

## บทที่ 4

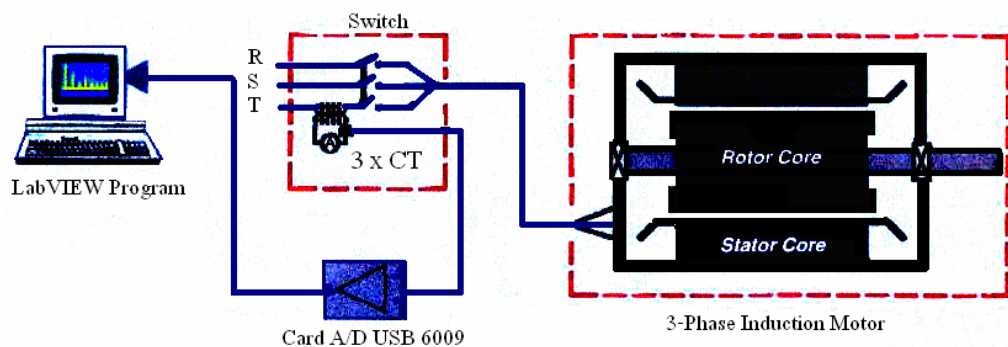
### การออกแบบเครื่องมือวัดเสมือนและผลการทดสอบ

#### 4.1 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดโรเตอร์แบบกรงกระรอกขนาดไม่เกิน 5 แรงม้า จำนวน 3 ตัว เพื่อศึกษาความผิดปกติของมอเตอร์ โดยทำการจำลองความผิดปกติต่าง ๆ ได้แก่ การลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ การรั่วลงดิน กรณีวงจรเปิด กรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์สัญญาณฮาร์มอนิกกระแสที่สเตเตอร์ของมอเตอร์โดยใช้หม้อแปลงกระแส (current transformer) เพื่อนำสัญญาณเข้าสู่การ์ด A/D ของโปรแกรม LabVIEW

##### 4.1.1 บล็อกไดอะแกรม

การวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์หรือที่รู้จักกันดีภายใต้ ชื่อ MCSA ส่วนใหญ่แล้วจะใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้จะมีข้อดีคือเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้ง่ายกว่าสัญญาณอื่น ๆ เช่น สัญญาณของเส้นแรงแม่เหล็กที่ต้องใช้ขดลวดหา (search coil) เป็นต้น ระบบวิธีการวินิจฉัยโดยใช้ MCSA แสดงดังภาพประกอบ 4-1



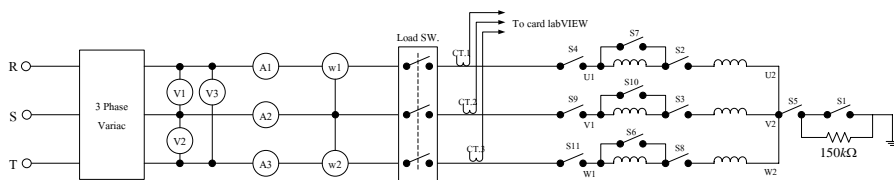
ภาพประกอบ 4-1 บล็อกไดอะแกรมระบบการวินิจฉัยมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ MCSA

จากภาพประกอบ 4-1 จะเห็นได้ว่าเป็นการวิเคราะห์การตรวจจับสเปกตรัมที่เกิดขึ้นรวมอยู่ในกระแสสเตเตอร์ การวินิจฉัยด้วยวิธีนี้จะต้องมีเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer)

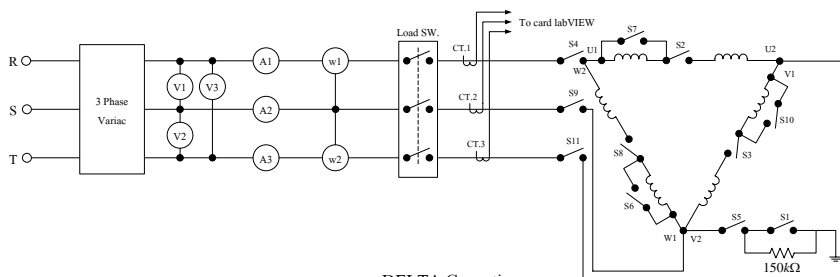
สำหรับใช้แปลงไปยังโดเมนความถี่ ก่อนการวินิจฉัยโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ ซึ่งจะได้สเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากความผิดพร่องของสัญญาณกระแสเตเตอร์จากสาเหตุต่าง ๆ ได้

### 4.1.2 วงจรขดลวดมอเตอร์ที่ใช้จำลองความผิดพร่อง

มอเตอร์ที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ ได้สั่งพันเป็นกรณีพิเศษ จำนวน 3 ตัว โดยต่อสายที่ปลายขดลวดออกเป็นสองส่วนต่อเข้ากับสวิทช์ เพื่อให้ขดลวดลัดวงจรระหว่างขดลวดถึงขดลวดกรณีวงจรเปิดบางเฟส หรือกรณีขดลวดรั่วลงกราวด์ ดังภาพประกอบ 4-2 และ 4-3



STAR Connection



DELTA Connection

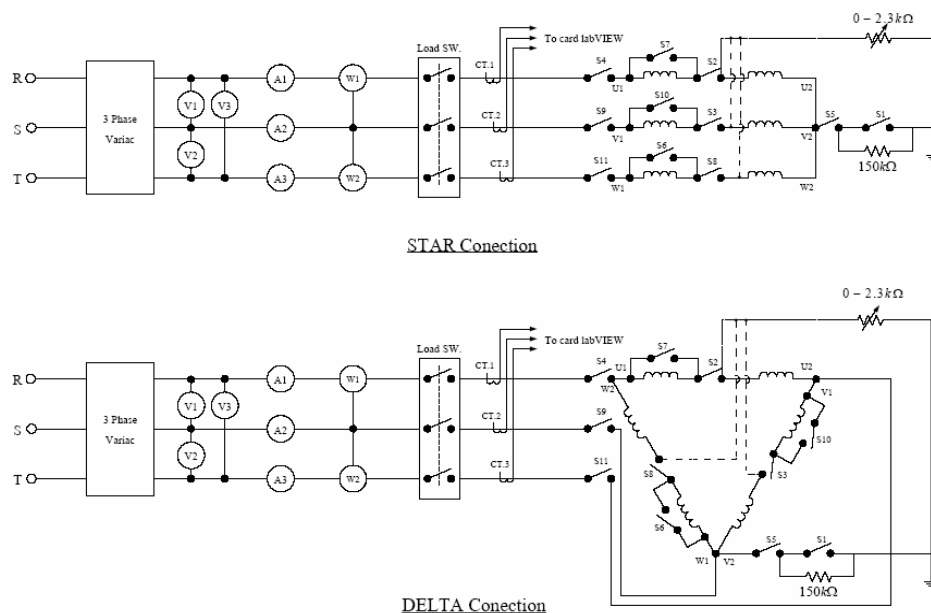
ภาพประกอบ 4-2 วงจรขดลวดมอเตอร์ที่ใช้จำลองความผิดพร่องกรณีลัดวงจรที่สเตเตอร์

ภาพประกอบ 4-3 เป็นมอเตอร์ที่สั่งพันเพื่อใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ ขนาด 0.5 ; 1.5 ; และ 2 แรงม้า ใช้กับแรงเคลื่อน 3 เฟส 220/380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต 4 โพล มี สวิทช์สำหรับ เปิด-ปิด เพื่อให้ขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรตามเงื่อนไข



ภาพประกอบ 4-3 มอเตอร์สำหรับการทดลอง 3 ขนาด ( 0.5 , 1.5 , 2 hp , 50-Hz)

การทดลองกรณีขดลวดสเตเตอร์รีวลงกราวด์ จะต่อตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ ซึ่งมีค่าความต้านทานที่มีค่าตั้งแต่ 0-2.3 กิโลโอห์ม ต่ออยู่ในวงจรด้วย เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลจากขดลวดสเตเตอร์ลงกราวด์ แล้วค่อย ๆ ปรับค่าจากความต้านทานสูงสุด จนถึงค่าต่ำสุดที่สามารถจับค่าฮาร์มอนิกกระแสจากเครื่องมือวัดเสมือนที่ทดลองได้ ดังภาพประกอบ 4-4

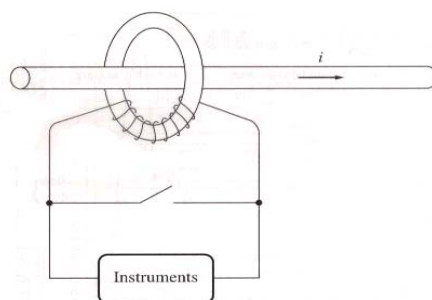


ภาพประกอบ 4-4 การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้กับขดลวดสเตเตอร์เพื่อควบคุมกระแสรีวลงกราวด์



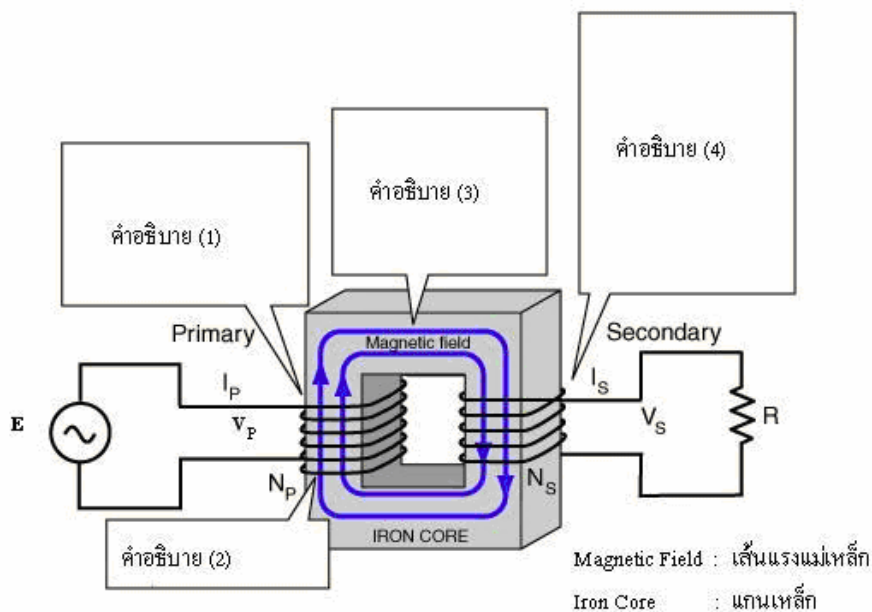
4.1.3.2 หม้อแปลงกระแส (Current transformer, CT)

หม้อแปลงกระแส (CT) จะมีลักษณะต่างจากหม้อแปลงกำลัง (PT) คือมีขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) ต่ออนุกรม (series) อยู่กับ line เพื่อวัดกระแสที่ไหลผ่านทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic induction) ขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมิ (secondary winding) ลักษณะการต่อวงจรหม้อแปลงกระแสแสดงดังภาพประกอบ 4-7



ภาพประกอบ 4-7 หม้อแปลงกระแส CT

กรณีหม้อแปลงต่างๆไปจะมีความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้จากดังภาพประกอบ 4-8 และสมการ 4-1 ถึงสมการ 4-4



ภาพประกอบ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ของหม้อแปลงต่างๆไป

ตารางที่ 4-1 ความสัมพันธ์ของหม้อแปลง

สัญลักษณ์ในสมการ (1-4)	ปริมาณ
$E$ : แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งไฟสลับ (โวลต์)	$R$ : โหลดตัวต้านทาน (โอห์ม)
$V$ : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)	$I$ : กระแสไฟฟ้า (แอมป์)
$N$ : จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)	$F$ : ความถี่ (รอบต่อวินาที)
$A$ : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเมตร)	$t$ : เวลา (วินาที)
“P” : ปฐมภูมิ (Primary)	“S” : ทติยภูมิ (Secondary)
$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ : อัตราการเปลี่ยนแปลงจากความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา	$B$ : ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)

**คำอธิบาย 1 :** เมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเขียนในรูปคณิตศาสตร์ได้ คือ

$$V_p = -N_p A \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (4-1)$$

ข้อสังเกต เครื่องหมายลบ แสดงให้เห็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็ก

**คำอธิบาย 2 :** เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กนี้เปลี่ยนแปลงตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ

**คำอธิบาย 3 :** เส้นแรงแม่เหล็กเกือบทั้งหมดจะอยู่รอบแกนเหล็ก

**คำอธิบาย 4 :** เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กผ่านขดลวด จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดทติยภูมินี้ และเขียนในรูปคณิตศาสตร์ ได้ดังสมการ (4-2)

$$V_s = -N_s A \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (4-2)$$

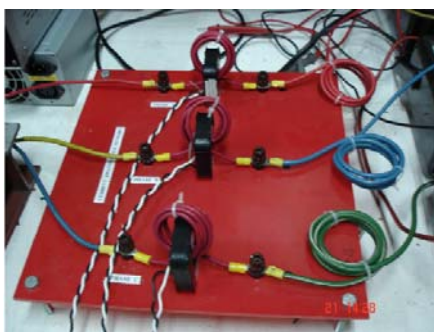
ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และจำนวนรอบของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงตามอุดมคติ (Ideal Transformer : ไม่รวมการสูญเสียของขดลวดและแกนเหล็ก) สามารถหาได้จากสมการ (4-3)

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{I_P}{I_S} = \frac{N_S}{N_P} \quad (4-3)$$

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (ไม่รวมการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็กและแกนของหม้อแปลง) หาได้จากสมการ (4-4)

$$V = 4.44 fNAB \quad (4-4)$$

ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ใช้หม้อแปลงกระแสจำนวน 3 ตัว ขนาด 5 แอมป์เป็นตัวตรวจรู้ (sensor) สำหรับจับสัญญาณกระแสที่ไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ทั้ง 3-เฟส ขณะที่มอเตอร์ทำงานในสภาวะปกติและสภาวะผิดปกติพร้อมเข้าสู่การ์ด A/D ชนิด USB 6009 interactive control panel เพื่อแยกสัญญาณเป็นฮาร์มอนิกกระแสที่ความถี่ต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่สร้างเป็นเครื่องมือวัดเสมือน แสดงผลที่มอนิเตอร์ หม้อแปลงกระแสแสดงดังภาพประกอบ 4-9



ภาพประกอบ 4-9 Split core current transformer 5 Amps

#### 4.1.3.3 ชุดควบคุมการจ่ายไฟและสวิตช์แม่เหล็ก (Variac and Magnetic contactor)

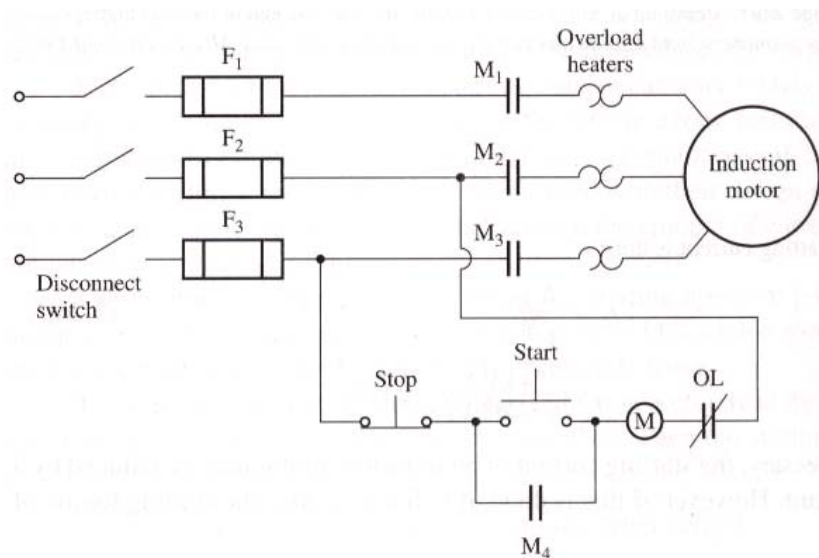
ในการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3-เฟส ให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำการทดลองในงานวิจัย ได้ใช้ 3- $\phi$  variac เพื่อปรับระดับของแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการทั้งขณะปกติ และขณะทำการ

ลัดวงจรขดลวดสเตเตอร์ เพื่อความปลอดภัยต่ออุปกรณ์และเครื่องมือวัดไฟฟ้า ในการทดลองจะใช้แรงดันที่มีขนาดเพียง 100 โวลต์ โดยมีวงจรสวิตช์แม่เหล็กและตัวโอเวอร์โวลด์ต่ออยู่ในวงจรด้วย ดังภาพประกอบ 4-10



ภาพประกอบ 4-10 3- $\phi$  Variac และ Magnetic contector

ส่วนของวงจรสวิตช์แม่เหล็ก ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟเข้าสู่ระบบ อันมีส่วนประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ Disconnect switch , Fuse , Magnetic contector , Overload heaters , Push button switch , Lamp การต่อวงจรของอุปกรณ์แต่ละตัวแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบ 4-11



ภาพประกอบ 4-11 วงจรสวิตช์แม่เหล็ก



การทดลองเพื่อดูอาร์มอณิกส์กระแสของมอเตอร์ ทั้งสภาวะปกติและสภาวะลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ ได้ทำการตรวจจับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบมอเตอร์ (Tacho-generator) ดังภาพประกอบ 4-12



ภาพประกอบ 4-12 Tacho-generator สำหรับวัดความเร็วรอบมอเตอร์

จากภาพประกอบ 4-12 เป็น Tacho-generator ที่ใช้วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยต่อแกนคัปปลิ้งกับแกนของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนก็จะทำให้ Tacho-generator หมุนตามและจะสร้างแรงดันขึ้นจำนวนหนึ่งผ่านสายไฟทางด้านเอาต์พุตเข้าสู่การ์ด A/D เข้าโปรแกรมเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อแสดงความเร็วรอบออกมาเป็น รอบ/นาที (rpm.) การต่อ Tacho-generator แสดงดังภาพประกอบ 4-13



ภาพประกอบ 4-13 การต่อคัปปลิ้ง Tacho-gen เข้ากับแกนมอเตอร์

เพื่อความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดเสมือน ได้ใช้ Tachometer ของ Testo และของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสอบเทียบอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งค่าที่วัดได้ตรงกันทุกค่า Tachometer ที่ใช้สอบเทียบค่าดังกล่าวประกอบ 4-14(ก),(ข)



(ก)

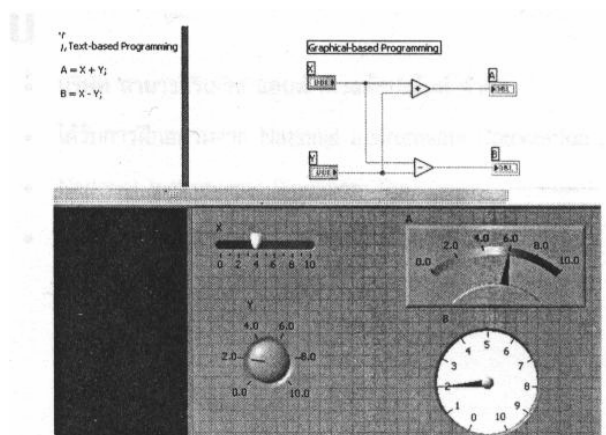


(ข)

ภาพประกอบ 4-14 Tachometer สำหรับเทียบความเร็ว

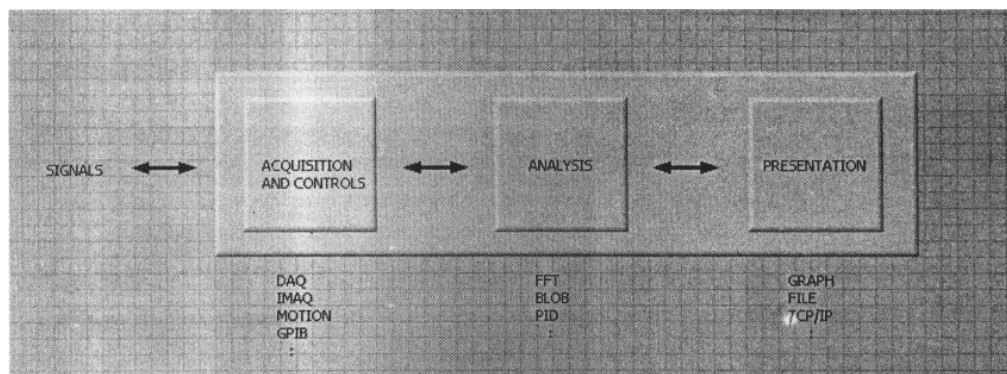
#### 4.1.3.4 การจำลองเครื่องมือวัดฮาร์ดแวร์บนนิสกระแสดจาก LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) คือเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับ Visual Basic , Visual C ++ แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based programming) ซึ่งจะแตกต่างจาก Text-based Programming นั่นคือ Text-based จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow ดังภาพประกอบ 4-15



ภาพประกอบ 4-15 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมด้วย LabVIEW

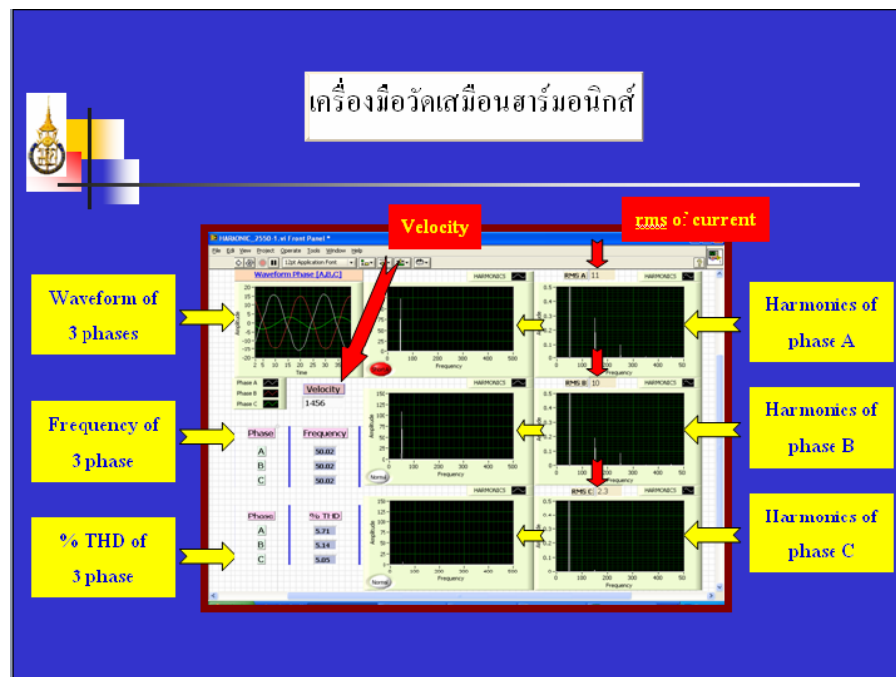
การใช้งานโปรแกรม LabVIEW จะเน้นไปทางการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่าง ๆ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW ถูกเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ



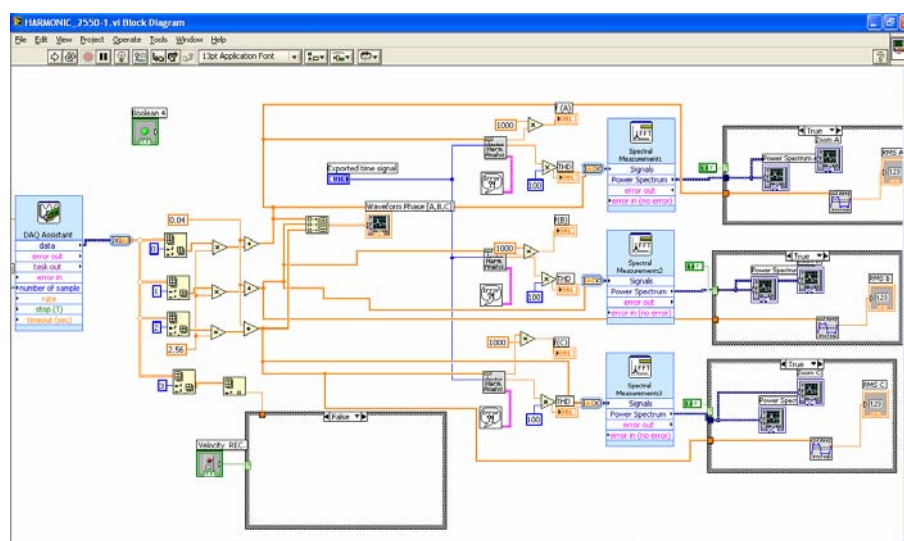
ภาพประกอบ 4-16 หลักการทำงานของ LabVIEW

1. Acquisition เป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่ได้อาจมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า) การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) และ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. Analysis เป็นส่วนที่รับข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation เป็นการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyser จะแสดงผลสัญญาณในรูปแบบความถี่

จากการศึกษาโปรแกรม LabVIEW สามารถเขียนโปรแกรมให้ได้หน้าจอแสดงที่ Front panel เป็นเครื่องมือวัดเสมือน โดยสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังภาพประกอบ 4-17 และแสดงโปรแกรมสร้างเครื่องมือวัดเสมือนดังภาพประกอบ 4-18

