

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การศึกษาพารามิเตอร์ของระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้า  
ในสภาวะการเร่งอายุทางความร้อน

**A Study of Electrical machine Insulation System parameters  
on Thermal aging condition**



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **82944**  
วัน,เดือน,ปี..... **29 ก.ค. 2551**

b. 119 5๖7๖8  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การศึกษาพารามิเตอร์ของระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้า  
ในสภาวะการเร่งอายุทางความร้อน  
A Study of Electrical machine Insulation System parameters  
on Thermal aging condition



นายทรงพล เจียมจิตศิริพงษ์  
นายเทพฤทธิ์ แสนศักดิ์  
นางสาวณัฐชนันญชิตา โสเจยยะ  
นายศุภกร ออมสินสมบูรณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา  
รองศาสตราจารย์ พิเชิต ล้ายอง  
อาจารย์ เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพารามิเตอร์ของระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้า  
ในสภาวะการเร่งอายุทาง ความร้อน

ผู้จัดทำ

- 
1. นายทรงพล เจียมจิตศิริพงษ์
  2. นายเทพฤทธิ์ แสนศักดิ์
  3. นางสาวณัฏฐ์ชนัญชิตา ไสเจยยะ
  4. นายศุภกร ออมสินสมบูรณ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( รองศาสตราจารย์ พิเชิด ล้ายอง )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ เบียมภูมิ สฤตพฤษ์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาพารามิเตอร์ของระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้า ในสภาวะการเร่งอายุทางความร้อน

นายทรงพล เจียมจิตศิริพงษ์

นายเทพฤทธิ์ แสนศักดิ์

นางสาวณัฐชนันชญาชิตา โสเจยยะ

นายศุภกร ออมสินสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษาพารามิเตอร์ของระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้าในสภาวะการเร่งอายุทางความร้อน โดยใช้แบบจำลองร่องสลีต โดยทำการเร่งอายุทางความร้อนของระบบฉนวนตามมาตรฐาน IEC 34-18-1[3] ซึ่งมีกระบวนการคือ การเร่งอายุทางความร้อน การให้ความเค้นทางกล การให้ความเค้นทางความชื้น และการทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ การเสื่อมสภาพของระบบฉนวนได้จากการเปลี่ยนแปลงของกระแส มุมเฟส และรูปคลื่นจากการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์และวิเคราะห์หาจรรยาสมมูลของระบบฉนวน และนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการพล็อตกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์กับการเร่งอายุทางความร้อน ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนที่ความถี่ต่างๆ และสามารถที่จะหาจรรยาสมมูลของระบบฉนวนได้

## **A Study of Electrical machine Insulation System parameters on Thermal aging condition**

Songpol Jiamjitsiripong

Tepparit Sansak

Natchananchida Sochoeiya

Supakorn Oomsinsomboon

Assoc.Prof.Pichit Lumyong Advisor

Piampoom Sarikprueck Advisor

### **ABSTRACT**

This project presents a study of electrical machine insulation system parameters on thermal ageing condition using moterette. The thermal ageing insulation system is carried out with process of the IEC 34-18-1[3] standard. The process is combined with thermal ageing, mechanical stress, moisture stress and voltage testing with different frequency. The deterioration of insulation system is observed by changing of current, phase angle and wave form. After that evaluated parameters and analyzed for equivalent circuit of insulation system parameters are employed in plotting of curve between parameters and thermal ageing condition. The results of this study reveal the trend of parameters which varied under thermal ageing condition at different frequency and determine the equivalent circuit of electrical machine insulation system.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาของ รศ.พิชิต ล้ายอง และ อาจารย์เปี่ยมภูมิ สฤกพฤษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งช่วยให้ความรู้และคำแนะนำที่ดีแก่ผู้จัดทำโครงการ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ นักศึกษาปริญญาตรีที่ทำโครงการที่เกี่ยวข้องกับระบบฉนวนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำให้ผู้จัดทำโครงการได้มีข้อมูลในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ เพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือมากมายในเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ สถานที่ แรงงาน และคำแนะนำดีๆในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ พี่ๆและน้องๆที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในทุกเรื่อง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และความช่วยเหลือ ตลอดจนให้การสนับสนุนในการทำโครงการตลอดมา

สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันใดที่ได้จากโครงการนี้ ผู้จัดทำโครงการขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	III
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-2000.....	4
2.1.1 ค่าของกระแสที่ได้จากวงจรสมมูลฉนวนนั้นจะประกอบด้วย.....	4
2.1.2 Insulation resistance general theory.....	5
2.2 ลักษณะสมบัติที่สำคัญของฉนวน.....	7
2.2.1 ความต้านทานของฉนวน.....	7
2.2.2 เปอร้มิตติวิตี (permittivity).....	8
2.2.3 แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก.....	11
2.2.4 ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กตริก.....	12
บทที่ 3 กระบวนการทดสอบเพื่อหาค่าความคงทนทางความร้อน ของระบบฉนวนสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุน.....	13
3.1 บทนำ.....	13
3.2 ระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวน.....	13
3.3 กระบวนการทดสอบความคงทนทางความร้อน.....	14
3.3.1 รูปแบบกระบวนการทดสอบระบบฉนวน เครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุน.....	14
3.3.2 วัสดุทดสอบ.....	14
3.3.3 โครงสร้างกระบวนการทดสอบ.....	15
3.3.4 ร้อย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน.....	16
3.3.5 ร้อย่อยของการวินิจฉัย.....	17

บทที่ 4	กระบวนการทดสอบการเร่งอายุ	
	ทางความร้อนระบบฉนวนโดยการใช้น้ำมันร้อน.....	19
4.1	บทนำ .....	19
4.2	ขอบเขตของการทดสอบ.....	19
4.3	วัตถุประสงค์.....	19
4.3.1	โครงสร้างของวัตถุประสงค์.....	19
4.3.2	รายละเอียดของโครงสร้างแบบจำลองร้อน.....	20
4.3.3	ส่วนประกอบของแบบจำลองร้อน.....	22
4.3.4	การประกอบแบบจำลองร้อน .....	23
4.3.5	จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ .....	25
4.3.6	การตรวจสอบคุณภาพก่อนการทดสอบ .....	25
4.3.7	การทดสอบเพื่อการวินิจฉัยเบื้องต้น.....	25
4.4	รอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน.....	25
4.5	รอบย่อยการทดสอบเพื่อการวินิจฉัย .....	25
4.5.1	การทดสอบทางกล.....	25
4.5.2	การทดสอบทางความชื้น .....	26
4.5.3	การทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า .....	28
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง .....	29
5.1	บทนำ .....	29
5.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ .....	29
5.2.1	แบบจำลองร้อน.....	29
5.2.2	ตู้อบความร้อน.....	30
5.2.3	โต๊ะสั่น.....	31
5.2.4	ตู้อบความชื้น.....	31
5.2.5	อุปกรณ์การทดสอบแรงดันไฟฟ้า.....	32
5.2.6	วงจรสร้างสัญญาณแรงดันและความถี่ .....	33
5.3	ขั้นตอนการทดสอบ .....	34
5.4	ผลการทดลอง.....	35
5.4.1	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่.....	35
5.4.2	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน.....	45
5.4.3	การเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นของกระแสและแรงดัน.....	55
บทที่ 6	สรุปและวิจารณ์การทดลอง.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	63
กิตติกรรมประกาศ.....	179



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-2000.....	4
2.2 คุณลักษณะของกระแสตรงที่ถูกวัดได้ .....	6
2.3 ค่าเก็บประจุระหว่างแผ่นระนาบที่มีค่าเปอร์มิตติวิตี เป็นสัจพจน์ $\epsilon_0$ และ $\epsilon$ .....	8
2.4 วงจรสมมูลของไดอิเล็กตริก .....	9
2.5 มุมเฟสกระแสในตัวเก็บประจุ .....	11
4.1 ส่วนประกอบทั้งหมดของแบบจำลองร่องสลีตก่อนทำการประกอบ.....	21
4.2 ส่วนประกอบที่เป็นโลหะของเฟรมแบบจำลองร่องสลีต .....	21
4.3 แบบจำลองร่องสลีตที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว.....	22
4.4 บล็อกไดอะแกรมของตู้ความชื้นสำหรับวัดทดสอบที่เป็นตัวลง.....	27
4.5 ตัวอย่างตู้ความชื้นสำหรับวัดทดสอบที่เป็นตัวลง.....	27
5.11 ขั้นตอนการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน.....	34
5.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	35
5.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	35
5.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	36
5.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	36
5.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	37
5.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	37
5.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	38
5.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	38
5.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	39

5.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	39
5.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	40
5.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	40
5.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	41
5.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	41
5.26 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	42
5.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	42
5.28 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	43
5.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	43
5.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	44
5.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน.....	44
5.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน. ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz.....	45
5.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz.....	45
5.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz.....	46
5.35 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz.....	46
5.36 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz.....	47
5.37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz.....	47

5.38 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz.....	48
5.39 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz.....	48
5.40 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Tum-Tum (UP) ที่ความถี่ 50 Hz.....	49
5.41 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Tum-Tum (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz.....	49
5.42 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz.....	50
5.43 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz.....	50
5.44 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Tum (UP) ที่ความถี่ 50 Hz.....	51
5.45 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Tum-Tum (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz.....	51
5.46 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz.....	52
5.47 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz.....	52
5.48 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Tum-Tum (UP) ที่ความถี่ 50 Hz.....	53
5.49 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Tum-Tum (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz.....	53
5.50 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz.....	54
5.51 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz.....	54
5.52 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Tum-Tum (UP).....	55
5.53 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 6 ในการทดลองแบบ Tum-Tum (DOWN).....	55
5.54 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Coil-Coil.....	56

5.55 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน	
จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Coil-Ground.....	56
5.56 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเชื่อมสภาพ	
จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Turn-Turn (UP).....	57
5.57 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเชื่อมสภาพ	
จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN).....	57
5.58 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเชื่อมสภาพ	
จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 3 ในการทดลองแบบ Coil-Coil.....	58
5.59 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเชื่อมสภาพ	
จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 3 ในการทดลองแบบ Coil-Ground.....	58
6.1 วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบฉนวน.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวน.....	13
3.2 อุณหภูมิแนะนำ.....	16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

เครื่องจักรกลไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีปัญหาเกิดขึ้นอย่างมากมายซึ่งจะทำให้ระบบในโรงงานอุตสาหกรรมหยุดชะงักลงส่งผลกระทบต่อการทำงานทั้งระบบ และปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งของเครื่องจักรกลไฟฟ้าก็คือ ปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวน โดยมีสาเหตุได้หลายประการด้วยกัน เช่น ผลจากความเค้นทางความร้อน ผลจากความเค้นทางแรงดันไฟฟ้า ผลจากความเค้นทางกล หรือ แม้กระทั่ง ผลจากสภาวะแวดล้อมและการใช้งานที่ไม่เหมาะสมไม่ได้ตามมาตรฐาน สาเหตุเหล่านี้ล้วนส่งผลให้ระบบฉนวนมีการเสื่อมสภาพก่อนที่ควร โดยเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำงานอยู่ในสภาวะทั่วไป จะไม่ทราบได้ว่าฉนวนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเสื่อมสภาพหรือหมดอายุเมื่อใด หากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านั้นสามารถทำนายอายุระบบฉนวนได้แล้วจะทำให้สามารถคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นได้และสามารถมีการเตรียมนำเครื่องจักรกลไฟฟ้าสำรองมาทดแทนอันจะทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบนั้นๆ

ในปัจจุบันมีการทดสอบการเสื่อมสภาพของฉนวนโดยการเร่งอายุของระบบฉนวน ซึ่งในการทดสอบนั้นจะสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสเพียงอย่างเดียว และใช้เวลาในการทดสอบนาน ดังนั้นในโรงงานนี้จึงได้นำเสนอการทดสอบด้วยวิธีการเร่งอายุของฉนวนและตรวจสอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดันและความถี่แล้วทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบฉนวนเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแล้วนำค่าเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทดสอบให้สั้นลง

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ระบบเครื่องจักรกลไฟฟ้ามีบทบาทมาก ดังนั้นการดูแลและทำให้เครื่องจักรกลมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญ จึงนำมาสู่การศึกษาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรกลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของเครื่องจักรกลไฟฟ้า จึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบฉนวนเมื่อมีการเร่งอายุเพื่อศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ในระบบฉนวนและสามารถหาจรรยาบรรณของระบบฉนวนได้ เพื่อนำมาพัฒนาระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากสมมติฐานที่ว่าระบบฉนวนนั้นมีวงจรสมมูล ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวทำให้การคิดการเสื่อมสภาพของระบบฉนวนนั้นจะทำให้การทดสอบระบบฉนวนไม่ได้ดูจากค่าของความต้านทานเพียงอย่างเดียว แต่จะศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบฉนวน เช่น ค่าความต้านทาน แรงดัน ค่าของตัวเก็บประจุ เป็นต้น

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

โครงการฉบับนี้ทำการศึกษาการทดสอบการเร่งอายุของระบบฉนวนและตรวจสอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยศึกษาพฤติกรรมจากวงจรสมมูลของฉนวน การเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นกระแสและแรงดัน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างสัญญาณแรงดันและความถี่ต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนและสามารถหาวงจรสมมูลได้

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

การดำเนินการศึกษาวิจัยโดยมีการกำหนดขั้นตอนรายละเอียดต่างๆเป็นลำดับดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการกล่าวถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเร่งอายุของระบบฉนวน ซึ่งมีปัจจัยทางความร้อน ปัจจัยทางกล ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ซึ่งจะกล่าวถึงผลกระทบจากการเกิดปัจจัยเพียงอย่างเดียว และการเกิดผลกระทบในหลายๆปัจจัยกับระบบฉนวนพร้อมๆกัน

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบฉนวน ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีวงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-2000 และทฤษฎี และลักษณะสมบัติที่สำคัญของฉนวน

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการกล่าวถึงการเร่งอายุทางความร้อนระบบฉนวนตามมาตรฐาน IEC 34-18-1[3] ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน ตั้งแต่การเตรียมการทดสอบชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ การทดสอบเพื่อการวินิจฉัย และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการกล่าวถึงการเร่งอายุทางความร้อนของระบบฉนวนโดยการใช้แบบจำลองร่องสลิตตามมาตรฐาน IEC 34-18-21 ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบทั้งหมด คือ การเตรียมระบบฉนวนที่ใช้ทำการทดสอบ การออกแบบแบบจำลองร่องสลิต ขั้นตอนการเร่งอายุทางความร้อน การทดสอบการปรับสภาพก่อนการวินิจฉัย โดยการทดสอบทางกล การทดสอบทางความชื้น และการทำการทดสอบเพื่อวินิจฉัยโดยการทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 5 เป็นการนำเสนอการทดลองและผลการทดลอง โดยการทดลองจะทำการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนและตรวจสอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของระบบฉนวน โดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถจ่ายแรงดันและความถี่ค่าต่างๆได้

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการกล่าวถึงการสรุปผลงานวิจัยที่ได้จากโครงการนี้โดยการทำการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนและตรวจสอบด้วยวงจรีเล็กทรอนิกส์ของระบบฉนวน โดยการใช้แบบจำลองร่องสลีต พร้อมทั้งข้อเสนอแนะและวิจารณ์ผลการทดลองเพื่อการวิจัยต่อไปในอนาคต

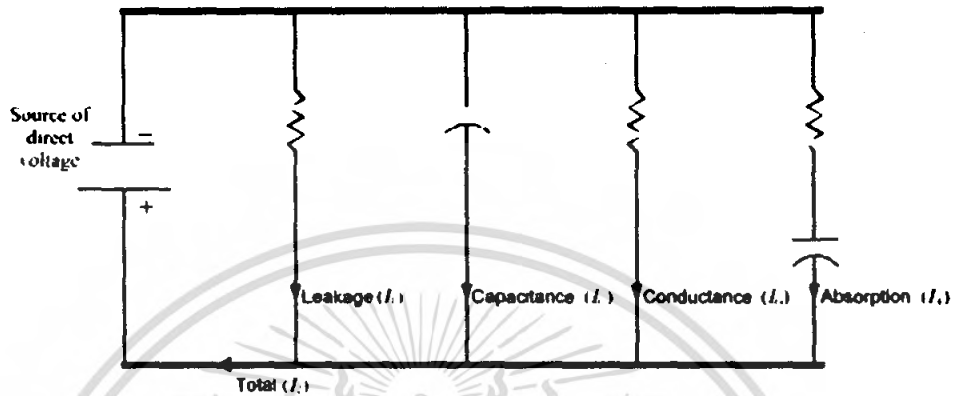


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-2000

วงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-20000 จะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-2000

#### 2.1.1 ค่าของกระแสที่ได้จากวงจรสมมูลฉนวนนั้นจะประกอบด้วย

- absorption (polarization) current ( $I_A$ ) กระแสดูดซับ (ความแตกต่าง) ผลของกระแสจากความเปลี่ยนแปลง (polarizing) โมเลกุลและการปล่อยอิเล็กตรอน ซึ่งการเสื่อมลงจะขึ้นกับเวลาของการป้อนแรงดัน ณ อัตราการลดลงจากค่าที่สูงไปจนถึงจุดใกล้ศูนย์ และขึ้นอยู่กับชนิดและวัสดุที่เชื่อมในระบบฉนวน

- conduction current (กระแสตัวนำ)  $I_C$  กระแสซึ่งคงที่ในเวลาจะผ่านตลอด ฉนวนปริมาณมากจากกราวด์ไปยังตัวนำแรงดันสูงขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เชื่อมในระบบฉนวน

- electroendosmosis effect ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นถูกสังเกตส่วนใหญ่จะเดินใน winding เก่า, เมื่อมีความชื้นปรากฏ, การแตกต่างของค่า IR อาจถูกหามา เมื่อขั้วของหัวทดสอบถูกกลับทิศ, สำหรับ wind เปียก IR สำหรับการกลับขั้ว, เมื่อหัว ground ต่อกับขดและขั้วลบแรงดันต่อกลับ ground จะมีค่า IR สูงกว่าปกติ

-  $IR_{(t)}$  ความสามารถของฉนวนทางไฟฟ้าของขดลวดเพื่อต้านทานกระแสตรง ผลหารของการป้อนแรงดันตรงของขั้วลบกับกระแระหว่างฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้า ณ  $40^\circ\text{C}$  เมื่อเกิดขึ้น ณ เวลา  $t$  จากการเริ่มต้นของการป้อนแรงดัน แรงดันที่ป้อนปกติ 1 นาที และ 10 นาที อย่างไรก็ตามค่าอื่นก็สามารถใช้ได้ ค่า 1-10 จะเป็นนาที แต่ค่าของ 15 หรือมากกว่าจะถือเป็นวินาที

- geometric capacitive current ( $I_C$ ) กระแสประจุ ค่ากระแสตรงข้ามของค่าเทียบเคียง ยอดสูง และช่วงเวลาสั้นๆจะเสื่อมลงในลักษณะ exponential เมื่อเวลาที่ป้อนแรงดันเปลี่ยนแปลง และขึ้นอยู่กับความต้านทานภายนอกของเครื่องมือวัด และค่า geometric capacitive current

- ( $P.I._{\omega(t)}$ ) ค่าการเปลี่ยนแปลงของ IR ในเวลา ผลหารของ IR ที่เวลา ( $t_2$ ) ทหารกับ IR ( $t_1$ ) ถ้าไม่เจาะจงจะสมมติเป็นที่ 10 และ 1 นาทีตามลำดับ PI10/1 min 1-10 เป็นนาที ถ้า 15 หรือมากกว่าเป็นวินาที เช่น PI60/15 IR160s/IR115

- surface leakage current condition ( $I_L$ ) ค่ากระแสรั่วไหลที่ผิว ค่ากระแสคงที่กับเวลา จะเกิดขึ้นบ่อยที่ผิว ณ จุด end turn ของ stator winding หรือระหว่างตัวนำปิดเผยกับ body rotor ใน winding ของ rotor ที่ถูกฉนวนรอบ ค่ายอดของขึ้นกับ อุณหภูมิ และจำนวนของวัสดุตัวนำ เช่น ความชื้นหรือสิ่งที่ทำให้สกปรกบนผิวของฉนวน

### 2.1.2 Insulation resistance general theory

IR ของ machine เป็น function ของชนิดและเงื่อนไขของ insulation IR จะ vary ที่พอเหมาะของ ความหนาฉนวนและส่วนกลับกับพื้นที่ผิวตัวนำ

#### 2.1.2.1 ส่วนประกอบของ DC current ที่ถูกวัด

โดยนิยาม IR คือ ผลหารของ voltage ที่ถูกข้ามฉนวนหารโดยกระแสลัด ณ เวลาที่ป้อน ผลของ กระแสรวม  $I_t$  เกิดจาก 4 กระแสรวมกัน กระแสรั่วผิว  $I_L$  กระแสประจุเชิงเรขาคณิต  $I_C$  กระแสความ นำ  $I_G$  กระแสดูดซับ  $I_A$

วงจรสมมูลของกระแสต่างๆในการทดสอบ IR ดังรูปที่ 2.1

$I_C$  จะไม่มีผลกับการวัด เพราะจะหายไปครั้งแรกที่ 1 นาที

$I_A$  หรือ polarization current เปลี่ยนแปลงในอัตราที่ลดลง กระแสกับเวลาจะสัมพันธ์สมการที่ 1 ถ้า plot ใน log-log graph ได้เส้นตรง

$$I_A = Kt^{-n} \quad (2.1)$$

K คือ ..... ของส่วนระบบฉนวนและแรงดันที่ป้อน

t คือ เวลาในการป้อนแรงดันตรง

n คือ ..... ของส่วนระบบฉนวน

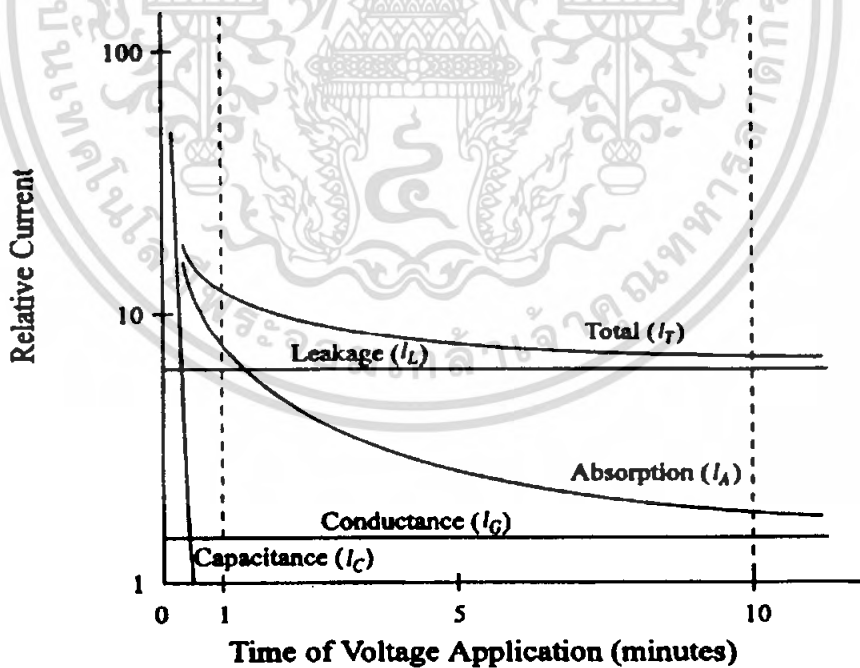
$I_A$  มี 2 ส่วนประกอบ ส่วนแรกอ้างถึง polarization วัสดุฉนวนตัว เพราะโมเลกุลของ สารอินทรีย์ เช่น epoxy polyester asphalt โน้มเอียงให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมในสถานะสนามไฟฟ้า ตรง เพราะโมเลกุลเหล่านี้ต้องมีความตึงเครียดกับแรงดึงดูดของแต่ละโมเลกุล มันจะมีผลอย่าง สม่่าเสมอไม่ก็หน้าที่ภายหลังของสนามไฟฟ้าสำหรับโมเลกุลเพื่อปรับสภาพอีกครั้ง (reoriented) และดังนั้นสำหรับพลังงานโพล่าไรเซชันกระแสที่ถูกจ่ายจะลดลงเกือบ 0 ส่วนที่ 2 ของ  $I_A$  คือ ส่วนที่ลดลงอยู่ที่ละน้อยของอิเล็กตรอนและไอออนผ่านตลอดวัสดุสารอินทรีย์นั้น อิเล็กตรอนและ

ไอออนเหล่านี้ลอยจนกระทั่งมันกลายเป็นtrappedที่ผิวไมก้า ในระบบฉนวนของmachine IR ระหว่าง 30 วินาทีถึงไม่กี่นาทีจะถูกตัดสินใจอย่างแรกด้วย  $I_A$  เพราะ  $I_A$  เป็นลักษณะของวัสดุฉนวน และอุณหภูมิของwinding  $I_A$  จะไม่ดีและเร็วในผู้ผลิตระบบฉนวน ตั้งแต่ 1970 (จะเป็น polyester thermosettingหรือepoxy bonded) ค่าของ  $n$  จากสมการ (1)จะแตกต่างจาก thermoplasticที่เก่ากว่า(asphaltหรือshellac bonded) มันไม่สำคัญที่ว่าวัสดุฉนวนสมัยใหม่จะดีกว่าเพราะ  $I_A$  ต่ำกว่า และIRสูง เช่น polyethyleneไม่มี  $I_A$  เพราะขอบเขตของความร้อนมันจึงมีความเหมาะสมจะใช้ในmachineหม่น

$I_G$  ในการเชื่อมที่ดี polyester และepoxy-mica ระบบฉนวนจำเป็นที่เป็น 0 ถ้าไม่แล้ว ฉนวนจะถูกอ้อมตัวโดยความชื้น ระบบฉนวนยุคเก่า เช่น asphalt-mica หรือshellac mica..... จะมีความเป็นธรรมชาติและการนำกระแสสูง เนื่องด้วยความนำของเทปนิ่งตามหลังไมก้า (thatback the mica)

$I_L$  เป็นค่าคงที่ในเวลา ถ้า  $I_L$  สูง เช่น IRต่ำเกิดเพราะความชื้นหรือสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลไฟฟ้า

2.1.2.2 คุณลักษณะของกระแสตรงที่ถูกวัดได้(Characteristic of the measured direct current)การเปรียบเทียบการเปลี่ยนIRหรือกระแสรวมในระหว่างการทดสอบแรงดันสูงอาจมีประโยชน์ในการประเมินความสะอาดและความแห้งของwinding ถ้าwindingสกปรกหรือเปียก  $I_L$  จะคงที่ตามเวลาโดยประมาณเพราะ  $I_L$   $I_G$  จะมากกว่า  $I_A$  มากๆ ถ้าwindingสะอาดและแห้ง  $I_L$  จะลดลงตามเวลาเพราะ  $I_L$  จะขึ้นอยู่กับ  $I_A$  (เช่น การpolarization)ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 คุณลักษณะของกระแสตรงที่ถูกวัดได้

## 2.2 ลักษณะสมบัติที่สำคัญของฉนวน

ลักษณะสำคัญที่เป็นตัวชี้บอกถึงคุณสมบัติและคุณภาพของไดอิเล็กตริกมี 4 ประการ คือ

1. ความต้านทาน
2. เพอร์มิตติวิตีหรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริก
3. แפקเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก
4. ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กตริก

### 2.2.1 ความต้านทานของฉนวน

ไดอิเล็กตริกหรือฉนวนไฟฟ้าที่สมบูรณ์แล้วจะต้องไม่นำกระแสเลยทั้งสิ้นถ้าหากได้รับแรงดันกระแสตรง นั่นคือจะไม่มีสภาพนำไฟฟ้าอยู่เลย หรือกล่าวอีกในหนึ่งก็คือ สารฉนวนนั้นมีค่าความต้านทานสูงเป็นอนันต์ แต่ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในทางปฏิบัตินั้นมักจะนำกระแสแต่มีค่าน้อยมากเมื่อป้อนแรงดันกระแสตรง นั่นแสดงว่าสารฉนวนไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไม่สูงเป็นอนันต์ หากแต่มีค่าสูงที่วัดได้ ค่าความต้านทานยิ่งสูงก็แสดงว่าฉนวนนี้มีคุณภาพการฉนวนที่ดี

เมื่อนำฉนวนไปคั่นระหว่างอิเล็กโทรดที่ป้อนแรงดันกระแสตรงเป็นเวลานานพอ จะมีกระแสไหลผ่านฉนวนนั้นแต่น้อย เรียกว่ากระแสรั่ว หรือกระแสค้ำง กระแสรั่วที่ไหลผ่านฉนวนที่แบ่งออกเป็นสองทาง คือ ทางหนึ่งไหลผ่านเนื้อฉนวนใน เนื่องจากฉนวนมีสภาพนำไฟฟ้าอยู่บ้างดังกล่าวแล้ว ส่วนอีกทางหนึ่งไหลผ่านตามผิวฉนวนเนื่องจากผิวฉนวนมีสภาพนำ เนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนและความชื้นที่ผิว ด้วยเหตุนี้เองการวัดความต้านทานของฉนวนจึงแยกเป็นความต้านทานเชิงปริมาตร (volume resistance) และความต้านทานเชิงผิว (surface resistance)

ค่าความต้านทานของไดอิเล็กตริกอาจคำนวณหรือวัดได้เช่นเดียวกับความต้านทานของตัวนำ ถ้าทราบความต้านทานจำเพาะ  $\rho$  ความยาว  $l$  พื้นที่หน้าตัด  $A$  ของไดอิเล็กตริก เช่นในกรณีแผ่นไดอิเล็กตริกระหว่างแผ่นระนาบคาปาซิเตอร์ ความต้านทานของฉนวนจะหาได้จาก

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.2)$$

ส่วนในกรณีของไดอิเล็กตริกของคาปาซิเตอร์แบบทรงกระบอกซ้อน ความต้านทานของฉนวนหาได้จาก

$$R = \int_1^2 \frac{\rho dx}{2\pi x} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $x$  คือ รัศมีใดๆ วัดจากแกนและ  $dx$  ความหนาส่วนย่อยของฉนวน  
 $r_1$  และ  $r_2$  คือ รัศมีของตัวนำในและตัวนำนอกตามลำดับ  
 $l$  คือ ความยาว

### 2.2.2 เปรอิมิตติวิตี (permittivity)

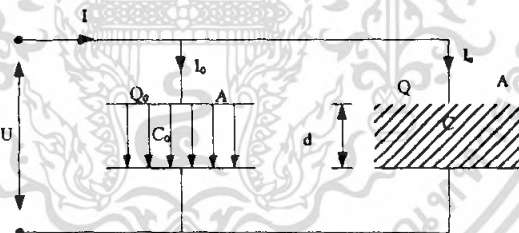
เปรอิมิตติวิตีนี้บางทีก็เรียกว่า ค่าคงตัวของไดอิเล็กตริก (dielectric constant)  $\epsilon$  เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญประการหนึ่ง ไม่มีมิติและเป็นตัวบ่งบอกลักษณะของไดอิเล็กตริกหรือสารฉนวนไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดความสามารถของการสร้างคาปาซิเตอร์ หรือกล่าวง่ายๆ  $\epsilon$  ก็คือค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าคาปาซิเตอร์จะเพิ่มขึ้นกี่เท่าของคาปาซิเตอร์สูญญากาศเมื่อใส่ไดอิเล็กตริกมีเปรอิมิตติวิตี  $\epsilon$  เข้าไปแทนที่ นั่นคือ

$$C = \epsilon C_0 \quad (2.4)$$

ปกติเปรอิมิตติวิตี  $\epsilon$  จะแสดงเป็นความสัมพันธ์  $\epsilon_r$  เทียบกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสูญญากาศหรือความว่างเปล่า  $\epsilon_0$

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (2.5)$$

โดยที่  $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$



รูปที่ 2.3 ค่าเก็บประจุระหว่างแผ่นระนาบที่มีค่าเปรอิมิตติวิตีเป็นสูญญากาศ  $\epsilon_0$  และ  $\epsilon$

และจากความสัมพันธ์ของคาปาซิเตอร์  $C = \frac{Q}{U}$  จะได้ค่าคาปาซิเตอร์ของสูญญากาศ

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.6)$$

ถ้าใส่ไดโอดีเล็กตริกที่มีสารอื่น (ฉนวนเหลว ฉนวนแข็ง ฉนวนก๊าซ) เข้าไปแทนที่ สูญญากาศระหว่างแผ่นไดโอดีทโรค จะพบว่าถึงแม้ว่าแรงดันที่ป้อนมีค่าคงที่ก็ตาม แต่กระแสใน วงจร จะมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าค่าคาปาซิแตนซ์เพิ่มสูงขึ้น ความหนาแน่นของประจุบนไดโอดีทโรค เพิ่มขึ้น และอาจเนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนหรือไอออนไหลผ่านไดโอดีทโรคมากขึ้น

แต่คาปาซิเตอร์สูญญากาศที่มีค่าคาปาซิแตนซ์  $c_0$  กระแสที่ไหลผ่านจะเป็น

$$i(t) = c \frac{du(t)}{dt} \quad \text{หรือ} \quad \bar{i} = j\omega c_0 \bar{U} \quad (2.7)$$

เครื่องหมาย  $j$  แสดงให้เห็นเด่นชัดว่ากระแสนำหน้าแรงดันเป็นมุม 90 องศา ส่วน คาปาซิเตอร์ที่มีสารไดโอดีเล็กตริก ค่าคาปาซิแตนซ์  $c$  จะไม่เท่ากับ  $c_0$  และยิ่งกว่านั้นจะ สังเกตเห็นว่าในทางปฏิบัติเฟสเซอร์ระหว่างแรงดันกับกระแสมีมุมน้อยกว่า 90 องศา เพราะมี พลังงานสูญเสียในลักษณะความต้านทาน นั้นแสดงว่าค่าคาปาซิแตนซ์เป็นคอมเพล็กซ์ คือ มีค่า จริงและค่าจินตภาพ ซึ่งรวมอยู่ในรูปของเปอร์มิตติวิตี คือ

$$\bar{c} = \epsilon_r c_0 \quad (2.8)$$

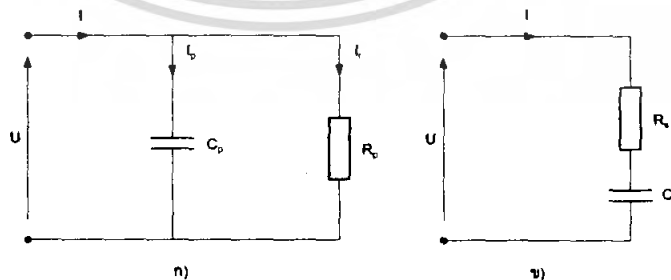
โดยที่

$$\bar{\epsilon}_r = \epsilon' - j\epsilon''$$

ฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์

$$\begin{aligned} \bar{I} &= j\omega \bar{U} \\ &= j\omega(\epsilon' - j\epsilon'')c_0 \bar{U} \\ &= j\omega\epsilon'c_0 \bar{U} + \omega\epsilon''c_0 \bar{U} \end{aligned} \quad (2.9)$$

เทอมแรกขวามือของสมการ  $\bar{I}$  ก็คือ กระแสคาปาซิแตนซ์  $I_c$  และเทอมหลังคือ กระแสพลังงานสูญเสีย  $I_r$  คือ  $\bar{I} = I_c + I_r$  ไดโอดีเล็กตริกมีพลังงานสูญเสีย และสามารถเก็บประจุไว้ในคาปาซิเตอร์ จึงอาจเขียนแทนด้วย วงจรสมมูล คือ ดังรูป ก) เป็นวงจรขนาน รูป ข) เป็นวงจรอันดับ



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของไดโอดีเล็กตริก

วงจรม้วน

$$c_p = \epsilon' c_0$$

$$R_p = 1/(\omega \epsilon'' c_0)$$

$$tg \delta = \frac{1}{\omega R_p c_p} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2.10)$$

วงจรรันดับ

$$c_s = \frac{|\epsilon_r|^2}{\epsilon'} c_0 = \epsilon' \{1 + (tg \delta)^2\} c_0$$

$$R_s = \frac{\epsilon''}{\omega |\epsilon_r|^2 c_0}$$

$$tg \delta = \omega R_s c_s = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2.11)$$

มุม  $\delta$  นี้เรียกว่ามุมพลังงานสูญเสียเปล่า (loss angle)

จากสมการ  $c_p$  และ  $c_s$  จะเห็นได้ว่า ค่าคาบไซแตนต์ของคอนเดนเซอร์ที่มีสารไดอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับวงจรม้วน ในกรณีที่พลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กทริกมีค่าต่ำ คือ  $\epsilon'' \ll \epsilon'$  หรือ  $tg \delta \ll 1$  ค่าคาบไซแตนต์ทั้งสองจะเท่ากัน คือ  $c_p = c_s$  และจะได้

$$\epsilon_r \rightarrow \epsilon_r = \epsilon' \quad (2.12)$$

นั่นก็คือ  $\epsilon'$  จะเป็นค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (relative dielectric const.)  $\epsilon_r$  ที่ใช้กัน ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์  $\epsilon_r$  นี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยทั่วไปฉนวนที่มีใช้ทั่วไปในถ้ำอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น  $\epsilon_r$  จะเพิ่มสูงขึ้น

### 2.2.3 แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียไอเล็กตริก

พลังงานสูญเสียไอเล็กตริกอาจแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานสูญเสียเนื่องจากสภาพนำไฟฟ้าของไอเล็กตริกที่ความต้านทานไม่ถึงค่าอนันต์ และอีกส่วนหนึ่งเป็นพลังงานสูญเสียเนื่องจากโปลาไรเซชันของไอเล็กตริก จัดเป็นพลังงานสูญเสียทางไฟฟ้า

ถ้าป้อนแรงดันรูปคลื่นไซน์กับคาปาซิเตอร์ที่สมบูรณ์ กระแสไหลผ่านคาปาซิเตอร์จะมีเฟสหน้าหน้าแรงดันเป็นมุม 90 องศา

ถ้าให้

$$U = U_m \sin \omega t$$

$$I = \omega C U_m \cos \omega t$$

$$I = \omega C U$$

เมื่อ  $U$  เป็น ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันที่ป้อน ในทางปฏิบัติกระแสที่ไหลในคาปาซิเตอร์จะนำหน้าแรงดันน้อยกว่า 90 องศา ดังรูปที่ 2.10  $\phi$  เป็นมุมเฟสของคาปาซิเตอร์ ดังนั้นพาวเวอร์แฟกเตอร์ =  $\cos \phi$  หรืออีกอย่างหนึ่งคือ  $\sin \delta$  ฉะนั้นกำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ไม่สมบูรณ์ คือ

$$UI \cos \phi \text{ หรือ } UI \sin \delta$$

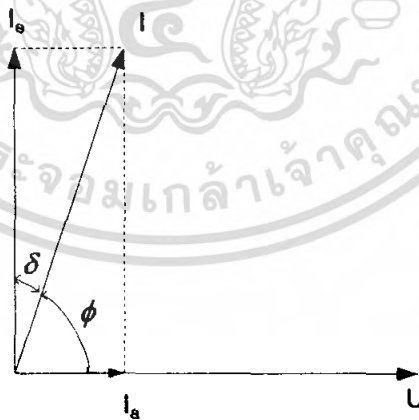
เมื่อ  $\delta$  มีค่าน้อยๆ  $UI \sin \delta = UI \tan \delta$

โดยที่

$$\delta = 90^\circ - \phi$$

$$\delta = \text{มุมพลังงานสูญเสียไอเล็กตริก}$$

$$\tan \delta = \text{แฟกเตอร์พลังงานสูญเสียไอเล็กตริก}$$



รูปที่ 2.5 มุมเฟสกระแสในตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{U/R_p}{\omega C_p U} = \frac{1}{\omega C_p R_p} \quad (2.13)$$

ฉะนั้นพลังงานสูญเสีย

$$P_d = \frac{U^2}{R} = U^2 \omega C_p \operatorname{tg} \delta$$

หรือ

$$P_d' = E^2 \omega \epsilon \operatorname{tg} \delta \quad (2.14)$$

เมื่อ

$P_d'$  เป็น พลังงานสูญเสียต่อปริมาตร

$E$  เป็น ความเครียดสนามไฟฟ้า

ถ้า

$C$  เป็น ค่าเก็บประจุไฟฟ้า (ฟารัด)

$U$  เป็น ค่าแรงดันที่ป้อน (โวลต์)

จะได้

$P_d$  เป็น ค่ากำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก (วัตต์)

#### 2.2.4 ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กตริก

ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวน (Dielectric strength) ซึ่งเป็นตัวชี้บอกให้ทราบว่าไดอิเล็กตริกสามารถทนต่อแรงดันได้มากหรือน้อยเพียงใด กำหนดด้วยค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่จะทำให้ไดอิเล็กตริกเบรกดาวน หาได้โดยป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นจนเกิดเบรกดาวน ค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่มีโครงสร้างทางเคมีและทางฟิสิกส์ต่างกัน สารประเภทที่มีโครงสร้างเป็นผลึกจะเกิดเบรกดาวนตามแนวที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมน้อยที่สุด ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นว่าร่องรอยของเบรกดาวนในฉนวนจะไม่เป็นเส้นตรง โดยปกติไดอิเล็กตริกแข็งจะทนต่อแรงดันเบรกดาวนได้สูงกว่าไดอิเล็กตริกเหลว การเบรกดาวนในฉนวนเหลวสภาพการฉนวนจะกลับสู่สภาพปกติได้หลังจากเบรกดาวนผ่านไป แล้ว แต่ในฉนวนแข็งเกิดเบรกดาวนแล้วสภาพการฉนวนจะหายไป ใช้งานเพื่อการฉนวนอีกไม่ได้ อย่างไรก็ตามฉนวนเหลวหรือฉนวนแข็งก็อาจมีค่าแรงดันเบรกดาวนต่ำถ้าหากมีสิ่งเจือ

### บทที่ 3

## กระบวนการทดสอบเพื่อหาค่าความคงทนทางความร้อนของระบบ ฉนวนสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุน

### 3.1 บทนำ

ทุกปัจจัยการเร่งอายุ เช่น ปัจจัยทางความร้อน ทางไฟฟ้า ทางกล และสภาพแวดล้อม มีผลกับค่าอายุระบบฉนวนในทุกชนิดเครื่องจักรกลไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละปัจจัยจะส่งผลกับแต่ละชนิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าไม่เหมือนกันโดยทั่วไปแล้วฉนวนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาดเล็กได้รับผลจากปัจจัยทางความร้อนและทางสภาพแวดล้อมมากกว่า ส่วนปัจจัยทางไฟฟ้าจะปัจจัยทางกลจะส่งผลน้อยกว่า ในบทนี้จะนำเสนอกระบวนการทดสอบเพื่อหาค่าความคงทนทางความร้อนระบบฉนวนสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนตามมาตรฐาน IEC-34-18-1

### 3.2 ระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวน

ในการศึกษากระบวนการทดสอบเพื่อหาค่าความคงทนทางความร้อนระบบฉนวนนั้น จะต้องทราบระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวนเสียก่อน ซึ่งระดับชั้นทางความร้อนที่ใช้เป็นสากลแสดงได้ดังตาราง 2.1 โดยระบบฉนวนในแต่ละชนิดนั้นจะมีระดับชั้นทางความร้อนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุฉนวนที่ประกอบอยู่ ซึ่งในแต่ละระดับชั้นความร้อนนั้นจะมีการทดสอบตามกระบวนการทดสอบความคงทนทางความร้อนที่แตกต่างกัน

#### ตารางที่ 3.1 ระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวน

ระดับชั้นทางความร้อน	อุณหภูมิ(°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200	200
220	220
250	250

### 3.3 กระบวนการทดสอบความคงทนทางความร้อน

วัตถุประสงค์ของการทดสอบความคงทนทางความร้อนระบบฉนวนนั้นเพื่อเป็นการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้จัดระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวนของระบบฉนวนใหม่ก่อนที่จะมีการนำระบบฉนวนนั้นไปใช้ ซึ่งกระบวนการทดสอบนี้เป็นกรกล่าวถึงกระบวนการทดสอบโดยรวมของระบบฉนวนลักษณะต่างๆของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุน ซึ่งกระบวนการทดสอบสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนนี้จะมีความซับซ้อนอันเนื่องมาจากระบบฉนวนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนนั้นมีความซับซ้อนนั่นเอง

#### 3.3.1 รูปแบบกระบวนการทดสอบระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุน

เนื่องจากระบบฉนวนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนนั้นมีความซับซ้อนและมีอยู่หลายรูปแบบฉะนั้นในการทดสอบจึงมีรูปแบบการทดสอบใน 2 รูปแบบ คือ

- รูปแบบกระบวนการทดสอบสำหรับการพันแบบไวร์วาวด์ (wire wound winding) ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการทดสอบเป็นหลายลักษณะ คือ การทดสอบมอเตอร์ การทดสอบโดยแบบจำลองร่างสลีต (motorette) การทดสอบสำหรับขดลวดในร่องสลีตที่สเตเตอร์ การทดสอบสำหรับการพันขดลวดสำหรับสร้างขั้ว (pole winding) การทดสอบสำหรับขดลวดในร่องสลีตที่โรเตอร์

- รูปแบบกระบวนการทดสอบสำหรับการพันแบบฟอร์มวาวด์ (form wound winding) ซึ่งเป็นการทดสอบสำหรับการพันขดลวดที่มีการทำเป็นรูปแบบสำเร็จก่อนที่มีการพันลงบนสเตเตอร์ หรือโรเตอร์

