

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก

MAGNETIC SPLIT-CURRENT CONDUCTOR



นายอลงกรณ์ อินใหญ่

นายเอกธวัช ทองคง

รฟ.
๑๔๖๓ ๐๖
๒๕๕๐

เลขานุ.....
เลขทะเบียน..... **82998**
วัน,เดือน,ปี **30 ก.ค. 2551**

b. **119 ๕๖๖๘๕**
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก

MAGNETIC SPLIT-CURRENT CONDUCTOR

โดย

นายอลงกรณ์ อินใหญ่ รหัส 47010963

นายเอกธวัช ทองคง รหัส 47011009



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก(Magnetic split-current conductor)

ผู้จัดทำ

1.นายอลงกรณ์ อินใหญ่ รหัส 47010963

2.นายเอกธวัช ทองคง รหัส 47011009





.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก

นาย อลงกรณ์ อินใหญ่ 47010963

นาย เอกธวัช ทองคง 47011009

รศ.ดร. เดิมพงษ์ เพ็ชรกุล

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้กล่าวถึงการทำงานและกระบวนการสร้างตัวนำแยกกระแส โดยใช้หลักการของปรากฏการณ์ของฮอลล์ ซึ่งใช้สนามแม่เหล็กในการเบี่ยงเบนประจุให้ไปทางด้านหนึ่งของตัวนำ เป็นผลให้เกิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า การใช้งานให้แหล่งจ่ายกระแสเป็นแหล่งจ่ายคงที่ให้แก่ตัวนำแยกกระแส ที่แยกออกเป็นสองทาง โดยที่แต่ละทางมีค่าความต้านทานเท่ากัน จากนั้นเมื่อให้สนามแม่เหล็กแก่ตัวนำแยกกระแส กระแสที่ไหลไปแต่ละทางจะมีค่าต่างกันเป็นผลให้แรงดันตกคร่อมความต้านทานของแต่ละทางเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการวัดค่าของฟลักซ์แม่เหล็กและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magnetic split-current conductor

Mr. Alongkorn Inyai I.D. 47010963

Mr. Ektawat Thongkong I.D. 47011009

Assoc.Prof. Dr. Toempong Phetchakul

Education Year 2007

Abstract

This project provide the mechanism and fabrication of split-current conductor which uses the principle of Hall effect. The current constant circuit is used for supplying split-current conductor. This device separate the two paths of current which have the same voltage drop across resistors. When the magnetic field perpendicular of device surface is applied, conductor current flows in different path have unequal. That will make voltage drop in path changes. We can use this principle for measuring magnetic flux and indicating the direction of magnetic field.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ด้วยการได้รับคำแนะนำและให้คำปรึกษาที่ดีมากจากอาจารย์ที่ปรึกษาประจำโครงการนี้ รศ.ดร. เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือจากรุ่นพี่ปริญญาโทคือ นายรัฐพงษ์ นาคาไชย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ของทางสถาบัน จึงทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจึงถือโอกาสขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย



คณะผู้จัดทำ

นายอลงกรณ์ อินใหญ่

นายเอกธวัช ทองคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การวัดและควบคุม	2
2.1 เซ็นเซอร์ และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น	2
2.2 ความสำคัญของการวัดและควบคุม	2
2.3 นิยามอุปกรณ์รอบข้าง และคุณลักษณะที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์	5
2.3.1 เซ็นเซอร์(Sensor)	5
2.3.2 ทรานสดิวเซอร์(Transducer)	5
2.3.3 คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ที่ต้องกร	5
2.3.4 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ	6
2.3.5 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	6
2.3.6 อุปกรณ์กรองสัญญาณ	6
2.3.7 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ ไฟฟ้า	7
2.3.8 อุปกรณ์แสดงผล	7
2.4 การเลือกเครื่องมือวัด (Selection of the Instrument)	7
2.4.1 คุณภาพของเครื่องมือวัด เกณฑ์ของราคา	8
2.4.2 การพิจารณาในแง่ความสะดวก เกณฑ์ความเหมาะสม	8
2.4.3 ราคาในสภาวะแรกและงบที่อาจจะบานปลาย	9
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	10
3.1 สนามแม่เหล็ก (The Magnetic Field)	10
3.2 ฟลักซ์แม่เหล็กกับกฎของเกาส์ (Magnetic Flux and Gauss's Law)	11
3.3 กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก (Gauss's Law for Magnetic Field, B)	12
3.4 แรงลอเรนทซ์ (Lorentz Force)	13
3.5 กฎของเลนซ์ (Lenz's Law)	14
3.6 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การสร้างตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก	19
4.1 การออกแบบมาสก์(Mask)	19
4.2 การเตรียมแผ่นซิลิคอน	20
4.3 กระบวนการทำความสะอาด (Cleaning Process)	21
4.4 กระบวนการสร้างชั้นออกไซด์ (SiO ₂)	23
4.4.1 กระบวนการ Wet Oxidation	23
4.4.2 กระบวนการ Dry Oxidation	24
4.5 กระบวนการเคลือบโลหะ (Evaporation)	26
4.6 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (Photolithographic Process)	27
4.6.1 การเคลือบน้ำยาไวแสง (Photoresist Coating)	27
4.6.2 การอบ Prebake	28
4.6.3 การถ่ายแบบ (Mask Alignment and Expose)	29
4.6.4 การ Development	29
4.6.5 การอบ Postbake	30
4.7 การลอก(Etching)	30
4.8 การลอกน้ำยาไวแสง	30
4.9 รูปตัดขวางแสดงขั้นตอนกระบวนการสร้างตัวนำแยกกระแส	31
4.10 ชิ้นอุปกรณ์หลังผ่านกระบวนการต่างๆ	33
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	37
5.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	37
5.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง	38
5.3 ผลการทดลอง	41
บทที่ 6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	52
ภาคผนวก	56
กิตติกรรมประกาศ	59
หนังสืออ้างอิง	60

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 3 รูปที่ 3.1 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน	10
รูปที่ 3.2 พลั๊กซ์ของสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ขนาด dS เมื่อ dS เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว	11
รูปที่ 3.3 การใช้กฎมือขวาหาทิศทางของผลคูณเชิงเวกเตอร์ V และ B	14
รูปที่ 3.4 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์	15
รูปที่ 3.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H	17
บทที่ 4 รูปที่ 4.1 วัสดุที่ออกแบบ	19
รูปที่ 4.2 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านการหักแล้ว	21
รูปที่ 4.3 Chamber ไว้ใช้สำหรับเตรียมสาร	22
รูปที่ 4.4 การแพร่แบบ Wet Oxidation ที่ต้องใช้ไอน้ำในการแพร่	24
รูปที่ 4.5 เครื่อง Evaporation	26
รูปที่ 4.6 ไนโตรเจนเหลวที่ใช้เติมเพื่อลดความดัน	27
รูปที่ 4.7 เครื่องสปินเนอร์	28
รูปที่ 4.8 เครื่องถ่ายแบบ	29
รูปที่ 4.9 เตาอบที่ใช้ในการอบ Prebake และ Postbake	30
รูปที่ 4.10 แผ่นซิลิคอนที่เตรียมไว้	31
รูปที่ 4.11 แผ่นซิลิคอนหลังจากการเคลือบออกไซด์	31
รูปที่ 4.12 แผ่นซิลิคอนหลังจากเคลือบด้วยอลูมิเนียม	31
รูปที่ 4.13 แผ่นซิลิคอนหลังจากเคลือบน้ำยาไวแสง	31
รูปที่ 4.14 การถ่ายแบบของแผ่นซิลิคอน	32
รูปที่ 4.15 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านการ Develop	32
รูปที่ 4.16 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านการ Etching	32
รูปที่ 4.17 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านขั้นตอนการลอกน้ำยาไวแสง	33
รูปที่ 4.18 อุปกรณ์หลังผ่านกระบวนการในห้องปลอดฝุ่น	33
รูปที่ 4.19 โครงสร้างแบบที่ 1	34
รูปที่ 4.20 โครงสร้างแบบที่ 2	34

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.21 โครงสร้างแบบที่ 3	34
รูปที่ 4.22 โครงสร้างแบบที่ 4	35
รูปที่ 4.23 โครงสร้างแบบที่ 5	35
รูปที่ 4.24 โครงสร้างแบบที่ 6	35
รูปที่ 4.25 โครงสร้างแบบที่ 7	36
รูปที่ 4.26 อุปกรณ์ที่พร้อมนำไปใช้งานมุมมองด้านบน	36
รูปที่ 4.27 อุปกรณ์ที่พร้อมนำไปใช้งานมุมมองด้านข้าง	37
บทที่ 5 รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	37
รูปที่ 5.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง	38
รูปที่ 5.3 วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์	39
รูปที่ 5.4 วงจรขยายอินสตรูเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง	40
รูปที่ 5.5 สนามแม่เหล็ก 0 เกาส์ $\Delta V = 0 \text{ mV}$	41
รูปที่ 5.6 สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ $\Delta V = 0.5 \text{ mV}$	41
รูปที่ 5.7 สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ $\Delta V = 0 \text{ mV}$	42
รูปที่ 5.8 สนามแม่เหล็ก 0 เกาส์ $\Delta V = -1.2 \text{ mV}$	42
รูปที่ 5.9 สนามแม่เหล็ก 0 เกาส์ $\Delta V = 0 \text{ mV}$	43
รูปที่ 5.10 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	44
รูปที่ 5.11 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น เป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	45
รูปที่ 5.12 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	46
รูปที่ 5.13 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	47
รูปที่ 5.14 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งออก	48
รูปที่ 5.15 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น เป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งออก	49

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.16 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็ก ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งออก	50
รูปที่ 5.17 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็ก ภายในเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งออก	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	44
ตารางที่ 5.2 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น เป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	45
ตารางที่ 5.3 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	46
ตารางที่ 5.4 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งเข้า	47
ตารางที่ 5.5 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งออก	48
ตารางที่ 5.6 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น เป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งออก	49
ตารางที่ 5.7 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งออก	50
ตารางที่ 5.8 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งออก	51

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการวัดและการควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมเป็น กระบวนการที่สำคัญยิ่ง ในแต่ละกระบวนการล้วนแต่มีขั้นตอนในการปฏิบัติมากมายและสำคัญ กระบวนการแรกเริ่มสุดคือการวัด การวัดเป็นการอ่านค่าขนาดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่างๆในทางอุตสาหกรรม เช่นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการวัดเพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณ หรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสง เสียง สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า ความดันบรรยากาศ ความเร็ว เป็นต้น จากนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณหรือปริมาณอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำไปประมวลผลต่อไปได้ การเลือกใช้งานเซ็นเซอร์จึงควรเลือกใช้งานให้เหมาะสมตามสภาพแวดล้อม ลักษณะการใช้งาน และปริมาณทางฟิสิกส์ที่จะตรวจวัด เช่นเซอร์ที่ใช้วัดความเข้มสนามแม่เหล็กมีหลักการในการสร้างที่หลากหลาย ทั้งการใช้ทฤษฎีของสารกึ่งตัวนำหรือการใช้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ ซึ่งรายงานฉบับนี้ได้นำทฤษฎีของแรงลอเรนทซ์มาประยุกต์ใช้ทำเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็ก

การตรวจวัดสนามแม่เหล็ก เป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างมากต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ออกมาจากวงจรในรูปแบบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งส่งผลไปยังอีกวงจรซึ่งมีผลต่อการทำงานโดยรวม ทำให้ผลที่ได้ผิดจากความเป็นจริง ดังนั้นการควบคุมสนามแม่เหล็กจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

ขอบเขตและวัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาแรงลอเรนซ์
- เพื่อศึกษาผลของตัวนำที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กและการเบี่ยงเบนกระแส
- เพื่อศึกษากระบวนการออกแบบและกระบวนการสร้างวงจรรวม

บทที่ 2

การวัดและควบคุม

2.1 เซ็นเซอร์ และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น

นับเป็นนัยสำคัญในการพัฒนางานทางด้านการวัดและควบคุมเพราะงานดังกล่าวได้เข้ามามีบทบาทแทบทุกพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกระดับ และอาจจะพบเห็นบ่อยในชีวิตประจำวันของเรา ตัวอย่างเช่น นาฬิกาบอกเวลาซึ่งเป็นเครื่องมือวัดเวลาที่ใช้กันอยู่แทบทุกคน หรือในส่วนของรถยนต์ที่ต้องมีหน้าปัดบอกค่าต่าง ๆ ทางด้านหน้าของคนขับ เพื่อแสดงค่าต่าง ๆ เป็นต้น

ความเป็นจริง ระบบของการวัดและควบคุมมีความสำคัญต่องานทางด้านอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างมากเช่นในระบบการวัดและควบคุมในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า กระบวนการด้านอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างมาก การผลิตเครื่องจักรกลสมัยใหม่ การควบคุมหรือปรับความปลอดภัยของอุปกรณ์ เป็นต้น ผลที่สืบเนื่องจากการใช้งานระบบการวัดและการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ จะทำให้ประหยัดเวลา กำลังงานและกำลังคนลงเป็นจำนวนมาก เพราะเหตุนี้จึงเห็นได้ว่า วิทยาศาสตร์ทางด้านเครื่องมือและควบคุมนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

2.2 ความสำคัญของการวัดและควบคุม

วัตถุประสงค์ของการวัดและควบคุม มีความสำคัญดังต่อไปนี้

2.2.1 การวัดเป็นการแสดงตัวแปรซึ่งเป็นรายละเอียดของระบบ หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบการวัดคือ การแสดงตัวแปร หรือรายละเอียดของระบบ หรือกระบวนการ อาจอยู่ในรูปของการบอกค่าที่แสดงให้เห็น เก็บค่าไว้ บันทึกค่า หรือแสดงค่าแล้วส่งไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสมไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการในระบบ ในความเป็นจริงค่าในสถานะของระบบพื้นฐาน ของการปฏิบัติงานจะมีใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่นงานรักษาสภาพของยาหรืองานบำรุงรักษาเครื่องจักรกลเมื่อมีการหยุดเดินเครื่อง

2.2.2 เพื่อควบคุมความแน่นอนในการปฏิบัติงานหรือกระบวนการ ระบบดังกล่าวอยู่ในระบบการควบคุมอัตโนมัติซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบรวม ในการควบคุมดังกล่าว จะทำหน้าที่ปรับกระบวนการเพื่อให้ระบบเข้าสู่เงื่อนไข (เป้าหมาย) หรือเปลี่ยนไปตามโปรแกรมที่เซตไว้หลักการของการวัดคือ เปรียบเทียบค่าจริงกับค่าที่ต้องการจะปฏิบัติงาน เราพบว่าความแน่นอนในการวัดตัวแปรทางกายภาพใด ๆ ในกระบวนการหรือการปฏิบัติงาน จะเกี่ยวกับระบบของการวัดและอุปกรณ์วัดค่าโดยตรง เช่นเทอร์โมสแตตที่อยู่ในตู้เย็น จัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่เราต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ ความแน่นอนของอุณหภูมิที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแน่นอนของเทอร์โมมิเตอร์ที่ทำการวัด โดยทั่วไประบบการควบคุมแบบอัตโนมัติใช้งานในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น การกลั่นน้ำมัน โรงงานเคมี เป็นต้น ตัวแปรทางการภาพที่เราวัดและควบคุมอาจจะเป็น ความดัน อัตราการไหลและตัวแปรอื่น ๆ นอกจากนี้เรายังพบในระบบการควบคุมซึ่งใช้ปรัชญาการควบคุมซึ่งใช้ปรัชญาการควบคุมสมัยใหม่ เช่นงานควบคุมการบินของเครื่องบิน การควบคุมพื้นที่การบินของท่าอากาศยาน ระบบนำวิถีของจรวดมิสไซล์ ระบบการนำทาง ของเรดาร์ เป็นต้น

2.2.3 การจำลองสภาพของระบบ ในบางครั้งจำเป็นต้องทำการจำลองระบบการทดลอง เนื่องจากการทดลองโดยใช้ของจริงนั้นอาจมีความยุ่งยากและสลับซับซ้อน ในการหาสภาพที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของระบบจริงภายใต้การครอบคลุมสภาพที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งโดยทั่วไปเราจะใช้โมเดลแทนสเกลของจริง เช่น การวิเคราะห์หิมิตีเพื่อทำการแปลงผลการทดลองจากโมเดลเป็นต้นแบบ ในงานอวกาศพลวัคร ซึ่งต้องมีการทดลอง ยก ดึง หรือทำอย่างหนึ่งอย่างใดที่ใกล้เคียงกับงานจริงกับวัตถุที่ทดสอบเพื่อหาโมเดลของการควบคุม หรือการดูผลจากกระแสลมในอุโมงค์ลมที่จำลองสภาพการไหลของอากาศซึ่งรายละเอียดดังกล่าวได้โดยใช้หลักการออกแบบและพัฒนา prototype

2.2.4 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการออกแบบ โดยปกติในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ นั้น ต้องมีการลองผิดลองถูกในการลองผิดลองถูก นั้นคืออ้างอิงจากความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ ข้อมูลจากคู่มือ มาตรฐานในการปฏิบัติครั้งก่อน ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ โดยทำการทดลองศึกษาออกแบบวิธีใหม่ ๆ เพื่อรองรับและพัฒนางานแบบใหม่ ๆ ตัวอย่าง เช่น ทีมงานออกแบบที่มีประสบการณ์ในการออกแบบเครื่องบิน ซึ่งต้องกำหนดจำนวนปีของประสบการณ์ในสร้างต้นแบบของเครื่องบิน โดยที่ต้นแบบนี้กำหนดได้จากผลการทดสอบผลการบินเพื่อหาตัวแปรในการปฏิบัติงานหลาย ๆ ตัว ดังนั้นการศึกษาทดลองการออกแบบ จึงมีบทบาทสำคัญในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือระบบใหม่ ๆ

