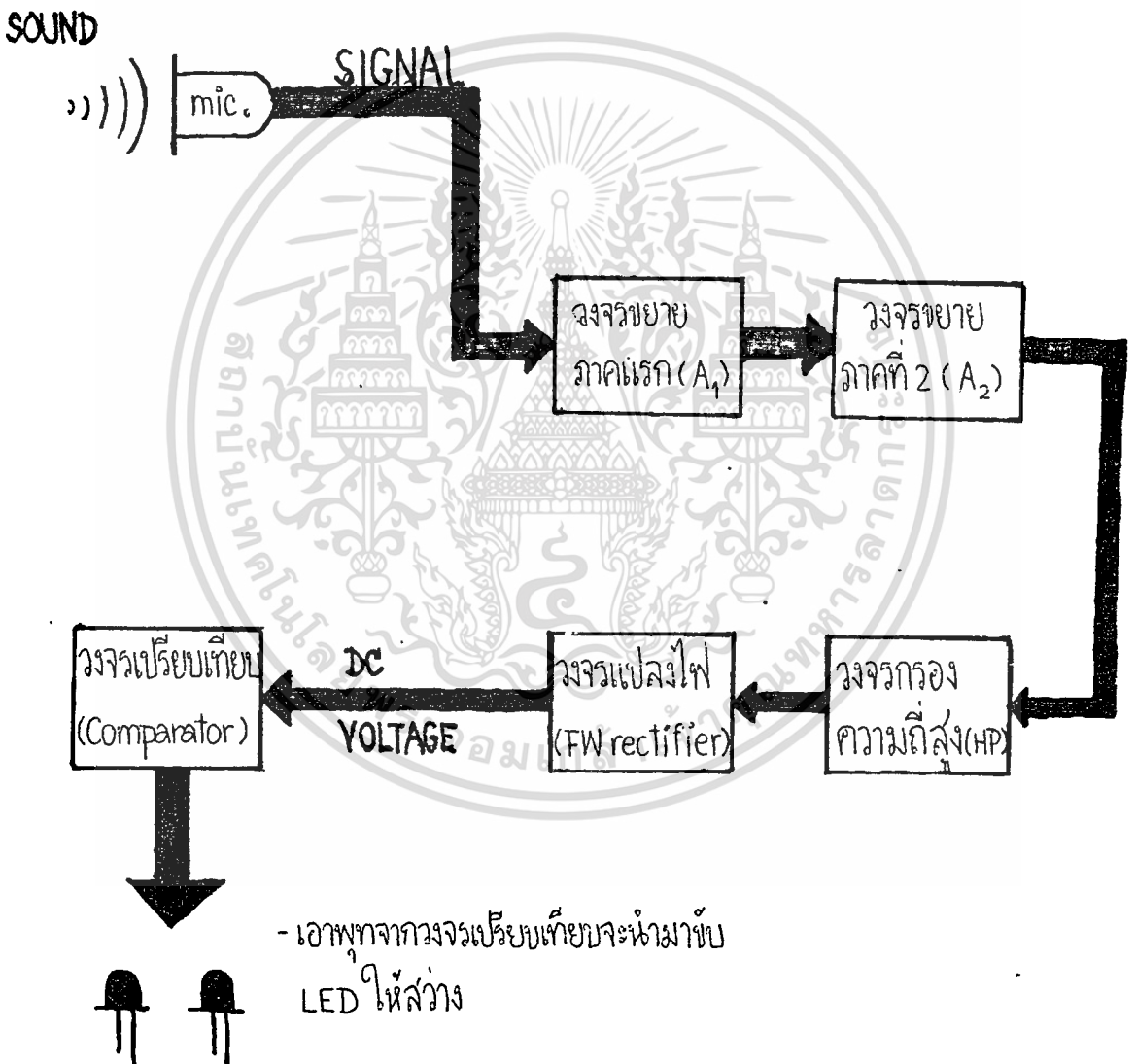
$$c = \text{ความเร็วเสียงในอากาศ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

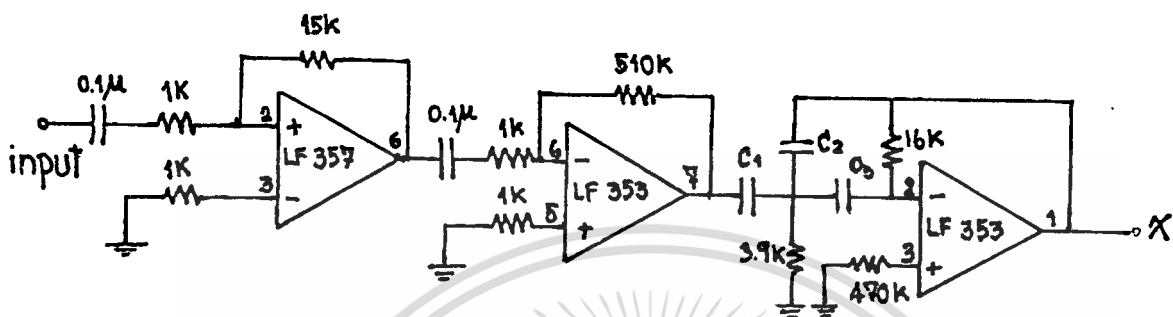
บทที่ 6

วงจรแสดงผล

บล็อกไดอแกรมของวงจรแสดงผล ดังรูป



วงจรแสดงผล

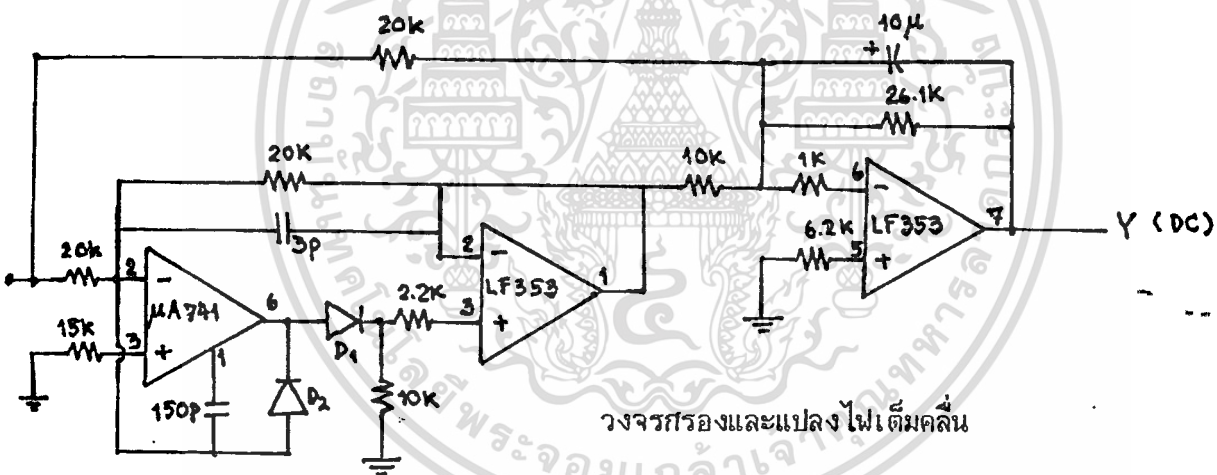


$C_1 = C_2 = C_3 = 6800\text{ nF}$

วงจรขยายภาคแรก

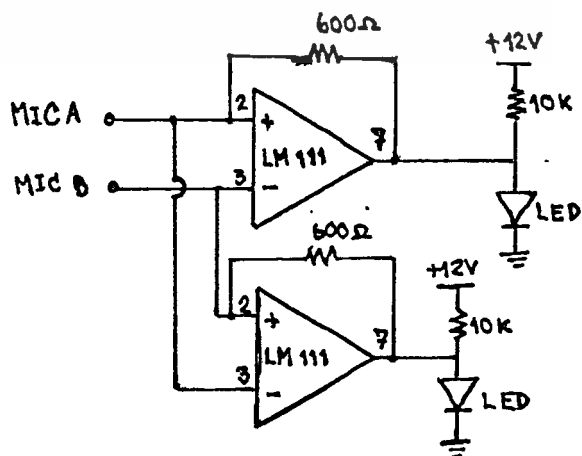
วงจรขยายภาคที่ 2

วงจรกรองความถี่สูง



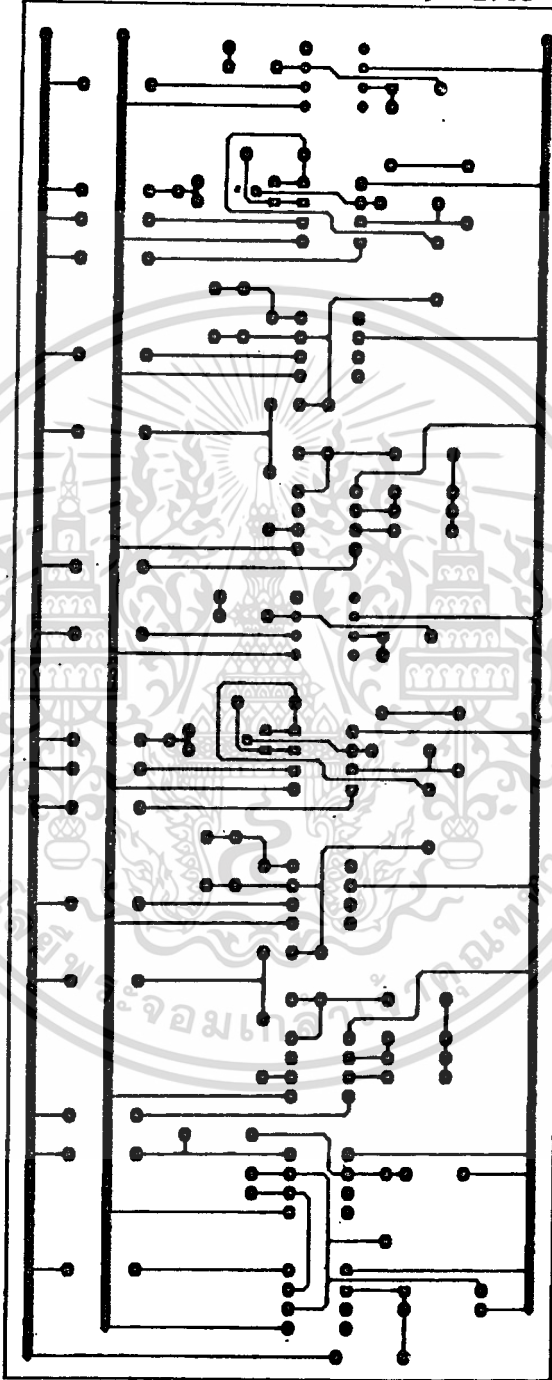
วงจรกรองและแปลงไฟเต็มคลื่น

จะมีวงจรแบบนี้สองชุด สัญญาณจากไมโครโฟน  
และ B จะเข้าที่อินพุทของแต่ละชุดผ่านวงจรขยาย  
ภาคแรก, วงจรขยายภาคที่สอง, วงจรกรองความถี่,  
วงจรกรองและแปลงไฟออกมาเป็นไฟ DC ที่จุด Y



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2X artwork 1 Jan 1980 00:02:03  
b:mk.sm  
v1.2 r3 holes: 211 solder side  
approximate size: 6.95 by 2.65 inches



การทำงานอธิบายได้ดังนี้

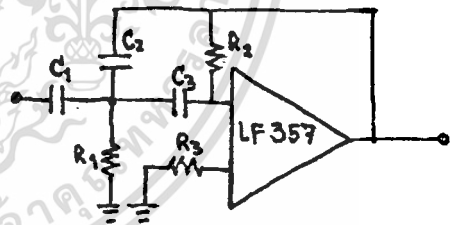
LF 357 : ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุทขั้นแรก ( $A_1$ ) มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 15 เท่า

LF 353 : ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุทภาคที่สอง ( $A_2$ ) มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ 510 เท่า

ดังนั้น อัตราขยายรวมของวงจรเท่ากับ อัตราขยายภาคแรกคูณกับ อัตราขยายภาคที่สองคือ 7650 เท่า

LF 353 : (ส่วนที่สอง) ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงแบบบ้อนกลับหลายทาง

วงจรผ่านสัญญาณความถี่สูงออกแบบ ให้มีความถี่คutoff 2k และที่ความถี่ตั้งแต่ 4k ขึ้นไปสัญญาณจะผ่านตลอด ที่ต้องมีวงจรมีเพราะต้องการให้สัญญาณที่ผ่านไปได้มีความถี่ค่อนข้างสูง เนื่องจากเสียงความถี่สูงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นมุมแคบกว่าเสียงความถี่ต่ำ



