

ข้อมูลข่าวสารของมหาวิทยาลัยบริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ กฟ
อว ๗๒

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7ว

การยอมรับวิธีทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มแบบกึ่งวงรอบ
ของขดลวดมอเตอร์พัดลม

โดย

นาย สุรินทร์ อรรถกิจการค้า
นักวิทยาศาสตร์ 6ว

กลุ่มงานฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ



บทคัดย่อ

วิธีการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดทองแดงมอเตอร์พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องทำการวัดค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (t_1) ความต้านทานเริ่มต้น (R_1) และความต้านทานสุดท้าย (R_2) ของขดลวดทองแดงหุ้มฉนวนของมอเตอร์ที่มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรเพิ่มค่าอุณหภูมิขณะทำงานจนถึงจุดอุณหภูมิคงที่สูงสุด (t_2) ซึ่งปริมาณเหล่านี้เป็นปริมาณขาเข้าของกระบวนการทดลอง เมื่อนำค่ามาคำนวณตามตัวแบบจำลอง (Model) ของกระบวนการทดลอง จะให้ผลลัพธ์เป็นค่าอุณหภูมิเพิ่ม (Δt) ซึ่งเป็นปริมาณขาออก เมื่อทำการทดสอบซ้ำหลายๆครั้งเพื่อหาค่ารีพีท (Repeatability) ของค่าอุณหภูมิเพิ่ม ซึ่งเป็นปริมาณขาออกของกระบวนการทดลองแบบครบวงจร และต้องรอให้ค่าความต้านทาน และอุณหภูมิของขดลวดลดลงถึงจุดเริ่มต้น (R_1 และ t_1) ทุกครั้งก่อนการทดลองรอบต่อไป ในการทดลองเสร็จสิ้นกระบวนการครบ 1 วงรอบจะใช้เวลา 1 วัน ดังนั้นหากต้องการทำรีพีท 5 ซ้ำ จะต้องใช้เวลาในการทดลองถึง 5 วัน แต่ถ้าใช้วิธีการทดลองหาค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยกระบวนการทดลองแบบกึ่งวงรอบ จะสามารถทำการทดลองได้รวดเร็วขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องรอให้ค่าความต้านทาน และอุณหภูมิลดลงไปถึงจุดเริ่มต้น เพียงแต่ให้ลดค่าลงสักระยะหนึ่ง ก็สามารถทดลองหาค่าอุณหภูมิเพิ่มรอบใหม่ได้ วิธีการนี้ทำรีพีท 5 ซ้ำใช้เวลาเพียง 1 วันเท่านั้น เมื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณทั้งหมดนำมาคำนวณหาค่าอุณหภูมิเพิ่มได้ตามตัวแบบจำลองดังกล่าว ผลลัพธ์ทั้งสองวิธีนี้อาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาทดลองนี้จึงต้องแสดงวิธีการยืนยันเพื่อการยอมรับว่า วิธีการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มแบบกึ่งวงรอบจะให้ผลลัพธ์เหมือนกับวิธีการทดลองแบบครบวงจร โดยการวิเคราะห์สมมติเชิงเส้นตรงของค่าไบอัส (ผลต่างค่าอุณหภูมิเพิ่มแบบกึ่งวงรอบและแบบครบวงจร) กับค่ามาตรฐาน (ค่าอุณหภูมิเพิ่มแบบครบวงจร) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเส้นถดถอย (regression) ของไบอัสกับความคลาดเคลื่อนของการวัด เพื่อหาค่าสัดส่วนความแปรปรวน (F) ของเส้นถดถอยกับความคลาดเคลื่อนของการวัด ถ้าค่า F มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์กำหนดในช่วงวิกฤต ($F_{0.05, v_1, v_2}$) ในตาราง F-distribution ที่นัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการทดลองทั้งสองวิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันที่นัยสำคัญ 5% แต่ถ้าค่า F มีค่ามากกว่าเกณฑ์กำหนดในช่วงวิกฤต แสดงว่าการทดลองทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันมากพออย่างมีนัยสำคัญที่ 5% ซึ่งสามารถหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าไบอัสกับค่ามาตรฐานได้

ผลการศึกษาดทดลองนี้จากพัดลมมาตรฐาน (Master) ขนาดต่างๆจำนวน 6 ตัว ที่ทราบค่าอุณหภูมิเพิ่มมาตรฐานจากการทดลองแบบครบวงจร นำมาทำการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มรีพีท 5 ซ้ำแบบกึ่งวงรอบ จะได้ค่าสัดส่วนของความแปรปรวน (F) น้อยกว่าค่าเกณฑ์วิกฤตที่ $F_{0.05, 1, 4} = 7.71$ แสดงว่าค่าความแปรปรวนรอบเส้นถดถอยของค่าไบอัสที่อธิบายด้วยค่ามาตรฐานไม่มีนัยสำคัญพอ ที่ระดับนัยสำคัญ 5% จึงสรุปได้ว่า วิธีการทดลองหาค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยกระบวนการวัดแบบกึ่งวงรอบได้ผลเหมือนกับวิธีการทดลองจากกระบวนการวัดแบบครบวงจร ซึ่งวิธีการวัดแบบกึ่งวงรอบนี้ จะสามารถประหยัดเวลาในการทำการทดลองได้ 5 เท่า และค่าใช้จ่ายในการทดลองได้ 2 เท่า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ		
สารบัญตาราง		ก
สารบัญรูป		ข
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1 ปัญหาและที่มาของปัญหา		1
1.2 วัตถุประสงค์		2
1.3 ขอบเขตการศึกษา		2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ		2
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน		2
บทที่ 2 พื้นฐานความรู้		3
2.1 ค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลม		3
2.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด		6
2.3 ตัวแบบจำลองของการวัดของปริมาณขาเข้า และขาออก		8
2.4 การคิดค่าใช้จ่ายในการทดสอบค่าอุณหภูมิเพิ่ม		10
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ		11
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์		11
3.2 วิธีดำเนินการ		11
บทที่ 4 ผลการทดลอง		16
4.1 การหาความต้านทาน R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร		16
4.2 การหาความต้านทาน R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร		22
4.3 ค่าอุณหภูมิเพิ่ม (Δt) ของขดลวดมอเตอร์พัดลม		28
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน		30
บทที่ 5 วิจัยและสรุปผลการทดลอง		31
กิตติกรรมประกาศ		32
บรรณานุกรม		33
ภาคผนวก		34

เลขหมู่ ๐๕ กฟ
 ๐๑ ๗๒
เลขทะเบียน 1159๒
วันที่ 16 / ๘.๑. 461

ด้วยฉันทนทานการ
จาก
๐๕.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การเพิ่มอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสูงสุดของฉนวนแต่ละชนิด	4
ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิ	5
ตารางที่ 3 ANOVA ทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง	7
ตารางที่ 4 แรงดันไฟฟ้าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	12
ตารางที่ 5 ชีตจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	12
ตารางที่ 6 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER1	16
ตารางที่ 7 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER2	17
ตารางที่ 8 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER3	18
ตารางที่ 9 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER4	19
ตารางที่ 10 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER5	20
ตารางที่ 11 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER6	21
ตารางที่ 12 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER1	22
ตารางที่ 13 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER2	23
ตารางที่ 14 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER3	24
ตารางที่ 15 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER4	25
ตารางที่ 16 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER5	26
ตารางที่ 17 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER6	27
ตารางที่ 18 ค่า R_2 และ Δt ของขดลวดมอเตอร์พัดลม โดยวิธีวัดแบบครบวงจร	28
ตารางที่ 19 ค่า R_2 และ Δt ของขดลวดมอเตอร์พัดลม โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร	28
ตารางที่ 20 การกระจายค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)	29
ตารางที่ 21 ANOVA ค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)	29
ตารางที่ 22 ผลรวมกำลังสองค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)	30
ตารางที่ 23 ANOVA ทดสอบนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง	30
ตารางที่ 24 F - distribution	35

ข
สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 กราฟทอร์ก และอัตราเร็ว	3
รูปที่ 2 ประสิทธิภาพมอเตอร์	4
รูปที่ 3 สมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด	6
รูปที่ 4 แผนภูมิการทดลองอุณหภูมิเพิ่มแบบครบวงจร	14
รูปที่ 5 แผนภูมิการทดลองอุณหภูมิเพิ่มแบบกึ่งวงจร	15
รูปที่ 6 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER1	16
รูปที่ 7 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER2	17
รูปที่ 8 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER3	18
รูปที่ 9 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER4	19
รูปที่ 10 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER5	20
รูปที่ 11 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER6	21
รูปที่ 12 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER1	22
รูปที่ 13 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER2	23
รูปที่ 14 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER3	24
รูปที่ 15 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER4	25
รูปที่ 16 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER5	26
รูปที่ 17 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงจร ของพัดลมMASTER6	27
รูปที่ 18 กราฟแผนภาพการกระจายค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)	29

1.1 ปัญหาและที่มาของปัญหา

ค่าอุณหภูมิเพิ่ม เป็นสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งของพัดลมไฟฟ้าเฉพาะมาตรฐานด้านความปลอดภัย ซึ่งมีวิธีการทดลองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพัดลมไฟฟ้ากระแสสลับเฉพาะด้านความปลอดภัย ตาม มอก.934-2533 ซึ่งครอบคลุมเฉพาะพัดลมไฟฟ้ากระแสสลับชนิดตั้งโต๊ะ ชนิดติดผนัง ชนิดตั้งพื้น ชนิดแขวนเพดาน ชนิดสายรอบตัว และชนิดระบายอากาศ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 โวลต์ มีหรือไม่มีตัวเก็บประจุ และใช้งานเฉพาะภายในอาคาร หรือสถานที่อื่นโดยมีลักษณะการใช้งานคล้ายกัน โดยกำหนดไว้ว่า ค่าอุณหภูมิเพิ่มของส่วนต่างๆ เช่น ที่ขดลวดหุ้มฉนวนของมอเตอร์พัดลม และตัวเปลี่ยนอัตราเร็ว (ถ้ามี) ต้องมีค่าไม่เกิน 60°C ในกรณีวัสดุฉนวนประเภทเอ (คือวัสดุฉนวนที่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่กำหนดให้ 105°C ได้เป็นเวลานาน) และ ต้องไม่เกิน 75°C ในกรณีวัสดุฉนวนประเภทบี (คือวัสดุฉนวนที่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่กำหนดให้ 120°C ได้เป็นเวลานาน) หรือประเภทอื่นที่ทนอุณหภูมิได้สูงกว่า เนื่องจากวิธีการวัดค่าอุณหภูมิเพิ่มไม่สามารถวัดค่าโดยตรงด้วยเทอร์โมคัปเปิล จึงต้องทำการวัดด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานขดลวดทองแดงที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากสูตรตัวแบบจำลองต่อไปนี้

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \text{สมการที่ 1.}$$

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1} (t_1 + 235) - 235 \quad \text{สมการที่ 2.}$$

$$\therefore \Delta t = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1\right)(t_1 + 235) \quad \text{สมการที่ 3.}$$

เมื่อ ปริมาณขาออก : Δt คือ ค่าอุณหภูมิเพิ่ม

ปริมาณขาเข้า : t_1 คือ อุณหภูมิโดยรอบของขดลวดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

R_1 คือ ความต้านทานเริ่มต้นของขดลวดที่อุณหภูมิ t_1

t_2 คือ อุณหภูมิขดลวดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

R_2 คือ ความต้านทานสุดท้ายของขดลวดที่อุณหภูมิ t_2 ซึ่งวัดทันทีเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

การทดลองตามตัวแบบจำลองนี้ สามารถทำได้สองวิธี คือ วิธีการวัดแบบครบวงจร และ การวัดแบบกึ่งวงจร โดยสามารถหาค่ารีฟิทจากปริมาณขาออก และ รีฟิทจากปริมาณขาเข้าตามลำดับ การวัดแบบครบวงจร โดยวัดค่าปริมาณขาเข้าของความต้านทานและอุณหภูมิเริ่มต้น R_1 , t_1 และ ความต้านทานสุดท้าย R_2 ที่เพิ่มค่าตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยแต่ละวงจร จะต้องรอให้ความต้านทาน และอุณหภูมิสุดท้ายลดลงสู่ความต้านทานและอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการวัดรอบต่อไป ในการทดลองแต่ละวงจรจะคำนวณหาค่าปริมาณขาออกของอุณหภูมิเพิ่ม Δt ได้ 1 ค่า ใช้เวลา 1 วัน (ปรับสภาพพัดลมในอุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง+ป้อนไฟทำงานจนอุณหภูมิเพิ่มสูงสุด 2 ชั่วโมง+วัดค่า R_2 เป็นเวลา 60 วินาที+รอให้อุณหภูมิสุดท้ายลดลงสู่อุณหภูมิเริ่มต้น 2 ชั่วโมง) เมื่อทดลองซ้ำหลายๆรอบ จะคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรีฟิทของปริมาณขาออกได้ (จะใช้รีฟิทของปริมาณขาออกนี้เป็นขีดเงื่อนไขการหาค่าความไวที่แน่นอนของระบบการวัด) ซึ่งถ้าต้องการทำรีฟิท 5 ครั้ง จะต้องใช้เวลาทดลองถึง 5 วัน แต่ถ้าใช้วิธีการวัดแบบกึ่งวงจร โดยทำ