### 3.3.2 วัสดุทดสอบ

#### 3.3.2.1 โครงสร้างของวัสดุทดสอบ

วัสดุฉนวนและส่วนประกอบต่างๆ ของระบบฉนวนที่นำมาทดสอบควรมีการตรวจสอบสภาพของวัสดุและส่วนประกอบนั้นๆ ก่อนที่จะนำมาทดสอบ ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ ที่นำมาทดสอบนั้นควรให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เช่น ความหนาของฉนวน หรือ ระยะครีเพจ (creepage distance) เป็นต้น

#### 3.3.2.2 จำนวนชิ้นงาน

ค่าความต้านทานฉนวน การวัดค่าคาปาซิเตอร์ การวัดค่าแรงดันเริ่มต้นสำหรับการเกิดดิซชาร์จ บางส่วน กระแสไฟฟ้ารั่วไหล การทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง เป็นต้น

### 3.3.3 โครงสร้างกระบวนการทดสอบ

#### 3.3.3.1 หลักการโดยทั่วไป

การหาค่าการเสื่อมลงของระบบฉนวนเนื่องมาจากการถูกเร่งอายุทางความร้อนอาจมีค่าไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักรกลทางไฟฟ้า หรือส่วนของขดลวดที่สนใจ เช่น จุดสุดท้ายของการพัน (end winding) หรือส่วนของสลิตที่ถูกฝังอยู่

ในหลายๆกรณีประสบการณ์จะเป็นสิ่งบ่งชี้ที่ดีที่สุดสำหรับการวินิจฉัยหาค่าการเสื่อมลงทางอุณหภูมิ และ โดยส่วนใหญ่แล้วการเปราะบางของระบบฉนวนนั้นถูกหาได้อย่างเห็นได้ชัดจากการถูกความเค้นทางกล ซึ่งนั่นจะทำให้เกิดรอยแตกขึ้นในระบบฉนวน อันทำให้การให้ความชื้นมีผลทำให้การวินิจฉัยโดยแรงดันไฟฟ้ามีผลในที่สุด

ในกรณีอื่นๆ ความเค้นทางกล การให้ความชื้นและการทดสอบโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า อาจไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดสำหรับการวินิจฉัย ซึ่งอาจหาวิธีที่เหมาะสมในการวินิจฉัยเช่น การทดสอบทางไดอิเล็กตริก การวัดค่าการดิซชาร์จบางส่วน เป็นต้น เพื่อใช้ในการสอบคุณภาพของฉนวนเมื่อได้รับการเร่งอายุทางความร้อน

#### 3.3.3.2 อุณหภูมิการเร่งอายุและระยะเวลาของรอบย่อยการทดสอบ

ในการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนนั้นถูกแนะนำให้ทำการทดสอบกับชิ้นงานอย่างน้อย 3 อุณหภูมิทดสอบ ซึ่งระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวนที่ใช้เป็นมาตรฐานแสดงได้ดังตาราง 3.1 โดยที่อุณหภูมิการเร่งอายุที่แนะนำและคาบเวลาของรอบย่อยการทดสอบในแต่ละรอบการเร่งอายุสำหรับระบบฉนวนแสดงได้ดังตาราง 3.2 ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถปรับเปลี่ยนได้ และแต่ละรอบของการทดสอบที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งนั้นควรมีรอบย่อยการทดสอบอย่างน้อย 10 รอบย่อยการทดสอบ เป็นที่ทราบกันดีว่าในระยะเวลาช่วงที่มีการผลิตของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุน อาจมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเปลี่ยนวัสดุหรือกระบวนการในการผลิตสำหรับเหตุผลทางเทคโนโลยีหรือจากเหตุผลทางการตลาด ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุแล้วค่าความคงทนของฉนวนจะเปลี่ยนไป ซึ่งในการทดลองนั้นควรกระทำที่อุณหภูมิการทดสอบที่เหมือนกัน ซึ่งหากผลการทดสอบที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน แล้วก็สามารถยอมรับได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงนั้น

### ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิแนะนำ

ระดับชั้นทางความร้อน	A	E	B	F	H	200	วันต่อรอบย่อยการทดสอบ(วัน)
อุณหภูมิแนะนำสำหรับการทดสอบ (°C)	170-180	185-195	195-205	220-230	245-255	265-275	1-2
	160-170	175-185	185-195	210-220	235-245	255-265	2-3
	150-160	165-175	175-185	200-210	225-235	245-255	4-6
	140-150	155-165	165-175	190-200	215-225	235-245	7-10
	130-140	145-155	155-165	180-190	205-215	225-235	14-21
	120-130	135-145	145-155	170-180	195-205	215-225	28-35
	110-120	125-135	135-145	160-170	185-195	205-215	45-60

#### 3.3.3.3 ความหมายของการให้ความร้อน

แม้ว่าจะมีข้อเสียที่เด่นชัดอยู่ก็ตาม แต่จากประสบการณ์ที่ผ่านมาการให้ความร้อนโดยตู้อบความร้อนนั้นเป็นวิธีที่มีความสะดวกสบายที่สุด และยังเป็นวิธีที่ประหยัดด้วยสำหรับการหาค่าการเร่งอายุทางความร้อน ซึ่งการให้ความร้อนโดยใช้ตู้อบความร้อนกับชิ้นงานที่นำมาทดสอบนั้นในความเป็นจริงแล้วบางส่วนของชิ้นงานอาจได้รับความร้อนไม่เท่ากันซึ่งอาจจะมีค่าบางจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดใดจุดหนึ่ง (hotspot temperature) ฉะนั้นในการทดสอบภายในตู้อบให้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุดควรมีการถ่ายเทที่เหมาะสม กล่าวคือที่อุณหภูมิที่ทำการทดสอบที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 180°C ควรมีการควบคุมให้อุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 2 K หากทำการทดสอบที่อุณหภูมิตั้งแต่ 180 – 300 °C ควรมีการควบคุมให้อุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 K

อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนโดยตู้อบอาจไม่สามารถทำได้ การทดสอบโดยการให้ความร้อนโดยตรงอาจเป็นการจำลองการทดสอบที่ใกล้เคียงและเหมาะสมกว่า เช่น การให้ความร้อนโดยตรงโดยวิธีการให้กระแสไฟฟ้า การทดสอบมอเตอร์โดยการเริ่มต้นและการหมุนย้อนกลับโดยการทดสอบเป็นคาบเวลา เป็นต้น

#### 3.3.4 รอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน

การทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนโดยการนำชิ้นงานทดสอบทำการทดสอบในตู้อบที่มีการระบายความร้อนอย่างเพียงพอ หรือมีระบบการพาความร้อนซึ่งจะเป็นการรักษารูปแบบของการให้อุณหภูมิแก่วัตถุทดสอบ ควรมีการนำวัตถุทดสอบที่ยื่นเข้าสู่ตู้อบที่มีความร้อนทันที

เพื่อให้อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงผลของการช็อกทางความร้อนในแต่ละรอบการทดสอบใน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนองเดียวกันวัตถุประสงค์สอบควรนำออกจากคู่มือมาสู่อุณหภูมิห้องโดยทันที เพื่อให้มีการเกิดรูปแบบของการช็อกทางความร้อนของการได้รับความเย็นภายหลังจากการได้รับความร้อนแล้วนั่นเอง

**3.3.5 รอบย่อยของการวินิจฉัย**

ภายหลังจากที่มีการทดสอบการเร่งอายุในแต่ละรอบย่อยการทดสอบ ชิ้นงานที่ทำการทดสอบแต่ละชิ้นงานควรมีการทดสอบเพื่อการวินิจฉัย โดยลำดับดังนี้ คือการให้ความเค้นทางกล การให้ความชื้น การทดสอบทางแรงดัน และการทดสอบอื่นๆ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ซึ่งการทดสอบเพื่อวินิจฉัยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

**3.3.5.1 การทดสอบทางกล**

การให้ความเค้นทางกลเป็นการทดสอบที่ถูกแนะนำให้มีการทดสอบ เพื่อให้การทดสอบมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนมากที่สุด วิธีการทดสอบที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง คือการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบกับโต๊ะสั่น และให้ทำการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมงที่ความถี่การเคลื่อนที่ 50- 60 Hz หรือวิธีอื่น เช่น การให้การกระแทกหรือการงอซ้ำๆ กันอาจมีการใช้กันตามความเหมาะสม

การเริ่มหมุนหรือการกลับทางหมุนที่เป็นคาบเวลา อาจเป็นเทคนิคที่ถูกใช้สำหรับการให้ความเค้นทางกลแก่ขดลวดในเครื่องจักรกลไฟฟ้าจริง อย่างไรก็ตามการให้ความเค้นทางกลในลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ

**3.3.5.2 การทดสอบทางความชื้น**

ความชื้นในหลายๆกรณีเป็นสาเหตุหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของระบบฉนวน ซึ่งอาจเกิดความเสียหายในหลายกรณีเมื่อได้รับความเค้นทางไฟฟ้า การดูดซึมขั้วความชื้นของฉนวนแข็งเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก และการลดค่าความต้านทานฉนวนด้วย ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความคงทนทางไฟฟ้า ความชื้นบนฉนวนนั้นเป็นการเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบโดยการทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า เช่น รอยแตกหรือโพรงอากาศในฉนวน แต่ในระหว่างการทดสอบทางความชื้นนี้ไม่ควรมีการทดสอบทางแรงดันไฟฟ้าให้กับชิ้นงานที่กำลังทำการทดสอบอยู่

การทดสอบในช่วงเวลา 2 วันเป็นการทดสอบที่สามารถเกิดความชื้นที่ผิวของฉนวนได้ ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถพบกันได้โดยทั่วไปในการใช้งานจริงของเครื่องจักรกลทางไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของฉนวนถึงจุดที่เหมาะสม

**3.3.5.3 การทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า**

ในการตรวจสอบสภาวะของชิ้นงานและการตัดสินใจจุดสิ้นสุดของอายุฉนวน การให้แรงดันไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของรอบย่อยของการวินิจฉัย ขนาดและรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ทำการทดสอบจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ใช้ทดสอบและขนาดของการใช้งานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าและความถี่ที่ใช้ การทดสอบแรงดันไฟฟ้าอาจมีการทดสอบระหว่างขดลวดกับเฟรม การทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างขดลวดกับขดลวด การทดสอบระหว่างรอบต่อรอบของขดลวด และการทดสอบระหว่างเส้นลวดกับเส้นลวด แล้วแต่ความเหมาะสม ถ้ามีการทดสอบความชื้น การทดสอบทางแรงดันไฟฟ้าจะทำการทดสอบเมื่อชิ้นงานยังคงเปียกอยู่ภายหลังจากได้รับการทดสอบทางความชื้นแล้ว

การทดสอบแรงดันไฟฟ้านี้ไม่ได้มีส่วนทำให้ค่าอายุของระบบฉนวนนั้นลดลงแต่อย่างใด แต่ควรมีการระมัดระวังเกิดการทรานเซียน (transient) หรือการเกิดเซิร์จ (surge) อันจะส่งผลให้ค่าของอายุระบบฉนวนนั้นลดลงเนื่องจากผลทางแรงดันไฟฟ้า

การเกิดการเสียหายในส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบฉนวนนั้นเป็นการบ่งชี้ถึงจุดสิ้นสุดอายุฉนวน ซึ่งจุดบ่งชี้ อาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ทำการวัด หรือการเกิดความร้อนหรือควันขึ้นในระบบฉนวน แต่หากเกิดการวบไฟตามฉนวนนั้นอาจไม่ถือเป็นการเกิดการเสียหายของระบบฉนวนจนทำให้ระบบฉนวนนั้นถึงจุดสิ้นสุดของอายุ

#### 3.3.5.4 การทดสอบการวินิจฉัยอื่นๆ

ในสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ทำให้การทดสอบเพื่อการวินิจฉัยอื่นๆ อาจมีการทดสอบซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เช่น การทดสอบความต้านทานฉนวน การทดสอบล่อแทนเจน (loss tangent) การทดสอบการดิสชาร์จบางส่วนอาจเป็นการทดสอบเพื่อให้เห็นการเสื่อมสภาพของฉนวนก่อนที่จะเกิดการเสียหายขึ้นในระบบฉนวน

## บทที่ 4

### กระบวนการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนระบบฉนวน โดยการใช้แบบจำลองร่องสลีต

#### 4.1 บทนำ

การทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนระบบฉนวนสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนนั้นมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการทดสอบโดยการใช้แบบจำลองร่องสลีตตามมาตรฐาน IEC 34-18-21 เป็นชิ้นงานสำหรับการทดสอบ ซึ่งเป็นการทดสอบสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำการพันแบบไวรวาร์ด สำหรับการทดสอบโดยวิธีนี้มีความสะดวกแก่การนำเครื่องจักรกลไฟฟ้าทั้งตัวไปทดสอบ และสามารถหาค่าอายุและตัดสินระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวนได้เช่นกัน

#### 4.2 ขอบเขตของการทดสอบ

การทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนของระบบฉนวนโดยการใช้แบบจำลองร่องสลีตตามมาตรฐาน IEC 34-18-21 เป็นวัตถุประสงค์ทดสอบนั้นจะทำการทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน IEC 34-18-21 ซึ่งในการทดสอบจะประกอบด้วยหลายรอบการทดสอบ ซึ่งแต่ละรอบการทดสอบจะประกอบด้วย

- รอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน
- รอบย่อยการทดสอบเพื่อการวินิจฉัย ซึ่งจะประกอบด้วย การทดสอบทางกลการทดสอบทางความชื้น การทดสอบด้วยแรงดันทางไฟฟ้า

#### 4.3 วัตถุประสงค์

##### 4.3.1 โครงสร้างของวัตถุประสงค์

ทดสอบที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ จะใช้โครงสร้างแบบจำลองร่องสลีตที่ได้ทำการออกแบบ และรูปแบบระบบฉนวนที่ถูกทดสอบ ซึ่งจำลองร่องสลีตที่ทำขึ้นรูปร่างนั้นควรจะมีใกล้เคียงกับระบบฉนวนจริงที่มีการประกอบเสร็จแล้ว ซึ่งเป็นการจำลองระบบฉนวนที่มีการพันแบบไวรวาร์ด ซึ่งมีรายละเอียดของแบบจำลองร่องสลีตดังนี้

##### 4.3.1.1 วัสดุที่นำมาใช้

- ส่วนประกอบที่เป็นโลหะ (นอกเหนือจากส่วนที่นำไฟฟ้า) โลหะสแตนเลส
- อินซูลเตอร์หรือเทอมินอล เซรามิคหรือวัสดุอื่นๆที่ทนต่ออุณหภูมิสูงๆ ได้
- ขดลวดและวัสดุที่เป็นฉนวน เมื่อนำมาใช้พิจารณาเลือกมาใช้ตามการใช้งานในเครื่องจักรกล

#### 4.3.1.2 ขนาดของวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดของวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบควรประมาณขนาดที่ใช้ตามการใช้งานในเครื่องจักรกล ระยะครีพเอง (creepage distance) ความหนาของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวน และที่ว่างอากาศควรเหมือนหรือใกล้เคียงกับการใช้งานในเครื่องจักรกล

#### 4.3.1.3 โครงสร้าง

ขดลวดสองขดถูกใส่เข้าไปในคูล์รอสลิตที่เหมือนกันซึ่งเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นของแบบจำลองรอสลิต รอสลิตถูกสร้างจากแผ่นสแตนเลสในรูปแบบโดยประมาณและถูกยึดอยู่บนมาตรฐานของแบบจำลองรอสลิต เทอมินอล ทั้ง 4 ชั้นจะถูกยึดอยู่บนฐานของแบบจำลองรอสลิตที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

ขดลวดทั้งสองขดนั้นได้พันด้วยลวดตัวนำสองเส้นขนานกัน จำนวนรอบควรจะประมาณให้พอดีกับรอสลิตโดยให้เหมือนกับการใช้งานในเครื่องจักรกล และขดลวดทั้งสองขดถูกต่อเข้ากับเทอร์มินอลเพื่อให้ง่ายในการทดสอบแรงดันระหว่างขดลวดกับกราวด์ , ระหว่างขดลวดกับขดลวด และระหว่างรอบของขดลวด

แบบจำลองรอสลิตไม่สามารถจำลองผลกระทบจากกระบวนการผลิตจริง เช่น เทคนิคในการพันขดลวด เนื่องจากผลกระทบจากกระบวนการผลิตนั้นมีค่าน้อยมาก แบบจำลองรอสลิตอาจจะประกอบด้วยมือเพราะง่ายและสะดวก

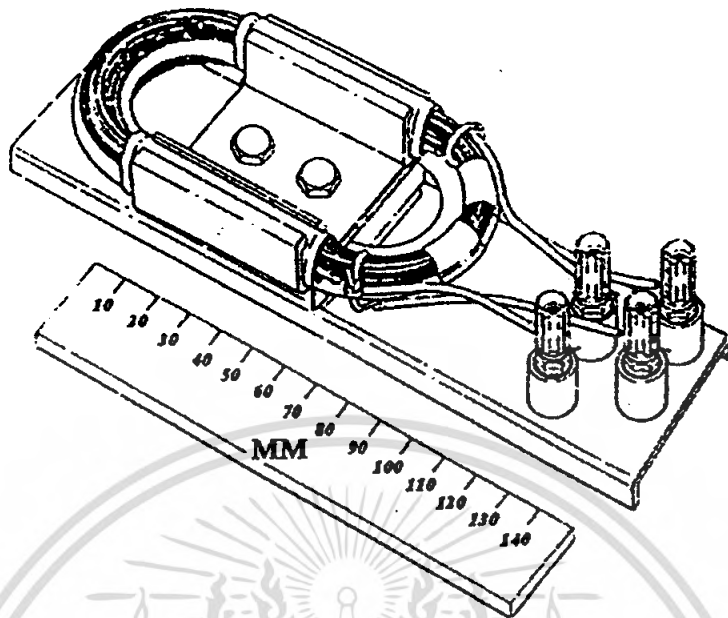
#### 4.3.2 รายละเอียดของโครงสร้างแบบจำลองรอสลิต

ในการทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของแบบจำลองรอสลิตที่กำหนดไว้ อาจจะทำขึ้นเพื่อปรับปรุงหรือเพื่อให้สะดวกมากยิ่งขึ้นที่จะเป็นวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามถ้าประสบการณ์ที่ผ่านมาในการหาค่าระดับชั้นทางความร้อนฉนวนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ หากการออกแบบจำลองรอสลิตไม่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง ฉะนั้นโครงสร้างของแบบจำลองรอสลิตที่ได้แสดงรายละเอียดนี้ควรปฏิบัติตามอย่างพิถีพิถัน ประสบการณ์ได้แสดงให้เห็นว่าการพิถีพิถันในการออกแบบและการเตรียมแบบจำลองรอสลิต จะมีผลต่อวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งสามารถนำไปทดสอบในห้องทดสอบที่ต่างกันด้วยผลกระทบที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

การออกแบบจำลองรอสลิตซึ่งมีการนำมาใช้กันเมื่อหลายปีมาแล้วในห้องทดสอบที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลกระทบทำให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

รูปแสดงรายละเอียดแบบจำลองรอสลิตมีดังนี้ รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของแบบจำลองรอสลิตก่อนทำการประกอบรวมทั้งวัสดุที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า ขดลวดและส่วนประกอบที่เป็นโลหะ รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบที่เป็นโลหะของเฟรม และฐานของ





**รูปที่ 4.3** แบบจำลองร่องสลิตที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว

แบบจำลองร่องสลิตที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วก็จะประกอบด้วยฐานโลหะรองรับที่มีความแข็งแรงสำหรับยึดเทอมินอลที่ทำจากโพซิเลนหรือวัสดุอื่นๆที่เหมาะสม และยึดร่องสลิตทั้งสองประกอบขึ้นมาจากแผ่นโลหะภายในและภายนอก ฐานรองรับแขวนแบบจำลองร่องสลิตขณะทำการทดสอบการสั้นสะเทือน ร่องสลิต ที่นำมาใช้สะดวกจะทำมาจากแผ่นโลหะสแตนเลส ร่องสลิตที่ประกอบขึ้นภายในจะบรรจุตลอดทั้งสอกับเฟรม(slot insulation) ฉนวนคั่นระหว่างขดลวดทั้งสอง (phase insulation) และย้ำให้ติดอยู่กับที่ด้วยลิ้ม (slot wedges) ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นส่วนที่เหมือนกันที่ใช้ในมอเตอร์ ขดลวดแต่ละขดนั้นได้จากการพันลวดตัวนำสองเส้นขนานกัน ดังนั้นการทดสอบแรงดันระหว่างลวดตัวนำกับลวดตัวนำสามารถทำการทดสอบได้

การพันขดลวดของเครื่องจักรกลนั้นสามารถพันลงในแบบที่ต้องการได้เมื่อมีความเหมาะสมแล้ว โครงสร้างและกระบวนการการสร้างอาจจะถูกปรับปรุงกับความตั้งใจในการนำไปใช้งาน

#### 4.3.3 ส่วนประกอบของแบบจำลองร่องสลิต

- ลวดตัวนำขนาด 1.12 มิลลิเมตร หุ้มด้วยแผ่นฟิล์มหนา
- ฉนวนคั่นระหว่างขดลวดทั้งสองเฟรม (slot insulation) แผ่นฉนวนหนา 0.25 มิลลิเมตรตัดออกมาเพื่อทำเป็นม้วน โดยมีความกว้างทั้ง 4 ด้าน เป็น 70 มิลลิเมตรและพับขอบ 1 ด้านเข้ามาด้านละ 3.2 มิลลิเมตร สุดท้ายทั้งสองจะเหลือความยาวด้านละ 64 มิลลิเมตร และมีส่วนที่ยื่นออกมาจากขอบสลิต 4.8 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสอง (phase insulation) แผ่นฉนวนหนา 0.25 มิลลิเมตร ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีเหลืองมีพื้นผิวมีความยาว 75 มิลลิเมตร กว้าง 64 มิลลิเมตร และมีช่องว่างตรงกลางซึ่งมีความกว้าง 38 มิลลิเมตร เมื่อวัดจากจุดกึ่งกลางทำให้เหลือขอบกว้าง 13 มิลลิเมตร สำหรับส่วนที่เป็นส่วนโค้ง โดยใช้ด้านกว้างทั้งสองของสีเหลืองมีพื้นผิว 64 มิลลิเมตร เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของของขอบนอก และตัดโค้งส่วนที่เป็นขอบในซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร คือวัดจากจุดกึ่งกลางของสีเหลืองมีพื้นผิว

- ลิ้ม (slot wedges) ลิ้มสำหรับยึดลวดให้อยู่กับที่ ดัดออกมาจากชั้นที่มีลักษณะเป็นรูปตัว U โดยควรตัดให้มีความกว้าง 9.5 มิลลิเมตร และยาว 76 มิลลิเมตร ส่วนปลายด้านหนึ่งของลิ้มควรทำให้กลมเล็กน้อยเพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถใส่เข้าไปในร่องสลิตได้ง่าย

- ปลอกปลายสาย (sleeving) ปลอกสายที่เป็นฉนวนมีขนาดและความยาวพอดีที่จะหุ้มสายของขดลวดที่ยื่นออกมาจากจุดกึ่งกลางของสลิตเพื่อแบ่งขดลวดทั้งสองต่อเข้ากับเทอมินอล

- เชือก (tie cord) มีความยาวพอดีที่ใช้มัดขดลวดกับปลายสายของขดลวดเข้าด้วยกัน

- เทปพันขดลวด เทปที่มีระดับทางไฟฟ้ากว้าง 13 มิลลิเมตร

- วาร์นิชหรือเรซินที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า

วัสดุทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นส่วนประกอบระบบฉนวนทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

#### 4.3.4 การประกอบแบบจำลองร่องสลิต

- การพันขดลวด ขดลวดแต่ละขดควรมีการพันที่แน่น โดยมีรูปร่างคล้ายรูป ไช่ ด้านที่ขนานกันมีความยาว 64 มิลลิเมตร และห่างกัน 44 มิลลิเมตร ส่วนโค้งของรูปไช่เป็นครึ่งวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร ขดลวดแต่ละขดประกอบด้วย การพันลวด 2 เส้นด้วยมือ จำนวน 40 รอบ (40 แท่งตัวนำ) เมื่อใส่ขดลวดทั้งสองลงในร่องสลิต นั่นก็หมายความว่าในแต่ละร่องสลิตมีลวดตัวนำ 80 แท่ง และได้ส่วนปลายของขดลวดแต่ละขดแต่ละขดออกมา 4 เส้น และ ปลายสายด้านใดด้านหนึ่งของขดลวดตัวนำเส้นเดียวกันจะถูกตัดออกโดยเหลือความยาวเส้นละ 5 มิลลิเมตร และส่วนปลายสาย 2 เส้นที่เหลือออกมาจากขดลวดจะมีการใส่ปลอกสายปลอกสายและปลอกสายจะถูกมัดด้วยเชือก โดยแสดงในรูปที่ 4.3

- การทำความสะอาดและประกอบชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ก่อนจะทำการประกอบชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของแบบจำลองร่องสลิตแต่ละชิ้นจะถูกจุ่มลงในตัวทำละลายที่ประกอบด้วยโทลูอีนและแอลกอฮอล์สังเคราะห์ในอัตราส่วนที่เท่ากันเป็นเวลาอย่างน้อยที่สุด 30 นาที เมื่อนำแต่ละชิ้นส่วนออกจากตัวทำละลาย และล้างออกด้วยตัวทำละลายบริสุทธิ์แล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสำลี ส่วนประกอบที่เป็นโลหะของแบบจำลองร่องสลิตควรประกอบด้วยความระมัดระวังเพื่อให้มั่นใจว่าตรงส่วนที่เป็นร่องสลิตมีระยะห่างเท่ากันและด้านทั้งสองขนานกัน เพื่อความง่ายในการ

ประกอบให้ตัดชิ้นไม้ที่มีขนาดเท่ากับความกว้างของร่องสลีด และเพื่อให้สลีดคอดอยู่ตรงกลางควรวางใส่ชิ้นไม้ในช่องสลีดก่อนที่จะทำการอัดน๊อตให้แน่น

- การใส่ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองกับเฟรม ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองกับเฟรมถูกตัดออกมาแล้วม้วนให้พอดีกับร่องสลีด และให้มีส่วนของฉนวนยื่นออกมาจากขอบร่องสลีดด้านละ 5 มิลลิเมตร ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองกับเฟรมจะถูกใส่เข้าไปในร่องสลีดอย่างระมัดระวังเพื่อให้ส่วนของฉนวนที่ยื่นออกมาจากขอบร่องสลีดแต่ละด้านเท่ากัน

- การใส่ขดลวด ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองกับเฟรมจะถูกม้วนออกมาเหนือส่วนที่มีลักษณะคล้ายพื้นปลาตรงด้านบนของร่องสลีดเพื่อให้มั่นใจว่าขดลวดจะไม่ถลอกเมื่อใส่ลงไปในเรื่องสลีด ใส่ขดลวดขดล่างลงในร่องสลีดให้ปลายสายที่ไม่ต่อกับเทอมินอลอยู่ด้านล่าง ส่วนที่ใช้ต่อกับเทอมินอลอยู่ด้านบน หลังจากใส่ขดลวดขดล่างแล้ว ใส่ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองและระมัดระวังในการใส่เพื่อให้มั่นใจว่าฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองปิดทับขดลวดขดล่างทั้งหมด ถ้าฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองมีขนาดใหญ่มาก ขอบของฉนวนจะถูกพับขึ้นไปทางด้านบนของร่องสลีด ฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองจะต้องมีขนาดและวางในตำแหน่งที่แน่ใจว่าปิดทับขดลวดด้านล่างทั้งหมด ปลายของขดลวดขดล่างจะต้องวางในแนวราบเพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้ขอบของฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองเสียหาย การใส่ขดลวดขดบนก็ทำในลักษณะเดียวกับการใส่ขดลวดขดล่างแต่ปลายที่ไม่ได้ต่อกับเทอมินอลอยู่ด้านบน และส่วนที่ใช้ต่อกับเทอมินอลด้านล่าง จัดขอบของขดลวดขดบนให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกับขดลวดขดล่างเพื่อให้แน่ใจว่าลวดตัวนำของขดลวดขดบนไม่เลื่อนออกมานอกฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสอง

- การต่อปลายสายกับเทอมินอล ปลายสายจะต้องวัดขนาดให้พอดีที่จะต่อเข้ากับเทอมินอลปกส่วนปลายของปลายสายออก 13 มิลลิเมตร แล้วทำการบัดกรีก่อนที่จะต่อเข้ากับเทอมินอลปลายสายของขดลวดขดล่างต่อเข้ากับเทอมินอลที่อยู่ด้านใน ส่วนปลายสายของขดลวดขดบนต่อเข้ากับเทอมินอลที่อยู่ด้านนอก ถ้าขดลวดที่ใส่เข้าไปในฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองกับเฟรมเกิดเลื่อนให้ใส่ลิ้มเข้าไป โดยให้อยู่บนฉนวนที่คั่นระหว่างขดลวดทั้งสองกับเฟรม

- การทดสอบทางไฟฟ้า วัดความต้านทานของขดลวดถ้าต้องการ และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดความต้านทานได้แนะนำไว้ หากพบว่าขดลวดผ่านการทดสอบ ก็ทำการชุบวาร์นิชหรือเรซินที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนทางไฟฟ้า

- การชุบวาร์นิชหรือเรซิน น้ำยาวาร์นิชหรือเรซินควรมีการนำมาใช้ในลักษณะเดียวกันกับที่ใช้ในเครื่องจักรกลทั่วไป

- การติดตั้งแบบจำลองร่องสลีด แบบจำลองร่องสลีดควรบรรจุอยู่ในภาชนะ ซึ่งภาชนะนั้นจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนัก แบบจำลองร่องสลีดจำนวน 10 ชั้นหรือ 20 ชั้นในกรณีทดสอบพร้อมกัน โดยที่ภาชนะนั้นมีระยะห่างระหว่างแบบจำลองร่อง

สลีตที่เพียงพอต่อการไหลเวียนของอากาศ และขนาดของภาชนะนั้นควรที่จะสามารถนำเข้า  
ตู้อบ ตู้อบความชื้นและโตะสั่นได้

#### 4.3.5 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

จำนวนแบบจำลองร่องสลีตอย่างน้อย 10 ชิ้นควรถูกทำการทดสอบที่แต่ละอุณหภูมิ  
ทดสอบ สำหรับแต่ละระบบฉนวนที่ทำการทดสอบ

#### 4.3.6 การตรวจสอบคุณภาพก่อนการทดสอบ

ก่อนที่จะเริ่มการทดสอบรอบย่อยของการเร่งอายุทางความร้อน ควรมีการทดสอบเพื่อ  
ทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ โดยสามารถตรวจสอบได้ดังนี้

- การตรวจสอบด้วยสายตา
- การทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 34-1[5]
- การทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 400 V ระหว่างตัวนำกับตัวนำซึ่ง

ควรมีค่าของกระแสไม่เกิน 50 mA

#### 4.3.7 การทดสอบเพื่อการวินิจฉัยเบื้องต้น

ภายหลังการทดสอบเพื่อทำการตรวจคุณภาพของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ การทดสอบ  
เพื่อการวินิจฉัยควรมีการทดสอบเพื่อสังเกตว่ามีความผิดปกติกับระบบฉนวนที่นำมาทดสอบ  
หรือไม่

### 4.4 รอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน

รอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนระบบฉนวน อาจมีการใช้ตู้อบความร้อน  
ในการให้ความร้อนแก่วัตถุทดสอบ ซึ่งอุณหภูมิและระยะเวลาในแต่ละรอบย่อยการทดสอบแสดง  
ได้ดังตาราง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับชั้นทางความร้อนระบบฉนวนตามตาราง ซึ่งแบบจำลองร่อง  
สลีตควรมีการใส่เข้าไปโดยตรงภายในตู้อบทันที และมีการนำแบบจำลองร่องสลีตออกจาก  
ตู้อบมาสู่อุณหภูมิห้องทันทีภายหลังทำการเร่งอายุทางความร้อนในแต่ละรอบย่อยการเร่งอายุ  
และในการลดผลของความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละแบบจำลองร่องสลีตภายในตู้อบความ  
ร้อน ฉะนั้นในการทดสอบแต่ละรอบย่อยการทดสอบนั้นควรมีการสลับเปลี่ยนที่ระหว่าง  
แบบจำลองร่องสลีตในแต่ละรอบย่อยการทดสอบ

### 4.5 รอบย่อยการทดสอบเพื่อการวินิจฉัย

#### 4.5.1 การทดสอบทางกล

ในแต่ละรอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน ภายหลังการทำให้เย็นภายใต้  
อุณหภูมิห้องแล้ว แต่ละแบบจำลองร่องสลีตควรมีการทดสอบด้วยการให้ความเค้นทางกลบน  
โตะสั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งแบบจำลองร่องสลีตนั้นควรมีการติดตั้งเพื่อให้เกิดแรงทางกลทำ

ให้มีการเคลื่อนที่ในมุมที่ทำให้เกิดการสั่นบริเวณจุดสิ้นสุดของการพันของขดลวด ซึ่งในการทดสอบให้มีการสั่นนั้นจะไม่มี การทดสอบทางด้านแรงดันเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งค่าของ การสั่นนั้นจะให้ค่า 0.2 มม. ที่ความถี่ 60 Hz หรือ 0.3 มม. ที่ความถี่ 50 Hz ถ้าความเค้นที่ทำให้ การทดสอบไม่ได้ตามที่กำหนดนั้นให้มีการรายงานในผลการทดสอบ

#### 4.5.2 การทดสอบทางความชื้น

การทดสอบทางแรงดันไฟฟ้าควรมีการทดสอบอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ซึ่งควรมีการทำให้ ชื้นงานมีความเปียกชื้น และไม่มีการทดสอบทางแรงดันไฟฟ้าในระหว่างการทดสอบทาง ความชื้นนี้ ซึ่งรายละเอียดของตู้อบความชื้นที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

##### 4.5.2.1 ตู้อบความชื้น

สภาพบรรยากาศภายในตู้อบความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์จะมีไอน้ำมา เกาะบริเวณผนังของตู้อบความชื้น ถาดที่รองรับน้ำจะมีเครื่องทำความร้อนจุ่มอยู่เพื่อให้ ความร้อนแก่น้ำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5-10 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิห้อง ฝาครอบของตู้อบ ความชื้นควรมีการฉนวนและไม่ควรมีความลาดเอียงเพื่อป้องกันการหยดของหยดน้ำลงบน วัตถุทดสอบ ภาชนะของตู้อบความชื้นควรสร้างด้วยวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน ควร หลีกเลี่ยงจุดต่อที่ไม่ใช่โลหะ ฝาเปิดควรสร้างให้มีขอบยื่นออกมาเพื่อที่จะให้ความชื้นที่อยู่รอบๆ ฝาเปิดถ่ายเทเข้าสู่ภายในตู้อบ

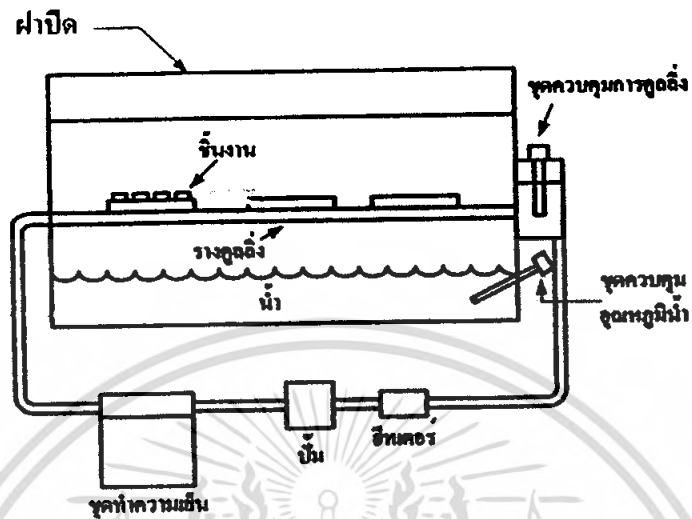
##### 4.5.2.2 ตู้อบความชื้น สำหรับ วัตถุทดสอบที่เย็นตัวลง (ที่อุณหภูมิห้อง)

ฐานของวัตถุทดสอบควรติดตั้งโดยให้ตัววัตถุทดสอบเย็นกว่าอากาศที่อยู่รอบๆ เพื่อให้ แนใจว่าระบบฉนวนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดที่ทำให้เกิดไอน้ำของอากาศ รูปที่ 4.4 แสดง บล็อกไดอะแกรมการสร้างตู้อบความชื้น ภาชนะที่ใส่วัตถุทดสอบอยู่ในลิ้นชักของตู้อบความชื้น ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 โดยถูกทำให้เย็นโดยตัวทำความเย็น (น้ำ) ตัวทำความเย็นเป็นตัว ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิซึ่งได้กำหนดไว้โดยให้มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ วัตถุทดสอบกับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายในตู้อบ ทำให้มีไอน้ำเกาะที่วัตถุทดสอบ ความ แตกต่างนี้ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลง เมื่อถาดรองรับน้ำและตัวทำความเย็นเป็นตัว ควบคุมอุณหภูมิและมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุทดสอบกับอุณหภูมิของอากาศที่ อยู่ภายในตู้อบนี้ถูกจำกัดด้วยปริมาตรของตู้อบความชื้น

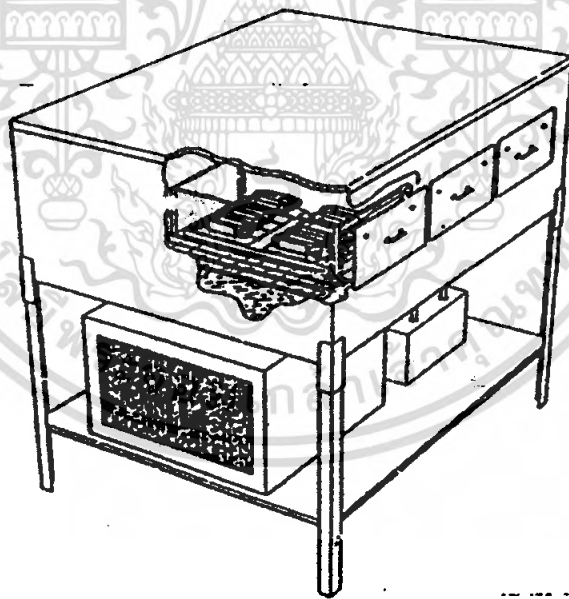
การควบคุมอุณหภูมิต้องระวังเหตุการณ์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้องจนถึงระดับ เดียวกันกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งความร้อนที่สูญเสียให้แก่ภาชนะที่ให้ ความเย็นแก่วัตถุทดสอบ สามารถทดแทนได้โดยการให้ความร้อนแก่น้ำ ซึ่งก็จะทำให้เกิดความสมดุลของอุณหภูมิทั่วทั้ง ตู้อบความชื้นตามที่กำหนด ถ้าอุณหภูมิห้องลดระดับลงจนต่ำกว่าภาชนะที่ให้ ความเย็นแก่วัตถุ ทดสอบสามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยการให้ความร้อนแก่น้ำโดยเครื่องทำความร้อน เพื่อให้มี ความชัดเจนยิ่งขึ้นในการมีไอน้ำเกิดขึ้น ซึ่งก็คือการทำงานร่วมกันของการให้ความร้อนและ ความเย็นแก่ระบบเพื่อให้เกิดความสมดุล ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการควบคุมอุณหภูมิของตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นภายในตู้อบ ซึ่งค่าของอุณหภูมิ ณ ส่วนต่างๆ ของตู้อบความชื้นแสดงได้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมของตู้อบความชื้นสำหรับวัตถุประสงค์สอบที่เย็นตัวลง



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างตู้อบความชื้นสำหรับวัตถุประสงค์สอบที่เย็นตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิ ณ ส่วนต่างๆ ของตู้อบความชื้น

ตำแหน่งของตู้อบความชื้น	อุณหภูมิ
อุณหภูมิหน้า	30
อุณหภูมิชั้นงานที่ทดสอบ	24
อุณหภูมิภายในตู้อบความชื้น ( 25 มม. เนื้อแบบจำลองร่องสลีด )	25
จุดกึ่งกลางภายในฝาปิดตู้อบความชื้น	28-29

#### 4.5.3 การทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า

ในการตรวจสอบสภาพชิ้นงานที่ทำการทดสอบ และตัดสินใจการมาถึงของจุดสิ้นสุดอายุของระบบฉนวนที่ทำการทดสอบ จะทำโดยการทดสอบแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่กำลังภายในหลังได้รับการทดสอบทางความชื้นแล้ว ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทดสอบขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวนที่นำมาทดสอบนั้นใช้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าพิกัดใช้งานเท่าใด ซึ่งสามารถแสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าแนะนำที่ใช้ในการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.2

#### ตารางที่ 4.2 ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในการทดสอบ

พิกัดแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ( V )	แรงดันไฟฟ้าตามความถี่กำลังแนะนำสำหรับใช้ทดสอบ ( V )		
	การทดสอบระหว่างขดลวดกับเฟรม	การทดสอบระหว่างขดลวดกับขดลวด	การทดสอบระหว่างรอบต่อรอบของขดลวด
110-400	400	400	110 ± 10
401-660	660	660	110 ± 10
661-1000	ภายใต้การตัดสินใจ	ภายใต้การตัดสินใจ	ภายใต้การตัดสินใจ

การทดสอบแรงดันไฟฟ้านั้นการทดสอบระหว่างเฟรม และการทดสอบระหว่างขดลวดกับขดลวดนั้นจะใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขอบเขตการใช้งานจริงของระบบฉนวนที่นำมาทดสอบ ส่วนการทดสอบด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าอื่นนั้นขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการทดสอบ และควรมีรายงานในผลการทดสอบ

การป้อนแรงดันไฟฟ้านั้นควรป้อนเป็นเวลานาน 10 นาทีสำหรับแต่ละชิ้นงานซึ่งควรเริ่มต้นการทดสอบระหว่างรอบต่อรอบของขดลวดหลังจากนั้นทำการทดสอบระหว่าง ขดลวดกับขดลวด และสุดท้ายทำการทดสอบระหว่างขดลวดกับเฟรม ซึ่งควรมีอุปกรณ์ป้องกันเซอร์จิงในวงจรการทดสอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอทำการศึกษาค้นคว้าการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนและตรวจสอบด้วยวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์โดยใช้แบบจำลองร่องสลิตตามมาตรฐาน IEC 34-18-21 โดยศึกษาพฤติกรรมจากวงจรสมมูลของฉนวน การเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นกระแสและแรงดัน โดยใช้วงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์สร้างสัญญาณแรงดันและสัญญาณความถี่ต่างๆ เพื่อใช้ทดสอบกับการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลของระบบฉนวน

#### 5.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

##### 5.2.1 แบบจำลองร่องสลิต

ในการทำโครงสร้างแบบจำลองร่องสลิตเพื่อใช้ในการทดสอบนั้น จะใช้สแตนเลสแผ่นขนาดความหนา 1.5 มม. เพื่อใช้ในการทำส่วนประกอบต่างๆของแบบจำลองร่องสลิตตามมาตรฐาน IEC 34-18-21 ซึ่งส่วนประกอบต่างๆประกอบด้วยฐานร่องสลิต สลิตด้านใน สลิตด้านนอก และ บล็อกซีพพอร์ต



รูปที่ 5.1 แบบจำลองร่องสลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แบบจำลองร่องสลีตที่ใช้ในการทดสอบ

### 5.2.2 ตู้อบความร้อน

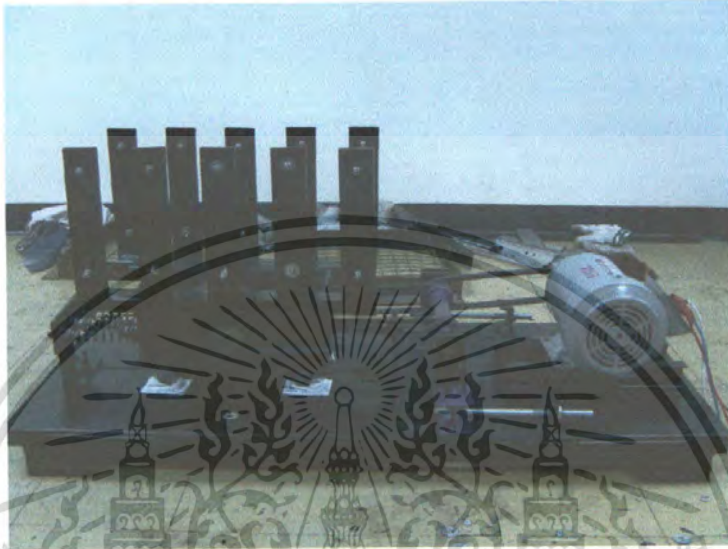
ในวิทยานิพนธ์นี้การให้ความร้อนแก่วัตถุทดสอบจะกระทำโดยตู้อบความร้อน ซึ่งอาศัยขดลวดให้ความร้อนและมีพัดลมในการทำให้อากาศภายในเกิดการหมุนเวียนเพื่อให้อุณหภูมิภายในตู้อบความร้อนในแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงมากที่สุด



เอกสารรูปที่ 5.3 ตู้อบความร้อนที่ใช้ในการทดสอบ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 โต้ะสั้น