อัตราส่วนพาสแบน ( $H_0$ ) เท่ากับ  $C_1/C_2$

ความถี่คutoff  $f_{c1}$  เท่ากับ  $1/2 \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}$

ผลรวมเรียบที่สุุดที่ Q เท่ากับ  $2/\sqrt{2}$

ให้  $C_1 = C_2$

$$R_1 = 1/2\pi f_{c1} Q C_1 [ 2 + (1/H_0) ]$$

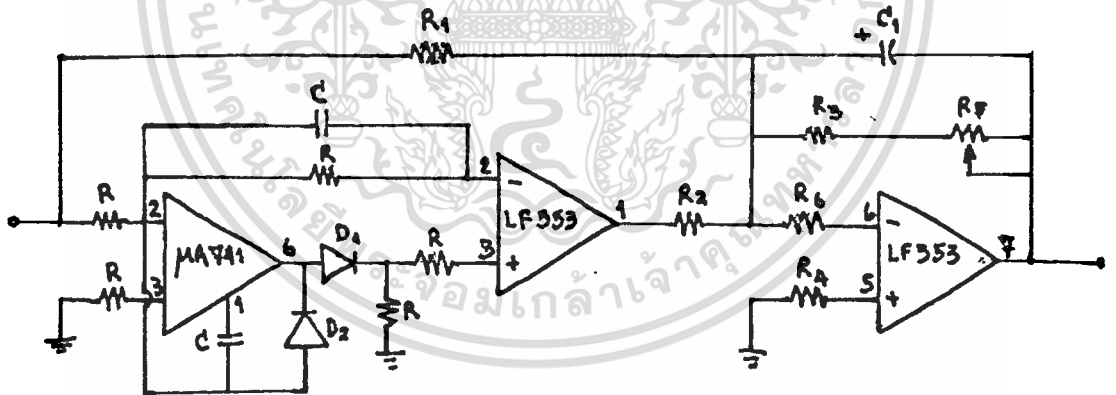
$$R_2 = Q(2H_0 + 1)/2 f_{c1} C_1$$

ในการออกแบบต้องการให้  $f_{c1} = 2k$

คำนวณค่า  $R_1 = 3.7k$  ,  $R_2 = 16.8k$

LF 353 และ A 741 : ทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงไฟเต็มคลื่นและ  
วงจรกรองสัญญาณ (Filter Fullwave Rectified) โดย

A 741 เป็นวงจรแปลงไฟครึ่งคลื่น (Half-wave rectifier) ถ้าอินพุตเป็น  
สัญญาณซีกลบ เอาพุตจะเป็นบวก มีไบอัสตรงผ่าน  $D_1$  และมีสัญญาณบ่อนกลับแบบลบผ่าน  $R_2$   
อัตราขยายแรงดันของส่วนนี้เป็น 1 ( $R_2 / R_1$ )



ถ้าอินพุตเป็นบวก เอาพุตจะเป็นลบ  $D_1$  จะไม่ทำงาน  $D_2$  จะทำงานและมีบ่อน  
กลับแบบลบผ่าน  $R_2$  ,  $D_2$  ไปจุดบวก (Summing point) และเอาพุต

LF 353 ส่วนแรกเป็นวงจรบัพเฟออร์ เพื่อให้ค่าเอาพุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำ

LF 353 ส่วนหลังเป็นวงจรแปลงไฟแบบเต็มคลื่น (Full-wave rectifier)

$C_1$  ที่ต่อคร่อม  $R_B$  และ  $R_C$  ทำให้ LF 353 ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ ซึ่งจะ

เฉลี่ยสัญญาณอินพุตจาก  $R_1$  ,  $R_2$  ทำให้ได้แรงดันเอาพุตไฟตรง  $R_C$  ต่ออนุกรมกับ  $R_B$  เพื่อเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

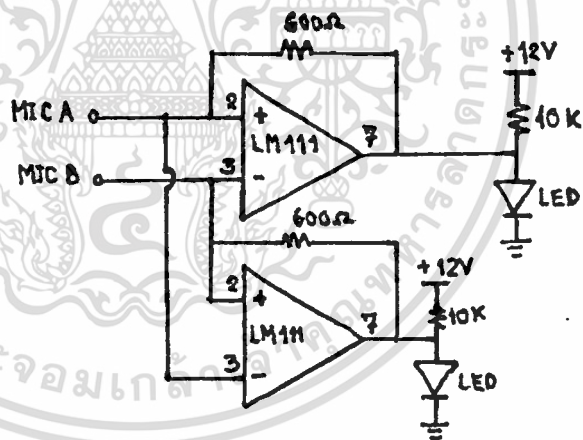
ความต้านทานบ่อนกลับ ค่าคงที่ของเวลา (Time-constant) ของวงจรรองความถี่ค่านวมจาก  $C_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$

LM 111 : เป็นวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) มีสองตัวเพื่อเปรียบเทียบระหว่างไมโครโฟน A และ B จะแสดงผลดังนี้

ถ้าระดับแรงดันที่ A มากกว่า B เอาพุทของ LM 111 ตัวบนเป็นบวก LED จะติด LM 111 ตัวล่างเป็น 0 LED ไม่ติด

ถ้าระดับแรงดันที่ B มากกว่า A เอาพุทของ LM 111 ตัวล่างเป็นบวก LED จะติด LM 111 ตัวบน เป็น 0 LED ไม่ติด

ถ้าระดับแรงดันที่ A เท่ากับ B LM 111 ทั้ง 2 ตัวเป็น 0 LED ไม่ติดทั้งคู่



ถ้าต้องการให้ Rectifier เป็นซิกมวกให้กลับขั้วไดโอดทั้ง 2 ตัว

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

การจัดอุปกรณ์ในการทดลอง

- ติดตั้งไมโครโฟนให้อยู่กับที่
- วัดมุมเพื่อจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง
- ทดลองวัดระดับสัญญาณที่ไมโครโฟนได้รับที่มุมต่างๆ
- บันทึกผลลงในโพลากราฟ

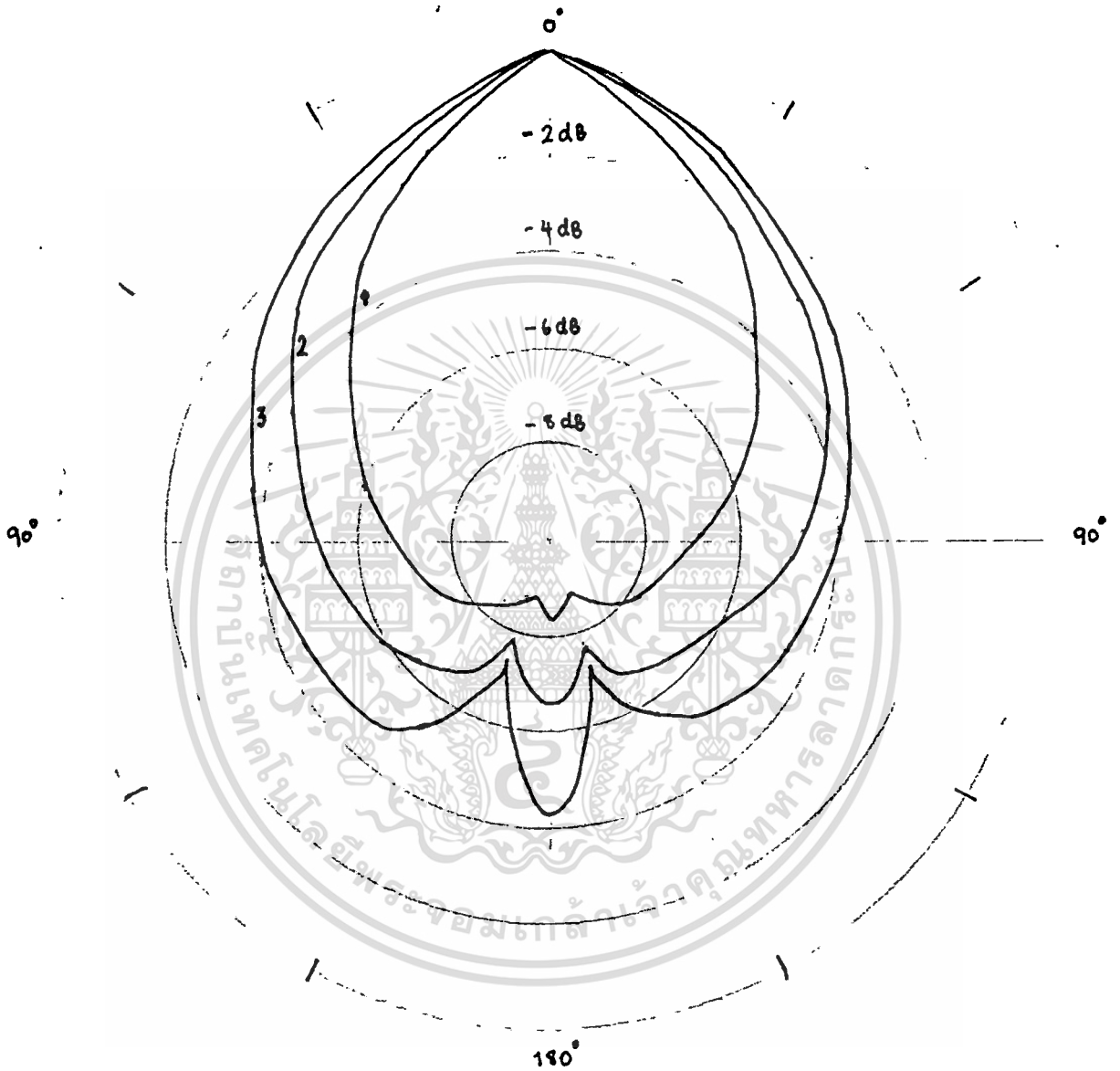


ผลการทดลอง

1.ทดลองโดยใช้ไดนามิคไมโครโฟนทดลองวัดผล. ใช้ไมโครโฟนเปล่า

ท่อยาว 25 , 75 , 100 cm.

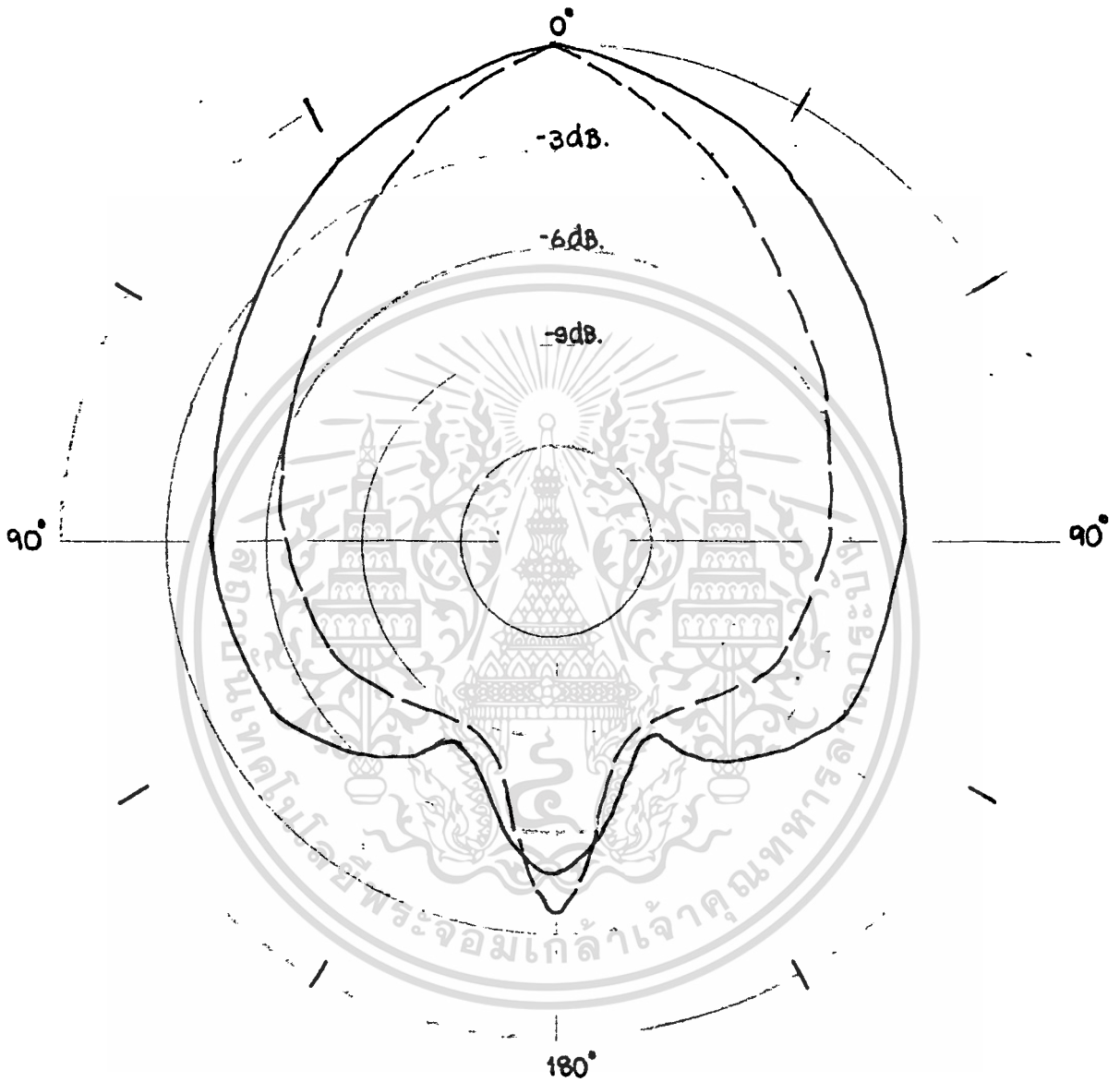
มุม (องศา)	ระดับแรงดันเอาพุท (dB.)			
	ความยาวท่อ(cm.)			
	0	25	75	100
0	0	0	0	0
10	-1.02	-	-0.9	-1.40
20	-1.58	-	-1.24	-2.70
30	-1.58	-0.92	-2.70	-3.10
40	-2.18	-2.85	-3.52	-4.44
50	-2.50	-3.5	-4.44	-4.44
60	-3.52	-4.11	-4.93	-5.46
70	-4.28	-4.75	-5.19	-5.46
80	-4.28	-5.19	-5.19	-5.74
90	-2.8	-5.19	-5.46	-6.62
100	-3.52	-5.19	-5.46	-6.62
110	-4.28	-6.62	-5.73	-7.26
120	-4.75	-7.26	-5.73	-7.26
130	-6.50	-7.51	-5.73	-7.96
140	-7.54	-8.26	-5.46	-7.96
150	-8.22	-8.72	-5.46	-8.72
160	-7.51	-7.51	-5.46	-4.44
170	-5.58	-6.62	-4.93	-3.52
180	-4.75	-6.62	-4.93	-3.52



