เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือนของเพลาข้อเหวี่ยง

GROWLER

โดย

นายธงชัย เบญจภัทรนที

นายประกิต เสริมสิทธิสิน

นายประเสริฐ ฉันทจิรธรรม

วัน เดือน ปี 30 ก.ค. 2561

เลขทะเบียน 038211

เลขเรียกหนังสือ T 39231 ธ114 ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2589

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบการลัดวงจร

GROWLER

โดย

นายธงชัย เบญจภัทรนที รหัส 36014173

นายประกิต เสริมสิทธิสิน รหัส 36014244

นายประเสริฐ ฉันทจิรธรรม รหัส 36014251

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พิชิต ลำยอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคการเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทดสอบการลัดวงจร

ผู้จัดทำ

1. นายธงชัย เบญจภัทรนที
2. นายประกิต เสริมสิทธิสิน
3. นายประเสริฐ ฉันทจิรธรรม

----------อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. พิชิต ลำยอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบการลัดวงจร

นายธงชัย เบญจภัทรนที
นายประกิต เสริมสิทธิสิน
นายประเสริฐ ฉันทจิรธรรม
อ. พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรของขดลวดในสเตเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากการใช้งานเกินพิกัดกำลังหรือจากการพันขดลวดใหม่ โดยอุปกรณ์นี้มุ่งที่จะตรวจสอบจำนวนการลัดวงจรของขดลวดให้ละเอียดที่สุดซึ่งได้ใช้แผ่นเหล็กเรียงซ้อนกันใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านเส้นแรงแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำขดลวดในแกนเหล็ก และใช้หม้อแปลงแรงดันลงเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ ใช้วงจรขยายผลต่างในการตรวจสอบสัญญาณ ที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของขดลวดและแสดงผลด้วยหลอดแอลอีดี ซึ่งจากการทดลองสามารถตรวจสอบการลัดวงจรของขดลวดขนาดสองรอบขึ้นไปได้ค่อนข้างแน่นอน แต่อุปกรณ์ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานในทางปฏิบัติอยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GROWLER

Thongchai Benjapattaranatee

Prakit Sermsitthisin

Prasert Chanthajiratum

Pichit Lumyoung Advisor

ABSTRACT

This project is to create the device for detecting short turn in winding of machine stator which may caused from machine overloading or new winding machine. We try to make this device to detect the number of short turn winding in deep. Steel sheet was placed one up on another for transferring magnetic flux to induce winding in stator. The source of the device is stepdown transformer. In detecting the signal, we use difference amplifier circuit to detect signal which happen from short turn and display the result on LED tube. The experiment of this device shows that it can detect the number of short turn actually upper 2 turns. But the device has a limit in practical .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญรูป	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์	3
2.1 วงจรแม่เหล็ก	3
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า	7
2.2.1 สภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า	7
2.2.2 สภาวะมีภาระทางไฟฟ้า	8
2.3 หลักการทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์	9
2.4 พื้นฐานของวงจรที่ใช้แสดงผล	11
2.4.1 วงจรขยายแบบกลับเฟสและไม่กลับเฟส	11
2.4.2 วงจรขยายผลต่าง	12
2.4.3 วงจรเปรียบเทียบ	17
2.4.4 แลตช์แบบแนนเกต	17
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องทดสอบการลัดวงจรและวงจรแสดงผล	18
3.1 วงจรแม่เหล็กของเครื่องทดสอบการลัดวงจร	18
3.2 วงจรตรวจสัญญาณและแสดงผล	22
3.2.1 การออกแบบวงจร	22
3.2.2 หลักการทำงานของวงจร	25
บทที่ 4 การทดสอบอุปกรณ์และวงจรแสดงผล	27
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	43
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

2.1	วงจรแม่เหล็กเบื้องต้น	3
2.2	กราฟความสัมพันธ์ของ B และ H	4
2.3	วงจรเสมือนของวงจรแม่เหล็ก	5
2.4	วงจรแมเหล็กเทียบเคียงกับวงจรไฟฟ้า	6
2.5	หม้อแปลงไฟฟ้าขณะไร้ภาระ	7
2.6	วงจรหม้อแปลงขณะมีภาระต่ออยู่	8
2.7	วงจรหม้อแปลงเสมือนขณะต่อภาระ	9
2.8	ลักษณะของอุปกรณ์เบื้องต้นในการทำงาน	10
2.9	วงจรแม่เหล็กเสมือนของอุปกรณ์เมื่อนำมาวางบนสเตเตอร์	10
2.10	วงจรขยายแบบกลับเฟส	12
2.11	วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	12
2.12	วงจรขยายผลต่าง	13
2.13	วงจรขยายผลต่างที่มีการยกระดับแรงดันเอาท์พุท	16
2.14	วงจรเปรียบเทียบเบื้องต้น	17
2.15	แลตช์แบบแนนเกต	17
3.1	อุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจร แบบที่1	19
3.2	อุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรแบบที่ 2	20
3.3	อุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรแบบที่ 3	21
3.4	วงจรตรวจสอบที่ใช้งาน	24
4.1	วงจรเสมือนของอุปกรณ์ขณะวางบนสเตเตอร์	34
4.2	วงจรเสมือนของอุปกรณ์ที่กำหนดขึ้นจากผลการทดลอง	36
4.3	วงจรเสมือนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณ	36
4.4	การทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแม่เหล็ก	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ความผิดปกติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้งานมีอยู่หลายแบบด้วยกัน และปัญหาอย่างหนึ่งก็คือ การลัดวงจรของขดลวด ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากการใช้งานเกินพิกัดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า (Overload) หรือจากการที่เราพันขดลวดใหม่ลงในร่องสลอท ไม่เรียบร้อยจนเกิดความเสียหายที่ฉนวนขึ้น และผลของการลัดวงจรที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นในเครื่องจักร เช่นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ถ้าเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดการลัดวงจรขึ้น เมื่อนำเครื่องจักรนี้ไปใช้งานในเฟสที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ของเฟสนั้น จะมีค่าน้อยกว่าในเฟสอื่น ๆ และทำให้แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าในเฟสอื่นๆ ด้วย ดังนั้นถ้าเราสามารถตรวจสอบปัญหาดังกล่าวได้ ก็จะสามารถแก้ไขปัญหาในลักษณะนี้ได้ ซึ่งอุปกรณ์แบบหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบสภาวะดังกล่าว ก็คือ อุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรที่เรียกว่า "กราวเลอร์" (Growler)

โดยโครงงานมีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบรูปร่างลักษณะของอุปกรณ์ให้มีความสามารถในการส่งผ่านเส้นแรงแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำขดลวดในสเตเตอร์เพื่อตรวจสอบผลที่เกิด ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และต้องการตรวจสอบจำนวนรอบของขดลวดที่ลัดวงจรให้ละเอียดที่สุด

อุปกรณ์ชิ้นนี้เป็นการนำหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้ามาใช้งาน โดยอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นส่วนปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า และสเตเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ ทำหน้าที่เป็นส่วนทุติยภูมิของ หม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งวงจรแม่เหล็กของอุปกรณ์นั้น จะใช้หลักการพื้นฐานในการสร้างเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้แกนเหล็กวางเรียงซ้อนกัน เพื่อลดกระแสไหลวน ในแกน เหล็ก (Eddy Current Loss) ที่เกิด ขึ้น และเราใช้หม้อแปลงแปลงแรงดันลง(step down transformer) เป็นแหล่งไฟจ่ายให้กับอุปกรณ์ ซึ่งจากการทดสอบในเบื้องต้น พบว่าค่าแรงดันเหนี่ยวนำ และกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นที่ขดลวดในร่องสลอท มีค่าน้อยมาก ทำให้เราไม่สามารถเห็นผลได้ชัดเจน ดังนั้นอุปกรณ์นี้ เราจึงใช้ความต้านทานค่ามาก ๆ ค่าหนึ่งมาต่ออนุกรมกับวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

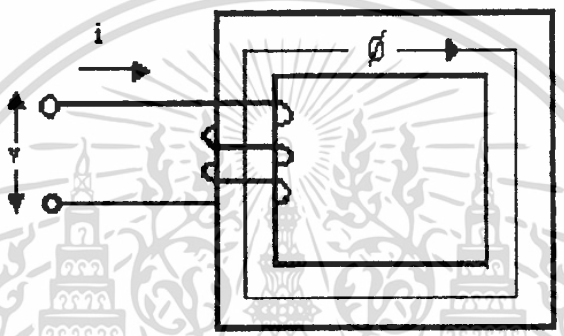
และวัดค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่ค่าความต้านทานค่านั้น โดยใช้วงจรขยายผลต่าง (Difference Ampliflier) มาตรวจสอบสัญญาณที่เกิดขึ้น จากเป้าหมายของโครงงาน ซึ่งพยายามที่จะตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้น ของขดลวดในสเตเตอร์ให้มีความละเอียดมากที่สุด แต่จากการทดลองใช้งานอุปกรณ์ พบว่า อุปกรณ์ตรวจสอบนี้ สามารถตรวจสอบจำนวนรอบของขดลวดที่ลัดวงจร ขนาด 2 รอบขึ้นไปได้ค่อนข้างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์

2.1 วงจรแม่เหล็ก

วงจรแม่เหล็กถูกใช้เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อเป็นตัวกลางในการแปลงรูปพลังงาน หรือส่งผ่านพลังงาน จากรูปวงจรแม่เหล็กเบื้องต้น ในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรแม่เหล็กเบื้องต้น

เมื่อกำหนดว่า แกนเหล็กทำจากสารแม่เหล็ก และไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลออกจากแกนเหล็ก และเนื่องจากทิศทางของ ความเข้มสนามแม่เหล็ก อยู่ในทิศทางเดียวกับระยะ เฉลี่ยของวงจรแม่เหล็กจะได้ว่า

$$Ni = Hl_{av} = mmf \qquad (2.1)$$

เมื่อ H : ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (At/m)

I : กระแสไฟฟ้าป้อนเข้าขดลวด (A)

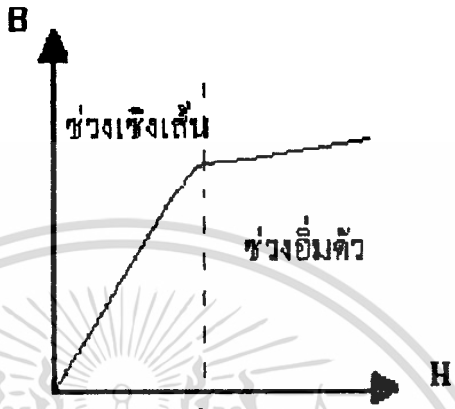
l_{av} : ความยาวโดยเฉลี่ยของแกนเหล็ก (Hz)

N : จำนวนรอบของของขดลวด (รอบ)

mmf : แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (At)

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (B) กับ H ซึ่งดูได้จากกราฟ ความสัมพันธ์ของ B และ H จากรูป 2.2 จะเห็นได้ว่ามีช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งช่วงนี้จะถูกเรียกว่า ช่วงแกนเหล็กอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างB และ H

ในช่วงเชิงเส้น ความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H จะสามารถ พิจารณาได้จาก

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \qquad (2.2)$$

โดย μ : ความซึมซาบของตัวกลาง (H/m)

μ_0 : ความซึมซาบในอากาศ (H/m , $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$)

μ_r : ความซึมซาบสัมพัทธ์

แทน H จากสมการ 2.2 ลงในสมการ 2.1 ได้ว่า

$$Ni = B/\mu \cdot l_{av} \qquad (2.3)$$

ถ้าค่าของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก มีค่าสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก เราสามารถหาค่าของเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) ได้จาก

$$\phi = BA \qquad (2.4)$$

เมื่อ ϕ : เป็นจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)

A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (m^2)

แทนสมการ (2.4) ในสมการ (2.3) จะได้ว่า

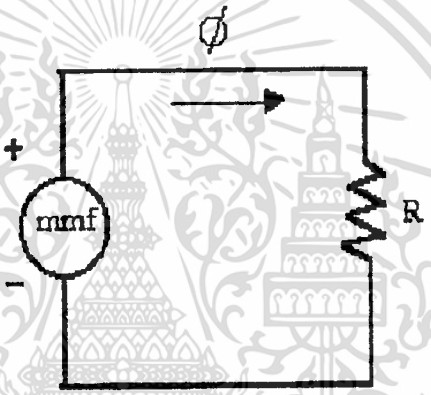
$$Ni = \phi/\mu A \cdot l_{av}$$

$$= \phi R \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R เป็นค่าความต้านทานแม่เหล็ก (At/ Wb)

จากสมการ 2.5 จะเห็นได้ว่า แรงเคลื่อนแม่เหล็ก กับ เส้นแรงแม่เหล็ก สามารถเทียบกับวงจรไฟฟ้าได้ โดยอัตราส่วนของแรงเคลื่อนแม่เหล็กกับฟลักซ์แม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานแม่เหล็ก สามารถนำมาเขียนเป็นวงจรเสมือนของวงจรแม่เหล็ก ซึ่ง ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กเปรียบได้กับ แรงเคลื่อนไฟฟ้า , เส้นแรงแม่เหล็ก เปรียบได้กับ กระแสไฟฟ้า และค่าความต้านทานแม่เหล็กเปรียบได้กับ ความต้านทานไฟฟ้า ดังแสดงตามรูป 2.3

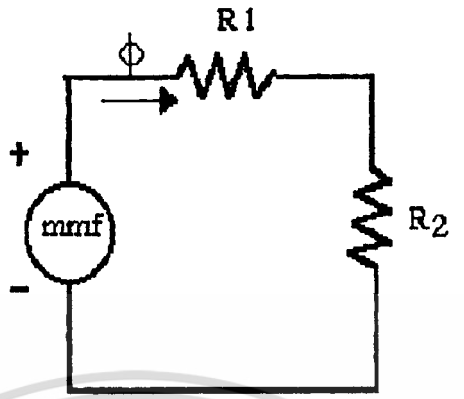


รูปที่ 2.3 วงจรเสมือนของวงจรแม่เหล็ก

นอกจากนี้วงจรแม่เหล็กสามารถเปรียบเทียบกับวงจรไฟฟ้าในลักษณะที่ความต้านทาน แม่เหล็กมีการต่ออนุกรม หรือขนานกันเช่นเดียวกับวงจรไฟฟ้าที่ค่าความต้าน ทานถูกต่อ อยู่แบบอนุกรมและขนานดังรูปที่2.4 ซึ่งสมการและวงจรต่างๆมีดังนี้

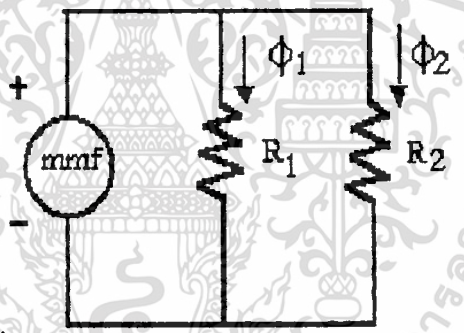
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอนุกรม



$mmf = \phi (R1 + R2)$

แบบขนาน



$mmf = \phi_1 R1 = \phi_2 R2$

รูปที่ 2.4 วงจรแม่เหล็กเทียบเคียงกับวงจรไฟฟ้า

ในวงจรแม่เหล็กเมื่อเราจ่าย ไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็ก ที่ไม่มีช่องอากาศ โดยแกนเหล็กมีพื้นที่หน้าตัด (A) และความยาววงจรเป็น (l_c) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงตามแรงเคลื่อนสนามแม่เหล็ก ที่ป้อนให้กับวงจรแม่เหล็กซึ่งการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ รูปสัญญาณ ของศักดาจะเป็นคลื่นซายน์ (Sinusidal) ทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะคลื่นซายน์ด้วย ตามสมการ (2.5)

$$\phi (t) = \phi_{max} \sin \omega t \qquad (2.5)$$

$$= A B_{max} \sin \omega t$$

เมื่อ ϕ_{max} เป็นค่าสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็ก (wb)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bmax เป็นค่าสูงสุดของความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (T)