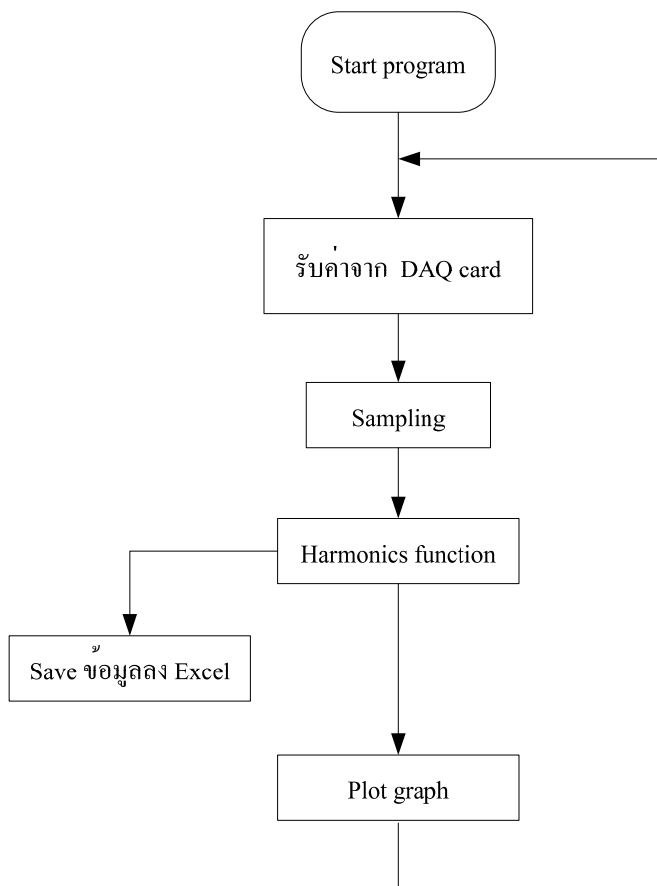


ภาพประกอบ 4-17 การจำลองเครื่องมือวัดฮาร์มอนิกส์กระแสดจาก LabVIEW



ภาพประกอบ 4-18 โปรแกรมสร้างเครื่องมือวัดฮาร์มอนิกส์กระแสดจาก LabVIEW

การทำงานของโปรแกรมเครื่องมือวัดเสมือนเพื่อดูฮาร์โมนิกส์กระแส มีลำดับขั้นตอนดัง  
ภาพประกอบ 4-19



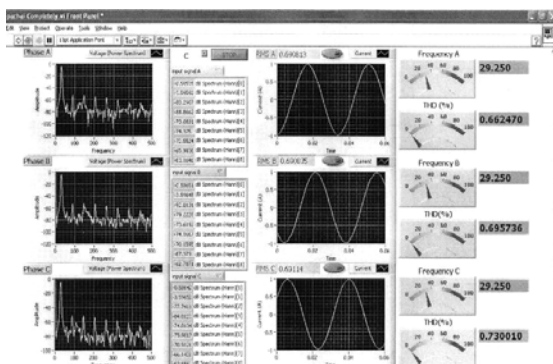
ภาพประกอบ 4-19 Flow chart ของการวัดฮาร์โมนิกส์กระแสด้วยโปรแกรม LabVIEW

## 4.2 ผลการทดลอง

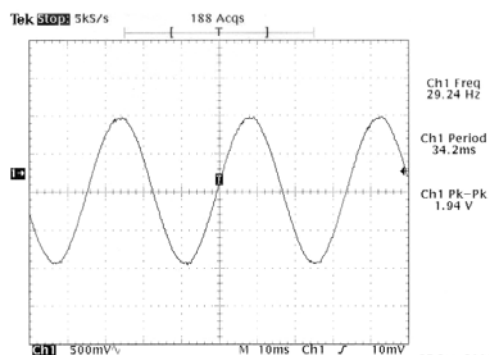
### 4.2.1 ผลการสอบเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ

การสร้างเครื่องมือวัดเสมือนกับโปรแกรม LabVIEW เพื่อวัดค่าฮาร์โมนิกส์กระแสของมอเตอร์ที่ทำการวิจัย ให้มีความน่าเชื่อถือสามารถนำค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดเสมือนมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากออสซิลอสโคป (Oscilloscope) ดังนี้

ผลจาก LabVIEW

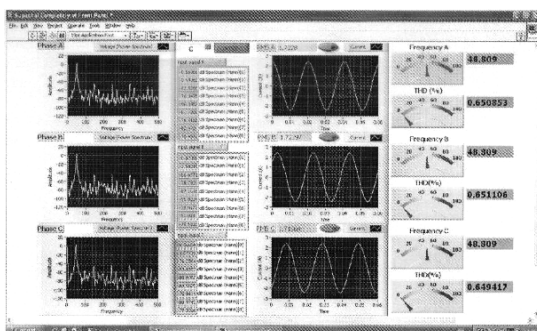


ผลจาก Oscilloscope

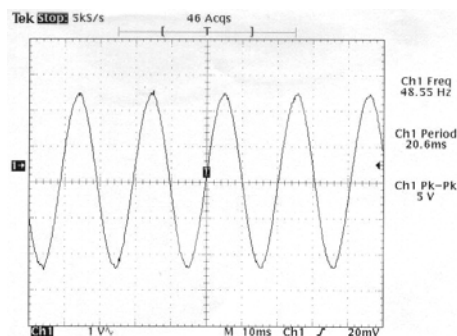


ภาพประกอบ 4-20 เปรียบเทียบที่ความถี่ 30-Hz , 2 Volts

ผลจาก LabVIEW

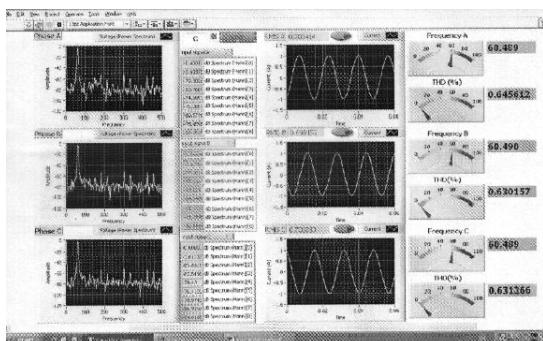


ผลจาก Oscilloscope

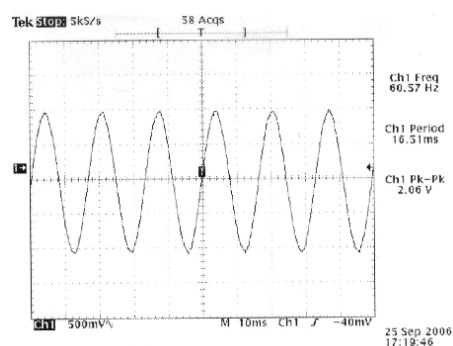


ภาพประกอบ 4-21 เปรียบเทียบที่ความถี่ 50-Hz , 5 Volts

ผลจาก LabVIEW

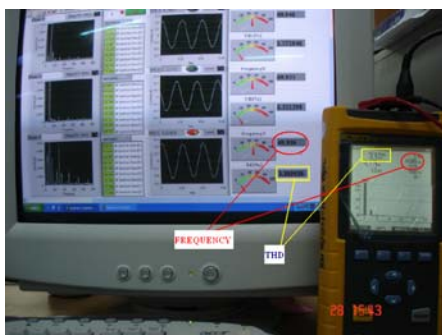


ผลจาก Oscilloscope



ภาพประกอบ 4-22 เปรียบเทียบที่ความถี่ 60-Hz , 2 Volts

จากภาพประกอบ 4-20 ถึง 4-22 เป็นการสอบเทียบผลที่ได้ของเครื่องมือวัดเสมือนที่สร้างขึ้นกับผลที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป โดยการสร้างสัญญาณไซน์ชอยด์ลจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ให้ได้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับและค่าความถี่ต่าง ๆ ตามที่ต้องการจะเปรียบเทียบ แล้วป้อนสัญญาณไซน์ชอยด์ลเข้าออสซิลโลสโคป กับ เครื่องมือวัดเสมือน เพื่อดูความเที่ยงตรง ผลปรากฏว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนกับผลที่ได้จากออสซิลโลสโคปมีความใกล้เคียงกันสูงมาก เพื่อให้เครื่องมือวัดเสมือนนี้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ได้นำ FLUKE 43 B มาวัดค่าเพื่อดูความผิดเพี้ยนของสัญญาณไซน์ชอยด์ล (%THD) ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีค่าเท่ากันดังภาพประกอบ 4-23



ภาพประกอบ 4-23 เปรียบเทียบผลจากLabVIEW กับ FLUKEVIEW (43B)

#### 4.2.2 ผลการพิสูจน์สมการ

ผลจากการศึกษางานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัย ที่ทำการวิเคราะห์สัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแส เพื่อตรวจจับความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กรณีเกิดการลัดวงจรภายในขดลวดสเตเตอร์ (short-turn) ได้สมการดังนี้

$$f_{st} = f_1 \left[ \frac{n}{p} (1-s) \pm k \right] \quad (4-5)$$

เมื่อ	$f_{st}$	คือความถี่ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดการลัดรอบ
	$f_1$	คือความถี่มูลฐาน
	$n$	$= 1, 2, 3, \dots$
	$k$	$= 1, 3, 5, \dots$
	$s$	คือสลลิป
	$p$	คือจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก

ตัวอย่างการคำนวณหาความถี่  $f_{st}$  โดยใช้พารามิเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 1 ที่มีขนาด 0.5 hp 50-Hz , 4 poles , 1500 rpm เพราะฉะนั้นจากพารามิเตอร์สามารถหาค่าต่างๆ เพื่อแทนค่าในสมการได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ} \quad n_s = 120 \frac{f_1}{p}$$

$$= 120 \left( \frac{50}{4} \right)$$

$$= 1500 \quad \text{rpm}$$

$$n_r = 1475 \quad \text{rpm}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$$= \frac{1500 - 1475}{1500}$$

$$= 0.02$$

เมื่อ  $n = 1$  ,  $k = 1$

$$f_{st} = 50 \left[ \frac{1}{2} (1 - 0.02) \pm 1 \right]$$

$$= 74.5 , -25.5 \quad \text{Hz}$$

เมื่อ  $n = 1$  ,  $k = 3$

$$f_{st} = 50 \left[ \frac{1}{2} (1 - 0.02) \pm 3 \right]$$

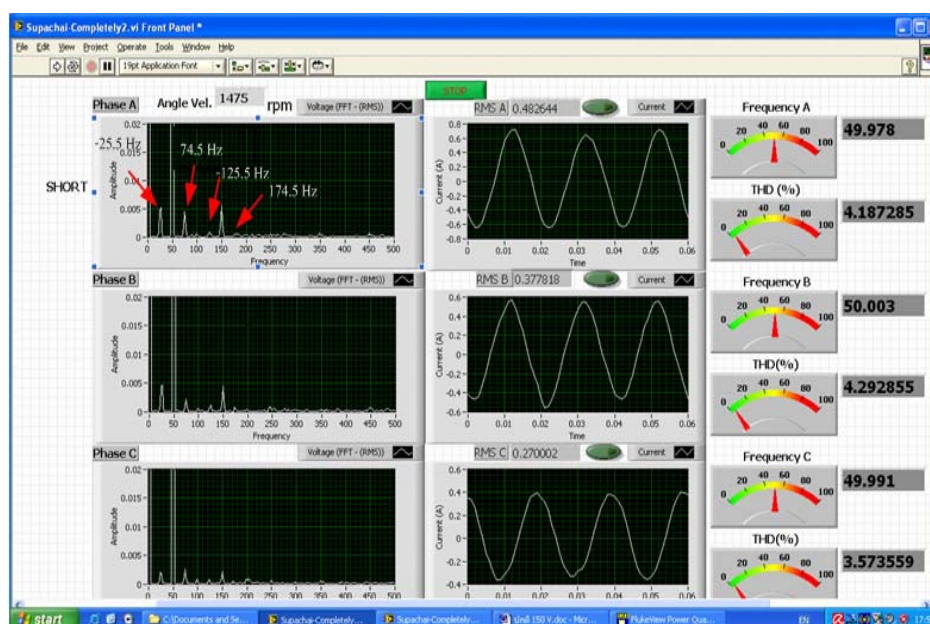


ค่าต่างๆ เมื่อใช้โปรแกรม EXCEL ช่วยในการคำนวณจะได้ค่าดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าความถี่ฮาร์มอนิกกระแสเมื่อขดลวดลัดรอบที่เฟส A

n	k	slip	fst	
1	1	0.02	74.5	-25.5
1	3	0.02	174.5	-125.5
1	5	0.02	274.5	-225.5
1	7	0.02	374.5	-325.5
2	1	0.02	99	-1
2	3	0.02	199	-101
2	5	0.02	299	-201
2	7	0.02	399	-301

จากความถี่ฮาร์มอนิกกระแสที่ได้ สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW ดังภาพประกอบ 4-24



ภาพประกอบ 4-24 ความถี่ฮาร์มอนิกกระแสที่เกิดขึ้นตามสมการ (4-5) เฟส A ลัดรอบ

### 4.2.3 ผลการทดลองมอเตอร์ตัวที่ 1 ขนาด 0.5 hp แบบสตาร์ (Y-CONNECTION)



ภาพประกอบ 4-25 Three-Phase Induction Motor 0.5 hp

ตารางที่ 4-3 แผ่นป้ายมอเตอร์ตัวที่ 1

#### THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

1/2 hp 4 poles TYPE TEFC			FRAME 71		
CYCLE	50		RATING		CONT
VOLTS	220	380	INS	CLASS	E
AMPS	1.9	1.1	Rpm	1500	
RESISTANCE WINDING			$U_1 - U_2 =$	28.29	OHMS
RESISTANCE WINDING			$V_1 - V_2 =$	27.43	OHMS
RESISTANCE WINDING			$W_1 - W_2 =$	28.43	OHMS

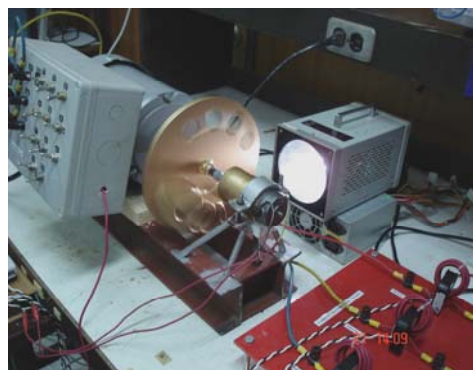
#### วิธีการทดลอง

การจำลองความผิดพลาดของมอเตอร์เมื่อต่อแบบสตาร์จะจ่ายแรงดัน โดยการปรับ variac ให้ได้ค่าที่ 100 Volts แล้วทำการ on switch 7 เพื่อศึกษาการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์เฟส A, on switch 10 เพื่อศึกษาการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์เฟส B, on switch 6 เพื่อศึกษาการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์เฟส C, on switch 7, switch 10 หรือ on switch 10, switch, switch 6 หรือ on switch 6, switch 7 เพื่อศึกษาการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ จำนวน 2 เฟส เช่นเฟส A, B ลัดวงจร หรือ เฟส B, C ลัดวงจร หรือเฟส C, A ลัดวงจร ในการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์นั้น

จะทำการลัดวงจรเพียง 1 ส่วน 4 ของจำนวนขดลวดลวดแต่ละเฟสเท่านั้นเพื่อป้องกันอันตรายจากการทดลอง เมื่อต้องการทดลองให้ขดลวดหายไปบางเฟส โดยที่มอเตอร์ยังสามารถทำงานได้เพียง 2 เฟส เช่น Off switch 4 เพื่อให้เกิดสภาวะ open single phase A , Off switch 9 เพื่อให้เกิดสภาวะ open single phase B off switch 11 เพื่อให้เกิดสภาวะ open single phase C นอกจากนี้ยังทดลองให้ขดลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ที่ละเฟสทั้งนี้ได้อุปกรณ์ความต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0–2.3 K $\Omega$  ดังภาพประกอบ 4-26(ก) โดยให้กระแสรั่วลงกราวด์ผ่านตัวต้านทานที่มีค่าสูงสุดจนถึงค่าต่ำสุด เพื่อศึกษาอาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้น การต่อวงจรขดลวดที่ใช้สำหรับการทดลองกรณีนี้แสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบ 4-4 การวัดความเร็วรอบโดยใช้ Tacho – generator ต่อคัปปลิ่งกับแกนโรเตอร์ เพื่อนำสัญญาณเข้าสู่การ์ด A/D ของโปรแกรม LabVIEW และเทียบค่ากับ Tachometer ดังภาพประกอบ 4-26(ข) และศึกษากรณีการเกิดความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์(unbalance rotor core) ดังภาพประกอบ 4-28



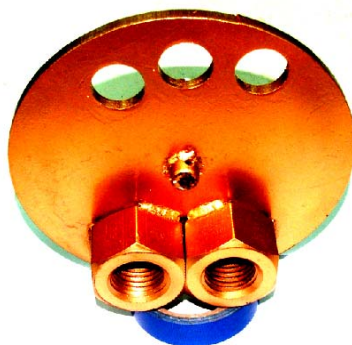
(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 4-26 (ก) ความต้านทานปรับค่าได้ ขนาด 0-2.3 K $\Omega$

(ข) การต่อ Tacho-gen กับแกน โรเตอร์เพื่อวัดความเร็วรอบ



ภาพประกอบ 4-27 แผ่นเหล็กสำหรับทดสอบกรณีความไม่สมมาตรของแกน โรเตอร์

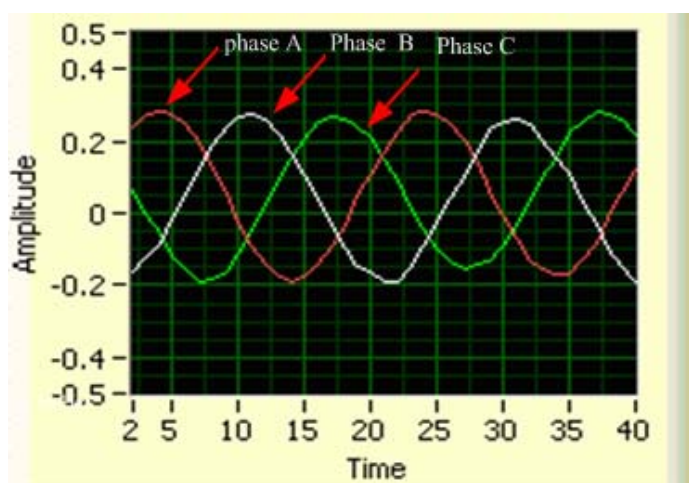
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นดังภาพประกอบ 4-28



ภาพประกอบ 4-28 เครื่องมือที่ใช้สำหรับงานวิจัย

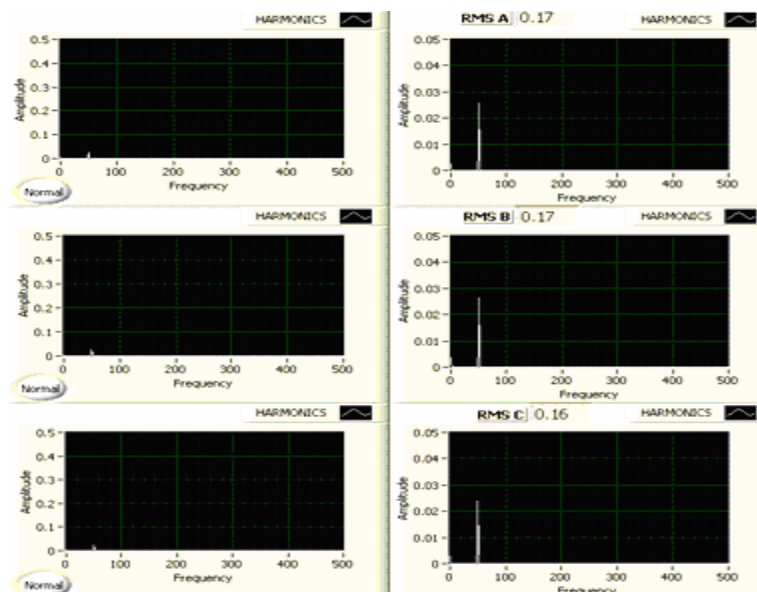
การเก็บข้อมูล

เมื่อมอเตอร์ปกติ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์หนึ่งขดนำทั้ง 3 เฟส จะอยู่ในสภาวะสมดุล โดยกระแสแต่ละเฟสทำมุม 120 องศาทางไฟฟ้า ขณะทำงานไร้โหลดเมื่อแหล่งจ่ายเป็น variac มีรูปคลื่นกระแสเป็นไซน์ซอซอยคัลแสดงดังภาพประกอบ 4-29



ภาพประกอบ 4-29 รูปคลื่นกระแสมอเตอร์ทั้ง 3 เฟส เมื่อแหล่งจ่ายเป็น variac 100 Volts

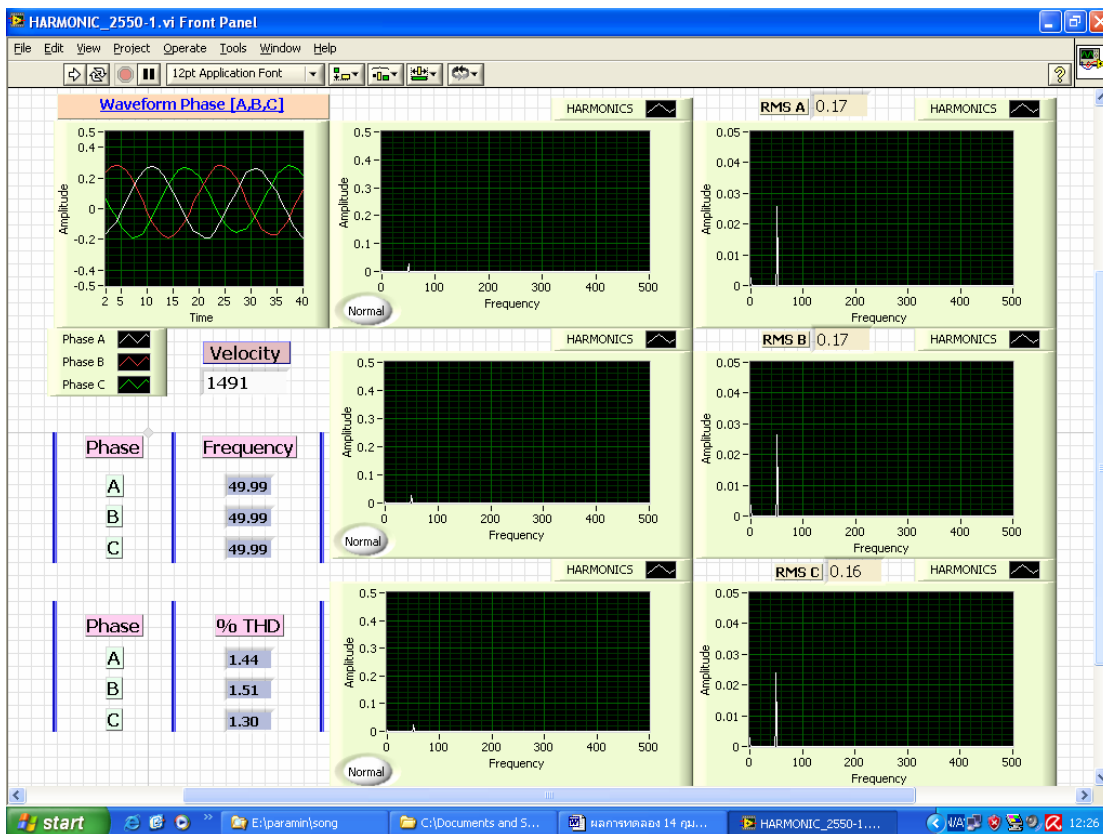
จากรูปแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นทั้ง 3 เฟส จะมีลักษณะที่คล้ายกัน ทั้งนี้สามารถเห็นความแตกต่างได้ถ้าวิเคราะห์โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform) ไปยังโดเมนความถี่ (Frequency domain) ซึ่งจากภาพประกอบ 4-29 ในโดเมนเวลา (time domain) เมื่อแปลงไปยังโดเมนความถี่จะได้ดังภาพประกอบ 4-30



ภาพประกอบ 4-30 สเปกตรัมฮาร์มอนิกสักระแสเฟส A,B,C ตามลำดับ

สเปกตรัมฮาร์มอนิกสักระแส เฟส A , B และ C ได้แสดงจากบนลงล่างตามลำดับ การประมวลผลได้จากการแปลงโดยใช้อัลกอริทึมของ FFT ในโปรแกรม LabVIEW จะเห็นว่าสเปกตรัมในแต่ละเฟสจะมีลักษณะที่แตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการวางขดลวดห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า จากภาพประกอบ 4-30 ส่วนใหญ่แล้วฮาร์มอนิกหลักที่เกิดขึ้นได้แก่ที่ความถี่ 50-Hz แต่เมื่อทำการทดลองให้มอเตอร์เกิดความผิดปกติจากกรณีต่าง ๆ จะสังเกตผลได้จากภาพผลการทดลองดังนี้

### ผลฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะปกติที่ Current transformer ทั้ง 3 ตัว



ภาพประกอบ 4-31 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ปกติ 100 Volts

เมื่อมอเตอร์อยู่ในสภาวะปกติ ฮาร์โมนิกกระแสที่ปรากฏจะอยู่ที่ความถี่หลักมูล 50-Hz (Fundamental frequency) และสามารถวัดค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกทั้งหมด (Total Harmonic Distortion ;THD) เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ตามสมการที่ (4-6)