กราฟแสดงผลของไมโครโฟนที่มุมต่างๆ ที่ระยะ 2 ม.

1. ก้อยาว 75 ซม.
2. ก้อยาว 25 ซม.
3. ไมโครโฟนเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟโพลาร์ แสดงการตอบสนองของควมถี่ของโมโคร์โฟนที่มุมต่างๆ ที่ระยะ 2m

- โมโคร์โฟนเปล่า
- - - - - ท่อยาว 100 ซม.

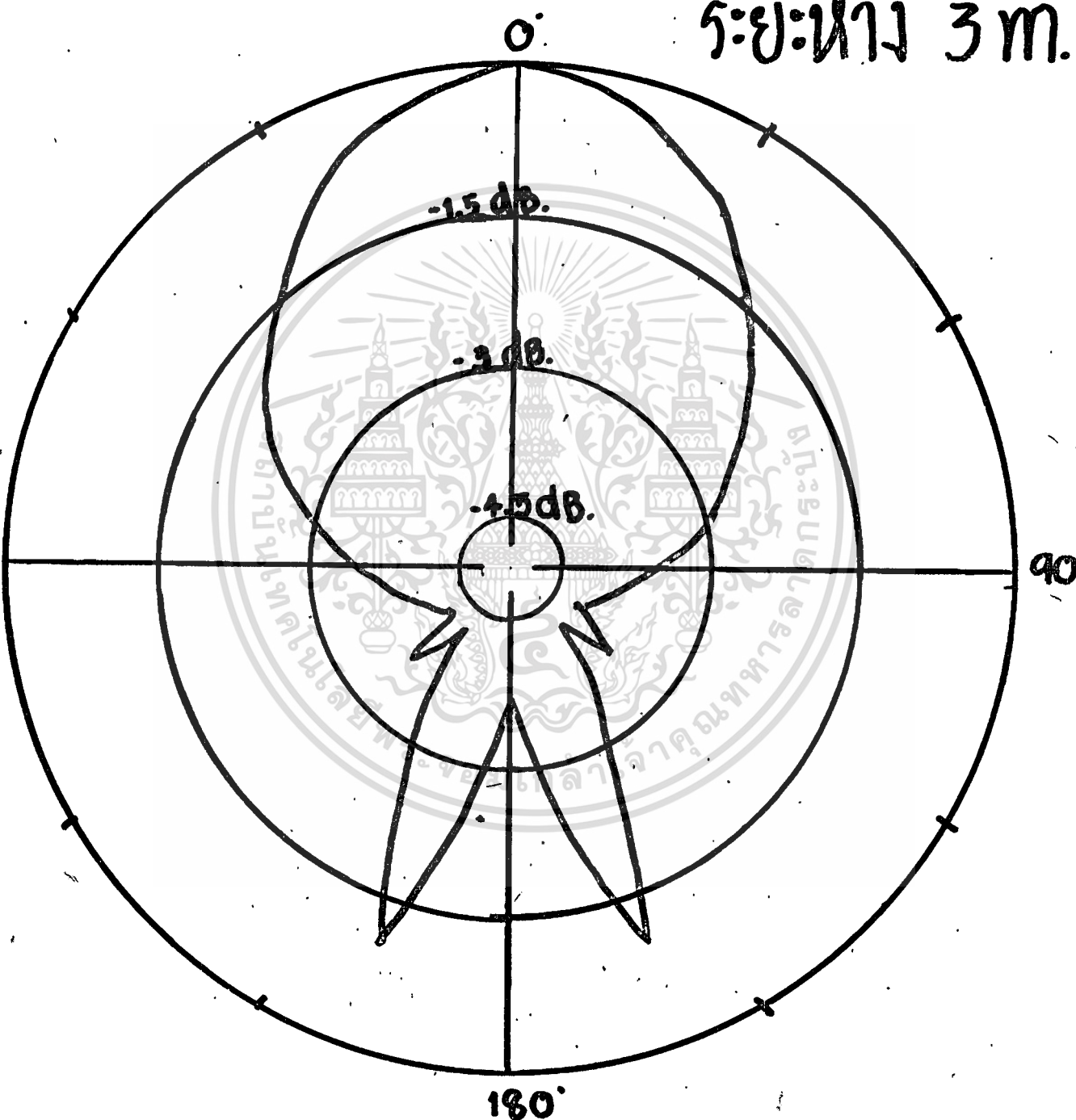
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทดลองโดยใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน วัดผลใช้ท่อยาว 100 cm.

มุม	ท่อยาว 100 cm. ระดับแรงดันเอาพุท (dB.)
0	0
10	-0.45
20	-0.45
30	-0.92
40	-0.92
50	-1.94
60	-1.94
70	-2.50
80	-3.1
90	-3.74
100	-3.74
110	-4.44
120	-3.74
130	-4.44
140	-3.1
150	-1.94
160	-2.50
170	-3.1
180	-3.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ Polar แสดง response ของ mic.  
ระยะห่าง 3 ม.



180°  
ท่อยาว 1 ม.

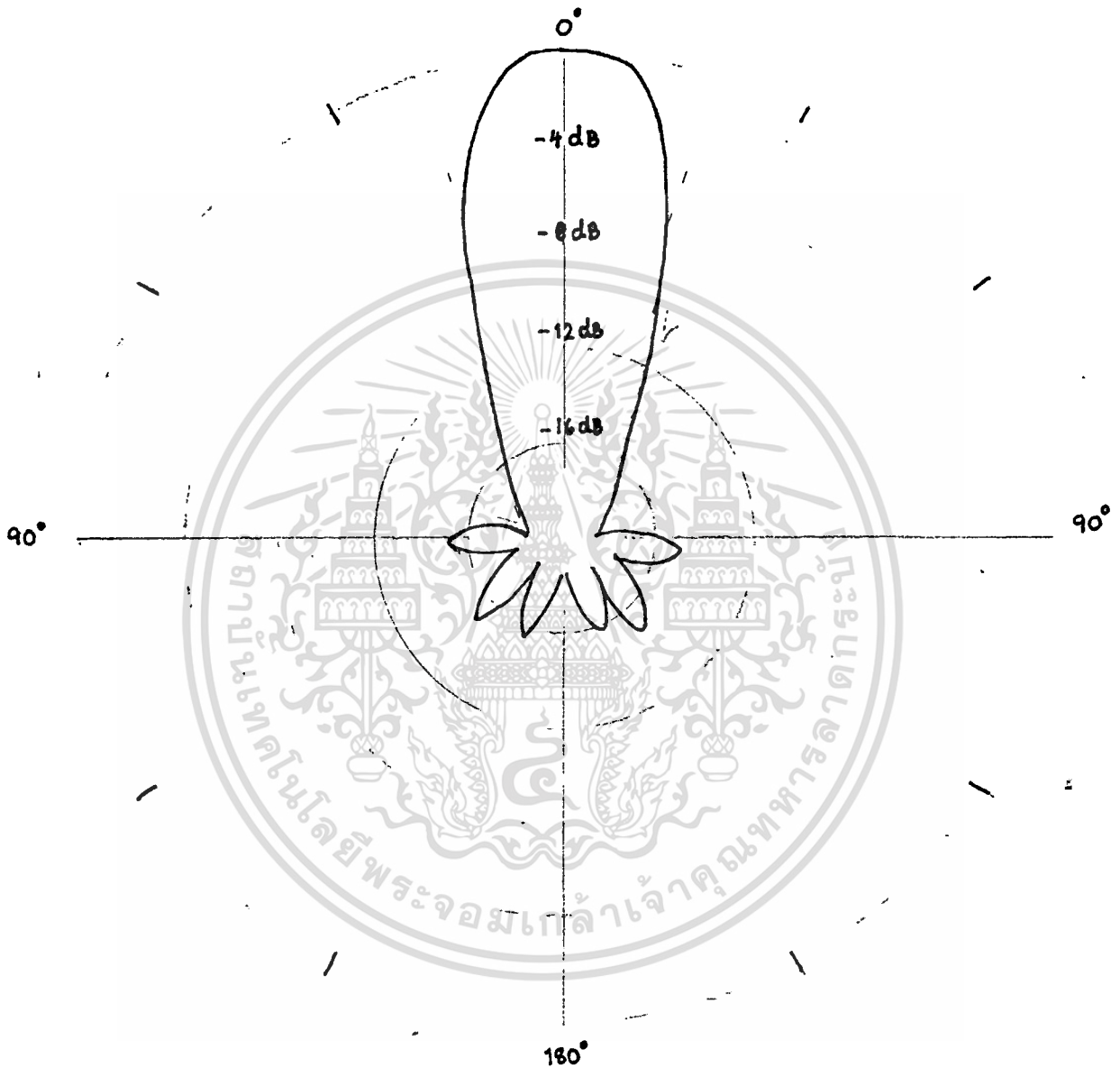
ไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน วัดผลโดยใช้ท่อยาว 100 cm. เจาะรูตามความยาวห่างกันร้อยละ 1/2 , 1 , 2 นิ้ว

มุม	ท่อ 100 cm. เจาะรู 1 นิ้ว ระดับแรงดันเอาพท (dB.)
0	0
10	-0.6
20	-9.54
30	-12
40	-12
50	-15.56
60	-16.48
70	-17.5
80	-18.06
90	-18.66
100	-18.66
110	-15.56
120	-16.48
130	-16.48
140	-16.48
150	-13.98
160	-13.63
170	-12.96
180	-16.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