ω ความเร็วเชิงมุม (rad/sec)

จากกฎของฟาราเดย์ สามารถหาสมการของศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จาก

$$e(t) = N \, d\phi(t) / dt$$

$$= \omega N A B_{max} \cos\omega t$$

$$e(t) = E_{max} \cos\omega t$$

$$E_{max} = 2\pi f N A B_{max} \quad (2.7)$$

และได้ว่า

$$E_{rms} = E_{max} / \sqrt{2}$$

$$= 4.44 f N A B_{max} \quad (2.8)$$

ซึ่งในการทำให้เกิดเส้นแรงในแกนเหล็กจะต้องมีกระแสกระตุ้น (Excitting current i_ϕ)

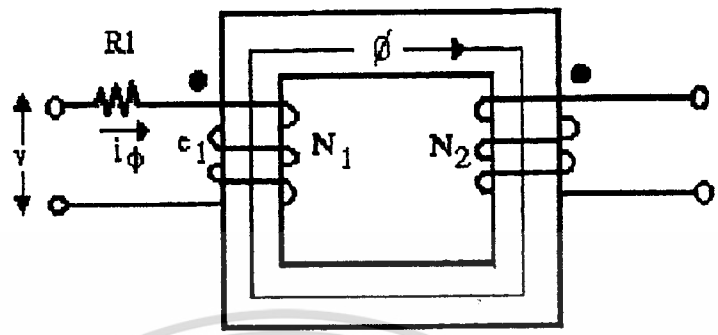
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงระดับศักดาไฟฟ้าระดับหนึ่ง ไปยังอีกระดับ โดยใช้วงจรแม่เหล็กเป็นตัวกลาง เส้นแรงที่มีการเปลี่ยนแปลงจะเกี่ยวคล้องระหว่างสองขดลวด คือ ปฐมภูมิ และทุติยภูมิดังนั้นแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องใช้สารแม่เหล็กเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กอยู่ในเส้นทางที่กำหนดและมีค่าความต้านทานแม่เหล็กต่ำ

2.2.1 สภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า

เมื่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิ เปิดวงจรอยู่ (หม้อแปลง อยู่สภาวะไร้ภาระ) และป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าทางด้านขดลวด ปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้นขณะไร้ภาระ

สำหรับกระแสที่ป้อนเข้าทางด้านปฐมภูมิขณะทางทุติยภูมิไร้ภาระ เรียกว่า กระแสกระตุ้น ซึ่งกระแสกระตุ้นดังกล่าว จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เปลี่ยนแปลงในแกนเหล็ก , เส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาทำให้เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้าขึ้นใน ขดลวดปฐมภูมิ ดังสมการ (2.9)

$$e_1 = N_1 \, d\phi(t) / dt \qquad (2.9)$$

เมื่อ e_1 = ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางปฐมภูมิ(Volt)

N_1 = จำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิ

เนื่องจากกรณีไม่มีภาระทางไฟฟ้า ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทาน R_1 มีค่าน้อยมากเนื่องจากกระแสกระตุ้นมีค่าต่ำขณะไร้ภาระดังนั้นศักดาไฟฟ้า เหนี่ยวนำ ทางปฐมภูมิจะมีค่าใกล้เคียงกับศักดาไฟฟ้าป้อนเข้า ซึ่งจะมีผล ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง ในลักษณะของซายน์ จากในหัวข้อ ที่ 2.1 จะได้ว่าจากปรกกฎการณ์ ข้างต้น จะทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีค่าเป็น

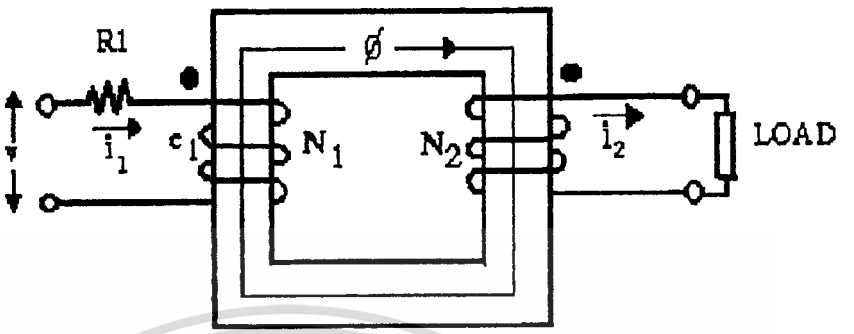
$$Erms = 4.44 \, f \, N \, A \, Bmax$$

$$= 4.44 \, f \, N \, \phi max$$

2.2.2 สภาวะมีภาระทางไฟฟ้า

แต่เมื่อมีภาระทางไฟฟ้าต่ออยู่ทางทุติยภูมิ ดังรูปที่ 2.6 เส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นจากการป้อนกระแสเข้าทางปฐมภูมิ เส้นแรงดังกล่าวจะคล้องขดลวดทุติยภูมิ ด้วยและจะเกิดศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านทุติยภูมิ (e_2) ดังสมการ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรหม้อแปลงขณะมีภาระต่ออยู่

$$e_2 = N_2 \, d\phi(t) / dt \qquad (2.10)$$

จากสมการ (2.9) และ (2.10) จะได้ว่า

$$V_1/V_2 = N_1/N_2 = a$$

เมื่อ a เทิร์นเรโช (turn ratio)

เมื่อนำภาระมาต่อทางด้านทุติยภูมิ ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีวงจรเสมือน ดังรูป 2.6 จะมีกระแส I_2 เกิดขึ้นในแกนเหล็ก ซึ่งทิศทางของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ทางด้านทุติยภูมิ ($N_2 I_2$) จะมีทิศทางตรงข้ามกับทางด้านปฐมภูมิ ($N_1 I_1$)ซึ่งทั้งสองแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะหักล้างกันเพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนลัพธ์ ที่จะคงค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กและศักดาไฟฟ้า เหนี่ยวนำ นั่นคือ จะมีกระแสไหลเพิ่มขึ้นทางด้านปฐมภูมิ ดังรูปที่ 2.7 และจะได้สมการ ดังนี้

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = N_1 I_\phi$$

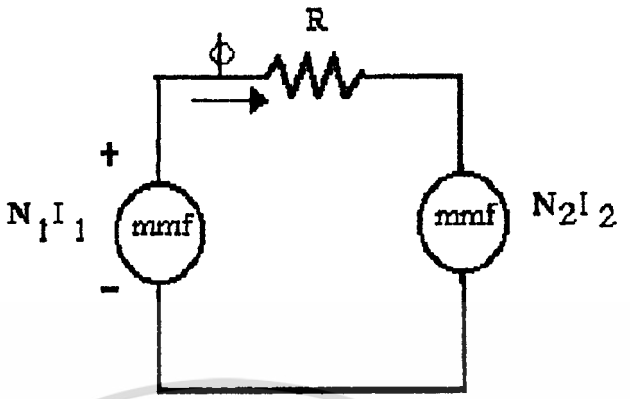
เมื่อ I_ϕ เป็นกระแสกระตุ้น (A)

แต่ในหม้อแปลงอุดมคติ กระแสกระตุ้น จากสมการข้างต้น จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$I_1/I_2 = N_2/N_1 \qquad (2.11)$$

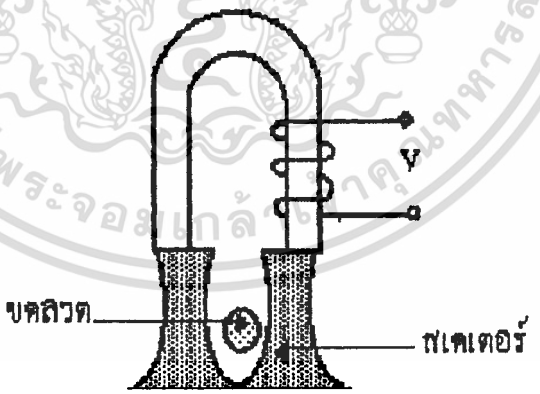
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรหม้อแปลงเสมือนขณะต่อการะ

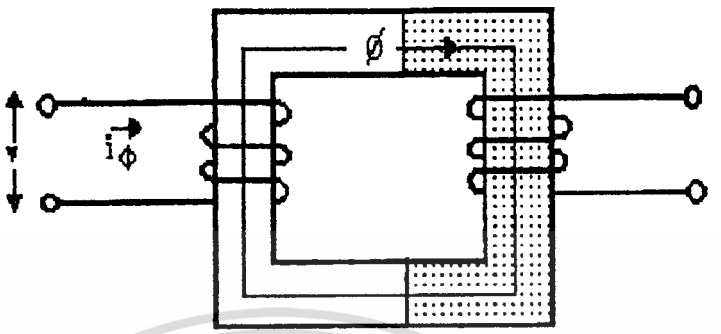
2.3 หลักการทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์

เครื่องทดสอบการลัดวงจรจะใช้หลักการของหม้อแปลง โดยเครื่องทดสอบนี้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนส่วน ปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า และขดลวดในร่องสลอทที่พันอยู่ในเครื่องจักรไฟฟ้า จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนส่วนทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 ลักษณะของอุปกรณ์เบื้องต้นในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรแม่เหล็กเสมือนของอุปกรณ์เมื่อนำมาวางบนสเตเตอร์

โดยรูปที่ 2.8 เป็นรูปแบบเบื้องต้นของเครื่องทดสอบการลัดวงจรโดยใช้แกนเหล็ก ลักษณะคล้ายเกือกม้า มาพันขดลวดและป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไป และนำไปวางคร่อมร่องสลอทของเครื่องจักรไฟฟ้า ซึ่งรูปภาพเสมือนของการทดสอบลัดวงจรดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยส่วนที่แรเงา แทนส่วนของร่องสลอทในเครื่องจักรไฟฟ้า ส่วนที่ไม่แรเงาแทนส่วนเครื่องทดสอบการลัดวงจร จะเห็นได้ว่ารูปภาพเสมือนของวงจรแม่เหล็กในรูป 2.9 คล้ายกับรูปแบบของหม้อแปลงไฟฟ้าในรูปที่ 2.5

ในกรณีปกติเมื่อไม่มีการลัดวงจรเกิดขึ้นที่ขดลวดในร่องสลอท การทดสอบดังกล่าวจะเปรียบเสมือน หม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า (no load) โดยเมื่อขดลวดทางด้านทุติยภูมิเปิดวงจร (open circuit) และป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าทางด้านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าที่ขดลวดปฐมภูมิมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ กระแสขณะรับภาระ ซึ่งค่ากระแสนี้คือกระแสกระตุ้น และค่ากระแสกระตุ้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นกระแสส่วนสูญเสียในแกนเหล็ก (Coreloss current), กระแสสร้างสนามแม่เหล็ก (magnetizing current)

ส่วนในกรณีที่เกิดสภาวะการลัดวงจรขึ้นที่ขดลวดในร่องสลอท การทดสอบจะเปรียบเสมือนหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทางทุติยภูมิ เกิดการลัดวงจรขึ้น (หรือ อาจเปรียบเสมือนว่ามีภาระค่าต่ำ เท่าๆกับความต้านทางของขดลวดที่ลัดวงจรอยู่) ซึ่งจะเกิดกระแสไหลในทางทุติยภูมิของหม้อแปลงดังรูปที่ 2.6

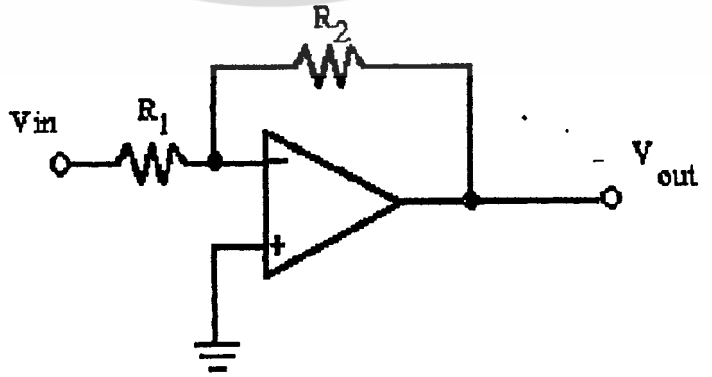
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 เมื่อเกิดกระแส I_2 ไหลทางทุติยภูมิของหม้อแปลงแล้ว ทิศทางของแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้านทุติยภูมิ ($N_2 I_2$) จะตรงกันข้ามกับทางด้านปฐมภูมิ ($N_1 I_1$) ซึ่งทั้งสองแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะหักล้างกัน เพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนลัพธ์ที่จะคงค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กและศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจะทำให้เกิดกระแสไหลเพิ่มขึ้นทางด้านปฐมภูมิ จากที่ได้กล่าวถึงปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้น ในกรณีที่ไม่เกิดการลัดวงจร และเกิดการลัดวงจรขึ้นที่ขดลวดในร่องสลอท จะเห็นได้ว่ากรณีไม่เกิดการลัดวงจร กระแสไฟฟ้าที่ไหลทางปฐมภูมิจะเป็นค่ากระแสกระตุ้นซึ่งมีค่าน้อยกว่า กระแสที่ไหลทางปฐมภูมิในกรณีเกิดการลัดวงจร ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่ใช้ในการทดสอบการลัดวงจรที่เกิดขึ้น และการทดสอบกระแสค่านี้อาจทำได้โดยง่าย โดยการใช้แอมป์มิเตอร์ ต่ออนุกรมกับ ขดลวดของเครื่องทดสอบการลัดวงจร หากว่าการทดสอบที่ระหว่างร่องสลอทใด ๆ เกิดมีค่ากระแส เพิ่มขึ้นก็แสดงว่าเกิดการลัดวงจรของขดลวดขึ้นที่ร่องสลอทนั้น

2.4 พื้นฐานของวงจรที่ใช้แสดงผล

2.4.1 วงจรขยายแบบกลับเฟสและไม่กลับเฟส

วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting amplifier) เป็นวงจรขยายสัญญาณ โดยใช้ออปแอมป์ซึ่งเอาท์พุทที่ได้ จะมีเฟสกลับกับทางอินพุท ซึ่งมีวงจรพื้นฐานดังรูปที่ 2.10 และสมการของแรงดันเอาท์พุทที่ได้ เป็นดังสมการ 2.12

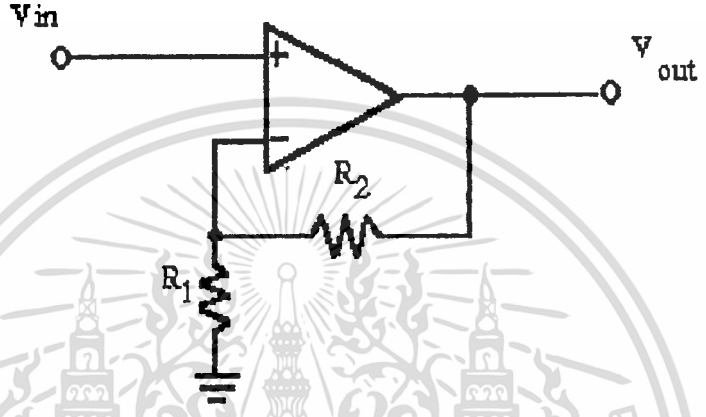


รูปที่ 2.10 วงจรขยายแบบกลับเฟส

$$Vo/Vi = -R_2/R_1 \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting amplifier) เป็นวงจรขยายสัญญาณซึ่งสัญญาณที่ได้ทางเอาท์พุท จะมีเฟสตรงกับทางอินพุท โดยมีวงจรพื้นฐานดังรูปที่ 2.11 และมีสมการของแรงดันเอาท์พุทดังสมการ 2.13



