

## บทที่ 6

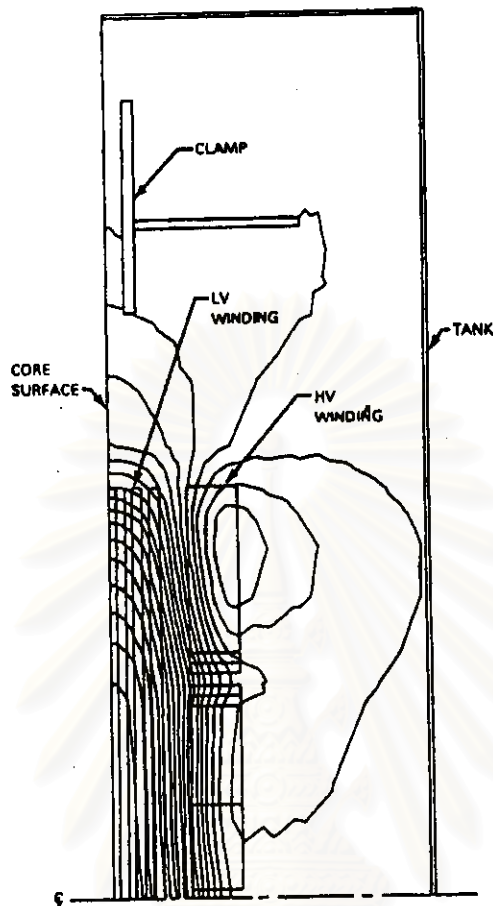
### การลดพิกัดของหม้อแปลงกำลัง

#### 6.1 กำลังสูญเสียในหม้อแปลงกำลัง [ 6,11 ]

หม้อแปลงกำลังเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดระดับของแรงดันไฟฟ้าจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง โดยมีข้อแม้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปนั้นจะต้องเกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ในระบบส่งพลังงานไฟฟ้า และระบบจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

โดยทั่วไปหม้อแปลงกำลังที่มีพิกัดไม่เกิน 50 MVA จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ หม้อแปลงชนิดขดลวดล้อมแกน (core type transformer) ซึ่งมีขดลวดทางด้านแรงสูงและแรงต่ำพันโดยรอบแกนเหล็กซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในแผ่นเหล็กบางที่มาประกอบเป็นแกนเหล็กโดยที่ในส่วนบนและล่างของแกนเหล็กจะยึดเข้ากับแคลมป์ และในส่วนของหม้อแปลงชนิดน้ำมันจะมีน้ำมันบรรจุในตัวถังที่เป็นเหล็ก ถ้ามีกระแสตรงไหลผ่านตัวนำซึ่งเป็นขดลวดในหม้อแปลงจะเกิดความสูญเสียในขดลวดโดยเกิดจากค่าความต้านทานในขดลวดแต่ถ้ามีกระแสสลับที่มีขนาดเท่ากันไหลผ่านตัวนำซึ่งเป็นขดลวดก็จะทำให้ค่าความสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถที่จะอธิบายได้ดังนี้ เมื่อขดลวดหม้อแปลงมีกระแสไหลผ่านจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยรอบตัวนำซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของกระแสที่ไหลผ่านตัวนำในขดลวด ดังรูป 6.1 ที่ได้แสดงไว้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไหลวนในหม้อแปลงไฟฟ้า

จากรูป 6.1 ที่ได้แสดงภาพตัดขวางของแกนเหล็ก แคลมป์ และตัวถังหม้อแปลง และจากการที่เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นและ จะทำให้เกิดกระแสไหลวนในตัวนำ กระแสไหลวนจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในรูปของความร้อนซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในตัวนำเพิ่มสูงขึ้น กำลังสูญเสียที่นอกเหนือจากความสูญเสียในขดลวดจะถูกรวมเรียกว่า กำลังสูญเสียปลีกย่อย (stray loss) แต่โดยปกติในส่วนของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวดจะเรียกว่า กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current loss) ในส่วนที่นอกเหนือจากนี้จะเรียกว่า กำลังสูญเสียปลีกย่อย

กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวดจะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของกระแสไหลวนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความถี่ ในกรณีนี้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายโหลดที่มีฮาร์มอนิก กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนที่เพิ่มขึ้นในขดลวดและในส่วนอื่นๆ จะทำให้อุณหภูมิในส่วนนั้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าในสภาพปกติ และจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังกล่าวเนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกจะทำให้เกิดความสูญเสียที่เกินกว่าการใช้งานที่ความถี่ปกติที่ 50 เฮิร์ต โดยปกติขดลวดที่อยู่ชั้นในจะมีค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนมีค่ามากกว่า

ขดลวดที่อยู่ภายนอกเพราะว่าฟลักซ์สนามแม่เหล็กมักจะไหลในส่วนของแกนเหล็กมากกว่าเนื่องจากมีความต้านทานแม่เหล็กต่ำ โดยมาตรฐานของ IEEE Standard C57.110-1986 recommended practice for establishing transformer capability when supplying nonsinusoidal load current ได้จัดหาวิธีซึ่งแสดงการคำนวณที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไว้ อย่างไรก็ตามการคำนวณนี้จะเป็นการประมาณประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่เหลืออยู่โดยแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณกระแสฮาร์มอนิก โหลดที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นนี้จะจ่ายปริมาณกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ซึ่งในหลายๆกรณีของหม้อแปลงที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้ใช้งานกับกระแสที่มีฮาร์มอนิกจะทำให้หม้อแปลงมีความสามารถในการจ่ายโหลดที่ลดลง

โดยในขั้นตอนแรกของ IEEE Standard C57.110-1986 จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับกำลังสูญเสียภายในหม้อแปลง (transformer loss) ซึ่งจะประกอบด้วย

- กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด (no load loss)
- กำลังสูญเสียขณะมีโหลด (load loss)

โดยที่จะทำการแยกพิจารณาดังนี้ คือ

6.1.1 กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด ( no load loss ) กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด จะประกอบด้วย

6.1.1.1 กำลังสูญเสียฮิสเตอร์ซิส เกิดจากในสภาวะปกติการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กในแกนเหล็กจะอยู่ในสภาวะอิสระ เมื่อจ่ายแรงดันเข้าไปในขดลวดจะทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่ม ขึ้น ทำให้โมเมนต์แม่เหล็กของแกนเหล็กบางส่วนมีการเรียงตัวตามแนวสนามแม่เหล็ก และจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวด จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง

โดยปกติความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กจะเพิ่มขึ้นถึงจุดๆหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเกิดจากการอิ่มตัวของแกนเหล็ก และเมื่อเราลดแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดจนเป็นศูนย์ โมเมนต์แม่เหล็กของแกนเหล็ก กลับไม่สามารถที่จะเรียงตัวกันแบบอิสระเหมือนในตอนแรก ที่เริ่มจ่ายแรงดันให้กับขดลวด

สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ คือ

$$P_{\text{hys}} = k_1 f (B_{\text{max}})^\sigma \quad (6.1)$$

โดยที่

$P_{\text{hys}}$  คือ กำลังสูญเสียฮิสเตอรีซิส

$k_1$  คือ ค่าคงที่ของวัสดุแต่ละชนิด

$f$  คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้า (Hz)

$B_{\text{max}}$  คือ ค่าสูงสุดของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb/m)

$\sigma$  คือ ค่าคงที่ของ steimetz มีค่าระหว่าง 1.6-2.5

6.1.1.2 กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก เกิดจากเมื่อจ่ายแรงดันให้กับขดลวดจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านแกนเหล็ก เนื่องจากแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดเป็นแรงดันกระแสสลับ ดังนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นภายในแกนเหล็ก เป็นผลทำให้เกิดกระแสไหลวนรอบๆ อยู่ในแผ่นเหล็กบางที่ประกบกันเป็นแกนเหล็ก เรียกกระแสนี้ว่า กระแสไหลวน (eddy current) และเรียกกำลังสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนนี้ว่า กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (eddy current loss) สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$P_{\text{eddy}} = k_2 f^2 (B_{\text{eff}})^2 t^2 \quad (6.2)$$

โดยที่

$P_{\text{eddy}}$  คือ กำลังสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน (W/kg)

$k_2$  คือ ค่าคงที่ของวัสดุแต่ละชนิด

$B_{\text{eff}}$  คือ ค่าประสิทธิภาพของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb/m)

$f$  คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้า (Hz)

$t$  คือ ความหนาของแผ่นเหล็ก (m)

6.1.2 กำลังสูญเสียขณะมีโหลด ( load loss ) กำลังสูญเสียขณะมีโหลด สามารถที่จะแบ่งได้ดังนี้คือ

6.1.2.1 กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานภายในขดลวด ซึ่งขึ้นกับค่าความต้านทานของขดลวด โดยที่ค่าความต้านทานของขดลวดจะแปรผันกับอุณหภูมิ ดังนั้นกำลังสูญเสียชนิดนี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิอีกด้วย

6.1.2.2 กำลังสูญเสียปลิกย่อย สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

กำลังสูญเสียปลิกย่อยภายในขดลวด เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณฟลักซ์รั่วที่ตัดผ่านขดลวดทำให้เกิด กระแสไหลวนภายในขดลวดและกระแสไหลวนระหว่างขดลวด โดยปกติในหม้อแปลงขนาดใหญ่ในแต่ละรอบของขดลวดจะประกอบด้วยตัวนำมากมาย ซึ่งในการจัดรูปแบบของขดลวดที่แตกต่างกัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในตัวนำต่างๆมีขนาดไม่เท่ากันซึ่งแรงดันที่ไม่เท่ากันนี้จะทำให้เกิดกระแสไหลวนภายในขดลวด และกระแสไหลวนระหว่างขดลวดซึ่งจะทำให้ขดลวดร้อนขึ้น