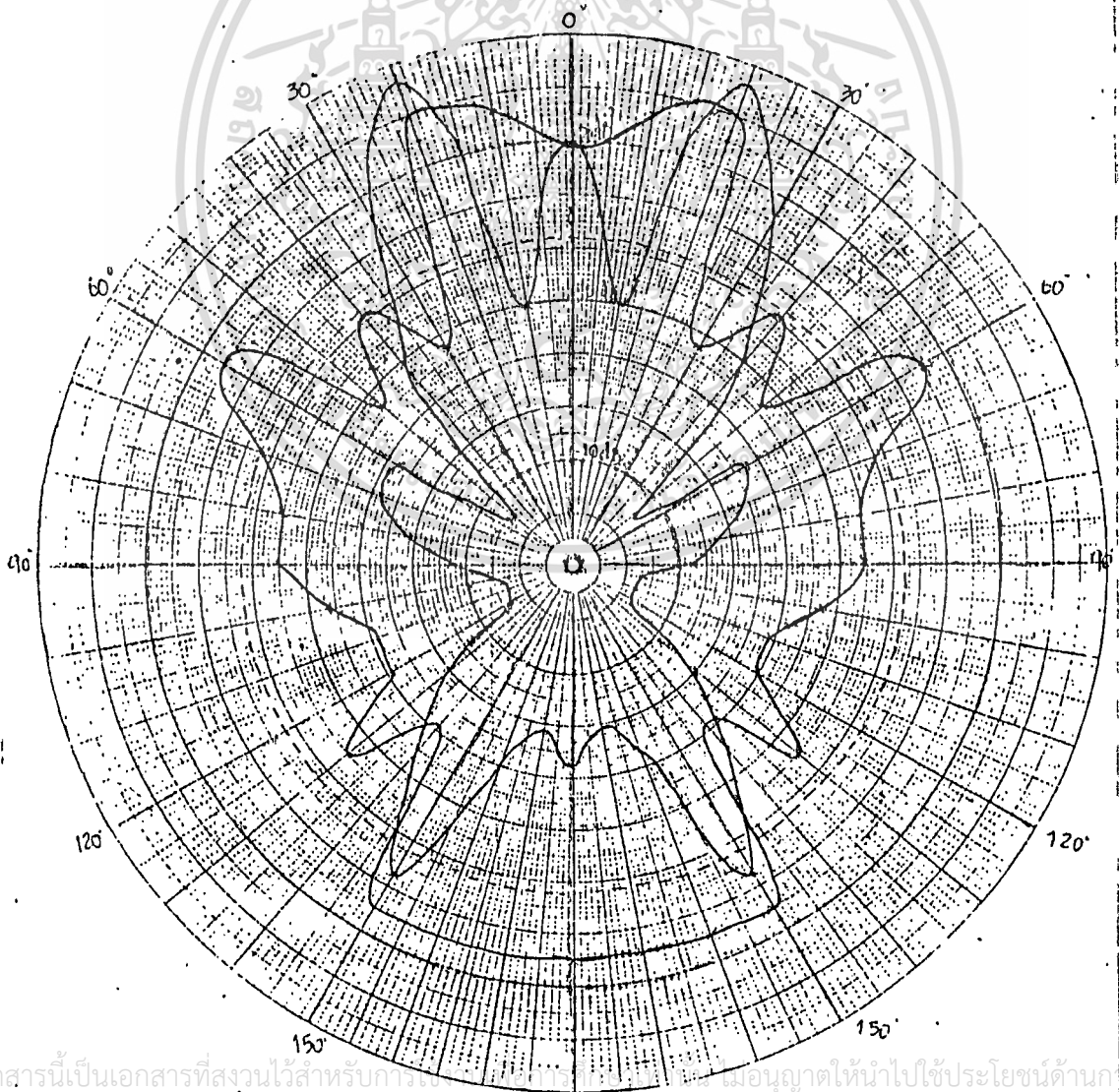
กราฟโพลาร์แสดงผลตอบสนองของความถี่ของไมโครโฟน ที่ระยะ 3 ม.  
 ท่อเจาะรูแนวเดียวหนึ่งหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....

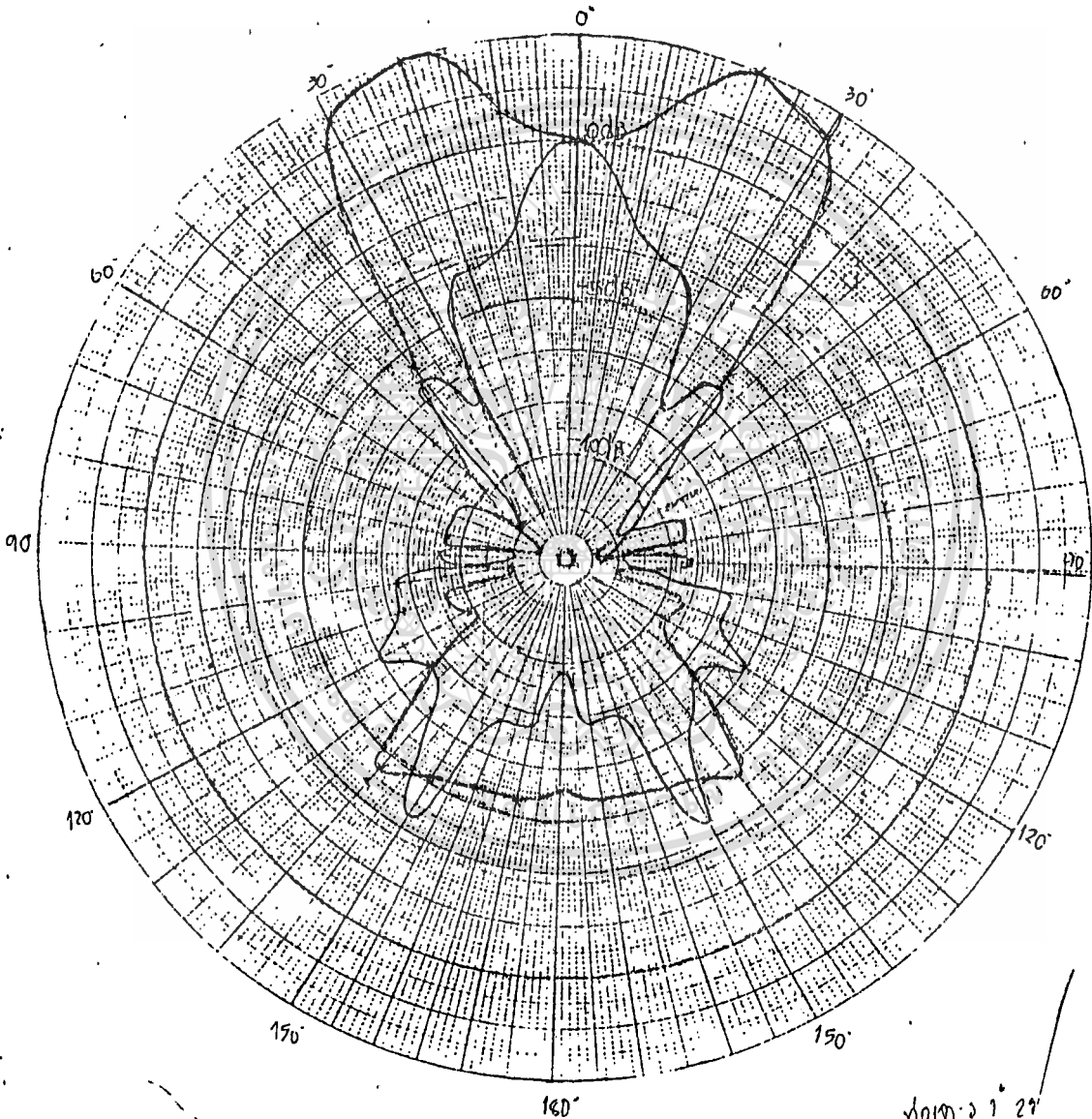


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่  $\frac{1}{2}$  ครั้งที่มีการนำไปใช้  
1 ภาวเจียว

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....



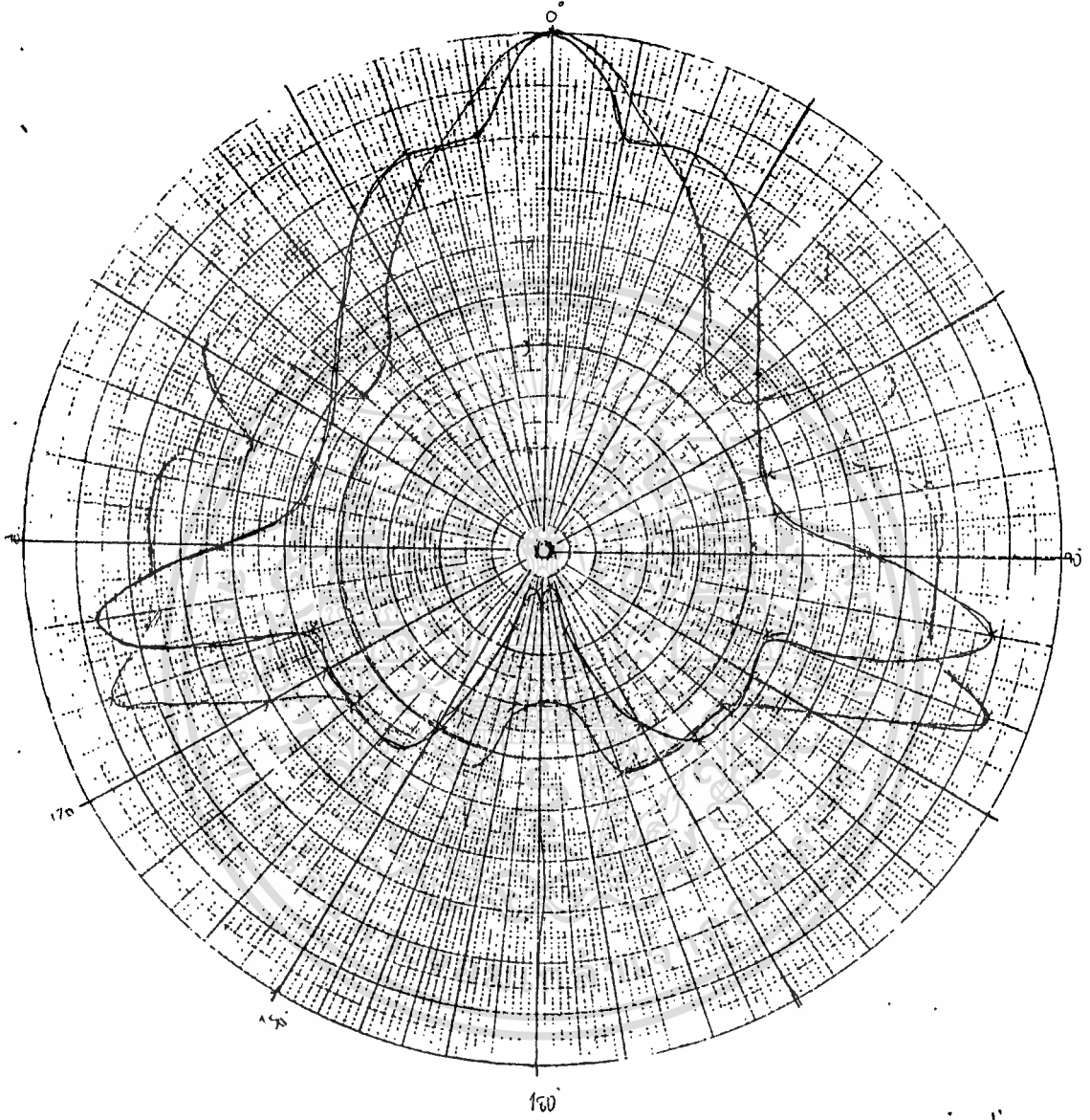
— ท่อทง 1 2"  
- - - - - ท่อทง 2"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....