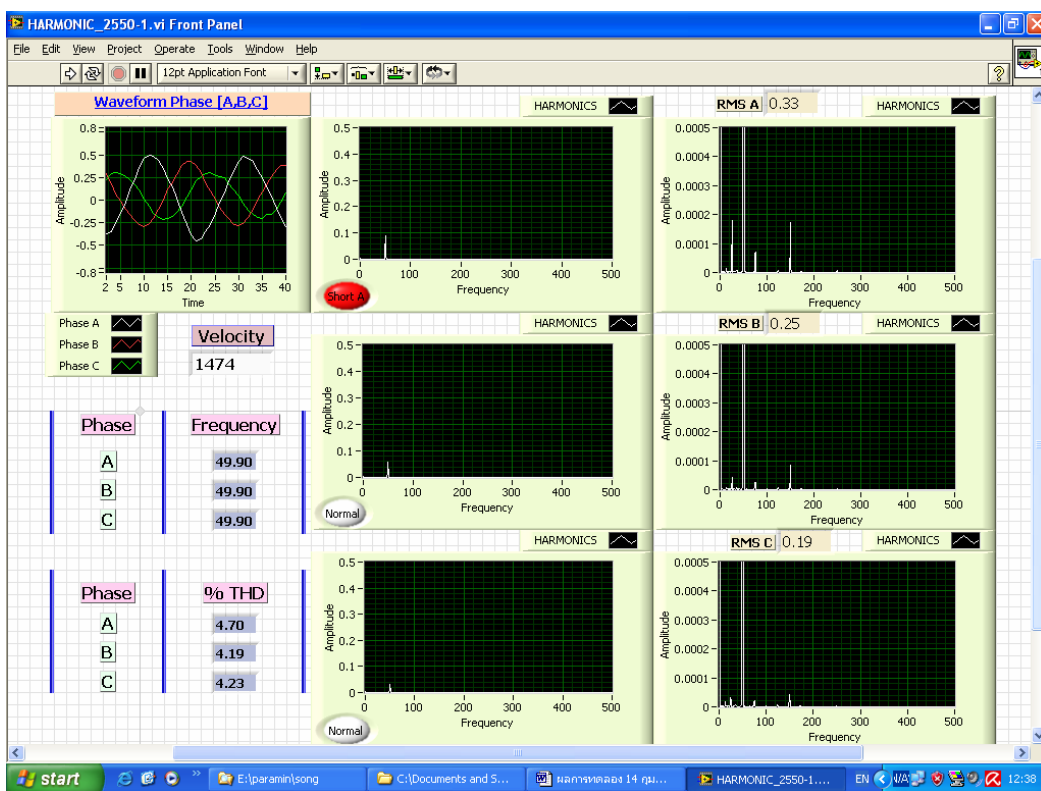
$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \times 100\% \quad (4-6)$$

เมื่อ  $I_n$  = กระแสอาร์เอ็มเอสที่อันดับฮาร์โมนิกต่าง ๆ

$I_1$  = กระแสคาร์ทของมอเตอร์

### 4.2.3.1. ทดลองทำ Short-Coil ใน Stator winding (Short 1 Phase)

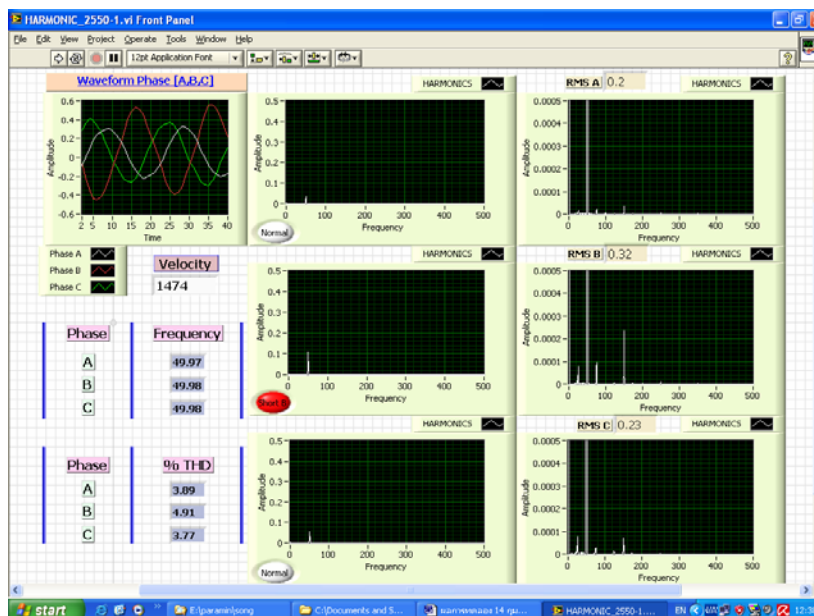
#### 4.2.3.1.1 วัดฮาร์มอนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase A (On S7)



ภาพประกอบ 4-32 ผลฮาร์มอนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase A

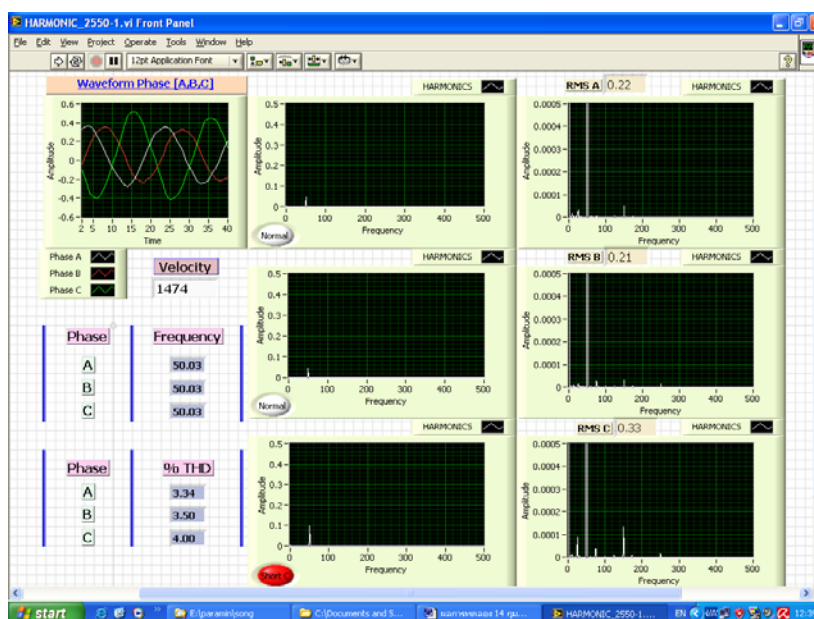
เมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase A จะปรากฏฮาร์มอนิกกระแสที่ Phase A , B , C ที่ความถี่ 150-Hz (ฮาร์มอนิกอันดับ3 ) และสามารถวัดเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยน THD ได้ค่าที่สูงขึ้นดังนี้ Phase A , B , C เท่ากับ 4.70 , 4.19 และ 4.23 ตามลำดับ ความเร็วมอเตอร์เป็น 1474 rpm

#### 4.2.3.1.2 วัดฮาร์มอนิกที่กระแสในสภาวะ Short Circuit Phase B (On S10)



ภาพประกอบ 4-33 ผลฮาร์มอนิกที่กระแสเมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase B

#### 4.2.3.1.3 วัดฮาร์มอนิกที่กระแสในสภาวะ Short Circuit Phase C (On S6)



ภาพประกอบ 4-34 ผลฮาร์มอนิกที่กระแสเมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase C



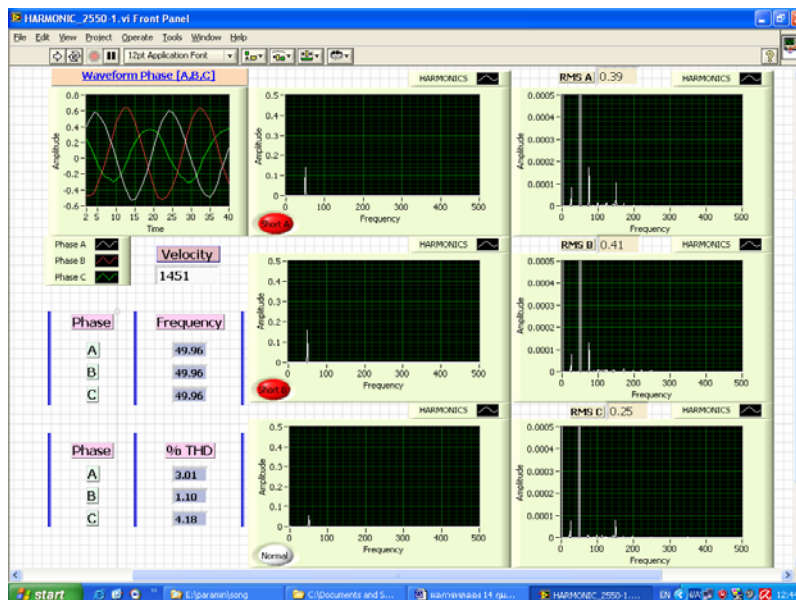
จากผลการทดลองลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ เพียง 1 เฟส และทดลองลัดวงจรที่ละเฟส คือ เฟส A , B , และ C ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 4-32 ,4-33 และ 4-34 ผลที่ได้สังเกตเห็นได้ชัดว่า ฮาร์มอนิกสักระแสที่เกิดขึ้นจะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 และฮาร์มอนิกด้านข้างของความถี่หลักมูล โดยที่ความถี่หลักมูลและความถี่ของฮาร์มอนิกอันดับ 3 จะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงขึ้น และลำดับความรุนแรงสังเกตได้ว่า จะเกิดที่เฟสที่เกิดการลัดวงจร และเฟสที่อยู่ลำดับถัดไป ตามลำดับเฟส (phase sequence) เช่นถ้าเฟส A ลัดวงจร ความรุนแรงของฮาร์มอนิกสักระแสก็จะเกิดที่เฟส A สูงสุด และเฟส B รองลงมา ส่วนเฟส C จะรุนแรงน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังสังเกตได้จากการดู แอมพลิจูด ของ wave form phase A,B,C ที่แสดงใน โดเมนเวลา จะเห็นว่าเฟสที่ลัดวงจร จะมีแอมพลิจูดที่สูงกว่าเฟสที่ปกติ ค่าต่าง ๆ ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดลัดวงจร 1 เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.44	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal B	1.51	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal C	1.30	0.16	49.99	0.026	0.000	1491
PhaseA(short)	4.70	0.33	49.90	0.10	0.00018	1474
Phase B	4.19	0.25	49.90	0.06	0.00010	1474
Phase C	4.23	0.19	49.90	0.04	0.00006	1474
Phase A	3.89	0.20	49.97	0.03	0.00005	1474
Phase B(short)	4.91	0.32	49.97	0.10	0.00024	1474
Phase C	3.77	0.23	49.98	0.05	0.00008	1474
Phase A	3.34	0.22	50.03	0.06	0.00005	1474
Phase B	3.50	0.21	50.03	0.05	0.00002	1474
Phase C(short)	4.00	0.33	50.03	0.10	0.00014	1474

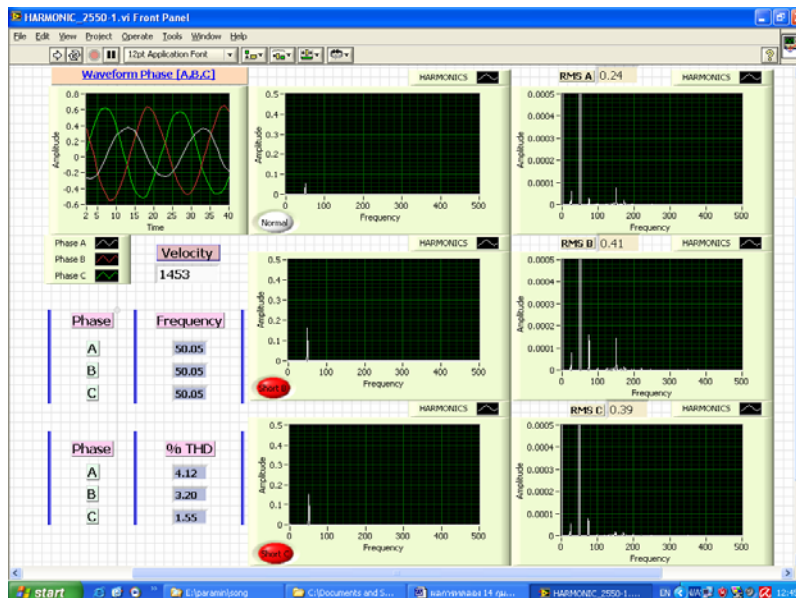
4.2.3.2 ทดลองทำ Short coil ใน Stator winding (Short 2 Phase)

4.2.3.2.1 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase AB (On S7,S10)



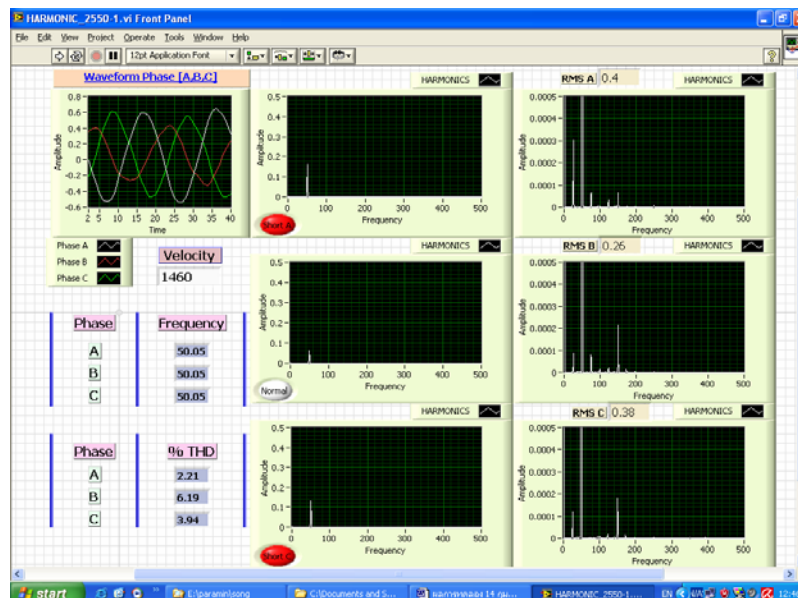
ภาพประกอบ 4-35 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase A,B

4.2.3.2.2 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase BC (On S10,S6)



ภาพประกอบ 4-36 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase B,C

#### 4.2.3.2.3 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสภาวะ Short Circuit Phase AC (On S7,S6)



ภาพประกอบ 4-37 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อมอเตอร์ Short Circuit Phase A,C

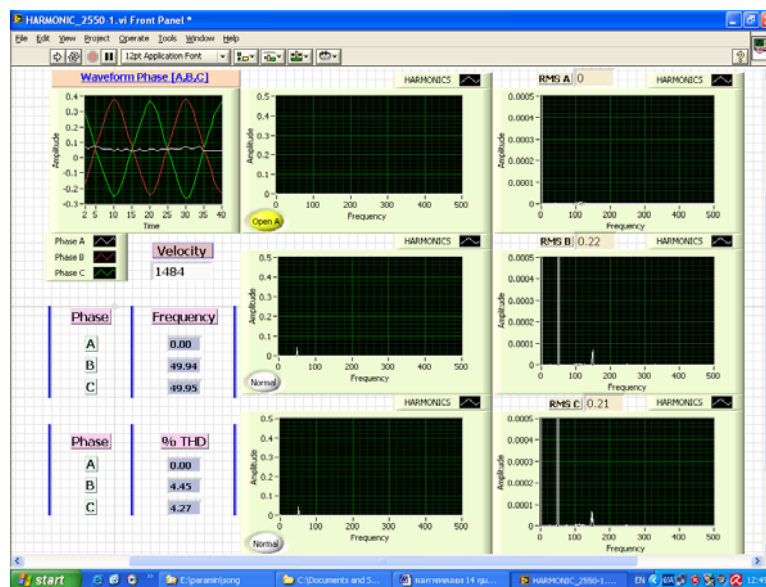
จากผลการทดลองลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ 2 เฟส โดยทดลองลัดวงจรทีละ 2 เฟส คือ เฟส AB , BC และ CA ตามลำดับ ตามภาพประกอบ 2-35 , 2-36 และ 2-37 ผลที่ได้สังเกตเห็นได้ชัดว่าฮาร์มอนิกสักระแสที่เกิดขึ้นจะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 และฮาร์มอนิกด้านข้างของความถี่หลักมูล โดยที่ความถี่หลักมูลและความถี่ของฮาร์มอนิกอันดับ 3 จะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงขึ้นและลำดับความรุนแรงจะมากกว่ากรณีที่ขดลวดลัดวงจรเพียง 1 เฟส สังเกตได้ว่า จะเกิดความรุนแรงที่เฟสที่เกิดการลัดวงจรสูงทั้ง 2 เฟส และเฟสที่ปกติ ความรุนแรงจะน้อยกว่า อีกกรณีหนึ่งสังเกตได้จากการดูแอมพลิจูด ของ wave form phase A,B,C ที่แสดงในโดเมนเวลา จะเห็นว่าเฟสที่ลัดวงจร จะมีแอมพลิจูดที่สูงกว่าเฟสที่ปกติ เนื่องจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ถึง 2 เฟส ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวดไม่สมดุล เป็นผลให้สนามแม่เหล็กหมุนไม่เป็นไซนูซอยดัล ดังนั้นความเร็วของโรเตอร์ก็จะหมุนไม่เรียบ และความเร็วจะลดลงกว่าในขณะที่มีมอเตอร์ปกติ ค่าต่าง ๆ ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดลัดวงจร 2 เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.44	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal B	1.51	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal C	1.30	0.16	49.99	0.026	0.000	1491
PhaseA (short)	3.01	0.39	49.96	0.15	0.0001	1451
PhaseB(short)	1.10	0.41	49.96	0.15	0.00002	1451
Phase C	4.18	0.25	49.96	0.06	0.00008	1451
Phase A	4.12	0.24	50.08	0.08	0.00008	1453
Phase B(short)	3.20	0.41	50.08	0.16	0.00015	1453
Phase C(short)	1.55	0.39	50.08	0.16	0.00002	1453
Phase A(short)	2.21	0.40	50.05	0.17	0.00007	1460
Phase B	6.19	0.26	50.05	0.06	0.00022	1460
Phase C(short)	3.94	0.38	50.05	0.14	0.00018	1460

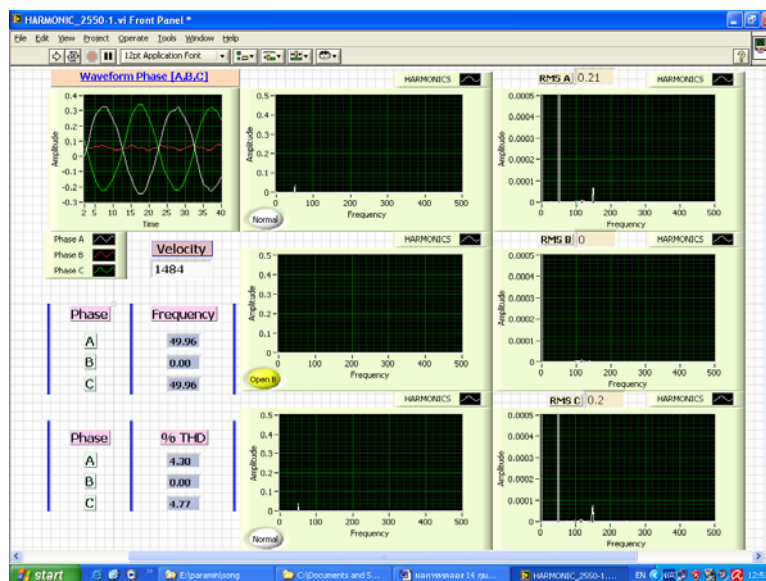
### 4.2.3.3 ทดลองทำ Open circuit ของ Stator winding (Open บางเฟส)

#### 4.2.3.3.1 วัตฮาร์โมนิกส์กระแสในสภาวะ Open Circuit Phase A (off S4)



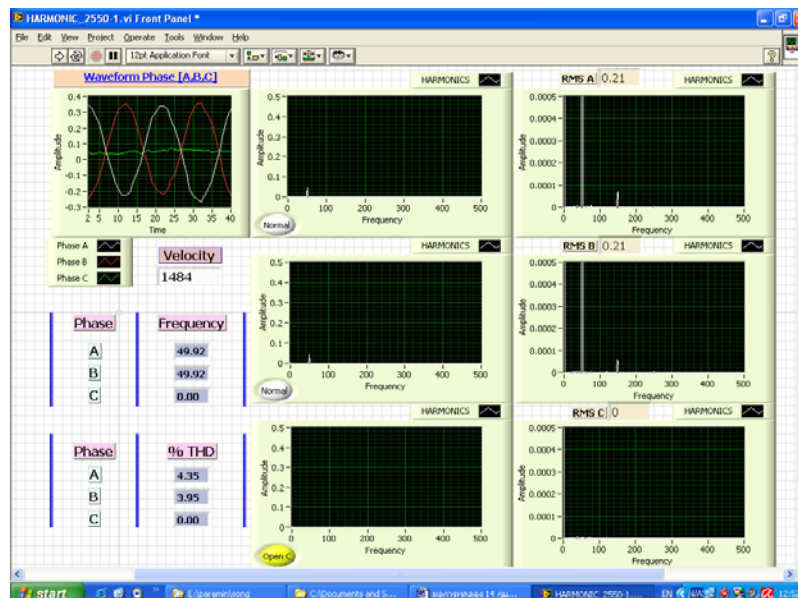
ภาพประกอบ 4-38 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อมอเตอร์ Open Circuit Phase A

#### 4.2.3.3.2 วัตฮาร์โมนิกส์กระแสในสภาวะ Open Circuit Phase B (off S9)



ภาพประกอบ 4-39 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อมอเตอร์ Open Circuit Phase B

#### 4.2.3.3.3 วัตต์ฮาร์โมนิกส์กระแสในสถานะ Open Circuit Phase C (off S11)



ภาพประกอบ 4-40 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อมอเตอร์ Open Circuit Phase C

เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ Open Circuit Phase ใดเฟสหนึ่งจะปรากฏฮาร์โมนิกส์กระแสที่ 2 เฟสที่เหลือ เช่นถ้าขดลวดสเตเตอร์ของเฟส A หายไป ฮาร์โมนิกส์กระแสจะปรากฏที่เฟส B, C ตามลำดับ ที่ความถี่ 50-Hz และมีฮาร์โมนิกส์อันดับ 3 เกิดขึ้นด้วย ดังภาพประกอบ 4-38, 4-39 และ 4-40 การทำงานของมอเตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับเมื่อมอเตอร์ปกติ เนื่องจากมอเตอร์ยังสามารถทำงานได้ที่ขดลวด 2 เฟสที่เหลือ

จากการทดลอง open-circuit ของขดลวดบางเฟส สรุปได้ว่า เมื่อเฟสใด เฟสหนึ่งหายไป ผลของสัญญาณฮาร์โมนิกส์กระแสของเฟสนั้นจะไม่ปรากฏที่กราฟ และเนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ทั้ง 2 เฟส เท่ากัน ความสมดุลของสนามแม่เหล็กหมุนถือว่าใกล้เคียงกับขณะที่มอเตอร์ทำงานปกติที่ 3 เฟส ดังนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จึงลดลงไม่มากนัก และสามารถสรุปเป็นตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ ดังตารางที่ 4-6

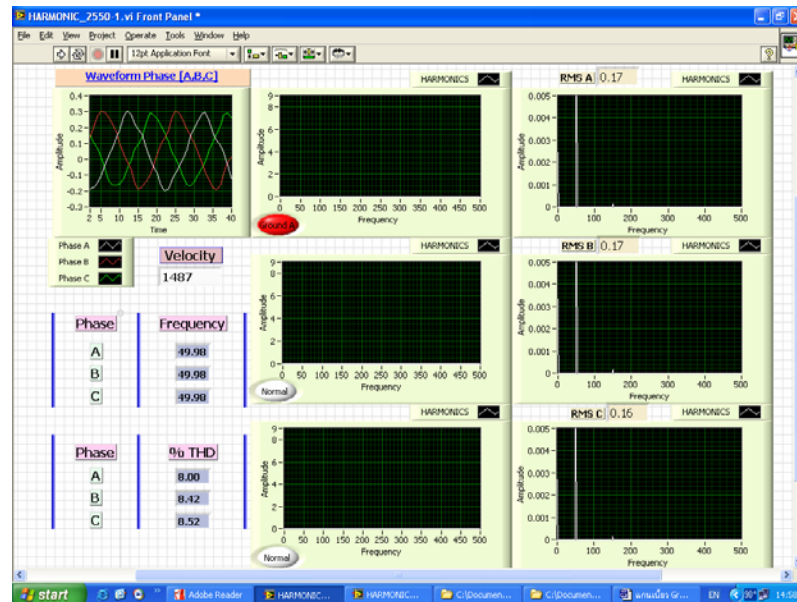
ตาราง 4-6 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดเปิดวงจร 1-เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.44	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal B	1.51	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal C	1.30	0.16	49.99	0.026	0.000	1491
PhaseA(open)	-	-	-	-	-	
Phase B	4.45	0.22	49.94	0.04	0.00008	1484
Phase C	4.47	0.21	49.95	0.04	0.00008	1484
Phase A	4.30	0.21	49.96	0.04	0.00008	1484
Phase B(open)	-	-	-	-	-	-
Phase C	4.77	0.20	49.96	0.04	0.00008	1484
Phase A	4.35	0.21	49.92	0.04	0.00008	1484
Phase B	3.95	0.21	49.92	0.04	0.00008	1484
Phase C(open)	-	-	-	-	-	-