2.2.5 เพื่อใช้ในการปรับกระบวนการ มีดังปฏิบัติงานหลายตัวที่ใช้ในการปรับกระบวนการ เช่น ตัวบวกสัญญาณ ตัวลบสัญญาณ ตัวคูณสัญญาณ ตัวหารสัญญาณ ตัวดิฟเฟอเรนเชียลสัญญาณ ตัวรวมสัญญาณ ตัวปรับสัญญาณให้เป็นเชิงเส้น ตัวสุ่มสัญญาณ ตัวเฉลี่ยสัญญาณ ตัวควบคุมอัตราส่วน เป็นต้น นอกจากนั้นก็ยังคงต้องใช้เครื่องมือเพื่อวัดเพื่อหาผลการดิฟเฟอเรนเชียลที่มีความสลับซับซ้อนหรือตัวแปรทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ เครื่องคิดเลขแบบพกพาจัดเป็นตัวอย่างอย่างง่ายของเครื่องมือวัดกระบวนการทางคณิตศาสตร์

2.2.6 เพื่อทดสอบวัสดุ รักษามาตรฐาน และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ในหลาย ๆ ประเทศ จะมีองค์กรมาตรฐานที่กำหนดมาตรฐานของวัสดุและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวัดและการทดสอบ องค์กรดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดมาตรฐานเพื่อยืนยันความถูกต้องให้กับผู้บริโภค เพื่อให้แน่ใจว่าผู้บริโภคจะได้วัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามที่ความต้องการและมีความเหมาะสม ตัวอย่างเช่น เครื่องยนต์และเครื่องบินจะต้องผ่านการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญการบินฝ่ายพลเรือน เพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อมาตรฐาน ก่อนที่จะออกใบรับรองสำหรับใช้เป็นเครื่องยนต์ของเครื่องบินต่อไป

2.2.7 เพื่อยืนยันปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์/ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ บ่อยครั้งที่การทดลองข้อมูลจะเป็นการสร้างหรือกำหนดปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ใหม่ ๆ เช่น การวางหลักการความถี่ของลูกอมปี ซึ่งเป็นค่าความถี่ระหว่างผิวแห้งสองผิว โดยค่าดังกล่าวจะแปรผันตรงกับปฏิกิริยาปกติและเป็นอิสระต่อพื้นที่ของผิวสัมผัส จากการทดลองนี้ต่อมาภายหลังก็รู้จักกันในนามของ "กฎแรงเสียดทานของลูกอมปี" ในความเป็นจริง นักวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรจะเป็นคนทดลองและสังเกตพฤติกรรมของระบบที่ทดลอง จึงจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบการทดลองและสรุปความสัมพันธ์ดังกล่าว

ในบางครั้งการศึกษาการทดลองจะมีกฎที่ใช้ในการตั้งสูตรที่แน่นอน แต่หากว่าความสัมพันธ์ทางทฤษฎีไม่เพียงพอ ตัวอย่างเช่น ค่าตัวประกอบของแรงเสียดทานในท่อ (ซึ่งผลทางทฤษฎีอย่างเดียวไม่เพียงพอ) ก็จำเป็นต้องมีการตั้งค่าคงที่หรือตัวแปรขึ้นมามีค่าหนึ่ง โดยการคำนวณหรือหาได้จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้น ๆ การศึกษาการทดลองนี้ เป็นความหวังในการพัฒนาทฤษฎีใหม่ ๆ เพื่อให้ครอบคลุมปรากฏการณ์ใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้น

2.2.8 เพื่อควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม ทุกวันนี้การควบคุมจะมีการทดสอบผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง หลักการนี้จัดเป็นการควบคุมมวลผลิตภัณฑ์รวม ที่สามารถจะตรวจสอบความบกพร่องของการผลิตทั้งหมดได้ หากพบว่ามีส่วนประกอบใดที่ไม่สมบูรณ์ ก็จะถูกส่งคืนลำดับการผลิตที่ผ่านมาจากลำดับแรก ๆ การแก้ไขดังกล่าวจัดเป็นการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิต เช่น ต้องมีการทดสอบเกรนของแผ่นโลหะที่ใช้ทำออยเลอร์ก่อนที่จะใช้งานจริง โดยผ่านการทดสอบฉายรังสี x-ray โลหะดังกล่าวเพื่อหาหุลุมโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะเป็นต้น หลังจากนั้นก็จะผ่านการทดลองที่เรียกว่า "metallographic" สำหรับหาผลการร้าวของโลหะหรือการสูมทดสอบหาความเครียดของโลหะดังกล่าวเป็นต้น

2.3 นิยามอุปกรณ์รอบข้าง และคุณลักษณะที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์

(Definition and Specification of Transducer)

2.3.1 เซ็นเซอร์(Sensor)

เซ็นเซอร์คือส่วนที่รับสัญญาณจากกระบวนการในตอนแรก หรืออาจจะเรียกได้ว่า “อินพุต ทรานสดิวเซอร์” ในตำราเล่มนี้จะให้ความหมายทั้งเซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เหมือนกันเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสน

2.3.2 ทรานสดิวเซอร์(Transducer)

“ทรานสดิวเซอร์” คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ รับความรู้สึกตัวแปรทางกายภาพตัวใดตัวหนึ่งแล้วเปลี่ยนค่าทางด้านเอาต์พุตให้เป็นตัวแปรทางกายภาพตัวอื่น

ตัวอย่างของตัวแปรทางด้านอินพุตที่ทรานสดิวเซอร์ต้องการวัดเป็นไปได้หลาย ๆ อย่าง บางครั้งมิติของหน่วยสัญญาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตอาจจะมีค่าเหมือนกัน ในกรณีดังกล่าวที่เห็นได้ชัดแก่หม้อแปลง

2.3.3 คุณลักษณะของทรานสดิวเซอร์ที่ต้องการ

หากอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับสัญญาณ ไม่มีคุณภาพที่ดีแล้วระบบก็จะไม่สามารถทำงานเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ออกมามีได้ดังนั้นจึงต้องมีขอบเขตของทรานสดิวเซอร์ที่ดีเพื่อใช้ในทางปฏิบัติดังต่อไปนี้

- 1). มีความสามารถในการรับสัญญาณและตรวจจับพร้อมทั้งรับความรู้สึกค่าสัญญาณอินพุตที่ต้องการและต้องไม่มีความว่องไวกับสัญญาณอื่น ๆ ขณะที่ทำการวัด ตัวอย่างเช่น ทรานสดิวเซอร์ที่วัดความเร็วจะต้องรับความเร็วอย่างทันทีทันใดนั้น และต้องไม่รับเอาตัวแปร ของแรงเคลื่อนหรืออุณหภูมิที่อยู่ในบริเวณนั้น
- 2). ไม่ดัดแปลงหรือแก้ไขค่านัยสำคัญที่จะวัด
- 3). มีความสามารถต่อการดัดแปลงระบบ นั่นคือให้ง่ายต่อการปรับปรุงระบบโดยใช้อุปกรณ์ที่อยู่ในกระบวนการเดิม ๆ ได้ เพราะจะทำให้ง่ายต่อการจัดการและได้เปรียบในการต่อเข้ากับอุปกรณ์คำนวณหรืออุปกรณ์แสดงค่าสมัยใหม่ เพื่อแสดงรายละเอียดของสัญญาณดังกล่าว
- 4). ต้องมีความแน่นอนที่ดี
- 5). ต้องมีค่าความสามารถในการทำซ้ำที่ดี
- 6). ต้องมีขนาดที่เป็นเชิงเส้น
- 7). ต้องมีผลตอบสนองต่อความถี่ที่เพียงพอ
- 8). ต้องไม่สร้างหรือกำเนิดการรบกวนเฟสต่อกัน(เช่น ไม่มี time lag ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9). ต้องมีความสามารถในการต่อต้านสิ่งรบกวนจากสิ่งแวดล้อม โดยไม่ทำลายความถูกต้องของระบบ และรักษาความแน่นอนภายในขีดที่ยอมรับได้

10). ต้องมีผลตอบสนองและความน่าเชื่อถือที่ดี

2.3.4 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ

โดยปกติ สัญญาณทางเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์จะมีขนาดเล็กเกินไปที่จะบอกบันทึกหรือนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสัญญาณให้มีค่าเหมาะสมต่ออุปกรณ์ที่จะมาต่อรวม

2.3.5 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณ หมายถึงที่เพิ่มขนาดของสัญญาณ แต่ในลักษณะที่กลับกันจะเรียกว่า “การลดทอนสัญญาณ” ปกติอุปกรณ์ขยายสัญญาณดังกล่าวนี้จะอยู่ร่วมกับอุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณ โดยอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะเปลี่ยนไปตามชนิดของสัญญาณที่ทรานสดิวเซอร์ใช้ ซึ่งพอจะแยกออกได้ดังนี้

1). อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางกล เช่น คาน เกียร์ หรือทั้งสองอย่างรวมกัน โดยตัวแปรที่จะขยายได้แก่ จำนวนรอบ แรงบิด เป็นต้น

2). อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางไฮดรอลิกหรือนิวแมติก เช่น เวนจอร์มิเตอร์หรือออริฟิซมิเตอร์ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของตัวแปรทางด้านอินพุต

3). อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง คือเลนส์ และกระจก หรืออาจจะทั้งสองอย่างรวมกัน อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่เปลี่ยนอินพุตที่มีขนาดน้อย ๆ ไปเป็นค่าเอาต์พุตที่มีขนาดมากพอเพื่อความสะดวกในการแสดงผล

4). อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางไฟฟ้า ใช้วงจรทรานสดิวเซอร์ ไอซี เป็นต้น
การขยายแรงเคลื่อน = แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต/แรงเคลื่อนทางด้านอินพุต

$$V_o / V_i \quad (1.1)$$

การขยายกระแส = กระแสทางด้านเอาต์พุต / กระแสทางด้านอินพุต

$$I_o / I_i \quad (1.2)$$

อัตราขยาย = กำลังทางด้านเอาต์พุต / กำลังทางด้านอินพุต

$$V_o I_o / V_i I_i \quad (1.3)$$

2.3.6 อุปกรณ์กรองสัญญาณ

อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่นำสัญญาณที่ไม่ต้องออก การกรองสัญญาณจะแปรไปตามความเหมาะสมของชนิดสัญญาณ ธรรมชาติของสัญญาณ เป็นต้น

- 1). อุปกรณ์กรองทางกลประกอบด้วยอุปกรณ์ทางกล ทำหน้าที่ป้องกันทรานสดิวเซอร์จากสัญญาณรบกวนภายนอก เช่น การรักษาจุดอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล ที่ถูกรักษาไว้ในถังที่บรรจุน้ำแข็ง เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบ ๆ
- 2). อุปกรณ์กรองระบบนิวแมติก ประกอบด้วยออร์ฟิซขนาดเล็กลง หรือเวนจูรีที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณในระบบซึ่งไม่ราบเรียบออก
- 3). อุปกรณ์กรองทางไฟฟ้า เพื่อกำจัดการค้างอยู่ของสัญญาณไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าวงจร R-C อย่างง่าย หรือวงจรกรองไฟฟ้าใด ๆ ที่มีความเหมาะสม

2.3.7 อุปกรณ์ปรับสภาพสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย

- 1). อุปกรณ์ชดเชยสัญญาณ หรือ อุปกรณ์ทำให้สัญญาณเป็นเชิงเส้น
- 2). อุปกรณ์ดิฟเฟอเรนเชียล หรือ อินทิเกรชัน
- 3). อุปกรณ์แปลงสัญญาณ จากสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
- 4). อุปกรณ์เฉลี่ยสัญญาณ หรืออุปกรณ์ส่งสัญญาณ เป็นต้น

2.3.8 อุปกรณ์แสดงผล

เป็นอุปกรณ์รักษาค่าทางเอาต์พุตและทำหน้าที่ที่มีขนาดเดียวกันนี้ให้สามารถเห็นได้อย่างแน่นอน ชัดเจน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1). มีผลตอบสนองเร็วสุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- 2). หากว่าเป็นไปได้ต้องให้ความผิดพลาดของระบบน้อยที่สุด
- 3). มีค่าความเฉื่อย ความผิด ความตึง หรือค่าอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกันนี้น้อย ๆ (ยกตัวอย่างเช่น คาดริฟต์จากการใช้ลำแสง หรือลำอิเล็กตรอนแสดงผล)

2.4 การเลือกเครื่องมือวัด (Selection of the Instrument)

การเลือกเครื่องมือวัดใด ๆ ที่ให้เป็นไปตามความต้องการหรือตอบสนองได้เต็มที่ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการปฏิบัติงานของเครื่องมือวัดแต่ละชนิดรวมไปถึงราคา แต่โดยทั่วไปการเลือกอุปกรณ์นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของ “อัตราส่วนของการใช้จ่าย” หรือ “ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน” ของการลงทุนซึ่งคิดได้จากอัตราส่วนดังต่อไปนี้

ราคาค่างวดที่ใช้สอย

ราคาค่างวดที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการพิจารณาหลาย ๆ ปัจจัยที่จะเกี่ยวข้องกับการเลือกเครื่องมือวัด ซึ่งประกอบไปด้วยหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

2.4.1 คุณภาพของเครื่องมือวัด เกณฑ์ของราคา

- 1). คุณสมบัติของความแน่นอน ความเที่ยงตรง และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ความไว ความเป็นเชิงเส้น ฮิสเตอร์รีซิส ค่าคริปต์ศูนย์และคริปต์ความไว เคคแบนด์ เป็นต้น
- 2). ธรรมชาติและชนิดของความสามารถทางด้านข้อมูล เช่น แบบแอนะล็อก แบบดิจิทัล แบบต่อเนื่อง หรือแบบสุ่ม
- 3). ธรรมชาติและชนิดของการอ่านค่าออก เช่น ตัวบันทึกค่า หรือตัวบอกค่า เป็นต้น
- 4). ธรรมชาติของการคำนวณข้อมูล (หากว่าต้องการ)
- 5). คุณสมบัติของการรบกวนสัญญาณของทรานสดิวเซอร์ และความมั่นคงของระบบ เมื่อมีการขยายสัญญาณแล้วส่งออกไป หรือมีการแปลงข้อมูลไปอยู่ในรูปอื่น
- 6). คุณสมบัติของผลตอบสนองทางพลวัต ถ้าสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา
- 7). ความรู้สึกไว (susceptibility) ต่อการรบกวนของสิ่งแวดล้อมที่รบกวน

2.4.2 การพิจารณาในแง่ความสะดวก เกณฑ์ความเหมาะสม

- 1). มีความเหมาะสม (suitability) สำหรับงานที่จะใช้ เช่น ใช้ในห้องทดลอง ในสนาม หรือ ทั้งสองข้อรวมกัน
- 2). ความสามารถในการดัดแปลง (adaptability) เมื่อใช้กับค่าทางอินพุตหลาย ๆ ค่าที่แตกต่างกัน เช่น การขยายสเกล การเปลี่ยนย่าน เป็นต้น
- 3). ง่ายต่อการปรับแต่ง เมื่อจำเป็น
- 4). ง่ายและสะดวกต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมของเครื่องมือวัด
- 5). ต้องมีความทนทานของวัสดุที่ประกอบ และการออกแบบถูกหลักเกณฑ์ ไม่ยุ่งยากต่อการใช้งาน
- 6). มีส่วนประกอบที่ป้องกันการใช้ง่ายของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง (fool-proof)
- 7). พิจารณาการบำรุงรักษา การซ่อม ความเหมาะสมในการติดตั้ง และการบริการที่มั่นคง
- 8). ต้องมีระบบบอกความพร้อมในการทำงานด้วยตัวมันเอง หรือความสามารถตรวจสอบตัวเองได้ในกรณีที่เครื่องมือวัดทำงานผิดปกติ
- 9). มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน
- 10). มีรูปร่างที่เหมาะสมรูปทรงสวยงาม และจำเป็นต้องมีตัวห่อหุ้มหรือปกปิด ต่อสภาวะแวดล้อมการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ราคาในสถานะแรกและงบที่อาจจะบานปลาย

- 1).ราคาเบื้องต้นของเครื่องมือวัด ราคาในการติดตั้ง และราคาค่างวดอื่น ๆ
- 2).ราคาในการปรับแต่ง การซ่อม การบำรุงรักษา เป็นต้น
- 3).ราคาในการปฏิบัติงาน
- 4).การพิจารณาอายุการใช้งาน หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่สามารถจะทดแทนเข้ากันได้ กับเครื่องมือแบบเดียวกัน

จากหัวข้อด้านบนพบว่าเราจะต้องพิจารณาในหลาย ๆ ด้าน ซึ่งจะต้องทำการศึกษาทั้งทางด้านบวกและด้านลบ และพบว่าการศึกษาเรื่องคุณภาพหรือแง่ของเกณฑ์ราคา เป็นแง่ที่พิจารณามากที่สุดสำหรับการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

3.1 สนามแม่เหล็ก (The Magnetic Field)

สนามแม่เหล็ก (The Magnetic Field) คือบริเวณ (space) ที่มีอำนาจการกระทำที่เกิดจากแม่เหล็ก อำนาจการกระทำที่ส่งออกมาจากแม่เหล็กที่มีลักษณะเป็นเวกเตอร์ (Magnetic Field Vector) มีสัญลักษณ์เป็น B ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอำนาจแม่เหล็กชักนำ (Magnetic Induction) ซึ่งมีลักษณะเป็นเวกเตอร์ด้วย เรียกว่า ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) มีสัญลักษณ์เป็น Φ_B และมีหน่วยของการวัดเป็น Weber (volt·sec)



รูปที่ 3.1 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน

สนามแม่เหล็กมีหน่วยการวัดเป็นความเข้มของจำนวน ฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ เป็นจำนวน Magnetic flux/unit area ดังนี้

Magnetic Induction = Magnetic Flux/unit area

$$\text{หรือ } B = \frac{\Phi_B}{A} \text{ weber/m}^2 \quad (3.1)$$

• ในทางกลับกัน จะสามารถหาเส้นแรงแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กได้ ดังนี้

$$\Phi_B = \int B ds \quad (3.2)$$

$$= \int_0^A B \cos \theta ds \quad \text{Weber} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ฟลักซ์แม่เหล็กกับกฎของเกาส์ (Magnetic Flux and Gauss's Law)

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)