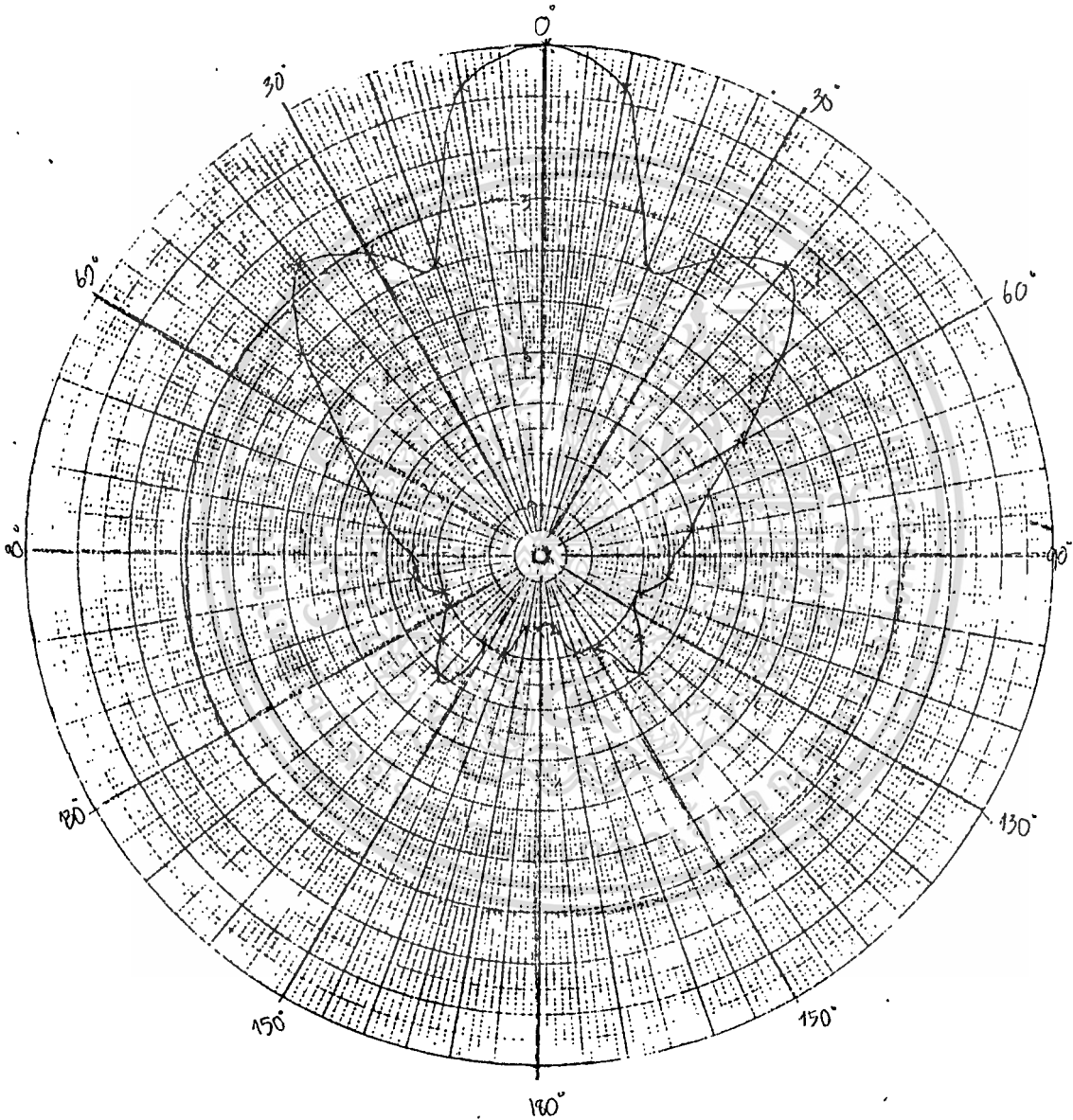
mic. เปล่า  
7K เท. ท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....



10K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทดลองใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน วัดผลโดยใช้ท่อยาว 100 cm. ไม่เจาะรู  
ใส่ท่อเล็กข้างหน้า

มม	ความยาวท่อ 100 cm. ระดับแรงดันเอาพท์ (dB.)
0	0
10	-3.52
20	-2.69
30	-2.69
40	-4.44
50	-4.44
60	-4.44
70	-5.46
80	-6.62
90	-7.26
100	-7.96
110	-7.96
120	-6.62
130	-11.48
140	-5.46
150	-6.62
160	-9.54
170	-7.26
180	-7.26

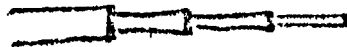
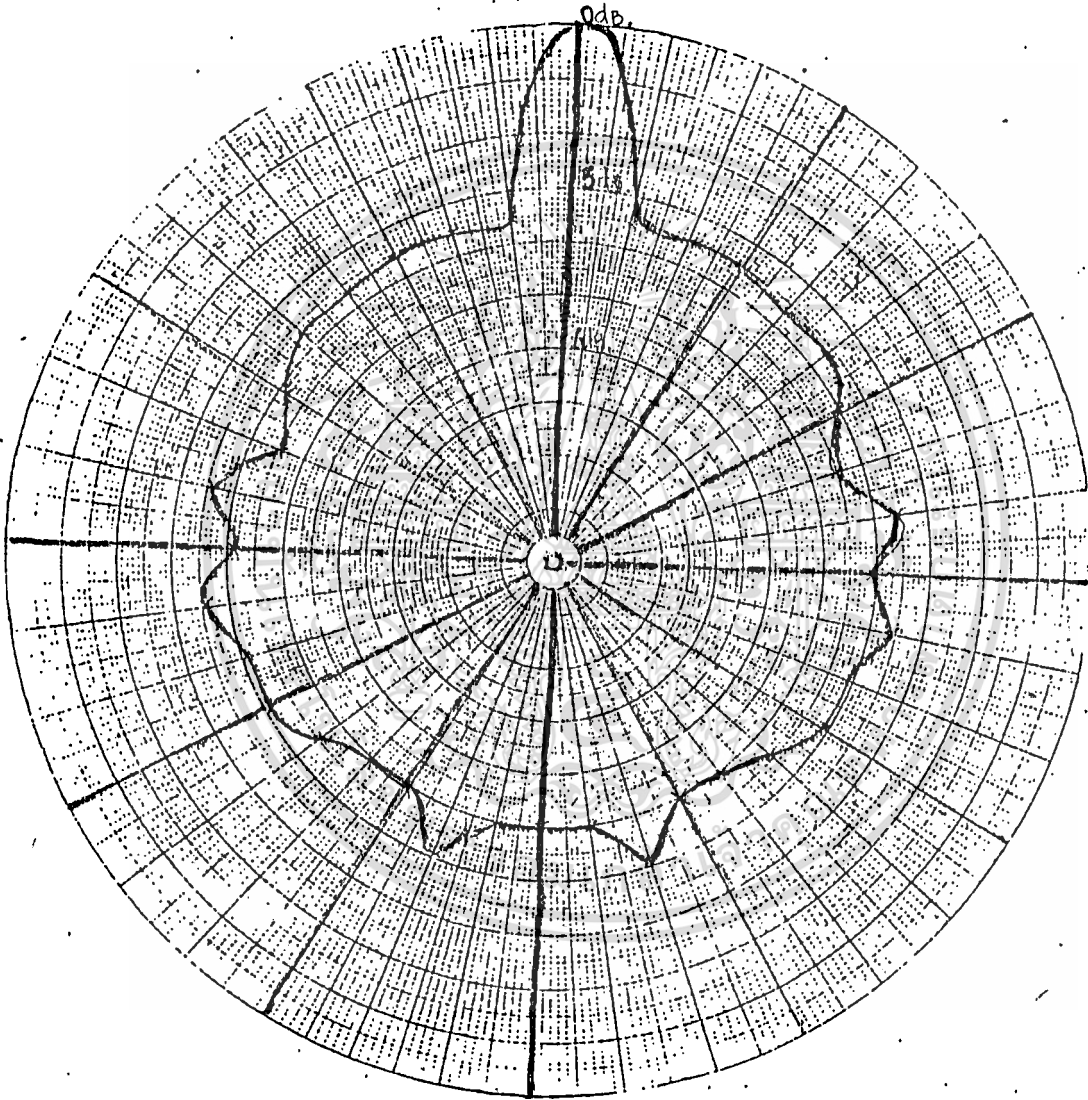
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ในวงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....

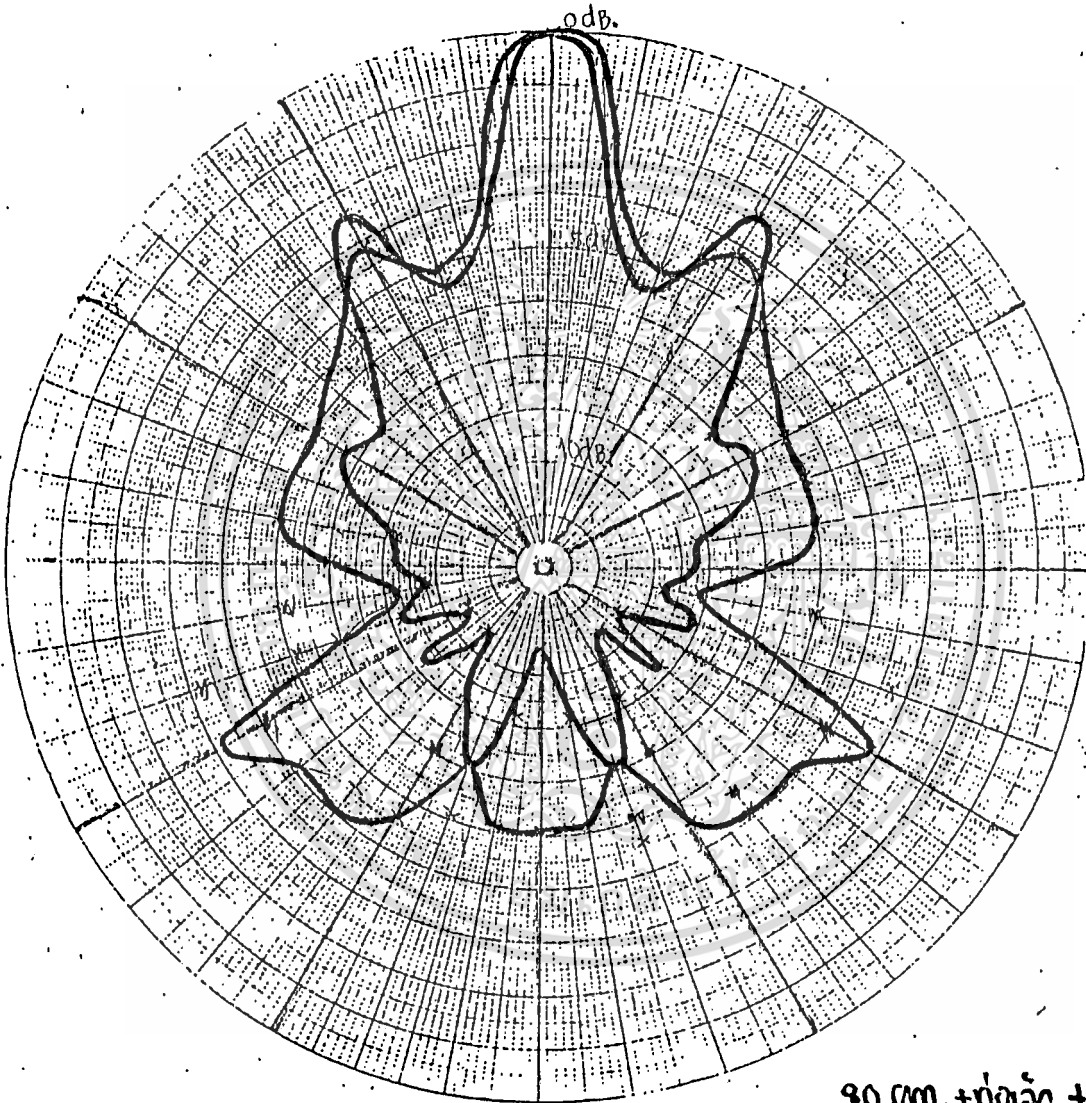


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....



