



สำนักหอสมุด

การประยุกต์การออกแบบการทดลองสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENTS (DOE) FOR HIGH
FREQUENCY TRANSFORMER

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน..... 20. ต.ค. 2560

เลขทะเบียน..... 1999276

เลขเรียกหนังสือ.....

นายภูษิต ขำน้อย รหัส 55360956

ฟร
ก ๒๖๘ ก
๒๕๕๘

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2558

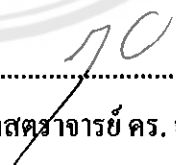


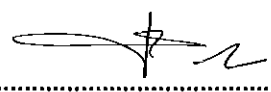
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การประยุกต์การออกแบบการทดลองสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
ผู้ดำเนินโครงการ นายภูษิต ขำน้อย รหัส 55360956
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2558

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)


.....กรรมการ
(ดร. ปิยคนัย ภาชนะพรณ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ การประยุกต์การออกแบบการทดลองสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
ผู้ดำเนินโครงการ นายภูษิต ขำน้อย รหัส 55360956
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบและทำการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งพิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก ขนาดขดลวดด้านปฐมภูมิ และขนาดขดลวดด้านทุติยภูมิ จากการออกแบบด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง จากนั้นทำการพิจารณาการทดลองที่ดีที่สุด 3 การทดลอง เพื่อนำมาสร้างเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าจริง จากผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ได้จากการออกแบบการทดลอง พบว่าค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ออกแบบด้วยวิธีการออกแบบการทดลองมีค่าประสิทธิภาพสูงขึ้นร้อยละ 6.15

Project title Application of Design of Experiments (DOE) for High Frequency
Transformer

Name Mr. Phusit Khamnoy ID. 55360956

Project advisor Asst. Prof. Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2015

Abstract

This thesis presents about application of design of experiment (DOE) to improve the high efficiency of high frequency transformer. The initial process is test high frequency transformer efficacy and then improve the efficiency by using DOE method. From DOE method, consider important parameter include core cross-sectional area, primary wire size and secondary wire size. The total test is 27 experiments. Choose the best experiment from each core cross-sectional area for doing the real high frequency transformer. The testing result of high frequency transformer from DOE method is more efficacy than original high frequency transformer, 6.15 percent.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ โดยคอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในเรื่องเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ตลอดจนอบรมสั่งสอนการเขียนปริญญานิพนธ์ด้วยความใส่ใจในรายละเอียดของผลงาน ทำให้การดำเนินโครงการและการเขียนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ช่วยอบรมสั่งสอนตลอดการศึกษาเล่าเรียนในระดับปริญญาตรี จนสามารถนำทักษะและความรู้ในหลายๆด้านมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงการนี้

เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ญาติ และมิตรสหาย ที่ได้ส่งเสียค่าเล่าเรียน คอยเป็นกำลังใจ มอบความรัก และความเข้าใจให้อยู่เสมอ จนทำให้ประสบความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ ทางผู้ดำเนินโครงการจะไม่ลืมพระคุณของทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นตลอดไป

นายภูษิต ขำน้อย



สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท..... ก	ก
บทคัดย่อภาษาไทย..... ข	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ค	ค
กิตติกรรมประกาศ..... ง	ง
สารบัญ..... จ	จ
สารบัญตาราง..... ช	ช
สารบัญรูป..... ฉ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 1	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 1	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน..... 2	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2	2
1.6 งบประมาณ..... 2	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง..... 3	3
2.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Type of Transformer)..... 3	3
2.1.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก (Iron Core Transformer)..... 3	3
2.1.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core Transformer)..... 3	3
2.1.3 หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ (Air Core Transformer)..... 4	4
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer :HFT)[2]..... 4	4
2.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง..... 4	4
2.2.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง..... 5	5
2.2.3 ลักษณะการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง..... 6	6
2.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง..... 7	7
2.3.1 ทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit Test)..... 7	7
2.3.2 การทดสอบลัดวงจร (Short Circuit Test)..... 7	7

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer Design).....	8
2.4.1 ขนาดแกนเหล็ก.....	8
2.4.2 เบอร์ลวดปฐมภูมิ.....	8
2.4.3 เบอร์ลวดทุติยภูมิ.....	8
2.4.4 จำนวนรอบลวดปฐมภูมิ.....	9
2.4.5 จำนวนรอบลวดทุติยภูมิ.....	9
2.5 กำลังสูญเสียและประสิทธิภาพในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (Loss Power And Performance in High Frequency Transformer)	10
2.5.1 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss; P_c).....	10
2.5.2 กำลังงานสูญเสียที่ขดลวดตัวนำ (Copper Loss ; P_{cu}).....	13
2.5.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Performance).....	16
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการออกแบบการทดลอง[5-6].....	16
2.6.1 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Experiment)	18
2.6.2 การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment)	21
2.6.3 การออกแบบ Foldover (Foldover Design)	23
2.6.4 การออกแบบ Plackett-Burman (Plackett-Burman Design).....	25
2.6.5 การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนและแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ กรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ (Fractional Factorials and Latin Squares For 3-level Design).....	26
2.6.6 การทดลองแบบ Box-Behnken (Box-Benhken Design).....	28
2.6.7 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite (Central Composite Designs; CCD).....	30
2.6.8 แบบการทดลองทาคุชิ (Taguchi Design).....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	34
3.1 การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit Test).....	39
3.2 การทดสอบลัดวงจร (Short Circuit Test)	40
3.3 การคำนวณประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	41

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4 ออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธี DOE	41
3.5 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงออกแบบโดยวิธี DOE	43
3.5.1 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1	44
3.5.2 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2	45
3.5.3 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3	47
บทที่ 4 ผลการทดลอง	49
4.1 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ	49
4.2 ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีการออกแบบการทดลองและ ปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	50
4.2.1 ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง	50
4.2.2 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1	52
4.2.3 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2	53
4.2.4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3	54
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบและแบบวิธี DOE	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ	58
5.1 สรุปผลการดำเนิน โครงการ	58
5.2 ประเมินผลการทดสอบ	58
5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ไขปัญหา	59
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	59
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก ก การคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง	61
ประวัติผู้ดำเนิน โครงการ	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	รายละเอียดผลกระทบทั้งหมดที่เป็นไปได้สำหรับการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล.....19
2.2	แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป.....19
2.3	แผนการทดลอง 3^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป.....20
2.4	แผนการทดลอง 2^{4-1} แฟกทอเรียลบางส่วน.....21
2.5	โครงสร้างซ้ำซ้อนของผลกระทบ 2^{4-1} แฟกทอเรียลบางส่วน.....22
2.6	แนวการกำหนดค่า Resolution สำหรับแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน.....22
2.7	2^{3-1}_{III} แฟกทอเรียลบางส่วน.....24
2.8	Foldover Design.....24
2.9	Plackett-Burman 8-Run Design.....26
2.10	ตัวอย่างแผนการทดลองกรณีศึกษา 3 ปัจจัย และทำการทดลองโดยใช้แผน 3^{k-p}27
2.11	การใช้ code จาก Latin Square สร้างแผนการทดลอง 3^{k-p} แฟกทอเรียลบางส่วน.....27
2.12	แผนการทดลอง Box-Behnken กรณี 4 ปัจจัย.....28
2.13	แผนการทดลอง Central Composite Design กรณีศึกษา 3 ปัจจัย.....30
2.14	แบบแผนการทดลองของทาคูชิที่นิยมใช้กันมาก.....32
2.15	ตัวอย่าง $L_4 2^3$ Design.....32
3.1	รายละเอียดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบ.....36
3.2	การปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าโดย DOE แบบ Full Factorial Experiment...42
3.3	ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบแฟกทอเรียลเต็มรูป.....43
3.4	ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1.....44
3.5	ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2.....45
3.6	ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3.....47
4.1	ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบในห้องปฏิบัติการ.....49
4.2	ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง.....51
4.3	ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1.....52
4.4	ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2.....53
4.5	ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3.....55
4.6	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบและหม้อแปลงไฟฟ้าที่ออกแบบด้วยวิธี DOE.....56

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก	3
2.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์	4
2.3 หม้อแปลงแกนอากาศ	4
2.4 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติขณะไม่มีโหลด	6
2.5 การทดสอบเปิดวงจรของหม้อแปลง ไฟฟ้าความถี่สูง	7
2.6 การทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลง ไฟฟ้าความถี่สูง	7
2.7 การจัดเรียงแมกเนติกไดโพลในโคแกนของวัสดุแม่เหล็ก	10
2.8 วงรอบฮิสเตอร์ซิส	11
2.9 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก	12
2.10 แสดงสัญลักษณ์วงจรความต้านทาน	13
2.11 ลักษณะของกระแสไหลวนภายในลวดทองแดง ขณะกระแสสลับไหลผ่าน	14
2.12 ลักษณะของความหนาผิวหนังกระแสของขดลวดทองแดง (SKIN DEPTH)	15
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ	17
2.14 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง	18
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	34
3.2 ต้นแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	35
3.3 ขนาดต้นแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	35
3.4 ออสซิลโลสโคป	36
3.5 ไอโซเลท	37
3.6 โพรบวัดกระแส	37
3.7 แอมป์มิเตอร์	37
3.8 วัดคัมมิเตอร์	38
3.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้า	38
3.10 แอล ซี อาร์ มิเตอร์	38
3.11 การทดสอบเปิดวงจรของหม้อแปลง ไฟฟ้าความถี่สูง	39
3.12 การทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลง ไฟฟ้าความถี่สูง	40
3.13 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1	44

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1.....	45
3.15 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2.....	46
3.16 ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2.....	46
3.17 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3.....	47
3.18 ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3.....	48
4.1 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ.....	50
4.2 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ.....	50
4.3 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1.....	52
4.4 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1.....	53
4.5 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2.....	54
4.6 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2.....	54
4.7 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3.....	55
4.8 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3.....	55
4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง.....	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer) เป็นอุปกรณ์สำคัญในแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง (Switching Power Supply) การปรับปรุงหรือพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง นับเป็นงานที่ทำนายของทั้งบริษัทผู้ผลิตและนักวิจัยทางด้านนี้ เพราะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายโดยตรง และทำให้บริษัทอุตสาหกรรมในประเทศไทยต้องปรับตัวอย่างมาก ดังนั้นการผลิตสินค้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็เป็นอีกหนทางหนึ่งในการแข่งขันทางการค้า

โดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในท้องตลาดจะมีประสิทธิภาพต่ำ (เน้นราคาถูก) ส่งผลให้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าค่อนข้างมากและยังทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ารวมถึงค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายมากขึ้นทั้งๆที่การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ายังคงมีประสิทธิภาพเท่าเดิม สำหรับโครงการนี้จะสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นก็คือการลดการสูญเสีย โดยการลดการสูญเสียแกนเหล็ก การสูญเสียของตัวนำ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น โดยการปรับโครงสร้างของแกนเหล็กและขดลวด ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
- 2) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง 1 เฟส ขนาด 24 โวลต์แอมป์ (VA) 12 โวลต์ (V)
- 2) ปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าให้สูงขึ้นอย่างน้อย 2 เปอร์เซ็นต์

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ศึกษาหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ศึกษาวิธีการออกแบบและพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

รายละเอียด	พ.ศ. 2558					พ.ศ. 2559						
	ศ.ค.	ก.ย.	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1) ศึกษาหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	↔											
2) ศึกษาวิธีการออกแบบและพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง			↔									
3) ออกแบบและพันหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงต้นแบบ					↔							
4) ทดสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง								↔				
5) จัดทำรูปเล่มและแก้ไขข้อผิดพลาดของปริญญาานิพนธ์										↔		
6) นำเสนอปริญญาานิพนธ์												↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
- 2) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงได้

1.6 งบประมาณ

- | | |
|----------------------------------|------------------|
| 1) ค่าอุปกรณ์ในการทำโครงงาน | 500 บาท |
| 2) จัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์ | 500 บาท |
| รวมเงินทั้งสิ้น(หนึ่งพันบาทถ้วน) | <u>1,000 บาท</u> |

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Type of Transformer)

การจำแนกชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถจำแนกได้โดยยึดชนิดแกนของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวจำแนก โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้[1]

2.1.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก (Iron Core Transformer)

หม้อแปลงนี้จะใช้แผ่นเหล็กซ้อนหลายๆแผ่น ส่วนใหญ่จะใช้รูปทรงตัว E กับตัว I ประกอบกันเป็นแกนซึ่งส่วนใหญ่จะใช้งานทั่วไปที่มีความถี่ช่วง 50 ถึง 70 เฮิร์ตซ์ เช่น หม้อแปลงในงานส่งกำลังไฟฟ้าหรือหม้อแปลงแปลงแรงดันไฟฟ้าตามบ้านเป็นแรงดันต่ำๆตามที่ต้องการ หม้อแปลงชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด [1]



รูปที่ 2.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก[1]

2.1.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core Transformer)

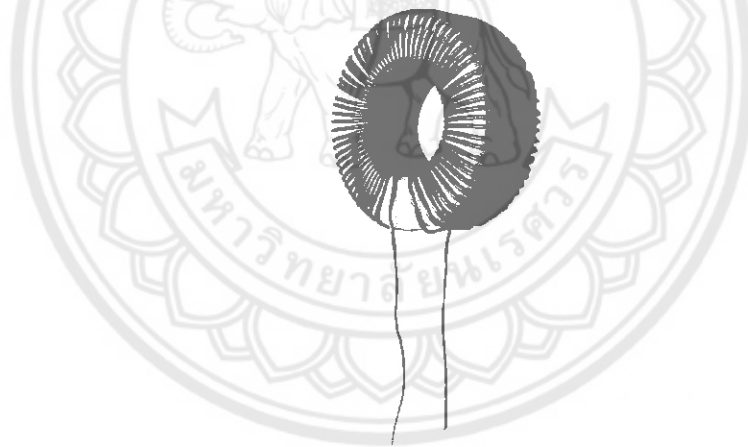
หม้อแปลงชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานที่มีความถี่สูงจนถึง 300 กิโลเฮิร์ตซ์ เช่น ในเครื่องรับ เครื่องส่งวิทยุหรือในวงจรสวิตซ์ซึ่งเพราะไม่สามารถใช้หม้อแปลงชนิดแกนเหล็กได้[1]



รูปที่ 2.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์[1]

2.1.3 หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ (Air Core Transformer)

หม้อแปลงชนิดนี้จะใช้ในงานความถี่สูงมากๆ เช่น ในเครื่องรับ เครื่องส่งวิทยุ ความถี่สูง เพราะไม่สามารถใช้หม้อแปลงชนิดอื่นได้เนื่องจากจะเกิดความสูญเสียอย่างมาก [1]



รูปที่ 2.3 หม้อแปลงแกนอากาศ[1]

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer :HFT)[2]

2.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงมีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ แกนเหล็ก ขดลวดตัวนำ บอบบี้และเทปฉนวน