กำลังสูญเสียปลิกย่อยที่ส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลวนในส่วนต่างๆที่ฟลักซ์รั่วตัดผ่านซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ส่วนต่างๆ

โดยสามารถเขียนได้ดังสมการดังนี้

$$P_{ll} = I^2R + P_{ec} + P_{oi} \quad (6.3)$$

โดยที่  $P_{ll}$  คือ กำลังสูญเสียขณะมีโหลด (load loss) ,วัตต์

$I^2R$  คือ กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานภายในขดลวด ,วัตต์

$P_{ec}$  คือ กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวด,วัตต์

$P_{oi}$  คือ กำลังความสูญเสียปลิกย่อย ,วัตต์

ซึ่งผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกที่มีต่อกำลังสูญเสียขณะมีโหลด ก็คือจะทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกจะทำให้  $I^2R$  มีค่าเพิ่มเนื่องจาก ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไหลวนมีค่าเพิ่มขึ้น ( rms load current ) นอกจากนี้ยังจะทำให้กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวดและกำลังสูญเสียปลิกย่อยมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยดังได้กล่าวมาแล้ว สิ่งนี้จะทำให้ขดลวดมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิดปกติเนื่องจากการใช้งานหม้อแปลงในการจ่ายโหลดที่มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ผลที่ตามมาก็คือจะต้องลดพิภพของหม้อแปลงลงเพื่อป้องกันความเสียหาย

## 6.2 การคำนวณการลัดพิกัดของหม้อแปลง [ 6,11 ]

ในการคำนวณการลัดพิกัดของหม้อแปลงนั้นขั้นตอนแรกจะต้องคำนวณหาค่าต่อหน่วยของความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวด,  $P_{ec-r(pu)}$  ก่อนซึ่งค่านี้สามารถที่จะได้จากบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงหรือจากการคำนวณก็ได้

โดยในการคำนวณ  $P_{ec-r(pu)}$  จะต้องทำการพิจารณาข้อมูลจาก test report ที่มีอยู่โดยใช้สมมุติฐานดังนี้

1. กำลังสูญเสียปลิกย่อย (stray loss) ทั้งหมดสมมุติให้เป็นกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดลวด (winding eddy current loss)

2. กำลังสูญเสียในชุดลวด (copper loss ) กระจายอย่างสม่ำเสมอในชุดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

3. การแบ่งกำลังความสูญเสียเนื่องกระแสไหลวนในชุดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิสามารถที่จะแบ่งได้ดังนี้

60% ในชุดลวดทุติยภูมิ และ 40% ในชุดลวดปฐมภูมิที่มีค่ากระแสจ่ายไหลไม่เกิน 1000 แอมป์ และค่าอัตราส่วนจำนวนรอบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4:1

70% ในชุดลวดทุติยภูมิ และ 30% ในชุดลวดปฐมภูมิที่มีค่ากระแสจ่ายไหลมากกว่า 1000 แอมป์ และอัตราส่วนจำนวนรอบมากกว่า 4:1

4. กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนจะกระจายอย่างสม่ำเสมอในชุดลวดแต่ละชุดโดยบริเวณที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดจะสมมุติให้มีค่า กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนมีค่าสูงที่สุดประมาณ 400% ของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเฉลี่ย

ดังนั้นจะได้ ค่า  $P_{ec-r}$  คือ ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดที่พิกัดจากสมการ (6.4)

$$P_{ec-r} = P_1 - K(I_{1-r}^2 * R_1 + I_{2-r}^2 * R_2) \quad (6.4)$$

$$P_{ec-r(pu)} = \frac{X * P_{ec-r}}{K * I_{2-r}^2 * R_2} \quad (6.5)$$

โดยที่  $P_{ec-r}$  คือค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดที่พิกัด

$P_{ec-r(pu)}$  คือค่าต่อหน่วยของ ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดที่พิกัด

$I_{1-r}$  คือค่ากระแสระหว่างสายในชุดขดลวดปฐมภูมิ

- $I_{2-r}$  คือค่ากระแสระหว่างสายในชุดขดลวดทุติยภูมิ
- $R_1$  คือค่าความต้านทานระหว่างขั้วของขดลวดหม้อแปลงที่ต่อแบบวายทางด้านปฐมภูมิ
- $R_2$  คือค่าความต้านทานระหว่างขั้วของขดลวดหม้อแปลงที่ต่อแบบวายทางด้านทุติยภูมิ

$X$  คือค่าคงที่มีค่า 0.6 ถ้าเป็นหม้อแปลงจ่ายกระแสได้น้อยกว่า 1,000 แอมป์ หรืออัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดเท่ากับ 4:1 แต่จะมีค่า 0.7 ถ้าหม้อแปลงจ่ายกระแสมากกว่า 1,000 แอมป์ หรืออัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดไม่เท่ากับ 4:1 ส่วนถ้าพิจารณาที่จุดที่ร้อนที่สุดจะได้ ค่า  $X$  จะมีค่าเท่า 2.4 ถ้าเป็นหม้อแปลงจ่ายกระแสได้น้อยกว่า 1,000 แอมป์ หรือ อัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดเท่ากับ 4:1 แต่จะมีค่า 2.8 ถ้าหม้อแปลงจ่ายกระแสมากกว่า 1,000 แอมป์ หรืออัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดไม่เท่ากับ 4:1

$K$  เท่ากับ 1 ในกรณีที่หม้อแปลงเฟสเดียว และ เท่ากับ 1.5 ในกรณีที่หม้อแปลงสามเฟส

หลังจากที่ทราบค่า  $P_{ec-r(pu)}$  จะทำให้สามารถที่จะคำนวณหาค่ากระแสสูงสุดที่หม้อแปลงสามารถจ่ายไหลได้,  $I_{max(pu)}$  โดยคำนวณจากสูตร

$$P_{h(pu)} = 1 + P_{ec-r(pu)} \cdot \frac{\sum_{h=1}^{h=\max} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{h=\max} I_h^2} \quad (6.6)$$

$$K_{FACTOR} = \frac{\sum_{h=1}^{h=\max} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{h=\max} I_h^2} \quad (6.7)$$

$$P_{ll-r(pu)} = 1 + P_{ec-r(pu)} \quad (6.8)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{1 + P_{ec-r(pu)}}{1 + P_{ec-r(pu)} \cdot \frac{\sum_{h=1}^{h=\max} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{h=\max} I_h^2}}} \cdot I_{rated} \quad (6.9)$$

โดยที่  $P_{I(pu)}$  คือ ค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียขณะมีโหลดในสภาพการใช้งานจริง (วัตต์)

$P_{II-r(pu)}$  คือ ค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียขณะมีโหลดที่พิกัด (วัตต์)

$I_{max(pu)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดที่หม้อแปลงสามารถจ่ายโหลดได้ในสภาพโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

### 6.3 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ผล

จากการที่ได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ผลเกี่ยวกับการลดพิกัดของหม้อแปลงกำลังภายในสถานีไฟฟ้าย่อย ชั้นแรกจะต้องคำนวณหาค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในขดลวด,  $P_{ec-r}$  (pu) โดยได้ค่า  $P_{ec-r}$  (pu) ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการคำนวณหาค่า  $P_{ec-r(pu)}$  ของข้อมูลจาก test report

สถานีไฟฟ้าย่อย	Bay	Transformer rating		Transformer loss				Pec-r (pu)
		MVA	kV	load loss (kW)	copper loss (kW)	stray loss (kW)	winding eddy current loss (kW)	
BK	1	36/48/60	67/12	63.3 at 36MVA	48.9	14.4	14.4	0.467
KS	1,2	15/20	67/12	36.2 at 20MVA	27.4	8.8	8.8	0.238
	3	30/40	67/12	49.3 at 30MVA	37.82	11.44	11.44	0.413
MA	1	30/40	67/12	43.8 at 30MVA	37.82	5.95	5.95	0.247
SO	1,2	36/48/60	67/12	69.7 at 36MVA	57.4	12.3	12.3	0.342
JRN	1	36/48/60	67/12	71.5 at 36MVA	57.2	14.3	14.3	0.397
SR	1,2	36/48/60	67/12	75 at 36MVA	62.2	12.8	12.8	0.398



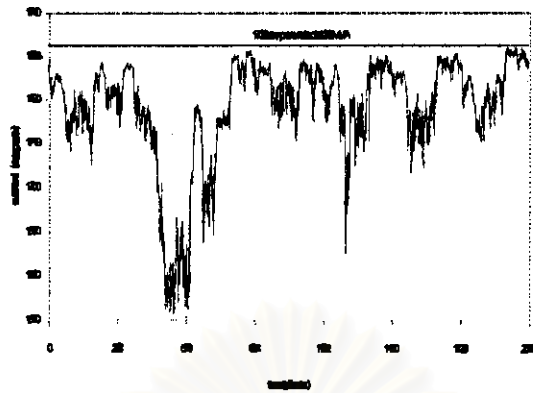
จากตารางที่ 6.1 จะทำให้ทราบการคำนวณหา  $Pec-r(pu)$  โดยใช้สมการ (6.5) และ ข้อมูลจาก test report

จากนั้นทำการคำนวณตาม สมการ 6.6-6.8 จะได้ผลการการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6.2-6.55 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า พิกัดของหม้อแปลงกำลังที่ใช้งานในสถานีไฟฟ้าย่อยหรือปริมาณกระแสสูงสุดที่หม้อแปลงกำลังสามารถจ่ายโหลดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่หม้อแปลงได้รับ ซึ่งจากรูปที่ 6.2-6.55 แสดงให้เห็นถึงพิกัดของหม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยจะมีค่าที่ลดลงต่ำสุดในช่วงเวลาที่ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกมีค่าสูงสุด โดยทำการเปรียบเทียบกับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ 5 และ 7 ซึ่งจากการตรวจวัดจะพบเป็นปริมาณสูงที่สุด

