



ปีการศึกษา 2539

โปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

แบบประหยัดที่สุด

MINIMUM COST PROGRAM DESIGN

FOR AN AIR-CORE SOLENOID

โดย

นายชুক্তดี สุริยวารกุล

นายสำราญ ชื่นทองคำ

วัน เดือน ปี..... 30 ก.พ. 2541
เลขทะเบียน..... 038275
เลขเรียกหนังสือ..... T 3 ๕ ๒ ๙ ๘ ๗ ๖ ๕ ๔ ๓ ๒ ๑

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038275

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

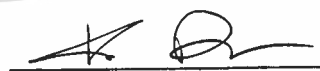
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศแบบประชิดที่สุด

ผู้จัดทำ

1. นายชุตักดิ์ สุริยารกุล
2. นายสำราญ ชื่นทองคำ





อาจารย์ที่ปรึกษา

(คร.ชัยวุฒิ นิตอรุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตัวเหนี่ยวนำ	3
2.1 ตัวเหนี่ยวนำ	3
2.2 ลักษณะของตัวเหนี่ยวนำที่มีต่อกระแสไฟฟ้า	4
2.3 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ	5
2.3.1 ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ	5
2.3.2 ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัดหรือแกนเฟอร์ไรท์	5
2.3.3 ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็ก	6
บทที่ 3 การออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	10
3.1 รูปแบบของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	10
3.2 การกำหนดสูตรจากปัญหาของการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	12
3.3 การแก้ปัญหาโดยการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่ดีขึ้นและการเข้าใกล้	13
3.4 รูปแบบที่ใช้ในการออกแบบ	14
บทที่ 4 โปรแกรมออกแบบขดลวด โซลินอยด์แกนอากาศ	17
4.1 การใช้นัมเมอร์รหัสค่าที่เหมาะสม	18
4.2 เกร็ดเล็กน้อยกับวิซวลเบสิก 4	18
4.2.1 การใช้วิซวลเบสิกสร้างแอปพลิเคชันแบบ 32 บิต	19
4.2.2 การสร้างโปรแกรมด้วยวิซวลเบสิก	20
4.3 การใช้งานแอปพลิเคชันโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	21
4.3.1 ส่วนต่างของอินเตอร์เฟซยูสเซอร์	22
4.3.2 ขั้นตอนการทำงาน	22
4.4 การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม	23
4.4.1 แสดงรายละเอียดต่างๆของตัวเหนี่ยวนำ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 แสดงรายละเอียดต่างๆของตัวเหนียวนำโดยใช้รูปประกอบ	24
4.5 ตัวอย่างการหาค่าของโปรแกรมออกแบบ	25
บทที่ 5 การสร้างขดลวดคั่นแบบ	27
5.1 ผลของโปรแกรม	27
5.2 การสร้างขดลวดเหนียวนำแกนอากาศ	29
5.2.1 การทำแบบที่ใช้พันขดลวด	29
5.2.2 การพันขดลวด	30
5.3 การทดสอบตัวเหนียวนำแกนอากาศ	31
5.3.1 วัดด้วยอินดักแตนท์มิเตอร์	31
5.3.2 วัดขนาดของด้านต่างๆจากขดลวดเหนียวนำแกนอากาศคั่นแบบ แล้วแทนในสมการ	33
5.3.3 การทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ	34
5.3.4 เปรียบเทียบค่าอินดักแตนท์	39
5.4 การหาค่าตัวประกอบการพัน	40
บทที่ 6 การพัฒนาโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์	42
6.1 การใช้งานโปรแกรม	44
6.1.1 ส่วนต่างๆของโปรแกรมหลัก	45
6.1.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมหลัก	46
6.1.3 การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม	47
6.2 การสร้างขดลวดเหนียวนำแกนอากาศคั่นแบบที่ใช้ตัวประกอบการพัน	49
6.3 การทดสอบตัวเหนียวนำแกนอากาศ	51
6.3.1 วัดด้วยอินดักแตนท์มิเตอร์	51
6.3.2 วัดขนาดของด้านต่างๆจากขดลวดเหนียวนำแกนอากาศคั่นแบบ แล้วแทนในสมการ	51
6.3.3 การทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ	52
6.4 เปรียบเทียบค่าต่างๆของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	55
บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์	57
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศแบบประหยัดที่สุด

นายชุตติ์ สุริยวารกุล

นายสำราญ ชื่นทองคำ

ดร.ชัชวดี ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการเขียนโปรแกรม ออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ เพื่อให้ มีค่าความยาวของลวดตัวนำน้อยที่สุด (Minimum Length) เมื่อกำหนดค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และพื้นที่หน้าตัดของขดลวด ซึ่งโปรแกรมสามารถคำนวณหาค่า รัศมีของคอยล์ (a) , ความหนาของคอยล์ (c) และจำนวนรอบของคอยล์ (N) โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมเชิงตัวเลข (Numerical Optimization) การออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศนี้ใช้สมการของ Middendorf formular (1990) เป็นพื้นฐานในการสร้างโปรแกรม และข้อมูลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรมนี้ สามารถนำไปสร้างขดลวดต้นแบบที่ใช้งานได้จริง และสามารถทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากต้นแบบ จะพบว่ามีความใกล้เคียงมากซึ่งจะมีส่วนต่างอยู่บ้าง เราจะเรียกค่านี้ว่า ค่าตัวประกอบทางการพัน (winding factor) และเราจะนำค่าที่ได้นี้ไปใส่เพิ่มในโปรแกรม เพื่อให้ได้ขดลวดเหนี่ยวนำโซลินอยด์แกนอากาศ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

MINIMUM COST PROGRAM DESIGN FOR AN AIR-CORE SOLENOID

Chusak Suriyaworakul

Samran Chaunthongkham

Dr.Chaiwut Chatuthai Advisor

1996

Abstract

This Thesis is consist of detail about writing the program design of air-core solenoid inductors proposed to the minimum length of inductance, can computing to fine the value as the radius of coil (a), the thickness of coil (c) and turns of coil (N) by numerical optimization technique. Designing of air-core solenoid use Middendorf formula (1990) for set out to programming .. and the data that we have received from designing by programming ,We take it to construct prototype inductor that we can use it ,and comparison values from prototype inductor which we have found, it has approximate values but result were little bit different , we call them "Winding factor" . And bring it to develop program, finally we can bring the data of inductor to working

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1 แสดงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	3
รูป 2.2 แสดงการเหนี่ยวนำไฟฟ้าจาก L1 ไป L2	4
รูป 2.3 สัญลักษณ์ของคอยล์แกนอากาศ	5
รูป 2.4 สัญลักษณ์ของคอยล์แกนผงเหล็กหรือแกนเฟอร์ไรท์	6
รูป 2.5 แสดงลักษณะและสัญลักษณ์ของคอยล์อากาศในเครื่องรับวิทยุ	6
รูป 2.6 สัญลักษณ์ไอเอฟคอยล์ในเครื่องรับวิทยุประเภทใช้หลอดสูญญากาศ	6
รูป 2.7 แสดงสัญลักษณ์ของอินพุทกับเอาท์พุททรานส์ฟอร์มเมอร์	7
รูป 2.8 สัญลักษณ์ของโซ๊ค	7
รูป 2.9 แสดงสัญลักษณ์ของหม้อแปลงออโต้ทรานส์ฟอร์มเมอร์	8
รูป 2.10 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงกำลัง	9
รูป 2.11 สัญลักษณ์ของลำโพง	9
รูป 3.1 แสดงแบบโซลินอยด์ที่มีหลายชั้น	11
รูป 4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมน	17
รูป 4.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมนอกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ	21
รูป 4.3 อินเตอร์เฟซยูสเซอร์ของโปรแกรมนอกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	22
รูป 4.4 ผลลัพธ์ของโปรแกรมนที่แสดงเฉพาะคำตอบ	23
รูป 4.5 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมน แสดงด้วยรูป	24
รูป 4.6 แสดงตัวอย่างการหาขนาดขดลวดเหนี่ยวนำที่ได้จากโปรแกรมนอกแบบ	26
รูป 5.1 แสดงผลของโปรแกรมนอกที่นำไปสร้างตัวเหนี่ยวนำต้นแบบ	28
รูป 5.2 แบบที่ใช้ในการพันขดลวด	29
รูป 5.3 แผ่นปิดหัวท้าย	30
รูป 5.4 ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศต้นแบบ	30
รูป 5.5 อินдикเตนซ์มิเตอร์	31
รูป 5.6 การวัดขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบทั้ง 3 ขนาด	32
รูป 5.7 วงจรที่ใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ	35
รูป 5.8 การวัดมุมของแรงดันกับกระแสขดลวดตัวนำ # S.W.G 13	35
รูป 5.9 การวัดมุมของแรงดันกับกระแสขดลวดตัวนำ # S.W.G 19	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.10 การวัดมุมของแรงดันกับกระแสขดลวดตัวนำ # S.W.G 25	38
รูป 6.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	43
รูป 6.2 โปรแกรมหลักของโปรแกรมที่ใส่ตัวประกอบการพัน	45
รูป 6.3 ผลลัพธ์ของโปรแกรมเฉพาะคำตอบที่ใส่ตัวประกอบการพัน	47
รูป 6.4 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมที่ใส่ตัวประกอบการพันพร้อมรูป	49
รูป 6.5 ผลของโปรแกรมที่ใส่ตัวประกอบการพันเพื่อนำไปสร้างต้นแบบ	50
รูป 6.6 การวัดมุมของแรงดันกับกระแสขดลวดตัวนำ # S.W.G 19 ขนาด 1 mH	52
รูป 6.7 การวัดมุมของแรงดันกับกระแสขดลวดตัวนำ # S.W.G 19 ขนาด 2 mH	57



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 5.1 เปรียบเทียบค่าความเหนียวจากอินดิคแตนต์ซ์มิเตอร์กับผลของโปรแกรม	33
ตาราง 5.2 การหาค่าอินดิคแตนต์ซ์ด้วยการแทนค่าลงในสมการ	33
ตาราง 5.3 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ # S.W.G 13 ขนาด 200 μ H	36
ตาราง 5.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ # S.W.G 19 ขนาด 1 mH	37
ตาราง 5.5 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ # S.W.G 25 ขนาด 1 mH	38
ตาราง 5.6 เปรียบเทียบผลจากการทดสอบขดลวดเหนียวทั้ง 3 วิธี	39
ตาราง 6.1 เปรียบเทียบค่าความเหนียวจากอินดิคแตนต์ซ์มิเตอร์กับผลของโปรแกรม	51
ตาราง 6.2 การหาค่าอินดิคแตนต์ซ์ด้วยการแทนค่าลงในสมการ	51
ตาราง 6.3 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ # S.W.G 19 ขนาด 1 mH	53
ตาราง 6.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ # S.W.G 19 ขนาด 2 mH	54
ตาราง 6.5 เปรียบเทียบผลจากการทดสอบขดลวดเหนียวทั้ง 3 วิธี	55
ตาราง 6.6 เปรียบเทียบรูปทรงของขดลวดเหนียว # S.W.G 19 ขนาด 1 mH ระหว่างการวัดขดลวด กับผลของโปรแกรม	56
ตาราง 6.7 เปรียบเทียบรูปทรงของขดลวดเหนียว # S.W.G 19 ขนาด 2 mH ระหว่างการวัดขดลวด กับผลของโปรแกรม	56
ตาราง 7.1 เปรียบเทียบค่าต่างๆของขดลวดทั่วไปกับผลของโปรแกรม	57
ตาราง 7.2 เปรียบเทียบผลของโปรแกรมก่อนใส่ค่าตัวประกอบการพัน กับผลของ โปรแกรมที่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน	58

บทที่ 1

บทนำ

ในสมัยปัจจุบันมีการนำเอาขดลวดเหนี่ยวนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมีทั้งขดลวดเหนี่ยวนำแกนเหล็ก ขดลวดเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรท์หรือแกนผงเหล็ก และขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ซึ่งตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ ก็เป็นที่แพร่หลายในการใช้งานในด้านต่างๆ เช่น วงจรกรองความถี่ วงจรเรียงกระแส และวงจรที่ต้องการใช้การสะสมพลังงาน (จำพวกบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดไฟ) แต่ในปัจจุบันการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศไม่ได้คำนึงถึง ขนาดและรูปร่างจึงทำให้ไม่เป็นการประหยัดลวดตัวนำที่ใช้ในการพันขดลวด เป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องมีการริเริ่มสร้าง โปรแกรมออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำที่มีรูปทรงที่เหมาะสม ซึ่งโปรแกรมในครั้งแรกๆ ที่สร้างขึ้นมานั้นจะมีระบบการปฏิบัติการบนคอส ทำให้การใช้งานโปรแกรมออกแบบไม่สะดวก เนื่องจากการป้อนค่าต่างๆที่ใช้ในการออกแบบ จะต้องป้อนโดยการพิมพ์ และโปรแกรมออกแบบในยุคแรกไม่ครอบคลุมทุกค่าความเหนี่ยวนำ เป็นผลให้ต้องทำการพัฒนาโปรแกรมออกแบบขึ้นมาใหม่ ให้มีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายขึ้นและครอบคลุมทุกค่าความเหนี่ยวนำ โดยที่เลือกที่จะพัฒนาโปรแกรมออกแบบ ให้สามารถทำงานบนวินโดวส์ และภาษาที่สามารถสร้างโปรแกรมออกแบบมีด้วยกันหลายภาษา และในที่นี้เลือกใช้ภาษาวิซวลเบสิก ในการพัฒนาโปรแกรม เพราะมีความสามารถเหมาะสมกับการทำงานของโปรแกรม และเป็นภาษาที่มีความยุ่งยากในการเขียนโค้ดน้อย

บทที่ 2 กล่าวถึงชนิดของตัวเหนี่ยวนำและการใช้งาน

บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานการหาค่าความเหนี่ยวนำที่มีรูปทรงเหมาะสม

บทที่ 4 กล่าวถึง โปรแกรมออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำโซลินอยด์แกนอากาศ ที่ได้พัฒนามาจาก โปรแกรมออกแบบที่ทำงานบนคอส และทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างโปรแกรม

บทที่ 5 การสร้างขดลวดเหนี่ยวนำโซลินอยด์แกนอากาศต้นแบบ เพื่อหาตัวประกอบการพัน

บทที่ 6 โปรแกรมออกแบบที่พัฒนาจนเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งสามารถให้ผลของโปรแกรมถูกต้องตามความเป็นจริง

บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ ผลของโปรแกรมออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำโซลินอยด์แกนอากาศทั้งสองแบบ และเปรียบเทียบผลของโปรแกรมออกแบบกับตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในปัจจุบัน

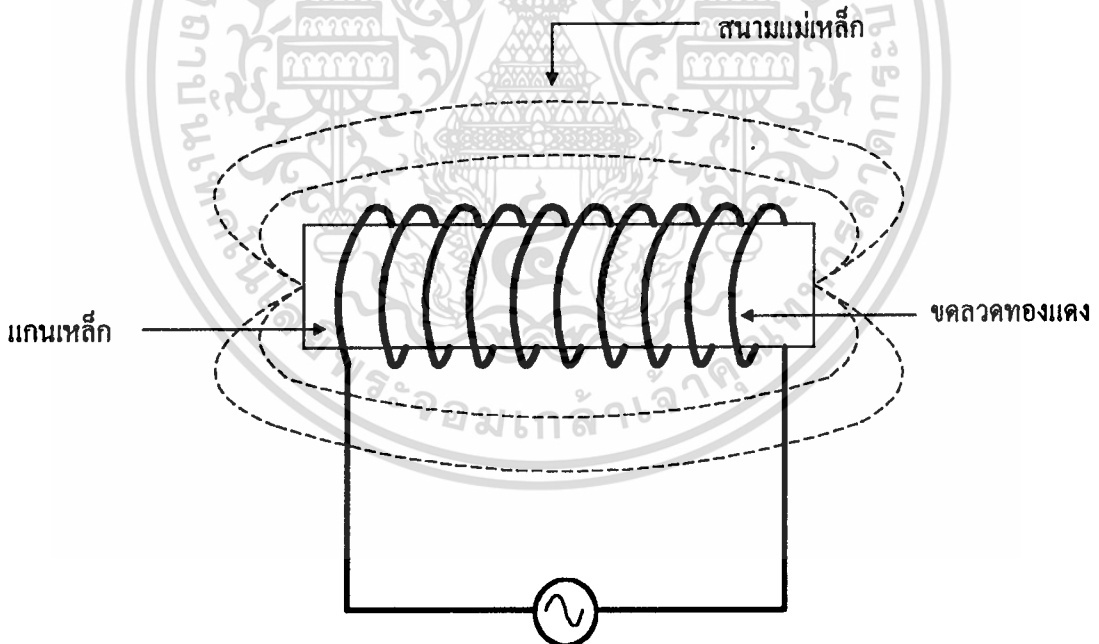
บทที่ 2

ตัวเหนี่ยวนำ

2.1 ตัวเหนี่ยวนำ

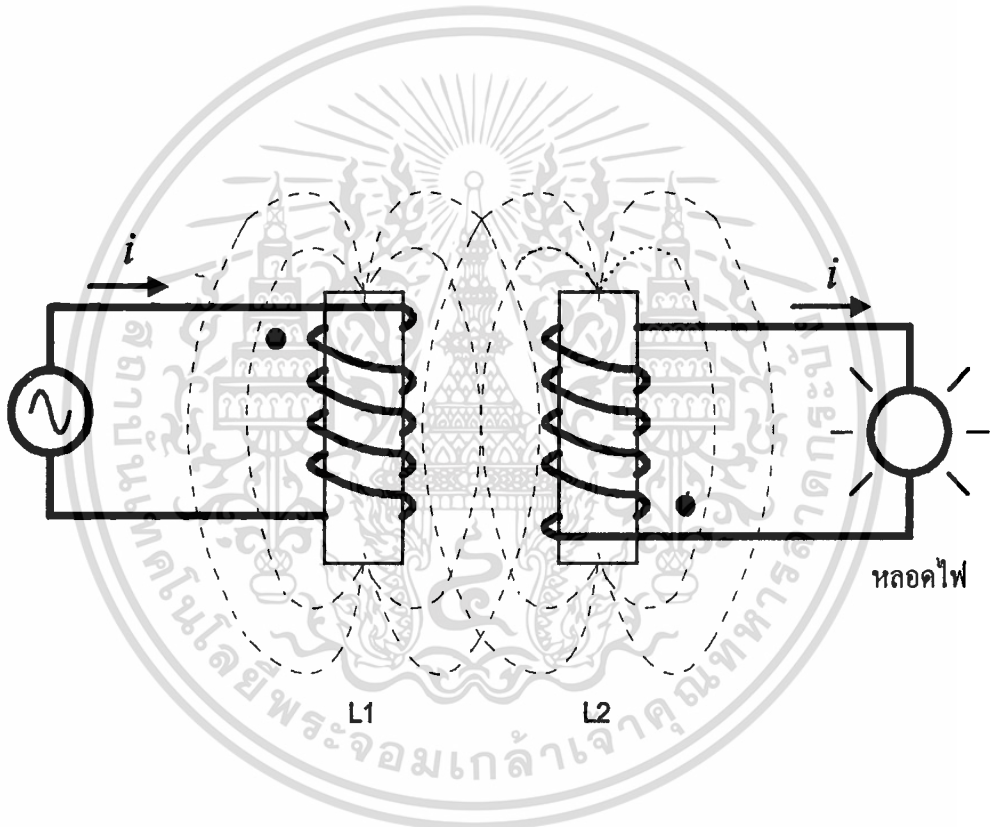
ตัวเหนี่ยวนำหรือเรียกกันทั่วไปว่า คอยล์ (coil) คือ ขดลวดทองแดงที่นำมาพันรอบแกนเหล็ก แกนผงเหล็กอัด หรือแกนอากาศ ซึ่งจะพบในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น ลำโพงคอยล์อากาศ (Loud speaker air-core) ออสซิลเลเตอร์คอยล์ (Oscillator coil) ไอเอฟทรานส์ฟอร์มเมอร์ (IF Transformer) และหม้อแปลง (Transformer) ฯลฯ

หลักการของตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำหรือถ่ายเทพลังงาน คือ เมื่อพันขดลวดทองแดงจำนวนหลาย ๆ รอบให้อยู่บนแกนเหล็กหรือแกนอากาศ และป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวด ขดลวดจะแสดงพลังงานออกมาในรูปของสนามแม่เหล็กรอบขดลวดนั้นซึ่งเรียกว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถดึงดูดสารแม่เหล็กได้ เช่นเดียวกับแม่เหล็กถาวรแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ถ้านำขดลวดอีกชุดหนึ่งมาวางใกล้ ๆ หรือพันซ้อนบนแกนเดียวกัน สนามแม่เหล็กจากชุดแรกจะตัดกับ ขดลวดชุดที่สองทำให้เกิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดชุดที่สอง ลักษณะเช่นนี้ เราเรียก ขดลวดชุดแรกที่ทำให้เกิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดชุดที่สอง ลักษณะเช่นนี้ว่าขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำ แต่มีข้อแม้ว่าไฟฟ้าที่จ่ายเข้าขดลวดชุดแรกต้องเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงดังรูปที่ 2.2 ขดลวด L1 กับ L2 วางอยู่ใกล้กันเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้า L1 จะเกิดการขยุยตัวของตัวของสนามแม่เหล็กรอบ ๆ L1 และไปตัดกับขดลวด L2 เหนี่ยวนำให้ L2 มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น จะเห็นว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะกลับทิศทางการ



รูปที่ 2.2 แสดงการเหนี่ยวนำไฟฟ้าจาก L1 ไป L2

2.2 ลักษณะของตัวเหนี่ยวนำที่มีต่อกระแสไฟฟ้า

ตัวเหนี่ยวนำมีผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า 3 ประการ คือ

1. เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดจะเกิดแรงต้านหรือ หน่วงไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ง่าย ๆ ค่าที่มันต้านหรือหน่วงการไหลของกระแสนี้เรียกว่า ค่าอินดักแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(inductance) ใช้อักษรย่อ L มีหน่วยเป็น เฮนรี (Henry) แล้วยังมีหน่วยย่อยเล็กลงไปอีก ได้แก่ มิลลิเฮนรี (milli Henry) และ ไมโครเฮนรี (micro Henry)

$$1 \text{ มิลลิเฮนรี (mH)} = 1/1,000 \text{ H}$$

$$1 \text{ ไมโครเฮนรี (\mu H)} = 1/1,000,000 \text{ H}$$

2. เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรเหนี่ยวนำ จะมีค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำเหมือนกับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน (Resistor) มีหน่วยเป็นโอห์ม ค่าความต้านทานของคอยล์ในไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าน้อยมาก

3. เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจรตัวเหนี่ยวนำ จะเกิดความต้านทานในวงจรเรียกว่าค่า อินдукทีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance) ใช้อักษรย่อ X_L มีหน่วยเป็นโอห์ม X_L นี้จะผลมากในวงจรเลือกความถี่ของเครื่องส่งวิทยุที่เรียกว่า วงจรแทงค์ (Tank circuit)

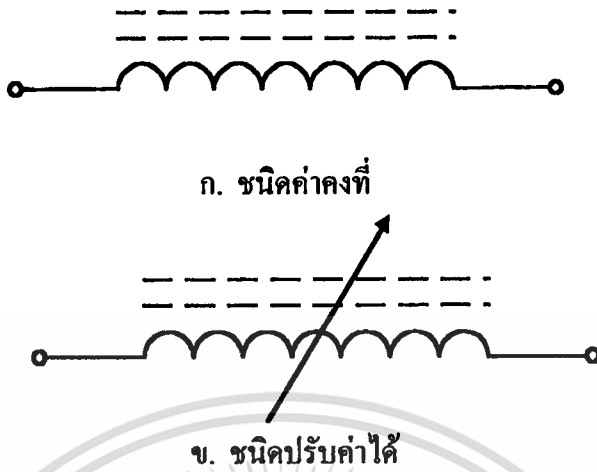
2.3 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ

2.3.1 ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ขดลวดทองแดงพันบนกระดาษแข็ง ใยเบอร์ แบคคาไลต์ พลาสติก หรือพันแบบไม่มีแกน ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศมักจะใช้ในงานทางด้านความถี่สูง เช่น ในภาครับวิทยุ (Antenna coil) และ ภาคอสซิลเลเตอร์ (Oscillator coil) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของคอยล์แกนอากาศ

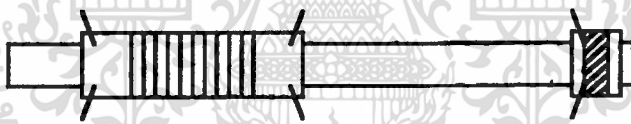
2.3.2 ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัดหรือแกนเฟอร์ไรท์ แกนแบบนี้มีทั้งชนิดค่าอินдукแตนซ์คงที่ และชนิดปรับค่าได้



รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์ของคอยล์แกนผงเหล็กหรือแกนเฟอร์ไรท์

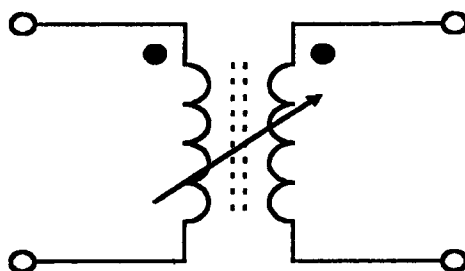
ตัวอย่างของตัวเหนี่ยวนำชนิดของแกนผงเหล็กอัด หรือแกนเฟอร์ไรท์ได้แก่

2.3.2.1 คอยล์อากาศแกนเฟอร์ไรท์ (Antenna coil) จะพบได้จากภาครับคลื่นวิทยุของเครื่องรับวิทยุทั่วไป



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะและสัญลักษณ์ของคอยล์อากาศในเครื่องรับวิทยุ

2.3.2.2 ไอเอฟคอยล์หรือไอเอฟทรานส์ฟอร์มเมอร์ (IF Transformer) และออตซิเลเตอร์คอยล์พวกนี้จะเป็นแกนผงเหล็กอัด ชนิดปรับค่าได้ ดังรูปที่ 2.6



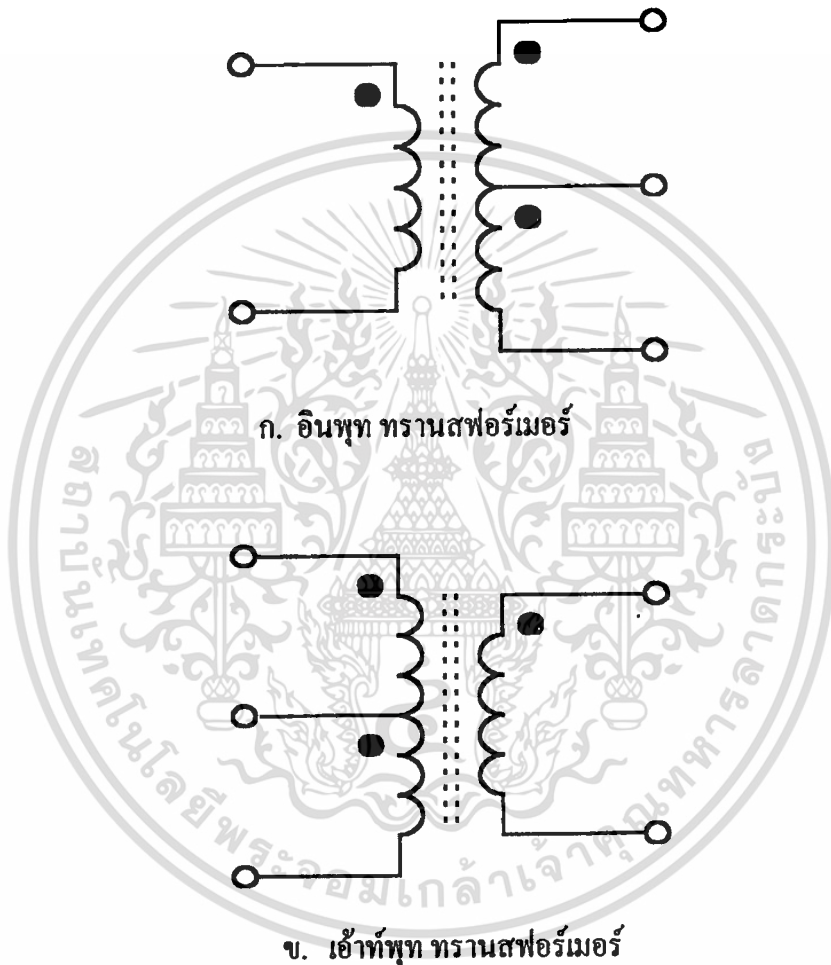
รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ไอเอฟคอยล์ในเครื่องรับวิทยุประเภทใช้หลอดสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็ก ได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขดลวดทองแดงพันบนแกนเหล็ก ซึ่งใช้ในวงจรความถี่ต่ำ และภาคจ่ายไฟ (Power supply) ทั่วไปได้แก่

2.3.3.1 อินพุทและเอาต์พุททรานส์ฟอร์มเมอร์ (Input and Output Transformer)

ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณความถี่ต่ำในภาคขยายเสียง



รูปที่ 2.7 แสดงสัญลักษณ์ของอินพุทกับเอาต์พุททรานส์ฟอร์มเมอร์

2.3.3.2 ไซค์ (Choke) ใช้ในวงจรกรองกระแสทำหน้าที่ร่วมกับคาปาซิเตอร์

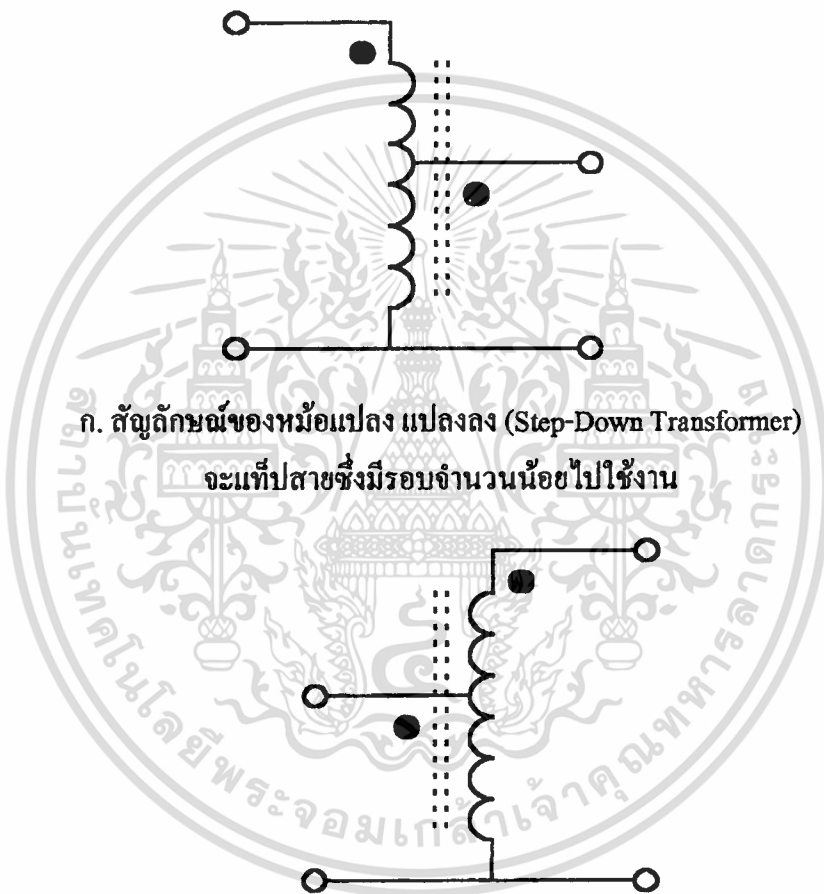


รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของไซค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 หม้อแปลง(Transformer) หม้อแปลงที่ใช้กันมากในภาคจ่ายไฟมี 2 ชนิด

2.3.3.3.1 ออโต้ทรานสฟอร์มเมอร์ (Auto Transformer) เป็นหม้อแปลงที่มีขดลวดพันรอบแกนเหล็กเพียงชุดเดียวจะเป็นหม้อแปลงลงหรือแปลงขึ้นย่อมแล้วแต่การ แท็ป (Tap) ปลายสายออกไปใช้งานส่วนมากใช้แปลงได้เฉพาะแรงดันเท่านั้น จะแปลงกระแสไม่ได้เนื่องจากมีขดลวดเพียงชุดเดียว



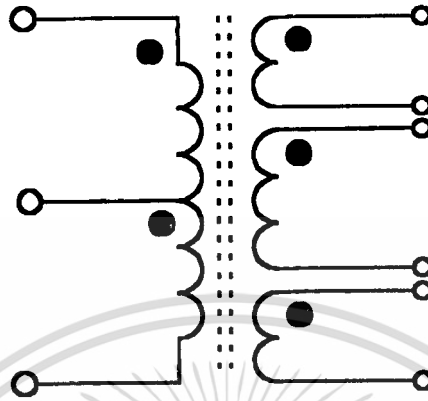
ข. สัญลักษณ์ของหม้อแปลง แปลงขึ้น (Step-Up Transformer)
จำนวนรอบของขดลวดที่นำไปใช้งานมากกว่าขดลวดทางด้าน ไฟเข้า

รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์ของหม้อแปลงออโต้ทรานสฟอร์มเมอร์

2.3.3.3.2 เพาเวอร์ทรานสฟอร์มเมอร์ (Power Transformer) คือหม้อแปลงกำลังที่สามารถแปลงได้ทั้งกระแส และแรงดันอยู่ในตัวเดียวกัน ถ้าเส้นลวดทางขดทุติยภูมิโตกว่าขดลวดทางปฐมภูมิจะเป็นหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) คือ จะได้กระแสสูงขึ้น

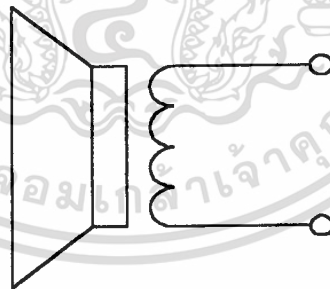
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการแปลงแรงดัน (Potential Transformer) ขึ้นอยู่กับจำนวนของขดลวด ถ้าจำนวนรอบทางขดทุติยภูมิมากกว่า จำนวนรอบทางขดปฐมภูมิจะเป็นหม้อแปลงขึ้น ได้แรงดันสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงกำลัง

2.3.3.4 ลำโพง (Lound Speaker) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าความถี่เสียงให้เป็นสัญญาณเสียง สัญญาณ ไฟฟ้าของความถี่เสียงจะมีแรงดันทำให้ไดอะแฟรมหรือกรวยกระดาษเกิดการสั่นสะเทือน พร้อมกระนั้นก็จะทำให้อากาศที่อยู่ด้านหน้าเกิดการสั่นตามไปด้วย เป็นเสียงที่เราได้ยิน



รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์ของลำโพง

บทที่ 3

การออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

สิ่งที่ได้เป็นปัญหาในอดีตและสามารถแก้ไขได้โดย Maxwell ในปี ค.ศ. 1892 คือ การที่จะทราบค่าจากคอยล์จะต้องทราบเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ ของการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง ที่มีค่าสูงสุด ค่าความยาวรวมและความหนาของขดลวด ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ควรจะเป็น 3.7 เท่าของด้านพื้นที่หน้าตัดและ Brooks ได้กล่าวไว้ในปี ค.ศ. 1931 ว่าอัตราส่วน ที่ดีคือด้าน สี่เหลี่ยมจตุรัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดค่าที่เป็นจริงควรเป็น 2.967 แต่ค่าที่ตั้งไว้ตามจุดมุ่งหมายในทางปฏิบัติคือ 3.0 ในตอนนี้โดยการใช้ นัมเมอร์ริคัลเพื่อหาค่าที่เหมาะสม (Numerical Optimization Techniques) ต้องการที่จะประยุกต์ใช้เพื่อหาสภาพที่จะอำนวยความสะดวกประโยชน์หรือค่าที่ เหมาะสมที่สุดของการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

3.1 รูปแบบของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

โดยทั่ว ๆ ไป ขดลวดโซลินอยด์สามารถจัดจำพวกได้ 2 ประเภท

- โซลินอยด์ที่มีชั้นเดียว (single layer solenoids)
- โซลินอยด์ที่หลายชั้น (multi layer solenoids)
- โซลินอยด์ที่มีชั้นเดียว สามารถพิจารณาในทางอุดมคติที่กว้างไกล ซึ่งความหนาแน่นของกระแสจะมีรูปร่างเป็นรูปแบบเดียวกันหมด ซึ่งจะไม่ทำให้พื้นผิวของขดลวดเสียหาย

3.1.1 การหาค่าของอินдукแตนซ์ ที่อนุกรม (Series Inductance)

หาได้จากสมการ

$$L = \frac{4 \pi a_s^2 N_s^2 10^{-7}}{b_s} \quad \text{Henry} \quad (3-1)$$

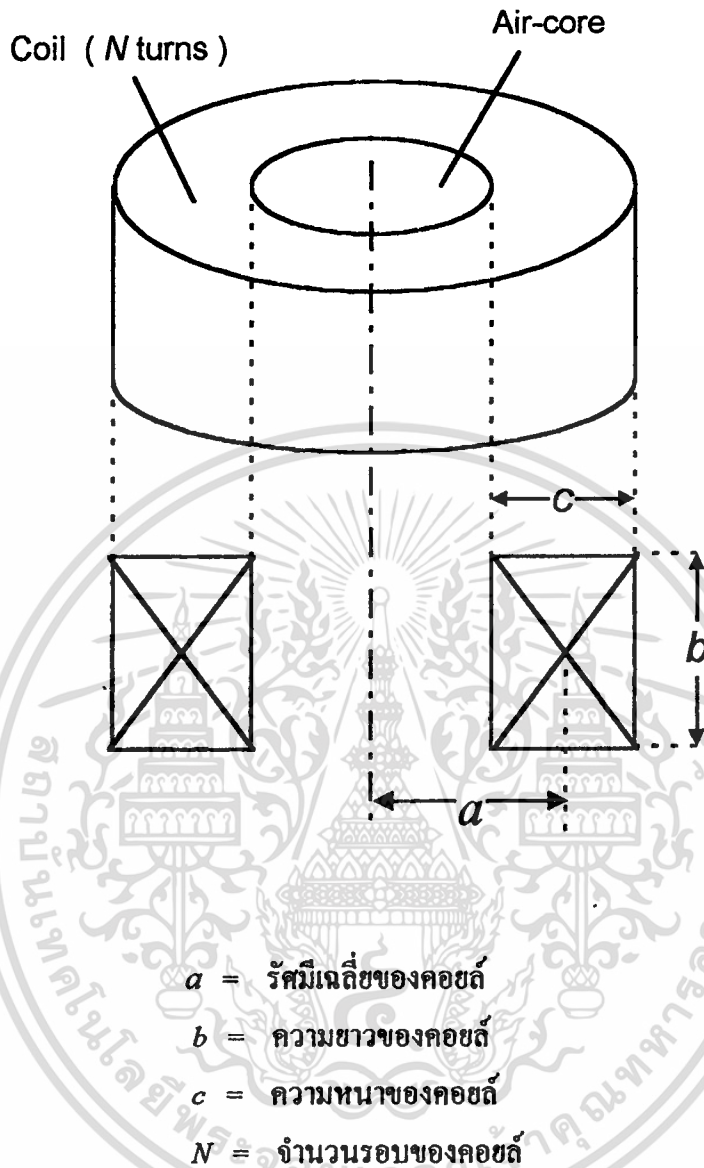
เมื่อ N_s = จำนวนรอบของขดลวด

b_s = ความยาวของคอยล์ (เมตร)

a_s = รัศมีของลวดเมื่อรูปหน้าตัดเป็นวงกลม (เมตร)

