รหัสโครงงาน 56EE214

โปรแกรมออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

Transformers Design Software

บทคัดย่อ (Abstract)

โครงงานนี้เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า ด้วยโปรแกรมออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเองจากโปรแกรมไมโครซอฟเอ็กเซลโดยได้ทำการศึกษาวิธีการออกแบบและรวบรวมรายละเอียดค่าจำเพาะของวัสดุต่างๆที่จำเป็นสำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วนำมาสร้างเป็นแผ่นคำนวณไมโครซอฟเอ็กเซล ในรูปลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์ขึ้นมา เพื่อลดปัญหาของวิธีการออกแบบเดิมที่ต้องคำนวณด้วยมือทีละขั้นตอน ซึ่งมีความยุ่งยากและมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณได้ง่าย จากการศึกษาวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า พบว่าวิธี คอร์จีโอเมททรี มีความถูกต้องเม่นยำมากที่สุด เราจึงได้สร้างแผ่นคำนวณไมโครซอฟเอ็กเซล ในรูปลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์ขึ้นจากวิธีการออกแบบนี้ หลังจากที่ได้สร้างโปรแกรมออกแบบสำเร็จแล้วได้ทดลองใช้โปรแกรมออกแบบหม้อแปลงตัวอย่างขึ้นมา 1 ตัวอย่าง แล้วพันหม้อแปลงตัวอย่างขึ้นมาจากข้อมูลการออกแบบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบแล้วนำหม้อแปลงตัวอย่างมาทดสอบ ผลที่ได้คือ หม้อแปลงตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากโปรแกรมออกแบบ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมทำงานได้ถูกต้องเป็นไปตามหลักการออกแบบ ช่วยลดระยะเวลาและโอกาสที่จะเกิดข้อผิดพลาดในการออกแบบหม้อแปลงด้วยวิธีคำนวณด้วยมือ

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน “โปรแกรมออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า” ได้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.นิมิต บุญภิรมย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาตลองจนช่วยเหลือในส่วนของการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการปฏิบัติงานทางผู้จัดทำจึงกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงในความกรุณาครั้งนี้

และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ทุกฝ่ายที่ได้มีส่วนในช่วยเหลือจนโครงงานสำเร็จได้ด้วยดีและขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ได้มีส่วนร่วมช่วยเหลือในคำแนะนำ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจในการจัดทำโครงนี้ด้วย คณะผู้จัดทำจึงมีความรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกๆท่านเป็นอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำได้พยายามอย่างยิ่งที่จะให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี แต่หากมีข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 โครงสร้างของโครงงาน	3
1.5 ประโยชน์ของ	4
1.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 วัสดุแม่เหล็ก	6
2.2 วงจรแม่เหล็ก	15
บทที่ 3 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า	22
3.1 กำลังงานรวม	22
3.2 ค่าควบคุมแรงดัน	24
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าคงที่ทางเลขาคณิต กับ ค่าควบคุมแรงดัน	25
3.4 แฟคเตอร์ของพื้นที่ช่องว่างการพันขดลวด	26
3.5 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีการใช้ ค่าคงที่ทางเลขาคณิต	40
3.6 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยวิธีการใช้ ค่าคงที่ทางเลขาคณิต	47
3.7 ตัวอย่างการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า ด้วยวิธีการใช้ ค่าคงที่ทางเลขาคณิต	53
3.8 ตัวอย่างการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยวิธีการใช้ ค่าคงที่ทางเลขาคณิต	61
3.9 ตัวอย่างการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ด้วยวิธีการใช้ ค่าคงที่ทางเลขาคณิต	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 82
4.1 การทดลองใช้โปรแกรมออกแบบหม้อแปลง 82
4.2 การทดสอบหม้อแปลงตัวอย่าง 85

บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล 99

เอกสารอ้างอิง 100

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะต่างๆของวัสดุที่ใช้ทำแกนแม่เหล็ก 7

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างวงจรไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็ก 16

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของอัตราส่วนฉนวนต่อขนวดตัวนำ 29

ตารางที่ 3.2 ตารางเฟคเตอร์การวางสาย 30

ตารางที่ 3.3 ตารางเฟคเตอร์เมื่อการวางสายไม่เป็นระเบียบ 30

ตารางที่ 3.4 ระยะขอบของขดลวด 35

ตารางที่ 3.5 ความหนาของชั้นฉนวน 36

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการออกแบบ 41

ตารางที่ 3.7 Dimention Data 41

ตารางที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลตารางสาย AWG 43

ตารางที่ 3.9 ค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณการสูญเสียในแกน 45