รูปที่ 2.11 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

$$Vo/Vi = 1 + R_2/R_1 \qquad (2.13)$$

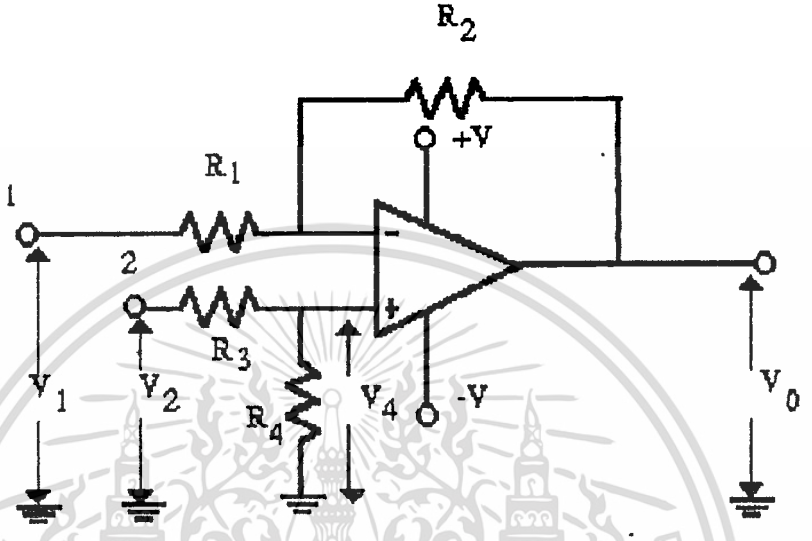
2.4.2 วงจรขยายผลต่าง

วงจรขยายผลต่าง (Difference amplifier) หรือ วงจรขยาย แบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential amplifier) เป็นตัวขยายความแตกต่างระหว่างสัญญาณสองอินพุท โดยไอซีออปแอมป์ที่ใช้นั้นเป็นแบบ วงจรขยายผลต่างซึ่งมันจะมีสองอินพุท (คืออินพุทแบบวงจรขยายกลับเฟสและไม่กลับเฟส) แต่อัตราขยายแรงดันในกรณีเปิดวงจรของตัวออปแอมป์ มีค่ามากเกินกว่าที่จะใช้งานโดยปราศจากการป้อนกลับดังนั้นเหมือนออปแอมป์แบบอื่นๆ ดังนั้นวงจรขยายผลต่างนี้ในทางปฏิบัติต้องมีการป้อนกลับแบบลบ (negative feedback)

วงจรขยายผลต่างพื้นฐานแสดงในรูป 2.12 เป็นการรวมวงจรขยาย แบบกลับเฟสและแบบไม่กลับเฟส ถ้าอินพุทที่จุด 2 ถูกต่อลงดินวงจรจะทำงานเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ซึ่งอินพุท V_1 ถูกขยายโดยค่า - R_2/R_1 แต่ถ้าจุด 1 ถูกต่อลงดินส่วนของ R_2 และR_1จะทำหน้าที่เป็นส่วนป้อนกลับของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส อินพุท V_2 ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักดาจะถูกแบ่งไปตกคร่อมความต้านทาน R_3 และ R_4 ทำให้ได้ค่า V_{R4} และ V_{R4} จะถูกขยายโดย ค่า $(R_2 + R_1)/ R_1$



รูปที่ 2.12 วงจรขยายผลต่าง

ในกรณี V_2 มีค่าเป็นศูนย์

$$V_{01} = - R_2/R_1 * V_1$$

ในกรณี V1 มีค่าเป็นศูนย์

$$V_{R4} = R_4 / (R_3+R_4) * V_2$$

$$V_{02} = (R_1+R_2) / R_1 * V_{R4}$$

$$= (R_1+R_2) / R_1 * R_4 / (R_3+R_4) * V_2$$

ถ้า R3 = R1 และ R4 = R2

$$V_{02} = R_2 / R_1 * V_2$$

ถ้าให้สัญญาณทั้งสองสัญญาณได้ว่า

$$V_o = V_{01} + V_{02}$$

$$= (R_2 / R_1) * V_2 - (R_2/R_1) * V_1$$

$$V_o = R_2/R_1 (V_2 - V_1) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R_2 และ R_1 เป็นค่าความต้านทานที่เท่ากัน จะได้ว่าเอาท์พุท เป็นความต่างโดยตรงของอินพุททั้งสองถ้าเลือก R_2 ให้มีค่ามากกว่า R_1 จะได้ว่าเอาท์พุทที่ได้จะสามารถขยายสัญญาณความแตกต่างของอินพุทได้

ปัญหาหนึ่งของการเลือกความต้านทานของตัววงจรขยายผลต่างเช่นกรณีเลือก $R_3=R_1$ และ $R_4=R_2$ คือความต้านทานของอินพุททั้งสองไม่เท่ากัน ความต้านทานอินพุทสำหรับแรงดัน V_1 ในรูป 2.14 คือ R_1 ซึ่งเป็นในกรณีของวงจรขยายแบบกลับเฟสที่จุดอินพุทของออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส ซึ่งความต้านทานนี้เป็นค่าสูงมากเนื่องจากเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ดังนั้นความต้านทานอินพุทคือ R_2+R_4 สำหรับแรงดัน V_2

จากสมการ 2.14 จะเห็นได้ว่าสามารถได้ผลลัพธ์ในแบบเดียวกันได้ถ้าอัตราส่วนของ R_4/R_3 เท่ากับ R_2/R_1 แทนการใช้ค่า $R3=R_1$ และ $R4=R_2$ ดังนั้นเมื่อค่าความต้านทานของR_1 ถูกกำหนดแล้ว ค่า R_3+R_4 สามารถมีค่าเท่ากับ R_1 ได้ตราบเท่าที่อัตราส่วนของความต้านทานยังถูกต้องอยู่ ซึ่งการทำเช่นนี้จะได้ว่าความต้านทานที่อินพุทจะเท่ากันที่อินพุททั้งสองของวงจร

ความแตกต่างของความต้านทานที่เกิน (ถ้า $R_3=R_1$ และ $R_4=R_2$) จะไม่แสดงปัญหาแต่อย่างใด ถ้าความต้านทานของแหล่งจ่ายมีค่าน้อยกว่าความต้านทานของอินพุทมากๆ ดังนั้นสิ่งที่ต้องการคือให้ค่า $R_3=R_1$ และ $R_4=R_2$ เพื่อที่จะได้ความต้านทานที่เท่ากันซึ่งจะได้แรงดันออฟเซ็ท (offset) ของอินพุทมีค่าน้อยลง ส่วนสำคัญมากสองส่วนเพื่อที่จะใช้พิจารณา คือ ความต้านทานอินพุทที่แตกต่าง (differential input resistance , Ri (dif)) และ ความต้านทานที่จุดร่วม (commom mode input resistance , Ri (cm)) ความต้านทานอินพุทที่แตกต่างเป็นความต้านทานของสัญญาณ แหล่งกำเนิดซึ่งความต้านทานนี้ถูกต่อโดยตรงที่ขั้วของอินพุทดังนั้นค่านี้ก็คือผลรวมของความต้านทานอินพุท

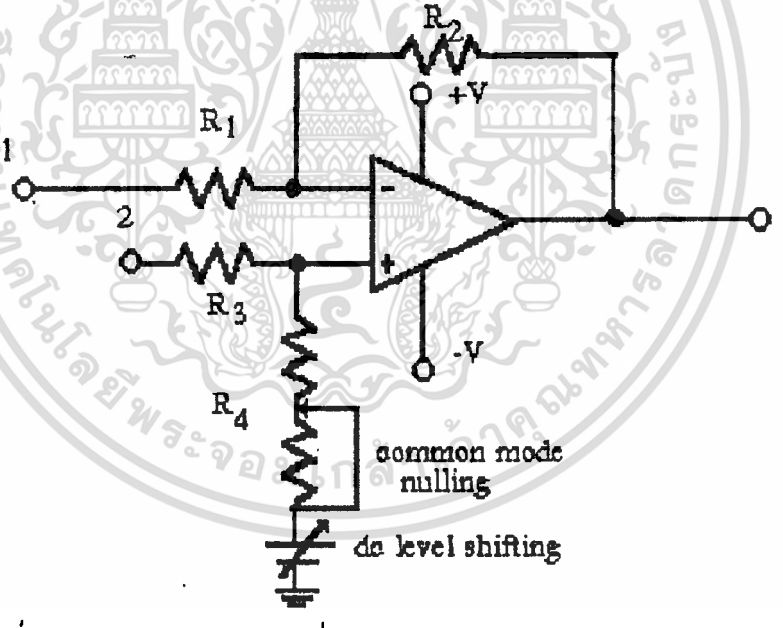
$$Ri(dif)= \quad R_1 + R_2 + R_3 \qquad (2.15)$$

ความต้านทานที่จุดอินพุทเป็นความต้านทานของสัญญาณแหล่งกำเนิดความต้านทานนี้ถูกต่อระหว่างกราวน์และปลายทั้งสองอินพุท นั่นคือผลรวมของการต่อขนานของความต้านทานของอินพุทสองค่า

$$Ri(cm)= \quad R_1 // (R_3 + R_4) \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.14 ซึ่งแสดงว่า แรงดันเอาท์พุท เป็นการขยายความแตกต่างของแรงดันอินพุททั้งสอง แรงดันอินพุทของจุดร่วม จะให้อินพุทของ (V_1+V_n) และ (V_2+V_n) ซึ่งผลลัพท์ในรูป V_n จะถูกทำให้หายไปเมื่อความต่างของทั้งสองสัญญาณถูกขยาย และจากสมการ 2.14 อัตราส่วนของความต้านทานจะต้องถูกทำให้เท่ากัน $(R_4/R_3 = R_2/R_1)$ ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวจริงๆ ไม่เท่ากัน จะทำให้ แรงดัน อินพุทอันหนึ่งถูกขยายในปริมาณมากกว่าอีกแรงดันหนึ่ง ดังนั้น แรงดันจุดร่วมจะไม่ถูกทำให้หายไปหมดได้ เพราะว่ามันเป็นไปไม่ได้ที่อัตราส่วนของความต้านทานจะเท่ากันพอดี ดังนั้นจึงเหมือนมีแรงดันเอาท์พุทของจุดร่วมออกมาบ้าง หนทางหนึ่งที่จะได้ค่าเอาท์พุทของจุดร่วมให้มีค่าน้อยลง จากการขยายความแตกต่าง ถูกอธิบายในรูป 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรขยายผลต่างที่มีการยกระดับแรงดันเอาท์พุท

ความต้านทาน R_4 ถูกกำหนดให้เป็นความต้านทานที่คงที่ และความต้านทานที่ปรับค่าได้ซึ่งเล็กมากๆ ดังนั้นจึงสามารถทำให้อัตาส่วน R_4/R_3 ปรับค่าได้ใกล้กับ R_2/R_1 เพื่อที่จะให้แรงดันเอาท์พุทของจุดร่วมไม่ให้มีผลหรือกลายเป็นศูนย์

จากรูป 2.13 R_4 ถูกต่อจากแรงดันไบอัส(bias voltage) แทนการต่อลงดินแบบปกติดังนั้นเพื่อความเข้าใจในผลของ Vb จะสมมติว่าแรงดันอินพุททั้งสองเป็นศูนย์และ

เอกสารนี้เป็น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vb มีค่าเป็น 1 โวลต์แล้วแรงดันที่อินพุท ของออปแอมป์ แบบไม่กลับเฟส จะเป็น.

$$V_+ = Vb^* R_3/(R_3+R_4)$$

เนื่องจากแรงดันเอาท์พุทจะปรับเป็นระดับซึ่งจะได้

$$V_+ = V_-$$

ได้เอาท์พุทเป็น

$$V_0 = V_+(R_1+R_2)/R_1$$

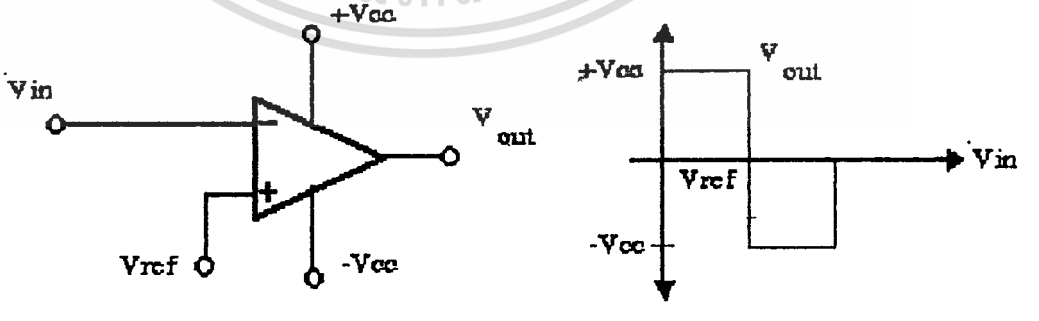
แทนค่า V+ และใช้ความสัมพันธ์ของความต้านทาน ($R_4/R_3 = R_2/R_1$) แล้วเอาท์พุทจะเป็น

$$V_0 = V_b$$

ดังนั้นถ้า V_b ถูกปรับแล้วระดับแรงดันของเอาท์พุทแรงดันตรงสามารถถูกยกระดับได้ตามต้องการ

2.4.3 วงจรเปรียบเทียบ

วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) โดยใช้ออปแอมป์เป็นวงจรที่ใช้เปรียบสัญญาณเข้าสองสัญญาณที่เข้ามาขังอินพุท ของออปแอมป์ โดย มีวงจรพื้นฐานดังรูปที่ 2.14 ซึ่งอินพุทขาหนึ่งจะใช้เป็นแรงดันเปรียบเทียบ ส่วนอีกขาหนึ่งจะใช้เป็น แรงดันอินพุท โดยเมื่อสัญญาณอินพุทที่เข้ามาถ้ามีค่าแตกต่างจากแรงดันเปรียบเทียบจะทำให้มีค่าเอาท์พุทออกมาเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงของออปแอมป์



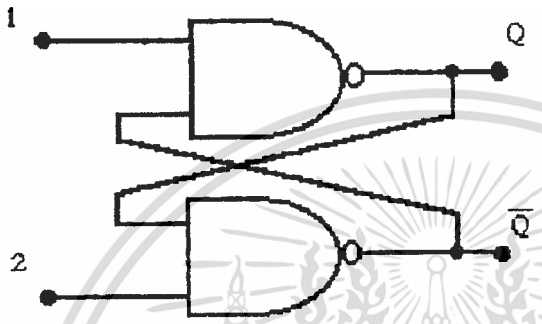
รูปที่ 2.14 วงจรเปรียบเทียบ เบื้องต้น

2.4.4 แลตช์แบบแนนเกต

แลตช์แบบแนนเกต (NAND Gate Latch) เป็นการใช้แนนเกตสองตัวมาต่อไขว้กันดังรูปที่ 2.15 ซึ่งเอาท์พุทที่ได้ในแลตช์แบบนี้จะเป็นดังรูป ซึ่งจะเห็นได้ว่าเอาท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุท ที่ได้ทั้งสองค่าจะมีสถานะที่แตกต่างกันคือ เมื่อเอาท์พุท Q1 มีสถานะเป็นหนึ่ง เอาท์พุท Q2 จะมีสถานะเป็นศูนย์ โดยในกรณีดังกล่าวขาอินพุททั้งสองต้องมีสถานะแตกต่างกัน คือเมื่อขาอินพุทหนึ่ง มีค่าเป็น 1 อีกขาอินพุทต้องมีสถานะเป็น 0



