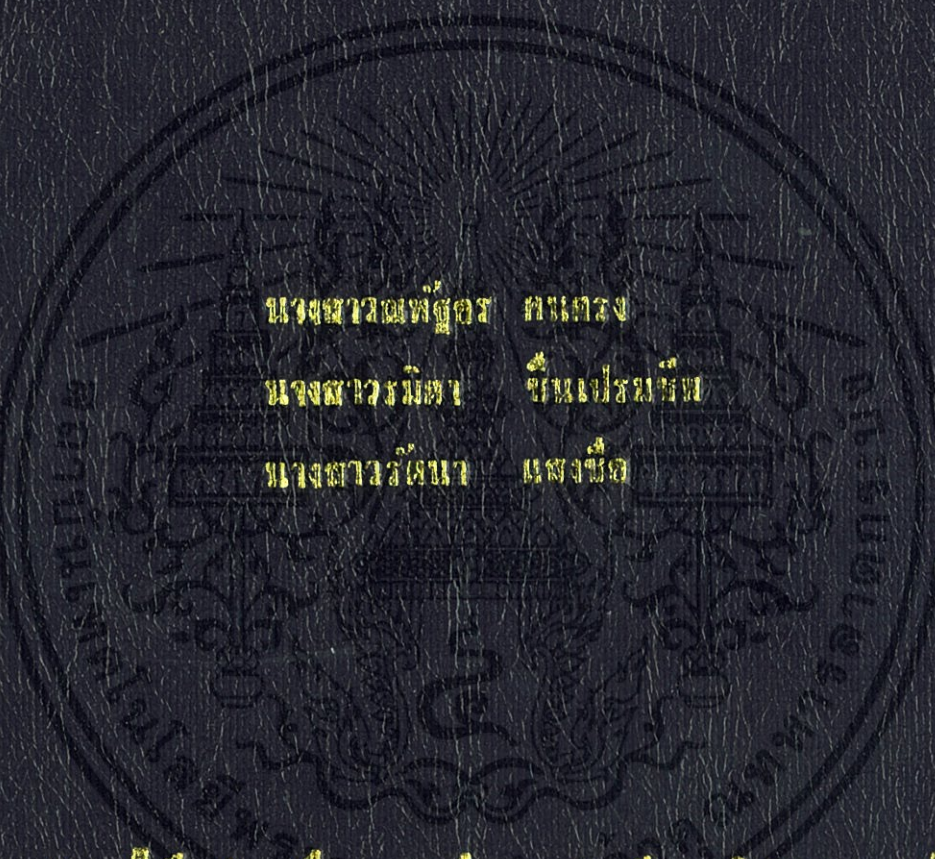


การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
DEVELOPMENT OF GENERATOR FOR STIRLING ENGINE



นางสาวณพัทธ์อรุณ คณกร

นางสาวรณิศา ชื่นเปรมชีพ

นางสาวรณิศา แสงน้อย

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

ฉบับเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

DEVELOPMENT OF GENERATOR FOR STIRLING ENGINE



นางสาวณพัชร์

คนตรง

นางสาวรมิตา

ชื่นเปรมชีพ

นางสาวรัตนา

แสงซื่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

DEVELOPMENT OF GENERATOR FOR STIRLING ENGINE



MISS NAPATTAON

KONTRONG

MISS RAMITA

CHUENPRAMCHEEP

MISS RATTANA

SAENG SUE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
 DEVELOPMENT OF GENERATOR FOR STIRLING ENGINE


ชื่อนักศึกษา นางสาวณพัชอร คนตรง
 นางสาวมิตา ชื่นเปรมชีพ
 นางสาวรัตนา แสงชื่อ

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กิริยฤทธิ์ ศรีนวลจันทร์	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	
รศ.สาหรัย เล็กชะอุ่ม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณพัชร์ คนตรง
	นางสาวรมิตา ชื่นเปรมชีพ
	นางสาวรัตนา แสงชื่อ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำพลังงานกลการหมุนที่มีแรงบิดต่ำประมาณ 1.800 N-mm. จากชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาเป็นพลังงานกลในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การพัฒนาจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว คือ 3 - 7 โวลต์และ 3 - 12 โวลต์ เพื่อหาค่าแรงบิดต่ำสุดของเครื่องกำเนิด และการออกแบบสร้างสนามแม่เหล็กด้วยขดลวดทองแดงเบอร์ 28 พันจำนวนรอบ 800 รอบ 1200 รอบ และขดลวดทองแดงเบอร์ 34 จำนวนรอบ 2400 รอบ และ 3000 รอบ ตามลำดับ บนแกนอากาศที่ใช้วัสดุพลาสติกกรองรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และยาว 1.7 เซนติเมตร การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พัฒนาจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกจะเป็นการหาค่าแรงบิดต่ำสุดเพื่อเปลี่ยนพลังงานกลในการหมุนไปเป็นกำลังไฟฟ้า และตอนที่สองการหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด ผลการทดสอบพบว่า กำลังการหมุนของมอเตอร์ขนาด 3 - 12 โวลต์ มีกำลังในการหมุนและแรงบิดต่ำสุดคือ 837 mW และ 1.80 N-mm ตามลำดับ โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากการพันขดลวดเบอร์ 28 จำนวนรอบ 1200 รอบ มีค่า 7.830 V_{rms} และ 35 mA มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 3.823% เมื่อนำไปทดสอบกับหลอดไฟ LED สีขาวขนาด 5 mm. พบว่าสามารถเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ LED ได้ทั้งหมด 300 ดวง แต่ให้ความสว่างมากที่สุด 200 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คำสำคัญ : การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, พลังงานกลการหมุน, กำลังไฟฟ้า
 ไม่ว่าจะฉีกเอาเพียงส่วน อื่นทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of generator for Stirling Engine
Students	Miss.Napattaon Kontrong Miss.Ramita Chuenpramcheep Miss.Rattana Saengsue
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Sarai Lekchaum

ABSTRACT

This special project is the development of a generator at the mechanical energy of rotation with low torque is 1.800 N-mm. from the Stirling engine into mechanical energy to rotate a generator. The development uses 2 DC motor are 3-7 Volts and 3 to 12 Volts for low torque of the generator and the design a magnetic field with a copper coil , No. 28 are number of 800 and 1200 rpm and No. 34 are number of 2400 and 3000 rpm respectively, on the air core are made of plastic ,which has a diameter of 4 cm and long 1.7 cm. The test generator is divided into two parts, the first part find a minimum torque to change mechanical energy of rotation into electrical power and the second part find the efficiency of generator to power supply for the load. The results showed that the rotation of motor is 3-12 Volt has the value of the rotate power and minimum torque are 1.80 N-mm and 837 mW respectively. The voltage and current from the copper coil, which No. 28 is number of 1200 rpm with 7.830 V_{rms} and 35 mA, and the efficiency of the generator is equal to 3.823%. When the tested with a white LED bulb, which size is 5 mm, were found to be a source of electricity to the LED bulbs are 300, but the maximum brightness of 200.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Keywords : development of generator, the mechanical energy of rotation, electrical power

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กช่อม ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ติดต่อมา และยังเป็นผู้เสนอแนะข้อสงสัยรวมถึงตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่จัดทำโครงการพิเศษ จึงทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ ความเข้าใจ และแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณบุญถือ แสงชื่อ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับการเลือกใช้นขนาดของขดลวดและให้ความช่วยเหลือในเรื่องของการออกแบบเครื่องพันขดลวด จึงทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณ คุณชนินทร์ เหล่าจิกร ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้คณะผู้จัดทำมีความเข้าใจในเรื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ตลอดมา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงและขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้คำแนะนำและเป็นแรงผลักดันที่สำคัญให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวณพัทธ์อร คนตรง

นางสาวรมิตา ชื่นเปรมชีพ

นางสาวรัตนา แสงชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.1.1 ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.2 แม่เหล็กและสารแม่เหล็ก	5
2.2.1 แม่เหล็ก (magnet)	5
2.2.2 สารแม่เหล็ก (Ferromagnetic)	5
2.2.3 แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism)	6
2.2.4 แม่เหล็กถาวร (Power Magnetic)	6
2.3 กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's Law of induction)	8
2.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Emf)	9
2.5 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic coil)	10
2.5.1 ชนิดของขดลวด	12

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า	
2.5.2	ปัจจัยที่มีผลต่อความเหนี่ยวนำ	13
2.5.3	ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (Inductor in AC Circuits)	14
2.5.4	อินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance)	16
2.6	ไดโอดเปล่งแสง (LED: Light Emitting Diode)	19
2.6.1	โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง	20
2.6.2	หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง	20
2.6.3	สีของไดโอดเปล่งแสง	20
2.7	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)	22
2.7.1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	22
2.7.1.2	การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	24
2.7.2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	24
2.8	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	25
2.8.1	ส่วนประกอบภาคพลังงานอินพุต	27
2.8.2	ชุดลดทอนแรงบิด (Torque reducer)	34
2.8.3	ส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้า	36
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	40
3.1	การศึกษาระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงบิดต่ำ	40
3.2	การสร้างและการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	41
3.2.1	ออกแบบและประกอบภาคพลังงานอินพุตในส่วนวงจรปรับแรงดัน	41
3.3	การออกแบบและประกอบเครื่องพันขดลวด	43
3.4	การออกแบบและประกอบส่วนเอาต์พุต	49
3.5	การทดสอบหาประสิทธิภาพ	51
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	52
4.1	การทดสอบและวิเคราะห์กำลังการหมุนที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่อง	52
4.1.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 การทดสอบและวิเคราะห์หม้อเตอร์เพื่อหาค่าแรงบิด	52
4.1.3 การวิเคราะห์หาค่าความเร็วเชิงมุมและกำลังมอเตอร์	54
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การกำเนิดไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	55
4.2.1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	55
4.2.2 การวิเคราะห์คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	59
4.3 การวิเคราะห์การเหนี่ยวนำของวงจรขดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	61
4.3.1 การทดสอบและวิเคราะห์หาความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำหรือค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์	61
4.3.2 การคำนวณวิเคราะห์หาค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	62
4.3.3 การวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นกับตัวเหนี่ยวนำ	65
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลการทดลองจากการวัดและวิเคราะห์	71
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	72
5.3 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	2
2.1 แสดงชนิดของเนื้อสารต่อค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทำให้สารแม่เหล็กอิ่มตัว	7
2.2 แสดงค่าความซึมซาบได้ของวัสดุชนิดต่างๆ	8
2.3 แสดงคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงในช่วงความยาวแตกต่างกัน	21
2.4 ตารางแสดงผลความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ 3V	33
2.5 ตารางแสดงผลการวัดและคำนวณหาทอร์กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบ	36
2.6 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบ	39
4.1 แสดงผลการวัดและคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 ที่มีรัศมีแกนมอเตอร์ 1.000 mm.	53
4.2 แสดงผลการวัดและคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ตัวที่ 2 ที่มีรัศมีแกนมอเตอร์ 1.000 mm.	54
4.3 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 28 จำนวน 800 รอบ	57
4.4 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 28 จำนวน 1200 รอบ	57
4.5 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 34 จำนวน 2400 รอบ	58
4.6 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 34 จำนวน 3000 รอบ	58
4.7 แสดงผลการวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของขดลวดเบอร์ 28 จำนวน 1200 รอบ	62
4.8 แสดงการคำนวณค่า $\Delta i / \Delta t$, V_L ที่เวลาต่างๆ ใน 1 คาบเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 7.111 V ที่ความถี่ 11.78 Hz ซึ่งจ่ายให้กับความเหนี่ยวนำของขดลวด	66
4.9 แสดงการคำนวณค่าแรงดัน (V) และกระแส (I) ที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	69
5.1 แสดงความเร็วเชิงมุมของจานแม่เหล็กเทียบกับ $V_{rms}(V)$ และ $I(A)$	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	หลักการขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก	4
2.2	หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด	4
2.3	ชุดการทดลองของฟาราเดย์	8
2.4	การทดสอบกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์โดยการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านขดลวด	9
2.5	การต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	10
2.6	การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อพันตัวนำบนสารแม่เหล็กที่มีแหล่งจ่ายเป็นกระแสไฟตรง	10
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และ H ที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสตรง	11
2.8	การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อพันตัวนำบนสารแม่เหล็กที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสสลับ	11
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และ H ที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสสลับ	12
2.10	ตัวอย่างขดลวดชนิดแกนอากาศ	14
2.11	ตัวอย่างขดลวดที่พันรอบวัสดุ	14
2.12	ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	15
2.13	แสดงความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเหนี่ยวนำและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเทียบเวลา	16
2.14	แสดงผลของอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ที่มีค่ามากขึ้นเมื่อต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	16
2.15	แสดงวงจรที่ใช้ในการหาค่า X_L	17
2.16	แสดงการต่อขดลวดแบบอนุกรม	18
2.17	แสดงการต่อขดลวดแบบขนาน	19
2.18	ไดโอดเปล่งแสง (LED)	19
2.19	แสดงโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง	20
2.20	กราฟแสดงการไบอัสกระแสของไดโอดเปล่งแสงในแต่ละสี	21
2.21	หลักการการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	22
2.22	โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	23
2.23	หลักการการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	25
2.24	แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบสำหรับเครื่องยนสเตอร์ลิง	25
2.25	(ก) แสดงส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	26
2.25	(ข) แสดงแผนภาพชุดส่วนประกอบเครื่องกำเนิด	26
2.26	ส่วนที่ 1 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ส่วนที่ 2 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	27
2.28 ส่วนที่ 3 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	27
2.29 ส่วนประกอบเชิงกลในการลดทอร์ก	28
2.30 ส่วนหมุนจากแผ่นจานติดแม่เหล็ก	28
2.31 ส่วนลดทอนแรงส่วนที่สอง	30
2.32 ส่วนลดทอนแรงส่วนที่สาม	31
2.33 ส่วนของการลดทอนแรงพลังงานอินพุต	32
2.34 พูเลย์ (Pulley) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 mm	34
2.35 พูเลย์ (Pulley) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm	34
2.36 สายพานแบบมีร่องฟันเส้นรอบวง 280 mm	35
2.37 สายพานแบบเรียบรอบวง 149 mm	35
2.38 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 mm	35
2.39 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm	36
2.40 ส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	37
2.41 แม่เหล็กถาวรชนิดนีโอดีเมียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 mm	37
2.42 แผ่นเหล็กจานวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm	37
2.43 ขดลวดทองแดงเบอร์ 26 พันรอบแกนอากาศ เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm 600 รอบ	38
2.44 แผ่นเหล็กสำหรับยึดเกาะขดลวด	38
3.1 แผนภาพระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	40
3.2 รีกิวเลเตอร์ LM723 และวงจรสมมูลภายในและขาต่าง ๆ	41
3.3 (ก) วงจรปรับค่าแรงดันตั้งแต่ 0 – 30 V โดยใช้รีกิวเลเตอร์ LM723	41
3.3 (ข) แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรปรับแรงดัน	42
3.4 วงจรปรับแรงดันคงที่ 5V	42
3.5 ชุดเครื่องพันขดลวด	43
3.6 แท่นวางแกนขดลวด	43
3.7 ม้วนขดลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm	44
3.8 สกรู ความยาว 14 cm	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 สกรู ความยาว 14 cm	44
3.9 แท่นติดตั้ง ความสูง 16.5 cm	44
3.10 รอกดึงขดลวด	45
3.11 รอกดึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm	45
3.12 รอกดึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm	45
3.13 สกรู ขนาดความยาว 12.5 cm	46
3.14 แท่นติดตั้งขนาดความสูง 2.4 cm	46
3.15 แท่นติดตั้ง ขนาดความสูง 5.3 cm	46
3.16 ตำแหน่งที่ใส่แกนขดลวด	47
3.17 แท่นติดตั้งเครื่องนับรอบแบบอนาล็อก ขนาดความสูง 24 cm	47
3.18 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm แบบที่ 1	48
3.19 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm แบบที่ 2	48
3.20 สายพานแบบกลมเส้นรอบวง 149 mm 1 เส้น	48
3.21 แกนพันขดลวด	48
3.22 แท่นไม้รักษาสมดุล ขนาดความสูง 8 cm	49
3.23 บริดจ์ไดโอดเบอร์ RS204	49
3.24 วงจรภาคพลังงานเอาต์พุตหรือโหลด	50
3.25 ลายทองแดงของวงจรเรกติไฟเออร์โดยใช้บริดจ์ไดโอด RS204	50
3.26 ลายทองแดงและแบบสำเร็จของวงจรไดโอดเปล่งแสงแบบขนาน 200 ดวง	50
4.1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ในการทดสอบมอเตอร์เพื่อหาค่าแรงบิด	52
4.2 มอเตอร์ที่นำมาใช้ทดสอบหาค่าทอร์ก	53
4.3 แสดงแกนพันขดลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร	55
4.4 แสดงการติดตั้งแกนพันขดลวดทั้ง 4 คอยด์	56
4.5 วงจรขดลวดแบบขนาน	56
4.6 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	56
4.7 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	62

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นกับตัวเหนี่ยวนำหรือขดลวด ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.8	68
4.9 แสดงการเปรียบเทียบรูปคลื่นของกระแส I และแรงดัน (V) ที่เกิดขึ้นกับตัวเหนี่ยวนำ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งกระแสจะล่าหลังกับแรงดันเป็นมุม 90°	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์

ความหมาย

ε	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)
N	จำนวนรอบของขดลวด
ϕ_B	ฟลักซ์แม่เหล็กที่พุ่งผ่านพื้นที่ของวงจรรีบ (Wb)
B	สนามแม่เหล็ก (<i>Tesla</i>)
A	พื้นที่ของขดลวด (m^2)
μ	สภาพซึมซาบของแกน (Permeability)
l	ความยาวของแกน (m)
L	ค่าความเหนี่ยวนำ (mH)
I	กระแสไฟฟ้าในวงจรรบใดๆ (A)
V_L	ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำ (H)
X_L	ค่าต้านทานรวมของวงจรรีบไฟฟ้กระแสสลับ (Ω)
ω	ค่าความเร็วเชิงมุม (rad / s)
ω_1	ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในหน่วย (rad / s)
f	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับ (Hz)
f_B	ความถี่ของแผ่นจานติดแม่เหล็ก (Hz)
f_H	ความถี่ของสัญญาณของ Hall sensor ที่วัดได้ (Hz)
F	แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับรัศมี (N)
r_A	รัศมีของจานแม่เหล็ก (สีน้ำเงิน) ที่ตำแหน่ง A (m)
r_B	รัศมีของพูล์เล็ก (สีน้ำตาล) ที่ตำแหน่ง B (m)
r_C	รัศมีของพูล์ใหญ่ (สีส้ม) ที่ตำแหน่ง C (m)
τ	แรงบิด ($N-m$)
rpm	ความเร็วรอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คำประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กตามหลักการของไมเคิล ฟาราเดย์ คือ การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กผ่านขดลวดตัวนำ ซึ่งแหล่งกำเนิดพลังงานกลมีอยู่หลายแหล่งเช่น กังหันน้ำ กังหันลมและรวมไปถึงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลการหมุน โดยนำมาใช้เป็นอินพุตให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจากนั้นส่วนของเอาต์พุตจะทำหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับโหลด

โครงการพิเศษนี้สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำพลังงานกลการหมุนที่มีแรงบิดต่ำจากชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาเป็นพลังงานอินพุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะมุ่งเน้นทำการออกแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีแรงบิดต่ำเพื่อเหมาะกับการประยุกต์ใช้กับชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาให้สามารถไปประยุกต์ใช้งานได้จริงกับชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและปรับปรุงส่วนของการเปลี่ยนพลังงานกลการหมุนที่มีแรงบิดต่ำจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สามารถประยุกต์ใช้กับชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ศึกษาและวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบในส่วนของการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.4 แสดงขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
มิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ. 2556	- ค้นคว้า รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า - ค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อทำการออกแบบในส่วนที่ผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
สิงหาคม – กันยายน พ.ศ. 2556	- ค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อทำการออกแบบในส่วนของการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2556	- ทำการสร้างในส่วนของการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า - ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ
มกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557	- นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า - สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น
2. สามารถวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเป็น

เอกสารนี้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

ไมเคิล ฟาราเดย์ เกิดเมื่อวันที่ 22 กันยายน ปีค.ศ.1791 เป็นบุตรของช่างเหล็กชาวอังกฤษ เนื่องจากมีฐานะที่ไม่ค่อยดีจึงทำให้ฟาราเดย์ได้รับการศึกษาน้อย และยังไม่ทันเรียนสำเร็จก็ต้องออกจากโรงเรียนกลางคันและใช้ชีวิตอยู่ในสลัม โดยไม่มีแว้วว่าจะเติบโตขึ้นเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียง

เมื่อมีอายุได้ 13 ปี ฟาราเดย์ได้ทำงานเป็นเด็กส่งหนังสือพิมพ์ และทำงานเย็บปกหนังสือในร้านขายหนังสืออีกด้วย จากงานนี้จึงทำให้เขามีใจรักหนังสือและหาโอกาสอ่านอยู่เสมอ โดยเฉพาะหนังสือที่เกี่ยวกับวิชาไฟฟ้าที่เขาสนใจที่สุด ซึ่งเขามักจะลองทำการทดลองด้วยตนเอง และยังหาโอกาสไปฟังการบรรยายของนักวิทยาศาสตร์ต่างๆอยู่เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบรรยายของเซอร์อัมฟรีย์ เดวีส์ ซึ่งเขาจะไปร่วมฟังทุกครั้งและยังส่งจดหมายเพื่อแสดงความประสงค์ที่จะขอไปเป็นเด็กรับใช้ของเซอร์อัมฟรีย์ เมื่อเซอร์อัมฟรีย์เห็นชายหนุ่มมีความสนใจอย่างแรงกล้าจึงรับเข้าทำงานเป็นคนล้างเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในห้องเครื่องมือ ทำให้เขาได้มีโอกาสศึกษาวิชาทางวิทยาศาสตร์จากเซอร์อัมฟรีย์จนเกิดความชำนาญจึงได้รับหน้าที่เป็นผู้ช่วยและติดตามในการเดินทางไปบรรยายทุกครั้ง

ในปีค.ศ.1821 ขณะที่ไมเคิล ฟาราเดย์กำลังทำการทดลองเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า เขาก็สังเกตเห็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่กระแสไฟฟ้าเดินทางตามเส้นลวดแล้วทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กรอบๆเส้นลวด เมื่อนำเอาเข็มแม่เหล็กไปวางไว้ใกล้กระแสเสนี้ก็เข็มไปเรื่อยๆ ด้วยหลักการนี้ฟาราเดย์จึงทดลองประดิษฐ์ไดนาโมขนาดเล็กๆ ขึ้น ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของไดนาโมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

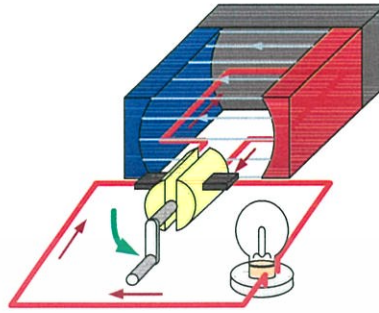
และเมื่ออายุได้ 76 ปี ที่แฮมป์ตันคอร์ท ไมเคิล ฟาราเดย์ ล้มป่วยเป็นโรคความจำเสื่อมในบั้นปลายของชีวิต และถึงแก่กรรมเมื่อปี ค.ศ.1867

2.1.1 ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแม่เหล็กจะมาจากหลักการในการทดลองของฟาราเดย์พบว่า “เมื่อนำแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวดหรือนำขดลวดเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดนั้น” ซึ่งหลักการการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 2 แบบ คือ

- 1.) หลักการขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก
- 2.) หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด

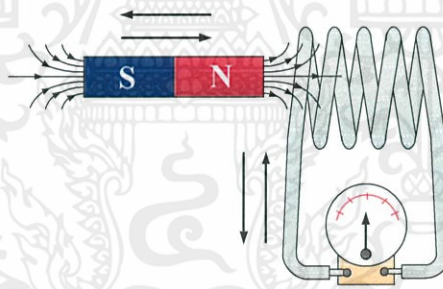
1.) หลักการขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.1 หลักการขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

หลักการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยวิธีการของขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็กมีหลักการดังนี้ โดยให้ขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วนำขดลวดตัวนำมาวางระหว่างขั้วแม่เหล็กแล้วหาพลังงานมาหมุนขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำนี้ ดังรูปที่ 2.1

2.) หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด



รูปที่ 2.2 หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด

หลักการกำเนิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยวิธีการของสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดมีหลักการดังนี้ โดยให้ขดลวดตัวนำอยู่กับที่แล้วหาพลังงานกลมาขับให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดตัวนำ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำนี้ ดังรูปที่ 2.2

กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. จำนวนขดลวดถ้าขดลวดมีจำนวนมากก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากขึ้น ไม่ว่ากรณีใดก็ตามก็ขึ้น

3. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแม่เหล็ก ถ้ามีการเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กเร็วขึ้นก็จะมี การเกิดแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ซึ่งต่อมาได้นำหลักการนี้มาคิดประดิษฐ์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้กฎต่างๆเหล่านี้เป็นตัวสร้างกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์: Faraday's law of induction กล่าวว่า “ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก”

กฎมือขวาของเฟลมมิงหรือกฎไดนาโม: Fleming's right-hand rule or dynamo rule กล่าวว่า “ทิศของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะหาได้จากทิศของสนามแม่เหล็กและทิศการเคลื่อนที่โดยใช้มือขวา”

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโม: Generator or dynamo เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.2 แม่เหล็กและสารแม่เหล็ก

นิยาม: แม่เหล็กคือ สารประกอบของเหล็กและออกซิเจน ซึ่งเป็นวัตถุที่สามารถดูดสารแม่เหล็กบางชนิดได้

นิยาม: สนามแม่เหล็กคือ บริเวณหรือขอบเขตที่แม่เหล็กส่งเส้นแรงแม่เหล็กที่มีอำนาจการดึงดูดออกไปได้ถึงคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก

นิยาม: ฟลักซ์แม่เหล็กคือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก จะใช้สัญลักษณ์ ϕ_B

นิยาม: ความเข้มสนามแม่เหล็ก (B) คือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ โดยเส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉาก

2.2.1 แม่เหล็ก (magnet)

แม่เหล็กเป็นของแข็งชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษสามารถดึงดูดสารบางชนิดได้ โดยทั่วไปแม่เหล็กมี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือกับขั้วใต้ เมื่อนำแม่เหล็กมาผูกห้อยในแนวตั้งแล้วปล่อยให้หมุนได้อย่างอิสระจะพบว่า แม่เหล็กจะหยุดนิ่งและวางตัวในแนวทิศเหนือได้เสมอ จึงเรียกด้านที่ชี้ไปทางทิศเหนือว่าขั้วเหนือและด้านที่ชี้ไปทางทิศใต้ว่าขั้วใต้

ขั้วแม่เหล็กคือ จุดบนแท่งแม่เหล็กที่มีความเข้มของแรงแม่เหล็กมากโดยกฎข้อแรกของแม่เหล็กกล่าวว่า “ขั้วต่างกันดูดกันและขั้วเหมือนกันผลักกัน”

2.2.2 สารแม่เหล็ก (Ferromagnetic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... สารแม่เหล็กเป็นวัตถุที่เป็นแม่เหล็กอย่างแรง (ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย) ได้แก่ เหล็กนิเกิล โคบอลต์ และสารประกอบของโลหะ สารแม่เหล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. สารแม่เหล็กถาวร (Hard) เป็นสารแม่เหล็กที่จะไม่เสียอำนาจแม่เหล็กได้ง่ายๆ หลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก

2. สารแม่เหล็กชั่วคราว (Soft) เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่อาจรักษาอำนาจแม่เหล็กได้นานหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก

2.2.3 แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism)

แม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำแล้วทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อยไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กทำได้ด้วยการนำเส้นลวด ตัวนำมาพันเป็นขดลวด ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