การวัดปริมาณขาเข้าของความต้านทานและอุณหภูมิเริ่มต้น R_1, t_1 และทดลองวัดความต้านทานสุดท้าย R_2 ที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเพิ่ม หลังจากนั้นรอให้ความต้านทานและอุณหภูมิลดลงระยะหนึ่งโดยไม่ต้องให้ลดลงถึงค่าเริ่มต้น ก็สามารถทดลองวัดความต้านทานสุดท้าย R_2 ได้อีกครั้งหนึ่ง ทำการทดลองเช่นนี้ซ้ำ 5 รอบ ได้ภายในเวลาเพียง 1 วัน (ปรับสภาพพัสดุในอุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง+ป้อนไฟทำงานจนอุณหภูมิเพิ่มสูงสุด 2 ชั่วโมง+วัดค่า R_2 เป็นเวลา 60 วินาที×5 รอบ) คำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรีพีทของปริมาณขาเข้าของ R_1, t_1 และ R_2 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณขาเข้าเหล่านี้มาคำนวณหาค่าปริมาณขาออกของอุณหภูมิเพิ่ม Δt ได้เช่นกัน (จะใช้ค่าเบี่ยงเบนรีพีทของปริมาณขาเข้าเป็นบดเจ้ท์ในการหาค่าความไม่แน่นอนของระบบการวัด) จะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีนี้จะหาค่าปริมาณขาออก Δt ได้เช่นเดียวกัน แต่อาจมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ จากเอกสาร Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement ข้อ 4.1.4 Note. ระบุไว้ว่า “การหาค่ารีพีททำได้ทั้งจากปริมาณขาเข้า หรือขาออก ถ้าผลลัพธ์เท่ากัน” จึงจำเป็นต้องพิสูจน์เพื่อยืนยันผลลัพธ์ของการวัดจากทั้งสองวิธีนี้เหมือนกันที่นัยสำคัญ 5% โดยการวิเคราะห์จากสมบัติเชิงเส้นตรงของค่าไบอัส (ค่าความแตกต่างของการวัดแบบกึ่งวงรอบและแบบครบวงรอบ) กับค่ามาตรฐาน (ค่าการวัดแบบครบวงรอบ) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเส้นถดถอยและความคลาดเคลื่อนของการวัด และหาค่าสัดส่วนของความแปรปรวน (F) ของเส้นถดถอยและความคลาดเคลื่อนของการวัด ถ้ามีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ค่าวิกฤต ($F_{0.05, v_1, v_2}$) ในตาราง F-distribution แสดงว่าผลการวัดวิธีแบบกึ่งวงรอบและแบบครบวงรอบ เหมือนกัน แต่ถ้ามีค่ามากกว่าค่าเกณฑ์วิกฤต แสดงว่าผลการวัดทั้งสองวิธีนั้นแตกต่างกันที่นัยสำคัญ 5%

1.2 วัตถุประสงค์

การทดลองเพื่อยอมรับวิธีการวัดค่าอุณหภูมิเพิ่ม(โดยวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน) ของขดลวดมอเตอร์พัสดุแบบกึ่งวงรอบและแบบครบวงรอบ ให้ผลลัพธ์เท่ากันที่นัยสำคัญ 5%

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิเคราะห์สมบัติเชิงเส้นตรงของกระบวนการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่ม(โดยวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน) ระหว่างค่าไบอัส (ของการวัดแบบกึ่งวงรอบ กับการวัดแบบครบวงรอบ) และ ค่ามาตรฐานที่ทราบค่า (การวัดแบบครบวงรอบ) ของพัสดุมอเตอร์ จำนวน 6 ตัว

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นการยืนยันความถูกต้องผลลัพธ์ ของการวัดแบบกึ่งวงรอบเหมือนกับแบบครบวงรอบของการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่ม (โดยวิธีเปลี่ยนแปลงความต้านทาน) ของพัสดุไฟฟ้า
2. การวัดแบบกึ่งวงรอบเป็นวิธีการทดลองที่สะดวกรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย
3. เป็นเอกสารอ้างอิงการทำ Validation การวัดรีพีทปริมาณขาเข้า (แบบกึ่งวงรอบ) ในระบบคุณภาพของการทดลองอุณหภูมิเพิ่มของพัสดุไฟฟ้า แทนการวัดรีพีทปริมาณขาออก (แบบครบวงรอบ)
4. เผยแพร่ความรู้แก่ผู้สนใจ

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

6 เดือน : พฤษภาคม 2544 - พฤศจิกายน 2544

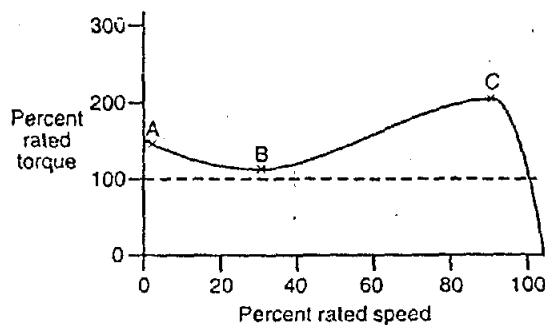
2.1 ค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลม

มอเตอร์ที่ใช้ทำพัดลมจะมีอัตรากำลังเชิงกลของมอเตอร์ระบุเป็น กำลังม้าหรือวัตต์ โดยที่ 1 กำลังม้าเท่ากับ 746 วัตต์ เฟกเตอร์ที่สำคัญสองประการที่ใช้หา กำลังเอาต์พุตเชิงกล คือ ทอร์ก และอัตราเร็ว ทอร์กเป็นปริมาณที่บิดหรือ เปลี่ยนกำลัง โดยปกติจะระบุเป็นหน่วยปอนด์ต่อฟุต (lb/ft) อัตราเร็วของมอเตอร์ จะระบุเป็นรอบต่อนาที (rpm) ฉะนั้น

$$\text{Horse power} = \frac{\text{Speed(rpm)} \times \text{Torque(lb / ft)}}{5252} \quad \text{สมการที่ 4.}$$

ดังนั้นไม่ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดใดๆ กำลังม้าจะขึ้นกับอัตราเร็วและทอร์กเสมอ มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วต่ำ จะมีค่าทอร์กมาก เพื่อให้ได้กำลังเท่าเดิม เพื่อให้ทนต่อค่าทอร์กมากๆ มอเตอร์ที่มีอัตราเร็วต่ำ จำเป็นต้องมีคอมโพเนนต์ที่แข็งแรงกว่ามอเตอร์ที่มีอัตราเร็วสูง เพื่อให้มีอัตรากำลังเท่าเดิม มอเตอร์อัตราเร็วต่ำจะมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และมีราคาแพงกว่ามอเตอร์ที่มีอัตราเร็วสูงเมื่อมีกำลังเท่ากัน ปริมาณค่าทอร์กที่เกิดจากมอเตอร์จะแปรตามอัตราเร็ว และชนิดของมอเตอร์ที่ออกแบบไว้ต่างกัน รูปที่ 1. แสดงค่าทอร์กที่สัมพันธ์กับอัตราเร็ว และประสิทธิภาพกำลังของมอเตอร์หาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Efficiency} &= \frac{\text{output}}{\text{input}} \\ &= \frac{\text{Poweroutput}}{\text{Powerinput} + \text{loss}} \end{aligned} \quad \text{สมการที่ 5.}$$



รูปที่ 1. กราฟทอร์กและอัตราเร็ว

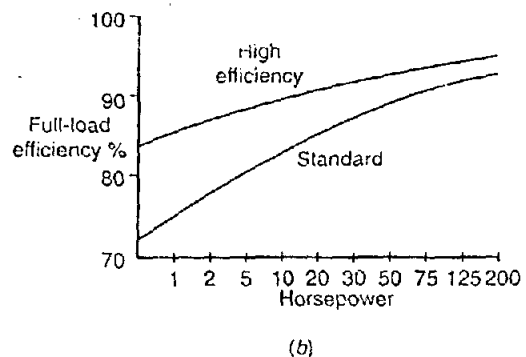
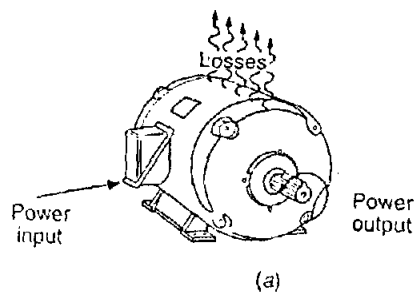
เนื่องจากการสูญเสียกำลัง เอาต์พุตเชิงกลที่ผลิตได้ของมอเตอร์จะน้อยกว่าอินพุตไฟฟ้า ความร้อนเป็นตัวแปรที่กำหนดค่าเอาต์พุตของมอเตอร์เป็นกำลังม้า อินพุตที่ป้อนให้กับมอเตอร์อาจจะส่งผ่านทางเพลลา และ กำลังเอาต์พุต หรือการสูญเสียเป็นความร้อนต่อมอเตอร์ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 75 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพพลังงานของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.(b) จะมีค่าน้อย ทำให้การทำงาน และการสูญเสียในรูปความร้อนลดลง ดังนั้นอินพุตไฟฟ้าที่จะให้ได้กำลังเอาต์พุตเชิงกลน้อยลง ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์จะต้องใช้วัสดุที่เหมาะสม และ การออกแบบที่เหมาะสม และการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ประกอบด้วย

- 1) การสูญเสียที่คอร์ (core loss) เป็นการสูญเสียที่ไปเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นแม่เหล็กของแกน (ฮิสทีรีซิส) และ เป็นการสูญเสียที่ทำให้เกิดกระแสขนาดเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า กระแสเอ็ดดี้ที่ไหลในคอร์
- 2) การสูญเสียที่สเตเตอร์ (stator loss) ความร้อน I^2R สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ ขณะที่กระแส I ไหลผ่านขดลวดตัวนำที่มีความต้านทาน R
- 3) การสูญเสียในโรเตอร์ (Rotor loss) การสูญเสียความร้อน I^2R ในขดลวดโรเตอร์
- 4) การสูญเสียที่โหลดกระจาย เป็นผลที่เกิดจากการรั่วของฟลักซ์เหนี่ยวนำโดยกระแสโหลด และมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามกระแสโหลดยกกำลังสอง
- 5) การสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน การสูญเสียชนิดนี้เกิดขึ้นจากความเสียดทานของอากาศ และของคลัทช์ที่ต่อต้านการหมุนของโรเตอร์

การสูญเสียในรูปความร้อนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสียหายแก่มอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาชนิดของฉนวนที่ใช้เป็น อัตราทนอุณหภูมิฉนวนมอเตอร์ ซึ่งจำแนกออกเป็นอักษรตามที่จะทนอุณหภูมิได้โดยไม่ก่อให้เกิดการเสียหายอย่างรุนแรง ทั้งนี้เนื่องจาก สมบัติของฉนวน อัตราทนอุณหภูมิของฉนวนมีมาตรฐานที่ 40°C และการเพิ่มอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสูงสุดของฉนวนตามตัวอย่างในตารางที่ 1. หรือแบ่งชนิดฉนวนตามค่าเสถียรภาพทางอุณหภูมิเช่น ชนิด Y มีค่า 90°C , ชนิด A มีค่า 105°C , ชนิด E มีค่า 120°C , ชนิด B มีค่า 130°C , ชนิด F มีค่า 155°C และ ชนิด H มีค่า 180°C

ตารางที่ 1. การเพิ่มอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิสูงสุดของฉนวนแต่ละชนิด

Motor	Insulation		
	Class B	Class F	Class H
Without SF. Temp. rise at rated load	80°C	105°C	125°C
With 1.15 SF. Temp. rise at 115% rated load	90°C	115°C	135°C