1	2	output
1	1	nochange
0	1	Q = 1
1	0	Q = 0
0	0	invalid

รูปที่ 2.15 แสดชั้นบบแนนเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องทดสอบการลัดวงจรและวงจรแสดงผล

3.1 วงจรแม่เหล็กของเครื่องทดสอบการลัดวงจร

วงจรแม่เหล็กของเครื่องทดสอบการลัดวงจรเป็นส่วนสำคัญของอุปกรณ์ชิ้นนี้ เนื่องจากมันจะทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวสร้างเส้นแรงแม่เหล็กและใช้เป็นทางผ่านของเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กจากอุปกรณ์ไปเหนี่ยวนำ ขดลวดในสเตเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบว่ามีการลัดวงจรของขดลวดเกิดขึ้นหรือไม่

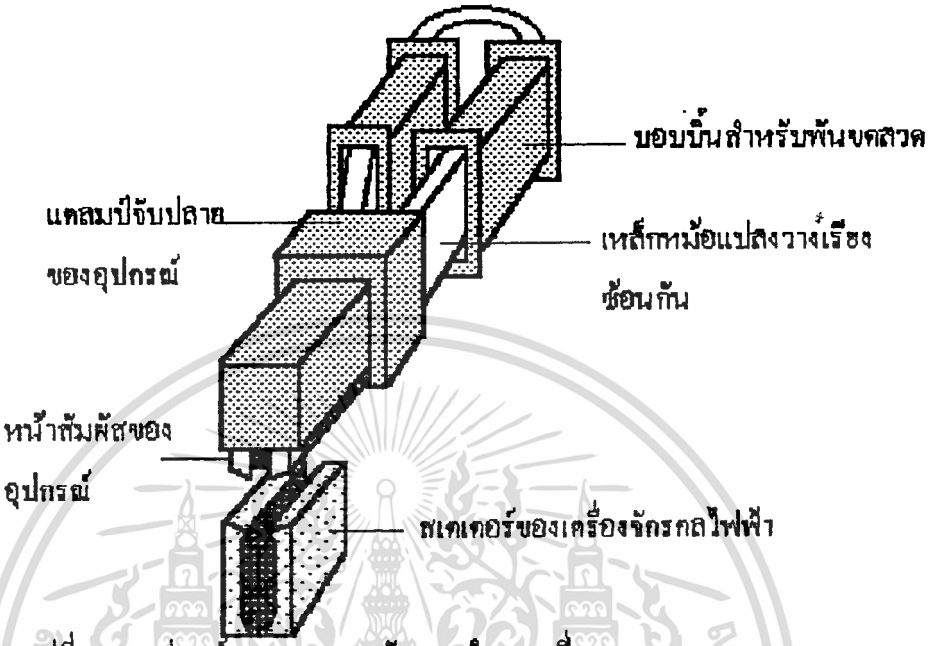
ในการออกแบบเพื่อสร้างส่วนนี้ จะใช้หลักการเดียวกับการออกแบบวงจรแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ต่างกันที่อุปกรณ์ชิ้นนี้จะเสมือนมีเพียงแค่ส่วนปฐมภูมิของหม้อแปลงเท่านั้น และรูปร่างของของวงจรแม่เหล็กก็จะแตกต่างกัน ซึ่งในโครงงานนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์ไว้หลายลักษณะเพื่อเปรียบเทียบผลดีผลเสียในแต่ละแบบ และหา แบบที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการทำอุปกรณ์ชิ้นนี้ต่อไป ซึ่งมีลักษณะต่างๆดังนี้คือ

แบบที่ 1

แบบนี้จะใช้เหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงไฟฟ้ามาตัดเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวกล้ายไม้บรรทัดแล้วนำแต่ละแผ่นมาวางเรียงซ้อนกันจนมีความหนาใกล้เคียงกับหน้าสัมผัสของสเตเตอร์ แล้วจับมางอให้เป็นรูปตัวยูและกั้นระหว่างปลายทั้งสองด้วย แบล็กคาไลท์เพื่อให้มีช่องอากาศเพื่อกันเส้นแรงแม่เหล็กบางส่วนที่จะวิ่งลัดผ่านปลายทั้งสองของอุปกรณ์ แล้วพันขดลวดใส่แกนเหล็กทั้งสองด้านเพื่อใช้เป็นตัวสร้างเส้นแรง ซึ่งเวลาใช้งานจะนำส่วนปลายของแกนเหล็กมาวางบนร่องสลอทให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านเข้าไปที่สเตเตอร์เพื่อเหนี่ยวนำขดลวดได้ ซึ่งที่ปลายของแกนเหล็กจึงต้องมีการแต่งให้โค้งตามความโค้งของสเตเตอร์ด้วย (เนื่องจากถ้าหน้าสัมผัสระหว่างอุปกรณ์กับสเตเตอร์ไม่แนบกันพอควร จะทำให้เกิดช่องอากาศระหว่างส่วนทั้งสอง ซึ่งช่องอากาศดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดความต้านทานแม่เหล็กค่าสูงระหว่างอุปกรณ์กับตัวสเตเตอร์ (เป็นผลให้พลังงานจากสนามแม่เหล็กโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ช่องอากาศดังกล่าวทำให้ ทำให้พลังงานส่วนที่จะไปยังสเตเตอร์มีค่าน้อยลง) ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038211

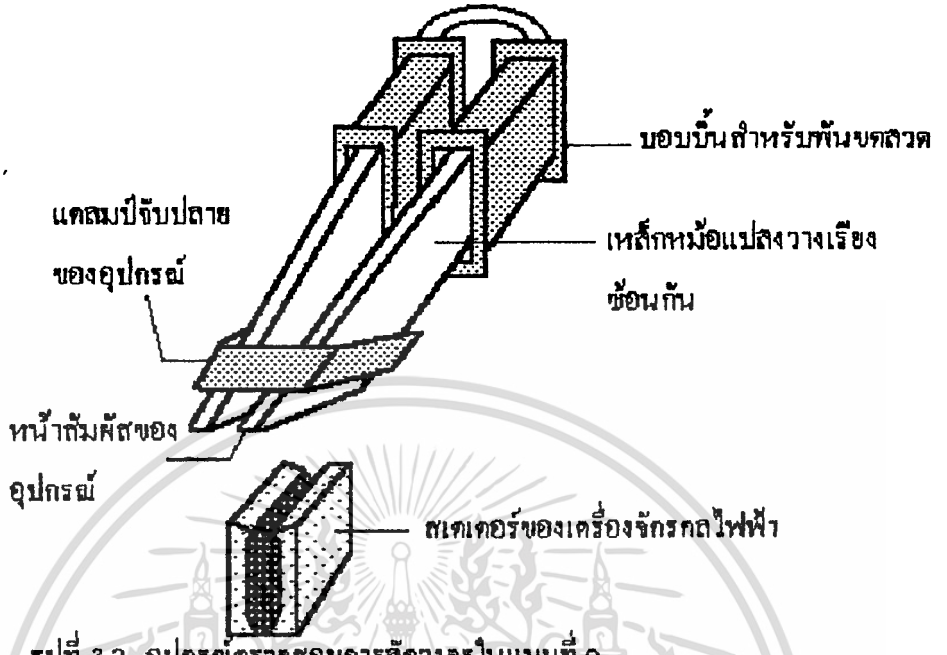


รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ตรวจสอบการสั่นวงจรในแบบที่ 1

แบบที่ 2

แบบนี้จะคล้ายกับในแบบแรกแต่ว่าจากการที่ต้องใช้อุปกรณ์นี้ทดสอบในสภาวะที่เครื่องจักรกลไฟฟ้ามีการพันขดลวดเรียบร้อยแล้วทำให้ส่วนของขดลวดที่ยื่น ออกมาจากสเตเตอร์นั้นมีขดลวดพันอยู่ค่อนข้างเกะกะ ซึ่งในแบบแรกในขณะใช้งานจะวางอุปกรณ์ในแนวนอนจึงอาจทำให้ความขุ่งยากต่อการใช้งาน ในแบบนี้จึงทำการตัดปลายของอุปกรณ์ ให้เป็นลักษณะสามเหลี่ยม ซึ่งในขณะทำการใช้งานจะวางอุปกรณ์นี้เฉียงกับร่องสสอทเพื่อแก้ไขปัญหาในการใช้งานตรวจสอบจากการที่มีขดลวดพันอยู่จนเต็ม ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

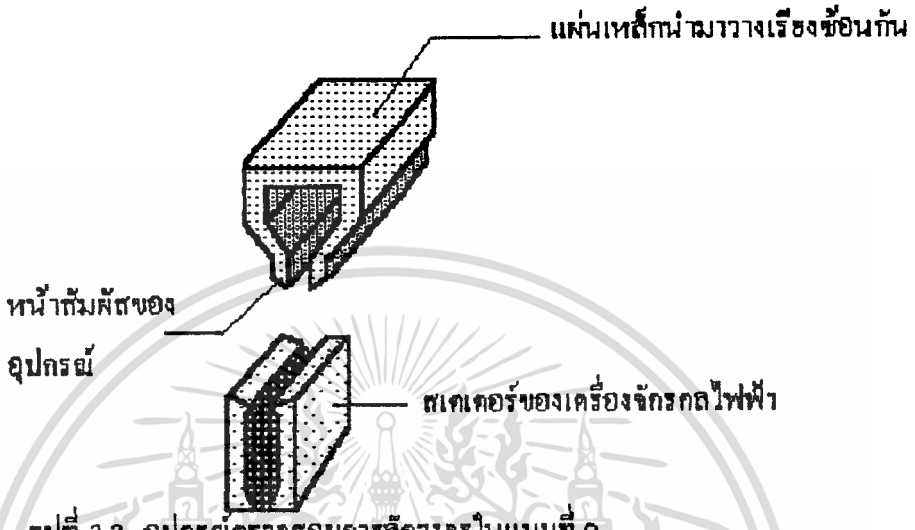


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรในแบบที่ 2

แบบที่ 3

ในสองแบบแรกจะใช้แกนเหล็กที่ค่อนข้างยาวซึ่งที่ส่วนปลายที่ใช้พันขดลวดจะถูกใช้เป็นด้ามจับของอุปกรณ์ด้วยทำให้เมื่อเราจับอุปกรณ์นี้แรงหรือเบา จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดผ่านระหว่างปลายทั้งสองของอุปกรณ์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้ เช่น เมื่อเราจับอุปกรณ์นี้แรงก็จะทำให้ปลายทั้งสองของอุปกรณ์เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดผ่านระหว่างปลายทั้งสองมีค่ามากขึ้น ส่งผลอุปกรณ์เกิดความไม่แน่นอน อีกทั้งความยาวของวงจรแม่เหล็กในสองแบบแรกมีค่ามากซึ่งทำให้ความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์มีค่ามากอีกด้วย (ตามสมการ2.5) ดังนั้นในแบบนี้จึงใช้แผ่นเหล็กแบบคล้ายเกือกม้าเล็กๆมาวางเรียงซ้อนๆ กัน และวางคร่อมที่สเตเตอร์ขณะทำการใช้งาน ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรในแบบที่ 2

ทั้งสามแบบจะมีการคำนวณหาแรงดันและจำนวนรอบขดลวดที่ใช้พันตามสมการ 2.8 คือ

$$Erms = 4.44\ f\ N\ A\ Bmax$$

โดย Erms คือค่าแรงดันที่ป้อนให้กับอุปกรณ์มีค่าเป็นโวลต์

f คือความถี่ของไฟที่ใช้งานอยู่ในโครงงานนี้มีค่าเป็น 50 Hz

N คือจำนวนรอบของขดลวดที่พันในโครงงานนี้ค่านี้จะถูกกำหนดขึ้นตามความเหมาะสมขนาดพื้นที่ของอุปกรณ์แต่ละแบบ และสัมพันธ์กับแรงดันที่จะป้อนให้กับอุปกรณ์ด้วย

A คือพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่ใช้งานขึ้นกับแต่ละแบบ

Bmax คือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงสุดของอุปกรณ์ซึ่งค่านี้จะถูกกำหนดขึ้นโดยไม่เกินค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงสุดของเหล็กที่นำมาใช้มีหน่วยเป็นเทสลา (Tesla)

ในแต่ละลักษณะมีการออกแบบเพื่อใช้ในการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 1

ครั้งที่ 1 : กำหนดให้จำนวนรอบพันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งจากการใช้ขดลวดเบอร์ SWG 32 สามารถพันได้ 2800 รอบ และกำหนดให้ค่าความหนาแน่นแม่เหล็กสูงสุดของอุปกรณ์มีค่าประมาณ 0.3 เทสล่า (ที่กำหนดค่านี้เนื่องจากปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ได้จะมีค่าไม่มากเกินไป จนทำให้เกิดการดูดติดของหน้า สัมผัสของอุปกรณ์ กับสเตเตอร์ ขณะทำการทดสอบซึ่งจะทำให้การทดสอบในแต่ละร่องสลอทง่ายขึ้น) และพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก มีค่าประมาณ 0.02*0.004 m^2 เมื่อนำค่าต่างๆ แทนในสมการข้างต้นได้ว่า จะใช้แรงดันป้อนประมาณ 15 โวลต์

ครั้งที่ 2 : ให้จำนวนรอบของขดลวดน้อยลงและใช้ขดลวดขนาดใหญ่ขึ้น (เบอร์ SWG 24) พันขดลวจำนวน 300 รอบ โดยกรณีนี้ทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เป็น 0.6 เทสล่า เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เมื่อนำค่าต่างๆ แทนในสมการข้างต้นได้ว่า จะใช้แรงดันประมาณ 3 โวลต์

แบบที่ 2

ครั้งที่ 1 : เหมือนกับในกรณีแบบที่ 1 (ครั้งที่ 1)

ครั้งที่ 2 : เหมือนกับในกรณีแบบที่ 2 (ครั้งที่ 2)

แบบที่ 3

แบบนี้เนื่องจากขนาดพื้นที่ที่ใช้พันขดลวดมีค่อนข้างจำกัดเนื่องจากจะอุปกรณ์มีขนาดค่อนข้างเล็กจึงพันขดลวดได้ประมาณ 100 รอบ ใช้ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เป็น 0.6 เทสล่า พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กมีค่าประมาณ 0.04*0.003 m^2 ซึ่งเมื่อแทนค่าในสมการแล้วจะได้ว่าจะใช้แรงดันประมาณ 1.6 โวลต์

ซึ่งจากการทดลองทั้งสามแบบได้ผลว่าในแบบที่สามจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ในโครงงานนี้จึงใช้ลักษณะของอุปกรณ์ในแบบที่ 3 โดยผลของการทดลองในแต่ละแบบสามารถพิจารณาได้จากบทที่ 4 ในส่วนของการทดลอง

3.2 วงจรตรวจสัญญาณและแสดงผล

3.2.1 การออกแบบวงจร

วงจรตรวจสอบสัญญาณจะใช้หลักการของวงจรขยายผลต่าง มาใช้ในการตรวจจับสัญญาณ ที่เกิดขึ้นจากกระแสที่เพิ่มขึ้นที่อุปกรณ์ จากการที่ขดลวดที่สเตเตอร์เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลัดวงจรของขดลวด ซึ่งในโครงงานนี้จะทำการตรวจสอบสัญญาณ ของการลัดวงจรของขดลวดขนาด 1 รอบ จากการทดลอง(ผลการทดลองสามารถดูได้จากการทดลองในบทที่ 4) ในกรณีของอุปกรณ์ที่ใช้งานในโครงงานนี้ (ใช้แบบที่ 3 จากหัวข้อที่3.1) พบว่ากระแสลัดวงจรขนาดหนึ่งรอบที่เกิดขึ้นมีค่าเป็น 1.64 มิลลิแอมป์ ซึ่งเมื่อนำค่านี้มาหาค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นที่อุปกรณ์จากการใช้สมการที่ 2.11 คือ

$$I_1/I_2 = N_2/N_1$$

โดย I_1 คือกระแสของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นส่วนปฐมภูมิของหม้อแปลงดังนั้นกระแสปฐมภูมิจากสมการก็คือกระแสของอุปกรณ์