แม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ขดลวด (Coil) กับแกน (Core) โดยที่ขดลวด หมายถึง เส้นลวดตัวนำที่พันเป็นขดอยู่รอบๆ แกนลวดที่ใช้พันนั้น เช่น ขดลวดแบน (Flat coil or plane coil) เป็นขดลวดที่มีความยาวน้อยเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางและ โซลินอยด์ (Solenoid) เป็นขดลวดที่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น

2.2.4 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnetic)

แม่เหล็กถาวรคือ แม่เหล็กที่มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพง เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการนำเอาลวดทองแดงเคลือบน้ำยาพันรอบแท่งเหล็กกล้าแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดูดเหล็กแล้วผลักโมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้าให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบตลอดไป ซึ่งเหล็กกล้าดังกล่าวก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวรต่อไปหรือเป็นแม่เหล็กที่ไม่เสียอำนาจแม่เหล็กได้ง่ายหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก

ชนิดของแม่เหล็กถาวรแบ่งได้ดังนี้

1). แม่เหล็กนีโอดีเมียม (Neodymium Magnets)

แม่เหล็กประเภทนี้จะมีแรงดูดสูง มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพสูงสุดมากกว่าแม่เหล็กถาวรทุกชนิดและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ประกอบในเครื่องแม่เหล็กแยกเศษเหล็ก เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรต่างๆ แม่เหล็กมอเตอร์ แม่เหล็กเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

2). แม่เหล็กเฟอร์ไรท์ (Ferrite Magnets (Ceramic))

แม่เหล็กประเภทนี้จะมีราคาถูกกว่าแม่เหล็กประเภทอื่นๆ และเป็นแม่เหล็กที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด เพราะคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ดีหลายๆ ด้านและทนความร้อน ซึ่งส่วนมากจะใช้ประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม อุปกรณ์การสื่อสาร แม่เหล็กของเล่น เป็นต้น

3). แม่เหล็กซามาเรียม (SmCo Magnets)

แม่เหล็กประเภทนี้จะมีแรงดูดสูง เหมาะสำหรับงานประเภทที่ทนต่อความร้อนสูงและทนต่อการกัดกร่อน มีความแข็งแต่เปราะ จึงต้องใช้อย่างระมัดระวัง โดยส่วนมากแม่เหล็กชนิดนี้จะนิยมใช้ประกอบในอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า นาฬิกา แม่พิมพ์ เซนเซอร์ เป็นต้น

4). แม่เหล็กอัลนิโก (AlNiCo Magnets)

เป็นแม่เหล็กที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงและทนต่ออุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี ซึ่งส่วนมากแม่เหล็กประเภทนี้จะใช้ประกอบในอุปกรณ์แม่เหล็กจับยึดชิ้นงาน แม่เหล็กแม่พิมพ์ เครื่องมือวัด เป็นต้น

5). แม่เหล็กยาง (Rubber Magnet)

แม่เหล็กประเภทนี้มีความยืดหยุ่นสูง สามารถตัด งอหรือตัดด้วยกรรไกรได้โดยที่ไม่ทำลายสภาพความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งจะนิยมใช้ทำของพีวีซีและภาคอุตสาหกรรม เช่น แม่เหล็กติดตู้เย็น การ์ดแม่เหล็ก แผ่นแม่เหล็กคั่นหนังสือ พวงกุญแจแม่เหล็ก เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของเนื้อสารต่อค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ทำให้สารแม่เหล็กอิ่มตัว

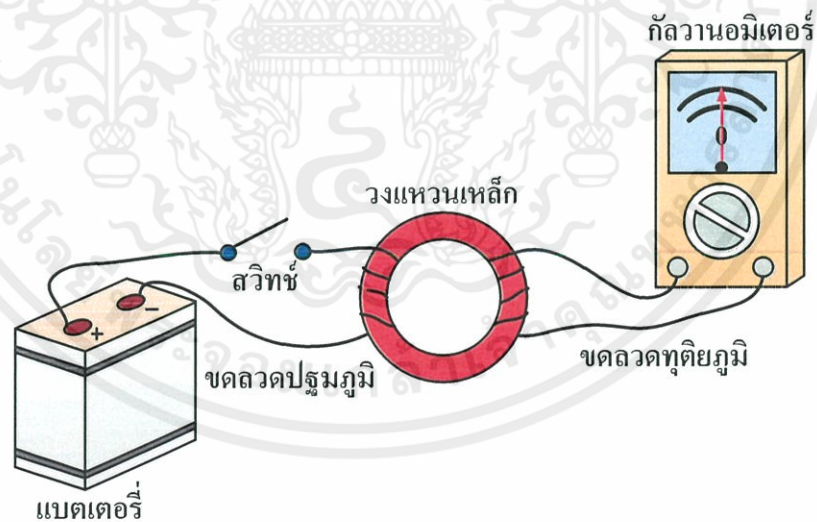
ชนิดของเนื้อสาร	เอสเตด (Orsted's)	kA/m
Alnico 5, 6, 8 and 9	3,000-7,000	239-577
Ceramic (Hard Ferrite)	10,000-50,000	769-955
Neodymium-iron-boron, motor grade	35,000-50,000	2,786-3,980
Neodymium-iron-boron, high energy grade	30,000-40,000	2,388-3,184
Neodymium-iron-boron, most bonded	30,000-40,000	2,388-3,184
Neodymium-iron-boron, high temp bonded	35,000-60,000	2,786-4,776
SmCo 1-5	30,000-40,000	2,388-3,184
SmCo 2-17	35,000-50,000	2,786-3,980
SmCo low Hci bonded grade	20,000-30,000	1,592-2,388
SmCo high temperature grade	35,000-50,000	2,786-3,980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความซึมซาบได้ของวัสดุชนิดต่างๆ

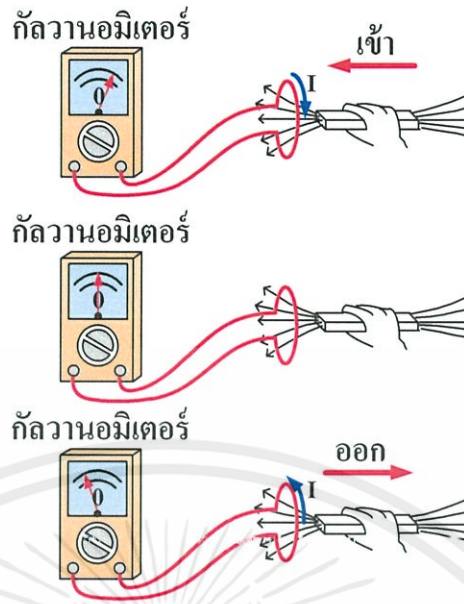
วัสดุ	ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุ (μ)
อากาศหรือสุญญากาศ	1.26×10^{-5}
นิกเกิล	6.28×10^{-5}
เดบอลต์	7.56×10^{-5}
เหล็กหล่อ	1.1×10^{-4}
เหล็กแท่ง	5.56×10^{-4}
แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า	6.9×10^{-3}
เหล็กซิลิกอน	8.8×10^{-3}
เพอร์มาลอย	0.126
ซูเปอร์เปอร์มาลอย	1.26

2.3 กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's Law of induction)



รูปที่ 2.3 ชุดการทดลองของฟาราเดย์

จากรูปที่ 2.3 จะเป็นชุดการทดลองของฟาราเดย์ที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ สวิตช์ วงแหวนเหล็กและกัลวานอมิเตอร์ จากการทดลองพบว่า เมื่อสับสวิตช์เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกไปทางหนึ่งและกลับมาที่ศูนย์และเมื่อยกสวิตช์ขึ้นเข็มก็จะกระดิกไปอีกทางและกลับมาที่ศูนย์ ดังนั้นฟาราเดย์จึงสรุปว่า “กระแสไฟฟ้าสามารถสร้างขึ้นได้ โดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก”



รูปที่ 2.4 การทดสอบกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์โดยการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านขดลวด

จากรูปที่ 2.4 เมื่อพิจารณาการจัดการทดสอบอีกแบบหนึ่งพบว่า เมื่อใดที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างแม่เหล็กกับขดลวดแล้วจะมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในวงจร ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีประโยชน์มากเพราะสามารถกำเนิดกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ตัวอย่างการประยุกต์ เช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า สวิตช์แม่เหล็ก หม้อสูท เป็นต้น

2.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Emf)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้จากการ

$$\varepsilon = -N \frac{dBA}{dt} = -NB \frac{dA}{dt} \quad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่ ε คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นระหว่างปลายทั้งสองข้างของขดลวด (V)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

B คือ สนามแม่เหล็ก (Tesla)

A คือ พื้นที่ของแม่เหล็ก (m^2)

dA คือ พื้นที่ของแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง

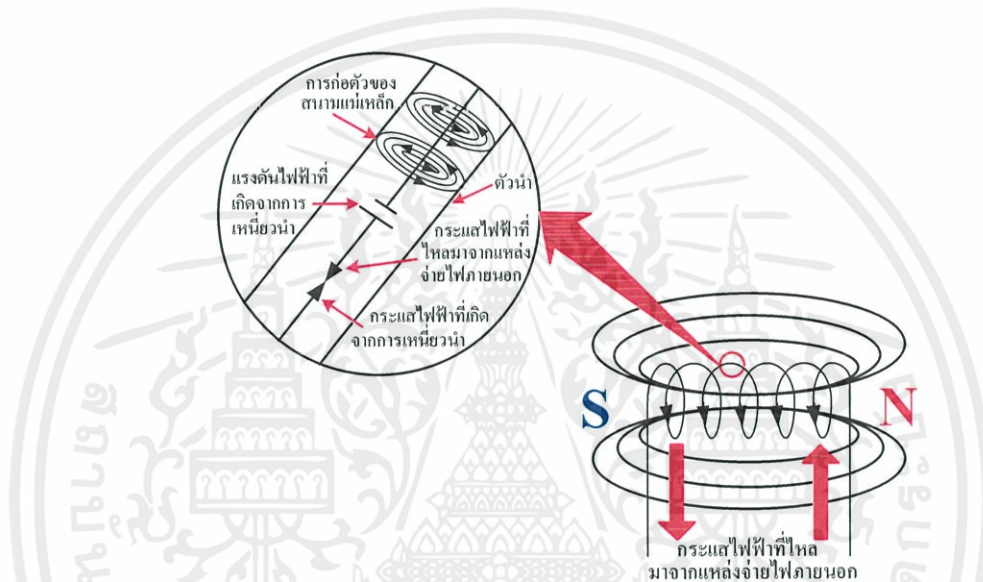
dt คือ เวลาที่สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเครื่องหมายลบ จะแสดงถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีทิศตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก

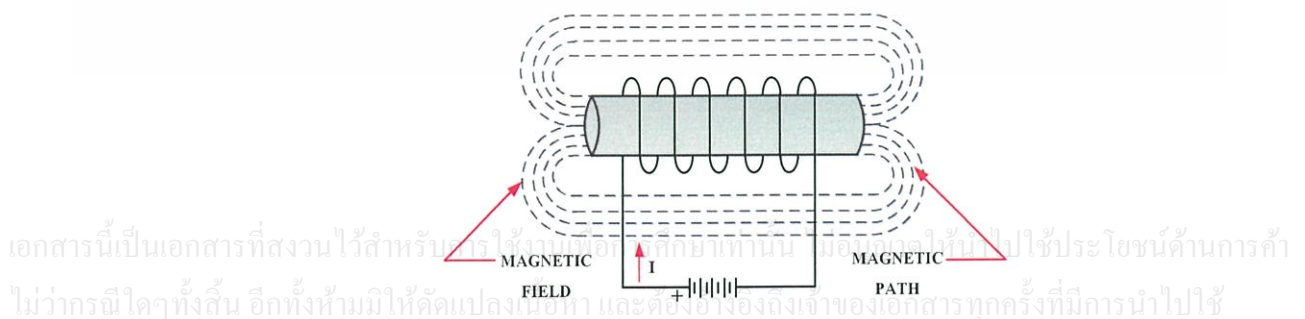
2.5 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic coil)

ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นขดลวดหรือคอยด์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ (ลวดทองแดงเต็มเส้นหุ้มฉนวน) พันรอบแกนหรือขึ้นรูปเป็นวงจะเกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น โดยวงรอบหนึ่งวงของลวดทองแดงจะเรียกว่า “หนึ่งรอบ” ซึ่งคอยด์จะประกอบด้วยขดลวดหนึ่งรอบหรือมากกว่าและมีขั้วต่อหัวท้ายที่เรียกว่า “แท็บ” สำหรับใช้ในเปลี่ยนจำนวนรอบของขดลวด โดยขดลวดมักจะถูกเคลือบด้วยน้ำมันวานิชหรือเทปฉนวนเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วอีกชั้นหนึ่ง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การต่อตัวเหนี่ยวนำคร่อมอยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

เมื่อเส้นลวดตัวนำถูกนำมาพันเรียงกันบนแกนจะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมาก ขดลวดที่กำเนิดสนามแม่เหล็กนี้จะมีลักษณะเป็นแท่งแม่เหล็ก เมื่อขดลวดทำงานเหมือนเป็นแท่งแม่เหล็ก ดังนั้นขดลวดจะเกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ขึ้น ซึ่งสามารถแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางของกระแสได้ ดังรูปที่ 2.6



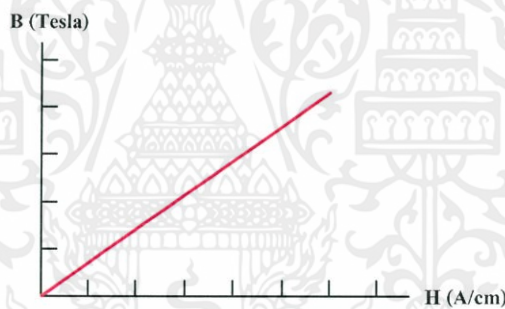
รูปที่ 2.6 การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อมีการพันตัวนำเรียงกันบนสารแม่เหล็กที่มีแหล่งจ่ายเป็นกระแสไฟตรง

ค่าของฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) สามารถหาได้จากผลคูณของกระแสกับจำนวนรอบในการพัน

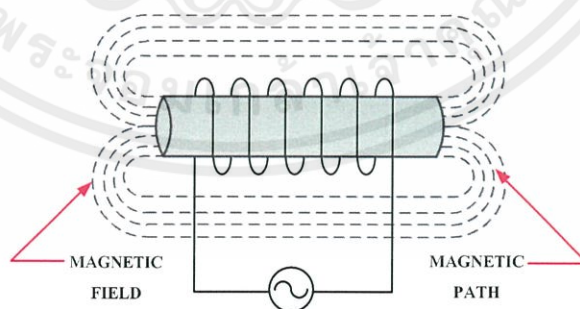
$$B = \mu_0 In \quad \dots\dots(2.2)$$

โดยที่	n	คือ จำนวนรอบของลวดโซเลนอยด์ในหนึ่งหน่วยความยาว
	I	คือ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านใน ลวดโซเลนอยด์
	B	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในลวดโซเลนอยด์

ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เกิดการไหลของฟลักซ์ และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความหนาแน่นของฟลักซ์ (Flux Density: B) กับค่าของแรงแม่เหล็ก (Magnetizing Force: H) สำหรับขดลวดแกนอากาศดังรูปที่ 2.7 ซึ่งค่าความชันของกราฟคือ B/H เป็นค่าแสดงความสามารถของแกน (permeability) μ_0 และพบว่าในกรณีของขดลวดที่พันบนแกนอากาศนั้นจะได้ค่าของ $\mu_0 = 1$ ในระบบ cgs ซึ่งระบุในหน่วยของ เกาส์/เออสเตด (Gauss/ Oersteds ; G/Oe)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และ H ที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสตรง

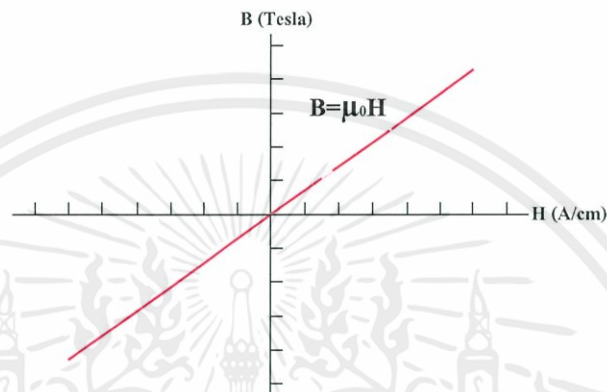


รูปที่ 2.8 การเกิดสนามแม่เหล็กเมื่อมีการพันตัวนำบนสารแม่เหล็กที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากรูปที่ 2.8 ถ้าแบตเตอรี่ถูกแทนที่ด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่า B และ H ดังรูปที่ 2.9 ก็จะมีกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นเช่นเดิมเนื่องจากคุณสมบัติของขดลวดแกนอากาศ ดังนั้นกล่าวได้ว่าด้วยความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นนี้การเพิ่ม

ค่า H จะทำให้ค่า B เพิ่มขึ้นและเพิ่มจำนวนฟลักซ์ในลวดด้วย นั่นคือ สนามแม่เหล็กขนาดใหญ่สามารถสร้างได้จากการไหลของกระแสจำนวนมาก ซึ่งจะพบว่าข้อจำกัดแรกของการใช้งานในทางปฏิบัติคือ ความสามารถในการนำกระแสของลวดแต่ละขนาดที่มีอย่างจำกัด ซึ่งค่ากระแสสูงๆจะส่งผลให้เกิดความร้อนที่เสียดำน้ำ เพราะสนามแม่เหล็กขนาด 0.1 เทสลา (*Tesla* ; T) มีโอกาสจะทำให้เกิดอุณหภูมิของเส้นลวดตัวนำสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องได้ถึง 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B และค่า H ที่มีแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสสลับ

2.5.1 ชนิดของขดลวด

ขดลวดจะประกอบด้วยเส้นลวดทองแดงที่เคลือบด้วยน้ำยาฉนวนพันเป็นขดลวดอยู่บนแกนหรือฐานรองต่างๆ ซึ่งการจำแนกชนิดของขดลวดจะเรียกตามแกนที่ใช้ทำเป็นฐานของขดลวดแบ่งออกได้เป็นดังนี้

1.) ขดลวดแกนอากาศ (Air Core Inductor)

ขดลวดแกนอากาศเป็นขดลวดที่แกนหรือฐานรองทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน ตัวอย่างเช่น คาร์บอน พลาสติก ไฟเบอร์ และ PVC เป็นต้น หรืออาจพันลอยๆไว้ โดยไม่มีอะไรรองรับขดลวดประเภทนี้นิยมใช้ในงานที่ความถี่สูงๆ หรือความถี่วิทยุ (RF) จึงเรียกขดลวดประเภทนี้ว่า RF โฉก ขดลวดแกนอากาศเป็นขดลวดที่มีความเหนี่ยวนำต่ำ เพราะแกนไม่สามารถช่วยเสริมค่าขดลวดได้ การจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ต้องใช้จำนวนรอบในการพันขดลวดเพิ่มขึ้น

2.) ขดลวดแกนผงเหล็กอัด (Powdered-Iron Core Inductor)

ขดลวดแกนผงเหล็กอัดเป็นขดลวดที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผงเหล็กชนิดอัดแน่น โดยนำผงเหล็กผสมกับกาวอัดแน่นเป็นแท่ง ช่วยลดการสูญเสียสัญญาณจากกระแสไหลวน (Eddy Current) ลงได้ทำให้มีสัญญาณส่งผ่านขดลวดแกนผงเหล็กอัดได้สูงขึ้นจึงใช้งานได้ดีในย่านความถี่สูงๆ มีความเหนี่ยวนำสูงแต่มีขนาดเล็ก

3.) ขดลวดแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core Inductor)

ขดลวดแกนเฟอร์ไรต์เป็นขดลวดที่มีแกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเฟอร์ไรต์ โดยที่ ส่วนผสมของเฟอร์ไรต์มีความแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี แมกนีเซียมกับ แมงกานีส แมกนีเซียมกับทองแดง เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดของเฟอร์ไรต์ให้ความเข้มของค่าความเหนี่ยวนำแตกต่างกัน ซึ่งข้อดีของขดลวดแกนเฟอร์ไรต์คือ สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ สามารถใช้งานได้ดีทั้งในความถี่ต่ำ และความถี่สูง

4.) ขดลวดแกนทอรอยด์ (Toroidal Core Inductor)

ขดลวดแกนทอรอยด์เป็นขดลวดที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผงเหล็กชนิดอัดแน่นหรือเฟอร์ไรต์ โดยจะสร้างขึ้นเป็นรูปวงแหวนที่มีขดลวดถูกพันรอบแกนทอรอยด์โดยรอบ ซึ่ง ข้อดีของการใช้แกนทอรอยด์คือ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่แพร่กระจายออกไปภายนอกและสนามแม่เหล็กจากภายนอกก็จะไม่เข้ามารบกวน สามารถทำให้ตัวเหนี่ยวนำแบบนี้มีความเหนี่ยวนำสูงใน ขนาดที่สร้างได้เล็กลง จึงนิยมนำไปใช้ในงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงที่ต้องการหาค่าความเหนี่ยวนำสูงและมีสนามแม่เหล็กรบกวนต่ำ

5.) ขดลวดแกนเหล็ก (Laminated-Iron Core Inductor)

ขดลวดแกนเหล็กแผ่นเป็นขดลวดที่แกนหรือแกนฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเหล็กแผ่น บางวางซ้อนกัน ซึ่งเหล็กแผ่นบางแต่ละแผ่นจะเคลือบฉนวนไว้เพื่อช่วยลดการสูญเสียเนื่องจาก กระแสไหลวนและช่วยทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น จึงนิยมนำไปใช้งานในย่านความถี่ต่ำ เช่น ใช้เป็นตัวกรองไฟ (Filter) แรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟกระแสตรง เป็นต้น

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปร 4 ประการคือ

1. จำนวนรอบของขดลวดเขียนแทนด้วยอักษร N โดยที่ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับจำนวนรอบของขดลวด
2. วัสดุที่นำมาทำเป็นแกนจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ μ โดยวัสดุที่นำมาทำเป็นแกนมีหลายชนิด เช่น อากาศเหล็กเฟอร์ไรท์โคบอล เป็นต้น ซึ่งแกนแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กที่เรียกว่า “สภาพซึมซาบของแกน (Permeability)” ที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับสภาพซึมซาบของแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3. พื้นที่หน้าตัดของแกนจะเขียนแทนด้วยอักษร A ถ้าหากพื้นที่ของแกนมีปริมาณมากก็เป็นการค้า ไม่ว่าจะจริงจะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความยาวของแกน เขียนแทนด้วยอักษร l และค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผกผันกับความยาวของแกน

$$L = \frac{\mu_0 AN^2}{l} \quad \text{.....(2.3)}$$

จากสมการจะพบว่า ค่าความเหนี่ยวนำนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามจำนวนรอบของขดลวดแบบกำลังสอง ทั้งนี้เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นนั้นจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบที่ผ่านในแต่ละรอบของขดลวด ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และจำนวนรอบของขดลวด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าคงตัวที่เรียกว่า สภาพให้ซึมผ่านได้ทางแม่เหล็ก (permeability) ของตัวกลาง

ในกรณีขดลวดแกนอากาศดังรูปที่ 2.10 ค่าสภาพให้ซึมผ่านได้จะมีค่าประมาณเท่ากับของที่ว่างหรือสุญญากาศคือ m_0 ซึ่งมีค่า 4×10^{-7} เฮนรี/เมตร ตัวอย่างขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ มีพื้นที่หน้าตัด A เมตร² ยาว l เมตรและจำนวน N รอบ มีค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างขดลวดชนิดแกนอากาศ

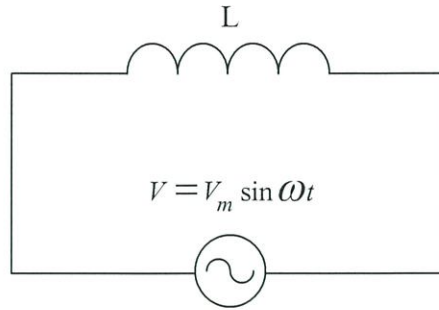
ถ้ามีวัสดุบางอย่างอยู่ในขดของขดลวดดังรูปที่ 2.11 ค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นโดยค่าที่เรียกว่า “สภาพให้ซึมผ่านได้สัมพัทธ์ (relative permeability)”



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างขดลวดที่พันรอบวัสดุ

2.5.3 ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (Inductor in AC Circuits)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่นำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์จะถือว่าผิดกฎหมาย
 การใช้งานตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกนำไปใช้งานคล้ายกับตัว
 ต้านทาน และตัวเก็บประจุ กล่าวคือจะมีการต่อแบบอนุกรมแบบขนานและแบบผสม แต่จะให้ผล
 ของความต่างศักย์ตกคร่อม และกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างไป ในการวิเคราะห์วงจรเริ่มจากการ
 พิจารณาวจรของตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ในตัวเหนี่ยวนำกระแสที่ไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กนี้สะสมพลังงานและขณะที่สนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและลดลงจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในขดลวด ในทิศทางที่ต้านการเปลี่ยนแปลง จากรูปพิจารณาขดลวดอันเดียวในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะได้ว่า ความต่างศักย์ตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำขณะใดๆจะเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า จากรูปที่ 2.12 สามารถหาค่าความต่างศักย์ตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำได้ดังต่อไปนี้

$$V_L = V_m \sin \omega t \quad \text{.....(2.4)}$$

โดยที่ V_L คือ ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำ (H)
 V_m คือ ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมที่สูงที่สุด (V)

และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดหาได้จาก

$$V_L = L(di / dt) \quad \text{.....(2.5)}$$

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) จะได้ความสัมพันธ์

$$L(di / dt) = V_m \sin \omega t$$

จัดรูปสมการแล้วทำการหาปริพันธ์ดังนี้

$$\int di = (V_m / L) \int \sin \omega t \cdot dt$$

$$I = (V_m / \omega L) (-\cos \omega t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารปริมาณ ωL เรียกว่า ความต้านทานเหนี่ยวนำ (Inductive reactance) เขียนแทนด้วย X_L ดังนั้นสมการแสดงกระแสที่ไหลในวงจรเขียนได้เป็น

$$I = -V_m / X_L \cos \omega t \quad \text{.....(2.6)}$$

กระแสไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุดเมื่อ $\cos \omega t = 1$

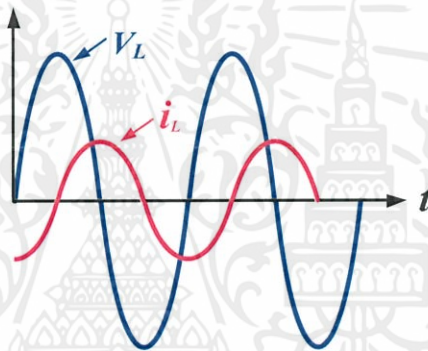
จะได้ $I_m = V_m / X_L$

ดังนั้น $I = -I_m \cos \omega t$

$$I = -I_m \sin(\pi / 2 - \omega t)$$

$$I = I_m \sin(\omega t - \pi / 2)$$

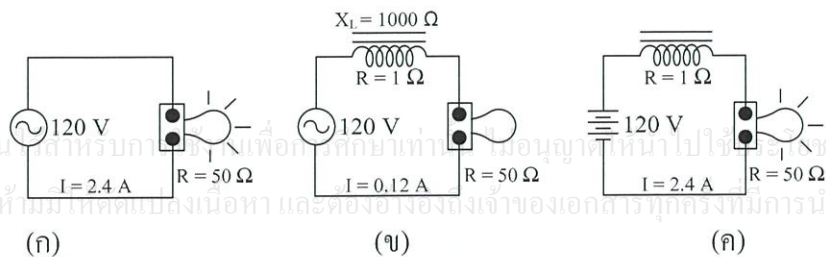
ซึ่งถ้าเขียนกราฟความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเหนี่ยวนำและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเทียบกับเวลาจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบ sine curve เหมือนกัน แต่มี phase ต่างกัน คือกระแสไฟฟ้ามีเฟสตามหลังความต่างศักย์เป็นมุม $\pi / 2$ หรือ 90° ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเหนี่ยวนำและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเทียบกับเวลา

2.5.4 อินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance)

คุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำหรืออินดักเตอร์ (Inductor) เมื่อนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้นแตกต่างกัน เพราะค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ (ขดลวด) ที่ใช้ต้านกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ เป็นคนละแบบกัน พิจารณาจากรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงผลของอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ที่มีค่ามากขึ้นเมื่อต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับสถาบันฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 (ก) เมื่อต่อหลอดไฟที่มีค่า $R = 50 \Omega$ กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ $120 V$ จะมีกระแสไหลในวงจรคือ $I = 120 V / 50 = 2.4 A$ หลอดไฟฟาดิดสว่าง

จากรูปที่ 2.14 (ข) นำขดลวดที่มีความต้านทาน 1 โอห์ม ไปต่ออนุกรมกับหลอดไฟฟาดิดสว่างในรูปที่ 2.14 (ก) จะพบว่าวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ $0.12 A$ และหลอดไฟดับลง

จากรูปที่ 2.14 (ค) เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ $120 V$ เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าเท่ากับ โดยใช้ขดลวดและหลอดไฟเดิม ซึ่งจะพบว่าหลอดไฟติดสว่างอีกครั้งและวัดค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรได้เท่ากับ $2.4 A$

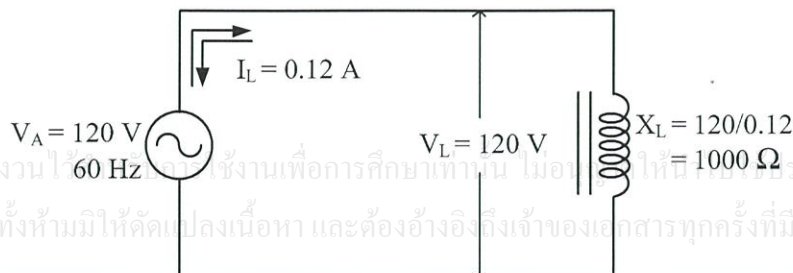
โดยที่ผลของขดลวดในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับและวงจรไฟฟ้ากระแสตรงจะพบว่าค่าความต้านทานของขดลวดเมื่อต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าความต้านทานของขดลวดตัวเดิมเมื่อต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับนี้จะเรียกว่า ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ ซึ่งจะแทนด้วย X_L ที่มีหน่วยเป็นโอห์ม และความต้านทานของขดลวดทางไฟฟ้ากระแสตรง R (คือค่าที่วัดได้จากโอห์มมิเตอร์ = 1 โอห์ม) สามารถสรุปได้ 2 ข้อคือ

1. เมื่อนำขดลวดไปต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) ขึ้นเป็นค่าความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับของขดลวดและจะมีค่าสูงขึ้น ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีความถี่ (f) เพิ่มมากขึ้น

2. เมื่อนำขดลวดไปต่อในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าความต้านทานของขดลวดคือค่า R เป็นความต้านทานของสายตัวนำที่ใช้พันขดลวด

- การหาค่าของอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L)

เมื่อนำขดลวดไปต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่า $120 V$ และความถี่ $60 Hz$ พบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้า $0.12 A$ ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งสามารถหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับหรือ X_L ได้โดยกฎของโอห์ม



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรที่ใช้ในการหาค่า X_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 60 Hz สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของโอห์มจะหาค่า X_L ได้จากสมการที่ (2.8)

$$X_L = V_L / I \quad \text{.....(2.7)}$$

$$X_L = 120V / 0.12 A$$

$$X_L = 1000 \Omega$$

เมื่อเพิ่มความถี่ (f) ของแหล่งจ่ายไฟสลับ V_a ค่า X_L จะเปลี่ยนไปตามสมการที่(2.8)

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{.....(2.8)}$$

หรือ

$$X_L = \omega L$$

เมื่อ

X_L คือ อินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ (หน่วย Ω)

f คือ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับ (หน่วย Hz)

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (หน่วย H)

$\omega = 2\pi f$ คือ ค่าความเร็วเชิงมุม (หน่วย rad / s)

- การต่อขดลวดแบบขนานและอนุกรม

การต่อขดลวดแบบอนุกรมกัน ดังรูปที่ 2.16 ค่าอินดักแตนซ์ (L) ของขดลวดรวมทั้งหมดเท่ากับผลบวกของค่า L แต่ละตัวดังสมการที่ (2.9)



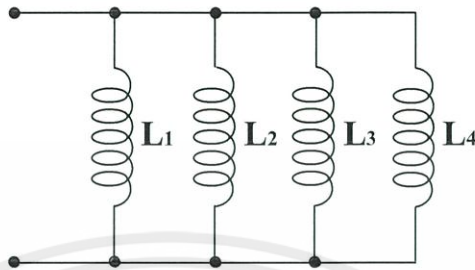
รูปที่ 2.16 แสดงการต่อขดลวดแบบอนุกรม

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad \text{.....(2.9)}$$

ในทำนองเดียวกันค่าของอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ (X_L) รวมในวงจรอนุกรมก็จะเท่ากับผลบวกของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า X_L แต่ละตัวรวมกันดังสมการที่ (2.10) ไม่ว่ากรณีใดๆที่อื่นอีกทั้งมีมีเหตุผลเชิงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n} \quad \text{.....(2.10)}$$

สำหรับการต่อขดลวดหลายๆขดขนานกันดังรูปที่ 2.17 โดยที่ผลรวมของค่า L ทั้งหมด และผลรวมของค่า X_L ทั้งหมดจะเป็นไปตามสมการที่ (2.11) และ (2.12)



รูปที่ 2.17 แสดงการต่อขดลวดแบบขนาน

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad \text{.....(2.11)}$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}} \quad \text{.....(2.12)}$$

2.6 ไดโอดเปล่งแสง (LED: Light Emitting Diode)

ไดโอดเปล่งแสงหรือ Light Emitting diode (LED) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท PN junction diode ที่มาจากการโด๊ปด้วยสารกึ่งตัวนำให้ได้เป็นชั้นที่บางๆ ซึ่งสามารถเปล่งแสงได้ในช่วงสเปกตรัมแคบๆและช่วงความยาวคลื่นสีที่แตกต่างกันในย่านที่ตาสามารถมองเห็นได้ ไดโอดเปล่งแสงจะมีขนาดเล็กมากนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีอายุการใช้งานมากกว่าแหล่งกำเนิดแสงไฟปกติ ดังรูปที่ 2.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 ไดโอดเปล่งแสง (LED)

2.6.1 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงจะถูกล้อมรอบด้วยวัสดุโปร่งแสงและคลุมด้วยแผ่นพลาสติกอีพ็อกซีแบบหนาที่มีลักษณะการสะท้อนแสงไปยังพื้นผิวรอบๆของตัวไดโอด ซึ่งออกแบบให้มีรูปร่างเป็นครึ่งวงกลมเพื่อทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสงและป้องกันไดโอดเปล่งแสงจากการสันสะท้อนและการกระแทก ไดโอดเปล่งแสงจะมีขั้วแคโทด (K) เป็นส่วนที่ยาวและส่วนที่สั้นว่า ขั้วแอโนด (A) ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง

2.6.2 หลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง

เมื่อไดโอดถูกไบอัส อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจากชั้นคอนดักชันจะมารวมตัวกับโฮลจากชั้นเวเลนซ์ จากนั้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมานั้นมีเพียงพอที่จะสามารถผลิตโฟตอนในการเปล่งแสงสีเดียวได้ โดยไดโอดเปล่งแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง ในขณะที่ไดโอดเปล่งแสงออกมากจะผลิตความเย็นของแสงซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าไดโอดทั่วไป เพราะว่าพลังงานส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในย่านสเปกตรัมที่ตาสามารถมองเห็นได้

2.6.3 สีของไดโอดเปล่งแสง

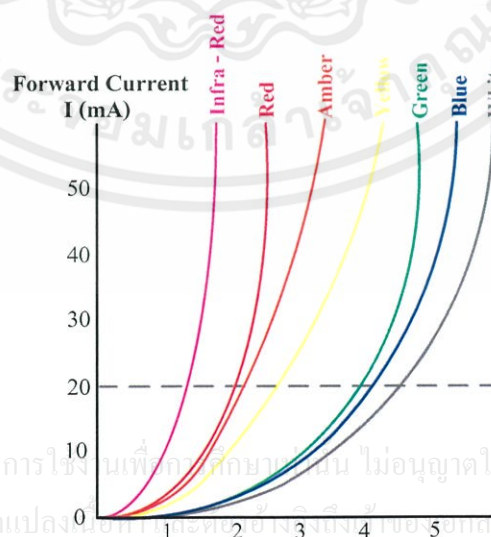
สีของไดโอดเปล่งแสงจะมาจากการผสมเจอร์มาเนียมกับวัสดุที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของเอกสารนี้

ซิลิกอนหรือสารต่างๆ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs), แกลเลียมฟอสไฟด์ (GaP), แกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (GaAsP), ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) หรือแกลเลียมอินเดียมไนไตรด์ (GaInN) มาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่ต่างกันไปได้สีที่มีความยาวคลื่นต่างๆออกมา

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของไดโอดเปล่งแสงในช่วงความยาวแตกต่างกัน

ชนิดของสารกึ่งตัวนำ	ความยาวคลื่น	สีของ LED	V_F (I = 20mA)
GaAs	850-940nm	Infra-Red	1.2v
GaAsP	630-660nm	Red	1.8v
GaAsP	605-620nm	Amber	2.0v
GaAsP:N	585-595nm	Yellow	2.2v
AlAsP	550-570nm	Green	3.5v
SiC	430-505nm	Blue	3.6v
GaN	450nm	White	4.0v

จากตารางที่ 2.3 จะพบว่าสารเจือปนประเภท P-type เป็นสารหลักที่ใช้ในการผลิต ไดโอดเปล่งแสงเป็นแกเลียมและสารเจือปนประเภท N-type จะใช้อาร์เซนิก As ไดโอดเปล่งแสงที่เป็นสีแดงอำพันมาจากการผสมสารกึ่งตัวนำชนิดแกเลียม อาร์เซไนด์ (GaAs) จะมีช่วงความยาวคลื่นของสีมากที่สุดและใช้แรงดันไฟฟ้าในการเปล่งแสงเพียง 1.2 V ในขณะที่ไดโอดเปล่งแสงที่เป็นแสงสีขาวมาจากการผสมสารกึ่งตัวนำชนิดแกเลียมอินเดียมไนไตรด์ จะมีช่วงความยาวคลื่นของสีน้อยที่สุดและใช้แรงดันไฟฟ้าในการเปล่งแสงมากถึง 4 V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารนี้

รูปที่ 2.20 กราฟแสดงการไบอัสกระแสของไดโอดเปล่งแสงในแต่ละสี

จากรูปที่ 2.20 จะพบว่าก่อนที่ไดโอดเปล่งแสงจะทำการปล่อยแสงออกมาระแสจะต้องผ่านไดโอดก่อน แต่การไหลผ่านของกระแสที่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงของไดโอดที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส (forward bias) ที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง ก่อนที่จะทำการต่อวงจรเชื่อมต่อกับไดโอดเปล่งแสงจึงจำเป็นที่จะต้องมิตัวจำกัดกระแสหรือชุดความต้านทานเพื่อไม่ให้กระแสไหลผ่านมากเกินไป ไม่เช่นนั้นไดโอดเปล่งแสงจะถูกทำลายหรือไหม้ได้

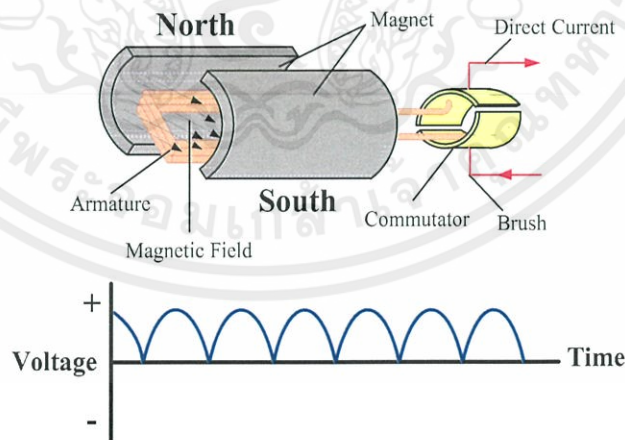
2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการของขดลวดตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็กขดลวดตัวนำที่สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้เรียกว่า “ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature)” ซึ่งวางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กและสามารถหมุนได้โดยมีต้นกำลังงานกลมาขับ เมื่อขดลวดนี้ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้นในขดลวด

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งตามกระแสไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Generator)

2.7.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

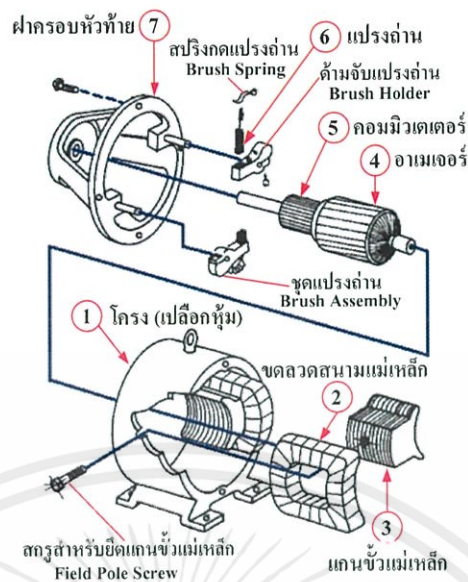
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอาศัยหลักการที่ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้
โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะแสดงดังรูปที่ 2.22 ซึ่งจะประกอบด้วย

- 1.) โครง: เปลือกหุ้ม (Yoke)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

- 2.) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Windings) คือ ขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับ โครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาจนำขดลวดสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดัน ไฟตรงเข้าไป
 - 3.) แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole shoes) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับ โครงด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กจะทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงสุดแทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี
 - 4.) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือ ส่วนเคลื่อนที่ถูกยึดติดกับเพลลาและรองรับการหมุนตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกันถูกเซาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาจนำขดลวด ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อกับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลัดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสองจะทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่
 - 5.) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือ ส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่งถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูป
 - 6.) แปรงถ่าน (Brushes)
 - 7.) ฝาครอบหัวท้าย (Endplates)
- ก. ส่วนที่อยู่กับที่ประกอบด้วย โครงและขั้วแม่เหล็ก ส่วนนี้สร้างสนามแม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็กและส่วนที่รับกระแสไฟออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีเหตุจำเป็นสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ส่วนที่เคลื่อนที่หรือส่วนที่หมุนเรียกว่า “อาร์เมเจอร์ (Armature)” ประกอบด้วย

1. แกนเพลลา
2. แกนเหล็ก
3. คอมมิวเตเตอร์

2.7.1.2 การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งออกตามลักษณะการนำกระแสไฟฟ้าไปกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็ก ได้ 2 แบบ คือ

- 1). เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแบบแยก (Separately excited generator)
- 2). เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นตัวเอง (Self-excited generator)

1). เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นแบบแยก (Separately excited generator) คือ เครื่องกำเนิดประเภทที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กของมันแล้วจะถูกกระตุ้นจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจากภายนอกที่แยกต่างหาก ซึ่งแหล่งจ่ายที่ใช้ในการกระตุ้นสำหรับเครื่องกำเนิดนี้อาจจะเป็นแบตเตอรี่หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตัวอื่นๆ และเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นๆ ที่นำมาใช้ในการกระตุ้นจะเรียกว่า ตัวกระตุ้นหรือเอ็กไซเตอร์ (Exciter)

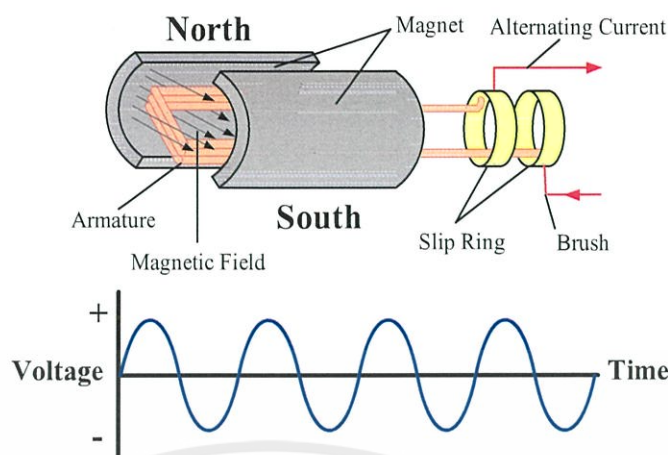
2). เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นตัวเอง (Self-excited generator) คือ เครื่องกำเนิดชนิดหรือประเภทที่มีขดลวดสนามแม่เหล็กของมันที่จะถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่เกิดจากตัวของมันเอง เนื่องจากแม่เหล็กตกค้างจึงทำให้มีฟลักซ์แม่เหล็กบางส่วนหลงเหลืออยู่ในแท่งขั้วแม่เหล็กเสมอ และเมื่ออาร์เมเจอร์หมุนก็จะมีแรงเคลื่อนจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นและทำให้กระแสเหนี่ยวนำจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นด้วย ซึ่งบางส่วนหรือทั้งหมดที่มันเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสนามแม่เหล็ก ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่ตกค้างที่แท่งแม่เหล็กจึงถูกทำให้มีความเข้มมากขึ้น

เครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นตัวเอง อาจแบ่งออกตามลักษณะการต่อขดลวดสนามแม่เหล็กกับวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ได้เป็น 3 แบบ คือ

- 1). เครื่องกำเนิดแบบอนุกรม (Series generator)
- 2). เครื่องกำเนิดแบบขนาน (Shunt generator)
- 3). เครื่องกำเนิดแบบผสม (Compound generator)

2.7.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะมีโครงสร้างเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่ในส่วนของอาร์มาเจอร์จะมีวงแหวนแทนที่ส่วนของคอมมิวเตเตอร์ การควบคุมเอกสารนี้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ขณะที่ทำงาน โหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้แรงดันไม่สม่ำเสมอ ปลายสายเกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ความเสียหายกับโหลดให้หยุดทำงานหรือเผาไหม้ได้ ดังนั้นจึงต้องควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโหลด ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการควบคุมได้ 2 ประเภท ดังนี้



รูปที่ 2.23 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

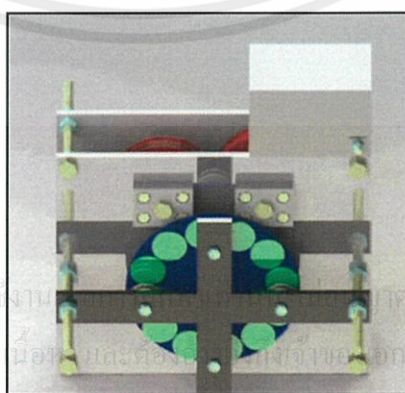
1). การควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้วยมือ

เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสและมีกำลังเอาต์พุตไม่สูงมาก ควบคุมโดยปรับเปลี่ยนความเร็วของตัวต้นกำลังให้น้อยลงหรือปรับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนแก่ขดลวดสนามแม่เหล็กให้น้อยลง แต่ข้อเสียคือมีความแม่นยำน้อยและไม่รวดเร็ว

2). การควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้วยระบบอัตโนมัติ

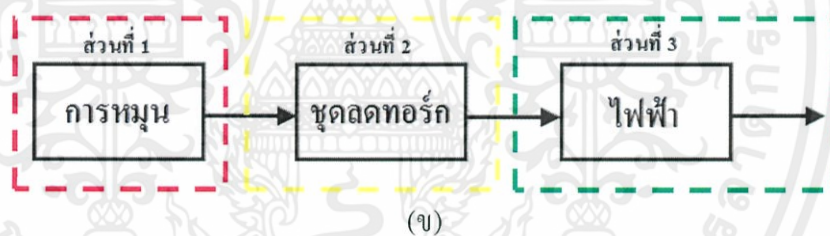
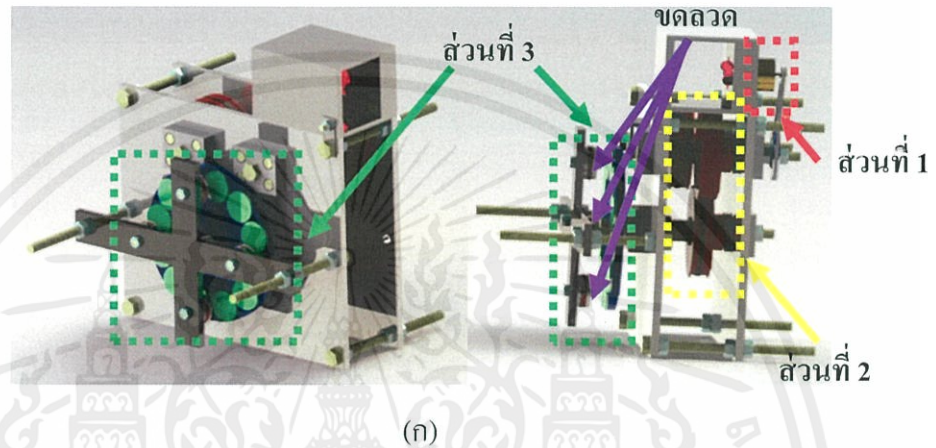
เป็นวิธีที่นิยมใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีกำลังเอาต์พุตสูง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า เนื่องจากโหลดมีการเปลี่ยนแปลงกระแสโหลดและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลดจะเปลี่ยนแปลงทำให้แรงดันไฟฟ้าปลายสายเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแรงดันเพื่อรักษาระดับให้คงที่

2.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

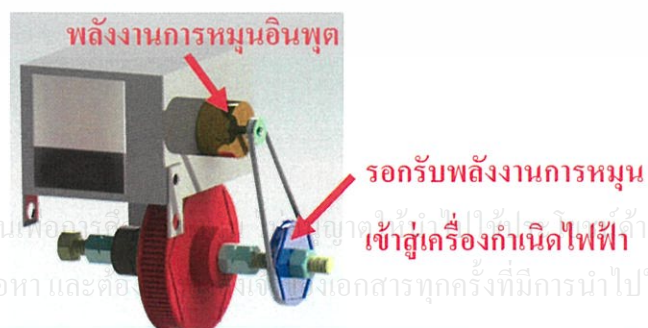
จากรูปที่ 2.2.4 แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นการออกแบบการนำพลังงานกลการหมุนจากชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้หลักการของการเปลี่ยนรูปของพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลการหมุน โดยนำมาเป็นพลังงานในส่วนอินพุตและเชื่อมต่อมายังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมี 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.25 (ก)



รูปที่ 2.25 (ก) แสดงส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

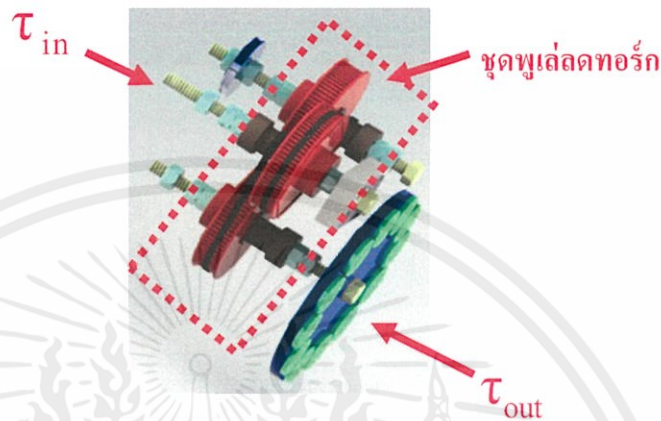
(ข) แสดงแผนภาพชุดส่วนประกอบเครื่องกำเนิด

โดยที่ส่วนแรกคือภาคพลังงานอินพุต (การหมุน) ดังรูปที่ 2.26

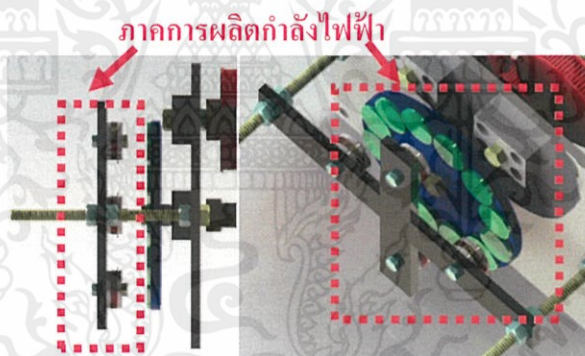


รูปที่ 2.26 ส่วนที่ 1 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ส่วนที่สองคือ ส่วนชุดลดทอร์กทางเครื่องกลจะประกอบด้วยพูลี่สีแดงสามชุดภายในตัวเครื่อง กำหนดดังรูปที่ 2.27 และส่วนที่สามภาคพลังงานเอาท์พุทคือ ส่วนของจานสีน้ำเงินและรูป เครื่องหมายบวกสีดำ ดังรูปที่ 2.28 โดยบนจานสีน้ำเงินจะมีแม่เหล็กถาวร ซึ่งในภาพคือ วงกลมสีเขียวและบนรูป เครื่องหมายบวกสีดำจะมีขดลวดจับอยู่และจะอยู่เหนือผิวหน้าแม่เหล็กสีเขียว



รูปที่ 2.27 ส่วนที่ 2 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.28 ส่วนที่ 3 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.8.1 ส่วนประกอบภาคพลังงานอินพุต

1. ความเร็วเชิงมุมของจานแม่เหล็ก

จากสัญญาณ Hall sensor ได้ความถี่ 2.930 Hz สามารถทราบค่าความถี่ของแผ่นจานจะได้

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ } f_B = \frac{f_H}{6} = \frac{2.930 \text{ Hz}}{6} = 0.488 \text{ Hz} \text{ ไปใช้ประโยชน์ได้... (2.13)}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f_B คือ ความถี่ของแผ่นจานติดแม่เหล็ก (Hz)
 f_H คือ ความถี่ของสัญญาณของ Hall sensor ที่วัดได้ (Hz)

จากสมการความเร็วเชิงมุม $\omega = 2\pi f$ แล้วจะได้ความเร็วเชิงมุมของแผ่นจานคือ

$$\omega_A = 2\pi f_B$$

$$\omega_A = (2\pi)(0.488 \text{ Hz})$$

$$\omega_A = 3.064 \text{ rad/s}$$

2. ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

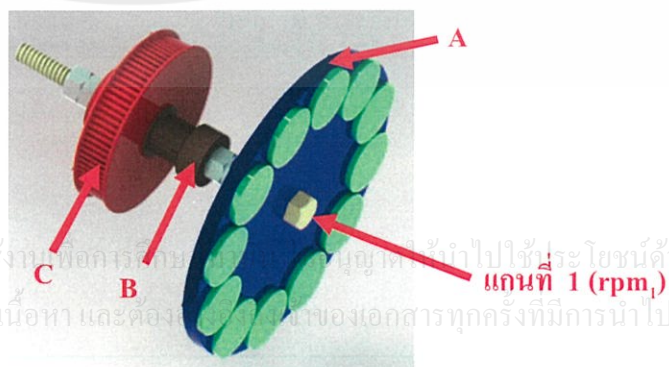
จากความเร็วเชิงมุมของแผ่นจานแม่เหล็กที่หาได้ในข้างต้น จะต้องมาผ่านในส่วนของเชิงกลเพื่อหาพลังงานอินพุต ซึ่งจำเป็นจะต้องหาความเร็วรอบของส่วนประกอบเชิงกลในการลดทอร์ค ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบเชิงกลในการลดทอร์ค

โดยจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ส่วนหมุนจากแผ่นจานติดแม่เหล็ก (แกนที่ 1: rpm₁) ดังรูปที่ 2.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องนำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 ส่วนหมุนจากแผ่นจานติดแม่เหล็ก

เนื่องจากแกนหมุนใช้แกนเดียวกันดังนั้นแล้วทั้งตำแหน่ง A ตำแหน่ง B และ ตำแหน่ง C
ค่าความเร็วเชิงมุม (ω) ในหน่วย rad/s และแรงบิด (τ) ในหน่วย $N-m$ เท่ากัน ดังนั้น

$$\tau_1 = \tau_A = \tau_B = \tau_C \quad \text{.....(2.14)}$$

$$\omega_1 = \omega_A = \omega_B = \omega_C \quad \text{.....(2.15)}$$

จากสมการ $F = \frac{\tau}{r}$ จะได้ว่าแรงที่ใช้ของตำแหน่ง A ตำแหน่ง B และตำแหน่ง C จะไม่เท่ากัน

