โครงงาน “เครื่องตรวจสอบฉนวนสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส”

INSULATION FAILURE DETECTOR FOR 3Ø INDUCTION MOTORS

นายกิติวัจน์ สมนึก[1] นายธนันท์ พนาดำรง[1] นายนิรันดร์ แซ่ลี้[1] นายปณัสย์ อุยสุย[1]
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ[2] อ.เฉลิมชาติ มานพ[2]
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

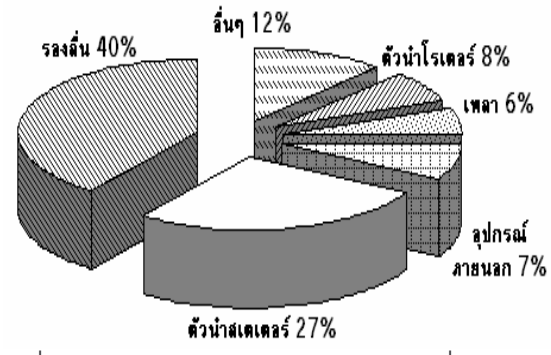
บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการจัดทำเครื่องมือสำหรับตรวจสอบความสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ เพื่อเป็นการตรวจสอบตามสภาวะเวลาและก่อนการดำเนินกระบวนการผลิต เทคนิควิธีการที่นำมาใช้ในการตรวจสอบคือการใช้สัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสมารวมกัน สัญญาณที่เกิดขึ้นจะเรียกเป็นสัญญาณฟอลต์ ในการทดลองยังได้คำนึงถึงผลของแหล่งจ่ายไฟที่ไม่สมดุล ซึ่งจะทำให้เกิดมีระดับของสัญญาณฟอลต์เกิดขึ้นด้วย ทำให้การตรวจสอบอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นมาได้ ในส่วนของการแสดงผลจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แสดงการลัดรอบของขดลวดสเตเตอร์ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

1.บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก ได้เปลี่ยนมาใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three Phase Induction Motor) แทนดีซีมอเตอร์ (DC Motor) กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน การบำรุงรักษาต่ำ และที่สำคัญมีราคาถูก แต่ถึงอย่างไรก็ตาม มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ก็ยังมีจุดอ่อนที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ ทั้งนี้พบว่าสาเหตุหลักของความเสียหายในมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งหมดประมาณ 27% จะมีสาเหตุมาจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ [1] ซึ่งหากปล่อยให้เกิดความเสียหายต่อไป จะส่งผลต่อกระบวนการผลิตที่จะต้องหยุดชะงักลงได้

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ กรณีดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นได้กับมอเตอร์ที่ผลิตออกมาใหม่ ทั้งในส่วนของเศษวัสดุที่หลุดออกมาจากโรเตอร์อาจจะทำให้ฉนวนของขดลวดสเตเตอร์เสียหายได้ นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิของขดลวดที่เพิ่มขึ้น จากการทำงานที่ผิดพลาดของการระบายความร้อนและสาเหตุอื่นๆ ก็อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลัดรอบได้[2]



รูปที่ 1 ประเภทความเสียหายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โครงงานนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าว จึงได้สร้างชุดเครื่องมือต้นแบบสำหรับการตรวจจับขดลวดสเตเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสลัดรอบ โดยใช้ผลรวมของแรงดันเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทั้ง 3 เฟสมารวมกัน ทั้งนี้ในการทดสอบมอเตอร์จะต้องต่อแบบวาย (Y) และไม่ต่อสายนิวตรอลเข้ากับระบบ

2.เทคนิคการตรวจจับขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบโดยใช้ผลรวมสัญญาณแรงดันไลน์-นิวตรอล