รูปที่ 2. ประสิทธิภาพมอเตอร์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในขดลวดมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานขดลวดเพิ่มตาม ดังสมการ

$$R = R_0(1 + \alpha_1 \Delta t + \alpha_2 \Delta t^2 + \dots + \alpha_n \Delta t^n) \quad \text{สมการที่ 6.}$$

โดยปกติในช่วงอุณหภูมิจำกัดใกล้ๆ 0°C ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิจะเป็นลักษณะเชิงเส้นคือ

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t) \quad \text{สมการที่ 7.}$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ t ,

R_0 คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง t_0

Δt เป็นค่าอุณหภูมิเพิ่มจากอุณหภูมิอ้างอิง t_0

α เป็น สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิของความต้านทานวัสดุ ดังแสดงค่าในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. สัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิ

วัสดุ	$\alpha (^{\circ}\text{C}^{-1})$
นิกเกิล	0.0067
เหล็ก	0.002 ถึง 0.006
ทังสเตน	0.0048
อลูมิเนียม	0.0045
ทองแดง	0.0043
ตะกั่ว	0.0042
เงิน	0.0041
ทอง	0.004
ทองคำขาว	0.00392
ปรอท	0.00099

หาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ t_1 และ t_2 ดังนี้

$$R_1 = R_0(1 + \alpha(t_1 - t_0))$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha(t_2 - t_0))$$

อัตราส่วน $R_2/R_1 = \frac{(1 + \alpha t_2 - \alpha t_0)}{(1 + \alpha t_1 - \alpha t_0)}$

เมื่อ t_0 เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น, t_2 เป็นอุณหภูมิสุดท้าย และ t_1 เป็นอุณหภูมิอ้างอิง

แทนค่า t_0 ใกล้ 0 และ α ของโลหะทองแดงจากตารางข้างบนมีค่า 0.0043

จะได้อัตราส่วน $R_2/R_1 = \frac{(t_2 + 235)}{(t_1 + 235)}$ สมการที่ 8.

$\therefore t_2 = \frac{R_2}{R_1}(t_1 + 235) - 235$ สมการที่ 9.

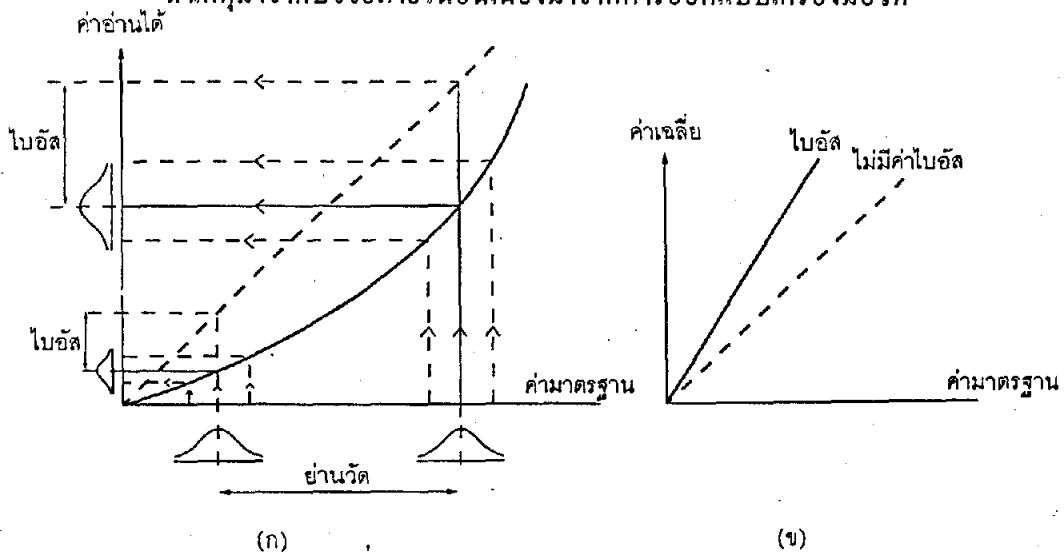
สามารถใช้สูตรข้างบนนี้หาค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีเปลี่ยนค่าความต้านทานขดลวดทองแดงของ

มอเตอร์ไฟฟ้าได้ตามต้องการคือ $\Delta t = t_2 - t_1 = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1\right)(t_1 + 235)$ สมการที่ 10.

2.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

สมบัติเชิงเส้นตรง (linearity) ของระบบการวัด หมายถึงการที่ค่าไบอัสของระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านการวัด (working range) ของระบบการวัด ดังแสดงในรูปที่ 3 ค่าไบอัสจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนย่านวัดไป ในรูปที่ 3. ก) ค่าความแม่นยำ (precision) ของค่าวัดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงย่านวัดไป ในการพิจารณาสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด จะได้มาจากการเลือกชิ้นงานตลอดช่วงย่านวัด เพื่อศึกษาถึงค่าไบอัสที่แต่ละค่ามีต่อค่ามาตรฐาน (master) แล้วพิจารณาถึงค่าเปลี่ยนแปลงค่าไบอัส (ค่าความชัน) และถ้าพบว่า ระบบการวัดขาดสมบัติเชิงเส้นตรงแล้ว มีความจำเป็นจะต้องพิจารณหาสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งดังต่อไปนี้

- เครื่องมือวัดมิได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้อง ทั้งที่ด้านล่าง และ ด้านบนของย่านการวัด ที่ทำการพิจารณา
- ความคลาดเคลื่อนที่ชิ้นงานมาตรฐาน (master) ที่มีขนาดเล็ก และขนาดใหญ่
- เครื่องมือวัดมีความสึกหรอ
- สาเหตุมาจากปัจจัยภายในอันเนื่องมาจากการออกแบบเครื่องมือวัด



รูปที่ 3. สมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

การประเมินผลสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) ทำการเลือกชิ้นงาน 6 ชิ้น (ขึ้นอยู่กับขนาดความผันแปรของขบวนการที่ศึกษา) ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของระบบการวัด
- 2) ทำการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ 5 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมมาตรฐานแบบครบวงจร ทำการหาค่าเฉลี่ยแต่ละชิ้น เพื่อใช้กำหนดเป็นค่ามาตรฐาน (master) สำหรับการประเมินผลสมบัติเชิงเส้นตรง
- 3) เลือกผู้ทดสอบที่มีความสามารถในระบบการวัดนี้เช่นเดียวมา 1 คน ให้ทำการวัดแบบถึงวงรอบชิ้นงาน master ดังกล่าว ชิ้นละ 5 ครั้ง โดยให้ถือชิ้นงานที่วัดอย่างสุ่ม
- 4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้น พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แตกต่างไปกับแต่ละค่ามาตรฐาน (master) โดยที่ $\text{ค่าไบอัส} = \text{ค่าเฉลี่ยของค่าวัด} - \text{ค่ามาตรฐาน}$

5) เขียนกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจาย โดยให้แกนนอน (X) หมายถึงค่ามาตรฐาน (master) และ แกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส (ดูรูปที่ 18) จากนั้นทำการพิจารณา สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วย ตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง (linear regression) สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดย

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \quad \text{สมการที่ 11.}$$

เมื่อ

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}, \quad S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

ถ้าค่า R^2 มีค่าสูงพอ (โดยปกติ ควรมีค่ามากกว่า 0.70) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบการแปรปรวน (ANOVA) และหาค่าสัดส่วนการแปรปรวน (F) ตามตารางที่ 3. ถ้าค่า F มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ค่าวิกฤต $F_{0.05; V_1, V_2}$ แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นถดถอยของค่าไบอัสไม่มีขนาดมากพอ แต่ถ้ามีค่ามากกว่า แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นถดถอยของค่าไบอัสสามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่ามาตรฐานที่นัยสำคัญระดับ 0.05

ตารางที่ 3 ANOVA ทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = \hat{\beta}_1 S_{XY}$	1	$MS_R = SS_R/1$	MS_R/MS_E
ความคลาดเคลื่อนการวัด	$SS_E = S_{YY} - SS_R$	n-2	$MS_E = SS_E/(n-2)$	
ผลรวม	S_{YY}	n-1		

6) ถ้าค่าไบอัส และค่ามาตรฐานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ทำการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นตรง

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad \text{สมการที่ 12.}$$

เมื่อ

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

7) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัดโดยที่การหาความผันแปรของชิ้นงาน, ดัชนีเชิงเส้นตรง = $\hat{\beta}_1$. ความผันแปรของกระบวนการ สมการที่ 13.

การแยกแยะงานดีงานเสีย, ดัชนีเชิงเส้นตรง = $\hat{\beta}_1 \cdot (USL - LSL)$ สมการที่ 14.

ดังนั้น %ดัชนีเชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = $\frac{\text{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\%$

%ดัชนีเชิงเส้นตรงของความคลาดเคลื่อนอนุโลม = $\frac{\text{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{USL - LSL} \times 100\%$

โดยที่, USL = ค่าขีดจำกัดบนที่ระบุ และ LSL = ค่าขีดจำกัดล่างที่ระบุ

จากสมการข้างบน ให้พิจารณาว่าระบบการวัดดังกล่าวใช้สำหรับการวัดความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการ หรือสำหรับแยกแยะงานดีงานเสีย โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจคือ

%ดัชนีเชิงเส้นตรง < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข

$5\% \leq$ %ดัชนีเชิงเส้นตรง < 10% อาจจะยอมรับได้โดยพิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่าใช้จ่าย การประยุกต์ใช้

%ดัชนีเชิงเส้นตรง $\geq 10\%$ ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

2.3 ตัวแบบจำลองของการวัด (Modeling of the measurement) ของปริมาณขาเข้า และ ขาออก

1. โดยทั่วไป ค่าคาดคะเน Y ไม่ได้ถูกวัดโดยตรง แต่ถูกหาจากปริมาณอื่นจำนวน N ค่า คือ X_1, X_2, \dots, X_N ผ่านฟังก์ชันความสัมพันธ์ f :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad \text{สมการที่ 15.}$$

หมายเหตุ

เพื่อเป็นการประหยัดตัวสัญลักษณ์ สัญลักษณ์ที่เหมือนกันถูกใช้สำหรับปริมาณทางกายภาพ (measurand) และสำหรับตัวแปรสุ่มที่แสดงผลลัพธ์ขาออกของการสังเกตของปริมาณนั้น เมื่อกำหนดว่า X_i มีการกระจายความเป็นไปได้โดยเฉพาะ สัญลักษณ์ถูกใช้ในภายหลัง สมมติว่า ปริมาณทางกายภาพสามารถถูกแบ่งลักษณะโดยค่าหน่วยที่สำคัญ

- 1) ในอนุกรมของการสังเกต ค่าสังเกตที่ k ของ X_i แทนด้วย $X_{i,k}$ เช่น ถ้า R แทนค่าความต้านทานของตัวความต้านทาน ค่าสังเกตที่ k ของความต้านทานแทนด้วย R_k
- 2) ค่าคาดคะเนของ X_i แทนด้วย x_i

ตัวอย่าง ถ้าความต่างศักย์ V ป้อนให้กับขั้วของ ตัวความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิที่มีความต้านทาน R_0 ที่อุณหภูมิ t_0 และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเชิงเส้นตรงของความต้านทานคือ α กำลังงาน P (measurand) สิ้นเปลืองโดยตัวความต้านทานที่อุณหภูมิ t ขึ้นกับ V, R_0, α และ t สอดคล้องกับ

$$P = f(V, R_0, \alpha, t) = V^2/R_0[1+\alpha(t-t_0)]$$

หมายเหตุ การวัดวิธีอื่นของ P ควรออกแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ต่างกันไป

2. ปริมาณขาเข้า (input) X_1, X_2, \dots, X_N มีผลต่อปริมาณขาออก (output) Y อาจขึ้นอยู่กับตนเองแสดงเป็น measurand และยังสามารถขึ้นอยู่กับปริมาณอื่น รวมทั้ง ค่าแก้ และตัวประกอบค่าแก้สำหรับการยังผลเชิงระบบ ดังนั้น ความสัมพันธ์ที่สลับซับซ้อนของ f อาจไม่สามารถเขียนให้ชัดเจนได้ ยิ่งไปกว่านั้น f อาจหาจากการทดลอง หรือเป็นจริงแต่เพียงในการคำนวณตัวเลข ฟังก์ชัน f ในที่นี้อธิบายในลักษณะที่กว้างขวาง โดยเฉพาะอาจมีปริมาณมากมาย รวมทั้ง ค่าแก้ทั้งหมด และ ตัวประกอบค่าแก้ที่อาจเป็นส่วนที่มีนัยสำคัญของค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์การวัด