ดังนั้น

$$F_A = \frac{\tau_1}{r_A} = \frac{\tau_1}{50 \times 10^{-3} m}$$

$$F_B = \frac{\tau_1}{r_B} = \frac{\tau_1}{6 \times 10^{-3} m}$$

$$F_C = \frac{\tau_1}{r_C} = \frac{\tau_1}{25.5 \times 10^{-3} m}$$

โดยที่ F_A คือ แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับรัศมีในหน่วยนิวตัน (N)
 F_B คือ แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับรัศมีในหน่วยนิวตัน (N)
 F_C คือ แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับรัศมีในหน่วยนิวตัน (N)
 r_A คือ รัศมีของจานแม่เหล็ก(สีน้ำเงิน)ที่ตำแหน่ง A (m)
 r_B คือ รัศมีของพูล่เล็ก(สีน้ำตาล)ที่ตำแหน่ง B (m)
 r_C คือ รัศมีของพูล่ใหญ่(สีส้ม)ที่ตำแหน่ง C (m)
 τ_1 คือ แรงบิดของแกนที่ 1 ($N-m$)

จาก $rpm = \frac{\omega}{2\pi} \times 60$ จะได้ว่าความเร็วรอบในหน่วยรอบต่อนาที

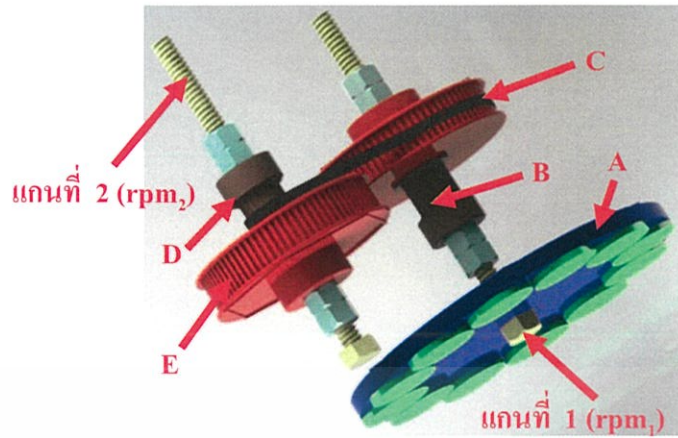
$$rpm_1 = \frac{3.064 rad / s}{2\pi rad / round} \times 60 s / min$$

$$rpm_1 = 29.2590 rpm$$

โดยที่ rpm_1 คือ ความเร็วรอบต่อนาทีในแกนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2. ส่วนลดทอนแรงส่วนที่สอง (แกนที่ 2: rpm_2) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้คิดแปลหรือตีพิมพ์หรือจำหน่ายหรือแจกจ่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 จากรูปที่ 2.31 จุดเชื่อมต่อคือ ตำแหน่ง C และตำแหน่ง D ในจุดนี้จะมีสายพานเชื่อมต่อ

จากสมการ $F = \frac{\tau}{r}$ จะได้ว่า แรงบิด (torque) ที่ใช้ของตำแหน่ง C และตำแหน่ง D จะไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.31 ส่วนลดทอนแรงส่วนที่สอง

แต่แรงบิด (torque) ที่ตำแหน่ง D และตำแหน่ง E จะเท่ากัน โดยที่ r คือ รัศมีของวงในแต่
ละจุดในหน่วยเมตร (m) และ F คือแรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับรัศมีในหน่วยนิวตัน (N)
ดังนั้น

$$\tau_2 = F_D \cdot r_D = F_E \cdot r_E \frac{1}{2} \quad \text{.....(2.16)}$$

โดยที่ r_D คือ รัศมีของพู่เล่เล็ก(สีน้ำตาล)ที่ตำแหน่ง D (m)
 r_E คือ รัศมีของพู่เล่ใหญ่(สีเขียว)ที่ตำแหน่ง E (m)
 τ_2 คือ แรงบิดของแกนที่ 2 (m)

เนื่องจากเป็นพู่เล่ที่มีจำนวนฟันของพู่เล่เล็กต่อพู่เล่ใหญ่ คือ 20 ต่อ 80 ฟัน ซึ่งจะทำให้ความ
เร็วรอบ ของพู่เล่เล็กต่อพู่เล่ใหญ่คือ 4 ต่อ 1 รอบ ดังสมการที่ (2.17)

$$rpm_2 = (4) \cdot rpm_1 \quad \text{.....(2.17)}$$

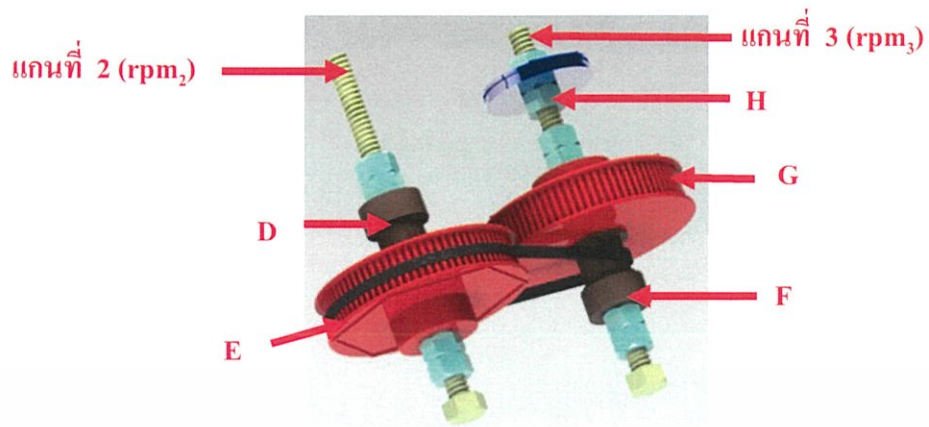
$$rpm_2 = (4)(29.2590rpm)$$

$$rpm_2 = 117.0362rpm$$

โดยที่ rpm_2 คือ ความเร็วรอบต่อนาทีในแกนที่ 2

3. ส่วนลดทอนแรงส่วนที่สาม (แกนที่ 3: rpm₃)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ความเร็วเชิงเส้นและแรงที่กระทำที่ตำแหน่ง E และตำแหน่ง F จะเท่ากัน ส่วนที่ตำแหน่ง F
ตำแหน่ง G และตำแหน่ง H จะมีแรงบิด (torque) และความเร็วเชิงมุมที่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.32 จาก
สมการ $F = \frac{\tau}{r}$ จะได้ว่าแรงบิด (torque) ที่ใช้ของตำแหน่ง E และตำแหน่ง F จะไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.32 ส่วนลดทอนแรงสาม

แต่แรงบิด (torque) ที่ตำแหน่ง F ตำแหน่ง G และ ตำแหน่ง H จะเท่ากัน ดังนั้น

$$\tau_3 = F_F \cdot r_F = F_G \cdot r_G = F_H \cdot r_H \quad \text{.....(2.18)}$$

โดยที่

- r_H คือ รัศมีของรอก (สีน้ำเงิน) ที่ตำแหน่ง H (m)
- r_F คือ รัศมีของพู่เล่เล็ก (สีน้ำตาล) ที่ตำแหน่ง F (m)
- r_G คือ รัศมีของพู่เล่ใหญ่ (สีส้ม) ที่ตำแหน่ง G (m)
- τ_3 คือ แรงบิดของแกนที่ 3 (N-m)

เนื่องจากเป็นพู่เล่ที่มีจำนวนฟันของพู่เล่เล็กต่อพู่เล่ใหญ่คือ 20 ต่อ 80 ฟัน ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบของพู่เล่เล็กต่อพู่เล่ใหญ่คือ 4 ต่อ 1 รอบ

$$rpm_3 = (4) \cdot rpm_2 \quad \text{.....(2.19)}$$

$$rpm_3 = (4) \cdot (117.0362 rpm)$$

$$rpm_3 = 468.1447 rpm$$

โดยที่ rpm_3 คือ ความเร็วรอบต่อนาทีในแกนที่ 3

จาก $\omega = rpm \times \frac{2\pi}{60}$ จะได้ว่าความเร็วเชิงมุมของตำแหน่ง H ในหน่วย rad/s

$$\omega_H = rpm \left(\frac{2\pi \text{ rad / round}}{60 \text{ s / min}} \right) \quad \text{.....(2.20)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งหากมีการนำไปใช้

$$\omega_H = 468.1447 rpm \left(\frac{2\pi \text{ rad/round}}{60 \text{ s / min}} \right)$$

$$\omega_H = 49.0240 \text{ rad / s}$$

จาก $V = \omega \cdot r$ จะได้ว่าความเร็วเชิงเส้นของตำแหน่ง H ในหน่วย m/s เพราะฉะนั้น

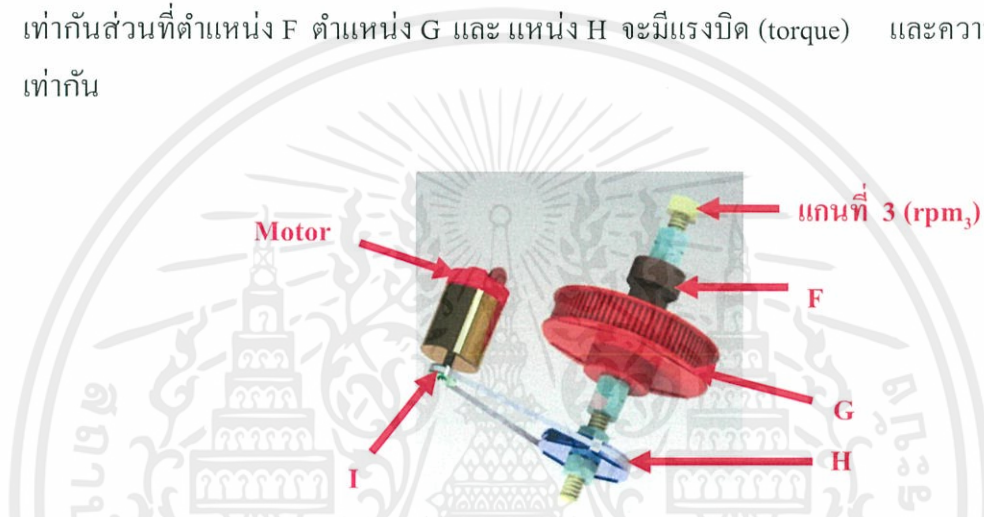
$$V_H = \omega_H \cdot r_H \quad \text{.....(2.21)}$$

$$V_H = (49.0240 \text{ rad/s})(14 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$V_H = 0.6863 \text{ m/s}$$

4. ส่วนลดทอนแรงพลังงานอินพุต

จากรูปที่ 2.33 จะได้ว่าความเร็วเชิงเส้นและแรงที่กระทำที่ตำแหน่ง H และ ตำแหน่ง I จะเท่ากันส่วนที่ตำแหน่ง F ตำแหน่ง G และ ตำแหน่ง H จะมีแรงบิด (torque) และความเร็วเชิงมุมที่เท่ากัน



รูปที่ 2.33 ส่วนของการลดทอนแรงพลังงานอินพุต

จาก $F = \frac{\tau}{r}$ จะได้ว่าแรงบิด (torque) ที่ใช้ของตำแหน่ง I และตำแหน่ง H จะไม่เท่ากัน แต่แรงบิด (torque) ที่จุด F จุด G และ จุด H จะเท่ากัน ดังรูปที่ 2.33 โดยที่ r คือรัศมีของวงในแต่ละจุดในหน่วยเมตร (m) และ F คือแรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับรัศมีในหน่วยนิวตัน (N) ดังนั้น

$$\tau_4 = \tau_I \quad \text{.....(2.22)}$$

$$\tau_4 = F_I \cdot r_I$$

ดังนั้น

$$\tau_4 = (2.5 \times 10^{-3}) F_I \quad \text{.....(2.23)}$$

โดยที่ r_I คือ รัศมีของรอกที่ติดกับมอเตอร์(สี่เหลี่ยม)ที่ตำแหน่ง I (m)

τ_4 คือ แรงบิดของมอเตอร์ ($N-m$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากผู้พิมพ์มีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $F_I = F_H$ จะได้

$$\tau_4 = (2.5 \times 10^{-3}) F_H \quad \text{.....(2.24)}$$

$$\tau_4 = \left(\frac{2.5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.0554}{14 \times 10^{-3} \text{ m}} \right) \tau_I$$

$$\tau_4 = (0.0099) \tau_I \quad \text{.....(2.25)}$$

จาก $\omega = \frac{V}{r}$ จะได้ว่าความเร็วเชิงเส้นในหน่วย rad/s ของตำแหน่ง H และ ตำแหน่ง I จะเท่ากันแต่ตำแหน่ง F ตำแหน่ง G และ ตำแหน่ง H จะไม่เท่ากัน ดังนั้นจะได้สมการ

$$V_H = V_I \quad \text{.....(2.26)}$$

$$V_H = \omega_I \cdot r_I$$

$$V_H = (2.5 \times 10^{-3} \text{ m}) \omega_I \quad \text{.....(2.27)}$$

แทนค่า V_H ในสมการที่ (4.24)

$$\omega_I = \frac{0.6863 \text{ m/s}}{2.5 \times 10^{-3} \text{ m}} = 274.5344 \text{ rad/s}$$

โดยที่ ω_I คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ในหน่วย rad/s

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงผลความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ 3 V

ω_A (rad/s)	rpm_1 (rpm)	rpm_2 (rpm)	rpm_3 (rpm)	V_H (m/s)	V_I (m/s)	ω_I (rad/s)
3.064	29.259	117.036	468.145	0.686	0.686	274.534
6.189	59.101	236.402	945.610	1.386	1.386	554.534
9.590	91.578	366.311	1465.244	2.148	2.148	859.264
12.158	116.100	464.401	1857.606	2.723	2.723	1089.357
15.310	146.200	584.799	2339.196	3.429	3.429	1371.776
15.771	150.602	602.408	2409.631	3.533	3.533	1413.082
15.917	151.996	607.985	2431.938	3.565	3.565	1426.163
17.059	162.901	651.606	2606.423	3.821	3.821	1528.486
17.111	163.398	653.592	2614.368	3.833	3.833	1533.146

หมายเหตุ* ω_A คือ ความเร็วเชิงมุมของจานแม่เหล็ก (rad/s)

rpm_1 คือ ความเร็วในหน่วยรอบต่อวินาทีของแกนที่ 1

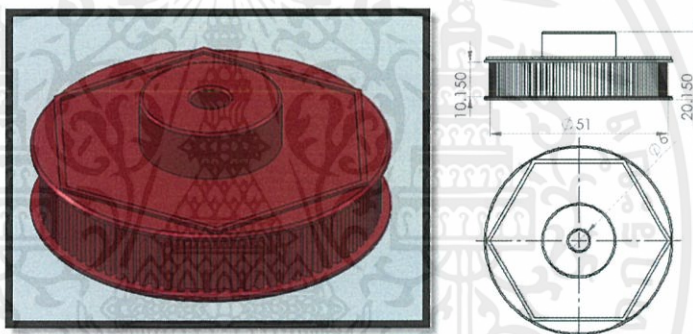
- rpm_2 คือ ความเร็วในหน่วยรอบต่อวินาทีของแกนที่ 2
 rpm_3 คือ ความเร็วในหน่วยรอบต่อวินาทีของแกนที่ 3
 V_H คือ ความเร็วเชิงเส้นที่ตำแหน่ง H (รอกสีน้ำเงิน) (m/s)
 V_I คือ ความเร็วเชิงเส้นที่ตำแหน่ง I (ของมอเตอร์) (m/s)
 ω_1 คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (rad/s)

2.8.2 ชุดลดทอนแรงบิด (Torque reducer)

จะทำหน้าที่ลดแรงบิดของมอเตอร์ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบด้วย

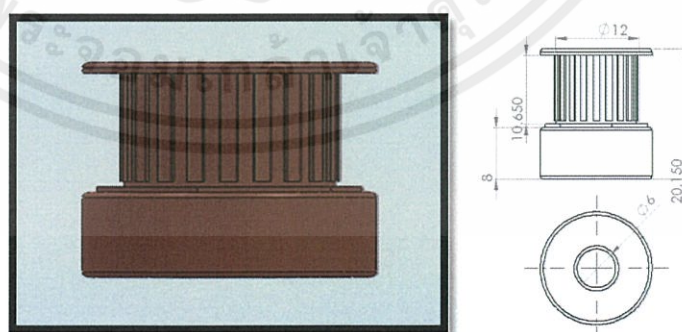
1. พู่เล่ (Pulley)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 mm 80 ฟัน 3 ตัว



รูปที่ 2.34 พู่เล่ (Pulley) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 mm

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm 20 ฟัน 3 ตัว

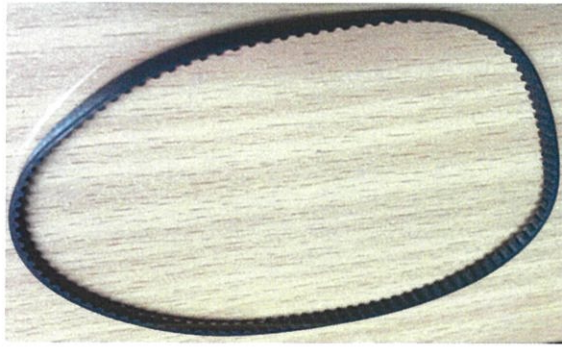


รูปที่ 2.35 พู่เล่ (Pulley) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สายพาน

- แบบมีร่องฟันเส้นรอบวง 280 mm 2 เส้น



รูปที่ 2.36 สายพานแบบมีร่องฟันเส้นรอบวง 280 mm

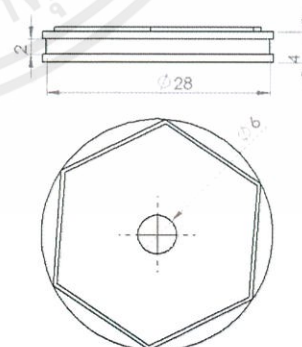
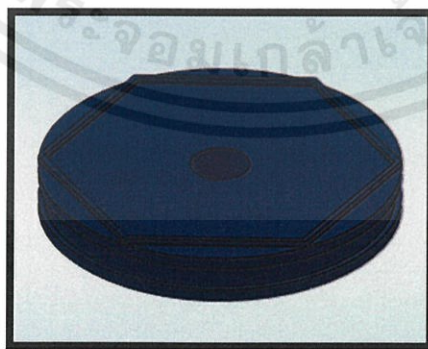
- แบบเรียบรอบวง 149 mm 1 เส้น



รูปที่ 2.37 สายพานแบบเรียบรอบวง 149 mm

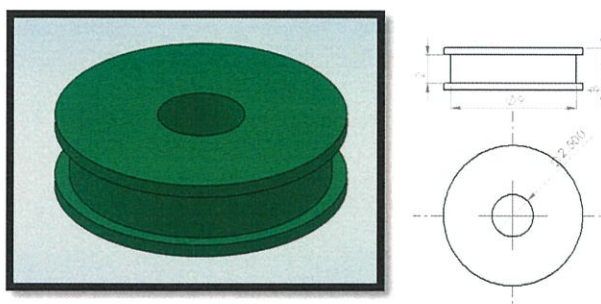
3. รอก

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 mm 1 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.38 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 mm
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm 1 ตัว



รูปที่ 2.39 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงผลการวัดและคำนวณหาทอร์กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบ

จ่ายไฟ (V)	แรง(N)						ทอร์ก (N-mm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
2.590	2.900	2.900	2.850	2.800	2.900	2.870	3.588
3.730	2.850	2.900	2.850	2.850	2.900	2.870	3.588
4.990	2.900	2.850	2.900	2.850	2.900	2.880	3.600
7.490	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	3.625
13.700	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	3.625
19.910	2.900	2.850	2.900	2.900	2.900	2.890	3.613
26.100	2.900	2.900	2.900	2.850	2.900	2.890	3.613
31.400	2.900	2.850	2.900	2.900	2.900	2.890	3.613
รัศมีแกนมอเตอร์ 1.250 mm						เฉลี่ย	3.608

จากตารางที่ 2.5 จะได้ผลการทดลองและคำนวณหาค่าทอร์กของมอเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีค่า $\tau = 3.608 \times 10^{-3} \text{ N-mm}$. และ $\omega_r = 274.5344 \text{ rad/s}$ ดังนั้นกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบนี้จะมีค่าดังสมการที่ (2.28)

$$P = \tau \cdot \omega \quad \dots\dots(2.28)$$

$$P = (3.608 \times 10^{-3} \text{ N-mm.}) (274.5344 \text{ rad/s})$$

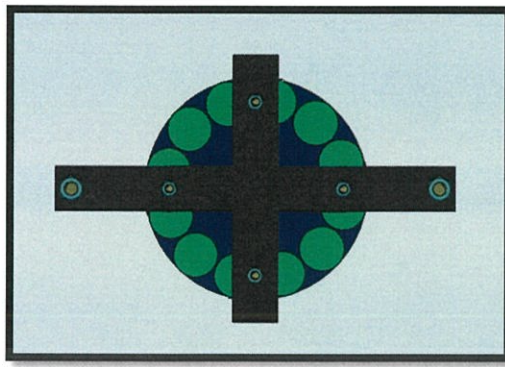
$$P = 0.9905 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้นที่มีเหตุขัดแย้งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

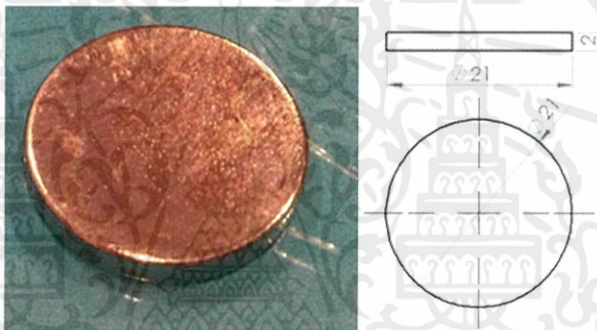
2.8.3 ส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้า

ส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลการหมุนจากมอเตอร์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าดังรูปที่ 2.40 ประกอบด้วย



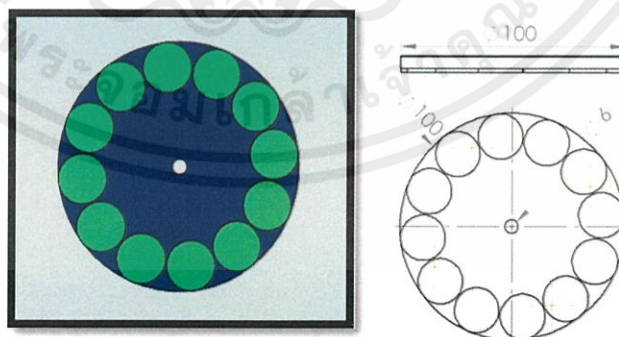
รูปที่ 2.40 ส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- แม่เหล็กถาวรชนิดนีโอดีเมียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 mm 12 อัน



รูปที่ 2.41 แม่เหล็กถาวรชนิดนีโอดีเมียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 mm

- แผ่นเหล็กงานวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm

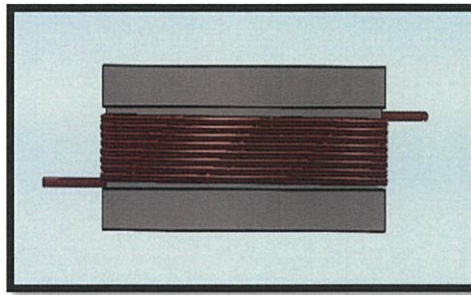


รูปที่ 2.42 แผ่นเหล็กงานวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

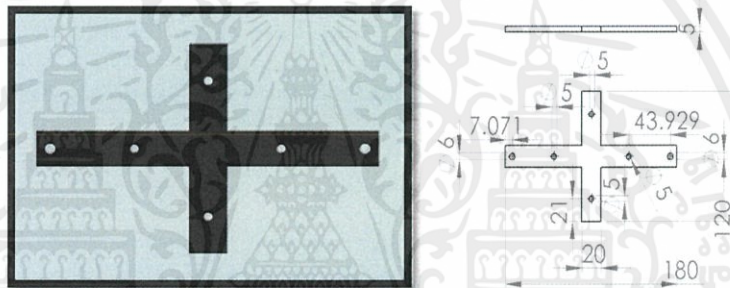
- ขดลวดทองแดงเบอร์ 26 พันรอบแกนอากาศ 600 รอบ

- เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm จำนวน 4 ขด



รูปที่ 2.43 ขดลวดทองแดงเบอร์ 26 พันรอบแกนอากาศ เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm.
จำนวน 600 รอบ

4. แผ่นเหล็กสำหรับยึดเกาะขดลวด



รูปที่ 2.44 แผ่นเหล็กสำหรับยึดเกาะขดลวด

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P = IV = \frac{(V)^2}{R} = (I)^2 R \quad \text{หน่วย } W \quad \dots\dots(2.29)$$

จากการวัดได้ $I = 2 \text{ mA}$ และ $V_{rms} = 0.810 \text{ V}$ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่เอาต์พุตคือ

$$P = (2 \text{ mA})(0.810 \text{ V})$$

$$P = 1.620 \text{ mW}$$

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดคือ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots(2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการประชาสัมพันธ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ P_{in} คือ กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดให้ทำงาน ในหน่วย W
 P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถผลิตได้ใน P_{in} นั้นๆ ในหน่วย W

ดังนั้นจาก $P_{in} = 0.9905 \text{ W}$ จะทำให้ได้ $P_{out} = 1.620 \times 10^{-3} \text{ W}$

เพราะฉะนั้น

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1.620 \times 10^{-3} \text{ W}}{0.9905 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 0.164\%$$

ตารางที่ 2.6 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบ

$\omega_I \text{ (rad / s)}$	$P_m \text{ (W)}$	$V_{rms} \text{ (V)}$	$I \text{ (mA)}$	$P_{out} \text{ (mW)}$	$\eta \text{ (\%)}$
274.534	0.991	0.81	2.00	1.620	0.164
554.534	2.001	1.66	6.00	9.960	0.498
859.264	3.100	2.52	15.63	39.388	1.270
1089.357	3.930	3.44	35.40	121.776	3.098
1371.776	4.949	4.18	36.50	152.570	3.083
1413.082	5.098	4.07	37.00	150.590	2.954
1426.163	5.146	4.21	37.00	155.770	3.027
1528.486	5.515	4.43	37.00	163.910	2.972
1533.146	5.532	4.45	37.00	164.650	2.977

หมายเหตุ* ω_I คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (rad / s)
 P_m คือ กำลังของมอเตอร์ (W)
 P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่ขดลวดสร้างได้ (W)
 η คือ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

การออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

- 3.1 การศึกษาระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงบิดต่ำ
- 3.2 การสร้างและการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 3.3 การออกแบบและประกอบชุดเครื่องมือพันขดลวด
- 3.4 การออกแบบและประกอบภาคพลังงานเอาต์พุต
- 3.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพ

3.1 การศึกษาระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงบิดต่ำ

ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงบิดต่ำจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของภาคพลังงานอินพุตและภาคพลังงานเอาต์พุต ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในส่วนของเส้นประสีน้ำเงินจะเป็นส่วนของภาคพลังงานอินพุต ซึ่งเป็นพลังงานจากการหมุนที่ทำให้เกิดความเร็วเชิงมุม (ω) โดยพลังงานอินพุตจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจาก V_{input} ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วยวงจรปรับค่าแรงดัน ในส่วนถัดมาเป็น ส่วนของ Mechanical part ซึ่งเป็นส่วนของการขยายในทางเครื่องกล ซึ่งจะใช้รอกในการทรอบ เพื่อให้ความเร็วเชิงมุมเพิ่มไปเป็นจำนวน X เท่าจากเดิม ฉะนั้นจากความเร็วเชิงมุมทางอินพุตคือ ω จะทำให้ได้ความเร็วเชิงมุมในทางเอาต์พุตเป็น $X\omega$ หรือในทางกลับกัน หากกลับทิศทางของรอกแล้วจะมีผลทำให้แรงที่ใช้ในการบิดหรือค่าทอร์กมีค่าน้อยลงและในของเส้นประสีแดงจะเป็นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