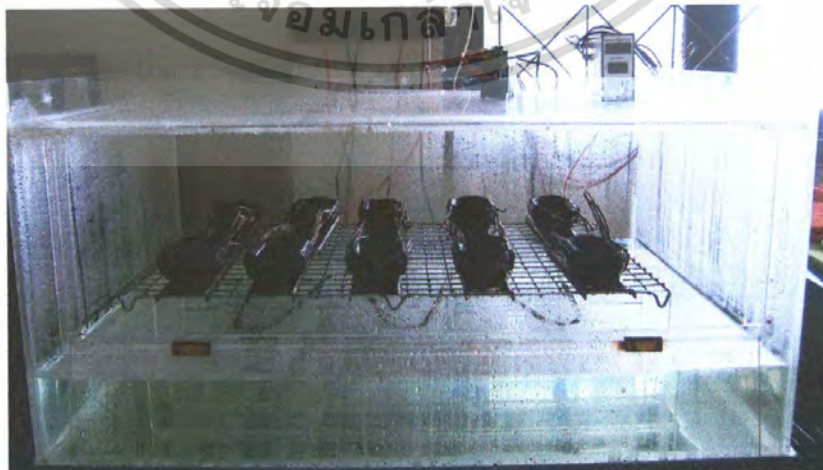
โต้ะสั้นที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งสามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขนาด 0.3 มม. ที่ความถี่ 50 Hz โดยอาศัยการขับเคลื่อนของมอเตอร์ผ่านทางลูกเบี้ยว ซึ่งลูกเบี้ยวจะส่งกำลังผ่านสายพานไปยังเฟลาและจะขับเคลื่อนสปริงให้เกิดการสั่นอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 5.4 โต้ะสั้น

### 5.2.4 ตู้อบความชื้น

การทำงานของตู้อบความชื้นที่ใช้ในการทดลองนั้นจะมีขดลวดให้ความร้อนแก่น้ำ ทำให้เกิดไอน้ำและความชื้นภายในตู้อบความชื้น และมีตัวควบคุมอุณหภูมิทำการรักษาอุณหภูมิให้อยู่ที่ 30 °C

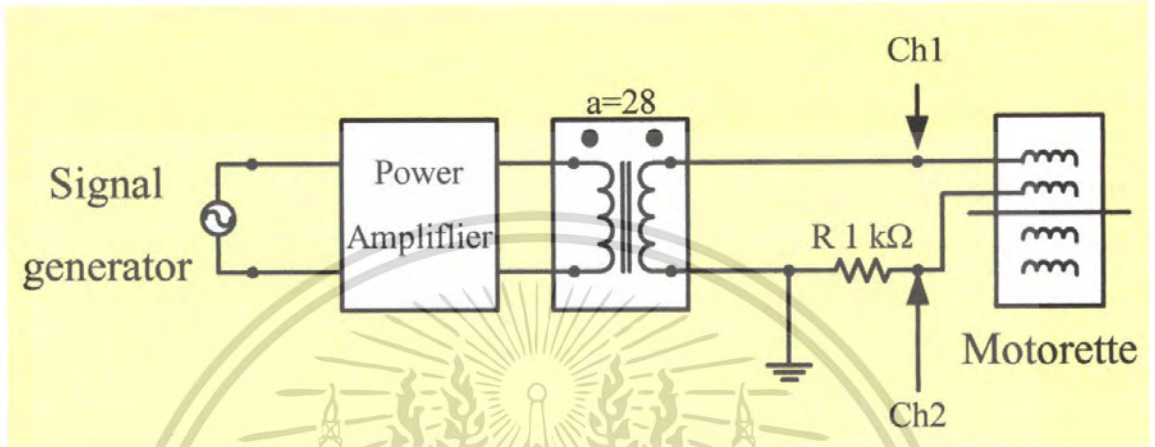


รูปที่ 5.5 ตู้อบความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.5 อุปกรณ์การทดสอบแรงดันไฟฟ้า

ในการทดสอบแรงดันไฟฟ้าจะทำการทดสอบ ระหว่างรอบต่อรอบของขดลวดซึ่งจะใช้ขนาดแรงดันไฟฟ้า 120 V ส่วนการทดสอบระหว่างขดลวดกับขดลวด และการทดสอบระหว่างขดลวดกับเฟรมนั้นจะใช้ขนาดแรงดันไฟฟ้า 380 V ซึ่งมีวงจรที่ใช้ในการทดสอบดังรูป



รูปที่ 5.6 วงจรการทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 5.7 การทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.6 วงจรสร้างสัญญาณแรงดันและความถี่



รูปที่ 5.8 เครื่องกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 5.9 เครื่องขยายสัญญาณ (Power Amplifier)

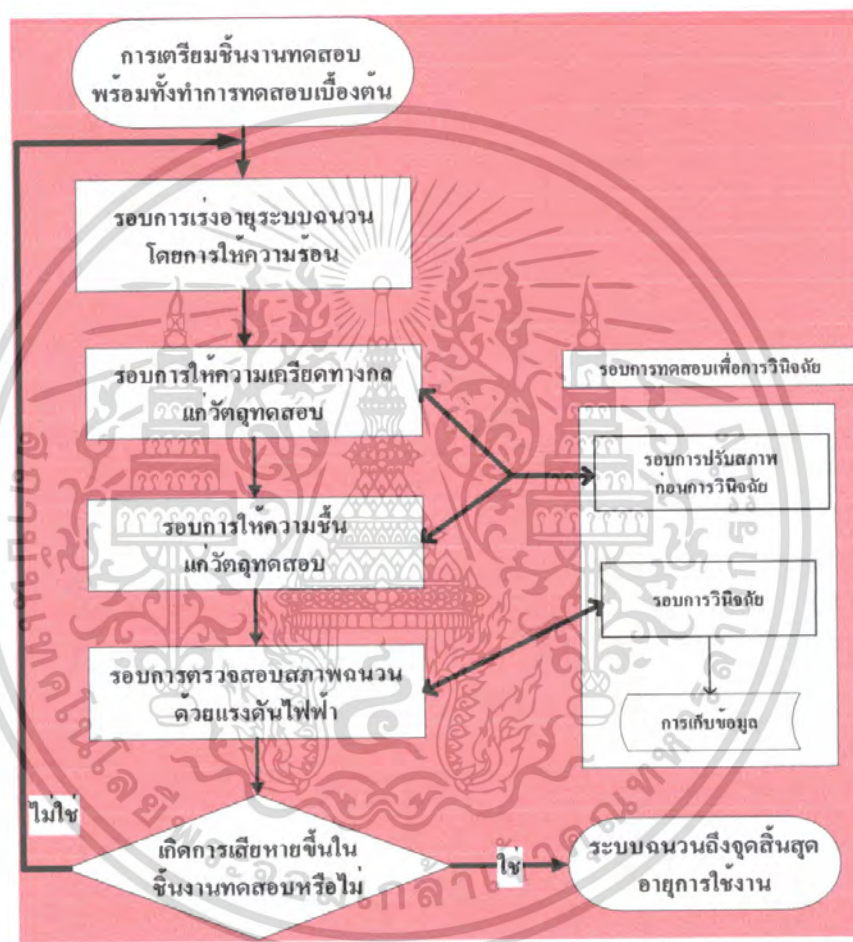


รูปที่ 5.10 หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อนระบบฉนวนโดยการใช้อย่างจำลองร่องสลีต นั้นจะเริ่มทำการทดสอบโดยการทดสอบเพื่อการวินิจฉัยเบื้องต้น หลังจากนั้นจะทำการทดสอบรอบย่อยการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน เสร็จแล้วทำการทดสอบการให้ความชื้นทางกล การให้ความชื้นและทำการวินิจฉัยจุดสิ้นสุดอายุฉนวนโดยการทดสอบทางแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งหมด 10 รอบย่อยการทดสอบ



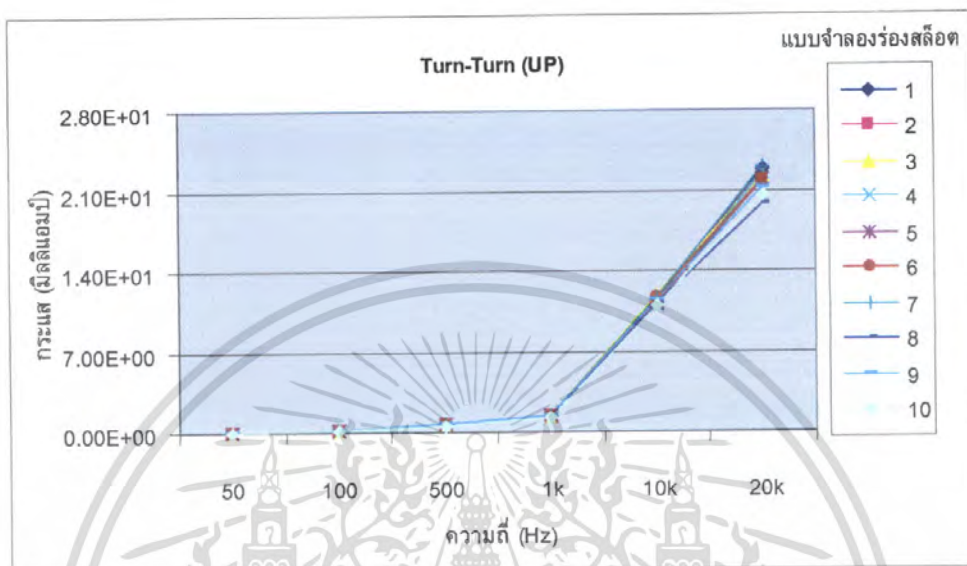
รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

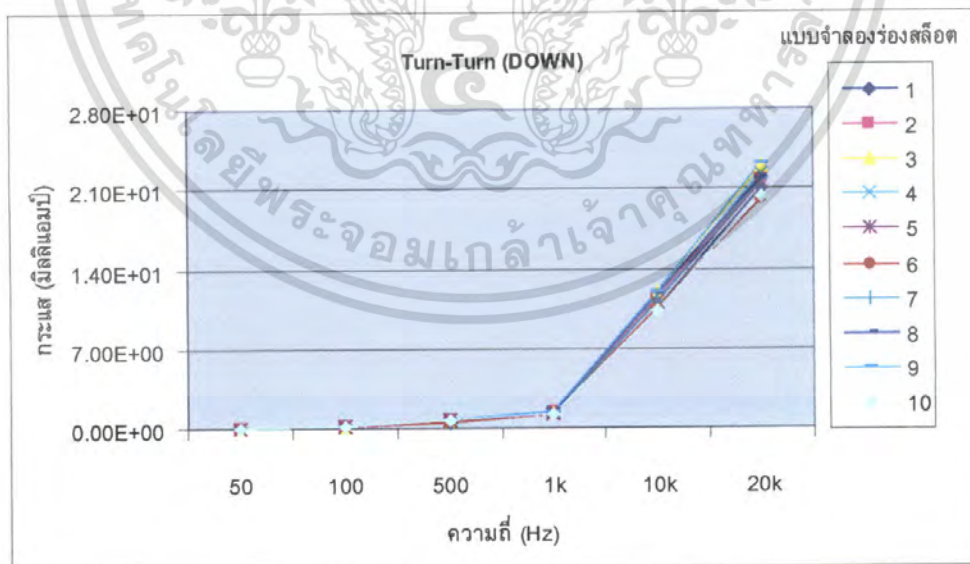
## 5.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองนำเสนอแนวโน้มพารามิเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่และมีการเร่งอายุ

### 5.4.1 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่

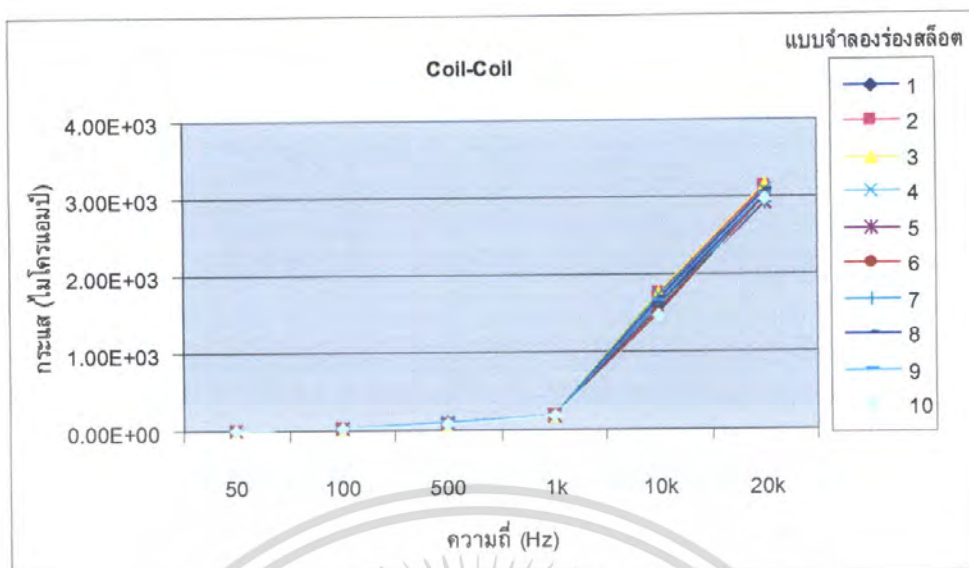


รูปที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

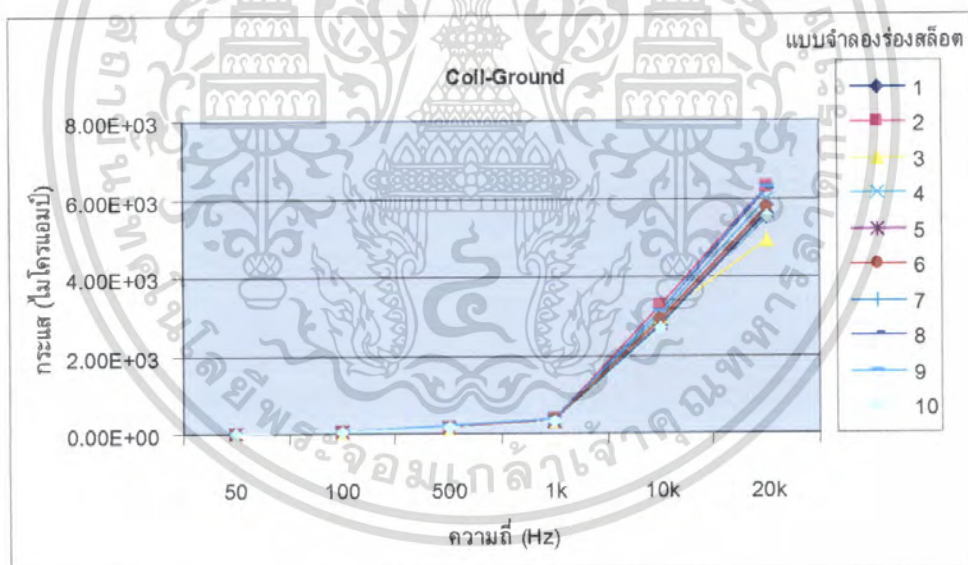


รูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



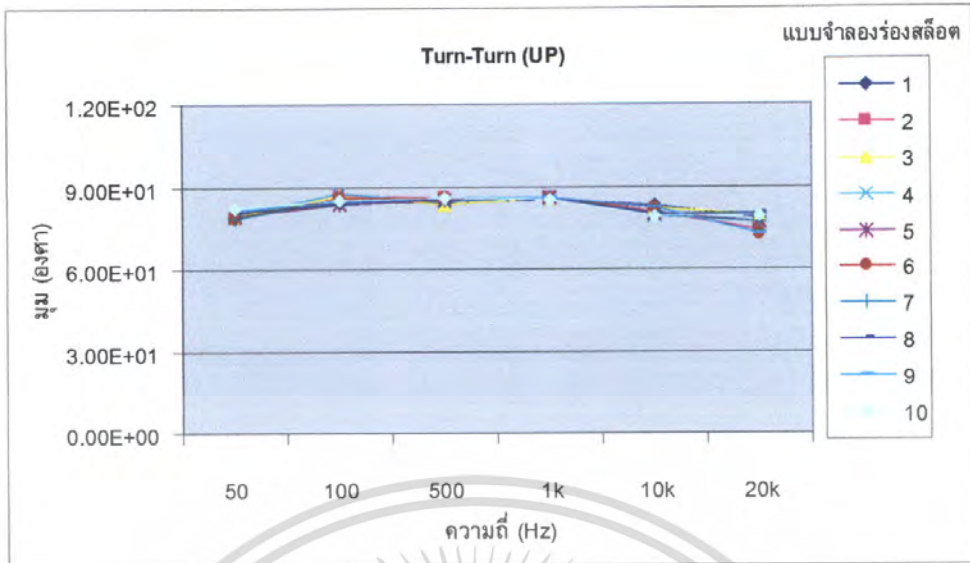
**รูปที่ 5.14** แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน



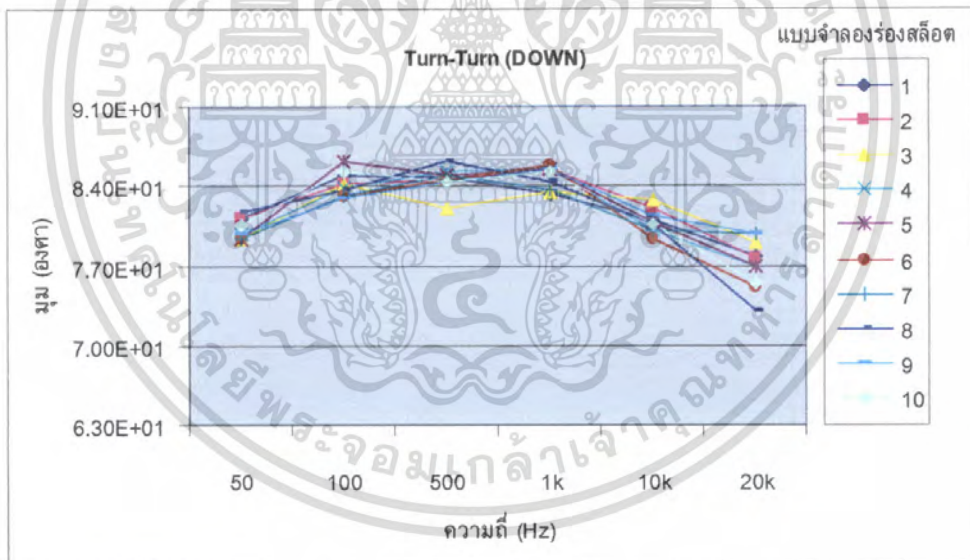
**รูปที่ 5.15** แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

จากรูปที่ 5.12 ถึงรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้กับระบบฉนวนที่ การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่ากระแส จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

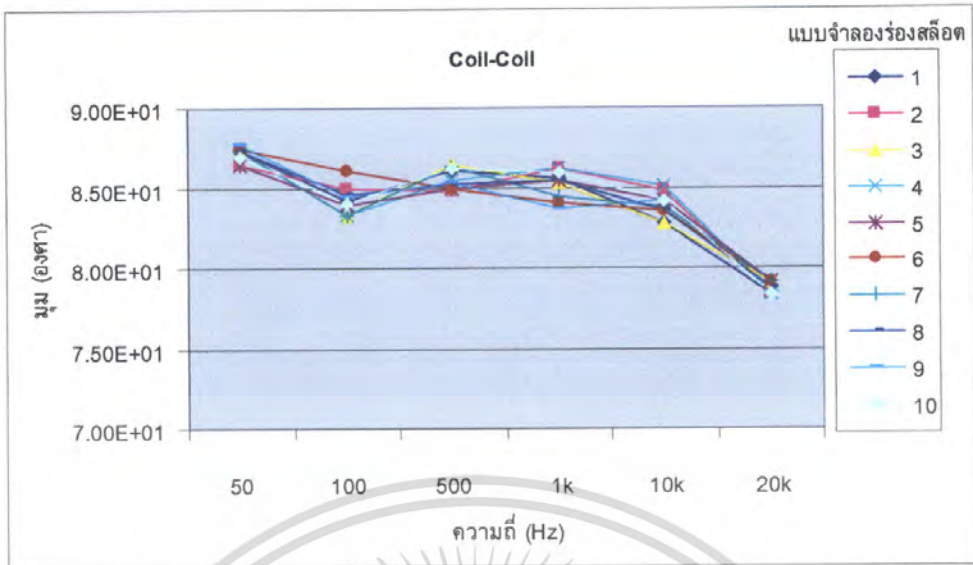


รูปที่ 5.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

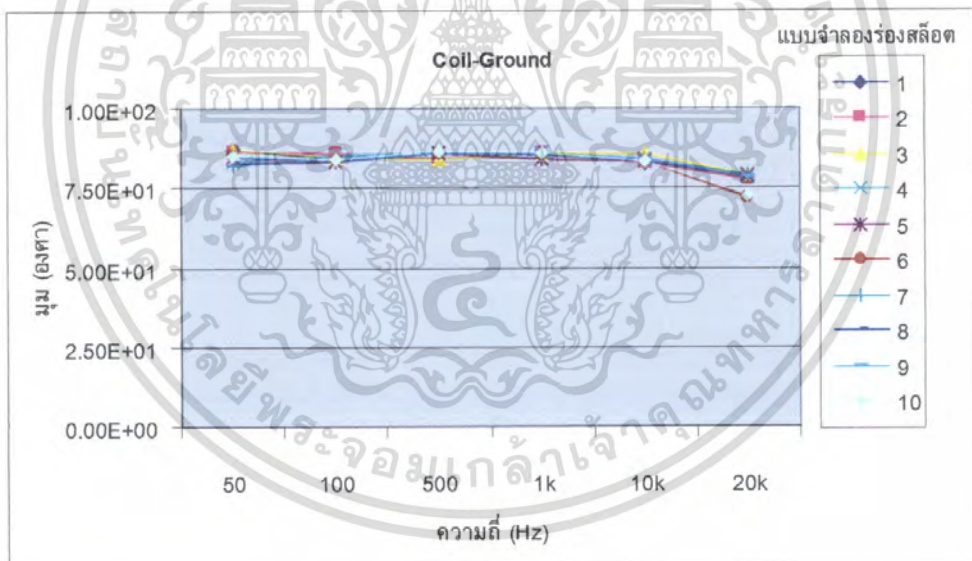


รูปที่ 5.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



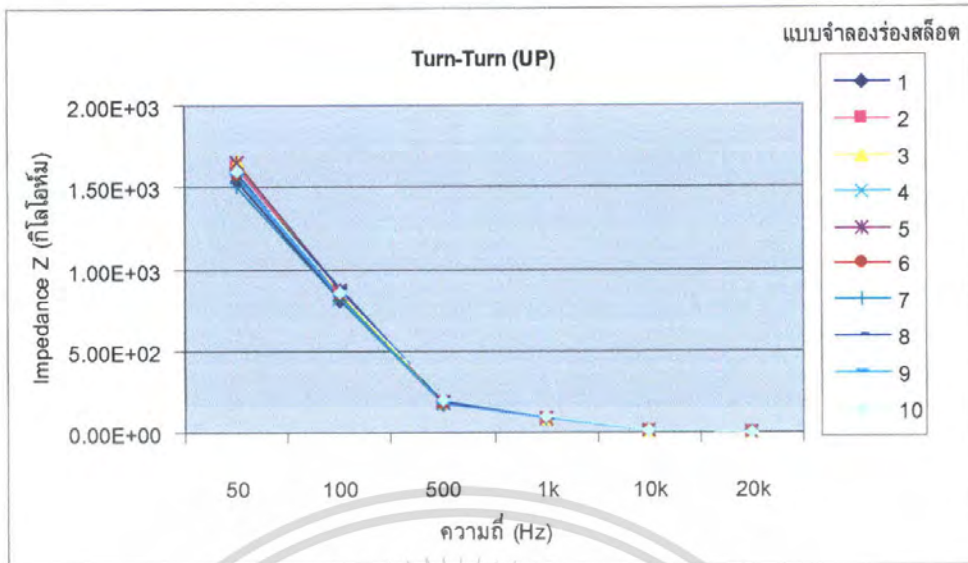
รูปที่ 5.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมูมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน



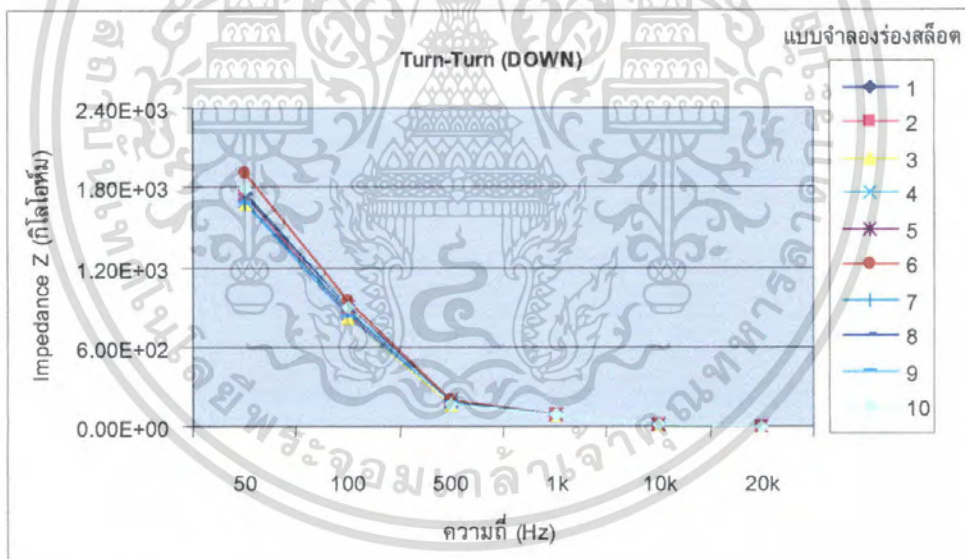
รูปที่ 5.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมูมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

จากรูปที่ 5.16 ถึงรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้กับระบบฉนวนที่ การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่ามูมจะมี แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

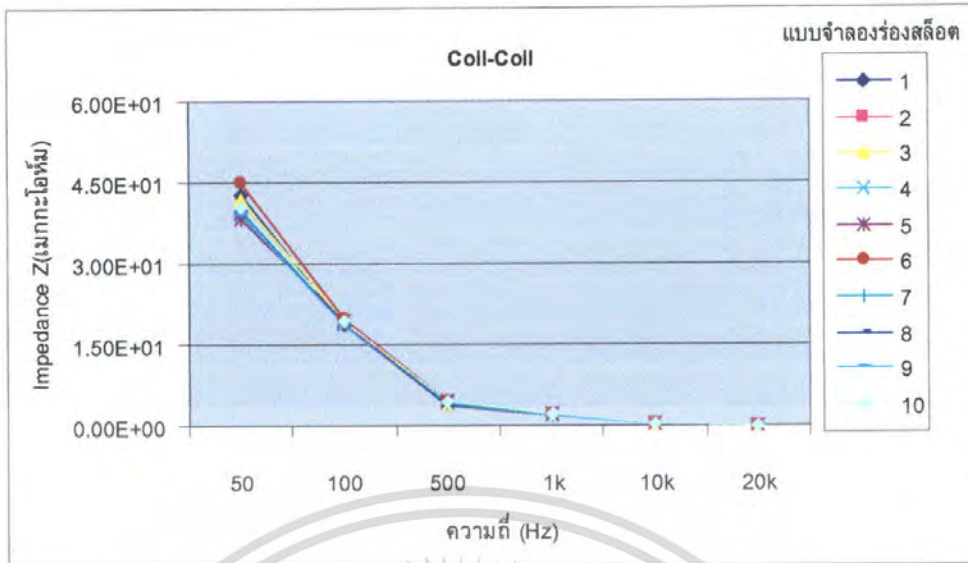


รูปที่ 5.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

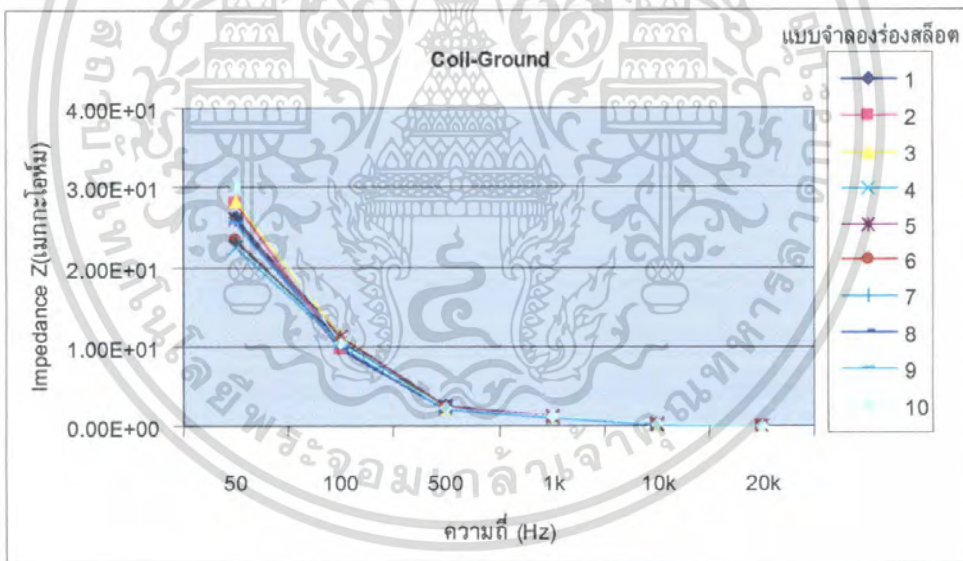


รูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

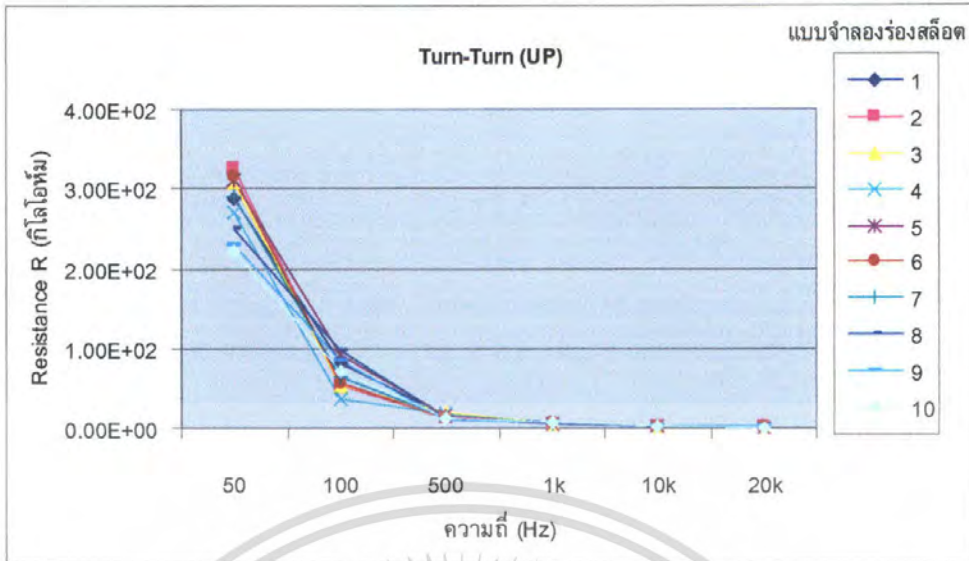


รูปที่ 5.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

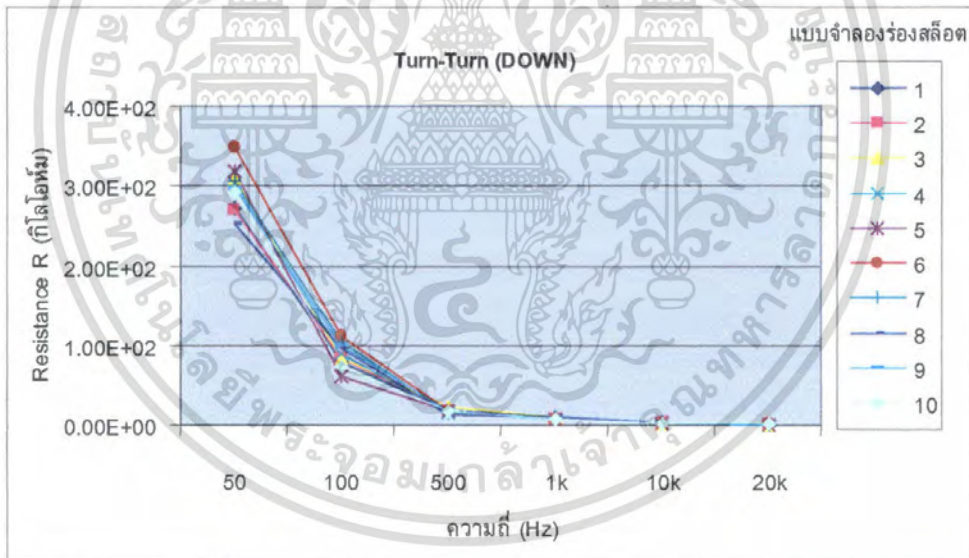


รูปที่ 5.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

จากรูปที่ 5.20 ถึงรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้กับระบบจนวนที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่า Impedance จะมีแนวโน้มลดลงมาก ทำให้ทราบว่าที่ความถี่สูงๆนั้นไม่เหมาะสมต่อการทำการทดสอบของระบบจนวนเพราะค่าที่ได้จะมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์เอกสารผิดพลาดไม่เห็นถึงแนวโน้มที่ชัดเจนที่ความถี่สูงๆ ปรึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

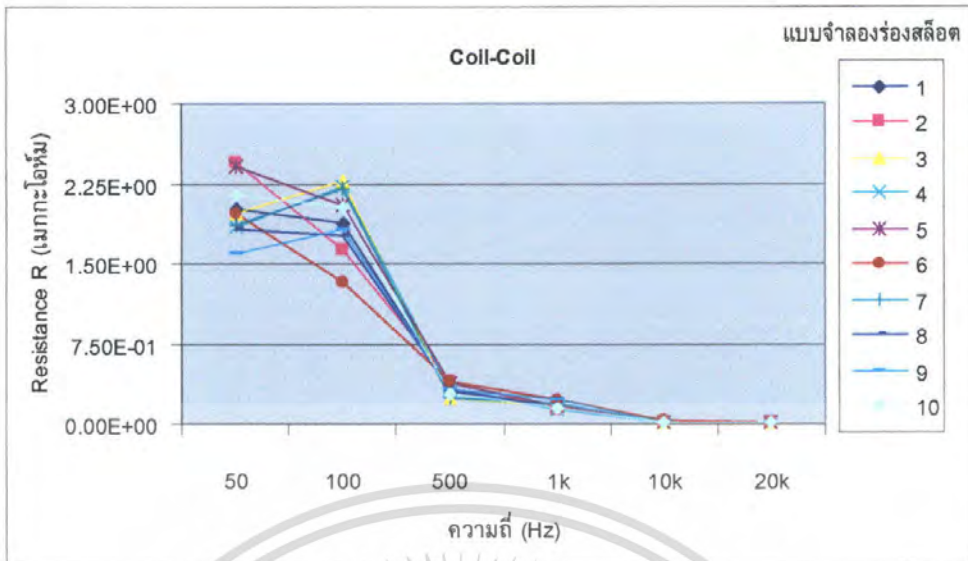


รูปที่ 5.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

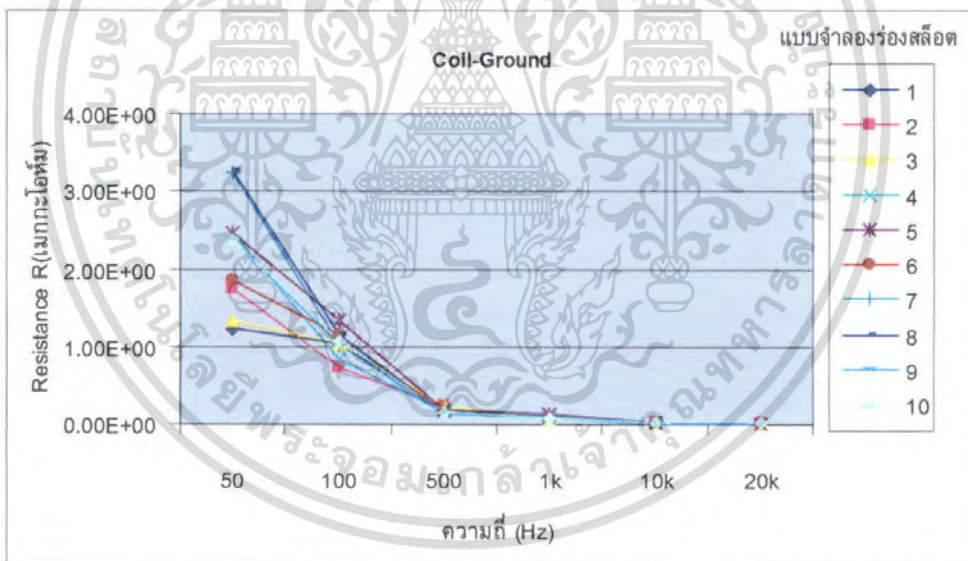


รูปที่ 5.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

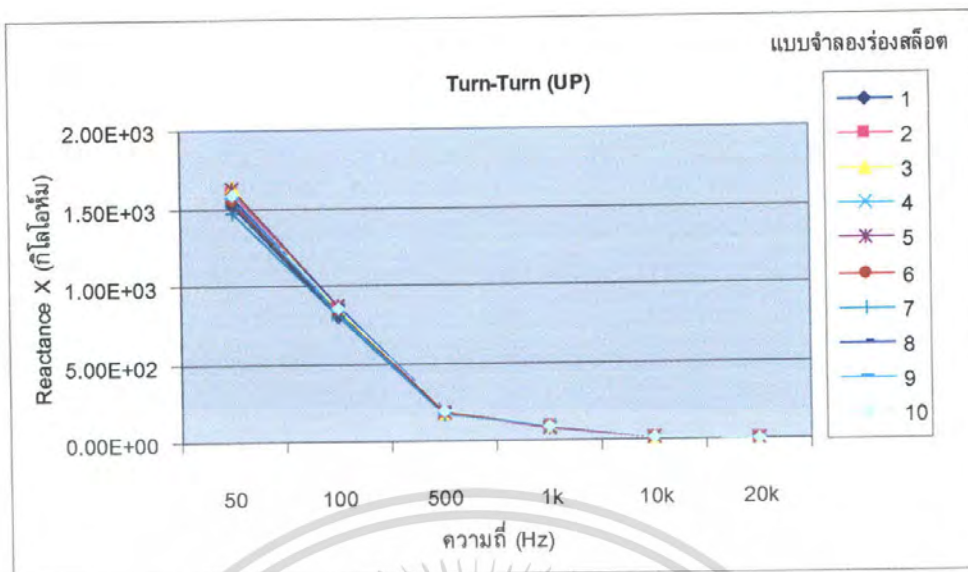


**รูปที่ 5.26** แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

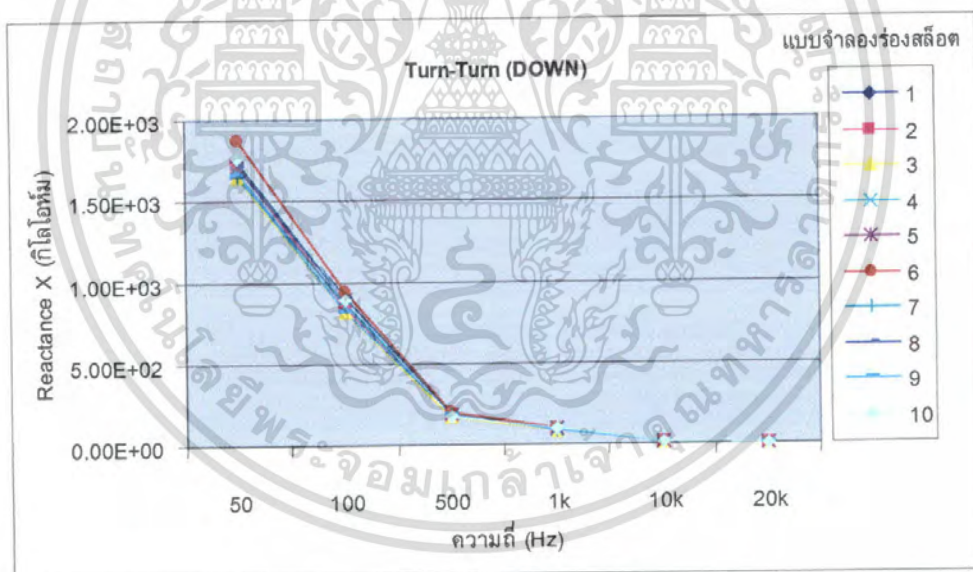


**รูปที่ 5.27** แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

จากรูปที่ 5.24 ถึงรูปที่ 5.27 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้กับระบบจนวนที่ การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่า Resistance จะมีแนวโน้มลดลงมาก ทำให้ทราบว่าที่ความถี่สูงๆนั้นไม่เหมาะสมต่อการทำการ ทดสอบของระบบจนวนเพราะค่าที่ได้จะมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ เอกสารผิดพลาดไม่เห็นถึงแนวโน้มที่ชัดเจนที่ความถี่สูง การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

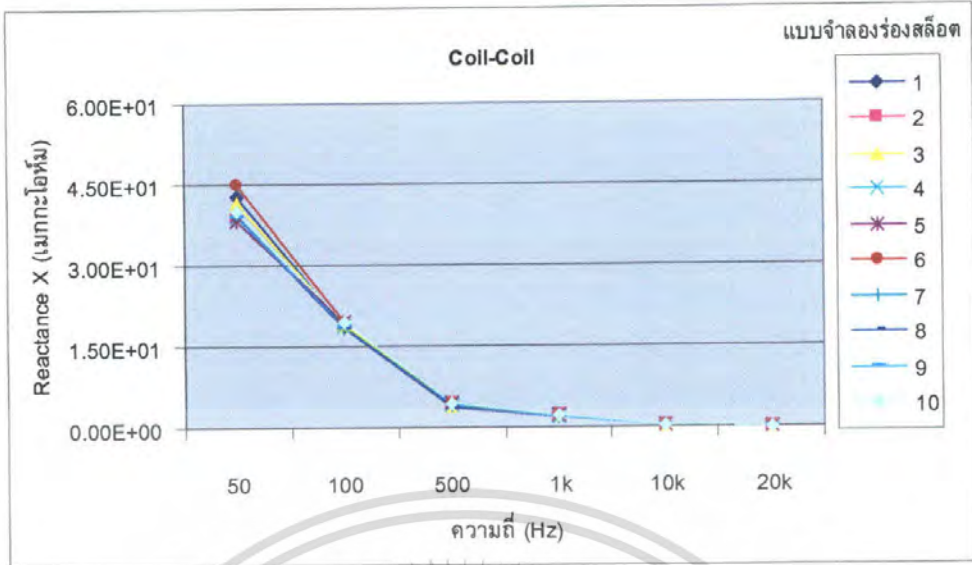


รูปที่ 5.28 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

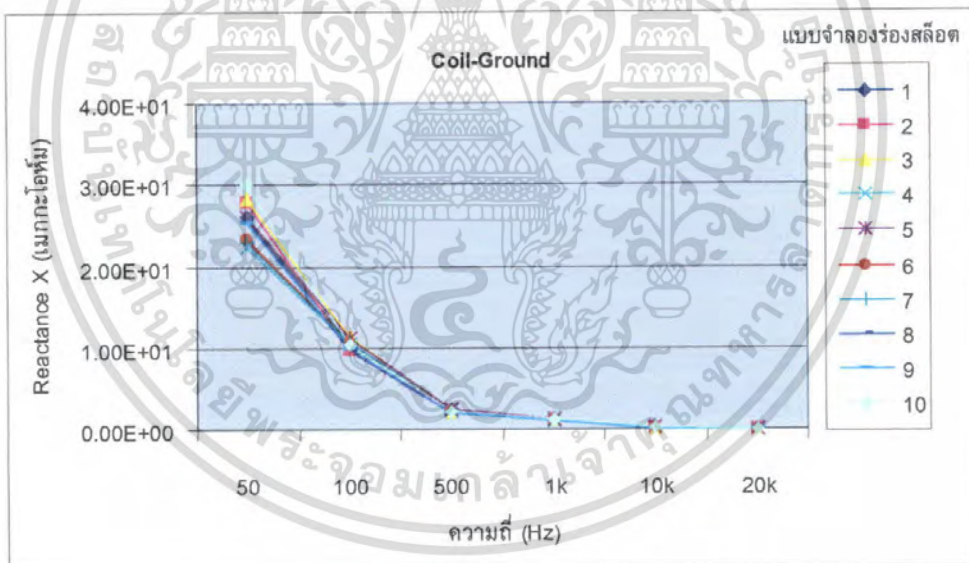


รูปที่ 5.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



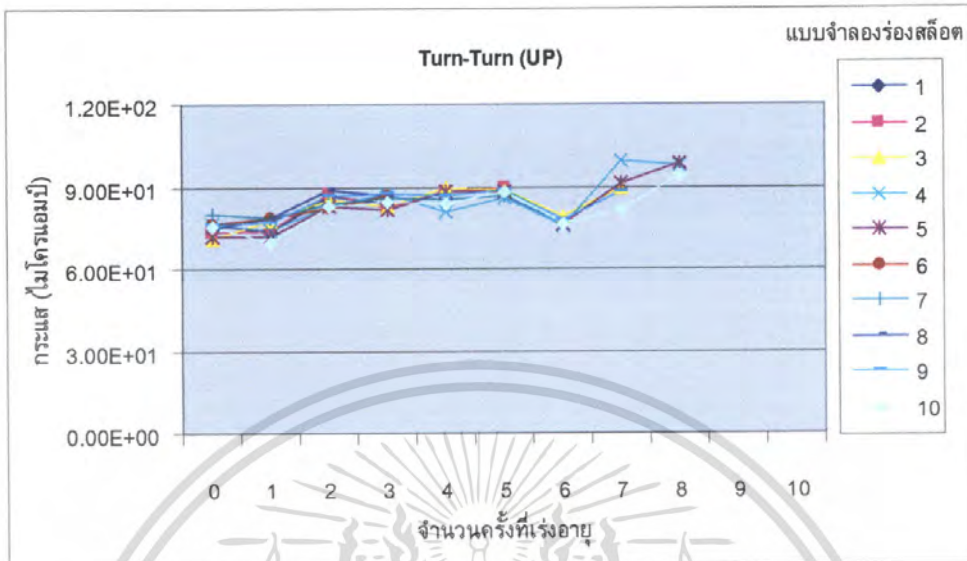
รูปที่ 5.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน



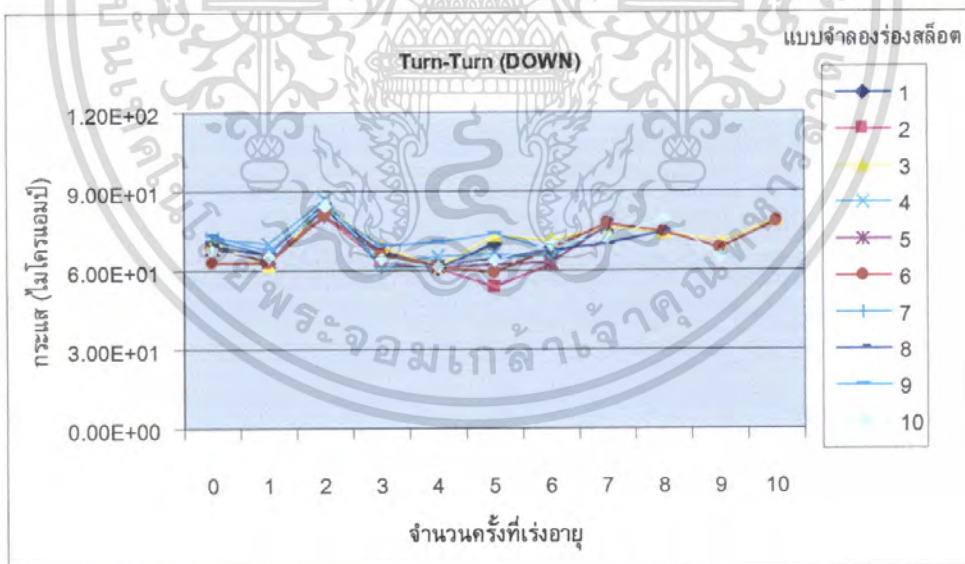
รูปที่ 5.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ก่อนการเร่งอายุทางความร้อน

จากรูปที่ 5.28 ถึงรูปที่ 5.31 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้กับระบบจนวนที่ การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่า Reactance จะมีแนวโน้มลดลงมาก ทำให้ทราบว่าที่ความถี่สูงๆนั้นไม่เหมาะสมต่อการทำการ ทดสอบของระบบจนวนเพราะค่าที่ได้จะมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ เอกสารไม่ทันถึงแนวโน้มที่ชัดเจนที่ความถี่สูง การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน

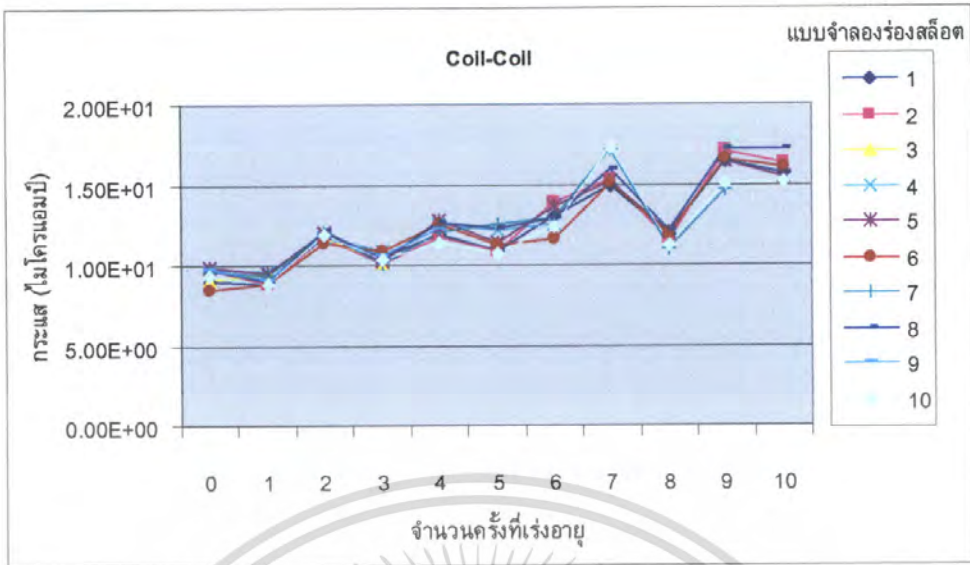


รูปที่ 5.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz

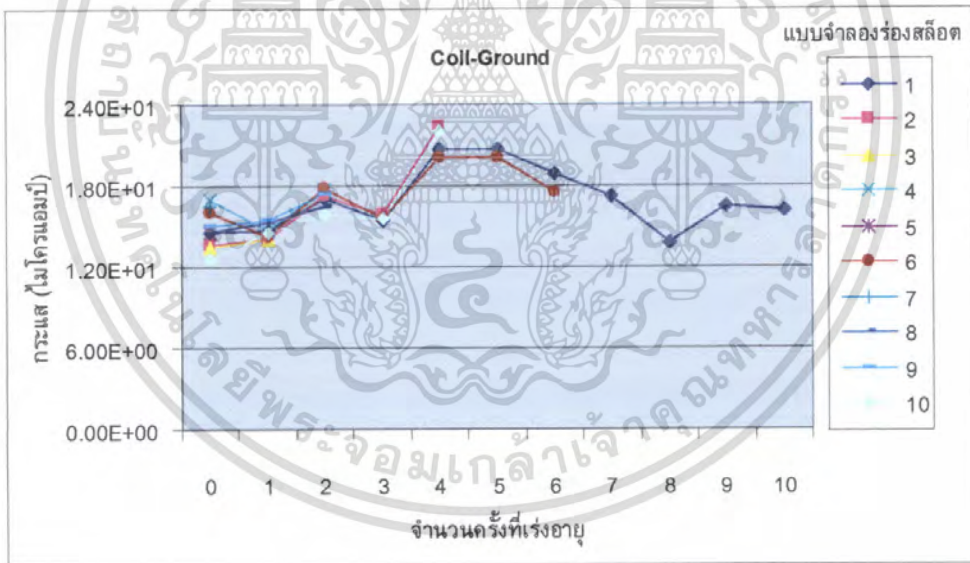


รูปที่ 5.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



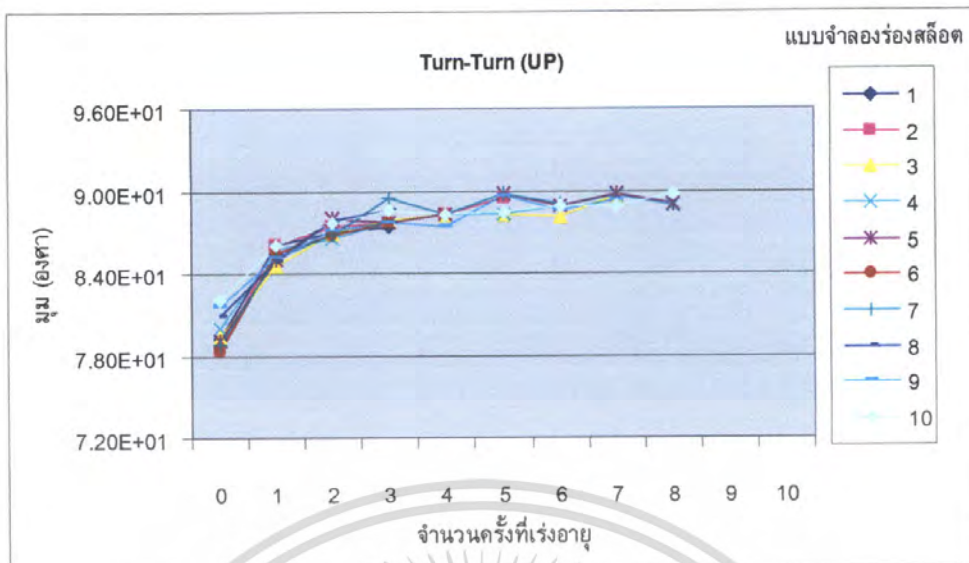
รูปที่ 5.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz



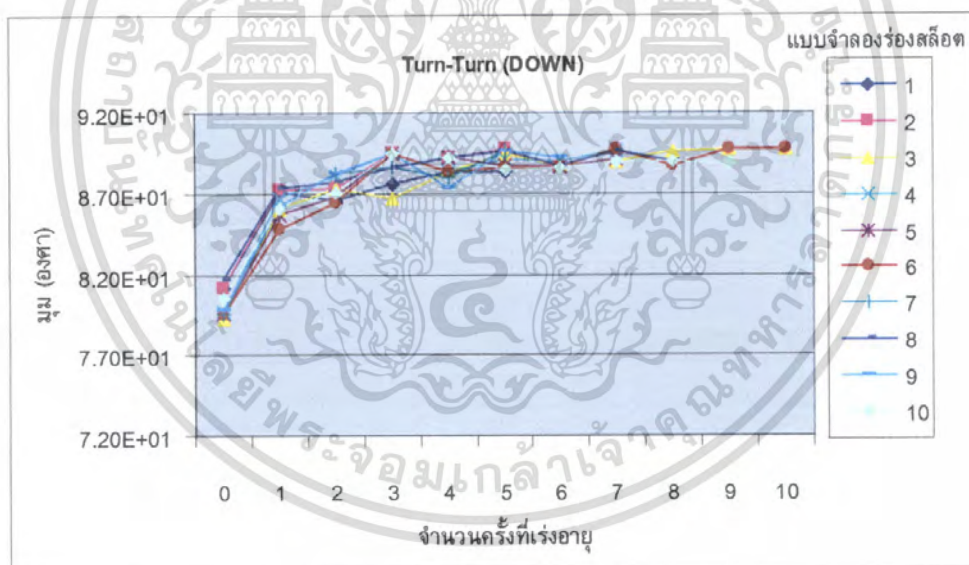
รูปที่ 5.35 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz

จากรูปที่ 5.32 ถึงรูปที่ 5.35 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนให้กับระบบ ฉนวนที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่ากระแสจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพของการเป็นฉนวนลดลงจึงทำให้มีกระแสไหลในระบบได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

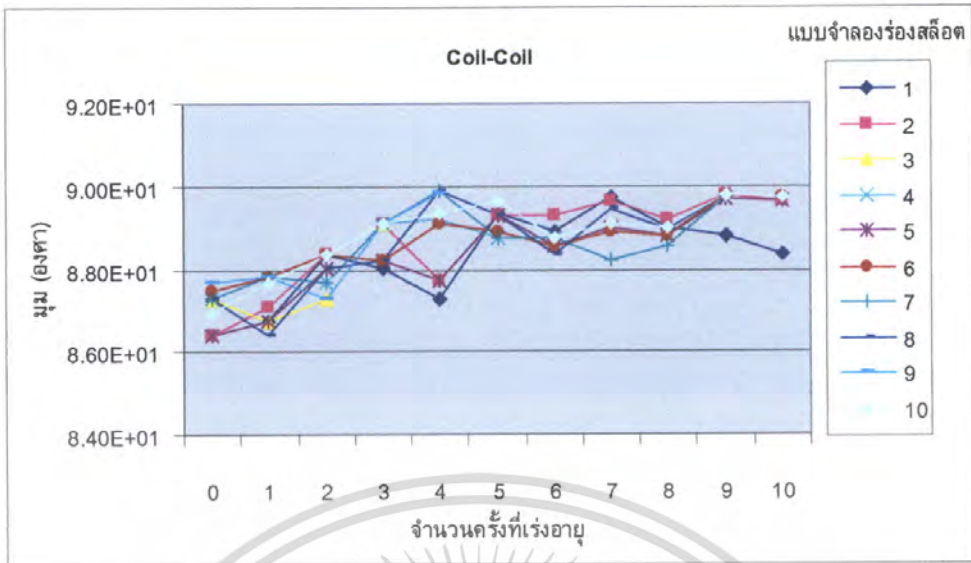


รูปที่ 5.36 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz

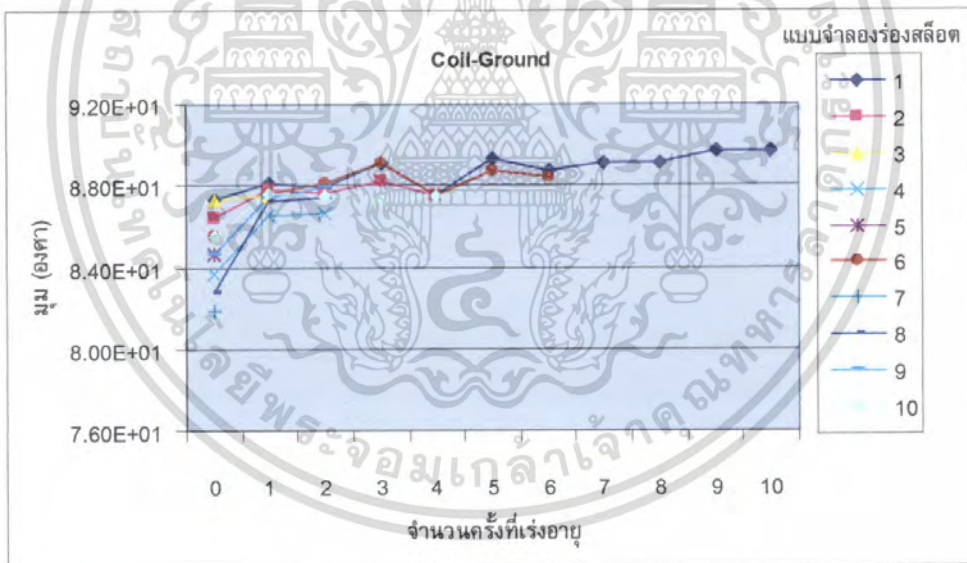


รูปที่ 5.37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



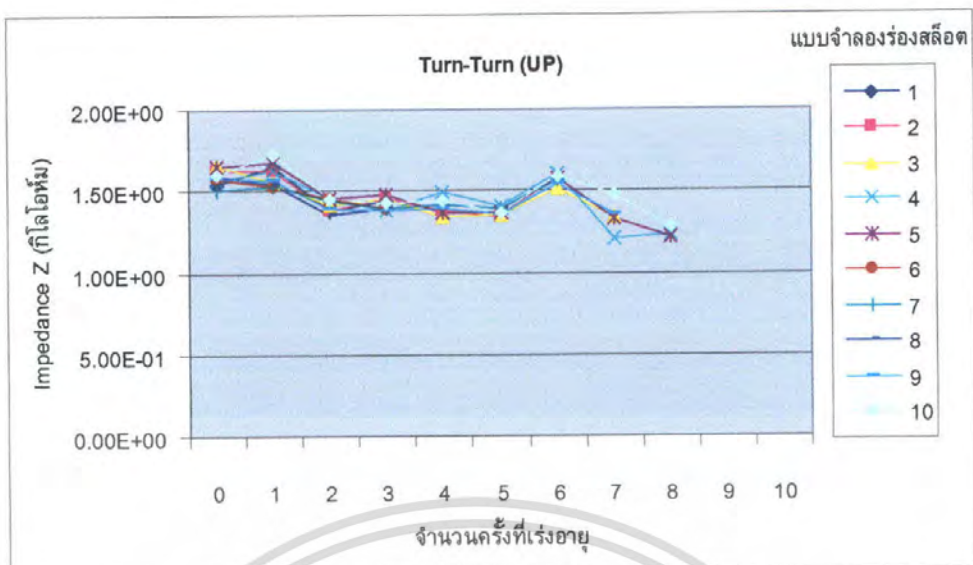
รูปที่ 5.38 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz



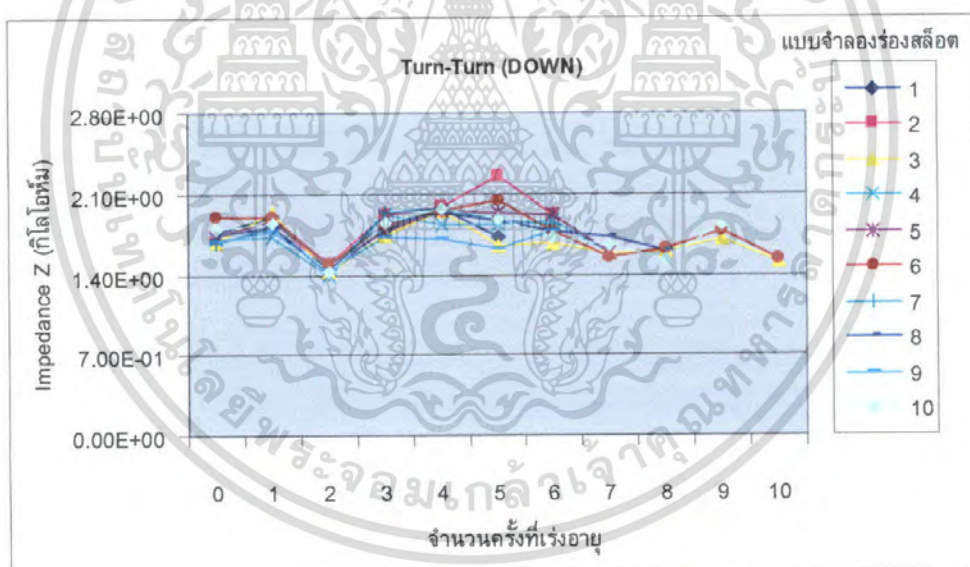
รูปที่ 5.39 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz

จากรูปที่ 5.36 ถึงรูปที่ 5.39 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนให้กับระบบ ฉนวนที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่ามุมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนเกือบถึง 90 องศา เนื่องจากมุมระหว่างกระแสและแรงดันในการ ทดสอบทางแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

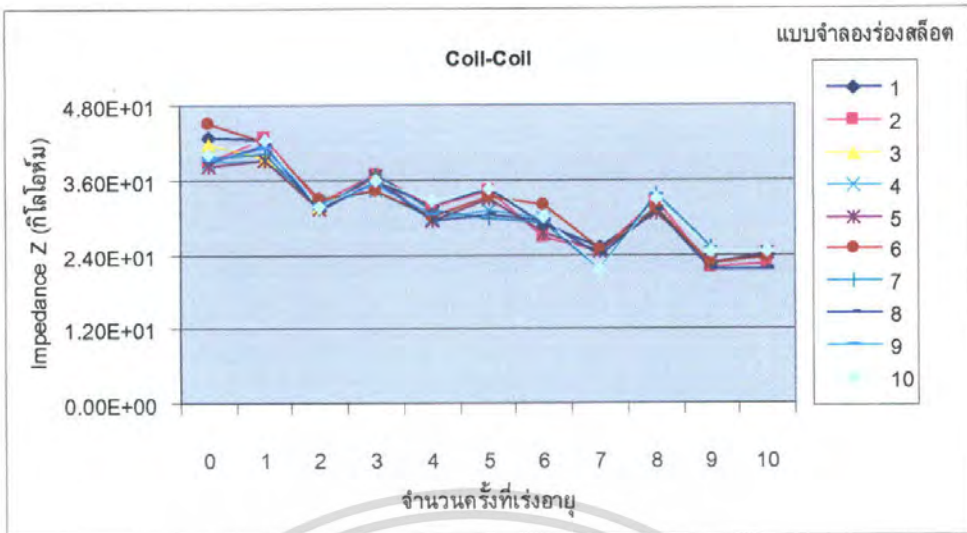


รูปที่ 5.40 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz

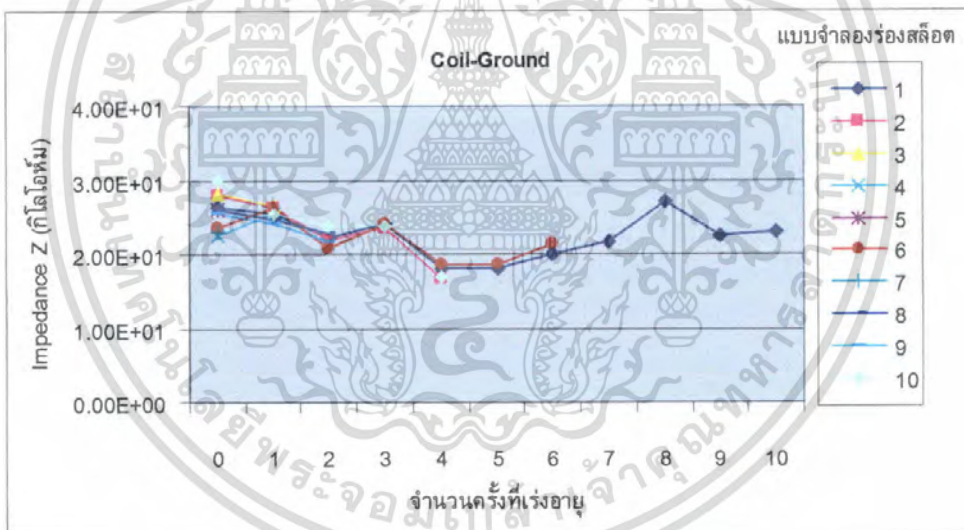


รูปที่ 5.41 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



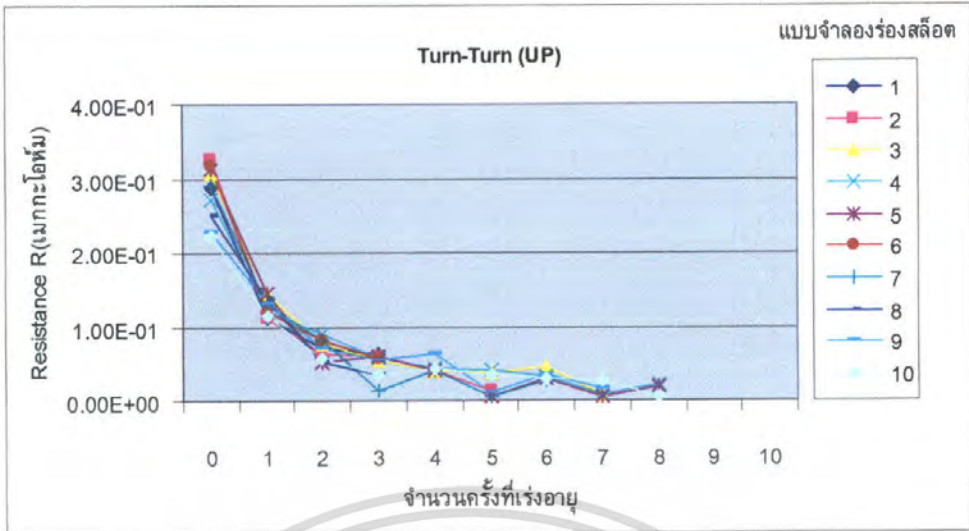
รูปที่ 5.42 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz



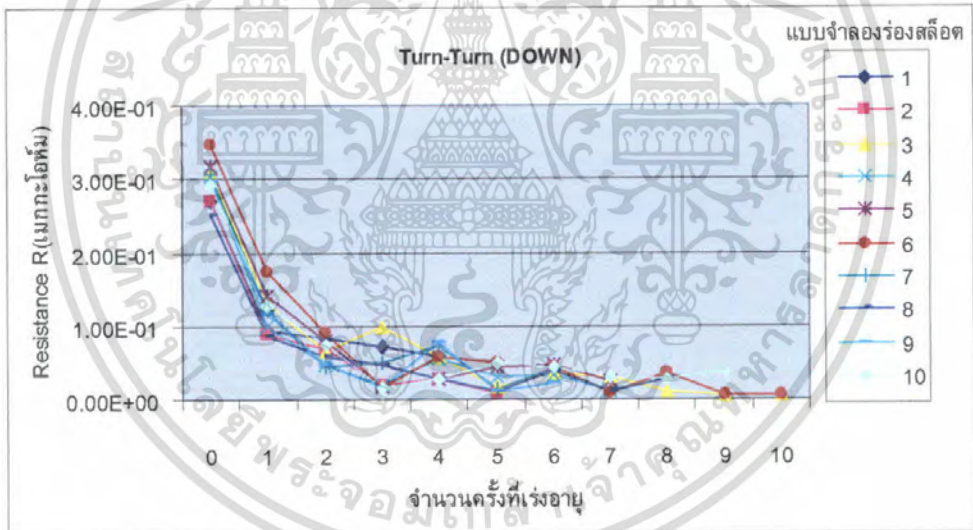
รูปที่ 5.43 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Impedance (Z) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz

จากรูปที่ 5.40 ถึงรูปที่ 5.43 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนให้กับระบบ ฉนวนที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่า Impedance จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสภาพของการเป็นฉนวนลดลงทำให้มีกระแสไหล ในระบบได้มากขึ้น ค่า Impedance ของระบบฉนวนจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

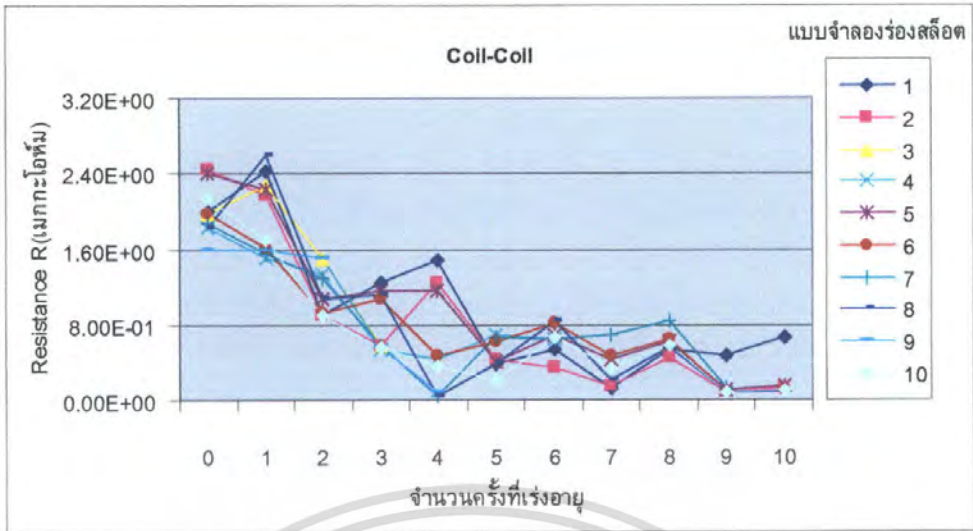


รูปที่ 5.44 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz

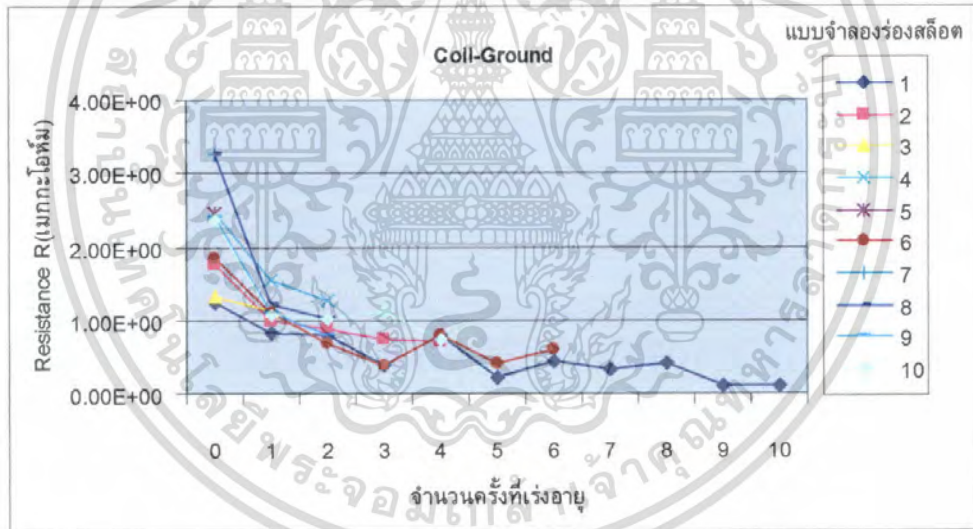


รูปที่ 5.45 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



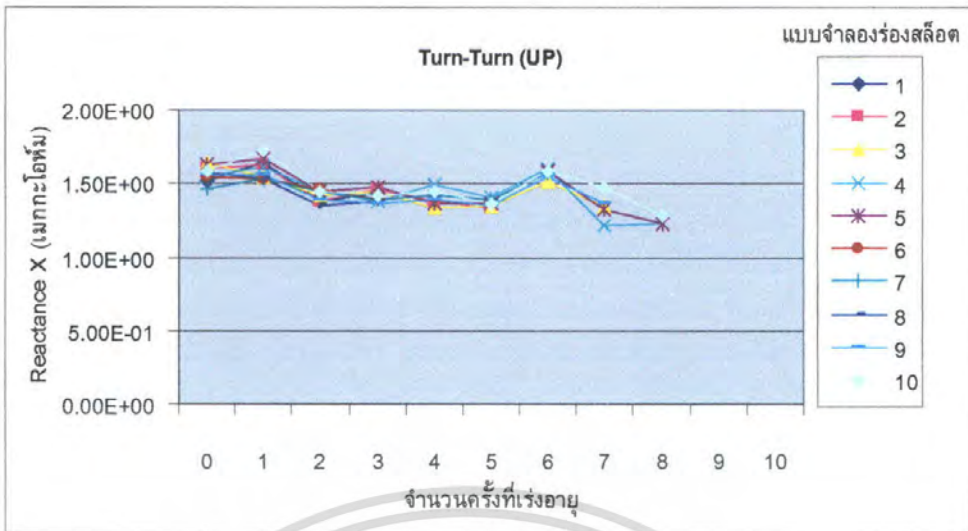
รูปที่ 5.46 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz



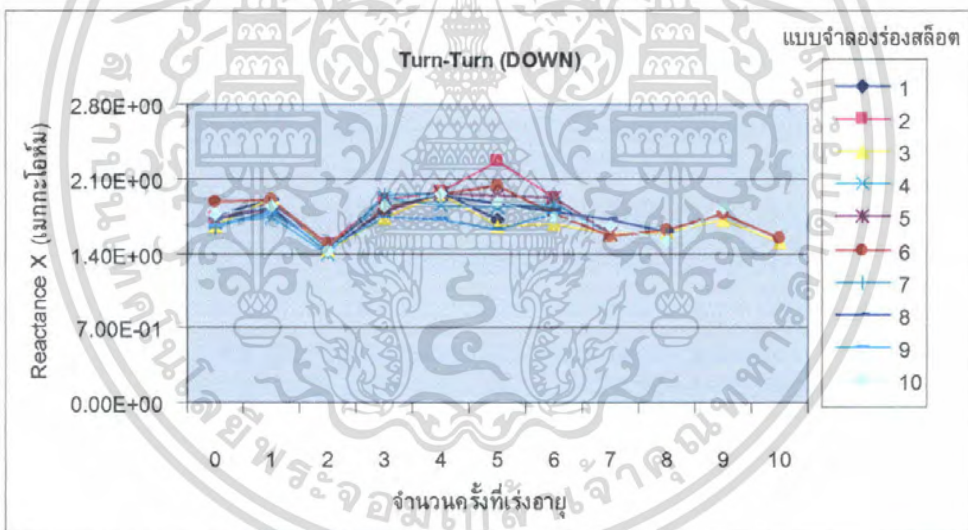
รูปที่ 5.47 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Resistance (R) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz

จากรูปที่ 5.44 ถึงรูปที่ 5.47 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนให้กับระบบ อนุวนที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่า Resistance จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสภาพของการเป็นอนุวนลดลงทำให้มีกระแสไหล ในระบบได้มากขึ้น ค่า Impedance ของระบบอนุวนลดลงและมุมระหว่างกระแสและแรงดัน เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ Resistance ลดลงและจะลดลงมากขึ้นเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนหลาย

ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

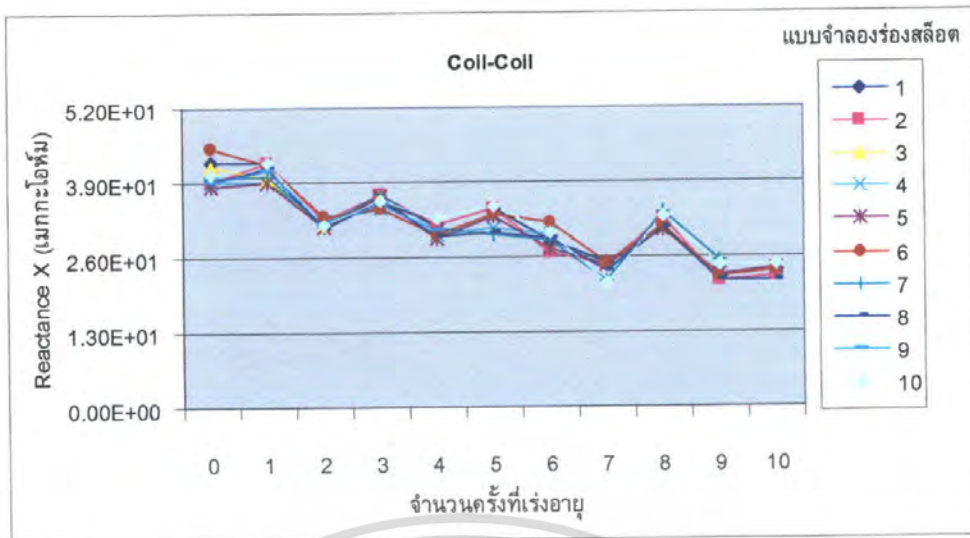


รูปที่ 5.48 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP) ที่ความถี่ 50 Hz

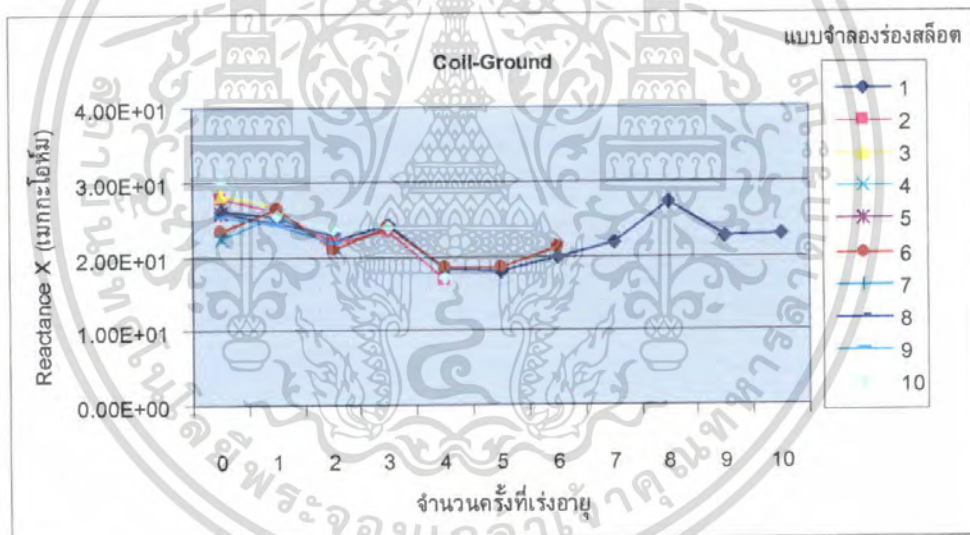


รูปที่ 5.49 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN) ที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.50 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Coil ที่ความถี่ 50 Hz



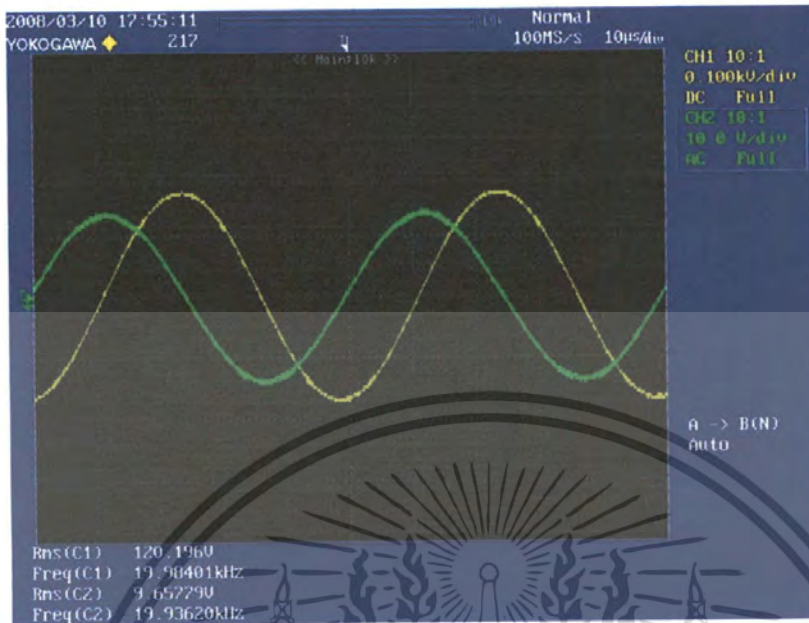
รูปที่ 5.51 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Reactance (X) เมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อน ที่การทดลองแบบ Coil-Ground ที่ความถี่ 50 Hz

จากรูปที่ 5.48 ถึงรูปที่ 5.51 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนให้กับระบบ ฉนวนที่การทดลองแบบ Turn-Turn (UP), Turn-Turn (DOWN), Coil-Coil และ Coil-Ground ค่า Reactance จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสภาพของการเป็นฉนวนลดลงทำให้มีกระแสไหล ในระบบได้มากขึ้น ค่า Impedance ของระบบฉนวนลดลงและมุมระหว่างกระแสและแรงดัน เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ Reactance ลดลงและจะลดลงมากขึ้นเมื่อมีการเร่งอายุทางความร้อนหลาย

ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.4.3 การเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นของกระแสและแรงดัน

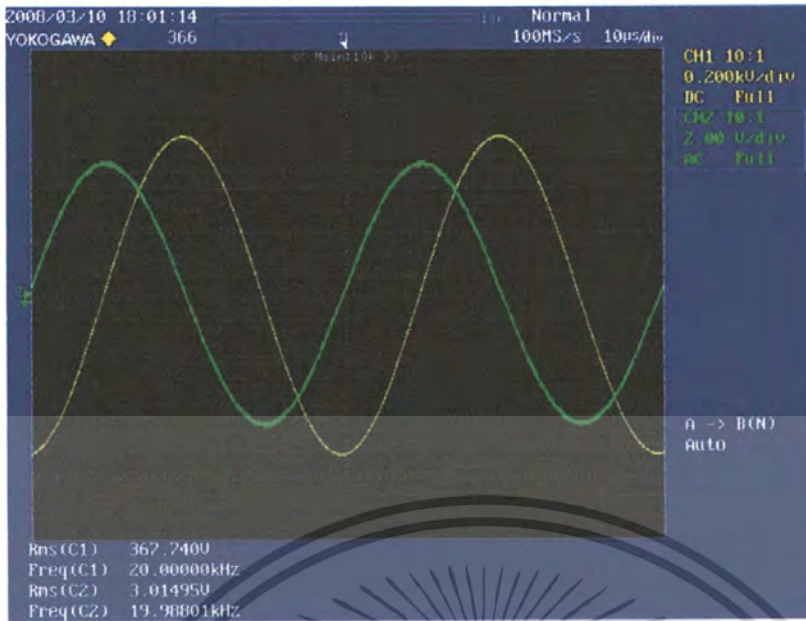


รูปที่ 5.52 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน  
จากแบบจำลองร่องสลิตที่ 1 ในการทดลองแบบ Turn-Turn (UP)

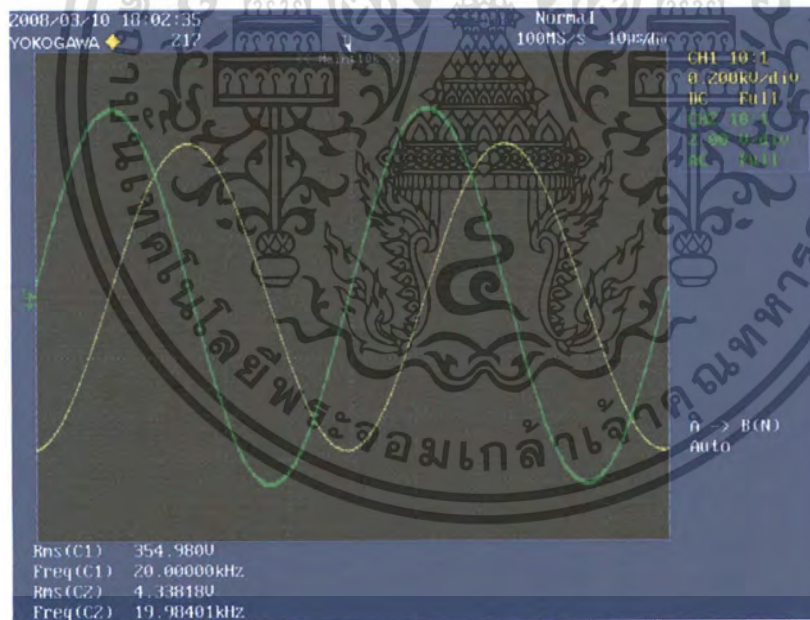


รูปที่ 5.53 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน  
จากแบบจำลองร่องสลิตที่ 6 ในการทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

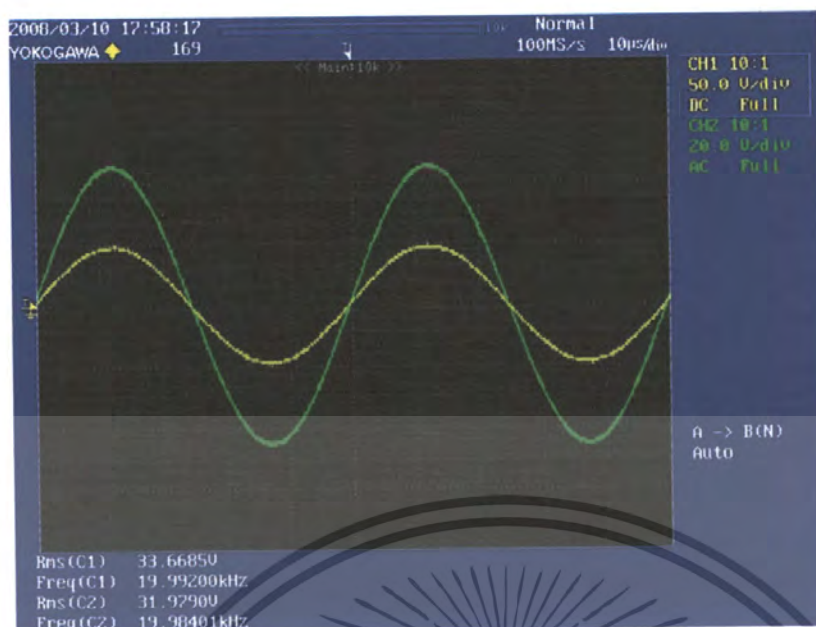


รูปที่ 5.54 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน จากแบบจำลองร่องสลิตที่ 1 ในการทดลองแบบ Coil-Coil



รูปที่ 5.55 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวน จากแบบจำลองร่องสลิตที่ 1 ในการทดลองแบบ Coil-Ground

จากรูปคลื่นของกระแสและแรงดันในรูปที่ 5.52 ถึง รูปที่ 5.55 พบว่าในสภาวะที่ระบบฉนวนยังไม่มีการเชื่อมสภาพนั้นกระแส(เส้นสีเขียว) จะนำหน้าแรงดัน(เส้นสีเหลือง) เป็นมุมหนึ่ง เนื่องจากในเรขาคณิตนั้นประกอบไปด้วยตัวต้านทาน R และ ตัวเก็บประจุ C อยู่ในวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

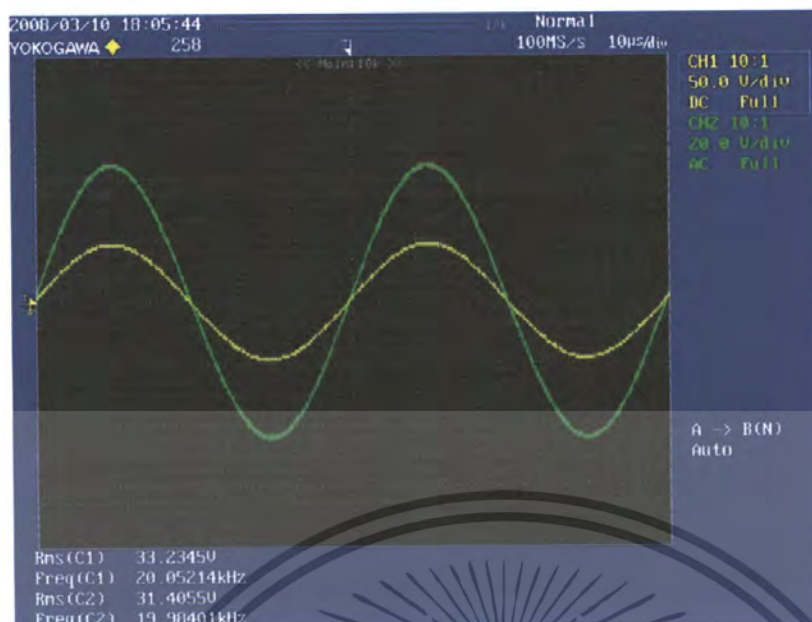


รูปที่ 5.56 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเสื่อมสภาพ จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Turn-Turn (UP)