ดังนั้น ข้อมูลชี้บ่งว่า f ไม่สามารถออกแบบจำลองถึงระดับลึกพอกับที่ต้องการความถูกต้อง ของผลลัพธ์การวัด ปริมาณขาเข้าส่วนเพิ่มจะต้องรวมอยู่ใน f เพื่อกำจัดความไม่พอเพียง สิ่งนี้อาจต้องการนำพาซึ่งปริมาณขาเข้าที่สะท้อนความรู้ที่ไม่สมบูรณ์ของปรากฏการณ์ที่มีผลต่อ measurand ในตัวอย่างข้อ 1) ปริมาณขาเข้าที่ต้องเพิ่มอาจต้องการในการนับสำหรับการกระจายอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอที่ทราบที่กร่อมตัวความต้านทาน สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงของตัวความต้านทาน หรือขึ้นอยู่กับความดันอากาศด้วย

หมายเหตุ นอกเหนือจากสมการที่ 15. อาจเป็นแบบจำลองในรูป $Y = X_1 - X_2$ เช่นการเปรียบเทียบการหาค่าสองค่าของปริมาณเดียวกันของ X

3. ชุดของปริมาณขาเข้า x_1, x_2, \dots, x_N อาจจัดในจำพวกดังนี้

3.1 ปริมาณซึ่งค่าที่วัด และความไม่แน่นอน ถูกหาค่าวัดโดยตรงในกระบวนการวัดนั้น ค่าวัด และความไม่แน่นอนเหล่านี้ อาจหาได้จาก เช่นตัวอย่าง การสังเกตครั้งเดียว การสังเกตซ้ำๆ หรือ การตัดสินใจโดยอาศัยหลักประสบการณ์ และอาจรวมการหาค่าแก้ให้กับการอ่านค่าของเครื่องมือวัด และ ค่าแก้สำหรับปริมาณที่มีอิทธิพล เช่น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความดันบรรยากาศ และ ความชื้น

3.2 ปริมาณซึ่งค่าที่วัด และความไม่แน่นอน ถูกนำเข้ามาในการวัดจากแหล่งกำเนิดภายนอก ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการวัดที่สอบเทียบแล้ว วัสดุอ้างอิงที่มีการรับรอง และข้อมูลอ้างอิงหาจากหนังสือเอกสารคู่มือ

4. ค่าคาดคะเน (estimate) ของปริมาณที่ต้องการหา (measurand) Y ใช้แสดงค่าด้วย y ซึ่งหาได้จากสมการที่ 15. เป็นการใช้ค่าคาดคะเนขาเข้า (input) x_1, x_2, \dots, x_N สำหรับค่าปริมาณจำนวน N คือ X_1, X_2, \dots, X_N ดังนั้นค่าคาดคะเนขาออก (output) y, ซึ่งเป็นผลของการวัดดังแสดงในสมการที่ 16.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad \text{สมการที่ 16.}$$

หมายเหตุ ในบางกรณีค่าคาดคะเน y อาจหาได้จาก

$$1) y = \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(X_{1,k}, X_{2,k}, \dots, X_{N,k})$$

นั่นคือ y หาจากค่าเฉลี่ยของ การหาค่า Y_k ที่ไม่ขึ้นต่อกัน (independent) จำนวน n ค่า ของ Y การหาค่าแต่ละค่า มีค่าความไม่แน่นอนเหมือนกัน และ แต่ละค่าอยู่บนพื้นฐานที่ชุดครบถ้วนของค่าที่ตั้งเกตุจำนวน N ค่า ของ ปริมาณขาเข้า X_i ซึ่งได้รับที่ช่วงเวลาเดียวกัน การหาค่าเฉลี่ยโดยวิธีนี้มักชอบใช้

$$2) y = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_N)$$

เมื่อ $\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{i,k}$ เป็นค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของแต่ละการสังเกต $X_{i,k}$ อาจชอบมากกว่า

เมื่อ f เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเส้นตรง (nonlinear) ของปริมาณขาเข้า X_1, X_2, \dots, X_N

แต่ทั้งสองกรณีจะเหมือนกันถ้า f เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรง (linear) ของ X_i

5. ค่าคาดคะเนความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ได้มาพร้อมกับ ค่าผลลัพธ์คาดคะเนขาออก (y) และ $U_c(y)$ แทนค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined standard uncertainty) ถูกคำนวณค่าจากการเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คาดคะเนของแต่ละค่าคาดคะเนขาเข้า (x_i) และ ค่า $U(x_i)$

6. แต่ละค่าคาดคะเนขาเข้า x_i และค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u(x_i)$ มาจากการกระจายค่าเป็นไปได้อย่างของปริมาณขาเข้า X_i การกระจายความเป็นไปได้นี้อาจอยู่บนพื้นฐานความถี่ นั่นคืออนุกรมของการสังเกต $X_{i,k}$ ของ X_i หรืออาจเป็นค่าการกระจายก่อนหน้า การหาค่าตัวประกอบความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบ A ทางจากความถี่การกระจาย ในขณะที่ การหาค่าแบบ B ถูกหาจากการกระจายครั้งก่อนๆ และต้องตระหนักว่า ในทั้งสองกรณี การกระจายเป็นตัวแบบที่ถูกใช้จะแสดงถึงความรู้ความเข้าใจของเรา

2.4 การคิดค่าใช้จ่ายในการทดสอบค่าอุณหภูมิเพิ่ม

ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ Cost = (E+C+U+M)F+D สมการที่ 17.

ค่าเครื่องมืออุปกรณ์ E = (ค่าเสื่อมราคา 10% ต่อปี+ค่าสอบเทียบต่อปี)/จำนวนตัวอย่างต่อปี

Multimeter Fluke ราคา 42,000 บาท ค่าสอบเทียบ 1,500บาท/ปี ใช้งาน 500 ตัวอย่าง/ปี

Hybrid recorder ราคา 190,000 บาท ค่าสอบเทียบ 7,000บาท/ปี ใช้งาน 500 ตัวอย่าง/ปี

Power source ราคา 325,000 บาท ค่าสอบเทียบ 10,000บาท/ปี ใช้งาน 500 ตัวอย่าง/ปี

ค่าวัสดุทดลอง C = คิดจากวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้จริง

ค่าใช้จ่ายทั่วไป utility U = ค่าไฟฟ้าแสงสว่าง 1.10บาท/ชม., สถานที่ 9บาท/ชม/ตัวอย่าง, ระบบปรับอากาศ 8.25/ชม.

เวลาใช้งาน (แบบครบวงจร) = 5 วัน×6ชม. = 30 ชั่วโมง

(แบบกึ่งวงจร) = 6 ชั่วโมง

ค่าแรงงาน M = เวลาทดสอบ×140บาท/ชั่วโมง/คน

เวลาปฏิบัติงาน(แบบครบวงจร) = 5 วัน ×2 ชม. = 10 ชั่วโมง

(แบบกึ่งวงจร) = 2 ชั่วโมง

ค่า safety factor F = 1.2

ค่าจัดเตรียมเอกสาร D = 20 บาท/หน้า

ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ (แบบครบวงจร)

$$= [(42,000+1,500+190,000+7,000+325,000+10,000)/500+(1.1+9+8.25)30+140*10]*1.2+20$$

$$= 3,740 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ (แบบกึ่งวงจร)

$$= [(42,000+1,500+190,000+7,000+325,000+10,000)/500+(1.1+9+8.25)6+140*2]*1.2+20$$

$$= 1,870 \text{ บาท}$$

∴ อัตราส่วนค่าใช้จ่ายแบบครบวงจรต่อแบบกึ่งวงจร = 3,740/1,870

$$= 2 \text{ เท่า}$$

และอัตราส่วนใช้เวลาระบบครบวงจรต่อแบบกึ่งวงจร = 30/6

$$= 5 \text{ เท่า}$$

เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ.

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

- 1) พัดลมมาตรฐาน Master1 ขนาด 500mm. 140W. 220V. 50Hz.
- 2) พัดลมมาตรฐาน Master2 ขนาด 400mm. 130W. 220V. 50Hz.
- 3) พัดลมมาตรฐาน Master3 ขนาด 350mm. 54W. 220V. 50Hz.
- 4) พัดลมมาตรฐาน Master4 ขนาด 300mm. 38W. 220V. 50Hz.
- 5) พัดลมมาตรฐาน Master5 ขนาด 250mm. 34W. 220V. 50Hz.
- 6) พัดลมมาตรฐาน Master6 ขนาด 200mm. 28W. 220V. 50Hz.
- 7) เครื่อง Multimeter FLUKE 8842 S/N. 47222283
- 8) นาฬิกาจับเวลา ALBA Watch S/N. P01.35
- 9) เครื่องวัดอุณหภูมิ Hybrid recorder S/N. 77005A861
- 10) เครื่องคอมพิวเตอร์ (โปรแกรม excel)
- 11) แหล่งจ่ายไฟฟ้าคงที่ 220V 50Hz. ประกอบด้วย
 - UPS. Syndrome Sd.100
 - Power meter Yokogawa
 - Transformer Reo(Karl kolb)
- 12) ที่หยุดใบพัด พัดลม
- 13) ก่อตั้งสวิทช์ควบคุม
- 14) ห้องทดสอบไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิ $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, ความชื้นสัมพัทธ์ $55\pm 15\% \text{Rh}$

3.2 วิธีดำเนินการ

การทดลองหาค่าอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดมอเตอร์พัดลม เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้โดยตรง จึงต้องหาค่าโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานขดลวดมอเตอร์พัดลมแทน โดยทดลองหาค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้น R_2 ตามการเพิ่มค่าอุณหภูมิขึ้น t_2 ขณะที่พัดลมกำลังทำงานจากค่าความต้านทานเริ่มต้น R_1 ที่เวลาอุณหภูมิ t_1 วิธีวัดการความต้านทานที่เพิ่มขึ้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การวัดแบบครบวงจร และ แบบกึ่งวงรอบ การวัดแบบครบวงจร คือการวัดความต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากความต้านทานเริ่มต้นเสมอ ส่วน การวัดแบบกึ่งวงรอบ คือการวัดความต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากความต้านทานหรืออุณหภูมิที่ลดลงโดยไม่จำเป็นต้องกลับไปสู่ความต้านทานหรืออุณหภูมิเริ่มต้น โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) แรงดันไฟฟ้าทดสอบ ให้เป็นไปตามตารางที่ 4. และการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทดสอบ ในขณะทดลอง ต้องไม่เกินร้อยละ 1 ของแรงดันไฟฟ้าทดสอบ

ตารางที่ 4. แรงดันไฟฟ้าทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม

แรงดันไฟฟ้าทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม			
ผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ไม่น้อยกว่า 10% ของค่าต่ำสุด	ผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดน้อยกว่า 10% ของค่าต่ำสุด	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดมีค่าเดียว	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดมี 2 ค่าขึ้นไป และมีมอเตอร์พัดลมมี 3 ขั้นขึ้นไป
ค่าสูงสุดของพิสัยแรงดันไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดที่ให้ผลเร็วที่สุด

หมายเหตุ: พัดลมที่ระบุพิสัยความถี่ ต้องทดลองที่ความถี่ที่ให้ผลเร็วที่สุด

2) ค่าอุณหภูมิเพิ่มที่ยอมรับของมอเตอร์พัดลม และตัวเปลี่ยนอัตราเร็ว ต้องทดสอบที่อุณหภูมิโดยรอบไม่เกิน 40°C

3) วัดอุณหภูมิโดยรอบขณะทดลอง และ ภายหลังการทดลอง โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์หลายๆอัน วางรอบพัดลม ณ จุดต่างๆกัน ที่ระยะห่างจากพัดลม 1 ถึง 2 เมตร ต้องป้องกันการแผ่รังสีความร้อน และการถ่ายเทอากาศจากภายนอก เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ทดลองนี้ต้องมีความถูกต้องถึง $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ค่าอุณหภูมิโดยรอบระหว่างการทดลอง ซึ่งต้องรักษาให้คงที่ภายใน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ ในระหว่างช่วงเวลาที่เท่ากัน ภายในระยะเวลา $\frac{1}{4}$ สุกท้าย ของเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 5. ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

รายการที่	ส่วนของมอเตอร์	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น องศาเซลเซียส		วิธีวัด
		วัสดุฉนวนเอ	วัสดุฉนวนอีหรือทนได้สูงกว่า	
1	ขดลวดไม่ฉนวนมอเตอร์	60	75	ค่าความต้านทาน
2	ขดลวดหุ้มฉนวนตัวเปลี่ยนอัตราเร็ว	60	75	ค่าความต้านทาน