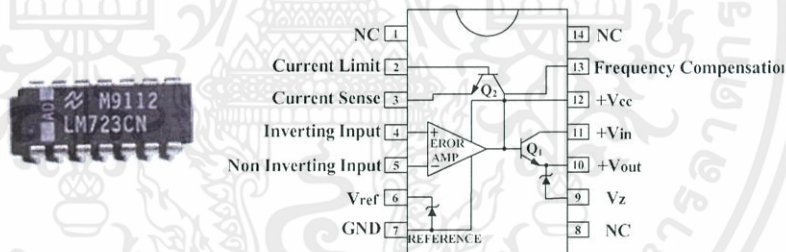
ของภาคพลังงานเอาต์พุตที่รวมระหว่างงานแม่เหล็กและขดลวด ซึ่งงานแม่เหล็กจะเป็นการนำเอาพลังงานจากการหมุนมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่จะไปผ่านขดลวดเพื่อนำเอาความเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กมาเปลี่ยนให้กลายเป็นไฟฟ้าตามกฎแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

3.2 การสร้างและการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

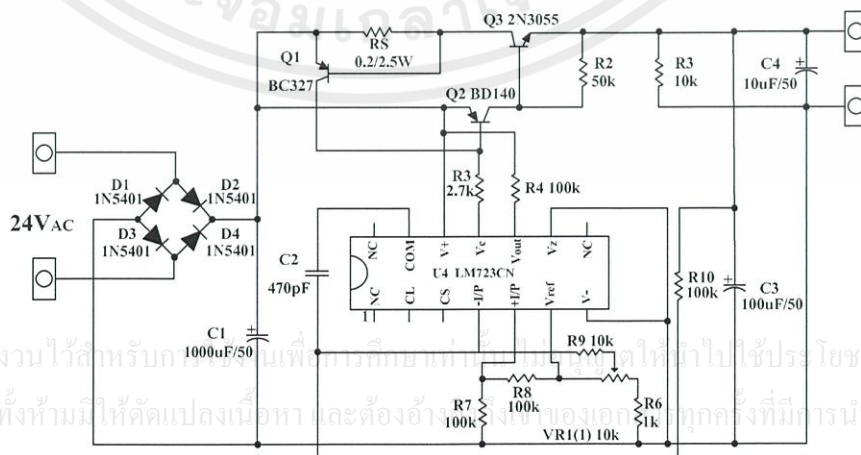
3.2.1 ออกแบบและประกอบภาคพลังงานอินพุตในส่วนของวงจรปรับค่าแรงดัน

ภาคพลังงานอินพุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้มุ่งเน้นไปในส่วนของการหมุน โดยจะใช้วงจรปรับค่าแรงดันเพื่อช่วยในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟกระแสตรง ซึ่งส่วนสำคัญในขั้นตอนนี้คือการออกแบบวงจรปรับค่าแรงดัน โดยอาศัยเร็กกูเลเตอร์

วงจรปรับค่าแรงดันนี้ใช้เร็กกูเลเตอร์เบอร์ LM723 ซึ่งเป็นเร็กกูเลเตอร์ที่ใช้ไอซีหลายขาและนิยมนำมาใช้กันอย่างมาก เพราะสามารถใช้งานครอบคลุมได้อย่างครบถ้วน โดยมีลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2

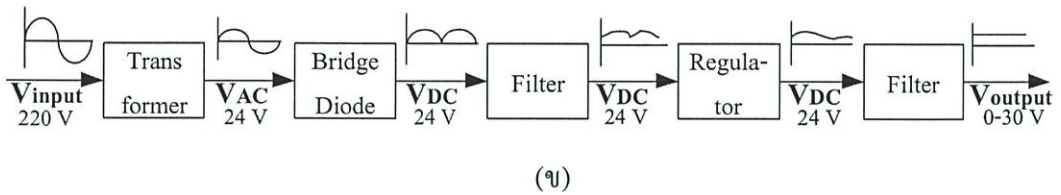


รูปที่ 3.2 เร็กกูเลเตอร์ LM723 และวงจรสมมูลภายในและขาต่างๆ



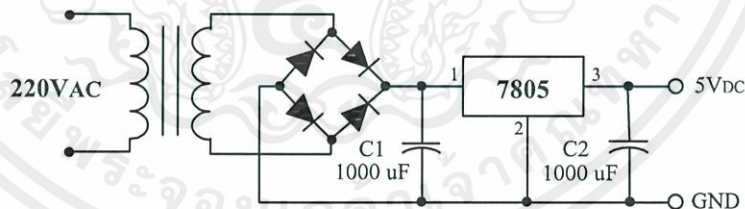
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้นห้ามทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ก) วงจรปรับค่าแรงดันตั้งแต่ 0 – 30 V โดยใช้เร็กกูเลเตอร์ LM723
(ข) แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรปรับแรงดัน

จากวงจรดังรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) เริ่มจากการรับไฟที่เป็นไฟกระแสสลับที่มีแรงดัน 220V ที่ผ่านหม้อแปลงเพื่อปรับลดค่าแรงดันลงเหลือ 24V จากนั้นส่งแรงดันไฟกระแสสลับเข้าสู่วงจรผ่านชุดไดโอดเรกติไฟร์ประกอบด้วยไดโอด 4 ตัวต่อแบบบริดจ์แปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรง ซึ่งจะส่งต่อไปยังฟิลเตอร์(C1) เพื่อให้สัญญาณไฟมีความเรียบมากขึ้นแล้วส่งเข้าวงจรเร็กกูเรเตอร์ RS ($RS=RS1//RS2//RS3//RS4//RS5=0.2$ โอห์ม) ใช้เป็นตัวจับกระแสเกินเมื่อมีแรงดันไฟตกคร่อม RS ประมาณ 0.6V จะทำให้ Q1 นำกระแสส่งผลให้แรงดันระหว่างขา B กับขา E ของ Q2 ลดลงทำให้ Q2 นำกระแสลดลง ส่งผลให้แรงดันที่ขา B ของ Q3 ลดลงตาม ทำให้การนำกระแสของ Q3 ลดลง วงจรจะไม่เกิดการเสียหาย โดยมี VR1(V1) ทำหน้าที่ปรับแรงดันที่ขา I/P ของ U4 เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟที่เอาท์พุทจาก 24V ให้สามารถปรับเป็นค่าต่างๆได้ หลังจากผ่านวงจรเร็กกูเรเตอร์ เพื่อกำจัดกระแสที่ไหลผ่านแล้งจึงส่งแรงดันเข้าสู่วงจรฟิลเตอร์(C4) เพื่อให้สัญญาณไฟที่ออกมามีความเรียบและนิ่งขึ้น ซึ่งค่าแรงดันจะสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0-30 V

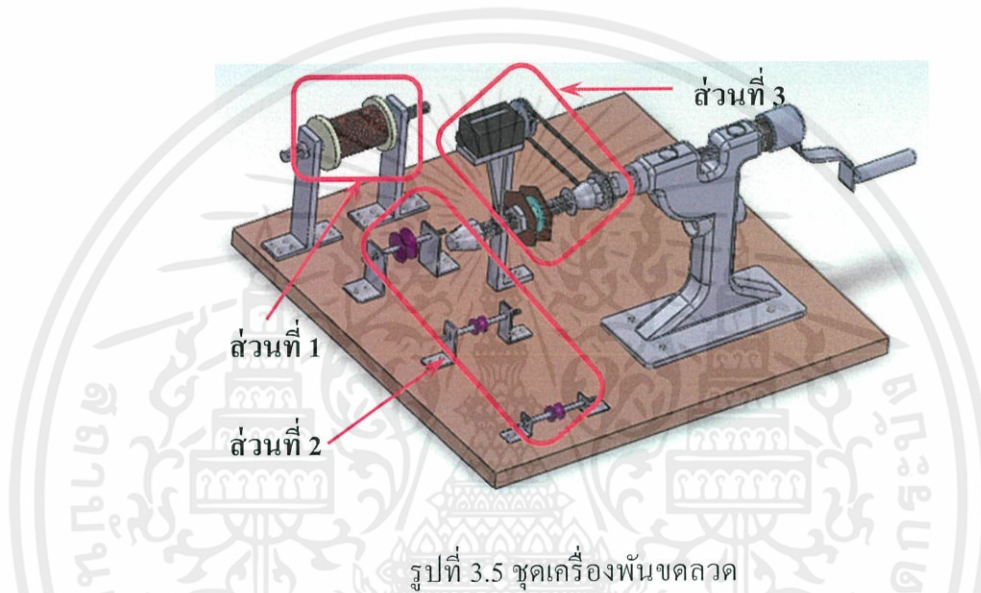


รูปที่ 3.4 วงจรปรับแรงดันคงที่ 5V

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรที่รับไฟกระแสสลับ 220V ผ่านหม้อแปลงเพื่อปรับลดค่าแรงดันลงเหลือ 6V จากนั้นเข้าสู่วงจรผ่านชุดไดโอดเรกติไฟร์ ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 4 ตัวต่อแบบบริดจ์เพื่อแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงเข้าสู่ C1 โดยทำหน้าที่ฟิลเตอร์ไฟให้เรียบแล้วส่งเข้าเร็กกูเรเตอร์ 7805 เพื่อแปลงให้มีแรงดันคงที่เป็น 5V จากนั้นผ่านฟิลเตอร์(C2) ออกเป็นเอาท์พุทที่มีแรงดันคงที่ 5V

3.3 การออกแบบและประกอบชุดเครื่องมือพันขดลวด

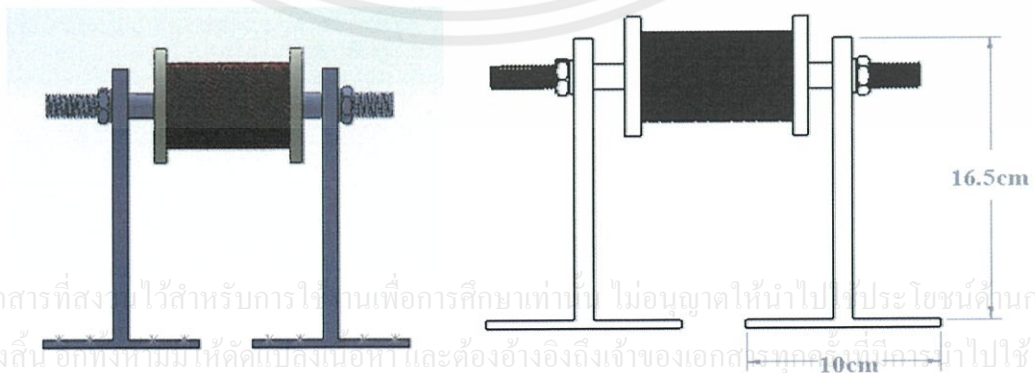
ในโครงการพิเศษนี้จะทำการพัฒนาในส่วนของภาคพลังงานเอาท์พุทที่ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้า ตามกฎแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ โดยทำการพัฒนาในส่วนของขดลวด ซึ่งส่วนสำคัญในขั้นตอนนี้คือการออกแบบและประกอบชุดเครื่องมือพันขดลวด โดยทำการออกแบบแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกคือ แท่นวางแกนขดลวด ส่วนที่สองคือ รอกดึงขดลวด 3 อัน และส่วนสุดท้ายคือ บริเวณที่ใช้ใส่แกนที่จะพันขดลวด จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องมือพันขดลวด

ส่วนแรกคือ แท่นวางแกนขดลวด ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ติดตั้งม้วนขดลวดทองแดง โดยมีการใส่สกรู เพื่อให้ม้วนขดลวดทองแดงหมุนได้อย่างคล่องตัว ดังรูปที่ 3.6 ประกอบด้วย

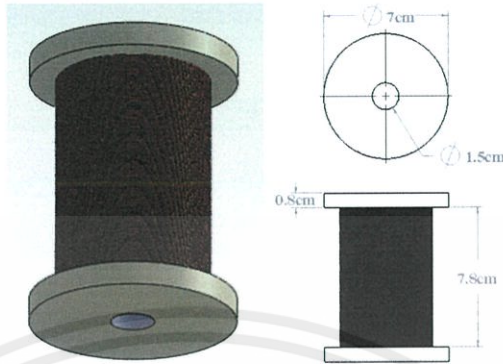
1. ม้วนขดลวดทองแดง
2. สกรู
3. แท่นติดตั้ง



รูปที่ 3.6 แท่นวางแกนขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ม้วนขดลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm และมีน้ำหนัก 1 kg ดังรูปที่ 3.7



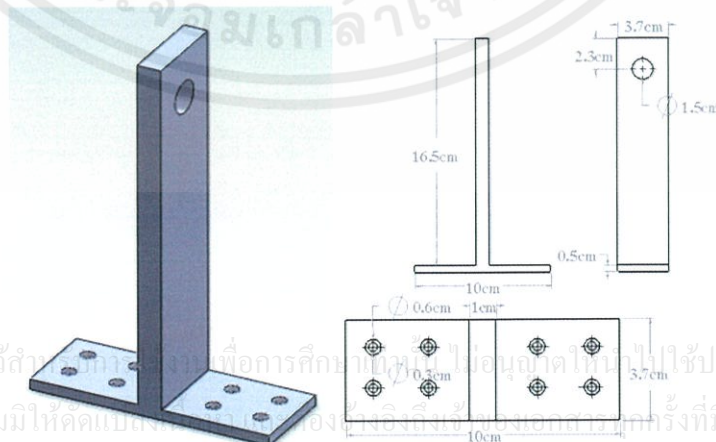
รูปที่ 3.7 ม้วนขดลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm

2. สกรู เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm และมีขนาดความยาว 14 cm ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สกรู ความยาว 14 cm

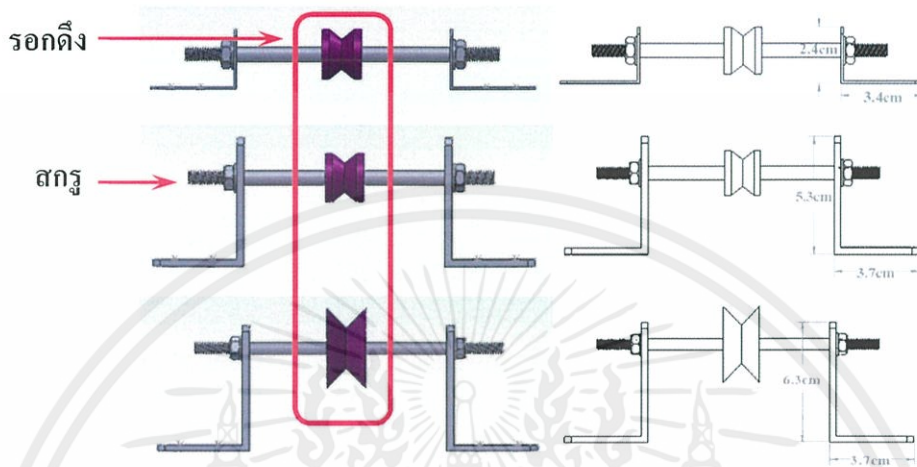
3. แท่นติดตั้ง ขนาดความสูง 16.5 cm และความกว้าง 10 cm จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.9 แท่นติดตั้ง ความสูง 16.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ส่วนที่สองคือ รอกดึงขดลวดสีม่วง 3 อัน ซึ่งทำการออกแบบให้แท่นติดตั้งมีขนาดความสูง สัดส่วนที่ต่างกัน เพื่อทำให้เกิดแรงดึงช่วยให้ขดลวดที่ผ่านมีความตึงง่ายต่อการนำมาพันลงแกน ขดลวดที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.10 ประกอบด้วย 1. รอกดึง 2. สกรู 3. แท่นติดตั้ง

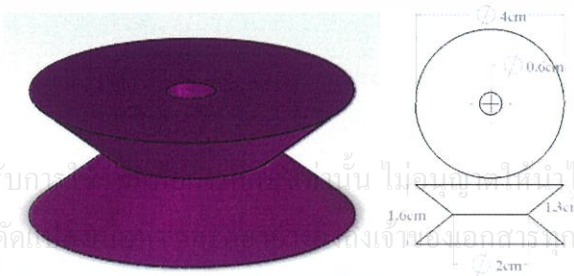


รูปที่ 3.10 รอกดึงขดลวด

1. รอกดึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm จำนวน 2 ตัวและเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm จำนวน 1 ตัว



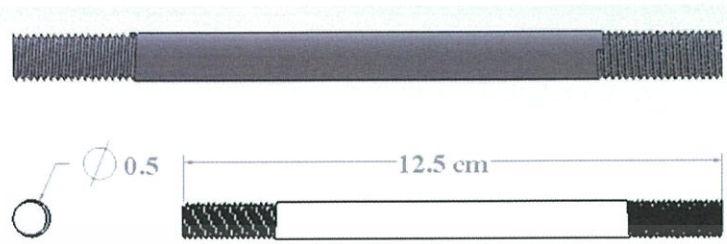
รูปที่ 3.11 รอกดึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm



รูปที่ 3.12 รอกดึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm

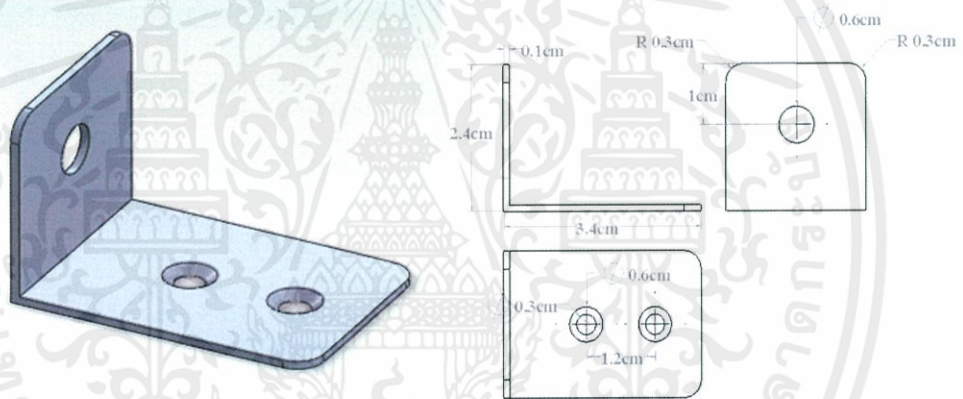
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารฉบับนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

2. สกรู ขนาดความยาว 12.5 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm จำนวน 3 ตัว

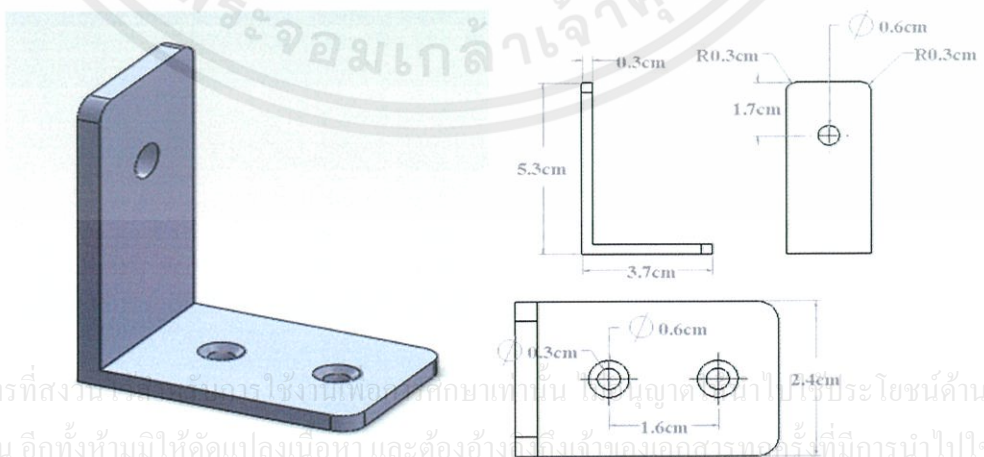


รูปที่ 3.13 สกรู ขนาดความยาว 12.5 cm

3. แท่นติดตั้ง ขนาดความสูง 2.4 cm จำนวน 1 ตัวและขนาดความสูง 5.3 cm จำนวน 1 ตัว



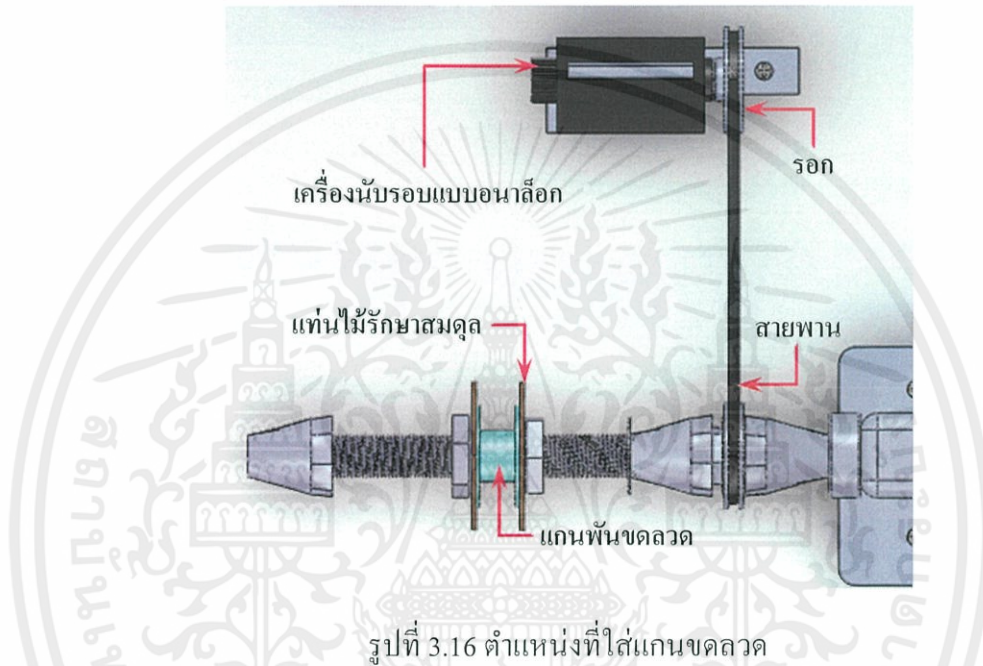
รูปที่ 3.14 แท่นติดตั้งขนาดความสูง 2.4 cm



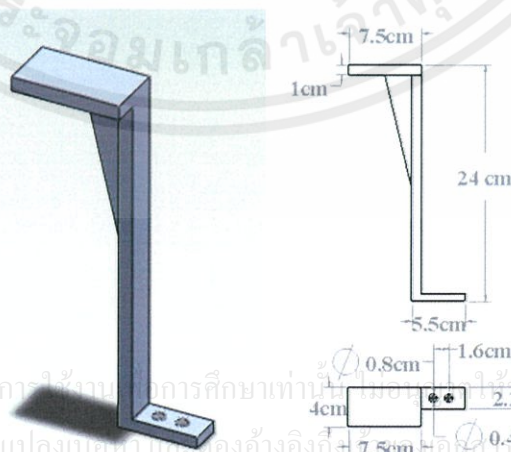
รูปที่ 3.15 แท่นติดตั้ง ขนาดความสูง 5.3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบัน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสุดท้ายคือ บริเวณที่ใช้ใส่แกนที่จะพันขดลวดเป็นแกนสีฟ้า ซึ่งจะติดตั้งเข้ากับเครื่องพันขดลวดที่ถูกยึดด้วยแท่นไม้เพื่อช่วยรักษาสมดุล และใช้สายพานคล้องเข้ากับรอกของเครื่องพันขดลวดเชื่อมต่อกับรอกยึดเข้ากับเครื่องนับรอบแบบอนาล็อก เพื่อทำการวัดจำนวนรอบของขดลวดที่พันตามแกน ซึ่งส่วนสุดท้ายประกอบด้วย 1. แท่นติดตั้งเครื่องนับรอบแบบอนาล็อก 2. รอก 3. สายพาน 4. แกนพันขดลวด 5. แท่นไม้รักษาสมดุล ดังรูปที่ 3.16

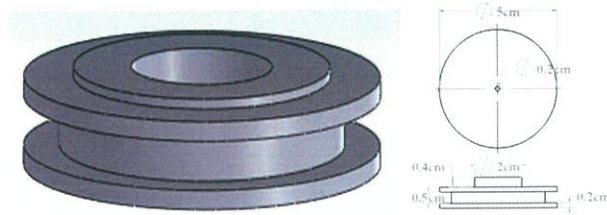


1. แท่นติดตั้งเครื่องนับรอบแบบอนาล็อก ขนาดความสูง 24 cm

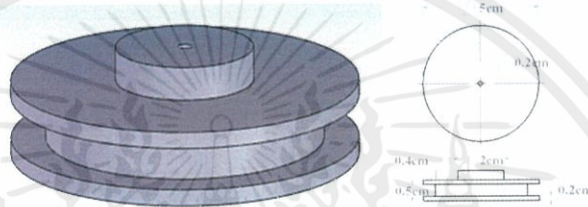


รูปที่ 3.17 แท่นติดตั้งเครื่องนับรอบแบบอนาล็อก ขนาดความสูง 24 cm

2. รอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm จำนวน 2 แบบ



รูปที่ 3.18 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm แบบที่ 1



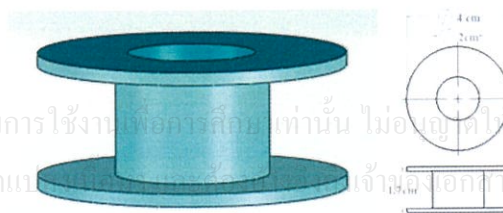
รูปที่ 3.19 รอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm แบบที่ 2

3. สายพานแบบกลมเส้นรอบวง 149 mm 1 เส้น



รูปที่ 3.20 สายพานแบบกลมเส้นรอบวง 149 mm 1 เส้น

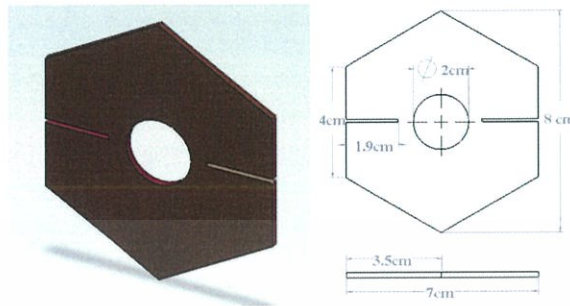
4. แคนพันขดลวด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือจำหน่ายเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 แคนพันขดลวด

5. แท่นไม้รักษาสมดุล ขนาดความสูง 8 cm

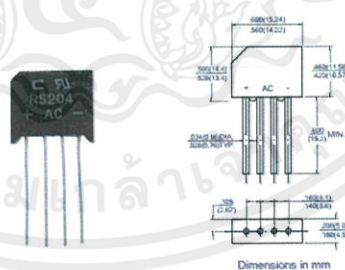


รูปที่ 3.22 แท่นไม้รักษาสมดุล ขนาดความสูง 8 cm

3.4 การออกแบบและประกอบส่วนของเอาต์พุต

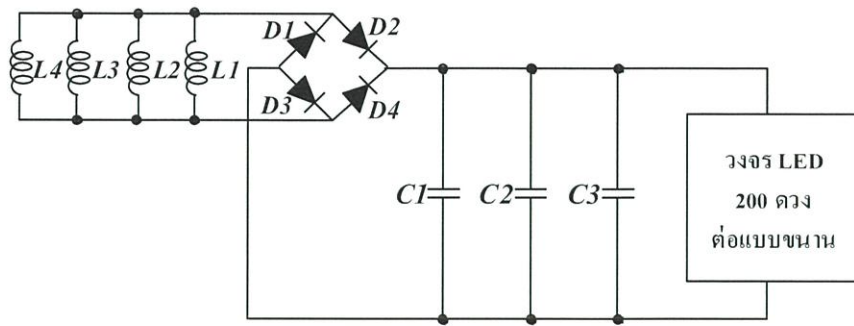
ภาคพลังงานเอาต์พุตหรือโหลดที่แสดงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นประกอบด้วย วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier Circuit) เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า บริดจ์ไดโอด และตัวโหลดที่แสดงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดนั้น คือ ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting diode) ทั้งหมด 200 ดวง