ตารางที่ 3.10 ตารางข้อมูลการออกแบบของแกน EI 46

ตารางที่ 3.11 ตัวอย่างข้อมูลของแกน 3 เฟส 48

ตารางที่ 3.12 Dimention Data 48

ตารางที่ 4.1 ตารางการเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณผลด้วยมือ และ การคำนวณผลด้วยโปรแกรม 82

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง ที่ 1 89

ตารางที่ 4.3 ตางรางบันทึกผลการทดลองที่ 2 92

ตารางที่ 4.4 ตางรางบันทึกผลการทดลองที่ 3 94

ตารางที่ 4.5 ตางรางบันทึกผลการทดลองที่ 4 96

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของโครงงาน 3
ภาพที่ 2.1 ภาพที่ 2.1 สนามแม่เหล็ก (Magnetic filed) 7
ภาพที่ 2.2 การกระจายของสนามแม่เหล็กในขดลวดแกนอากาศ 8
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง B และ H 9
ภาพที่ 2.4 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างง่าย 9
ภาพที่ 2.5 เส้นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กของขดลวดพันบนแกนแม่เหล็ก 10
ภาพที่ 2.6 เส้นโค้งการสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetization curve) 10
ภาพที่ 2.7 ลักษณะการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนแม่เหล็ก 11
ภาพที่ 2.8 การเกิด Hysteresis loop ของวงจรแม่เหล็ก 12
ภาพที่ 2.9 การเกินกระแสนไหลวนในวงจรแม่เหล็ก 13
ภาพที่ 2.10 การลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน 14
ภาพที่ 2.11 เส้นโค้ง B-H และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก 14
ภาพที่ 2.12 วงจรแม่เหล็กแบบอนุกรม 15
ภาพที่ 2.13 วงจรแม่เหล็กแบบขนาน 15
ภาพที่ 2.14 ตัวเหนี่ยวนำที่มีช่องว่างอากาศ (Air-gap) 17
ภาพที่ 2.15 ฟลักซ์รั่วไหลในตัวเหนี่ยวนำที่มีช่องว่างอากาศ (Air-gap) 19
ภาพที่ 2.16 การเกิด Fringing ในวงจรแม่เหล็กที่มีช่องว่างอากาศ 20
ภาพที่ 3.1 Transformer Circuit Diagram. 24
ภาพที่ 3.2 Window Area ที่ถูกพันโดยลวดตัวนำ 27
ภาพที่ 3.3 เปรียบเทียบขนาดฉนวนของลวดตัวนำแต่ละขนาด 28
ภาพที่ 3.4 ความยาวของการวางสายที่สามารถทำได้ต่อพื้นที่การวาง 30
ภาพที่ 3.5 การวางสายแบบสี่เหลี่ยม (Square) เฟคเตอร์= 0.785 31
ภาพที่ 3.6 การวางสายแบบหกเหลี่ยม (Hexagonal) เฟคเตอร์= 0.907 32
ภาพที่ 3.7 ขดลวดอุดมคติใน Bobbin ทรงสี่เหลี่ยม 33
ภาพที่ 3.8 ความโค้ง (Bowing)ของขดลวด ในหม้อแปลง 34
ภาพที่ 3.9 Round Bobbin 34
ภาพที่ 3.10 Transformer Winding with Margins 35

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.11โครงสร้างหม้อแปลงแบบ Single Bobbin 37
ภาพที่ 3.12 โครงสร้างหม้อแปลงแบบ Dual Bobbin 37
ภาพที่ 3.13 Effective Winding Area ของแกน Toroidal 38
ภาพที่ 3.14 Wrapped Toroid 39
ภาพที่ 3.15 El Lamination Outline. 41
ภาพที่ 3.16 El Lamination Outline. 48
ภาพที่ 3.17 การต่อขดลวดแบบ Delta 49
ภาพที่ 3.18 การต่อขดลวดแบบ Star หรือ Y 49
ภาพที่ 3.19 El Lamination Outline. 63
ภาพที่ 3.20 การต่อขดลวดแบบ Delta 63
ภาพที่ 3.21 การต่อขดลวดแบบ Star หรือ Y 64
ภาพที่ 3.22 ลำดับการทำงานของโปรแกรมออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 70
ภาพที่ 3.23 ลำดับการทำงานของฟังชั่นออกแบบ Power Transformers 75
ภาพที่ 3.24 ลำดับการทำงานของฟังชั่นออกแบบ 3 Phase Power Transformer 81
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ก. ข. และ ค. 84
ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์การทดลอง 87
ภาพที่ 4.3 วงจรการทดลองที่ 1 88
ภาพที่ 4.4 วงจรสมมูลหม้อแปลง 88
ภาพที่ 4.5 ผลการทดลองที่ 1 90
ภาพที่ 4.6 วงจรการทดลองที่ 2 91
ภาพที่ 4.7 วงจรสมมูลของหม้อแปลง 92
ภาพที่ 4.8 เฟสเซอร์ 92
ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองที่ 2 93
ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองที่ 3 95
ภาพที่ 4.11 วงจรการทดลองที่ 4 95
ภาพที่ 4.12 ผลการทดลองที่ 4 98