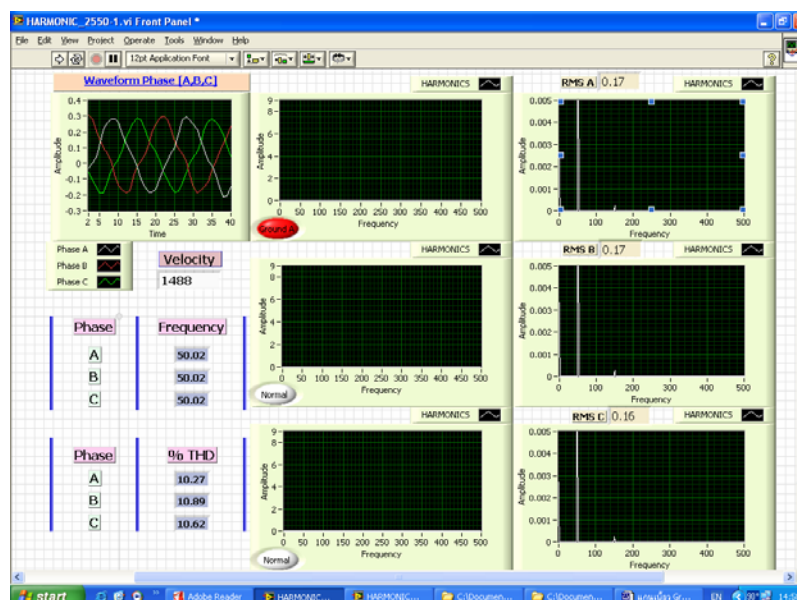
#### 4.2.3.4 ทดลองทำ ขดลวด Stator winding รั่วลงกราวด์

การทดลองในหัวข้อนี้ จะใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-2.3 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมกับสายไฟซึ่งต่อกับจุดที่ตำแหน่งลัดวงจร ตามภาพประกอบ 4-3 ในการทดลองครั้งแรกจะปรับค่าความต้านทานให้มีค่าสูงสุด คือ 2.0 , 1.5 , 1.0 และ 0.3 กิโลโอห์ม ตามลำดับ และวัดค่าฮาร์มอนิกสี่กระแสเมื่อขดลวดรั่วลงกราวด์ทีละเฟส คือ รั่วลงกราวด์เฟส A , B และ C ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามภาพประกอบ 4-41 ถึง 4-46

#### 4.2.3.4.1 วิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดเฟส A รั่วลงกราวด์

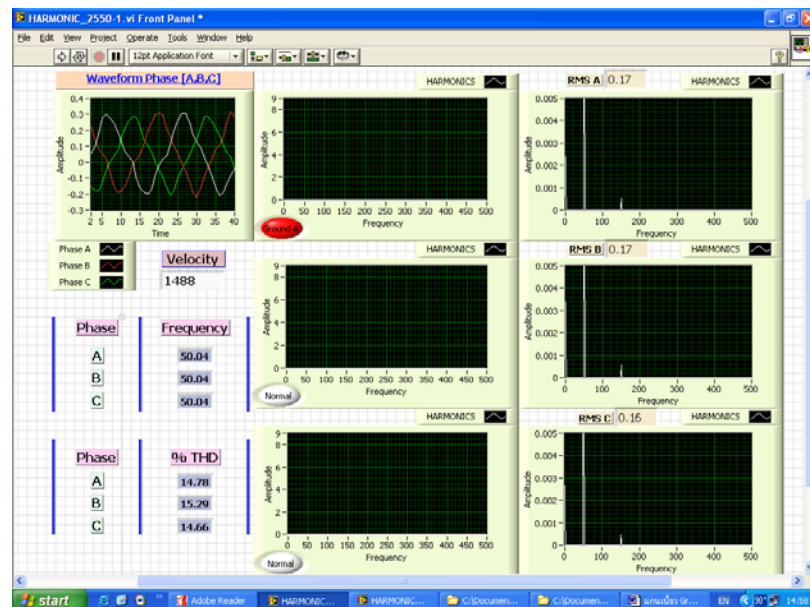


ภาพประกอบ 4-41 ผลวิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลงกราวด์เฟส A ( $R=2\text{ K}\Omega$ )

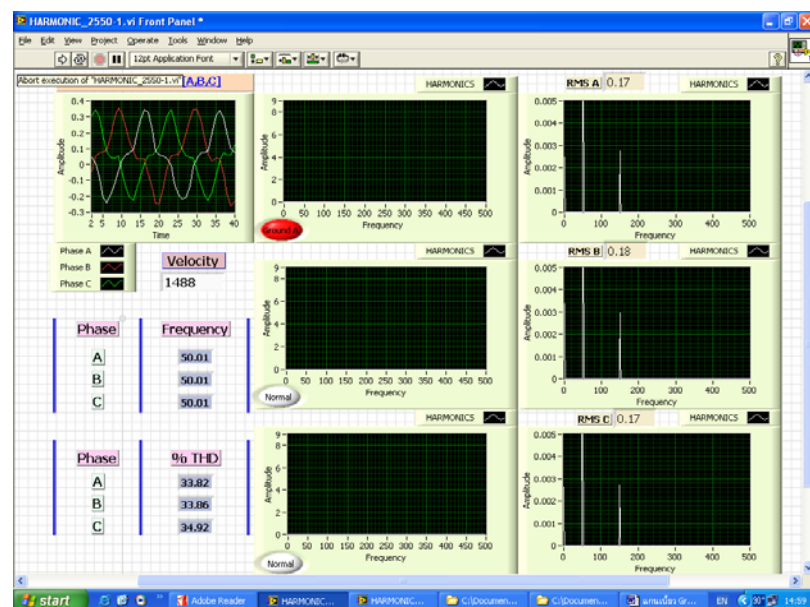


ภาพประกอบ 4-42 ผลวิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลงกราวด์เฟส A ( $R=1.5\text{ K}\Omega$ )



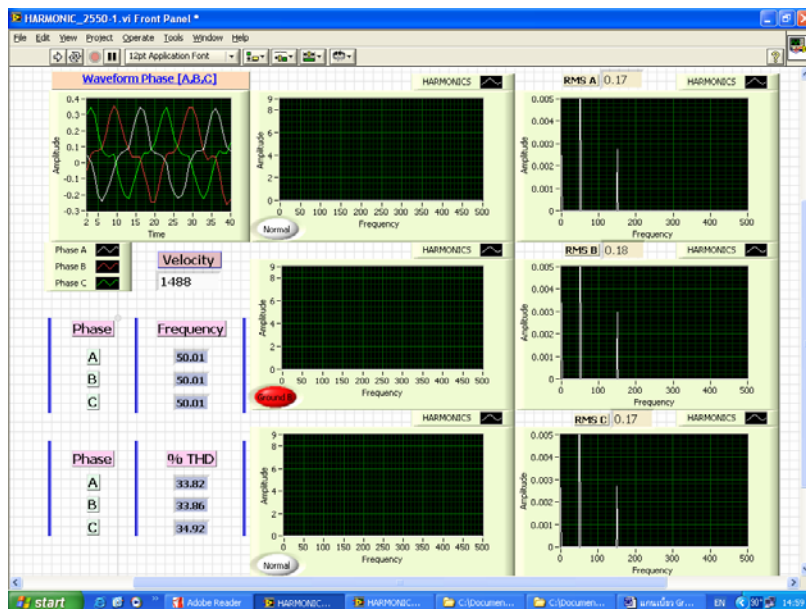


ภาพประกอบ 4-43 ผลฮาร์มอนิกที่กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลงกราวด์เฟส A ( $R=1.0\text{ K}\Omega$ )



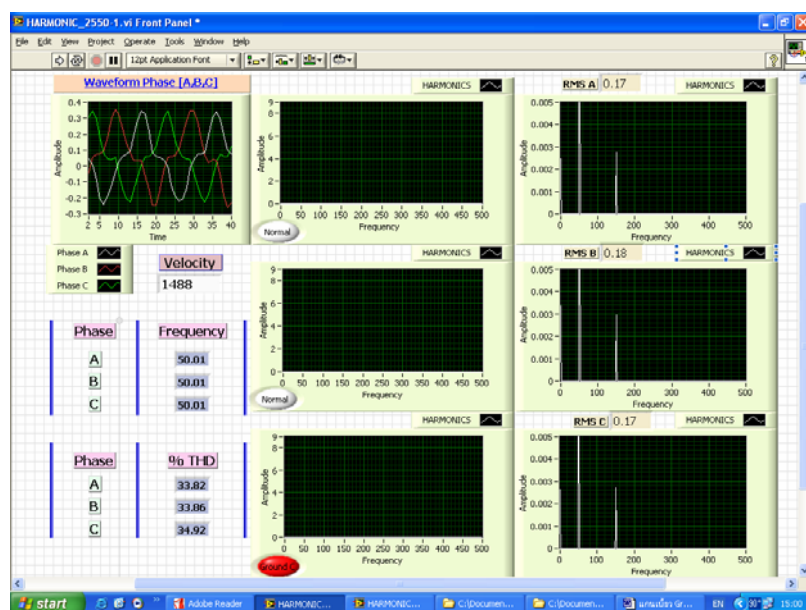
ภาพประกอบ 4-44 ผลฮาร์มอนิกที่กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลงกราวด์เฟส A ( $R=300\Omega$ )

#### 4.2.3.4.2 วัดฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อขดลวดเฟส B รั่วลงกราวด์



ภาพประกอบ 4-45 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลงกราวด์เฟส B ( $R=300\Omega$ )

#### 4.2.3.4.3 วัดฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อขดลวดเฟส C รั่วลงกราวด์



ภาพประกอบ 4-46 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลงกราวด์เฟส C ( $R=300\Omega$ )

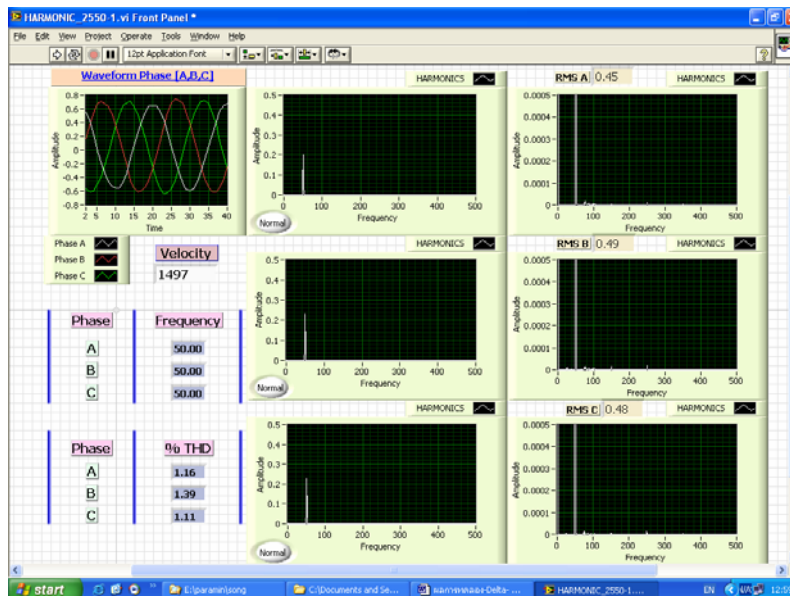
ผลของการทดสอบให้กระแสรั่วลงกราวด์แต่ละเฟส โดยการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อ เพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วของกระแสที่อาจเป็นผลให้มอเตอร์เกิดความเสียหายได้นั้น ค่าของความต้านทานต่ำสุดที่มอเตอร์ยังทำงานได้ คือที่ 300 โอห์ม จากการสังเกตฮาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสรั่วลงกราวด์ไม่ว่าจะเป็นเฟสใดก็ตาม กรณีนีวจบขลวมอเตอร์ต่อแบบสตาร์ ปรากฏว่า เกิดฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 มีลักษณะเหมือนกันทุกเฟส แต่กระแสอาร์เอ็มเอสของเฟสที่กระแสรั่วลงกราวด์ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาดูในส่วนของ wave form phase A,B,C รูปคลื่นของแต่ละเฟสจะผิดเพี้ยนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับว่ากระแสที่รั่วลงกราวด์มากน้อยเพียงใด ถ้ากระแสรั่วลงกราวด์มาก รูปคลื่นจะผิดเพี้ยนมาก ทำนองเดียวกันถ้ากระแสรั่วลงกราวด์น้อย รูปคลื่นก็จะผิดเพี้ยนน้อย โดยดูผลความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้จากค่า %THD ที่หน้าจอเครื่องมือวัดเสมือนได้อย่างชัดเจน ค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้จากตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อกระแสรั่วลงกราวด์ที่เฟส A,B,C มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.44	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal B	1.51	0.17	49.99	0.026	0.000	1491
Normal C	1.30	0.16	49.99	0.026	0.000	1491
พิจารณาที่ค่าความต้านทาน 300 โอห์มต่อป้องกันกระแสรั่วลงกราวด์ (Ground)						
Phase A(G)	33.82	0.17	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase B	33.86	0.18	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase C	34.92	0.17	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase A	33.82	0.17	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase B(G)	33.86	0.18	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase C	34.92	0.17	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase A	33.82	0.17	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase B	33.86	0.18	50.01	>0.005	0.003	1488
Phase C(G)	34.92	0.17	50.01	>0.005	0.003	1488

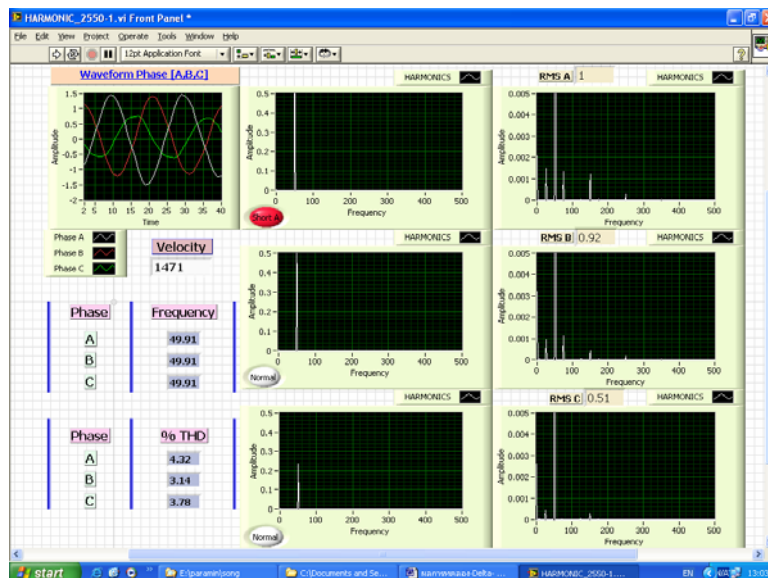
#### 4.2.4 ผลการทดลองมอเตอร์ตัวที่ 1 ขนาด 0.5 hp แบบเดลต้า ( $\Delta$ -CONNECTION)



ภาพประกอบ 4-47 ผลฮาร์มอนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ปกติ ที่ 100 Volts

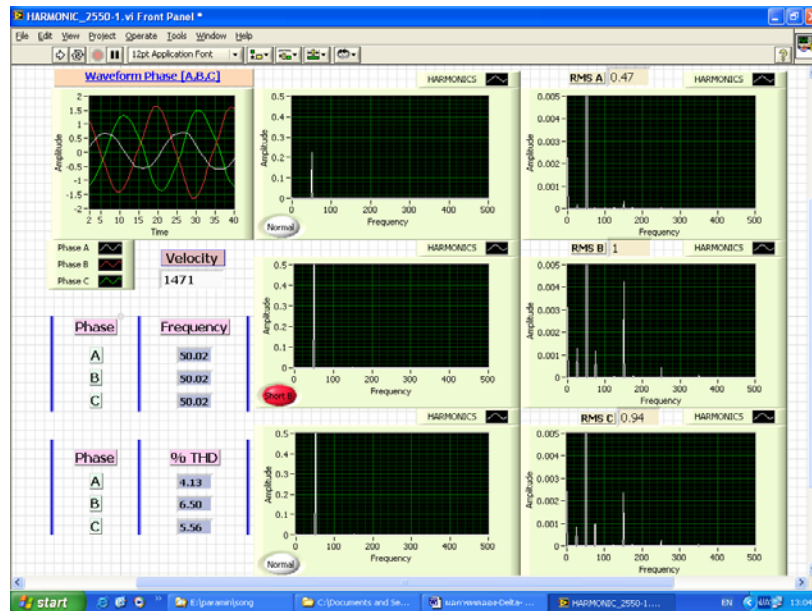
#### 4.2.4.1 . ทดลองทำ Short-Coil ใน Stator winding (Short 1 Phase)

##### 4.2.4.1.1 วัดฮาร์มอนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase A (On S7)



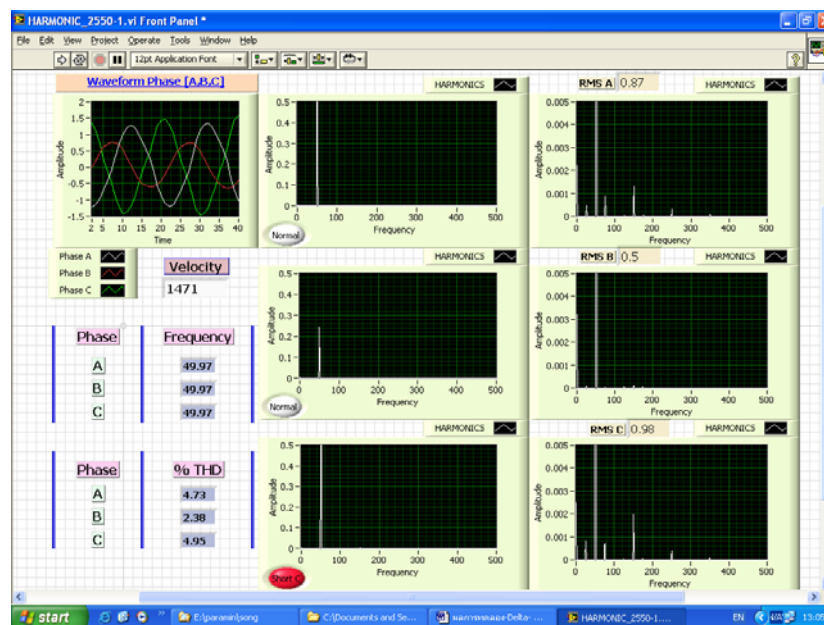
ภาพประกอบ 4-48 ผลฮาร์มอนิกกระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase A

#### 4.2.4.1.2 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสภาวะ Short Circuit Phase B (On S10)



ภาพประกอบ 4-49 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase B

#### 4.2.4.1.3 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสภาวะ Short Circuit Phase C (On S 6)



ภาพประกอบ 4-50 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase C

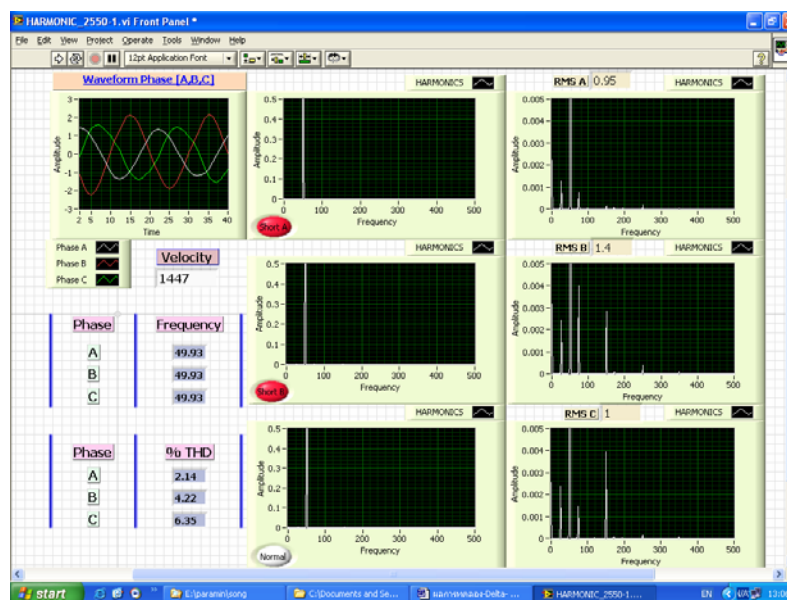
ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อวงจรขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ต่อแบบเดลต้านั้น สังเกตได้ว่า แอมพลิจูดของฮาร์มอนิกทุกอันดับที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเมื่อวงจรขดลวดมอเตอร์ต่อแบบสตาร์ ทั้งนี้ เพราะว่ามีมอเตอร์จะกินกระแสสูงกว่า ดังสมการ  $I_L = \sqrt{3}I_p$  จากภาพประกอบ 4-48 , 4-49 และ 4-50 สังเกตเห็นว่า เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เฟสใดลัดวงจร ความรุนแรงจะปรากฏที่เฟสนั้น สูงสุด ส่วนเฟสที่อยู่ลำดับถัดไป (phase sequence) จะปรากฏความรุนแรงรองลงมาตามลำดับ เช่น ถ้าขดลวดสเตเตอร์เฟส A ลัดวงจร จะเกิดฮาร์มอนิกสักระแสที่เฟส A สูงสุด เฟส B และเฟส C ก็จะมีปรากฏในลำดับรองลงไป ทั้งนี้จะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 และ 5 ขึ้นด้วย หรือพิจารณาที่ waveform phase A,B,C ก็จะเห็นได้ว่ามีแอมพลิจูดมีค่าสูงอยู่ 2 เฟส ด้วยกัน ค่าต่าง ๆ สามารถสรุปให้เห็นได้ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.16	0.45	50.00	0.20	0.00	1497
Normal B	1.39	0.49	50.00	0.23	0.00	1497
Normal C	1.11	0.48	50.00	0.22	0.00	1497
PhaseA(short)	4.32	1.00	49.91	>0.50	0.0012	1471
Phase B	3.14	0.92	49.91	0.50	0.0004	1471
Phase C	3.78	0.51	49.91	0.24	0.0002	1471
Phase A	4.13	0.47	50.02	0.22	0.0002	1471
Phase B(short)	6.50	1.00	50.02	>0.50	0.0042	1471
Phase C	5.56	0.94	50.02	0.50	0.0024	1471
Phase A	4.73	0.87	49.97	0.50	0.0014	1471
Phase B	2.38	0.50	49.97	0.24	0.0002	1471
Phase C(short)	4.95	0.98	49.97	>0.50	0.0020	1471

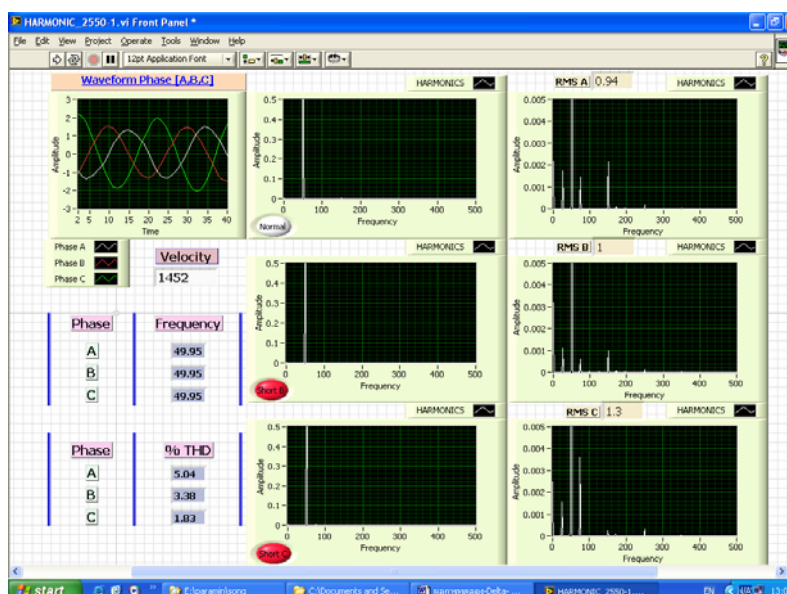
#### 4.2.4.2 ทดลองทำ Short-Coil ใน Stator winding (Short 2 Phase)

##### 4.2.4.2.1 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase AB (On S7,S10)



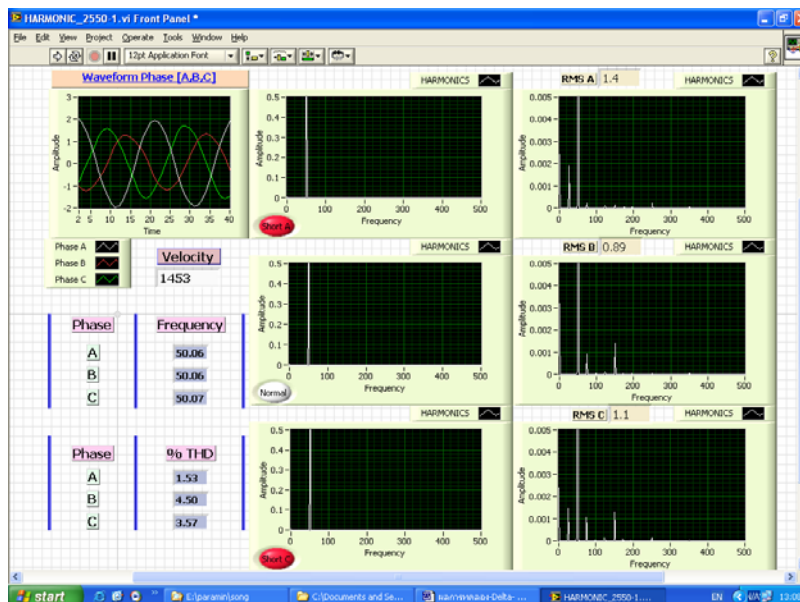
ภาพประกอบ 4-51 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase A , B

##### 4.2.4.2.2 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase BC (On S10,S6)



ภาพประกอบ 4-52 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase B , C

4.2.4.2.3 วัตฮาร์โมนิกส์กระแสในสภาวะ Short Circuit Phase CA (On S6,S7)