1) แกนเหล็ก

แกนเหล็กชนิดแกนเฟอร์ไรต์เป็นแกนเหล็กชนิดอัดผง เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งทำหน้าที่แยกอนุภาคต่างๆออกจากกัน นอกจากนั้นแกนเฟอร์ไรต์จะมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงานได้ดีจึงนิยมใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำ

2) ขดลวด

การพันขดลวดทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงนั้นปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบี้น ส่วนขนาดของลวดทองแดงนั้นจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ

3) บอบบี้น

บอบบี้นจะทำจากพลาสติกชนิดไม่ติดไฟและทนความร้อนได้สูง ส่วนใหญ่บอบบี้นจะถูกออกแบบให้มีที่ปักขดลวดเพื่อความสะดวกในการพันขดลวดทองแดงและยังสามารถป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเหล็กได้อีกด้วย

4) เทปฉนวน

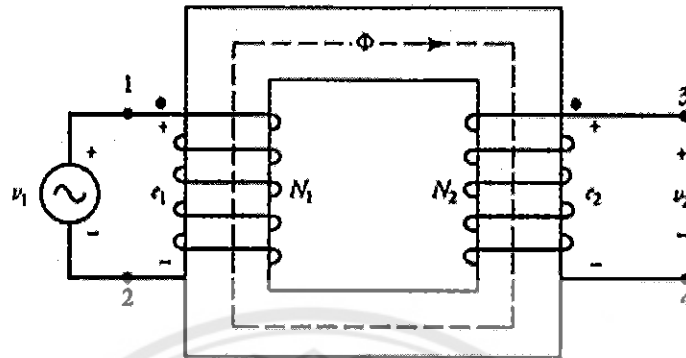
เทปฉนวนมีหน้าที่หลักในการแยกระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ เทปฉนวนอาจจะเป็นพวกโพลีเอสเตอร์ (Polyester) หรือ ไมลาร์ (Mylar) ที่มีความหนาในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร

2.2.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงคือหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ กล่าวคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมาจะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อสนามแม่เหล็กตัดผ่านตัวนำก็จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กและความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก

ในกรณีนี้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีการต่อโหลด (ขดลวดด้านทุติยภูมิไม่มีการต่อโหลด) เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้า (v_1) เข้าไปที่ขดลวดปฐมภูมิ พบว่าขดลวดปฐมภูมิสามารถสร้างเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งไหลผ่านตามแกนเหล็ก ส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ขดลวดปฐมภูมิมิค่าเป็น (e_1) และมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้า (v_1) ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$v_1 = e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.4 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติขณะไม่มีโหลด[3]

เมื่อ λ_1 คือ เส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งขดลวดด้านปฐมภูมิ N_1 และค่าเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้า (v_1) ดังรูปที่ 2.1 เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านไปตามแกนเหล็ก โดยมีทิศทางตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กเชื่อมโยงขดลวดที่เกิดขึ้น

เส้นแรงแม่เหล็กในแกนที่เชื่อมโยงไปทางด้านทุติยภูมิจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำ (e_2) ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันที่ขั้ว (v_2) โดยสามารถเขียนสมการเป็น

$$v_2 = e_2 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างปริมาณด้านปฐมภูมิต่อด้านทุติยภูมิจะได้

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.3)$$

2.2.3 ลักษณะการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

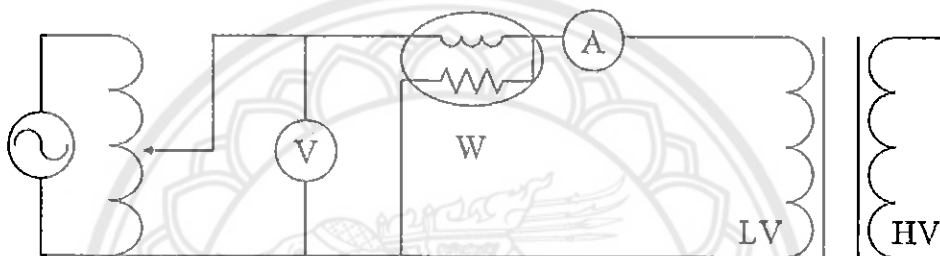
หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบากว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแกนเหล็ก นิยมใช้ในงานที่มีกำลังงานตั้งแต่ 20 วัตต์ขึ้นไป

2.3 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit Test) และการทดสอบลัดวงจร (Short Circuit Test) โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้[2, 4]

2.3.1 ทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit Test)

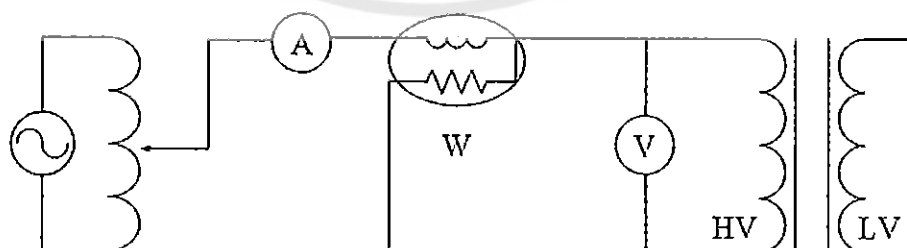
การทดสอบเปิดวงจรเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในแกนตัวนำแม่เหล็ก ซึ่งการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะกระทำโดยการเปิดวงจรทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงและจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.5 การทดสอบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง[3]

2.3.2 การทดสอบลัดวงจร (Short Circuit Test)

การทดสอบลัดวงจรเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในขดลวดตัวนำ ซึ่งการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะกระทำโดยการลัดวงจรทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเข้าไปทางด้านไฟฟ้าแรงต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.6 การทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง[3]

2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer Design)

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง สามารถทำการออกแบบได้ 5 ส่วน คือ ขนาดแกนเหล็ก เบอร์ลวดปฐมภูมิ เบอร์ลวดทุติยภูมิ จำนวนรอบปฐมภูมิและจำนวนรอบทุติยภูมิ[2]

2.4.1 ขนาดแกนเหล็ก

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงใช้แกนเหล็กชนิดแกนเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีขนาดมาตรฐานในการผลิตและนำมาจำหน่ายเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกซื้อแกนเฟอร์ไรท์ในขนาดต่างๆได้ตามต้องการ ดังนั้นในส่วนของการออกแบบแกนเหล็กจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้ที่จะเลือกซื้อแกนให้มีขนาดเหมาะสมกับกำลังงานที่ต้องใช้

2.4.2 เบอร์ลวดปฐมภูมิ

การเลือกขนาดของลวดปฐมภูมิจะพิจารณาจากค่าที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิว่ามีขนาดเท่าไรแล้วจึงนำค่ากระแสที่คำนวณได้ไปเลือกเบอร์ลวดปฐมภูมิที่ทนต่อกระแสดังกล่าวได้ โดยสามารถคำนวณกระแสในขดลวดปฐมภูมิได้จากสมการ (2.4)

$$I_1 = \frac{VA}{V_1} \quad (2.4)$$

เมื่อ I_1 คือ กระแสในขดลวดปฐมภูมิ (A)

VA คือ กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (VA)

V_1 คือ แรงดันไฟฟ้าค่านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (V)

2.4.3 เบอร์ลวดทุติยภูมิ

การเลือกขนาดของลวดทุติยภูมิจะพิจารณาจากค่ากระแสที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิว่ามีขนาดเท่าไรแล้วจึงนำค่ากระแสที่คำนวณได้ไปเลือกเบอร์ลวดทุติยภูมิที่ทนต่อกระแสดังกล่าวได้ โดยสามารถคำนวณกระแสในขดลวดทุติยภูมิได้จากสมการ (2.5)

$$I_2 = \frac{VA}{v_2} \quad (2.5)$$

เมื่อ I_2 คือ กระแสในขดลวดทุติยภูมิ (A)

VA คือ กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (VA)

v_2 คือ แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (V)

2.4.4 จำนวนรอบลวดปฐมภูมิ

การคำนวณหาจำนวนรอบในการพันของลวดปฐมภูมิ สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กและความถี่ไฟฟ้าได้ดังสมการ (2.6)

$$n_1 = \sqrt{\frac{LI_g 10^8}{0.4\pi A_c}} \quad (2.6)$$

เมื่อ n_1 คือ จำนวนรอบในการพันของลวดปฐมภูมิ (รอบ)

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของลวดปฐมภูมิที่วงจรต้องการ (μH)

I_g คือ ระยะช่องว่างอากาศระหว่างแกนเหล็ก (cm)

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (cm^2)

2.4.5 จำนวนรอบลวดทุติยภูมิ

การคำนวณหาจำนวนรอบในการพันของลวดทุติยภูมิ สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการพันของลวดปฐมภูมิและจำนวนรอบในการพันของลวดทุติยภูมิได้ดังสมการ (2.7)

$$n_2 = \frac{v_2}{v_1} n_1 \quad (2.7)$$

- เมื่อ n_2 คือ จำนวนรอบในการพันของลวดทุติยภูมิ (รอบ)
- v_2 คือ แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (V)
- n_1 คือ จำนวนรอบในการพันของลวดปฐมภูมิ (รอบ)
- v_1 คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (V)

2.5 กำลังสูญเสียและประสิทธิภาพในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (Loss Power And Performance in High Frequency Transformer)

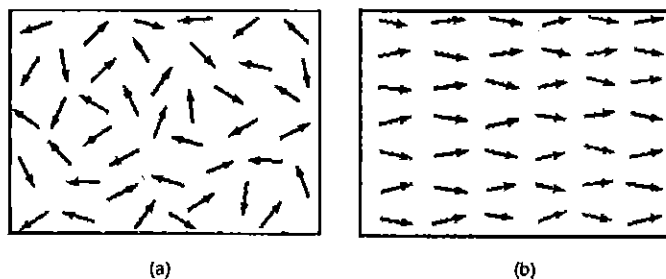
กำลังสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะพิจารณา 2 ส่วนสำคัญ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper Loss) เมื่อพิจารณาจะมีสาเหตุที่เกี่ยวข้องดังนี้ [4]

2.5.1 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss; P_c)

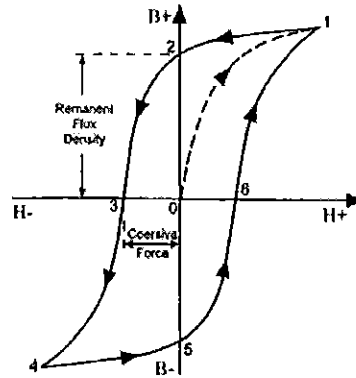
กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก แบ่งการสูญเสียออกเป็น 2 แบบ คือ ความสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Loss) และความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy-Current Loss) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Loss)

เมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกที่กระทำกับวัสดุแม่เหล็กเกิดการกลับทิศทางโดยอาจจะเกิดการลดค่าลงจนกลายเป็นศูนย์ วัสดุแม่เหล็ก (Ferro Magnetism) จะยังคงมีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง (Residual Flux : Φ_{res}) อยู่ภายใน เนื่องจากการจัดเรียงตัวกัน (Magnetic Dipole Moment) ของอะตอมของวัสดุแม่เหล็กดังกล่าว ยังคงเป็นโดเมนที่มีความเป็นระเบียบและมีทิศทางขนานกัน จึงยังคงอำนาจแม่เหล็กอ่อนๆเอาไว้ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงแมกเนติกไดโพลในโดเมนของวัสดุแม่เหล็ก[4]



รูปที่ 2.8 วงรอบฮิสเตอร์ซิส[4]

จากเส้นโค้งอิมิตัวของวัสดุแม่เหล็กจะพบว่า วงรอบปิดที่เกิดขึ้นจากการกลับทิศทางของสนามแม่เหล็ก เรียกว่าวงรอบฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis Loop) ดังรูปที่ 2.5 พื้นที่ที่อยู่ภายในวงรอบฮิสเตอร์ซิสนี้ คือกำลังงานที่สูญเสียในรูปของฮิสเตอร์ซิสนั่นเอง วงรอบฮิสเตอร์ซิสจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปที่ขดลวด จะทำให้เกิดวงรอบปิดนี้ขึ้นทุกๆรอบการทำงาน โดยขนาดของวงรอบฮิสเตอร์ซิสจะขึ้นอยู่กับความถี่ของไฟที่ป้อนเข้าไป ถ้าใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะทำให้เกิดการสูญเสียฮิสเตอร์ซิสสูงกว่าความถี่ต่ำ กำลังงานสูญเสียสามารถหาได้จากสมการของสแตนเมทซ์ดังต่อไปนี้

$$P_{\text{hys}} = n_h B_{\text{max}}^{1.6} A l f \quad (2.8)$$

เมื่อ n_h คือ ค่าคงที่ที่แปรตามธรรมชาติของวัสดุที่ทำแกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้า

$A l$ คือ ปริมาตรของแกนเหล็ก (m³)

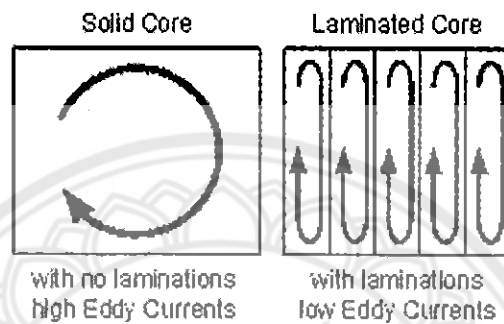
B_{max} คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (T)

f คือ ความถี่ของกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Hz)

2) ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy-Current Loss)

ความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน เกิดขึ้นเนื่องจากมีสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาตัดผ่าน จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (EMF) ครอบคลุมขดลวด และสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำบริเวณแกนเหล็กเช่นกัน ทำให้เกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็กอันเนื่องมาจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้น กระแสเหนี่ยวนำนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะหมุนวนใน

แกนเหล็กล้อมรอบสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำขึ้นมา เรียกว่ากระแสหมุนวน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 กำลังสูญเสียในรูปของกระแสหมุนวนนี้ทำให้ลดลงได้โดยการลดขนาดของกระแสหมุนวนที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้น โดยการสร้างแกนเหล็กด้วยแผ่นวัสดุแม่เหล็กซ้อนกันเป็นชั้นๆ (Lamination) ทำให้กระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นถูกจำกัดอยู่ในชั้นย่อยนั้นๆ ช่วยลดกำลังงานสูญเสียดังกล่าวได้ แต่สำหรับความถี่สูงตั้งแต่ 100kHz ขึ้นไป วิธีนี้ไม่สามารถใช้ได้ ในการทำแกนเหล็กหม้อแปลงและการสูญเสียในแกนเหล็ก หาได้โดยการทดสอบในสภาวะเปิดวงจร



รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก[4]

โดยที่ กำลังงานสูญเสียสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$P_{\text{eddy}} = n_e B_{\text{max}}^2 A l f^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ n_e คือ ค่าคงที่แปรตามธรรมชาติของวัสดุที่ทำแกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้า

Al คือ ปริมาตรของแกนเหล็ก (m³)