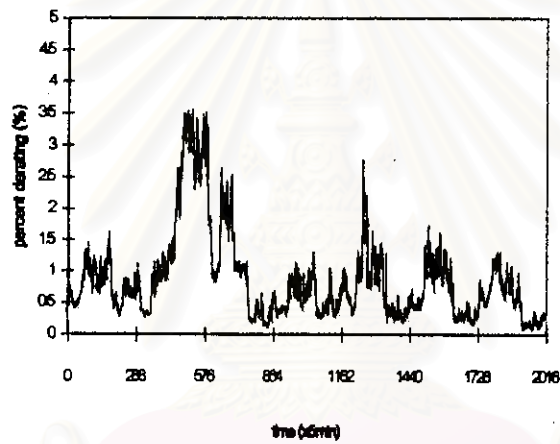
จากการคำนวณการลดพิกัดของหม้อแปลงโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE Standard.C.57-110 จึงเป็นแนวทางที่จะแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อหม้อแปลงกำลังได้รับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจะทำให้พิกัดของหม้อแปลงมีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงเนื่องจากกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบปริมาณโหลดที่หม้อแปลงแต่ละตัวได้รับกับเปอร์เซ็นต์การลดลงของพิกัดของหม้อแปลง ก็จะพบว่าปริมาณโหลดที่หม้อแปลงได้รับยังมีค่าไม่สูงเกินกว่าพิกัดของหม้อแปลง ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบปริมาณโหลดที่หม้อแปลงได้รับกับเปอร์เซ็นต์การลดลงของพิกัดหม้อแปลง

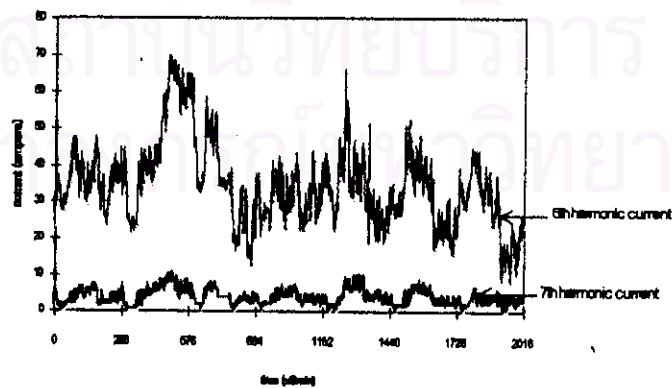
สถานีไฟฟ้าย่อย	bay	rated (MVA)	Actual load (MVA)			percent derating (%)		
			Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.
บางปลากด (BK)	1	36	20.64	16.9	13.7	3.51	0.83	0.03
คลองสรรพาสามิต (KS)	1	20	10.47	7.5	0	2.29	0.19	0.013
	2	20	11.2	6.47	3.53	1.218	0.25	0.01
	3	30	18.61	12.26	5.75	2.22	0.28	0.002
ไม้อัด (MA)	1	30	15.31	11.54	7.49	0.79	0.18	0.01
สวนส้ม (SO)	1	36	12.37	8.73	6.6	0.84	0.296	0.027
	2	36	6.36	2.56	1.12	26.01	4.51	0.15
แจงร้อน (JRN)	1	36	18.13	12.8	0	0.304	0.07	0.007
ลำโรง (SR)	1	36	19.39	8.64	4.83	4.776	1.197	0.004
	2	36	16.06	7.26	2.86	5.322	0.528	0.002



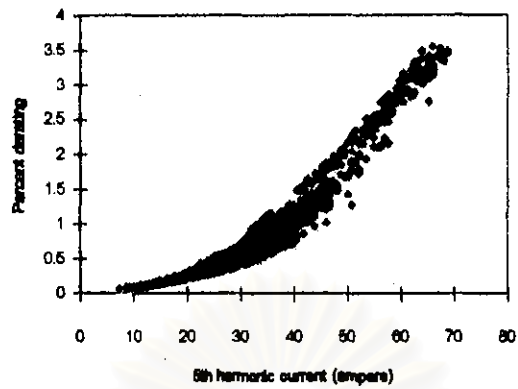
รูปที่ 6.2 ทิศของหม้อแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากด



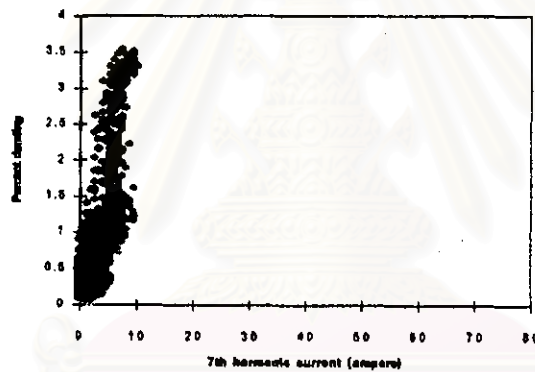
รูปที่ 6.3 ทิศที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากด



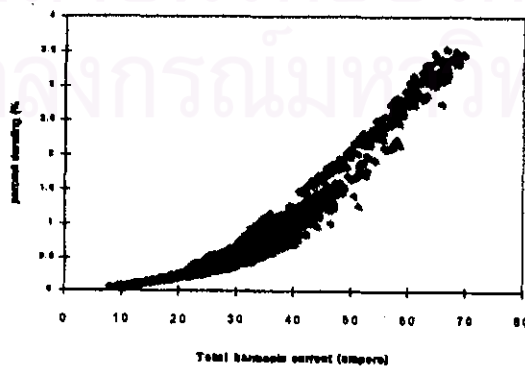
รูปที่ 6.4 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 และ 7 ของหม้อแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากด



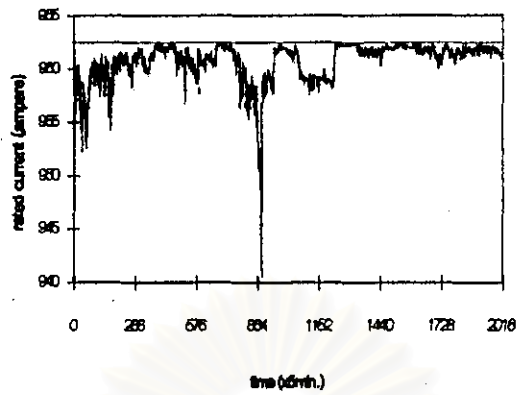
รูปที่ 6.5 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1



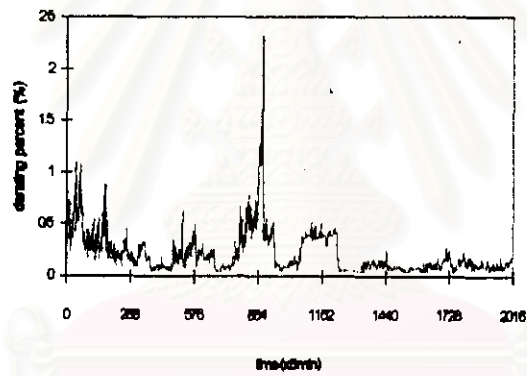
รูปที่ 6.6 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1



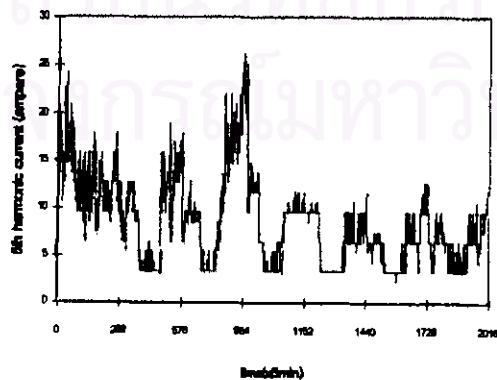
รูปที่ 6.7 ผลรวมกระแสฮาร์โมนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1



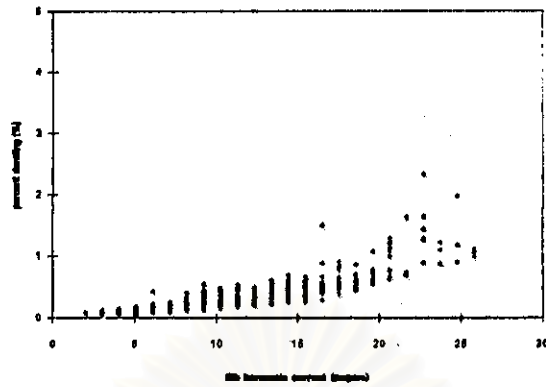
รูปที่ 6.8 พิกัดของมือแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรรพาศามิต



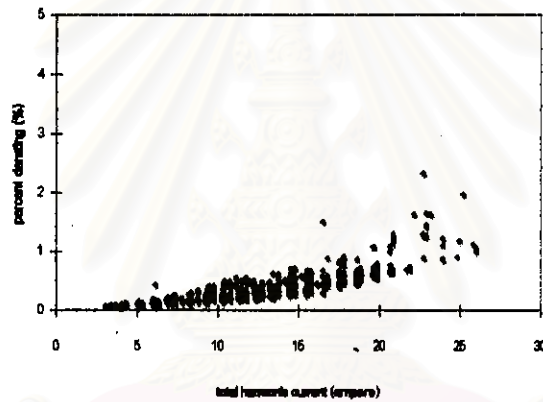
รูปที่ 6.9 พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรรพาศามิต



รูปที่ 6.10 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 ของมือแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรรพาศามิต

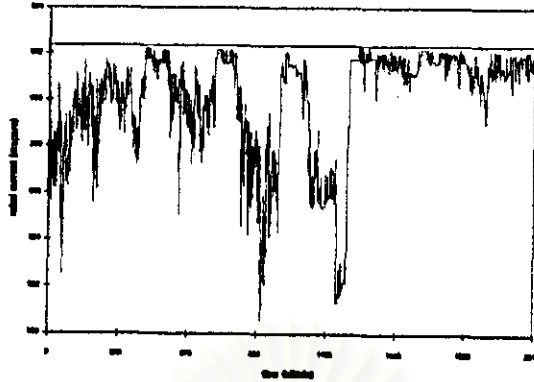


รูปที่ 6.11 กระแสธารมือนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1

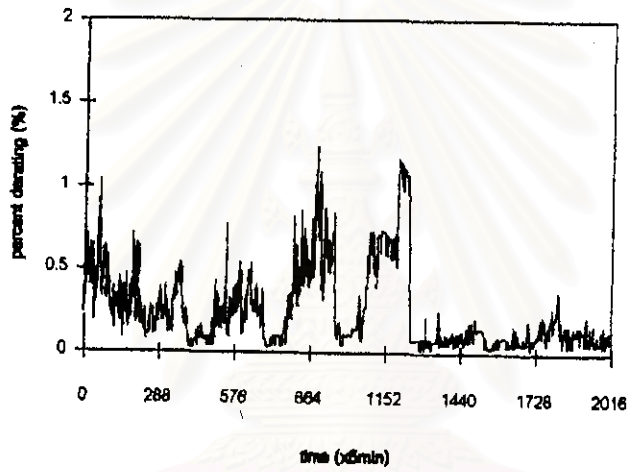


รูปที่ 6.12 ผลรวมกระแสธารมือนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1

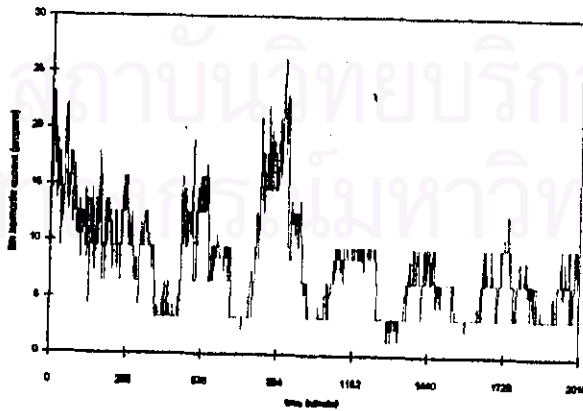
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



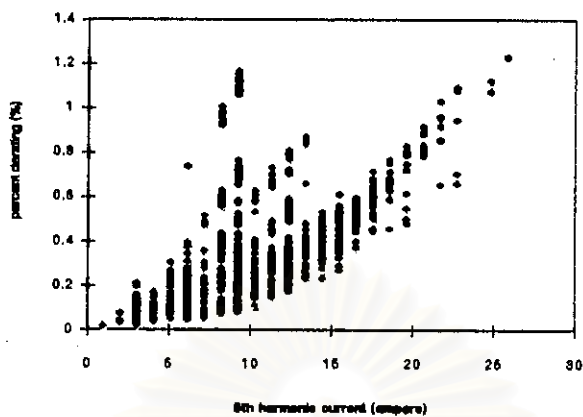
รูปที่ 6.13 พิกัดของหน้าแปลน bay 2 สถานีไฟฟ้าชลประทานคลองสรรพาสยามิต



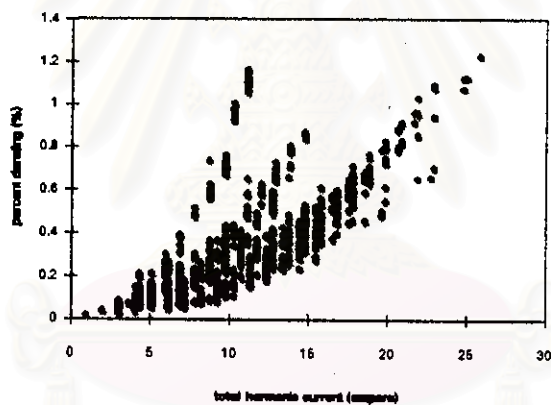
รูปที่ 6.14 พิกัดที่ลดลงของหน้าแปลน bay 2 สถานีไฟฟ้าชลประทานคลองสรรพาสยามิต



รูปที่ 6.15 กระแสฮาร์มอนิกที่ 5 ของหน้าแปลน bay 2 สถานีไฟฟ้าชลประทานคลองสรรพาสยามิต

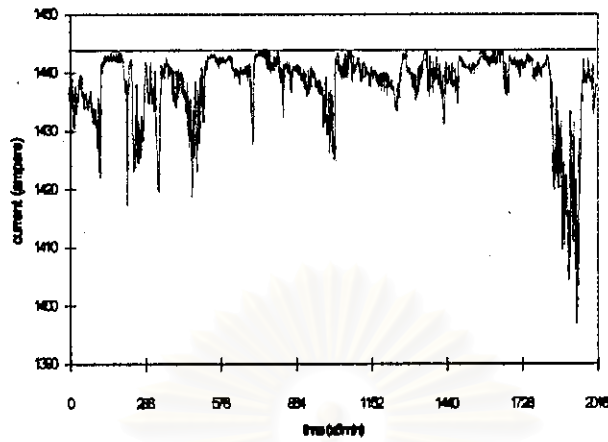


รูปที่ 6.16 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2

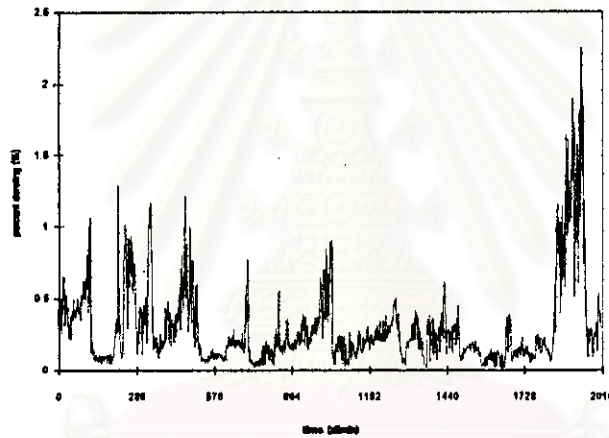


รูปที่ 6.17 ผลรวมกระแสฮาร์โมนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2

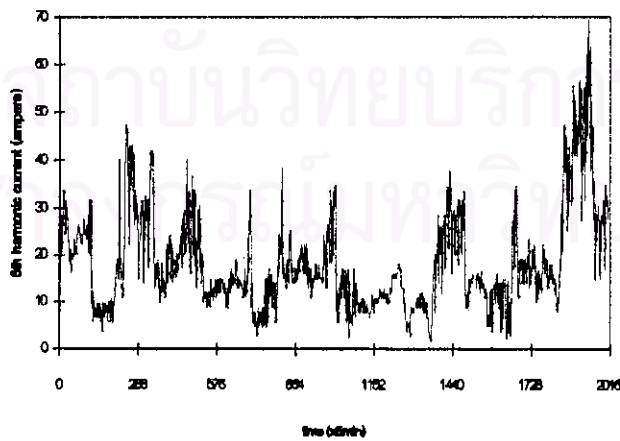
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.18 พิกัดของหม้อแปลง bay 3 สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรรพาสามิต

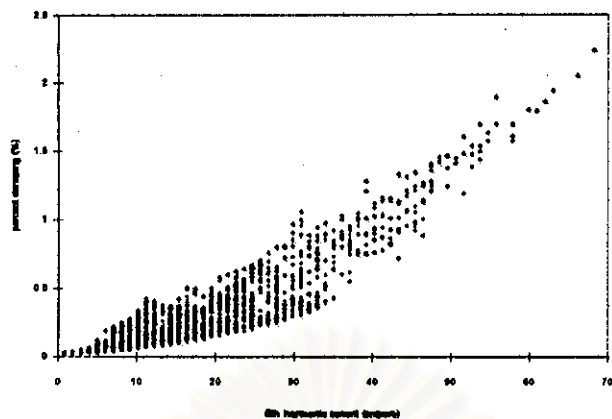


รูปที่ 6.19 พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 3 สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรรพาสามิต

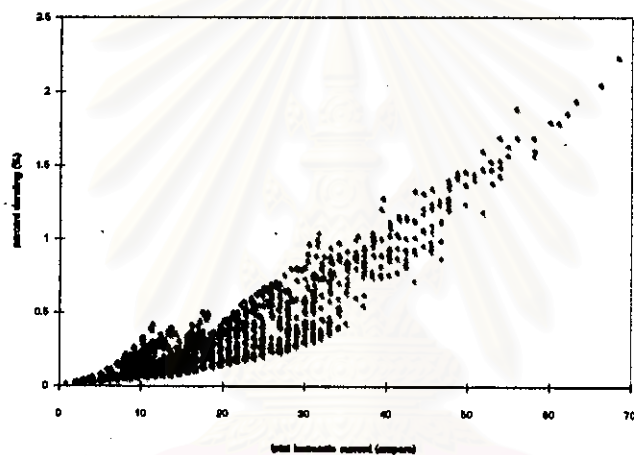


รูปที่ 6.20 กระแสฮาร์มอนิกที่ 5 ของหม้อแปลง bay 3 สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรรพาสามิต



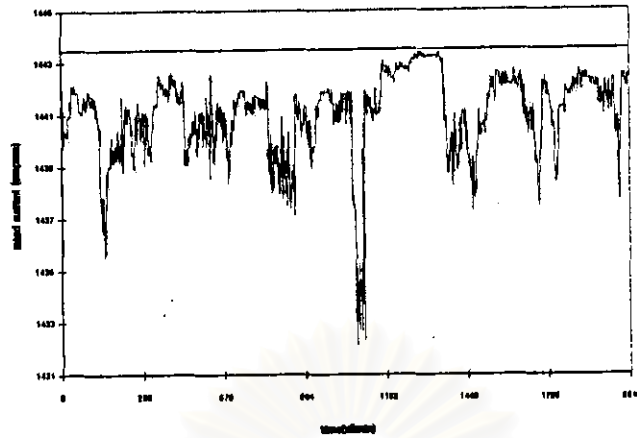


รูปที่ 6.21 การเปรียบเทียบกระแสรายมอริกที่ 5 กับ ทิศดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 3

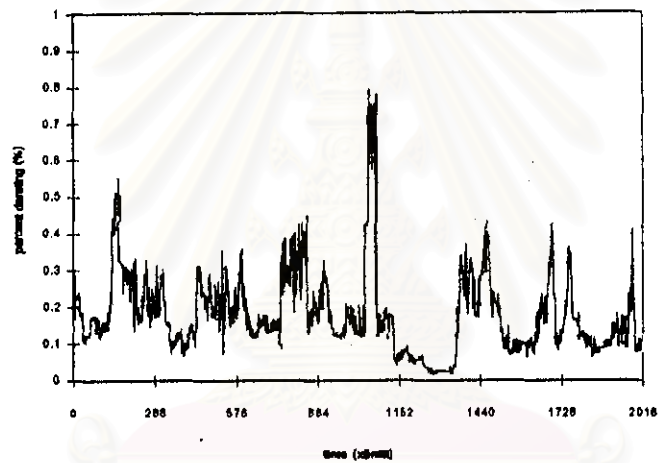


รูปที่ 6.22 การเปรียบเทียบผลรวมของกระแสรายมอริก กับ ทิศดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 3

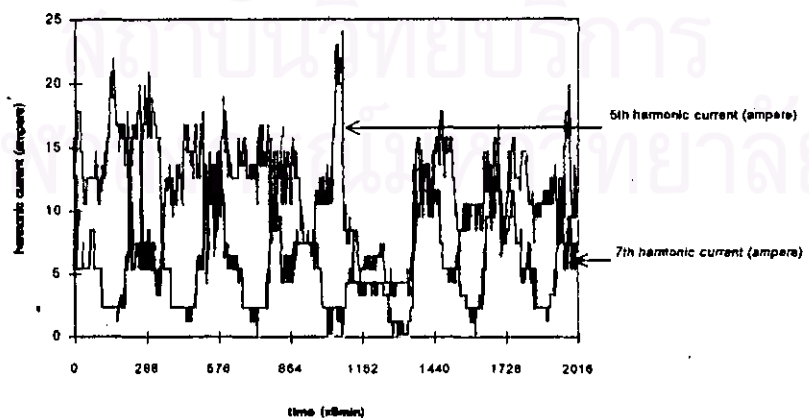
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



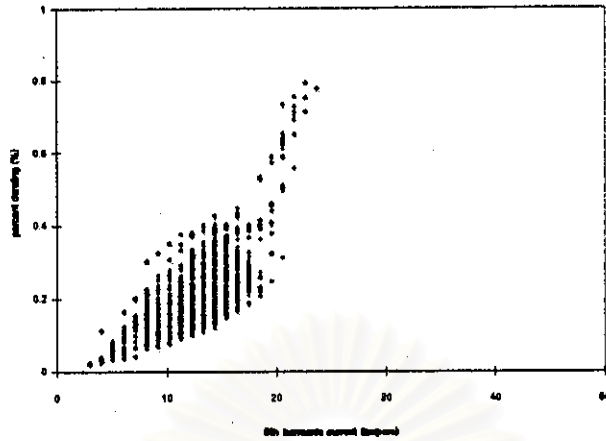
รูปที่ 6.23 พิกัดของหม้อแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยไม้อ้อ



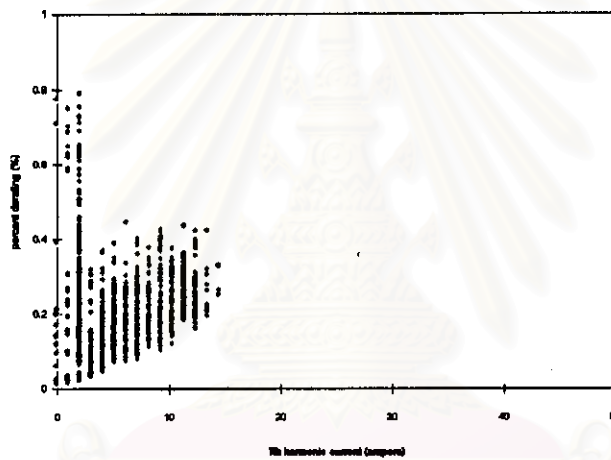
รูปที่ 6.24 พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยไม้อ้อ



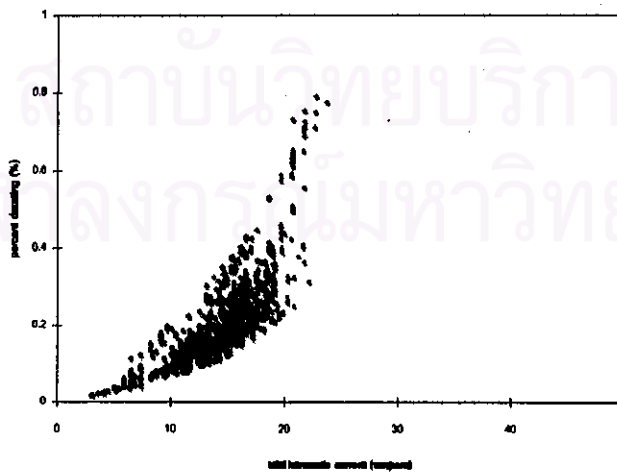
รูปที่ 5.25 กระแสฮาร์มอนิกที่ 5 และ 7 ของหม้อแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยไม้อ้อ



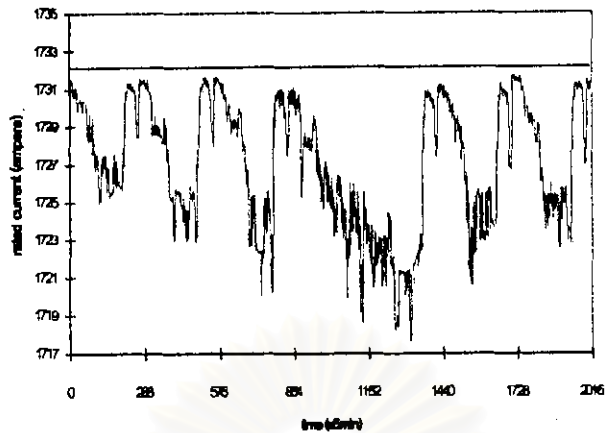
รูปที่ 6.26 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1



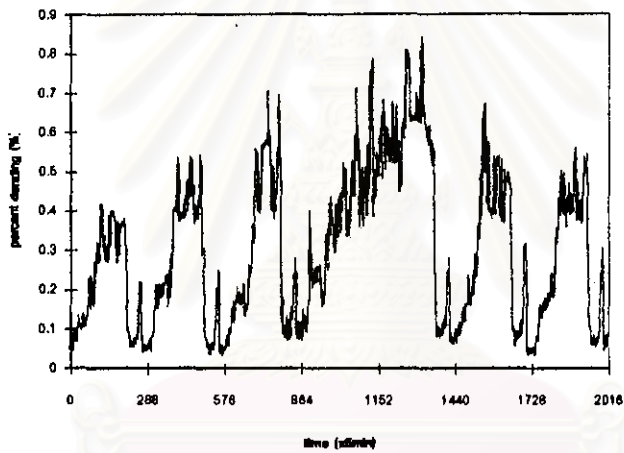
รูปที่ 6.27 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1



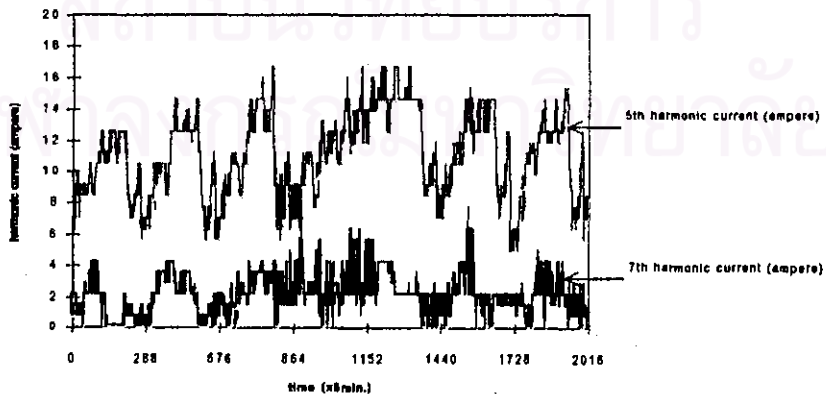
รูปที่ 6.28 ผลรวมกระแสฮาร์โมนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1



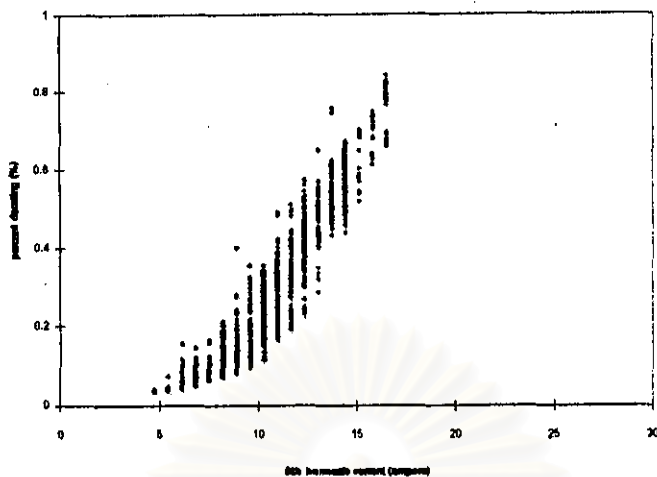
รูปที่ 6.29 พิกัดของมือแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม



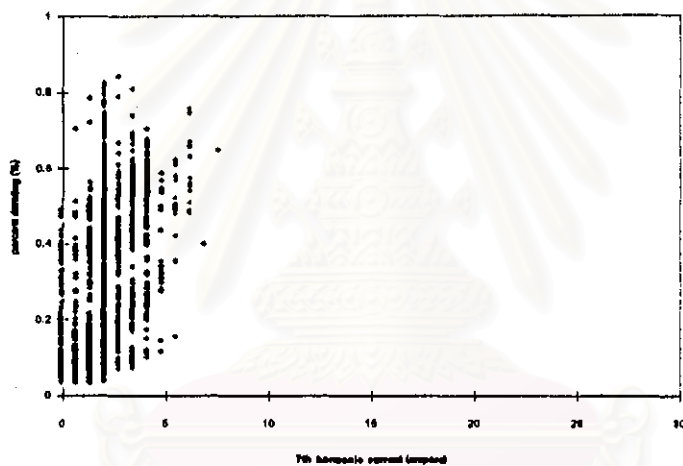
รูปที่ 6.30 พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม



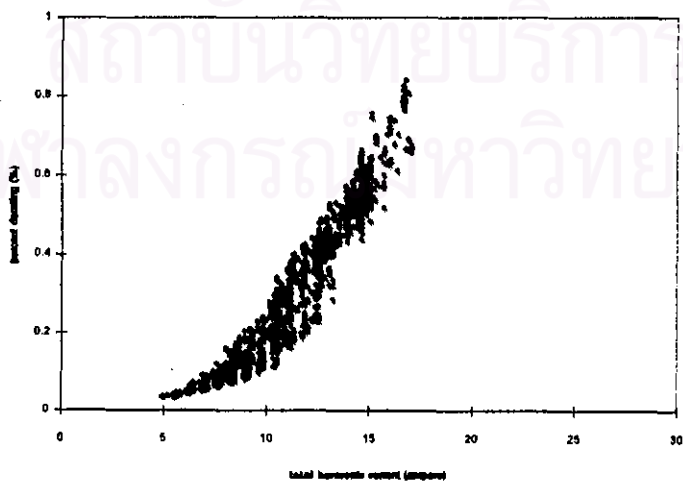
รูปที่ 6.31 กระแสฮาร์มอนิกที่ 5 และ 7 ของมือแปลง bay 1 สถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม



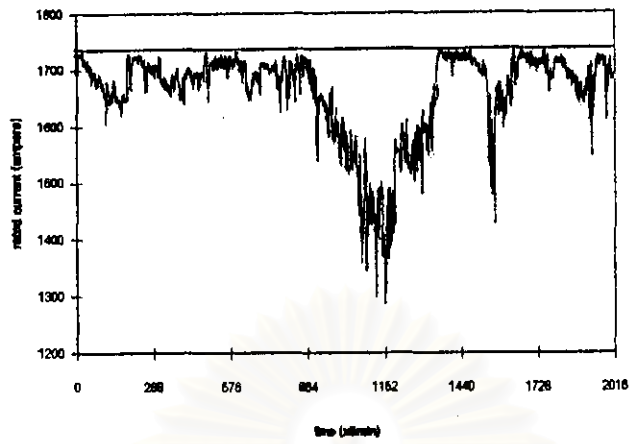
รูปที่ 6.32 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1



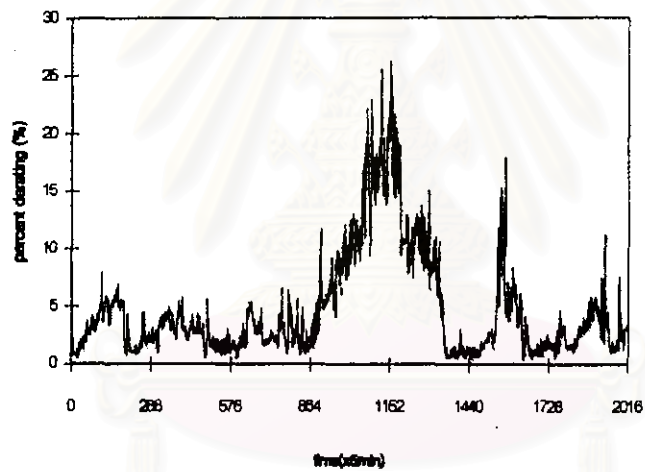
รูปที่ 6.33 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1



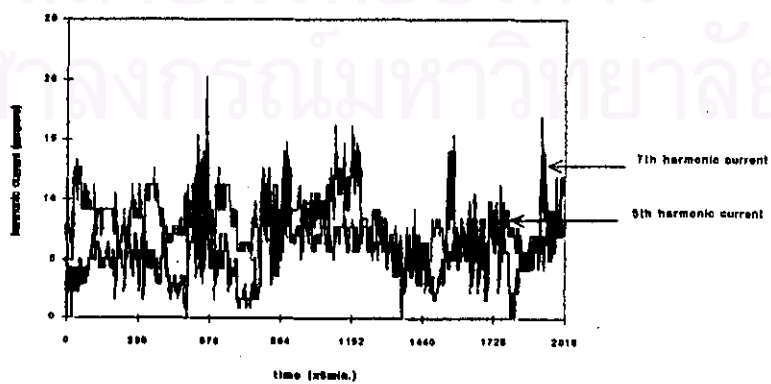
รูปที่ 6.34 ผลรวมกระแสฮาร์โมนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1



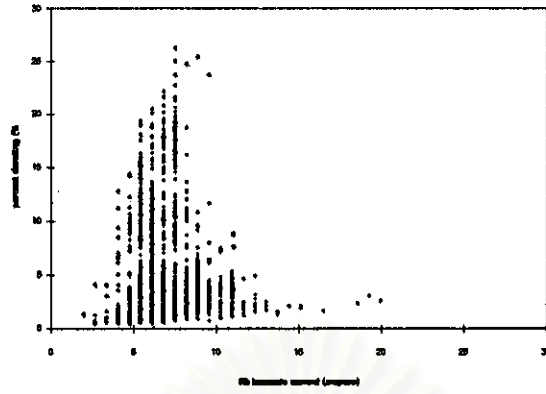
รูปที่ 6.35 ทิศของหม้อแปลง bay 2 สถานีไฟฟ้าอ้อยสวนส้ม



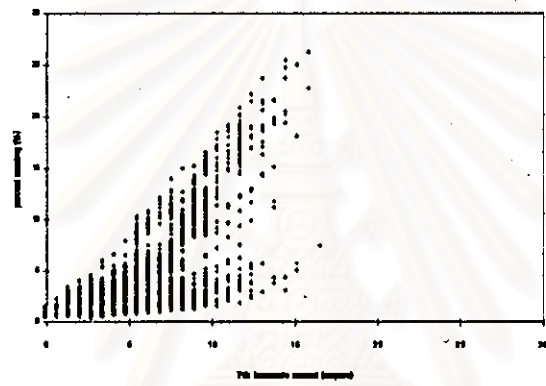
รูปที่ 6.36 ทิศที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2 สถานีไฟฟ้าอ้อยสวนส้ม



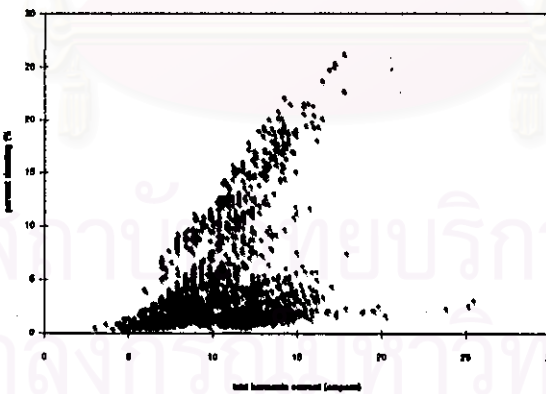
รูปที่ 6.37 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 และ 7 ของหม้อแปลง bay 2 สถานีไฟฟ้าอ้อยสวนส้ม



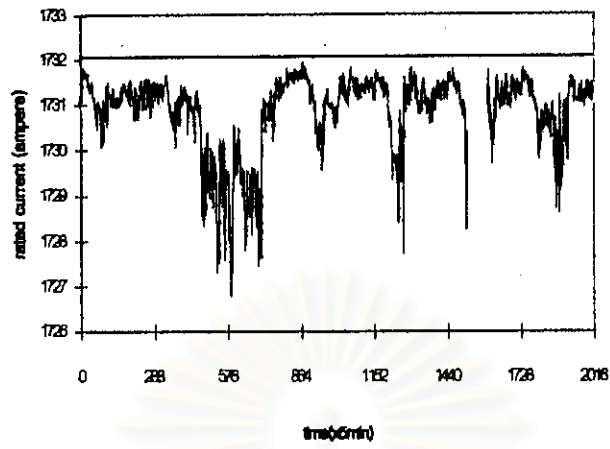
รูปที่ 6.38 กระแสอาร์มอนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ ทิศดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2