πa_s^2 = พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงแบบ โซลินอยด์ที่มีหลายชั้น

โดยสมมติซึ่งเชื่อกันว่า เส้นลวดที่เราต้องการตามที่จะปรารถนาควรเป็นรูปทรงกระบอก และวัสดุไม่เป็นแม่เหล็ก ในทางอุดมคติเราสามารถที่จะพบในรูปแบบของตัวเหนี่ยวนำที่มีหลายชั้น มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก เพื่อให้โครงสร้างอำนวยผลประโยชน์ได้มากที่สุดและเหมาะสมที่สุด และ Maxwell ได้กำหนดว่า $c = b$ และ $2a = 3.7c$ และ Brooks ได้ตั้งค่าเพื่อเป็นจุดมุ่งหมายสำหรับในทางปฏิบัติ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดควรเป็น $c = b$ และ $2a = 3c$

ในการสันนิษฐานว่าการที่ให้กระแสกระจายอย่างสม่ำเสมอในรูปร่างพื้นที่หน้าตัด และ ฉนวนระหว่างรอบและชั้นของคอยล์เราไม่ควรสนใจมากนัก อย่างไรก็ตามความเป็นจริงค่าเหล่านี้ก็มีอิทธิพลอยู่ คือจากวัสดุที่เป็นฉนวน ของการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง (Mutual Inductance) สามารถกระทำประโยชน์ด้วยการแก้ไขให้ตัวประกอบเหล่านี้ดีขึ้น

ซึ่งมีหลายสูตรที่นำไปสู่การคำนวณที่ให้ค่าถูกต้องดีพอใช้ ของการเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง (Mutual Inductance) ถ้าเราใช้เรขาคณิตวิเคราะห์ กับขดลวดโซลินอยด์และเราต้องทราบจำนวน รอบ เพื่อให้การวิเคราะห์จะได้ค่าที่ถูกต้องและเพื่อแก้ปัญหาของ การเหนี่ยวนำเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ในเทอมของตัวแปร $x (a, b, c, N)$

3.2 การกำหนดสูตรจากปัญหาของการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

แผนการในการแก้ปัญหาให้ดีขึ้นสามารถดำเนินไปตามเมื่อเราทราบแผนการออกแบบตัวแปร $x (a, b, c, N)$ ดังนั้นการเหนี่ยวนำของ $L(x)$ ที่มากที่สุดกำหนดให้ความยาว $l(x)$ และพื้นที่หน้าตัด $t(x)$ ของขดลวดจากการออกแบบ เงื่อนไข 2 เงื่อนไขแบ่งเป็น

$$l(x) = 2 \pi a N \quad \text{เงื่อนไขความยาว (length constraints)} \quad (3-2)$$

$$t(x) = \frac{b c}{N} \quad \text{เงื่อนไขพื้นที่หน้าตัด (cross-section area constraints)} \quad (3-3)$$

เมื่อ $2 \pi a$ เป็นความยาวของรอบขดลวด

การออกแบบ $L(x)$ คือ การวิเคราะห์ค่าที่ออกมาให้ถูกต้องและใกล้เคียงสมการ ดังนั้นโดยทั่วไปรายละเอียดหรือข้อเท็จจริงของปัญหาสามารถแสดงได้เป็น

$$L(x) = \frac{31.5a^2N^2}{b\left(9+6\frac{a}{b}+10\frac{c}{b}\right)} \quad \mu\text{H} \quad (3-4)$$

โดยมีเงื่อนไข

$$2 \pi a N - l = 0 \quad (3-5)$$

$$\frac{b c}{N} - t = 0 \quad (3-6)$$

3.3 การแก้ปัญหาโดยการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่ดีขึ้นและการเข้าใกล้

การแก้ปัญหาตาม เงื่อนไขของการแมกซิไมเซชันของตัวเหนี่ยวนำ ทำได้โดยการวิเคราะห์ การเข้าใกล้ด้วยวิธีของตัวคูณลากรังค์ (Lagrange multipliers) สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในการ แก้ไขปัญหาที่ยาก จะเข้าใจการพิจารณาของเงื่อนไขที่เท่ากัน (Equality Constraint) จากสมการข้าง บนถ้าความยาวและพื้นที่หน้าตัดของลวดที่กำหนดให้ ดังนั้นปริมาตรของวัตถุตัวนำ (V) เป็นค่าคง ที่ถ้าปัญหาที่มีช่องว่างมากเกินไปซึ่งเราไม่สามารถเชื่อถือ ในรูปขนาดของขดลวดคั้งนั้น ปริมาตร ของขดลวดที่มีค่าคงที่นับตั้งแต่การให้ความยาวรวม ของขดลวดเป็นค่าคง ที่ความยาวของรอบ ($2\pi a$) คูณด้วยจำนวนรอบที่สมมุติให้เป็นค่าคงที่ การพิจารณาที่กำหนดให้เพื่อให้ เป็นค่าที่มาตรฐานกล่าวโดยใช้สมการที่ (3-7)

$$L(x) = \frac{31.5a^2 N^2}{(9b + 6a + 10c)} \quad (3-7)$$

เมื่อมี 2 เงื่อนไข

$$h_1 = 2\pi abc - V = 0 \quad \text{เงื่อนไขปริมาตร (volume constraints)} \quad (3-8)$$

$$h_2 = 2\pi aN - l = 0 \quad \text{เงื่อนไขความยาว (length constraints)} \quad (3-9)$$

ดังนั้นจากสมการคือการแก้ปัญหของ 4 ตัวแปรซึ่งมี 2 เงื่อนไขโดยวิธีของตัวคูณลากรังค์ แสดงสมการได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial a} + \lambda_1 \frac{\partial h_1}{\partial a} + \lambda_2 \frac{\partial h_2}{\partial a} &= 0 \\ \frac{\partial L}{\partial b} + \lambda_1 \frac{\partial h_1}{\partial b} + \lambda_2 \frac{\partial h_2}{\partial b} &= 0 \\ \frac{\partial L}{\partial c} + \lambda_1 \frac{\partial h_1}{\partial c} + \lambda_2 \frac{\partial h_2}{\partial c} &= 0 \\ \frac{\partial L}{\partial N} + \lambda_1 \frac{\partial h_1}{\partial N} + \lambda_2 \frac{\partial h_2}{\partial N} &= 0 \end{aligned} \quad (3-10)$$

การแก้ปัญหากจากสมการเหล่านี้จะได้คำตอบออกมาเป็น $c = 0.9b$ และ $2a = 3c$ จากการ

วิเคราะห์การเข้าใกล้ และจากการพิจารณาการเหนี่ยวนำเพื่อให้ได้ค่ามากที่สุดเมื่อโครงร่างเป็นแบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซลินอยด์แกนอากาศเป็น $c = 0.9b$ และ $2a = 3.33c$ จากการสังเกตการแก้ปัญหา ซึ่งเพื่อให้ได้
 โครงร่างที่เหมาะสมและอำนวยความสะดวกประโยชน์สูงสุดด้วยปรากฏการณ์ของ Maxwell และ Brooks

3.4 รูปแบบที่ใช้ในการออกแบบ

รูปแบบที่ใช้ในการออกแบบเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำสูงสุดของขดลวดโซลินอยด์แกน
 อากาศ นั้นสามารถจัดแบบฟอร์มการออกแบบ โดยใช้หลักการนัมเมอร์ริคัลในการหาค่าที่เหมาะสม
 ได้ 2 รูปแบบคือ

- Welsby formular (1960) 2 ตัวแปรและ 3 ตัวแปร
- Middendorf formular (1990) 2 ตัวแปรและ 3 ตัวแปร

3.4.1 Welsby formular (1960)

$$L(x) = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{b \left(1 + 0.9 \frac{a}{b} + 0.32 \frac{c}{a} + 0.84 \frac{c}{b} \right)} \text{ Henry} \quad (3-11)$$

โดยมีฟังก์ชันของเงื่อนไข

$$h_1 = 2\pi abc - l = 0 \quad \text{เงื่อนไขปริมาตร} \quad (3-12)$$

$$h_2 = 2\pi aN - l = 0 \quad \text{เงื่อนไขความยาว} \quad (3-13)$$

สมการ Welsby formular (1960) ที่มี 3 ตัวแปร

โดยกำหนดให้ตัดเงื่อนไขความยาวให้อยู่ในรูปตัวแปร (a, b, c, N)

$$N = \frac{l}{2\pi a} \quad (3-14)$$

จะได้สมการใหม่เป็น

$$L(x) = \frac{\mu_0 \pi a^2 \left(\frac{l}{2\pi a}\right)^2}{b \left(1 + 0.9 \frac{a}{b} + 0.32 \frac{c}{a} + 0.84 \frac{c}{b}\right)} \quad \text{Henry} \quad (3-15)$$

โดยมีฟังก์ชันของเงื่อนไข

$$h_1 = 2\pi abc - lt = 0 \quad \text{เงื่อนไขปริมาตร} \quad (3-16)$$

- สมการ Welsby formular (1960) ที่มี 2 ตัวแปร

โดยตัดเงื่อนไขปริมาตรและเงื่อนไขความยาวให้อยู่ในรูปตัวแปร (a, b, c, N)

$$N = \frac{l}{2\pi a} \quad (3-17)$$

$$b = \frac{lt}{2\pi ac} \quad (3-18)$$

จะได้สมการใหม่เป็น

$$L(x) = \frac{\mu_0 \pi a^2 \left(\frac{l}{2\pi a}\right)^2}{\left(\frac{lt}{2\pi ac}\right) + 0.9a + 0.32 \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{lt}{2\pi ac}\right) + 0.84c} \quad \text{Henry} \quad (3-19)$$

3.3.2 Middendorf formular (1990)

$$L(x) = \frac{315a^2 N^2}{b \left(9 + 6 \frac{a}{b} + 10 \frac{c}{b}\right)} \quad \mu\text{H} \quad (3-20)$$

โดยมีฟังก์ชันของเงื่อนไข

$$h_1 = 2\pi abc - lt = 0 \quad \text{เงื่อนไขปริมาตร} \quad (3-21)$$

$$h_2 = 2\pi aN - l = 0 \quad \text{เงื่อนไขความยาว} \quad (3-22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมการ Middendorf formular (1990) ที่มี 3 ตัวแปร

โดยตัดเงื่อนไขความยาวให้อยู่ในรูปตัวแปร (a, b, c, N)

$$N = \frac{l}{2\pi a} \quad (3-23)$$

จะได้สมการใหม่เป็น

$$L(x) = \frac{31.5a^2 \left(\frac{l}{2\pi a^2} \right)}{b \left(9 + 6 \frac{a}{b} + 10 \frac{c}{b} \right)} \quad (3-24)$$

โดยมีฟังก์ชันของเงื่อนไข

$$h_1 = 2\pi abc - lt = 0 \quad \text{เงื่อนไขปริมาตร} \quad (3-25)$$

- สมการ Middendorf formular ที่มี 2 ตัวแปร

โดยตัดเงื่อนไขปริมาตรและเงื่อนไขความยาวให้อยู่ในรูปตัวแปร (a, b, c, N)

$$N = \frac{l}{2\pi a} \quad (3-26)$$

$$b = \frac{lt}{2\pi ac} \quad (3-27)$$

จะได้สมการใหม่ดังนี้

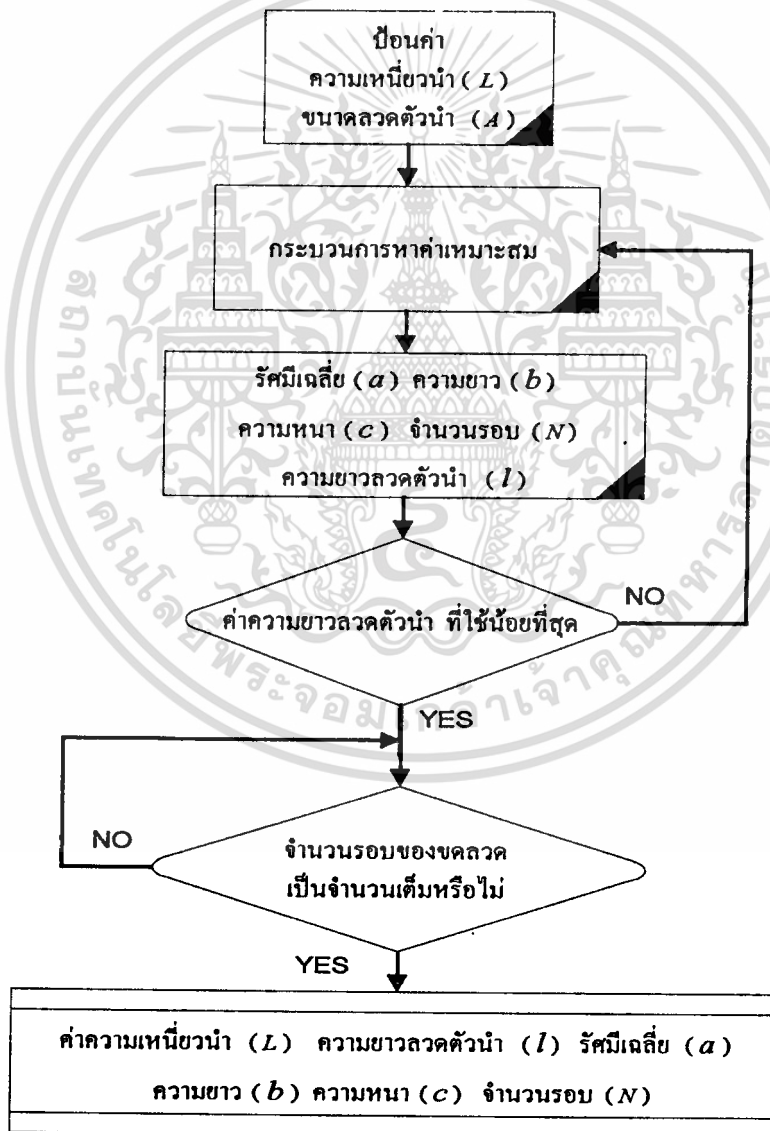
$$L(x) = \frac{31.5 \left(\frac{l}{2\pi a^2} \right)}{9 \left(\frac{lt}{2\pi ac} + 6a + 10c \right)} \quad (3-28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

ในการสร้างโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ จะใช้สมการ Middendorf formular 1990 3 ตัวแปร เป็นพื้นฐานในการออกแบบ ซึ่งโปรแกรมจะทำการหาค่าให้โดย เราจะต้องป้อนค่า ความเหนี่ยวนำ (L) และป้อนขนาดลวดตัวนำที่เราต้องการ ซึ่งจะมีค่าตามมาตรฐาน A.W.G และ S.W.G เมื่อเลือกค่าที่เราต้องการเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าที่เราต้องการให้ โดยมี Flow chart การทำงานของโปรแกรมหาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสม (Numerical Optimization)

เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่ไม่มีเงื่อนไขการทำงานของการวนรอบ จำกัดตามสมการที่ (4-1) $x^{(q+1)} = x^q + \alpha_q d^q$ ตำแหน่งจะเพิ่มขึ้นตามการออกแบบ สิ่งสำคัญในการหาค่าที่เหมาะสมนั้น แยกออกได้เป็นสองส่วนสำคัญด้วยกันคือแนวทางและลำดับขั้นในการวิเคราะห์ เพราะฉะนั้นขั้นตอนการที่ต้องการพิจารณาที่นัมเมอริคัล ที่ใช้แก้ปัญหาทั้งสองส่วนสำหรับปัญหาในการหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งมีหลายตัวแปรปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมซึ่งควรจะแก้ปัญหาเป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้นค่าของขนาดคือ ควรพิจารณาค่าที่น้อยที่สุดของการนำฟังก์ชัน ไปใช้ในครั้งต่อไปของการกำหนดทิศทางของการออกแบบ ลำดับที่สองที่ทํานี้เรียกว่า การวิเคราะห์ที่เป็นหนึ่งมิติ

หลังจากที่ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมถูกเปลี่ยนเป็น สูตรใหม่จะต้องเลือกระบบที่เหมาะสมจากระบบ จะเห็นทอมที่เหมาะสมซึ่งปัญหาที่พบข้อจะสามารถจัดจำพวก ตามคุณสมบัติของฟังก์ชัน และหน้าที่ของเงื่อนไขยิ่งกว่านั้นระบบควรจะแปรผันตามผลของข้อมูล เช่น อนุพันธ์อันดับหนึ่งคือสามารถที่จะเรียกสิ่งที่เก็บไว้ และเป็นการเปรียบเทียบปัญหาในการคำนวณค่าโดย Arithmetic Operation กระทำโดยอัลกอริทึมที่มีอำนาจมากกว่าการใช้แต่ละฟังก์ชัน ในการคำนวณเป็นไปได้ที่จะใช้การคำนวณจากอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ที่ไม่มี Non - Derivative method ในการเลือกยิ่งกว่านั้นถ้าการคำนวณ อนุพันธ์อันดับหนึ่งมีความยากในการออกแบบซึ่งควรจะรู้กระบวนการที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้น และผลของเสถียรภาพจะลดลง เมื่อการใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งที่ไม่ได้มาจากอัลกอริทึม

สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาเพิ่มเติม สามารถหาอ่านได้จาก ปรินซิเพิลของวิธีการออกแบบ ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เข้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ปีการศึกษา 2538

4.2 เกร็ดเล็กน้อยกับ VISUAL BASIC 4

วิซวลเบสิก 4 เป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม โดยจะสร้างเป็นแอปพลิเคชันที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 ซึ่งวิซวลเบสิกจะรวบรวมเครื่องมือที่ช่วยออกแบบสร้าง และทดสอบการทำงานของโปรแกรมไว้ให้ด้วย แต่ข้อดีที่สุดของวิซวลเบสิก คือ สามารถที่จะนำอาร์คเวิร์ก ฐานข้อมูล และแอปพลิเคชัน บนวินโดวส์เดิมที่ทําไว้แล้วมาแก้ปัญหาเฉพาะอย่างให้กับหน่วยงาน โรงเรียนหรือ ธุรกิจขนาดเล็กได้ และที่สำคัญ วิซวลเบสิกสามารถเรียนรู้ได้ง่าย



4.2.1 การใช้วิซวลเบสิกสร้างแอปพลิเคชันแบบ 32 บิต

วิซวลเบสิก 4 ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อให้สามารถ สร้างแอปพลิเคชันแบบ 32 บิต ที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการแบบ 32 บิต ของไมโครซอฟต์อย่าง เช่น วินโดวส์ 95 และวินโดวส์ NT ได้แอปพลิเคชันแบบ 32 บิต จะได้เปรียบตรงที่อ้างหน่วยความจำได้มากขึ้น และสามารถใช้ความสามารถ ในการจัดการหน่วยความจำของวินโดวส์ 95 และวินโดวส์ NT ได้อีกด้วย ดังนั้นแอปพลิเคชันเหล่านี้จึงทำงานเร็วขึ้น ปลอดภัยกว่าเดิม และใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เป็นมัลติทาสก์ ได้ง่ายกว่าแอปพลิเคชันแบบ 16 บิตเดิม

เมื่อคอมไพล์โปรแกรมวิซวลเบสิก บนวินโดวส์ 95 หรือ วินโดวส์ NT คุณจะได้รับลักษณะพิเศษต่างๆ ของแอปพลิเคชันแบบ 32 บิต โดยอัตโนมัติเพราะโปรแกรมของคุณถูกสร้างจากคอมไพเลอร์แบบ 32 บิต ที่คุ้นเคยกับลักษณะของวินโดวส์ 95 วินโดวส์ NT และไมโครซอฟท์ Win 32s API (Application Program Interface) แอปพลิเคชันแบบ 32 บิตของวิซวลเบสิกที่ทำงานบนวินโดวส์ 95 และวินโดวส์ NT จะได้รับผลประโยชน์ต่างๆ ต่อไปนี้