ทฤษฎีพื้นฐานของวิธีการดังกล่าวนี้ อาศัยการเปลี่ยนแปลง หรือการไม่สมดุลของค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance,Z) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งโดยความเป็นจริงแล้วค่าอิมพีแดนซ์ในแต่ละเฟส ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหลายเฟสจะมีความสมดุลกัน แต่ก็อาจจะเกิดกรณีที่ไม่สมดุลได้ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ภายนอกที่นำมาต่อเพิ่มเข้ากับเครื่องจักรกลไฟฟ้า เช่น เครื่องตรวจสถานะสัญญาณ เครื่องวัดต่างๆ เป็นต้น แต่สาเหตุที่สำคัญมากจะมาจากอิมพีแดนซ์ของเฟส ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบมูลฐาน (Fundamental) แล้วผลรวมของแรงดันไฟฟ้าฉับพลันทั้งสามเฟส $\left(\widetilde{V}_{sum}\right)$ ในรูปของเฟสเซอร์ (Phasor) จะมีความสัมพันธ์เป็น [3]

$$\widetilde{V}_{sum} = \widetilde{V}_a + \widetilde{V}_b + \widetilde{V}_c \qquad (1)$$

หรือ

$$\widetilde{V}_{sum} = Z_a\widetilde{I}_a + Z_b\widetilde{I}_b + Z_c\widetilde{I}_c \qquad (2)$$

สำหรับเครื่องจักรกลที่สมดุล ค่าอิมพีแดนซ์ในแต่ละเฟสจะเท่ากัน

$$Z_a = Z_b = Z_c \qquad (3)$$

ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟส ก็จะมีค่าเท่ากับ 0

$$\widetilde{I}_a + \widetilde{I}_b + \widetilde{I}_c = 0 \qquad (4)$$

และจากสมการที่ (1) ถ้าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์มีค่าเป็นเชิงเส้น ก็จะหมายความรวมไปถึงแรงดันไฟฟ้าฉับพลันด้วย

$$v_a(t) + v_b(t) + v_c(t) = v_{sum}(t) \qquad (5)$$

จากสมการที่ (5) สามารถพิจารณาได้เป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 ถ้าไม่มีฟอลต์เนื่องจากความไม่สมดุล (Unbalance fault) จะได้

$$v_{sum}(t) = 0 \qquad (6)$$

กรณีที่ 2 ระบบสมดุล และ

$$v_{sum}(t) \neq 0 \qquad (7)$$

นั่นหมายความว่าเกิดกรณีฟอลต์เนื่องจากขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ

3.การออกแบบวงจร

แนวทางการออกแบบวงจรการทดสอบ เพื่อใช้ในการสร้างเครื่องตรวจสอบฉนวนสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส คือ

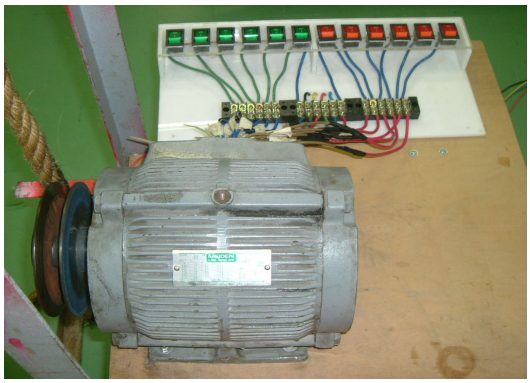
วงจร 1 และวงจร 2 เป็น ภาคตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟและภาคตรวจสอบมอเตอร์ โดยทั้งสองภาคจะมีวงจรการทำงานที่เหมือนกัน แต่ที่ต่างกัน คือจุดกราวน์ของภาคแหล่งจ่ายไฟจะต่อกับสายนิวตรอล และจุดกราวน์ของภาคมอเตอร์จะต่อกับจุดสตาร์ของมอเตอร์ โดยที่จุดสตาร์

ของมอเตอร์กับจุดนิวตรอลของระบบ จะไม่ต่อถึงกัน

วงจร 3 เป็นส่วนที่นำสัญญาณจากระบบ และสัญญาณจากมอเตอร์ มาทำให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีจุดกราวน์ร่วมกัน

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนที่จะตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้ มีวงจรการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล อยู่ในตัวของมันเอง