เช่นเดียวกับการให้คำจำกัดความของขนาดของสนามไฟฟ้าที่โยง ฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าหรือ ฟลักซ์ไฟฟ้าเข้ากับสนามไฟฟ้า กล่าวคือขนาดของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับความหนาแน่น ฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร เราให้คำจำกัดความของขนาดสนามแม่เหล็กว่าเท่ากับความหนาแน่น ฟลักซ์เส้นแรงแม่เหล็กหรือ ฟลักซ์แม่เหล็กต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรเช่นกัน ถ้าเรากำหนดให้ Φ_B แทน ฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านพื้นที่ S โดยที่พื้นที่ S นี้จะเป็นพื้นผิวจริงหรือพื้นที่ในจินตนาการอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ และเราจะแบ่งพื้นที่นี้เป็นพื้นที่เล็ก ๆ dS ทิศทางของ dS ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นที่ที่จุดซึ่งเราพิจารณาตามที่แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ขนาด dS เมื่อ dS เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว

ฟลักซ์แม่เหล็กคิดจากพื้นที่ dS หรือที่ผ่านพื้นที่ dS คือ

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

(3.4)

ในเมื่อ B เป็นสนามแม่เหล็กซึ่งมีค่าเท่ากับฟลักซ์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และสนามแม่เหล็กโดยทั่วๆ มีขนาดและทิศทางเปลี่ยนไปตามตำแหน่ง

ฟลักซ์แม่เหล็กคิดจากพื้นที่ทั้งหมดหรือที่ผ่านพื้นที่ ทั้งหมดหาได้จากการอินทิเกรตหรือการรวม $d\Phi_B$ จากพื้นที่เล็ก ๆ ทั้งหมด หรือ $\Phi_B = \int B ds$

หน่วย SI ของฟลักซ์แม่เหล็กคือ เวเบอร์ (weber) แทนด้วยสัญลักษณ์ Wb และ $1\text{Wb} = 1\text{T}\cdot\text{m}^2$

3.3 กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก (Gauss's Law for Magnetic Field, B)

กฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามไฟฟ้า โยงฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าหรือฟลักซ์ไฟฟ้าเข้ากับพื้นที่ผิวปิด (closed surface) กล่าวคือ ฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าของพื้นที่ผิวปิดขึ้นอยู่กับผลบวกทางพีชคณิตของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในพื้นที่ผิวปิดนั้น และเราเขียนกฎของเกาส์ในกรณีสนามไฟฟ้า (E) ในรูปอินทิกรัลเชิงพื้นที่ได้เป็น

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\epsilon_0} \quad (3.5)$$

ในเมื่อ $\sum_{i=1}^N q_i$ คือผลบวกทางพีชคณิตของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในพื้นที่ผิวปิด

กฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามไฟฟ้า บอกกับว่าประจวบวเป็นแหล่งให้เส้นแรงสนามไฟฟ้าที่พุ่งออก (source) จากประจุ และประจุลบเป็นแหล่งเก็บเส้นแรงสนามไฟฟ้าที่พุ่งเข้าหาประจุ (sink) เส้นแรงสนามไฟฟ้าที่สาริตหลักการนี้คือ เส้นแรงสนามไฟฟ้าของประจวบวเดี่ยว ที่เป็นจุดทำหน้าที่แหล่งกำเนิด และเส้นแรงของสนามไฟฟ้าของประจุลบเดี่ยวที่เป็นจุดทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บเข้า

พิจารณาว่ากฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามแม่เหล็กจะมีรูปร่างเป็นเช่นไรนั้น ก่อนอื่นต้องเขียนฟลักซ์แม่เหล็กของพื้นที่ผิวปิดในรูป

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (3.6)$$

จะใช้ตัวห้อย E และ B กำกับ เพื่อระบุให้ชัดเจนว่าเป็นฟลักซ์ของเส้นแรงไฟฟ้าหรือเส้นแรงแม่เหล็ก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสับสนในกรณีที่มีสนามทั้งสองชนิด เส้นแรงของสนามแม่เหล็กเป็นวงจรปิดที่ไม่มีทั้งแหล่งเกิดและแหล่งเก็บ ดังนั้นกฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามแม่เหล็กคือ

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (3.7)$$

ซึ่งมีความหมายว่า

- อินทิกรัลเชิงพื้นที่ปิดของสนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กของพื้นที่ผิวปิดใดๆ มีค่าเป็นศูนย์เสมอ
- จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าพื้นที่ผิวปิดมีค่าเท่ากับ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากพื้นที่ผิวปิด
- เส้นแรงแม่เหล็กเป็นวงจรรปิด
- ขั้วแม่เหล็กโคดไม่มีในธรรมชาติ (หรืออย่างน้อยหมายความว่ายังไม่มีใครพบขั้วแม่เหล็กโคด)

3.4 แรงแลอเรนทซ์ (Lorentz Force)

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{V} \times \mathbf{B} \quad (3.8)$$

ปริมาณแรกทางขวามือให้ค่าแรงที่สนามไฟฟ้า \mathbf{E} กระทำกับประจุ q ส่วนปริมาณที่สองทางขวามือให้ค่าแรงที่สนามแม่เหล็ก (\mathbf{B}) กระทำต่อประจุ q ที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว \mathbf{V}

แรงไฟฟ้า $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} \quad (3.9)$

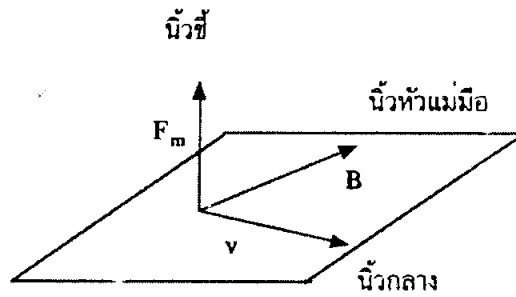
แรงแม่เหล็ก $\mathbf{F}_m = q\mathbf{V} \times \mathbf{B} \quad (3.10)$

ในขณะที่แรงไฟฟ้า \mathbf{F}_e มีทิศทางตามสนาม \mathbf{E} แรงแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบซึ่งประกอบด้วยเวกเตอร์ \mathbf{V} และ เวกเตอร์ \mathbf{B} และสามารถหาทิศทางของ \mathbf{F}_m ได้จาก กฎมือขวากล่าวคือ กางนิ้วกลางและนิ้วหัวแม่มือให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ให้นิ้วกลางแทน ความเร็ว (\mathbf{V}) นิ้วหัวแม่มือแทนสนามแม่เหล็ก (\mathbf{B}) นิ้วชี้จะบอกทิศทางของ \mathbf{F}_m ขนาดของแรง \mathbf{F}_m คือ

$$|\mathbf{F}_m| = qVB \sin\theta \quad (3.11)$$

ในเมื่อ θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ \mathbf{V} และ เวกเตอร์ \mathbf{B}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การใช้กฎมือขวาหาทิศทางของผลคูณเชิงเวกเตอร์ V และ B

จากสูตรข้างบนสังเกตได้ว่า ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ q เป็นสัดส่วนกับขนาดของประจุ q อัตราเร็วของประจุ V และสนามแม่เหล็ก (B) และสนามแม่เหล็กไม่มีแรงกระทำต่อประจุที่อยู่กับที่ ($V = 0$)

3.5 กฎของเลนซ์ (Lenz's Law)

เครื่องหมายลบในกฎของฟาราเดย์เป็นตัวบอกให้ทราบว่า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในเส้นทางหรือ sense ใดในวงจร การคำนวณขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะใช้หรืออาศัยกฎของฟาราเดย์ แต่การหาเส้นทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นเราต้องอาศัยกฎของเลนซ์

กฎของเลนซ์ระบุว่า

“กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในเส้นทางที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ”

หัวใจสำคัญของกฎของเลนซ์อยู่ที่ใจความที่ว่า “ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงแม่เหล็ก....” เพื่อที่จะเข้าใจกฎของเลนซ์ จะต้องแน่ใจว่าเข้าใจความหมายที่ขมข

ขึ้นแรก คำว่า “การเปลี่ยนแปลง” ตามนิยามของกฎของเลนซ์ กฎของเลนซ์โยงกระแสเหนี่ยวนำเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก และไม่ได้โยงกระแสเหนี่ยวนำกับฟลักซ์แม่เหล็กโดยตรง กฎของเลนซ์บอกว่า ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่ม แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลด แต่ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กลด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่ม ให้สังเกตว่าเลนซ์ไม่ได้พูดว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นต่อต้านสนามแม่เหล็ก แต่พูดว่าต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก

ขั้นที่สอง กระแสเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นมาอีกชุดหนึ่งและสนามแม่เหล็กชุดหลังนี้จะเป็นตัวที่รวมกับหรือหักล้างกับสนามแม่เหล็กชุดเดิม ขึ้นอยู่กับว่าสนามชุดเดิมเพิ่มหรือลด ถ้าสนามชุดเดิมเพิ่ม สนามชุดหลังที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะด้านการเพิ่ม โดยให้สนามแม่เหล็กชุดหลังมาหักล้างกับสนามเดิม โดยสร้างสนามแม่เหล็กชุดหลังที่มีทิศทางสวนกัน แต่ถ้าสนามแม่เหล็กเดิมลด สนามชุดหลังที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะด้านการลด โดยให้สนามแม่เหล็กชุดใหม่ที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำเสริมกับสนามแม่เหล็กชุดเดิม

โดยสรุปเป็นหลักการใหญ่ตามหลักการของเลนซ์ได้ดังนี้คือ

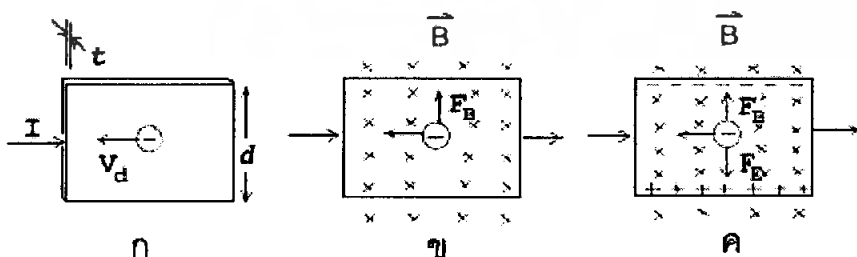
1. ถ้าขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กเดิมในวงจรลด สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะมีทิศทางที่เสริมกับสนามแม่เหล็กเดิม
2. ถ้าขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กเดิมในวงจรเพิ่ม สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะมีทิศทางที่หักล้างกับสนามแม่เหล็กเดิม
3. เครื่องหมายลบในสมการให้ความหมายตามที่บรรยายในข้อ 1. และ 2. กล่าวคือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในลักษณะที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก

3.6 ปฏิกิริยาฮอลล์ (Hall Effect)

Hall Effect เป็นหลักทางฟิสิกส์ที่พบโดย Edwin Hall (1855-1938) เป็นปรากฏการณ์ที่ว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำ(หรือวัตถุใดๆหรือแผ่นสารใดๆเช่น สารกึ่งตัวนำ) ที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงดันเกิดขึ้นคร่อมตัวนำนั้น โดยทิศของแรงดันจะตั้งฉากกับทิศสนามแม่เหล็กและทิศของกระแสไฟฟ้า” ความจริงหลักการดังกล่าวนี้เป็นไปแรงลอเรนทซ์(Lorentz force)

จากสมการที่ 3.8

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{V} \times \mathbf{B}$$



รูปที่ 3.4 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้รูป 3.4 ก-ค ดังนี้

รูปที่ 3.4 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูปที่ 3.4 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก (B) ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูปที่ 3.4 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลต์เตจ V ดังนี้

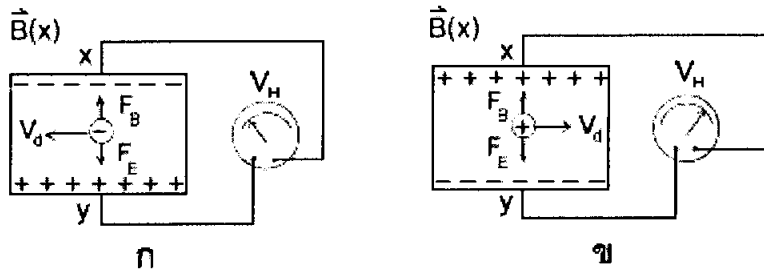
$$E_H = \frac{V}{d} \quad (3.12)$$

ความต่างศักย์หรือโวลต์เตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก

จากสมการ (3.12) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad (3.13)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูปที่ 3.5 ก
สภาพัฒของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 3.5 ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูป 3.5 ก แต่ทิศของ F_B และ E_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 3.5 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพัฒของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

จากรูปที่ 3.4 ค ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$(-e)E_H = (-e)V_d B \quad (3.14)$$

$$E_H = V_d B \quad (3.15)$$

จากสมการ (3.13) จะได้

$$V_H = E_H d \quad (3.16)$$

$$V_H = V_d B d \quad (3.17)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (3.18)$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง
แทนสมการ (2.18) ลงในสมการ (2.17) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \quad (3.19)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (3.20)$$

สมการ (2.20) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = neti V_H \quad (3.21)$$

ปริมาณ V_H และ i ในสมการ (3.21) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n \approx 10^{22} \text{ m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \approx 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (3.21) ได้

ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1\text{T} = 10^4 \text{ G}$

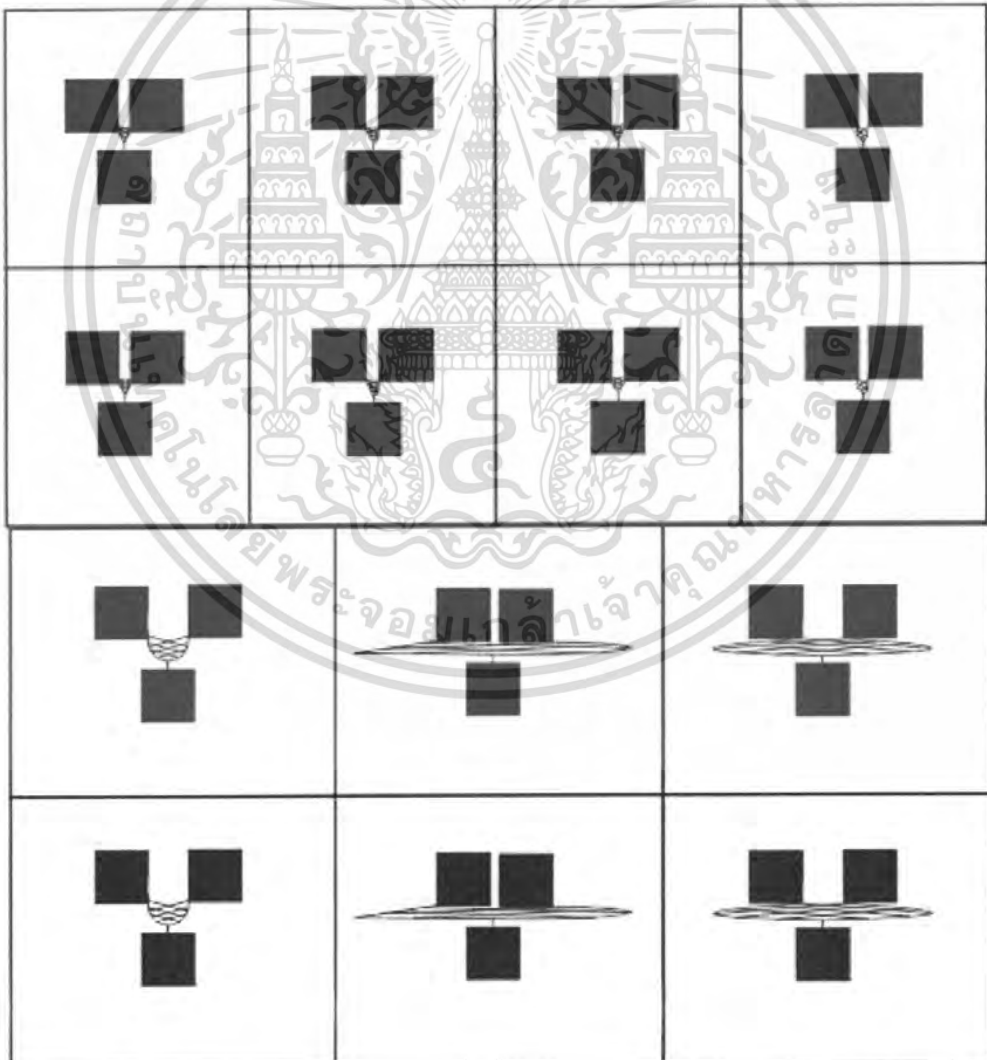
บทที่ 4

การสร้างตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก

มีกระบวนการสร้าง ดังนี้

4.1 การออกแบบมาสก์(Mask)

เพื่อนำไปใช้เป็นต้นแบบในการสร้างตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็ก โดยใช้โปรแกรม Corel Draw12 ในการออกแบบ ได้อุปกรณ์ 7 รูปแบบ ดังรูป



รูปที่ 4.1 มาสก์ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมแผ่นซิลิคอน

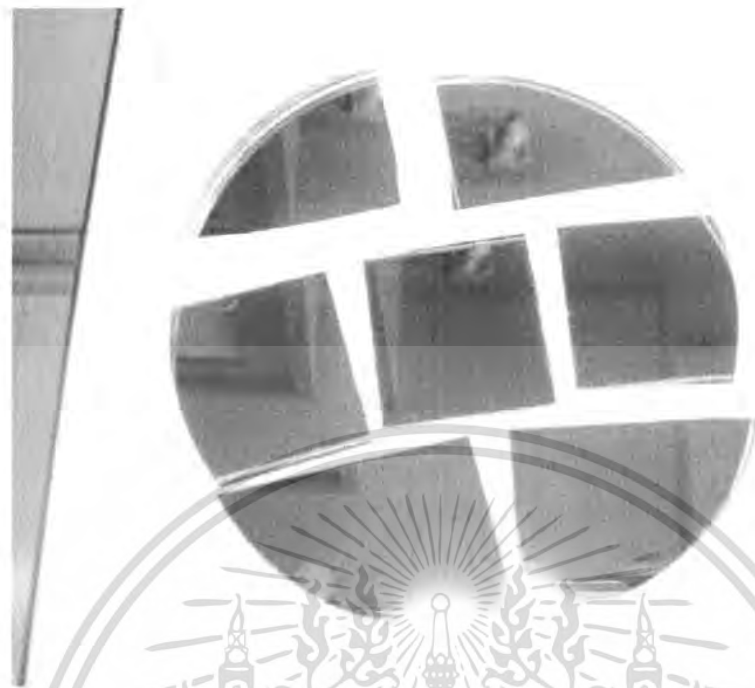
ในการที่จะสร้างตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็กนั้นเริ่มแรกต้องมีการเตรียมแผ่นซิลิคอนที่ใช้ในการสร้างแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มต้น (Initial Wafer) ที่ใช้สร้างเป็นดังนี้