ภาพประกอบ 4-53 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase C , A

จากผลการทดลองลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ 2 เฟส โดยทดลองลัดวงจรทีละ 2 เฟสคือ เฟส AB , BC และ CA ตามลำดับ ตามภาพประกอบ 4-51 , 4-52 และ 4-53 ผลที่ได้สังเกตเห็นได้ชัดว่าฮาร์โมนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นจะปรากฏฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3 และฮาร์โมนิกส์ด้านข้างของความถี่หลักมูล โดยที่ความถี่หลักมูลและความถี่ของฮาร์โมนิกส์อันดับ 3 จะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงขึ้นและลำดับความรุนแรงจะมากกว่ากรณีที่ขดลวดลัดวงจรเพียง 1 เฟส สังเกตได้ว่า จะเกิดความรุนแรงที่เฟสที่เกิดการลัดวงจรสูงทั้ง 2 เฟส และเฟสที่ปกติ ความรุนแรงจะน้อยกว่า อีกกรณีหนึ่งสังเกตได้จากการดูแอมพลิจูด ของ wave form phase A,B,C ที่แสดงในโดเมนเวลา จะเห็นว่าเฟสที่ลัดวงจร จะมีแอมพลิจูดที่สูงกว่าเฟสที่ปกติ เนื่องจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ถึง 2 เฟส ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวดไม่สมดุล เป็นผลให้สนามแม่เหล็กหมุนไม่เป็นไซนูซอยดัล ดังนั้นความเร็วของโรเตอร์ก็จะหมุนไม่เรียบ และความเร็วจะลดลงกว่าในขณะที่มอเตอร์ปกติค่าต่าง ๆ จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองลัดวงจรแบบสตาร์ แสดงค่าต่างๆดังตารางที่ 4-9

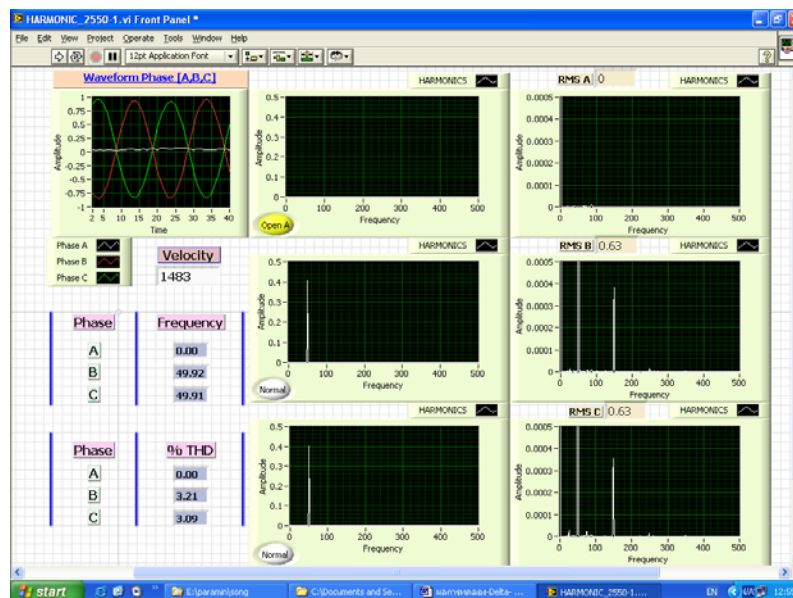


ตารางที่ 4-9 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขลวดสแตเตอร์ลัดวงจร 2 เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.16	0.45	50.00	0.20	0.00	1497
Normal B	1.39	0.49	50.00	0.23	0.00	1497
Normal C	1.11	0.48	50.00	0.22	0.00	1497
PhaseA(short)	2.14	0.95	49.93	>0.5	0.0002	1447
Phase B(short)	4.27	1.40	49.93	>0.5	0.0030	1447
Phase C	6.35	1.00	49.93	>0.5	0.0040	1447
Phase A	5.04	0.94	49.95	>0.5	0.0022	1452
Phase B(short)	3.38	1.00	49.95	>0.5	0.0010	1452
Phase C(short)	1.83	1.30	49.95	>0.5	0.0002	1452
Phase A(short)	1.53	1.40	50.06	>0.5	0.0002	1453
Phase B	4.50	0.89	50.06	>0.5	0.0014	1453
Phase C(short)	3.57	1.10	50.06	>0.5	0.0014	1453

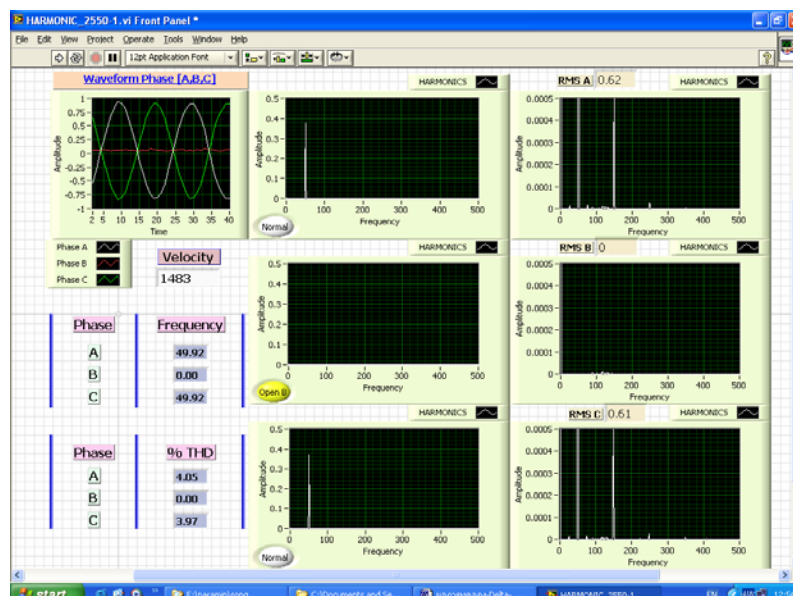
#### 4.2.4.3. ทดลองทำ Open-circuit ของ Stator winding (Open บางเฟส)

##### 4.2.4.3.1 วัตฮาร์โมนิกส์กระแสในสภาวะ Open - Circuit Phase A (off S4)



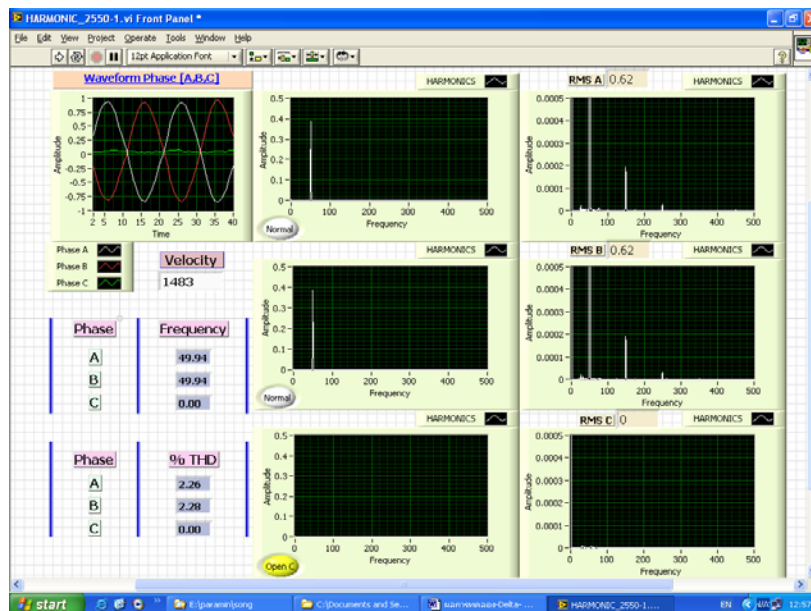
ภาพประกอบ 4-54 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อ Open - Circuit Phase A

##### 4.2.4.3.2 วัตฮาร์โมนิกส์กระแสในสภาวะ Open - Circuit Phase B (off S9)



ภาพประกอบ 4-55 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อ Open - Circuit Phase B

#### 4.2.4.3.3 วัตต์ฮาร์โมนิกกระแสในสถานะ Open - Circuit Phase C (off S11)



ภาพประกอบ 4-56 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อ Open - Circuit Phase C

เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เกิด Open Circuit เฟสใด เฟสหนึ่ง จะปรากฏฮาร์โมนิกกระแสที่ 2 เฟสที่เหลือ เช่นถ้าขดลวดสเตเตอร์ของเฟส A หายไป ฮาร์โมนิกกระแสจะปรากฏที่เฟส B, C ตามลำดับ ที่ความถี่ 50 Hz และมีฮาร์โมนิกอันดับ 3 เกิดขึ้นด้วย ดังภาพประกอบ 4-54, 4-55 และ 4-56 การทำงานของมอเตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับตอนที่มอเตอร์ปกติ เนื่องจากมอเตอร์ยังสามารถทำงานได้ที่ขดลวด 2 เฟสที่เหลือ

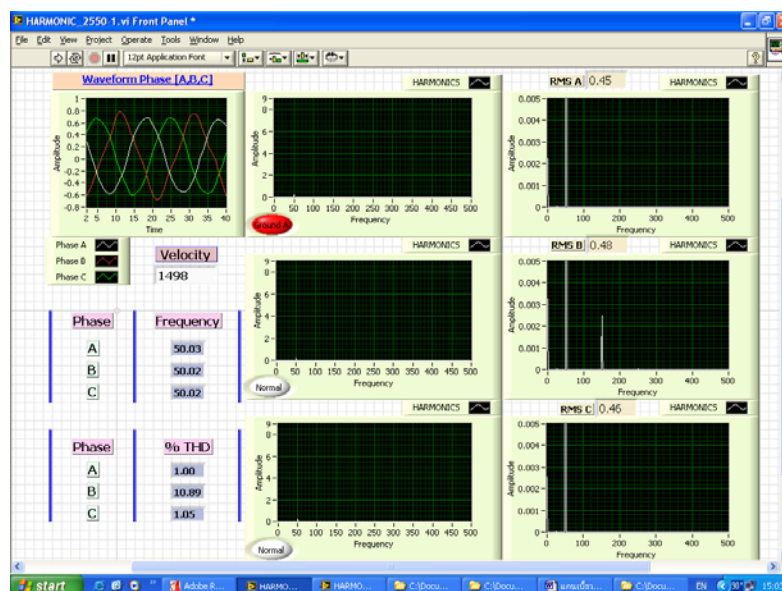
จากการทดลองทำให้เกิด open-circuit บางเฟส สรุปได้ว่า เมื่อเฟสใด เฟสหนึ่งหายไปหรือขาดออกจากวงจร ผลของสัญญาณฮาร์โมนิกกระแสที่เกิดขึ้นของเฟสนั้น จะไม่ปรากฏให้เห็น และเนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ทั้ง 2 เฟส มีขนาดเท่ากัน ทำให้ความสมดุลของสนามแม่เหล็กหมุนถือว่าใกล้เคียงกับขณะที่มอเตอร์ทำงานปกติที่ 3 เฟส ดังนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จึงลดลงไม่มากนัก และสามารถสรุปเป็นตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดสเตเตอร์ open 1 เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.16	0.45	50.00	0.20	0.00	1497
Normal B	1.39	0.49	50.00	0.23	0.00	1497
Normal C	1.11	0.48	50.00	0.22	0.00	1497
PhaseA(open)	-	-	-	-	-	-
Phase B	3.21	0.63	49.92	0.40	0.00038	1483
Phase C	3.09	0.63	49.92	0.40	0.00036	1483
Phase A	4.05	0.62	49.92	0.38	0.0005	1483
Phase B(open)	-	-	-	-	-	-
Phase C	3.97	0.61	49.92	0.38	0.0005	1483
Phase A	2.26	0.62	49.94	0.40	0.0002	1483
Phase B	2.26	0.62	49.94	0.40	0.0002	1483
Phase C(open)	-	-	-	-	-	-

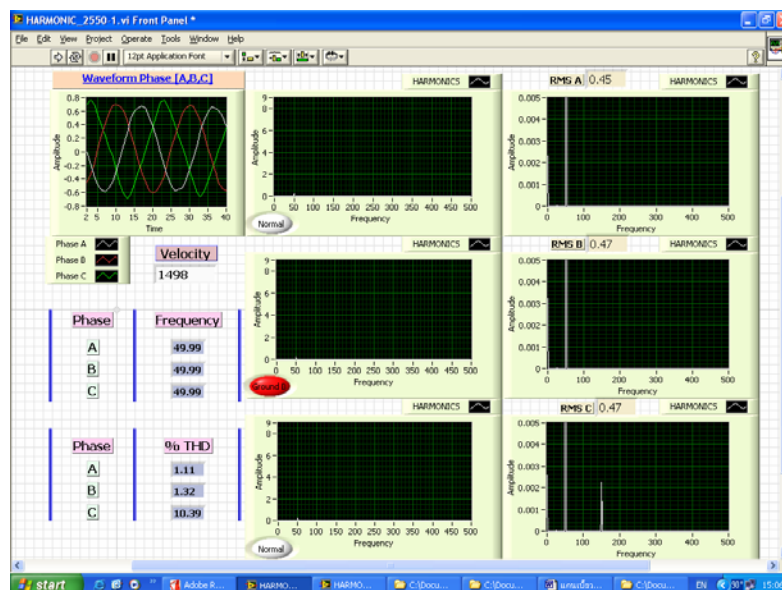
#### 4.2.4.4. ทดลองทำ ขดลวด ของ Stator winding รั้วลงกรวด

##### 4.2.4.4.1 วัดฮาร์โมนิกส์กระแสในเมื่อขดลวดเฟส-A รั้วลงกรวด



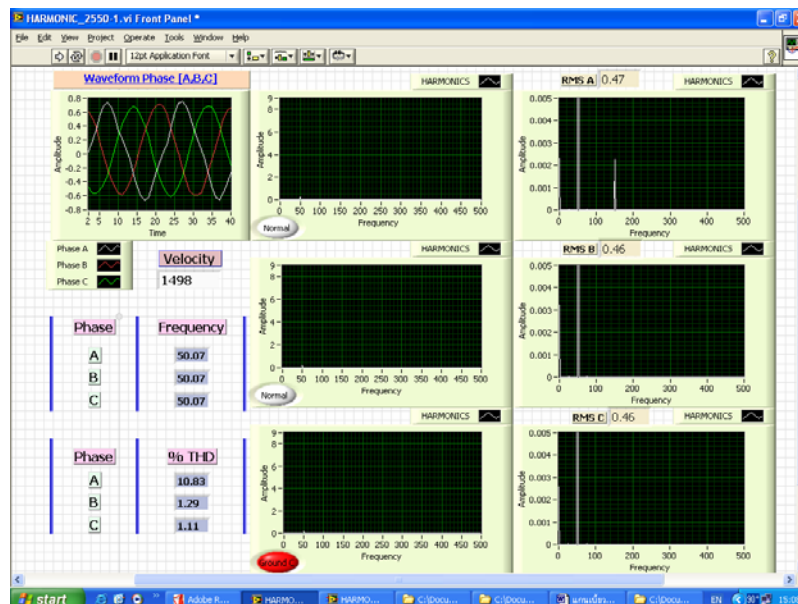
ภาพประกอบ 4-57 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั้วลงกรวด เฟส A ( $R = 1.5 \text{ K}\Omega$ )

##### 4.2.4.4.2 วัดฮาร์โมนิกส์กระแสในเมื่อขดลวดเฟส-B รั้วลงกรวด



ภาพประกอบ 4-58 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั้วลงกรวด เฟส B ( $R = 1.5 \text{ K}\Omega$ )

#### 4.2.4.4.3 วิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดเฟส-C รั่วลกรวาค์



ภาพประกอบ 4-59 ผลวิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั่วลกรวาค์ เฟส C ( $R = 1.5 \text{ K}\Omega$ )

เมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรถึงกรวาค์ในกรณีที่ขดลวดสเตเตอร์ต่อแบบเดลด้า นั้น วิศว์รโมนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นวิศว์รโมนิกส์หลักมูลและวิศว์รโมนิกส์อันดับ 3 โดยวิศว์รโมนิกส์อันดับ 3 นั้น จะไปปรากฏที่เฟสถัดไปหลังเฟสที่กระแสรั่วลกรวาค์ ซึ่งจากการทดลองให้กระแสรั่วลกรวาค์ที่ละเฟส ทั้ง 3 เฟส ผลที่ได้เหมือนกัน ทั้งนี้ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีความต้านทานเท่ากับ 1.5 กิโลโอห์ม เช่นจากภาพประกอบ 4-57 , 4-58 , และ 4-59 พบว่าเมื่อขดลวดสเตเตอร์รั่วลกรวาค์ที่เฟส A จะปรากฏวิศว์รโมนิกส์กระแสอันดับที่ 3 ที่เฟส B เมื่อขดลวดสเตเตอร์รั่วลกรวาค์ที่เฟส B จะปรากฏวิศว์รโมนิกส์กระแสอันดับที่ 3 ที่เฟส C และทำนองเดียวกันเมื่อกระแสสเตเตอร์รั่วลกรวาค์ที่เฟส C จะปรากฏวิศว์รโมนิกส์กระแสอันดับ 3 ที่เฟส A ตามลำดับเฟส (phase sequence) นอกจากนั้นยังสามารถพิจารณาค่า %THD ได้ด้วย เช่น ถ้าขดลวดสเตเตอร์เฟส A รั่วลกรวาค์ %THD ของเฟส B จะมีค่าสูงสุด ถ้าขดลวดสเตเตอร์รั่วลกรวาค์ที่เฟส B %THD ของเฟส C จะมีค่าสูงสุด และถ้าขดลวดสเตเตอร์เฟส C รั่วลกรวาค์ %THD ของเฟส A จะมีค่าสูงสุดซึ่งต่างจากกรณีการรั่วลกรวาค์ของขดลวดสเตเตอร์เมื่อต่อวงจรขดลวดแบบสตาร์ โดยค่าต่าง ๆ ที่วัดได้สรุปไว้ตามตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลงกราวด์ 1 เฟส มอเตอร์ 0.5 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	1.16	0.45	50.00	0.20	0.00	1497
Normal B	1.39	0.49	50.00	0.23	0.00	1497
Normal C	1.11	0.48	50.00	0.22	0.00	1497
พิจารณาที่ค่าความต้านทาน 1.5 กิโลโอห์มต่อป้องกันกระแสรั่วลงกราวด์ (Ground)						
Phase A(G)	1.00	0.45	50.03	>0.005	0.0000	1498
Phase B	10.89	0.48	50.02	>0.005	0.0025	1498
Phase C	1.05	0.46	50.02	>0.005	0.0000	1498
Phase A	1.11	0.45	49.97	>0.005	0.0000	1498
Phase B(G)	1.32	0.47	49.97	>0.005	0.0000	1498
Phase C	10.39	0.47	49.97	>0.005	0.0025	1498
Phase A	10.83	0.47	50.07	>0.005	0.0025	1498
Phase B	1.29	0.46	50.07	>0.005	0.0000	1498
Phase C(G)	1.11	0.46	50.07	>0.005	0.0000	1498

#### 4.2.5 ผลการทดลองมอเตอร์ตัวที่ 2 ขนาด 2-hp แบบสตาร์ (Y-CONNECTION)



ภาพประกอบ 4-60 Three-Phase Induction Motor 2 hp

ตารางที่ 4-12 แผ่นป้ายมอเตอร์ตัวที่ 2

#### THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

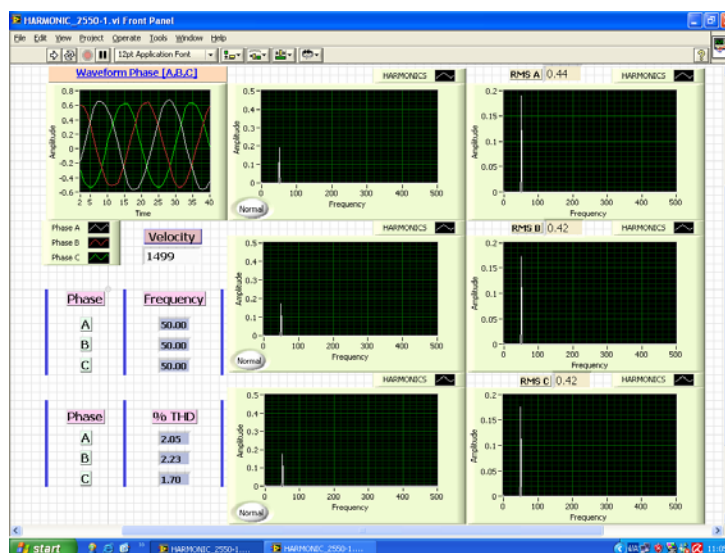
2 hp 4 Poles TYPE TEFC			TYPE SP-JR		
CYCLE	50		RATING	S1	
VOLTS	220	380	INS CLASS	B	
AMPS	5.9	3.4	Rpm	1500	
RESISTANCE WINDING			$U_1 - U_2 =$	3.54	OHMS
RESISTANCE WINDING			$V_1 - V_2 =$	3.59	OHMS
RESISTANCE WINDING			$W_1 - W_2 =$	3.54	OHMS

การลัดวงจรขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ 2 ขนาด 2- hp ขดลวดจะลัดรอบเพียง 1 ใน 4 ของจำนวนรอบทั้งหมดของแต่ละเฟส ดังนั้นเมื่อเฟส A ลัดรอบ ความต้านทานจะเหลือ 2.75 โอห์ม เฟส B เท่ากับ 1.98 โอห์ม เฟส C เท่ากับ 1.88 โอห์ม



การเก็บข้อมูล

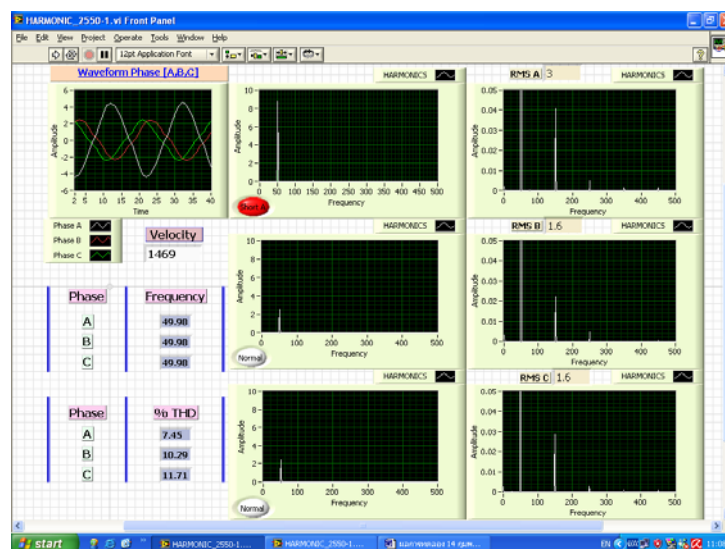
วัดฮาร์มอนิกกระแสในสภาวะปกติ



ภาพประกอบ 4-61 ผลฮาร์มอนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ปกติ 100 Volts มอเตอร์ 2 hp

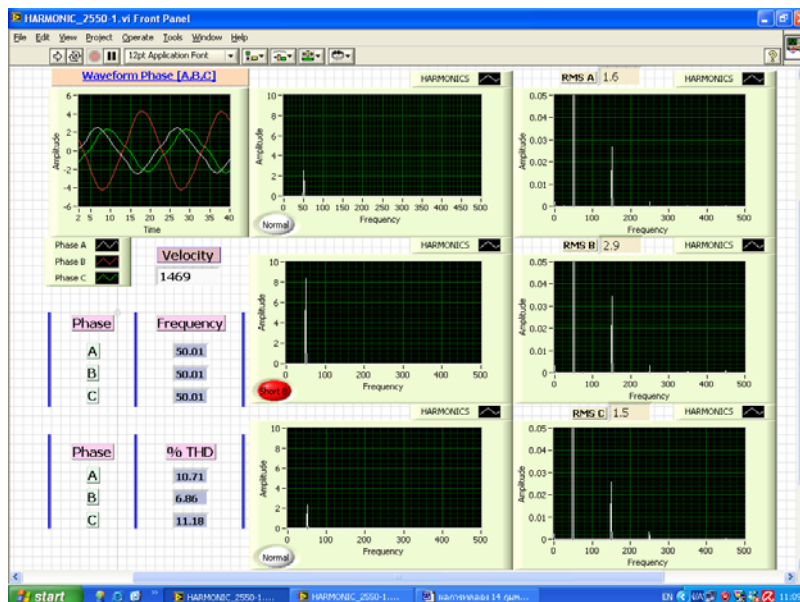
#### 4.2.5.1 . ทดลองทำ Short-Coil ใน Stator winding (Short 1 Phase)

##### 4.2.5.1.1 วัดฮาร์มอนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase A (On S7)



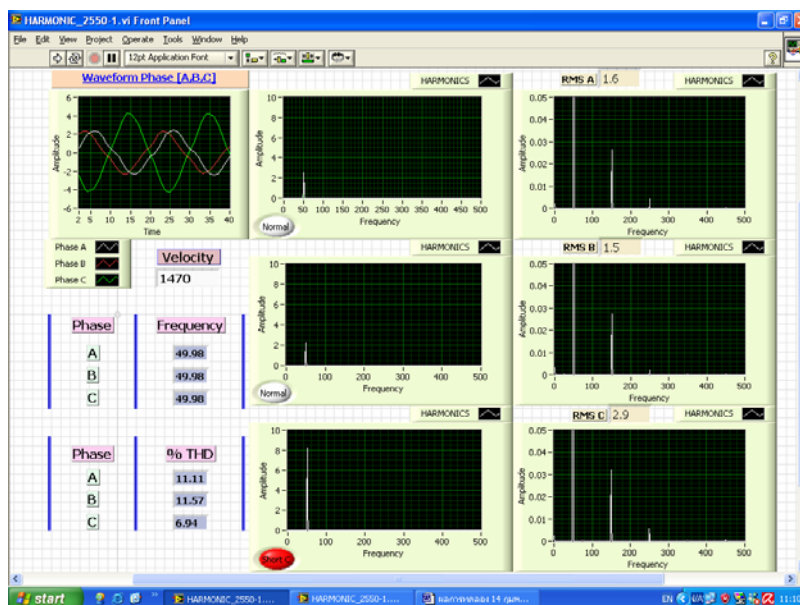
ภาพประกอบ 4-62 ผลฮาร์มอนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ัดวงจร Phase A