- ◆ เข้าถึงหน่วยความจำทั้งหมดที่อ้างตำแหน่งแบบ 32 บิต ของไมโครโปรเซสเซอร์ 386 , 486 และเพนเทียมของอินเทล โดยใช้หน่วยความจำของระบบได้สูงสุด 2 กิกะไบต์
- ◆ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเพราะการคำนวณ และการทำงานของหน่วยความจำเป็นแบบ 32 บิต
- ◆ เพิ่มความสามารถในการป้องกันระบบล้ม ที่เป็นผลมาจากการทำงานที่ไม่เหมาะสมของโปรแกรมอื่นๆ โดยที่แอปพลิเคชันของวิซวลเบสิก จะทำงานอยู่ในบริเวณหน่วยความจำที่ กันไว้ให้เองทำให้ป้องกันผิดพลาดของโปรแกรมอื่นๆ ได้
- ◆ สามารถใช้งานแบบมัลติทาสก์ ได้อย่างเต็มที่กล่าวคือ สามารถที่จะสลับใช้งานจากโปรแกรมหนึ่งไปอีกโปรแกรมหนึ่งได้ทันที ผู้ใช้สามารถสลับใช้งานไปมาระหว่างแอปพลิเคชันของวิซวลเบสิกได้ตามต้องการ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ควบคุมวิธีการทำงานต่างๆ ได้ดีขึ้น
- ◆ สามารถเข้าถึง Win 32 s API ซึ่งจะทำให้โปรแกรมเมอร์ที่มีประสบการณ์สามารถใช้ความสามารถขั้นสูงสุดต่างๆ ได้ในโปรแกรม

เพื่อให้ทำงานกับวินโดวส์ เวอร์ชันก่อนได้ Visual Basic Professional Edition จึงรวมวิซวลเบสิก 4 แบบ 16 บิต ไว้ด้วยเพื่อให้คุณคอมไพเลอร์โปรแกรมเป็นแอปพลิเคชันแบบ 16 บิตที่ใช้บนวินโดวส์ 3.1(โปรแกรมค์ต่าง ๆ ที่สร้างด้วยวิซวลเบสิก 4 แบบ 16 บิต จะทำงานเข้ากับวิซวลเบสิก 4 เวอร์ชัน 32 บิต ได้อย่างสมบูรณ์) ด้วยเหตุนี้ทำให้คุณสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038275

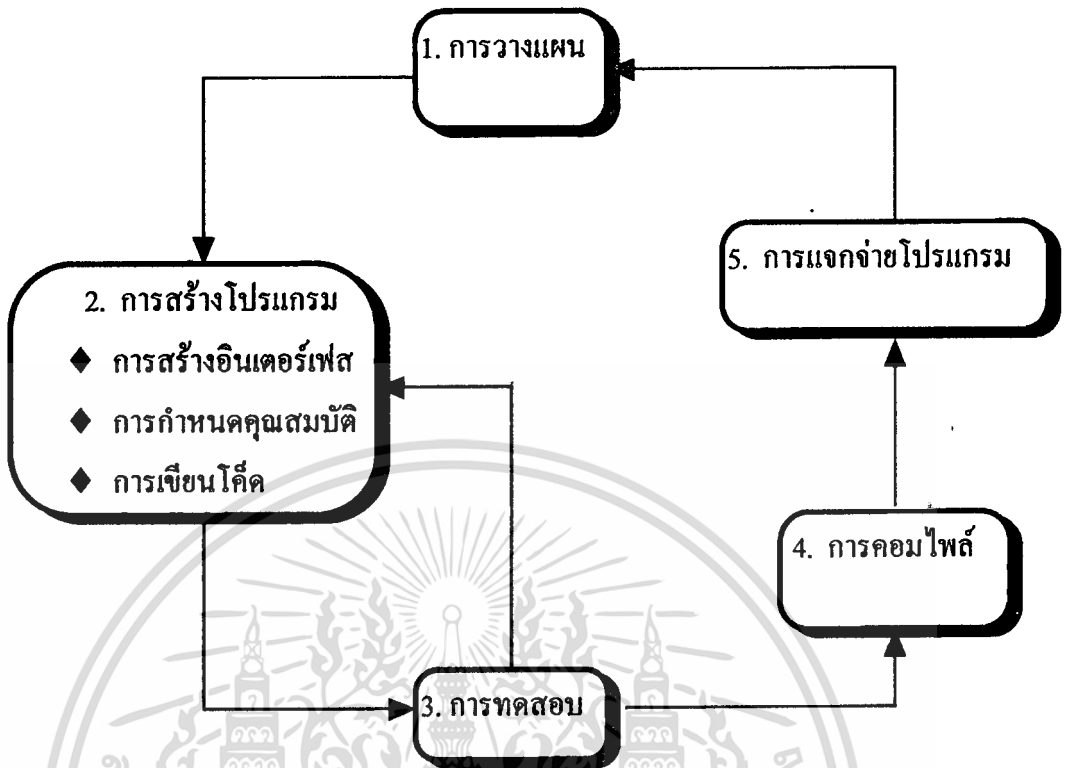
บนเวอร์ชันต่างๆ ของวินโดวส์ได้ (เป็นข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งสำหรับโปรแกรมเมอร์ ที่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมสนับสนุนผู้ใช้ที่ทำงานบนวินโดวส์เวอร์ชันเดิมด้วย)

4.2.2 การสร้างโปรแกรมด้วยวิซวลเบสิก

การสร้างแอปพลิเคชันบนวินโดวส์ด้วยวิซวลเบสิก จะเกี่ยวข้องกับขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

1. สร้างยูสเซอร์อินเตอร์เฟซโดยใช้คอนโทรลเลอร์ของเวอร์ซวลเบสิก
2. การกำหนดคุณลักษณะ หรือคุณสมบัติขององค์ประกอบที่เป็นยูสเซอร์อินเตอร์เฟซตามที่จำเป็น
3. การเขียนโปรแกรมให้กับองค์ประกอบที่เป็นยูสเซอร์อินเตอร์เฟซตามที่จำเป็น

การสร้างโปรแกรมบนวินโดวส์โดยใช้วิซวลเบสิคนั้นง่ายมาก การสร้างองค์ประกอบที่เป็นอินเทอร์เฟซ ให้คลิกคอนโทรลทูลบ็อกซ์ของวิซวลเบสิก แล้ววาดองค์ประกอบนั้นโดยคลิกแล้วลากเมาส์ ปกติแล้วการคลิกเป็นการกำหนดมุมจากนั้น ลากเมาส์เป็นกรอบสี่เหลี่ยมขนาดตามที่คุณต้องการ หลังจากที่สร้างเสร็จแล้ว (สมมติว่าเป็น TextBox) คุณสามารถปรับแต่งองค์ประกอบนั้น ได้โดยกำหนดคุณสมบัติขององค์ประกอบ สำหรับ TextBox คุณสามารถกำหนดคุณสมบัติเพื่อให้เห็นผลข้อความแบบ ตัวหนา ตัวเอียงหรือตัวอักษรขีดเส้นใต้เป็นต้น คุณทำให้โปรแกรมสมบูรณ์ได้โดยพิมพ์โค้ดให้กับองค์ประกอบต่างๆ ที่เป็นยูสเซอร์อินเตอร์เฟซในหน้าต่างพิเศษที่ชื่อหน้าต่าง “ Code “ การเขียนโค้ดโปรแกรม จะช่วยให้คุณควบคุมการทำงานของโปรแกรมได้ดีกว่า ที่ได้รับจากการออกแบบคอนโทรลเพียงอย่างเดียว การใช้โค้ดโปรแกรมนี้จะทำให้คุณสามารถถ่ายทอดความคิดว่า โปรแกรมจะประมวลผลข้อมูลอินพุต เอาต์พุตได้อย่างไร ภาษาวิซวลเบสิกมีสแตตเมนต์ ฟังก์ชันและตัวอักษรพิเศษอยู่นับร้อย แต่ส่วนมากแล้วโปรแกรมของคุณจะใช้คีย์เวิร์คที่จำง่ายราวๆ 20 หรือ 30 วัน ภาษาวิซวลเบสิกไม่ได้มีชื่ออยู่ในวิซวลเบสิกเพียงอย่างเดียวแต่จะชื่ออยู่ในไมโครซอฟท์เอ็กเซล ไมโครซอฟท์แอ็กเซส ไมโครซอฟท์โปรแกรมด์ และแอปพลิเคชันบนวินโดวส์อื่นๆ ด้วย ถ้าคุณเคยใช้เวอร์ชันล่าสุด ของโปรแกรมอันใดอันหนึ่งข้างต้น หรือเคยใช้ภาษาเบสิกมาก่อนคุณจะมีพื้นฐานเกี่ยวกับคีย์เวิร์ด สแตตเมนต์ และฟังก์ชันต่างๆ ในวิซวลเบสิก 4 นี้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมออกแบบขดลวดเหนียวน้ำ

4.3 การใช้งานโปรแกรมออกแบบขดลวดเหนียวน้ำ (Program Design)

อินเทอร์เน็ตเสกเซอร์ที่ได้รับบริการออกแบบของ โปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกน อากาศจะมีลักษณะดังข้างล่างนี้ และในส่วนนี้จะเป็นการแนะนำถึงการใช้งานโดยจะอธิบาย พร้อมถึงส่วนต่างๆ เพื่อให้ผู้ที่ใช้งานโปรแกรมนี้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง ข้อควรระวังในการใช้ งานโปรแกรมก็คือ ในการที่จะให้โปรแกรมทำงานได้นั้น จะต้องเลือกค่าให้กับโปรแกรมครบ ทั้ง 2 ค่า คือ ค่าความเหนียวน้ำ ขนาดของลวดค้วน้ำ แล้วจุดสังเกตอีกจุดหนึ่งก็คือ โปรแกรม พร้อมทั้งจะทำงานก็ต่อเมื่อตัวอักษรบนปุ่มเริ่มทำงาน เปลี่ยนเป็นตัวสีเขียว



รูปที่ 4.3 อินเทอร์เฟซยูสเซอร์ของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลีนอยด์แกนอากาศ

4.3.1 ส่วนต่างของอินเทอร์เฟซยูสเซอร์

1. Option Box สำหรับเลือกค่า หน่วยของค่าความเหนี่ยวนำ
2. Text Box จะเป็นตัวแสดงถึงค่า และหน่วยของค่าความเหนี่ยวนำ
3. Horizontal Scroll Bar สำหรับเลือกค่าความเหนี่ยวนำ
4. Progress Bar เป็นตัวแสดงถึงสถานะการทำงานของโปรแกรม
5. Option Box สำหรับเลือกมาตรฐานของลวดตัวนำ โดยมี 2 ชนิดให้เลือกคือ A.W.G และ S.W.G
6. Combo Box จะใช้สำหรับเลือกค่าขนาดลวดตัวนำ
7. ปุ่ม Print หรือ พิมพ์ สำหรับสั่งให้พิมพ์เมนูโปรแกรม
8. ปุ่ม Answer หรือ คำตอบ สำหรับดูผลของโปรแกรมหลังจากคำนวณเรียบร้อยแล้ว
9. ปุ่ม Start หรือ เริ่มทำ สำหรับให้โปรแกรมเริ่มหาค่าต่างๆ
10. ปุ่ม Exit หรือ ออก สำหรับออกจากโปรแกรม

4.3.2 ขั้นตอนการใช้งาน

1. กำหนดหน่วยของลวดตัวนำ จากหมายเลข 1 โดยจะสามารถเลือกได้เพียงค่าใดค่าหนึ่ง
2. เลือกค่าของตัวนำจากหมายเลข 3 โดยค่าของตัวนำจะปรากฏให้เห็นใน หมายเลข 2
3. จากนั้นเลือกมาตรฐาน ของลวดตัวนำ A.W.G หรือ S.W.G ในหมายเลข 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนดขนาดเบอร์ลวดตัวนำ จากหมายเลข 6 โดยการเลื่อนแล้วเลือกหมายเลขที่ต้องการ
5. ตรวจสอบค่าที่เลือกไว้อีกครั้งว่าถูกต้องหรือไม่
6. คลิกเมาส์ที่ปุ่มเริ่มทำ และโปรแกรมจะเริ่มทำงาน
7. เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ที่ปุ่มคำตอบตัวอักษรจะเป็นตัวเข้มและเมื่อเรา ต้องการ รู้คำตอบให้คลิกเมาส์ที่ปุ่มนี้แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างของคำตอบ

4.4 การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม จะแสดงคำตอบได้ 2 แบบดังนี้

4.4.1 แสดงรายละเอียดต่างๆของ ตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ของโปรแกรมที่แสดงเฉพาะคำตอบ

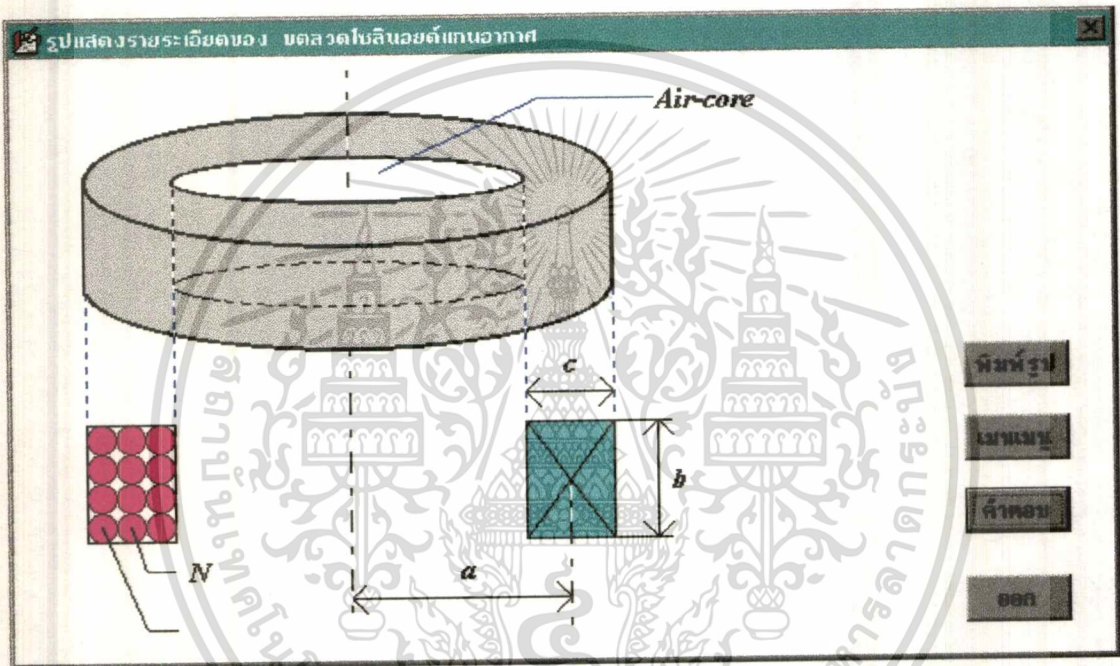
4.1.1.1 รายละเอียดของปุ่มคำสั่ง

1. ปุ่ม พิมพ์ สำหรับเพื่อสั่งให้โปรแกรมพิมพ์ผลของโปรแกรมทางเครื่องพิมพ์
2. ปุ่ม รูป แสดงถึงผลของโปรแกรมพร้อมรูปทรงของโซลินอยด์แกนอากาศ พร้อมทั้งรูปทรงของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ
3. ปุ่ม เมนู จะเป็นการย้อนกลับไปสู่อินเตอร์เฟซยูสเซอร์ของโปรแกรม
4. ปุ่ม ออก สำหรับออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 แสดงรายละเอียดต่างๆของ ตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้รูปประกอบ

ถ้าต้องการทราบรายละเอียดต่างๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำ แกนอากาศ (Air-core) รัศมีเฉลี่ย (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และจำนวนรอบ (N) ได้โดยเลื่อนเมาส์ Pointer ไปที่ตำแหน่งนั้น แล้วคลิกก็จะทราบค่าที่ต้องการ และถ้าคลิกที่ตำแหน่งนั้นอีกครั้ง จะกลับไปสู่สถานะเริ่มต้น



รูปที่ 4.5 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม แสดงด้วยรูป

4.4.2.1 รายละเอียดของปุ่มคำสั่ง

1. ปุ่ม เมนูแบบ สำหรับการกลับไปสู่อินเตอร์เฟซยูสเซอร์ของโปรแกรม
2. ปุ่ม พิมพ์รูป จะเป็นปุ่มเพื่อสั่งให้พิมพ์ผลของโปรแกรมพร้อมรูป
3. ปุ่ม ค่าตอบ เพื่อให้หน้าต่างแสดงคำตอบ
4. ปุ่ม ออกจากโปรแกรม เพื่อการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตัวอย่างการหาค่าของโปรแกรมออกแบบ

ตัวอย่างข้างล่างนี้ เป็นผลของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าโปรแกรม สามารถที่จะออกแบบขดลวดได้ทุกค่าความเหนี่ยวนำ และทุกขนาดของลวดตัวนำ โดยใช้ลวดตัวนำน้อยที่สุด

คำตอบของโปรแกรมออกแบบ ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	
Raduis of Coil (a)	= 0.946901534795761 c.m.
Length of Coil (b)	= 0.631262794733047 c.m.
Thickness of Coil (c)	= 0.568173185171507 c.m.
Lengh of Wire	= 3.27225679635326 m.
Number of Turn	= 55 Turn
Define Inductance	= 50 micro.H.
Design Inductance	= 50.11951 micro.H.
Conductor	= A.W.G. 19

ก. หน้าต่างคำตอบของค่าความเหนี่ยวนำ 50 ไมโครเฮนรี # S.W.G 19

คำตอบของโปรแกรมออกแบบ ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	
Raduis of Coil (a)	= 0.593997741043568 c.m.
Length of Coil (b)	= 0.396217071712017 c.m.
Thickness of Coil (c)	= 0.357035491959428 c.m.
Lengh of Wire	= 10.3755101050382 m.
Number of Turn	= 278 Turn
Define Inductance	= 800 micro.H.
Design Inductance	= 802.6379 micro.H.
Conductor	= A.W.G. 30

ข. หน้าต่างคำตอบของค่าความเหนี่ยวนำ 800 ไมโครเฮนรี # S.W.G 30

คำตอบของโปรแกรมออกแบบ ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ		
Radius of Coil (a)	= 3.74197605133057 c.m.	พิมพ์
Length of Coil (b)	= 2.49472629785538 c.m.	รูป
Thickness of Coil (c)	= 2.24533080574145 c.m.	เมนู
Length of Wire	= 649.623544850041 m.	ออก
Number of Turn	= 2763 Turn	
Define Inductance	= 500 milli.H.	
Design Inductance	= 499.8421 milli.H.	
Conductor	= S.W.G. 25	

ค. หน้าต่างคำตอบของค่าความเหนี่ยวนำ 500 มิลลิเฮนรี # S.W.G 25

คำตอบของโปรแกรมออกแบบ ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ		
Radius of Coil (a)	= 1.97495227694511 c.m.	พิมพ์
Length of Coil (b)	= 1.31664716482162 c.m.	รูป
Thickness of Coil (c)	= 1.18490000845598 c.m.	เมนู
Length of Wire	= 14.9261549813252 k.m.	ออก
Number of Turn	= 120285 Turn	
Define Inductance	= 500 Henry	
Design Inductance	= 500.0008 Henry	
Conductor	= S.W.G. 48	

ง. หน้าต่างคำตอบของค่าความเหนี่ยวนำ 500 เฮนรี # S.W.G 48

รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างการหาขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำที่ได้จากโปรแกรมออกแบบ

