

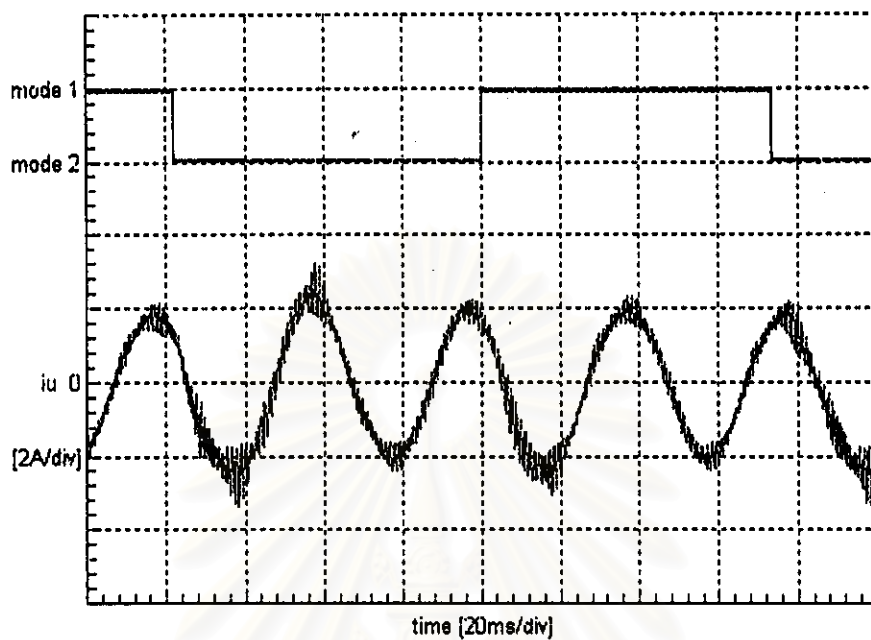
## บทที่ 5

### ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

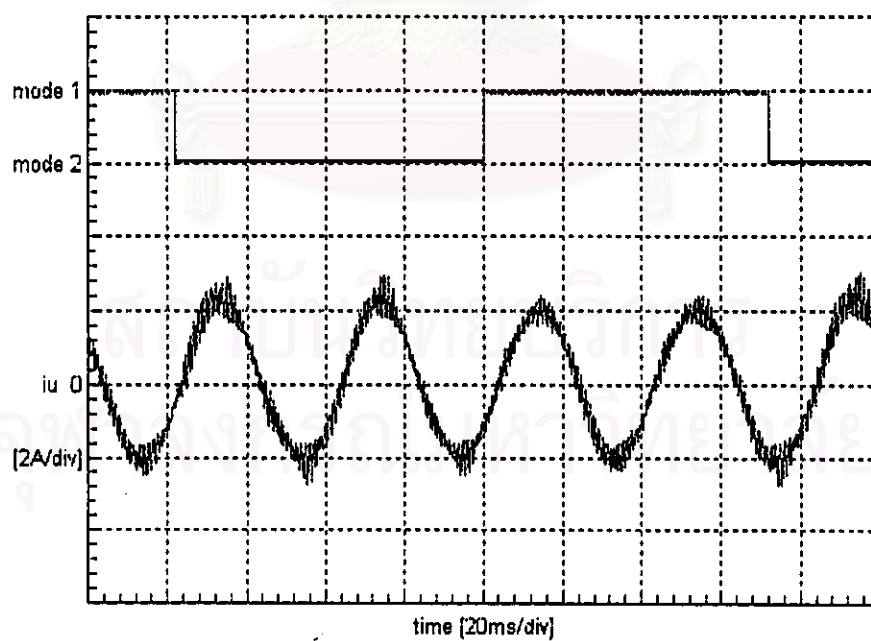
ในการทดสอบการทำงานของระบบ ผู้วิจัยใช้แรงดันบัลไฟตรงขนาด 540 V ความถี่สวิดซิง 900 Hz และควบคุมแรงดันนิวทรัลให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขต 260-280 V การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีตามขนาดแรงดันอ้างอิงคือ แรงดันอ้างอิงขนาดเล็กเพื่อทดสอบการทำงานเมื่อเวกเตอร์อ้างอิงหมุนอยู่ภายในหกเหลี่ยมใน และแรงดันอ้างอิงขนาดใหญ่เพื่อทดสอบการทำงานเมื่อเวกเตอร์อ้างอิงหมุนอยู่นอกหกเหลี่ยมใน โดยจะทดสอบอินเวอร์เตอร์กับโหลด 3 ชนิดที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่างกัน ได้แก่ มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งกำหนดการทำงานให้เป็นไปตามความสัมพันธ์ Volt/Hz เท่ากับค่าคงที่ โหลดความต้านทาน และโหลดความต้านทานกับตัวเก็บประจุ(RC)