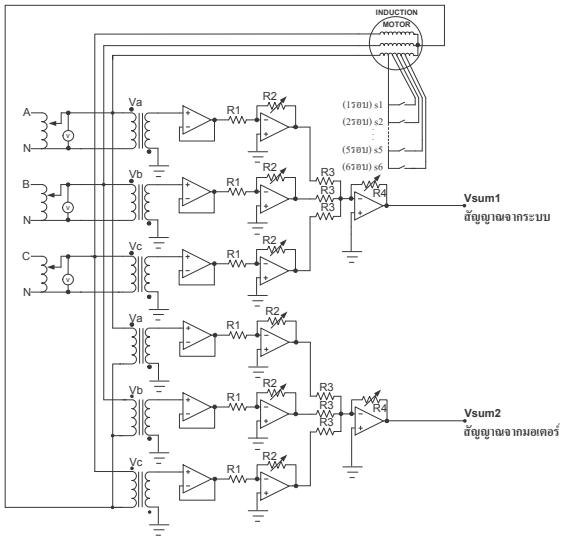
มอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นชนิดกรงกระรอก มีพิกัด 3 และ 5 แรงม้า 3 เฟส 50Hz 4 ขั้วแม่เหล็ก การพันขดลวดเป็นแบบสุ่ม มีแรงดัน V_{ac} เท่ากับ 380 V_{rms} ในการทดสอบแหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์ มอเตอร์ต่อแบบวาย โดยที่จุดต่อร่วมของขดลวดสเตเตอร์ ไม่ต่อเข้ากับสายนิวตรอลของระบบ ซึ่งมอเตอร์ 3 แรงม้าที่ใช้ในการทดสอบ ใน 1 เฟส จะมีจำนวนขดลวด 270 รอบ โดยใน 1 สลอตมี 45 รอบ และมอเตอร์ 5 แรงม้าที่ใช้ในการทดสอบ ใน 1 เฟส จะมีจำนวนขดลวด 180 รอบ โดยใน 1 สลอตมี 30 รอบ โดยมอเตอร์แต่ละตัวถูกออกแบบให้ขดลวดเฟส A ในขดแรกมีจุดที่ต่อแยกออกมาสำหรับการทดสอบ โดยมีระยะห่างของจุดต่อตามจำนวนรอบของการลัดวงจรเริ่มจาก 1%, 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% ของจำนวนรอบทั้งหมดใน 1 เฟส



รูปที่ 2 มอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบขนาด 3 แรงม้า

4.การทดสอบวงจร

จากรูปที่ 3 การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ ส่วนแรกเริ่มจากการนำสัญญาณแรงดันจากระบบ (ภาคตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟ) มาลดระดับแรงดันลงในแต่ละเฟส โดยผ่านหม้อแปลง 220/6 V_{rms} จากนั้นนำสัญญาณแรงดันที่ลดระดับลงแล้ว มาผ่านเข้าวงจรบัฟเฟอร์ เพื่อไม่ให้ชุดทดลองมีผลกระทบต่อแรงดันที่รับเข้ามา (เพราะชุดทดลองอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่สมดุล) แล้วนำสัญญาณที่ได้ ป้อนเข้าวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส เพื่อให้แรงดันทั้งสามเฟสที่เข้ามามีค่าเท่ากัน เมื่ออยู่ในภาวะปกติ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ทั้ง 3 เฟส มารวมกันในวงจรรวมสัญญาณ จะได้เป็นสัญญาณจากระบบ (*Vsum1*) ส่วนที่สองจะเป็นการนำเอาสัญญาณแรงดันจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ (ภาคตรวจสอบมอเตอร์) โดยมีขั้นตอนเหมือนกับส่วนแรกทุกประการ โดยผลสุดท้ายจะได้เป็นสัญญาณจากมอเตอร์ (*Vsum2*)

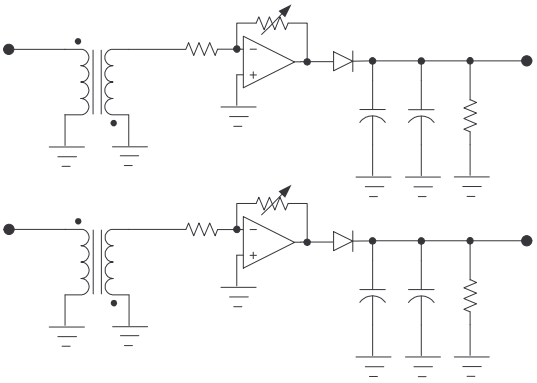


รูปที่ 3 แสดงวงจรของภาคตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟ และภาคตรวจสอบมอเตอร์