I_2 คือกระแสลัดวงจรของขดลวดในสเตเตอร์ที่เกิดขึ้นซึ่งสเตเตอร์ก็คือส่วนทุติยภูมิของหม้อแปลง ดังนั้นกระแสทุติยภูมิก็คือกระแสของขดลวดที่อยู่ในสเตเตอร์

N_1 จำนวนรอบของขดลวดที่อุปกรณ์ (ในกรณีนี้เป็น 100 รอบ)

N_2 จำนวนรอบของขอลวดที่ลัดวงจรอยู่ที่สเตเตอร์ (ในกรณีนี้เป็น 1 รอบ)

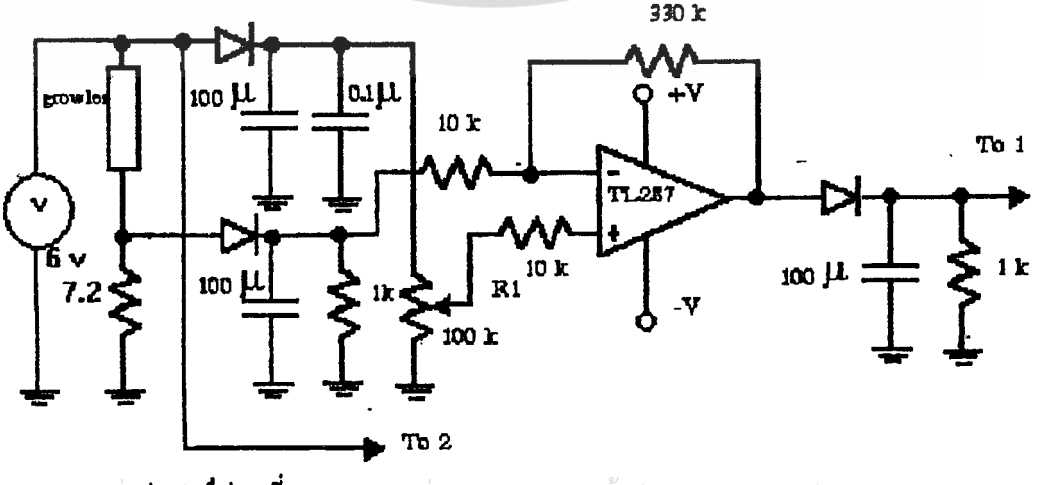
จากการแทนค่าจะได้กระแสที่เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นที่อุปกรณ์ มีค่าเป็น 0.0164 มิลลิแอมป์ (ค่านี้เป็นค่าในทางอุดมคติ เนื่องจากสมการที่ใช้เป็นสมการของหม้อแปลงในทางอุดมคติ) ซึ่งค่าดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่น้อยมาก โดยเมื่อนำค่านี้ไปรวมกับกระแสของอุปกรณ์ในกรณีที่ไม่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น(390 มิลลิแอมป์) จะได้ว่ากระแสของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นในขณะนั้นมีค่าเป็น 390.0164 มิลลิแอมป์ ค่านี้ในอุปกรณ์การวัดโดยทั่วไปจะไม่สามารถเห็นค่าส่วนของกระแสที่เพิ่มขึ้นได้

ดังนั้นตัวออปแอมป์ที่เลือกใช้จึงต้องสามารถตรวจจับสัญญาณ ที่ละเอียดค่านี้ได้ ในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ TL087 ซึ่งไอซีตัวนี้มีค่าแรงดันออฟเซท (Offset voltage) 0.5 มิลลิโวลท์ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก) แต่ค่ากระแสที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นค่าความต้านทานที่นำมาใช้ต่ออนุกรมกับอุปกรณ์ตรวจสอบเพื่อใช้วัดค่าของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจากกระแสที่เพิ่มขึ้น จึงต้องเป็นค่าที่สูงมากพอสมควร ซึ่งจากการทดลอง(ในบทที่ 4) พบว่าเมื่อเราใช้ ค่าความต้านทานมาต่ออนุกรมนั้น จะใช้ค่า 7.2 โอหม์ และใช้แรงดันของแหล่งจ่ายเป็น 6 โวลต์ ทำให้แรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

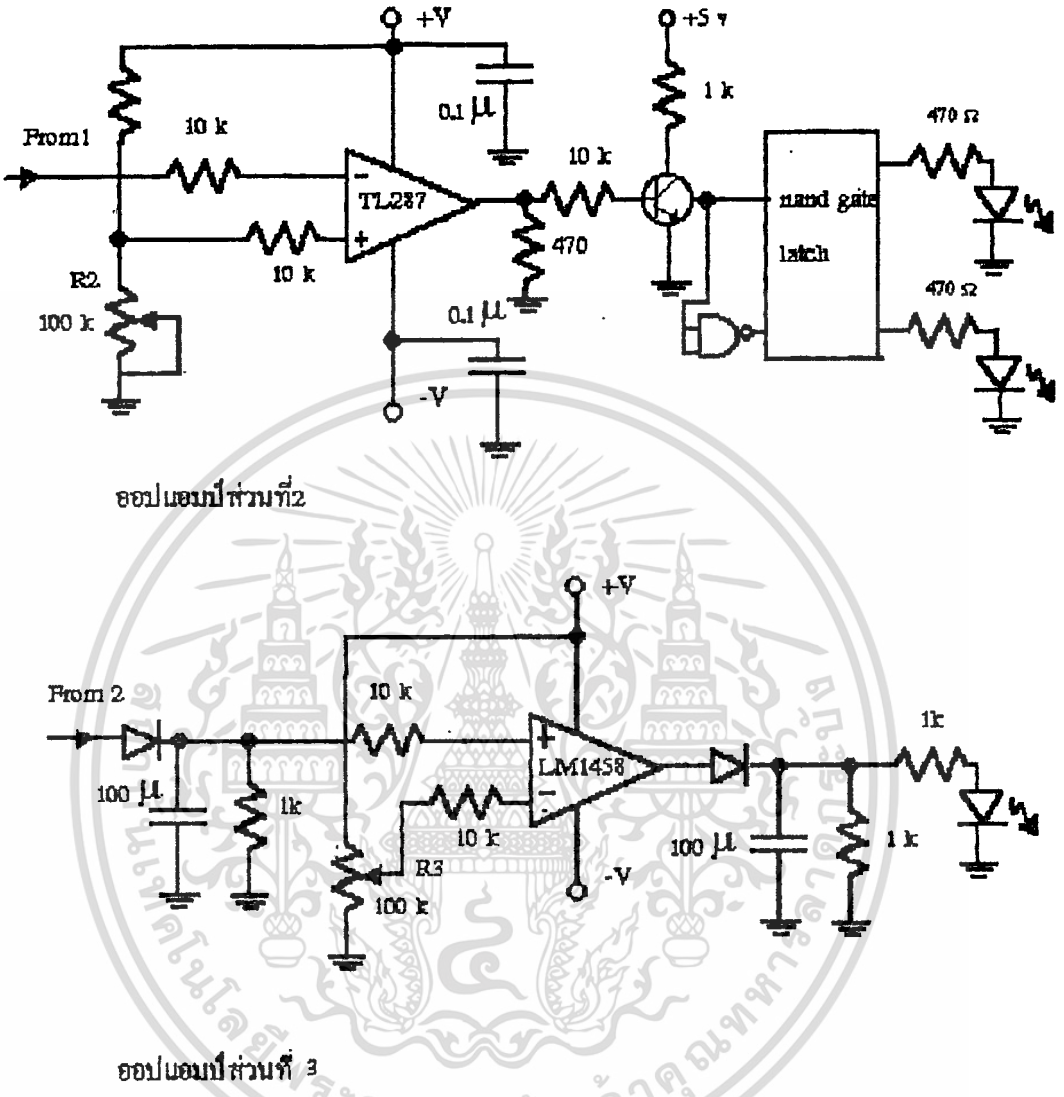
ตกคร่อมอุปกรณ์ตรวจสอบการลัดวงจรนั้นมีค่าประมาณ2.6โวลต์(ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์) ซึ่งเมื่อเราลองแทนค่าแรงดันนี้ในสมการที่ 2.8 จะได้ว่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ใช้งานในขณะนี้มีค่าเป็น 0.97 เทสล่า และกระแสขณะไม่เกิดการลัดวงจรของขดลวดมีค่าเป็น 610 มิลลิแอมป์ ส่วนกระแสลัดวงจรขนาดหนึ่งรอบที่เกิดขึ้นที่ขดลวดในสเตเตอร์มีค่าเป็น 2.82 มิลลิแอมป์ ดังนั้นเมื่อเราแปลงค่านี้ให้มาอยู่ทางฝั่งอุปกรณ์ จะมีค่า ในทางอุดมคติเป็น 0.0282 มิลลิแอมป์ ทำให้ประมาณได้ว่าในขณะเกิดการลัดวงจรของขดลวดที่สเตเตอร์ ขนาดหนึ่งรอบจะมีค่ากระแสของอุปกรณ์เป็น 610.0282 มิลลิแอมป์

ส่วนในการแสดงผลของอุปกรณ์ในขณะยกอุปกรณ์และวางอุปกรณ์อยู่ จากการทดลองพบว่าในขณะอุปกรณ์ยกลอยอยู่กลางอากาศ กระแสที่ผ่านมายังอุปกรณ์ จะมีค่าสูงมากเนื่องจากในขณะนี้วงจรแม่เหล็กทางทุติยภูมิของอุปกรณ์ จะเป็นอากาศซึ่งค่าความต้านทานแม่เหล็กของอากาศมีค่าสูงมาก (พิจารณา สมการ 2.5) แต่ในขณะที่ทำการวางอุปกรณ์ลงบนสเตเตอร์วงจรแม่เหล็กทางทุติยภูมิของอุปกรณ์จะเป็นแกนเหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งมีค่าความต้านทานแม่เหล็กต่ำกว่าทำให้กระแสของอุปกรณ์ ในสภาวะนี้มีค่าต่ำกว่าโดยจากการทดลองพบว่าขณะ ยกอุปกรณ์จะมีค่ากระแสเป็น 0.68 แอมป์ และในขณะวางลงบนสเตเตอร์จะมีค่าเป็น 0.61 แอมป์ เราจึงใช้ไอซีเบอร์ LM 1458 มาต่อวงจรแบบวงจรเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการตรวจสัญญาณดังกล่าว เราจะได้วงจรตรวจสอบรวมเป็นดังรูปที่ 3.4



ออปแอมป์ส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจสอบที่ใช้งาน

3.2.2 หลักการทำงานของวงจร

จากวงจรข้างต้นออปแอมป์ตัวแรกจะต่อวงจรอยู่ในลักษณะเป็นวงจรขยายผลต่าง ทำหน้าที่ขยายความแตกต่างของสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานที่นำมาต่ออนุกรมไว้กับ อุปกรณ์ตรวจสอบ (ค่า 7.2 โอห์ม) โดยเมื่อเกิดความแตกต่างของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานค่านี้อันเนื่องมาจาก กระแสของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะถัดวงจรของขดลวดทางสเตเตอร์ ออปแอมป์ตัวนี้จะส่งสัญญาณเอาท์พุทออกมา และเราสามารถปรับตั้งค่าระดับแรงดับเปรียบเทียบได้จากความต้านทานแบบปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(R_1)ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จะเป็นผลต่างของแรงดันของอินพุท(ความแตกต่างของสัญญาณในขณะเกิดการลัดวงจรและไม่ลัดวงจร) โดยมีอัตราขยายความแตกต่างตามอัตราขยายของวงจร ออปแอมป์ตัวที่สองซึ่งต่อวงจรอยู่ในลักษณะวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะทำหน้าที่ให้สัญญาณที่ออกมามีความถูกต้องมากขึ้นเนื่องจากวงจรส่วนแรกมีอัตราขยายค่อนข้างสูง ทำให้ในขณะแม้ไม่มีสัญญาณที่เกิดจากการลัดวงจรของขดลวดซึ่งตามทฤษฎีไม่ควรมีสัญญาณออกมาจากออปแอมป์ตัวนี้ แต่ในทางปฏิบัติอาจมีแรงดันค่าน้อยๆออกมาได้จากสัญญาณรบกวนและริปเปิ้ล (ripple) ของสัญญาณที่ตรวจจับ ดังนั้นในออปแอมป์ตัวที่สองนี้จะทำหน้าที่คล้ายดักสัญญาณดังกล่าวโดยตั้งระดับแรงดันเปรียบเทียบไว้ระดับเดียวกับสัญญาณที่ออกจากออปแอมป์ ส่วนที่ 1 ขณะไม่มีสัญญาณจากการลัดวงจรของขดลวดเพื่อให้สัญญาณเอาท์พุท ที่จะนำออกไปแสดงผลนั้น มีค่าเป็น 2 ระดับ คือระดับศูนย์โวลต์เมื่อไม่มีการลัดวงจรของขดลวดและระดับ 18 โวลต์
(เท่ากับไฟเลี้ยงออปแอมป์ตัวที่สอง) โดยเราจะปรับตั้งค่าระดับแรงดันเปรียบเทียบได้จาก ความต้านทานแบบปรับ ค่าได้(R_2) จากนั้นสัญญาณที่ได้จะเข้าวงจรแลตช์แบบแนนเกต ซึ่งทำหน้าที่ให้สัญญาณของหลอด แอลอีดี สองดวงที่จะแสดงผลสภาวะเกิดการลัดวงจรและไม่เกิดการลัดวงจรทำงานที่ต่างสภาวะกันคือเมื่อ หลอดแสดงสัญญาณอันใดอันหนึ่งติด อีกหลอดจะไม่ติด (ดูหลักการทำงานในส่วน ทฤษฎี ของแลตช์แบบแนนเกต)

ส่วนออปแอมป์ตัวที่สามจะต่อวงจรอยู่ในลักษณะวงจรเปรียบเทียบ เพื่อแสดงผลของอุปกรณ์ขณะอุปกรณ์ยกลอยอยู่ และอุปกรณ์ขณะวางอยู่บนสเตเตอร์ โดยเมื่ออุปกรณ์ยกลอยอยู่ จะมีสัญญาณออกมาจากออปแอมป์เท่ากับไฟเลี้ยงของวงจร นั่นคือจะทำให้หลอดแอลอีดีติดแสดงสถานะว่าอุปกรณ์นี้ถูกยกลอยอยู่กลางอากาศ และเมื่อวางอุปกรณ์ บนสเตเตอร์ระดับแรงดันที่ออกมาจากออปแอมป์จะเป็นศูนย์ ทำให้หลอดแอลอีดีดับ ซึ่งเราสามารถปรับตั้งค่าระดับแรงดันได้จากค่าความต้านทานปรับค่าได้ R_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองอุปกรณ์และวงจรแสดงผล