วงจรเรกติไฟเออร์นี้ ได้ใช้บริดจ์ไดโอดเบอร์ RS204 ซึ่งเป็นบริดจ์ไดโอดที่ใช้งานได้ง่ายและนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.23



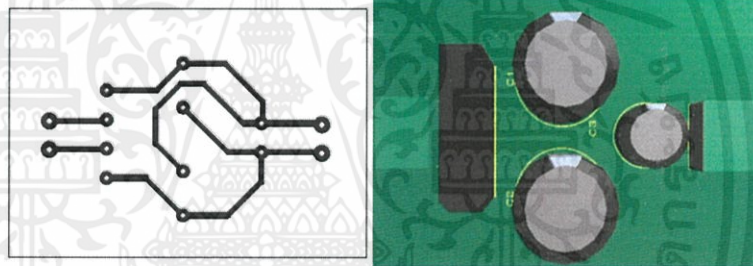
รูปที่ 3.23 บริดจ์ไดโอดเบอร์ RS204

วงจรภาคพลังงานเอาต์พุตหรือโหลดดังรูปที่ 3.24 นั้นเริ่มจากรับแรงดันกระแสสลับจากขดลวดที่ต่อขนานกันทั้ง 4 คอยด์คือ L1-L4 ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นทำการแปลงจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยชุดบริดจ์ไดโอด คือ D1-D4 และใช้ C1, C2 และ C3 เพื่อลดการกระเพื่อมของสัญญาณไฟฟ้าลง ก่อนจะจ่ายเข้าสู่ตัวโหลดหรือวงจร LED ที่ต่อขนานกันทั้งหมด 200 ดวง

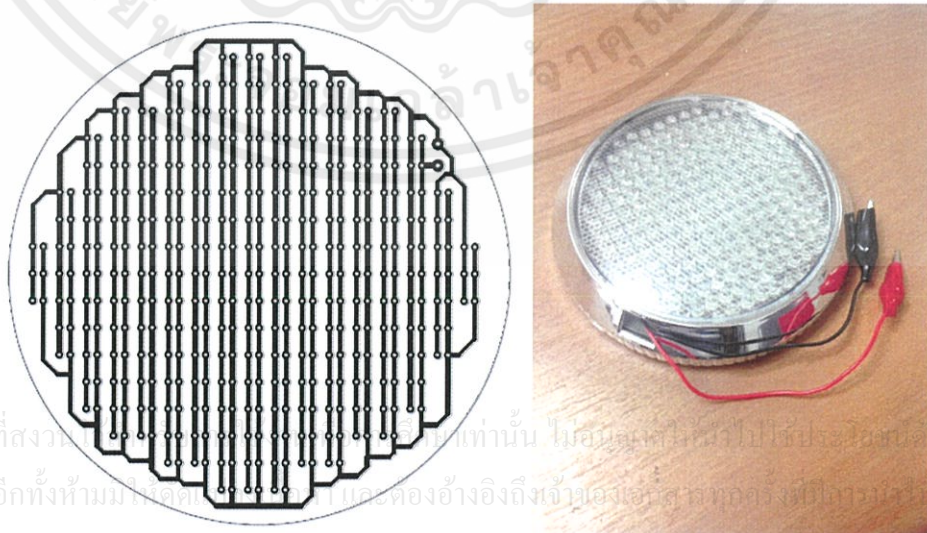


รูปที่ 3.24 วงจรภาคพลังงานเอาต์พุตหรือโหลด

- D1-D4 คือ บริดจ์ไดโอดเบอร์ RS204
 C1,C2 คือ ตัวเก็บประจุ $4700 \mu F$ 35 V
 C3 คือ ตัวเก็บประจุ $100 \mu F$ 25 V
 L1-L4 คือ ขดลวดต่อขนานกัน 4 คอยด์



รูปที่ 3.25 ลายทองแดงของวงจรเรกติไฟเออร์โดยใช้บริดจ์ไดโอด RS204



รูปที่ 3.26 ลายทองแดงและแบบสำเร็จของวงจรไดโอดเปล่งแสงแบบขนาน 200 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยให้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาขอใช้

3.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพ

ทำการจ่ายไฟที่มีค่าต่ำสุดที่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและสามารถขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ จากนั้นทำการวัดทอร์กของมอเตอร์เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานอินพุต ต่อมาทำการวัดพลังงานเอาต์พุตที่เป็นไฟฟ้าด้วยการเพิ่มปริมาณการจ่ายไฟฟ้าให้อินพุตและวัดเอาต์พุตจนสุดความสามารถของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สุดท้ายคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของเอาต์พุตเพื่อนำไปเทียบกับกำลังไฟฟ้าอินพุตก็จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองของโครงการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การทดสอบและวิเคราะห์กำลังการหมุนที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตอนที่ 2 การทดสอบและวิเคราะห์การกำเนิดไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์การเหนี่ยวนำของวงจรถดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

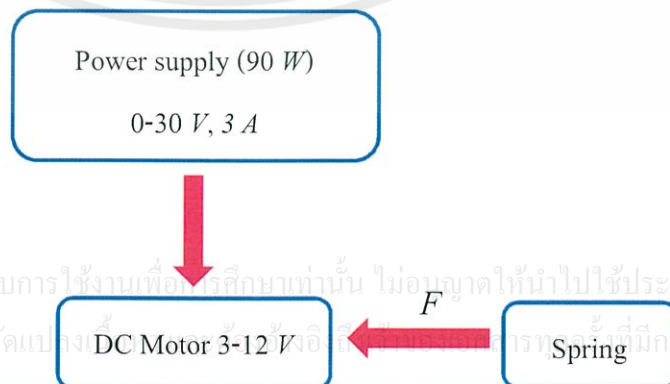
4.1 การทดสอบและวิเคราะห์กำลังการหมุนที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) Power supply (90 W) 0-30 V, 3 A
- 2) DC motor 3-12 V
- 3) ทรายขี้ผึ้ง ขนาด 1,000 g ยาว 250 mm.

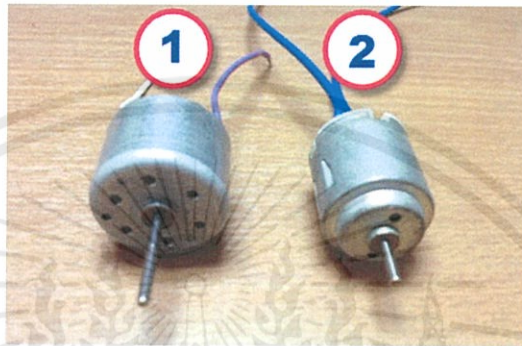
4.1.2 การทดสอบและวิเคราะห์มอเตอร์เพื่อหาค่าแรงบิดที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- 1). จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ในการทดสอบมอเตอร์เพื่อหาค่าแรงบิด

- 2). เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ $2.5V$ ทำการบันทึกค่าแรงดึงจากสปริง (F) ที่มอเตอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ลงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2
- 3). ทำซ้ำในข้อ 2 โดยปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจาก $2.5V - 12V$
- 4). วิเคราะห์หาค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 มอเตอร์ที่นำมาใช้ทดสอบหาค่าทอร์ก

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดและคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ตัวที่ 1 ที่มีรัศมีแกนมอเตอร์ 1.000 mm .

V (V)	$F(N)$					\bar{F} (N)	τ_1 ($N\text{-mm}$)	P_{motor} (W)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5			
2.50	1.20	1.25	1.20	1.20	1.25	1.22	1.22	0.837
3.06	1.30	1.35	1.35	1.30	1.30	1.32	1.32	1.829
3.57	1.45	1.50	1.40	1.45	1.50	1.46	1.46	3.137
4.49	1.60	1.65	1.65	1.65	1.70	1.65	1.65	4.493
5.56	1.70	1.80	1.85	1.60	1.90	1.77	1.77	6.069
6.52	1.75	1.80	1.80	1.85	1.85	1.81	1.81	6.395
7.50	1.90	2.00	2.05	1.90	1.85	1.94	1.94	6.916
8.55	2.05	2.10	2.15	2.15	2.10	2.11	2.11	8.062
10.48	2.30	2.25	2.25	2.30	2.25	2.27	2.27	8.701
12.03	2.45	2.50	2.45	2.40	2.55	2.47	2.47	9.910
ค่าเฉลี่ย						1.80	1.80	5.635

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดและคำนวณเพื่อหาค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ตัวที่ 2 ที่มีรัศมีแกนมอเตอร์ 1.000 mm.

V (V)	F(N)					\bar{F} (N)	τ_1 (N-mm)	P_{motor} (W)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5			
2.5	1.85	1.90	1.95	1.80	1.85	1.87	1.87	1.282
3.0	1.80	1.80	1.90	1.80	1.85	1.83	1.83	2.591
3.5	1.90	1.95	1.80	1.85	1.90	1.88	1.88	4.016
4.5	1.85	1.95	1.90	1.95	1.80	1.89	1.89	5.092
5.5	1.80	1.80	1.80	1.85	1.90	1.83	1.83	6.412
6.5	1.90	1.90	1.85	1.85	1.90	1.88	1.88	6.606
7.0	1.85	1.80	1.90	1.95	1.95	1.89	1.89	6.666
ค่าเฉลี่ย						1.87	1.87	6.666

4.1.3 การวิเคราะห์หาค่าความเร็วเชิงมุมและกำลังของมอเตอร์

การวิเคราะห์หาค่าความเร็วเชิงมุม (ω) และกำลังของมอเตอร์ (P) จะแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- ความเร็วเชิงมุมมอเตอร์ (ω)

จากสมการ $V_{motor} = \omega \cdot r$ (4.1)

$$= \omega \cdot (1 \times 10^{-3}) \text{ m/s}$$

แทนค่า V_{motor} ในสมการจะได้ $\omega_{motor} = \frac{0.686}{1 \times 10^{-3}}$

$$\omega_{motor} = 686 \text{ rad/s}$$

- กำลังของมอเตอร์ (P)

จากสมการกำลังคือ

$$P = \frac{\omega}{t} = \frac{F \cdot s}{t} \quad W \quad \text{.....(4.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มอนูญาเตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด โดยที่ $s = 2\pi r$ ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{(2\pi r) \cdot F}{t} \quad \text{.....(4.3)}$$

จาก $\tau = r \cdot F$

$$\text{จะได้ว่า } P = \frac{(2\pi r) \cdot F}{t} = \frac{(2\pi) \cdot \tau}{t} \quad \text{.....(4.4)}$$

เมื่อ $F = \frac{1}{r}$ และจากตารางที่ 4.2 $\tau = 1.22 \times 10^{-3} \text{ N-m}$, $\omega = 686 \text{ rad/s}$ ดังนั้นกำลังของมอเตอร์จะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P = \frac{w}{t} = \tau \cdot 2\pi f = \tau \cdot \omega \quad \text{.....(4.5)}$$

$$P = \tau \cdot \omega \quad \text{.....(4.6)}$$

$$P = (1.22 \times 10^{-3} \text{ N-m})(686 \text{ rad/s})$$

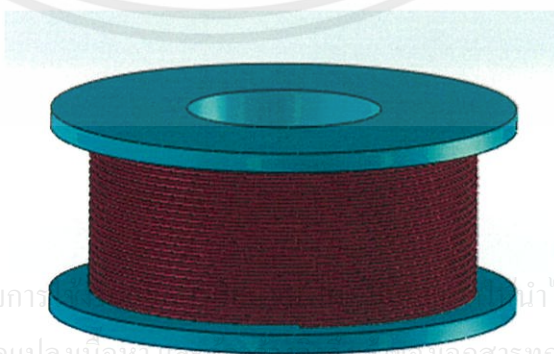
$$P = 0.837 \text{ W}$$

4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การกำเนิดไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากค่าความเร็วเชิงมุม (ω) ของมอเตอร์และค่ากำลังของมอเตอร์ (P) ในตารางที่ 4.3 นำมาวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบขนาดและจำนวนรอบของขดลวดในแต่ละเบอร์ขดลวด เพื่อวิเคราะห์การกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

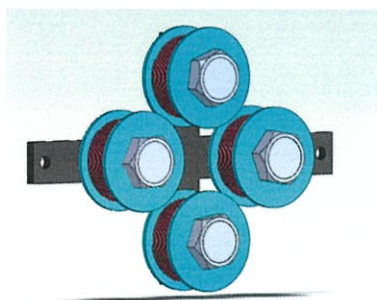
4.2.1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1). สร้างสนามแม่เหล็กด้วยการพันขดลวดทองแดงบนแกนอากาศพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm. ยาว 1.7 cm. จำนวน 4 คอยด์ ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



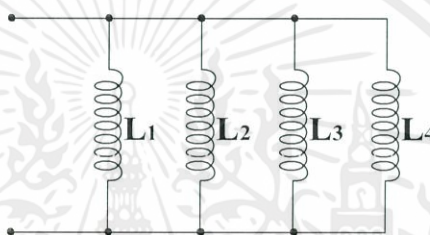
รูปที่ 4.3 แสดงแกนพันขดลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการติดตั้งแกนพันขดลวดทั้ง 4 คอยด์

2).ต่อแกนขดลวดทั้ง 4 คอยด์แบบขนานเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรขดลวดแบบขนาน

- 3). จัดวงจรทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6
- 4). เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 2.5 V ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า V_{rms} (V) และค่ากระแสไฟฟ้า I (A) ลงในตารางที่ 4.4
- 5). ทำซ้ำในข้อ 2 โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจาก $2.5\text{ V} - 12\text{ V}$
- 6). วิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วบันทึกลงในตารางที่ 4.4

Power supply (90 W) 0-30 V, 3 A



Generator

Digital Multimeter

V_{rms}, I

รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 28 จำนวน 800 รอบ

$\omega_{motor} (rad / s)$	$V_{rms} (V)$	$I (A)$	$P_{motor} (W)$	$P_{out} (W)$	$\eta (%)$
686	1.032	0.056	0.837	0.058	6.930
1386	1.432	0.060	1.829	0.086	4.702
2148	1.720	0.080	3.237	0.137	4.367
2723	2.344	0.089	4.493	0.208	4.629
3429	2.860	0.098	6.069	0.280	4.614
3533	3.296	0.104	6.395	0.342	5.348
3565	3.892	0.110	6.916	0.428	6.189
3821	4.248	0.113	8.062	0.480	5.954
3833	5.096	0.126	8.701	0.642	7.378
4012	5.736	0.131	9.910	0.751	7.578

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 28 จำนวน 1200 รอบ

$\omega_{motor} (rad / s)$	$V_{rms} (V)$	$I (A)$	$P_{motor} (W)$	$P_{out} (W)$	$\eta (%)$
686	1.094	0.029	0.837	0.032	3.823
1386	1.384	0.030	1.829	0.042	2.296
2148	1.986	0.031	3.237	0.062	1.915
2723	2.724	0.034	4.493	0.093	2.069
3429	3.541	0.035	6.069	0.124	2.043
3533	4.324	0.035	6.395	0.151	2.361
3565	4.576	0.035	6.916	0.160	2.313
3821	5.660	0.035	8.062	0.198	2.456
3833	6.502	0.035	8.701	0.228	2.620
4012	7.830	0.035	9.910	0.274	2.764

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 34 จำนวน 2400 รอบ

$\omega_{motor} (rad / s)$	$V_{rms} (V)$	$I (A)$	$P_{motor} (W)$	$P_{out} (W)$	$\eta (%)$
686	1.737	0.029	0.837	0.050	5.974
1386	2.705	0.036	1.829	0.097	5.303
2148	3.538	0.036	3.237	0.127	4.048
2723	4.980	0.035	4.493	0.174	3.873
3429	6.452	0.035	6.069	0.226	3.724
3533	7.576	0.037	6.395	0.280	4.378
3565	8.803	0.036	6.916	0.317	4.584
3821	9.726	0.037	8.062	0.360	4.465
3833	12.110	0.037	8.701	0.448	5.149
4012	14.040	0.036	9.910	0.505	5.096

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของขดลวดเบอร์ 34 จำนวน 3000 รอบ

$\omega_{motor} (rad / s)$	$V_{rms} (V)$	$I (A)$	$P_{motor} (W)$	$P_{out} (W)$	$\eta (%)$
686	1.752	0.026	0.837	0.046	5.496
1386	2.819	0.031	1.829	0.087	4.757
2148	3.678	0.032	3.237	0.118	3.762
2723	5.265	0.034	4.493	0.179	3.984
3429	6.807	0.034	6.069	0.231	3.806
3533	8.217	0.034	6.395	0.279	4.363
3565	9.450	0.034	6.916	0.321	4.641
3821	10.483	0.033	8.062	0.346	4.292
3833	13.150	0.034	8.701	0.447	5.137
4012	15.303	0.034	9.910	0.520	5.247

4.2.2 การวิเคราะห์คำนวณหา กำลังไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.3 นำค่าความเร็วเชิงมุม (ω) ของมอเตอร์และค่ากำลังของมอเตอร์ (P) มาวิเคราะห์และคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.4 ดังมีตัวอย่างการคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

1.) ขดลวดเบอร์ 28

1.1 พันขดลวดจำนวน 800 รอบ

- คำนวณหา กำลังไฟฟ้า (P)

จากตารางผลการทดลองที่ 4.4 $I = 0.056 A$ และ $V_{rms} = 1.032 V$

$$\text{จากสมการที่ (2.29)} \quad P = IV = \frac{(V)^2}{R} = (I)^2 R$$

$$P = (0.056 A)(1.032 V)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad P = 0.058 W$$

- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η)

$$\text{จากสมการที่ (2.30)} \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดให้ทำงาน ในหน่วย W

P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถผลิตได้ใน P_{in} นั้นๆ ในหน่วย W

ดังนั้นจากตารางผลการทดลองที่ 4.4 $P_{in} = 0.837 W$ และ $P_{out} = 0.058 W$

$$\text{จะได้} \quad \eta = \frac{0.058}{0.837} \times 100\%$$

$$\eta = 6.930\%$$

1.2 พันขดลวดจำนวน 1200 รอบ

- คำนวณหา กำลังไฟฟ้า (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จากตารางผลการทดลองที่ 4.5} \quad I = 0.029 A \text{ และ } V_{rms} = 1.094 V$$

$$\text{จากสมการที่ (2.29)} \quad P = IV = \frac{(V)^2}{R} = (I)^2 R$$

$$P = (0.029A)(1.094V)$$

ดังนั้น $P = 0.032 \text{ W}$

- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η)

จากสมการที่ (2.30)
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดให้ทำงาน ในหน่วย W
 P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถผลิตได้ใน P_{in} นั้นๆ ในหน่วย W

ดังนั้นจากตารางที่ 4.5 $P_{in} = 0.837 \text{ W}$ และ $P_{out} = 0.032 \text{ W}$

จะได้
$$\eta = \frac{0.032}{0.837} \times 100\%$$

$$\eta = 3.823\%$$

2.) ขดลวดเบอร์ 34

2.1 พันขดลวดจำนวน 2400 รอบ

- จำนวนหาค่ากำลังไฟฟ้า (P)

จากตารางผลการทดลองที่ 4.6 $I = 0.029 \text{ A}$ และ $V_{rms} = 1.737 \text{ V}$

จากสมการที่ (2.29)
$$P = IV = \frac{(V)^2}{R} = (I)^2 R$$

$$P = (0.029A)(1.737V)$$

$$P = 0.050 \text{ W}$$

- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η)

จากสมการที่ (2.30)
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดให้ทำงาน ในหน่วย W
 P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถผลิตได้ใน P_{in} นั้นๆ ในหน่วย W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ดังนั้นจากตารางผลการทดลองที่ 4.6 $P_{in} = 0.837 \text{ W}$ และ $P_{out} = 0.050 \text{ W}$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้
$$\eta = \frac{0.050}{0.837} \times 100\%$$

$$\eta = 5.974\%$$

2.2 พันขดลวดจำนวน 3000 รอบ

- คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า (P)

จากตารางที่ 4.7 $I = 0.026 A$ และ $V_{rms} = 1.752 V$

จากสมการที่ (2.29)
$$P = IV = \frac{(V)^2}{R} = (I)^2 R$$

$$P = (0.026 A)(1.752 V)$$

$$P = 0.046 \text{ W}$$

- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (η)

จากสมการที่ (2.30)
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดให้ทำงาน ในหน่วย W

P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถผลิตได้ใน P_{in} นั้นๆ ในหน่วย W

ดังนั้นจากตารางที่ 4.7 $P_{in} = 0.837 W$ และ $P_{out} = 0.046 W$

จะได้
$$\eta = \frac{0.046}{0.837} \times 100\%$$

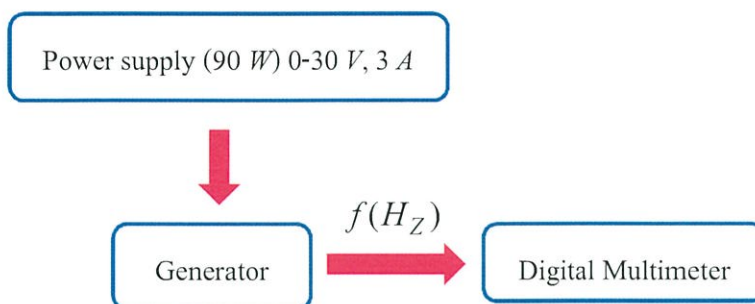
$$\eta = 5.496\%$$

4.3 การวิเคราะห์การเหนี่ยวนำของวงจรขดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

จากการทดสอบการวัดและการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์หาการเหนี่ยวนำของวงจรขดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบจะทำการหาคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำภายในขดลวด โดยหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) และความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำหรือค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) และวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นกับตัวเหนี่ยวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 4.3.1 การทดสอบและวิเคราะห์หาความต้านทานเชิงความเหนี่ยวนำหรือค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L)
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1). จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- 2). เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 2.5 V ทำการบันทึกค่าความถี่ (f) ที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับลงในตารางที่ 4.7
- 3). ทำซ้ำในข้อ 2 โดยปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจาก $2.5\text{ V} - 12\text{ V}$
- 4). วิเคราะห์หาค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวัดความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของขดลวดเบอร์ 28 จำนวน 1200 รอบ

$V\text{ (V)}$	$V_{rms}\text{ (V)}$	$I\text{ (A)}$	$f\text{ (Hz)}$
2.50	1.094	0.029	1.64
3.06	1.384	0.030	2.19
3.57	1.986	0.031	2.67
4.49	2.724	0.034	3.77
5.56	3.541	0.035	4.88
6.52	4.324	0.035	5.93
7.50	4.576	0.035	6.99
8.55	5.660	0.035	8.13
10.48	6.502	0.035	10.40
12.03	7.830	0.035	11.78

4.3.2 การคำนวณวิเคราะห์หาค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 จากตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.8 นำค่าความถี่ (f) มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าอินดักทีฟรี
 แอกแตนซ์ (X_L) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังมีตัวอย่างการคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L)

จากวงจรขดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นการต่อขดลวดหลายๆ คอยด์ขนานกัน ซึ่งผลรวมของค่าความเหนี่ยวนำทั้งหมดจะเป็นตามสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad \text{.....(2.11)}$$

และ

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}} \quad \text{.....(2.12)}$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (H)

X_L คือ ค่าความต้านเชิงความเหนี่ยวนำหรืออินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Ω)

n คือ จำนวนเต็มใดๆ

จากสมการที่ (2.3) หาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

$$L = \frac{\mu_0 AN^2}{l} \quad \text{หน่วยเฮนรี่ (H)} \quad \text{.....(2.3)}$$

โดยที่ μ_0 คือ สภาพซึมซาบของแกน

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

l คือ ความยาวแกนขดลวด (m)

จากการวัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $\mu_0 = 1.2566 \times 10^{-6}$, $N = 1200$ รอบ, $A = 1.50 \times 10^{-2} m^2$ และ $l = 1.7 \times 10^{-2} m$ ดังนั้น

$$L = \frac{1.2556 \times 10^{-6} \times 1200^2 \times (1.50 \times 10^{-2})^2 \times \pi}{1.7 \times 10^{-2}}$$

$$L = 75 \text{ mH}$$

เนื่องจากวงจรขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 4 คอยด์มีความยาว ขนาดและจำนวนรอบ เท่ากันทั้งหมด ดังนั้น $L_1 = L_2 = L_3 = L_4$ และสามารถหาค่าความเหนี่ยวนำรวม (L_T) ได้ดังนี้

จากสมการที่ (2.11)

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_4}$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{75} + \frac{1}{75} + \frac{1}{75} + \frac{1}{75}$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{4}{75}$$

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำรวมทั้งหมด $L_T = 18.75 \text{ mH}$

- ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L)

สูตรการหาค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) จะหาจากสมการ

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad \text{.....(2.8)}$$

โดยที่

X_L	คือ	อินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Ω)
f	คือ	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับ (Hz)
L	คือ	ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (H)
$\omega = 2\pi f$	คือ	ค่าความเร็วเชิงมุม (rad/s)

จากตารางที่ 4.7 $f = 11.78 \text{ Hz}$ และ $L = 18.75 \text{ mH}$ ดังนั้นค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ของขดลวดคือ

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times \pi \times 11.78 \times 75 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 5.55 \ \Omega$$

เนื่องจากวงจรขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 4 คอยด์มีความยาว ขนาดและจำนวนรอบเท่ากันทั้งหมด ดังนั้น $X_{L_1} = X_{L_2} = X_{L_3} = X_{L_4}$ และสามารถหาค่าความต้านเชิงความเหนี่ยวนำรวม ได้ดังนี้

จากสมการที่ (2.12)

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{5.55} + \frac{1}{5.55} + \frac{1}{5.55} + \frac{1}{5.55}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อ $\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{4}{5.55}$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าความต้านเชิงความเหนี่ยวนำรวม $X_{L_T} = 1.39 \ \Omega$

4.3.3 การวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นกับตัวเหนี่ยวนำในเครื่องกำเนิด

เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำทั้ง 4 คอยด์ ($L_T = 18.75 \text{ mH}$) ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าแรงดัน 7.111 V และความถี่ 11.78 Hz ซึ่งวิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันได้ดังต่อไปนี้

จากตารางผลการทดลองที่ 4.7

เมื่อ $f = 11.78 \text{ Hz}$

จะได้ $t = \frac{1}{f}$ (4.7)

$$t = \frac{1}{11.78}$$

$$t = 0.084 \text{ s}$$

$$t = 84 \text{ ms}$$

แบ่งสเกล t ออกเป็น 12 ช่อง ช่องละ $\frac{84 \text{ ms}}{12} = 7 \text{ ms}$

จากตารางผลการทดลองที่ 4.7

โดยที่ $V_{rms} = 7.830 \text{ V}$ และ $X_{LT} = 1.39 \Omega$

ดังนั้นค่าแรงดันสูงสุดและค่ากระแสสูงสุดคือ

$$V_{max} = \sqrt{2}(7.830) \text{(4.8)}$$

$$V_{max} = 11.073 \text{ V}$$

จาก $I_{max} = \frac{V_{max}}{X_{LT}}$ (4.9)

$$I_{max} = \frac{11.073}{1.39}$$

จะได้ $I_{max} = 7.9663 \text{ A}$

$$I_{max} = 796.63 \text{ mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อให้นักศึกษาได้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการและการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

จากนั้นนำค่า V_{max} และ I_{max} ที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์รูปคลื่นของกระแสและแรงดันในตัวเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิด และคำนวณค่า V_L ตั้งแต่ $0 - 360^\circ$ หรือตั้งแต่เวลา $7-84 \text{ ms}$ ครบ 1 คาบจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการคำนวณค่า $\Delta i/\Delta t$, V_L ที่เวลาต่างๆ ใน 1 คาบเวลาของเครื่องกำเนิด 7.830 V ที่ความถี่ 11.78 Hz ซึ่งจ่ายให้กับความเหนี่ยวนำของขดลวดรวม 18.75 mH

time		Δt		Δi	$\frac{\Delta i}{\Delta t}$	$L (mH)$	$V_L = L \left(\frac{\Delta i}{\Delta t} \right)$
θ	ms	θ	ms				
30°	7	30°	7	398.315	56.902	18.75	1.066
60°	14	30°	7	288.585	41.226	18.75	0.772
90°	21	30°	7	109.729	15.675	18.75	0.293
120°	28	30°	7	-109.729	-15.675	18.75	-0.293
150°	35	30°	7	-288.585	-41.226	18.75	-0.772
180°	42	30°	7	-398.315	-56.902	18.75	-1.066
210°	49	30°	7	-398.315	-56.902	18.75	-1.066
240°	56	30°	7	-288.585	-41.226	18.75	-0.772
270°	63	30°	7	-109.729	-15.675	18.75	-0.293
300°	70	30°	7	109.729	15.675	18.75	0.293
330°	77	30°	7	288.585	41.226	18.75	0.772
360°	84	30°	7	398.315	56.902	18.75	1.066