จากรูปที่ 4 ซึ่งก็คือวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากภาคตรวจสอบมอเตอร์ และภาคตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟ

โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่จะนำสัญญาณที่ได้จากระบบ และสัญญาณจากมอเตอร์ ไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล แต่เนื่องจากว่าภาคตรวจสอบมอเตอร์และภาคตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟมีจุดกราวน์ที่ต่างกัน ดังนั้นในส่วนของวงจรตามรูปที่ 4 นี้ เป็นส่วนที่ให้สัญญาณที่ได้จากทั้งสองภาคการตรวจสอบ ผ่านเข้าหม้อแปลง เพื่อทำให้สัญญาณที่ได้มีกราวน์เดียวกัน

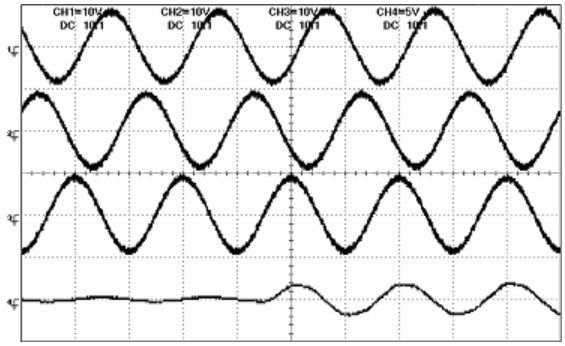
เมื่อทำการรวมกราวน์แล้ว สัญญาณที่ได้จากทั้งสองภาคการตรวจสอบ (L1, L2) จึงสามารถนำไปต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4 แสดงวงจรรับสัญญาณจากภาคตรวจสอบมอเตอร์และภาคตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟ

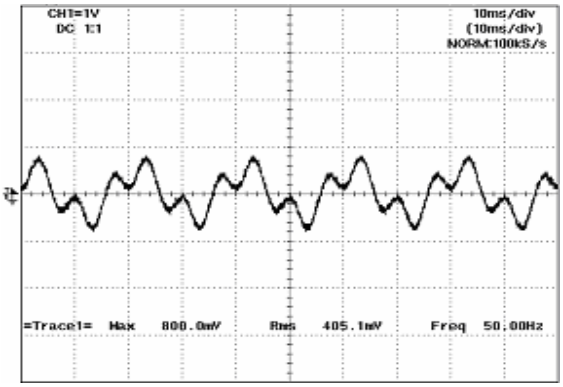
5.ผลการทดลอง

จากชุดทดสอบนำมาทดลองหาสัญญาณฟอลต์เนื่องจากขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบที่ 1%, 2%, 3%, 4%, 5% และ 6% จากรูปที่ 5 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส (CH1-CH3) และรูปสัญญาณ V_{sum} (CH4) เมื่อเกิดการลัดรอบของขดลวดสเตเตอร์ (มอเตอร์ 5 แรง) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ V_{sum} เกิดขึ้น



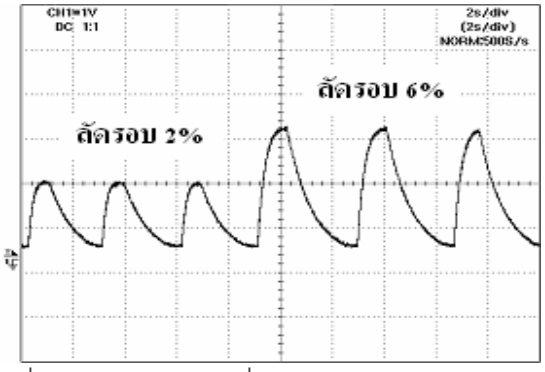
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ V_{sum} เมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ

รูปที่ 6 รูปสัญญาณ V_{sum} เมื่อเกิดการลัดรอบของขดลวดสเตเตอร์(มอเตอร์ 3 แรง) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ V_{sum} เกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่ารูปสัญญาณ V_{sum} ที่เกิดขึ้นค่อนข้างไม่เป็นรูปไซน์ ดังนั้นในการนำค่า V_{sum} มาใช้ จะต้องใช้ค่า V_{rms}



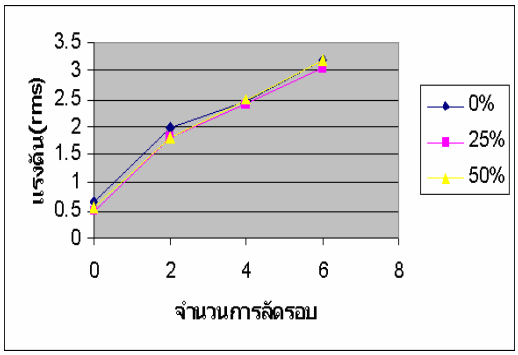
รูปที่ 6 สัญญาณของ V_{sum} เมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ

รูปที่ 7 เป็นผลการทดลองจากชุดทดลองที่นำมาหาสัญญาณฟอลต์ เนื่องจากขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบที่สภาวะมอเตอร์มีภาระและไม่มีภาระ โดยเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจจับได้ ระหว่างการลัดรอบของขดลวดที่ 2% และ 6% จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์มีการลัดรอบมากขึ้น ระดับของสัญญาณที่ตรวจจับได้ก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย



รูปที่ 7 สัญญาณฟอลต์เนื่องจากขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบที่รอบต่างกัน

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้น ที่ตรวจจับได้จากชุดทดลองหาสัญญาณฟอล์ตเนื่องจากขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ โดยสัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้น จะเป็นตัวบ่งบอกการลัดรอบของขดลวดสเตเตอร์ที่ภาวะแรงดันสมดุล ขณะมีภาระต่างกัน ซึ่งสัญญาณของแรงดันที่ตรวจจับได้จะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อขดลวดมีการลัดรอบเป็นจำนวนเท่ากัน



รูปที่ 8 แสดงสัญญาณแรงดันที่เปลี่ยนไป เมื่อมีการลัดรอบของขดลวดสเตเตอร์ ที่ค่าสลิปต่างกัน

6.สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ค่าของสัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อมีการลัดรอบ จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับจำนวนขดลวดที่เกิดการลัดรอบ โดยที่ค่าของสัญญาณแรงดันจะมีค่ามากขึ้นก็ต่อเมื่อมีการลัดรอบมากขึ้นตาม แต่ถ้าระบบที่ป้อนไฟให้กับมอเตอร์มีความไม่สมดุลเกิดขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าสัญญาณแรงดันที่ตรวจจับได้จากตัวมอเตอร์ มีค่าแตกต่างไปจากสัญญาณแรงดันขณะสมดุล ดังนั้นการตรวจสอบสัญญาณแรงดันที่เกิดการลัดรอบนี้ จะมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น ถ้าทำการตรวจสอบมอเตอร์ในขณะที่ระบบมีความสมดุล

7.กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงงานครั้งนี้ สำเร็จลงได้จากความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ประจำปี 2546 และ บริษัทสยามบราเดอร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอนุญาตให้กลุ่มนักศึกษาผู้ดำเนินโครงงานได้เข้าไปทดลอง และศึกษาข้อมูลจากทางบริษัท

8.เอกสารอ้างอิง

[1]M.E.H. Benbouzid and G.B. Kliman,"What stator current processing based technique to use for induction motor rotor faults diagnosis" IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.18, NO.2, June 2003, pp 238-244

[2]S. Nandi and H.A. Toliyat ,"Novel frequency-domain-based technique to detect stator interturn faults in induction machines using stotor-induced voltages after switch-off" IEEE Trans. Ind. App. Vol. 38, No.1, Jan./Feb. 2002, pp 101-109

[3]Marcus Alex Cash, Thomas G. Habetler, Gerald B. Kliman : "Insulation Failure Prediction in AC Machines Using Line–Neutral Voltages", IEEE Trans. Inds. App. Vol. 34, NO. 6, November/December 1998, pp 1234-1239