บทที่ 5

การสร้างขดลวดต้นแบบ

5.1 ผลของโปรแกรม

จากการหาค่าของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ โดยมีการทำงานดังแสดงไว้ในบทที่ 4 ซึ่งคำตอบจะสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ และในที่นี้จะแสดงให้เห็นผลจากโปรแกรม 3 คำคั้งนี้และเป็นคำตอบแบบแรกแสดงเฉพาะผลลัพธ์ และผลลัพธ์ทั้ง 3 คำนี้เราจะนำไปทำการสร้างขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศต้นแบบ แล้วทำการทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อนำไปสู่การหาค่าตัวประกอบทางการพัน (Winding Factor (F)) เพื่อให้โปรแกรมสามารถหาขนาดของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศได้ประหยัดที่สุด ก็คือเป็นโปรแกรมที่สามารถหาค่าความยาวของลวดตัวนำได้น้อยที่สุด (Minimum Length) สำหรับใช้ในการพันขดลวดตัวนำแกนอากาศตามค่าที่เราต้องการ

ลวดเบอร์ # S.W.G 25

Radius of Coil (a)	= 1.07976451873779 c.m.	
Length of Coil (b)	= 0.719888607859612 c.m.	พิมพ์
Thickness of Coil (c)	= 0.647780526892223 c.m.	
Length of Wire	= 15.6040292885359 m.	รูป
Number of Turn	= 230 Turn	
Define Inductance	= 1 milli.H.	เมนู
Design Inductance	= 0.9994861 milli.H.	
Conductor	= S.W.G. 25	ออก

ก. ผลจากโปรแกรมออกแบบของลวดเบอร์ # S.W.G 25

ลวดเบอร์ # S.W.G 19

ค่าสอบของโปรแกรมออกแบบ ขลวดใช้ลิ้นมดแมงกานีส		
Raduis of Coil (a)	= 1.8798689031601 c.m.	พิมพ์
Length of Coil (b)	= 1.25325842559338 c.m.	รูป
Thickness of Coil (c)	= 1.12787703351207 c.m.	เมนู
Length of Wire	= 20.5521225315448 m.	ลวด
Number of Turn	= 174 Turn	
Define Inductance	= 1 milli.H.	
Design Inductance	= 0.9958962 milli.H.	
Conductor	= S.W.G. 19	

ข. ผลจากโปรแกรมออกแบบของลวดเบอร์ # S.W.G 19

ลวดเบอร์ # S.W.G 13

ค่าสอบของโปรแกรมออกแบบ ขลวดใช้ลิ้นมดแมงกานีส		
Raduis of Coil (a)	= 2.65297003030777 c.m.	พิมพ์
Length of Coil (b)	= 1.76869230747223 c.m.	รูป
Thickness of Coil (c)	= 1.59168954903204 c.m.	เมนู
Length of Wire	= 11.0016075292161 m.	ลวด
Number of Turn	= 66 Turn	
Define Inductance	= 200 micro.H.	
Design Inductance	= 202.2128 micro.H.	
Conductor	= S.W.G. 13	

ข. ผลจากโปรแกรมออกแบบของลวดเบอร์ # S.W.G 13

รูปที่ 5.1 แสดงผลของโปรแกรมออกแบบเพื่อนำผลของโปรแกรม
ไปสร้างขดลวดเหนี่ยวนำต้นแบบ

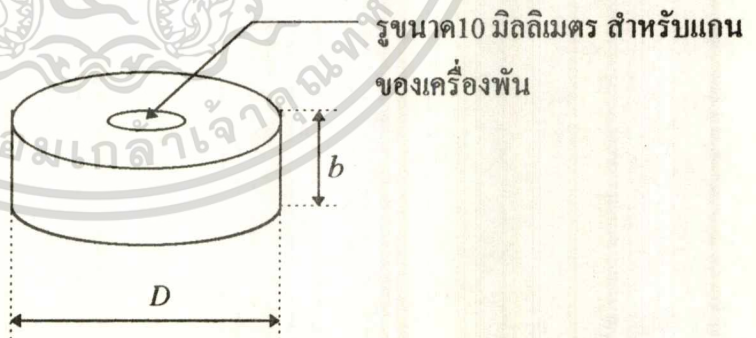
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ

เมื่อผ่านขั้นตอนของการหาขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศจาก โปรแกรมออกแบบ การพันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศจะเป็นขั้นตอนต่อไป โดยในระหว่างการพันควรระวัง เรื่องช่องอากาศระหว่างเส้นลวด และรูปทรงของขดลวดให้มากที่สุด เพราะช่องว่างเหล่านี้จะมีผล ต่อความเข้มของสนามแม่เหล็กในขดลวด และมีผลทำให้ขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศมี ขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำเปลี่ยนไป และเป็นผลให้ค่าความ เหนี่ยวนำที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม แตกต่างไปจากผลที่ได้จากการพันขดลวดจริงซึ่งใน ความเป็นจริงแล้วในการพันก็ย่อมมีช่องว่างเกิดขึ้น และโปรแกรมจะได้รับการพัฒนาเพื่อมารอง รับปัญหาในส่วนนี้ในภายหลัง

5.2.1 การทำแบบที่ใช้พันขดลวด

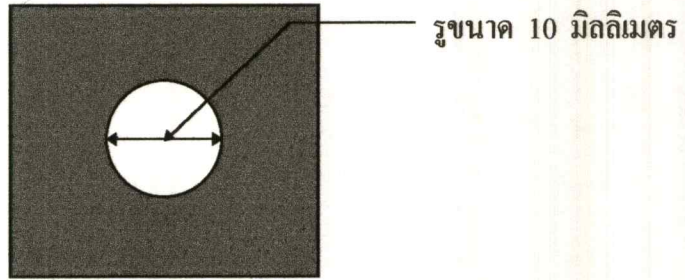
แกนขดลวด เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการเริ่มต้นการพันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ โดยขนาดของช่องอากาศจะต้องมีขนาดเท่ากับ หรือใกล้เคียงกับขนาดที่ได้จากการคำนวณของ โปรแกรม โดยแกนขดลวดที่ใช้ในการพัน จะทำจากนาฬิกาไปกลึงเป็นทรงกระบอกให้มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางดังนี้ เส้นผ่าศูนย์กลางของแบบ $D = 2a - c$



รูปที่ 5.2 แบบที่ใช้ในการพันขดลวด

แผ่นปิดหัวท้าย ทำจากแผ่นไม้อัด หรือ แบกคาไลท์ หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร โดยตัด ให้เป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของขดลวดเหนี่ยวนำ ประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร และเจาะรูขนาด 10 มิลลิเมตรตรงศูนย์กลางของแผ่นปิด เพื่อใช้ในการสอดเข้าแกนของเครื่องพัน และเป็นตัวบังคับขนาดความยาวของขดลวดเหนี่ยวนำ (b)

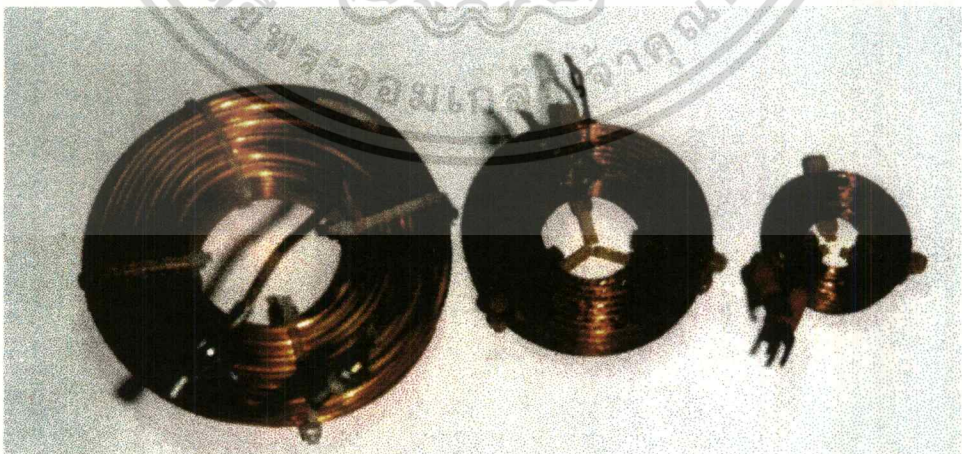
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แผ่นปิดหัวท้าย

5.2.2 การพันขดลวด

ลักษณะการพันขดลวดจะพันเป็นชั้น ๆ ทับกัน โดยในการพันในแต่ละชั้นในแต่ละรอบจะต้องพันให้ชิดกัน เพื่อป้องกันการเกิดช่องอากาศ โดยขดลวดที่พันเสร็จแล้วจะต้องอบไล่ความชื้นที่มีอยู่ในขดลวด โดยใช้ความร้อนจากหลอดไฟขนาด 1000 W นำมาส่องทิ้งไว้ 30 นาที หลังจากนั้นจึงนำขดลวดเหนียวนำไปอบน้ำยาวานิช และทิ้งไว้ประมาณ 7 วันเพื่อให้ น้ำยาแห้งสนิทแล้วจึงถอดแบบออกได้และ ในการถอดแบบออกนี้ควรจะต้องถอดอย่างระมัดระวัง พยายามอย่าให้ลวดตัวนำแยกออกจากกันหลังจากนั้นควรนำเข็มขัดรัดสาย (Cable Tie) มามัดเพื่อป้องกันลวดตัวนำแยกออกจากกัน ขดลวดเหนียวจะมีลักษณะดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ

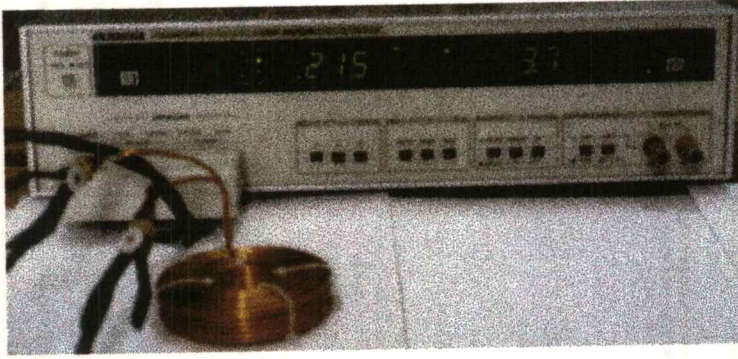
เมื่อทำการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ตามผลของโปรแกรมออกแบบขึ้นมาแล้ว และนำขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ทั้งหมดมาตรวจสอบด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเป็นการตรวจสอบว่า โปรแกรมออกแบบสามารถหาค่าได้ถูกต้องหรือไม่ และสามารถหาค่าของตัวเหนี่ยวนำได้ทุกๆ ขนาดหรือไม่ ฉะนั้นในการพันตัวเหนี่ยวนำนั้นจะมีการพันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ขึ้นมา หลายๆ ขนาด และในที่นี้จะทำการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศทั้งหมด 3 ขนาดจากลวดตัว นำ 3 ขนาด เพื่อจะได้ทราบถึงแนวโน้มของตัวประกอบการพันว่าไปทางใด โดยขั้นตอนการตรวจสอบจะประกอบไปด้วย 3 วิธีดังต่อไปนี้

5.3.1 วัดด้วยอินดักแตนซ์มิเตอร์ (Inductance Meter)



รูปที่ 5.5 อินดักแตนซ์มิเตอร์

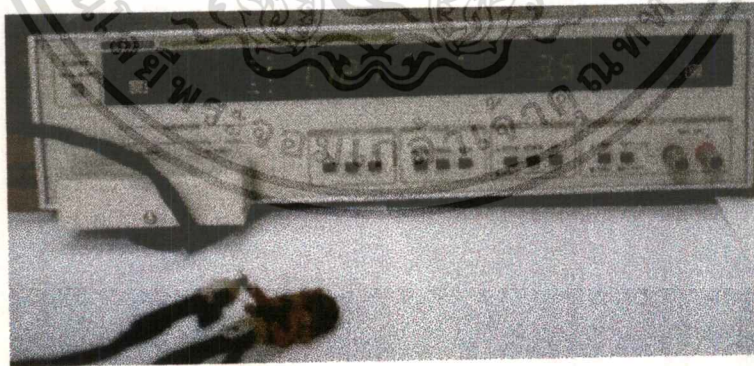
การวัดด้วยอินดักแตนซ์มิเตอร์เป็นการนำขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบ ทั้ง 3 ขนาด มาทำการวัดหาค่าความเหนี่ยวนำด้วยอินดักแตนซ์มิเตอร์ และนำค่าความเหนี่ยวนำที่ได้มา เปรียบเทียบกับค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จาก โปรแกรมออกแบบ ในแต่ละขนาดลวดตัวนำต่างๆ ซึ่งได้ผล ดังตารางที่ 5.1



ก. การวัดขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศที่พันด้วยลวดตัวนำ # S.W.G 13 ขนาด 200 μH



ข. การวัดขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศที่พันด้วยลวดตัวนำ # S.W.G 19 ขนาด 1 mH



ค. การวัดขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศที่พันด้วยลวดตัวนำ # S.W.G 25 ขนาด 1 mH

รูปที่ 5.6 การวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดขดลวดเหนี่ยวนำ แกนอากาศ	ค่าความเหนี่ยวนำจาก โปรแกรม	ค่าความเหนี่ยวนำจาก อินดักแตนซ์มิเตอร์
# S.W.G 13	202.218 μH	215 μH
# S.W.G 19	0.9958 mH	1.047 mH
# S.W.G 25	0.9994 mH	1.096 mH

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าที่ได้จากการวัดด้วยอินดักแตนซ์มิเตอร์
เทียบกับค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จาก โปรแกรมออกแบบ

5.3.2 วัดขนาดของด้านต่างๆจากขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบแล้วแทนในสมการ

การทดสอบแบบนี้จะนำขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบทั้ง 3 ขนาดมาวัดโดยใช้เวอร์เนียร์ เพื่อหาขนาดด้านต่างๆ คือ รัศมีเฉลี่ย (a) ความยาว (b) ความหนา (c) จำนวนรอบ (N) และความยาวของลวดตัวนำ (l) และเมื่อได้ด้านต่างๆครบแล้ว เราจะนำค่าเหล่านี้ไปแทนในสมการ (5-1) และจะได้ค่าความเหนี่ยวนำ ซึ่งผลจากการวัดมีดังตารางที่ 5.2.

$$L = \frac{31.5 * a^2 N^2}{6a + 9b + 10c} \quad (5-1)$$

เบอร์ลวดตัวนำ	# S.W.G 13	# S.W.G 19	# S.W.G 25
รัศมีเฉลี่ยของขดลวดเหนี่ยวนำ (a) cm	2.9	2.015	1.155
ความยาวของขดลวดเหนี่ยวนำ (b) cm	1.8	1.25	0.72
ความหนาของขดลวดเหนี่ยวนำ (c) cm	2.1	1.4	0.8
ความยาวของลวดตัวนำ (l) m	12.5	22.70	17.70
จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ (N) turns	66	174	230

ตารางที่ 5.2 การหาค่าอินดักแตนซ์ด้วยการแทนค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.W.G 13 หาค่าความเหนี่ยวนำจากสมการ (5-1)

$$L = \frac{31.5 * (0.029)^2 * 60^2}{(6 * 0.029) + (9 * 0.018) + (10 * 0.021)}$$

$$= 211.349 \mu\text{H}$$

S.W.G 19 หาค่าความเหนี่ยวนำจากสมการ (5-1)

$$L = \frac{31.5 * (0.0201)^2 * 174^2}{(6 * 0.0201) + (9 * 0.0125) + (10 * 0.014)}$$

$$= 1.032 \text{ mH}$$

S.W.G 25 หาค่าความเหนี่ยวนำจากสมการ (5-1)

$$L = \frac{31.5 * (0.0115)^2 * 230^2}{(6 * 0.0115) + (9 * 0.0072) + (10 * 0.008)}$$

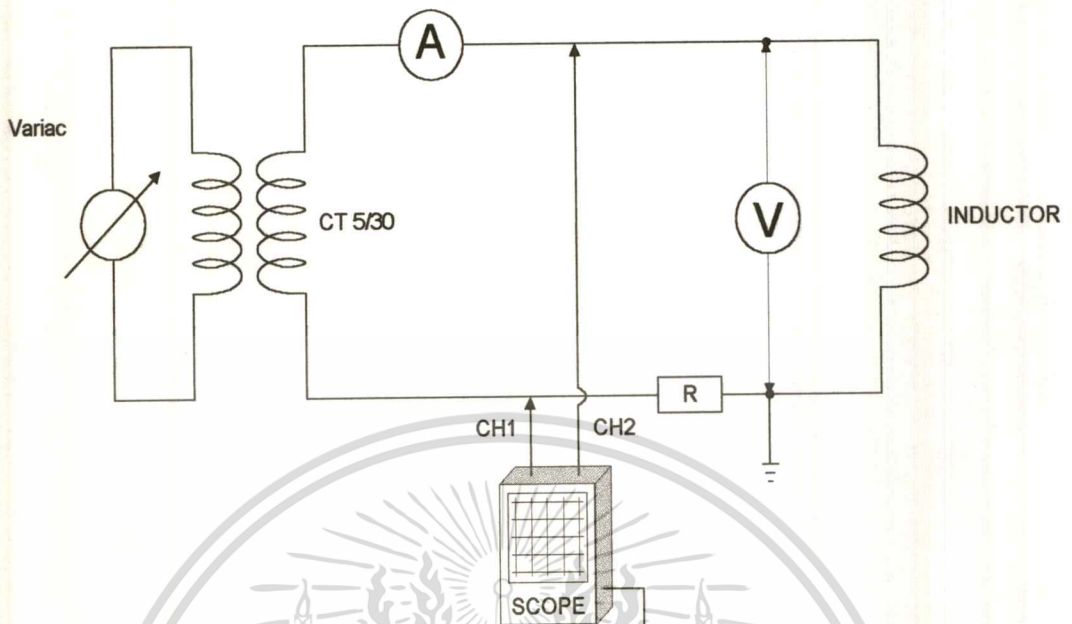
$$= 1.03 \text{ mH}$$

5.3.3 การทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C Test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าอิมพีแดนซ์ โดยความถี่ที่ใช้ในการทดสอบคือ 50 Hz และจำนวนครั้งที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละเบอร์ทดสอบจะมี 6-8 ครั้ง แล้วนำค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้เหล่านี้มาหาค่าเฉลี่ย แล้วค่อยนำไปคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

รายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

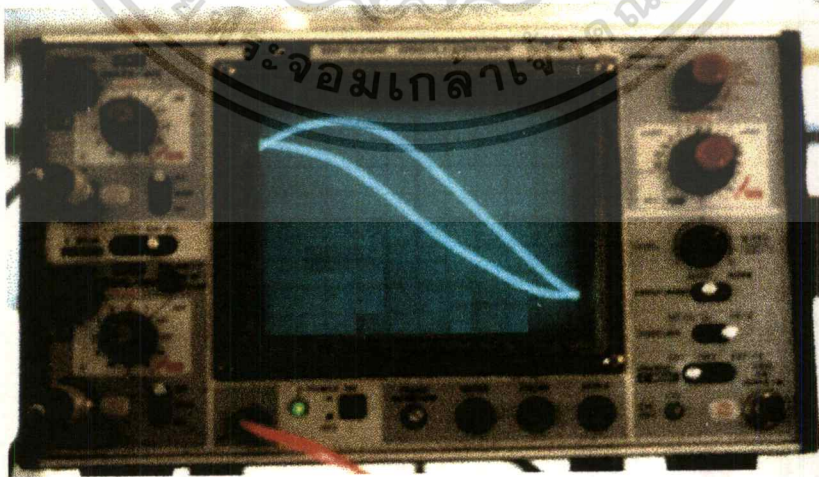
1. Scope Model SS-5702
2. Ammeter YEW (YOGOGAWA)
3. ตัวความต้านทาน 1.0 Ω 1 W, 0.25 Ω 2 W และ 0.01 Ω 10 W
4. หม้อแปลงกำลัง 250/25 Volts 500 VA หรือ หม้อแปลงกระแส 5/30
5. แหล่งจ่ายไฟ (Variac) 0-250 Volts 5 Amps
6. ขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศตันแบบทั้ง 3 ตัว
7. Digital Volt meter KYORITSU Model 1020