90 ซม.+ท่อเล็ก +  
กรวยเล็ก  
40 ซม.+ท่อเล็ก +  
กรวยกลาง

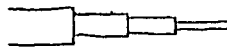
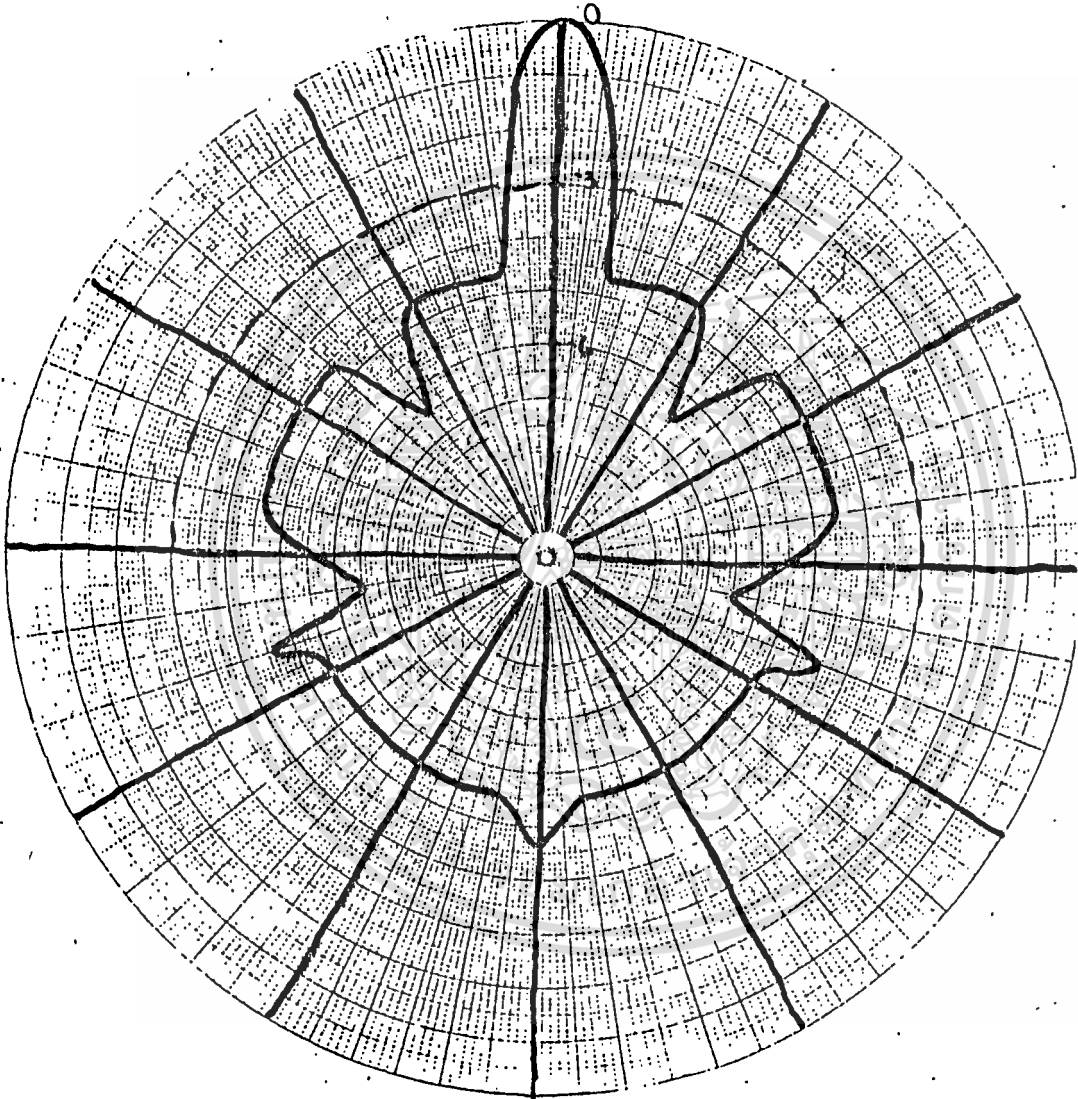
6. ทดลองใช้ท่อลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงตามลำดับ ต่อกัน 4 ท่อ อีกอันต่อ  
กรวยหน้าท่อด้วย

มม	แรงดันเอาพุท (dB.)	
	ไม่ใส่กรวย	ใส่กรวย
0	0	0
10	-4.6	-5.1
20	-4.6	-4.5
30	-4.6	-5.1
40	-6.5	-7.8
50	-4.6	-8.6
60	-4.6	-9.5
70	-4.6	-8.6
80	-4.6	-13.1
90	-5.5	-14.6
100	-6.5	-14.6
110	-4.6	-10.6
120	-5.5	-8.6
130	-5.5	-8.6
140	-5.5	-10.6
150	-5.5	-10.6
160	-5.5	-11.7
170	-5.5	-11.7
180	-4.6	-10.6

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....

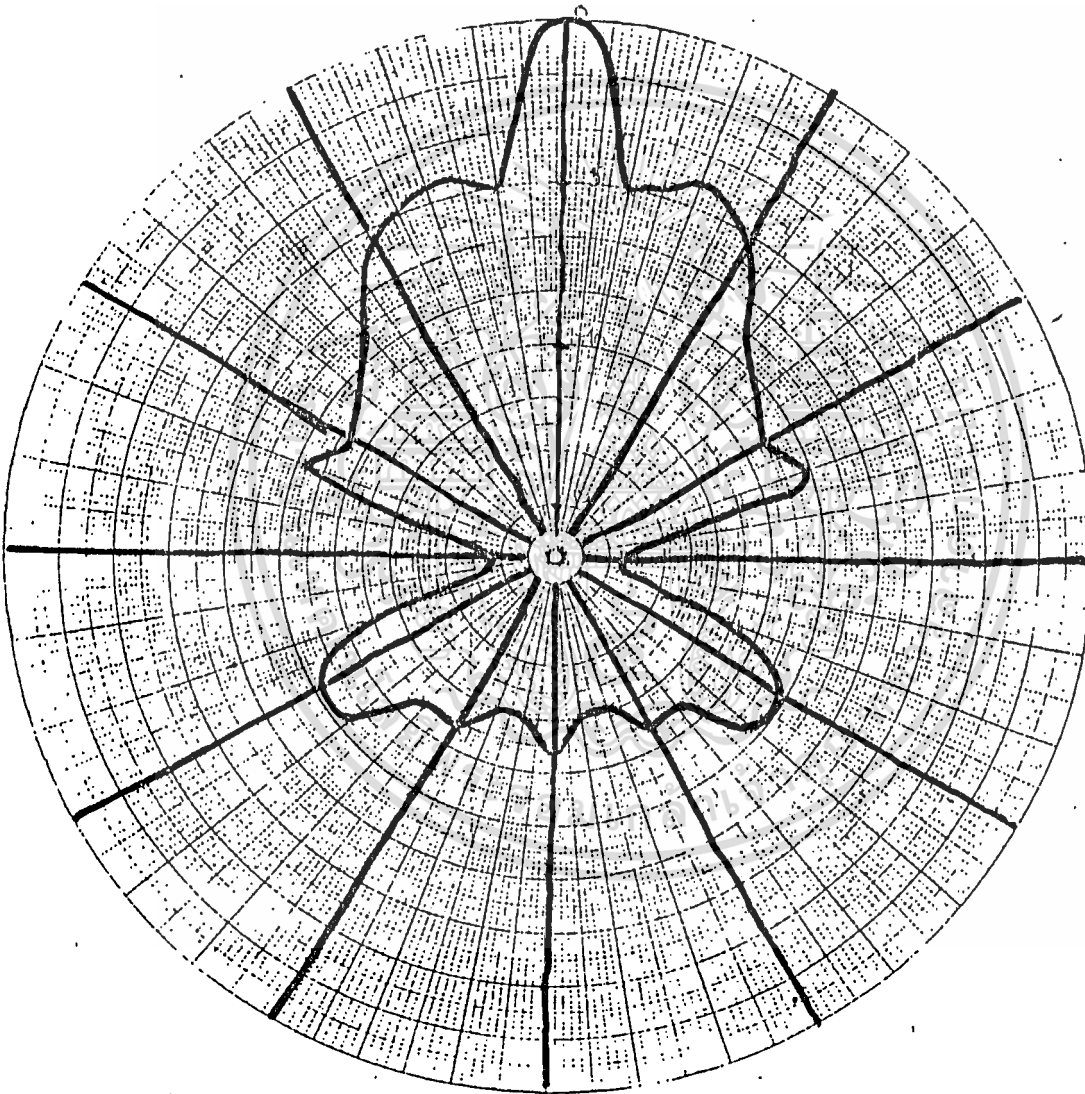


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING

ANTENNA TYPE ..... DATE .....

FREQUENCY ..... PLANE OF PATTERN .....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากพัฒนาคุณสมบัติทางด้านทิศทางของไมโครโฟน จนเป็นที่พอใจแล้ว จึงได้ทำการทดลองใช้ไมโครโฟน 2 อันมาเปรียบเทียบสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยไมโครโฟนทั้งสองจะหันไปหาแหล่งกำเนิดในมุมที่ต่างกันในระยะห่างเท่ากัน แล้วทำการแสดงผลด้วย LED ถ้าไมโครโฟนตัวใดทำมุมกับแหล่งกำเนิดเสียงน้อยกว่า LED ของไมโครโฟนตัวนั้นก็สว่าง



บทที่ 8

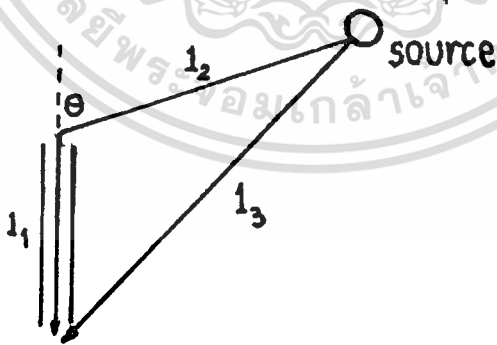
สรุปและวิจารณ์

การทดลองครั้งแรก ใช้ไดนามิกไมโครโฟนทดลองวัดผล ใช้ไมโครโฟน  
เปล่า, ท่อยาว 25, 75, 100 cm. ตามลำดับ ปรากฏว่าท่อที่ยาวกว่า ความเป็นทิศทางจะดีขึ้น  
เป็นลำดับ แต่มุมที่ระดับสัญญาณลดลง 3 เดซิเบล ยังคงมีค่ามาก

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ว่า ไดนามิกไมโครโฟนมีความไวต่ำมากต่อ  
มาจึง เปลี่ยนมาใช้ คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนแทน

การทดลองครั้งที่สอง ใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน วัดผลโดยใช้ท่อยาว 100  
cm. ผลที่ได้ยังไม่ค่อยดีนัก

ต่อมาใช้ไมโครโฟนวัดผลโดยใช้ท่อยาว 100 cm. เจาะรูตามความยาวท่อ  
ห่างกันระยะ 1/2, 1, 2 นิ้ว อันที่ห่าง 1 นิ้วจะได้ผลดีมากที่สุด คือ มุมที่ระดับสัญญาณลดลง 3 dB.  
มีค่าต่ำประมาณ ±10 องศา แต่การใช้ท่อแบบนี้มีความยุ่งยาก เพราะจะใช้ได้ทีความถี่เดียว  
เท่านั้น



เอาพทจะหักล้างกันเมื่อ

$$(l_1 + l_2) - l_3 = n\lambda$$
$$= nv/f$$

n คือ จำนวนเต็มคือ

v คือ ความเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 314 m/s.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปลงนิตยสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการมุม  $\theta$  แคบที่สุด  $n$  ต้องให้เท่ากับหนึ่ง ดังนั้น

$$(l_1 + l_2) - l_g = 314/f$$

จะเห็นว่า ในการออกแบบต้องกำหนดค่า ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงที่ค่าใดค่าหนึ่ง

การทดลองที่ 4 ใช้ท่อเล็กยาว 5 cm. ใส่ที่ปลายท่อใหญ่ซึ่งยาว 100 cm. มุมที่ระดับเสียงลดลง 3 dB. จะลดลง

การทดลองที่ 5 ใช้ท่อยาว 80 cm. ต่อท่อเล็ก 5 cm. ต่อกรวยที่ปากท่อคุณสมบัติทางด้านทิศทางจะยิ่งดีขึ้น

อีกวิธีที่ใช้คือ ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงตามลำดับต่อกัน 4 ท่อหรืออาจต่อกรวยที่ปากท่อ ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจมาก เพราะมุมที่ระดับสัญญาณลดลง 3 dB. ต่ำกว่า  $\pm 10$  องศา

ข้อควรระวังในการทดลอง

- ปิดสวิทช์ไมโครโฟนทุกครั้งที่ไม่ใช้ไมโครโฟนเป็นเวลานานเพราะคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจะกินไฟตลอดเวลาที่เปิดสวิทช์ และถ้าแรงดันของถ่านต่ำกว่ามาตรฐาน จะทำให้คุณสมบัติของไมโครโฟนทางด้านทิศทางเปลี่ยนไป

- ถ้าไมโครโฟนถูกกระแทกแรงๆ หรือหล่นอาจเสียหายได้

- ความดังของแหล่งกำเนิดเสียงต้องคงที่ และต้องมีความถี่ที่ผ่านวงจรรองความถี่สูงได้

- ห้องที่ทำการทดลองไม่ควรมีเสียงรบกวนจากภายนอก และการสะท้อนควรจะต่ำ

APPENDIX

จากหลักการทำงานของไมโครโฟน โดยยึดเอาการที่ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์ที่กำเนิดแรงดันไฟฟ้าเป็นหลัก เราสามารถแบ่งชนิดของไมโครโฟนได้เป็น 2 แบบคือ ชนิดความเร็วคงที่ (Constant Velocity) และชนิดขนาดคงที่ (Constant Amplitude)