B_{max} คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (T)

f คือ ความถี่ของกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Hz)

จากกำลังสูญเสียทั้ง 2 ส่วนร่วมกันนี้ จะได้กำลังงานสูญเสียรวมในแกนเหล็กดังนี้

$$P_e = P_{\text{hys}} + P_{\text{eddy}} \quad (2.10)$$

$$= n_h B_{\text{max}}^{1.6} A l f + n_e B_{\text{max}}^2 A$$

$$= Alf(n_h B_{max}^{1.6} + n_c B_{max}^2 f)$$

2.5.2 กำลังงานสูญเสียที่ขดลวดตัวนำ (Copper Loss ; P_{cu})

หม้อแปลงไฟฟ้ามีส่วนประกอบ 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ แกนเหล็กและขดลวด โดยขดลวดจะทำหน้าที่เป็นตัวนำให้กระแสไหลผ่าน แต่ถ้ามองในอีกมุมหนึ่งจะเห็นว่าขดลวดจะมีค่าความต้านทานในตัวมันเอง ดังสมการ (2.11)

$$R_{coil} = \frac{\rho l_{coil}}{A_{coil}} \quad (2.11)$$

เมื่อ R_{coil} คือ ค่าความต้านทานของขดลวด (Ω)

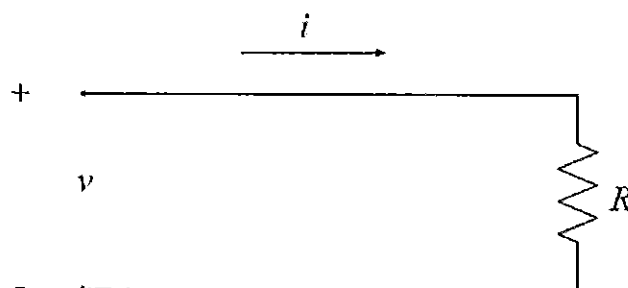
ρ คือ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของขดลวด ($\Omega \cdot m$)

A_{coil} คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวด (m^2)

l_{coil} คือ ความยาวของขดลวด (m)

กฎของโอห์มกล่าวว่า แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ซึ่งค่าคงที่การแปรผันจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน ดังสมการ (2.12)

$$v = Ri \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.10 แสดงสัญลักษณ์วงจรความต้านทาน[4]

ในความเป็นจริง ตัวต้านทานในทางปฏิบัติมักจะเป็นตัวต้านทานไม่เชิงเส้น เนื่องจากตัวนำทั้งหมดมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น

จากสมการ (2.12) และรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า ถ้า $i > 0$ กระแสไหลตามทิศทางของลูกศรแล้ว จะได้ว่า $v > 0$ เพราะว่าตัวต้านทานเป็นองค์ประกอบแบบดูดกลืนพลังงาน ดังนั้นกระแสจะไหลเข้าขั้วที่มีศักย์สูงกว่าแล้วไหลออกจากขั้วที่มีศักย์ต่ำกว่า

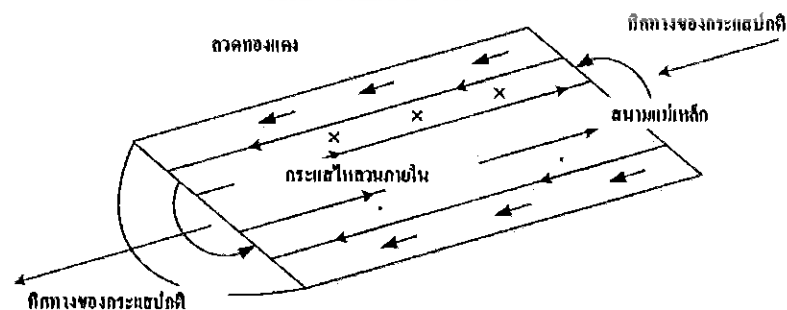
เนื่องจากประจุเคลื่อนที่จากขั้วที่มีศักย์สูงไปยังขั้วที่มีศักย์ต่ำกว่าผ่านตัวต้านทานพลังงานที่สูญเสียเท่ากับ $q \times v$ ซึ่งจะกลายเป็นความร้อนสูญเสียออกนอกระบบไป อัตราของการกระจายพลังงานในรูปของความร้อน อันเป็นนิยามของกำลังงานคือ

$$p(t) = v(t)i(t) = Ri^2(t) = \frac{v^2(t)}{R} \quad (2.13)$$

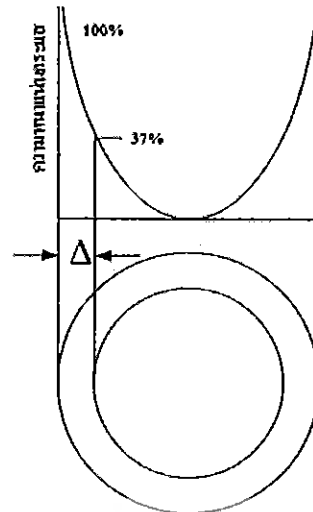
จากสมการ (2.13) พบว่าพลังงานที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานเป็นพลังงานที่สูญเสียภายในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้านั่นเอง

1) ผลจากการนำกระแสแค่เพียงที่ผิวของขดลวดทองแดง (Skin Effect)

ขดลวดทองแดงเมื่อมีกระแสสลับไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กไหลวนที่ภายในและรอบๆตัวมัน สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy-Current) ขึ้นมาภายในตัวขดลวดทองแดง การไหลของกระแสไหลวนนี้จะทำให้กระแสปกติไหลได้เฉพาะที่ผิวของขดลวดทองแดงดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.11 ลักษณะของกระแสไหลวนภายในขดลวดทองแดง ขณะกระแสสลับไหลผ่าน[2]



รูปที่ 2.12 ลักษณะของความหนาแน่นกระแสของขดลวดทองแดง (Skin Depth)[2]

ปริมาณของกระแสปกติจะยังคงเท่าเดิม แต่ความหนาแน่นของกระแสในลวดทองแดงที่ใกล้ผิวจะมีค่าสูงกว่า เพราะกระแสส่วนใหญ่ไหลได้เฉพาะที่ผิวเท่านั้น การไหลของกระแสไหลวนจะเป็นการจำกัดพื้นที่นำกระแสของลวดทองแดงและมีผลเหมือนพื้นที่นำกระแสของขดลวดทองแดงลดลงจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของมัน

จากผิวของลวดทองแดงลึกลงมาในเนื้อลวดทองแดงจนถึงจุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแสมีค่าลดลงเหลือเพียง 37 เปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นกระแสที่ผิวนั้น เราเรียกระยะนี้ว่าเป็นความหนาแน่นนำกระแสของขดลวดทองแดง (Skin Depth) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ (2.9) ความหนาแน่นของผิวนำกระแสขึ้นอยู่กับความถี่และสำหรับลวดทองแดงที่ 100 อนุศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่นของผิวตัวนำกระแสจะมีค่า

$$\Delta = \frac{75}{\sqrt{f}} \quad (2.14)$$

เมื่อ Δ คือ ความหนาแน่นของผิวตัวนำ (mm)

f คือ ความถี่ของกระแส (H_z)

2) ผลจากปรากฏการณ์ความใกล้เคียง (Proximity Effect)

ผลของปรากฏการณ์ความใกล้เคียงทางผิวของตัวนำทองแดงจะเกิดในตัวนำทองแดงทุกตัวที่มีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลผ่าน ในขณะที่กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปรากฏการณ์ความ

ใกล้เคียง จะเกิดจากตัวนำทองแดงที่ใกล้ชิดกันตั้งแต่สองตัวขึ้นไป นอกจากนั้นสำหรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากผลของปรากฏการณ์ทางผิว จะมีผลเพียงแต่ทำให้ค่าความหนาแน่นของกระแสที่อยู่ในบริเวณผิวของตัวนำทองแดงเท่านั้น แต่จะไม่มีผลเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในตัวนำแต่อย่างใด ขณะที่สำหรับกำลังสูญเสียไฟฟ้าเนื่องจากปรากฏการณ์ความใกล้เคียง ค่าของกระแสไหลวนในสายตัวนำทองแดงจะเพิ่มอย่างเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponentially Increase) เมื่อจำนวนชั้นของขดลวดทองแดงเพิ่มมากขึ้น

2.5.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Performance)

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (η) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออก (Output Power; P_o) ต่อกำลังไฟฟ้าขาเข้า (Input Power; P_{in}) ซึ่งจะต้องมีหน่วยเดียวกันดังนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

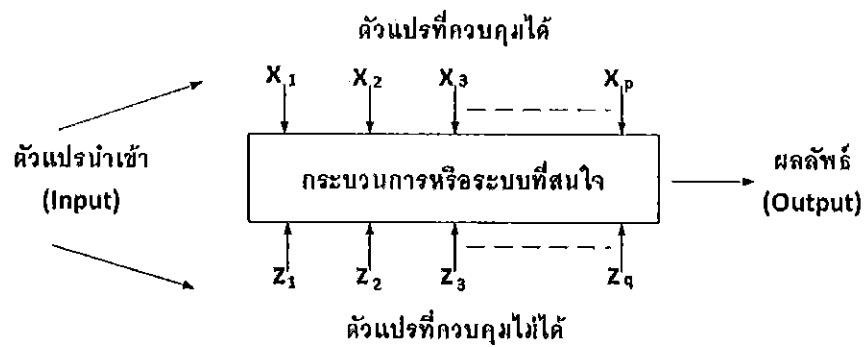
$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} = 1 - \frac{P_{loss}}{P_{in}} \quad (2.15)$$

เมื่อ P_o คือ ผลต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด

P_{loss} คือ ผลรวมระหว่างความสูญเสียในขดลวดและความสูญเสียในแกนเหล็ก

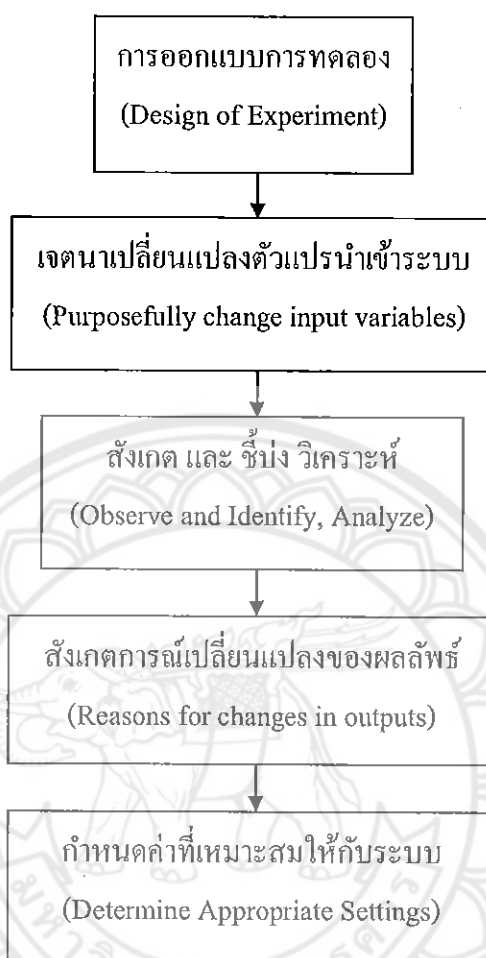
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการออกแบบการทดลอง[5-6]

วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) คือการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ได้ (Output or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้” (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ” (Uncontrollable or Noise Variables (Factors)) ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ[5]

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักการแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ควบคุม (ซึ่งในบางระบบอาจพิจารณาให้เป็น “ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้”) อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ โดยสรุปในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญดังสรุปในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.14 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง[5]

ดังนั้นในภาพรวมการออกแบบการทดลองจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของ การออกแบบกระบวนการในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ใน ระบบหรือกระบวนการ

การออกแบบการทดลองประกอบด้วยวิธีการทดลองทั้งหมด 8 วิธี ประกอบไปด้วย

2.6.1 การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Experiment)

การใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบนั้น ผู้ทดลองสามารถศึกษาผลกระทบ ของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปได้ทุกกรณีที่เป็นไปได้ นั่นคือ สามารถศึกษาผลกระทบหลัก (Main Effect) ซึ่งเป็นผลกระทบของปัจจัยเดี่ยว (Main Factors) และผลกระทบระหว่างปัจจัย (อันตรกิริยา หรือ Interaction Factors) เช่น กรณีศึกษา 3 ปัจจัย (A, B และ C) แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 2 ระดับ การ ทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสามารถศึกษาผลกระทบปัจจัยได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดผลกระทบทั้งหมดที่เป็นไปได้สำหรับการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล

ผลกระทบหลัก (Main Effect)	อันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย (2-way Interactions)	อันตรกิริยาของ 3 ปัจจัย (3-way Interactions)
A	AB	ABC
B	AC	
C	BC	

การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปนั้น จำนวนวิธีปฏิบัติทั้งหมดที่เป็นไปได้ (จำนวนการทดลองโดยไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับ a^k โดยที่ a คือจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยที่ศึกษา k คือจำนวนปัจจัย ในกรณีศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 2 ระดับ จำนวนของวิธีปฏิบัติทั้งหมด คือ 2^3 จะเรียกแผนการทดลองว่า การทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล (2^3 Full Factorial Experimental) สามารถดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

ในกรณีทำการทดลอง 3 ระดับ 3 ปัจจัย หรือแผนการทดลอง 3^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป จำนวนการทดลองขั้นต่ำสุด (จำนวนวิธีปฏิบัติทั้งหมดที่เป็นไปได้) เท่ากับ 3^3 หรือ 27 การทดลอง เป็นการทดลองที่สมดุลทั้งแนวตั้งและแนวนอน (Balance Vertically and Horizontally) แผนการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แผนการทดลอง 3^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป

Run	Factor		
	A	B	C
1	+	+	+
2	+	+	0
3	+	+	-
4	+	0	+
5	+	0	0
6	+	0	-
7	+	-	+
8	+	-	0
9	+	-	-
10	0	+	+
11	0	+	0
12	0	+	-
13	0	0	+
14	0	0	0
15	0	0	-
16	0	-	+
17	0	-	0
18	0	-	-
19	-	+	+
20	-	+	0
21	-	+	-
22	-	0	+
23	-	0	0
24	-	0	-
25	-	-	+
26	-	-	0
27	-	-	-

สรุปได้ว่า ข้อดีของการทำการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ คือ

- 1) ความเป็นออร์ทอกอนัล (Orthogonality)
- 2) ไม่มีโครงสร้างที่ซ้ำซ้อน (No Aliased Structure)
- 3) ศึกษาได้ทั้งปัจจัยหลัก (Main Factors) และปัจจัยร่วม/อันตรกิริยา (Interaction Factors) ได้ทั้งหมด