ในขั้นต้นก่อนที่จะทำการทดสอบกับโหลดที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบที่ได้พัฒนาขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อแรงดันอ้างอิงขนาดเล็ก 175 V ที่ความถี่ 25 Hz และที่แรงดันอ้างอิงขนาดใหญ่ 350 V ที่ความถี่ 50 Hz และได้ผลของรูปคลื่นกระแสโหลดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหมคการทำงานดังรูปที่ 5.1 ก และรูปที่ 5.2 ก ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่า เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงโหมคการทำงาน จะก่อให้เกิดการเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสโหลดที่ได้ซึ่งไม่พบในการจำลองระบบด้วยซอฟต์แวร์ โดยผลดังกล่าวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงฉับพลันจากการใช้จากเวกเตอร์กลุ่ม c มาเป็นเวกเตอร์กลุ่ม d หรือกลับกัน เพื่อสร้างสัญญาณการสวิดซ์ และในการคำนวณเรขาคณิตให้ขนาดของเวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d มีขนาดคงที่เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากครึ่งหนึ่งของแรงดันบัลไฟตรงเสมอ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขนาดของเวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d จะมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดตามโหมคการทำงานที่เลือกใช้สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงแรงดันนิวทรัลดังรูปที่ 5.3 เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าววิธีหนึ่ง คือการชดเชยด้วยการปรับขนาดของแรงดันอ้างอิง โดยในที่นี้ แรงดันนิวทรัลมีขนาดเปลี่ยนแปลงประมาณ 3.7 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับแรงดัน 270 V นั้นหมายความว่า ขนาดของเวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d ย่อมเปลี่ยนแปลงประมาณ 3.7 เปอร์เซ็นต์ด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d มีลักษณะแตกต่างกันตามขนาดของแรงดันอ้างอิง ดังนั้น เราจึงต้องปรับปริมาณการชดเชยด้วยแรงดันอ้างอิงแยกตามขนาดของแรงดันอ้างอิง ดังต่อไปนี้

- กรณีที่ขนาดของเวกเตอร์อ้างอิงอยู่ภายในหกเหลี่ยมใน เราจะชดเชยแรงดันอ้างอิงด้วยเปอร์เซ็นต์เท่ากันกับการเปลี่ยนแปลงของขนาดเวกเตอร์กลุ่ม c หรือเวกเตอร์กลุ่ม d แต่เป็น