หมายเหตุ: ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในตาราง ใช้กับพัดลมที่ใช้งานที่อุณหภูมิโดยรอบไม่เกิน 40°C หากใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ ให้ลดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นลงในอัตราเดียวกัน

4) วัดค่าอุณหภูมิเพิ่ม โดยวิธีที่กำหนดในตารางที่ 5. ภายหลังเดินเครื่องพัดลมมานานจนอุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นอีกแล้ว ให้ทดสอบดังต่อไปนี้

วัดค่าอุณหภูมิเพิ่มโดย วิธีวัดความเร็วเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานขดลวดเองและของมอเตอร์

พัฒนาแบบครบวงจร (ใช้เป็นค่ามาสเตอร์) และ แบบกึ่งวงรอบ (ใช้เป็นตัวอย่างศึกษา) ตามแผนภูมิการทดลองดังรูปที่ 4 และ 5

- กำหนดค่าอุณหภูมิเพิ่มตามตารางที่ 5. โดยการวัดการเปลี่ยนค่าความต้านทานของขดลวดทองแดง R_2 จาก ตัวแบบจำลองดังต่อไปนี้

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1} (t_1 + 235) - 235$$

$$\therefore \Delta t = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) (t_1 + 235)$$

เมื่อปริมาณขาออก: Δt คือ ค่าอุณหภูมิเพิ่ม

ปริมาณขาเข้า: t_1 คือ อุณหภูมิโดยรอบเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

t_2 คือ อุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

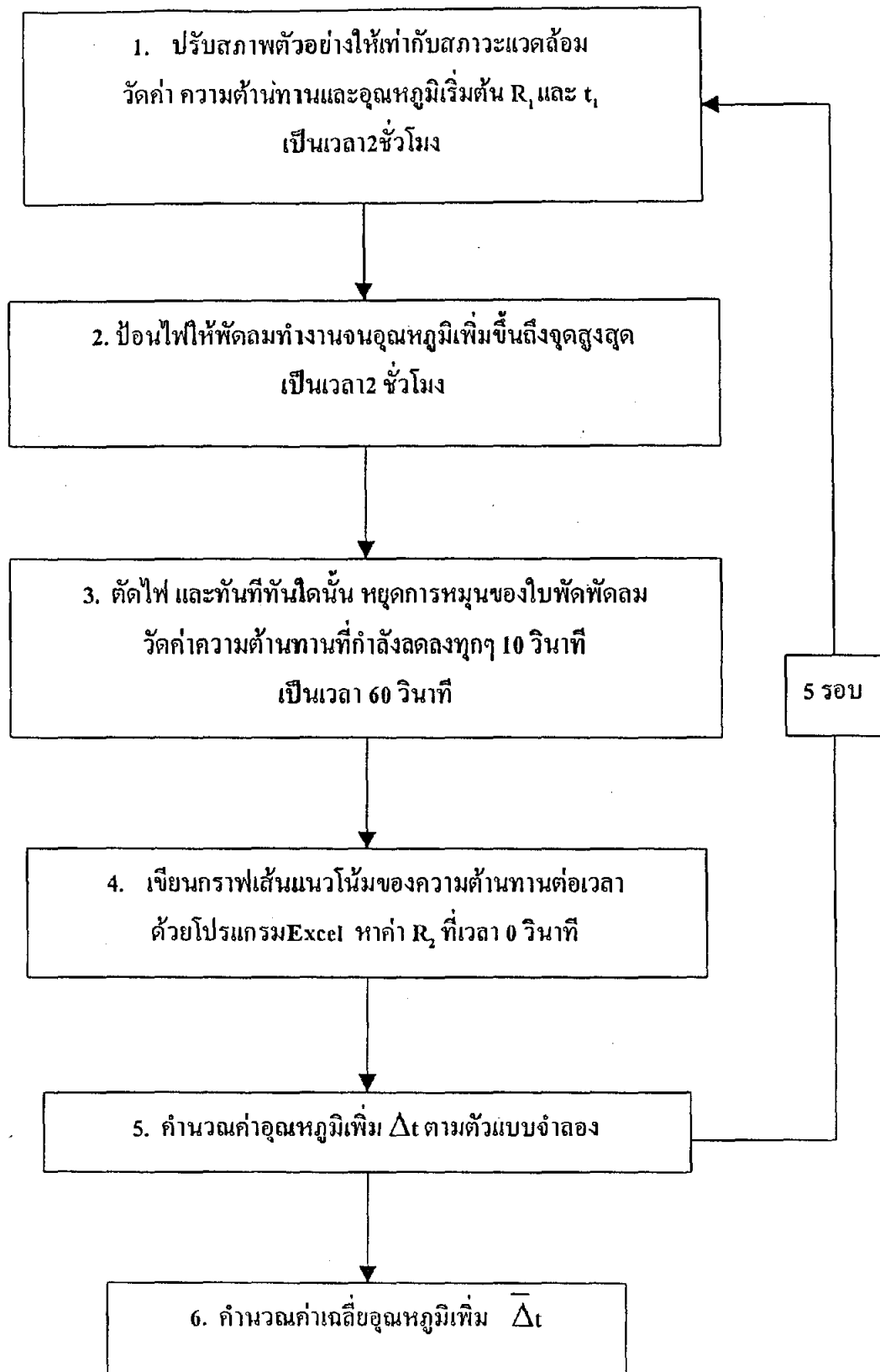
R_1 คือ ค่าความต้านทานเริ่มต้นของขดลวดที่อุณหภูมิ t_1

R_2 คือ ค่าความต้านทานสุดท้ายของขดลวดที่อุณหภูมิสุดท้าย t_2 ซึ่งวัดทันทีเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

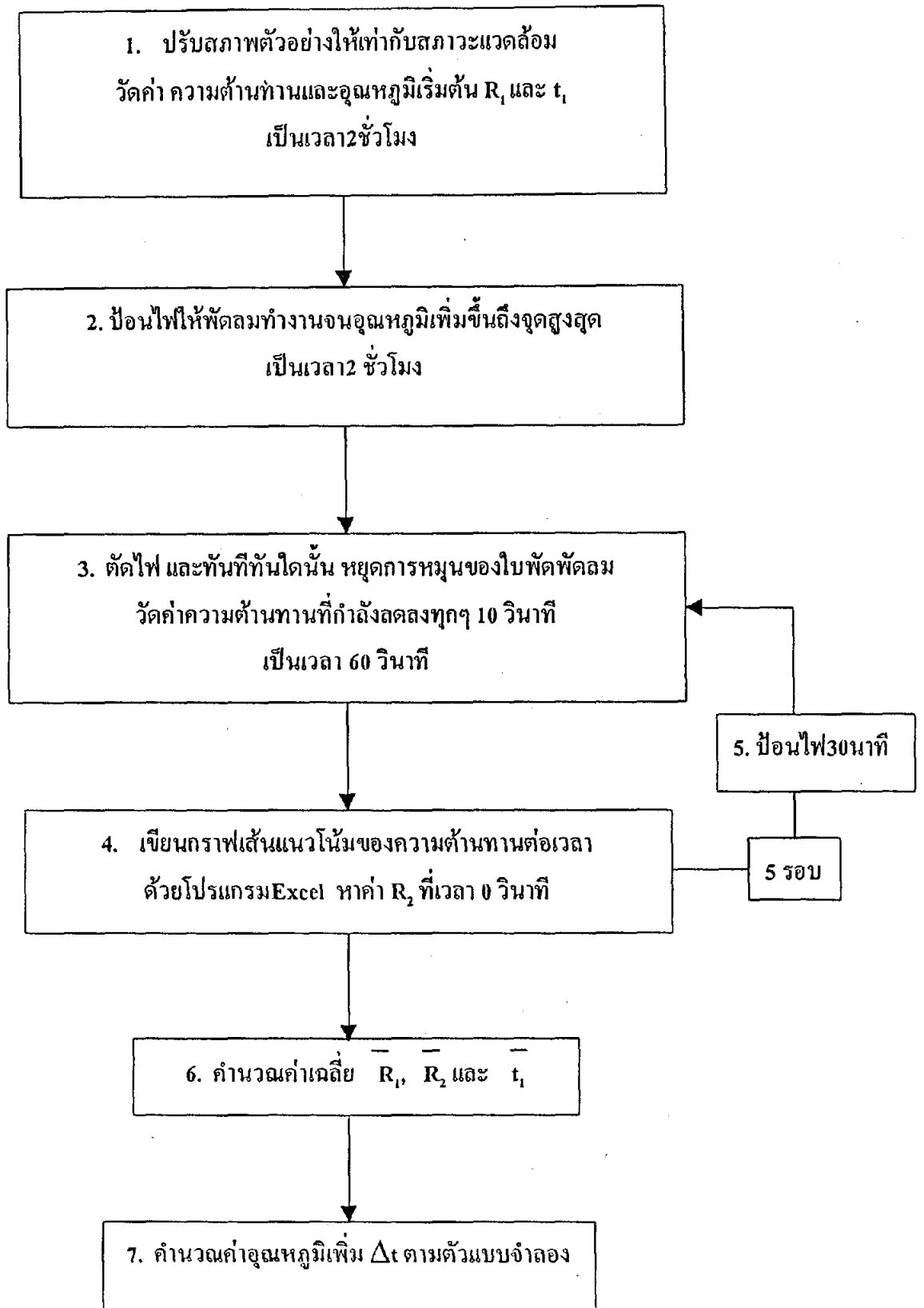
5) วิเคราะห์สมบัติเชิงเส้นตรงของค่าไบอัสและค่ามาตรฐาน เพื่อทดสอบดัชนีการตัดสินใจ (R^2)

6) วิเคราะห์ความแปรปรวนของเส้นถดถอย (ของค่าไบอัสกับค่ามาตรฐาน) กับความคลาดเคลื่อนของการวัด และหาค่าสัดส่วนความแปรปรวน (F) ของเส้นถดถอยของค่าไบอัส กับความคลาดเคลื่อนของการวัด

รูปที่ 4. แผนภูมิการทดลองอุณหภูมิเพิ่มแบบครบวงจร



รูปที่ 5. แผนภูมิการทดลองอุณหภูมิเพิ่มแบบกึ่งวงรอบ



บทที่ 4

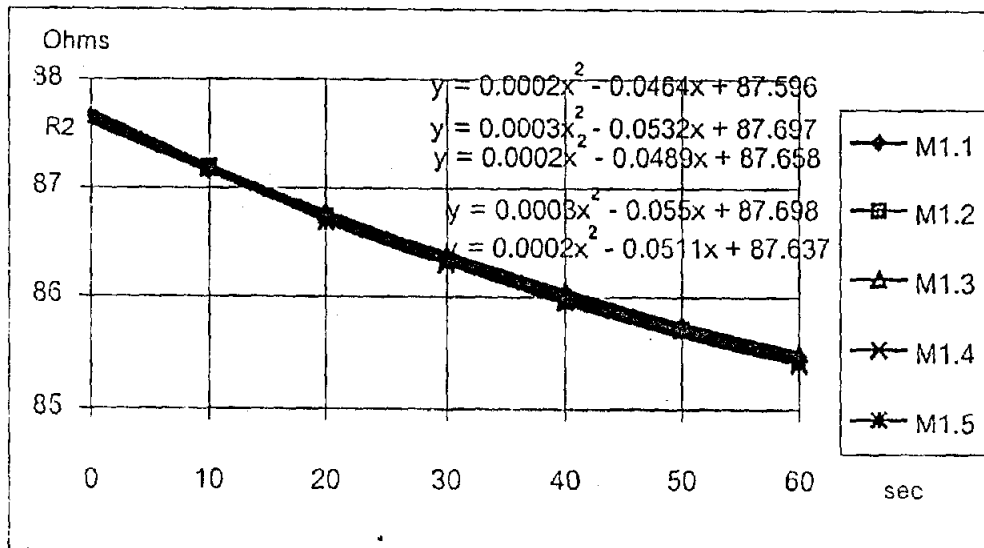
ผลการทดลอง

4.1 การหาความต้านทาน R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่ม โดยวิธีวัดแบบครบวงจรตารางที่ 6 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER1