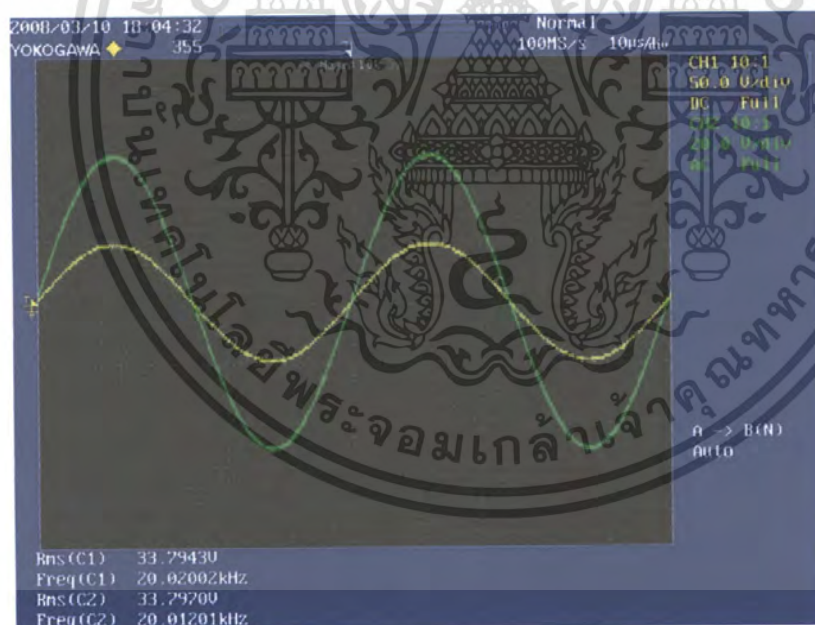


รูปที่ 5.57 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเสื่อมสภาพ จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 1 ในการทดลองแบบ Turn-Turn (DOWN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.58 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเชื่อมสภาพ จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 3 ในการทดลองแบบ Coil-Coil



รูปที่ 5.59 แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันของระบบฉนวนที่มีการเชื่อมสภาพ จากแบบจำลองร่องสลีตที่ 3 ในการทดลองแบบ Coil-Ground

จากรูปคลื่นของกระแสและแรงดันในรูปที่ 5.56 ถึง รูปที่ 5.59 พบว่าเมื่อทำการเร่งอายุทางความร้อนของระบบฉนวนไปเรื่อยๆ ระบบฉนวนจะเกิดการเชื่อมสภาพ ทำให้กระแสและแรงดันเป็นนมเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเชื่อมสภาพของฉนวนนั้นทำให้ค่าตัวเก็บประจุลดลง จนเสมือนว่าวงจรนั้นประกอบด้วย ความต้านทาน  $R$  อยู่ในวงจรเพียงอย่างเดียว ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปและวิจารณ์การทดลอง

การออกแบบการทดสอบเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของระบบฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้า ในสภาวะการเร่งอายุทางความร้อน ได้ทำการออกแบบโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สร้างสัญญาณ แรงดันและสัญญาณความถี่ที่ต่างกัน เพื่อใช้ทดสอบกับการทดสอบการเร่งอายุทางความร้อน ในการทดสอบสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 แบบดังนี้

1. การทดสอบระหว่างเส้นลวดกับเส้นลวดในขดบน ( Turn to Turn up ) ทดสอบที่แรงดัน 120 V ที่ความถี่ 50 Hz, 100 Hz, 500 kHz , 1 kHz , 10 kHz และ 20 kHz
2. การทดสอบระหว่างเส้นลวดกับเส้นลวดในขดล่าง ( Turn to Turn down ) ทดสอบที่แรงดัน 120 V ที่ความถี่ 50 Hz, 100 Hz, 500 kHz , 1 kHz , 10 kHz และ 20 kHz
3. การทดสอบระหว่างขดลวดกับขดลวด ( Coil to Coil ) ทดสอบที่แรงดัน 380 V ที่ความถี่ 50 Hz, 100 Hz, 500 kHz , 1 kHz , 10 kHz และ 20 kHz
4. การทดสอบระหว่างขดลวดกับกราวด์ ( Coil to Ground ) ทดสอบที่แรงดัน 380 V ที่ความถี่ 50 Hz, 100 Hz, 500 kHz , 1 kHz , 10 kHz และ 20 kHz

จากการทดลองเมื่อเพิ่มความถี่ให้กับชิ้นงานทดสอบ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของการทดลองทั้ง 4 แบบ จะมีแนวโน้มเดียวกัน คือ กระแสจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า Impedance ในระบบฉนวนมีค่าลดลง ซึ่งค่าของ Impedance จะลดลงเมื่อความถี่มีค่าเพิ่มมากขึ้น จากการที่ Impedance มีค่าลดลงทำให้ส่งผลต่อค่า Resistance และ Reactance ของระบบฉนวนมีค่าลดลงด้วย

จากวงจรสมมูลของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 43-2000 ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ Resistance และ Reactance ที่มีค่าลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นที่ได้จากการทดลอง ทำให้ทราบว่าวงจรสมมูลของฉนวนจะต้องเป็นวงจรขนานของตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ เนื่องจากหากเป็นวงจรอนุกรมกันระหว่าง ตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ ค่าตัวเก็บประจุที่วัดได้จะต้องเป็นค่าคงที่ และเมื่อพิจารณาค่า Resistance และค่า Reactance ที่ได้จากการทดลอง จะพบว่าค่า Resistance และค่า Reactance ของระบบฉนวนนี้ จะเป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพ และเมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของวงจรเมื่อพิจารณาร่วมกับผลการทดลองจึงคาดว่า ในวงจรจะต้องประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นการอนุกรมกันของ ตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ แล้วต่อขนานกับ ตัวต้านทาน หรือ ตัวเก็บประจุ หรือทั้งตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ ดังนั้นจึงทำการออกแบบแล้วคำนวณสมการของวงจร ซึ่งวงจรที่ได้จากการออกแบบจะนำมาเปรียบเทียบกับวงจรสมมูลตามมาตรฐาน IEEE 43-2000

จากวงจรที่ออกแบบเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ ตามมาตรฐาน IEEE 43-2000 พบว่าตัวเก็บประจุ ที่ทำให้เกิด Geometric capacitive current ( $I_c$ ) จะส่งผลกระทบต่อระบบฉนวนน้อยมากโดยดูจากกราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสตรงที่ถูกวัดได้ จะเห็นได้ว่า  $I_c$  ที่วัดได้จะมีค่าลดลงเป็น 0 อย่างรวดเร็ว ดังนั้นตัวเก็บประจุที่ได้ในวงจรสมมูลจะต้องอยู่ในส่วนของ absorption current ( $I_A$ ) เมื่อพิจารณาตัวต้านทานที่ทำให้เกิด conduction current ( $I_c$ ) ในระบบฉนวนค่า Resistance ที่วัดได้จะมีค่าสูงมากเมื่อยังไม่ทำการเร่งอายุจึงทำให้  $I_c$  ที่ไหลในระบบฉนวนมีค่าน้อยเมื่อพิจารณาที่การเร่งอายุทางความร้อนแล้วจะพบว่า ค่า Resistance มีค่าลดลง จะทำให้มีกระแสไหลในระบบมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ตั้งนั้นตัวเก็บประจุที่ทำให้เกิด  $I_c$  จึงมีผลกระทบต่อระบบฉนวนดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรสมมูลตามมาตรฐานจะได้วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบฉนวนคือ ประกอบด้วยส่วนที่เป็น ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน และต่อขนานกับตัวต้านทานอีกหนึ่งตัว



รูปที่ 6.1 วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบฉนวน

จากการทดลองเมื่อทำการเร่งอายุทางความร้อนของระบบฉนวนและทำการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของการทดลองทั้ง 4 แบบ จะมีแนวโน้มเดียวกัน เนื่องจากการเร่งอายุของระบบฉนวนทำให้ฉนวนจะเสื่อมสภาพลง แนวโน้มของค่ากระแสที่ได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับแนวโน้มของค่า Impedance ที่มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่า Resistance และ Reactance ก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

ลักษณะรูปคลื่นที่ได้จากการป้อนสัญญาณแรงดันที่ความถี่ต่างๆ ให้แก่ชิ้นงานทดสอบ รูปคลื่นที่ได้จะมีลักษณะรูปคลื่นกระแสนำรูปคลื่นแรงดันซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของระบบฉนวนที่จะประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน เมื่อทำการเร่งอายุจนฉนวนเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่ได้จะเป็นมุมเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นตัวเก็บประจุของฉนวนถูกทำลายเมื่อฉนวนเสื่อมสภาพจนเสมือนว่ามีเพียงตัวต้านทานอยู่ในวงจร

แนวทางในการพัฒนาต่อ เนื่องจากระบบฉนวนในเครื่องจักรกลไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิด เช่น ฉนวน Class F ฉนวน Class H เป็นต้น ดังนั้นฉนวนแต่ละ Class จะมีค่าพารามิเตอร์ต่างกัน ทำให้ค่า  $R$  และ  $X_c$  ไม่เท่ากัน มุมระหว่างกระแส ( $I$ ) และแรงดัน ( $V$ ) ไม่เท่ากันและศึกษาคุณสมบัติของฉนวนแต่ละ Class ว่ามีค่ามุมระหว่างกระแสและแรงดันเป็นค่าเท่าใด หรือการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นระหว่างกระแสและแรงดัน ซึ่งอาจจะนำไปตรวจสอบฉนวนในเครื่องจักรกลที่มีอยู่เป็นฉนวนตรงตามป้ายชื่อ (Nameplate) ที่ให้มา เพื่อนำไปคาดคะเนอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลตัวนั้นๆ และยังสามารถป้องกันสัญญาณในรูปแบบอื่นๆ เพื่อดูความแตกต่างและแนวโน้มที่เกิดขึ้นเมื่อการใช้งานเปลี่ยนไปเพราะในแต่ละชิ้นงาน หรือในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันการเสื่อมสภาพของระบบฉนวนย่อมแตกต่างกันด้วยดังนั้นการศึกษาลักษณะประกอบอื่นๆ ที่ส่งผลต่อระบบฉนวนก็เป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาต่อในระบบฉนวนและระบบเครื่องจักรกลไฟฟ้าเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] “การหาค่าอิมพีแดนซ์ของระบบฉนวนของมอเตอร์ Impedance Evaluation of Motor Insulator System,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [2] เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์, “เทคนิคการทดสอบเพื่อยืนยันระดับชั้นทางความร้อนของฉนวนเครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยการใช้แบบจำลองร่องสลีต,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [3] Keng C.Wu, **Transistor Circuits for Spacecraft Power System**, New Jersey, Lockheed Martin Naval Electronic & Surveillance Systems,2006.
- [4] Noelle D.Humenick, “IEEE Recommended Practice for testing Insulation Resistance of Rotating Mechinary,” **IEEE std43-2000(R2006)**,2006.
- [5] IEC standard 34-18-21, **Functional evaluation of insulation system Section 21:Test procedure for wire wound windings –Thermal evaluation and classification**,1992. First Edition
- [6] IEC standard 34-18-1, **Functional evaluation of insulation system for rating electrical machines Part 1 :General guideline**, 1992. First Edition
- [7] G.C.Montanari,G.Mazzanti,L.Simoni “Progress in Electrothermal Life Modeling of Electrical Insulation during the Last Decades,” **IEEE Trans.on Dielectrics and electrical Insulation**,Vol.9 No.5,October 2002.
- [8] IEC standard 85, **Determining the thermal classification of Electrical Insulation**,1984.
- [9] IEC standard 60505, **Evaluation and qualification of Electrical Insulation system**,1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก  
ผลการทดลอง

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	118.120	76.600	79.200	1.542	0.289	1.515
2	119.900	73.400	78.444	1.634	0.327	1.600
3	118.400	71.050	79.344	1.666	0.308	1.638
4	119.350	76.100	80.064	1.568	0.271	1.545
5	119.150	72.060	79.128	1.653	0.312	1.624
6	120.400	76.450	78.408	1.575	0.316	1.543
7	119.500	79.800	78.768	1.497	0.292	1.469
8	119.300	75.130	80.928	1.588	0.250	1.568
9	119.800	76.210	81.648	1.572	0.228	1.555
10	121.400	75.800	82.008	1.602	0.223	1.586

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	122.450	69.400	81.144	1.764	0.272	1.743
2	120.470	68.900	81.144	1.748	0.269	1.728
3	119.600	71.100	79.344	1.682	0.311	1.653
4	122.600	72.100	79.704	1.700	0.304	1.673
5	119.040	68.450	79.488	1.739	0.317	1.710
6	120.700	63.250	79.488	1.908	0.348	1.876
7	119.200	71.200	79.488	1.674	0.305	1.646
8	120.690	69.450	81.684	1.738	0.251	1.720
9	122.600	72.700	79.848	1.686	0.297	1.660
10	120.800	67.500	80.568	1.790	0.293	1.765

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.431	8.927	87.300	42.616	2.007	42.568
2	381.665	9.807	86.400	38.918	2.444	38.841
3	379.090	9.060	87.300	41.842	1.971	41.796
4	379.804	9.759	87.300	38.918	1.833	38.875
5	379.880	9.917	86.400	38.306	2.405	38.230
6	379.485	8.433	87.480	45.000	1.979	44.956
7	380.835	9.617	87.300	39.600	1.865	39.556
8	380.995	9.799	87.300	38.881	1.832	38.838
9	380.565	9.742	87.660	39.064	1.595	39.032
10	380.202	9.429	86.940	40.323	2.152	40.265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to Ground ก่อนการเร่งอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.462	14.524	87.300	26.195	1.234	26.166
2	380.284	13.630	86.400	27.901	1.752	27.845
3	379.673	13.433	87.300	28.264	1.331	28.233
4	379.441	16.879	83.700	22.480	2.467	22.344
5	380.527	14.590	84.600	26.081	2.454	25.966
6	379.430	16.123	85.500	23.533	1.846	23.461
7	381.459	16.540	81.900	23.063	3.250	22.833
8	379.989	14.572	82.800	26.077	3.268	25.871
9	380.734	15.000	84.600	25.382	2.389	25.270
10	380.345	12.589	85.500	30.212	2.370	30.119

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up ก่อนการเร่งอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.670	148.872	84.240	0.811	0.081	0.806
2	120.560	140.572	86.400	0.858	0.054	0.856
3	120.394	142.124	86.400	0.847	0.053	0.845
4	120.402	146.000	87.552	0.825	0.035	0.824
5	120.420	138.304	83.952	0.871	0.092	0.866
6	120.734	145.538	86.112	0.830	0.056	0.828
7	120.199	148.741	85.536	0.808	0.063	0.806
8	120.255	136.846	83.736	0.879	0.096	0.874
9	120.225	145.000	84.096	0.829	0.085	0.825
10	120.121	140.200	85.248	0.857	0.071	0.854

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down ก่อนการเร่งอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.264	132.878	84.960	0.905	0.080	0.902
2	120.316	141.979	84.240	0.847	0.085	0.843
3	120.391	145.736	84.240	0.826	0.083	0.822
4	120.564	140.633	83.952	0.857	0.090	0.853
5	120.439	134.343	86.112	0.897	0.061	0.894
6	120.775	126.676	83.232	0.953	0.112	0.947
7	120.163	136.833	83.160	0.878	0.105	0.872
8	120.204	134.265	83.736	0.895	0.098	0.890
9	120.245	146.573	83.016	0.820	0.100	0.814
10	120.338	133.295	85.248	0.903	0.075	0.900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.259	20.244	84.240	18.784	1.885	18.689
2	380.359	20.389	84.960	18.655	1.639	18.583
3	380.529	19.692	83.232	19.324	2.277	19.190
4	380.156	20.144	83.232	18.872	2.224	18.741
5	380.705	19.599	83.952	19.425	2.047	19.317
6	380.679	19.303	86.112	19.721	1.337	19.676
7	380.934	20.448	83.232	18.629	2.195	18.500
8	380.748	20.462	84.528	18.608	1.774	18.523
9	380.896	20.125	84.456	18.926	1.828	18.838
10	380.849	19.606	84.024	19.425	2.022	19.320

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.909	36.484	84.240	10.441	1.048	10.388
2	380.666	38.990	85.680	9.763	0.735	9.736
3	380.561	33.432	84.672	11.383	1.057	11.334
4	380.143	36.356	85.392	10.456	0.840	10.422
5	380.543	33.752	83.232	11.275	1.329	11.196
6	380.659	35.357	83.880	10.766	1.148	10.705
7	380.991	35.367	84.528	10.772	1.027	10.723
8	380.958	39.262	83.160	9.703	1.156	9.634
9	380.435	38.094	84.096	9.987	1.027	9.934
10	380.923	36.031	84.240	10.572	1.061	10.519

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.840	680.451	84.690	0.178	0.016	0.177
2	120.650	659.060	85.680	0.183	0.014	0.183
3	120.885	668.795	83.880	0.181	0.019	0.180
4	120.571	672.668	84.690	0.179	0.017	0.178
5	120.118	641.882	85.230	0.187	0.016	0.186
6	120.793	678.996	85.860	0.178	0.013	0.177
7	120.628	690.015	85.860	0.175	0.013	0.174
8	120.909	628.271	86.130	0.192	0.013	0.192
9	120.894	699.359	86.220	0.173	0.011	0.172
10	120.559	619.288	86.220	0.195	0.013	0.194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.702	617.657	84.690	0.195	0.018	0.195
2	120.628	654.718	84.600	0.184	0.017	0.183
3	120.540	695.937	82.080	0.173	0.024	0.172
4	120.156	654.468	85.320	0.184	0.015	0.183
5	120.303	627.092	84.960	0.192	0.017	0.191
6	120.490	615.395	84.600	0.196	0.018	0.195
7	120.568	642.088	84.960	0.188	0.016	0.187
8	120.827	644.431	86.220	0.187	0.012	0.187
9	120.831	658.003	84.420	0.184	0.018	0.183
10	120.352	690.433	84.420	0.174	0.017	0.173

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.866	83.763	86.130	4.547	0.307	4.537
2	380.667	87.873	84.780	4.332	0.394	4.314
3	380.419	91.908	86.490	4.139	0.253	4.131
4	380.519	93.952	85.410	4.050	0.324	4.037
5	380.703	86.436	84.960	4.404	0.387	4.387
6	380.547	82.826	84.960	4.595	0.404	4.577
7	380.870	96.277	86.310	3.956	0.255	3.948
8	380.065	96.913	85.140	3.922	0.332	3.908
9	380.471	95.943	85.320	3.966	0.324	3.952
10	380.024	87.018	86.220	4.367	0.288	4.358

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.774	156.977	85.860	2.426	0.175	2.419
2	380.655	176.043	83.880	2.162	0.231	2.150
3	380.435	162.676	84.330	2.339	0.231	2.327
4	380.937	172.950	85.770	2.203	0.162	2.197
5	380.796	152.012	85.860	2.505	0.181	2.499
6	380.682	165.357	85.860	2.302	0.166	2.296
7	380.551	163.917	86.040	2.322	0.160	2.316
8	380.271	184.837	86.220	2.057	0.136	2.053
9	380.716	183.038	86.220	2.080	0.137	2.075
10	380.601	165.890	86.328	2.294	0.147	2.290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	121.036	1.376	85.536	87.949	6.845	87.683
2	120.962	1.334	86.256	90.669	5.921	90.476
3	120.127	1.358	85.896	88.485	6.333	88.258
4	120.512	1.385	85.824	87.031	6.338	86.800
5	120.415	1.423	85.824	84.616	6.162	84.391
6	120.503	1.386	85.464	86.974	6.878	86.702
7	120.170	1.406	85.824	85.497	6.226	85.270
8	120.136	1.398	85.824	85.959	6.260	85.731
9	120.711	1.371	85.824	88.059	6.412	87.825
10	120.073	1.282	85.536	93.696	7.293	93.412

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.296	1.249	83.376	96.314	11.110	95.671
2	120.163	1.341	85.536	89.600	6.974	89.329
3	120.370	1.422	83.448	84.672	9.662	84.119
4	120.775	1.350	85.464	89.450	7.074	89.170
5	120.823	1.290	85.464	93.695	7.410	93.401
6	120.034	1.217	85.824	98.655	7.184	98.393
7	120.265	1.308	83.664	91.925	10.145	91.364
8	120.601	1.303	84.384	92.585	9.060	92.140
9	120.610	1.427	85.464	84.529	6.685	84.264
10	120.668	1.217	85.320	99.133	8.088	98.803

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	380.794	176.533	85.536	2.157	0.168	2.151
2	380.370	183.390	86.256	2.074	0.135	2.070
3	380.781	177.899	85.320	2.140	0.175	2.133
4	380.650	191.264	86.256	1.990	0.130	1.986
5	380.129	172.416	85.464	2.205	0.174	2.198
6	380.321	172.489	84.096	2.205	0.227	2.193
7	380.997	189.727	84.384	2.008	0.197	1.998
8	380.783	192.851	85.464	1.974	0.156	1.968
9	380.875	190.782	83.664	1.996	0.220	1.984
10	380.764	173.161	85.896	2.199	0.157	2.193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	380.931	317.820	86.256	1.199	0.078	1.196
2	380.931	368.462	86.112	1.034	0.070	1.031
3	380.664	314.423	86.256	1.211	0.079	1.208
4	380.650	344.341	85.968	1.105	0.078	1.103
5	380.989	304.361	84.384	1.252	0.122	1.246
6	380.848	338.835	85.464	1.124	0.089	1.120
7	380.660	326.863	85.464	1.165	0.092	1.161
8	380.874	374.784	85.464	1.016	0.080	1.013
9	380.168	375.681	85.824	1.012	0.074	1.009
10	380.877	328.379	85.896	1.160	0.083	1.157

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.334	11.463	82.800	10.498	1.316	10.415
2	120.011	11.406	81.072	10.522	1.633	10.394
3	120.666	11.899	82.008	10.141	1.410	10.042
4	120.683	11.012	79.596	10.959	1.979	10.779
5	120.155	11.187	80.280	10.741	1.813	10.586
6	120.646	11.704	82.224	10.308	1.395	10.213
7	120.822	11.716	79.236	10.313	1.926	10.131
8	120.782	11.139	79.920	10.843	1.898	10.676
9	120.572	11.493	82.260	10.491	1.413	10.395
10	120.914	11.035	79.596	10.957	1.979	10.777

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.646	10.607	81.000	11.374	1.779	11.234
2	120.745	11.392	82.080	10.599	1.460	10.498
3	120.491	11.900	82.728	10.125	1.282	10.044
4	120.586	11.536	80.100	10.453	1.797	10.297
5	120.053	10.975	80.748	10.939	1.759	10.796
6	120.933	10.595	79.344	11.414	2.111	11.217
7	120.036	11.014	80.172	10.898	1.860	10.739
8	120.997	11.833	80.712	10.225	1.650	10.091
9	120.103	11.973	81.360	10.031	1.507	9.917
10	120.271	10.385	80.568	11.581	1.898	11.425

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	380.005	1.608	82.800	236.322	29.619	234.458
2	380.817	1.761	84.780	216.250	19.675	215.354
3	380.065	1.771	82.836	214.605	26.763	212.929
4	380.025	1.740	85.068	218.405	18.777	217.597
5	380.264	1.563	84.168	243.291	24.721	242.032
6	380.285	1.490	83.484	255.225	28.963	253.576
7	380.987	1.618	83.844	235.468	25.251	234.110
8	380.084	1.678	83.484	226.510	25.705	225.047
9	380.909	1.657	84.168	229.879	23.358	228.689
10	380.268	1.483	84.240	256.418	25.735	255.123

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	380.739	2.757	83.088	138.099	16.619	137.095
2	380.208	3.262	82.872	116.557	14.463	115.656
3	380.169	2.978	86.292	127.659	8.256	127.392
4	380.166	3.007	84.204	126.427	12.767	125.781
5	380.711	2.801	83.520	135.920	15.339	135.051
6	380.848	2.889	83.376	131.827	15.207	130.947
7	380.408	2.748	83.952	138.431	14.585	137.660
8	380.413	3.141	83.520	121.112	13.668	120.338
9	380.064	3.106	84.312	122.364	12.128	121.762
10	380.675	2.722	83.160	139.851	16.656	138.856

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.579	22.860	78.156	5.275	1.083	5.162
2	120.619	21.790	74.016	5.536	1.524	5.322
3	120.036	22.320	79.056	5.378	1.021	5.280
4	120.984	22.580	76.896	5.358	1.215	5.218
5	120.409	21.944	76.896	5.487	1.244	5.344
6	120.117	21.900	72.720	5.485	1.629	5.237
7	120.990	22.990	76.968	5.263	1.187	5.127
8	120.549	19.910	79.848	6.055	1.067	5.960
9	120.337	21.287	72.792	5.653	1.672	5.400
10	120.378	20.600	79.200	5.844	1.095	5.740

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.624	20.983	77.796	5.749	1.215	5.619
2	120.278	21.950	77.616	5.480	1.175	5.352
3	120.631	22.990	79.056	5.247	0.996	5.152
4	120.320	22.330	76.896	5.388	1.222	5.248
5	120.307	21.506	76.896	5.594	1.268	5.448
6	120.338	20.125	75.168	5.980	1.531	5.780
7	120.769	21.690	79.848	5.568	0.981	5.481
8	120.778	21.850	73.008	5.528	1.615	5.286
9	120.316	23.146	79.848	5.198	0.916	5.117
10	120.566	20.278	75.528	5.946	1.486	5.757

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	380.364	3.022	78.336	125.865	25.446	123.266
2	380.052	3.130	78.336	121.422	24.548	118.915
3	380.410	3.151	79.056	120.727	22.920	118.531
4	380.085	3.070	78.408	123.806	24.878	121.281
5	380.030	2.924	79.128	129.969	24.514	127.636
6	380.198	2.990	79.128	127.157	23.984	124.874
7	380.845	2.934	79.128	129.804	24.483	127.474
8	380.369	3.070	78.768	123.899	24.133	121.526
9	380.310	3.020	78.408	125.930	25.305	123.362
10	380.141	2.965	78.408	128.209	25.763	125.594

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground ก่อนการเรียงอายุ						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	380.289	5.628	78.480	67.576	13.496	66.215
2	380.372	6.277	77.616	60.598	12.996	59.188
3	380.602	4.940	79.128	77.045	14.532	75.662
4	380.228	5.958	78.336	63.818	12.902	62.500
5	380.438	5.677	78.768	67.014	13.053	65.730
6	380.684	5.790	72.288	65.749	20.003	62.632
7	380.254	5.530	78.768	68.762	13.394	67.445
8	380.127	6.230	78.048	61.016	12.636	59.693
9	380.298	6.260	78.048	60.750	12.581	59.433
10	380.260	5.580	72.648	68.147	20.324	65.046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.804	73.205	86.112	1.650	0.112	1.646
2	120.815	74.066	86.076	1.631	0.112	1.627
3	120.819	78.065	84.600	1.548	0.146	1.541
4	120.081	73.949	85.716	1.624	0.121	1.619
5	120.377	72.037	85.032	1.671	0.145	1.665
6	120.176	78.551	85.500	1.530	0.120	1.525
7	120.425	78.515	85.176	1.534	0.129	1.528
8	120.669	78.450	84.852	1.538	0.138	1.532
9	120.477	77.027	85.212	1.564	0.131	1.559
10	120.340	69.819	86.148	1.724	0.116	1.720

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.781	63.260	87.156	1.909	0.095	1.907
2	120.156	66.322	87.192	1.812	0.089	1.810
3	120.103	62.163	86.112	1.932	0.131	1.928
4	120.679	69.638	86.760	1.733	0.098	1.730
5	120.059	64.099	85.680	1.873	0.141	1.868
6	120.220	62.339	84.780	1.910	0.174	1.902
7	120.206	66.452	86.184	1.809	0.120	1.805
8	120.547	66.164	87.300	1.822	0.086	1.820
9	120.964	67.804	86.256	1.784	0.116	1.780
10	120.406	65.095	86.076	1.850	0.127	1.845

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	376.783	8.852	86.724	42.565	2.432	42.495
2	376.565	8.835	87.084	42.622	2.168	42.567
3	376.748	9.497	86.724	39.670	2.267	39.605
4	375.352	9.590	87.804	39.140	1.500	39.111
5	373.534	9.537	86.724	39.167	2.238	39.103
6	374.385	8.857	87.804	42.270	1.620	42.239
7	374.685	9.328	87.804	40.168	1.539	40.138
8	374.240	9.025	86.400	41.467	2.604	41.385
9	374.646	9.079	87.804	41.265	1.581	41.235
10	375.736	8.861	87.696	42.403	1.705	42.369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.638	14.721	88.128	25.449	0.831	25.435
2	371.791	14.172	87.840	26.234	0.989	26.216
3	374.881	14.049	87.552	26.684	1.140	26.659
4	374.517	14.679	86.544	25.514	1.538	25.467
5						
6	374.945	14.236	87.588	26.338	1.108	26.314
7						
8	374.748	15.252	87.192	24.570	1.204	24.541
9	372.033	15.418	87.408	24.130	1.091	24.105
10	372.026	14.538	87.606	25.590	1.069	25.568

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.994	153.090	86.796	0.790	0.044	0.789
2	120.659	160.936	87.048	0.750	0.039	0.749
3	120.003	154.427	86.868	0.777	0.042	0.776
4	120.917	158.680	86.148	0.762	0.051	0.760
5	120.094	152.117	86.868	0.789	0.043	0.788
6	120.138	163.761	86.508	0.734	0.045	0.732
7	120.353	172.237	86.868	0.699	0.038	0.698
8	120.222	153.513	86.616	0.783	0.046	0.782
9	120.422	160.058	87.768	0.752	0.029	0.752
10	120.324	156.798	86.760	0.767	0.043	0.766

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.941	105.57	88.236	1.146	0.035	1.145
2	120.586	111.71	87.552	1.079	0.046	1.078
3	120.742	113.63	87.228	1.063	0.051	1.061
4	120.377	112.318	86.508	1.072	0.065	1.070
5	120.622	107.796	87.228	1.119	0.054	1.118
6	120.045	105.065	87.948	1.143	0.041	1.142
7	120.236	111.6	87.228	1.077	0.052	1.076
8	120.535	111.539	87.588	1.081	0.045	1.080
9	120.03	111.845	87.408	1.073	0.049	1.072
10	120.603	103.285	88.452	1.168	0.032	1.167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	372.416	16.567	86.976	22.479	1.186	22.448
2	375.228	16.724	87.696	22.436	0.902	22.418
3	373.331	17.958	87.696	20.789	0.836	20.772
4	371.709	18.481	87.696	20.113	0.809	20.097
5	374.844	17.616	88.416	21.279	0.588	21.270
6	374.424	16.928	87.336	22.119	1.028	22.095
7	376.203	17.757	87.768	21.186	0.825	21.170
8	374.209	17.264	87.372	21.676	0.994	21.653
9	375.014	17.781	88.452	21.091	0.570	21.083
10	374.188	16.424	87.372	22.783	1.045	22.759

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	370.281	28.894	87.804	12.815	0.491	12.806
2	373.896	31.047	87.084	12.043	0.613	12.027
3	375.151	29.481	87.516	12.734	0.552	12.722
4	374.767	29.104	87.732	12.877	0.510	12.867
5						
6	374.302	29.159	87.516	12.837	0.556	12.825
7						
8	375.606	31.316	87.732	11.994	0.475	11.985
9	374.788	31.940	87.660	11.734	0.479	11.724
10	374.309	29.479	87.660	12.697	0.518	12.687

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.432	615.942	87.156	0.196	0.010	0.195
2	120.006	721.363	86.976	0.166	0.009	0.166
3	120.912	734.259	87.012	0.165	0.009	0.164
4	120.655	628.446	86.652	0.192	0.011	0.192
5	120.104	604.540	87.372	0.199	0.009	0.198
6	120.570	782.183	87.012	0.154	0.008	0.154
7	120.147	788.683	86.940	0.152	0.008	0.152
8	120.357	616.075	87.516	0.195	0.008	0.195
9	120.249	785.994	86.436	0.153	0.010	0.153
10	120.622	643.833	86.472	0.187	0.012	0.187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.519	521.792	86.436	0.231	0.014	0.231
2	120.127	552.446	86.400	0.217	0.014	0.217
3	120.528	611.753	86.472	0.197	0.012	0.197
4	120.257	581.931	86.472	0.207	0.013	0.206
5	120.013	532.562	86.472	0.225	0.014	0.225
6	120.212	522.083	86.472	0.230	0.014	0.230
7	120.138	551.971	86.400	0.218	0.014	0.217
8	120.354	594.961	86.796	0.202	0.011	0.202
9	120.277	593.749	86.796	0.203	0.011	0.202
10	120.444	511.319	86.508	0.236	0.014	0.235

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	370.832	77.011	86.940	4.815	0.257	4.808
2	374.748	82.687	86.436	4.532	0.282	4.523
3	375.030	90.321	86.508	4.152	0.253	4.144
4	374.160	89.710	86.760	4.171	0.236	4.164
5	374.552	90.439	87.192	4.141	0.203	4.137
6	373.999	78.595	86.724	4.759	0.272	4.751
7	373.888	85.037	87.084	4.397	0.224	4.391
8	374.699	87.415	87.084	4.286	0.218	4.281
9	374.742	89.884	86.724	4.169	0.238	4.162
10	374.157	80.260	87.444	4.662	0.208	4.657

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.511	133.256	86.436	2.818	0.175	2.813
2	375.840	155.052	87.372	2.424	0.111	2.421
3	375.550	139.951	86.652	2.683	0.157	2.679
4	371.929	143.667	86.436	2.589	0.161	2.584
5						
6	375.566	137.736	86.652	2.727	0.159	2.722
7						
8	373.674	159.582	87.372	2.342	0.107	2.339
9	374.386	159.940	86.580	2.341	0.140	2.337
10	376.425	142.209	86.436	2.647	0.165	2.642

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.532	1.278	88.020	94.313	3.259	94.257
2	120.353	1.260	87.696	95.518	3.840	95.441
3	120.454	1.416	87.768	85.066	3.313	85.002
4	120.569	1.238	88.020	97.390	3.365	97.332
5	120.731	1.207	88.020	100.026	3.456	99.966
6	120.952	1.287	89.100	93.980	1.476	93.968
7	120.706	1.251	88.020	96.488	3.334	96.430
8	120.412	1.205	88.380	99.927	2.825	99.887
9	120.324	1.237	87.048	97.271	5.009	97.142
10	120.210	1.272	88.128	94.505	3.087	94.454

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.221	1.214	87.840	99.045	3.733	98.975
2	120.327	1.210	86.724	99.436	5.682	99.273
3	120.091	1.211	87.660	99.134	4.048	99.051
4	120.328	1.215	87.660	99.027	4.043	98.945
5	120.399	1.217	86.580	98.964	5.904	98.787
6	120.127	1.214	87.660	98.960	4.040	98.877
7	120.226	1.220	87.660	98.562	4.024	98.480
8	120.328	1.217	86.580	98.873	5.898	98.697
9	120.306	1.213	88.812	99.181	2.056	99.159
10	120.067	1.212	88.776	99.082	2.117	99.059

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	373.769	174.486	88.164	2.142	0.069	2.141
2	374.295	172.413	87.804	2.171	0.083	2.169
3	371.929	178.177	88.308	2.087	0.062	2.087
4	374.057	180.055	88.524	2.077	0.054	2.077
5	374.489	180.620	88.164	2.073	0.066	2.072
6	374.020	175.533	88.344	2.131	0.062	2.130
7	373.904	176.123	86.976	2.123	0.112	2.120
8	374.838	174.878	88.416	2.143	0.059	2.143
9	373.786	179.223	88.416	2.086	0.058	2.085
10	372.877	178.489	88.524	2.089	0.054	2.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	372.476	318.711	87.300	1.169	0.055	1.167
2	376.139	315.918	88.416	1.191	0.033	1.190
3	374.936	316.820	88.668	1.183	0.028	1.183
4	374.405	315.028	88.488	1.188	0.031	1.188
5						
6	375.170	312.156	88.452	1.202	0.032	1.201
7						
8	374.685	317.003	88.452	1.182	0.032	1.182
9	371.724	319.881	88.560	1.162	0.029	1.162
10	376.022	314.289	88.560	1.196	0.030	1.196

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.307	11.856	81.684	10.147	1.468	10.041
2	120.242	12.708	79.884	9.462	1.662	9.315
3	120.162	12.255	81.684	9.805	1.418	9.702
4	120.399	11.856	82.404	10.155	1.342	10.066
5	120.468	11.549	82.404	10.431	1.379	10.339
6	120.568	12.781	80.244	9.433	1.599	9.297
7	120.577	12.247	78.804	9.845	1.912	9.658
8	120.384	11.92	82.764	10.099	1.272	10.019
9	120.742	12.163	78.084	9.927	2.050	9.713
10	120.116	12.08	82.044	9.943	1.376	9.848

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.759	10.741	84.204	11.243	1.135	11.185
2	120.641	10.743	82.404	11.230	1.484	11.131
3	120.208	11.822	82.044	10.168	1.407	10.070
4	120.639	11.190	82.764	10.781	1.358	10.695
5	120.430	10.337	83.844	11.650	1.249	11.583
6	120.551	10.844	83.484	11.117	1.262	11.045
7	120.532	10.705	82.764	11.259	1.418	11.170
8	120.796	11.222	83.844	10.764	1.154	10.702
9	120.818	11.648	83.124	10.372	1.242	10.298
10	120.236	11.914	83.484	10.092	1.145	10.027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	367.749	1.782	87.948	206.369	7.389	206.236
2	373.897	1.575	88.668	237.395	5.518	237.331
3	375.695	1.776	87.336	211.540	9.832	211.311
4	375.283	1.753	88.344	214.080	6.187	213.991
5	373.388	1.715	86.184	217.719	14.490	217.236
6	374.909	1.525	87.624	245.842	10.192	245.631
7	373.395	1.741	84.024	214.472	22.329	213.306
8	374.687	1.704	87.264	219.887	10.496	219.636
9	371.882	1.752	86.904	212.261	11.464	211.952
10	374.930	1.565	87.264	239.572	11.436	239.299

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.551	2.771	88.092	135.529	4.512	135.454
2	375.587	2.736	87.336	137.276	6.380	137.128
3	376.510	2.706	88.452	139.139	3.759	139.088
4	376.979	2.804	87.696	134.443	5.405	134.335
5						
6	375.375	2.691	88.020	139.493	4.820	139.409
7						
8	377.402	2.891	87.660	130.544	5.330	130.435
9	377.081	2.882	87.336	130.840	6.081	130.699
10	374.701	2.655	87.804	141.130	5.408	141.027

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.604	24.874	84.204	4.849	0.490	4.824
2	120.216	28.054	82.044	4.285	0.593	4.244
3	120.733	25.536	83.124	4.728	0.566	4.694
4	120.912	24.096	84.564	5.018	0.475	4.995
5	120.183	24.292	84.924	4.947	0.438	4.928
6	120.566	25.017	81.684	4.819	0.697	4.769
7	120.133	25.073	86.004	4.791	0.334	4.780
8	120.685	24.811	84.564	4.864	0.461	4.842
9	120.237	25.027	79.524	4.804	0.874	4.724
10	120.829	24.197	85.284	4.994	0.411	4.977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.753	21.896	86.364	5.515	0.350	5.504
2	120.759	21.105	83.844	5.722	0.614	5.689
3	120.082	22.953	86.364	5.232	0.332	5.221
4	120.741	21.888	85.644	5.516	0.419	5.500
5	120.138	20.226	86.364	5.940	0.377	5.928
6	120.872	21.879	80.244	5.525	0.936	5.445
7	120.816	20.915	86.364	5.777	0.366	5.765
8	120.207	21.551	85.644	5.578	0.424	5.562
9	120.467	22.975	86.004	5.243	0.365	5.231
10	120.543	23.542	80.964	5.120	0.804	5.057

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	370.603	3.458	86.868	107.173	5.856	107.013
2	373.754	3.438	87.768	108.713	4.234	108.630
3	374.787	3.489	87.192	107.420	5.262	107.291
4	374.484	3.460	88.200	108.232	3.400	108.179
5	374.042	3.655	86.652	102.337	5.977	102.162
6	375.631	3.659	88.092	102.659	3.418	102.603
7	372.945	3.664	84.276	101.786	10.152	101.279
8	374.528	3.574	87.372	104.792	4.805	104.682
9	373.927	3.486	86.688	107.265	6.197	107.086
10	376.231	3.619	87.480	103.960	4.571	103.859

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 1						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	376.167	5.622	86.220	66.910	4.411	66.764
2	377.272	5.838	86.328	64.624	4.139	64.491
3	374.030	5.475	86.472	68.316	4.204	68.187
4	372.886	5.470	86.436	68.169	4.238	68.037
5						
6	376.771	5.384	86.400	69.980	4.394	69.842
7						
8	376.813	5.896	86.400	63.910	4.013	63.784
9	373.612	5.998	88.596	62.289	1.526	62.271
10	375.983	5.476	86.616	68.660	4.053	68.540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.033	86.865	87.012	1.382	0.072	1.380
2	120.588	87.398	87.336	1.380	0.064	1.378
3	120.698	85.139	86.940	1.418	0.076	1.416
4	120.270	82.945	86.472	1.450	0.089	1.447
5	120.462	83.224	87.984	1.447	0.051	1.447
6	120.514	82.571	86.760	1.460	0.082	1.457
7	120.884	83.712	86.760	1.444	0.082	1.442
8	120.019	88.899	87.804	1.350	0.052	1.349
9	120.505	86.574	87.084	1.392	0.071	1.390
10	120.944	83.211	87.768	1.453	0.057	1.452

ความถี่ 50Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.503	83.768	86.652	1.439	0.084	1.436
2	120.35	80.755	87.336	1.490	0.069	1.489
3	120.131	84.548	87.336	1.421	0.066	1.419
4	120.549	86.56	88.056	1.393	0.047	1.392
5	120.34	80.464	86.904	1.496	0.081	1.493
6	120.859	80.79	86.508	1.496	0.091	1.493
7	120.57	85.732	88.164	1.406	0.045	1.406
8	120.479	83.486	87.696	1.443	0.058	1.442
9	120.689	83.856	88.164	1.439	0.046	1.439
10	120.279	84.368	87.048	1.426	0.073	1.424

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.796	11.802	88.38	31.757	0.898	31.744
2	378.533	11.739	88.38	32.246	0.912	32.233
3	375.241	11.811	87.3	31.770	1.497	31.735
4	379.83	11.717	87.66	32.417	1.324	32.390
5	376.946	12.087	88.02	31.186	1.077	31.167
6	376.427	11.418	88.38	32.968	0.932	32.955
7	377.76	11.992	87.66	31.501	1.286	31.475
8	376.364	12.148	88.02	30.982	1.070	30.963
9	376.144	11.751	87.3	32.010	1.508	31.974
10	377.146	11.864	88.38	31.789	0.899	31.776

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	377.458	17.071	87.912	22.111	0.806	22.096
2	376.494	17.232	87.66	21.849	0.892	21.830
3						
4	376.406	17.635	86.616	21.344	1.260	21.307
5						
6	372.206	17.864	88.128	20.836	0.681	20.824
7						
8	376.374	16.499	87.408	22.812	1.032	22.789
9	375.944	17.344	87.912	21.676	0.790	21.661
10	377.244	15.865	87.552	23.778	1.016	23.757

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.153	178.271	88.128	0.674	0.022	0.674
2	120.818	165.408	87.372	0.730	0.033	0.730
3	120.559	158.598	88.200	0.760	0.024	0.760
4	120.638	140.942	88.128	0.856	0.028	0.855
5	120.717	165.907	88.128	0.728	0.024	0.727
6	120.932	185.457	88.092	0.652	0.022	0.652
7	120.281	179.261	88.740	0.671	0.015	0.671
8	120.001	166.900	88.020	0.719	0.025	0.719
9	120.838	196.849	88.380	0.614	0.017	0.614
10	120.307	173.683	88.380	0.693	0.020	0.692

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.275	136.787	88.128	0.879	0.029	0.879
2	120.515	159.571	88.092	0.755	0.025	0.755
3	120.457	161.321	88.128	0.747	0.024	0.746
4	120.501	150.488	87.408	0.801	0.036	0.800
5	120.764	147.846	88.092	0.817	0.027	0.816
6	120.366	146.800	87.840	0.820	0.031	0.819
7	120.467	137.933	88.128	0.873	0.029	0.873
8	120.574	136.496	87.300	0.883	0.042	0.882
9	120.100	144.569	88.020	0.831	0.029	0.830
10	120.800	144.113	88.020	0.838	0.029	0.838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.479	19.339	88.020	19.364	0.669	19.352
2	375.109	20.965	88.020	17.892	0.618	17.881
3	374.775	20.449	88.092	18.327	0.610	18.317
4	377.595	19.146	88.092	19.722	0.657	19.711
5	376.871	22.228	88.344	16.955	0.490	16.948
6	374.680	20.037	87.228	18.699	0.904	18.678
7	375.312	23.121	87.948	16.233	0.581	16.222
8	371.776	23.112	88.164	16.086	0.515	16.078
9	375.528	22.461	88.272	16.719	0.504	16.712
10	377.701	22.960	88.020	16.450	0.568	16.441

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	376.053	32.125	88.992	11.706	0.206	11.704
2	376.414	36.528	87.912	10.305	0.375	10.298
3						
4	376.190	32.497	88.560	11.576	0.291	11.572
5						
6	375.623	33.483	88.524	11.218	0.289	11.215
7						
8	376.447	32.555	88.020	11.563	0.400	11.557
9	376.682	36.147	88.020	10.421	0.360	10.415
10	375.805	31.303	87.876	12.005	0.445	11.997