เมื่อได้ค่ากระแส I ที่ผ่าน L แล้วสามารถเขียนรูปคลื่นได้ดังรูปที่ 4.8 (ก) เพราะกระแสเกิดเป็นรูปคลื่นไซน์คล้ายกับแรงดัน เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้สามารถหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระแสกับเวลาที่เกิดรูปไซน์ได้คือ ค่า $\Delta i/\Delta t$ ซึ่งอัตราส่วนนี้ทำให้เกิดค่าแรงดันตกคร่อม (L) ดังสมการ

$$V_L = L(\Delta i/\Delta t) \quad \dots\dots(4.10)$$

เมื่อทำการคำนวณค่าแรงดันตกคร่อม (L) ที่เวลาต่างๆ จะได้ค่า V_L ทีละค่าและเมื่อนำมาเขียนรูปคลื่นแรงดัน V_L ก็จะได้รูปคลื่นดังรูปที่ 4.8 (ค) ซึ่งมีตัวอย่างในการคำนวณดังนี้

เช่น ที่เวลา 7 ms – 14 ms ในรูปคลื่นรูปที่ 4.5 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหานี้และต้องแจ้งถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta t = 14 \text{ ms} - 7 \text{ ms}$$

$$\Delta t = 7 \text{ ms}$$

$$\Delta i = 686.901 \text{ mA} - 398.315 \text{ mA}$$

จะได้

$$\Delta i = 288.585 \text{ mA}$$

ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันกับเวลาคือ

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{288.585 \text{ mA}}{7 \text{ ms}}$$

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = 41.226 \text{ A/s}$$

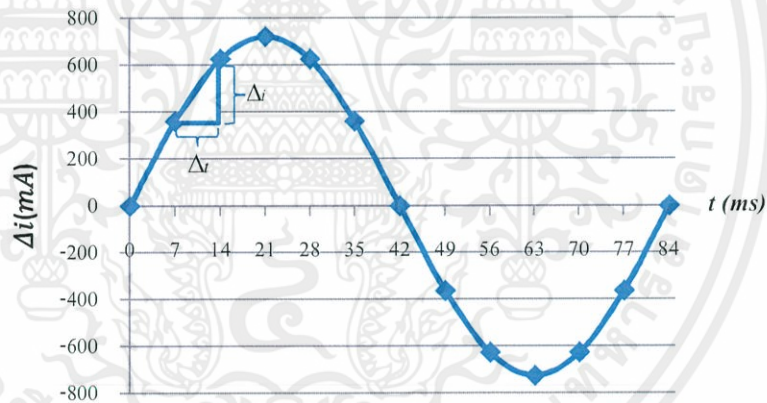
ดังนั้นแรงดันตกคร่อม (L) จะมีค่าดังนี้

$$V_L = L(\Delta i/\Delta t)$$

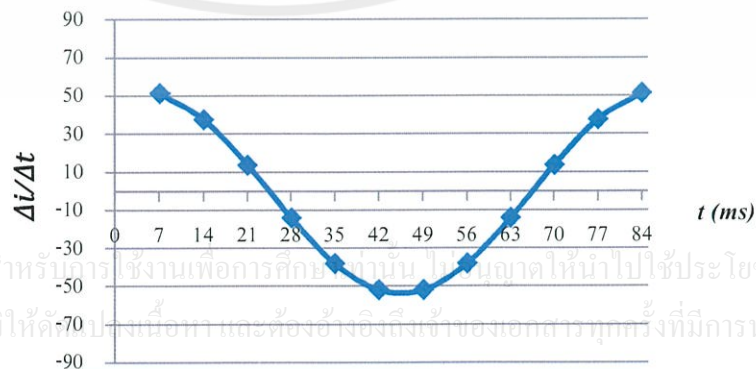
$$V_L = 18.75 \times 10^{-3}(41.226)$$

ดังนั้น

$$V_L = 0.772 \text{ V}$$

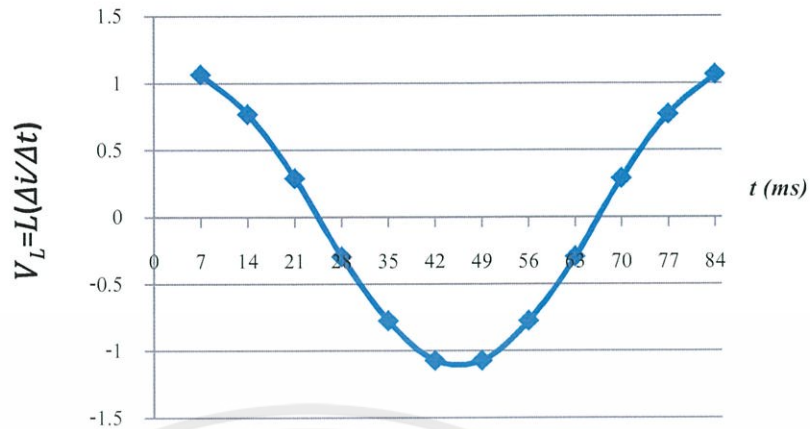


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปรษณีย์พาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปวงชนชาวไทย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นของกระแสแรงดันที่เกิดขึ้นกับตัวเหนี่ยวนำหรือขดลวด ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.8

จากตารางที่ 4.8 สามารถแสดงรูปคลื่นของแรงดัน (V_L) จะเกิดนำหน้ากระแส $I = 90^\circ$ เสมอหรือกระแส I ที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำจะล่าหลังแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำอยู่ 90°

เมื่อสมการแรงดันไซน์คือ $V = V_m \sin \omega t$ (4.11)

ดังนั้นสมการกระแสคือ $I = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$ (4.12)

ซึ่งสามารถนำสมการมาวิเคราะห์รูปคลื่นของแรงดัน (V) และกระแส (I) ได้ โดยมีตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

เมื่อ $V_{\max} = 11.073 \text{ V}$ และ $I_{\max} = 796.63 \text{ mA}$

จากสมการ (4.11) $V = V_m \sin \omega t$

จะได้ $V = (11.073) \sin(30^\circ)$

$$V = 5.536 \text{ V}$$

และจากสมการ (4.12)

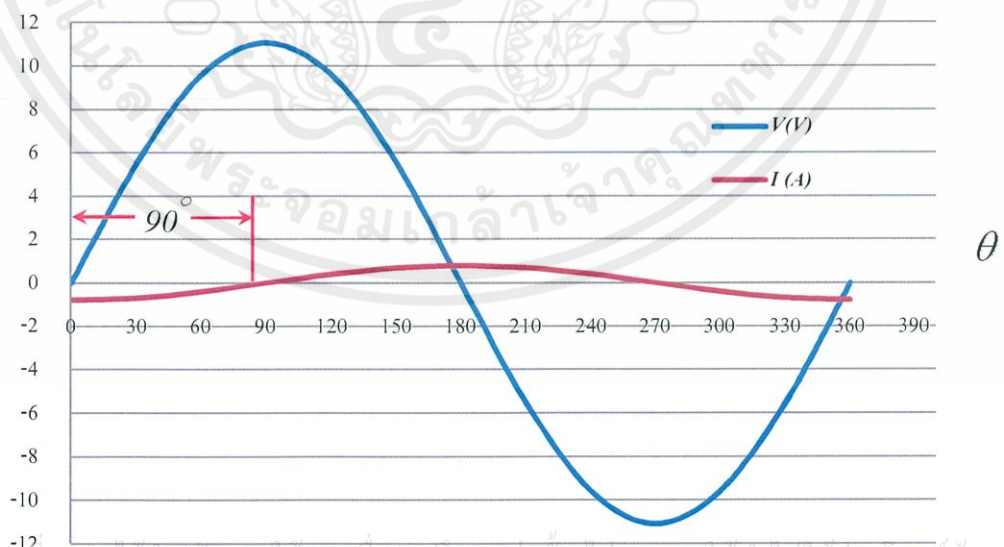
$$I = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ดังนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง (796.63 $\times 10^{-3}$) $\sin(30^\circ - 90^\circ)$ นำไปใช้

$$I = -0.689 \text{ A}$$

ตารางที่ 4.9 แสดงการคำนวณค่าแรงดัน (V) และกระแส (I) ที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

θ	$V(V)$	$I(A)$
0°	0	-0.796
30°	5.536	-0.689
60°	9.589	-0.398
90°	11.073	0
120°	9.589	0.398
150°	5.536	0.689
180°	0	0.796
210°	-5.536	0.689
240°	-9.589	0.398
270°	-11.073	0
300°	-9.589	-0.398
330°	-5.536	-0.689
360°	0	-0.796



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทศครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบรูปคลื่นของกระแส (I) และแรงดัน (V) ที่เกิดขึ้น

กับตัวเหนี่ยวนำ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งกระแสจะล่าช้าหลังกับแรงดันเป็นมุม 90°

จากรูปที่ 4.9 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเทียบกับมุม (θ) จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบ sine curve เหมือนกันแต่มีเฟสต่างกันคือ กระแสไฟฟ้ามีเฟสตามหลังแรงดันเป็นมุม 90°



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองจากการวัดและวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์จะแบ่งเป็นสองตอน คือ ตอนที่หนึ่งเป็นการวิเคราะห์ในส่วนของเครื่องกล คือ สามารถลดแรงบิดของมอเตอร์เพื่อให้มีค่าเท่ากับแรงบิดที่เครื่องยนต์ส์เตอร์ถึงส่งออกมา และทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิด และในตอนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า โดยการใช้เครื่องมือวัดและใช้ในการขับโหลด

โดยในตอนหนึ่งพบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถลดแรงบิดจาก 3.608 N-mm. เป็น 1.800 N-mm. ซึ่งทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้กำลังเริ่มต้นเพียง 0.837 W และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 3.823% และตอนที่สอง ใช้เครื่องมือวัดได้ผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงความเร็วเชิงมุมของจานแม่เหล็กเทียบกับ $V_{rms}(V)$ และ $I(A)$

$\omega_A (rad / s)$	$V_{rms} (V)$	$I (A)$
3.064	1.094	0.029
6.189	1.384	0.030
9.590	1.986	0.031
12.158	2.724	0.034
15.310	3.541	0.035
15.771	4.324	0.035
15.917	4.576	0.035
17.059	5.660	0.035
17.111	6.502	0.035
17.231	7.830	0.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อความเสียหายอันใดของผู้ใช้ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ออกมา 0.274 W สามารถติด LED แสงสีขาวขนาด 5 mm. ได้ทั้งหมด 300 ดวง

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองประสิทธิภาพของการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นมีความสอดคล้องกับแรงบิดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยมีค่าแรงบิดเท่ากับ 1.800 N-mm. ซึ่งถือว่าเป็นแรงบิดที่มีค่าน้อยมาก และยังสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพียงพอในการขับโหลดคือ โคมไฟ LED สีขาวจำนวน 200 ดวง

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพเพียง 3.823% จึงมีแนวทางในการแก้ไข ดังนี้

1. ทำการแก้ไขในส่วนของจานแม่เหล็ก โดยใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา จะทำให้ความเร็วเชิงมุมของจานแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น
2. ใช้แม่เหล็กถาวรชนิดที่มีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

วิไลวรรณ ภูละออ. 2537. ไฟฟ้า-แม่เหล็ก. กรุงเทพฯ.

ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. 2537. เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพฯ : ที.พี.พรีนซ์

ไชยชาญ หินเกิด. 2543. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคม

ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น)

นภัทร วังเทพินทร์. 2535. วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญธรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม. 2533. อิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Sheet For 5mm Super White LED – 5A3 Series Angle 15° Class: I

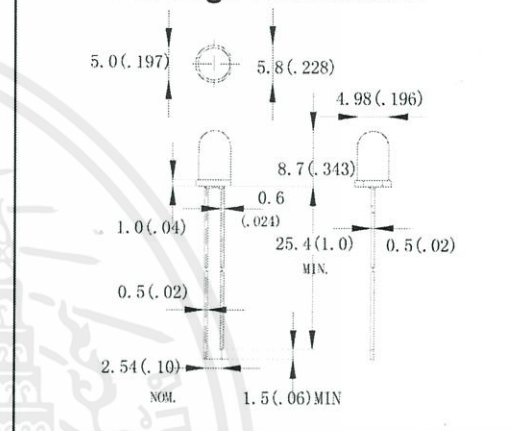
Features

- Standard T-1 Diameter Type Package.
- General Purpose Leads
- Reliable and Rugged

Absolute Maximum Ratings at Ta=25°C

Parameter	MAX.	Unit
Power Dissipation	100	mW
Peak Forward Current ($\leq 1/10$ Duty Cycle, 0.1ms Pulse Wide)	100	mA
Continuous Forward Current	20	mA
Derating Linear From 50°C	0.4	mA/°C
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-40°C to +80°C	
Storage Temperature Range	-40°C to +80°C	
Lead Soldering Temperature [4mm(.157") From Body]	260°C for 3 Seconds	

Package Dimensions



Electrical Optical Characteristics at Ta=25°C

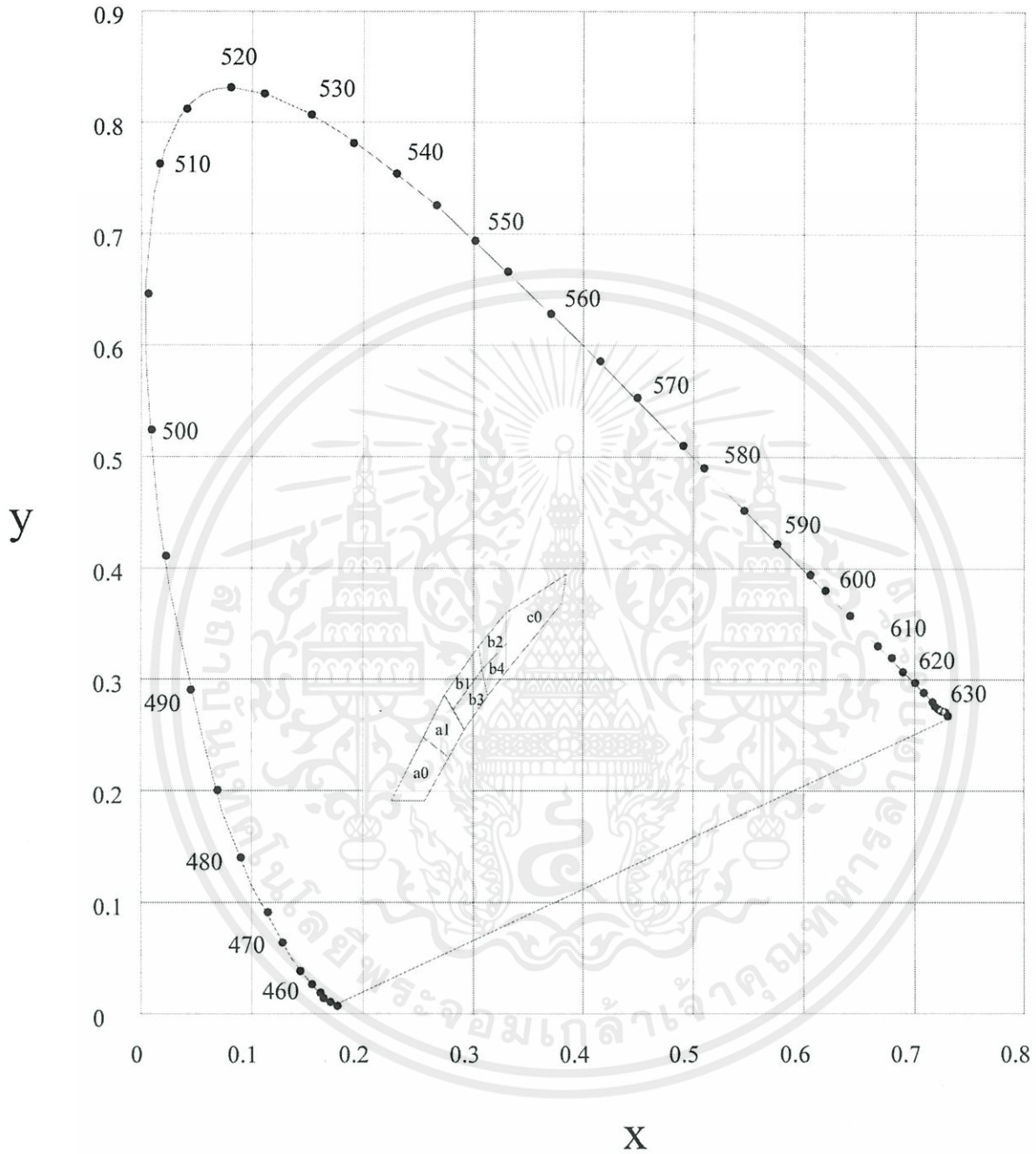
Part Number	Lens color	Source Color	Luminous Intensity Iv / mcd at I _F = 20mA (Note 5)			Forward Voltage / V at I _F = 20mA			Viewing Angle / Deg (Note 6)
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
WW05A3SWI4-N	Water Clear	White	10600	13800	---	---	3.2	4.0	15°
Reverse Voltage = 5V					Reverse Current = 50µA				

Notes:

1. All dimensions are in millimeter.
2. Tolerance of measurement is $\pm 0.25\text{mm}(.01")$ unless others otherwise noted.
3. Protruded resin under flanges is $1.0\text{mm}(0.4")$ max.
4. Lead spacing is measured where the leads emerge from the package.
5. Luminous intensity is measured with a light sensor and filter combination that approximates the CIE eye-response curve. Tolerance of measurement of luminous intensity is $\pm 15\%$
6. $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity. It use many parameters that correspond to the CIE 1931 2°
Tolerance of measurement of angle is ± 5 degree
7. Caution in ESD: Static Electricity and surge damages the LED. It is recommended to use a wrist band or anti-electrostatic glove when handling the LED. All devices, equipment and machinery must be properly grounded.
8. X,Y, and Z are CIE1931 2° values of Red, Green and Blue content of the measurement.
Color Coordinates Measurement allowance is ± 0.01
9. Specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIE Diagram



* Color Coordinates Measurement allowance is ± 0.01

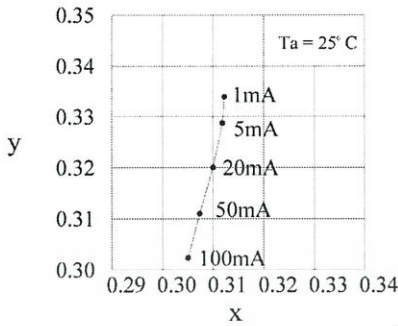
Color Ranks (Note 8)

a0				a1				b1				b2							
x	0.256	0.226	0.255	0.278	x	0.278	0.255	0.274	0.292	x	0.282	0.274	0.305	0.308	x	0.308	0.305	0.33	0.33
y	0.191	0.191	0.248	0.23	y	0.23	0.248	0.286	0.255	y	0.273	0.286	0.33	0.309	y	0.309	0.33	0.36	0.332
b3				b4				c0											
x	0.292	0.282	0.308	0.313	x	0.313	0.308	0.33	0.33	x	0.33	0.33	0.385	0.38					
y	0.255	0.273	0.309	0.285	y	0.285	0.309	0.332	0.307	y	0.307	0.36	0.395	0.368					

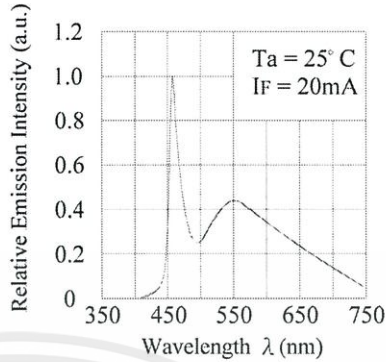
Color Coordinates Measurement allowance is ± 0.01

Typical Characteristic for Super Bright White LED

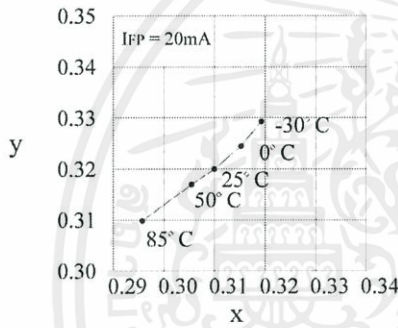
Forward Current vs. Chromaticity Coordinate (λD)



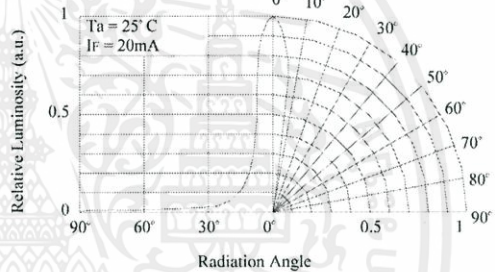
Spectrum



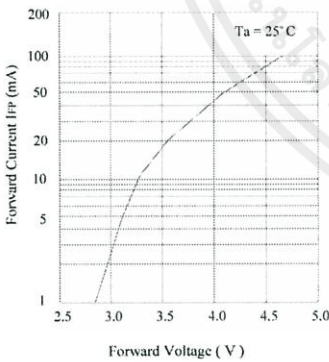
Ambient Temperature vs. Chromaticity Coordinate (λD)



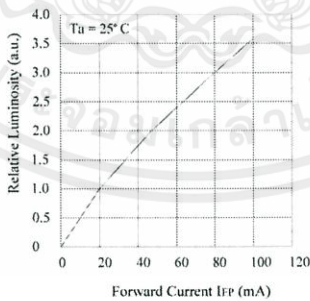
Directivity (Angle : 15°)



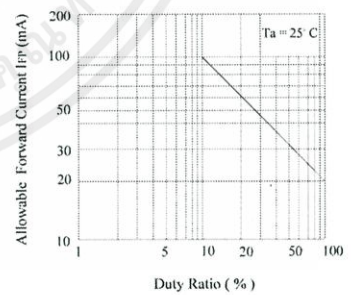
Forward Voltage vs. Forward Current



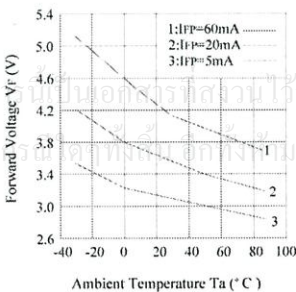
Forward Current vs. Relative Luminosity



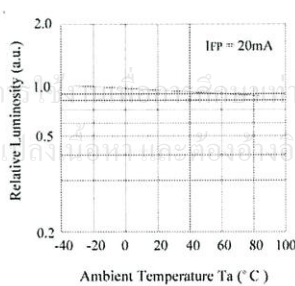
Duty Ratio vs. Allowable Forward Current



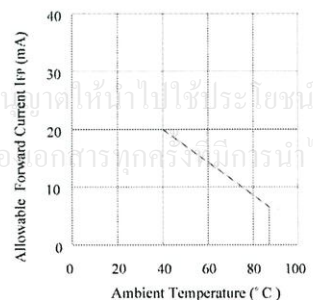
Ambient Temperature vs. Forward Voltage



Ambient Temperature vs. Relative Luminosity



Ambient Temperature vs. Allowable Forward Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับบุคคลที่ซื้อสินค้าจากบริษัทนี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีผู้ฝ่าฝืนจะดำเนินการฟ้องร้องดำเนินคดีและขอความกรุณาแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

CAUTIONS- Super Bright White LED

Because the White LEDs are made by combining Blue LEDs and special phosphors. Hence, the color of White LEDs is changed a little by an operation current. Care should be taken after due consideration when using LEDs.

- (1) Lead Forming
- At least 3mm from the base of the epoxy bulb should be kept when forming leads.
 - Do not use the base of the leadframe as a fulcrum during lead forming. Lead forming should be done before soldering.
 - Because the stress to the base may damage the characteristics or it may break the LEDs, do not apply any bending stress to the base of the lead.
 - When mounting the LEDs onto a PCB, the holes on the circuit board should be exactly aligned with the leads of the LEDs. Stress at the leads should be avoided when the LEDs are mounted on the PCB because it causes damage to the epoxy resin and this will degrade the LEDs.
- (2) Storage
- The LEDs should be stored at 30°C or less and 70%RH or less after being shipped and the storage life limits are 3 months.
 - If the LEDs are stored more than 3 months, they can be stored for a year in a sealed container with a nitrogen atmosphere and moisture absorbent material.
 - Please avoid rapid transitions in ambient temperature, especially, in high humidity environments where condensation can occur.
- (3) Static Electricity
- Static electricity or surge voltage damages the LEDs.
 - It is recommended that a wristband or an anti-electrostatic glove be used when handling the LEDs.
 - All devices, equipment and machinery must be properly grounded.
 - It is recommended that measures be taken against surge voltage to the equipment that mounts the LEDs.
 - Damaged LEDs will show some unusual characteristics such as the leak current remarkably increases, the forward voltage becomes lower, or the LEDs do not light at the low current.
Criteria: (VF>2.0V at IF=0.5mA)
- (4) Heat Generation
- Thermal design of the end product was most important. Please consider the heat generation of the LED when making the system design.
 - The thermal resistance of the circuit board and density of LED placement on the board, as well as other components was the important factor affecting the coefficient of temperature increase per unit electric power. It must be avoided intense heat generation and operate within the maximum ratings given in the specification.
 - The operating current should be decided after considering the ambient maximum temperature of LEDs.
- (5) Cleaning
- It is recommended that isopropyl alcohol be used as a solvent for cleaning the LEDs. When using other solvents, it should be confirmed beforehand whether the solvents will dissolve the resin or Freon solvents should not be used to clean the LEDs because of worldwide regulations.
 - Do not clean the LEDs by ultrasonic. When it is absolutely necessary, the influence of ultrasonic cleaning on the LEDs depends on factors such as ultrasonic power and the assembled condition. Before cleaning, a pre-test should be done to confirm whether any damage to the LEDs would occur.
- (6) Safety Guideline for Human Eyes
- In 1993, the International Electric Committee (IEC) issued a standard concerning laser product safety (IEC 825-1). Since then, this standard has been applied for diffused light sources (LEDs) as well as lasers. In 1998 IEC 60825-1 Edition 1.1 evaluated the magnitude of the light source.
 - In 2001 IEC 60825-1 Amendment 2 converted the laser class into 7 classes for end products.
 - Components are excluded from this system. Products which contain visible LEDs are now classified as class 1. Products containing UV LEDs can be classified as class 2 in cases where viewing angle is narrow, optical manipulation intensifies the light, and/or the energy emitted is high. For these systems it is recommended to avoid long term exposure. It is also recommended to follow the regulations regarding safety and labeling of products.

(7) Soldering Condition for LED Lamps

- Careful attention should be paid during soldering.
- Solder the LED no closer than 3mm from the base of the epoxy bulb. Soldering beyond the base of the tie bar is recommended.
- Recommended soldering conditions

	Dip Soldering		Soldering
Pre-Heat	120°C Max	Temperature	350°C Max
Pre-Heat Time	60 seconds Max	Soldering	3 seconds Max
Solder Bath	260°C Max	Time	No closer than 3 mm from the base of the epoxy bulb.
Temperature		Position	
Dipping Time	10 seconds Max		
Dipping Position	No lower than 3 mm from the base of the epoxy bulb.		

- Do not apply any stress to the lead particularly when heated.

The LEDs must not be repositioned after soldering.

After soldering the LEDs, the epoxy bulb should be protected from mechanical shock or vibration until the LEDs return to room temperature.

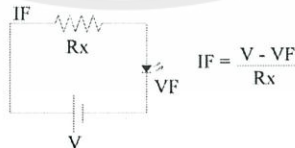
Direct soldering onto a PC board should be avoided. Mechanical stress to the resin may be caused from warping of the PC board or from the clinching and cutting of the leadframes. When it is absolutely necessary, the LEDs must be mounted in this fashion but the User will assume responsibility for any problems. Direct soldering should only be done after testing has confirmed that no damage, such as wire bond failure or resin deterioration, will occur. Wah Wang LEDs should not be soldered directly to double sided PC boards because the heat will deteriorate the epoxy resin.