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M1.1		87.142	86.766	86.345	86.041	85.741	85.476
M1.2		87.192	86.733	86.339	85.966	85.698	85.427
M1.3		-	86.766	86.385	86.048	85.752	85.502
M1.4		87.201	86.678	86.287	85.955	85.711	85.389
M1.5		87.168	86.685	86.311	85.977	85.721	85.412

$$R_1 = 76.732 \text{ Ohm}$$

$$I_1 = 25.8 \text{ C}$$

รูปที่ 6 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER1

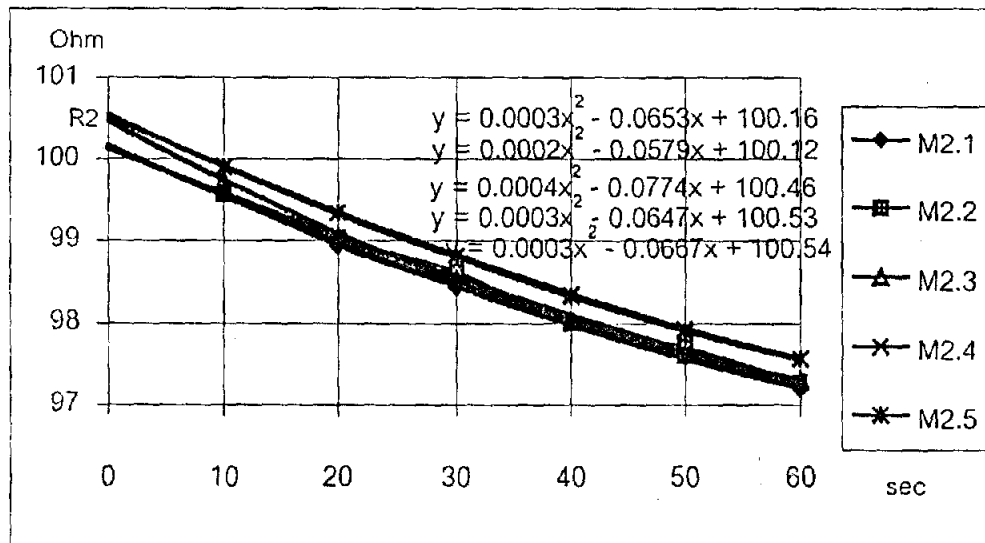
ตารางที่ 7 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER2

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M2.1		99.558	98.921	98.425	98.007	97.591	97.192
M2.2		99.555	99.031	98.613	98.003	97.712	97.285
M2.3		99.738	99.048	98.534	98.033	97.612	97.312
M2.4		99.903	99.333	98.814	98.347	97.927	97.565
M2.5		99.887	99.328	98.799	98.319	97.896	97.572

$R_1 = 83.832 \text{ Ohm}$

$t_1 = 25.8 \text{ C}$

รูปที่ 7 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER2



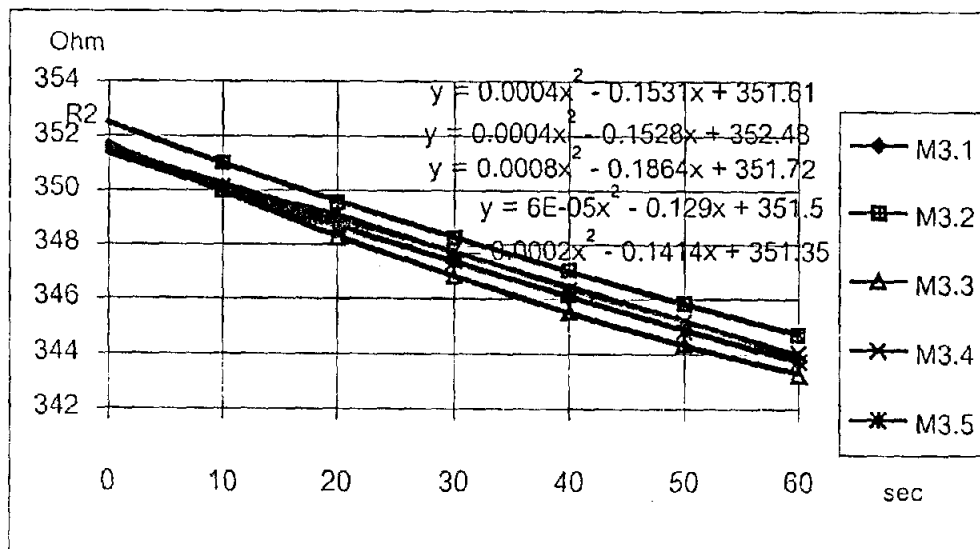
ตารางที่ 8 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER3

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M3.1		350.11	348.71	347.36	346.02	344.94	343.74
M3.2		351.01	349.55	348.24	347.02	345.82	344.71
M3.3		349.98	348.21	346.81	345.51	344.37	343.25
M3.4		350.11	349.13	347.71	346.31	345.16	344.03
M3.5			348.61	347.32	346.12	344.81	343.74

$R_1 = 301.23 \text{ Ohm}$

$t_1 = 25.8 \text{ C}$

รูปที่ 8 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER3



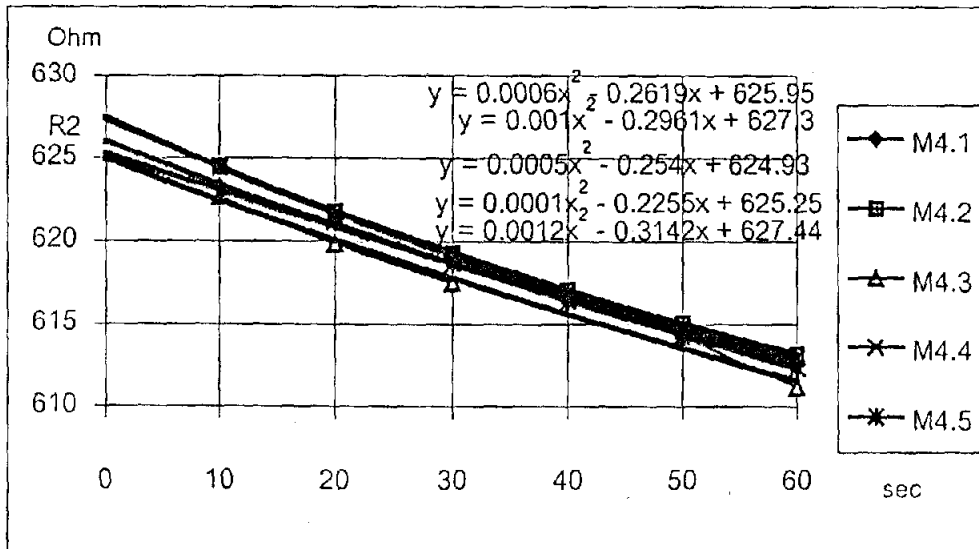
ตารางที่ 9 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER4

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M4.1		623.31	621.09	618.7	616.32	614.43	612.51
M4.2		624.44	621.8	619.3	617.05	615.06	613.14
M4.3		622.67	619.83	617.45		614.21	611.14
M4.4		624.41	621.62	619.11	616.84	614.55	612.91
M4.5		622.84	621.11	618.59	616.32	614.23	612.31

$R_1 = 542.80 \text{ Ohm}$

$t_1 = 25.4 \text{ C}$

รูปที่ 9 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER4



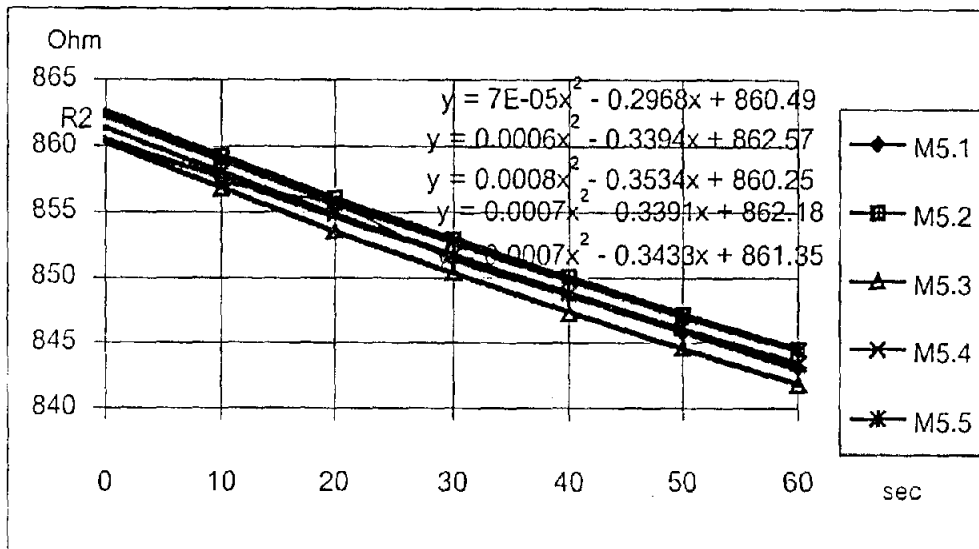
ตารางที่ 10 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER5

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M5.1		857.11	855.47	851.33	848.52	845.73	843.09
M5.2		859.24	856.05	852.91	850.09	847.16	844.52
M5.3		856.77	853.54	850.37	847.25	844.57	841.81
M5.4		857.99	854.81	851.69	848.75	846.11	843.37
M5.5		858.88	855.63	852.67	849.71	847.02	844.34

$$R_2 = 724.93 \text{ Ohm}$$

$$t_1 = 26.0 \text{ C}$$

รูปที่ 10 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER5



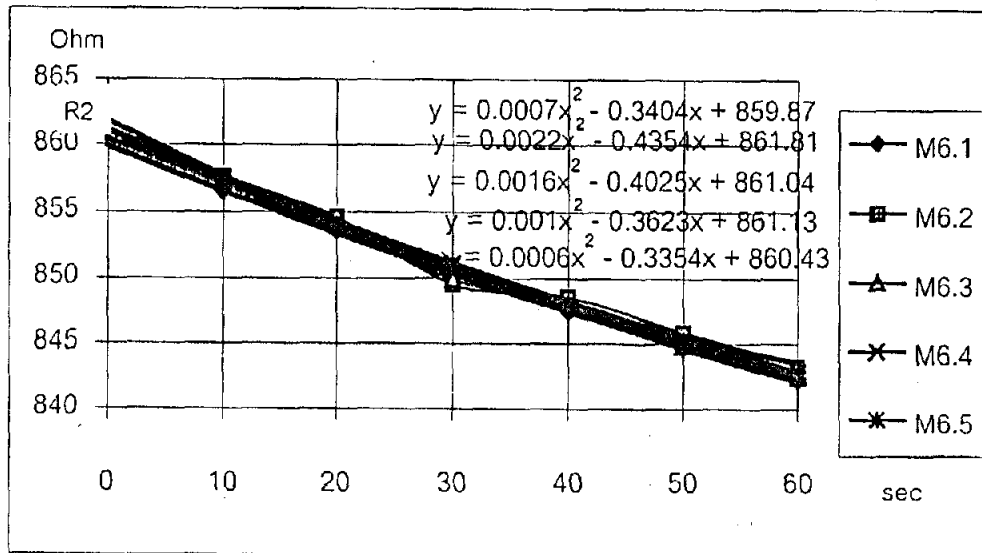
ตารางที่ 11 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER6

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M6.1		856.46	853.53	850.29	847.38	844.69	842.15
M6.2		857.63	854.58	849.49	848.57	845.82	843.36
M6.3		857.11	853.96	849.89	847.98	844.86	842.78
M6.4		857.59	854.28	851.15	848.19	845.41	842.91
M6.5		857.17	853.87	850.95	847.95	845.16	842.42

$R_1 = 733.85 \text{ Ohm}$

$t_1 = 25.8 \text{ C}$

รูปที่ 11 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบครบวงจร ของพัดลมMASTER6



4.2 การหาความต้านทาน R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่ม โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ

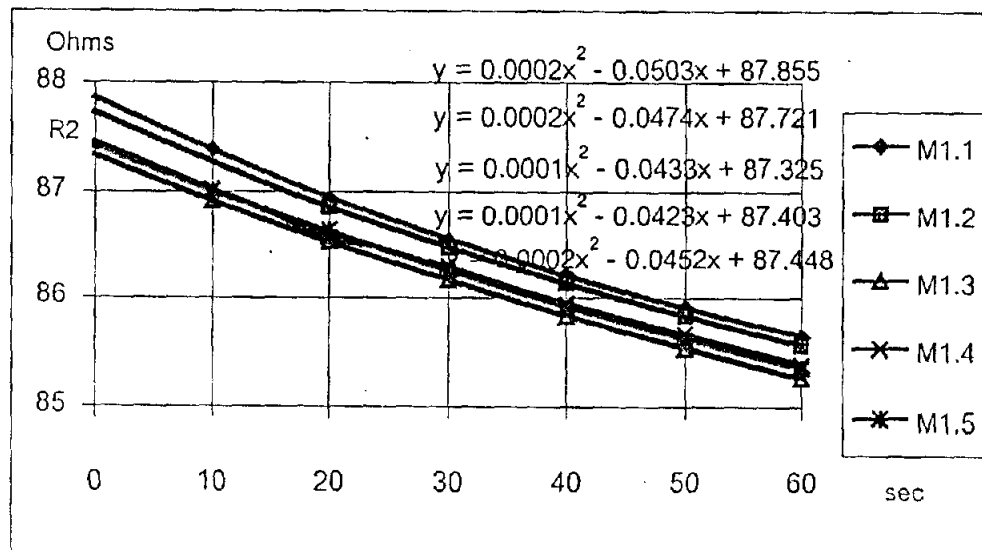
ตารางที่ 12 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER1