SCOPE CH 1 วัดสัญญาณของ กระแสที่ไหลผ่าน L
 CH 2 วัดสัญญาณของ แรงดันตกคร่อม L

รูปที่ 5.7 วงจรที่ใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ

S.W.G 13 ค่าความเหนี่ยวนำ $200 \mu\text{H}$ พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ 4.289 mm^2



รูปที่ 5.8 แสดงการวัดมุมของแรงดันกับกระแสของขดลวดตัวนำ # S.W.G 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

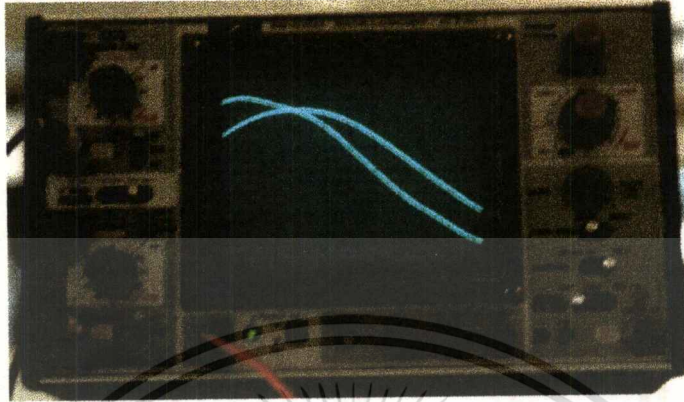
No	V (Volt)	A (Amp)	T (ms)	θ	Z (Ω)
1	0.256	3	2.7	48.6	0.0853
2	0.540	6	2.7	48.6	0.0900
3	0.815	9	2.7	48.6	0.0905
4	1.089	12	2.7	48.6	0.0907
5	1.36	15	2.7	48.6	0.0906
6	1.65	18	2.7	48.6	0.0916
$Z_{av} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_6}{6}$					0.08916

ตารางที่ 5.3 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับของ # S.W.G 13

$$\begin{aligned}
 R &= \cos \theta^\circ * Z_{av} \\
 &= \cos 48.6^\circ * 0.08916 \\
 &= 0.05896 \Omega \\
 jx_l &= \sqrt{Z_{av}^2 - R^2} \\
 &= \sqrt{(0.08916)^2 - (0.05896)^2} \\
 &= 0.06687 \Omega \\
 L &= \frac{jx_l}{2\pi f} \quad \text{ที่ } f = 50 \text{ Hz} \\
 &= \frac{0.06687}{2 * 3.14 * 50} \\
 &= 212.85 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.W.G 19 ค่าความเหนี่ยวนำ 1 mH พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ 0.8107 mm²



รูป 5.9 แสดงการวัดมุมของแรงดันกับกระแสของขดลวดตัวนำ # S.W.G 19

No	V (Volt)	A (Amp)	T (ms)	θ	Z (Ω)
1	0.299	0.5	1.85	33.3	0.598
2	0.609	1.0	1.85	33.3	0.609
3	0.917	1.5	1.85	33.3	0.611
4	1.23	2.0	1.85	33.3	0.615
5	1.55	2.5	1.85	33.3	0.620
6	1.87	3.0	1.85	33.3	0.623
7	2.19	3.5	1.85	33.3	0.625
8	2.51	4.0	1.85	33.3	0.627
$Z_{av} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_8}{8}$					0.616

ตารางที่ 5.4 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับของ # S.W.G 19

$$\begin{aligned}
 R &= \cos \theta^\circ * Z_{av} \\
 &= \cos 33.3^\circ * 0.616 \\
 &= 0.514 \Omega \\
 jx_l &= \sqrt{Z_{av}^2 - R^2} \\
 &= \sqrt{(0.616)^2 - (0.514)^2}
 \end{aligned}$$

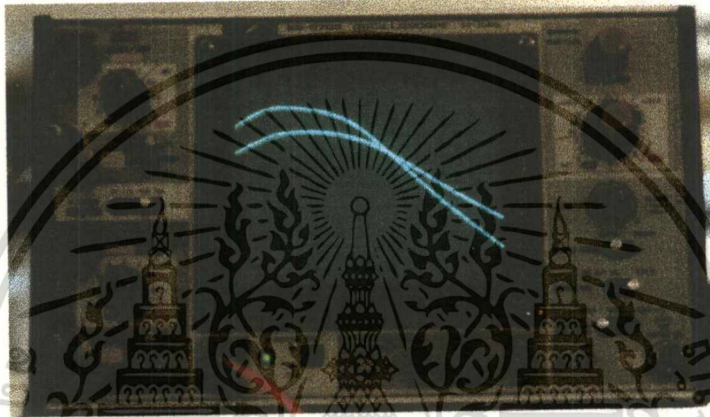
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคณาจารย์และบุคลากรทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{jx_l}{2\pi f} \quad \text{ที่ } f = 50 \text{ Hz}$$

$$= \frac{0.339}{2 * 3.14 * 50}$$

$$= 1.079 \text{ mH}$$

S.W.G 25 ค่าความเหนี่ยวนำ 1 mH พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ 0.2027 mm²



รูป 5.10 แสดงการวัดมุมของแรงดันกับกระแสของขดลวดตัวนำ # S.W.G 25

No	V (Volt)	A (Amp)	T (ms)	θ	Z (Ω)
1	0.252	0.15	0.7	12.6	1.68
2	0.332	0.2	0.7	12.6	1.68
3	0.420	0.25	0.7	12.6	1.68
4	0.505	0.3	0.7	12.6	1.683
5	0.592	0.35	0.7	12.6	1.691
6	0.677	0.4	0.7	12.6	1.692
7	0.765	0.45	0.7	12.6	1.7
8	0.856	0.5	0.7	12.6	1.7
$Z_{av} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_8}{8}$					1.688

ตารางที่ 5.5 ค่าที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับของ # S.W.G 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 R &= \cos \theta^\circ * Z_{av} \\
 &= \cos 12.6^\circ * 1.688 \\
 &= 1.647 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 jx_l &= \sqrt{Z_{av}^2 - R^2} \\
 &= \sqrt{(1.688)^2 - (1.647)^2} \\
 &= 0.369 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{jx_l}{2\pi f} \quad \text{ที่ } f = 50 \text{ Hz} \\
 &= \frac{0.369}{2 * 3.14 * 50} \\
 &= 1.175 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

5.3.4 เปรียบเทียบค่าอินดักแทนซ์

จากผลการทดสอบขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศด้วยวิธีต่างๆ ทั้ง 3 วิธี คือ การวัดด้วยอินดักแทนซ์มิเตอร์ การวัดขนาดต่างๆของขดลวดตัวนำแล้วแทนในสมการ (5-1) และจากวิธีทดสอบไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเหนี่ยวนำจากโปรแกรมจะได้ดังตารางที่ 5.6

ขนาดของ ขดลวดตัวนำ	ค่าความเหนี่ยวนำ				
	ค่าที่ต้องการ	ค่าจาก โปรแกรม	ค่าจากการวัดอิน ดักแทนซ์มิเตอร์	ค่าจากการแทน ในสมการ (5-1)	ค่าจากการทดสอบ ทางไฟสลับ
# S.W.G 13	200 μH	202.21 μH	215 μH	211.349 μH	211.85 μH
# S.W.G 19	1 mH	0.995 mH	1.047 mH	1.032 mH	1.079 mH
# S.W.G 25	1 mH	0.999 mH	1.096 mH	1.03 mH	1.175 mH

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบผลการจากการทดสอบขดลวดเหนี่ยวนำ ทั้ง 3 วิธี

5.4 การหาค่าตัวประกอบการพัน ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ (Winding Factor)

การหาค่าตัวประกอบการพัน ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ เป็นการหาค่าคงที่ค่าหนึ่ง ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ เพื่อใช้ปรับปรุงเงื่อนไขปริมาณ ที่ใช้เป็นพื้นฐานของสมการหลักในโปรแกรมออกแบบเพื่อทำให้ค่าต่างๆ ที่ได้จากโปรแกรมออกแบบให้ผลการหาค่าที่ได้ ออกมานั้น สามารถนำไปพันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศได้เป็นจริง เนื่องจากโปรแกรมออกแบบหาขนาดต่างๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ออกมายังไม่สามารถ นำไปใช้พันขดลวดในแบบ หรือบีบบิ้นได้เต็มพื้นที่ หรือเต็มระยะของขดลวดเหนี่ยวนำที่กำหนดโดยโปรแกรมออกแบบ จึงต้องมีค่าตัวประกอบการพัน เพื่อใช้ปรับปรุงผลที่ใช้ ในทางทฤษฎีให้ได้ถูกต้องและเป็นจริงในทางปฏิบัติ

การหาค่าตัวประกอบการพัน ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ หาได้จากการทดลอง พันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ขึ้นมาหลายๆ ขนาดเพื่อต้องการตรวจสอบดูจำนวนรอบ และพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำจริงๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำ แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม และหาอัตราส่วนระหว่างค่าทั้งสองนี้ จะเป็นค่าตัวประกอบการพัน ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงโปรแกรมออกแบบต่อไป

เพราะฉะนั้นการหาค่าตัวประกอบการพัน ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศที่ดีที่สุดนั้น จะต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการพันขดลวดหลายๆ ชุดซึ่งจากการทดลองหาค่าคงที่ของขดลวดนี้ ค่าที่ได้จะเป็นค่าคงที่ที่ปรับค่าได้โดยจากการพันขดลวด 3 ขนาด และในแต่ละขดลวดจะมีค่า Winding factor ดังนี้จากสูตร

$$F = \frac{NA}{bc} \quad (5-2)$$

b คือ ความยาวของขดลวดที่ได้จากการพันต้นแบบ

c คือ ความหนาของขดลวดที่ได้จากการพันต้นแบบ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่พันขดลวดเหนี่ยวนำ

N คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันขดลวดเหนี่ยวนำ

$F \cong 0.6 - 1.00$ ขึ้นอยู่กับขนาดของลวดตัวนำที่ใช้พันขดลวดเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าตัวประกอบการพัน ของขดลวดเหนี่ยวนำแต่ละขนาดสามารถหาได้ดังนี้

S.W.G 13 ขนาด 200 μ H จากสมการที่ (5-2)

$$F = \frac{66 * 2.489}{18 * 21}$$

$$= 0.7481$$

S.W.G 19 ขนาด 1 mH จากสมการที่ (5-2)

$$F = \frac{174 * 0.8107}{12.5 * 14}$$

$$= 0.806$$

S.W.G 25 ขนาด 1 mH จากสมการที่ (5-2)

$$F = \frac{230 * 0.2027}{8 * 7.2}$$

$$= 0.809$$

จากค่าตัวประกอบการพันที่ได้เหล่านี้ ทำให้สามารถทำการประมาณ ค่าตัวประกอบการพันได้คือค่าตัวประกอบการพันจะมีค่าประมาณ 0.8 และค่าดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใส่ ในโปรแกรมการออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ ที่ใช้สร้างต้นแบบโดยจะถูกนำไปใส่ในสมการ Middendorf formula 1990 ในเงื่อนไขปริมาตร โดยจะได้เป็นสมการใหม่ขึ้นมาซึ่งจะถูกกล่าวถึงในบทที่ 6

บทที่ 6

การพัฒนาโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์

จากบทที่ 5 เราจะได้ค่าตัวประกอบทางการพัน (F) ของขดลวดเหนี่ยวนำคั่นแบบ แต่ละขนาดมาแล้ว และเราจะนำไปใส่ในสมการเงื่อนไข ซึ่งมีผลต่อสมการหลัก เพื่อให้ได้ผลของการพันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ ใกล้เคียงกับผลจากโปรแกรมออกแบบให้มากที่สุด แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับทักษะการพันของแต่ละบุคคลด้วย เช่น ขณะพันสามารถดึงให้ลวดตึงได้มากแค่ไหน เรียงลวดตัวนำให้ชิดหรือเปล่า ซึ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศทั้งสิ้น

โดยสมการหลักที่ใช้ก็คือ Middendorf formula 1990 3 ตัวแปร เช่นเดิม ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมา นั้น ดังที่จะแสดงต่อไปนี้
เพิ่มค่าตัวประกอบการพันลงในสมการเงื่อนไขปริมาตร

$$bc = \frac{lt}{2\pi a F} \quad \text{เงื่อนไขปริมาตร} \quad (6-1)$$

$$l = 2\pi a N \quad \text{เงื่อนไขความยาว} \quad (6-2)$$

สมการ Middendorf formula 1990

$$L = \frac{31.5 a^2 N^2}{6a + 9b + 10c} \quad (6-3)$$

เมื่อเงื่อนไขปริมาตร ได้มีการเปลี่ยนแปลง เราสามารถหาสมการหลักออกมาได้โดยการแทน สมการ (6-3) ด้วยสมการ (6-1) แล้วทำการย้ายข้างเพื่อหาค่าความยาวลวดตัว (l)

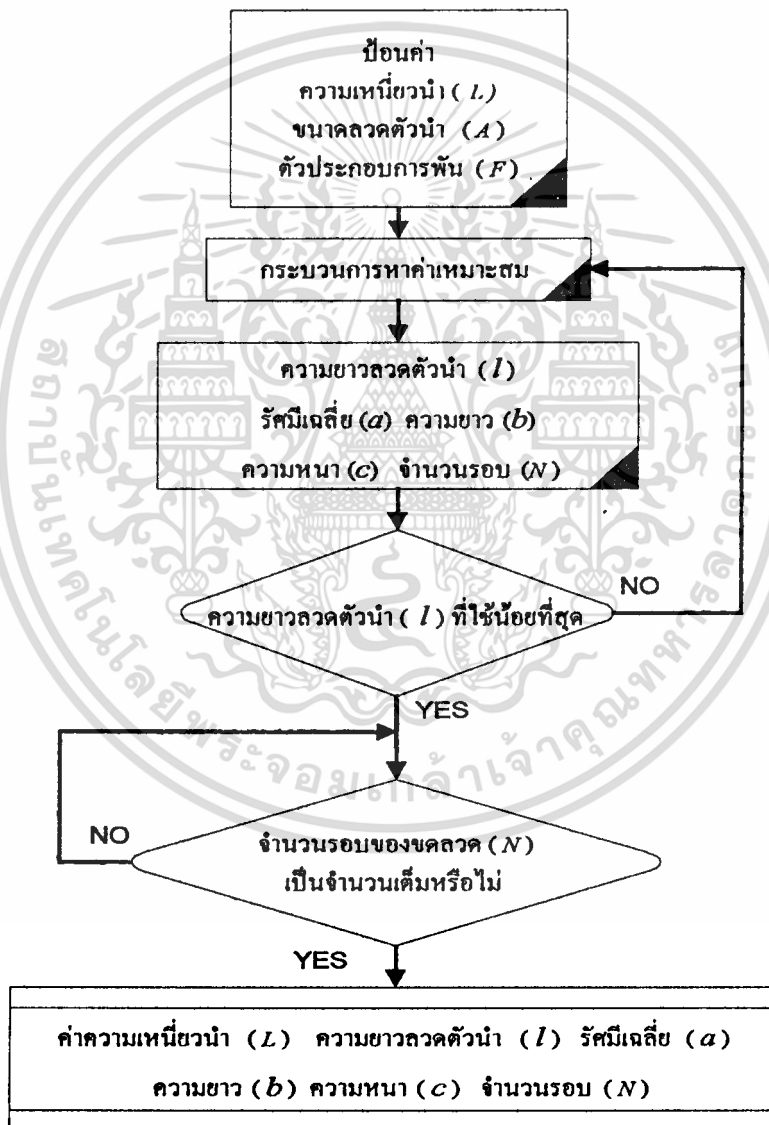
$$L = \frac{31.5 a^2 N^2}{6a + 9b + \frac{lt}{2\pi a b F}} \quad (6-4)$$

$$l = \pi \left[\frac{10 L t + \sqrt{(10 L t)^2 + L F^2 (1134 a^2 b^3 + 756 a^3 b^2)}}{31.5 a b F} \right] \quad (6-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลให้สมการหลักเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามสมการ (6-5) แล้วนำสมการนี้ไปพัฒนาโปรแกรมไปต่อไป

การทำงานของโปรแกรมหลังจากใส่ค่าตัวประกอบการพัน ในสมการเงื่อนไขแล้ว จะมี Flow chart ที่ถูกเพิ่มเติมการทำงานเข้าไป โดยจะต้องใส่ค่าตัวประกอบการพันเพิ่ม ไปอีกหนึ่งค่า ก่อนที่โปรแกรมเริ่มการทำงาน (ถ้าไม่ทราบค่าตัวประกอบการพันของลวดตัวนำที่เลือกใช้ เราสามารถประมาณค่าของตัวประกอบการพันได้โดยมีค่าประมาณ 0.8)



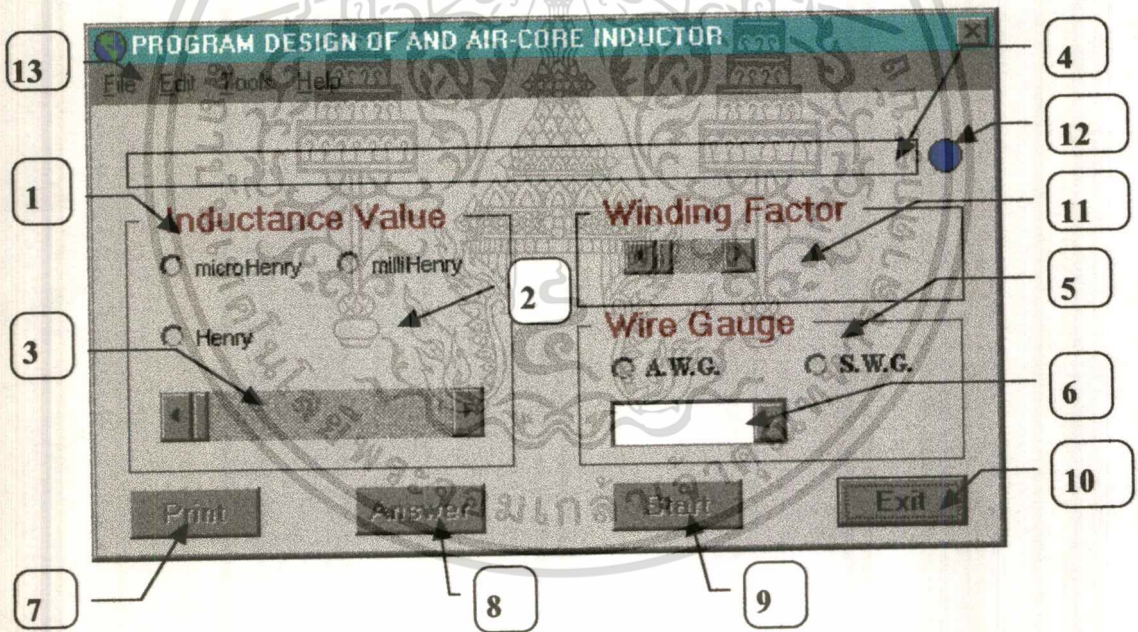
รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