อย่างไรก็ตามแผนการทดลองนี้มีข้อเสียที่เห็นได้ชัดเจน คือ ค่าใช้จ่ายสูง ต้องใช้เวลาและทรัพยากรมาก เนื่องจากจำนวนการทดลองที่ใช้แปรผันตามจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนปัจจัยที่ศึกษา โดยทั่วไปเมื่อใช้การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ผู้ทดลองจะกำหนดระดับปัจจัยไม่เกิน 3 ระดับ กล่าวคือ จะใช้การทดลอง 2^k หรือ 3^k เท่านั้น

2.6.2 การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment)

นิยมใช้ในกรณีที่ผู้ทดลองมีเวลา งบประมาณ และทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองจำกัด การทดลองแฟกทอเรียลทำให้เสียเวลา แต่ต้องใช้ในการทดลองจำนวนมาก จึงต้องทำการลดจำนวนการทดลองโดยลงเพียงบางส่วน โดยทั่วไปนิยมใช้ศึกษาที่ 2 ระดับ กรณีความสัมพันธ์แผนการทดลอง 2^{k-p} หรือ 3^{k-p} แฟกทอเรียลบางส่วน รูปแบบการทดลองเป็นแบบ Orthogonal ซึ่งผู้ทดลองสามารถศึกษาผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมได้ตามต้องการ (แต่ไม่ทั้งหมด) ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แผนการทดลอง 2^{4-1} แฟกทอเรียลบางส่วน

Run	Factors						
	A	B	C	AB	AC	BC	D=ABC
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

กล่าวโดยสรุป การทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วนมีข้อดีคือ ช่วยลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองเนื่องจากใช้การทดลองที่ลดรูปลงจากการทดลองเต็มรูปแบบ ข้อเสียในการทดลองนี้

คือ การตีความผลจะซับซ้อนขึ้นเนื่องจากการทดลองมีการเกิดโครงสร้างซ้ำซ้อนของผลกระทบ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.5 จึงจำเป็นที่ผู้ทดลองจะต้องเลือกศึกษาโดยกำหนดค่า Resolution (รายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ) ที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังแสดงสรุปได้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างซ้ำซ้อนของผลกระทบ 2^{4-1} แฟกทอเรียลบางส่วน

Effect	Alias
A	BCD
B	ACD
C	ABD
D	ABC
AB	CD
AC	BD
AD	BC
BC	AD
BD	AC
CD	AB
ABC	D
ABD	C
ACD	B
BCD	A
ABCD	1

ตารางที่ 2.6 แนวการกำหนดค่า Resolution สำหรับแผนการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

ความละเอียด	สรุปรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ
III	ผลกระทบหลัก (Main Effect) ไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลัก แต่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย จึงเหมาะสำหรับการคัดปัจจัยในการทดลองทั้งในกรณีที่มีปัจจัยในการทดลองจำนวนมาก
IV	ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย แต่ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยซ้ำซ้อนกัน จึงเหมาะสำหรับใช้ศึกษาปัจจัย

ความละเอียด	สรุปรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ
	หลัก (Main Effect) และสามารถนำผลไปสร้างสมการพยากรณ์ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการโดยใช้ Resolution V ได้
V	ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยไม่ซ้ำซ้อนกัน จึงเหมาะสำหรับใช้ศึกษาปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย เหมาะสมที่สุดในการนำไปสร้างสมการพยากรณ์ในกรณีที่ไม่สนใจผลกระทบตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป

*การออกแบบ Resolution II เรียกว่า “Saturated Design” ซึ่งไม่ใช้การออกแบบการทดลองเนื่องจากผลกระทบหลักซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลัก จึงไม่สามารถศึกษาปัจจัยใดๆได้เลย

ข้อเสียอีกประการหนึ่งสำหรับการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน คือ การลดจำนวนการทดลองทำได้ในสัดส่วนของการยกกำลังของระดับปัจจัยที่ใช้ เช่น การทดลอง 7 ปัจจัย 2 ระดับ

การทดลอง 2^{k-p} เมื่อ

$$p = 1 \text{ จำนวนการทดลองลดลงเหลือ } \frac{2^7}{2} = \frac{1}{2} (2^7) = 64 \text{ การทดลอง}$$

$$p = 2 \text{ จำนวนการทดลองลดลงเหลือ } \frac{2^7}{2^2} = \frac{1}{4} (2^7) = 32 \text{ การทดลอง}$$

$$p = 3 \text{ จำนวนการทดลองลดลงเหลือ } \frac{2^7}{2^3} = \frac{1}{8} (2^7) = 16 \text{ การทดลอง}$$

2.6.3 การออกแบบ Foldover (Foldover Design)

ในกรณีที่ผู้ทดลองทำการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน Resolution III (R_{III}) เพื่อประหยัดจำนวนการทดลองและพบว่า ผลกระทบร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction) ของ 2 ปัจจัย ทำให้การวิเคราะห์ซับซ้อนขึ้น เนื่องจากซ้ำซ้อนกับผลกระทบปัจจัยหลัก การทดลองสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนการทดลองโดยใช้ Code ตรงข้าม (-1 > +1 หรือ +1 > -1) เข้าไปร่วมกับแผนการทดลองเริ่มต้น และเพิ่มตัวแปรปัจจัยใหม่ 1 ปัจจัย เพื่อใช้พิจารณาผลต่างระหว่างแผนการทดลองเริ่มต้นกับส่วนที่เพิ่มใหม่

แผนการทดลองทั้งหมดเรียกว่า “Foldover Design” ซึ่งเป็นการทดลอง Resolution IV และทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบหลักได้อย่างละเอียด โดยไม่เกิดความซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัย (2-way interaction) ดังตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1

พิจารณาการทดลอง 2^{3-1}_{III} แฟกทอเรียลบางส่วน (I=ABC) จงทำการปรับเป็น Resolution IV โดยใช้ Foldover Design

ตารางที่ 2.7 2^{3+1}_{III} แฟกทอเรียลบางส่วน

ผลการทดลอง (Run)	ปัจจัย		
	A	B	C=AB
1	-	-	+
2	-	+	-
3	+	-	-
4	+	+	+

ในการทดลองแบบ Foldover ทำได้โดยเพิ่มการทดลองที่ 5-8 โดยใช้เครื่องหมายตรงข้ามกับการทดลองที่ 1-4 ตามลำดับ จากนั้นเพิ่ม column (สดมภ์) ของปัจจัย D ($D = ABC$ หรือ $I = -ABCD$) เพื่อใช้วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างการทดลองเริ่มต้น (Run 1-4) และการทดลองเพิ่มเข้าไป (Run 5-8)

ตารางที่ 2.8 Foldover Design

ผลการทดลอง (Run)	ปัจจัย			
	A	B	C	D = -ABC
1	-1	-1	+1	-1
2	-1	+1	-1	-1
3	+1	-1	-1	-1
4	+1	+1	+1	-1
5	+1	+1	-1	+1
6	+1	-1	+1	+1
7	-1	+1	+1	+1
8	-1	-1	-1	+1

9199296
20 ต.ค. 2560

ป
ภ 698 ก
2558



2.6.4 การออกแบบ Plackett-Burman (Plackett-Burman Design)

แผนการทดลองนี้ถูกพัฒนาขึ้น โดย Plackett และ Burman ในปี ค.ศ. 1946 (Taguchi และ Konishi (1987)) เพื่อใช้ในการคัดเลือกปัจจัยออกบางส่วน (Screening Factors) เพื่อลดจำนวนปัจจัยลงเหลือเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ (มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง) เพื่อให้สามารถทำการทดลองได้ เนื่องจากข้อจำกัดของการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (2^{k-p} หรือ 3^{k-p} จำนวนการทดลอง (n) โดยที่ไม่ทดลองซ้ำ จะเปลี่ยนแปลงลงไปในสัดส่วนของกำลังระดับ (2^p หรือ 3^p) นั่นคือ การทดลอง 7 ปัจจัย 2 ระดับ

$$n = 2^{k-p} = 2^{7-p}$$

เมื่อ $p = 0, 1, 2, \dots, 6$

ดังนั้น $n = 128, 64, 32, \dots, 4$

แต่ในกรณีของ Plackett-Burman Design อาศัยหลักการของเมตริกซ์ Hadamard ซึ่งจำนวนการทดลองจะเปลี่ยนไปในเทอมของ 4 นั่นคือ 4, 8, 12, 16, 20, 24, ... แต่ละสดมภ์ประกอบด้วยค่า -1 หรือ +1 และจากการนำสดมภ์ทั้งหมด (n - 1) สดมภ์ มีลักษณะสมมูล (เกิดขึ้นในจำนวนครั้งที่เท่ากัน) แบบออร์โทกอนัลเป็นคู่ (Pairwise Orthogonal)

การสร้างแผนการทดลองแบบ Plackett-Burman ทำได้ดังนี้ คือ

1) สร้างเวกเตอร์ของค่าในสดมภ์แรก (column ปัจจัย A) ขนาดเท่ากับ n - 1 โดยที่ n คือจำนวนการทดลองทั้งหมดที่ใช้ในแผนแบบ Plackett-Burman เช่น n = 8 เวกเตอร์ในสดมภ์แรก คือค่า code ของปัจจัย A = (+ + + - + - -)

2) สร้างเวกเตอร์ code สำหรับ column ที่เหลือ โดยการใส่ค่าในแถวที่ n - 1 ของเวกเตอร์ใน column ก่อนหน้าเลื่อนมาเป็นค่าเริ่มต้นในแถวแรก และเลื่อนค่าลงไป 1 ตำแหน่ง นั่นคือ ค่าสุดท้ายของปัจจัย A ในแถวที่ n - 1 จะเท่ากับค่าแรกของปัจจัย B ดังนั้น code ของปัจจัย B = (- + + - + - -) ทำเช่นนี้จนได้ครบทุกสดมภ์

3) เพิ่ม code ของแถวสุดท้ายโดยใส่ค่า “ - “ ทุกสดมภ์ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 Plackett-Burman 8-Run Design

ผลการทดลอง (Run)	ปัจจัย						
	A	B	C	D	E	F	G
1	+	-	-	+	-	+	+
2	+	+	-	-	+	-	+
3	+	+	+	-	-	+	-
4	-	+	+	+	-	-	+
5	+	-	+	+	+	-	-
6	-	+	-	+	+	+	-
7	-	-	+	-	+	+	+
8	-	-	-	-	-	-	-

จะเห็นได้ว่าการทดลองแบบแผนการทดลองแบบ Plackett-Burman นั้น จำเป็นต้องทราบเพียงค่าแวกเตอร์เริ่มต้นขนาด $(n - 1)$ ของปัจจัยเท่านั้น เช่น

กรณี $n = 8$ ค่าแวกเตอร์เริ่มต้นคือ $(+++-- --)$

Plackett-Burman Design เป็นแผนการทดลองที่มี Resolution III ข้อดีที่เห็นได้ชัดเจน คือ การกำหนดจำนวนการทดลองที่จำกัดในการศึกษาได้เป็นจำนวนมากพร้อมๆกัน เช่น การทดลอง 12 ครั้ง ศึกษาได้สูงสุด 11 ปัจจัย แต่เช่นเดียวกับการทดลอง แฟลคทอเรียลบางส่วนหรือการทดลอง แฟลคทอเรียลเต็มรูปแบบที่ไม่เก็บข้อมูลซ้ำ การวิเคราะห์ที่ใช้การคำนวณค่าผลกระทบแทนการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ จำนวนปัจจัยหลักที่ศึกษาได้สูงสุดจะไม่เกิน $(n - 1)$ เสมอ เนื่องจาก Plackett-Burman เป็นการทดลองที่มี Resolution III จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในกรณีที่มีผลกระทบร่วม (อันตรกิริยา) มีนัยสำคัญสูง ข้อสมมติ (Assumption) ที่สำคัญหรือข้อจำกัดในการทดลองนี้ คือ ในกรณีที่มีผลกระทบร่วม ผลกระทบร่วมนั้นต้องไม่มีอิทธิพลที่จะกลบอิทธิพลหลักของปัจจัยหลัก

2.6.5 การทดลองแฟลคทอเรียลบางส่วนและแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์กรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ (Fractional Factorials and Latin Squares For 3-level Design)

การทดลองแฟลคทอเรียลบางส่วน สำหรับศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ (3^{k-p} Fractional Factorial Experiment) เป็นการทดลองที่ค่อนข้างจะซับซ้อน ทั้งในด้านการสร้างแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ เนื่องจากการออกแบบมีการใช้ค่า Corner points และค่ากลางของระดับ รวมกันอยู่เพื่อทำ

ให้สามารถศึกษาแผนการทดลองได้สูงกว่าผลกระทบเชิงเส้น (linear effects) นั่นคือ สามารถศึกษาผลกระทบจากพหุนามกำลังสอง (Quadratic Effects) ตลอดจนผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ แต่ในจำนวนที่จำกัด สรุปได้ว่า เป็นข้อเสียของ 3^{k-p} คือ จำนวนการทดลองที่เป็นสัดส่วนกับจำนวนระดับ $\left(\frac{3^k}{3^p}\right)$ การศึกษาผลกระทบไม่ได้ครบทั้งหมดตามต้องการ และการวิเคราะห์รูปแบบแฟงหรือโครงสร้างซ้ำซ้อนของปัจจัย (Confounding or Aliased Structure) ที่ซับซ้อนกัน วิธีหนึ่งที่จะแก้ข้อเสียหรือข้อจำกัดในการสร้างแผนการทดลองนี้คือ การใช้ Latin Square ในการออกแบบกรณี 3^{k-p} Fractional Factorial ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างแผนการทดลองกรณีศึกษา 3 ปัจจัย และทำการทดลองโดยใช้แผน 3^{k-p}

Factor C	Factor B		
	-1	0	+1
-1	-1	0	+1
0	0	+1	-1
+1	+1	-1	0

*ตัวเลขในตารางคือ code ของปัจจัย A

ตารางที่ 2.11 การใช้ code จาก Latin Square สร้างแผนการทดลอง 3^{k-p} แฟกทอเรียลบางส่วน

Run	Factor		
	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	0	0	-1
3	+1	+1	-1
4	0	-1	0
5	+1	0	0
6	-1	+1	0
7	+1	-1	+1
8	-1	0	+1
9	0	+1	+1

การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่ 3^{k-p} Fractional Factorial เหมาะสำหรับการทดลองที่ปัจจัยเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Factors) เช่น วิธีการทำงาน ประเภทของวัตถุดิบ รุ่นสินค้า เป็นต้น เนื่องจากปัจจัยประเภทนี้จะมีโอกาสไม่บ่อยนักที่จะพบค่าผลกระทบรวม (Interactions) ระหว่างกัน ซึ่งจะแตกต่างจากแผนการทดลองของทาгуชิ (Taguchi Design) ซึ่งค่าของปัจจัยที่ใช้สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 ระดับเพื่อคัดปัจจัยนั้น เป็นได้ทั้งปัจจัยเชิงคุณภาพและปัจจัยเชิงปริมาณ (Qualitative and Quantitative Factors)

2.6.6 การทดลองแบบ Box-Behnken (Box-Behnken Design)