- แผ่นผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น ระบาย(100)
- ค่าพิคัดความต้านทาน 3-6 Ω -cm
- ขนาดความหนาของแผ่นผลึกประมาณ 400 μ m

ซึ่งแผ่นซิลิคอนที่เราใช้ในการสร้างเป็นชนิดเอ็น โดยจะต้องทำการหักแผ่น (Break) ซิลิคอนให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ซึ่งขนาดของซิลิคอนจะมี 2 แบบ คือ

1. ระบาย (100) ระบายนี้การเรียงตัวของอะตอมที่ผิวหน้านั้นจะไม่มีอะตอมแขนขาอยู่ที่ผิวหรือจะพูดว่าเป็นอะตอมที่มีแขนครบทั้ง 8 แขน ซึ่งการที่ผิวหน้ามีอะตอมที่มีแขนครบแล้วนั้นทำให้สิ่งแปลกปลอมที่จะมาเกาะนั้นทำได้ยากเพราะแขนของอะตอมครบแล้ว ผิวหน้าจึงค่อนข้างจะสะอาด ระบาย 100 นี้จึงเหมาะสมสำหรับการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอส เพราะสารกึ่งตัวนำประเภทมอสนั้นมีกระแสไหลที่ผิวหน้า และการหักแผ่นนั้นจะใช้ ปากกาหัวเพชร (Diamond Pen) ชิดที่ปลาย แล้วใช้ที่คียบจับทั้ง 2 ข้างของรอยซิลิคอนที่ต้องการจะหัก แล้วบิดเบาๆ แผ่นซิลิคอนจะหักตามรอยที่เราขีดไว้ เป็นเส้นตรงตามการเรียงตัวของอะตอม

2. ระบาย (111) ระบายนี้การเรียงตัวของอะตอมที่ผิวหน้านั้นจะมีอะตอมแขนขาอยู่ 1 แขน ซึ่งการที่ผิวหน้ามีอะตอมแขนขาอยู่เช่นนี้ทำให้สิ่งแปลกปลอมที่จะมาเกาะนั้นทำได้ง่าย ผิวหน้าจึงจะไม่ค่อยสะอาด และที่ระบาย (111) นี้จึงไม่มีความเหมาะสมในการนำมาสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอส เพราะมอสมีกระแสไหลผ่านที่ผิวหน้าอาจทำให้มีกระแสรั่วไหลได้ จึงนิยมนำไปสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภททรานซิสเตอร์ และในการหักแผ่นซิลิคอนทำได้ยาก ซึ่งจะใช้ปากกาหัวเพชร (Diamond Pen) ชิดเป็นแนวยาว แล้วนำแผ่นซิลิคอนนั้นไปไว้บนที่รองโดยให้รอยที่ขีดไว้อยู่ตรงขอบพอดี แล้วใช้ไม้บรรทัด กดตรงรอยที่ขีดไว้บนแผ่นซิลิคอน เพื่อให้แผ่นซิลิคอนนั้นแตกตามรอยที่เราขีดไว้ จากนั้นเราจะทำการบิดซึ่งจะใช้แรงมากกว่าระบาย (100) แล้วจะได้แผ่นซิลิคอนตามขนาดที่ต้องการ



รูปที่ 4.2 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านการหักแล้ว

หลังจากได้แผ่นซิลิคอนที่มีขนาดความต้องการแล้ว ก็จะต้องนำแผ่นซิลิคอนไปผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดต่อไป

4.3 กระบวนการทำความสะอาด (Cleaning Process)

หลังจากที่เราได้ทำการเตรียมแผ่นซิลิคอนตามที่ต้องการแล้วขั้นตอนต่อไปคือกระบวนการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอน เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนแผ่นซิลิคอน เช่น ฝุ่น ไขมัน เป็นต้น โดยกระบวนการทำความสะอาดถือว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญมาก ถ้าเราทำความสะอาดแล้วยังมีสิ่งสกปรกติดอยู่บนแผ่นจะทำให้อุปกรณ์(Device) ที่สร้างเสร็จมีโอกาสเสียหายมาก กระบวนการทำความสะอาดมีขั้นตอนดังนี้คือ

1.การกำจัดฝุ่น

- Ultrasonic ในน้ำ DI 5 นาที
- จุ่มน้ำ DI ในแก้ว 1 แก้ว จนสะอาด
- เป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำจัดเศษโลหะ

- ต้มในกรด Nitric (HNO_3) 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที
- จุ่มในน้ำ DI 1 แก้ว
- ต้มในน้ำ DI 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที
- จุ่มในน้ำ DI 2 แก้ว จนสะอาด
- เป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2

3. การกำจัดไขมัน

- ต้มใน Trichlorethylene 5 นาที โดยในระหว่างเอาชิ้นต้องทำอย่างรวดเร็วมิเช่นนั้น Trichlorethylene จะแห้งเกาะติดแผ่นทำให้เราจะต้องมีการทำกระบวนการทำความสะอาดใหม่

- Ultrasonic ใน Acetone 2 นาที
- จุ่มในน้ำ DI 2 แก้ว จนสะอาด
- เป่าแห้งด้วยก๊าซ N_2

โดยหลังจากได้ทำตามกระบวนการทำความสะอาดแล้ว เราสามารถบอกได้ว่าแผ่นนั้นสะอาดหรือไม่ เราได้จากการนำแผ่นซิลิคอนไปจุ่มในน้ำ DI แล้ว หยิบขึ้นมาดูว่ามีหรือไม่มีหยดน้ำติดอยู่ที่แผ่นซิลิคอน ถ้าไม่มีหยดน้ำติดหรือหยดน้ำที่ติดอยู่น้อย แสดงว่าแผ่นซิลิคอนนั้นไม่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ ถ้ามีหยดน้ำติดอยู่เป็นจำนวนมากแสดงว่าแผ่นซิลิคอนนั้นมีสิ่งสกปรกติดอยู่



รูปที่ 4.3 Chamber ไว้ใช้สำหรับเตรียมสาร

หลังจากได้แผ่นซิลิคอนที่ผ่านขั้นตอนทำความสะอาดแล้ว ก็จะนำมาสร้างชั้นออกไซด์

โดยใช้กระบวนการ Thermal Oxidation

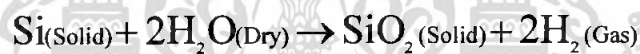
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กระบวนการสร้างชั้นออกไซด์ (SiO₂)

กระบวนการสร้างชั้นออกไซด์ เป็นการชั้นออกไซด์ไปเคลือบบนผิวหน้าของแผ่นซิลิคอน โดยที่ซิลิคอนอยู่ในบรรยากาศของ O₂ หรือ H₂O โดยกระบวนการสร้างชั้นออกไซด์นั้นมีหลายวิธี เช่น Thermal Oxidation ที่ทำที่อุณหภูมิสูง ๆ , High Pressure Oxidation สร้างที่ความดันต่ำ ๆ , Chemical Vapor Deposition (CVD) เป็นการใช้กระบวนการทางเคมี , Sputtering เป็นวิธีที่สร้างโดยการผ่านสนามไฟฟ้า จากวิธีที่กล่าวมานั้นต่างมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธี Thermal Oxidation เท่านั้น โดยวิธี Thermal Oxidation จะทำได้ 2 ลักษณะ คือ

4.4.1 กระบวนการ Wet Oxidation

ขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของ Si กับอะตอมของออกซิเจนในน้ำ โดยจะมีปฏิกิริยาเคมีดังสมการ



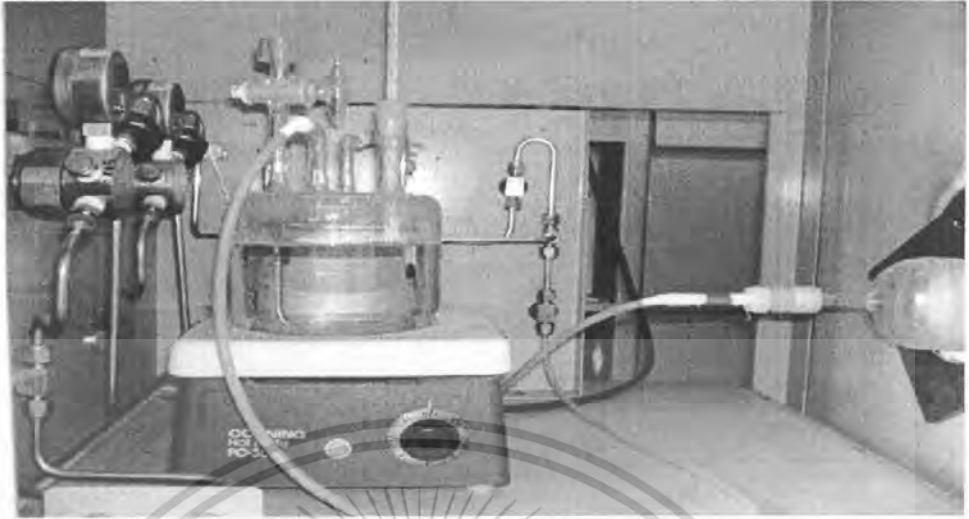
โดยขั้นตอนดังกล่าวนี้มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

ข้อดี

- ทำให้เกิดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ได้รวดเร็วกว่าแบบ Dry เพราะวามอเลกุลของน้ำนั้นเล็กกว่าของออกซิเจน ทำให้อะตอมของซิลิคอนเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำได้เร็วกว่า จึงสามารถสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนาได้ดี

ข้อเสีย

- เป็นฉนวนที่ไม่ดี จึงทำให้ทนแรงดันได้ต่ำทำให้ใช้เป็น Gate Oxide ไม่ได้ เพราะวามขั้นตอนนี้จะทำให้ผลึกที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ เพราะมีรูพรุนเกิดขึ้น



รูปที่ 4.4 การแพร่แบบ Wet Oxidation ที่ต้องใช้ไอน้ำในการแพร่

4.4.2 กระบวนการ Dry Oxidation

ขั้นตอนนี้จะเป็นปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของ Si กับอะตอมของก๊าซออกซิเจนที่บริสุทธิ์ปราศจากสารอื่นใดมาเจือปน จึงทำให้อะตอมของซิลิคอนรวมตัวกับออกซิเจนจนเป็นชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ได้ดังสมการ



โดยขั้นตอนดังกล่าวนี้จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

ข้อดี

- การสร้างชั้นซิลิคอนด้วยชั้นออกไซด์ด้วยวิธีนี้นั้นจะให้ชั้นออกไซด์ที่มีความเป็นฉนวนสูง มีคุณภาพดี เพราะมีความหนาแน่นสูง ทำให้สามารถสร้างเป็น Gate Oxide ได้

ข้อเสีย

- เนื่องจากขั้นตอนนี้ใช้ก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดการรวมตัวกับซิลิคอนได้ยากกว่าแบบ Wet ดังนั้นชั้นซิลิคอนออกไซด์นั้นจะต้องใช้เวลาในการสร้าง จึงสร้างชั้นออกไซด์หนาได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในกระบวนการสร้างชั้น Oxide ด้วยกระบวนการ Thermal Oxidation จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป แต่ในการสร้างจะใช้ทั้งกระบวนการ Wet Oxidation และ Dry Oxidation

ขั้นตอนการสร้างชั้น Oxide มีดังนี้

1. กัดผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนด้วยกรด HF
2. ล้างด้วยน้ำ DI เป่าให้แห้งด้วยก๊าซ N_2
3. ปรับอุณหภูมิในเตาให้คงที่ตามต้องการ
4. นำแผ่นผลึกซิลิคอนวางลงบนถาด (Boat) แล้วนำไปวางไว้ที่ปากควอทซ์ 5 นาที
5. ค่อย ๆ ดัน Boat ให้เข้าไปในกลางท่อควอทซ์อย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จนทำให้โครงสร้างผลึกเสียหาย
6. ทำการอ็อกซิเดชันด้วยวิธีที่ต้องการ Dry Oxidation หรือ Wet Oxidation
7. ทิ้งแผ่นผลึกไว้เพื่อให้ได้ชั้นออกไซด์หนาตามที่ต้องการ
8. ค่อย ๆ ดึง Boat ออกเหมือนขั้นตอนการนำเข้า

กระบวนการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นั้นมีความปลอดภัยสามารถป้องกันสารเจือหรืออะตอมแปลกปลอมอื่น ๆ มาเกาะบนผิวหน้าของแผ่นซิลิคอน

ในส่วนกระบวนการสร้างนั้นจะสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ขนาด 5000 Å ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

1. Dry Oxidation ด้วย O_2 1200cc/min 1 ชม. 1200 cc
2. Wet Oxidation ด้วย O_2 1000cc/min 1.30 ชม. 1000 cc
3. Dry Oxidation ด้วย O_2 1200cc/min 1 ชม. 1000 cc

เหตุผลที่ต้องสร้างตามขั้นตอน 3 ขั้นตอนข้างต้นคือ

1. Dry Oxidation ที่สร้างแบบ Dry Oxidation ก่อนเพราะอ็อกไซด์แบบนี้มันต้องการให้ผิวหน้านั้นสมบูรณ์ ไม่เกิดการร้าวไหลของกระแส ถ้าสร้างแบบ Wet Oxidation นั้นอะตอมของธาตุอื่นจะปะปนอยู่ด้วยทำให้ผิวหน้าไม่สะอาดมากพอ

2. Wet Oxidation ที่สร้างแบบ Wet Oxidation เพราะในการสร้างชั้นอ็อกไซด์การสร้างแบบ Dry Oxidation นั้นจะใช้เวลามากกว่าแบบ Wet Oxidation มากๆ ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงใช้การสร้างแบบ Wet Oxidation แทน

3. Dry Oxidation ที่สร้างแบบ Dry Oxidation เพราะผิวหน้าที่ได้นั้นสมบูรณ์ ไม่เกิดการร้าวไหลของกระแสที่ผิวบนสุด ซึ่งดีกว่าแบบ Wet Oxidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เครื่องสปินเนอร์

โดยเริ่มแรกให้เรา นำแผ่นซิลิโคนที่ทำการอบเสร็จแล้วไปวางลงในจานหมุนในเครื่องสปินเนอร์ จากนั้นเราจะทำการเปิดสวิทซ์ของปุ่มลม เพื่อทำการดูดแผ่นซิลิโคนให้อยู่กับที่ และไม่เกิดการหลุดออกของแผ่นขณะทำการหมุน แล้วใช้น้ำยาไวแสงหยดลงไปตรงกลางของแผ่นซิลิโคน 3 – 4 หยด แล้วเปิดเครื่องสปินเนอร์โดยใช้ความเร็วรอบประมาณในครั้งแรก 500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 วินาที ซึ่งในรอบแรกจะทำเพื่อเกลี่ยน้ำยาไวแสงให้กระจายไปทั่ว แล้วต่อด้วย 3000 รอบ/นาที อีก 30 วินาที เพื่อที่จะทำให้น้ำยาไวที่เคลือบผิวมันเรียบสม่ำเสมอ หลังจากเสร็จหากแผ่นซิลิโคนที่ได้นั้นมีอาการกระจายของน้ำยาไวแสงที่ไม่สม่ำเสมอโดยอาจจะมีอาการเกิดการนูนขึ้นตอนปลายของแผ่นหรือผิวหยาบไม่เรียบนั้นก็มีผลมาจากการหยดน้ำยาไวแสงมากเกินไปหรือใช้ความเร็วรอบในการหมุนที่ไม่เหมาะสม

4.6.2 การอบ Prebake

หลังจากที่นำแผ่นซิลิโคนไปเคลือบน้ำยาไวแสงแล้วจะนำแผ่นซิลิโคนเข้าไปทำการอบที่เตาอบ (Prebake) ที่อุณหภูมิ 90 – 100 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงที่เคลือบมาบนแผ่นนั้นแห้งสนิทและยึดติดกับแผ่นซิลิโคนได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ไนโตรเจนเหลวที่ใช้เดิมเพื่อลดความดัน

4.6 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (Photolithographic Process)

เป็นขั้นตอนการถ่ายแบบจากมาสก์ไปยังผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน มีหลายขั้นตอน ดังนี้

4.6.1 การเคลือบนำยาไวแสง (Photoresist Coating)

ก่อนที่จะเริ่มการเคลือบสารไวแสงเราจะนำแผ่นซิลิกอนเข้าไปในเตาอบที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15-20 นาที เพื่อเป็นการไล่ความชื้นที่ผิวหน้า เพราะถ้ามีความชื้นจะทำให้สารไวแสง หลุดออกได้ง่าย โดยนำยาไวแสงที่ใช้เคลือบนั้นมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. นำยาไวแสงแบบลบ (Negative Photoresist)
2. นำยาไวแสงแบบบวก (Positive Photoresist)

ซึ่งในขั้นตอนนี้เราได้ใช้นำยาไวแสงชนิดบวก (AZ 1350) หลังจากที่เรทำการอบเสร็จก็จะนำมาทำการเคลือบนำยาไวแสง ซึ่งในการเคลือบนำยาไวแสงนั้นทำได้หลายวิธี แต่ในการสร้างตัวนำแยกกระแสด้วยสนามแม่เหล็กนี้จะใช้วิธีสปินเนอร์

4.5 กระบวนการเคลือบโลหะ (Evaporation)

กระบวนการนี้จะเป็นการนำโลหะมาเคลือบเพื่อสร้างชั้นโลหะโดยใช้อลูมิเนียมซึ่งเป็นตัวนำของอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ มีขั้นตอนดังนี้

- เลือกโลหะที่จะใช้ทำการแพร์ซึ่งก็คือ อลูมิเนียม จากนั้นนำมาตัดเป็นส่วน ๆ โดยจะยาวเส้นละ 1 ซม. จำนวน 7 เส้น แล้วนำลวดอลูมิเนียมที่ตัดออกมาเนื้อมางอเพื่อที่จะนำไปแขวนได้ หลังจากนั้นก็จะนำลวดอลูมิเนียมนี้ไปทำความสะอาด โดยนำไปจุ่มลงในบัพเฟอร์เพื่อกัดออกไซด์ที่เคลือบออก โดยทิ้งไว้จนลวดนั้นขาว แล้วนำไปจุ่มในน้ำ DI เป่าให้แห้ง