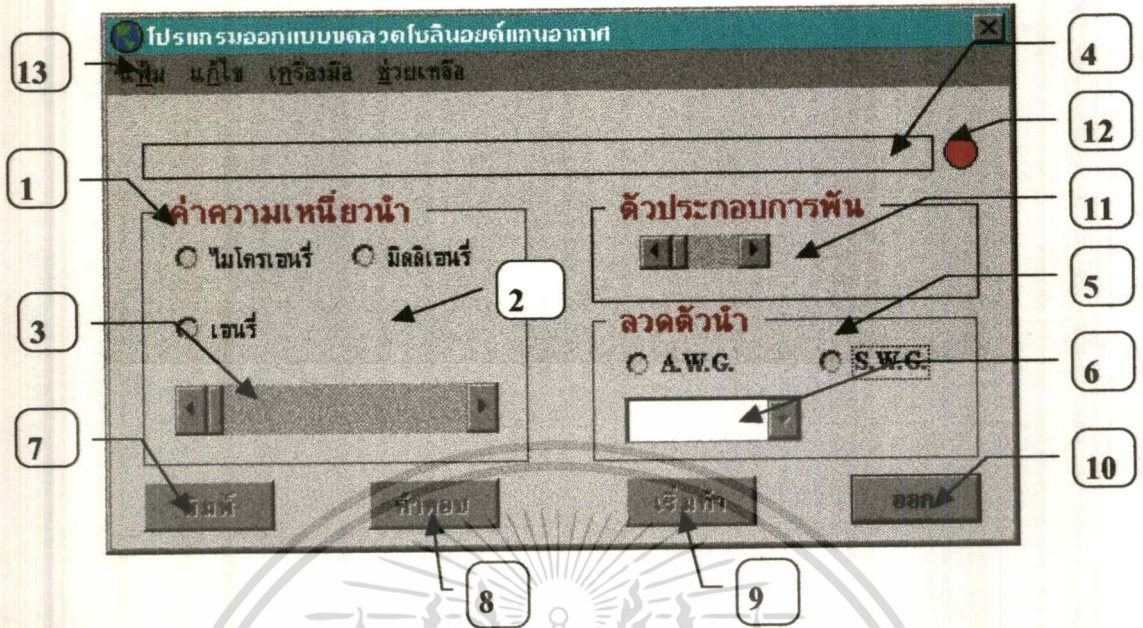
6.1 การใช้งานโปรแกรม

อินเตอร์เฟซยูสเซอร์ที่ได้รับการออกแบบจะมีลักษณะดังข้างล่างนี้ และในส่วนนี้จะเป็นการแนะนำถึงการใช้งานโดยจะอธิบาย พร้อมรูปภาพ ถึงส่วนต่างๆ เพื่อให้ผู้ที่ใช้งานโปรแกรมนี้สามารถใช้งานได้ถูกต้อง และโปรแกรมนี้สามารถที่จะทำงานได้ทั้ง 2 ภาษา โดยเลือกจากเมนูช่วยเหลือในภาษาไทย และจากเมนู Help ในระบบภาษาอังกฤษ เพื่อทำการเปลี่ยนภาษาในการใช้งานโปรแกรมออกแบบ

ข้อควรระวังในการใช้งานโปรแกรมก็คือ ในการที่จะให้โปรแกรมทำงานได้นั้น จะต้องเลือกค่าให้กับโปรแกรมครบทั้ง 3 ค่า คือ ค่าความเหนี่ยวนำ ค่าตัวประกอบทางการพัน ขนาดของลวดตัวนำ แล้วจุดสังเกตอีกจุดหนึ่งก็คือ โปรแกรมพร้อมที่จะทำงานก็ต่อเมื่อตัวอักษรบนปุ่มเริ่มทำงาน เปลี่ยนเป็นตัวสีเขียว แต่ถ้าใส่ค่าไม่ครบโปรแกรมก็ไม่สามารถเริ่มทำงานได้



ก. โปรแกรมหลักของโปรแกรมออกแบบภาษาอังกฤษ



ข. โปรแกรมหลักของโปรแกรมออกแบบภาษาไทย

รูปที่ 6.2 โปรแกรมหลักของโปรแกรมออกแบบที่ได้ตัวประกอบกพัน

6.1.1 ส่วนต่างๆ ของโปรแกรมหลัก

1. Option Box สำหรับเลือกค่า หน่วยของค่าความเหนียว
2. Text Box จะเป็นตัวแสดงถึงค่า และหน่วยของค่าความเหนียว
3. Horizontal Scroll Bar สำหรับเลือกค่าความเหนียว
4. Progress Bar เป็นตัวแสดงถึงสถานะการทำงานของโปรแกรม
5. Option Box สำหรับเลือกมาตรฐานของลวดตัวนำ โดยมี 2 ชนิดให้เลือกคือ A.W.G และ S.W.G
6. Combo Box จะใช้สำหรับเลือกค่าขนาดลวดตัวนำ
7. ปุ่ม Print หรือ พิมพ์ สำหรับสั่งให้พิมพ์เมนูโปรแกรม
8. ปุ่ม Answer หรือ คำตอบ สำหรับดูผลของโปรแกรมหลังจากคำนวณเรียบร้อยแล้ว
9. ปุ่ม Start หรือ เริ่มทำ สำหรับให้โปรแกรมเริ่มหาค่าต่างๆ
10. ปุ่ม Exit หรือ ออก สำหรับออกจากโปรแกรม
11. Horizontal Scroll Bar สำหรับเลือกค่าตัวประกอบกพัน (Winding Factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. วงกลมกระพริบ แสดงสถานะการทำงานของโปรแกรม สีสน้ำเงินสลับสีแดงแสดงว่าโปรแกรมพร้อมที่จะทำงาน และสีเขียวสลับสีเหลืองแสดงว่าโปรแกรมทำงานอยู่
13. เมนูต่างๆ ใช้สำหรับ พิมพ์ ออกจากโปรแกรม เริ่มต้นโปรแกรมใหม่ ลบค่าต่างๆที่ป้อน เปลี่ยนภาษาการใช้งานโปรแกรม และวิธีการใช้โปรแกรม

6.1.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมหลักทั้งภาษาไทยและอังกฤษ

1. วงกลมหมายเลข 12 จะเป็นสีน้ำเงินสำหรับสีแดง แสดงถึงสถานะพร้อมทำงาน
2. กำหนดหน่วยของลวดตัวนำ จากหมายเลข 1 โดยจะสามารถเลือกได้เพียงค่าใดค่าหนึ่ง
3. เลือกค่าของตัวนำจากหมายเลข 3 โดยค่าของตัวนำจะปรากฏให้เห็นใน หมายเลข 2
4. จากนั้นเลือกมาตรฐาน ของลวดตัวนำ A.W.G หรือ S.W.G ในหมายเลข 5
5. กำหนดขนาดเบอร์ลวดตัวนำจากหมายเลข 6 โดยการเลื่อนแล้วเลือกหมายเลขที่ต้องการ
6. กำหนดค่าตัวประกอบการพัน จากหมายเลข 11 โดยค่าจะมีให้เลือกตั้งแต่ 0.50-1.00
7. ตรวจสอบค่าที่เลือกไว้อีกครั้งว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าต้องการลบค่าที่ป้อนทั้งหมดให้ใช้เมนู Clear Input หรือลบค่าที่ป้อน ในเมนู Edit หรือแก้ไข ที่หมายเลข 13 และถ้าต้องการเริ่มโปรแกรมใหม่ให้ใช้เมนู Restart หรือ เริ่มใหม่ ในเมนู Edit หรือแก้ไข ที่หมายเลข 13
8. คลิกเมาส์ที่ปุ่ม Start หรือ เริ่มทำ โปรแกรมจะเริ่มทำงาน โดยมีแถบสีจะแสดงให้เห็นถึงการเสร็จสมบูรณ์ของโปรแกรมเป็นเปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม และวงกลมหมายเลข 12 จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวสลับสีเหลือง โปรแกรมออกแบบจะใช้เวลาในการทำงานมาก หรือ น้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของเครื่องคอมพิวเตอร์
9. เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ที่ปุ่มคำตอบตัวอักษรจะเป็นตัวข้าม ถ้าต้องการดูคำตอบอีกครั้ง ให้คลิกเมาส์ที่ปุ่มนี้แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างของคำตอบ
10. ถ้าต้องการเปลี่ยนภาษาที่ใช้ในโปรแกรมออกแบบให้เลือกใช้ เมนูไทย/อังกฤษ หรือ Thai/English ในเมนู Help หรือ ช่วยเหลือ ที่หมายเลข 13
11. เมื่อเลือกเบอร์ลวดตัวนำในเมนูเลือกตัวนำหมายเลข 5 สามารถดูรายละเอียดของลวดตัวนำได้โดยใช้เมนู Wire Description หรือ รายละเอียดลวด ในเมนู Tools หรือ เครื่องมือ ที่หมายเลข 13
12. ถ้าต้องการอ่านวิธีการใช้โปรแกรมออกแบบสามารถเลือกใช้ได้จากเมนู How To Use หรือ การใช้โปรแกรม ในเมนู Help หรือ เมนูช่วยเหลือ ที่หมายเลข 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมออกแบบสามารถทำได้โดย กดปุ่ม Exit หรือ ออก หลัง จากนั้นโปรแกรมจะให้ เลือก Yes/No หรือ ใช่/ไม่ใช่

6.1.3 การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม จะแสดงคำตอบได้ 2 แบบดังนี้

6.1.6.1 แสดงรายละเอียด ต่างๆของ ตัวเหนี่ยวนำ แบบธรรมดา

PROGRAM DESIGN OF AN AIR-CORE SOLENOID INDUCTOR

Mean radius of inductor $(a) =$
 Length of coil $(b) =$
 Thickness of coil $(c) =$
 Length of conductor $(l) =$
 Number of turn $(N) =$
 Winding factor $(F) =$
 Desire inductance value $(L) =$
 Desired inductance value $=$
 Size of conductor $=$
 Time was used in program $=$

Print
 Picture>>
 <<Menu

ก. ผลลัพธ์ของ โปรแกรมออกแบบที่แสดงเฉพาะคำตอบในภาษาอังกฤษ

คำตอบของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

รัศมีเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำ $(a) =$
 ความยาวของขดลวด $(b) =$
 ความหนาของขดลวด $(c) =$
 ความยาวของลวดตัวนำ $(l) =$
 จำนวนรอบของขดลวด $(N) =$
 ตัวประกอบการพันที่เลือกใช้ $(F) =$
 ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ $(L) =$
 ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้ $=$
 ขนาดของลวดตัวนำที่ใช้ $=$
 เวลาที่ใช้ในการหาค่า $=$

พิมพ์
 รูป>>
 <<เมนู

ข. ผลลัพธ์ของ โปรแกรมออกแบบที่แสดงเฉพาะคำตอบในภาษาไทย

รูปที่ 6.3 ผลลัพธ์ของโปรแกรมที่แสดงเฉพาะคำตอบที่ได้ตัวประกอบการพัน

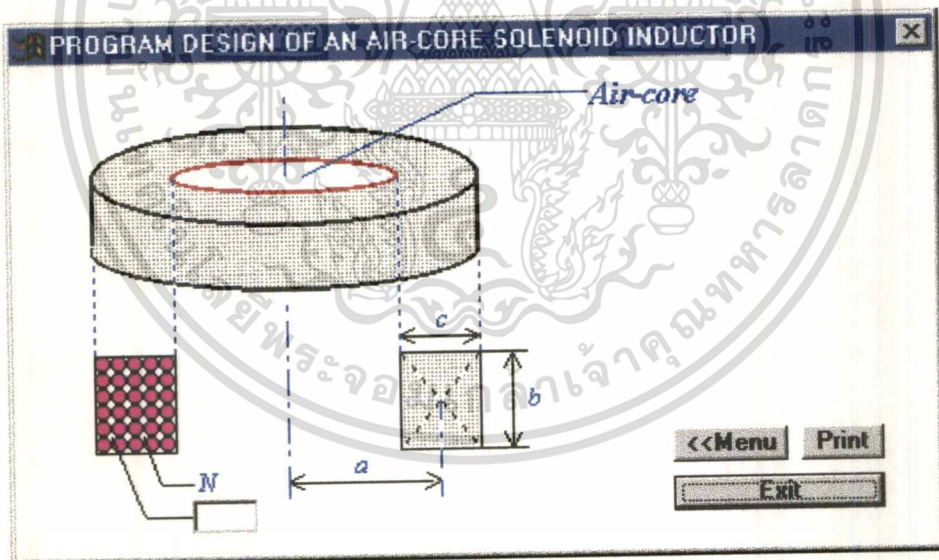
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของปุ่มคำสั่ง

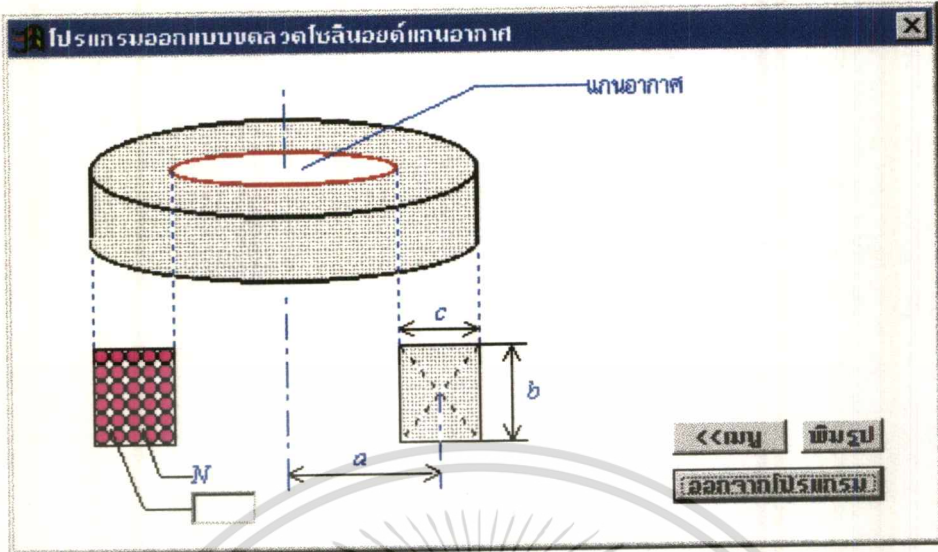
1. ปุ่ม Print หรือ พิมพ์ สำหรับเพื่อสั่งให้โปรแกรมพิมพ์ผลของโปรแกรมทางเครื่องพิมพ์
2. ปุ่ม Next หรือ ดูรูป แสดงถึงผลของโปรแกรมพร้อมรูปทรงของโซลินอยด์แกนอากาศ
3. ปุ่ม Back หรือ กลับไปเมนู จะเป็นการย้อนกลับไปสู่โปรแกรมหลัก

6.1.3.2 แสดงรายละเอียดต่างๆของตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้รูปประกอบ

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงรูปทรงของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ เพื่อทราบถึงตัวแปรที่ใช้แทนด้านต่างๆ ของตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ ถ้าต้องการทราบรายละเอียดต่างๆ ของขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ (Air-core) รัศมีเฉลี่ย (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และ จำนวนรอบ (N) ได้โดยเลื่อนเมาส์ Pointer ไปที่ตำแหน่งนั้น และเมาส์ Pointer จะเปลี่ยนเป็นรูปมือแล้วคลิก ก็จะทราบค่าที่ต้องการ และถ้าคลิกที่ตำแหน่งนั้นอีกครั้ง จะกลับไปสู่สถานะเริ่มต้น ก็จะแสดงสลับกันระหว่างตัวแปรกับขนาดของตัวแปรนั้นๆ



ก. หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมออกแบบ แสดงพร้อมรูปภาพอังกฤษ



ข. หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของ โปรแกรมออกแบบ แสดงพร้อมรูปภาพภาษาไทย รูปที่ 6.4 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมที่ได้ตัวประกอบการพันพร้อมรูป

รายละเอียดของปุ่มคำสั่ง

1. ปุ่ม Menu หรือ เมนู สำหรับการกลับไปสู่โปรแกรมหลัก
2. ปุ่ม Print หรือ พิมพ์ จะเป็นปุ่มเพื่อสั่งให้พิมพ์ผลของ โปรแกรมพร้อมรูป
3. ปุ่ม Exit หรือ ออกจาก โปรแกรม เพื่อการออกจากโปรแกรมได้โดย กดปุ่ม Exit หรือ ออก หลังจากนั้น โปรแกรมจะให้ เลือก Yes/No หรือ ใช่/ไม่ใช่

6.2 การสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบที่ได้ตัวประกอบการพัน

ขั้นตอนการสร้างแบบที่ใช้ในการพันขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อใช้ในการทดสอบโปรแกรม ก็จะมีลักษณะวิธีการเช่นเดียวกันกับในบทที่ 5 หัวข้อที่ 5.2 เพียงแต่จะมีการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำต้นแบบ 2 ขนาดจากลวดตัวนำขนาดเดียว ในที่นี้เลือกใช้ลวดตัวนำเบอร์ # S.W.G 19 เพราะเป็นขนาดที่อยู่ระหว่างลวดตัวนำเบอร์ # S.W.G 13 และ ลวดตัวนำเบอร์ # S.W.G 25 (ของการสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศต้นแบบในบทที่ 5) และมีค่าตัวประกอบการพันใกล้เคียงกับ ค่าตัวประกอบการพันเฉลี่ย เพื่อต้องการทดสอบว่าในลวดตัวนำเบอร์เดียวกันนั้น จะมีค่าตัวประกอบการพันเท่ากับค่าตัวประกอบการพันเฉลี่ย หรือไม่ เมื่อนำมาสร้างเป็นขดลวดตัวนำ ซึ่งเลือกค่าความเหนี่ยวนำ 2 ค่าคือ 1 mH และ 2 mH ผลที่ได้จากโปรแกรมออกแบบเป็นดังรูปที่ 6.5 ก และรูปที่ 6.5 ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำตอบของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	
รัศมีเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำ	$(a) = 2.055358$ เซนติเมตร
ความยาวของขดลวด	$(b) = 1.370239$ เซนติเมตร
ความหนาของขดลวด	$(c) = 1.233213$ เซนติเมตร
ความยาวของลวดตัวนำ	$(l) = 21.56671$ เมตร
จำนวนรอบของขดลวด	$(N) = 167$ รอบ
ตัวประกอบการพันที่เลือกใช้	$(F) = 0.8$
ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ	$(L) = 1$ มิลลิเฮนรี
ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้	$= 1.003134$ มิลลิเฮนรี
ขนาดของลวดตัวนำที่ใช้	$= \#S.W.G. 19$
เวลาที่ใช้ในการหาค่า	$= 3$ นาที 54 วินาที

ก. คำตอบของโปรแกรมออกแบบค่าความเหนี่ยวนำ 1mH

คำตอบของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ	
รัศมีเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำ	$(a) = 2.360985$ เซนติเมตร
ความยาวของขดลวด	$(b) = 1.573991$ เซนติเมตร
ความหนาของขดลวด	$(c) = 1.416591$ เซนติเมตร
ความยาวของลวดตัวนำ	$(l) = 32.63591$ เมตร
จำนวนรอบของขดลวด	$(N) = 220$ รอบ
ตัวประกอบการพันที่เลือกใช้	$(F) = 0.8$
ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ	$(L) = 2$ มิลลิเฮนรี
ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้	$= 1.999754$ มิลลิเฮนรี
ขนาดของลวดตัวนำที่ใช้	$= \#S.W.G. 19$
เวลาที่ใช้ในการหาค่า	$= 3$ นาที 47 วินาที

ข. คำตอบของโปรแกรมออกแบบค่าความเหนี่ยวนำ 2 mH

รูปที่ 6.5 คำตอบของโปรแกรมออกแบบที่ได้ตัวประกอบการพันเพื่อนำไปสร้างต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทดสอบตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ

ในการทดสอบก็เพื่อวัตถุประสงค์เดิมก็คือ ต้องการทราบว่า โปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศนี้มีการทำงานที่ถูกต้องหรือไม่ และค่าตัวประกอบการพันจะมีผลกระทบกับค่าความเหนี่ยวนำเพียงใด โดยมีรายละเอียดและวิธีการทดสอบ ตามวิธีการทดสอบในบทที่ 5 หัวข้อที่ 5.3 ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 3 วิธี