4.2.5.1.2 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสภาวะ Short Circuit Phase B (On S10)



ภาพประกอบ 4-63 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อมอเตอร์ลัดวงจร Phase B

4.2.5.1.3 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสภาวะ Short Circuit Phase C (On S6)



ภาพประกอบ 4-64 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อมอเตอร์ลัดวงจร Phase C

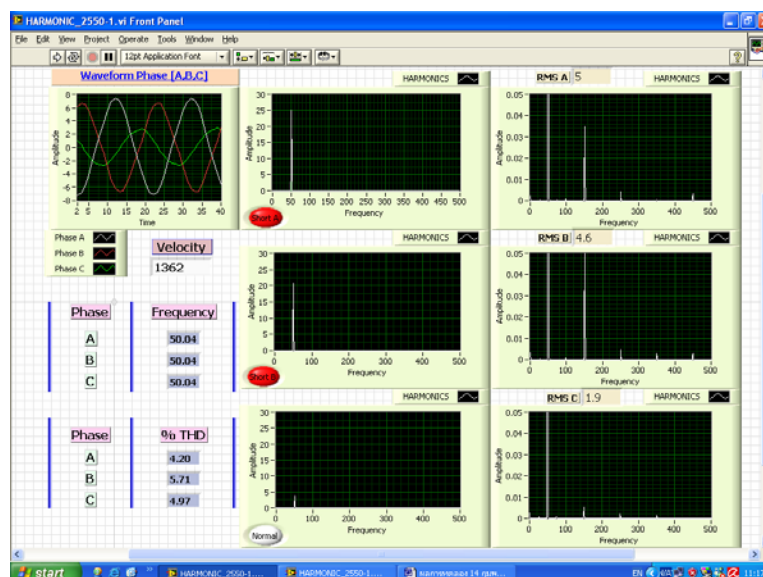
เนื่องจากมอเตอร์ตัวที่ 2 มีขนาด 2 hp และกินกระแสสูงกว่ามอเตอร์ตัวที่ 1 ดังนั้นเมื่อทำการลัดวงจรที่ขดลวดสเตเตอร์ ทำให้ผลของฮาร์มอนิกกระแสที่ปรากฏขึ้นจะเห็นชัดเจนกว่าผลฮาร์มอนิกกระแสของมอเตอร์ตัวแรก แต่ลักษณะที่ได้จะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน สำหรับเงื่อนไขเดียวกันตามภาพประกอบ 4-62 , 4-63 และ 4-64 ความรุนแรงจากการลัดวงจรจะเป็นไปตามลักษณะการเรียงลำดับเฟส (phase sequence) เช่นเดียวกับมอเตอร์ตัวแรก เช่นเมื่อขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรที่เฟส A ความรุนแรงที่เกิดขึ้นที่เฟส A จะมีค่าสูงสุด ถัดไปก็คือเฟส B และเฟส C ตามลำดับ เมื่อขดลวดเฟส B ลัดวงจร ความรุนแรงที่เกิดขึ้นที่เฟส B จะมีค่าสูงสุด ถัดไปคือเฟส C และเฟส A ตามลำดับ ทำนองเดียวกันเมื่อเฟส C ลัดวงจร ความรุนแรงจะเกิดขึ้นที่เฟส C สูงสุด ถัดไปก็จะเป็นเฟส A และเฟส B ตามลำดับ หรือจะดูผลจาก wave form phase ABC ก็ได้เช่นกัน นั่นคือ เฟสที่เกิดการลัดวงจร แอมพลิจูดจะมีขนาดสูงสุด ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดลัดวงจร 1 เฟส มอเตอร์ 2 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	1499
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
PhaseA(short)	7.45	3.0	49.98	8.40	0.040	1469
Phase B	10.29	1.6	49.98	2.20	0.022	14699
Phase C	11.71	1.6	49.98	2.20	0.022	1469
Phase A	10.71	1.5	50.01	2.20	0.028	1469
Phase B(short)	6.86	2.9	50.01	8.20	0.034	1469
Phase C	11.18	1.6	50.01	2.20	0.028	1469
Phase A	11.11	1.6	49.98	2.20	0.027	1470
Phase B	11.57	1.5	49.98	2.00	0.026	1470
Phase C(short)	6.94	2.9	49.98	8.10	0.032	1470

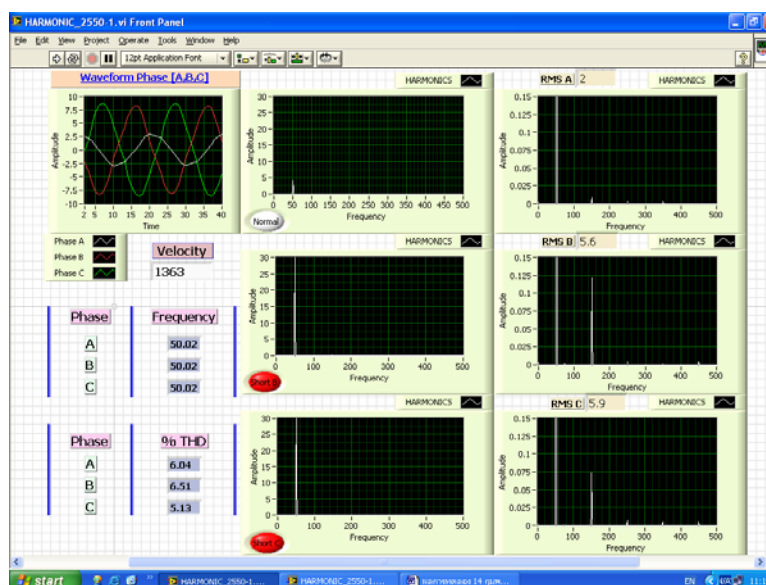
#### 4.2.5.2 ทดลองทำ Short-Coil ใน Stator winding (Short 2 Phase)

##### 4.2.5.2.1 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase AB (On S7,S10)



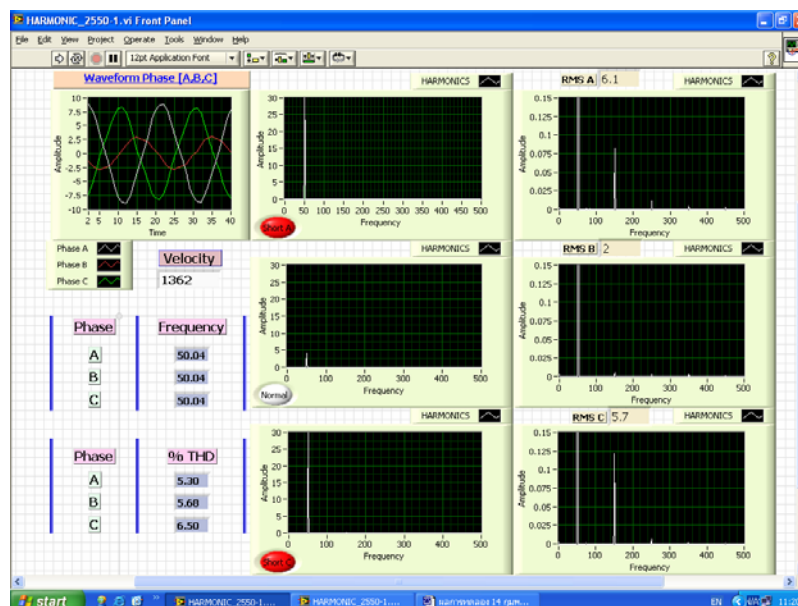
ภาพประกอบ 4-65 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase A , B

##### 4.2.5.2.2 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase BC (On S10,S6)



ภาพประกอบ 4-66 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด Short Circuit Phase B,C

#### 4.2.5.2.3 วิศว์รมอนิกส์กระแสในสภาวะ Short Circuit Phase AC (On S7,S6)



ภาพประกอบ 4-67 ผลฮาร์มอริกส์กระแสเมื่อขาดลวด Short Circuit Phase A,C

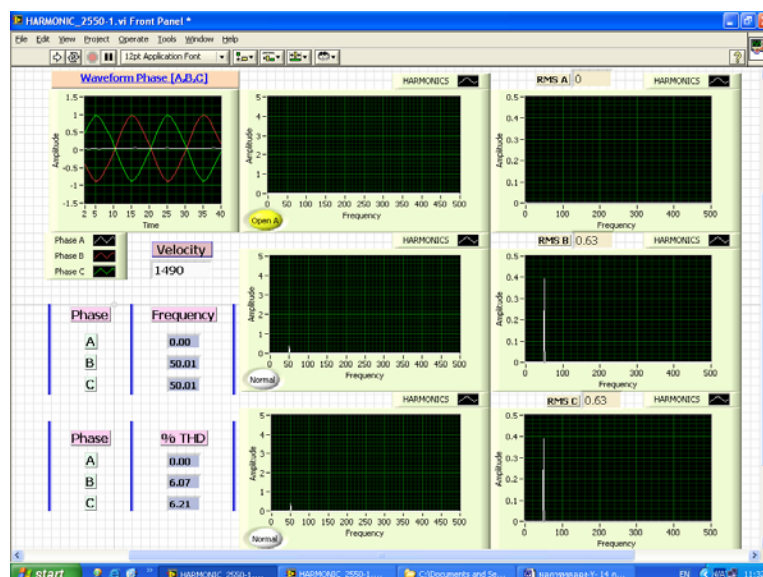
จากผลการทดลองลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ 2 เฟส โดยทดลองลัดวงจรที่ละ 2 เฟสคือ เฟส AB , BC และ CA ตามลำดับ ตามภาพประกอบ 4-65 , 4-66 และ 4-67 ผลที่ได้สังเกตเห็นได้ชัดว่าฮาร์มอริกส์กระแสที่เกิดขึ้นจะปรากฏฮาร์มอริกส์อันดับ 3 และฮาร์มอริกส์ด้านข้างของความถี่หลักมูล โดยที่ความถี่หลักมูลและความถี่ของฮาร์มอริกส์อันดับ 3 จะมีขนาดแอมพลิจูดที่สูงขึ้นและลำดับความรุนแรงจะมากกว่ากรณีที่ขาดลวดลัดวงจรเพียง 1 เฟส สังเกตได้ว่า จะเกิดความรุนแรงที่เฟสที่เกิดการลัดวงจรสูงทั้ง 2 เฟสและเฟสที่ปกติ ความรุนแรงจะน้อยกว่า อีกกรณีหนึ่งสังเกตได้จากการดูแอมพลิจูด ของ wave form phase A,B,C ที่แสดงในโดเมนเวลา จะเห็นว่าเฟสที่ลัดวงจร จะมีแอมพลิจูดที่สูงกว่าเฟสที่ปกติ เนื่องจากการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ถึง 2 เฟส ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขดลวดไม่สมดุล เป็นผลให้สนามแม่เหล็กหมุนไม่เป็นไซนูซอยด์ ดังนั้นความเร็วของโรเตอร์ก็จะหมุนไม่เรียบ และความเร็วจะลดลงกว่าในขณะที่มอเตอร์ปกติค่าต่าง ๆ ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดลัดวงจร 2 เฟส มอเตอร์ 2 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	1499
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
PhaseA(short)	4.20	5.00	50.01	25.0	0.035	1362
Phase B(short)	5.71	4.60	50.01	20.0	0.060	1362
Phase C	4.97	1.90	50.01	3.00	0.006	1362
Phase A	6.04	2.00	50.02	4.00	0.022	1363
Phase B(short)	6.51	5.60	50.02	30.0	0.125	1363
Phase C(short)	5.13	5.90	50.02	30.0	0.075	1363
Phase A(short)	5.30	6.10	50.04	30.0	0.075	1362
Phase B	5.68	2.00	50.04	4.00	0.220	1362
Phase C(short)	6.50	5.70	50.04	30.0	0.125	1362

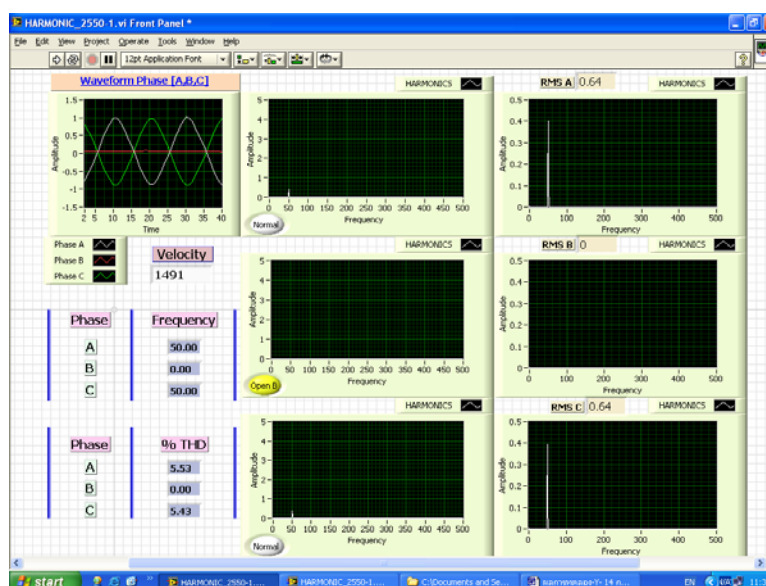
### 4.2.5.3 ทดลองทำ Open- Circuit ของ Stator winding (Open บางเฟส)

#### 4.2.5.3.1 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Open- Circuit Phase A (off S4)



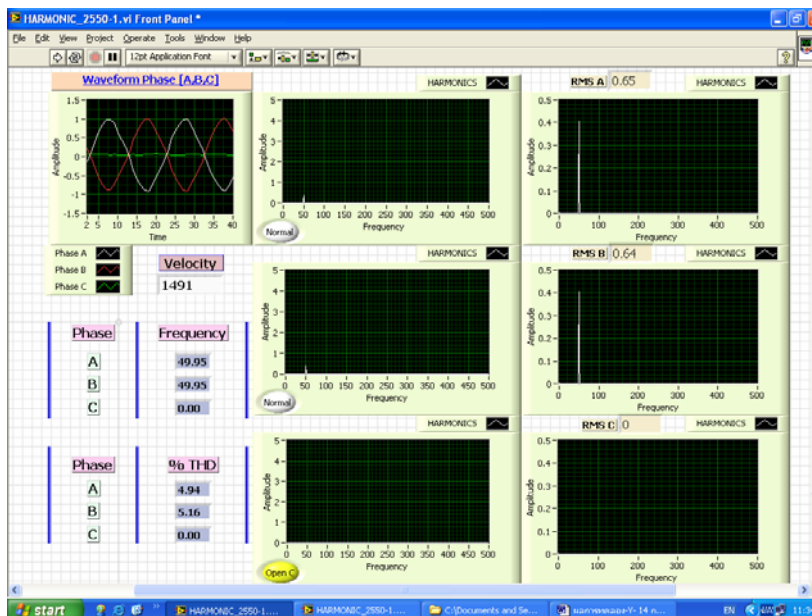
ภาพประกอบ 4-68 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด Open- Circuit Phase A

#### 4.2.5.3.2 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Open- Circuit Phase B (off S9)



ภาพประกอบ 4-69 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด Open- Circuit Phase B

#### 4.2.5.3.3 วัดฮาร์มอนิกส์กระแสในสภาวะ Open- Circuit Phase B (off S11)



ภาพประกอบ 4-70 ผลฮาร์มอนิกส์กระแสเมื่อขดลวด Open- Circuit Phase C

เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เกิด Open Circuit เฟสใดเฟสหนึ่งจะปรากฏฮาร์มอนิกส์กระแสที่ 2-เฟสที่เหลือ เช่นถ้าขดลวดสเตเตอร์ของเฟส A หายไป ฮาร์มอนิกส์กระแสจะปรากฏที่เฟส B , C ตามลำดับ ที่ความถี่ 50-Hz ดังภาพประกอบ 4-68 , 4-69 และ 4-70 การทำงานของมอเตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับตอนที่มอเตอร์ปกติ เนื่องจากมอเตอร์ยังสามารถทำงานได้ที่ขดลวด 2 เฟสที่เหลือ

จากการทดลอง open-circuit บางเฟส สรุปได้ว่า เมื่อเฟสใด เฟสหนึ่งหายไป ผลของสัญญาณฮาร์มอนิกส์กระแสของเฟสนั้นจะไม่ปรากฏให้เห็นที่กราฟ และเนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ทั้ง 2 เฟส เท่ากัน ความสมดุลของสนามแม่เหล็กหมุนถือว่าใกล้เคียงกับขณะที่มอเตอร์ทำงานปกติที่ 3 เฟส ดังนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จึงลดลงไม่มากนัก และสามารถสรุปเป็นตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ ดังตารางที่ 4-15

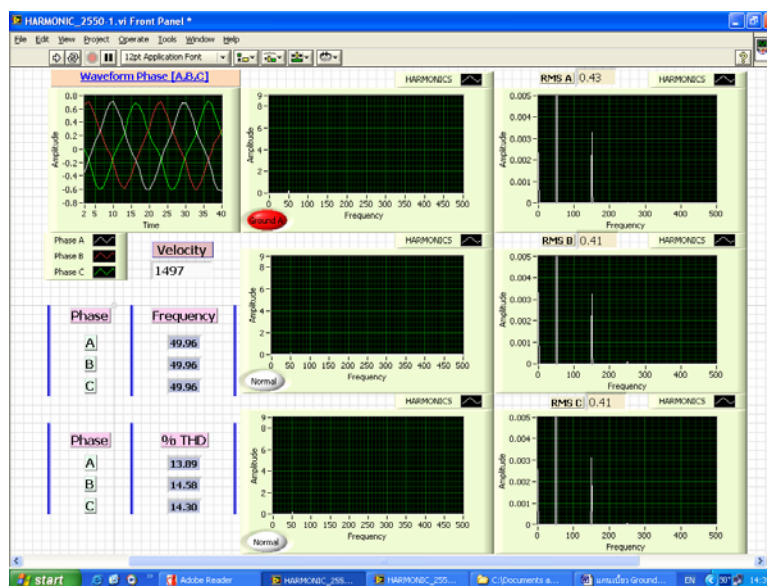


ตาราง 4-15 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดเปิดวงจร 1 เฟส มอเตอร์ 2 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	1499
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
PhaseA(open)	-	-	-	-	-	-
Phase B	6.07	0.63	50.01	0.40	0.000	1490
Phase C	6.21	0.63	50.01	0.40	0.000	1490
Phase A	5.53	0.64	50.00	0.40	0.000	1491
Phase B(open)	-	-	-	-	-	-
Phase C	5.43	0.64	50.00	0.40	0.000	1491
Phase A	4.94	0.65	49.95	0.40	0.000	1491
Phase B	5.16	0.65	49.95	0.40	0.000	1491
Phase C(open)	-	-	-	-	-	-

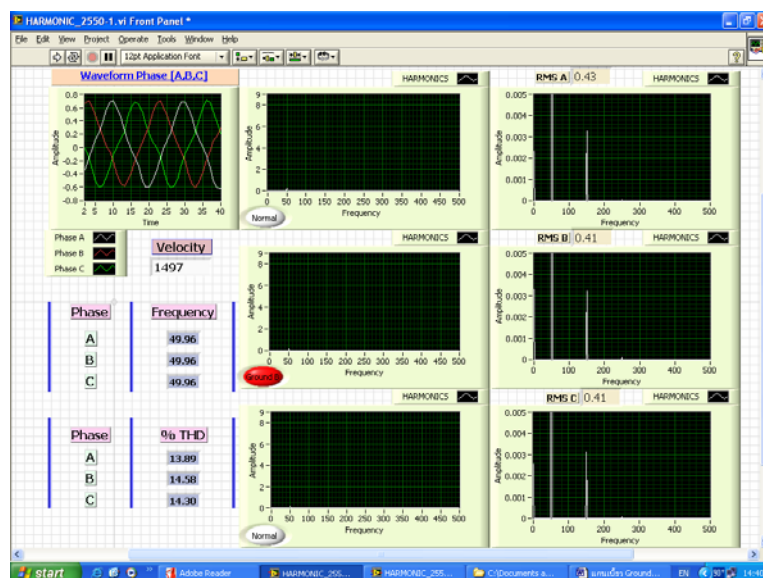
#### 4.2.5.4. ทดลองทำ ขดลวด ของ Stator winding รั้วลงกราวด์

##### 4.2.5.4.1 วัดฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดเฟส-A รั้วลงกราวด์



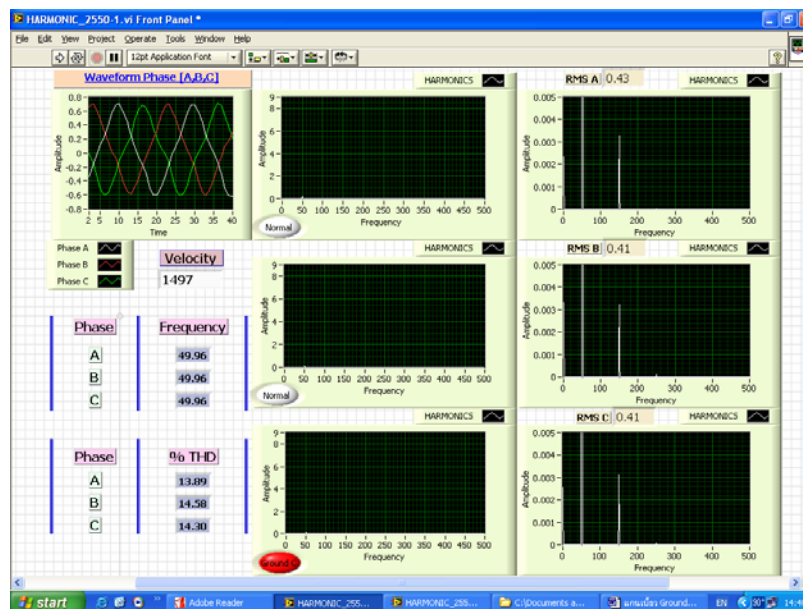
ภาพประกอบ 4-71 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั้วลงกราวด์ เฟส A ( $R=300\Omega$ )

##### 4.2.5.4.2 วัดฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดเฟส-B รั้วลงกราวด์



ภาพประกอบ 4-72 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์รั้วลงกราวด์ เฟส B ( $R=300\Omega$ )

#### 4.2.5.4.3 วัดฮาร์มอนิกส์กระแสเมื่อขดลวดเฟส-C ร่วลงกราวด์



ภาพประกอบ 4-73 ผลฮาร์มอนิกส์กระแสเมื่อขดลวดมอเตอร์ร่วลงกราวด์ เฟส C ( $R=300\ \Omega$ )

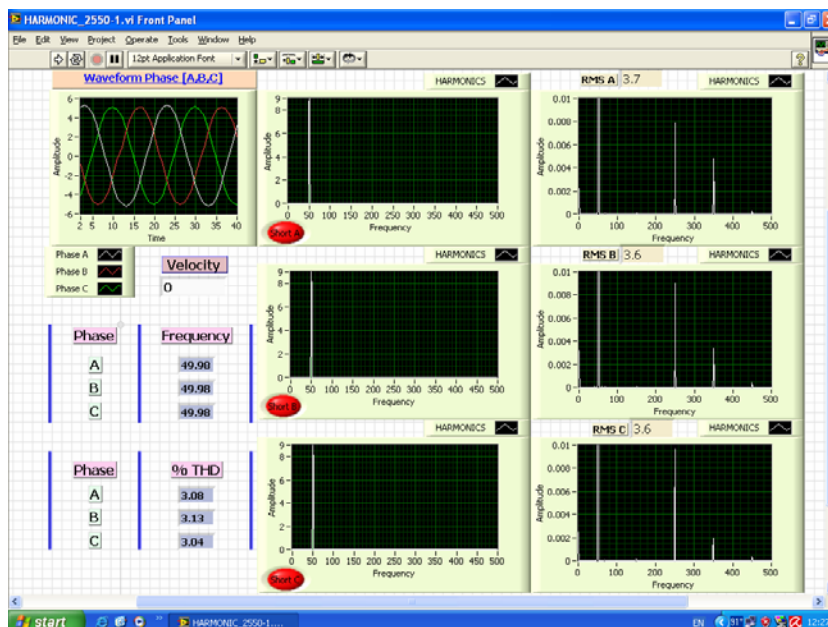
ผลของการทดสอบให้กระแสร่วลงกราวด์แต่ละเฟส โดยการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อ เพื่อป้องกันอันตรายจากการร่วของกระแสที่อาจเป็นผลให้มอเตอร์เกิดความเสียหายได้นั้น ค่าของความต้านทานต่ำสุดที่มอเตอร์ยังทำงานได้ คือที่ 300 โอห์ม จากการสังเกตฮาร์มอนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสร่วลงกราวด์ไม่ว่าจะเป็นเฟสใดก็ตาม กรณีวงจรขดลวดมอเตอร์ต่อแบบสตาร์ ปรากฏว่า เกิดฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 มีลักษณะเหมือนกันทุกเฟส แต่กระแสอาร์เอ็มเอสของเฟสที่กระแสร่วลงกราวด์ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาดูในส่วนของ wave form phase A,B,C รูปคลื่นของแต่ละเฟสจะผิดเพี้ยนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับว่ากระแสที่ร่วลงกราวด์มากน้อยเพียงใด ถ้ากระแสร่วลงกราวด์มาก รูปคลื่นจะผิดเพี้ยนมาก ทำนองเดียวกันถ้ากระแสร่วลงกราวด์น้อย รูปคลื่นก็จะผิดเพี้ยนน้อย โดยดูผลความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้จากค่า %THD ที่หน้าจอเครื่องมือวัดเสมือนได้อย่างชัดเจน ค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้จากตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อกระแสรั่วลงกราวด์ที่เฟส A,B,C มอเตอร์ 2 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	1499
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
พิจารณาที่ค่าความต้านทาน 300 โอห์มต่อป้องกันกระแสรั่วลงกราวด์ (Ground)						
Phase A(G)	13.89	0.43	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase B	14.58	0.41	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase C	14.30	0.41	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase A	13.89	0.43	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase B(G)	14.58	0.41	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase C	14.30	0.41	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase A	13.89	0.43	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase B	14.58	0.41	49.96	>0.005	0.0032	1497
Phase C(G)	14.30	0.41	49.96	>0.005	0.0032	1497