- นำใส่หลอดทั้งสแตนมาทำความสะอาด โดยทำการต้ม Tricholo แล้วใส่ลวดลงในหลอดแก้วที่สะอาดจากนั้นนำไปจุ่มลงใน Tricholo จากนั้นนำไป Ultrasonic ใน Acetone เป็นเวลา 3 นาที

- ทำการเตรียมเครื่อง Evaporation นำอุปกรณ์ที่จะใช้ไปวางบนตำแหน่งต่าง ๆ ให้ถูกแล้ว ทำให้ภายในนั้นเป็นสุญญากาศ ซึ่งจะใช้ grease ทาที่ขอบยางของระฆัง แล้วปิดลง แล้วก็ทำการสูบลมออกเพื่อให้ภายในเป็นสุญญากาศ ซึ่งจะสามารถตรวจสอบดูได้ว่าเป็นสุญญากาศหรือไม่ ก็ดูได้จาก Geissler ถ้ากดแล้วยังเป็นสีม่วงแสดงว่ายังมีอากาศอยู่ จากนั้นเมื่อเป็นสุญญากาศแล้วก็ลดความดันลงเรื่อย ๆ จนมีค่าประมาณ 10^{-6} Torr จากนั้นจะทำการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทั้งสแตนเป็นจำนวนมากซึ่งจะเกิดความร้อนขึ้น ทำให้อลูมิเนียมที่แขวนไว้นั้นระเหยกลายเป็นไอแล้วฟุ้งกระจายไปทั่วซึ่งจะทำให้อลูมิเนียมนี้ไปเคลือบบนแผ่นซิลิคอนได้

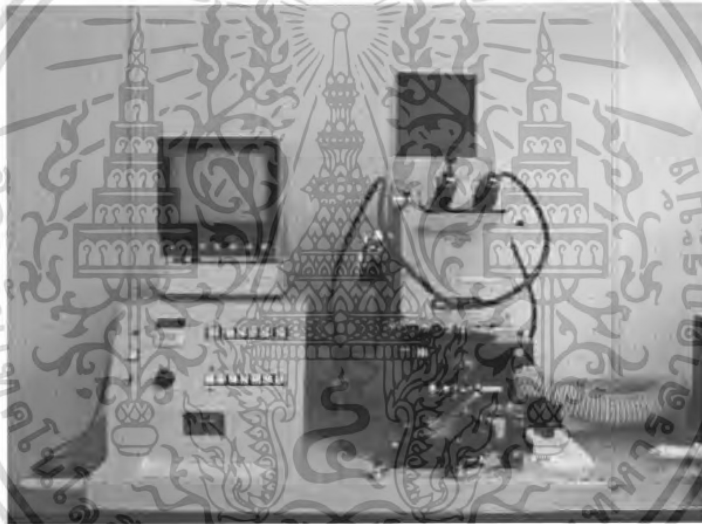


รูปที่ 4.5 เครื่อง Evaporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การถ่ายแบบ (Mask Alignment and Expose)

หลังจากที่เราทำการเคลือบสารไวแสงชนิดบวกลงบนแผ่นซิลิคอนด้วยวิธีสปินเนอร์ (Spinner) แล้วเราจะนำแผ่นซิลิคอนเข้าไปในเตาอบเพื่อทำการอบ (prebake) ที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเราจึงนำกระจกต้นแบบที่ได้เตรียมลวดลายไว้ไปวางบนเครื่องถ่ายแบบ ซึ่งเครื่องถ่ายแบบนี้จะมีป้ลมเหมือนกับเครื่องสปินเนอร์ไว้ใช้สำหรับดูดแผ่นซิลิคอนไม่ให้ขยับเขยื้อนเวลาทำการปรับ การเตรียมการถ่ายแบบนี้เราจะต้องจัดกระจกต้นแบบและแผ่นซิลิคอนให้อยู่ตรงกัน ซึ่งกระจกต้นแบบจะอยู่ข้างบน ส่วนแผ่นซิลิคอนจะอยู่ข้างล่าง จากนั้นทำการปรับเฉพาะแผ่นซิลิคอน หลังจากเสร็จแล้วเราจะทำการฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.8 เครื่องถ่ายแบบ

4.6.4 การ Development

หลังจากผ่านขั้นตอนการถ่ายแบบแล้ว กระบวนการ Development คือการสร้างลวดลายขึ้นมา โดยขึ้นกับว่าเป็นน้ำยาไวแสงชนิดใด ถ้าเป็นชนิดบวกส่วนที่ถูกแสงจะละลายออกไป ถ้าเป็นชนิดลบส่วนที่ไม่โดนแสงจะละลายออกไป โดยขั้นตอนคือเตรียมน้ำยา AZ Developer 2 แก้ว น้ำ DI 2 แก้ว แล้วนำชิ้นงานมาจุ่มลงในน้ำยา Developer แก้วแรก 15 วินาที แล้วจุ่มในน้ำยา AZ Developer แก้วที่สองอีก 15 วินาที จากนั้นนำไปจุ่มในน้ำ DI ทั้ง 2 แก้ว แล้วนำมาเป่าด้วยก๊าซ N_2 หลังจากเสร็จขั้นตอนเราจะนำเข้าไปในเตาอบ (postbake) อีกครั้งที่อุณหภูมิ 90-100°C เป็นเวลา 10-20 นาที เพื่อไล่ความชื้น ป้องกันฟิล์มลอกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 การอบ Postbake

หลังจากผ่านกระบวนการ Develop แล้วจะนำแผ่นซิลิคอนเข้าไปในเตาอบอีกครั้งเพื่อทำการอบ (Postbake) แผ่นซิลิคอนที่อุณหภูมิ $90 - 100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10 - 20 นาที เพื่อให้ผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนนั้นแห้งสนิท ก่อนที่จะนำไปทำกระบวนการต่อไป



รูปที่ 4.9 เตาอบที่ใช้ในการอบ Prebake และ Postbake

4.7 การลอก (Etching)

ในการ Etching นี้ เป็นการลอกอลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออก โดยใช้สารที่เรียกว่า Al-Etching โดยจะนำไปต้มให้อุ่นพอประมาณจากนั้นนำแผ่นซิลิคอนที่ต้องการกัดอลูมิเนียมส่วนที่ไม่ต้องการออกใส่ลงไป ซึ่งสักพักจะเห็นว่าน้ำนั้นจะพุ่งขึ้น และจะเห็นลายที่แผ่นปรากฏชัดเจน

Al- Etching

- จุ่มในสารละลาย Al-Etching ที่อุณหภูมิประมาณ 40°C
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 1
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่ 2
- เป่าให้แห้งด้วย N_2

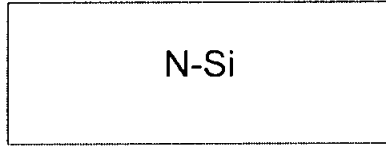
4.8 การลอกน้ำยาไวแสง

ในขั้นตอนนี้จะลอกน้ำยาไวแสงออก โดยใช้ Acetone ซึ่งให้เรานำชิ้นงานจุ่มลงใน Acetone เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำไปจุ่มในน้ำ DI แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซ N_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

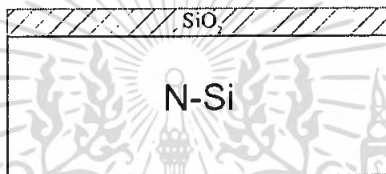
4.9 รูปตัดขวางแสดงขั้นตอนกระบวนการสร้างตัวนำแยกกระแส

- เตรียมแผ่นซิลิกอน



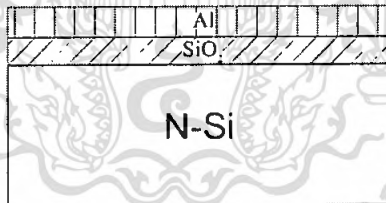
รูปที่ 4.10 แผ่นซิลิกอนที่เตรียมไว้

- หลังผ่านกระบวนการออกซิเดชัน



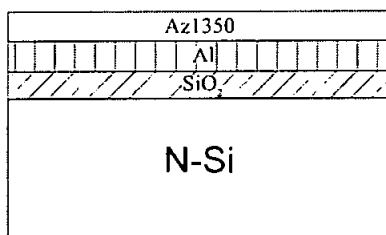
รูปที่ 4.11 แผ่นซิลิกอนหลังจากการเคลือบออกไซด์

- หลังผ่านกระบวนการ Evaporation



รูปที่ 4.12 แผ่นซิลิกอนหลังจากเคลือบด้วยอลูมิเนียม

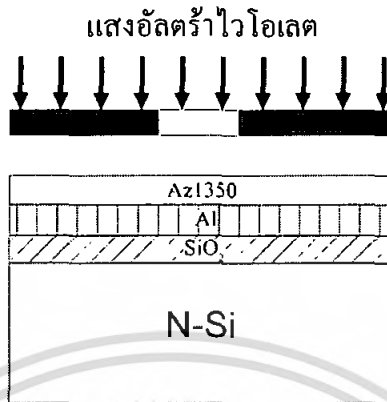
- หลังผ่านการเคลือบน้ำยาไวแสงในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี



รูปที่ 4.13 แผ่นซิลิกอนหลังจากเคลือบน้ำยาไวแสง

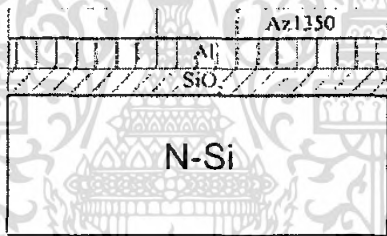
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลังผ่านการฉายด้วยแสงในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี



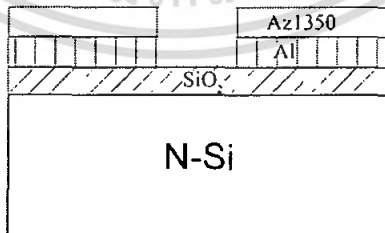
รูปที่ 4.14 การถ่ายแบบของแผ่นซิลิคอน

- หลังผ่านการ Develop ในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี



รูปที่ 4.15 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านการ Develop

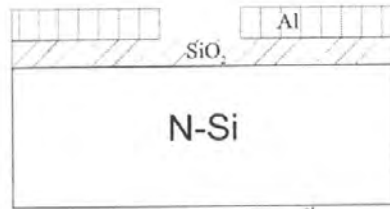
- หลังผ่านกระบวนการ Etching



รูปที่ 4.16 แผ่นซิลิคอนหลังจากผ่านการ Etching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลังผ่านการลอกน้ำยาไวแสง



รูปที่ 4.17 แผ่นซิลิกอนหลังจากผ่านขั้นตอนการลอกน้ำยาไวแสง

4.10 ชั้นอุปกรณ์หลังผ่านกระบวนการต่างๆ

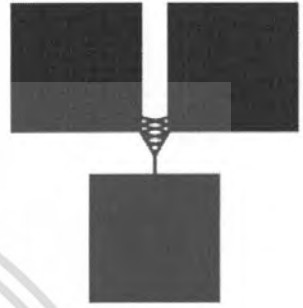
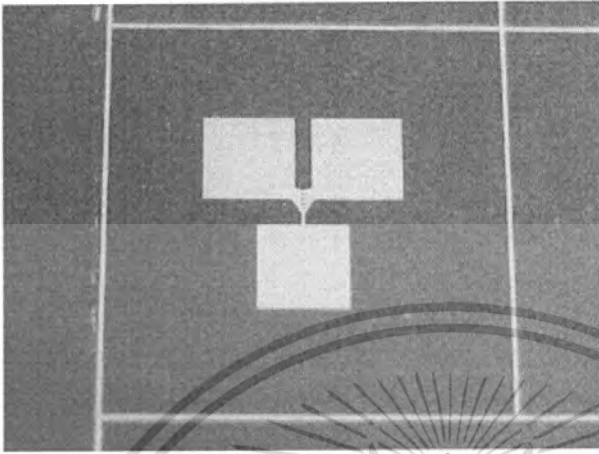
อุปกรณ์หลังผ่านกระบวนการในห้องปลอดฝุ่น



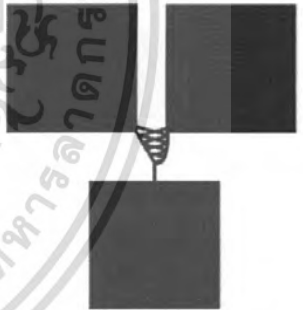
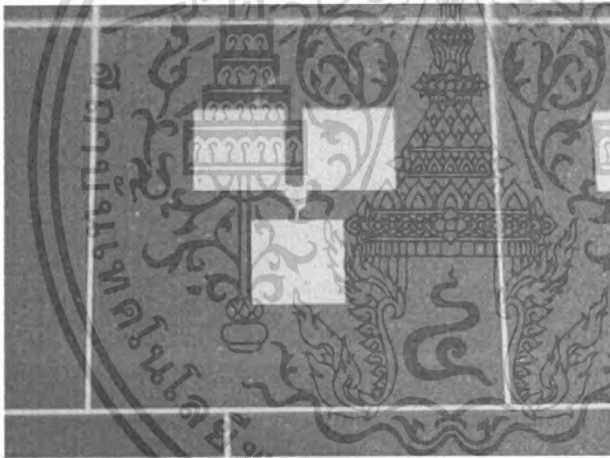
รูปที่ 4.18 อุปกรณ์หลังผ่านกระบวนการในห้องปลอดฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

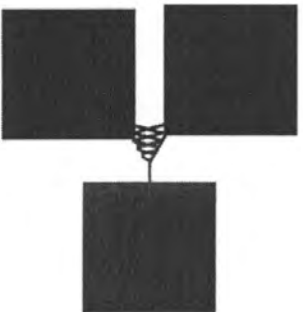
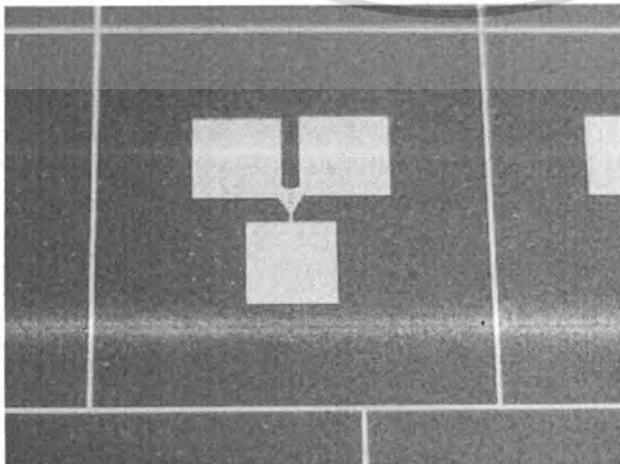
โครงสร้างแต่ละแบบก่อนทำการตัดแยกอุปกรณ์และเปรียบเทียบกับมาร์สทั้ง 7 แบบ



รูปที่ 4.19 โครงสร้างแบบที่ 1 มีลักษณะเส้นตรงทั้งสองข้างรวมกัน

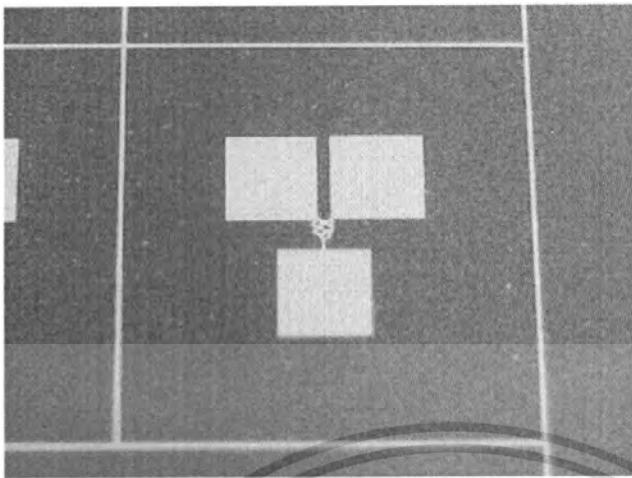


รูปที่ 4.20 โครงสร้างแบบที่ 2 มีลักษณะเส้นตรงและเส้นโค้งรวมกัน

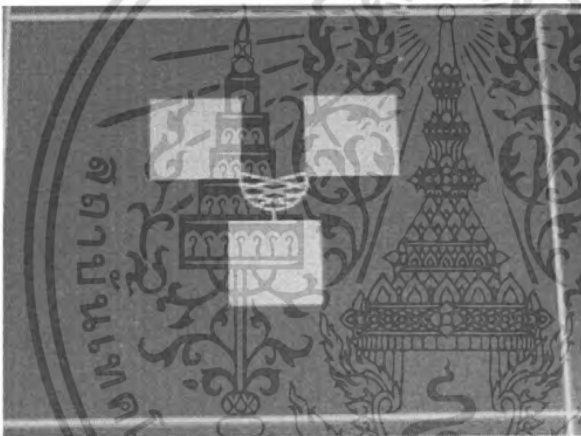


รูปที่ 4.21 โครงสร้างแบบที่ 3 มีลักษณะเส้นตรงและเส้นหยักรวมกัน

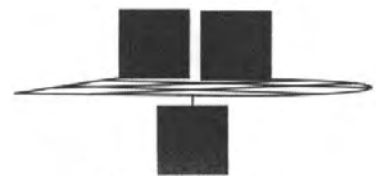
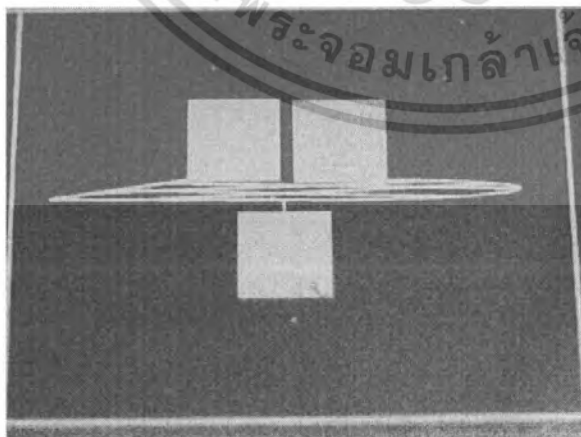
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 โครงสร้างแบบที่ 4 มีลักษณะเส้นหยักและเส้นโค้งรวมกัน