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.282	614.218	87.66	0.196	0.008	0.196
2	120.384	675.9	87.948	0.178	0.006	0.178
3	120.881	682.18	87.192	0.177	0.009	0.177
4	120.667	697.794	87.912	0.173	0.006	0.173
5	120.752	667.372	86.904	0.181	0.010	0.181
6	120.37	680.594	87.984	0.177	0.006	0.177
7	120.278	696.7	87.624	0.173	0.007	0.172
8	120.437	630.9	87.516	0.191	0.008	0.191
9	120.711	638.7	87.66	0.189	0.008	0.189
10	120.472	616.892	88.02	0.195	0.007	0.195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.621	648.256	87.948	0.186	0.007	0.186
2	120.269	714.472	87.768	0.168	0.007	0.168
3	120.898	757.104	86.832	0.160	0.009	0.159
4	120.593	667.856	87.912	0.181	0.007	0.180
5	120.208	645.868	87.984	0.186	0.007	0.186
6	120.578	691.757	87.624	0.174	0.007	0.174
7	120.595	647.158	87.156	0.186	0.009	0.186
8	120.685	777.207	87.984	0.155	0.005	0.155
9	120.147	741.437	87.66	0.162	0.007	0.162
10	120.592	683.977	87.588	0.176	0.007	0.176

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.343	94.684	87.804	3.954	0.151	3.951
2	377.24	105.613	87.768	3.572	0.139	3.569
3	374.759	106.628	87.372	3.515	0.161	3.511
4	376.046	96.715	87.732	3.888	0.154	3.885
5	374.879	102.764	86.76	3.648	0.206	3.642
6	374.346	98.164	87.948	3.813	0.137	3.811
7	375.907	107.867	88.056	3.485	0.118	3.483
8	376.644	102.23	87.12	3.684	0.185	3.680
9	377.625	114.787	88.092	3.290	0.110	3.288
10	374.61	97.908	88.056	3.826	0.130	3.824

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.277	158.576	87.876	2.367	0.088	2.365
2	374.274	164.26	86.724	2.279	0.130	2.275
3						
4	373.757	166.654	87.372	2.216	0.102	2.214
5						
6	374.89	165.572	86.976	2.264	0.119	2.261
7						
8	375.528	151.866	87.912	2.473	0.090	2.471
9	374.226	153.439	87.084	2.439	0.124	2.436
10	374.459	157.596	87.912	2.376	0.087	2.374

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.27	1.317	88.452	91.321	2.467	91.288
2	120.508	1.2064	89.172	99.891	1.444	99.880
3	120.219	1.397	88.74	86.055	1.892	86.034
4	120.685	1.272	87.984	94.878	3.338	94.819
5	120.582	1.284	87.084	93.911	4.777	93.790
6	120.841	1.231	87.228	98.165	4.747	98.050
7	120.842	1.324	87.12	91.270	4.586	91.155
8	120.912	1.29	87.768	93.730	3.650	93.659
9	120.965	1.2897	88.488	93.793	2.475	93.760
10	120.47	1.2835	86.904	93.861	5.069	93.724

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.378	1.287	87.516	93.534	4.054	93.446
2	120.740	1.298	87.660	93.020	3.798	92.942
3	120.629	1.244	88.020	96.969	3.350	96.911
4	120.182	1.325	88.128	90.703	2.963	90.655
5	120.704	1.241	87.264	97.263	4.643	97.153
6	120.568	1.209	87.948	99.724	3.671	99.660
7	120.672	1.304	87.948	92.540	3.314	92.481
8	120.032	1.258	87.876	95.415	3.536	95.349
9	120.860	1.306	87.624	92.542	3.837	92.463
10	120.060	1.284	87.840	93.505	3.524	93.438

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	375.913	195.298	87.696	1.925	0.077	1.923
2	376.411	214.096	87.264	1.758	0.084	1.756
3	376.105	193.846	87.696	1.940	0.078	1.939
4	375.850	199.741	88.020	1.882	0.065	1.881
5	373.774	264.975	87.876	1.411	0.052	1.410
6	375.514	193.549	87.264	1.940	0.093	1.938
7	377.237	198.853	87.336	1.897	0.088	1.895
8	375.419	218.144	88.056	1.721	0.058	1.720
9	376.490	232.578	88.056	1.619	0.055	1.618
10	374.579	198.525	87.552	1.887	0.081	1.885

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.640	307.583	88.452	1.221	0.033	1.221
2	373.499	314.705	86.976	1.187	0.063	1.185
3						
4	375.751	313.918	86.652	1.197	0.070	1.195
5						
6	376.103	313.392	87.732	1.200	0.047	1.199
7						
8	375.765	314.014	87.516	1.197	0.052	1.196
9	373.769	312.713	87.660	1.195	0.049	1.194
10	372.863	315.111	88.200	1.183	0.037	1.183

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.429	12.886	84.060	9.346	0.967	9.296
2	120.335	13.910	84.384	8.651	0.847	8.609
3	120.058	14.101	83.196	8.514	1.009	8.454
4	120.514	12.049	85.248	10.002	0.829	9.968
5	120.386	12.053	83.952	9.988	1.052	9.932
6	120.868	14.636	82.800	8.258	1.035	8.193
7	120.491	13.582	86.328	8.871	0.568	8.853
8	120.280	13.838	83.448	8.692	0.992	8.635
9	120.822	13.703	83.088	8.817	1.061	8.753
10	120.799	13.924	83.592	8.676	0.968	8.621

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.760	11.408	85.464	10.586	0.837	10.552
2	120.555	12.452	84.420	9.682	0.941	9.636
3	120.914	12.240	84.168	9.879	1.004	9.827
4	120.603	11.953	84.348	10.090	0.994	10.041
5	120.175	11.192	84.240	10.738	1.078	10.683
6	120.054	11.776	84.636	10.195	0.953	10.150
7	120.596	11.715	83.592	10.294	1.149	10.230
8	120.713	11.883	85.716	10.158	0.759	10.130
9	120.310	12.340	84.924	9.750	0.863	9.711
10	120.110	10.543	83.340	11.392	1.321	11.316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	373.086	1.619	85.176	230.442	19.379	229.626
2	373.954	1.899	85.500	196.932	15.451	196.325
3	372.540	1.799	84.708	207.047	19.096	206.155
4	376.125	1.867	86.400	201.514	12.653	201.116
5	373.853	1.672	86.472	223.596	13.759	223.173
6	373.498	1.623	85.896	230.128	16.470	229.538
7	374.928	1.713	85.500	218.872	17.173	218.197
8	376.394	1.796	85.752	209.573	15.524	208.998
9	373.041	1.764	84.816	211.474	19.108	210.609
10	376.416	1.596	86.112	235.850	15.992	235.307

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.835	3.277	85.680	114.384	8.616	114.059
2	375.385	3.183	86.328	117.934	7.553	117.692
3						
4	375.823	3.157	86.364	119.044	7.550	118.805
5						
6	377.224	3.125	86.292	120.712	7.807	120.459
7						
8	376.665	3.213	85.212	117.232	9.785	116.822
9	376.594	3.324	86.040	113.295	7.824	113.025
10	376.151	3.278	85.896	114.750	8.212	114.456

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.219	24.819	85.716	4.844	0.362	4.830
2	120.405	25.244	85.068	4.770	0.410	4.752
3	120.377	26.980	84.996	4.462	0.389	4.445
4	120.459	23.516	85.428	5.122	0.408	5.106
5	120.287	23.468	84.852	5.126	0.460	5.105
6	120.763	27.538	85.212	4.385	0.366	4.370
7	120.082	25.258	86.004	4.754	0.331	4.743
8	120.692	25.937	85.392	4.653	0.374	4.638
9	120.469	25.855	85.320	4.659	0.380	4.644
10	120.950	25.951	84.960	4.661	0.409	4.643

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.442	22.394	85.176	5.378	0.452	5.359
2	120.472	23.546	84.744	5.116	0.469	5.095
3	120.985	23.558	83.520	5.136	0.580	5.103
4	120.567	23.557	83.808	5.118	0.552	5.088
5	120.346	22.045	85.536	5.459	0.425	5.443
6	120.840	23.551	85.392	5.131	0.412	5.114
7	120.902	22.974	84.636	5.263	0.492	5.240
8	120.302	23.062	83.772	5.216	0.566	5.186
9	120.402	23.189	83.016	5.192	0.631	5.154
10	120.413	22.882	84.240	5.262	0.528	5.236

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.874	3.335	86.184	112.706	7.501	112.456
2	376.392	3.710	84.708	101.453	9.357	101.021
3	375.203	3.142	86.004	119.415	8.322	119.125
4	378.031	3.707	84.384	101.978	9.980	101.488
5	375.513	3.718	86.256	100.999	6.595	100.783
6	375.481	3.299	86.220	113.817	7.503	113.569
7	375.275	3.342	85.428	112.291	8.951	111.933
8	377.310	3.630	85.752	103.942	7.699	103.657
9	376.020	3.744	84.744	100.433	9.200	100.010
10	377.042	3.148	86.112	119.772	8.121	119.496

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 2						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	376.671	5.275	85.968	71.407	5.021	71.230
2	377.013	5.339	85.500	70.615	5.540	70.397
3						
4	375.432	5.797	85.644	64.763	4.919	64.576
5						
6	376.895	5.699	83.902	66.134	7.026	65.759
7						
8	377.361	5.312	84.780	71.039	6.463	70.745
9	375.494	5.499	85.968	68.284	4.801	68.115
10	378.149	5.511	85.536	68.617	5.341	68.409

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.054	83.575	87.480	1.436	0.063	1.435
2	120.063	82.323	87.660	1.458	0.060	1.457
3	120.295	82.704	87.840	1.455	0.055	1.453
4	120.477	87.041	87.660	1.384	0.057	1.383
5	120.530	81.599	87.660	1.477	0.060	1.476
6	120.541	86.355	87.660	1.396	0.057	1.395
7	120.215	86.105	89.460	1.396	0.013	1.396
8	120.099	86.697	88.560	1.385	0.035	1.385
9	120.285	87.572	87.660	1.374	0.056	1.372
10	120.655	84.776	88.560	1.423	0.036	1.423

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.291	67.210	87.660	1.790	0.073	1.788
2	120.129	62.841	89.460	1.912	0.018	1.912
3	120.215	69.278	86.760	1.735	0.098	1.732
4	120.333	62.665	89.460	1.920	0.018	1.920
5	120.763	67.665	89.460	1.785	0.017	1.785
6	120.624	66.017	89.460	1.827	0.017	1.827
7	120.213	61.869	88.560	1.943	0.049	1.942
8	120.121	64.789	88.560	1.854	0.047	1.853
9	120.047	69.515	89.460	1.727	0.016	1.727
10	120.488	64.956	89.460	1.855	0.017	1.855

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	377.093	10.471	88.020	36.013	1.244	35.992
2	373.087	10.111	89.100	36.899	0.580	36.895
3	374.163	10.200	89.100	36.683	0.576	36.678
4	373.846	10.907	89.100	34.276	0.538	34.272
5	374.290	10.210	88.200	36.660	1.152	36.642
6	375.192	10.929	88.200	34.330	1.078	34.313
7	375.440	10.141	89.100	37.022	0.582	37.017
8	374.641	10.437	88.200	35.895	1.128	35.878
9	375.398	10.656	89.100	35.229	0.553	35.224
10	375.392	10.442	89.100	35.950	0.565	35.946

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.579	15.431	89.100	24.210	0.380	24.207
2	373.579	15.941	88.200	23.435	0.736	23.424
3						
4						
5						
6	373.650	15.535	89.100	24.052	0.378	24.049
7						
8						
9						
10	375.666	15.671	87.300	23.972	1.129	23.945

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.940	132.975	88.128	0.909	0.030	0.909
2	120.084	151.896	89.208	0.791	0.011	0.790
3	120.059	151.157	89.208	0.794	0.011	0.794
4	120.026	130.134	89.568	0.922	0.007	0.922
5	120.055	132.993	89.208	0.903	0.012	0.903
6	120.036	134.481	89.568	0.893	0.007	0.893
7	120.038	147.438	89.208	0.814	0.011	0.814
8	120.062	146.682	89.208	0.819	0.011	0.818
9	120.105	144.512	89.568	0.831	0.006	0.831
10	120.023	147.607	89.568	0.813	0.006	0.813

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.109	128.314	89.568	0.936	0.007	0.936
2	120.045	123.554	89.568	0.972	0.007	0.972
3	120.043	138.778	88.848	0.865	0.017	0.865
4	120.060	123.637	89.568	0.971	0.007	0.971
5	120.058	124.036	89.568	0.968	0.007	0.968
6	120.101	120.529	88.848	0.996	0.020	0.996
7	120.014	121.274	88.848	0.990	0.020	0.989
8	120.053	142.476	89.568	0.843	0.006	0.843
9	120.088	138.579	89.568	0.867	0.007	0.867
10	120.023	128.661	89.568	0.933	0.007	0.933

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.626	27.823	89.280	13.465	0.169	13.464
2	374.710	27.425	89.280	13.663	0.172	13.662
3	374.387	27.241	89.280	13.744	0.173	13.742
4	374.324	27.552	89.280	13.586	0.171	13.585
5	374.596	27.391	89.280	13.676	0.172	13.675
6	374.757	28.519	89.280	13.141	0.165	13.140
7	372.128	26.967	89.280	13.799	0.173	13.798
8	373.769	27.811	89.280	13.440	0.169	13.439
9	374.660	27.571	89.280	13.589	0.171	13.588
10	374.593	27.806	89.640	13.472	0.085	13.471

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.300	31.928	89.280	11.723	0.147	11.722
2	375.157	32.871	89.280	11.413	0.143	11.412
3						
4						
5						
6	372.205	30.268	89.280	12.297	0.155	12.296
7						
8						
9						
10	375.835	30.531	89.280	12.310	0.155	12.309

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.314	637.389	89.460	0.189	0.002	0.189
2	120.522	905.409	86.544	0.133	0.008	0.133
3	120.366	681.657	86.904	0.177	0.010	0.176
4	120.215	628.954	87.264	0.191	0.009	0.191
5	120.318	640.824	87.624	0.188	0.008	0.188
6	120.342	651.257	86.904	0.185	0.010	0.185
7	120.391	705.305	87.120	0.171	0.009	0.170
8	120.319	610.623	86.976	0.197	0.010	0.197
9	120.424	839.627	86.868	0.143	0.008	0.143
10	120.180	612.679	86.760	0.196	0.011	0.196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.331	593.563	88.344	0.203	0.006	0.203
2	120.286	605.900	87.984	0.199	0.007	0.198
3	120.284	628.835	87.624	0.191	0.008	0.191
4	120.265	609.565	88.344	0.197	0.006	0.197
5	120.218	596.052	87.984	0.202	0.007	0.202
6	120.234	578.644	88.308	0.208	0.006	0.208
7	120.250	595.189	86.976	0.202	0.011	0.202
8	120.374	661.281	87.300	0.182	0.009	0.182
9	120.398	625.260	89.244	0.193	0.003	0.193
10	120.188	596.074	89.244	0.202	0.003	0.202

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.163	94.282	87.840	3.958	0.149	3.955
2	374.179	97.088	87.300	3.854	0.182	3.850
3	374.230	96.718	89.100	3.869	0.061	3.869
4	374.811	110.400	88.200	3.395	0.107	3.393
5	373.124	110.878	87.660	3.365	0.137	3.362
6	374.508	95.101	87.300	3.938	0.186	3.934
7	375.274	94.869	88.200	3.956	0.124	3.954
8	373.961	98.130	89.100	3.811	0.060	3.810
9	372.823	98.240	88.200	3.795	0.119	3.793
10	374.492	94.894	88.200	3.946	0.124	3.944

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.905	147.324	89.100	2.545	0.040	2.544
2	374.947	151.522	89.100	2.475	0.039	2.474
3						
4						
5						
6	372.414	149.109	88.200	2.498	0.078	2.496
7						
8						
9						
10	371.933	148.802	88.200	2.500	0.079	2.498

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.137	1.254	89.352	95.803	1.083	95.797
2	120.174	1.426	88.560	84.273	2.118	84.247
3	120.586	1.321	89.424	91.284	0.918	91.279
4	120.426	1.239	89.280	97.196	1.221	97.188
5	120.470	1.258	89.208	95.763	1.324	95.754
6	120.450	1.278	89.136	94.249	1.421	94.238
7	120.669	1.365	89.136	88.402	1.333	88.392
8	120.209	1.221	89.208	98.451	1.361	98.442
9	120.274	1.235	89.352	97.388	1.101	97.382
10	120.065	1.436	89.280	83.611	1.051	83.604

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.248	1.213	88.200	99.133	3.114	99.084
2	120.444	1.220	89.424	98.733	0.993	98.728
3	120.444	1.215	88.848	99.172	1.994	99.152
4	120.385	1.211	88.200	99.426	3.123	99.377
5	120.186	1.213	89.136	99.122	1.495	99.111
6	120.164	1.219	88.560	98.584	2.477	98.553
7	120.284	1.218	88.128	98.755	3.226	98.703
8	120.507	1.217	89.208	99.012	1.369	99.002
9	120.088	1.216	88.128	98.781	3.227	98.728
10	120.134	1.217	89.208	98.720	1.365	98.710

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	373.321	193.658	88.560	1.928	0.048	1.927
2	373.855	193.280	89.280	1.934	0.024	1.934
3	374.625	192.709	88.920	1.944	0.037	1.944
4	374.473	204.630	88.560	1.830	0.046	1.829
5	374.179	225.982	88.920	1.656	0.031	1.655
6	374.264	194.771	88.560	1.922	0.048	1.921
7	374.372	219.184	88.560	1.708	0.043	1.707
8	374.172	219.308	88.920	1.706	0.032	1.706
9	376.073	228.027	88.920	1.649	0.031	1.649
10	373.146	215.553	88.560	1.731	0.044	1.731

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.751	317.613	88.200	1.180	0.037	1.179
2	374.239	311.711	87.480	1.201	0.053	1.199
3						
4						
5						
6	373.021	310.115	87.480	1.203	0.053	1.202
7						
8						
9						
10	374.872	312.458	87.120	1.200	0.060	1.198

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.474	11.913	85.104	10.113	0.863	10.076
2	120.522	12.344	85.032	9.764	0.846	9.727
3	120.219	12.225	85.608	9.834	0.753	9.805
4	120.476	11.911	85.824	10.115	0.737	10.088
5	120.303	11.950	85.752	10.067	0.746	10.040
6	120.222	12.182	85.752	9.869	0.731	9.842
7	120.120	12.703	85.896	9.456	0.677	9.432
8	120.959	11.876	85.824	10.185	0.742	10.158
9	120.389	12.258	86.256	9.821	0.641	9.800
10	120.896	11.103	86.112	10.889	0.738	10.864

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.360	11.907	85.968	10.108	0.711	10.083
2	120.937	11.662	85.824	10.370	0.756	10.343
3	120.274	12.986	85.680	9.262	0.698	9.236
4	120.699	11.810	85.752	10.220	0.757	10.192
5	120.279	11.007	85.608	10.928	0.837	10.895
6	120.595	10.691	85.320	11.280	0.920	11.242
7	120.178	11.417	85.896	10.526	0.753	10.499
8	120.188	11.959	85.680	10.050	0.757	10.021
9	120.799	12.305	85.752	9.817	0.727	9.790
10	120.155	11.487	85.824	10.460	0.762	10.432

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.236	1.498	86.400	249.824	15.687	249.331
2	374.285	1.557	88.560	240.389	6.041	240.313
3	378.407	1.576	88.560	240.106	6.034	240.030
4	376.417	1.773	88.560	212.305	5.335	212.238
5	373.494	1.542	87.840	242.214	9.129	242.042
6	376.024	1.509	88.560	249.188	6.262	249.109
7	375.614	1.647	87.120	228.060	11.459	227.771
8	372.732	1.623	88.560	229.656	5.771	229.584
9	374.057	1.697	86.400	220.423	13.840	219.988
10	375.451	1.534	86.472	244.753	15.061	244.289

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.959	2.548	87.120	147.158	7.394	146.972
2	375.527	2.575	89.280	145.836	1.833	145.824
3						
4						
5						
6	374.151	2.561	86.400	146.096	9.173	145.807
7						
8						
9						
10	375.002	2.608	87.840	143.789	5.419	143.687

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.291	23.740	88.416	5.067	0.140	5.065
2	120.451	26.445	87.336	4.555	0.212	4.550
3	120.440	23.957	87.912	5.027	0.183	5.024
4	120.513	23.938	88.128	5.034	0.164	5.032
5	120.880	24.089	88.056	5.018	0.170	5.015
6	120.085	24.540	88.704	4.893	0.111	4.892
7	120.411	24.529	87.919	4.909	0.178	4.906
8	120.022	24.537	88.200	4.891	0.154	4.889
9	120.302	28.889	88.344	4.164	0.120	4.163
10	120.881	24.674	88.128	4.899	0.160	4.897

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.903	22.127	88.056	5.464	0.185	5.461
2	120.596	23.477	87.264	5.137	0.245	5.131
3	120.590	24.131	87.912	4.997	0.182	4.994
4	120.565	24.115	88.272	5.000	0.151	4.997
5	120.702	22.477	88.344	5.370	0.155	5.368
6	120.485	22.058	88.128	5.462	0.178	5.459
7	120.825	23.349	87.264	5.175	0.247	5.169
8	120.590	23.721	87.840	5.084	0.192	5.080
9	120.414	26.897	88.128	4.477	0.146	4.474
10	120.153	24.361	88.128	4.932	0.161	4.930

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	376.168	3.019	88.560	124.600	3.131	124.561
2	372.925	3.211	88.560	116.140	2.919	116.103
3	376.377	3.088	88.560	121.884	3.063	121.845
4	374.728	3.350	88.400	111.859	7.024	111.638
5	374.006	3.551	87.840	105.324	3.970	105.249
6	375.056	3.573	87.840	104.969	3.956	104.895
7	374.878	3.382	87.840	110.845	4.178	110.766
8	374.963	3.613	87.120	103.782	5.214	103.651
9	379.592	3.245	88.560	116.978	2.940	116.941
10	373.642	3.451	87.840	108.271	4.081	108.194

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 3						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.299	4.880	87.120	76.906	3.864	76.808
2	372.405	5.136	87.840	72.509	2.733	72.457
3						
4						
5						
6	374.997	5.151	87.840	72.801	2.744	72.749
7						
8						
9						
10	374.261	4.901	88.560	76.364	1.919	76.340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.697	87.804	88.290	1.375	0.041	1.374
3	120.460	89.766	88.290	1.342	0.040	1.341
4	120.442	80.697	88.290	1.493	0.045	1.492
5	120.046	87.854	88.290	1.366	0.041	1.366
6						
7	120.909	85.302	88.290	1.417	0.042	1.417
8						
9	120.502	86.301	87.390	1.396	0.064	1.395
10	120.370	83.469	88.290	1.442	0.043	1.441

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.615	61.034	88.290	1.976	0.059	1.975
2	120.821	60.834	89.190	1.986	0.028	1.986
3	120.155	61.501	88.290	1.954	0.058	1.953
4	120.033	65.249	88.290	1.840	0.055	1.839
5	120.118	61.256	89.190	1.961	0.028	1.961
6	120.028	61.410	88.290	1.955	0.058	1.954
7	120.884	61.451	87.930	1.967	0.071	1.966
8	120.328	61.921	89.190	1.943	0.027	1.943
9	120.339	70.399	87.390	1.709	0.078	1.708
10	120.450	61.165	89.190	1.969	0.028	1.969

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.257	11.881	87.300	31.585	1.488	31.550
2	373.774	11.810	87.750	31.649	1.243	31.625
3						
4	373.366	12.557	89.190	29.734	0.420	29.731
5	373.411	12.749	87.750	29.289	1.150	29.267
6	375.319	12.536	89.100	29.939	0.470	29.936
7	372.144	12.040	89.910	30.909	0.049	30.909
8	373.093	12.701	89.910	29.375	0.046	29.375
9	373.717	12.290	89.820	30.408	0.096	30.408
10	375.616	11.454	89.370	32.794	0.361	32.792

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.754	20.726	87.480	18.130	0.797	18.112
2	373.939	22.276	87.552	16.787	0.717	16.771
3						
4						
5						
6	374.544	20.128	87.552	18.608	0.795	18.591
7						
8						
9						
10	376.169	22.023	87.516	17.081	0.740	17.065

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.605	165.622	89.352	0.728	0.008	0.728
3	120.983	152.051	89.280	0.747	0.009	0.747
4	120.602	159.408	88.920	0.757	0.014	0.756
5	120.336	130.151	89.352	0.925	0.010	0.925
6						
7	120.047	142.150	88.992	0.845	0.015	0.844
8						
9	120.011	147.212	89.352	0.815	0.009	0.815
10	120.053	143.561	88.632	0.836	0.020	0.836

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.783	115.208	89.352	1.048	0.012	1.048
2	120.111	119.474	88.632	1.005	0.024	1.005
3	120.935	120.852	88.632	1.001	0.024	1.000
4	120.283	118.597	88.992	1.014	0.018	1.014
5	120.353	114.671	89.352	1.050	0.012	1.049
6	120.452	110.431	88.632	1.091	0.026	1.090
7	120.161	119.798	88.992	1.003	0.018	1.003
8	120.065	118.600	89.352	1.012	0.011	1.012
9	120.038	116.758	89.352	1.028	0.012	1.028
10	120.172	109.088	89.352	1.102	0.012	1.102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.192	15.216	88.920	24.658	0.465	24.653
2	374.453	16.998	89.640	22.029	0.138	22.029
3						
4	375.751	18.248	88.632	20.591	0.492	20.585
5	374.555	16.827	88.200	22.259	0.699	22.248
6	370.881	15.654	88.920	23.692	0.447	23.688
7	375.132	16.202	89.856	23.153	0.058	23.153
8	373.188	16.391	89.856	22.768	0.057	22.768
9	376.196	16.579	89.064	22.691	0.371	22.688
10	374.572	15.860	89.784	23.617	0.089	23.617

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.075	35.858	89.280	10.460	0.131	10.459
2	376.290	37.260	88.632	10.099	0.241	10.096
3						
4						
5						
6	374.063	36.689	88.776	10.196	0.218	10.193
7						
8						
9						
10	377.076	37.155	89.316	10.149	0.121	10.148

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.985	980.695	86.490	0.123	0.008	0.123
3	120.017	846.267	87.390	0.142	0.006	0.142
4	120.460	775.625	88.290	0.155	0.005	0.155
5	120.867	659.496	88.290	0.183	0.005	0.183
6						
7	120.409	688.765	89.190	0.175	0.002	0.175
8						
9	120.492	735.723	88.290	0.164	0.005	0.164
10	120.283	620.064	89.190	0.194	0.003	0.194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.881	596.526	88.290	0.203	0.006	0.203
2	120.879	600.530	89.676	0.201	0.001	0.201
3	120.439	613.365	89.190	0.196	0.003	0.196
4	120.518	633.954	87.390	0.190	0.009	0.190
5	120.296	583.355	88.290	0.206	0.006	0.206
6	120.111	599.723	89.190	0.200	0.003	0.200
7	120.170	599.012	89.190	0.201	0.003	0.201
8	120.315	595.513	88.290	0.202	0.006	0.202
9	120.358	618.310	89.190	0.195	0.003	0.195
10	120.359	599.088	89.190	0.201	0.003	0.201

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.178	127.052	89.550	2.945	0.023	2.945
2	373.714	126.106	88.470	2.963	0.079	2.962
3						
4	373.799	141.972	89.190	2.633	0.037	2.633
5	374.145	128.785	89.910	2.905	0.005	2.905
6	372.936	126.849	89.100	2.940	0.046	2.940
7	373.295	126.778	89.820	2.944	0.009	2.944
8	373.859	143.877	89.820	2.598	0.008	2.598
9	373.930	128.957	89.820	2.900	0.009	2.900
10	373.623	126.081	89.910	2.963	0.005	2.963

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.846	147.690	87.984	2.538	0.089	2.536
2	376.051	168.249	88.200	2.235	0.070	2.234
3						
4						
5						
6	375.673	158.109	88.920	2.376	0.045	2.376
7						
8						
9						
10	375.129	158.998	89.388	2.359	0.025	2.359

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	120.473	1.518	89.352	79.363	0.898	79.358
3	120.636	1.558	89.532	77.430	0.632	77.427
4	120.074	1.526	89.604	78.685	0.544	78.684
5	120.597	1.562	89.712	77.207	0.388	77.206
6						
7	120.657	1.628	89.712	74.114	0.373	74.113
8						
9	120.930	1.541	89.604	78.475	0.542	78.473
10	120.139	1.515	89.532	79.300	0.648	79.297

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.371	1.212	89.712	99.332	0.499	99.331
2	120.104	1.219	89.568	98.527	0.743	98.524
3	120.497	1.216	89.712	99.109	0.498	99.108
4	120.166	1.211	89.604	99.237	0.686	99.235
5	120.406	1.212	89.600	99.312	0.693	99.310
6	120.140	1.209	89.604	99.339	0.687	99.336
7	120.449	1.217	89.633	98.964	0.634	98.962
8	120.444	1.217	89.604	99.009	0.684	99.006
9	120.871	1.215	89.604	99.474	0.688	99.472
10	120.390	1.217	89.604	98.915	0.684	98.913

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	374.388	241.079	89.640	1.774	0.011	1.774
2	375.896	221.121	89.640	1.700	0.011	1.700
3						
4	375.632	279.949	89.352	1.342	0.015	1.342
5	375.431	231.241	89.424	1.624	0.016	1.623
6	374.788	219.145	89.424	1.710	0.017	1.710
7	375.183	230.783	89.856	1.626	0.004	1.626
8	375.224	283.464	89.856	1.324	0.003	1.324
9	375.461	223.717	89.784	1.678	0.006	1.678
10	376.564	221.400	89.712	1.701	0.009	1.701

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.879	322.356	89.496	1.163	0.010	1.163
2	377.076	321.768	89.388	1.172	0.013	1.172
3						
4						
5						
6	376.164	323.448	89.496	1.163	0.010	1.163
7						
8						
9						
10	375.077	320.716	89.532	1.169	0.010	1.169

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2	120.402	14.662	89.352	8.212	0.093	8.211
3	120.285	14.682	87.192	8.193	0.401	8.183
4	120.399	14.350	88.632	8.390	0.200	8.388
5	120.748	12.516	86.472	9.647	0.594	9.629
6						
7	120.311	12.481	86.472	9.640	0.593	9.621
8						
9	120.015	13.708	89.352	8.755	0.099	8.755
10	120.927	14.922	88.632	8.104	0.193	8.102

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.354	10.916	89.352	11.025	0.125	11.025
2	120.214	11.643	88.632	10.325	0.246	10.322
3	120.033	12.107	86.472	9.914	0.610	9.896
4	120.580	12.185	86.472	9.896	0.609	9.877
5	120.132	11.062	89.352	10.860	0.123	10.859
6	120.256	10.623	87.876	11.320	0.420	11.313
7	120.739	11.325	87.192	10.661	0.522	10.648
8	120.686	11.235	87.192	10.742	0.526	10.729
9	120.938	12.039	87.912	10.046	0.366	10.039
10	120.426	11.403	87.912	10.561	0.385	10.554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.171	2.472	88.200	151.364	4.754	151.289
2	376.419	2.686	88.920	140.141	2.641	140.116
3						
4	376.157	2.742	87.912	137.183	4.998	137.092
5	375.451	2.224	89.424	168.818	1.697	168.809
6	375.278	2.417	89.928	155.266	0.195	155.266
7	377.262	2.288	87.696	164.887	6.629	164.754
8	374.356	2.803	86.976	133.555	7.046	133.370
9	374.154	2.881	89.784	129.869	0.490	129.869
10	376.684	2.506	87.696	150.313	6.043	150.191

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	376.760	2.555	87.156	147.460	7.316	147.278
2	375.642	2.963	87.912	126.778	4.619	126.693
3						
4						
5						
6	374.623	2.672	87.840	140.203	5.284	140.104
7						
8						
9						
10	377.362	2.737	87.048	137.874	7.100	137.691

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	120.220	23.908	88.632	5.028	0.120	5.027
3	120.486	26.951	88.056	4.471	0.152	4.468
4	120.021	27.660	88.704	4.339	0.098	4.338
5	120.559	24.485	87.840	4.924	0.186	4.920
6						
7	120.625	24.090	87.264	5.007	0.239	5.002
8						
9	120.303	22.800	87.264	5.276	0.252	5.270
10	120.607	23.684	88.704	5.092	0.115	5.091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.509	21.272	87.264	5.665	0.270	5.659
2	120.559	22.717	87.912	5.307	0.193	5.303
3	120.345	23.444	87.840	5.133	0.193	5.130
4	120.167	23.605	88.056	5.091	0.173	5.088
5	120.736	22.902	88.128	5.272	0.172	5.269
6	120.339	21.755	88.704	5.532	0.125	5.530
7	120.224	22.122	87.840	5.435	0.205	5.431
8	120.610	22.168	88.056	5.441	0.185	5.438
9	120.550	25.600	87.984	4.709	0.166	4.706
10	120.046	21.653	87.984	5.544	0.195	5.541

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.424	4.923	87.192	76.259	3.736	76.168
2	375.402	5.359	87.192	70.051	3.432	69.967
3						
4	375.876	5.401	86.472	69.594	4.283	69.462
5	375.850	4.432	88.704	84.804	1.918	84.782
6	374.778	4.819	89.424	77.771	0.782	77.767
7	375.379	4.511	86.976	83.214	4.390	83.098
8	372.971	5.491	86.976	67.924	3.583	67.829
9	374.610	4.718	87.624	79.400	3.292	79.332
10	373.906	4.941	89.784	75.674	0.285	75.674

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 4						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.152	5.028	87.408	74.613	3.374	74.536
2	376.211	5.789	87.156	64.987	3.224	64.907
3						
4						
5						
6	377.698	5.552	87.336	68.029	3.162	67.956
7						
8						
9						
10	375.554	5.370	87.120	69.936	3.514	69.847

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.212	89.723	89.424	1.340	0.013	1.340
3	120.354	89.258	88.344	1.348	0.039	1.348
4	120.454	85.657	88.344	1.406	0.041	1.406
5	120.189	88.152	89.784	1.363	0.005	1.363
6						
7	120.490	86.639	89.748	1.391	0.006	1.391
8						
9	120.480	89.003	89.568	1.354	0.010	1.354
10	120.669	88.145	88.488	1.369	0.036	1.369

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.468	69.898	88.344	1.723	0.050	1.723
2	120.852	53.477	89.784	2.260	0.009	2.260
3	120.084	72.862	89.424	1.648	0.017	1.648
4	120.858	66.079	89.064	1.829	0.030	1.829
5	120.217	62.011	88.704	1.939	0.044	1.938
6	120.239	59.078	88.596	2.035	0.050	2.035
7	120.710	64.792	89.568	1.863	0.014	1.863
8	120.503	64.528	89.640	1.867	0.012	1.867
9	120.158	73.876	89.568	1.626	0.012	1.626
10	120.553	63.917	88.524	1.886	0.049	1.885

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.855	10.86	89.352	34.609	0.391	34.607
2	373.484	10.842	89.28	34.448	0.433	34.445
3						
4	374.31	12.122	88.740	30.879	0.679	30.871
5	374.081	11.339	89.280	32.991	0.415	32.988
6	373.895	11.257	88.920	33.214	0.626	33.209
7	375.529	12.576	88.740	29.861	0.657	29.854
8	374.205	12.329	89.280	30.352	0.381	30.349
9						
10	373.801	10.795	89.640	34.627	0.218	34.627

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.139	20.689	89.280	18.084	0.227	18.083
2						
3						
4						
5						
6	375.618	20.162	88.740	18.630	0.410	18.625
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.008	122.309	89.640	0.981	0.006	0.981
3	120.812	122.534	89.604	0.986	0.007	0.986
4	120.520	129.311	89.604	0.932	0.006	0.932
5	120.407	129.856	89.604	0.927	0.006	0.927
6						
7	120.273	130.793	89.640	0.920	0.006	0.920
8						
9	120.725	122.762	89.712	0.983	0.005	0.983
10	120.385	128.020	89.712	0.940	0.005	0.940

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.737	117.001	89.676	1.032	0.006	1.032
2	120.576	123.571	89.640	0.976	0.006	0.976
3	120.848	130.659	89.604	0.925	0.006	0.925
4	120.094	125.909	89.604	0.954	0.007	0.954
5	120.623	120.040	89.604	1.005	0.007	1.005
6	120.688	116.408	89.604	1.037	0.007	1.037
7	120.050	125.804	89.712	0.954	0.005	0.954
8	120.228	125.213	89.712	0.960	0.005	0.960
9	120.664	127.275	89.712	0.948	0.005	0.948
10	120.577	114.804	89.712	1.050	0.005	1.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.589	23.716	89.532	15.837	0.129	15.836
2	373.930	20.019	89.568	18.679	0.141	18.678
3						
4	374.99	28.200	89.712	13.298	0.067	13.297
5	373.161	26.789	89.712	13.930	0.070	13.929
6	376.441	20.377	89.712	18.474	0.093	18.474
7	373.894	26.272	89.352	14.232	0.161	14.231
8	373.834	27.485	89.568	13.601	0.103	13.601
9						
10	374.158	19.627	89.712	19.063	0.096	19.063

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	376.138	31.448	89.712	11.961	0.060	11.960
2						
3						
4						
5						
6	375.131	39.558	89.712	9.483	0.048	9.483
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.443	595.078	88.272	0.202	0.006	0.202
3	120.504	619.921	88.272	0.194	0.006	0.194
4	120.688	628.921	87.804	0.192	0.007	0.192
5	120.811	637.062	87.804	0.190	0.007	0.189
6						
7	120.522	642.303	87.804	0.188	0.007	0.188
8						
9	120.850	648.395	88.560	0.186	0.005	0.186
10	120.926	593.265	87.840	0.204	0.008	0.204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	120.704	593.266	89.352	0.203	0.002	0.203
2	120.774	609.293	87.912	0.198	0.007	0.198
3	120.547	696.493	88.164	0.173	0.006	0.173
4	120.335	628.859	88.524	0.191	0.005	0.191
5	120.777	590.880	88.884	0.204	0.004	0.204
6	120.982	579.855	88.164	0.209	0.007	0.209
7	120.507	615.814	88.524	0.196	0.005	0.196
8	120.438	613.028	88.524	0.196	0.005	0.196
9	120.739	632.961	88.920	0.191	0.004	0.191
10	120.589	584.943	87.156	0.206	0.010	0.206

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.013	92.781	88.452	4.042	0.109	4.040
2	374.023	95.183	87.408	3.930	0.178	3.925
3						
4	374.326	110.717	88.020	3.381	0.117	3.379
5	374.580	111.057	87.840	3.373	0.127	3.370
6	373.434	95.176	88.740	3.924	0.086	3.923
7	374.374	117.216	87.840	3.194	0.120	3.192
8	375.015	120.732	87.840	3.106	0.117	3.104
9						
10	374.955	93.274	88.740	4.020	0.088	4.019

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.494	143.265	87.840	2.614	0.099	2.612
2						
3						
4						
5						
6	374.818	158.097	87.840	2.371	0.089	2.369
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	120.847	1.587	89.676	76.148	0.431	76.147
3	120.559	1.523	89.532	79.159	0.647	79.156
4	120.509	1.554	89.748	77.548	0.341	77.547
5	120.837	1.568	89.748	77.064	0.339	77.064
6						
7	120.924	1.573	89.748	76.875	0.338	76.874
8						
9	120.630	1.579	89.748	76.396	0.336	76.396
10	120.769	1.559	89.532	77.466	0.633	77.463

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.720	1.214	89.496	99.448	0.875	99.444
2	120.577	1.321	89.640	91.277	0.574	91.275
3	120.503	1.384	89.676	87.069	0.492	87.067
4	120.843	1.259	89.604	95.983	0.663	95.981
5	120.893	1.218	89.568	99.239	0.748	99.236
6	120.637	1.214	89.784	99.363	0.375	99.363
7	120.541	1.226	89.748	98.321	0.432	98.320
8	120.411	1.217	89.496	98.941	0.870	98.937
9	120.927	1.443	89.352	83.802	0.948	83.797
10	120.715	1.213	89.640	99.551	0.625	99.549

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	374.020	191.089	89.460	1.957	0.018	1.957
2	375.552	187.222	89.568	2.006	0.015	2.006
3						
4	375.552	246.973	89.712	1.521	0.008	1.521
5	371.788	255.241	89.712	1.457	0.007	1.457
6	375.191	183.139	89.352	2.049	0.023	2.049
7	374.076	218.654	88.992	1.711	0.030	1.711
8	373.682	223.600	89.712	1.671	0.008	1.671
9						
10	372.854	212.070	89.712	1.758	0.009	1.758

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.596	329.511	89.712	1.137	0.006	1.137
2						
3						
4						
5						
6	376.103	320.548	89.712	1.173	0.006	1.173
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2	120.805	11.503	89.352	10.502	0.119	10.501
3	120.711	11.743	89.028	10.279	0.174	10.278
4	120.648	12.117	88.920	9.957	0.188	9.955
5	120.589	12.104	89.100	9.963	0.156	9.962
6						
7	120.768	12.305	89.280	9.815	0.123	9.814
8						
9	120.666	12.276	89.064	9.829	0.161	9.828
10	120.532	10.726	88.848	11.237	0.226	11.235

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	120.547	10.977	89.532	10.982	0.090	10.981
2	120.598	11.711	89.856	10.298	0.026	10.298
3	120.886	13.363	89.532	9.046	0.074	9.046
4	120.255	12.771	89.352	9.416	0.106	9.416
5	120.029	11.359	89.388	10.567	0.113	10.566
6	120.147	11.010	89.352	10.913	0.123	10.912
7	120.745	11.865	89.244	10.177	0.134	10.176
8	120.113	11.804	89.388	10.176	0.109	10.175
9	120.794	11.974	89.532	10.088	0.082	10.088
10	120.752	10.526	89.352	11.472	0.130	11.471

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	376.065	1.725	89.532	218.009	1.781	218.001
2	375.270	1.772	89.496	211.778	1.863	211.769
3						
4	373.031	1.883	89.352	198.105	2.240	198.092
5	375.457	1.847	89.712	203.279	1.022	203.277
6	374.239	1.672	89.352	223.827	2.531	223.813
7	374.620	1.850	89.352	202.497	2.290	202.484
8	376.018	1.711	86.112	219.765	14.901	219.259
10	376.200	1.689	85.752	222.735	16.499	222.123

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	371.576	2.559	89.712	145.204	0.730	145.202
2						
3						
4						
5						
6	374.819	2.787	89.352	134.488	1.521	134.480
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	120.741	22.962	89.496	5.258	0.046	5.258
3	120.874	23.468	87.840	5.151	0.194	5.147
4	120.294	23.988	88.848	5.015	0.101	5.014
5	120.140	24.095	88.776	4.986	0.107	4.985
6						
7	120.165	24.463	88.848	4.912	0.099	4.911
8						
9	120.712	23.012	88.704	5.246	0.119	5.244
10	120.701	21.633	88.992	5.579	0.098	5.579

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	120.213	21.700	88.992	5.540	0.097	5.539
2	120.087	23.066	89.208	5.206	0.072	5.206
3	120.359	23.359	89.208	5.153	0.071	5.152
4	120.285	23.912	89.352	5.030	0.057	5.030
5	120.299	22.621	89.201	5.318	0.074	5.318
6	120.747	22.172	89.266	5.446	0.070	5.445
7	120.302	23.533	89.208	5.112	0.071	5.112
8	120.848	23.328	89.496	5.180	0.046	5.180
9	120.448	24.382	88.776	4.940	0.106	4.939
10	120.834	21.825	88.848	5.536	0.111	5.535

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	372.799	3.404	89.388	109.518	1.170	109.512
2	379.575	3.532	88.920	107.467	2.026	107.448
3						
4	374.912	3.727	89.640	100.594	0.632	100.592
5	373.361	3.859	88.992	96.751	1.702	96.736
6	373.439	3.304	89.208	113.026	1.562	113.016
7	372.148	3.666	89.352	101.513	1.148	101.507
8	373.795	3.919	89.201	95.380	1.330	95.371
9						
10	375.049	3.324	89.194	112.831	1.588	112.819

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 5						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.819	5.153	89.2728	72.893	0.925	72.887
2						
3						
4						
5						
6	375.707	5.537	89.2656	67.854	0.870	67.848
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.441	79.258	88.200	1.520	0.048	1.519
4	120.945	75.657	88.830	1.599	0.033	1.598
5	120.331	76.152	88.920	1.580	0.030	1.580
6						
7	120.082	76.639	89.010	1.567	0.027	1.567
8						
9	120.100	78.003	88.650	1.540	0.036	1.539
10	120.652	76.145	88.920	1.585	0.030	1.584

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.166	62.477	88.650	1.923	0.045	1.923
3	120.411	71.862	88.740	1.676	0.037	1.675
4	120.942	65.079	88.992	1.858	0.033	1.858
5	120.900	63.011	88.560	1.919	0.048	1.918
6	120.720	68.078	88.560	1.773	0.045	1.773
7	120.914	65.792	88.740	1.838	0.040	1.837
8	120.650	67.528	88.740	1.787	0.039	1.786
9	120.345	67.876	89.280	1.773	0.022	1.773
10	120.796	69.917	88.560	1.728	0.043	1.727