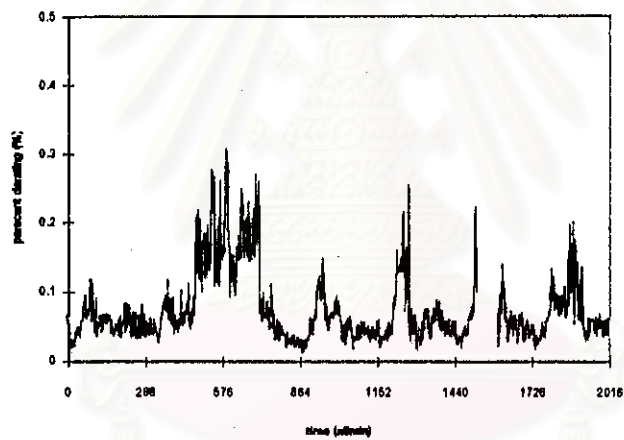
รูปที่ 6.39 กระแสอาร์มอนิกที่ 7 เปรียบเทียบกับ ทิศดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2



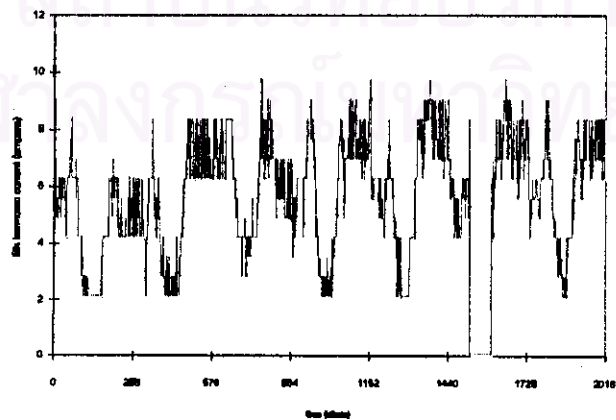
รูปที่ 6.40 ผลรวมกระแสอาร์มอนิก เปรียบเทียบกับ ทิศดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2



รูปที่ 6.41 พิกัดของหม้อแปลง สถานีไฟฟ้าย่อยแจงร้อน

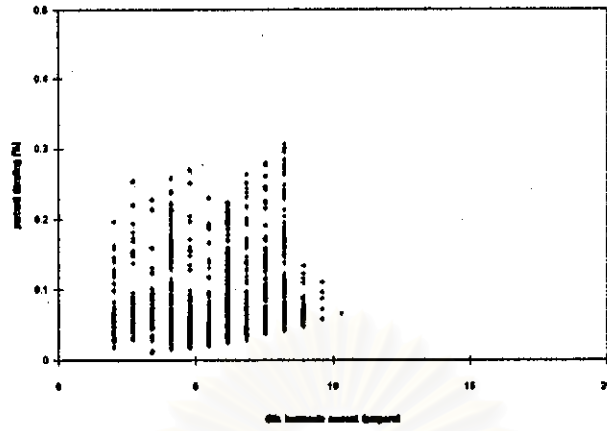


รูปที่ 6.42 พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง สถานีไฟฟ้าย่อยแจงร้อน

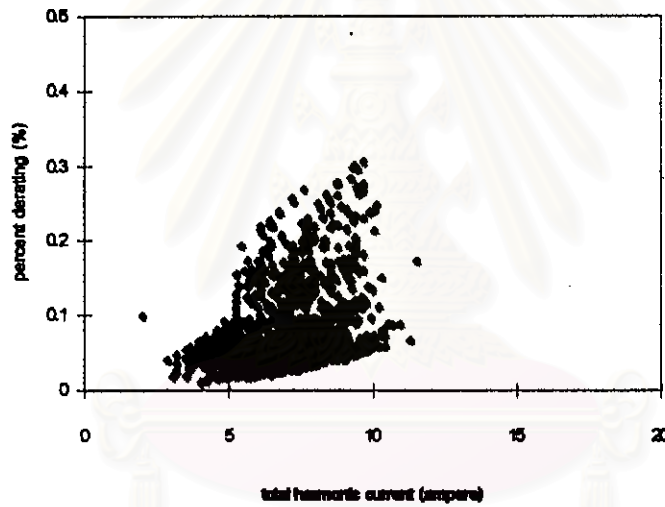


รูปที่ 6.43 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 ของหม้อแปลง สถานีไฟฟ้าย่อยแจงร้อน



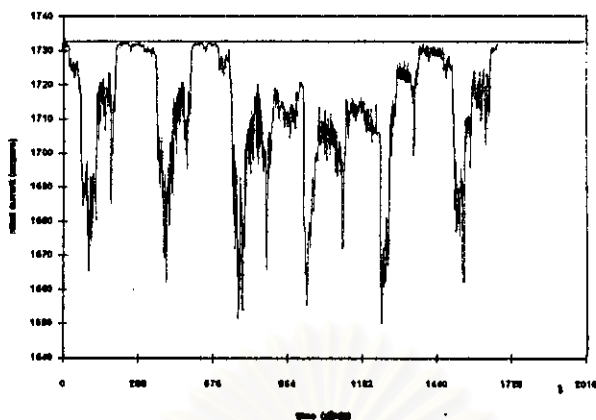


รูปที่ 6.44 กระแสฮาร์โมนิกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง

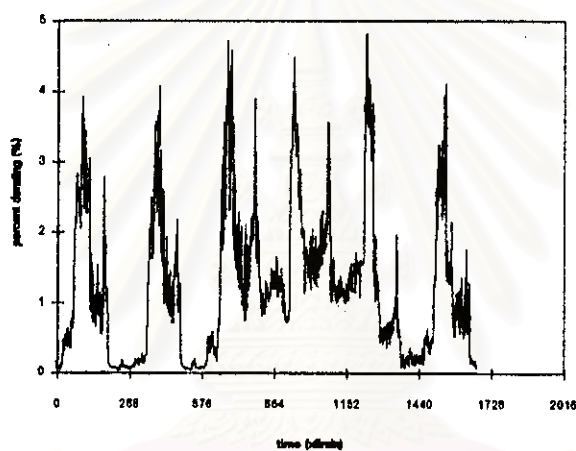


รูปที่ 6.45 ผลรวมกระแสฮาร์โมนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง

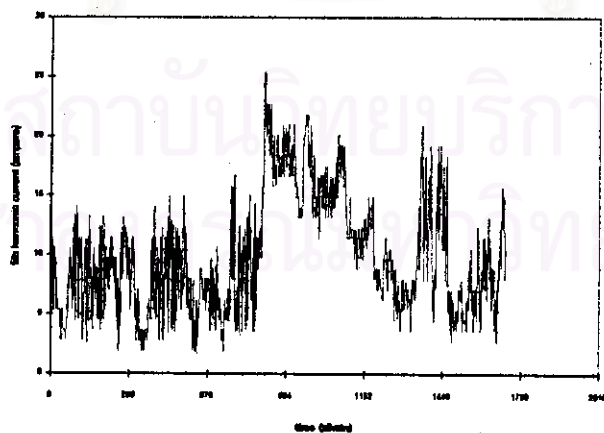
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



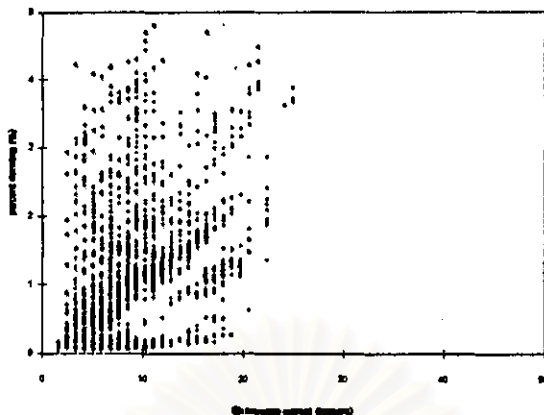
รูปที่ 6.46 พิกัดของหม้อแปลง bay 1 สถานีสัมเปลี่ยนสำโรง



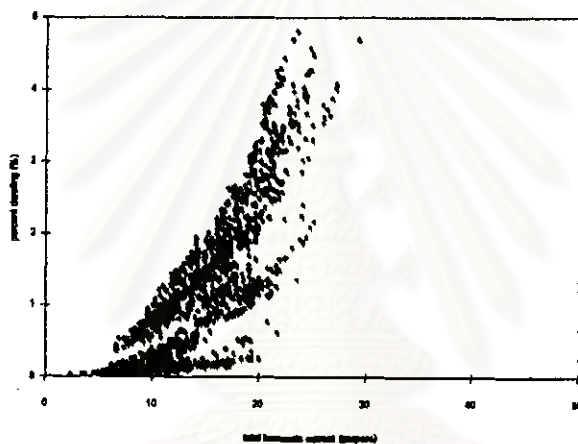
รูปที่ 6.47 พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 1 สถานีสัมเปลี่ยนสำโรง



รูปที่ 6.48 กระแสฮาร์มอนิกที่ 5 ของหม้อแปลง bay 1 สถานีสัมเปลี่ยนสำโรง

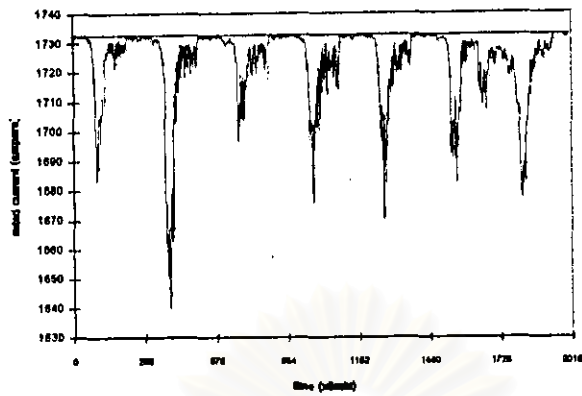


รูปที่ 6.49 กระแสธารมอริกที่ 5 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1