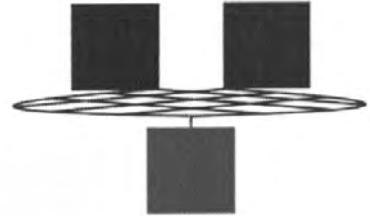
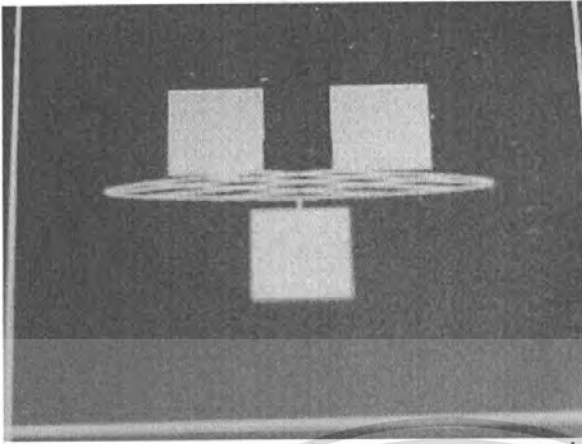


รูปที่ 4.23 โครงสร้างแบบที่ 5 มีลักษณะรูปถ้วย



รูปที่ 4.24 โครงสร้างแบบที่ 6 มีลักษณะมุมแหลมและครึ่งวงรีรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

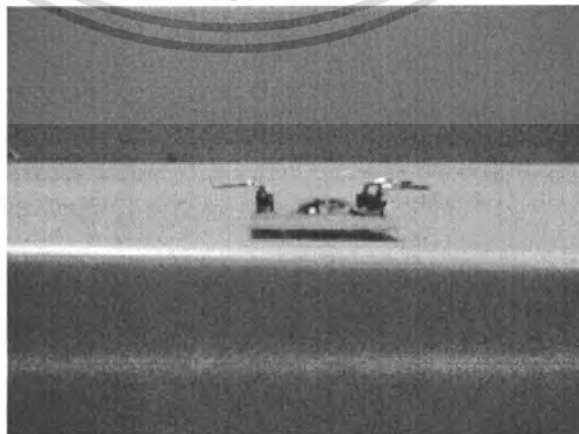


รูปที่ 4.25 โครงสร้างแบบที่ 7 มีลักษณะวงรี

อุปกรณ์หลังจากการตัดแยกชิ้นและพร้อมใช้งาน



รูปที่ 4.26 อุปกรณ์ที่พร้อมนำไปใช้งานมุมมองด้านบน



รูปที่ 4.27 อุปกรณ์ที่พร้อมนำไปใช้งานมุมมองด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

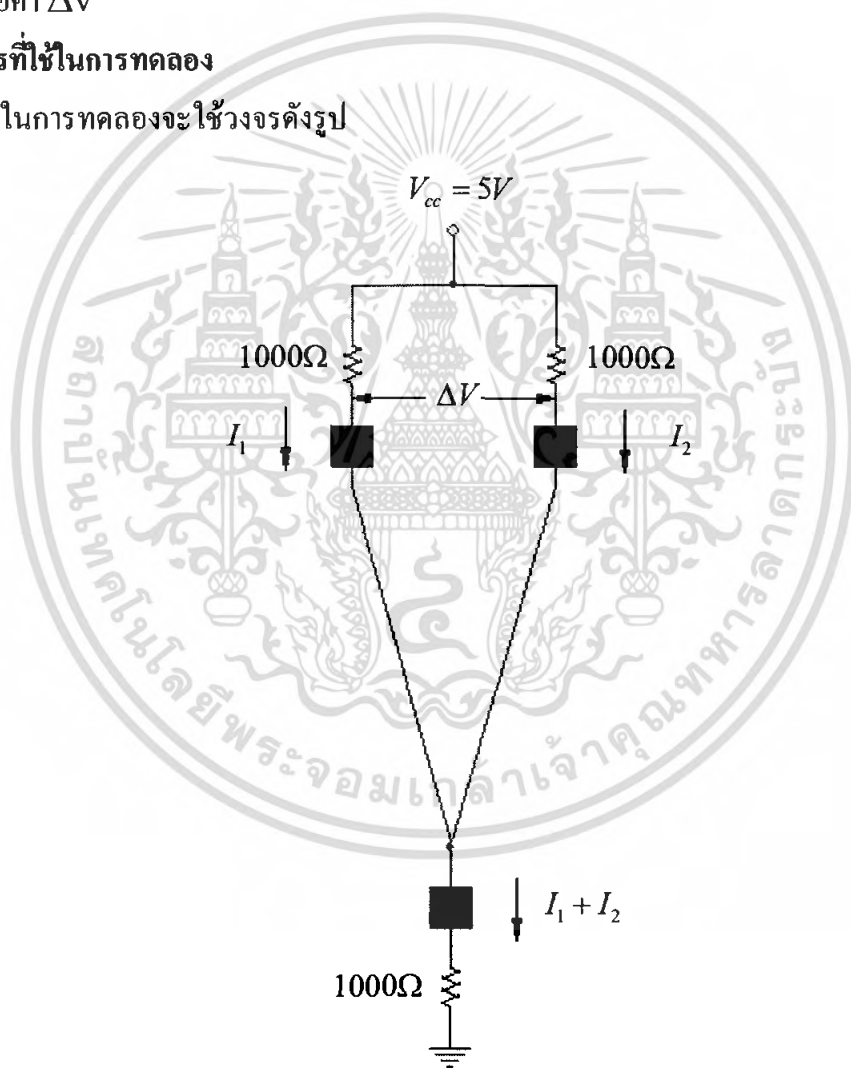
บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเพื่อหาค่า ΔV ที่ได้จากการเบี่ยงเบนกระแสระหว่างขั้ว 2 ขั้วของโครงสร้างที่ได้ออกแบบ โดยอาศัยทฤษฎีของแรงลอเรนซ์ที่มีการให้สนามแม่เหล็กแก่ โครงสร้างทั้งที่พุ่งเข้าและพุ่งออก ในการทดลองจะศึกษาผลของลวดลายของ โครงสร้างแบบต่างๆ ที่มีผลต่อค่า ΔV

5.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะใช้วงจรดังรูป



รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

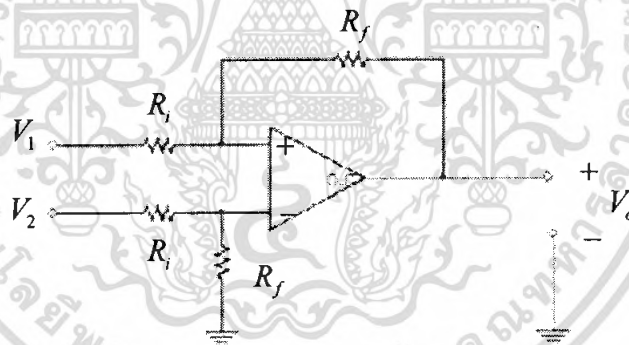
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง

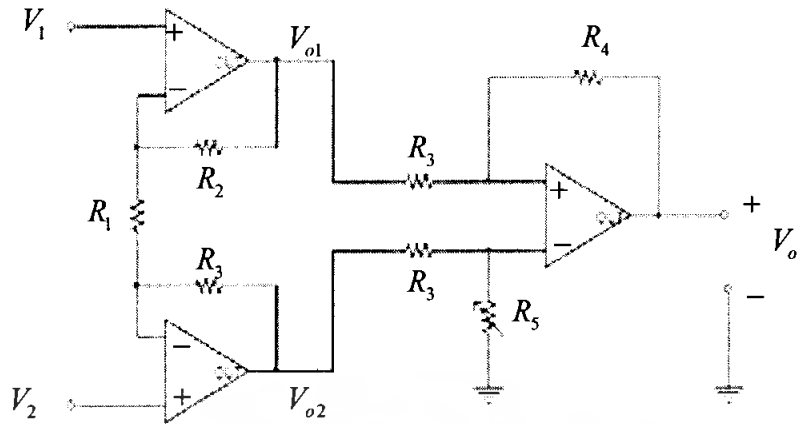
วงจรขยายสัญญาณผลต่างแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณอีกชนิดหนึ่งที่ให้แรงดันเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของแรงดันอินพุตสองชุดที่ป้อนให้กับวงจร ซึ่งสามารถเขียนอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_o = \frac{R_f}{R_i} (V_2 - V_1) \quad (5.1)$$

จากสมการ 5.1 พบว่าอัตราขยายแรงดันผลต่างของวงจรเท่ากับอัตราส่วนของ R_f/R_i อย่างไรก็ตาม หากทำการปรับแต่งแรงดันของวงจรโดยการปรับค่า R_f/R_i แล้วจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานอินพุตของวงจรเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และเมื่อค่าความต้านทานอินพุตของวงจรเปลี่ยนไปในกรณีที่มีค่าต่ำๆ แล้ว ปัญหาเรื่องการโหลดสัญญาณก็จะเกิดตามมาด้วย ซึ่งถือเป็นข้อด้อยประการหนึ่ง ซึ่งในวงจรที่ใช้ในการทดลองจะทำการเพิ่มส่วนวงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรส่วนหน้าก่อนเข้าส่วนของวงจรขยายแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 และเรียกวงจรนี้ว่า “วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์”



รูปที่ 5.2 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง



รูปที่ 5.3 วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์

จากวงจรในรูปที่ 5.3 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง V_o กับ $(V_{o1} - V_{o2})$ ที่วงจรขยายสัญญาณผลต่าง โดยอาศัยพื้นฐานจากสมการ 5.1 จะได้

$$V_o = \frac{R_4}{R_3} (V_{o2} - V_{o1}) \quad (5.2)$$

โดยที่ $(V_{o2} - V_{o1}) = I(R_1 + 2R_2) \quad (5.3)$

และ $I = \frac{V_2 - V_1}{R_1} \quad (5.4)$

ดังนั้น $(V_{o2} - V_{o1}) = \left(\frac{V_2 - V_1}{R_1}\right)(R_1 + 2R_2) \quad (5.5)$

หรือ $(V_{o2} - V_{o1}) = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)(V_2 - V_1) \quad (5.6)$

แทนค่า $(V_{o1} - V_{o2})$ จากสมการ 5.5 ลงในสมการ 5.6 จะได้

$$V_o = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) (V_2 - V_1) \quad (5.7)$$

นั่นคือ $A_V = \frac{V_o}{(V_2 - V_1)} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) \quad (5.8)$

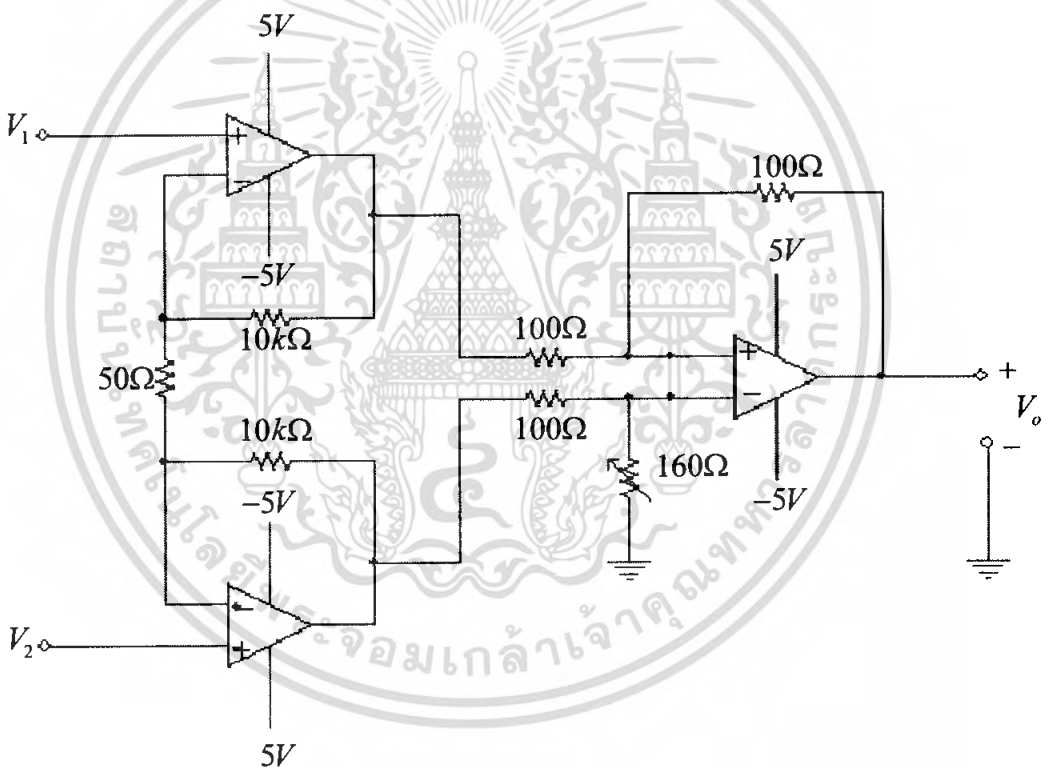
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับแต่งอัตราขยายแรงดันของวงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง อัตราขยายที่ต้องการคือ 400 เท่าโดยการเลือกค่า $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \Omega$ และ $R_4 = 100 \Omega$ แล้วทำการปรับค่า R_5 เพื่อให้มีค่า V_o มีค่าเป็น 0 V เมื่อให้ผลต่างของแรงดันอินพุตมีค่าเป็น 0 V ซึ่งในทางอุดมคติ ค่า R_4 ควรมีค่าเท่ากับ R_5 แต่ในทางปฏิบัติได้ $R_5 = 160 \Omega$

$$\text{จะได้} \quad A_v = \left(1 + \frac{2(10\text{k})}{50}\right) \left(\frac{100}{100}\right)$$

$$A_v = 401 \quad \text{เท่า}$$

ดังนั้นจะได้วงจรที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 5.4



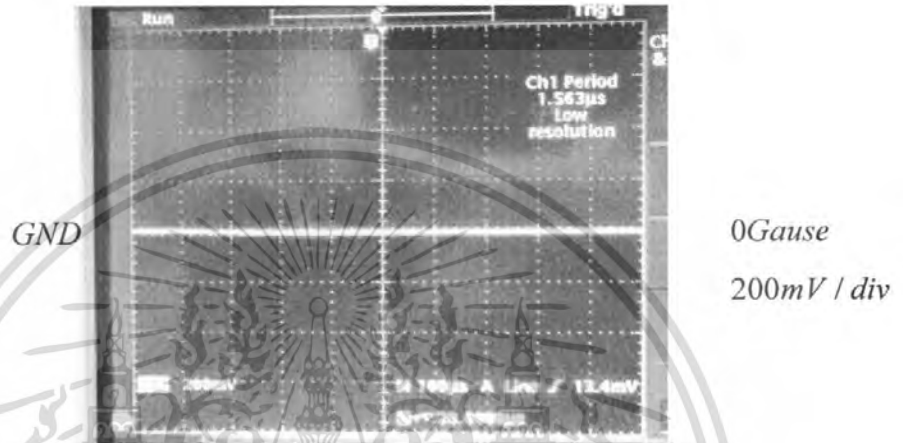
รูปที่ 5.4 วงจรขยายอินสตรูเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง

ในส่วนของการทดลองนั้นนำอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบมาไปเข้าเครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อวัดผลที่เกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์ โดยที่ให้เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กสร้างสนามแม่เหล็กที่ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4000 เกาส์ ซึ่งมีทิศทางทำมุมกับอุปกรณ์ 90° แล้วปรับให้สนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงอย่างต่อเนื่อง

5.3 ผลการทดลอง

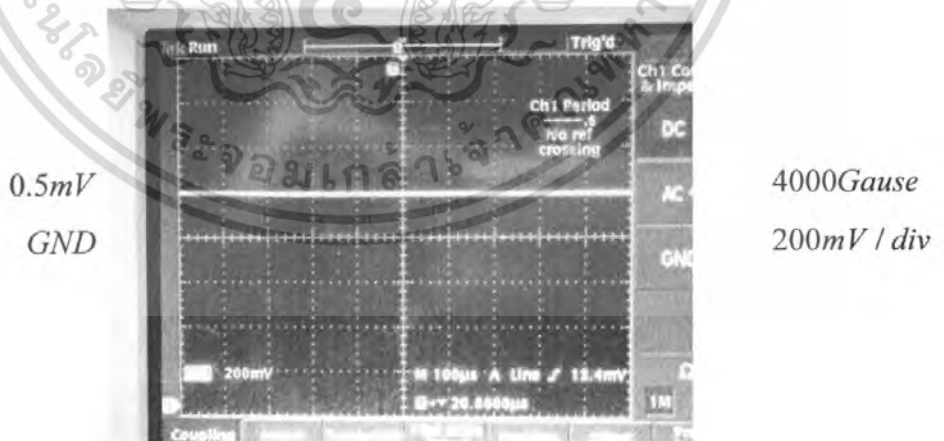
ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นของอุปกรณ์โครงสร้างแบบที่ 7 และให้สนามแม่เหล็กในทิศทางเข้าซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ในขั้นแรก ที่ค่าสนามแม่เหล็กมีค่า 0 เกาส์ จะได้ $\Delta V = 0$ ดังรูป 5.5