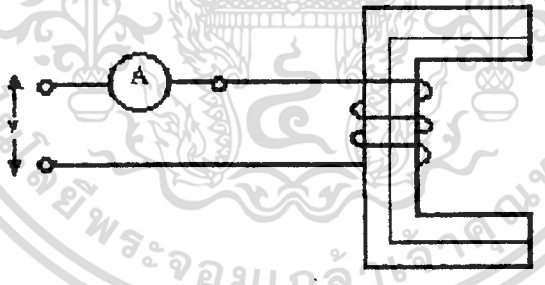
เนื่องจากในโครงงานนี้เราต้องออกแบบลักษณะของอุปกรณ์ตรวจสอบการจัดวงจรให้รูปแบบซึ่งให้ผลออกมาดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบมานี้มีอยู่หลายแบบด้วยกันทำให้ต้องมีการทดสอบที่สภาวะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในแต่ละแบบ เพื่อหาลักษณะของอุปกรณ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำมาใช้ในโครงงาน และทำให้วงจรส่วนแสดงผลสามารถทำงานได้

<u>การทดลองที่ 1</u>

วัตถุประสงค์ เพื่อหารูปแบบของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งาน

การทดลองในแต่ละเงื่อนไข มีวงจรที่ใช้ทดสอบต่างๆ ดังนี้

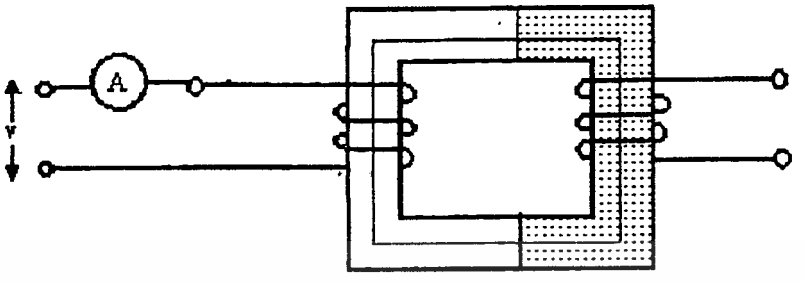
วงจรที่ 1 ทดสอบหาค่ากระแสขณะยกอุปกรณ์ ลอยบนอากาศ โดยการต่อแอมป์มิเตอร์ เข้ากับอุปกรณ์ เพื่อวัดค่ากระแสดังรูป



วงจรที่ 1 วัดค่ากระแสขณะยกอุปกรณ์ลอย

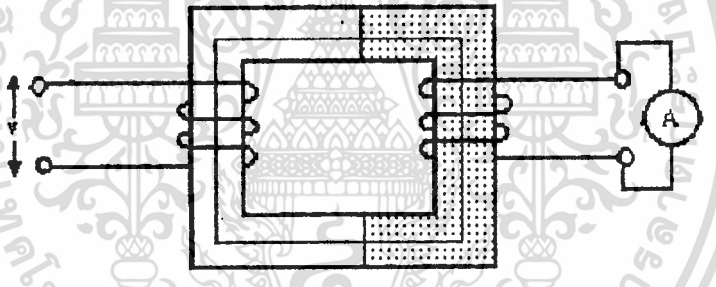
วงจรที่ 2 ทดสอบหาค่ากระแสขณะวางอุปกรณ์ลงบนสเตเตอร์ ใช้แอมป์มิเตอร์ต่ออนุกรมกับวงจรและวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



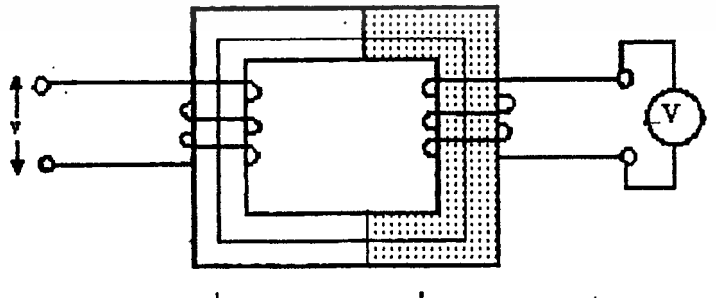
วงจรที่ 2 หาค่ากระแสขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์(ส่วนแรงเงาแทนสเตเตอร์)

วงจรที่ 3 ทดสอบหาค่ากระแสลัดวงจรของขดลวดในสเตเตอร์ โดยการใช้แอมป์มิเตอร์มาลัดวงจรขดลวดในสเตเตอร์ เพื่อวัดค่ากระแสที่เกิดขึ้นในขดลวดจาก การเหนี่ยวนำของอุปกรณ์ตรวจสอบ ดังรูป



วงจรที่ 3 หาค่ากระแสลัดวงจรของขดลวด

วงจรที่ 4 ทดสอบหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวดในสเตเตอร์ โดยการใช้โวลต์มิเตอร์ ต่อเพื่อวัดแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวด ดังรูป



วงจรที่ 4 หาค่าแรงดันเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันในสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง1.1 ขดลวดที่ใช้เบอร์ SWG 32

จำนวนรอบของขดลวด 2800 รอบ

ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ใช้เป็น 0.3 เทสล่า

แรงดันที่ป้อน 15 โวลต์

อุปกรณ์แบบที่ 1 (วางอุปกรณ์ขนานกับสเตเตอร์)

กระแสของอุปกรณ์ขณะยกอุปกรณ์ลอยอยู่	7.37	มิลลิแอมป์
กระแสของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์	4.91	มิลลิแอมป์

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ที่ลัดวงจรอยู่	กระแสลัดวงจร (มิลลิแอมป์)	แรงดันเหนี่ยวนำ (มิลลิโวลต์)
1	0.36	1
2	0.73	3
3	1.07	5
4	1.44	7
5	1.77	9
6	2.18	11
7	2.51	13
8	2.87	15
9	3.20	17
10	3.55	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์แบบที่ 2 (วางอุปกรณ์เฉียงกับสเตเตอร์)

กระแสของอุปกรณ์ขณะยกอุปกรณ์ลอยอยู่	13.55	มิลลิแอมป์
กระแสของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์	9.70	มิลลิแอมป์

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ที่ล้ดวงจรอยู่	กระแสล้ดวงจร (มิลลิแอมป์)	แรงดันเหนี่ยวนำ (มิลลิโวลต์)
1	0.30	1
2	0.60	2
3	0.83	4
4	1.15	6
5	1.45	8
6	1.83	9
7	1.88	11
8	2.04	12
9	2.42	15
10	2.96	16

การทดลอง1.2 ขดลวดที่ใช้เบอร์ SWG 23

จำนวนรอบของขดลวด 300 รอบ

ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ใช้เป็น 0.6 เทสล่า

แรงดันที่ป้อน 3 โวลต์

อุปกรณ์แบบที่ 1 (วางอุปกรณ์แนวขนานกับสเตเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสของอุปกรณ์ขณะยกอุปกรณ์ลอยอยู่	115	มิลลิแอมป์
กระแสของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์	77.5	มิลลิแอมป์

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ที่ล้อมรอบอยู่	กระแสลัดวงจร (มิลลิแอมป์)	แรงดันเหนี่ยวนำ (มิลลิโวลต์)
1	0.72	4
2	1.47	6
3	2.20	11
4	2.93	16
5	3.71	19
6	4.44	23
7	5.08	29
8	5.81	33
9	6.35	39
10	7.17	42

อุปกรณ์แบบที่ 2 (วางอุปกรณ์เฉียงกับสเตเตอร์)

กระแสของอุปกรณ์ขณะยกอุปกรณ์ลอยอยู่	181	มิลลิแอมป์
กระแสของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์	142.5	มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ที่ล้ดวงจรอยู่	กระแสลัดวงจร (มิลลิแอมป์)	แรงดันเหนี่ยวนำ (มิลลิโวลต์)
1	0.38	2
2	1.12	6
3	1.94	8
4	2.27	13
5	3.13	16
6	3.47	19
7	4.30	25
8	4.67	28
9	5.31	31
10	5.93	37

การทดลอง1.3 อุปกรณ์แบบที่ 3

ขดลวดที่ใช้เบอร์ SWG 23

จำนวนรอบของขดลวด 100 รอบ

ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ใช้เป็น 0.6 เทสล่า

แรงดันที่ป้อน 1.60 โวลต์

กระแสของอุปกรณ์ขณะยกอุปกรณ์ลอยอยู่	690	มิลลิแอมป์
กระแสของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์	390	มิลลิแอมป์

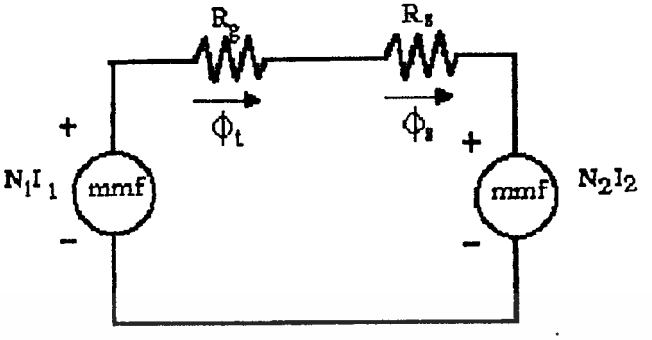
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ที่ล้อมรอบวงจรอยู่	กระแสลัดวงจร (มิลลิแอมป์)	แรงดันเหนี่ยวนำ (มิลลิโวลต์)
1	1.64	8
2	3.28	17
3	4.56	27
4	6.35	37
5	7.80	46
6	9.61	56
7	10.18	66
8	11.83	76
9	13.83	87
10	15.54	96

จากการทดลองข้างต้นเมื่อเรานำผลการทดลองที่ได้มาลองหาวงจรแม่เหล็กเพื่อพิจารณาว่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีส่วนที่ผ่านไปเหนี่ยวนำขดลวดในสเตเตอร์มีค่าเท่าใดเมื่อเทียบกับปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ตรวจสอบ และทำให้ทราบถึงค่าความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์และค่าความต้านทานแม่เหล็กของอากาศที่หน้าสัมผัส ว่ามีค่ามากน้อยอย่างไร ซึ่งจุดนี้จะทำให้เราทราบว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบมานั้นมีความสามารถในการส่งผ่านเส้นแรงแม่เหล็กได้มากน้อยเพียงใด

เมื่อเราพิจารณาลักษณะของอุปกรณ์ และส่วนของสเตเตอร์ เราสามารถหาวงจรแม่เหล็กของส่วนดังกล่าวโดยเลียนแบบวงจรไฟฟ้า ซึ่งเราจะหาวงจรแม่เหล็กในขณะที่นำอุปกรณ์ มาวางบนสเต์เตอร์ จะได้ว่าวงจรแม่เหล็กตามทฤษฎีเป็นดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วงจรเสมือนของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์

โดย mmf คือค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (At)

Rg คือค่าความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์ (At/ Wb)

Rs คือค่าความต้านทานแม่เหล็กของสเตเตอร์ (At/ Wb)

ϕt คือค่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากอุปกรณ์ตรวจสอบ (Wb)

ϕs คือค่าเส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดในสเตเตอร์ (Wb)

N_1 จำนวนรอบของขดลวดของอุปกรณ์

N_2 จำนวนรอบของขดลวดที่ลัดวงจรอยู่

I_1 กระแสที่ป้อนเข้าที่อุปกรณ์ตรวจสอบขณะวางอุปกรณ์ บนสเตเตอร์

I_2 กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นขดลวดในสเตเตอร์

เมื่อเราลองหาค่าเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดจากอุปกรณ์ (ϕt) และเส้นแรงแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดในสเตเตอร์ (ϕs) จะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\phi t = E / (4.44 f N) \quad (4.1)$$

$$\phi s = e / (4.44 f n) \quad (4.2)$$

โดย E แรงดันไฟที่ป้อนให้กับอุปกรณ์

e แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขดลวดในสเตเตอร์

f ความถี่ของไฟฟ้าที่ใช้งาน (50 เฮิรตซ์)

N จำนวนรอบของขดลวดของอุปกรณ์ (มีค่าเป็น 100 รอบ)

n จำนวนรอบของขดลวดที่อยู่ในสเตเตอร์ (พิจารณาที่ 1 รอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง 1.1

ค่าเส้นแรงแม่เหล็ก	อุปกรณ์ในแบบที่ 1	อุปกรณ์ในแบบที่ 2
ϕt (Wb)	$2.41*10^{-5}$	$2.41*10^{-5}$
ϕs (Wb)	$4.50*10^{-6}$	$4.50*10^{-6}$

จากการทดลอง 1.2

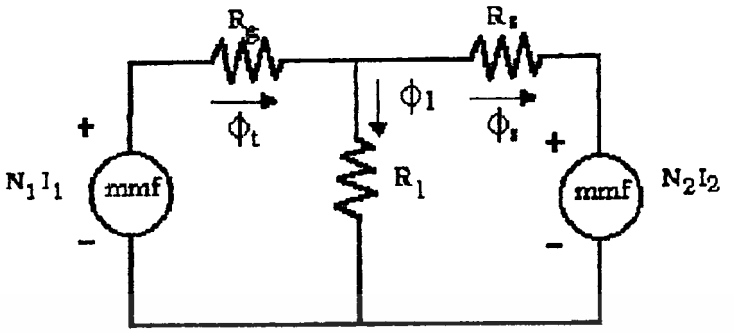
ค่าเส้นแรงแม่เหล็ก	อุปกรณ์ในแบบที่ 1	อุปกรณ์ในแบบที่ 2
ϕt (Wb)	$4.50*10^{-5}$	$4.50*10^{-5}$
ϕs (Wb)	$1.80*10^{-5}$	$9.00*10^{-6}$

จากการทดลอง 1.3

ค่าเส้นแรงแม่เหล็ก	อุปกรณ์ในแบบที่ 3
ϕt (Wb)	$7.20*10^{-5}$
ϕs (Wb)	$3.60*10^{-5}$

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าเส้นแรงแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำขดลวดในสเตเตอร์ มีค่าน้อยกว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกมาจากอุปกรณ์ทั้งสามการทดลองซึ่งตามวงจรแม่เหล็กที่คาดไว้นั้น ค่าเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองควรจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่หายไปอาจเกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล หรือ เส้นแรงแม่เหล็กมีส่วนหนึ่ง วิ่งลัดวงจรระหว่างปลายทั้งสองของอุปกรณ์ ทำให้วงจรแม่เหล็กของอุปกรณ์ ที่ควรเป็นน่าจะเป็นดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



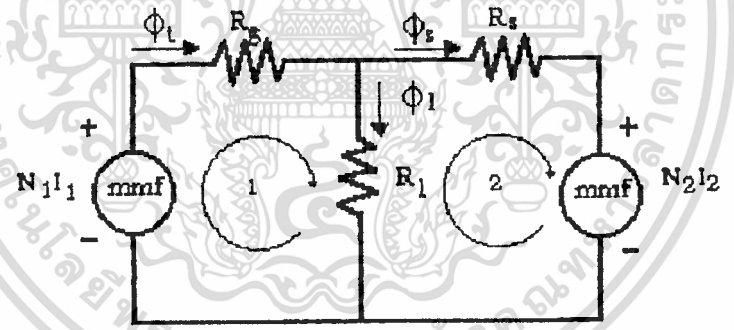
รูปที่ 4.2 วงจรเสมือนของอุปกรณ์ ซึ่งกำหนดขึ้นจากผลการทดลอง

โดย $\phi 1$ เส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดวงจรระหว่างปลายทั้งสองของอุปกรณ์

R1 ค่าความต้านทานแม่เหล็กของเส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดวงจร

และเมื่อเรานำเอาค่าที่ได้จากการทดลองที่ 1.1 - 1.3 มาหาค่าต่างๆ ตามรูปวงจรแม่เหล็กที่ 4.2 เราจะสามารถหาได้จากสมการต่างๆดังต่อไปนี้

พิจารณาการคำนวณค่าต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.3 วงจรเสมือนของอุปกรณ์ ซึ่งกำหนดขึ้นจากผลการทดลอง