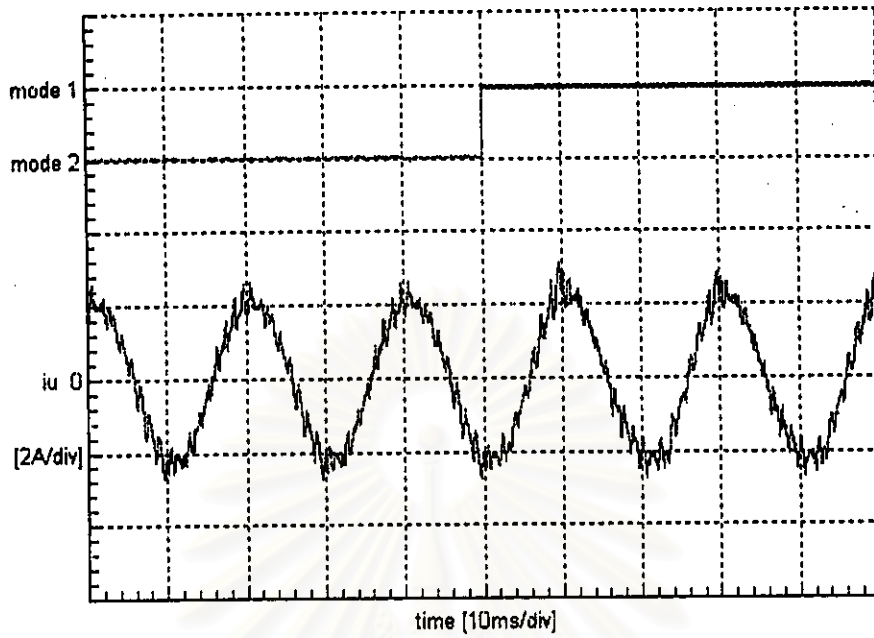


(ก) เมื่อไม่มีการชดเชย

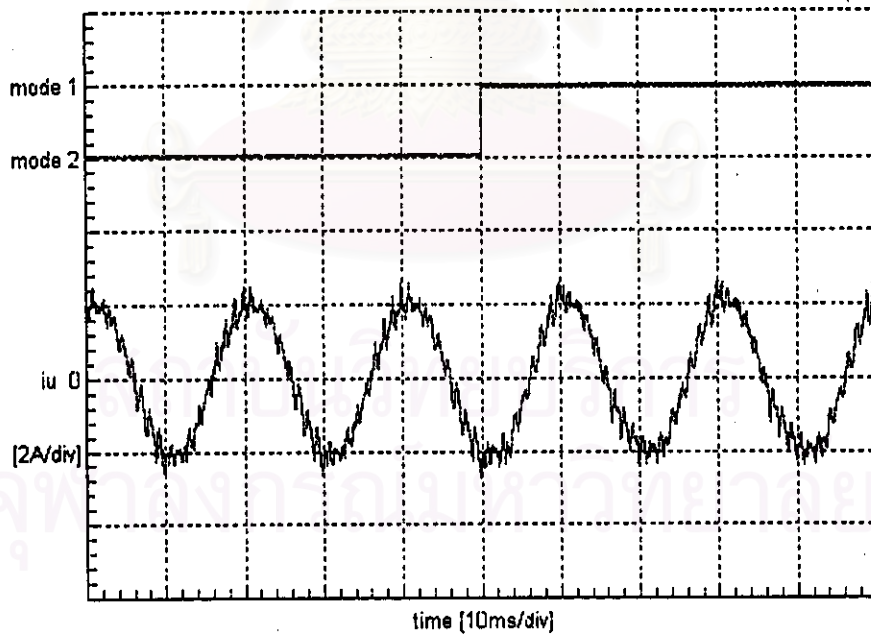


(ข) เมื่อมีการชดเชย

รูปที่ 5.1 ผลการทดลองกับ โหลดมอเตอร์เมื่อแรงดันอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 175 V ที่ความถี่ 25 Hz



(ก) เมื่อไม่มีการชดเชย

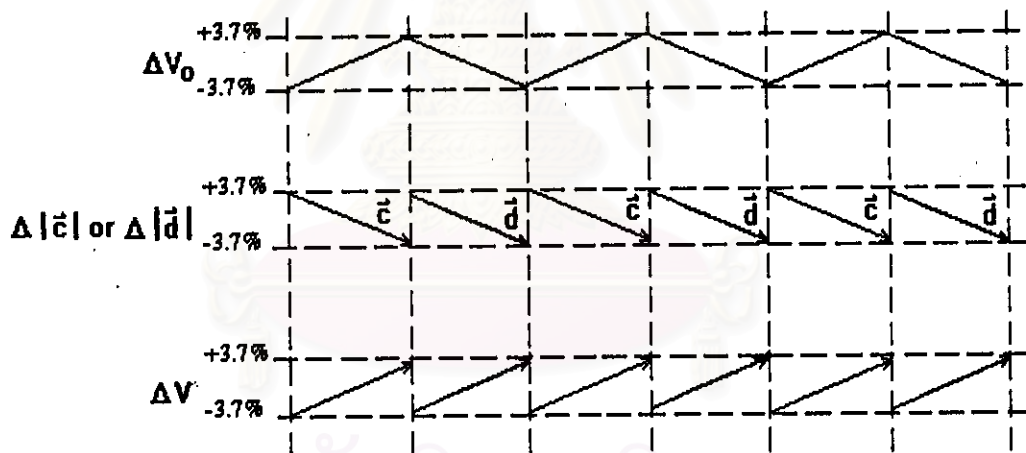


(ข) เมื่อมีการชดเชย

รูปที่ 5.2 ผลการทดลองกับโพลมอเตอร์เมื่อแรงดันอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 350 V ที่ความถี่ 50 Hz

ในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ผลการชดเชยแสดงได้ดังรูปที่ 5.1x ซึ่งจะเห็นว่า รูปคลื่นกระแสมีความเพี้ยนลดลงจริง