รูปที่ 5.5 สนามแม่เหล็ก 0 เกาส์ $\Delta V = 0$ mV

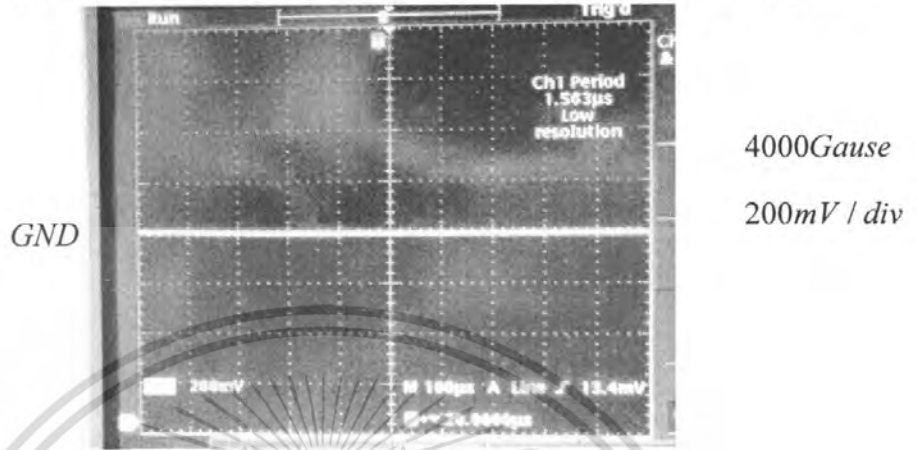
ต่อมาปรับค่าสนามแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องจาก 0 เกาส์ จนกระทั่งมีค่า 4000 เกาส์ จะพบว่า ΔV มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าประมาณ 0.5mV ดังรูป 5.6



รูปที่ 5.6 สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ $\Delta V = 0.5$ mV

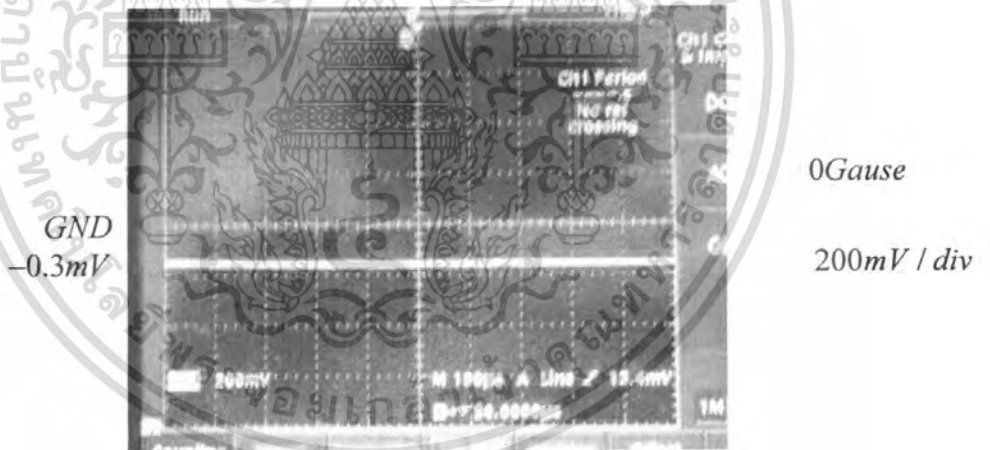
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นพบว่าที่ 4000 เกาส์ ค่า ΔV จะเกิดการลดค่าลงจนถึงค่าประมาณ 0mV ดังรูป 5.7



รูปที่ 5.7 สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ $\Delta V = 0 \text{ mV}$

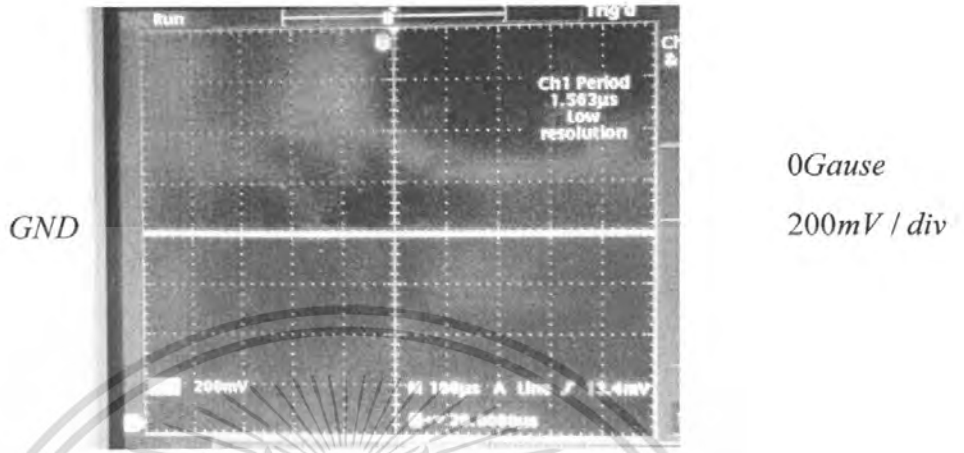
เมื่อลดค่าสนามแม่เหล็กจาก 4000 เกาส์ จนกระทั่งสนามแม่เหล็กมีค่า 0 เกาส์ พบว่า ΔV มีค่าลดลงเหลือค่าประมาณ -0.3 mV ดังรูป 5.8



รูปที่ 5.8 สนามแม่เหล็ก 0 เกาส์ $\Delta V = -0.3 \text{ mV}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากปรับมาที่ 0 เกาส์ ค่า ΔV จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนเป็น 0 mV ดังรูป 5.9



รูปที่ 5.9 สนามแม่เหล็ก 0 เกาส์ $\Delta V = 0 \text{ mV}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1

ผลการทดลองของอุปกรณ์แต่ละตัวเมื่อปรับค่าของสนามแม่เหล็กขึ้นที่ค่าต่างๆ ในทิศพุ่งออกจากโครงสร้าง โดยใช้เวลาในการปรับจาก 0 ถึง 4000 เกาส์ มีค่าน้อยกว่า 1 วินาทีที่จะได้ค่าของ ΔV ดังตารางที่ 1

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0.1mV	0.2mV	0.1mV	0.2mV	0.3mV	0.2mV	0.5mV
2000	0.1mV	0.2mV	0.1mV	0.2mV	0.3mV	0.2mV	0.5mV
3000	0.1mV	0.2mV	0.1mV	0.2mV	0.3mV	0.2mV	0.5mV
4000	0.1mV	0.2mV	0.1mV	0.2mV	0.3mV	0.2mV	0.5mV

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น
ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งออก



รูปที่ 5.10 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น
ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศพุ่งออก

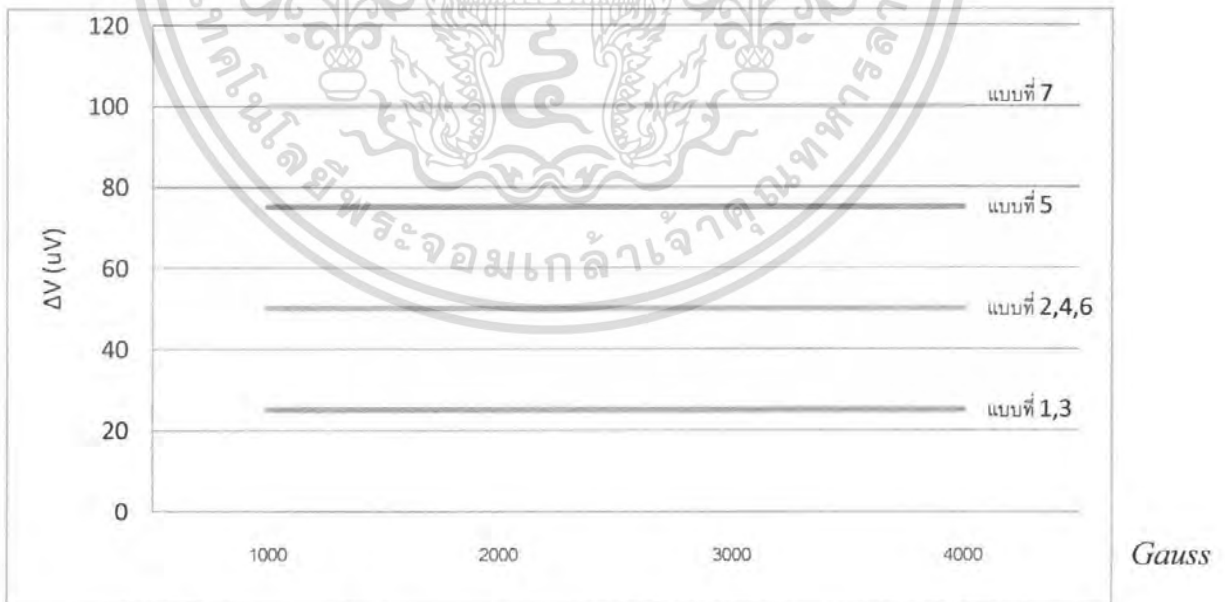
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

ผลการทดลองของอุปกรณ์แต่ละตัวเมื่อปรับค่าของสนามแม่เหล็กขึ้นที่ค่าต่างๆ ในทิศพุ่งออกจากโครงสร้างโดยใช้เวลาในการปรับจาก 0 ถึง 4000 เกาส์ เป็นเวลา 10 วินาทีที่จะได้ค่าของ ΔV ดังตารางที่ 2

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
0	0	0	0	0	0	0	0
1000	25uV	50uV	25uV	50uV	75uV	50uV	100uV
2000	25uV	50uV	25uV	50uV	75uV	50uV	100uV
3000	25uV	50uV	25uV	50uV	75uV	50uV	100uV
4000	25uV	50uV	25uV	50uV	75uV	50uV	100uV

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นเป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งออก



รูปที่ 5.11 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นเป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

ในการทดลองไม่ว่าจะใช้เวลาในการปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นเท่าใด เมื่อให้สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ กับวงจร ค่า ΔV ที่วัดได้จะค่อยๆ ลดลงจนกลายเป็น 0 V โดยใช้เวลาประมาณ 1 วินาที จากนั้นทำการทดลองโดยการลดค่าจาก 4000 จนกระทั่งถึง 0 เกาส์ ใช้เวลาในการลดลงจนถึง 0 เกาส์ ไม่เกิน 1 วินาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 ในทิสฟุ้งออก

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
4000	0	0	0	0	0	0	0
3000	-0.15mV	-0.15mV	-0.15mV	-0.1mV	-0.3mV	-0.18mV	-0.3mV
2000	-0.15mV	-0.15mV	-0.15mV	-0.1mV	-0.3mV	-0.18mV	-0.3mV
1000	-0.15mV	-0.15mV	-0.15mV	-0.1mV	-0.3mV	-0.18mV	-0.3mV
0	-0.15mV	-0.15mV	-0.15mV	-0.1mV	-0.3mV	-0.18mV	-0.3mV

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง
ภายในเวลา 1 วินาที ในทิสฟุ้งออก



รูปที่ 5.12 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง
ภายในเวลา 1 วินาที ในทิสฟุ้งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4

จากนั้นทำการทดลองโดยการลดค่าจาก 4000 จนกระทั่งถึง 0 เกาส์ ใช้เวลาในการลดลงจนถึง 0 เกาส์ เป็นเวลา 10 วินาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 ในทิสฟุ้งออก

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
4000	0	0	0	0	0	0	0
3000	-37.5uV	-37.5uV	-37.5uV	-25 uV	-75uV	-45uV	-75uV
2000	-37.5uV	-37.5uV	-37.5uV	-25 uV	-75uV	-45uV	-75uV
1000	-37.5uV	-37.5uV	-37.5uV	-25 uV	-75uV	-45uV	-75uV
0	-37.5uV	-37.5uV	-37.5uV	-25 uV	-75uV	-45uV	-75uV

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กกลงภายในเวลา 10 วินาที ในทิสฟุ้งออก



รูปที่ 5.13 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กกลงภายในเวลา 10 วินาที ในทิสฟุ้งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

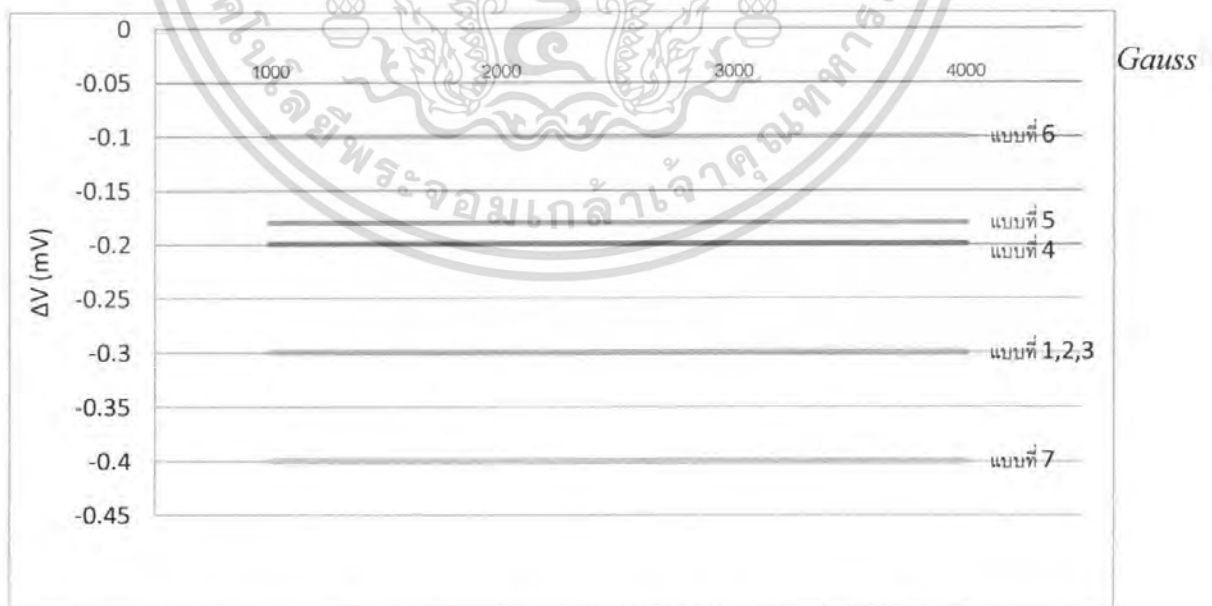
การทดลองที่ 5

เมื่อปรับค่าของสนามแม่เหล็กจนกระทั่งมีค่าเป็น 0 เกาส์ ค่า ΔV ที่ได้จะเป็นดังตารางที่ 4 จากนั้นค่า ΔV จะเพิ่มขึ้นจะกระทั่งเป็น 0 V ในทุกโครงสร้าง

ผลการทดลองของอุปกรณ์แต่ละตัวเมื่อปรับค่าของสนามแม่เหล็กขึ้นที่ค่าต่างๆ ในทิศทางเข้าหาโครงสร้าง โดยใช้เวลาในการปรับจาก 0 ถึง 4000 เกาส์ มีค่าน้อยกว่า 1 วินาทีจะได้ค่าของ ΔV ดังตารางที่ 5

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
0	0	0	0	0	0	0	0
1000	-0.3mV	-0.3mV	-0.3mV	-0.2mV	-0.18mV	-0.1mV	-0.4mV
2000	-0.3mV	-0.3mV	-0.3mV	-0.2mV	-0.18mV	-0.1mV	-0.4mV
3000	-0.3mV	-0.3mV	-0.3mV	-0.2mV	-0.18mV	-0.1mV	-0.4mV
4000	-0.3mV	-0.3mV	-0.3mV	-0.2mV	-0.18mV	-0.1mV	-0.4mV

ตารางที่ 5.5 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศทางเข้า



รูปที่ 5.14 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น ภายในเวลา 1 วินาที ในทิศทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 6

ผลการทดลองของอุปกรณ์แต่ละตัวเมื่อปรับค่าของสนามแม่เหล็กขึ้นที่ค่าต่างๆ ในทิศพุ่งเข้าหาโครงสร้าง โดยใช้เวลาในการปรับจาก 0 ถึง 4000 เกาส์ เป็นเวลา 10 วินาที จะได้ค่าของ ΔV ดังตารางที่ 6

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
0	0	0	0	0	0	0	0
1000	-75uV	-75uV	-75uV	-50uV	-45uV	0uV	-100uV
2000	-75uV	-75uV	-75uV	-50uV	-45uV	0uV	-100uV
3000	-75uV	-75uV	-75uV	-50uV	-45uV	0uV	-100uV
4000	-75uV	-75uV	-75uV	-50uV	-45uV	0uV	-100uV

ตารางที่ 5.6 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นเป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งเข้า



รูปที่ 5.15 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นเป็นเวลา 10 วินาที ในทิศพุ่งเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 7

ในการทดลองไม่ว่าจะใช้เวลาในการปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นเท่าใด เมื่อให้สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ กับวงจร ค่า ΔV ที่วัดได้จะค่อยๆลดลงจนกลายเป็น 0 V โดยใช้เวลาประมาณ 1 วินาที จากนั้นทำการทดลองโดยการลดค่าจาก 4000 จนกระทั่งถึง 0 เกาส์ ใช้เวลาในการลดลงจนถึง 0 เกาส์ ไม่เกิน 1 วินาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 ในทิสพุงเข้า

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
4000	0	0	0	0	0	0	0
3000	0.2mV	0.2mV	0.2mV	0.1mV	0.08mV	0.1mV	0.2mV
2000	0.2mV	0.2mV	0.2mV	0.1mV	0.08mV	0.1mV	0.2mV
1000	0.2mV	0.2mV	0.2mV	0.1mV	0.08mV	0.1mV	0.2mV
0	0.2mV	0.2mV	0.2mV	0.1mV	0.08mV	0.1mV	0.2mV

ตารางที่ 5.7 แสดงค่า ΔV ของแต่ละโครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 1 วินาที ในทิสพุงเข้า



รูปที่ 5.16 แสดงค่า ΔV ของแต่ละโครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง ภายในเวลา 1 วินาที ในทิสพุงเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 8

จากนั้นทำการทดลองโดยการลดค่าจาก 4000 จนกระทั่งถึง 0 เกาส์ ใช้เวลาในการลดลงจนถึง 0 เกาส์ เป็นเวลา 10 วินาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 ในทิสพุงเข้า

สนามแม่เหล็ก (Gauss)	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7
4000	0	0	0	0	0	0	0
3000	50uV	50uV	50uV	25uV	0uV	25uV	50uV
2000	50uV	50uV	50uV	25uV	0uV	25uV	50uV
1000	50uV	50uV	50uV	25uV	0uV	25uV	50uV
0	50uV	50uV	50uV	25uV	0uV	25uV	50uV

ตารางที่ 5.8 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลงภายในเวลา 10 วินาที ในทิสพุงเข้า



รูปที่ 5.17 แสดงค่า ΔV ของแต่ละ โครงสร้างเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลงภายในเวลา 10 วินาที ในทิสพุงเข้า