#### 4.2.5 กรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์ (Y-CONNECTION)



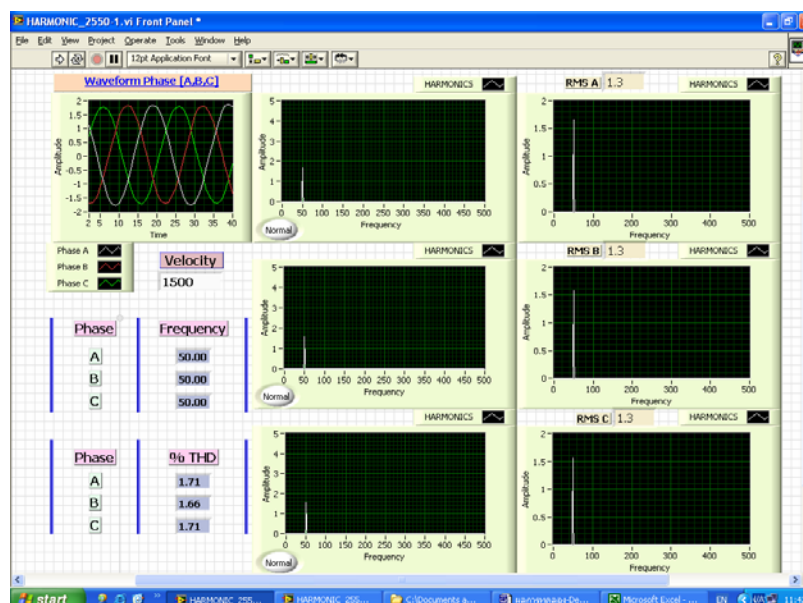
ภาพประกอบ 4-74 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อแกนโรเตอร์ไม่สมมาตร

ในการทดลองกรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์นั้น ได้สั่งทำงานเหล็กรูปทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 3 รู อีกด้านหนึ่งของแผ่นงานยึดน็อตตัวเมียขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 2 ตัว แล้วนำไปสวมเข้ากับแกน โรเตอร์ เพื่อให้เกิดความไม่สมมาตรที่แกนโรเตอร์ขณะหมุน โดยจ่ายแรงเคลื่อนเข้ามอเตอร์ 100 โวลต์ เช่นกัน ผลฮาร์มอนิกสักระแสที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะเห็นถึงความแตกต่างจากกรณีอื่นได้ชัดเจนมาก นั่นคือปรากฏฮาร์มอนิกสักระแสขึ้นที่อันดับ 5 และ 7 แต่ไม่ปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 ทั้ง 3 เฟส ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนกรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์

Status	%THD	I <sub>rms</sub> (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(5 <sup>th</sup> )	Harmonic(7 <sup>th</sup> )
NormalA	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	0.000
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	0.000
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	0.000
เมื่อแกนโรเตอร์ไม่สมมาตร						
Phase A	3.08	3.7	49.98	9.0	0.0080	0.0044
Phase B	3.13	3.6	49.98	9.0	0.0084	0.0028
Phase C	3.04	3.6	49.98	9.0	0.0088	0.0020

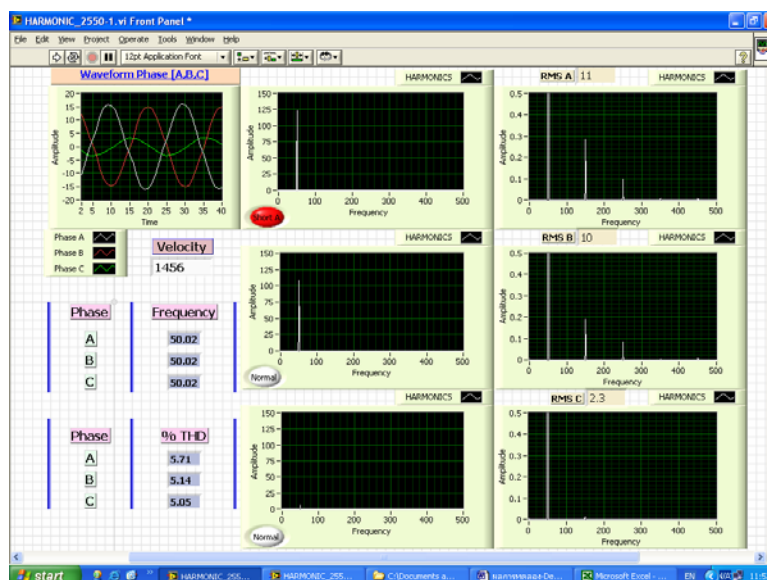
#### 4.2.6 ผลการทดลองมอเตอร์ตัวที่ 2 ขนาด 2-hp แบบเดลต้า ( $\Delta$ -CONNECTION)



ภาพประกอบ 4-75 ผลฮาร์มอนิกที่กระแสแม่เมื่อมอเตอร์ปัดต่อแบบเดลต้า 100 Volts

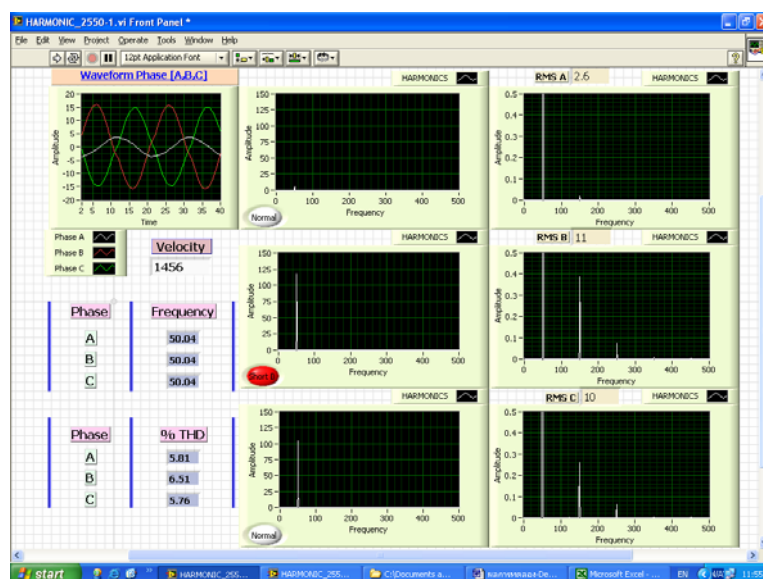
#### 4.2.6.1 . ทดลองทำ Short-Coil ใน Stator winding (Short 1 Phase)

##### 4.2.6.1.1 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase A (On S7)



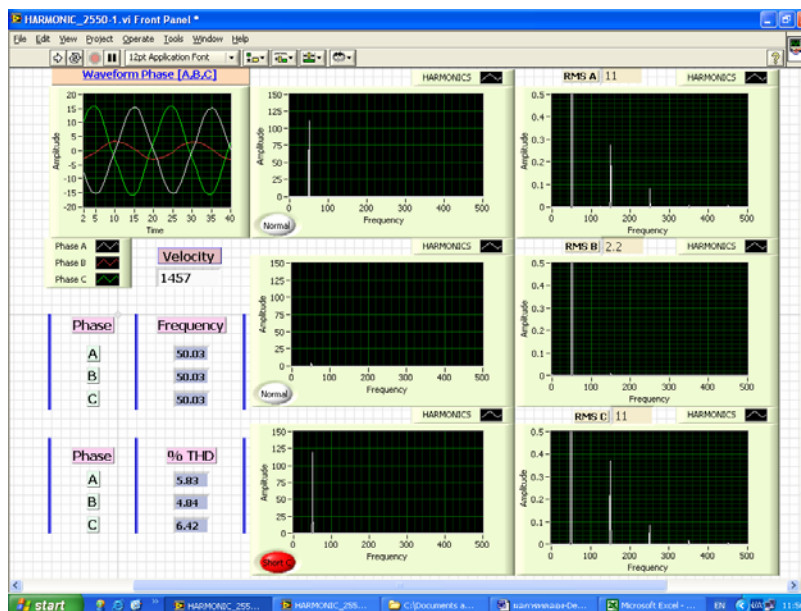
ภาพประกอบ 4-76 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ลัดวงจร เฟส A

##### 4.2.6.1.2 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase B (On S10)



ภาพประกอบ 4-77 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ลัดวงจร เฟส B

#### 4.2.6.1.3 วัดฮาร์โมนิกกระแสในสภาวะ Short Circuit Phase C (On S6)



ภาพประกอบ 4-78 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อมอเตอร์ลัดวงจร เฟส C

ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อวงจรลัดสแตเตอร์ของมอเตอร์ต่อแบบเดลตำนั้นจะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของฮาร์โมนิกกระแสทุกอันดับที่เกิดขึ้น จะสูงกว่าเมื่อวงจรลัดมอเตอร์ต่อแบบสตาร์ ทั้งนี้เพราะว่ามอเตอร์จะกินกระแสสูงกว่า ดังสมการ  $I_L = \sqrt{3}I_p$  จากภาพประกอบ 4-76 , 4-77 และ 4-78 สังเกตเห็นว่า เมื่อขลวดสแตเตอร์ของมอเตอร์เฟสใดลัดวงจร ความรุนแรงจะปรากฏที่เฟสที่สูงสุดส่วนเฟสที่อยู่ลำดับถัดไป(phase sequence) จะปรากฏความรุนแรงรองลงมาตามลำดับ เช่นถ้าขลวดสแตเตอร์เฟส A ลัดวงจร จะเกิดฮาร์โมนิกกระแสที่เฟส A สูงสุด เฟส B และเฟส C ก็จะมีปรากฏในลำดับรองลงไป ทั้งนี้จะปรากฏฮาร์โมนิกอันดับ 3 และ 5 ขึ้นด้วย หรือพิจารณาที่ waveform phase A,B,C ก็จะเห็นได้ว่ามีแอมพลิจูดมีค่าสูงอยู่ 2-เฟส ด้วยกัน ค่าต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-18



ตารางที่ 4-18 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนกรณีขลวดลัดวงจร 1 เฟส

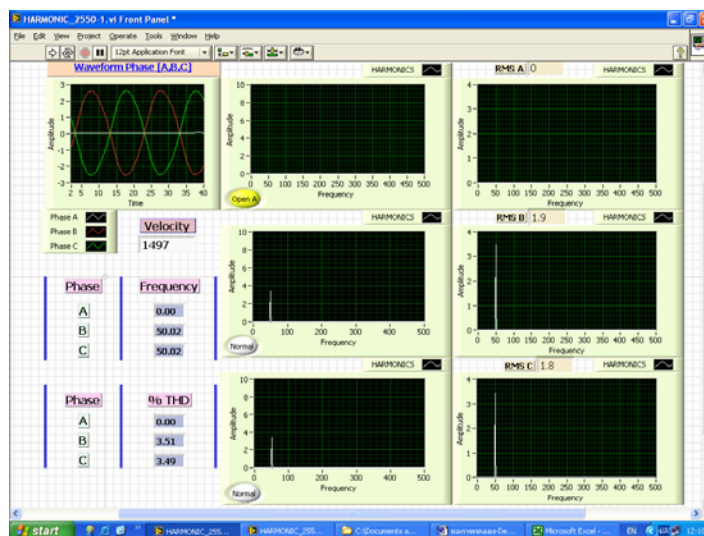
Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Har(1 <sup>st</sup> )	Har(3 <sup>rd</sup> )	Har(5 <sup>th</sup> )	rpm
Normal A	1.71	1.30	50.00	1.52	0.000	0.000	1500
Normal B	1.66	1.30	50.00	1.52	0.000	0.000	1500
Normal C	1.71	1.30	50.00	1.52	0.000	0.000	1500
Phase A(short)	5.71	11.0	50.02	125	0.30	0.10	1456
Phase B	5.14	10.0	50.02	110	0.20	0.09	1456
Phase C	5.05	2.30	50.02	5.00	0.02	0.00	1456
Phase A	5.81	2.60	50.04	10.0	0.02	0.00	1456
Phase B (short)	6.51	11.0	50.04	120	0.40	0.08	1456
Phase C	5.76	10.0	50.04	105	0.26	0.06	1456
Phase A	5.83	11.0	50.03	120	0.28	0.008	1457
Phase B	4.84	2.20	50.03	5.00	0.002	0.000	1457
Phase C(short)	6.42	11.0	50.03	122	0.38	0.080	1457

#### 4.2.6.2 ทดลองทำ Short coil ใน Stator winding (Short 2-Phase)

(ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เนื่องจากมอเตอร์ร้อนจัด)

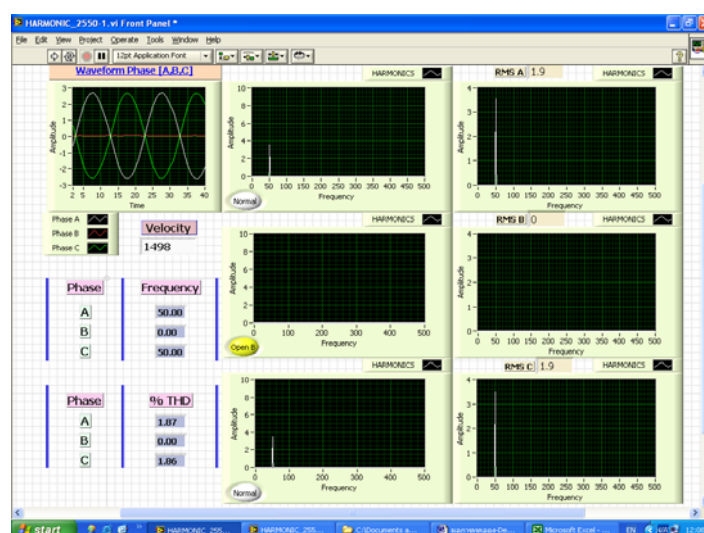
#### 4.2.6.3 ทดลองทำ Open- Circuit ของ Stator winding (Open บางเฟส)

##### 4.2.6.3.1 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสถานะ Open circuit phase A



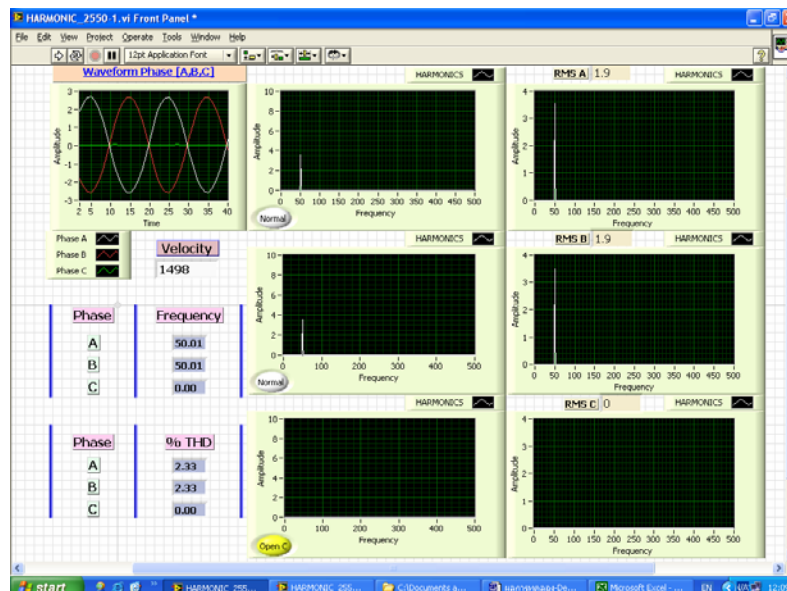
ภาพประกอบ 4-79 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อมอเตอร์ Open- Phase A

##### 4.2.6.3.2 วัดฮาร์มอนิกสักระแสในสถานะ Open circuit phase B



ภาพประกอบ 4-80 ผลฮาร์มอนิกสักระแสเมื่อมอเตอร์ Open- Phase B

#### 4.2.6.3.3 วิศว์รโมนิกส์กระแสในสภาวะ Open circuit phase C



ภาพประกอบ 4-81 ผลวิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อมอเตอร์ Open- Phase C

เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ open circuit เฟสใดเฟสหนึ่ง เฟสนั้นจะไม่ปรากฏวิศว์รโมนิกส์กระแส แต่จะไปปรากฏที่ 2-เฟสที่เหลือ เช่นถ้าขดลวดสเตเตอร์เฟส-A หายไป วิศว์รโมนิกส์กระแสจะไปปรากฏที่เฟส-B และเฟส-C ตามลำดับที่ความถี่อันดับ 1 และปรากฏวิศว์รโมนิกส์กระแสอันดับ 3 ด้วยทั้ง 2 เฟส ดังภาพประกอบ 4-79 , 4-80 และ 4-81 การทำงานของมอเตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับตอนที่มอเตอร์ปกติ เนื่องจากมอเตอร์ยังสามารถทำงานได้กับ 2 เฟสที่เหลือ

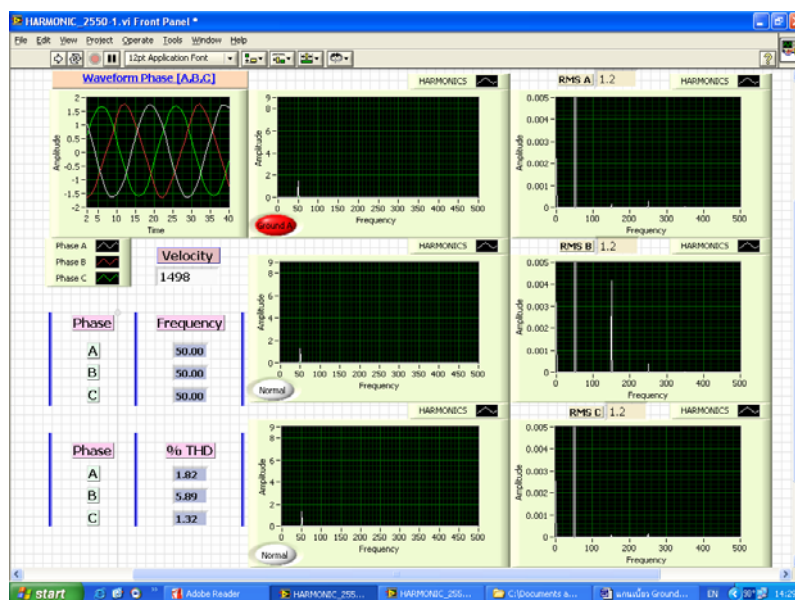
จากการทดลอง open circuit บางเฟส สรุปได้ว่า เมื่อขดลวดเฟสใดเฟสหนึ่งหายไป ผลของสัญญาณวิศว์รโมนิกส์กระแสของเฟสนั้นจะไม่ปรากฏให้เห็น และเนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ทั้ง 2-เฟส เท่ากัน ความสมดุลของสนามแม่เหล็กหมุนยังใกล้เคียงกับขณะที่มอเตอร์ทำงานปกติที่ 3-เฟส ดังนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จึงลดลงไม่มากนักและสามารถสรุปค่าต่างๆได้ ดังตารางที่ 4-19

ตาราง 4-19 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อขดลวดเปิดวงจร 1 เฟส มอเตอร์ 2 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	1499
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
PhaseA(open)	-	-	-	-	-	-
Phase B	3.51	1.9	50.02	3.6	0.000	1497
Phase C	3.49	1.8	50.02	3.6	0.000	1497
Phase A	1.87	1.9	50.00	3.6	0.000	1498
Phase B(open)	-	-	-	-	-	-
Phase C	1.86	1.9	50.00	3.6	0.000	1498
Phase A	2.33	1.9	50.01	3.6	0.000	1498
Phase B	2.33	1.9	50.01	3.6	0.000	1498
Phase C(open)	-	-	-	-	-	-

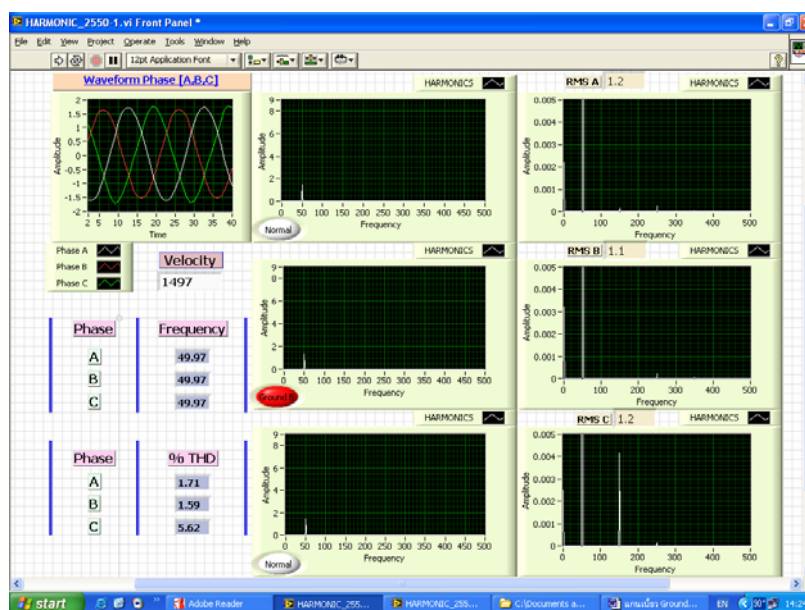
#### 4.2.6.4 ทดลองทำขดลวด Stator winding รั้วลงกราวด์ ( $\Delta$ -CONNECTION)

##### 4.2.6.4.1 วัดฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวดเฟส-A รั้วลงกราวด์



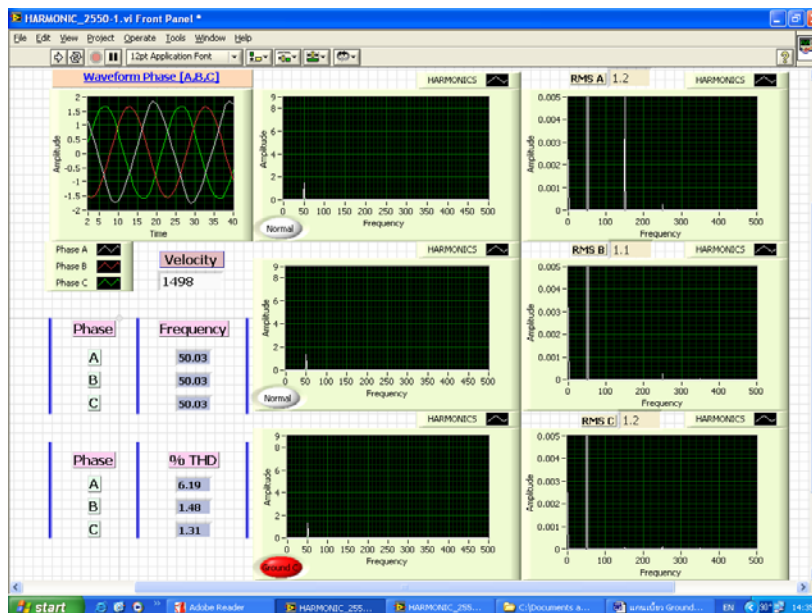
ภาพประกอบ 4-82 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด รั้วลงกราวด์เฟส A ( $R = 1\text{ K}\Omega$ )

##### 4.2.6.4.2 วัดฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวดเฟส-B รั้วลงกราวด์



ภาพประกอบ 4-83 ผลฮาร์โมนิกกระแสเมื่อขดลวด รั้วลงกราวด์เฟส B ( $R = 1\text{ K}\Omega$ )

#### 4.2.6.4.3 วิศว์รโมนิกส์กระแสเมื่อขดลวดเฟส-C รั่วลงกราวด์



ภาพประกอบ 4-84 ผลฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อขดลวด รั่วลงกราวด์เฟส C ( $R = 1 \text{ K}\Omega$ )

จากภาพประกอบ 4-82 , 4-83 และ 4-84 เป็นผลของฮาร์โมนิกส์กระแสเมื่อเกิดกรณีขดลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ จากการทดลองกับมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยโดยทดลองให้กระแสรั่วลงกราวด์ทีละเฟส เริ่มที่เฟส A , B และ C ตามลำดับ และให้กระแสที่รั่วลงกราวด์ไหลผ่านความต้านทานปรับค่าได้ตัวเดิมที่ทดลองแบบสตาร์ เพื่อควบคุมกระแสไม่ให้ไหลลงกราวด์มากเกินไปอันเป็นการป้องกันความเสียหายของมอเตอร์ ค่าความต้านทานที่ใช้เท่ากับ 2 , 1.5 , 1  $\text{K}\Omega$  ส่วนค่าที่เก็บผลเพื่อนำมาเป็นสถิตินั้นเป็นค่าที่ความต้านทานอยู่ที่ 1  $\text{K}\Omega$