- กรณีที่ขนาดของเวกเตอร์อ้างอิงอยู่นอกหกเหลี่ยมใน เราจะชดเชยแรงดันอ้างอิงด้วยเปอร์เซ็นต์เท่ากันกับการเปลี่ยนแปลงของขนาดเวกเตอร์กลุ่ม c หรือเวกเตอร์กลุ่ม d แต่เป็นในทิศทางตรงกันข้าม นอกจากนี้แล้ว เราจะปรับการชดเชยด้วยอัตราส่วนที่สะท้อนถึงปริมาณการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c หรือเวกเตอร์กลุ่ม d ซึ่งแปรผกผันกับขนาดแรงดันอ้างอิง โดยที่ถ้าแรงดันอ้างอิงมีขนาดเท่ากับ ขนาดของเวกเตอร์อ้างอิงที่ใหญ่ที่สุดที่มีได้ในหกเหลี่ยมนอก (380 V) จะไม่มีการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c หรือเวกเตอร์ d และถ้าแรงดันอ้างอิงมีขนาดเท่ากับขนาดของเวกเตอร์อ้างอิงที่ใหญ่ที่สุดที่มีได้ในหกเหลี่ยมใน (190 V) ก็จะใช้แค่เวกเตอร์กลุ่ม c หรือ เวกเตอร์กลุ่ม d เราจึงกำหนดอัตราส่วนปรับลดการชดเชยนี้เป็น  $(380-V)/190$  ในกรณีการทดลองนี้ ขนาดของเวกเตอร์อ้างอิงเท่ากับ 350 V ดังนั้น อัตราส่วนดังกล่าวก็คือ  $(380-350)/190$  ผลการชดเชยแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ข ซึ่งจะเห็นว่า ขนาดของค่ายอดของรูปคลื่นกระแสมีขนาดเท่ากันตลอดเวลา แม้จะมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานก็ตาม



$\Delta V_o$  : การเปลี่ยนแปลงของแรงดันนิวทริล

$\Delta |c|$  or  $\Delta |d|$  : การเปลี่ยนแปลงของขนาดเวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d

$\Delta V$  : การชดเชยขนาดของแรงดันอ้างอิง

รูปที่ 5.3 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของแรงดันนิวทริล เวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d

และการชดเชยแรงดันอ้างอิงตามโหมดการทำงาน

จากผลการทดลองเราสามารถสรุปได้ว่า การชดเชยวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ระดับหนึ่ง แต่ ถ้าเราต้องการให้การชดเชยมีผลยิ่งขึ้นก็สามารถทำได้ โดยการตรวจอับขนาดของแรงดันนิวทริลจริงมา เพื่อใช้คำนวณในการสร้างสัญญาณการสวิทช์ที่ถูกต้อง แต่วิธีการนี้ไม่ได้

นำมาเสนอ เนื่องจากไม่ตรงกับวัตถุประสงค์คือ ต้องการเพียงฮาร์ดแวร์อย่างง่ายที่ใช้ตรวจจับเครื่องหมายของแรงดันนิวทรัล

ในผลการทดสอบต่อไปนี้ เราจะกำหนดให้กระแสนิวทรัลนั้นมีทิศทางไหลเข้าหาโหลด และรูปคลื่นแรงดันนิวทรัลที่แสดงด้วยสัญลักษณ์  $\Delta V_0$  เป็นค่าแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่ากึ่งกลางของบัสไฟตรง และกระแสเฟสของโหลดจะวัดเทียบกับศักย์ที่จุด N ของบัสไฟตรง

### 1. การทดสอบเมื่อแรงดันอ้างอิงมีขนาดเล็ก 175 V ที่ความถี่ 25 Hz

เราทำการทดสอบกับโหลดทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมา และได้ผลการทดสอบดังนี้

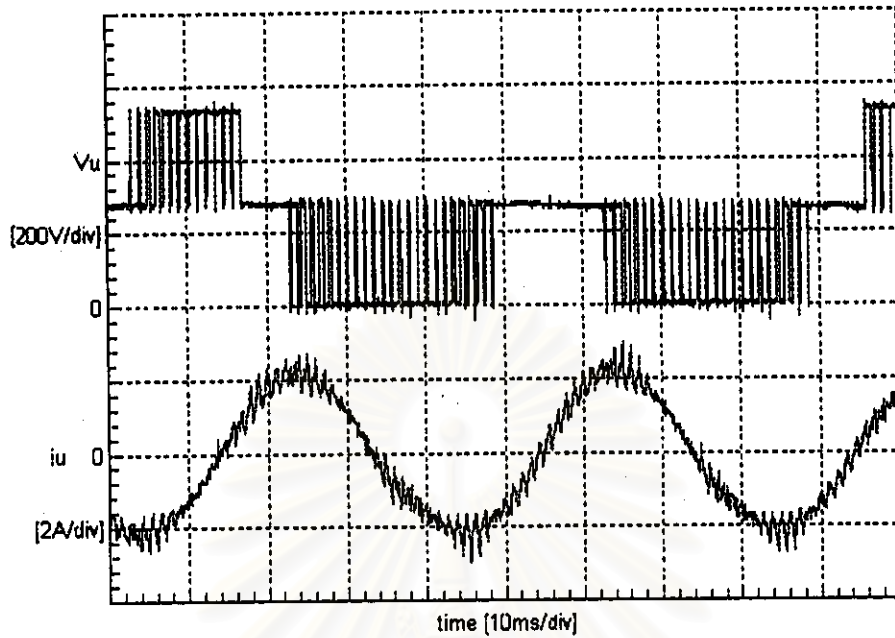
กรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 2 HP 380/220 V (ต่อแบบ Y)

การทดสอบการทำงานเมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลด ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.4 ในรูปที่ 5.4(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 1.4 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 72 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 40 ms รูปที่ 5.5(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแส นิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของกระแส นิวทรัลที่ได้มีขนาดคงที่เมื่อทำงานอยู่ในโหมดใด โหมดหนึ่ง และมีการเปลี่ยนเครื่องหมายเมื่อมีการเปลี่ยน โหมดการทำงาน ดังที่ได้แสดงการคำนวณไว้ในบทที่ 3 ส่วนรูปคลื่นของแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลงนั้นจากรูปนั้น พบว่ามีคาบเวลาการเปลี่ยน โหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 72 ms ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ จากสมการที่ 3.14 ในบทที่ 3 คือ

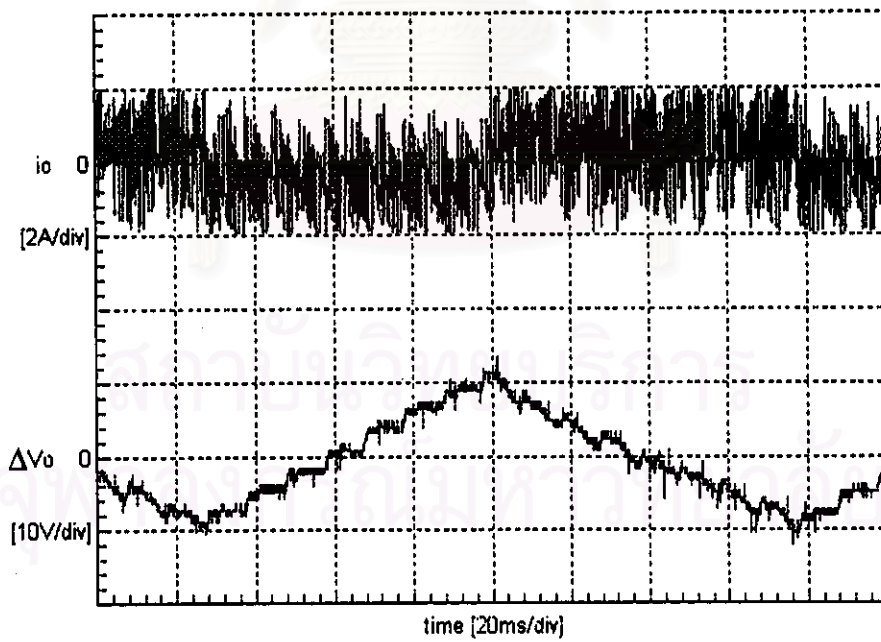
$$i_0 = -2\sqrt{2} * I * m * \cos(\gamma)$$

เมื่อแทนค่า  $I=1.4$  A  $m=\sqrt{3} V/(\sqrt{2/3} * E_d) = 175/(\sqrt{2/3} * 540) = 0.4$   $\gamma = 72^\circ$  จะ ได้ขนาดของ  $i_0 = 0.49$  A ดังนั้น แรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta V_0 = i_0 * \Delta v(2C)$  เมื่อแทนค่า  $\Delta V_0 = 20$  V และ  $C = 850 \mu F$  จะได้ คาบเวลาการเปลี่ยน โหมด( $\Delta t$ ) = 69 ms ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง

การทดสอบการทำงานเมื่อมอเตอร์มีโหลด ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.5 รูปที่ 5.5(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 2.8 A มีมุมตัวประกอบ กำลังเท่ากับ 67 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 40 ms รูปที่ 5.5(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแส นิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง ได้ผลเช่นเดียวกับกรณีไม่มีโหลด ส่วนรูปคลื่นของแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลงนั้นจากรูปนั้นพบว่ามีคาบเวลาการเปลี่ยน โหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 25 ms ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ เมื่อ  $I=2.8$  A  $m=\sqrt{3} V/(\sqrt{2/3} * E_d) = 175/(\sqrt{2/3} * 540) = 0.4$