6.3.1 วัดด้วย อินดักแทนซ์มิเตอร์

ขนาดขดลวดเหนี่ยวนำ แกนอากาศ	ค่าความเหนี่ยวนำจาก โปรแกรม	ค่าความเหนี่ยวนำจาก อินดักแทนซ์มิเตอร์
# S.W.G 19	1.0031 mH	1.001 mH
	1.9997 mH	2.008 mH

ตารางที่ 6.1 ค่าความเหนี่ยวนำจาก อินดักแทนซ์มิเตอร์

6.3.2 วัดขนาดต่างๆ จากขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศแล้วแทนในสมการ (6-6)

$$L = \frac{31.5 a^2 N^2}{6a + 9b + 10c} \quad (6-6)$$

เบอร์ลวดตัวนำ # S.W.G 13		
ค่าความเหนี่ยวนำ (L) mH	1.00	2.00
รัศมีเฉลี่ยของขดลวดเหนี่ยวนำ.(a) cm.	2.075	2.36
ความยาวของขดลวดเหนี่ยวนำ. (b) cm	1.4	1.6
ความหนาของขดลวดเหนี่ยวนำ (c) cm	1.25	1.4
ความยาวของขดลวดตัวนำ (l) m.	21.6	32.7
จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ (N) turns	167	220

ตารางที่ 6.2 ค่าความเหนี่ยวนำจากวัดขนาดแล้วแทนในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.W.G. 19 ค่าความเหนี่ยวนำ 1 mH หาค่าความเหนี่ยวนำจากสมการ (6-6)

$$L = \frac{31.5 * (0.02075)^2 * (167)^2}{(6 * 0.02075) + (9 * 0.014) + (10 * 0.0125)} = 1.007 \text{ mH}$$

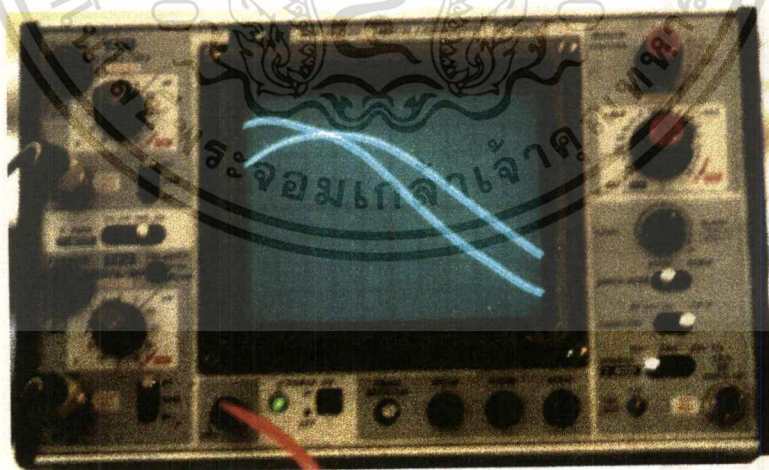
S.W.G. 19 ค่าความเหนี่ยวนำ 2 mH หาค่าความเหนี่ยวนำจากสมการ (6-6)

$$L = \frac{31.5 * (0.0236)^2 * (220)^2}{(6 * 0.0236) + (9 * 0.016) + (10 * 0.014)} = 1.995 \text{ mH}$$

6.3.3 ทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C Test)

มีวิธีการต่อวงจรทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ ในหัวข้อ 5.3.3 โดยมีผลจากการทดสอบดังต่อไปนี้

S.W.G. 19 ค่าความเหนี่ยวนำ 1 mH



รูปที่ 6.6 แสดงการวัดมุมของแรงดันกับกระแสของขดลวดตัวนำ # S.W.G 19

No	V (volts)	I (amps)	T (ms)	θ	Z (Ω)
1	0.31	0.8	1.82	32.76°	0.620
2	0.60	1.0	1.82	32.76°	0.604
3	0.89	1.8	1.82	32.76°	0.593
4	1.19	2.0	1.82	32.76°	0.595
5	1.52	2.8	1.82	32.76°	0.608
6	1.81	3.0	1.82	32.76°	0.603
7	2.12	3.8	1.82	32.76°	0.605
8	2.42	4.0	1.82	32.76°	0.605
$Z_{av} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_8}{8}$					0.604

ตารางที่ 6.3 ค่าจากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ

$$R = \cos \theta^\circ * Z_{av}$$

$$= \cos 32.76^\circ * 0.604$$

$$= 0.5079 \Omega$$

$$jx_l = \sqrt{Z_{av}^2 + R^2}$$

$$= \sqrt{(0.604)^2 - (0.5079)^2}$$

$$= 0.326 \Omega$$

$$L = \frac{jx_l}{2\pi f}$$

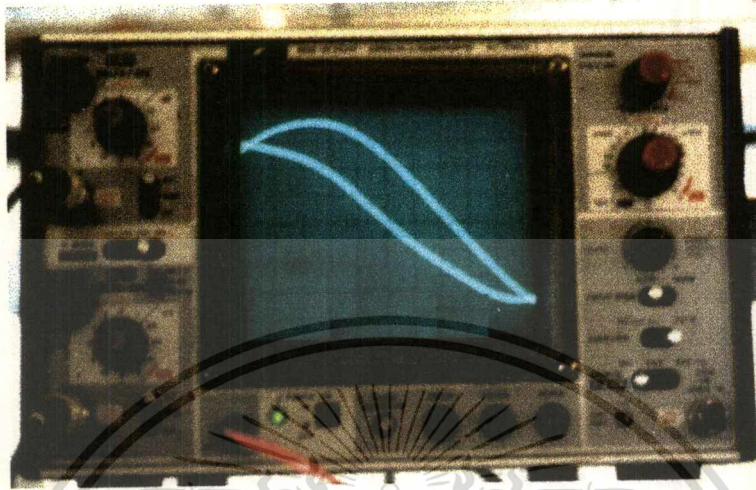
$$\text{ที่ } f = 50 \text{ Hz}$$

$$= \frac{0.326}{2 * 3.14 * 50}$$

$$= 1.047 \text{ mH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.W.G. 19 ค่าความเหนี่ยวนำ 2 mH



รูปที่ 6.7 แสดงการวัดมุมของแรงดันกับกระแสของขดลวดตัวนำ # S.W.G 19

No	V (volts)	I (amps)	T (ms)	θ	Z (Ω)
1	0.53	0.5	2.0	36°	1.06
2	1.07	1.0	2.0	36°	1.07
3	1.61	1.5	2.0	36°	1.07
4	2.15	2.0	2.0	36°	1.075
5	2.68	2.5	2.0	36°	1.072
6	3.22	3.0	2.0	36°	1.073
7	3.75	3.5	2.0	36°	1.071
8	4.29	4.0	2.0	36°	1.072
$Z_{av} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_8}{8}$					1.070

ตารางที่ 6.4 ค่าจากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ

$$\begin{aligned}
 R &= \cos \theta^\circ * Z_{av} \\
 &= \cos 36^\circ * 1.070
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 jx_l &= \sqrt{Z_{av}^2 + R^2} \\
 &= \sqrt{(1.070)^2 - (0.865)^2} \\
 &= 0.629 \ \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{jx_l}{2\pi f} && \text{ที่ } f = 50 \text{ Hz} \\
 &= \frac{0.629}{2 * 3.14 * 50} \\
 &= 2.003 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

6.4 เปรียบเทียบค่าต่างๆ ของขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

ตารางที่แสดงให้เห็นในข้างล่างนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำ ที่เราต้องการผลที่ได้จากโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ ที่ใส่ตัวประกอบการพันแล้ว และค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วิธี ซึ่งจากตารางการเปรียบเทียบนี้จะเห็นได้ว่า โปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศที่ใส่ตัวประกอบการพันแล้ว สามารถออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ ที่มีค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ได้ถูกต้องทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

เปรียบเทียบระหว่างค่าความเหนี่ยวนำ # S.W.G 19		
ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ	1.000 mH	2.000 mH
ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จาก โปรแกรม	1.031 mH	1.9997 mH
ค่าจากการวัดด้วย Inductance Meter	1.001 mH	2.008 mH
ค่าจากการวัดขนาดของขดลวดที่พัน	1.007 mH	1.995 mH
ค่าจากการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสสลับ	1.047 mH	2.003 mH

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบผลจากการทดสอบทั้ง 3 วิธี กับผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบรูปทรงของขดลวดเหนี่ยวนำ # S.W.G 19		
รายละเอียดในการเปรียบเทียบ	จากโปรแกรม	วัดขนาดของขดลวด
รัศมีเฉลี่ย (a)	2.055 cm	2.075 cm
ความยาว (b)	1.370 cm	1.40 cm
ความหนา (c)	1.233 cm	1.25 cm
จำนวนรอบ (N)	167 turn	167 turn
ความยาวลวดค้ำนำ (l)	21.56 m	21.60 m
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	1.0031 mH	1.007mH

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบรูปทรงของขดลวดเหนี่ยวนำ 1 mH

เปรียบเทียบรูปทรงของขดลวดเหนี่ยวนำ # S.W.G 19		
รายละเอียดในการเปรียบเทียบ	จากโปรแกรม	วัดขนาดของขดลวด
รัศมีเฉลี่ย (a)	2.361 cm	2.36 cm
ความยาว (b)	1.574 cm	1.60 cm
ความหนา (c)	1.416 cm	1.42 cm
จำนวนรอบ (N)	220 turn	220 turn
ความยาวลวดค้ำนำ (l)	32.636 m	32.68 m
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	1.9997 mH	1.995 mH

ตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบรูปทรงของขดลวดเหนี่ยวนำ 2 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์

โปรแกรมออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยกันทั้ง 2 วิธีนั้น จะให้ผลของโปรแกรมแตกต่างกันคือ แบบที่ยังไม่ได้ใส่ตัวประกอบการพันเข้าไปในขบวนการหาค่าที่เหมาะสม จะประหยัดลดตัวนำได้มากกว่า เมื่อเทียบกับผลจากโปรแกรมที่มีการใส่ตัวประกอบการพัน แต่เมื่อนำผลของโปรแกรมที่ยังไม่ได้ใส่ตัวประกอบการพัน มาสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศคั่นแบบ จะพบว่าขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันเรียบร้อยแล้ว จะมีขนาดของด้านต่างๆ ไม่ตรงกับผลของโปรแกรม และความยาวของลวดตัวนำที่ใช้ยังมากกว่าผลจากโปรแกรม ส่วนโปรแกรมที่มีการใส่ตัวประกอบการพัน เมื่อนำผลการออกแบบไปสร้างขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ จะพบว่าขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศที่สร้างขึ้น มีขนาดของด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับผลของการออกแบบโดยโปรแกรม มีค่าผิดพลาดเล็กน้อยและความยาวลวดตัวนำที่ใช้ใกล้เคียง กับผลของโปรแกรม

ในการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศ โดยใช้โปรแกรมแบบที่มีการใส่ตัวประกอบการพันนี้ มีความสะดวกในการใช้งาน สามารถลดเวลาที่ใช้ในการออกแบบ และโปรแกรมยังสามารถเลือกใช้ได้ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พร้อมทั้งมีวิธีการใช้ให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานโปรแกรมรวมไว้ในโปรแกรมแล้ว

7.1 เปรียบเทียบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ

เป็นการเปรียบเทียบผลของโปรแกรมออกแบบที่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน กับค่าต่างๆ ของตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศที่มีใช้ในปัจจุบัน เพื่อพิสูจน์ผลการออกแบบโปรแกรมว่าสามารถออกแบบได้ประหยัดที่สุดหรือไม่

เบอร์ลวดตัวนำ	# S.W.G 13	
	ขดลวดเหนี่ยวนำที่มี ใช้งานทั่วไป	ผลจากโปรแกรม ออกแบบ
รัศมีเฉลี่ยของขดลวดเหนี่ยวนำ (a) cm	3.35	3.55
ความยาวของขดลวดเหนี่ยวนำ (b) cm	1.9	2.36
ความหนาของขดลวดเหนี่ยวนำ (c) cm	2.7	2.13
ความยาวของลวดตัวนำ (l) m	22.67	20.97
จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ (N) รอบ	100	94
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	550 μ H	550 μ H

ก. เปรียบเทียบผลของโปรแกรมกับค่าต่างๆของตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ
ที่มีใช้ในปัจจุบัน # S.W.G 13

เบอร์ลวดตัวนำ	# A.W.G 35	
	ขดลวดเหนี่ยวนำที่มี ใช้งานทั่วไป	ผลจากโปรแกรม ออกแบบ
รัศมีเฉลี่ยของขดลวดเหนี่ยวนำ (a) cm	0.49657	0.11914
ความยาวของขดลวดเหนี่ยวนำ (b) cm	0.97282	0.12742
ความหนาของขดลวดเหนี่ยวนำ (c) cm	1.68657	0.11467
ความยาวของลวดตัวนำ (l) m	2.65	1.093
จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ (N) รอบ	83	91
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	28 μ H	28 μ H

ข. เปรียบเทียบผลของโปรแกรมกับค่าต่างๆของตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ
ที่มีใช้ในปัจจุบัน # A.W.G 35 จากหนังสือเซมิคอนดักเตอร์ ฉบับที่ 96

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบผลของโปรแกรมกับค่าต่างๆของตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ
ที่มีใช้ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 เปรียบเทียบผลของโปรแกรมที่ไม่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน กับผลของโปรแกรมที่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน

ค่าต่างๆของขดลวด เหนี่ยวนำ	# S.W.G 10		# S.W.G 31	
	โปรแกรมที่ $F=1$	โปรแกรมที่ $F=0.8$	โปรแกรมที่ $F=1$	โปรแกรมที่ $F=0.8$
รัศมีเฉลี่ย (a) cm	5.47	5.98	2.77	3.03
ความยาว (b) cm	3.65	3.99	1.85	2.02
ความหนา (c) cm	3.28	3.59	1.66	1.82
ความยาว (l) m	49.54	51.61	791.96	828.27
จำนวนรอบ (N) รอบ	144	138	4534	4336
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	2 mH	2 mH	1 H	1 H

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบผลของโปรแกรมที่ไม่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน กับผลของโปรแกรมที่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน

ภาคผนวก

ตัวอย่างบางส่วน ของโปรแกรมออกแบบขดลวดโซลินอยด์แกนอากาศ ที่ใส่ค่าตัวประกอบการพัน

MINIMUM COST PROGRAM DESIGN FOR AN AIR-CORE SOLENOID V2.2

Dim RPHMUL As Single

Dim TMI(NMAX) As Double

Dim XTT(NMAX) As Double

Dim EQUACON(NMAX) As Double

Dim UINEQCON(NMAX) As Double

Dim FMIN As Double

Dim P(NMAX) As Double

Dim FRETMI As Double

Dim Index As Integer

Dim EQTOL As Double

Dim ITER As Integer

Dim TMIL(NMAX) As Double

Dim CSAME As Double

Dim FRETMIL As Double

Restartt = 0

NCTP = 1

TERMF = 1

NI = 2

NH = 0

NG = 4

RPGMUL = 0.009

RPHMUL = 1.25

AXO = 0.00001

XXO = 0.00002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FTOL = 0.001
P(1) = 1#
P(2) = 1#
FRET MIL = 10000000000#
Form2.Label4.Caption = Str$(Form2.HScroll1.Value / 10)
CLVI = CSng(Form2.Label4.Caption)
CLV = CLVI * MULTP
Index = Form2.Combo1.ListIndex
If (Form2.Option1.Value = True) Then
  If (Index = 0) Then Number = "0000"
  If (Index = 1) Then Number = "000"
  If (Index = 2) Then Number = "00"
  If (Index >= 3) Then Number = Str(Index - 3)
End If
If (Form2.Option2.Value = True) Then
  If (Index = 0) Then Number = "0000000"
  If (Index = 1) Then Number = "000000"
  If (Index = 2) Then Number = "00000"
  If (Index = 3) Then Number = "0000"
  If (Index = 4) Then Number = "000"
  If (Index = 5) Then Number = "00"
  If (Index >= 6) Then Number = Str(Index - 6)
End If
CSAME = 0.0000000000001 * CDbl(Form2.Combo1.ItemData(Index))
CSA = CSAME / (0.0254 ^ 2)

Do While AXO >= 0.000000000000001
  RPHMUL = 1.25
  RPGMUL = 0.009
  Do While RPGMUL <= 0.9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AAA = 0#
,Call CQUMDF(P), FRETMI, TMI(), XTT(), ITER, FTOL, IP, EQUACON(), UINEQCON(),
FMIN, EQTOL)
If (Restartt = 1) Then
    Form2.GAUGE1.Value = 0
    ITTT = 0
    Exit Sub
End If

If (TMI(1) = 0) Then
    GoTo LINE1:
End If
If (AAA = 2E-37) Then
    GoTo LINE2:
End If
If (Abs(FRETMI) < FRETMI) Then
    FRETMI = FRETMI
    TMILA = TMI(1)
    TMILB = TMI(2)
    If (QuickAnswer = True) Then
        RPGMUL = 1#
        AXO = 0
    End If
End If
LINE1:
ITERATION = CInt(RPGMUL / 0.09)
ITTT = CInt(ITTT + ITERATION)
If (Convert = 0) Then
    Form2.Label1.Caption = " " & ITTT & " % " & "Complete"
    If (ITTT = 100) Then Form2.Label1.Caption = "Program design was completed "

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ElseIf (Convert = 1) Then
```

```
Form2.Label1.Caption = " " & ITTT & " % " & "สมบูรณ์"
```

```
If (ITTT = 100) Then Form2.Label1.Caption = "โปรแกรมออกแบบเสร็จสมบูรณ์แล้ว "
```

```
End If
```

```
Form2.GAUGE1.Value = ITTT
```

```
RPGMUL = RPGMUL + 0.009
```

```
Loop
```

LINE2:

```
AXO = AXO * 0.1
```

```
XXO = XXO * 0.1
```

```
ITT = ITERATION + ITT
```

```
Loop
```

```
ITT = 0
```

```
If (TMILA = 0 Or TMILB = 0) Then
```

```
End
```

```
End If
```

```
Form2.CbExit.Enabled = True
```

```
LLength = FRETMIL * 0.0254
```

```
ARadius = TMILA * 0.0254
```

```
BWide = TMILB * 0.0254
```

```
CThick = LLength * CSAME / (2 * PI * ARadius * BWide * Wfactor) 'c
```

```
NT = LLength / (2 * PI * ARadius)
```

```
Cntstart = 0
```

```
Form2.LED1.FillColor = &HFF&
```

```
Form2.LED2.FillColor = &HFF0000
```

```
Form2.HScroll2.Enabled = True
```

```
Form2.mnclearinput.Enabled = True
```

```
Form3.Show
```

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.รัชวุฒิ วัชรอุทัย เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษารวมทั้งแนะนำโครงการ และให้ความช่วยเหลือทุกๆด้าน ซึ่งทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ อ.พิชิต ถ้ายอง ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือ ขอขอบคุณ พี่ต่อพงศ์ ยวงพานิช ที่ช่วยแนะนำการเขียน โปรแกรมและเทคนิคต่างๆ และเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือโครงการและรายงานฉบับนี้เป็นอย่างมาก สุดท้ายนี้ผู้เรียบเรียงขอมอบความปรารถนาดีให้คนดังกล่าว ข้างต้น มา ณ.ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Murgatroyd, P.N., The books inductor: a study of optimum solenoid cross section. IEE Proc., Vol. 133, No. 5 September, 1986
- [2] Aora, J.S. ; Introduction to Optimum Design, McGraw-Hill, New York, 1989
- [3] Vanderplaats, G.N. ; Numerical Optimisation Techniques for Engineering Design with Applications. McGraw-Hill, New York. 1984
- [4] ทฤษฎีตรวจสอบงานอิเล็กทรอนิกส์
ชูเกียรติ จันทร์ธานี บ. เอช เอ็น กรุป จำกัด 2539
- [5] วิชาวนเบสิก 4 สำหรับวินโดวส์ 95
โชคชัย เตชพรุ่ง บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด 2539