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M1.1		87.381	86.929	86.539	86.213	85.909	85.641
M1.2			86.851	86.466	86.135	85.827	85.564
M1.3		86.904	86.525	86.163	85.827	85.533	85.266
M1.4		87.016	86.566	86.296	85.944	85.662	85.386
M1.5		87.001	86.634	86.245	85.901	85.612	85.357

$$R1 = 76.732 \text{ Ohm}$$

$$t1 = 25.8 \text{ C}$$

รูปที่ 12 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER1



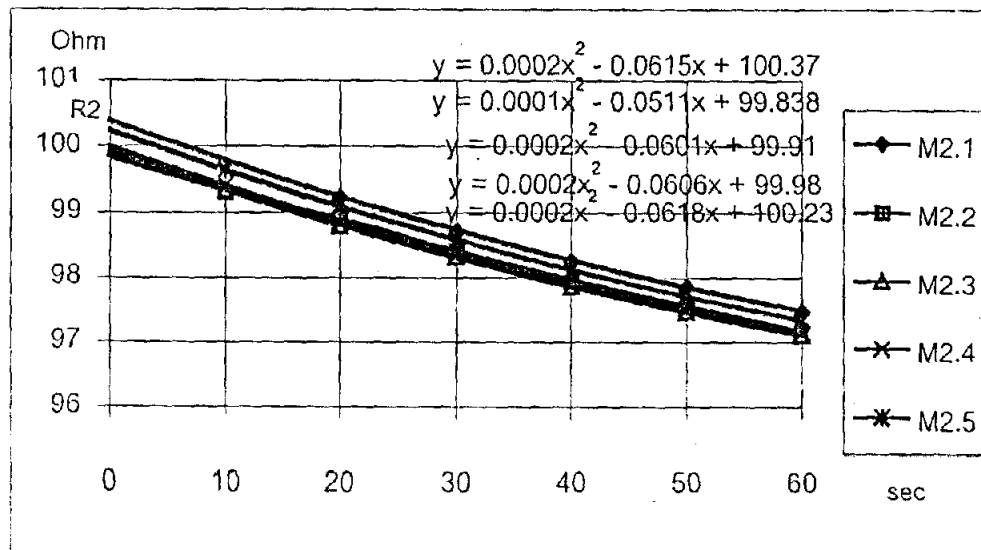
ตารางที่ 13 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER2

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M2.1			99.234	98.718	98.258	97.861	97.468
M2.2		99.301	98.921	98.406	97.927	97.534	97.177
M2.3		99.333	98.791	98.315	97.861	97.455	97.105
M2.4		99.401	98.845	98.363	97.909	97.501	97.131
M2.5		99.633	99.084	98.569	98.113	97.708	97.323

$$R_1 = 83.832 \text{ Ohm}$$

$$t_1 = 25.8 \text{ C}$$

รูปที่ 13 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER2



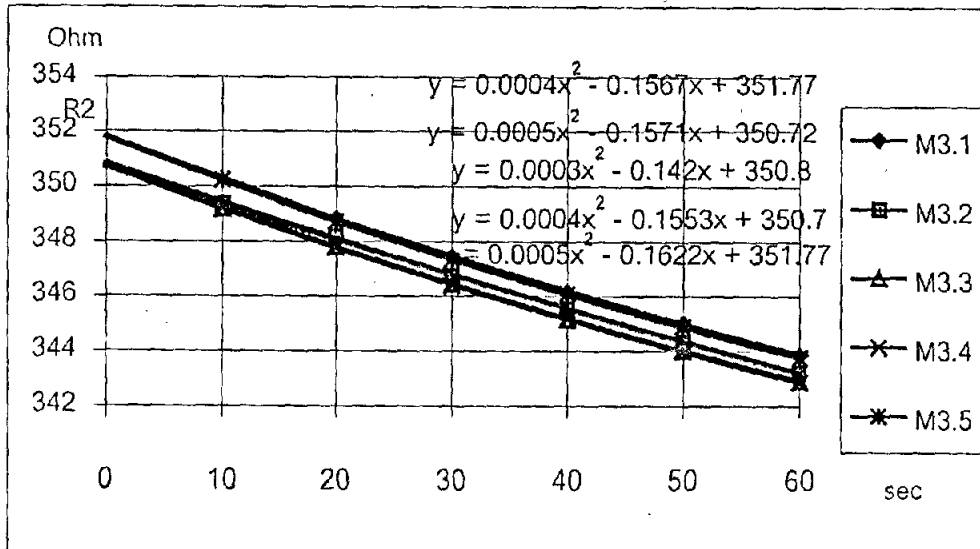
ตารางที่ 14 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER3

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M3.1			348.81	347.43	346.14	345.01	343.84
M3.2		349.35	348.17	346.72	345.51	344.32	343.22
M3.3		349.19	347.77	346.41	345.14	344.01	342.91
M3.4		349.17	347.82	346.37	345.17	343.98	342.89
M3.5		350.21	348.71	347.31	346.08	344.88	343.76

$R_1 = 301.23 \text{ Ohm}$

$t_1 = 25.8 \text{ C}$

รูปที่ 14 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER3



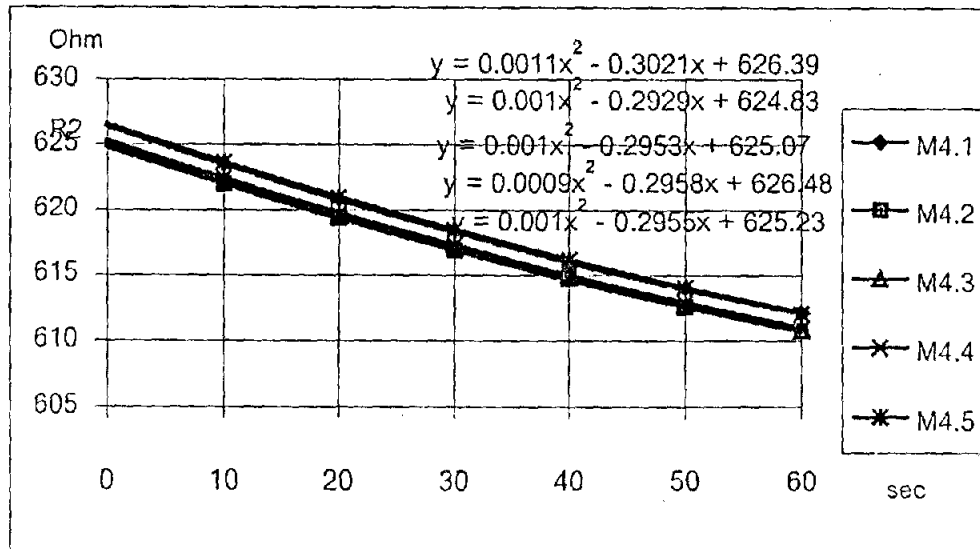
ตารางที่ 15 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิที่เพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER4

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M4.1		623.46	620.78	618.35	615.87	614.01	612.06
M4.2		622.01	619.34	616.87	614.73	612.56	610.73
M4.3		622.23	619.51	617.07	614.79	612.71	610.77
M4.4		622.41	619.62	617.24	614.96	612.85	610.91
M4.5		623.61	620.94	618.42	616.12	614.02	612.05

$$R_1 = 542.80 \text{ Ohm}$$

$$t_1 = 25.4 \text{ C}$$

รูปที่ 15 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER4



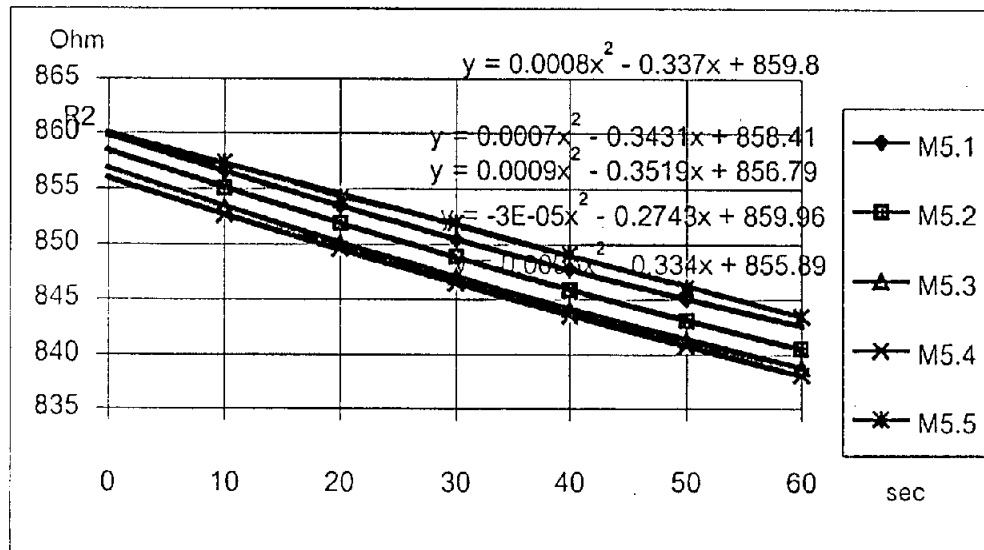
ตารางที่ 16 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER5

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M5.1		856.53	853.37	850.41	847.72	845.01	842.21
M5.2		855.02	851.86	848.88	845.79	843.04	840.52
M5.3		853.33	850.14	847.03	844.11	841.34	838.86
M5.4		852.57	849.55	846.43	843.51	840.75	838.15
M5.5		857.35	854.11	851.92	849.06	846.03	843.43

$$R_2 = 724.93 \text{ Ohm}$$

$$t_1 = 26.0 \text{ C}$$

รูปที่ 16 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER5



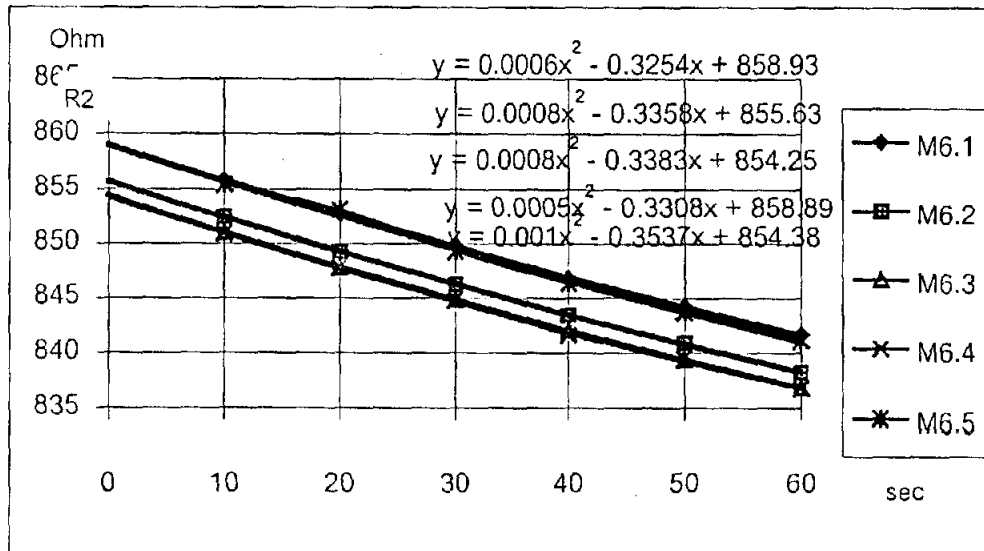
ตารางที่ 17 ค่า R_2 ตามค่าอุณหภูมิเพิ่มโดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER6

Ohms							
Sec.	0	10	20	30	40	50	60
M6.1		855.72	852.66	849.81	846.79	844.21	841.62
M6.2		852.37	849.21	846.23	843.41	840.86	838.22
M6.3		850.95	847.81	844.82	842.01	839.36	836.85
M6.4		850.91	847.76	844.81	841.61	839.45	836.82
M6.5		855.34	853.11	849.27	846.32	843.66	841.09