เมื่อปรับค่าของสนามแม่เหล็กจนกระทั่งมีค่าเป็น 0 เกาส์ ค่า ΔV ที่ได้จะเป็นดังตารางที่ 8 จากนั้นค่า ΔV จะเพิ่มขึ้นจะกระทั่งเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในปัจจุบันเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก ได้ถูกสร้างเพื่อนำไปใช้งานที่หลากหลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในการระบุทิศทางของนักบินหรือนักเดินเรือ การนำไปใช้ในการวัดค่าของฟลักซ์แม่เหล็กที่ออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกมารบกวนต่อวงจรอื่น หรือจากสายไฟฟ้าแรงสูงได้ ซึ่งกระบวนการสร้างและวัสดุที่นำมาใช้ก็แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น วัสดุจากสารกึ่งตัวนำได้ถูกนำไปใช้ใน Magnetotransistor หรือแบบอื่นๆซึ่งมีกระบวนการสร้างที่หลายขั้นตอนและยุ่งยากอยู่บ้างเพราะฉะนั้นจึงพัฒนาเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กโดยใช้วัสดุจากตัวนำ ซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก โดยใช้ทฤษฎีแรงลอเรนซ์มาใช้ในการอธิบายหลักการทำงาน โดยหลักการที่ว่าเมื่อมีสนามแม่เหล็กตัดผ่านลวดตัวนำซึ่งมีกระแสไหลผ่านทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเบี่ยงเบนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงทำการแยกตัวนำออกเป็น 2 ทาง เพื่อแยกให้อิเล็กตรอนไม่สามารถกลับเข้าสู่สมดุลได้ และใช้การออกแบบลวดลายของวงจรในการจัดขวางไม่ให้อิเล็กตรอนเข้าสู่สมดุลได้ จึงได้ทำการออกแบบลวดลายทั้งหมด 7 แบบ และศึกษาผลที่ได้จากลวดลายแต่ละแบบ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าอุปกรณ์แต่ละแบบได้มีการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน เมื่อทำการให้สนามแม่เหล็กแกว่งจร การตอบสนองของวงจรที่เกิดขึ้นเป็นแบบพัลส์ ซึ่งก็คือ เมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นจาก 0 เกาส์ จนกระทั่งถึง 4000 เกาส์ พบว่าในช่วง 0 ถึง 1000 เกาส์ กราฟของ ΔV ที่ได้จะเป็นลักษณะเชิงเส้น ซึ่งเพิ่มขึ้นตามค่าสนามแม่เหล็กเมื่อให้ทิศพุ่งออกจากตัวอุปกรณ์ หลังจากนั้นกราฟจะคงที่ไปจนกระทั่งถึง 4000 เกาส์ ถ้าหยุดการเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็ก กราฟของผลการทดลองจะตกลงมาจนกระทั่งเป็น 0 โวลต์ ซึ่ง rise time ของกราฟ ΔV จะมีค่ามากกว่า fall time ค่าของ ΔV นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าสนามแม่เหล็ก ดังนั้นถ้าสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าของ ΔV ก็จะมีค่ามาก ถ้าสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ค่า ΔV ก็จะมีค่าน้อยด้วย แต่การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กของเครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก มีอัตราการเพิ่มขึ้นในระดับที่ไม่เร็วมากนัก เพราะฉะนั้นจึงเป็นข้อจำกัด ของเครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก จากนั้นทำการลดค่าของสนามแม่เหล็กจาก 4000 เกาส์ จนกระทั่งถึง 0 เกาส์ ซึ่งค่า ΔV ขณะเริ่มต้นที่สนามแม่เหล็ก 4000 เกาส์ มีค่า 0 โวลต์ จากนั้นลดค่าสนามแม่เหล็กลงกราฟของ ΔV จะมีค่าติดลบ และลดอย่างต่อเนื่องจนถึงในช่วง 3000 ถึง 4000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาส์ กราฟจะคงที่เป็นค่า ΔV ติดลบค่าหนึ่ง จนกระทั่งถึง 0 เกาส์ จากนั้นกราฟจะเข้าสู่ภาวะสมดุล คือค่า ΔV เป็น 0 โวลต์ ผลการทดลองที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก เมื่อทำการปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้น จะเกิดแรงลอเรนซ์ผลักให้อิเล็กตรอนเบี่ยงเบนไป จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีทิศต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือต่อต้านแรงลอเรนซ์นั่นเอง เมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลง จะเกิดแรงลอเรนซ์ผลักอิเล็กตรอนให้ไปในอีกทาง และจะมีสนามไฟฟ้าต่อต้านแรงลอเรนซ์ มีผลให้ ΔV มีค่าที่ไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากแรงทั้ง 2 เมื่อปรับให้สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะเกิดแรงลอเรนซ์ผลักให้อิเล็กตรอนเบี่ยงเบนไป ซึ่งจะทำให้แรงจากสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำยังไม่ทันเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วแต่มีค่าน้อย จึงทำให้ ค่า ΔV มีค่ามาก เมื่อปรับให้สนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แรงจากสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะเกิดขึ้นมาก ทำให้ ΔV มีค่าน้อยๆ ดังนั้นค่า ΔV จึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

กำหนดให้ $\Delta V_{\max(\text{สนามออก})}$ คือ ค่าของ ΔV สูงสุดเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นในสนามออก
 $\Delta V_{\min(\text{สนามออก})}$ คือ ค่าของ ΔV ต่ำสุดเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลงในสนามออก
 $\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})}$ คือ ค่าของ ΔV สูงสุดเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กลงในสนามเข้า
 $\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})}$ คือ ค่าของ ΔV ต่ำสุดเมื่อปรับค่าสนามแม่เหล็กขึ้นในสนามเข้า

อุปกรณ์ตัวที่ 1 คือแบบเส้นตรงทั้งสองข้างรวมกัน ได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.1 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.15 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.3 \text{ mV}$$

อุปกรณ์ตัวที่ 2 คือแบบเส้นตรงและเส้นโค้งรวมกัน ได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.15 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.3 \text{ mV}$$

อุปกรณ์ตัวที่ 3 คือแบบเส้นตรงและเส้นหักรวมกัน ได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.1 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.15 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.3 \text{ mV}$$

อุปกรณ์ตัวที่ 4 คือแบบเส้นหักและเส้นโค้งรวมกัน ได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.1 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.1 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.2 \text{ mV}$$

อุปกรณ์ตัวที่ 5 คือแบบรูปถ้วยได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.3 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.3 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.08 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.18 \text{ mV}$$

อุปกรณ์ตัวที่ 6 คือแบบมุมแหลมและครึ่งวงรีรวมกัน ได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.18 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.1 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.1 \text{ mV}$$

อุปกรณ์ตัวที่ 7 คือแบบวงรี ได้ค่า ΔV ต่างๆ ดังนี้

$$\Delta V_{\max(\text{สนามออก})} = 0.5 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามออก})} = -0.3 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\max(\text{สนามเข้า})} = 0.2 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\min(\text{สนามเข้า})} = -0.4 \text{ mV}$$

ในแบบที่ 1,2 และ 3 มีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากโครงสร้างมีความคล้ายคลึงกันมาก ส่วนในแบบที่ 7 คือ แบบวงรี ให้ผลการตอบสนองดีที่สุด จากการวิเคราะห์พบว่า โครงสร้างที่มีความสมมาตรกันและมีขนาดกว้าง จะตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กๆ ได้ดี และตาข่ายที่เชื่อมกันมีความถี่น้อยๆ จะดีกว่า ดังนั้นในการพัฒนาวงจรต่อไปควรที่ทำในรูปแบบที่สมมาตรกัน มีความกว้างมากๆ และตาข่ายมีความห่างกันมากๆ หรือไม่ให้มีตาข่ายเลยก็ได้ แต่ต้องทำให้เส้นลวดก่อนทำการแยก มีความกว้างมากๆ

ส่วนการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถนำไปใช้กับวงจรที่ต้องการสัญญาณรูปพัลส์ จากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กซึ่งจะมีข้อจำกัดในการสร้างขนาดและความกว้างของพัลส์ ซึ่งขนาดของพัลส์จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก และความกว้างของพัลส์ขึ้นอยู่กับความกว้างของช่วงสนามแม่เหล็กที่จ่ายให้วงจรซึ่งจะให้ค่ามากที่สุด 4000 เกาส์ (ในการทดลอง)



ภาคผนวก

datasheet


**LM158,A-LM258,A
LM358,A**
LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT: IOP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO (Vcc - 1.5V)

DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated, which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

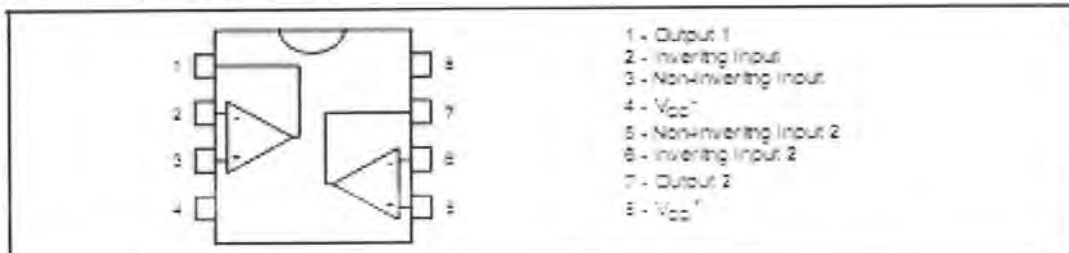
In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.


ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C to +125°C	*	*	*	*
LM258,A	-40°C to +105°C	*	*	*	*
LM358,A	0°C to +70°C	*	*	*	*

Example: LM258N

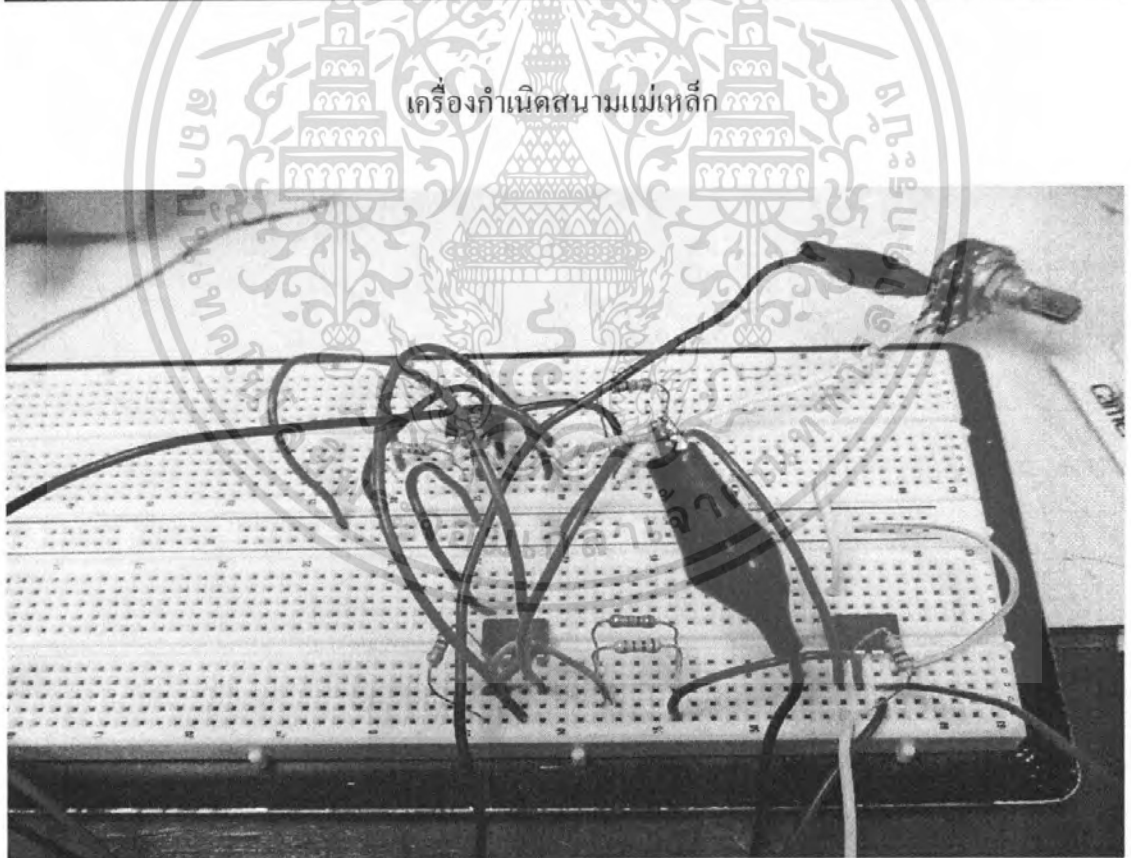
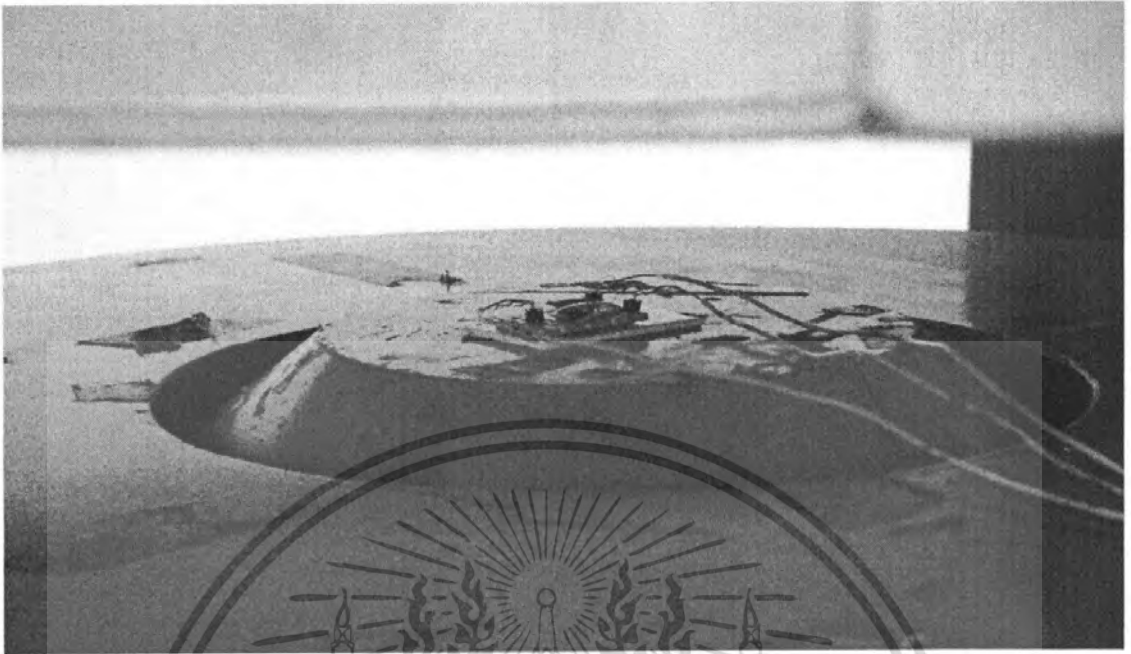
N = Dual In-Line Package (DIP)
 D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
 S = Small Outline Package (miniSO) - also available in Tape & Reel (DT)
 P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)


January 2002

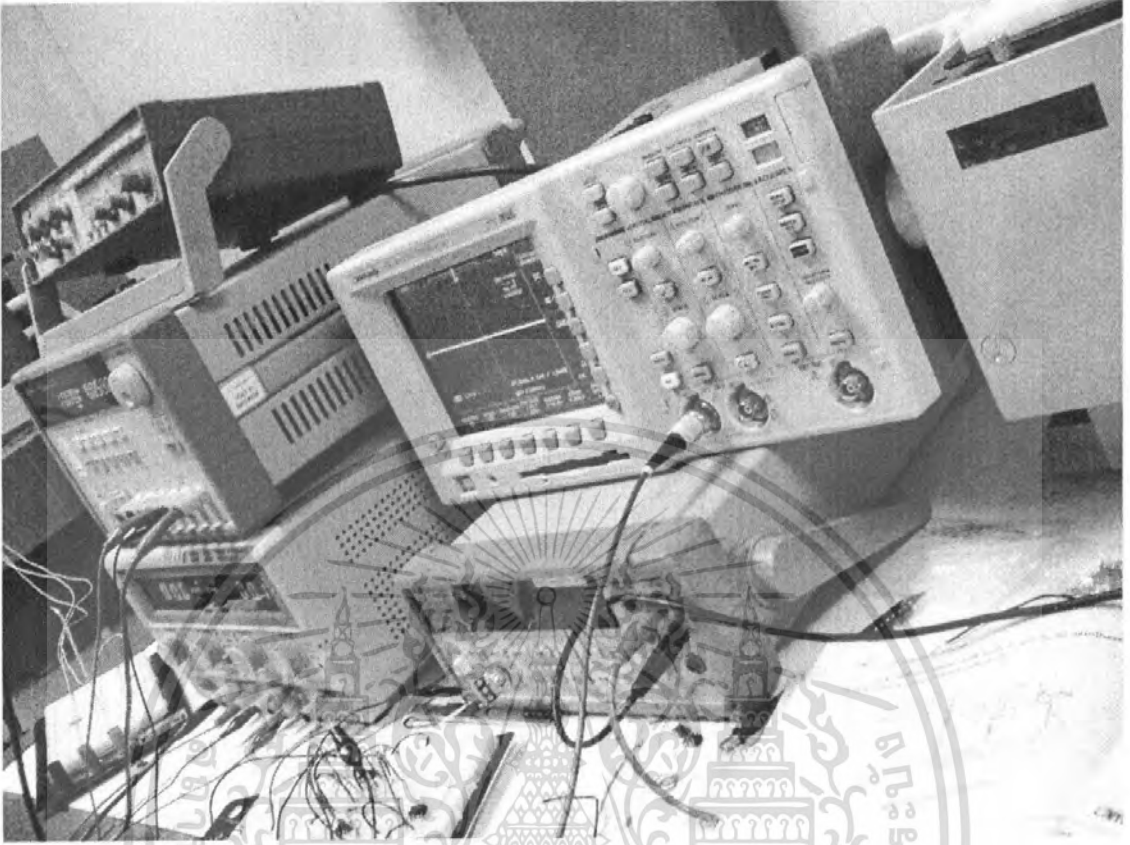
9/12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Instrument Amplifier ที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้