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.287	13.024	88.920	28.815	0.543	28.810
2	372.733	13.871	89.280	26.871	0.338	26.869
3						
4	373.589	12.578	88.740	29.702	0.653	29.695
5	376.301	13.676	88.560	27.515	0.691	27.507
6	374.240	11.660	88.560	32.096	0.807	32.086
7	374.253	12.929	88.740	28.947	0.637	28.940
8	376.643	12.859	88.380	29.290	0.828	29.279
9						
10	374.016	12.394	88.740	30.177	0.664	30.170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.514	18.875	88.740	19.895	0.437	19.890
2						
3						
4						
5						
6	372.779	17.493	88.380	21.310	0.602	21.302
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.828	123.099	89.820	0.982	0.003	0.982
4	120.673	119.646	89.640	1.009	0.006	1.009
5	120.707	121.488	89.640	0.994	0.006	0.994
6						
7						
8						
9	120.743	122.711	89.784	0.984	0.004	0.984
10	120.637	123.150	89.676	0.980	0.006	0.980

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.337	120.271	89.784	1.001	0.004	1.001
3	120.718	119.086	89.712	1.014	0.005	1.014
4	120.659	123.765	89.856	0.975	0.002	0.975
5	120.232	128.872	89.784	0.933	0.004	0.933
6	120.358	128.933	89.748	0.933	0.004	0.933
7	120.740	123.135	89.712	0.981	0.005	0.981
8	120.688	122.176	89.640	0.988	0.006	0.988
9	120.756	122.711	89.640	0.984	0.006	0.984
10	120.014	120.223	89.784	0.998	0.004	0.998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.116	23.184	89.640	16.180	0.102	16.180
2	375.500	25.630	89.820	14.651	0.046	14.651
3						
4	374.772	25.852	89.820	14.497	0.046	14.497
5	374.360	23.829	89.820	15.710	0.049	15.710
6	375.110	25.032	89.820	14.985	0.047	14.985
7	374.942	23.966	89.640	15.645	0.098	15.644
8	375.672	23.191	89.640	16.199	0.102	16.199
9						
10	374.124	23.943	89.640	15.626	0.098	15.625

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	376.410	35.329	89.820	10.654	0.033	10.654
2						
3						
4						
5						
6	375.379	37.791	89.748	9.933	0.044	9.933
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.401	687.830	88.560	0.175	0.004	0.175
4	120.952	617.636	88.416	0.196	0.005	0.196
5	120.525	694.394	89.280	0.174	0.002	0.174
6						
7						
8						
9	120.819	692.748	88.380	0.174	0.005	0.174
10	120.875	655.997	88.380	0.184	0.005	0.184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.548	652.829	89.370	0.185	0.002	0.185
3	120.310	682.619	88.740	0.176	0.004	0.176
4	120.361	664.424	88.380	0.181	0.005	0.181
5	120.081	676.235	88.560	0.178	0.004	0.178
6	120.665	688.408	89.460	0.175	0.002	0.175
7	120.065	658.906	88.560	0.182	0.005	0.182
8	120.644	662.271	89.640	0.182	0.001	0.182
9	120.854	666.424	88.380	0.181	0.005	0.181
10	120.614	654.943	88.380	0.184	0.005	0.184

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.939	98.139	89.280	3.810	0.048	3.810
2	376.444	98.447	88.380	3.824	0.108	3.822
3						
4	375.316	98.917	89.100	3.794	0.060	3.794
5	375.800	93.643	89.100	4.013	0.063	4.013
6	374.322	92.561	88.380	4.044	0.114	4.042
7	375.260	95.270	88.380	3.939	0.111	3.937
8	375.699	98.890	89.550	3.799	0.030	3.799
9						
10	371.566	97.694	89.550	3.803	0.030	3.803

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.617	157.552	89.640	2.384	0.015	2.384
2						
3						
4						
5						
6	374.559	154.807	88.200	2.420	0.076	2.418
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.165	1.697	89.820	70.810	0.222	70.810
4	120.017	1.372	89.784	87.476	0.330	87.475
5	120.754	1.384	89.604	87.250	0.603	87.248
6						
7						
8						
9	120.732	1.697	89.568	71.144	0.536	71.142
10	120.966	1.235	89.784	97.948	0.369	97.947

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	120.259	1.498	89.820	80.280	0.252	80.279
3	120.231	1.544	89.820	77.870	0.245	77.869
4	120.508	1.325	89.568	90.949	0.686	90.947
5	120.401	1.241	89.784	97.019	0.366	97.019
6	120.272	1.309	89.748	91.881	0.404	91.880
7	120.765	1.304	89.748	92.611	0.407	92.610
8	120.869	1.658	89.676	72.900	0.412	72.899
9	120.467	1.506	89.784	79.991	0.302	79.991
10	120.121	1.484	89.640	80.944	0.509	80.942

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	371.721	222.089	89.820	1.674	0.005	1.674
2	374.022	222.230	89.568	1.683	0.013	1.683
3						
4	376.229	246.973	89.716	1.523	0.008	1.523
5	375.836	255.241	89.712	1.472	0.007	1.472
6	376.019	223.224	89.730	1.684	0.008	1.684
7	374.335	278.654	89.730	1.343	0.006	1.343
8	375.567	223.600	89.741	1.680	0.008	1.680
9						
10	373.845	252.070	89.712	1.483	0.007	1.483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.619	5.153	89.2728	72.893	0.925	72.887
2						
3						
4						
5						
6	375.707	5.537	89.2656	67.854	0.870	67.848
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.512	11.429	89.496	10.544	0.093	10.544
4	120.158	11.642	89.676	10.321	0.058	10.321
5	120.839	12.670	89.676	9.537	0.054	9.537
6						
7						
8						
9	120.721	11.803	89.748	10.228	0.045	10.228
10	120.646	12.044	89.748	10.017	0.044	10.017

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	120.396	11.031	89.712	10.914	0.055	10.914
3	120.326	11.244	89.698	10.701	0.056	10.701
4	120.047	11.177	89.798	10.741	0.038	10.740
5	120.920	11.387	89.568	10.619	0.080	10.619
6	120.785	11.691	89.568	10.331	0.078	10.331
7	120.128	11.111	89.741	10.812	0.049	10.812
8	120.739	11.157	89.784	10.822	0.041	10.822
9	120.513	11.291	89.784	10.673	0.040	10.673
10	120.710	11.033	89.784	10.941	0.041	10.941

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.295	2.723	89.784	137.457	0.518	137.456
2	375.746	2.904	89.820	129.389	0.406	129.388
3						
4	373.485	2.869	89.712	130.180	0.654	130.178
5	375.000	2.415	89.820	155.280	0.488	155.279
6	375.516	2.953	89.820	127.164	0.399	127.164
7	372.616	2.570	89.640	144.987	0.911	144.984
8	374.573	2.691	89.640	139.195	0.875	139.192
10	376.535	2.614	89.748	144.046	0.634	144.044

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1	376.044	2.359	89.640	159.408	1.002	159.405
2						
3						
4						
5						
6	378.292	2.113	89.820	179.031	0.562	179.030
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3	120.740	22.561	89.712	5.352	0.027	5.352
4	120.543	22.786	89.712	5.290	0.027	5.290
5	120.712	23.944	89.424	5.041	0.051	5.041
6						
7						
8						
9	120.761	21.202	89.424	5.696	0.057	5.695
10	120.264	21.951	89.510	5.479	0.047	5.479

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	120.474	21.925	89.496	5.495	0.048	5.495
3	120.835	22.302	89.640	5.418	0.034	5.418
4	120.101	22.177	89.568	5.416	0.041	5.415
5	120.182	22.485	89.496	5.345	0.047	5.345
6	120.632	23.024	89.568	5.239	0.040	5.239
7	120.666	22.062	89.856	5.469	0.014	5.469
8	120.867	22.119	89.712	5.464	0.027	5.464
9	120.667	22.273	89.496	5.418	0.048	5.417
10	120.609	21.932	89.352	5.499	0.062	5.499

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	372.096	5.428	89.568	68.551	0.517	68.549
2	374.795	4.284	89.640	87.487	0.550	87.485
3						
4	374.409	4.665	89.856	80.259	0.202	80.259
5	374.216	4.596	89.352	81.422	0.921	81.417
6	374.814	4.616	89.568	81.199	0.612	81.197
7	370.600	4.972	89.640	74.537	0.468	74.536
8	375.335	4.695	89.352	79.944	0.904	79.938
9						
10	375.000	5.191	89.568	72.240	0.545	72.238

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 6						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.412	5.000	89.640	74.882	0.470	74.881
2						
3						
4						
5						
6	374.064	4.472	89.496	83.646	0.736	83.643
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.307	95.969	85.320	1.254	0.102	1.249
4	120.583	85.853	79.020	1.405	0.268	1.379
5	120.871	86.594	86.310	1.396	0.090	1.393
6	120.983	67.690	87.210	1.787	0.087	1.785
7						
8	120.867	70.140	88.020	1.723	0.060	1.722
9						
10	120.796	62.684	88.920	1.927	0.036	1.927

ความถี่ 50Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.307	95.969	85.320	1.254	0.102	1.249
4	120.583	85.853	79.020	1.405	0.268	1.379
5	120.871	86.594	86.310	1.396	0.090	1.393
6	120.983	67.690	87.210	1.787	0.087	1.785
7						
8	120.867	70.140	88.020	1.723	0.060	1.722
9						
10	120.796	62.684	88.920	1.927	0.036	1.927

ความถี่ 50Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.772	14.906	83.700	25.075	2.752	24.924
2	375.595	11.326	81.000	33.162	5.188	32.754
3						
4						
5	371.485	12.135	80.010	30.613	5.311	30.149
6	374.556	19.037	78.120	19.675	4.050	19.254
7	374.605	17.259	75.420	21.705	5.464	21.006
8	377.791	19.932	89.820	18.954	0.060	19.954
9						
10	374.338	17.405	78.300	21.507	4.361	21.061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.012	17.238	75.510	21.755	5.443	21.063
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.277	160.463	80.352	0.750	0.126	0.739
4	120.369	188.230	74.736	0.639	0.168	0.617
5	120.404	179.445	77.220	0.671	0.148	0.654
6						
7						
8						
9	120.043	154.699	84.600	0.776	0.073	0.773
10	120.809	119.842	82.512	1.008	0.131	0.999

ความถี่ 100Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.017	118.253	76.176	1.015	0.243	0.986
4	120.930	171.383	83.376	0.706	0.081	0.701
5	120.321	121.149	81.288	0.993	0.150	0.982
6	120.831	129.618	87.768	0.932	0.036	0.932
7						
8	120.706	134.699	89.928	0.896	0.001	0.896
9						
10	120.182	122.510	89.784	0.981	0.004	0.981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.251	25.268	76.320	14.851	3.512	14.430
2	373.448	29.246	81.216	12.769	1.950	12.619
3						
4						
5	377.129	19.369	76.932	19.471	4.402	18.967
6	374.678	38.186	80.496	9.812	1.620	9.677
7	374.958	27.359	86.256	13.705	0.895	13.676
8	375.882	37.863	86.256	9.927	0.648	9.906
9						
10	374.952	33.243	88.344	11.279	0.326	11.274

ความถี่ 100Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.598	30.121	88.2	12.470	0.392	12.463
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.128	755.858	79.740	0.159	0.028	0.156
4	120.625	679.671	80.820	0.177	0.028	0.175
5	120.732	612.178	85.860	0.197	0.014	0.197
6						
7						
8						
9	120.724	663.000	79.920	0.182	0.032	0.179
10	120.847	575.405	88.740	0.210	0.005	0.210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.216	659.029	83.340	0.182	0.021	0.181
4	120.369	715.916	79.920	0.168	0.029	0.166
5	120.780	775.361	75.510	0.156	0.039	0.151
6	120.682	627.352	88.110	0.192	0.006	0.192
7						
8	120.281	652.382	89.550	0.184	0.001	0.184
9						
10	120.298	599.793	89.010	0.201	0.003	0.201

ความถี่ 500Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.845	101.306	80.100	3.690	0.634	3.635
2	372.780	180.292	86.310	2.068	0.133	2.063
3						
4						
5	373.538	160.607	86.310	2.326	0.150	2.321
6	374.661	178.026	79.020	2.105	0.401	2.066
7	374.075	152.295	79.920	2.456	0.430	2.418
8	373.270	173.728	86.220	2.149	0.142	2.144
9						
10	375.002	160.454	87.120	2.337	0.117	2.334

ความถี่ 500Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	371.625	178.197	84.510	2.085	0.200	2.076
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.005	1.442	84.816	83.221	7.519	82.881
4	120.444	1.797	82.980	67.025	8.192	66.523
5	120.819	1.581	86.472	76.419	4.703	76.275
6						
7						
8						
9	120.163	2.030	82.512	59.194	7.714	58.689
10	120.918	1.139	87.552	106.162	4.534	106.065

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.507	1.560	77.472	77.248	16.756	75.409
4	120.687	1.387	84.816	87.013	7.862	86.657
5	120.561	1.490	79.776	80.913	14.362	79.629
6	120.059	1.234	88.272	97.293	2.934	97.248
7						
8	120.765	1.295	88.920	93.255	1.758	93.238
9						
10	120.406	1.189	89.784	101.267	0.382	101.266

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	375.050	192.105	82.800	1.952	0.245	1.937
2	372.276	348.931	85.608	1.067	0.082	1.064
3						
4						
5	374.972	315.814	76.896	1.187	0.269	1.156
6	373.772	358.694	81.864	1.042	0.147	1.032
7	374.096	290.640	81.216	1.287	0.197	1.272
8	376.685	340.690	85.464	1.106	0.087	1.102
9						
10	374.268	312.150	86.976	1.199	0.063	1.197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.257	330.200	73.296	1.133	0.326	1.086
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3	120.609	13.505	19.840	8.931	8.401	3.031
4	120.590	13.789	14.920	8.745	8.451	2.252
5	120.852	14.773	18.040	8.181	7.778	2.533
6						
7						
8						
9	120.478	18.479	79.632	6.520	1.173	6.413
10	120.648	10.958	83.952	11.010	1.160	10.949

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3	120.605	14.476	80.352	8.331	1.396	8.214
4	120.809	13.387	84.672	9.024	0.838	8.985
5	120.173	13.635	81.216	8.814	1.346	8.710
6	120.059	11.944	83.952	10.052	1.059	9.996
7						
8	120.993	12.619	83.160	9.588	1.142	9.520
9						
10	120.354	11.564	86.184	10.408	0.693	10.385

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.522	1.710	84.960	219.604	19.292	218.754
2	378.123	3.220	86.976	117.430	6.195	117.266
3						
4						
5	372.134	1.850	77.328	201.154	44.127	196.254
6	373.323	3.237	84.024	115.330	12.007	114.703
7	374.529	2.608	85.464	143.608	11.357	143.158
8	374.889	3.088	86.472	121.402	7.471	121.172
9						
10	376.730	2.908	87.048	129.550	6.672	129.378

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	377.861	2.864	86.328	131.935	8.450	131.664
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.601	26.351	76.176	4.577	1.094	4.444
4	120.937	26.802	76.104	4.512	1.084	4.380
5	120.474	28.157	74.952	4.279	1.111	4.132
6						
7						
8						
9	120.199	34.849	78.120	3.449	0.710	3.375
10	120.009	21.568	79.632	5.564	1.001	5.473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.454	27.697	74.592	4.349	1.155	4.193
4	120.696	26.029	75.312	4.637	1.176	4.485
5	120.753	26.614	74.016	4.537	1.249	4.362
6	120.426	23.269	78.912	5.175	0.995	5.079
7						
8	120.890	24.447	78.840	4.945	0.957	4.851
9						
10	120.899	22.768	79.704	5.310	0.949	5.225

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	371.407	3.358	87.048	110.604	5.696	110.457
2	360.218	6.011	86.256	59.926	3.913	59.799
3						
4						
5	377.830	3.646	81.000	103.629	16.211	102.353
6	366.258	6.168	83.304	59.380	6.924	58.975
7	373.249	5.113	85.464	73.000	5.773	72.771
8	366.040	5.928	87.912	61.748	2.250	61.707
9						
10	376.158	5.721	85.104	65.750	5.612	65.510

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 7						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	361.129	5.363	86.328	67.337	4.313	67.199
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4	120.829	87.965	85.320	1.374	0.112	1.369
5	120.621	98.788	78.300	1.221	0.249	1.196
6						
7						
8						
9						
10	120.639	93.973	81.630	1.284	0.187	1.270

ความถี่ 50 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.163	69.860	79.020	1.720	0.328	1.689
4						
5						
6	120.505	74.572	80.730	1.616	0.260	1.595
7						
8	120.552	74.889	86.130	1.610	0.109	1.606
9						
10						

ความถี่ 50 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.633	10.947	85.050	34.222	2.953	34.095
2	373.016	11.456	75.150	32.561	8.345	31.473
3						
4						
5	369.349	12.073	81.450	30.593	4.548	30.253
6	374.429	11.949	80.550	31.336	5.145	30.910
7	371.674	11.030	85.050	33.697	2.908	33.571
8	375.069	12.102	72.450	30.992	9.345	29.550
9						
10	373.145	11.279	81.450	33.083	4.919	32.715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.594	13.845	73.350	27.128	7.773	25.991
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4	120.151	134.873	87.696	0.891	0.036	0.890
5	120.531	136.604	86.184	0.882	0.059	0.880
6						
7						
8						
9						
10	120.145	117.748	87.624	1.020	0.042	1.019

ความถี่ 100 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.560	176.229	87.696	0.684	0.028	0.684
4						
5						
6	120.146	128.953	86.904	0.932	0.050	0.930
7						
8	120.843	139.443	87.624	0.867	0.036	0.866
9						
10	120.430	118.125	86.184	1.020	0.068	1.017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.146	21.698	75.960	17.197	4.172	16.684
2	374.411	22.747	81.000	16.460	2.575	16.257
3						
4						
5	372.443	32.587	84.240	11.429	1.147	11.371
6	374.067	23.301	88.200	16.054	0.504	16.046
7	373.476	21.949	86.040	17.016	1.175	16.975
8	375.152	23.604	83.160	15.894	1.893	15.780
9						
10	375.074	22.442	82.440	16.713	2.199	16.568

ความถี่ 100 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	372.661	34.49	84.96	10.805	0.949	10.763
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4	120.694	664.716	88.020	0.182	0.006	0.181
5	120.943	770.733	86.130	0.157	0.011	0.157
6						
7						
8						
9						
10	120.222	634.589	88.830	0.189	0.004	0.189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.419	695.361	77.220	0.173	0.038	0.169
4						
5						
6	120.922	644.237	87.030	0.188	0.010	0.187
7						
8	120.523	646.551	87.930	0.186	0.007	0.186
9						
10	120.461	641.090	87.930	0.188	0.007	0.188

ความถี่ 500 Hz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.709	127.184	79.110	2.954	0.558	2.901
2	375.037	112.864	85.050	3.323	0.287	3.311
3						
4						
5	352.698	127.364	76.050	2.769	0.668	2.688
6	375.289	140.050	78.750	2.680	0.523	2.628
7	374.942	139.522	85.950	2.687	0.190	2.681
8	374.659	114.999	78.750	3.258	0.636	3.195
9						
10	375.040	121.349	85.050	3.091	0.267	3.079

ความถี่ 500 Hz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.914	152.662	85.050	2.456	0.212	2.447
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4	120.675	1.254	86.868	96.232	5.258	96.088
5	120.633	1.268	86.868	95.136	5.198	94.994
6						
7						
8						
9						
10	120.582	1.059	87.732	113.864	4.506	113.775

ความถี่ 1 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.718	1.345	87.048	89.753	4.622	89.634
4						
5						
6	120.996	1.089	87.480	111.107	4.885	111.000
7						
8	120.618	1.271	86.328	94.900	6.078	94.705
9						
10	120.734	1.069	89.208	112.941	1.561	112.930

ความถี่ 1 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	374.502	199.494	84.024	1.877	0.195	1.867
2	376.385	331.261	87.624	1.136	0.047	1.135
3						
4						
5	373.802	198.164	82.584	1.886	0.243	1.871
6	375.202	325.952	86.184	1.151	0.077	1.149
7	376.762	277.717	86.904	1.357	0.073	1.355
8	375.448	246.974	85.464	1.520	0.120	1.515
9						
10	374.769	302.611	85.464	1.238	0.098	1.234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	376.368	233.696	75.960	1.611	0.391	1.562
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3						
4	120.419	12.068	14.920	9.978	9.642	2.569
5	120.582	12.116	18.040	9.952	9.463	3.082
6						
7						
8						
9						
10	120.656	10.903	81.144	11.066	1.704	10.934

ความถี่ 10 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3	120.553	13.466	80.136	8.952	1.534	8.820
4						
5						
6	120.504	11.000	76.824	10.955	2.497	10.667
7						
8	120.874	11.076	78.264	10.913	2.220	10.685
9						
10	120.700	10.950	78.984	11.023	2.106	10.820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.078	2.482	79.128	151.119	28.503	148.407
2	375.560	2.589	81.000	145.060	22.692	143.274
3						
4						
5	373.388	1.569	80.280	237.978	40.179	234.562
6	375.566	2.417	77.400	155.385	33.896	151.643
7	375.059	2.140	81.000	175.261	27.417	173.103
8	375.685	2.474	78.840	151.853	29.391	148.982
9						
10	376.354	2.089	80.280	180.160	30.417	177.574

ความถี่ 10 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	375.518	2.334	78.840	160.890	31.140	157.848
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4	120.990	23.297	74.592	5.193	1.380	5.007
5	120.368	23.345	83.304	5.156	0.601	5.121
6						
7						
8						
9						
10	120.122	21.777	76.824	5.516	1.257	5.371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20 kHz						
Turn to turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.351	25.358	74.376	4.746	1.278	4.571
4						
5						
6	120.797	22.001	74.664	5.491	1.452	5.295
7						
8	120.937	22.138	74.664	5.463	1.445	5.268
9						
10	120.652	21.926	75.384	5.503	1.389	5.325

ความถี่ 20 kHz						
Coil to coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	329.576	4.597	80.424	71.694	11.927	70.695
2	318.348	4.357	81.720	73.066	10.522	72.304
3						
4						
5	323.092	3.981	83.160	81.159	9.666	80.581
6	322.554	4.266	85.320	75.610	6.169	75.358
7	326.819	3.127	83.160	104.515	12.447	103.771
8	323.576	4.610	86.760	70.190	3.967	70.078
9						
10	321.919	3.126	81.000	102.981	16.110	101.713

ความถี่ 20 kHz						
Coil to ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 8						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	323.023	5.72	72.36	56.473	17.113	53.817
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 50 Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.974	80.702	87.930	1.499	0.064	1.498
4						
5						
6	120.830	68.140	87.930	1.773	0.064	1.772
7						
8						
9						
10	120.221	65.527	88.830	1.835	0.037	1.834

ความถี่ 50 Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	372.286	11.425	88.830	32.585	0.665	32.578
2	375.201	17.133	82.530	21.899	2.847	21.713
3						
4						
5	372.363	1.420	83.430	262.227	30.003	260.505
6	372.022	16.529	87.930	22.507	0.813	22.493
7	372.358	14.720	89.730	25.296	0.119	25.296
8	371.670	17.185	84.330	21.628	2.137	21.522
9						
10	370.651	15.036	87.930	24.651	0.890	24.635

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	373.522	16.548	83.430	22.572	2.583	22.424
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.303	158.403	89.064	0.759	0.012	0.759
4						
5						
6	120.419	131.788	89.064	0.914	0.015	0.914
7						
8						
9						
10	120.672	128.568	89.064	0.939	0.015	0.938

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	375.002	20.693	86.904	18.122	0.979	18.096
2	372.166	32.242	88.344	11.543	0.334	11.538
3						
4						
5	372.273	20.475	79.704	18.182	3.250	17.889
6	374.576	31.714	88.344	11.811	0.341	11.806
7	371.451	27.530	82.584	13.493	1.742	13.380
8	369.531	33.353	81.864	11.079	1.568	10.968
9						
10	373.251	29.634	86.184	12.595	0.838	12.567

ความถี่ 100 Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.369	31.109	83.304	12.034	1.403	11.952
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500 Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3	120.685	615.678	87.930	0.196	0.007	0.196
4						
5						
6	120.326	678.243	88.830	0.177	0.004	0.177
7						
8						
9						
10	120.576	665.071	87.930	0.181	0.007	0.181

ความถี่ 500 Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	371.273	99.809	87.930	3.720	0.134	3.717
2	375.132	164.440	87.930	2.281	0.082	2.280
3						
4						
5	372.240	100.574	87.930	3.701	0.134	3.699
6	374.103	160.940	88.830	2.324	0.047	2.324
7	372.375	138.350	89.730	2.692	0.013	2.692
8	371.386	169.763	87.030	2.188	0.113	2.185
9						
10	370.448	148.503	87.930	2.495	0.090	2.493

ความถี่ 500 Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.477	152.753	86.130	2.452	0.165	2.446
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1k Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 1k Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.542	1.668	87.624	72.267	2.996	72.205
4						
5						
6	120.810	1.386	89.784	87.165	0.329	87.164
7						
8						
9						
10	120.300	1.336	86.904	90.045	4.863	89.913

ความถี่ 1k Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1	373.377	199.494	84.024	1.872	0.195	1.861
2	374.299	331.261	87.624	1.130	0.047	1.129
3						
4						
5	369.269	198.164	82.584	1.863	0.241	1.848
6	375.253	325.952	86.184	1.151	0.077	1.149
7	372.263	277.717	86.904	1.340	0.072	1.338
8	376.103	346.974	85.464	1.084	0.086	1.081
9						
10	375.107	302.811	85.464	1.239	0.098	1.235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1k Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.160	302.221	84.024	1.238	0.129	1.231
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10k Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10k Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3	120.281	15.215	80.424	7.905	1.315	7.795
4						
5						
6	120.895	12.755	82.584	9.478	1.223	9.399
7						
8						
9						
10	120.428	11.970	79.704	10.061	1.798	9.899

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10k Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.080	1.716	84.024	217.995	22.696	216.811
2	373.078	2.946	84.024	126.639	13.185	125.951
3						
4						
5	374.045	1.715	84.744	218.102	19.979	217.185
6	373.491	2.893	86.184	129.102	8.592	128.815
7	374.608	2.468	85.464	151.786	12.004	151.311
8	374.940	3.100	85.464	120.948	9.565	120.570
9						
10	374.647	2.686	85.464	139.481	11.031	139.045

ความถี่ 10k Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.998	2.550	84.024	147.058	15.310	146.259
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20k Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20k Hz						
tum-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3	120.716	29.909	73.224	4.036	1.165	3.864
4						
5						
6	120.193	24.825	76.104	4.842	1.163	4.700
7						
8						
9						
10	120.285	23.225	76.104	5.179	1.244	5.028

ความถี่ 20k Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	371.052	3.384	84.024	109.649	11.416	109.053
2	360.178	5.628	84.024	63.998	6.663	63.650
3						
4						
5	375.923	3.441	85.464	109.248	8.640	108.906
6	360.068	5.537	86.184	65.029	4.328	64.885
7	364.762	4.761	84.240	76.615	7.689	76.228
8	358.110	5.873	85.464	60.976	4.822	60.785
9						
10	362.655	5.171	84.744	70.132	6.425	69.838

ความถี่ 20k Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 9						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	365.623	4.92	84.024	74.314	7.737	73.910
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
tum-tum up หลังการเร่งอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 50 Hz						
tum-turn down หลังการเร่งอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6	120.716	54.572	80.730	2.2-12	0.356	2.183
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 50 Hz						
coil-coil หลังการเร่งอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	373.361	11.456	75.150	32.591	8.353	31.502
3						
4						
5	376.130	12.073	79.650	31.155	5.597	30.648
6	373.755	11.949	80.550	31.279	5.136	30.855
7						
8	376.496	12.102	72.450	31.110	9.381	29.662
9						
10	373.715	11.279	79.650	33.134	5.953	32.595

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 50 Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	372.593	13.845	73.350	26.912	7.711	25.783
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 100 Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6	120.419	118.953	86.904	1.012	0.055	1.011
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 100 Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2	366.496	22.747	81.000	16.112	2.520	15.913
3						
-4						
5	375.676	22.587	84.240	16.632	1.669	16.548
6	375.659	23.301	89.200	16.122	0.506	16.114
7						
8	370.406	23.604	84.960	15.693	1.379	15.632
9						
10	373.494	32.442	82.440	11.513	1.515	11.413

ความถี่ 100 Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	372.409	34.49	88.56	10.798	0.271	10.794
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500 Hz						
tum-tum up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 500 Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance( $M\Omega$ )	Resistance( $M\Omega$ )	Reactance( $M\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6	120.516	644.237	87.030	0.187	0.010	0.187
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 500 Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance( $M\Omega$ )	Resistance( $M\Omega$ )	Reactance( $M\Omega$ )
1						
2	376.219	112.864	85.050	3.333	0.288	3.321
3						
4						
5	373.414	127.364	76.050	2.932	0.707	2.845
6	373.878	141.050	78.750	2.651	0.517	2.600
7						
8	373.180	134.999	78.750	2.764	0.539	2.711
9						
10	374.629	151.349	85.050	2.475	0.214	2.466

ความถี่ 500 Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance( $M\Omega$ )	Resistance( $M\Omega$ )	Reactance( $M\Omega$ )
1	371.223	132.662	85.050	2.798	0.241	2.788
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1k Hz						
turn-turn up ทดลองการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 1k Hz						
turn-turn down ทดลองการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6	120.993	1.279	89.064	94.600	1.545	94.587
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 1k Hz						
coil-coil ทดลองการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส ( $\mu$ A)	มุม(องศา)	Impedance(M $\Omega$ )	Resistance(M $\Omega$ )	Reactance(M $\Omega$ )
1						
2	371.874	325.222	83.880	1.143	0.122	1.137
3						
4						
5	376.684	314.845	87.480	1.196	0.053	1.195
6	371.409	327.205	86.040	1.135	0.078	1.132
7						
8	374.429	328.761	83.160	1.139	0.136	1.131
9						
10	374.173	322.384	86.040	1.161	0.080	1.158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1k Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (μA)	มุม(องศา)	Impedance(MΩ)	Resistance(MΩ)	Reactance(MΩ)
1	374.576	263.696	75.960	1.420	0.345	1.378
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10k Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 10k Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(kΩ)	Resistance(kΩ)	Reactance(kΩ)
1						
2						
3						
4						
5						
6	120.547	11.000	76.824	10.959	2.498	10.670
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10k Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	376.207	2.589	81.000	145.310	22.731	143.521
3						
4						
5	376.696	1.569	80.280	240.087	40.535	236.640
6	374.482	2.417	77.400	154.937	33.798	151.205
7						
8	376.760	2.474	78.840	152.288	29.475	149.408
9						
10	375.795	2.089	80.280	179.892	30.372	177.310

ความถี่ 10k Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	374.790	2.334	78.840	160.578	31.080	157.542
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20k Hz						
turn-turn up หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 20k Hz						
turn-turn down หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2						
3						
4						
5						
6	120.678	24.001	74.664	5.028	1.330	4.849
7						
8						
9						
10						

ความถี่ 20k Hz						
coil-coil หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1						
2	371.101	4.357	81.720	85.174	12.266	84.286
3						
4						
5	355.700	4.981	83.160	71.411	8.505	70.903
6	373.348	4.266	85.320	87.517	7.141	87.225
7						
8	328.440	4.613	86.760	71.199	4.024	71.085
9						
10	341.720	4.126	81.000	82.821	12.956	81.801

ความถี่ 20k Hz						
coil-ground หลังการเรียงอายุครั้งที่ 10						
No.	แรงดัน(V)	กระแส (mA)	มุม(องศา)	Impedance(k $\Omega$ )	Resistance(k $\Omega$ )	Reactance(k $\Omega$ )
1	348.992	5.72	79.56	61.013	11.056	60.003
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

## Standard IEEE 43-2000

Recognized as an  
American National Standard (ANSI)

IEEE Std 43-2000(R2006)  
(Revision of  
IEEE Std 43-1974)

# IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery

Sponsor

Electric Machinery Committee  
of the  
IEEE Power Engineering Society

Approved 12 October 2000

American National Standards Institute

Reaffirmed 30 March 2006

Approved 6 March 2000

IEEE-SA Standards Board

**Abstract:** This document describes the recommended procedure for measuring insulation resistance of armature and field windings in rotating machines rated 1 hp, 750 W or greater. It applies to synchronous machines, induction machines, dc machines, and synchronous condensers. Contained within this document is the general theory of insulation resistance (IR) and polarization index (P.I.), as well as factors affecting the results, test procedures, methods of interpretation, test limitations, and recommended minimum values.

**Keywords:** absorption current, conduction current, discharge current, geometric capacitive current, insulation resistance, polarization index, surface leakage current

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.  
3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA

Copyright © 2000 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.  
All rights reserved. Published 24 March 2000. Printed in the United States of America.

Print: ISBN 0-7381-1924-5 SH94806  
PDF: ISBN 0-7381-1925-3 SS94806

No part of this publication may be reproduced in any form, in an electronic retrieval system or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**IEEE Standards** documents are developed within the IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. Members of the committees serve voluntarily and without compensation. They are not necessarily members of the Institute. The standards developed within IEEE represent a consensus of the broad expertise on the subject within the Institute as well as those activities outside of IEEE that have expressed an interest in participating in the development of the standard.

Use of an IEEE Standard is wholly voluntary. The existence of an IEEE Standard does not imply that there are no other ways to produce, test, measure, purchase, market, or provide other goods and services related to the scope of the IEEE Standard. Furthermore, the viewpoint expressed at the time a standard is approved and issued is subject to change brought about through developments in the state of the art and comments received from users of the standard. Every IEEE Standard is subjected to review at least every five years for revision or reaffirmation. When a document is more than five years old and has not been reaffirmed, it is reasonable to conclude that its contents, although still of some value, do not wholly reflect the present state of the art. Users are cautioned to check to determine that they have the latest edition of any IEEE Standard.

Comments for revision of IEEE Standards are welcome from any interested party, regardless of membership affiliation with IEEE. Suggestions for changes in documents should be in the form of a proposed change of text, together with appropriate supporting comments.

Interpretations: Occasionally questions may arise regarding the meaning of portions of standards as they relate to specific applications. When the need for interpretations is brought to the attention of IEEE, the Institute will initiate action to prepare appropriate responses. Since IEEE Standards represent a consensus of all concerned interests, it is important to ensure that any interpretation has also received the concurrence of a balance of interests. For this reason, IEEE and the members of its societies and Standards Coordinating Committees are not able to provide an instant response to interpretation requests except in those cases where the matter has previously received formal consideration.

Comments on standards and requests for interpretations should be addressed to:

Secretary, IEEE-SA Standards Board  
445 Hoes Lane  
P.O. Box 1331  
Piscataway, NJ 08855-1331  
USA

Note: Attention is called to the possibility that implementation of this standard may require use of subject matter covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the existence or validity of any patent rights in connection therewith. The IEEE shall not be responsible for identifying patents for which a license may be required by an IEEE standard or for conducting inquiries into the legal validity or scope of those patents that are brought to its attention.

IEEE is the sole entity that may authorize the use of certification marks, trademarks, or other designations to indicate compliance with the materials set forth herein.

Authorization to photocopy portions of any individual standard for internal or personal use is granted by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., provided that the appropriate fee is paid to Copyright Clearance Center. To arrange for payment of licensing fee, please contact Copyright Clearance Center, Customer Service, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA; (978) 750-8400. Permission to photocopy portions of any individual standard for educational classroom use can also be obtained through the Copyright Clearance Center.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Introduction

(This introduction is not part of IEEE Std 43-2000, IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery.)

Insulation resistance measurement has been recommended and used for more than half a century to evaluate the condition of electrical insulation. Whereas individual insulation resistance measurements may be of questionable value, the carefully maintained record of periodic measurements, accumulated over months and years of service, is of unquestioned value as a measure of some aspects of the condition of the electrical insulation. Originally, in 1950, this recommended practice was published by the AIEE as a guide to present the various facets associated with the measurement and understanding of electrical insulation resistance. The guide was revised in 1961 and again in 1974. During the 1970s, several changes were made to the types of insulation used in electric rotating machines. The insulation resistance characteristics of these newer insulation systems are different from the older systems, and therefore required this substantial revision to the standard for measuring insulation resistance. Other changes include the addition of further description of the testing theory and the removal of suggestions regarding maintenance dry-out procedures for older windings (previously Annex A). Recommendations for maintenance procedures are beyond the scope of this document. With this publication as a recommended practice, the IEEE is presenting and recommending electrical insulation resistance measurement as an important factor in monitoring the condition of electrical insulation in rotating machinery.

This recommended practice describes the theory, procedure, and interpretation of the insulation resistance test. It is intended for the following:

- Individuals or organizations who manufacture rotating machines
- Individuals or organizations who are responsible for the acceptance of new rotating machines
- Individuals or organizations who test and maintain rotating machines
- Individuals or organizations who operate rotating machines

This recommended practice is designed to help organizations and individuals

- Evaluate the condition of the electrical insulation used in rotating machines
- Determine if the electrical insulation of a rotating machine is suitable for return-to-service
- Determine if the electrical insulation of a rotating machine is suitable for high-potential testing

This recommended practice is intended to satisfy the following objectives:

- a) Promote consistency for insulation test procedures and interpretations
- b) Provide useful information on proper application of the insulation resistance test
- c) Provide useful information on the technical theory of insulation resistance testing

The revision to this recommended practice was prepared by a working group of the Materials Subcommittee of the Electric Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society. Working group personnel were

William Bartley  
Thomas Bishop  
Robert Draper  
Guanzhong Gao  
Trilok C. Garg  
James Grant  
Gary Griffith  
Gary Heuston

**Vicki Warren, Chair**

Alan M. Iverson  
Ken Jackson  
Wayne Johnson  
Chaman L. Kaul  
Walter Martiny  
William McDermid  
Charles Millet  
Beant Nindra  
Madan Rana

Larry Rodland  
David Schump  
Susan Soergel  
Greg C. Stone  
George Stranovsky  
Chuck Wilson  
John Wilson  
Daniel I. Young\*

\*Chair Emeritus

The following members of the balloting committee voted on this recommended practice:

Vaino Aare	Thomas J. Hammons	William B. Penn
Edwin Averill	Richard A. Huber	Madan Rana
Roy L. Balke	Alan M. Iversen	Robert H. Rehder
William H. Bartley	Chaman L. Kaul	Laurence Rodland
Kevin D. Becker	Rigsby Kavanaugh	Charles M. Rowe
Karl W. Berger	Tim Keck	David E. Schump
Thomas H. Bishop	Stephen B. Kuznetsov	Manoj R. Shah
Paul G. Cummings	Peter H. Landrieu	John Shea
Paul L. Dandeno	Walter J. Martiny	Jan Stein
James H. Dymond	William R. McCown	Ken Stenroos
James S. Edmonds	William McDermid	Greg C. Stone
Franklin T. Emery	Lloyd McSparran	James E. Timperley
Jorge Fernandez-Daher	Edward J. Michaels	Paul Vollmar
Guanzhong Gao	J. R. Michalec	Paul Dieter Wagner
Trilok C. Garg	Charles Millet	Vicki Warren
Nirmal K. Ghai	Gerhard J. Neidhoefer	Richard F. Weddleton
Brian E. B. Gott	Nils E. Nilsson	Charles A. Wilson
James Grant	Beant S. Nindra	John Wilson
Franklin H. Grooms	J. L. Oldenkamp	Edward J. Woods
Bal K. Gupta	James A. Oliver	Daniel I. Young
Howard B. Hamilton		Martin Zraggen

The final conditions for approval of this standard were met on 6 March 2000. This standard was conditionally approved by the IEEE-SA Standards Board on 30 January 2000, with the following membership:

**Richard J. Holleman, Chair**  
**Donald N. Heirman, Vice Chair**  
**Judith Gorman, Secretary**

Satish K. Aggarwal	James H. Gurney	Louis-François Pau
Dennis Bodson	Lowell G. Johnson	Ronald C. Petersen
Mark D. Bowman	Robert J. Kennelly	Gerald H. Peterson
James T. Carlo	E. G. "Al" Kiener	John B. Posey
Gary R. Engmann	Joseph L. Koepfinger*	Gary S. Robinson
Harold E. Epstein	L. Bruce McClung	Akio Tojo
Jay Forster*	Daleep C. Mohla	Hans E. Weinrich
Ruben D. Garzon	Robert F. Munzner	Donald W. Zipse

\*Member Emeritus

Also included is the following nonvoting IEEE-SA Standards Board liaison:

Robert E. Hebner

Noelle D. Humenick  
*IEEE Standards Project Editor*

## Contents

1. Overview.....	1
1.1 Scope.....	1
1.2 Purpose.....	1
2. References.....	2
3. Definitions.....	3
4. Safety considerations.....	3
5. Insulation resistance—general theory.....	4
5.1 Components of the measured direct current.....	4
5.2 Characteristics of the measured direct current.....	6
5.3 Insulation resistance readings.....	6
5.4 Polarization index readings.....	7
5.5 Discharge current.....	8
6. Factors affecting insulation resistance.....	8
6.1 Effect of surface condition.....	8
6.2 Effect of moisture.....	9
6.3 Effect of temperature.....	9
6.4 Effect of test voltage magnitude.....	11
6.5 Effect of existing charge on winding resistance measurements.....	12
7. Conditions for measuring insulation resistance.....	12
8. Winding connections for insulation resistance tests.....	12
9. Methods of measuring insulation resistance.....	13
9.1 Direct measurement.....	13
9.2 Calculated measurement.....	13
10. Precautions.....	13
11. Interpretation of insulation resistance and polarization index test results.....	14
11.1 Monitoring insulation condition.....	14
11.2 Suitability for operation or continued testing.....	14
11.3 Limitations of the insulation resistance test.....	15
12. Recommended minimum value of polarization index and insulation resistance.....	15
12.1 Minimum values.....	15
12.2 Polarization index.....	15
12.3 Insulation resistance.....	16

Annex A (informative)—Variants in polarization index .....	18
Annex B (informative)—Direct versus alternating voltage testing .....	19
Annex C (informative)—Regulation in power supplies used for insulation resistance measurement.....	20



# IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery

## 1. Overview

### 1.1 Scope

This document describes a recommended procedure for measuring insulation resistance of armature and field windings in rotating machines rated 1 hp, 750 W or greater. It applies to synchronous machines, induction machines, dc machines, and synchronous condensers. It does not apply to fractional-horsepower machines.

The document also describes typical insulation resistance characteristics of rotating machine windings and how these characteristics indicate winding condition. It recommends minimum acceptable values of insulation resistance for ac and dc rotating machine windings.

Other IEEE standards that include information on insulation resistance measurement are listed in Clause 2.

### 1.2 Purpose

The purpose of this recommended practice is to

- a) Define insulation resistance and polarization index testing of the winding of a rotating machine.
- b) Review the factors that affect or change insulation resistance characteristics.
- c) Recommend uniform test conditions.
- d) Recommend uniform methods for measuring insulation resistance with precautions to avoid erroneous results.
- e) Provide a basis for interpreting insulation resistance test results to estimate winding suitability for service or for an overvoltage test. In particular, this standard describes typical insulation problems detected by the insulation resistance test.
- f) Present recommended minimum acceptable insulation resistance values and polarization indices for various types of rotating machines.

## 2. References

This recommended practice shall be used in conjunction with the following publications. When the following standards are superseded by an approved revision, the revision shall apply.

ASTM D257-99 Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials.<sup>1</sup>

ASTM D1711-99 Standard Terminology Relating to Electrical Insulation.

ASTM F855-97e1 Standard Specifications for Temporary Protective Grounds to Be Used on De-energized Electric Power Lines and Equipment.

IEC 60085-1: 1984, Thermal evaluation and classification of electrical insulation.<sup>2</sup>

IEEE Std 56-1977 (Reaff 1991), IEEE Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating-Current Rotating Machinery (10 000 kVA and Larger).<sup>3, 4</sup>

IEEE Std 62-1995, IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus—Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors.

IEEE Std 67-1990 (Reaff 1995), IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators.

IEEE Std 95-1977 (Reaff 1991), IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery With High Direct Voltage.<sup>5</sup>

IEEE Std 118-1978 (Reaff 1992), IEEE Standard Test Code for Resistance Measurements.

IEEE Std 432-1992 (Reaff 1998), IEEE Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 hp to less than 10 000 hp).

IEEE Std 433-1974 (Reaff 1991), IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Voltage at Very Low Frequency.

IEEE Std 434-1973 (Reaff 1991), IEEE Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for Large High-Voltage Machines.

IEEE Std 492-1999 IEEE Guide for Operation and Maintenance of Hydro-Generators.

IEEE Std 510-1983 (Reaff 1992), IEEE Recommended Practices for Safety in High-Voltage and High-Power Testing.

<sup>1</sup>ASTM publications are available from the American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA (<http://www.astm.org/>).

<sup>2</sup>IEC publications are available from the Sales Department of the International Electrotechnical Commission, Case Postale 131, 3, rue de Varembe, CH-1211, Genève 20, Switzerland/Suisse (<http://www.iec.ch/>). IEC publications are also available in the United States from the Sales Department, American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036, USA.

<sup>3</sup>Presently under revision.

<sup>4</sup>IEEE publications are available from the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA (<http://www.standards.ieee.org/>).

<sup>5</sup>Presently under revision.

### 3. Definitions

For the purposes of this recommended practice, the following terms and definitions apply. The IEEE Dictionary of Electrical and Electronics Terms should be referenced for terms not defined in this clause.

**3.1 absorption (polarization) current ( $I_A$ ):** A current resulting from molecular polarizing and electron drift, which decays with time of voltage application at a decreasing rate from a comparatively high initial value to nearly zero, and depends on the type and condition of the bonding material used in the insulation system.

**3.2 conduction current ( $I_C$ ):** A current that is constant in time, that passes through the bulk insulation from the grounded surface to the high-voltage conductor, and that depends on the type of bonding material used in the insulation system.

**3.3 electroendosmosis effect:** A phenomenon occasionally observed, more often on older windings, when, in the presence of moisture, different insulation resistance values may be obtained when the polarity of the tester leads are reversed. Typically for older wet windings, the insulation resistance for reverse polarity, where the ground lead is connected to the winding and the negative voltage lead to ground, is much higher than for normal polarity.