ไมโครโฟนชนิดความเร็วคงที่ (Constant Velocity Microphone) เป็นไมโครโฟนที่เอาพหูจะแปรผันตามความเร็วในการเคลื่อนที่ของส่วนที่เคลื่อนที่ (Moving Element) ถ้าความเข้มคงที่และไม่ขึ้นกับความถี่ ความเร็วจะต้องคงที่ตลอดช่วงความถี่ ทำให้แรงดันเอาพหูคงที่ แรงดันเอาพหูจะคำนวณได้จาก

$$V = Blu \times 10 \text{ volt.}$$

B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Gauss)

l = ช่วงความนำ (cm)

u = ความเร็ว (cm/s)

ไมโครโฟนชนิดขนาดคงที่ (Constant Amplitude Microphone) เป็นไมโครโฟนที่เอาพหูจะแปรผันตามระยะขจัด (Displacement) ของส่วนที่เคลื่อนที่

ไมโครโฟนชนิดความเร็วคงที่

ไมโครโฟนชนิดขนาดคงที่

มูฟริง-คอยล์

คาร์บอน

ริบบอน

ปิโซ-อิเล็กทริก คริสตอล

อินดักเตอร์

คอนเดนเซอร์

แมกเนโตสตริกชัน

อิเล็กทรอนิก

มูฟริง-ไอออน

## ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะขจัด

$$\begin{aligned} \text{ความเร็ว} &= \text{ระยะทาง/เวลา} \\ &= 2\pi f x \end{aligned}$$

ถ้าความเร็วคงที่  $x$  แปรผันตาม  $1/f$

## ความคล้ายคลึงกันของเสียงและไฟฟ้า

ในการออกแบบไมโครโฟนไม่ว่าแบบใด ลักษณะทางฟิสิกส์จะมีผลต่อ ความเร็ว ความถี่ ของส่วนที่เคลื่อนที่ และตัวแปรที่ทำให้ความเร็วเปลี่ยนแปลงไป คือ มวล ความต้านทาน ความยืดหยุ่นซึ่งทั้งหมดนี้จะมีอยู่ที่ในระบบเสียงและเชิงกล การเปรียบเทียบทั้งสองนี้จะเปรียบเทียบได้โดย

ระบบเชิงกล

แรง (F)

มวล (m)

ความยืดหยุ่น (compliant)

ความต้านทาน(R)

ระบบไฟฟ้า

แรงดัน(V)

ค่าความเหนี่ยวนำ(L)

ค่าความจุ(C)

ความต้านทาน(R)

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างกันคือ

$$F = m dU/dt$$

$$F = X/C$$

$$F = UR$$

$$V = L di/dt$$

$$V = Q/C$$

$$V = IR$$

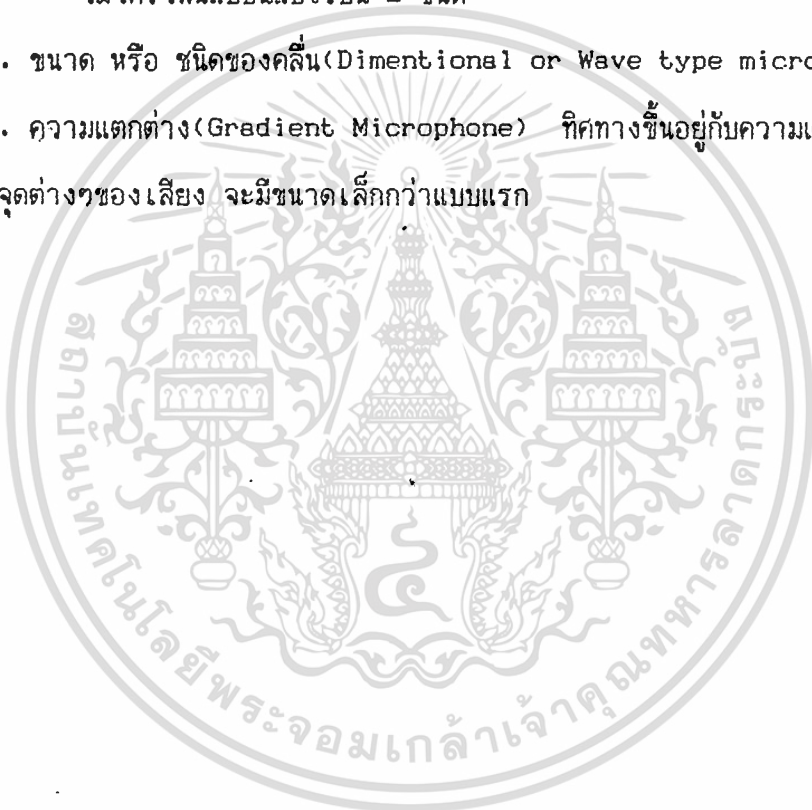
ขนาดทางกายภาพของไดอะแฟรม และขนาดกับรูปร่างของหน้ากากไมโครโฟนมีผล กระทบอย่างสำคัญต่อผลการรับเสียงและผลตอบสนองของมูรับเสียง คือ ต้องออกแบบขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดอานาแฟรมให้เหมาะสมกับความถี่ที่จะรับ เพราะถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของไมโครโฟนใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียงก็จะไม่เกิดการสะท้อน ฉะนั้นถ้าความถี่สูงๆค่าความยาวคลื่นน้อย ใช้ไดอานาแฟรมขนาดเล็กๆได้ แต่ถ้าใช้งานที่ความถี่ต่ำ ต้องออกแบบขนาดไดอานาแฟรมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าขนาดใหญ่เกินไปความไวจะลดลง รูปร่างของหน้ากากถ้าเป็นทรงกลมจะลดการสะท้อน

### ไมโครโฟนแบบนี้แบ่งเป็น 2 ชนิด

- ก. ขนาด หรือ ชนิดของคลื่น(Dimensional or Wave type microphone)
- ข. ความแตกต่าง(Gradient Microphone) ที่ทิศทางขึ้นอยู่กับความแตกต่างของแรงดันระหว่างจุดต่างๆของเสียง จะมีขนาดเล็กกว่าแบบแรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะของเสียงในอากาศ

ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของไมโครโฟน เราจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของเสียงและการเคลื่อนที่ของเสียงในอากาศ เสียงเกิดเนื่องจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียง ซึ่งการสั่นจะอัดอากาศรอบๆตัวเมื่อมีการสั่นไปข้างหน้า และมีการขยายอากาศเมื่อสั่นถอยหลัง ส่วนอัดและส่วนขยายจะถูกส่งต่อออกไปทุกทิศทาง เรียกว่า คลื่นตามยาวเคลื่อนที่ออกไปผ่านตัวกลางยืดหยุ่น (อากาศ) เมื่อมากระทบหูคนจะทำให้ได้รับความรู้สึกเป็นเสียงที่ซึ่งความถี่ดังกล่าวก่อนที่คนจะรับฟังได้ ต้องมีความดังมากพอที่ พลังงานของคลื่นจะกระตุ้นความรู้สึกของการได้ยิน ความดังเสียงต่ำสุดที่คนธรรมดาได้ยินที่ความถี่ 1000 Hz. คือ  $2 \times 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> ส่วนความดังสูงสุดที่รับฟังโดยไม่เจ็บปวดคือ 100 W/m<sup>2</sup>

### การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสียงและความดัน

เนื่องจากเสียงเคลื่อนที่ไปทุกทิศทางเป็นทรงกลมและพลังงานทั้งหมดของคลื่นเกือบคงที่ พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ของทรงกลมจะลดลงเมื่อคลื่นแผ่ออกไป ถ้าไม่คำนึงถึงการดูดซับพลังงานจากอากาศอัตราที่พลังงานเคลื่อนที่หรือความเข้มเสียง  $I$  ต่อพื้นที่จะเท่ากับ

$$I = P / 4\pi r^2$$

$P$  คือพลังงานที่แหล่งกำเนิดเสียง

$r$  คือระยะห่างจากแหล่งกำเนิด

ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่าเสียงจากแหล่งกำเนิดจะไม่ใช้ทรงกลมแท้ แต่ลักษณะของหน้าคลื่นจะใกล้เคียงกับทรงกลมมาก

$$I_u = P^2/R_u$$

P คือความดันเสียง

$R_u$  คือความต้านทานทางเสียง ;  $R = \rho c$

$\rho$  คือความหนาแน่นของตัวกลาง

c คือความเร็วเสียง

$$P = P_u R_u$$

ระดับเสียงต่ำสุดที่คนได้ยิน = 0 dB.SPL ( Sound Pressure Level )

$$= 0.0002 \text{ N/cm}^2 = 2 * 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$= 2 * 10^{-4} \text{ } \mu\text{bar}$$

$$= 10^{-16} \text{ W/cm}^2 \text{ (free field air)}$$

$$1 \text{ } \mu\text{bar} = 1 \text{ dyne/cm}^2$$

$$= 10^{-6} \text{ bar}$$

$$= 74 \text{ dB, SPL}$$

$$1 \text{ atmosphere} = 1 \text{ bar}$$

**Absolute Maximum Ratings**

Supply Voltage	±18V	Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Power Dissipation (Note 1)	500mW	Output Short Circuit Duration	Continuous
Operating Temperature Range	0°C to +70°C	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
V <sub>OS</sub> (MAX)	115°C	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Differential Input Voltage	±30V		

**DC Electrical Characteristics (Note 4)**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LF353			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C Over Temperature		5	10	mV
ΔV <sub>OS</sub> /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10kΩ		10	13	μV/°C
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 4, 5) T <sub>J</sub> ≤ 70°C		25	100	pA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 4, 5) T <sub>J</sub> ≤ 70°C		50	200	pA
R <sub>iN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> = 25°C		10 <sup>12</sup>	8	Ω
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> = ±15V, T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>O</sub> = ±10V, R <sub>L</sub> = 2kΩ Over Temperature	25	100		V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> = ±15V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	±12	±13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> = ±15V	±11	+15 -12		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> ≤ 10kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			3.6	6.5	mA

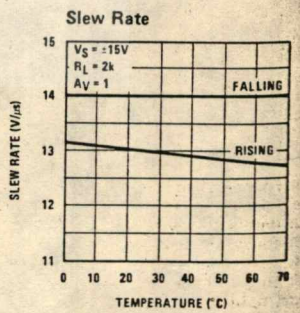
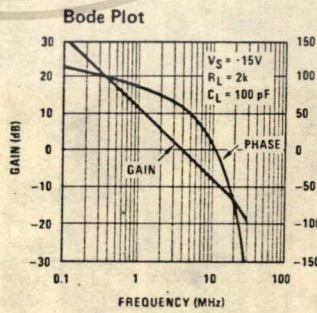
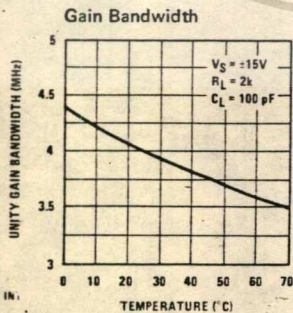
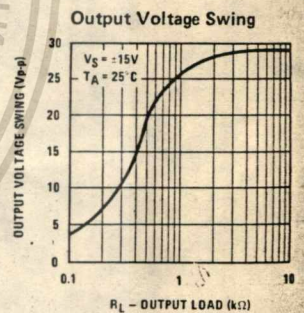
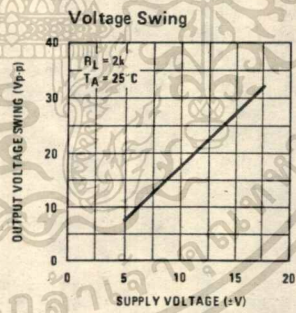
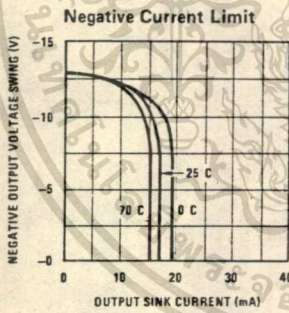
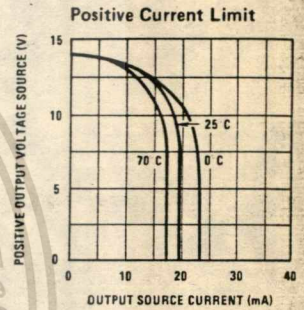
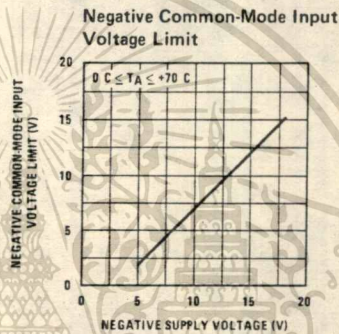
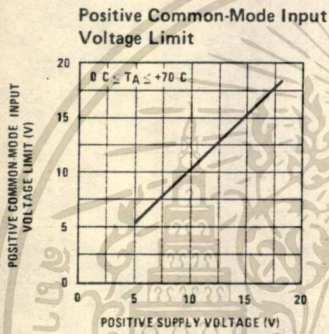
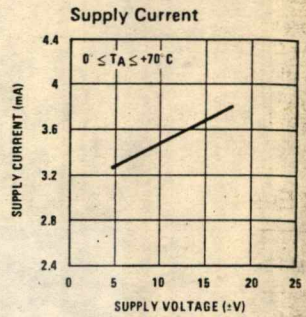
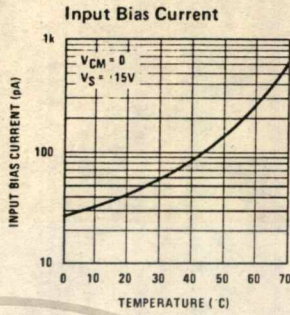
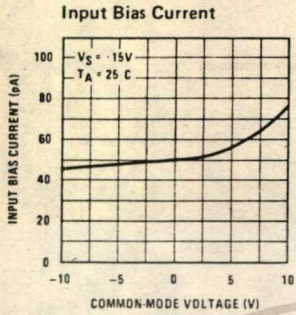
**AC Electrical Characteristics (Note 4)**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LF353			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T <sub>A</sub> = 25°C, f = 1 Hz–20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V <sub>S</sub> = ±15V, T <sub>A</sub> = 25°C		13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V <sub>S</sub> = ±15V, T <sub>A</sub> = 25°C		4		MHz
e <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>S</sub> = 100Ω, f = 1000 Hz		16		nV/√Hz
i <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Current	T <sub>J</sub> = 25°C, f = 1000 Hz		0.01		pA/√Hz