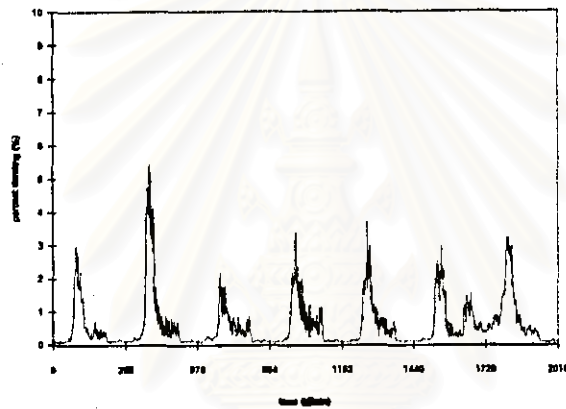


รูปที่ 6.50 ผลรวมกระแสธารมอริก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของมือแปลง bay 1

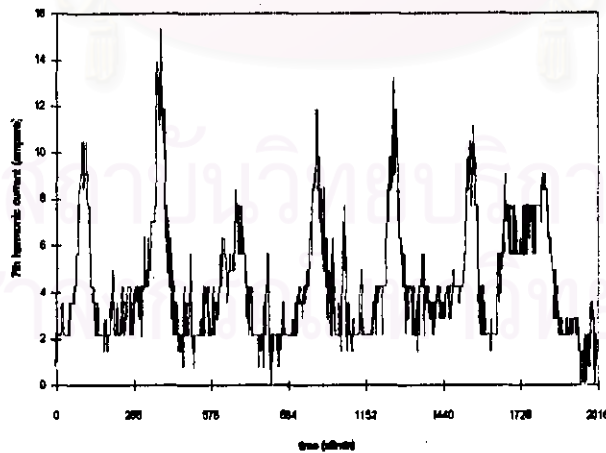
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



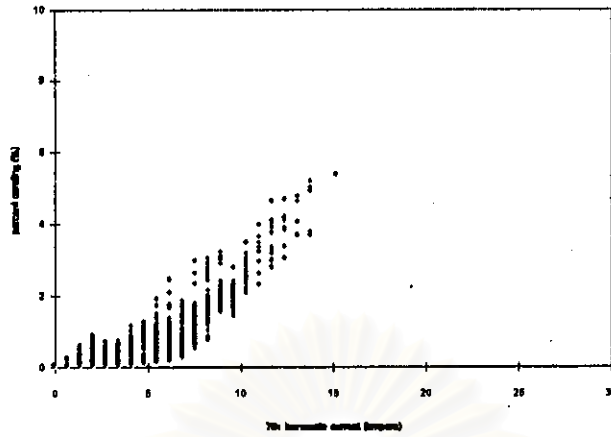
รูปที่ 6.51 พิกัดของหม้อแปลง bay 2 สถานีสัมปเตียนสำโรง



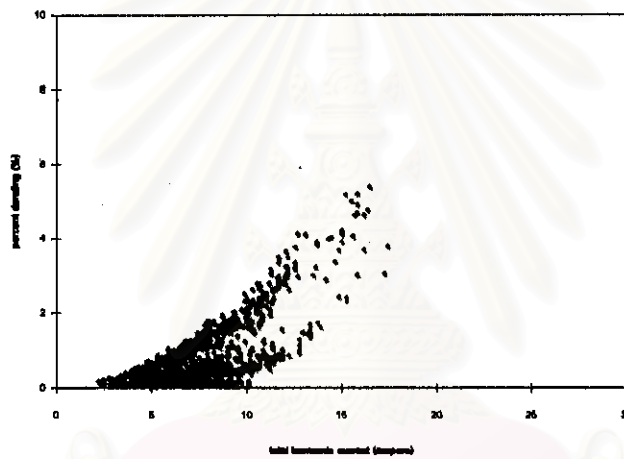
รูปที่ 6.52 พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2 สถานีสัมปเตียนสำโรง



รูปที่ 6.53 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 ของหม้อแปลง bay 2 สถานีสัมปเตียนสำโรง



รูปที่ 6.54 กระแสฮาร์โมนิกที่ 7 เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2



รูปที่ 6.55 ผลรวมกระแสฮาร์โมนิก เปรียบเทียบกับ พิกัดที่ลดลงของหม้อแปลง bay 2

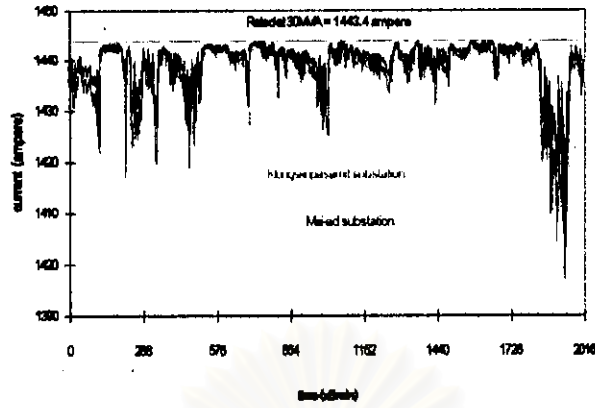
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์หม้อแปลงที่มีพิกัดเท่ากัน เช่น หม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรพาสามิต bay3 กับหม้อแปลงสถานีไฟฟ้าย่อยไม้อัด bay1 มีพิกัด 30/40 MVA เท่ากันหรือหม้อแปลงสถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรด bay1 , หม้อแปลงสถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม bay1,2 , หม้อแปลงสถานีไฟฟ้าย่อยแจรงร้อน และ หม้อแปลงสถานีลับเปลี่ยนลำโรง bay1,2 มีพิกัด 36/48/60 MVA เท่ากัน แต่มีค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดไม่เท่ากัน หม้อแปลงตัวที่มีค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดสูงจะมีการลดลงของพิกัดที่มากกว่าหม้อแปลงตัวที่มีค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดต่ำในกรณีที่จ่ายโหลดที่มีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกเหมือนกัน

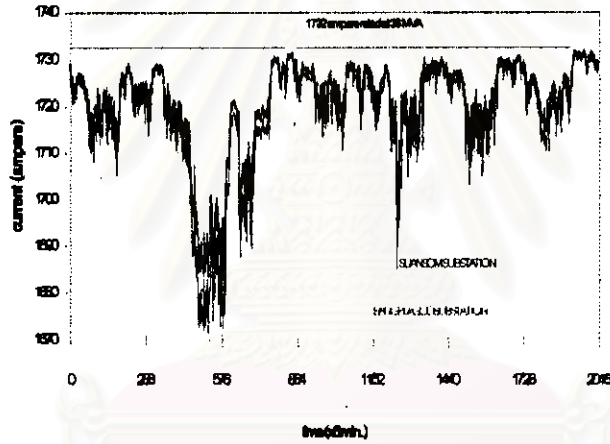
เช่นนำหม้อแปลง bay3 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรพาสามิต และหม้อแปลง bay1 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยไม้อัด มีการจ่ายโหลดที่มีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกเหมือนกัน จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 6.56 จะพบว่าหม้อแปลง bay3 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรพาสามิต มีการลดลงของพิกัดมากกว่าหม้อแปลง bay1 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยไม้อัด หรือ หม้อแปลง bay1 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรด และ หม้อแปลง ที่สถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 6.57 โดยจะพบว่าหม้อแปลง bay 1ที่สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรด มีการลดลงของพิกัดที่มากกว่าหม้อแปลง ที่สถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม หรือ รูปที่ 6.58 จะเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างหม้อแปลง bay1 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรด กับ หม้อแปลงที่สถานีลับเปลี่ยนลำโรง นำมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าหม้อแปลง bay1 ที่สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรดจะมีการลดลงของพิกัดมากกว่าหม้อแปลงที่สถานีลับเปลี่ยนลำโรง เมื่อมีการจ่ายโหลดที่มีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกเหมือนกัน

ดังนั้นการที่พิกัดของหม้อแปลงจะมีการเปลี่ยนแปลงนอกจากจะขึ้นกับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่หม้อแปลงได้รับแล้วยังอาจจะขึ้นอยู่กับกำลังสูญเสียในตัวหม้อแปลงด้วย โดยที่หม้อแปลงที่มีค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดสูงจะมีพิกัดที่ลดลงมากกว่า หม้อแปลงที่มีค่าต่อหน่วยของกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในชุดขดลวดต่ำ

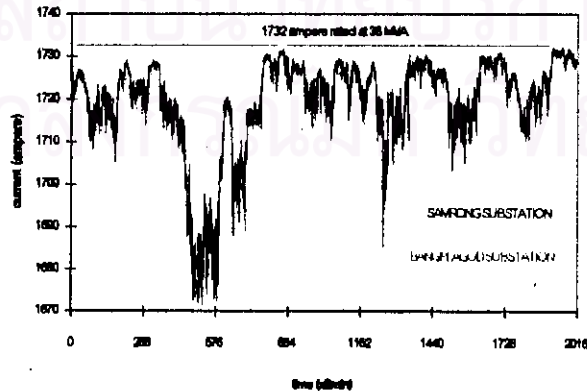
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.56 พิกัดของมือแปลงขนาด 30/40 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยไม้อัด bay 1  
เปรียบเทียบกับ สถานีไฟฟ้าย่อยคลองสรวาสามิต bay 3



รูปที่ 6.57 พิกัดของมือแปลงขนาด 36/48/60 MVA ที่สถานีไฟฟ้าย่อยสวนส้ม  
เปรียบเทียบกับ สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรด bay 1



รูปที่ 6.58 พิกัดของมือแปลงขนาด 36/48/60 MVA ที่สถานีส้มเป็ดสวนท่าไทรง  
เปรียบเทียบกับ สถานีไฟฟ้าย่อยบางปลากรด bay 1