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้มากสำหรับกรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ (3-level design) โดยเฉพาะกรณีที่ต้องการสร้างสมการตัวแบบเมื่อปัจจัยเป็น ปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Factors) เช่น เวลา อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น ลักษณะของการออกแบบวิธี Box-Behnken จะใช้หลักการของ 2^2 การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบวนวกกับจุดกึ่งกลาง ทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ 3^k การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยที่ k คือ จำนวนปัจจัย Box และ Behnken ได้จัดทำตารางสำหรับแผนการทดลองเพื่อใช้กับปัจจัยสูงสุดไม่เกิน 16 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 แผนการทดลอง Box-Behnken กรณี 4 ปัจจัย

Run	A	B	C	D
1	-	-	0	0
2	-	+	0	0
3	+	-	0	0
4	+	+	0	0
5	0	0	-	-
6	0	0	-	+
7	0	0	+	-
8	0	0	+	+
9	0	0	0	0
10	-	0	0	-
11	-	0	0	+
12	+	0	0	-
13	+	0	0	+

Run	A	B	C	D
14	0	-	-	0
15	0	-	+	0
16	0	+	-	0
17	0	+	+	0
18	0	0	0	0
19	-	0	-	0
20	-	0	+	0
21	+	0	-	0
22	+	0	+	0
23	0	-	0	-
24	0	-	0	+
25	0	+	0	-
26	0	+	0	+
27	0	0	0	0

จะเห็นว่าจากแผนการทดลองของ Box-Behnken ไม่ได้พิจารณาจุดมุม (Corner points) ซึ่งอาจจะต้องนำมาใช้พิจารณาในบางกรณี อย่างไรก็ตามผู้ทดลองอาจจะมองว่า การที่แผนการทดลองนี้ไม่มีการพิจารณาจุดมุมเป็นข้อที่น่าสนใจ แต่บางกลุ่มอาจจะมองว่าเป็นข้อด้อย

Box-Behnken Design มีลักษณะเกือบจะเป็น Orthogonal (จำนวนการทดลองแต่ละ combination ทำในจำนวนครั้งที่ไม่เท่ากัน โดยเฉพาะจุด Center points) ข้อดีคือมีค่า Resolution เท่ากับ IV ซึ่งทำให้สามารถศึกษาผลกระทบเชิงเส้น (Linear Effect) ผลกระทบในเชิงเส้นกำลังสอง (Quadratic Effects) และอันตรกิริยาหรือผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (2-Factor Inter-actions) แต่มีข้อเสีย คือ จำนวนครั้งที่ทดลอง (Number of Runs) มีค่ามากและไม่สามารถที่จะลดได้ ไม่ว่าผู้ศึกษาจะสนใจผลกระทบที่เกินกว่าผลกระทบเชิงเส้นหรือไม่ นอกจากนี้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพด้อยกว่าการออกแบบ การทดลองแบบ Central Composite Design เมื่อจำนวนปัจจัยที่ศึกษามีจำนวนมากกว่า 4 ปัจจัยขึ้นไป

2.6.7 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite (Central Composite Designs; CCD)

การออกแบบแผนการทดลองโดยวิธี Central Composite นี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาหรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลีโนเมียลดีกรี 2 (Second-order or Quadratic Model) จากงานวิจัยต่างๆพบว่า CCD นั้นมีความยืดหยุ่น (very flexible) ในการใช้งาน และมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่นที่ใช้ในการศึกษาตัวแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2

ตารางที่ 2.13 แผนการทดลอง Central Composite Design กรณีศึกษา 3 ปัจจัย

ก) CCD $k=3$ ใช้ในการทดลอง 2^3

Run	A	B	C	
1	-	-	-	F
2	-	-	+	
3	-	+	-	
4	-	+	+	
5	+	-	-	
6	+	-	+	
7	+	+	-	
8	+	+	+	
9	0	0	0	C
10	0	0	0	
11	0	0	0	
12	0	0	0	
13	0	0	0	
14	0	0	0	
15	∞	0	0	A
16	$-\infty$	0	0	
17	0	∞	0	
18	0	$-\infty$	0	
19	0	0	∞	
20	0	0	$-\infty$	

โดยที่ F คือส่วนของการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial portion)

C คือส่วนของจุดศูนย์กลาง (Centerpoint portion)

A คือส่วนของจุดแกน (Axial portion)

แบบแผนการทดลอง CCD มีข้อดีหลายประการดังนี้

1) เหมาะที่สุด (Most Effective and Efficient) ในการศึกษาสมการ โพลีโนเมียลดีกรี 2 (Second-order model)

2) มีความยืดหยุ่นในการใช้สูง เนื่องจากมีค่า Resolution ให้เลือกได้ครอบคลุมทุกค่า เนื่องจากสามารถเลือกใช้ได้ทั้งส่วนที่เป็นการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ และการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

3) โครงสร้างซ้ำซ้อนสำหรับ Resolution III หรือ IV สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับ 2^{k-p}

ข้อเสียของแผนการทดลอง CCD คือ เหมาะสำหรับกรณีศึกษาปัจจัยเชิงปริมาณ ดังนั้นในกรณีที่มีปัจจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Factors) จะต้องทำการปรับเปลี่ยนแผนการทดลอง โดยเฉพาะกรณีที่มีปัจจัยเชิงคุณภาพมากกว่า 1 ปัจจัย จำเป็นจะต้องใช้การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน

2.6.8 แบบการทดลองทาгуชิ (Taguchi Design)

แบบการทดลองทาгуชิ คือ การทดลองที่มีลักษณะเป็นแบบการทดลองออร์ทอกอนัล (Orthogonal Array) เหมาะในการศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) แต่เนื่องจากเป็นแบบการทดลอง Resolution III กล่าวคือ ผลกระทบปัจจัยหลักมีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับผลกระทบปัจจัยหลัก และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย จึงเหมาะสำหรับการคัดปัจจัยทิ้ง (Screening Factors) แผนการทดลองของทาгуชิไม่ใช่แผนการทดลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ แต่มักจะใช้แบบการทดลอง Plackett-Burman การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน หรือแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ ข้อดีของการทดลองนี้คือมีตารางสำเร็จรูปให้เลือกใช้ สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกแบบแผนการทดลอง คือ $L_A B^C$ เช่นเดียวกับ Orthogonal Array ที่พัฒนาขึ้น โดย Sir R.A.Fisher

โดยที่ A คือจำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำต่อแผน (ไม่รวมการทำซ้ำ)

B คือจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยที่ศึกษา

C คือ จำนวนปัจจัยสูงสุดที่มีได้ในการทดลอง (จำนวนปัจจัย + จำนวนปัจจัยร่วม)

รูปแบบแผนการทดลองของทากูชิที่นิยมใช้ L_4 , L_8 , และ L_{16} คือการทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{k-p} ยกเว้นอันตรกิริยาของปัจจัยจำนวนคู่ (Even way Interactions) เกิดจากการนำ (-1) มาคูณ L_{12} คือ Plackett-Burman หรือ Hadamard matrix ที่ทำการสลับแถวสดมภ์ (Plackett-Burman Design แถวสุดท้าย ค่า code ของปัจจัยเท่ากับ -1 แต่ Taguchi Design ค่าแถวแรกจะมีค่าเท่ากับ -1 ทั้งหมด) ส่วนที่ดีที่สุดที่สำคัญของ Taguchi ไม่ใช่เรื่อง Orthogonal Array แต่เป็นฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss Function) และการกำหนดค่า Settings ที่เหมาะสมโดยอาศัยอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratios)

ตารางที่ 2.14 แบบแผนการทดลองของทากูชิที่นิยมใช้กันมาก

Design	Number of Levels	Number of Factors for the Full Factorial	Number of Factors to Maintain Resolution V	Number of Factors for Screening
L_4	2	2	2	3
L_8	2	3	3	7
L_9	3	2	-	4
L_{12}	2	-	-	11
L_{16}	2	4	5	15
L_{18}	Mixed	-	-	8
L_{27}	3	3	-	13

ตารางที่ 2.15 ตัวอย่าง $L_4 2^3$ Design

Run	L_4 Design		
	1	2	3
1	-1	-1	-1
2	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1
Original factors and interaction used to generate the matrix	a	b	-ab

Run	L ₄ Design		
	1	2	3
Strategy	# Factors	Which Columns?	
Full Factorial	2	1, 2	
Screening	3	1, 2, 3	

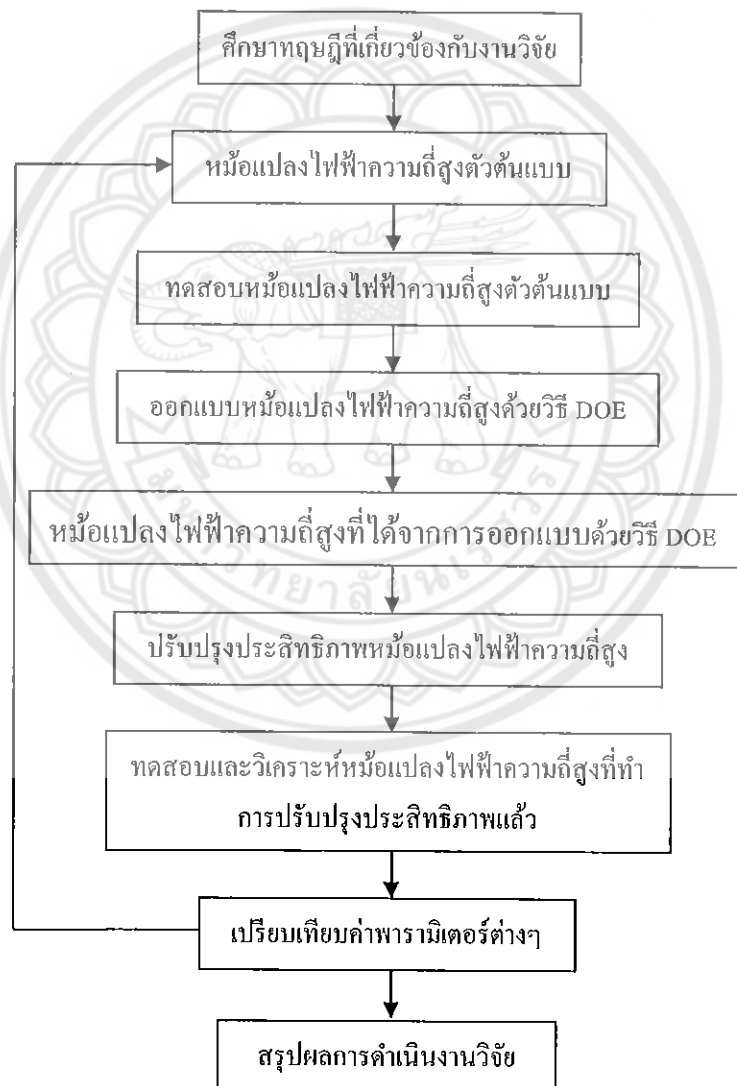
ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น เนื่องจากการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Experiment) คือวิธีการที่สามารถศึกษาความเป็นไปได้ทุกกรณีของการทดลอง และมีเงื่อนไขที่ตรงกับความต้องการจึงได้เลือกใช้วิธีการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบเพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของของหม้อแปลงไฟฟ้าตัวต้นแบบต่อไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

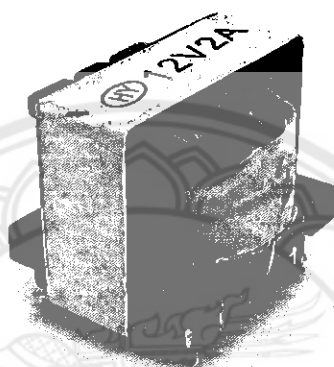
สำหรับในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีดำเนินงานวิจัย โดยมีขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ 1) ศึกษาคุณลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงและทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบเพื่อหาค่าความสูญเสียรวมและค่าประสิทธิภาพ และ 2) ปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีการ DOE โดยพิจารณาขนาดของแกนเหล็ก เบอร์ลวดปฐมภูมิ และเบอร์ลวดทุติยภูมิ



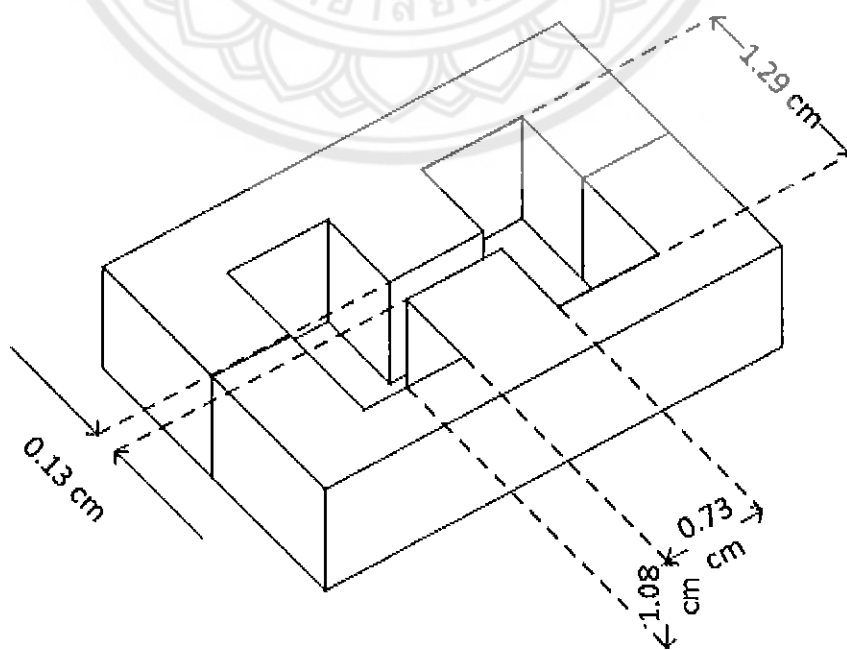
รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยและชุดอุปกรณ์ทดสอบ

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบที่นำมาใช้ในการทดสอบ คือ หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด 1 เฟส ขนาด 24 VA, 220/12 V, 20-150 kHz แสดงดังรูปที่ 3.2 และมีขนาดของแกนเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ต้นแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

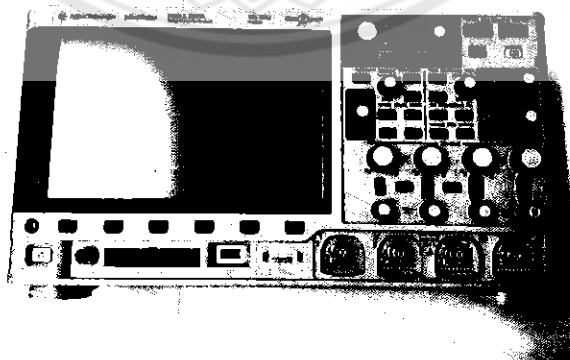


รูปที่ 3.3 ขนาดต้นแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

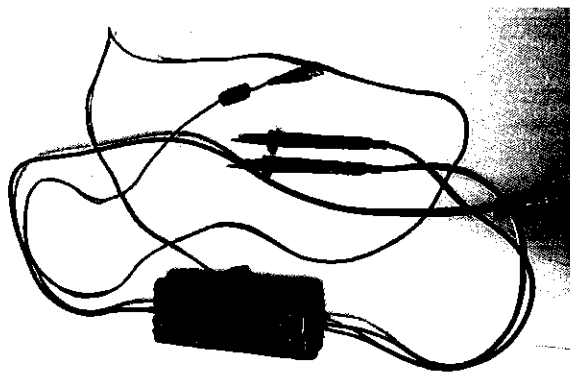
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบ

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
พิกัดแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	220/12
พิกัดกระแส (แอมป์)	2
พิกัดกำลังไฟฟ้า (โวลต์แอมป์)	24
ความถี่ (กิโลเฮิร์ต)	20-150
พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเซนติเมตร)	0.7884
ปริมาตรแกนเหล็ก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	4.49231
จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)	90
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 1 (รอบ)	12
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 2 (รอบ)	5

ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อทดสอบหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็กและค่าความสูญเสียในขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงประกอบด้วย ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope), ไอโซเลท (Isolate), โพรบวัดกระแส (Current Probe), แอมป์มิเตอร์ (Amp Meter), วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter), แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Generator), แอล ซี อาร์ มิเตอร์ (LCR Meter) และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer)



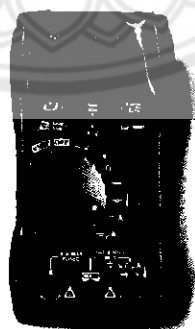
รูปที่ 3.4 ออสซิลโลสโคป



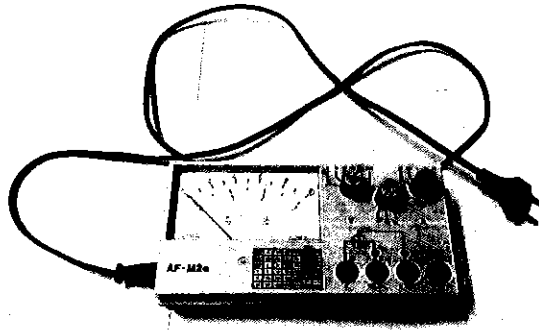
รูปที่ 3.5 ไอโซเลท



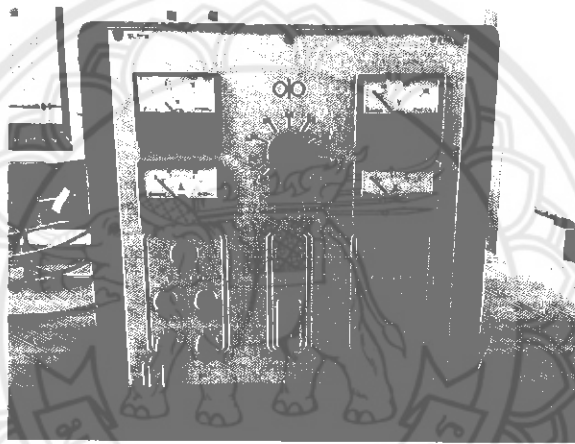
รูปที่ 3.6 โพรบวัดกระแส



รูปที่ 3.7 แอมป์มิเตอร์



รูปที่ 3.8 วัตต์มิเตอร์



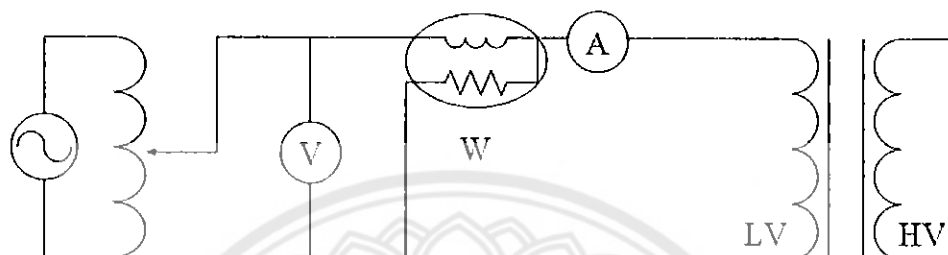
รูปที่ 3.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้า



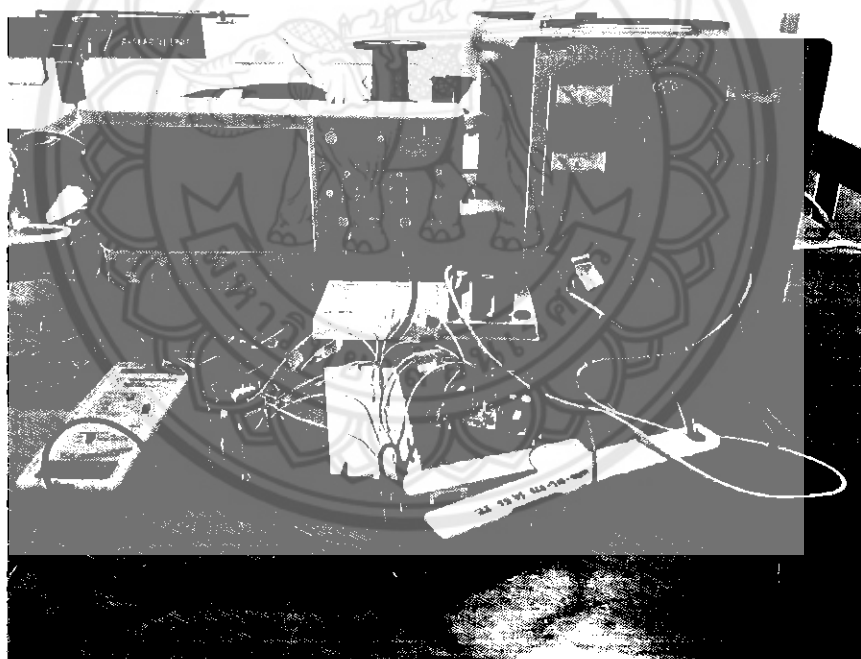
รูปที่ 3.10 แอล ซี อาร์ มิเตอร์

3.1 การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit Test)

การทดสอบเปิดวงจรเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในแกนตัวนำแม่เหล็ก ซึ่งการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะกระทำโดยการเปิดวงจรทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง และจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงดังในรูปที่ 3.11



(ก) วงจรการทดสอบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง[3]

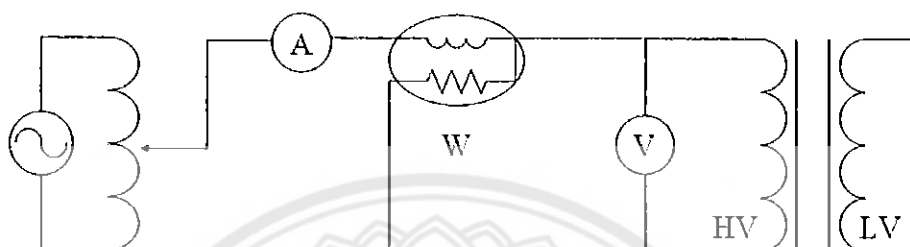


(ข) การทดสอบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 3.11 การทดสอบเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

3.2 การทดสอบลัดวงจร (Short Circuit Test)

การทดสอบลัดวงจรเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียในขดลวดตัวนำ ซึ่งการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะกระทำโดยการลัดวงจรทางด้านไฟฟ้าแรงสูง และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงเข้าไปทางด้านไฟฟ้าแรงต่ำ ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงดังในรูปที่ 3.12



(ก) วงจรการทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง[3]



(ข) การทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 3.12 การทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

3.3 การคำนวณประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ปกติเกณฑ์ในการบอกถึงความสามารถของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในแต่ละตัวนั้น จะใช้ค่าประสิทธิภาพเป็นตัวกำหนด ยิ่งค่าประสิทธิภาพที่ได้สูงมากเท่าไร แสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงดังกล่าวมีความสามารถในการแปลงระดับแรงดัน โดยปราศจากการสูญเสียมากเท่านั้น โดยสามารถทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพได้ดังสมการต่อไปนี้

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

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss}$$

$$P_{in} = V_1 I_1$$

$$P_{loss} = P_{CU} + P_{Core}$$

η	คือ ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
P_{out}	คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
P_{in}	คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้าของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
P_{loss}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
P_{CU}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในเส้นลวด สามารถวัดค่าได้ด้วยการทดสอบลัดวงจร
P_{Core}	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก สามารถวัดค่าได้ด้วยการทดสอบเปิดวงจร
V_1	คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ
I_1	คือ กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

3.4 ออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธี DOE

ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธี DOE ทางผู้ทดลอง ได้ใช้วิธีการ DOE แบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Experiment) เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถศึกษาผลกระทบของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปได้ทุกกรณีที่เป็นไปได้ โดยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในครั้งนี้ประกอบด้วยปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก เบอร์ของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ และเบอร์ของลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ ซึ่งในแต่ละปัจจัยศึกษาที่ 3 ระดับ มีจำนวนการทดลองทั้งหมดที่เป็นไปได้จากสูตร ระดับยกกำลังปัจจัยหรือก็คือ 3^3 เท่ากับ 27 การทดลอง สามารถแสดงการทดลองได้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าโดย DOE แบบ Full Factorial

Experiment

Run	Factor			Y _i (%η)
	A (ตร.ชม.)	B(เบอร์)	C(เบอร์)	
1	+	+	+	Y ₁
2	+	+	0	Y ₂
3	+	+	-	Y ₃
4	+	0	+	Y ₄
5	+	0	0	Y ₅
6	+	0	-	Y ₆
7	+	-	+	Y ₇
8	+	-	0	Y ₈
9	+	-	-	Y ₉
10	0	+	+	Y ₁₀
11	0	+	0	Y ₁₁
12	0	+	-	Y ₁₂
13	0	0	+	Y ₁₃
14	0	0	0	Y ₁₄
15	0	0	-	Y ₁₅
16	0	-	+	Y ₁₆
17	0	-	0	Y ₁₇
18	0	-	-	Y ₁₈
19	-	+	+	Y ₁₉
20	-	+	0	Y ₂₀
21	-	+	-	Y ₂₁
22	-	0	+	Y ₂₂
23	-	0	0	Y ₂₃
24	-	0	-	Y ₂₄
25	-	-	+	Y ₂₅
26	-	-	0	Y ₂₆
27	-	-	-	Y ₂₇

จากตารางที่ 3.2 ให้ทำการแทนค่าระดับและปัจจัยลงไปในตารางการทดลอง ดังต่อไปนี้

ปัจจัย A คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

ระดับ + คือแกนเหล็กขนาด 1.3572 ตารางเซนติเมตร

ระดับ 0 คือแกนเหล็กขนาด 0.8836 ตารางเซนติเมตร

ระดับ - คือแกนเหล็กขนาด 0.3969 ตารางเซนติเมตร

ปัจจัย B คือ เบอร์ของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ

ระดับ + คือลวดเบอร์ 34 มีพื้นที่หน้าตัด 0.02011 ตารางมิลลิเมตร

ระดับ 0 คือลวดเบอร์ 33 มีพื้นที่หน้าตัด 0.02554 ตารางมิลลิเมตร

ระดับ - คือลวดเบอร์ 32 มีพื้นที่หน้าตัด 0.03243 ตารางมิลลิเมตร

ปัจจัย C คือ เบอร์ของลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ

ระดับ + คือลวดเบอร์ 20 มีพื้นที่หน้าตัด 0.51887 ตารางมิลลิเมตร

ระดับ 0 คือลวดเบอร์ 19 มีพื้นที่หน้าตัด 0.65305 ตารางมิลลิเมตร

ระดับ - คือลวดเบอร์ 18 มีพื้นที่หน้าตัด 0.82294 ตารางมิลลิเมตร

Y_i คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละการทดลอง (ค่าประสิทธิภาพ) ; $i = 1, 2, 3, \dots, 27$

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ

ระดับ	A (ขนาดแกนเหล็ก) (cm^2)	B เบอร์ลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ (เบอร์)	C เบอร์ลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ (เบอร์)
+	1.3572	34	20
0	0.8836	33	19
-	0.3969	32	18

3.5 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงออกแบบโดยวิธี DOE

เนื่องจากการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีการออกแบบการทดลองได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลองดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นทำการพิจารณา 3 การทดลองที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อนำไปสร้างเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าจริง ซึ่งแสดงรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ดังนี้

3.5.1 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1

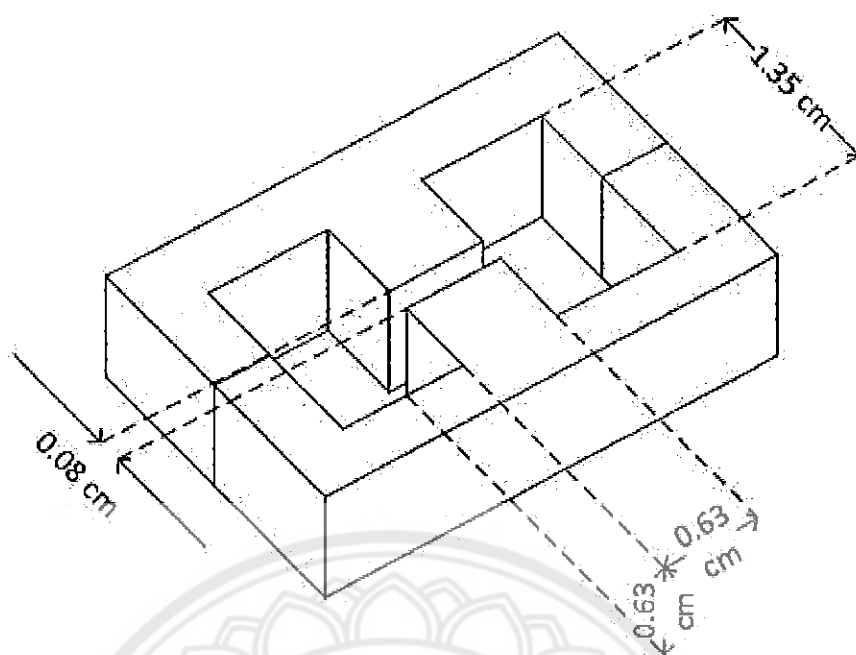
ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1 ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเซนติเมตร)	0.3969
ปริมาตรแกนเหล็ก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	2.06626
จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)	118
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 1 (รอบ)	16
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 2 (รอบ)	7