คำอธิบายสัญลักษณ์

α	=	Regulation, %
A_c	=	Effective Cross Section Of the Core, cm^2
A_p	=	Area Product, cm^4
A_t	=	Surface Area Of The Transformer, cm^2
A_w	=	Wire Area, cm^2
$A_{W(B)}$	=	Bare Wire Area, cm^2
A_{wp}	=	Primary Wire Area, cm^2
A_{ws}	=	Secondary Wire Area, cm
A-T	=	Amp Turn
AWG	=	American Wire Gage
B	=	Flux, Tesla
B_{ac}	=	Alternating Current Flux Density, Tesla
B_{dc}	=	Direct current Dlux Aensity, Tesla
B_m	=	Flux Density, Tesla
B_{max}	=	Maximum Flux Density, Tesla
f	=	Trequency, Hz
I_{in}	=	Input Current, amps
I_{Line}	=	Input Line Current, amps
I_{phase}	=	Input Phase Current, amps
I_m	=	Magnetizing Current, amps
I_0	=	Load Current, amps
I_P	=	Primary Current, amps
I_s	=	Secondary Current, amps
$I_{s(Phase)}$	=	Secondary Phase Current, amps
$I_{s(Line)}$	=	Secondary Line Current, amps
J	=	Current Density, amps per cm^2
K_e	=	Electrical coefficient
K_f	=	Waveform Coefficient

คำอธิบายสัญลักษณ์(ต่อ)

K_g	=	Core Geometry Coefficient, cm
K_u	=	Window Utilization Factor
K_{up}	=	Primary Window Utilization Factor
K_{us}	=	Secondary Window Utilization Factor
L	=	Inductance, henry
MLT	=	Mean Length Turn, cm
mmf	=	Magnetomotive Force, Fm
MPL	=	Magnetic Path Length, cm
u	=	Permeability
u_m	=	Core Material Permeability
u_0	=	Permeability Of Air
u_r	=	Relative Permeability
u_e	=	Effective Permeability
n	=	Turns Ratio
N	=	Turns
N.L.	=	No Load
N_p	=	Primary Turns
N_s	=	Secondary Turns
P	=	Watts
P_{cu}	=	Copper Loss, Watts
P_{fe}	=	Core Loss, Watts
P_{in}	=	Input Power, Watts
P_0	=	Output Power, Watts
P_p	=	Primary Copper Loss, Warts
P_s	=	Secondary Copper Loss, Warts
P_t	=	Total Apparent Power, Warts
R	=	Resistance, ohms
R_{ac}	=	Ac Resistance, ohms

คำอธิบายสัญลักษณ์(ต่อ)

R_{dc}	=	Dc Resistance, ohms
R_g	=	Reluctance Of The Gap
R_m	=	reluctance
R_{mt}	=	Total Reluctance
R_O	=	Load Resistance, ohms
R_p	=	Primary Resistance, ohms
R_s	=	Secondary Resistance, ohms
R_t	=	Total Resistance, ohms
p	=	Presistivity, ohm-cm
S_1	=	Conductor Area/wire area
S_2	=	Wound Area/Usable Window
S_3	=	Usable Window Area/Window Area
S_4	=	Ssable Window Area/Usable Window Area + Insulation Area
VA	=	Volt-amps
V	=	Input Voltage, Volts
$V_{p(rms)}$	=	Primary Rms Voltage, Volts
V_s	=	Secondary Voltage, Volts
W	=	Watts
W/kg	=	Watts-Per-Kilogram
W_a	=	Window Area, cm^2
W_t	=	Weight, Grams
W_{tcu}	=	Copper Weight, Grams
W_{tfe}	=	Iron Weight, Grams