จากการใช้สมการ KVL เราจะได้สมการออกมา 2 สมการคือ

$$-N_1I_1 + \phi t\, Rg + \phi 1\, R1 = 0 \qquad (4.3)$$

$$-N_2I_2 - \phi s\, Rs + \phi 1\, R1 = 0 \qquad (4.4)$$

นำสมการที่ 4.3 ลบด้วยสมการที่ 4.4 จะได้ว่า

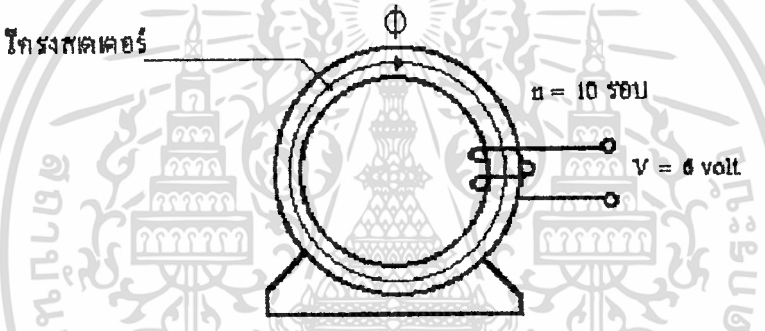
$$-N_1I_1 + \phi t\, Rg + N_2I_2 + \phi s\, Rs = 0 \qquad (4.4)$$

ในสมการที่ 4.44 เรายังไม่ทราบค่า ของความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์ (Rg) และค่าความต้านทานแม่เหล็กของสเตเตอร์ (Rs) โดยเราสามารถหาค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 และค่า μ ในสมการดังกล่าวอาจหาได้จากการทดลองดังต่อไปนี้

ทำการทดลองเพื่อหาค่า μ ซึ่งทำการพันขดลวดในสเตเตอร์ จำนวน 10 รอบ และเนื่องจากเราต้องการเปรียบเทียบผลการทดลอง ของอุปกรณ์ ทั้งสามแบบซึ่งมีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ใช้ออกแบบ 0.6 เทสล่า ทำให้ได้ว่าในการทดลองนี้เราจะป้อนแรงดันเข้าขดลวดในสเตเตอร์ขนาด 1 โวลต์ (คำนวณจากสมการ 2.8) ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแม่เหล็ก

เมื่อเราป้อนแรงดันค่าดังกล่าวพบว่าค่ากระแสที่เกิดขึ้นมีค่า 2.2 แอมป์ และจากการประมาณค่าความยาววงจรแม่เหล็ก ของสเตเตอร์พบว่ามีค่าเป็น 0.361 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัดของวงจรแม่เหล็กเป็น 0.0008 ตารางเมตร เมื่อเราแทนค่าต่างๆในสมการที่ 2.3 จะได้ว่า

$$Ni = B/\mu \cdot l_{av}$$

ดังนั้น $$\mu = B \cdot l_{av} / Ni$$

แทนค่าจากการทดลองได้ว่า

$$\mu = (0.6)(0.361)/(10)(2.2)$$

$$= 0.009845$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากการประมาณค่าความยาวและพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กของวงจรแม่เหล็กสเตเตอร์ที่ หนึ่งร่องสลอทปรากฏว่าได้ค่าเป็น 0.038 เมตร และ 0.00012 ตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อเราแทนค่าในสมการที่ได้จากสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$Rs = l_{av} / \mu A$$

$$= 0.038/(0.009845)(0.00012)$$

$$= 32313 \quad (\text{At/ Wb})$$

จากผลการทดลองที่ 1.2

อุปกรณ์แบบที่ 1

N_1 = 300 รอบ

n_1 = 1 รอบ

I_1 = 77.5 มิลลิแอมป์ (กระแสขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์)

i_1 = 0.72 มิลลิแอมป์ (กระแสลัดวงจรขนาด1 รอบ)

$\phi t = 4.50*10^{-5}$ Wb

$\phi s = 1.80*10^{-5}$ Wb

$\phi l = 2.7*10^{-5}$ Wb ($\phi t - \phi s$)

แทนค่าในสมการ ที่ 4.4 จะได้ว่าความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์มีค่าเป็น

Rg = 503741.5 Wb/t

และแทนค่า Rg ในสมการที่ 4.3 จะได้ว่าค่าความต้านทานแม่เหล็กของเส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดวงจรจะมีค่าเป็น

Rl = 21541.99 Wb/t

อุปกรณ์แบบที่ 2

N_1 = 300 รอบ

n_1 = 1 รอบ

I_1 = 142.5 มิลลิแอมป์ (กระแสขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์)

i_1 = 0.38 มิลลิแอมป์ (กระแสลัดวงจรขนาด1 รอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕt = $4.50*10^{-5}$ Wb

ϕs = $9.00*10^{-6}$ Wb

$\phi 1$ = $3.60*10^{-6}$ Wb ($\phi t - \phi s$)

แทนค่าในสมการ ที่ 4.4 จะได้ว่าความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์มีค่าเป็น

Rg = 943537.4 Wb/t

และแทนค่า Rg ในสมการที่ 4.3 จะได้ว่าค่าความต้านทานแม่เหล็กของเส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดวงจรจะมีค่าเป็น

Rl = 8078.248 Wb/t

จากผลการทดลองที่ 1.3

N_1 = 100 รอบ

n_1 = 1 รอบ

I_1 = 390 มิลลิแอมป์ (กระแสขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์)

i_1 = 1.64 มิลลิแอมป์ (กระแสลัดวงจรขนาด1 รอบ)

ϕt = $7.20*10^{-5}$ Wb

ϕs = $3.60*10^{-5}$ Wb

$\phi 1$ = $3.60*10^{-5}$ Wb ($\phi t - \phi s$)

แทนค่าในสมการ ที่ 4.4 จะได้ว่าความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์มีค่าเป็น

Rg = 525510.1 Wb/t

และแทนค่า Rg ในสมการที่ 4.3 จะได้ว่าค่าความต้านทานแม่เหล็กของเส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดวงจรจะมีค่าเป็น

RL = 32313.01 Wb/t

และค่าที่ได้ในแต่ละแบบแสดงเปรียบเทียบดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	อุปกรณ์แบบที่1	อุปกรณ์แบบที่2	อุปกรณ์แบบที่3
N_1I_1	23.25	42.75	39.00
n_1i_1	0.72*10-3	0.38*10-3	1.64*10-3
Rg	503741.5	943537.4	525510.1
Rs	32313	32313	32313
Rl	21541.99	8078.248	32313.01
ϕt	4.5*10-5	4.5*10-5	7.2*10-5
ϕs	1.8*10-5	0.9*10-5	3.6*10-5
$\phi 1$	2.4*10-5	3.6*10-5	3.6*10-5

จากตารางข้างต้นเมื่อเราพิจารณาถึงค่าต่างๆที่ได้ออกมาเช่น เส้นแรงแม่เหล็กที่ไปเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์ ซึ่งถ้าค่านี้มีค่าสูงเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซนต์กับเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกจากอุปกรณ์ ทั้งหมดก็แสดงว่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กจากอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นส่งผ่านไปยังสเตเตอร์ได้มากกว่า จะทำให้เกิดผลดีคือ จะทำให้ผลของการลัดวงจรได้ชัดเจนกว่า โดยจากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ในแบบที่สามมีปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กดังกล่าวสูงที่สุด หรือเมื่อเราพิจารณาถึงปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกจากอุปกรณ์ ก็จะพบว่าแบบที่ สามมีค่านี้สูงที่สุด และถ้าพิจารณาถึงความต้านทานแม่เหล็กของเส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งลัดระหว่างปลายของอุปกรณ์ ซึ่งถ้าค่านี้มีค่ามากจะเป็นผลดีเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่จะวิ่งลัดผ่านระหว่างปลายของอุปกรณ์จะมีค่าน้อยลง โดยจากการทดลองพบว่าในแบบที่ สาม มีค่านี้สูงที่สุดเช่นกัน

ดังนั้นจากการทดลองที่ 1 จึงพอจะสรุปได้ว่ารูปแบบของอุปกรณ์ที่ดีที่สุดจะเป็นในลักษณะที่สาม ซึ่งจะนำมาใช้เป็นวงจรแม่เหล็กในอุปกรณ์นี้

<u>การทดลองที่ 2</u>

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบอุปกรณ์ในวงจรที่ใช้งานจริงและ ทดสอบวงจรแสดงผล

จะทำการทดสอบวงจรในลักษณะคล้ายกับการทดลองในแบบที่ 1 แต่จะมีค่าความต้านทาน ขนาด 7.2 โอห์ม มาต่ออนุกรมกับอุปกรณ์ และสังเกตการแสดงผลของ

เอกสารนี้เป็น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด แอลอีดี ของสภาวะลัดวงจรและไม่ลัดวงจรกับสภาวะยกอุปกรณ์และวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์ โดย

ขดลวดที่ใช้เบอร์ SWG 23

จำนวนรอบของขดลวด 100 รอบ

แรงดันที่ป้อน 6 โวลต์ (ตกคร่อมอุปกรณ์ตรวจสอบ 2.6 โวลต์)

ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ใช้เป็น 0.97 เทสล่า

กระแสของอุปกรณ์ขณะยกอุปกรณ์ลอยอยู่	680	มิลลิแอมป์
กระแสของอุปกรณ์ขณะวางอุปกรณ์บนสเตเตอร์	610	มิลลิแอมป์

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ที่ลัดวงจรอยู่	กระแสลัดวงจร (มิลลิแอมป์)	แรงดันเหนี่ยวนำ (มิลลิโวลต์)
1	2.82	12
2	5.64	26
3	7.19	46
4	10.2	64
5	11.72	81
6	12.24	88
7	15.67	96
8	17.76	128
9	23.16	143
10	24.40	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผลของวงจรแสดงผลนั้น ปรากฏว่าหลอดแอลอีดีที่แสดงสถานะขณะเกิดการลัดวงจรของขดลวดขนาดหนึ่งรอบนั้น หลอดยังติดไม่แน่นอนมีการกระพริบ แต่ในสภาวะที่ลัดวงจรขนาดสองรอบขึ้นไปหลอดแอลอีดีติดค่อนข้างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

จากการออกแบบลักษณะของอุปกรณ์ ซึ่งเราได้ออกแบบอุปกรณ์ออกมาในสามลักษณะด้วยกันและจากการทดสอบอุปกรณ์ทั้งสามแบบถึงผลของการเหนี่ยวนำขดลวดที่สเตเตอร์ โดยทำการทดลองวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำและกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ ซึ่งในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าแต่ละค่านั้นจะทำการกำหนดให้ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กในแต่ละแบบให้เท่ากัน ทำให้เราสามารถเลือกรูปแบบของอุปกรณ์ที่ดีที่สุดจากทั้งสามแบบออกมาได้ โดยพิจารณาถึงวงจรแม่เหล็กเสมือนของอุปกรณ์ที่ได้ในแต่ละแบบ

จากการทดลองและหาค่าต่างๆดังกล่าวพบว่ารูปแบบของอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการใช้เหล็กแผ่นในลักษณะรูปตัวยูเล็กๆมาวางเรียงซ้อนกัน ซึ่งให้ผลดีในด้านความต้านทานแม่เหล็กของอุปกรณ์จะมีค่าต่ำกว่าในอีกสองแบบ อีกทั้งที่ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเดียวกัน แรงดันเหนี่ยวนำ และ กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์นี้มีค่าสูงกว่าในอีก สองแบบ จากนั้นเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาออกแบบวงจรตรวจสอบโดยใช้วงจรขยายผลต่าง ผลปรากฏว่าจากการแสดงผลโดยหลอดแอลอีดี สามารถตรวจสอบการลัดวงจรของขดลวดขนาดสองรอบขึ้นไปได้ค่อนข้างแน่นอน ซึ่งจากผลการทดสอบใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวปรากฏว่า สามารถใช้งานในการตรวจสอบได้ดีพอควรแต่ก็ยังมีความไม่แน่นอนในการวัดเกิดขึ้นอยู่มากและเป็นผลมาจากสาเหตุต่างๆดังนี้

1. ปัญหาของหน้าสัมผัสของอุปกรณ์กับสเตเตอร์ เนื่องจากถ้าหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ตรวจสอบกับสเตเตอร์ไม่แนบกันพอสมควรจะทำให้เกิดช่องอากาศ ค่าหนึ่งระหว่างหน้าสัมผัสดังกล่าวทำให้เกิดความต้านทานแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศนั้นเป็นผลให้ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กจากอุปกรณ์ ไปปรากฏอยู่ที่ช่องอากาศนั้นด้วยทำให้ส่วนของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เหลือที่จะไปทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขดลวดในสเตเตอร์มีค่าน้อยลงทำให้การใช้งานเกิดความไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อจำกัดในการใช้งานของอุปกรณ์ในทางปฏิบัติยังมีค่อนข้างมากเนื่องจากการทดสอบอุปกรณ์ในการทดลองนั้นทดสอบกับโครงสเตเตอร์เพียงโครงเดียวซึ่งถ้าเรานำอุปกรณ์ ไปใช้งานกับโครงเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบอื่นๆ ซึ่งจะมีความโค้งของสเตเตอร์แตกต่างกันออกไปจะเกิดช่องว่างอากาศ ทำให้เกิดผลแบบในข้อแรกได้ อีกทั้งอุปกรณ์ชิ้นจะสามารถตรวจสอบได้ในกรณีขดลวดลัดวงจรกันเต็มที่ แต่ไม่สามารถตรวจสอบผลบของฉนวนที่เกือบมีการลัดวงจรได้ ซึ่งขดลวดในลักษณะนี้เมื่อใช้งานในเครื่องจักร จะเป็นผลให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้เช่นกัน

ปัญหาในข้อแรกนั้น เนื่องจากโครงของสเตเตอร์มีหลายลักษณะซึ่งมีค่าความโค้งแตกต่างกันออกไปทำให้หน้าสัมผัสของอุปกรณ์ที่มีความกว้างมากจะมีผลของช่องว่างอากาศมากขึ้นดังนั้นปัญหาในข้อนี้อาจแก้ไขไปได้ โดยการให้หน้าสัมผัสของอุปกรณ์มีขนาดเล็กลง เพื่อให้สามารถวางได้แนบกับสเตเตอร์ ได้ทุกๆความโค้งของสเตเตอร์ ส่วนปัญหาในข้อสองเราอาจแก้ไขได้โดยการนำอินเวอร์เตอร์ มาประกอบในการใช้งานซึ่งถ้าเราสามารถปรับความถี่ของแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ได้จะทำให้เราสามารถเพิ่มแรงดันที่จะป้อนให้กับอุปกรณ์ตรวจสอบได้ โดยไม่ทำให้เกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็กซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้น ทำให้เราเห็นผลของการลัดวงจรได้ชัดเจนขึ้น และอาจทำให้เราสามารถตรวจสอบขดลวดในกรณีที่เกือบมีการลัดวงจรได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR
INTEGRATED
CIRCUITS

TYPES TL087, TL088, TL287, TL288
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

D2484, MARCH 1979—REVISED AUGUST 1983

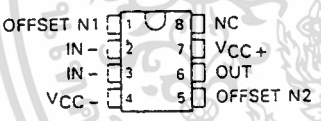
- Low Input Offset Voltage . . . 0.5 mV Max
- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/μs Typ
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ

description

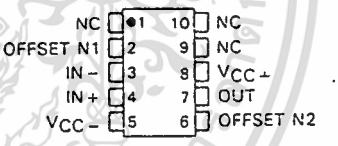
These JFET-input operational amplifiers incorporate well-matched high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. They feature low input offset voltage, high slew rate, low input bias and offset current, and low temperature coefficient of input offset voltage. Offset-voltage adjustment is provided for the TL087 and TL088.