When it is necessary to clamp the LEDs to prevent soldering failure, it is important to minimize the mechanical stress on the LEDs.

Cut the LED leadframes at room temperature. Cutting the leadframes at high temperatures may cause failure of the LEDs.

(8) Others

- Care must be taken to ensure that the reverse voltage will not exceed the absolute maximum rating when using the LEDs with matrix drive. Keeping the Normal Forward to 20 mA.
- The LEDs described in this brochure are intended to be used for ordinary electronic equipment (such as office equipment, communications equipment, measurement instruments and household appliances). Consult Wah Wang's sales staff in advance for information on the applications in which exceptional quality and reliability are required, particularly when the failure or malfunction of LEDs may directly jeopardize life or health (such as for airplanes, aerospace, submersible repeaters, nuclear reactor control systems, automobiles, traffic control equipment, life support systems and safety devices).



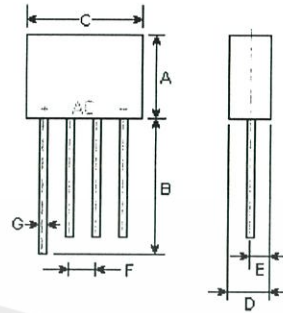
- User shall not reverse engineer by disassembling or analysis of the LEDs without having prior written consent from WahWang. When defective LEDs are found, the User shall inform Wah Wang directly before disassembling or analysis.
- The formal specifications must be exchanged and signed by both parties before large volume purchase begins.
- The appearance and specifications of the product may be modified for improvement without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Surge overload rating - 50 amperes peak
- Ideal for printed circuit board
- Plastic material has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0
- Mounting Position: Any
- Lead: Silver plated copper lead

RS-2



DIM	DIMENSIONS				Note
	Inches		mm		
	Min.	Max.	Min.	Max.	
A	-	0.504	-	12.8	
B	0.75	-	19.0	-	
C	-	0.693	-	17.6	
D	-	0.25	-	6.4	
E	-	0.125	-	3.2	
F	-	0.15	-	3.8	
G	0.32 Typ.		0.8 Typ.		ψ

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Resistive or inductive load, 60Hz.
 For capacitive load, derate current by 20%.

	Symbols	RS201	RS202	RS203	RS204	RS205	RS206	RS207	Units
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS bridge input voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum average forward rectified output current at $T_A=50^\circ\text{C}$	$I_{(AV)}$					2.0			Amps
Peak forward surge current, 8.3mS single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}					50.0			Amps
Maximum forward Voltage drop per bridge element at 1.0A peak	V_F					1.0			Volt
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage per element	I_R					10.0			μA
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage per element $T_A=100^\circ\text{C}$	I_R					1.0			mA
Operating temperature range	T_J					-55 to +125			$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	T_{STG}					-55 to +150			$^\circ\text{C}$

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES

Fig. 1 — DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT

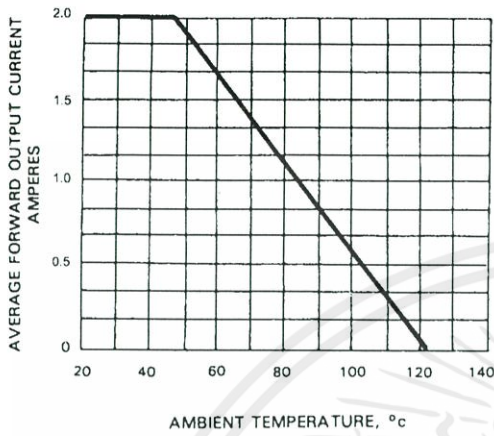


Fig. 2 — DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT

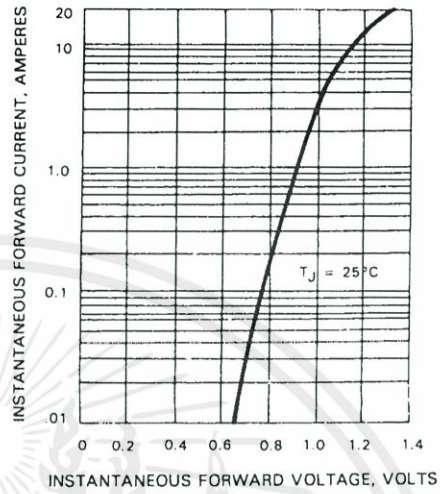


Fig. 3 — TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

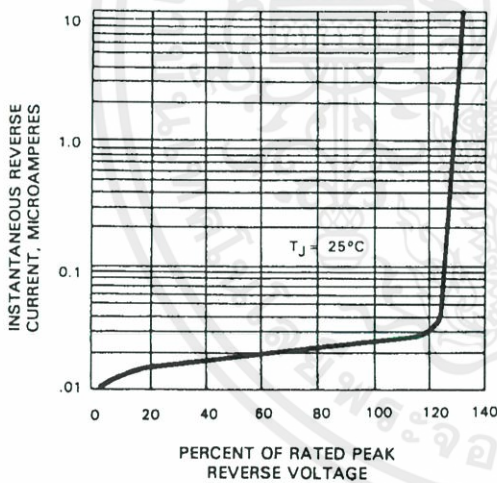
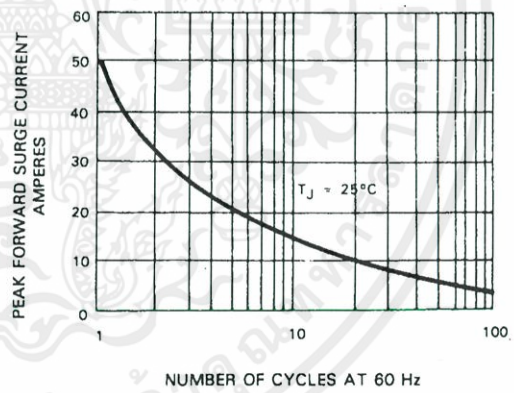


Fig. 4 — MAXIMUM FORWARD SURGE CURRENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plastic Medium Power Silicon PNP Transistor

... designed for use as audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi complementary circuits.

- DC Current Gain — $h_{FE} = 40$ (Min) @ $I_C = 0.15$ Adc
- BD 136, 138, 140 are complementary with BD 135, 137, 139

BD136
BD138
BD140
BD140-10

1.5 AMPERE
POWER TRANSISTORS
PNP SILICON
45, 60, 80 VOLTS
10 WATTS



CASE 77-08
TO-225AA TYPE

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Type	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	BD 136 BD 138 BD 140	45 60 80	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	BD 136 BD 138 BD 140	45 60 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}		5	Vdc
Collector Current	I_C		1.5	Adc
Base Current	I_B		0.5	Adc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		1.25 10	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		12.5 100	Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}		-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	θ_{JC}	10	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	θ_{JA}	100	$^\circ\text{C}/\text{W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV 7



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Type	Min	Max	Unit
Collector–Emitter Sustaining Voltage* ($I_C = 0.03\text{ Adc}$, $I_B = 0$)	V_{CE0}	BD 136 BD 138 BD 140	45 60 80	— — —	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 30\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 30\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	I_{CBO}		— —	0.1 10	μAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}		—	10	μAdc
DC Current Gain ($I_C = 0.005\text{ A}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$) ($I_C = 0.15\text{ A}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$) ($I_C = 0.5\text{ A}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$)	h_{FE}^*	ALL BD140–10	25 40 63 25	— 250 160 —	—
Collector–Emitter Saturation Voltage* ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $I_B = 0.05\text{ Adc}$)	$V_{CE(sat)}^*$		—	0.5	Vdc
Base–Emitter On Voltage* ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 2.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}^*$		—	1	Vdc

* Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

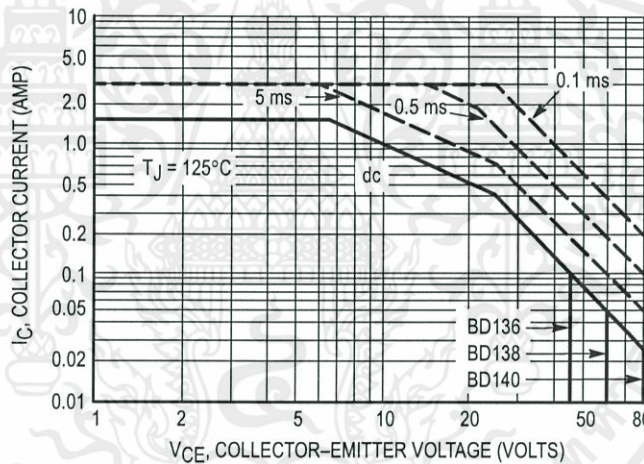
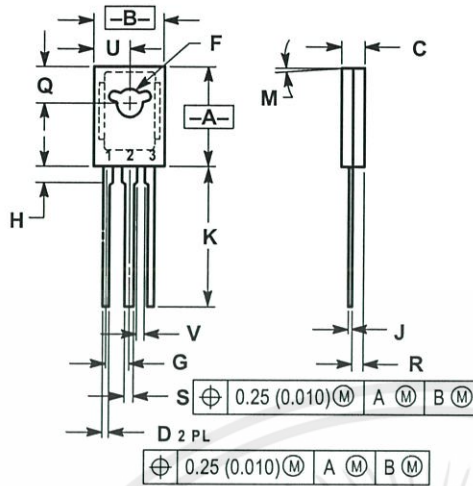


Figure 1. Active-Region Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.


DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.425	0.435	10.80	11.04
B	0.295	0.305	7.50	7.74
C	0.095	0.105	2.42	2.66
D	0.020	0.026	0.51	0.66
F	0.115	0.130	2.93	3.30
G	0.094 BSC		2.39 BSC	
H	0.050	0.095	1.27	2.41
J	0.015	0.025	0.39	0.63
K	0.575	0.655	14.61	16.63
M	5° TYP		5° TYP	
Q	0.148	0.158	3.76	4.01
R	0.045	0.055	1.15	1.39
S	0.025	0.035	0.64	0.88
U	0.145	0.155	3.69	3.93
V	0.040	—	1.02	—

- STYLE 1:
 PIN 1. EMITTER
 2. COLLECTOR
 3. BASE

CASE 77-08
 TO-225AA TYPE
 ISSUE V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

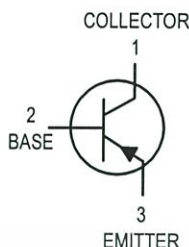
HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



Amplifier Transistors

PNP Silicon

BC327,-16,-25
BC328,-16,-25



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO 226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC327	BC328	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	-45	-25	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	-50	-30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	-5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	-800		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625	5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5	12	Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -10\text{ mA}, I_B = 0$)	BC327 BC328	$V_{(BR)CEO}$	-45 -25	— —	— —	Vdc
Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -100\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$)	BC327 BC328	$V_{(BR)CES}$	-50 -30	— —	— —	Vdc
Emitter–Base Breakdown Voltage ($I_E = -10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$)		$V_{(BR)EBO}$	-5.0	—	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -30\text{ V}, I_E = 0$) ($V_{CB} = -20\text{ V}, I_E = 0$)	BC327 BC328	I_{CBO}	— —	— —	-100 -100	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -45\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = -25\text{ V}, V_{BE} = 0$)	BC327 BC328	I_{CES}	— —	— —	-100 -100	nAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -4.0\text{ V}, I_C = 0$)		I_{EBO}	—	—	-100	nAdc

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC327,-16,-25 BC328,-16,-25

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = -100\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	h_{FE}	100	—	630	—
BC327/BC328		100	—	250	
BC327-16/BC328-16		160	—	400	
($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)		40	—	—	
Base-Emitter On Voltage ($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$	—	—	-1.2	Vdc
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = -500\text{ mA}$, $I_B = -50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	—	-0.7	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Output Capacitance ($V_{CB} = -10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	—	11	—	pF
Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = -10\text{ mA}$, $V_{CE} = -5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	—	260	—	MHz

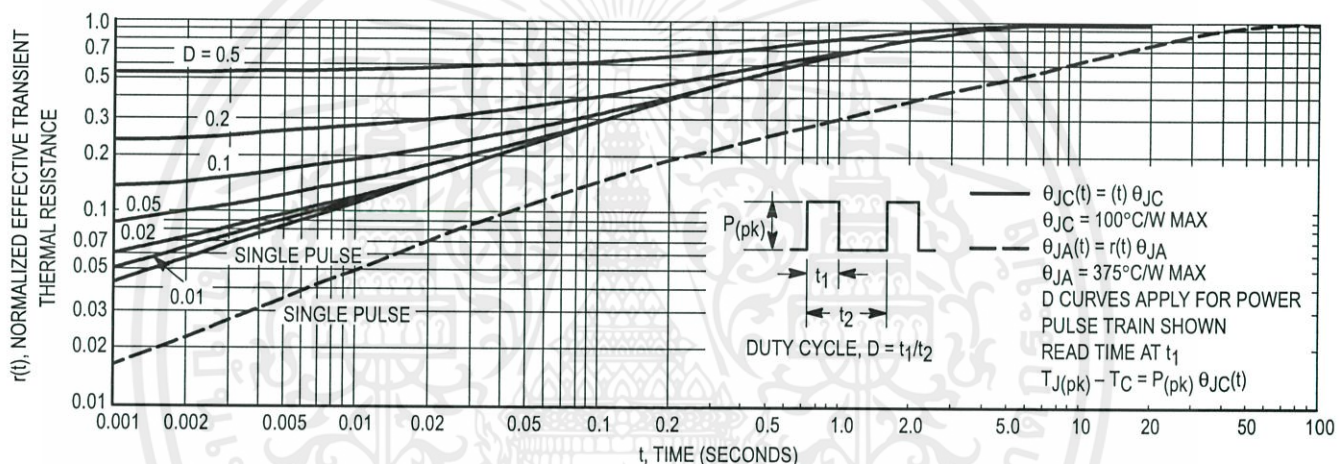


Figure 1. Thermal Response

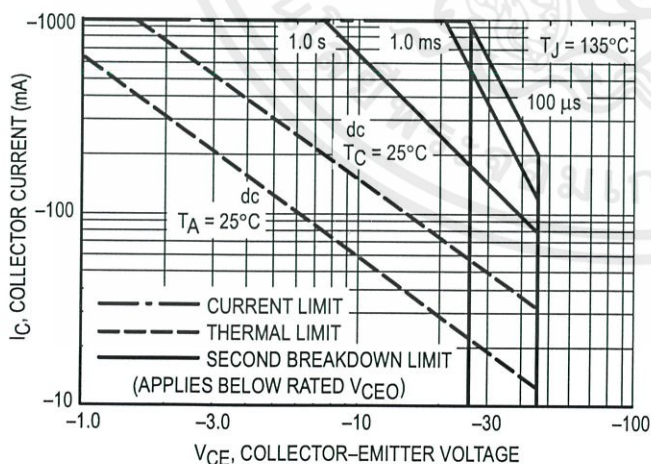


Figure 2. Active Region — Safe Operating Area

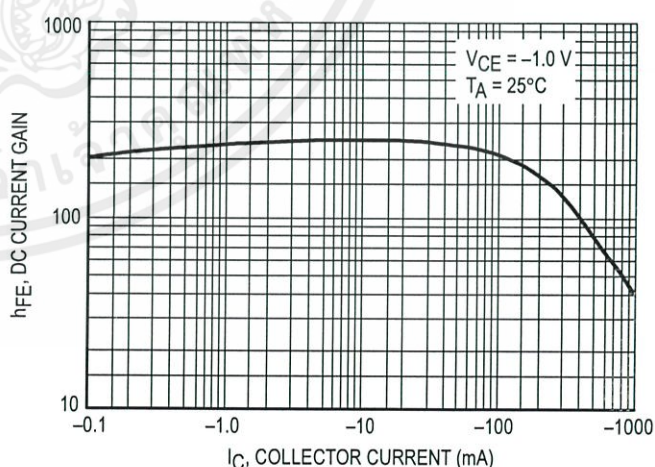


Figure 3. DC Current Gain

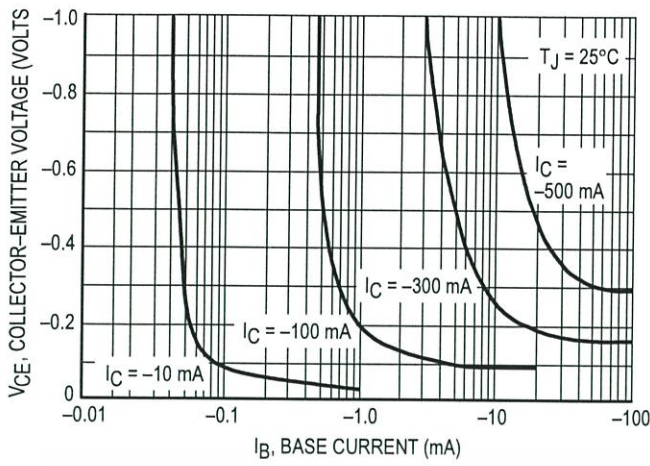


Figure 4. Saturation Region

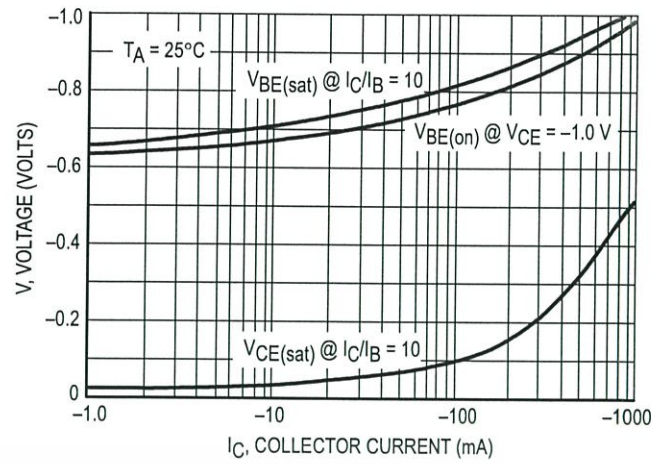


Figure 5. "On" Voltages

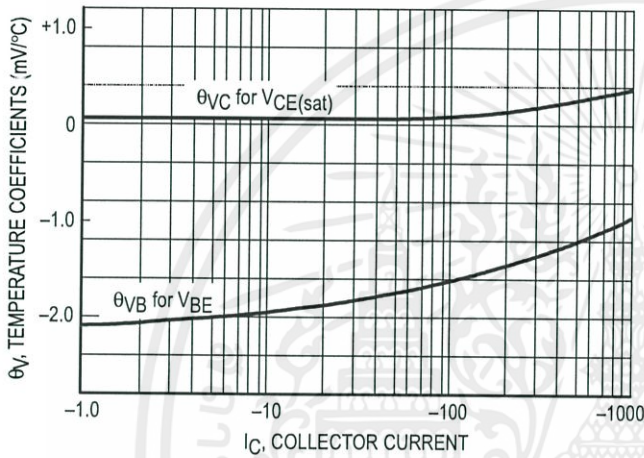


Figure 6. Temperature Coefficients

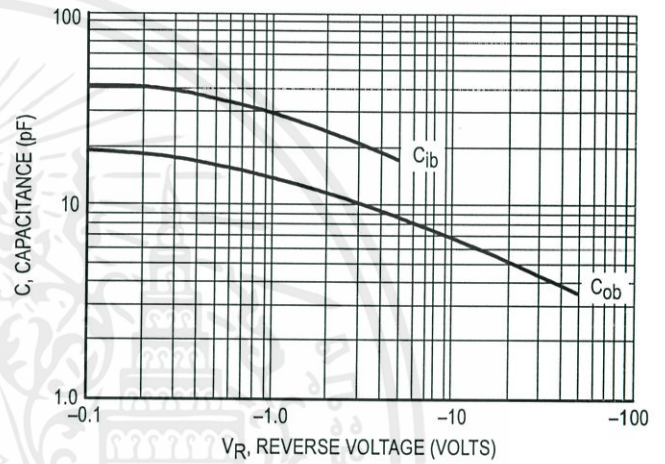


Figure 7. Capacitances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

STYLE 17.
PIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

CASE 029-04
(TO-226AA)
ISSUE AD

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Complementary Silicon Power Transistors

... designed for general-purpose switching and amplifier applications.

- DC Current Gain — $h_{FE} = 20-70 @ I_C = 4 \text{ Adc}$
- Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 1.1 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 4 \text{ Adc}$
- Excellent Safe Operating Area

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	15	A _{dc}
Base Current	I_B	7	A _{dc}
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	115 0.657	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C/W}$

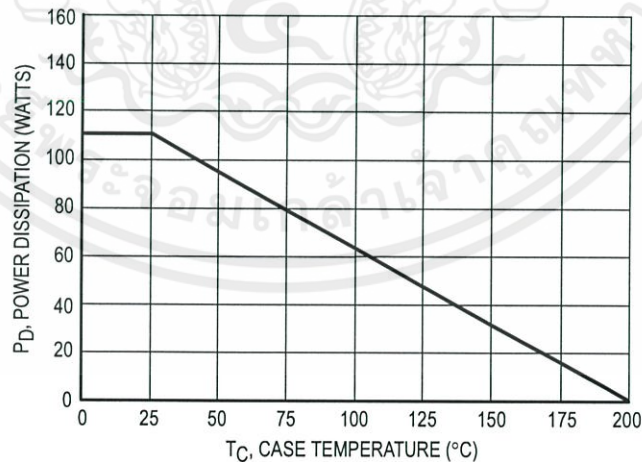


Figure 1. Power Derating

NPN
2N3055*
PNP
MJ2955*

*Motorola Preferred Device

15 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
60 VOLTS
115 WATTS



CASE 1-07
TO-204AA
(TO-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผลเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



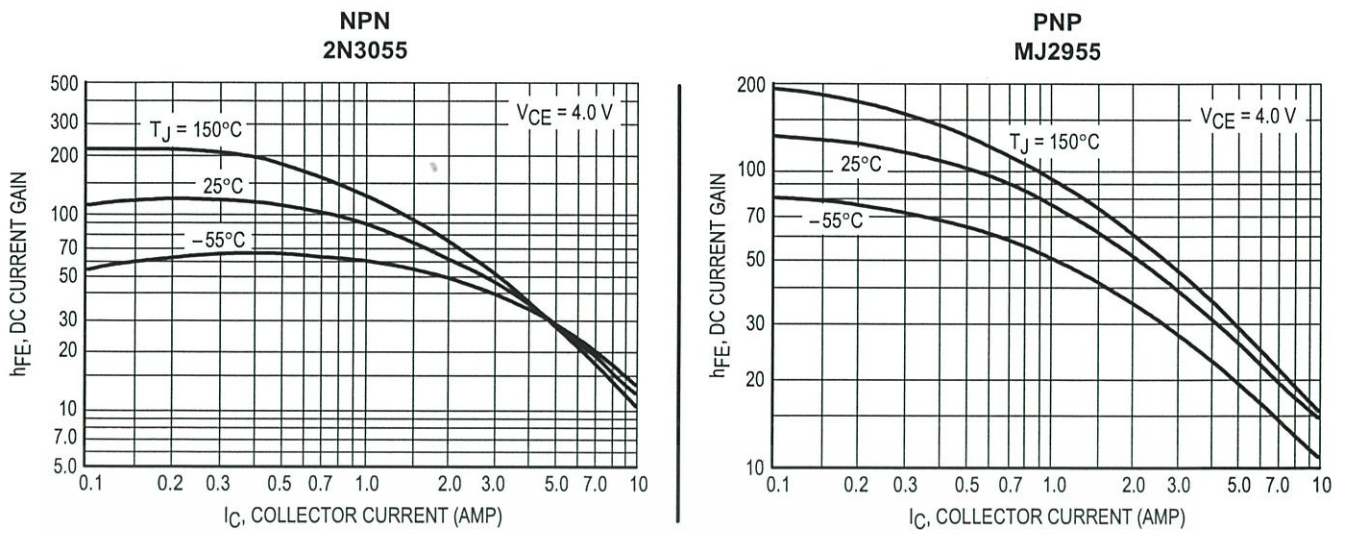


Figure 3. DC Current Gain

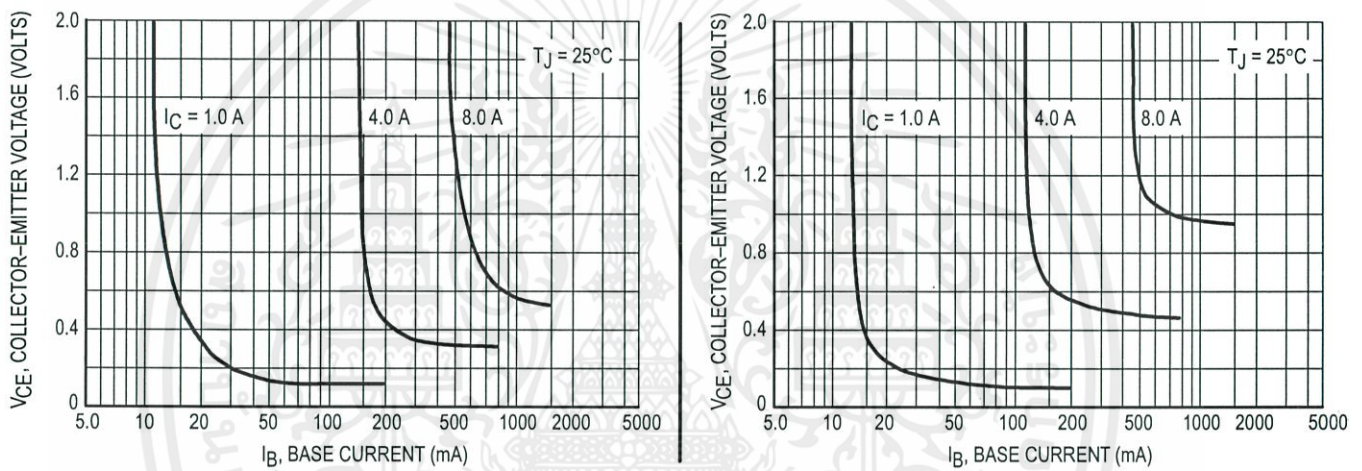


Figure 4. Collector Saturation Region

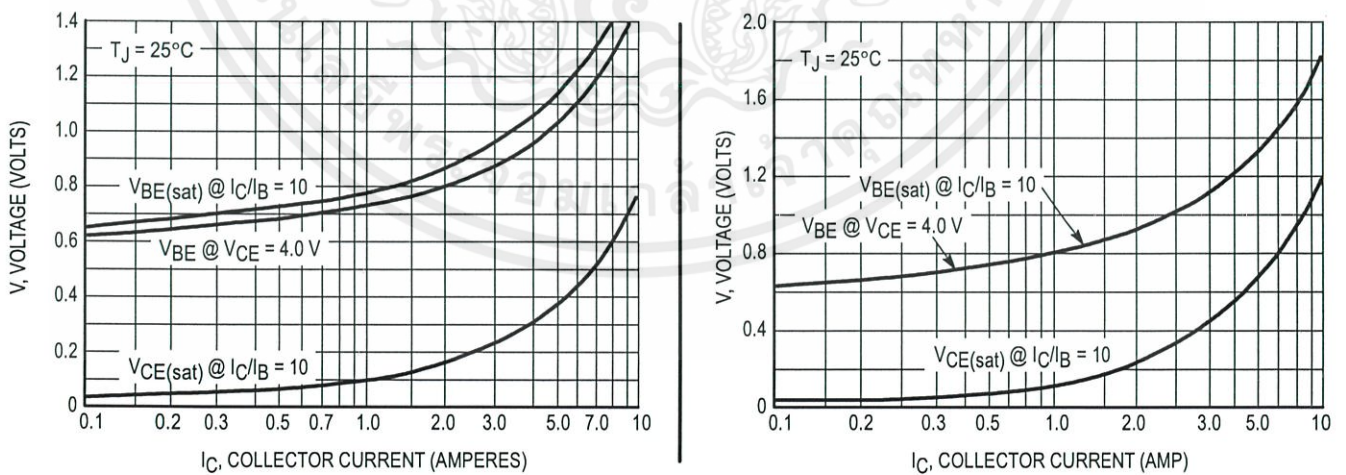


Figure 5. "On" Voltages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้