รูปที่ 3.13 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1



รูปที่ 3.14 ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1

3.5.2 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2

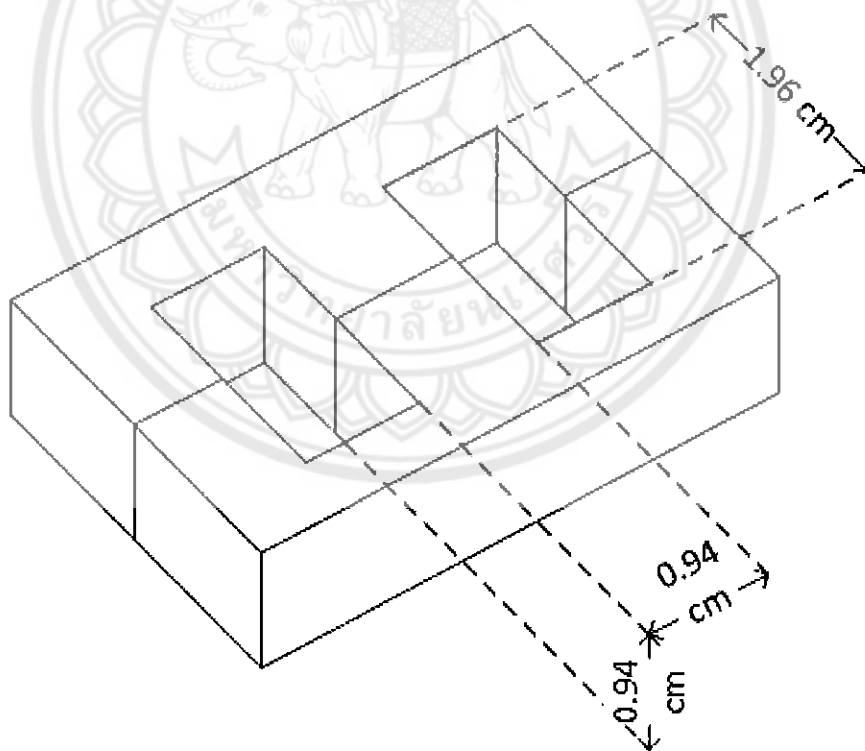
ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2 ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเซนติเมตร)	0.8836
ปริมาตรแกนเหล็ก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	6.09501
จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)	85
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 1 (รอบ)	11
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 2 (รอบ)	5



รูปที่ 3.15 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2



รูปที่ 3.16 ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2

3.5.3 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3

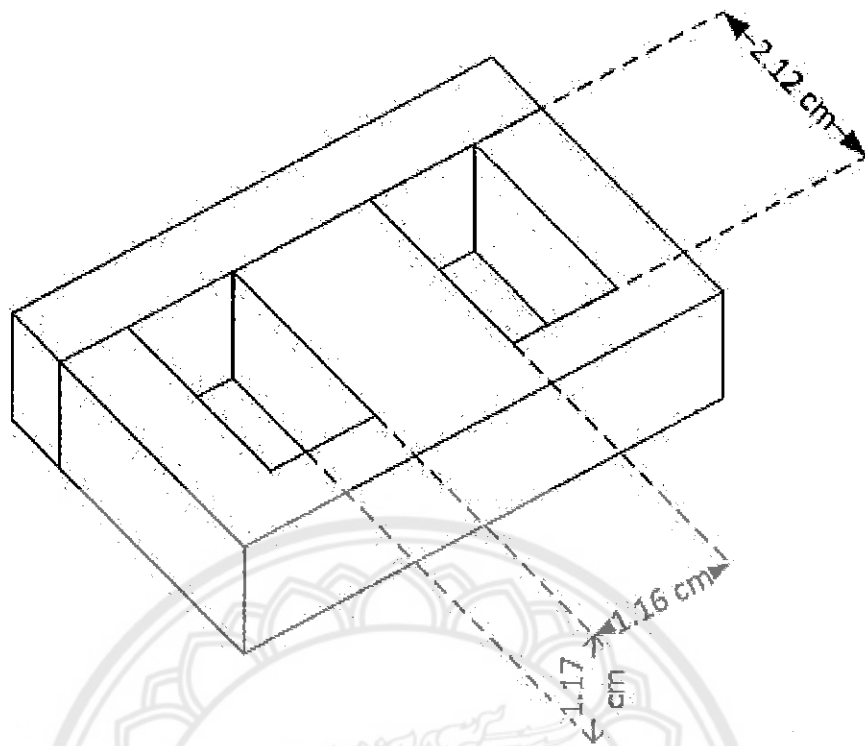
ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3 ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเซนติเมตร)	1.3572
ปริมาตรแกนเหล็ก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	12.24311
จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)	69
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 1 (รอบ)	9
จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ 2 (รอบ)	4



รูปที่ 3.17 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3



รูปที่ 3.18 ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3



บทที่ 4

ผลการทดลอง

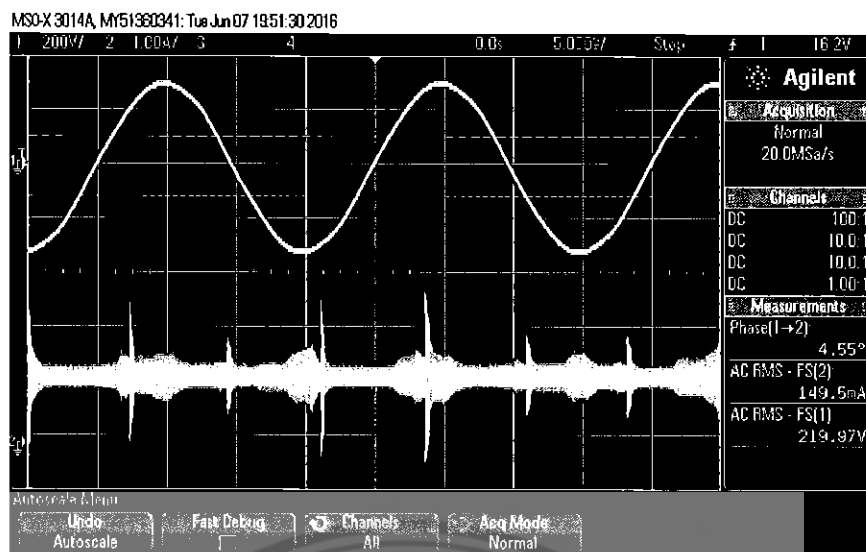
เนื่องจากงานวิจัยเล่มนี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนั้นผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นกัน คือ ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ และผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีการออกแบบการทดลองและปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยพิจารณาขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก เบอร์ลวดปฐมภูมิ และเบอร์ลวดทุติยภูมิ

4.1 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ

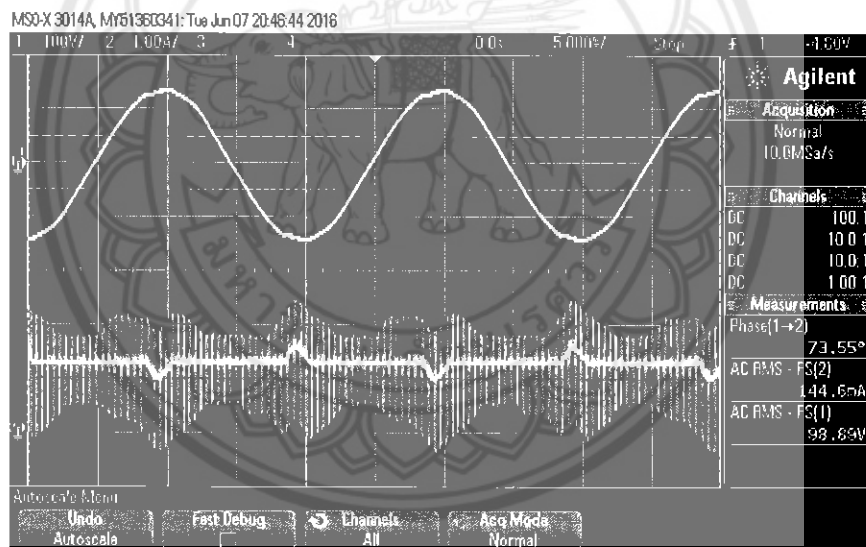
ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก ค่าความสูญเสียในขดลวดตัวนำและค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์	ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
L (μH)	889.78
$P_{\text{core loss}}$ (W)	0.75
$P_{\text{copper loss}}$ (W)	4.50
θ (Degree)	4.55
$\% \eta$	83.98724



รูปที่ 4.1 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ



รูปที่ 4.2 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบ

4.2 ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยการออกแบบการทดลองและปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

4.2.1 ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

Run	Factor			
	A (ต.ร.ชม.)	B(เบอร์)	C(เบอร์)	$Y_i(\% \eta)$
1	+	+	+	96.5843
2	+	+	0	96.6194
3	+	+	-	96.6651
4	+	0	+	96.5943
5	+	0	0	96.6294
6	+	0	-	96.6750
7	+	-	+	96.6020
8	+	-	0	96.6371
9	+	-	-	96.6827
10	0	+	+	96.6300
11	0	+	0	96.6645
12	0	+	-	96.7093
13	0	0	+	96.6398
14	0	0	0	96.6743
15	0	0	-	96.7191
16	0	-	+	96.6474
17	0	-	0	96.6819
18	0	-	-	96.7267
19	-	+	+	96.7640
20	-	+	0	96.7976
21	-	+	-	96.8413
22	-	0	+	96.7731
23	-	0	0	96.8067
24	-	0	-	96.8504
25	-	-	+	96.7802
26	-	-	0	96.8138
27	-	-	-	96.8575

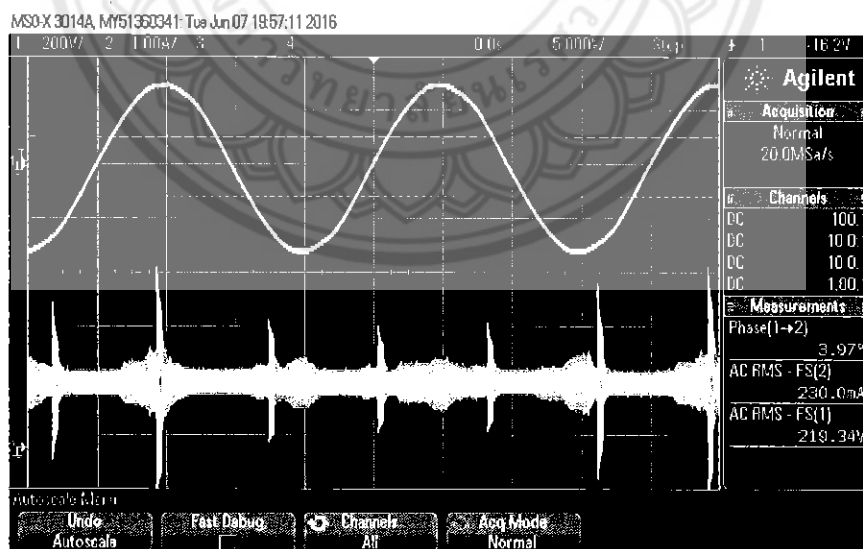
จากผลการออกแบบการทดลองในตารางที่ 4.2 พบว่า การทดลองที่ 27, 18 และการทดลองที่ 9 ตามลำดับ ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์จากการทดลองดังกล่าวมาสร้างเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าจริง ได้แก่ รูปแบบ DOE แบบที่ 1 รูปแบบ DOE แบบที่ 2 และ รูปแบบ DOE แบบที่ 3 ตามลำดับ

4.2.2 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1

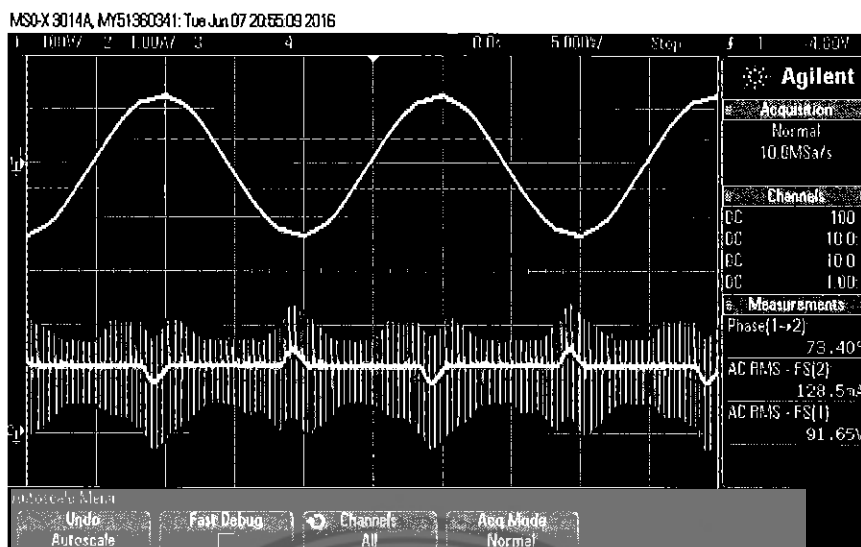
ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1 ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความสูญเสียและค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1

พารามิเตอร์	ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
L (μH)	1182.70
$P_{core\ loss}$ (W)	0.72
$P_{copper\ loss}$ (W)	4.26
θ (Degree)	3.97
$\% \eta$	90.13443



รูปที่ 4.3 การทดสอบเบ็ดดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1



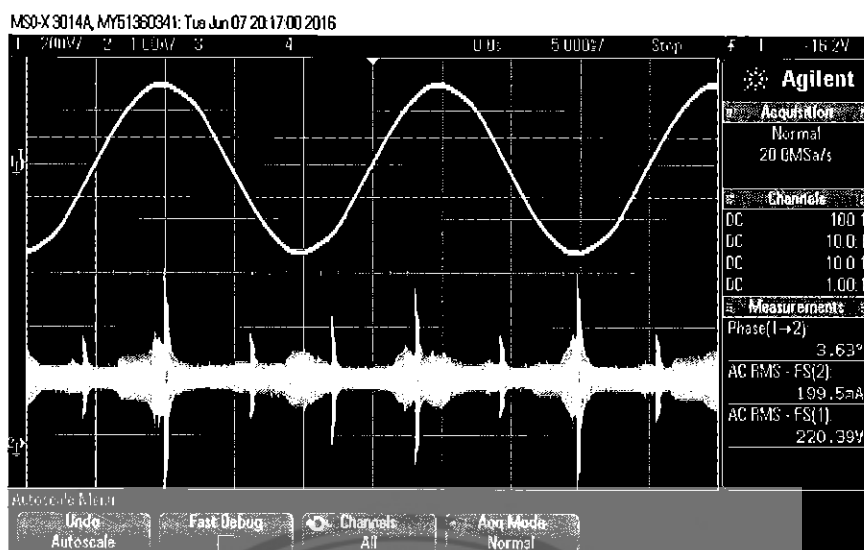
รูปที่ 4.4 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1