Device types with an "M" suffix are characterized for operation over the full military temperature range of −55°C to 125°C, those with an "I" suffix are characterized for operation from −25°C to 85°C, and those with a "C" suffix are characterized for operation from 0°C to 70°C.

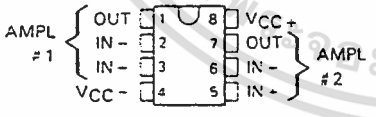
TL087, TL088
D, JG, OR P DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)



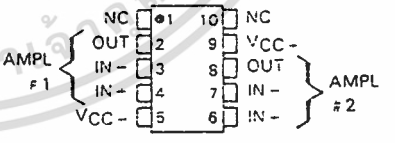
TL088M
U FLAT PACKAGE
(TOP VIEW)



TL287, TL288
D, JG, OR P DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)

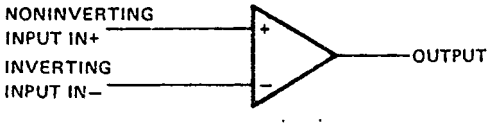


TL288M
U FLAT PACKAGE
(TOP VIEW)



NC—No internal connection

symbol (each amplifier)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		TL088M TL288M	TL087I TL088I TL287I TL288I	TL087C TL088C TL287C TL288C	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}+$ (see Note 1)		18	18	18	V
Supply voltage, $V_{CC}-$ (see Note 1)		−18	−18	−18	V
Differential input voltage (see Note 2)		±30	±30	±30	V
Input voltage (see Notes 1 and 3)		±15	±15	±15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)		unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 5)	JG or P package	680	680	680	mW
	U package	675			
	D package		725	725	
Operating free-air temperature range		−55 to 125	−25 to 85	0 to 70	°C
Storage temperature range		−65 to 150	−65 to 150	−65 to 150	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG or U package	300	300	300	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D or P package		260	260	°C

NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between $V_{CC}-$ and $V_{CC}-$.
2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
5. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Curves, Section 2. In the JG package, TL088M and TL288M chips are alloy-mounted; TL087I, TL088I, TL287I, TL288I, TL087C, TL088C, TL287C, and TL288C chips are glass-mounted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics, $V_{CC\pm}$ = ±15 V

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		TL088M, TL288M			TL087I, TL088I, TL287I, TL288I			TL087C, TL088C, TL287C, TL288C			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	R_S = 50 Ω, V_O = 0, T_A = 25°C	TL087, TL287					0.1	0.5		0.1	0.5	mV
			TL088, TL288		0.1	3		0.1	1		0.1	1	
		R_S = 50 Ω, V_O = 0, T_A = full range	TL087, TL287						2			1.5	
			TL088, TL288			6			3			2.5	
α_{VIO}	Temperature coefficient of input offset voltage	R_S = 50 Ω,	T_A = full range		10			10			10		μV/°C
I_{IO}	Input offset current	T_A = 25°C			5	100		5	100		5	100	pA
		T_A = full range				25			3			2	nA
I_{IB}	Input bias current‡	T_A = 25°C			30	400		30	200		30	200	pA
		T_A = full range				100			20			7	nA
V_{ICR}	Common-mode input voltage range	T_A = 25°C		V_{CC-} +4 to V_{CC+} −4			V_{CC-} +4 to V_{CC+} −4			V_{CC-} +4 to V_{CC+} −4			V
V_{OPP}	Maximum-peak-to-peak output voltage swing	T_A = 25°C,	R_L = 10 kΩ	24	27		24	27		24	27		V
		T_A = full range	R_L ≥ 10 kΩ	24			24			24			
			R_L ≥ 2 kΩ	20			20			20			
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	R_L ≥ 2 kΩ, T_A = 25°C	V_O = ±10 V,	50	200		50	200		50	200		V/mV
		R_L ≥ 2 kΩ, T_A = full range	V_O = ±10 V,	25			25			25			
B_1	Unity-gain bandwidth	T_A = 25°C			3			3			3		MHz
r_i	Input resistance	T_A = 25°C			10^{12}			10^{12}			10^{12}		Ω
CMRR	Common-mode rejection ratio	R_S = 50 Ω, V_{IC} = V_{ICR} min,	V_O = 0, T_A = 25°C	80	95		80	95		80	95		dB
k_{SVR}	Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$)	R_S = 50 Ω, $V_{CC\pm}$ = ±9 V to ±15 V, T_A = 25°C	V_O = 0 V,	80	95		80	95		80	95		dB
I_{CC}	Supply current (per amplifier)	No load, T_A = 25°C	V_O = 0,		1.4	2.8		1.4	2.8		1.4	2.8	mA

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for T_A is −55°C to 125°C for TL_88M; −25°C to 85°C for TL_8_I; and 0°C to 70°C for TL_8_C.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

LM1558/LM1458 Dual Operational Amplifier

General Description

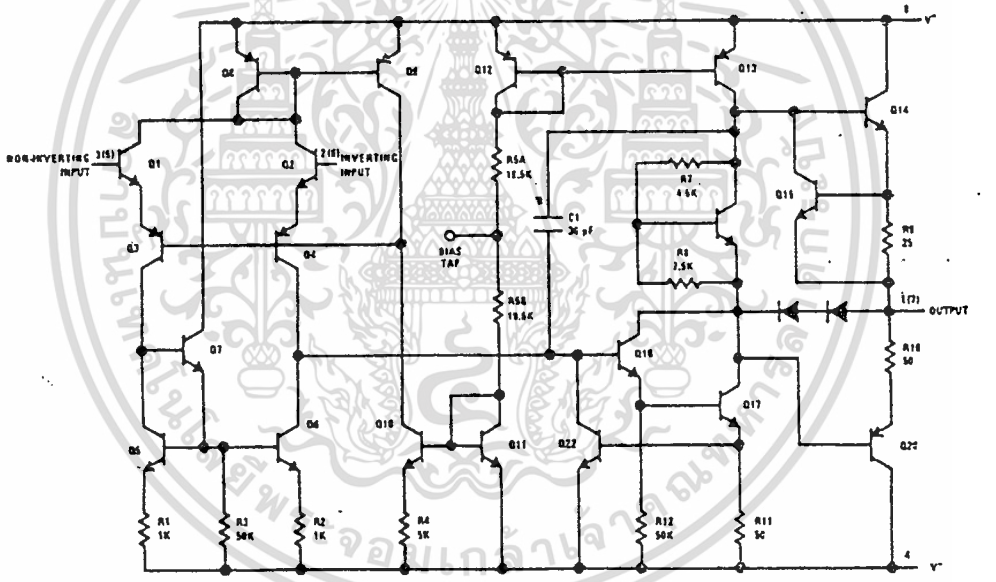
The LM1558 and the LM1458 are general purpose dual operational amplifiers. The two amplifiers share a common bias network and power supply leads. Otherwise, their operation is completely independent.

The LM1458 is identical to the LM1558 except that the LM1458 has its specifications guaranteed over the temperature range from 0°C to +70°C instead of −55°C to +125°C.

Features

- No frequency compensation required
- Short-circuit protection
- Wide common-mode and differential voltage ranges
- Low-power consumption
- 8-lead can and 8-lead mini DIP
- No latch up when input common mode range is exceeded

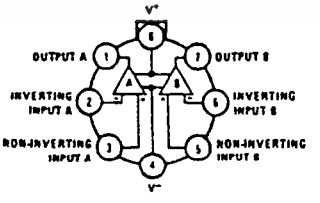
Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7886-1

Note: Numbers in parentheses are pin numbers for amplifier B.

Metal Can Package



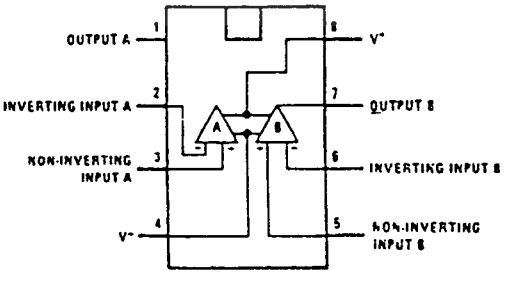
TL/H/7886-2

Top View

Order Number LM1558H or LM1458H

See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package



TL/H/7886-3

Top View

Order Number LM1558J, LM1458J, LM1458M or LM1458N

See NS Package Number J08A, M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 4)

Supply Voltage	
LM1558	±22V
LM1458	±18V
Power Dissipation (Note 1)	
LM1558H/LM1458H	500 mW
LM1458N	400 mW
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V
Output Short-Circuit Duration	Continuous
Operating Temperature Range	
LM1558	−55°C to +125°C
LM1458	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD tolerance (Note 5) 300V

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM1558			LM1458			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25°C$, $R_S \le 10\ k\Omega$		1.0	5.0		1.0	6.0	mV
Input Offset Current	$T_A = 25°C$		80	200		80	200	nA
Input Bias Current	$T_A = 25°C$		200	500		200	500	nA
Input Resistance	$T_A = 25°C$	0.3	1.0		0.3	1.0		MΩ
Supply Current Both Amplifiers	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 15V$		3.0	5.0		3.0	5.6	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 15V$ $V_{OUT} = \pm 10V$, $R_L \ge 2\ k\Omega$	50	160		20	160		V/mV
Input Offset Voltage	$R_S \le 10\ k\Omega$			6.0			7.5	mV
Input Offset Current				500			300	nA
Input Bias Current				1.5			0.8	µA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $V_{OUT} = \pm 10V$ $R_L \ge k\Omega$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\ k\Omega$	±12	±14		±12	±14		V
	$R_L = 2\ k\Omega$	±10	±13		±10	±13		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	±12			±12			V
Common Mode Rejection Ratio	$R_S \le 10\ k\Omega$	70	90		70	90		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_S \le 10\ k\Omega$	77	96		77	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM1558 is 150°C, while that of the LM1458 is 100°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 20°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 167°C/W, junction to ambient.

Note 2: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $-55°C \le T_A \le 125°C$, unless otherwise specified. With the LM1458, however, all specifications are limited to $0°C \le T_A \le 70°C$ and $V_S = \pm 15V$.

Note 4: Refer to RETS 1558V for LM1558J and LM1558H military specifications.

Note 5: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5410/7410 Triple 3- Input Positive-NAND Gate

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S10	J①			W①	SN54H10	J①			W①	SN54LS10	J①			W①	SN5410	J①			W①	SN54L10	J①	N①	T①	
	SN74S10	J①	N①			SN74H10	J①	N①			SN74LS10	J①	N①			SN7410	J①	N①			SN74L10	J①	N①	T①	
FAIRCHILD	FN54S10/FN74S10	P①			F①	FM54H10/FM74H10	D①			F①	FN54LS10/FN74LS10	D①			F①	FM5410/FM7410	D①			F①					
	FC74S10/FC3S10	P①	P①			FC74H10/FC3H10	D①	P①			FC74LS10/FC3LS10	D①	P①			FC7410/FC3N10	D①			F①					
MOTOROLA						MC3105	L①			F①						MC5410	L①			F①					
						MC3005	L①	P①		F①	SN74LS10		P①			MC7410	L①	P①		F①					
N.S.C.	DM54S10		①			DM54H10	J①	N①			DM54LS10					DM5410	J①	N①		F①					
	DM74S10		N①			DM74H10	J①	N①			DM74LS10					DM7410	J①	N①		F①					
PHILIPS	N74S10		①			GJH121/74H10		①			N74LS10		①			FJH121/7410		①							
SIGNETICS	S54S10					S54H10	F①	A①		W①						S5410	F①	A①		W①					
	N74S10					N74H10	F①	A①			N74LS10		A①			N7410	F①	A①							
SIEMENS																FLH111		①							
FUJITSU						MB602	①	M①			74LS10		M①			MB401	①	M①							
HITACHI	HD74S10		①	P①							HD74LS10		P①			HD7410/HD2507	①	P①							
MITSUBISHI	M55010		P①								M74LS10		P①			M53210		P①							
NEC	μPB2S10	D①									74LS10		C①			μPB202	D①	C①							
TOSHIBA																TD3410A		P①							

Electrical Characteristics SN54LS10/SN74LS10

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	−55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Interemitter voltage	5.5V	Storage temperature range		−65°C to 150°C

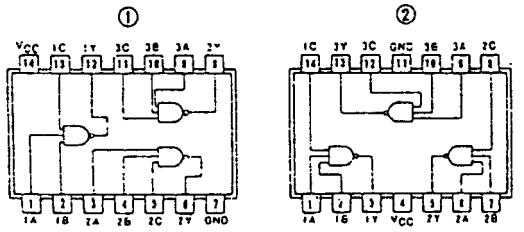
recommended operating conditions

	SN54LS10			SN74LS10			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I_{OH}			−400			−400	μA
Low-level output current I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature T_A	−55		125	0		70	°C

electirstics over recommended operating over free-air temperature range

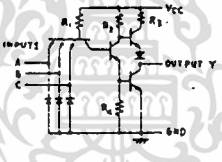
PARAMETER		TEST OCNDITIONS †		MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC}=MIN, I_I=−18mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC}=MIN, V_{IL}=V_{IL} max, I_{OH}=MAX		2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC}=MIN, V_{IH}=2V, I_{OL}=4mA				0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC}=MAX, V_I=7V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC}=MAX, V_{IH}=2.7V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC}=MAX, V_{IL}=0.4V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current *	V_{CC}=MAX	54LS Family	−20		−100	mA
			74LS Family	−20		−100	
I_{CCH}	Supply current	V_{CC}=MAX	Total, outputs high		0.6	1.2	mA
I_{CCL}	Supply current		Total, outputs low		1.8	3.3	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC}=5V	Average per gate (50% duty cycle)		0.4		mA
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V_{CC}=5V, C_L=15pF,	T_A=25°C, R_L=2kΩ		9	15	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output				10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



positive logic :
$Y=\overline{ABC}$

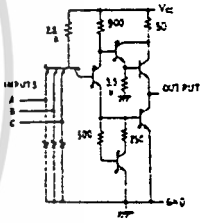
Schematics (each gate)



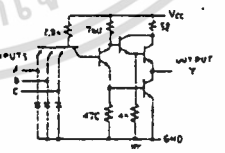
CIRCUIT	R_1	R_2	R_3	R_4
'10	4k	1.6k	130	1k
'L10	140k	20k	500	12k

Input clamp diodes not on SN54L*/SN74L* circuits.

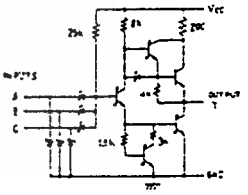
'10, 'L10 CIRCUITS



'S10 CIRCUIT



'H10 CIRCUIT



'LS10 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC}=5V, T_A=25°C.
* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H,/SN74H' and SN54S'/SN74S', duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กิตติกรรมประกาศ</u>

นาย กิตติชัย ชุริกานนท์ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้งานในโครงงานนี้ รวมทั้งแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาทางด้านเทคนิค ข้อมูลในการทำรายงาน และ สนับสนุนเงิน ทุนในการทำโครงงานนี้ และให้กำลังใจจนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

(1) พิชิต ลำยอง , เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537

(2) ดร. โคทม อารียา , วงจรอีเล็กทรอนิกส์เล่ม 3 วงจรไม่เชิงเส้น และวงจรกำลัง , คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) มงคล ทองสงคราม ,ทฤษฎีวงจรดิจิตอล , พิมพ์ครั้งที่ 1 / 2536

(4) A. E. Fitzgerald Charles Kingsley Stephen D. Umans , ELECTRIC MACHINERY , Fifth edition / 1992

(5) Stephen R Fleeman , Electronic Devics Discrete and Intrgrated , Prentice Hall International Edition , 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้