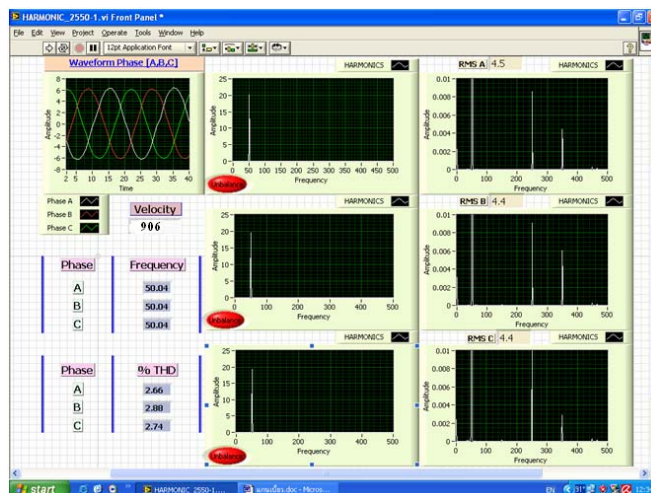
ผลที่ได้เมื่อวางจขดลวดสเตเตอร์เป็นแบบเดลต้า ปรากฏว่าฮาร์โมนิกส์กระแสที่เกิดขึ้นจะไปปรากฏที่เฟสลำดับถัดไป เช่น ถ้าเฟส A รั่วลงกราวด์ ฮาร์โมนิกส์อันดับ 3 จะปรากฏที่เฟส B ถ้าเฟส B รั่วลงกราวด์ ฮาร์โมนิกส์อันดับ 3 จะไปปรากฏที่เฟส C และถ้าเฟส C รั่วลงกราวด์ ฮาร์โมนิกส์กระแสอันดับ 3 จะไปปรากฏที่เฟส A ตามลำดับเฟส(phase sequence) ของแหล่งจ่ายที่จ่ายไฟ 3 เฟสให้กับมอเตอร์

หรือจะพิจารณาค่า THD ก็ จะเห็นได้ว่า ฮาร์โมนิกส์กระแสอันดับ 3 ปรากฏที่เฟสไหน ค่า THD ของเฟสนั้นจะสูงกว่า 2 เฟสที่เหลือ ค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้ตามตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนเมื่อกระแสรั่วลงกราวด์ที่เฟส A,B,C มอเตอร์ 2 hp

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(3 <sup>rd</sup> )	rpm
Normal A	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	1499
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	1499
พิจารณาที่ค่าความต้านทาน 1กิโลโห์มต่อป้องกันกระแสรั่วลงกราวด์ (Ground)						
Phase A(G)	1.82	1.2	50.00	1.8	0.000	1498
Phase B	5.89	1.2	50.00	1.8	0.004	1498
Phase C	1.32	1.2	50.00	1.8	0.000	1498
Phase A	1.71	1.2	49.97	1.8	0.000	1497
Phase B(G)	1.59	1.1	49.97	1.8	0.000	1497
Phase C	5.62	1.2	49.97	1.8	0.004	1497
Phase A	6.19	1.2	50.03	1.8	0.004	1498
Phase B	1.48	1.1	50.03	1.8	0.000	1498
Phase C(G)	1.31	1.2	50.03	1.8	0.000	1498

#### 4.2.6.5 กรณีแกนโรเตอร์ไม่สมมาตร ( $\Delta$ -CONNECTION)



ภาพประกอบ 4-85 ฮาร์โมนิกส์กระแสกรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์

กรณีเมื่อเกิดความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์ขึ้น ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนจะวัดค่าฮาร์โมนิกส์กระแสได้ทั้งสองแบบ คือเมื่อต้องวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้ามีค่าใกล้เคียงกัน คือไม่ปรากฏฮาร์โมนิกส์อันดับ 3 แต่จะปรากฏฮาร์โมนิกส์อันดับ 5 และ 7 ขึ้นทั้ง 3 เฟส ส่วนของกระแสอาร์เอ็มเอส เมื่อต้องวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้าจะมีค่ามากกว่าต่อแบบสตาร์ ค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นตามตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเสมือนกรณีความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์

Status	%THD	$I_{rms}$ (A)	F (Hz)	Harmonic(1 <sup>st</sup> )	Harmonic(5 <sup>th</sup> )	Harmonic(7 <sup>th</sup> )
NormalA	2.05	0.44	50.00	0.19	0.000	0.000
Normal B	2.23	0.42	50.00	0.19	0.000	0.000
Normal C	1.70	0.42	50.00	0.19	0.000	0.000
เมื่อแกนโรเตอร์ไม่สมมาตร						
Phase A	2.66	4.5	50.04	20	0.0082	0.004
Phase B	2.88	4.4	50.04	20	0.0084	0.006
Phase C	2.74	4.4	50.04	20	0.0100	0.003



### 4.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

#### 4.3.1 กรณีวงจรขดลวดสเตเตอร์ต่อแบบสตาร์ (Y-CONNECTION)

##### 4.3.1.1 วิเคราะห์จากความเร็วรอบของมอเตอร์

การวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์จากการดูเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเร็วรอบที่วัดได้ของมอเตอร์ทั้งสองขนาดคือขนาด 2 hp และ 0.5 hp เมื่อมอเตอร์เกิดความผิดปกติต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้จากตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเกิดความผิดปกติ

(status)	Motor 2 hp	Motor 0.5 hp	Motor 2 hp (% decrease)	Motor 0.5 hp (% decrease)	% decrease
Normal	1499	1495	0.00	0.00	
Short A	1469	1477	2.00	1.20	
Short B	1469	1477	2.00	1.20	1-2 %
Short C	1470	1476	1.93	1.27	
Short AB	1362	1415	9.14	5.35	
Short BC	1363	1415	9.07	5.35	5-10 %
Short CA	1362	1414	9.14	5.42	
Open A	1490	1484	0.60	0.74	
Open B	1491	1484	0.53	0.74	0.5-0.7 %
Open C	1491	1484	0.53	0.74	

สรุป

1. กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ 1-เฟส ความเร็วรอบลดลง 1-2 % ของความเร็วปกติ
2. กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ 2-เฟส ความเร็วรอบลดลง 5-10% ของความเร็วปกติ
3. กรณีขดลวดสเตเตอร์หายไปบางเฟสความเร็วรอบลดลง 0.5-0.7%ของความเร็วปกติ

#### 4.3.1.2 วิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟส

การวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์กรณีที่เกิดการลัดวงจรที่ขลวดสเตเตอร์เฟสใด เฟสหนึ่ง สามารถดูกระแสอาร์เอ็มเอสที่เพิ่มขึ้นของเฟสที่เกิดการลัดวงจร หรือจะดูค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดปกติ THD ที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละเฟสก็ได้ ความผิดปกติจากกรณีนี้จะปรากฏฮาร์มอนิกส์กระแสอันดับ 3 ขึ้นด้วย โดยค่าแอมพลิจูดของเฟสที่ผิดปกติจะมีค่าสูงกว่าอีกสองเฟสที่มีอาการปกติ ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-23 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$	$I_{normal}$	$I_{rms}$ increase	THD	THD normal	THD increase	Harmonics (3 <sup>rd</sup> )
Short A	A	3.0	0.44	6.82	7.45	2.05	3.63	0.040
	B	1.6	0.42	3.81	10.29	2.23	4.61	0.028
	C	1.6	0.42	3.81	11.10	1.70	6.53	0.020
Short B	A	1.6	0.44	3.64	10.71	2.05	5.22	0.025
	B	2.9	0.42	6.90	6.86	2.23	3.08	0.035
	C	1.6	0.42	3.57	11.18	1.70	6.58	0.025
Short C	A	1.6	0.44	3.64	11.11	2.05	5.42	0.028
	B	1.5	0.42	3.57	11.57	2.23	5.19	0.025
	C	2.9	0.42	6.90	6.94	1.70	4.08	0.032

#### สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าสูงสุด 6-7 เท่า อีก 2-เฟสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 3-4 เท่า
2. ฮาร์มอนิกส์อันดับ 3 จะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 เฟส
3. ค่า THD ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 เฟส

#### 4.3.1.3 วิเคราะห์กรณีขลวดสแตเตอร์ลัดวงจร 2 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกกระแส กรณีที่มอเตอร์เกิดความผิดปกติจากสาเหตุการลัดวงจรที่ขลวดสแตเตอร์ 2 เฟส นั้นสามารถดูค่ากระแสอาร์เอ็มเอสได้ เนื่องจากจะมีค่าที่สูงทั้ง 2 เฟส เมื่อเทียบกับเฟสที่ปกติ ส่วนค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เพราะว่าไม่มีนัยสำคัญที่จะวิเคราะห์ได้ ความผิดปกติเนื่องจากการลัดวงจรของขลวด 2 เฟส จะปรากฏฮาร์มอนิกกระแสอันดับ 3 ขึ้น และแอมพลิจูดของเฟสที่ขลวดลัดวงจรจะมีค่าสูงกว่าเฟสที่ปกติ ค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ 4-24 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขลวดสแตเตอร์ลัดวงจร 2 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$	$I_{normal}$	$I_{rms}$ (increase)	Harmonics (3 <sup>rd</sup> )
Short AB	A	5.0	0.44	11.36	0.125
	B	4.6	0.42	10.95	0.078
	C	1.9	0.42	4.52	0.018
Short BC	A	2.0	0.44	4.55	0.022
	B	5.6	0.42	13.33	0.125
	C	5.9	0.42	14.05	0.080
Short CA	A	6.1	0.44	13.86	0.080
	B	2.0	0.42	4.76	0.020
	C	5.7	0.42	13.57	0.125

#### สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าสูงสุด 2-เฟสประมาณ 10-14 เท่า
2. ฮาร์มอนิกอันดับ 3 ของ 2 เฟสที่ขลวดลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 เฟส
3. ค่า THD ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

#### 4.3.1.4 วิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์เปิดวงจร 1 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสักระยะเนื่องจากความผิดปร้องกรณีขลวดสเตเตอร์หายไปบางเฟส นั้น จะสังเกตเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากเฟสใดที่ขลวดสเตเตอร์หายไป เฟสนั้นจะไม่ปรากฏสัญญาณใด ๆ ส่วน 2 เฟสที่ปกติ จะมีค่ากระแสอาร์เอ็มเอสเพิ่มขึ้นทั้ง 2 เฟส เท่า ๆ กัน ค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณก็เพิ่มขึ้นทั้ง 2 เฟส แต่ไม่ปรากฏฮาร์มอนิกสักระยะอันดับอื่นปะปนมาแต่อย่างใด ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์เปิดวงจร 1 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$	$I_{normal}$	$I_{rms}$ (increase)	THD	THD <sub>normal</sub>	THD (decrease)
Open A	A	-	0.44	-	-	-	-
	B	0.63	0.42	1.50	2.23	6.07	0.37
	C	0.63	0.42	1.50	1.70	6.21	0.27
Open B	A	0.64	0.44	1.45	2.05	5.53	0.37
	B	-	0.42	-	-	-	-
	C	0.64	0.42	1.52	1.70	5.43	0.31
Open C	A	0.65	0.44	1.48	2.05	5.14	0.40
	B	0.64	0.42	1.52	2.23	5.16	0.43
	C	-	0.42	-	-	-	-

สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) บางเฟสเป็นศูนย์ 2 เฟสที่เหลือมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่า
2. ค่า THD บางเฟสมีค่าเป็นศูนย์ 2 เฟสที่เหลือมีค่าลดลงเหลือประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์
3. ความเร็วรอบไม่แตกต่างจากภาวะปกติ

#### 4.3.1.5 วิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ 1 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่กระแสเนื่องจากความผิดปกติขลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ นั้น กระแสอาร์เอ็มเอสเปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้ง 3 เฟส แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ากระแสรั่วลงกราวด์มากน้อย แค่ไหน จะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากันทั้ง 3 เฟส ส่วนความผิดเพี้ยนของ สัญญาณ THD ไม่มีนัยสำคัญที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ได้ แต่ถ้าสังเกต wave form phase ที่หน้าจอมอนิเตอร์จะเห็นรูปสัญญาณที่ผิดเพี้ยนได้อย่างชัดเจน ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-26 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ 1 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$	$I_{normal}$	$I_{rms}$ (decrease)	Harmonics (3 <sup>rd</sup> )	THD
Ground A	A	0.43	0.44	0.98	0.003	13.89
	B	0.41	0.42	0.98	0.003	14.58
	C	0.41	0.42	0.98	0.003	13.96
Ground B	A	0.43	0.44	0.98	0.003	13.82
	B	0.41	0.42	0.98	0.003	13.86
	C	0.41	0.42	0.98	0.003	14.97
Ground C	A	0.43	0.44	0.98	0.003	13.82
	B	0.41	0.42	0.98	0.003	13.89
	C	0.41	0.42	0.98	0.003	13.33

สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) ทุกเฟสมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม
2. ฮาร์มอนิกอันดับ 3 เพิ่มขึ้นเท่ากันทั้ง 3 เฟส
3. ค่า THD เพิ่มขึ้นทั้ง 3 เฟส ขึ้นอยู่กับความแรงของการรั่วลงกราวด์ของกระแส
4. สังเกตจาก wave form phase จะเห็นความผิดเพี้ยนของคลื่น ไซน์ ได้ชัดเจน

#### 4.3.1.6 วิเคราะห์กรณีเกิดความไม่สมมาตรที่แกนโรเตอร์

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสักระยะ เนื่องจากความผิดพ้องกรณีเกิดความไม่สมมาตรที่แกนโรเตอร์ สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนมากเพราะมีฮาร์มอนิกสักระยะอันดับ 5 และ 7 ปรากฏขึ้น แต่ไม่ปรากฏฮาร์มอนิกสักระยะอันดับ 3 และเมื่อพิจารณาค่ากระแสอาร์เอ็มเอส ปรากฏว่ามีค่าสูงขึ้นทั้ง 3 เฟส ใกล้เคียงกัน ซึ่งความผิดพ้องกรณีนี้จะแตกต่างกับกรณีอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วอย่างเด่นชัดค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีเกิดความไม่สมมาตรที่แกนโรเตอร์

Status	Phase	$I_{rms}$	$I_{normal}$	$I_{rms}$ (increase)	Harmonics (5 <sup>th</sup> )	Harmonics (7 <sup>th</sup> )
Unbalance rotor core	A	3.7	0.44	8.41	0.008	0.005
	B	3.6	0.42	8.57	0.009	0.004
	C	3.6	0.42	8.57	0.009	0.003

สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าสูงสุดทั้ง 3 เฟส ประมาณ 8-9 เท่า
2. ค่าฮาร์มอนิกอันดับ 5 เพิ่มขึ้นสูงสุดทั้ง 3 เฟส
3. ค่าฮาร์มอนิกอันดับ 7 เพิ่มขึ้นสูงสุดทั้ง 3 เฟส
4. ไม่ปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3

### 4.3.2 กรณีวงจรขดลวดสเตเตอร์ต่อแบบเดลต้า ( $\Delta$ -CONNECTION)

#### 4.3.2.1 วิเคราะห์จากความเร็วรอบของมอเตอร์

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์กระแส จากการสังเกตดูเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ขนาด คือขนาด 2 hp และขนาด 0.5 hp เมื่อมอเตอร์ต่อวงจรขดลวดแบบเดลต้า ทุกกรณีที่เกิดความผิดปกติ ค่าต่าง ๆ แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4-28

ตารางที่ 4-28 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเกิดความผิดปกติ

(status)	Motor 2 hp	Motor 0.5 hp	Motor 2 hp (% decrease)	Motor 0.5 hp (% decrease)	% decrease
Normal	1499	1495	0.00	0.00	
Short A	1469	1477	2.00	1.20	
Short B	1469	1477	2.00	1.20	1-2 %
Short C	1470	1476	1.93	1.27	
Short AB	1362	1415	9.14	5.35	
Short BC	1363	1415	9.07	5.35	5-10 %
Short CA	1362	1414	9.14	5.42	
Open A	1490	1484	0.60	0.74	
Open B	1491	1484	0.53	0.74	0.5-0.7 %
Open C	1491	1484	0.53	0.74	

สรุป

1. กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ 1 เฟส ความเร็วรอบลดลง 1-2 % ของความเร็วปกติ
2. กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดรอบ 2 เฟส ความเร็วรอบลดลง 5-10%ของความเร็วปกติ
3. กรณีขดลวดสเตเตอร์หายไปบางเฟสความเร็วรอบลดลง 0.5-0.7%ของความเร็วปกติ

#### 4.3.2.2 วิเคราะห์กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสักระยะ กรณีความผิดปกติเนื่องจากขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟส เมื่อวงจรขดลวดต่อแบบเดลที่นั่นสังเกตได้ว่า เมื่อขดลวดเฟส A ลัดวงจร กระแสอาร์เอ็มเอสของ เฟส A และ B จะมีค่าสูง เฟส C จะต่ำสุด เมื่อเฟส B ลัดวงจร กระแสอาร์เอ็มเอส เฟส B และ C จะสูง เฟส A จะต่ำสุด และเมื่อเฟส C ลัดวงจร ค่ากระแสอาร์เอ็มเอส เฟส C และ A จะสูงสุด เฟส B เฟส จะต่ำสุด ทั้งนี้ยังปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 และ 5 ด้วย ส่วนค่า THD ไม่มีนัยสำคัญ ค่าต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 1 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$ (A)	$I_{normal}$ (A)	$I_{rms}$ (A) increase	THD	THD normal	THD increase	Har (3 <sup>rd</sup> )	Har (5 <sup>th</sup> )
Short A	A	11	1.3	8.46	5.71	1.71	3.34	0.300	0.100
	B	10	1.3	7.69	5.14	1.66	3.10	0.200	0.100
	C	2.3	1.3	1.77	5.05	1.71	2.95	0.000	0.000
Short B	A	2.6	1.3	2.00	5.81	1.71	3.40	0.000	0.000
	B	11	1.3	8.46	6.51	1.66	3.92	0.400	0.100
	C	10	1.3	7.69	5.75	1.71	3.36	0.300	0.100
Short C	A	11	1.3	8.46	5.83	1.71	3.41	0.300	0.100
	B	2.2	1.3	1.69	4.84	1.66	2.92	0.000	0.000
	C	11	1.3	8.46	6.42	1.71	3.75	0.350	0.100

สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าสูงสุด 2 เฟส คือเฟสที่ลัดวงจรกับเฟสที่อยู่ถัดไป
2. ฮาร์มอนิกอันดับ 3 จะเพิ่มขึ้นสูงสุด 2 เฟส เมื่อเทียบกับทั้ง 3 เฟส
3. ฮาร์มอนิกอันดับ 5 จะเพิ่มขึ้นสูงสุด 2 เฟส เมื่อเทียบกับทั้ง 3 เฟส



#### 4.3.2.3 วิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 2 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกกระแสเนื่องจากความผิดปกติขลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 2 เฟส เมื่อขลวดต่อวงจรแบบเดลตานั้น สังเกตได้ว่าถ้าเฟส AB ลัดวงจร ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสจะมีค่าสูงทั้ง 2 เฟส แต่เฟสที่อยู่ถัดไปจะมีค่าสูงกว่า คือเฟส B เมื่อเฟส BC ลัดวงจร ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสของเฟส C จะสูงกว่าเฟส B ทำนองเดียวกันถ้าเฟส CA ลัดวงจร ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสของเฟส A จะสูงกว่า ทั้งนี้จะมีค่าฮาร์มอนิกกระแสอันดับ 3 ปรากฏทั้ง 3 เฟส ส่วนค่า THD ไม่มีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดที่แสดงดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-30 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 2 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$ (A)	$I_{normal}$ (A)	$I_{rms}$ (increase)	Harmonic (3 <sup>rd</sup> )
Short AB	A	2.7	1.3	2.08	0.125
	B	3.74	1.3	2.88	0.078
	C	2.75	1.3	2.12	0.018
Short BC	A	2.73	1.3	2.10	0.022
	B	2.6	1.3	2.00	0.125
	C	3.87	1.3	2.98	0.080
Short CA	A	4.06	1.3	3.12	0.080
	B	2.97	1.3	2.28	0.020
	C	2.31	1.3	1.78	0.125

สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าสูงสุด 1 เฟส ประมาณ 2-3 เท่า ของค่าปกติ
2. ฮาร์มอนิกอันดับ 3 จะเพิ่มขึ้นสูงสุด 2 เฟส เมื่อเทียบกันทั้ง 3 เฟส

#### 4.3.2.4 วิเคราะห์กรณีขดลวดสเตเตอร์เปิดวงจร 1 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกกระแสกรณีที่มีมอเตอร์ผิดปกติเนื่องจากการหายไปของขดลวดบางเฟส สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากเฟสที่ขดลวดหายไป เนื่องจากจะไม่ปรากฏสัญญาณฮาร์มอนิกกระแสของเฟสนั้น ๆ แต่จะปรากฏสัญญาณเป็นปกติกับอีก 2 เฟส ที่เหลือ กระแสอาร์เอ็มเอส จะเพิ่มขึ้นกว่าค่าปกติเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ค่า THD จะลดลงกว่าค่าปกติ ค่าต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4-31

ตารางที่ 4-31 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขดลวดสเตเตอร์เปิดวงจร 1 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$ (A)	$I_{normal}$ (A)	$I_{rms}$ (A) increase	THD	THD normal	THD decrease
Open A	A	-	1.3	-	-	-	-
	B	1.9	1.3	1.46	3.54	6.07	0.58
	C	1.8	1.3	1.38	3.49	6.21	0.56
Open B	A	1.9	1.3	1.46	2.87	5.53	0.52
	B	-	1.3	-	-	-	-
	C	1.9	1.3	1.46	2.86	5.43	0.53
Open C	A	1.9	1.3	1.46	2.33	5.14	0.45
	B	1.9	1.3	1.46	2.33	5.16	0.45
	C	-	1.3	-	-	-	-

สรุป

- กระแสอาร์เอ็มเอส; ( $I_{rms}$ ) บางเฟสเป็น 0 และเฟสที่เหลือมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่า
- ค่า THD บางเฟสมีค่าเป็น 0 และ THD เฟสที่เหลือ ลดลงเหลือ 40-50 เปอร์เซ็นต์

#### 4.3.2.5 วิเคราะห์กรณีขดลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ 1 เฟส

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสักระยะ กรณีความผิดปกติเนื่องจากขดลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ เมื่อมอเตอร์ต้องจรรยาบรรณแบบเคลดด้านนี้ กระแสอาร์เอ็มเอสจะเปลี่ยนแปลงจากเมื่อตอนมอเตอร์ปกติไม่มากนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่รั่วลงกราวด์ และจะมีฮาร์มอนิกอันดับ 3 ปรากฏขึ้น โดยจะปรากฏที่เฟสลำดับถัดไป เช่น ถ้าเฟส A รั่วลงกราวด์ จะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 ที่เฟส B ถ้าเฟส B รั่วลงกราวด์จะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 ที่เฟส C และเมื่อพิจารณา THD จะมีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าปกติของเฟสที่มีฮาร์มอนิกอันดับ 3 เท่านั้น ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-32

ตารางที่ 4-32 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีขดลวดสเตเตอร์รั่วลงกราวด์ 1 เฟส

Status	Phase	$I_{rms}$ (A)	$I_{normal}$ (A)	$I_{rms}$ (A) decrease	Harmonic (3 <sup>rd</sup> )	THD	THD normal
Ground A	A	1.2	1.3	0.92	0.000	1.82	5.71
	B	1.2	1.3	0.92	0.004	5.89	5.14
	C	1.2	1.3	0.92	0.000	1.32	5.05
Ground B	A	1.2	1.3	0.92	0.000	1.71	5.71
	B	1.1	1.3	0.85	0.000	1.59	5.14
	C	1.2	1.3	0.92	0.004	5.62	5.05
Ground C	A	1.2	1.3	0.92	0.004	6.19	5.71
	B	1.1	1.3	0.85	0.000	1.48	5.14
	C	1.2	1.3	0.92	0.000	1.31	5.05

#### สรุป

1. กระแสอาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม
2. ฮาร์มอนิกอันดับ 3 เพิ่มขึ้นเพียง 1 เฟส (เฟสลำดับถัดไปจากเฟสที่ลงกราวด์) 2 เฟส ที่เหลือเป็นศูนย์
3. ค่า THD ของเฟสที่ปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3 มีค่าสูงสุด 2 เฟสที่เหลือมีค่าลดลง

#### 4.3.2.6 วิเคราะห์กรณีเกิดความไม่สมมาตรที่แกนโรเตอร์

การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสักระยะ กรณีเกิดความผิดปกติที่มอเตอร์เนื่องจากความไม่สมมาตรของแกนโรเตอร์เมื่อขดลวดมอเตอร์ต่อแบบเคลด้า พบว่ากระแสอาร์เอ็มเอสมีค่าสูงขึ้นทั้ง 3 เฟส และจะปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 5 และ 7 ส่วนฮาร์มอนิกอันดับ 3 ไม่ปรากฏให้เห็น ซึ่งความผิดปกติของมอเตอร์กรณีนี้จะดูได้ง่ายกว่ากรณีอื่น ๆ ส่วนค่าต่าง ๆ ที่ได้ แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4-33

ตารางที่ 4-33 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กรณีเกิดความไม่สมมาตรที่แกน โรเตอร์

Status	Phase	$I_{rms}$ (A)	$I_{normal}$ (A)	$I_{rms}$ (A) increase	Harmonic (5 <sup>th</sup> )	Harmonic (7 <sup>th</sup> )
Unbalance rotor core	A	4.5	1.3	3.46	0.009	0.006
	B	4.4	1.3	3.38	0.009	0.005
	C	4.4	1.3	3.38	0.10	0.003

#### สรุป

1. กระแส อาร์เอ็มเอส ; ( $I_{rms}$ ) มีค่าสูงสุดทั้ง 3 เฟส ประมาณ 3-4 เท่า
2. ค่าฮาร์มอนิกอันดับ 5 เพิ่มขึ้นสูงสุดทั้ง 3 เฟส
3. ค่าฮาร์มอนิกอันดับ 7 เพิ่มขึ้นสูงสุดทั้ง 3 เฟส
4. ไม่ปรากฏฮาร์มอนิกอันดับ 3