4.2.3 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2

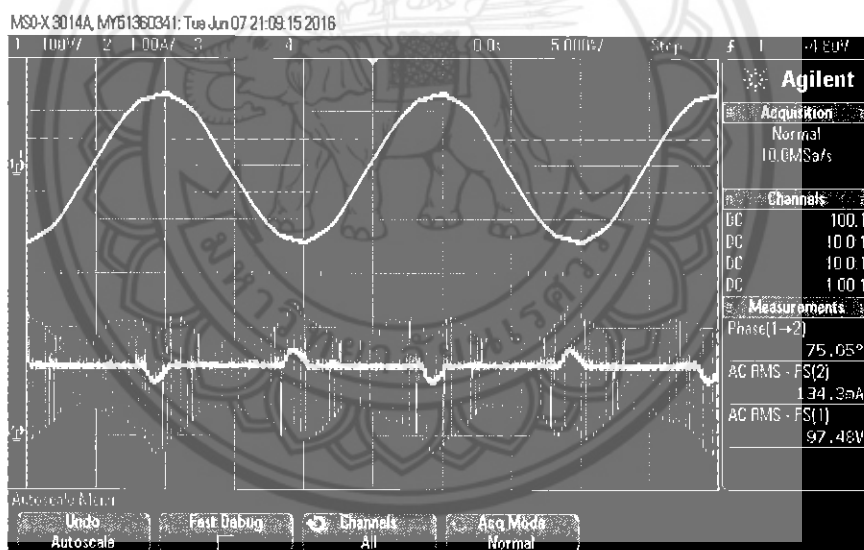
ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2 ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความสูญเสียและค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2

พารามิเตอร์	ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
L (μH)	1101.00
$P_{\text{core loss}}$ (W)	0.75
$P_{\text{copper loss}}$ (W)	4.71
θ (Degree)	3.63
$\% \eta$	87.14148



รูปที่ 4.5 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2



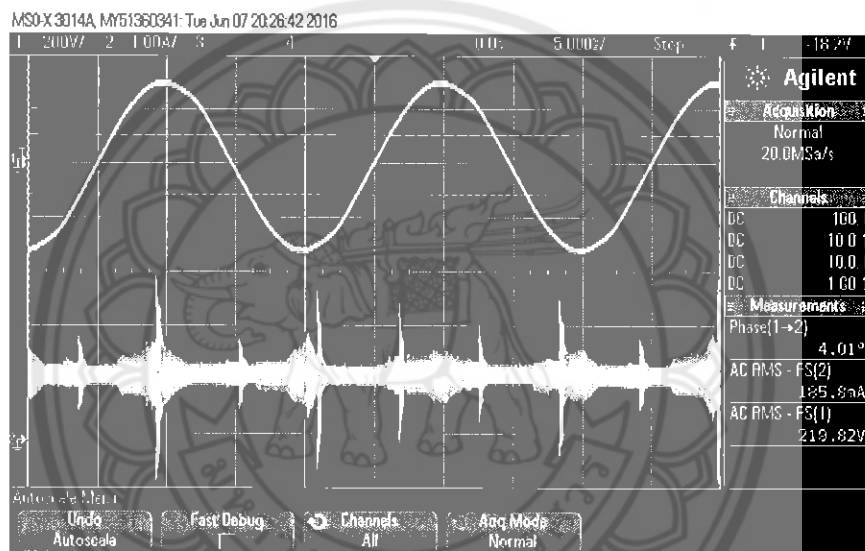
รูปที่ 4.6 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2

4.2.4 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3

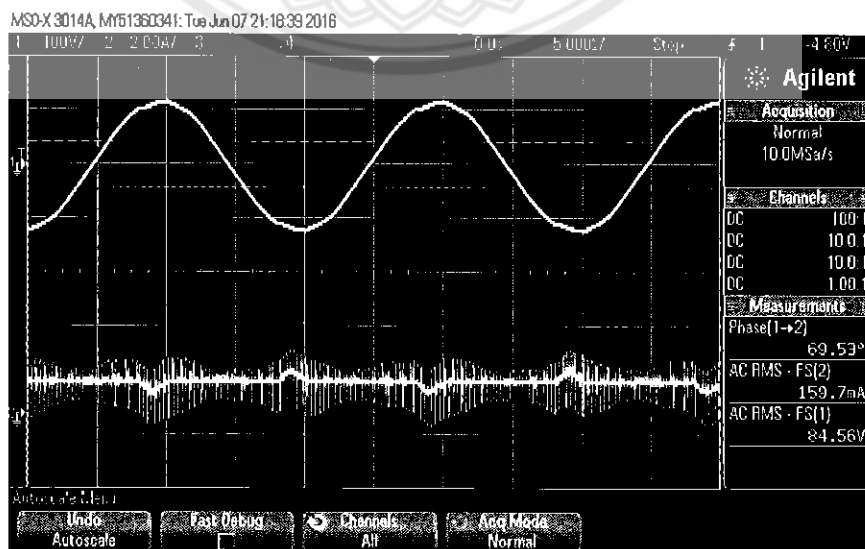
ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความสูญเสียและค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3

พารามิเตอร์	ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
L (μH)	1130.90
$P_{\text{core loss}}$ (W)	0.76
$P_{\text{copper loss}}$ (W)	5.40
θ (Degree)	4.01
$\% \eta$	84.89305



รูปที่ 4.7 การทดสอบเปิดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3



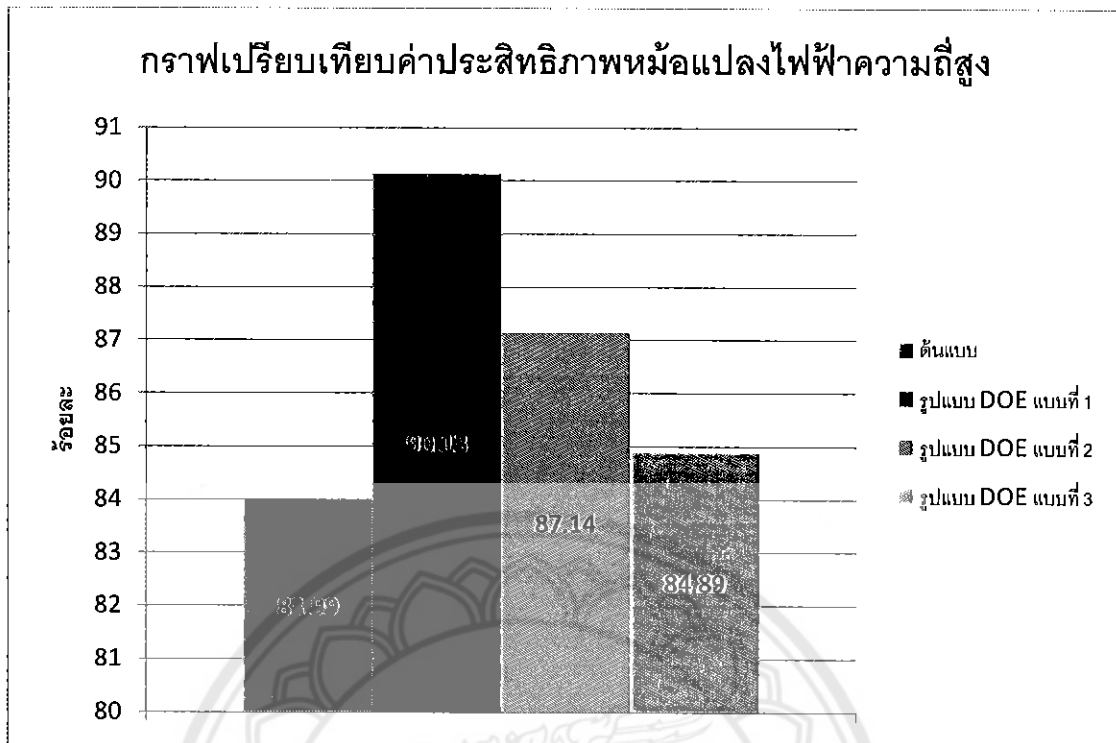
รูปที่ 4.8 การทดสอบลัดวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3

4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบและแบบวิธี DOE

ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 1, 2 และ 3 ในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่าประสิทธิภาพมีความคลาดเคลื่อนเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ 9, 18, และ 27 จากตารางที่ 4.2 เนื่องจากค่าประสิทธิภาพในตารางที่ 4.2 เป็นค่าทางทฤษฎีและยังไม่ได้รวมค่าความสูญเสียจากอุปกรณ์ในวงจร จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีความคลาดเคลื่อนจากที่ได้คำนวณไว้ โดยผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าต้นแบบและหม้อแปลงไฟฟ้าที่ออกแบบด้วยวิธี DOE

หม้อแปลงไฟฟ้า ความถี่สูง พารามิเตอร์	ตัวต้นแบบ	รูปแบบ DOE แบบที่ 1	รูปแบบ DOE แบบที่ 2	รูปแบบ DOE แบบที่ 3
V_p (V)	219.97	219.34	220.39	219.82
I_p (mA)	149.50	230.00	199.50	185.80
θ (Degree)	4.55	3.97	3.63	4.01
L (μ H)	889.78	1182.70	1101.00	1130.90
$P_{core\ loss}$ (W)	0.75	0.72	0.75	0.76
$P_{copper\ loss}$ (W)	4.5	4.26	4.71	5.40
$P_{total\ loss}$ (W)	5.25	4.96	5.46	6.16
$\% \eta$	83.98724	90.13443	87.14148	84.89305



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

จากรูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบกับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ออกแบบโดยใช้วิธี DOE ผลการเปรียบเทียบ พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบมีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 83.99 หม้อแปลงไฟฟ้ารูปแบบ DOE แบบที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 90.13 ซึ่งมีความสูงที่สุด รองลงมาคือหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 2 มีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 87.14 และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE แบบที่ 3 มีค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดที่ร้อยละ 84.89 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

จากการศึกษาและทดสอบการประยุกต์การออกแบบการทดลองสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า ความถี่สูงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง แบ่งการดำเนินการศึกษาและทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาและทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบและออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธี DOE

การศึกษาและทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบในห้องปฏิบัติการพบว่า มีประสิทธิภาพร้อยละ 83.99

จากผลการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธี DOE มีหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงรูปแบบ DOE ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 3 อันดับ ให้ชื่อเป็น รูปแบบ DOE แบบที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ รูปแบบ DOE แบบที่ 1 มีประสิทธิภาพร้อยละ 90.13 รูปแบบ DOE แบบที่ 2 มีประสิทธิภาพร้อยละ 87.14 และรูปแบบ DOE แบบที่ 3 มีประสิทธิภาพร้อยละ 84.89 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงตัวต้นแบบพบว่า การออกแบบการทดลองของรูปแบบ DOE แบบที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงกว่าต้นแบบร้อยละ 6.15 รูปแบบ DOE แบบที่ 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่าต้นแบบร้อยละ 3.15 และรูปแบบ DOE แบบที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงกว่าต้นแบบร้อยละ 0.91 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธีการที่นำเสนอกับหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงต้นแบบ พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ออกแบบด้วยวิธีการที่นำเสนอมีค่าประสิทธิภาพสูงขึ้นร้อยละ 6.15 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5.2 ประเมินผลการทดสอบ

ผลจากการดำเนิน โครงการเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ได้ดังต่อไปนี้

- 1) สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงได้
- 2) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยวิธี DOE ให้มีค่าสูงขึ้นได้

5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ไขปัญหา

- 1) ไม่สามารถทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ระดับแรงดันและความถี่พิกัดได้ เนื่องจากไม่มีแหล่งจ่ายที่สามารถจ่ายแรงดันและความถี่พิกัดได้ จึงทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงพร้อมกับวงจรสวิตซ์
- 2) หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่พันออกมาเกิดปัญหาแกนเหล็กอิ่มตัว ไม่สามารถใช้งานได้ ทำการแก้ไขได้โดยการเพิ่มช่องว่างอากาศระหว่างแกนเหล็กเพื่อไม่ให้แกนเหล็กอิ่มตัว

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการศึกษาและทดสอบ โครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้วงจรสวิตซ์ร่วมอยู่ด้วยได้ โครงการนี้ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ DOE และการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงไว้ใช้ในการออกแบบการทดลองการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงทั้งหมดที่เป็นไปได้ เพื่อให้ได้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งยังมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงให้สูงขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทยาลัยสารพัดช่างกำแพงเพชร. (12 ตุลาคม 2553). หม้อแปลงไฟฟ้า. งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. สืบค้นเมื่อ , จาก <http://kpp.ac.th/elearning/elearning3/book-08.html>.
- [2] สุวัฒน์ ตัน. (2537). เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. (1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สหายบลิ๊อคและการพิมพ์. สืบค้นเมื่อ
- [3] W. G. Hurley and W. H. Wolfle. (March 2013). **Transformer and Inductors For Power Electronics**. United Kingdom: A John Wiley & Sons, Ltd. สืบค้นเมื่อ
- [4] รศ.ดร. วีรเชษฐ์ ขันเงิน และวุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. (2547). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง **Power Electronics**. สืบค้นเมื่อ
- [5] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงษ์ชนัน เหลืองไพบุลย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. (มปก). กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด. สืบค้นเมื่อ
- [6] Douglas C. Montgomer. (2009). **Design and Analysis of Experiments**. United Kingdom: A John Wiley & Sons, Ltd. สืบค้นเมื่อ



การคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

จากตารางที่ 4.2 สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพได้ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1

แกนเหล็กระดับ + มีความยาวรอบแกนเหล็ก	0.0000468	(เมตร)
เบอร์ลวดตัวนำด้านปฐมภูมิระดับ + มีค่าความต้านทาน	402	(โอห์ม/เมตร)
เบอร์ลวดตัวนำด้านทุติยภูมิระดับ + มีค่าความต้านทาน	26.3	(โอห์ม/เมตร)
จำนวนรอบลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ	69	(รอบ)
จำนวนรอบลวดตัวนำด้านทุติยภูมิ	9	(รอบ)
พิกัดกำลังไฟฟ้ามี่ค่า	24	(VA)
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่า	0.76	(วัตต์)

ค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิมี่ค่า	$\frac{24}{220} = 0.109091$	(แอมป์)
--------------------------------	-----------------------------	---------

ค่าความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

ความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิมี่ค่า	$(0.0000468)(402)(69) = 1.2981384$	(โอห์ม)
ความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิมี่ค่า	$(0.0000468)(26.3)(9) = 0.0110776$	(โอห์ม)

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดตัวนำ

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดตัวนำปฐมภูมิมี่ค่า	$(0.109091^2)(1.2981384) = 0.015449$	(วัตต์)
--	--------------------------------------	---------

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดตัวนำทุติยภูมิมี่ค่า	$(2^2)(0.0110776) = 0.044310$	(วัตต์)
--	-------------------------------	---------

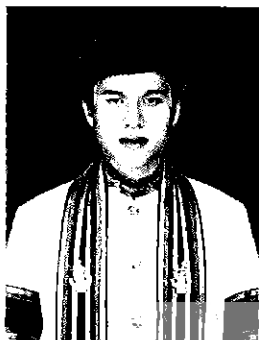
ค่าประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูมีค่า

$$\frac{24 - 0.76 - 0.015449 - 0.044310}{24} = 0.965843$$

สำหรับการทดลองที่ 2-27 ให้ดำเนินการตามวิธีที่ได้แสดงไว้ข้างต้น ก็จะสามารหาค่า
ประสิทธิภาพจากวิธีการออกแบบการทดลองได้



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายภูษิต ขำน้อย

ภูมิลำเนา 233 หมู่ 9 ต.แม่กาษา อ.แม่สอด จ.ตาก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเทศบาลเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: phusitk55@email.nu.ac.th