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W junction to ambient for the N package, and 150°C/W junction to ambient for the H package.  
 Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.  
 Note 3: The power dissipation limit, however, cannot be exceeded.  
 Note 4: These specifications apply for V<sub>S</sub> = ±15V and 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +70°C. V<sub>OS</sub>, I<sub>B</sub> and I<sub>OS</sub> are measured at V<sub>CM</sub> = 0.  
 Note 5: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T<sub>J</sub>. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P<sub>D</sub>. T<sub>J</sub> = T<sub>A</sub> + P<sub>D</sub>/E<sub>JA</sub> where E<sub>JA</sub> is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept at a minimum.  
 Note 6: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

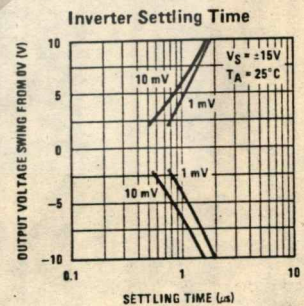
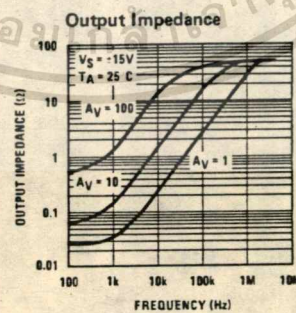
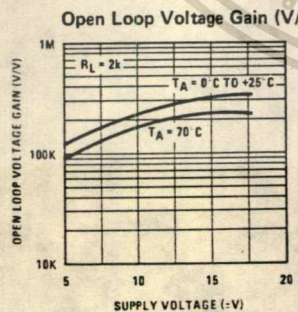
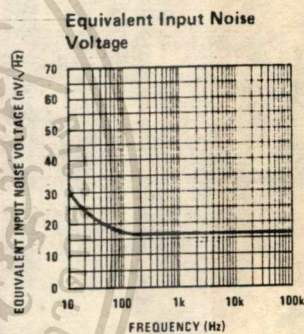
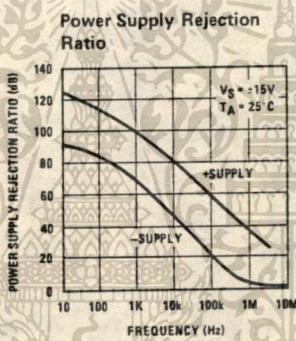
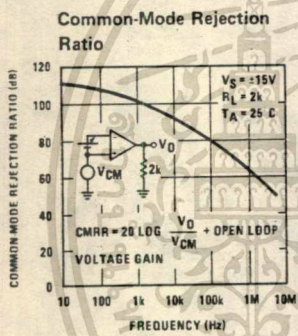
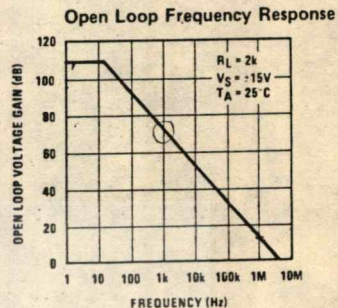
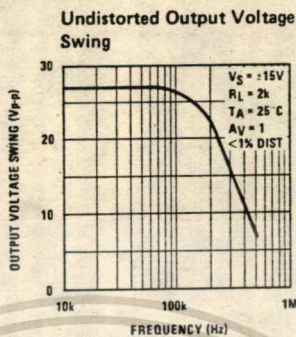
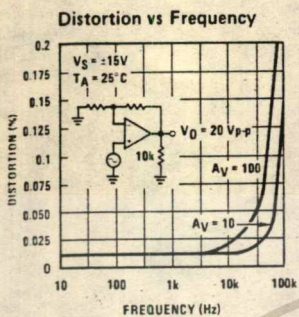


IN, -VEE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

0163007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Definition of Terms**

**Input Bias Current:** The average of the two input currents.

**Input Offset Current:** The absolute value of the difference between the two input currents for which the output will be driven higher than or lower than specified voltages.

**Input Offset Voltage:** The absolute value of the voltage between the input terminals required to make the output voltage greater than or less than specified voltages.

**Input Voltage Range:** The range of voltage on the input terminals (common-mode) over which the offset specifications apply.

**Logic Threshold Voltage:** The voltage at the output of the comparator at which the loading logic circuitry changes its digital state.

**Negative Output Level:** The negative dc output voltage with the comparator saturated by a differential input equal to or greater than a specified voltage.

**Output Leakage Current:** The current into the output terminal with the output voltage within a given range and the input drive equal to or greater than a given value.

**Output Resistance:** The resistance seen looking into the output terminal with the dc output level at the logic threshold voltage.

**Output Sink Current:** The maximum negative current that can be delivered by the comparator.

**Positive Output Level:** The high output voltage level with a given load and the input drive equal to or greater than a specified value.

**Power Consumption:** The power required to operate the comparator with no output load. The power will vary with signal level, but is specified as a maximum for the entire range of input signal conditions.

**Response Time:** The interval between the application of an input step function and the time when the output crosses the logic threshold voltage. The input step drives the comparator from some initial, saturated input voltage to an input level just barely in excess of that required to bring the output from saturation to the logic threshold voltage. This excess is referred to as the voltage overdrive.

**Saturation Voltage:** The low-output voltage level with the input drive equal to or greater than a specified value.

**Strobe Current:** The current out of the strobe terminal when it is at the zero logic level.

**Strobed Output Level:** The dc output voltage, independent of input conditions, with the voltage on the strobe terminal equal to or less than the specified low state.

**Strobe "ON" Voltage:** The maximum voltage on either strobe terminal required to force the output to the specified high state independent of the input voltage.

**Strobe "OFF" Voltage:** The minimum voltage on the strobe terminal that will guarantee that it does not interfere with the operation of the comparator.

**Strobe Release Time:** The time required for the output to rise to the logic threshold voltage after the strobe terminal has been driven from zero to the one logic level.

**Supply Current:** The current required from the positive or negative supply to operate the comparator with no output load. The power will vary with input voltage, but is specified as a maximum for the entire range of input voltage conditions.

**Voltage Gain:** The ratio of the change in output voltage to the change in voltage between the input terminals producing it.

**LF111/LF211/LF311 Voltage Comparators**

**General Description**

The LF111, LF211 and LF311 are FET input voltage comparators that virtually eliminate input current errors. Designed to operate over a 5.0V to  $\pm 15V$  range the LF111 can be used in the most critical applications.

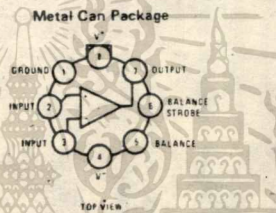
Further, the LF111 can be used in place of the LM111 eliminating errors due to input currents. See the "application hints" of the LM311 for application help.

The extremely low input currents of the LF111 allows the use of a simple comparator in applications usually requiring input current buffering. Leakage testing, long time delay circuits, charge measurements, and high source impedance voltage comparisons are easily done.

**Advantages**

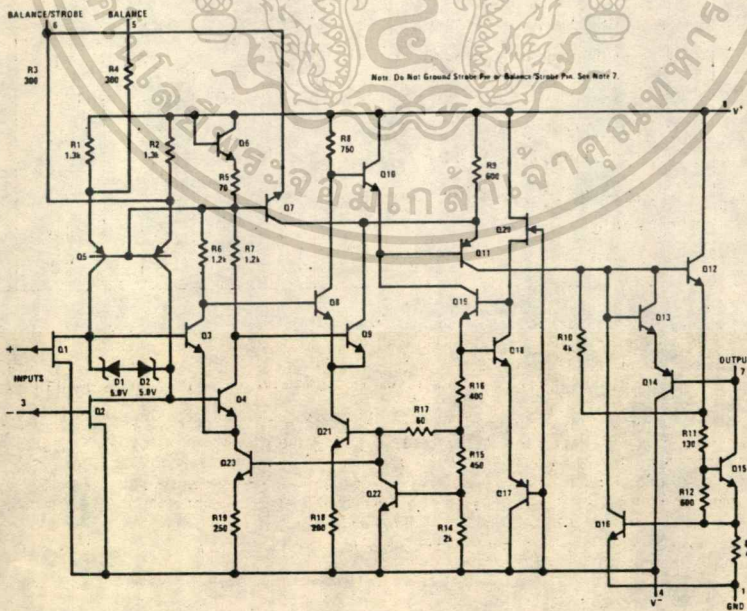
- Eliminates input current errors
- Interchangeable with LM111
- No need for input current buffering

**Connection Diagram**

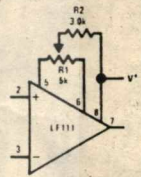


Order Number LF111H, LF211H or LF311H  
See NS Package H08C

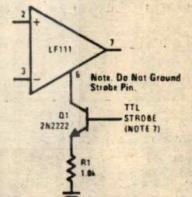
**Schematic Diagram and Auxiliary Circuits**



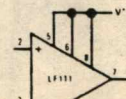
Note: Do Not Ground Strobe Pin or Balance Strobe Pin. See Note 7.



Offset Balancing



Strobing



\*Increases typical common mode slew from 7.0V/ $\mu s$  to 18V/ $\mu s$   
Increasing Input Stage Current\*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

ด.ร แดเนี่ยล บริน	อาจารย์ที่ปรึกษา โปรเจค
อจ. นิภา ลีลาวัจ	ภาควิชาโทรคมนาคม
อจ. สุทธิชัย นพนาศิพงษ์	ภาควิชาโทรคมนาคม
อจ. ชนิษฐา แซ่ตั้ง	ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
คุณ สุวรรณ ไกรฤกษ์	หัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุง ศูนย์วิทยุการศึกษา
คุณ จงจินต์ เสรีรักษ์	นิตยสาร Audio Vision
คุณ ไมตรี ทวีพย์อ่อนเกลสันติ	นิตยสาร เครื่องเสียง

ที่กรุณาแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการทำงานครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

- 1.Olson , H.F,"Element of Acoustical Engineering",D,van Nostrand Co., NewYork(1947).
- 2.Rule ,E.,Sullentrop, F.J. and Peals, T.A., "Vibration Sensitivity of a Condensor Microphone", J. Acoust.Soc. Am.,32,NO.7(1960).
- 3.Haringx,J. A., "Vibration-free mountings with auxiliary mass" ;Philips Tech. Rev. ,9, No.1 (1947).
- 4.Phelps W.D., "Microphone wind screening" ,RCA Rev.,3,No. 2 (1938).
- 5.Brown, R.L. and Bolt, R.H.,J. Acoust. Soc. Am.,19 (1942).
- 6.Bleazey, J.C., "Experimental determination of the effectiveness of microphone wind screens",J. Audio Eng. Soc.,9, No.1 (1961).
- 7.Haword M.Tremaine,"Audio Cyclopedia",Howard W. Sams & Co.Inc.(1959).
- 8.Robert E. Runstein,"Modern Recording Techniques",Howard W. Sams & Co.Inc.(1974).