**3.4 insulation resistance ( $IR_t$ ):** The capability of the electrical insulation of a winding to resist direct current. The quotient of applied direct voltage of negative polarity divided by current across machine insulation, corrected to 40 °C, and taken at a specified time ( $t$ ) from start of voltage application. The voltage application time is usually 1 min ( $IR_1$ ) or 10 min ( $IR_{10}$ ), however, other values can be used. Unit conventions: values of 1 through 10 are assumed to be in minutes, values of 15 and greater are assumed to be in seconds.

**3.5 geometric capacitive current ( $I_C$ ):** A reversible current of comparatively high magnitude and short duration, which decays exponentially with time of voltage application, and which depends on the internal resistance of the measuring instrument and the geometric capacitance of the winding.

**3.6 polarization index ( $PI_{t_2/t_1}$ ):** Variation in the value of insulation resistance with time. The quotient of the insulation resistance at time ( $t_2$ ) divided by the insulation resistance at time ( $t_1$ ). If times  $t_2$  and  $t_1$  are not specified, they are assumed to be 10 min and 1 min, respectively. Unit conventions: values of 1 through 10 are assumed to be in minutes, values of 15 and greater are assumed to be in seconds (e.g.,  $PI_{60/15}$  refers to  $IR_{60s}/IR_{15s}$ ).

**3.7 surface leakage current ( $I_L$ ):** A current that is constant with time, and which usually exists over the surface of the end-turns of the stator winding or between exposed conductors and the rotor body in insulated rotor windings. The magnitude of the surface leakage current is dependent upon temperature and the amount of conductive material, i.e., moisture or contamination on the surface of the insulation.

### 4. Safety considerations

Insulation resistance testing involves the application of high direct voltages to machine windings. These windings have capacitive and inductive properties that can lead to hazards that may not be readily apparent. It is not possible to cover all safety aspects in this recommended practice and test personnel should consult IEEE Std 510-1983;<sup>6</sup> ASTM F855-97e1; manufacturers' instruction manuals; and union, company, and government regulations.

<sup>6</sup>Information on references can be found in Clause 2

Before any testing is conducted, the winding insulation must be discharged. It is not safe to begin testing before the discharge current is zero and there is no discernible return voltage (less than approximately 20 V) after the ground is removed. After completion of the test, the winding should be discharged through a suitable resistor, sized to limit the instantaneous current to 1 A. A minimum discharge time, which is equal to four times the voltage application duration, is recommended. This time interval is based on the  $R$  (resistive),  $L$  (inductive),  $C$  (geometric capacitive), and absorptive characteristics of the circuit during charging (time of the application of the voltage) and discharging (elapsed time since the removal of the voltage source and subsequent grounding of the winding under test). It is important to remember that the testing is not complete until the winding is discharged and there is no discernible voltage. It is recommended that subsequent ac high-potential testing not be conducted until the winding is fully discharged.

During the test period, all appropriate safety measures for the voltages being used must be taken. For test voltages 5000 V and above, the lead between the test set and the winding must be appropriately insulated and spaced from ground; otherwise, surface leakage currents and corona loss may introduce errors in the test data. For safety considerations, and to avoid measuring stray currents, the leads may be shielded.

Restriction of personnel access to the high voltages is mandatory. Use of personal protective equipment is recommended, as is the use of *hot sticks*, insulated ladders, etc. If accessible, the phase neutral and line ends of each winding should be connected together during the test to minimize the effect of high-voltage surge reflections that may result from a winding failure.

The safety measures described are by no means exclusive. These are meant only to signify the nature of the hazards involved. It is the responsibility of the users of the test equipment to completely ascertain the possible hazards involved in the testing, to protect personnel from harm, and to eliminate the risk of damage to the equipment.

## 5. Insulation resistance—general theory

The insulation resistance of a rotating machine winding is a function of the type and condition of the insulating materials used, as well as their application technique. In general, the insulation resistance varies proportionately with the insulation thickness and inversely with the conductor surface area.

Interpretation of insulation resistance measurements of machine windings and the recommended minimum values of polarization index and insulation resistance are described in Clause 11 and Clause 12, respectively.

### 5.1 Components of the measured direct current

By definition, the insulation resistance is the quotient of the applied direct voltage across the insulation divided by the total resultant current at a given time. The total resultant current ( $I_T$ ) is the sum of four different currents: surface leakage ( $I_L$ ), geometric capacitance ( $I_C$ ), conductance ( $I_G$ ), and absorption ( $I_A$ ).

An equivalent circuit for the various currents in an insulation resistance test is shown in Figure 1.

The geometric capacitance current ( $I_C$ ) usually does not affect the measurements, because it disappears by the time the first reading is taken at 1 min.

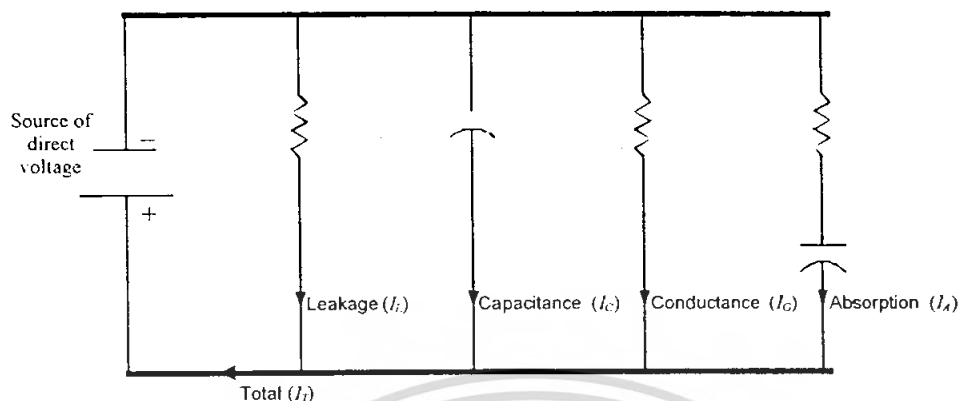


Figure 1—Equivalent circuit showing the four currents monitored during an insulation resistance test

The absorption current ( $I_A$ ) or polarization current decays at a decreasing rate. The current vs. time relationship is a power function, shown in Equation (1). It may be plotted on a log-log graph as a straight line.

$$I_A = Kt^{-n} \quad (1)$$

where

- $I_A$  is absorption current,
- $K$  is a function of the particular insulation system and applied test voltage,
- $t$  is time of applied direct voltage,
- $n$  is a function of the particular insulation system.

The absorption current has two components. The first component is due to the *polarization* of the impregnating materials because the organic molecules, such as epoxy, polyester, and asphalt, tend to change orientation in the presence of a direct electric field. Since these molecules have to strain against the attractive forces of other molecules, it usually takes several minutes after application of the electric field for the molecules to become reoriented, and, thus, for the current-supplied polarizing energy to be reduced to almost zero. A second component of the absorption current is due to the gradual drift of electrons and ions through most organic materials. These electrons and ions drift until they become *trapped* at the mica surfaces commonly found in rotating machine insulation systems. Usually, for clean and dry rotating machine insulation, the insulation resistance between about 30 s and a few minutes is primarily determined by the absorption current.

Since the absorption current is a property of the insulation material and the winding temperature, a specific absorption current is neither good nor bad. In insulation systems manufactured since about 1970 (usually thermosetting polyester or epoxy bonded), the value of the exponent  $n$  of the absorption current,  $I_A = Kt^{-n}$ , is different from the older thermoplastic (asphalt or shellac bonded) materials. This does not imply that more modern insulation materials are *better* because the absorption current is lower and the resulting insulating resistance is higher. For example, polyethylene has essentially no absorption current, yet because of its thermal limitations, it would be completely unsuitable for application in most rotating machines.

The conduction current ( $I_G$ ) in well-bonded polyester and epoxy-mica insulation systems is essentially zero unless the insulation has become saturated with moisture. Older insulation systems, such as asphaltic-mica or shellac mica-folium may have a natural and higher conduction current due to the conductivity of the tapes that back the mica.

The surface leakage current ( $I_L$ ) is constant over time. A high surface leakage current, i.e., low insulation resistance, is usually caused by moisture or some other type of partly conductive contamination present in the machine.

## 5.2 Characteristics of the measured direct current

Comparing the change in insulation resistance or total current with the duration of the test voltage application may be useful in appraising the cleanliness and dryness of a winding. If the windings are contaminated or wet, the total current ( $I_T$ ) will be approximately constant with time, since  $I_L$  and/or  $I_G$  (see Figure 2) will be much larger than the absorption current ( $I_A$ ). If the windings are clean and dry, the total current ( $I_T$ ) will normally decrease with time (see Figure 3), since the total current is dominated by the absorption (i.e., polarization) current ( $I_A$ ).

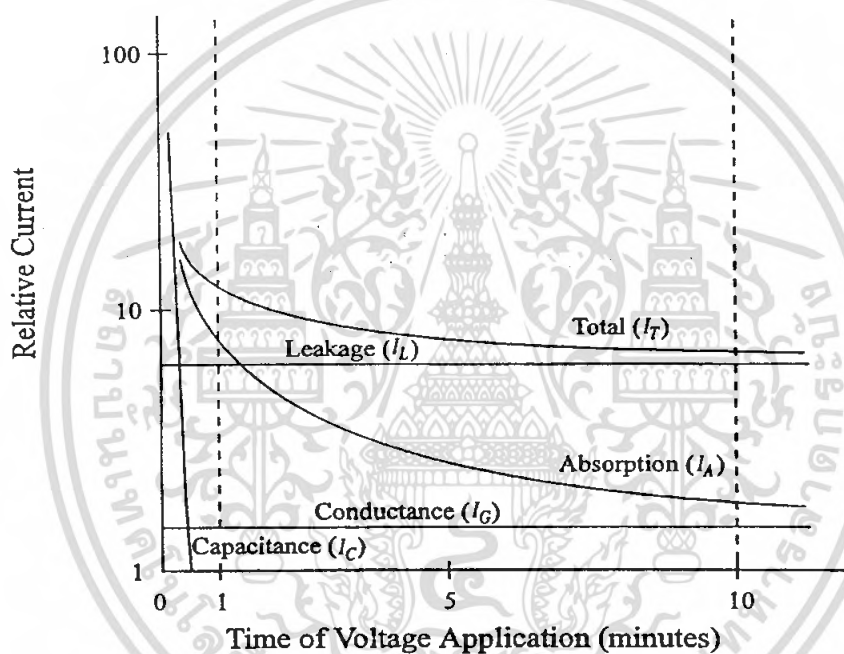


Figure 2—Types of currents for an asphaltic-mica insulation

## 5.3 Insulation resistance readings

The measurement of insulation resistance constitutes a direct-voltage test and must be restricted to a value appropriate to the voltage rating of the winding and the basic insulation condition. This is particularly important in the case of small, low-voltage machines, or wet windings. If the test voltage is too high, the applied test voltage may over stress the insulation, leading to insulation failure.

Insulation resistance tests are usually conducted at constant direct voltages of 500–10 000 V having negative polarity. Negative polarity is preferred to accommodate the phenomenon of electroendosmosis. Guidelines for test voltages are presented in Table 1. Readings of insulation resistance are taken after the test direct voltage has been applied for 1 min.

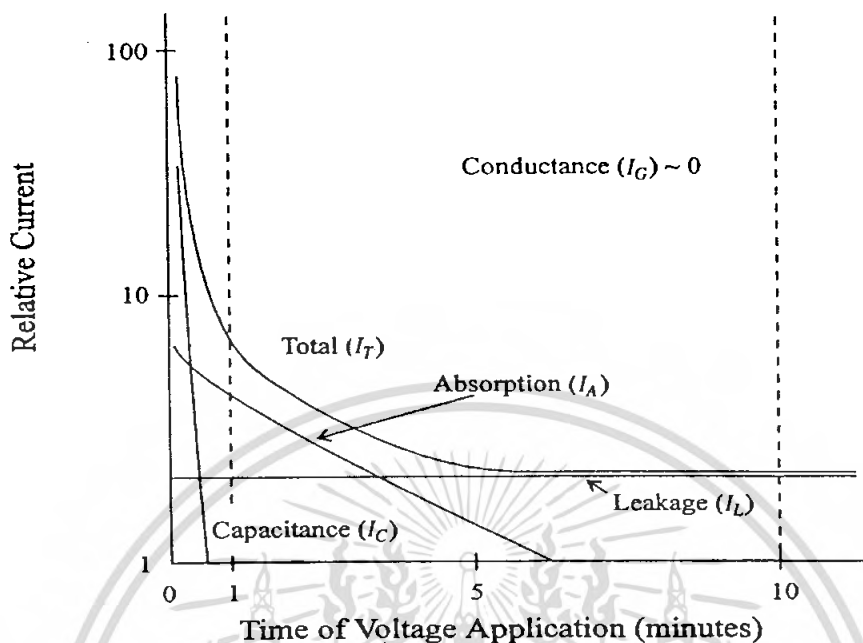


Figure 3—Types of currents for an epoxy-mica insulation with a relatively low surface leakage current and no conductance current

Table 1—Guidelines for dc voltages to be applied during insulation resistance test

Winding rated voltage (V) <sup>a</sup>	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000–2500	500–1000
2501–5000	1000–2500
5001–12 000	2500–5000
>12 000	5000–10 000

<sup>a</sup>Rated line-to-line voltage for three-phase ac machines, line-to-ground voltage for single-phase machines, and rated direct voltage for dc machines or field windings.

#### 5.4 Polarization index readings

The measured insulation resistance will usually rapidly increase when the voltage is first applied, and then gradually approach a relatively constant value as time elapses (see Figure 4). The readings of a dry winding in good condition may continue to increase for hours with a continuously applied constant test voltage. For older types of insulation, a reasonably steady value is usually reached in 10–15 min. Modern types of film-coated wire, as well as epoxy-mica or polyester-mica insulated stator windings, may approach a constant value of insulation resistance in 4 min or less. If the winding is wet or dirty, a low steady value will usually be reached 1 min or 2 min after the test voltage is applied.

The polarization index is normally defined as the ratio of the 10 min resistance value ( $IR_{10}$ ) to the 1 min resistance value ( $IR_1$ ). (See Annex A for the use of other values.) The polarization index is indicative of the slope of the characteristic curve (see Figure 4) and can be used to assess the insulation condition (see

Clause 11 and Clause 12). To provide greater accuracy around the 1 min point and to allow the data to be plotted on log paper, it is also common to take readings at other intervals such as 15 s, 30 s, 45 s, 1 min, 1.5 min, 2 min, 3 min, 4 min, .... and 10 min.

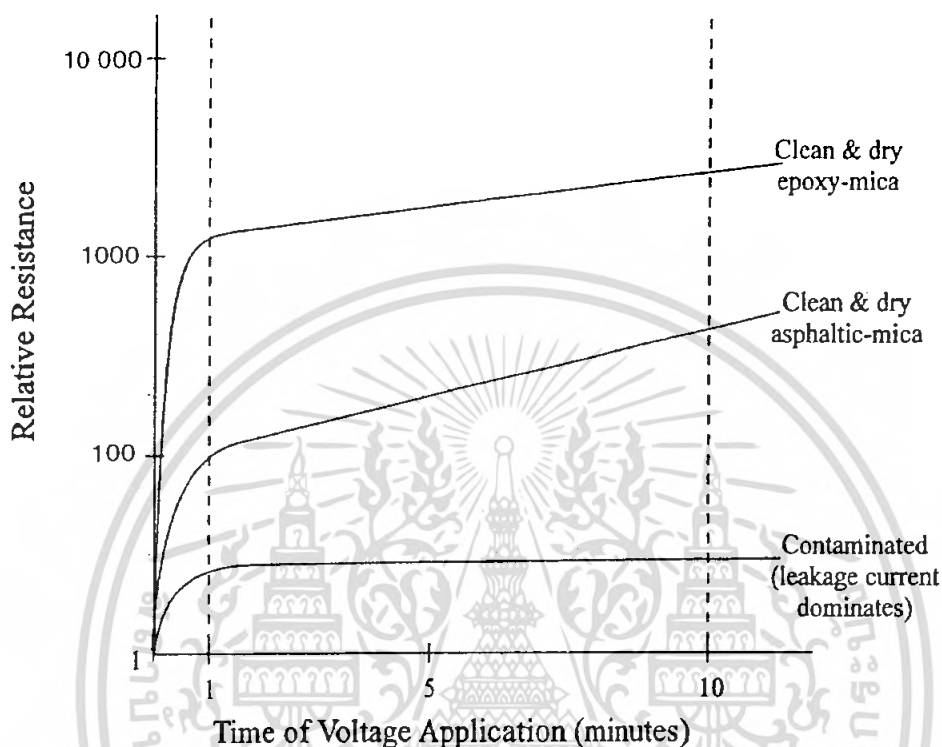


Figure 4—Typical insulation resistance measurements for three different machines

## 5.5 Discharge current

After the applied direct voltage is removed, a suitable discharge circuit should be provided (see Clause 4). The discharge current manifests itself in two components:

- A capacitive discharge current component, which decays nearly instantaneously, depending upon the discharge resistance.
- The absorption discharge current, which will decay from a high initial value to nearly zero with the same characteristics as the initial charging current but with the opposite polarity. This decay may take more than 30 min depending on the insulation type and machine size of the test specimen.

## 6. Factors affecting insulation resistance

### 6.1 Effect of surface condition

The surface leakage current ( $I_L$ ) is dependent upon foreign matter, such as oil and/or carbon dust on the winding surfaces outside the slot. The surface leakage current may be significantly higher on large turbine generator rotors and dc machines, which have relatively large exposed creepage surfaces. There may also be

an increase in the surface leakage current on machines where a stress-control coating has been applied to the endwindings.

Dust (or salts) on insulation surfaces, which are ordinarily nonconductive when dry, may become partially conductive when exposed to moisture or oil, and, thus, can lower the insulation resistance. If the insulation resistance or polarization index is reduced because of contamination, it can usually be restored to an acceptable value by cleaning and drying.

## 6.2 Effect of moisture

Regardless of the cleanliness of the winding surface, if the winding temperature is at or below the dew point of the ambient air, a film of moisture may form on the insulation surface, which can lower the insulation resistance or polarization index. The effect is more pronounced if the surface is also contaminated, or if cracks in the insulation are present. Note that the effects of moisture contamination on a healthy winding should not preclude obtaining acceptable readings.

Some types of older winding insulation systems are hygroscopic (easily absorb water) and moisture may be drawn into the body of the insulation from the humid ambient air. This is particularly true for the older asphaltic-mica and shellac mica-folium insulating materials, as well as for some insulating strips used between uninsulated copper conductors in large turbine generator rotors. Absorbed moisture increases the conduction current ( $I_G$ ) and significantly lowers the insulation resistance.

In-service machines are usually at a temperature above the dew point. When tests are to be conducted on a machine that has been in service, the tests should be made before the machine winding temperature drops below the dew point.

Machines that are out-of-service (without space heaters) are frequently tested when the winding temperature is below the dew point and may have significantly lower than expected insulation resistance and polarization index readings due to moisture contamination (see Clause 11). It may be necessary to dry out these machines to obtain acceptable readings prior to returning these machines to service or performing high-voltage testing. For appropriate dry-out procedures, consult with the equipment manufacturer. The history of the machine, visual inspections, and other test results may help in assessing the potential risk of returning to service a machine with low insulation resistance and/or polarization index readings due to moisture contamination. It is recommended that a machine with low PI and  $IR_1$  readings *not* be subjected to further high-voltage testing.

## 6.3 Effect of temperature

### 6.3.1 General theory

The insulation resistance value for a given system, at any given point in time, varies inversely, on an exponential basis, with the winding temperature. There is a contrast between the temperature dependence of resistivity in metals and non-metallic materials, especially in good insulators. In metals, where there are numerous free electrons, higher temperature introduces greater thermal agitation, which reduces the mean free path of electron movement with a consequent reduction in electron mobility and an increase in resistivity. However, in insulators, an increase in temperature supplies thermal energy, which frees additional charge carriers and reduces resistivity. This temperature variation affects all of the current components identified in 5.1 except for the geometric capacitive current. The insulation resistance value of a winding depends upon the winding temperature and the time elapsed since the application of the voltage. The thermal mass of the machine being tested is generally so large that the temperature differential of the winding between the 1 min and 10 min readings of the insulation resistance is negligible, except for measurements during a dryout at rated current. In order to avoid the effects of temperature in trend analysis, subsequent tests should be conducted when the winding is near the same temperature as the previous test. However, if the winding temper-

ature cannot be controlled from one test time to another, it is recommended that all insulation test values be corrected to a common base temperature of 40 °C using Equation (2). Though the corrected value is an approximation, this permits a more meaningful comparison of insulation resistance values obtained at different temperatures.

The correction may be made by using Equation (2):

$$R_C = K_T R_T \quad (2)$$

where

- $R_C$  is insulation resistance (in megohms) corrected to 40 °C,
- $K_T$  is insulation resistance temperature coefficient at temperature  $T$  °C (from 6.3.2 or 6.3.3),
- $R_T$  is measured insulation resistance (in megohms) at temperature  $T$  °C.

For winding temperatures below the dew point, it is difficult to predict the effect of moisture condensation on the surface, therefore an attempt to correct to 40 °C for trend analysis would introduce an unacceptable error. In such cases, it is recommended that the history of the machine tested under similar conditions be the predominant factor in determining suitability for return to service. However, since moisture contamination normally lowers the insulation resistance and/or polarization index readings, it is possible to correct to 40 °C for comparison against the acceptance criteria (see Clause 12).

There is no effective means for converting the insulation resistance measured under a specific humidity to the insulation resistance that would occur at a different humidity.

### 6.3.2 Field measurements for determining $K_T$

The recommended method of obtaining data for an insulation resistance versus winding temperature curve is by making measurements at several winding temperatures, all above the dew point, and plotting the results on a semi-logarithmic scale. When a logarithmic scale is used for the insulation resistance and a linear scale for the temperature, the test points should approximate a straight line that can be extrapolated to obtain the *corrected value* at 40 °C.

### 6.3.3 Approximating $K_T$

If the temperature effects on the insulation system under test is unknown, an approximate value for the temperature coefficient  $K_T$  may be obtained by using Figure 5 for resistance halving for each +10 °C increment. Note that this is only an approximation and should not be used to calculate insulation resistance at very large temperature differentials from 40 °C or significant errors could result.

NOTE—Insulation resistance halving for a 10 °C increase in temperature is based on testing of some of the insulation systems of the late 1950s and may not be strictly true for all insulation systems. More recent measurements have indicated a correction factor for insulation resistance halving in the range 5–20 °C. A variation in the  $K_T$  factor can lead to significant errors in  $R_C$  magnified by the differential between the winding temperature and 40 °C.

$K_T$  can also be approximated for insulation resistance halving for a 10 °C rise in winding temperature by application of Equation (3).

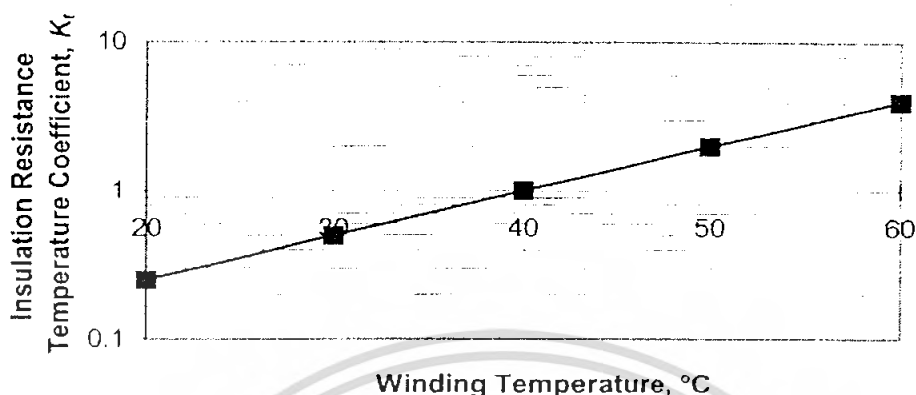


Figure 5—Approximate insulation resistance coefficient,  $K_T$ , for insulation halving for 10 °C rise in temperature

For example, if the winding temperature at test time was 35 °C, and the insulation was such that the resistance halved for every 10 °C, then the  $K_T$  for correction to 40 °C would be derived in the following way:

$$K_T = (0.5)^{(40-35)/10} \quad (3)$$

or

$$K_T = (0.5)^{(40-35)/10} = (0.5)^{5/10} = (0.5)^{1/2} = 0.707$$

#### 6.3.4 Polarization index correction

When the polarization index is used with the insulation resistance to determine the insulation condition, it is not necessary to make a temperature correction to the *P.I.* Since the machine temperature does not change appreciably between the 1 min and 10 min readings, the effect of temperature on the polarization index is usually small. However, when the initial winding temperature is high, a reduction in the temperature of the insulation system during the test time may result in a substantial increase in the insulation resistance between the 1 min and 10 min readings due to the temperature effect (see 6.3.1). The resulting polarization index may be uncharacteristically high, in which case a repeat measurement at or below 40 °C is recommended as a check of the *P.I.* As stated in 6.2, if either the 1 min or 10 min measurements are taken when the winding temperature is below the dew point, the effects of moisture contamination must be considered during interpretation.

#### 6.4 Effect of test voltage magnitude

Guidelines for test voltages are presented in Table 1 (see 5.3). The value of insulation resistance may decrease somewhat with an increase in applied voltage; however, for insulation in good condition and in a thoroughly dry state, substantially the same insulation resistance will be obtained for any test voltage up to the peak value of the rated voltage.

A significant decrease in insulation resistance with an increase in applied voltage may be an indication of insulation problems. These problems may be due to imperfections or fractures of the insulation, aggravated by the presence of dirt or moisture; or the problems may be due to the effects of dirt or moisture alone or result from other deterioration phenomena. The change in resistance is more pronounced at voltages considerably above rated voltage (see IEEE Std 95-1977).

## 6.5 Effect of existing charge on winding resistance measurements

The insulation resistance measurements will be in error if residual charges exist in the insulation. Therefore, prior to measuring the insulation resistance, windings must be completely discharged. Measure the discharge current at the beginning of the test to assure that the winding is completely discharged. A residual charge will show as a reverse deflection of the insulation resistance meter after connections are made but before the voltage is applied. Any reverse deflection should be negligible.

After cessation of application of high direct voltage, grounding of windings is important for safety as well as for accuracy of subsequent tests. The grounding time should be a minimum of four times the charge time (see 5.5).

## 7. Conditions for measuring insulation resistance

Record the ambient temperature, relative humidity, dew point, winding temperature, length of time out-of-service, test voltage, and connection arrangement at the time the test is performed. It is also important to convert the measurement to a 40 °C basis for future comparisons. (For converting insulation resistance values to this temperature, see 6.3).

It is not necessary that the machine be at standstill when insulation resistance tests are being made. It is often desirable to make insulation resistance measurements when the winding is subject to centrifugal forces similar to those occurring in service. In certain cases, it is practical to make periodic insulation resistance measurements while machines are rotating short circuited for drying. Whenever machines are not at standstill during measurement of insulation resistance, precautions should be taken to avoid damage to equipment and injury to personnel.

To obtain insulation resistance measurements for a directly water-cooled winding, the water should be removed and the internal circuit thoroughly dried. In some cases where water-cooled windings are used, the winding manufacturer may have provided a means of measuring the insulation resistance without need for the coolant water to be drained. In general, if the water is not removed, then the conductivity of the water should be greater than 0.25  $\mu\text{s/cm}$ . More information should be available in the winding manufacturer's manual.

## 8. Winding connections for insulation resistance tests

It is recommended, when feasible, that each phase be isolated and tested separately. Separate testing allows comparisons to be made between phases. When one phase is tested, the other two phases should be grounded to the same ground as the stator core or rotor body.

When testing all phases simultaneously, only the insulation to ground is tested and no test is made of the phase-to-phase insulation. The phase-to-phase insulation is tested only when one phase is energized and the other phases are grounded.

The connection leads, brush rigging, cables, switches, capacitors, surge arresters, voltage transformers, and other external equipment may greatly influence the insulation resistance reading. It is recommended that measurements of the insulation resistance be made with all external equipment disconnected and grounded. In all cases, a common ground should be used to avoid any undesirable effects on the test results due to stray losses in the ground circuit.

## 9. Methods of measuring insulation resistance

### 9.1 Direct measurement

Direct measurement of insulation resistance may be made with the following instruments:

- Direct-indicating megohmmeter with self-contained hand or power-driven generator
- Direct-indicating megohmmeter with self-contained battery
- Direct-indicating megohmmeter with self-contained rectifier, using a regulated line powered supply
- Resistance bridge with self-contained galvanometer and batteries

### 9.2 Calculated measurement

Insulation resistance may be calculated from readings of a voltmeter and microammeter using an external (well-regulated) direct-voltage supply.

NOTE—Recommended value of voltage regulation (line) is less than or equal to 0.1%. Deviations from this may lead to ambiguous results due to unpredictable losses from the charging currents associated with fluctuations in the applied voltage (see Annex C).

The voltmeter-ammeter method is a simple method for the determination of the insulation resistance by measurement of the voltage impressed across the insulation and the current through it. A source of constant direct voltage is required, and the voltmeter must be selected to suit the maximum and minimum voltages that may be used. The ammeter is usually a multirange microammeter selected to measure the full range of currents that may be encountered at the voltages used.

The microammeter must be on the highest range or short circuited during the first few seconds of charge so that it will not be damaged by the capacitive charging current and the initial absorption current. When the microammeter is at test voltage, precautions should be taken to ensure the safety of the operator.

The resistance is calculated from Equation (4).

$$IR_{(t)} = E_{(t)} / I_{(t)} \quad (4)$$

where

$IR_{(t)}$  is the insulation resistance in megohms,

$E_{(t)}$  is the voltmeter reading in volts,

$I_{(t)}$  is the ammeter reading in microamperes ( $t$ ) seconds after application of the test voltage.

## 10. Precautions

A finite amount of time is required to bring the voltage impressed on the insulation to the desired test value. Full test voltage should be applied as rapidly as possible and held constant throughout the test.

Test instruments in which the test voltage is supplied by motor-operated generators, batteries, or rectifiers are usually used for making tests of over 1 min duration. It is essential that the voltage of any test source be constant to prevent fluctuation in the charging current (see Annex C). Stabilization of the supplied voltage may be required.

Where protective resistors are used in test instruments, their effect on the magnitude of the voltage applied to the insulation under test should be taken into account. The voltage drop in the resistors may be an appreciable percentage of the instrument voltage when measuring a low insulation resistance.

## 11. Interpretation of insulation resistance and polarization index test results

The insulation resistance and polarization index tests can be used for two purposes:

- a) The insulation resistance test history of a given machine, measured at uniform conditions so far as the controllable variables are concerned, is recognized as a useful way of trending some aspects of the insulation condition over years.
- b) Estimation of the suitability of a machine for the application of appropriate overvoltage tests or for operation may be based on a comparison of present and previous *P.I.* and/or  $IR_1$  values.

### 11.1 Monitoring insulation condition

If the insulation resistance history of the machine is available, comparison of the present test result with previous tests will support concerns about the insulation condition. It is important, however, to compare tests under similar conditions, that is, winding temperature, voltage magnitude, voltage duration, and relative humidity (see Clause 6). For comparison of tests conducted at different winding temperatures, the results should be corrected to the same temperature (see 6.3).

A sharp decline in the  $IR_1$  or *P.I.* from the previous reading may indicate surface contamination, moisture, or severe insulation damage, such as cracks. When a low *P.I.* occurs at an elevated temperature (above 60 °C), a second measurement below 40 °C, but above the dew point, is recommended as a check on the real insulation condition (see 6.3).

For tests conducted under similar conditions, a steady increase in the  $IR_1$ , i.e., a decrease in the absorption current with age may indicate decomposition of the bonding materials, especially when the insulation materials are of the thermoplastic (asphaltic-mica or shellac mica-folium) type.

### 11.2 Suitability for operation or continued testing

When the insulation resistance history is not available, recommended minimum values of the *P.I.* or  $IR_1$  may be used to estimate the suitability of the winding for application of an overvoltage test or for operation (see Clause 12). If the  $IR_1$  or *P.I.* is low because of dirt or excessive moisture, it may be improved to an acceptable value by cleaning and drying. When drying insulation, the *P.I.* can be used to indicate when the drying process may be terminated, i.e., the *P.I.* results have exceeded the recommended minimum. If the  $IR_1$  is low due to severe insulation deterioration or damage, operation and overvoltage testing of the machine are not recommended.

Machines rated 10 000 kVA and less should have either a value of the polarization index or a value of the insulation resistance (at 40 °C) above the minimum recommended values (see Clause 12) for operation or further overvoltage tests.

Machines rated above 10 000 kVA should have both the polarization index and the insulation resistance above the minimum recommended values (see Clause 12) for operation or further overvoltage testing.

If the  $IR_1$  value (at 40 °C) is greater than 5000 MΩ, the *P.I.* may be ambiguous and can be disregarded (see 12.2.2).

For varnished cambric, shellac mica-folium, or asphaltic stator windings, a very high *P.I.* (for example, greater than 8) may indicate that the insulation has been thermally aged, and may have a high risk of failure. If physical inspection (tapping on the insulation, for instance) confirms that the insulation is dry and brittle, it is best not to attempt cleaning or overvoltage testing the winding. Failure may occur at any time if the machine is returned to service.

It may be possible to operate machines with *P.I.* and  $IR_1$  values lower than the recommended minimum values; however, it is not recommended by this standard. In all cases where the test values fall below the recommended minimum values, investigations should be undertaken to determine the cause of such low readings. History of the winding, visual inspections, and other test results should be used to determine advisability of returning the unit to service.

### 11.3 Limitations of the insulation resistance test

Insulation resistance test data is useful in evaluating the presence of some insulation problems such as contamination, absorbed moisture, or severe cracking; however, some limitations are as follows:

- a) Insulation resistance of a winding is not directly related to its dielectric strength. Unless the defect is concentrated, it is impossible to specify the value of insulation resistance at which the insulation system of a winding will fail.
- b) Windings having an extremely large end arm surface area, large or slow-speed machines, or machines with commutators may have insulation resistance values that are less than the recommended value. In these cases, historical trending of  $IR_1$  is invaluable in evaluating insulation condition.
- c) A single insulation resistance measurement at one particular voltage does not indicate whether foreign matter is concentrated or distributed throughout the winding.
- d) Direct-voltage measurements, such as the IR and *P.I.* tests, may not detect internal insulation voids caused by improper impregnation, thermal deterioration, or thermal cycling in form-wound stator coils (see Annex B).
- e) Because insulation resistance tests are conducted while a machine is at standstill, these tests will not detect problems due to rotation, such as loose coils, or vibration leading to endwinding movement.

## 12. Recommended minimum value of polarization index and insulation resistance

### 12.1 Minimum values

The recommended minimum *P.I.* and the recommended minimum value of  $IR_1$  of an ac or dc rotating machine winding are the lowest values at which a winding is recommended for an overvoltage test or for operation.

In some cases, special insulating material or designs may provide lower values. Minimum values for these designs should be based on comparison with the historic test values.

### 12.2 Polarization index

The recommended minimum values of *P.I.* for ac and dc rotating machines are listed in Table 2. Table 2 is based on the thermal class of the insulating materials and, with the exception of noninsulated field windings, applies to all insulating materials regardless of application.

**Table 2—Recommended minimum values of polarization index for all machine components<sup>a</sup> insulation classes per IEC 60085-01: 1984**

Thermal class rating	Minimum <i>P.I.</i>
Class A	1.5
Class B	2.0
Class F	2.0
Class H	2.0

<sup>a</sup>The P.I. test is not applicable to noninsulated field windings (see 12.2.1).

NOTE—If the 1 min insulation resistance is above 5000 M $\Omega$ , the calculated *P.I.* may not be meaningful. In such cases, the *P.I.* may be disregarded as a measure of winding condition (see 12.2.2).

### 12.2.1 Applicability of polarization index on field windings

The purpose of the insulation resistance and polarization index tests is to determine whether or not an insulation system is suitable for operation or overvoltage testing. The windings of some induction machinery rotors are often not insulated from the rotor body; therefore, a polarization index cannot be performed on these induction machinery rotor windings or field windings. If however, the rotor winding is insulated from the rotor body, as in wound induction rotors and salient pole machines, a polarization index test is applicable. The field windings of many very large turbine generators are made with exposed copper that is not encapsulated in insulation. Though isolated from ground and other components via insulating strips, the immense surface area of the noninsulated copper does not exhibit an absorption current ( $I_A$ ), in comparison to the leakage current ( $I_L$ ), when subjected to a direct voltage. The absence of the absorption current alters the IR characteristic curve (see Figure 4) such that there will be very little change in the IR value from the 1 min to the 10 min reading. Therefore, the P.I., which describes the slope of the IR curve, is not applicable to noninsulated field windings.

On the other hand, many other types of field windings do not have appreciable amounts of exposed conductors. These designs use conductors that are fully encapsulated in insulation and have a characteristic absorption current ( $I_A$ ). For these machines, the P.I. can be a worthwhile test for assessing the condition of the insulation system. The recommended minimum, based on the thermal class rating of the field winding insulation, should be used as a reference.

### 12.2.2 Applicability of polarization index when $IR_1$ is greater than 5000 M $\Omega$

When the insulation resistance reading obtained after the voltage has been applied for 1 min ( $IR_1$ ) is higher than 5000 M $\Omega$ , based on the magnitude of applied direct voltage, the total measured current ( $I_T$ ) can be in the submicroampere range (see Figure 1). At this level of required test instrument sensitivity, small changes in the supply voltage, ambient humidity, test connections, and other non-related components can greatly affect the total current measured during the 1–10 min interval required for a P.I. Because of these phenomena, when the  $IR_1$  is higher than 5000 M $\Omega$ , the *P.I.* may or may not be an indication of the insulation condition and is therefore not recommended as an assessment tool.

## 12.3 Insulation resistance

The minimum insulation resistance after 1 min,  $IR_{1 \text{ min}}$ , for overvoltage testing or operation of ac and dc machine stator windings and rotor windings can be determined from Table 3.

The actual winding insulation resistance to be used for comparison with  $IR_{1 \text{ min}}$  is the observed insulation resistance, corrected to 40 °C, obtained by applying a constant direct voltage to the entire winding for 1 min.

The minimum insulation resistance of one phase of a three-phase armature winding tested with the other two phases grounded should be approximately twice that of the entire winding. If each phase is tested separately and guard circuits are used on the two phases not under test, the observed minimum resistance should be three times the entire winding.

**Table 3—Recommended minimum insulation resistance values at 40 °C (all values in MΩ)**

Minimum insulation resistance	Test specimen
$IR_{1 \text{ min}} = kV + 1$	For most windings made before about 1970, all field windings, and others not described below
$IR_{1 \text{ min}} = 100$	For most dc armature and ac windings built after about 1970 (form-wound coils)
$IR_{1 \text{ min}} = 5$	For most machines with random-wound stator coils and form-wound coils rated below 1 kV

NOTES

1— $IR_{1 \text{ min}}$  is the recommended minimum insulation resistance, in megohms, at 40 °C of the entire machine winding

2— $kV$  is the rated machine terminal to terminal voltage, in rms kV

## Annex A

(informative)

### Variants in polarization index

The polarization index (P.I.) is traditionally defined as the ratio of the 10 min insulation resistance ( $IR_{10}$ ) to the 1 min insulation resistance ( $IR_1$ ), tested at a relatively constant temperature. In older insulation materials, such as asphaltic-mica, the absorption currents often take 10 min or more to decay to nearly zero (see Figure 3). In more modern insulation systems for form-wound stators, and especially in random-wound machines, the absorption current may decay to nearly zero in 2–3 min (see Figure 4). Thus, for modern insulation, some users calculate a variant of the conventional P.I. The variants include, but are not limited to, those shown in Equation (A.1) and Equation (A.2).

$$P.I. = IR_{10} / IR_{30s} \quad (A.1)$$

where

$P.I.$  is the polarization index,  
 $IR_{10}$  is the insulation resistance reading after the application of voltage for 10 min,  
 $IR_{30s}$  is the insulation resistance reading after the application of voltage for 30 s.

$$P.I. = IR_5 / IR_1 \quad (A.2)$$

where

$P.I.$  is the polarization index,  
 $IR_5$  is the insulation resistance reading after the application of voltage for 5 min,  
 $IR_1$  is the insulation resistance reading after the application of voltage for 1 min.

The distinguishing features are the shorter times the direct voltage is applied and thus the shorter time that the winding must be grounded (see 6.5). Since in modern windings the absorption current is essentially zero after a few minutes, by using shorter times for the P.I. ratio, the test time can be considerably shortened without any loss of information about the degree of contamination or moisture absorption present. Another variation is to record the insulation resistance every minute and discontinue the test when a stable (three consecutive readings)  $IR$  has been measured.

There are limitations in applying these other ratios:

- There is no standard for what time intervals the  $IR$  values are to be recorded. Different organizations use different ratios.
- There is no agreed upon pass-fail criteria, as has been established for the traditional P.I.
- Users are encouraged to collect data employing shorter time ratios, to enable suitable pass-fail criteria to be developed in the future.

## Annex B

(informative)

### Direct versus alternating voltage testing

Direct-voltage testing is normally done by applying a direct-voltage source between the test specimen conductors and ground and using a dc ammeter to measure the total current. The ratio of the test voltage to the test current will reflect the total resistance between the test specimen and ground. Resistance is determined by Equation (B.1).

$$R = \rho L/A \quad (\text{B.1})$$

where

- $R$  is resistance.
- $\rho$  is resistivity of the material.
- $L$  is length of the path.
- $A$  is cross-sectional area.

Because the resistivity values of the dirt, oil, and water that often contaminate the endwinding areas of rotating machinery are quite low, direct-voltage testing of a contaminated winding normally results in a high surface leakage current and subsequent low resistance reading. This property makes direct-voltage testing a viable method for determining the extent of contamination to an insulation system. In addition, if the insulation system utilizes a cotton-backed tape with mica as the primary electrical insulation, a direct-voltage test might reveal whether or not the cotton has absorbed moisture and has a lower resistivity. Note that most windings manufactured after 1970 do not have these hygroscopic tapes, and a direct-voltage test will not normally detect problems internal to the insulation system, such as thermal deterioration.

Since the primary electrical insulation used in the design of form-wound stator windings is mica, and mica has virtually infinite resistivity (thus a good insulator), only one layer of mica tape would prohibit any direct current. Therefore, if a void exists within the insulation due to improper impregnation, thermal deterioration, or thermal cycling, a direct-voltage test would be unable to detect it. If however, there exists a severe crack through the entire insulation, it is possible that an electrical track would be established between the copper conductors and ground, and would appear as a low resistance.

When a high alternating voltage is connected between the terminals of the test specimen and ground, the capacitance of the test specimen dominates the current. Capacitance is determined by Equation (B.2).

$$C = \epsilon A/d \quad (\text{B.2})$$

where

- $C$  is capacitance.
- $\epsilon$  is dielectric permittivity of the material.
- $A$  is cross-sectional area.
- $d$  is the thickness of the material.

Since the dielectric permittivity of an insulation system is greatly affected by the presence of voids and/or water, an alternating-voltage test is more sensitive than direct-voltage tests with regard to detection of internal insulation problems associated with all types of insulation systems. Because of the different test capabilities, both a dc and an ac test should be conducted to more completely assess the condition of an insulation system.

## Annex C

(informative)

### Regulation in power supplies used for insulation resistance measurement

The regulation of power supplies used in insulation resistance (IR) measuring equipment is important because variations in the test voltage translate into variations in the measurement. This can be seen by considering the relationship in Equation (C.1):

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (\text{C.1})$$

where

$i(t)$  is the current response.

$\frac{dv(t)}{dt}$  is variation in voltage.

$C$  is capacitance of the object under test.

This variation in the current due to voltage fluctuations is translated into a variation in the insulation resistance (apparent resistance  $R_A$ ) according to Equation (C.2):

$$R_A = \frac{V_{dc}}{I_{dc} + i(t)} \quad (\text{C.2})$$

where

$I_{dc}$  is the current of interest due to the insulation resistance.

$i(t)$  is the capacitive current.

$V_{dc}$  is the applied direct voltage.

Combining these relationships gives the variation in the apparent resistance shown in Equation (C.3):

$$R_A = \frac{V_{dc}}{I_{dc} + C[dv(t)/dt]} \quad (\text{C.3})$$

The regulation can be stated as a percentage of the applied voltage and calculated from values found in general practice. As most IR measurements are not more than 2% accurate, this accuracy can be used for the variation in the apparent resistance.

For example, in stator winding insulation systems constructed using modern materials, the lowest IR value generally encountered is approximately 100 M $\Omega$ , a test voltage often used is 5 kV, and large machines have a typical capacitance of approximately 0.25  $\mu\text{F}$ . These numbers give an  $i(t)$  of 1  $\mu\text{A}$  which, to maintain measurement accuracy, necessitates a  $dv/dt \ll 4 \text{ V/s}$ . The regulation would therefore be 4 V/s in 5 kV, or 0.08% regulated.

Most IR measurements are made at frequencies below 1 Hz, so these results apply to a low-frequency regulation of the supply, i.e., susceptibility to slowly varying fluctuations in the line voltage. It follows that the 50/60 Hz ripple in the supply may only have a minor impact when considering supply regulation, since the bandwidth of the measurement limits the impact of fluctuations at these frequencies.



## ประวัติผู้แต่ง



นายทรงพล เจียมจิตศิริพงษ์  
นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายเทพฤทธิ์ แสนศักดิ์  
นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวณัฐชนันญชิตา โสเจยยะ  
นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายศุภกร ออมสินสมบูรณ์  
นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้