$R_1 = 733.85 \text{ Ohm}$

$t_1 = 25.8 \text{ C}$

รูปที่ 17 กราฟแสดงการหาค่า R_2 โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ ของพัดลมMASTER6



4.3 ค่าอุณหภูมิเพิ่ม (Δt) ของขดลวดมอเตอร์พัฒนา

$$\Delta t = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \times (t_1 + 235)$$

ตารางที่ 18 ค่า R_2 และ Δt ของขดลวดมอเตอร์พัฒนา โดยวิธีวัดแบบครบวงจร

Master	ความต้านทานเพิ่ม R_2 , Ohm					อุณหภูมิเพิ่ม Δt , C					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	87.596	87.697	87.658	87.698	87.637	36.93	37.27	37.14	37.27	37.06	37.13	0.15
2	100.16	100.12	100.46	100.53	100.54	50.80	50.67	51.73	51.95	51.98	51.42	0.64
3	351.61	352.48	351.72	351.51	351.35	43.62	44.37	43.71	43.53	43.39	43.73	0.38
4	625.95	627.31	624.93	625.25	627.44	39.89	40.54	39.40	39.55	40.60	40.00	0.55
5	860.49	862.57	860.25	862.18	861.35	48.81	49.56	48.72	49.41	49.12	49.12	0.37
6	859.87	861.81	861.04	861.13	860.43	44.79	45.48	45.20	45.23	44.98	45.14	0.26

ตารางที่ 19 ค่า R_2 และ Δt ของขดลวดมอเตอร์พัฒนา โดยวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบ

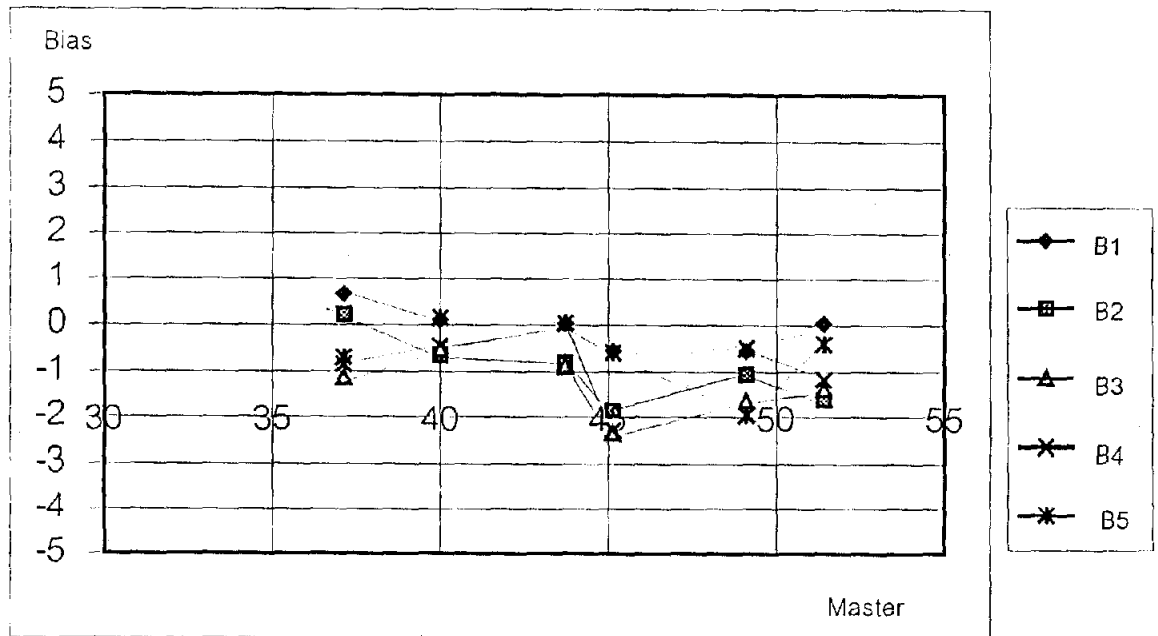
Master	ความต้านทานเพิ่ม R_2 , Ohm					อุณหภูมิเพิ่ม Δt , C					ค่าเฉลี่ย	SD.
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	87.85	87.721	87.325	87.403	87.448	37.79	37.35	36.00	36.27	36.42	36.77	0.76
2	100.37	99.838	99.911	99.981	100.23	51.45	49.79	50.02	50.24	51.01	50.50	0.70
3	351.77	350.81	350.72	350.71	351.77	43.76	42.93	42.85	42.84	43.76	43.23	0.49
4	626.39	624.83	625.07	625.23	626.48	40.10	39.35	39.47	39.54	40.14	39.72	0.37
5	859.8	858.41	856.79	859.96	855.89	48.56	48.06	47.47	48.62	47.15	47.97	0.65
6	859.29	855.63	854.25	854.39	859.22	44.58	43.28	42.79	42.84	44.55	43.61	0.90

ค่ามาตรฐาน = ค่าเฉลี่ยของการวัดคุณสมบัติเพิ่มแบบครบวงจร
 ค่าไบอัส = ค่าการวัดคุณสมบัติเพิ่มแบบกึ่งวงรอบ-การวัดแบบครบวงจร

ตารางที่ 20 การกระจายค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)

Master No.	ค่ามาตรฐาน	ค่าไบอัส				
		B1	B2	B3	B4	B5
1	37.13	0.66	0.22	-1.13	-0.86	-0.71
2	51.42	0.03	-1.63	-1.4	-1.18	-0.41
3	43.73	0.03	-0.8	-0.88	0.03	0.03
4	40	0.1	-0.65	-0.53	-0.46	0.14
5	49.12	-0.56	-1.06	-1.65	-0.5	-1.97
6	45.14	-0.56	-1.86	-2.35	-2.3	-0.59

รูปที่ 18 กราฟแผนภาพการกระจายค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)



ตารางที่ 21 ANOVA ค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)

Master	1	2	3	4	5	6
ค่ามาตรฐาน(X)	37.13	51.42	43.73	40	49.12	45.14
ค่าเฉลี่ยการวัด	36.77	50.5	43.23	39.72	47.97	43.61
ค่าไบอัส(Y)	-0.36	-0.92	-0.5	-0.28	-1.15	-1.53

4.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ตารางที่ 22 ผลรวมกำลังสองค่าไบอัส และค่ามาตรฐานของอุณหภูมิเพิ่ม (Δt)

Master	X	Y	X ²	Y ²	XY
1	37.13	-0.36	1378.64	0.13	-13.37
2	51.42	-0.92	2644.02	0.85	-47.31
3	43.73	-0.5	1912.31	0.25	-21.87
4	40	-0.28	1600.00	0.08	-11.20
5	49.12	-1.15	2412.77	1.32	-56.49
6	45.14	-1.53	2037.62	2.34	-69.06
ผลรวม	266.54	-4.74	11985.36	4.97	-219.2904

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 4.97 - (-4.74)^2/6 = 1.23$$

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 11985.36 - (266.54)^2/6 = 144.76$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} = -219.29 - (266.54 \cdot -4.74)/6 = -8.72$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -8.72/144.76 = -0.06$$

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} * 100\% = -0.06 \cdot -8.72 / 1.23 * 100\% = 42.54\%$$

$R^2 = 42.54\% < 70\%$ แสดงว่าค่าไบอัส และค่ามาตรฐาน ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

ตารางที่ 23 ANOVA ทดสอบนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นดกของ ค่าไบอัส	$SS_R = \beta_1 S_{XY}$ $= (-0.06)(-8.72)$ $= 0.52$	1	$MS_R = SS_R/1$ $= 0.52$	MS_R/MS_E $= 0.52/0.18$ $= 2.89$
ความคลาดเคลื่อน ของการวัด	$SS_E = S_{YY} - SS_R$ $= 1.23 - 0.52$ $= 0.71$	$n-2=4$	$MS_E = SS_E/4$ $= 0.71/4$ $= 0.18$	
ผลรวม	$S_{YY} = 1.23$	$n-1=5$		

ค่าวิกฤต $F_{0.05;1,4} = 7.71$ (ตาราง F-distribution ในภาคผนวก)

$F = 2.89 < 7.71$ แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นดกของไบอัสมีขนาดเล็กมาก ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

นั่นคือ กระบวนการวัดนี้มีตัวแบบวิธีวัดแบบกึ่งวงรอบไม่แตกต่างไปจากแบบครบวงรอบ

(ถ้า $F > 7.71$ แสดงว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่ามาตรฐาน, จะหาสมการเส้นตรงต่อไป)

วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง

1. การทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลม ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงเส้นตรง มีค่าดัชนีการตัดสินใจ $R^2 = 42.54\%$ มีค่าน้อยกว่า 70% แสดงว่าความสัมพันธ์ของค่าไบอัส(ผลต่างของค่าที่วัดแบบกึ่งวงรอบกับค่ามาตรฐานที่วัดแบบครบวงรอบ) และ ค่ามาตรฐาน (ค่าที่วัดแบบครบวงรอบ) ไม่สามารถอธิบายได้ด้วย ตัวแบบดกลอยเชิงเส้นตรง
2. การทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลม ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ค่าสัดส่วนความแปรปรวน (F) ของเส้นดกลอย กับความคลาดเคลื่อนของการวัดคือ 2.89 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าเกณฑ์วิกฤตคือ 7.71 ที่นัยสำคัญ 5% ($F_{0.05;1,4} = 7.71$ จากตาราง F-distribution. ในภาคผนวก) แสดงว่า ความแปรปรวนรอบเส้นดกลอยของค่าไบอัสต่อค่ามาตรฐาน มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความแปรปรวนของกระบวนการวัด ที่ระดับนัยสำคัญ 5% หรืออีกนัยหนึ่ง กระบวนการวัดแบบกึ่งวงรอบเหมือนกับการวัดแบบครบวงรอบ
3. เนื่องจากการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลมมาตรฐาน (Master) โดยการวัดแบบกึ่งวงรอบให้ผลเหมือนกับการวัดแบบครบวงรอบ ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการวัดแบบกึ่งวงรอบนี้ในการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลมตัวอย่างได้ ในช่วงอุณหภูมิเพิ่มระหว่าง 37 ถึง 51 °C
4. การทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลมด้วยการวัดแบบกึ่งวงรอบ สามารถหาค่ารีพีทของข้อมูลได้ในเวลาอันสั้น ทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีครบวงรอบ เพราะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมห้องทดลองในช่วงระยะเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงได้ง่ายกว่าการควบคุมห้องที่ช่วงระยะเวลาหลายวัน
5. ประหยัดเวลา และ ค่าใช้จ่ายในการทดลองค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลม ได้ 5 เท่า และประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 2 เท่า
6. ในการพัฒนาระบบคุณภาพ สามารถใช้การวัดแบบกึ่งวงรอบทำการศึกษา สมบัติสแตติสตามระยะเวลา ของค่าอุณหภูมิเพิ่มของมอเตอร์พัดลมได้สะดวกรวดเร็ว และความถี่มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณคณะกรรมการฯ ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม หัวหน้างาน
กลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรมฯ ที่กรุณาใช้เวลาอ่าน และให้การสนับสนุนในการเขียนเรื่องเพื่อให้สำเร็จลุล่วง
ไปได้

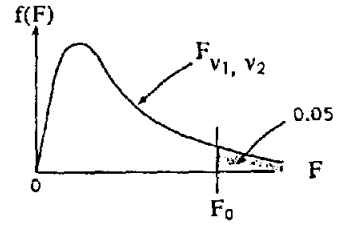
บรรณานุกรม

1. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 934-2533 พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับเฉพาะด้านความปลอดภัย. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533.
2. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). กรุงเทพมหานคร : ส.เอเชียเพรส จำกัด, 2542.
3. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
4. Amitava Mitra. **Fundamentals of Quality Control and Improvement**. New York : Macmillan Publishing Company, 1993.
5. International organization for standardization. **Guide to the expression of uncertainty in measurement**. Geneva : ISO, 1993.

ภาคผนวก

ตารางที่ 24 F - distribution

ค่าของ F ภายใต้ค่าความน่าจะเป็น 0.05 ที่มากกว่าค่าที่กำหนด



v ₁ \ v ₂	DF ของตัวตั้ง: v ₁																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.47	5.19	5.05	4.95	4.86	4.80	4.77	4.74	4.68	4.62	4.55	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.12	2.04	2.00	1.95	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.65	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.83	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Adapted from Hines and Montgomery (1992)