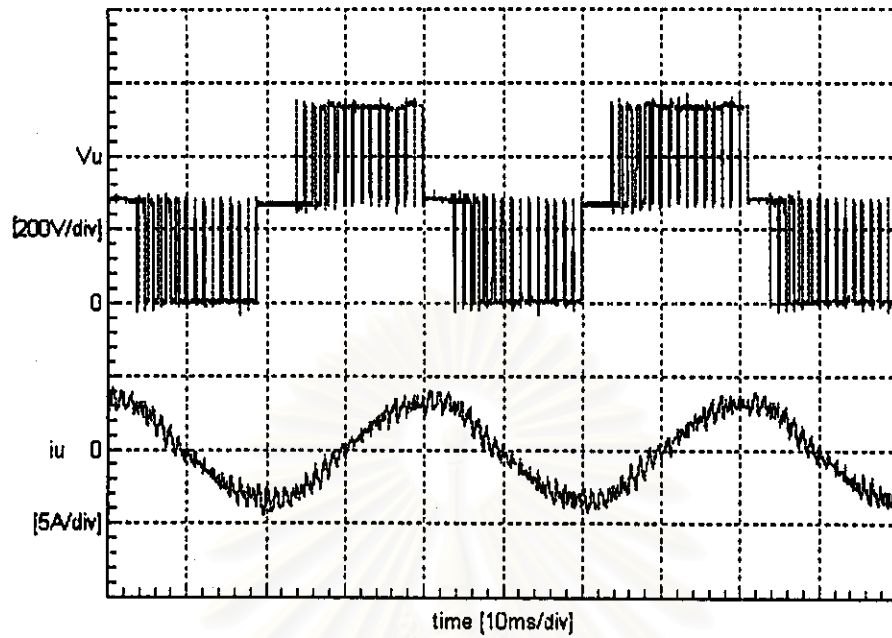


(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

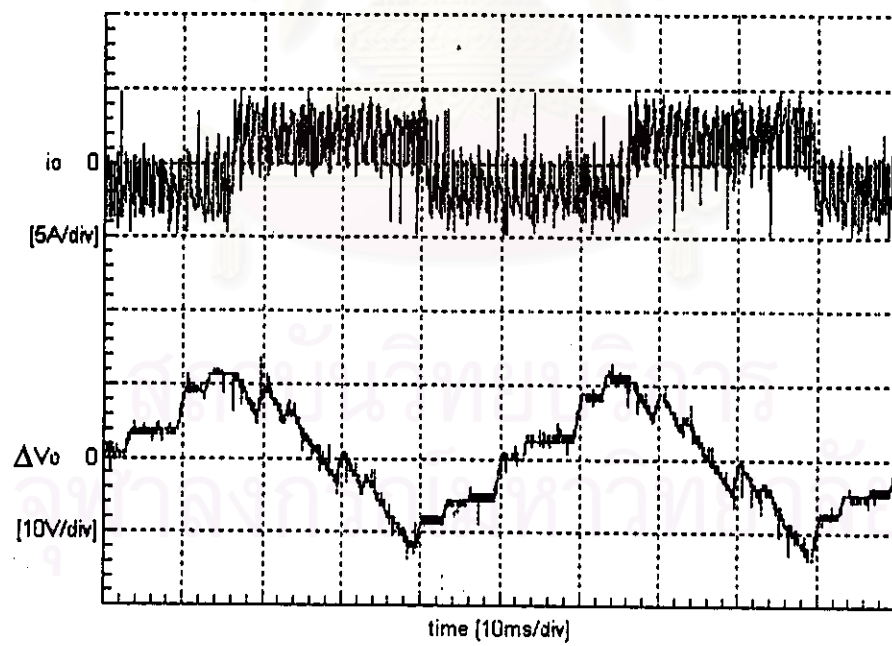


(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 1.4 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz



(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส



(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 2.8 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz

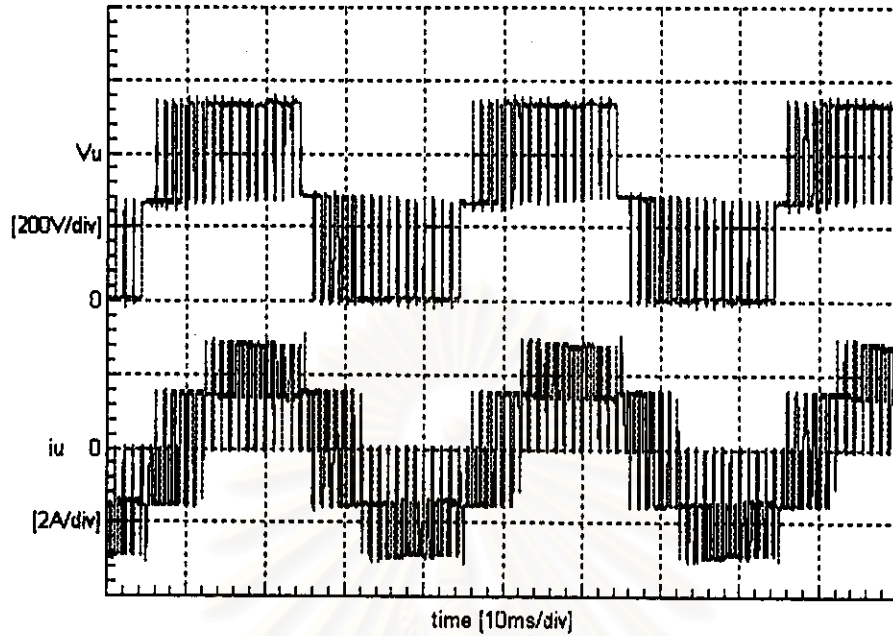
$\gamma = 67^\circ$  จะได้ขนาดของ  $i_0 = 1.24 \text{ A}$  ดังนั้น แรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta V_0 = i_0 \cdot \Delta t / (2C)$  เมื่อแทนค่า  $\Delta V_0 = 20 \text{ V}$  และ  $C = 850 \mu\text{F}$  จะได้ คาบเวลาการเปลี่ยนโหมด ( $\Delta t$ ) = 27 ms ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริงเช่นเดียวกัน

### กรณีโหมดความต้านทาน(ต่อแบบ Y)

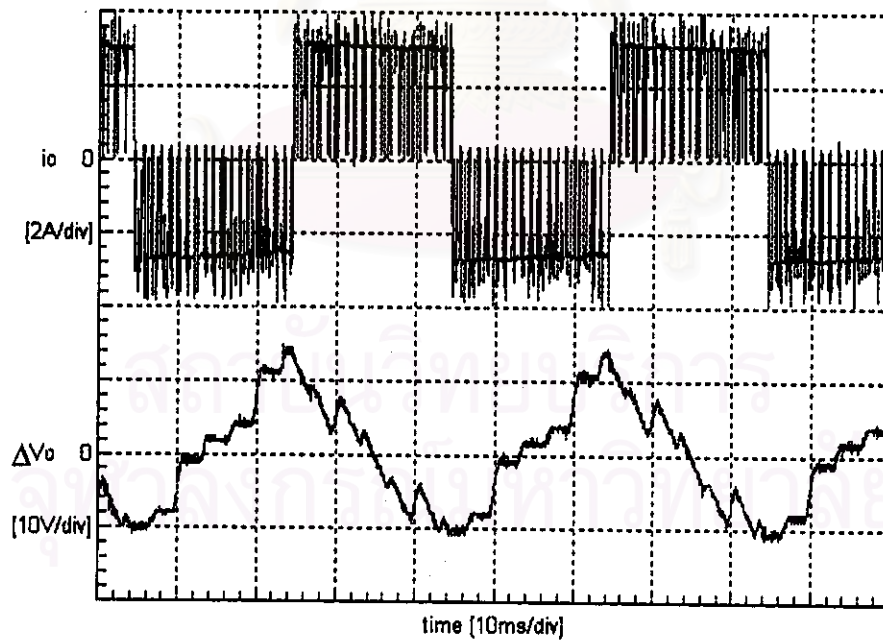
เราทำการทดสอบกับความต้านทานขนาด 60 โอห์ม และกับความต้านทานขนาด 30 โอห์ม เพื่อเปรียบเทียบผลในกรณีที่กระแสโหมดต่ำและสูง ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.6 ละรูปที่ 5.7 รูปที่ 5.6(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสของโหมดความต้านทานขนาด 60 โอห์ม ที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 1.7 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 40 ms รูปที่ 5.6(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแสนิวทริลและแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลง โดยจากรูปคลื่นของแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงนั้น พบว่ามีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมด ( $\Delta t$ ) เท่ากับ 19 ms ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.14 เมื่อ  $I = 1.7 \text{ A}$   $m = \sqrt{3} V / (\sqrt{2/3} * E_d) = 175 / (\sqrt{2/3} * 540) = 0.4$   $\gamma = 0^\circ$  จะได้ขนาดของ  $i_0 = 1.9 \text{ A}$  ดังนั้น แรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta V_0 = i_0 \cdot \Delta t / (2C)$  เมื่อแทนค่า  $\Delta V_0 = 20 \text{ V}$  และ  $C = 850 \mu\text{F}$  จะได้ คาบเวลาการเปลี่ยน โหมด ( $\Delta t$ ) = 18 ms ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง

รูปที่ 5.7(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสของโหมดความต้านทานขนาด 30 โอห์มที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 3.4 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 40 ms รูปที่ 5.7(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแสนิวทริลและแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูปคลื่นของแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงนั้น พบว่า มีคาบเวลาการเปลี่ยน โหมด ( $\Delta t$ ) เท่ากับ 12 ms ซึ่งเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อ  $I = 3.4 \text{ A}$   $m = \sqrt{3} V / (\sqrt{2/3} * E_d) = 175 / (\sqrt{2/3} * 540) = 0.4$   $\gamma = 0^\circ$  แทนค่า จะได้ขนาดของ  $i_0 = 3.85 \text{ A}$  ดังนั้น แรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta V_0 = i_0 \cdot \Delta t / (2C)$  เมื่อแทนค่า  $\Delta V_0 = 20 \text{ V}$  และ  $C = 850 \mu\text{F}$  จะได้คาบเวลาการเปลี่ยน โหมด ( $\Delta t$ ) = 9 ms



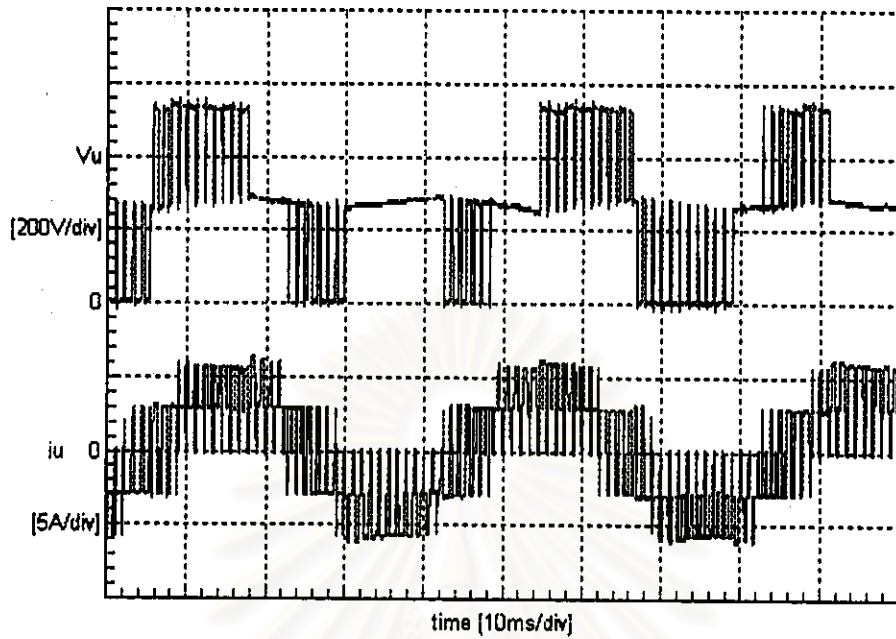


(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

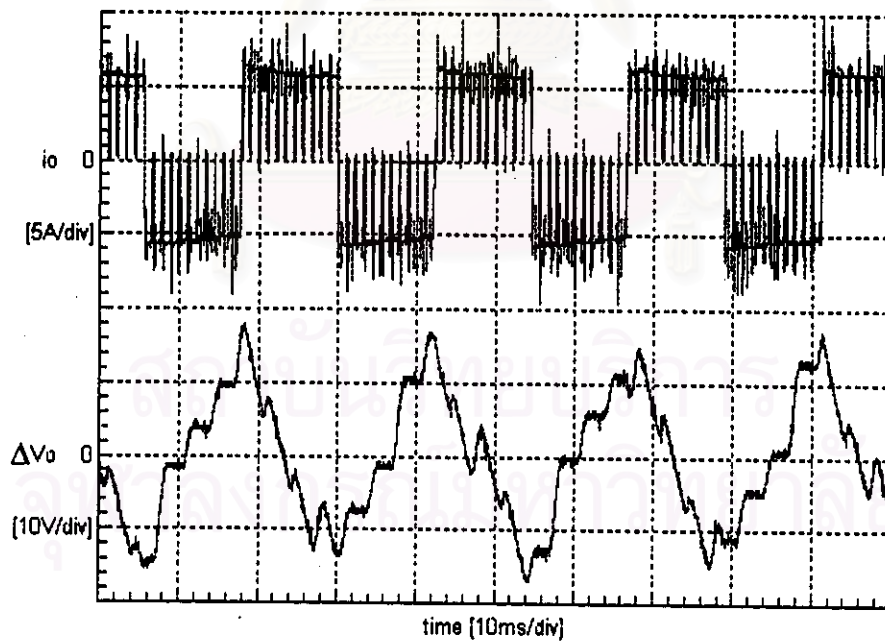


(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 1.7 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz



(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส



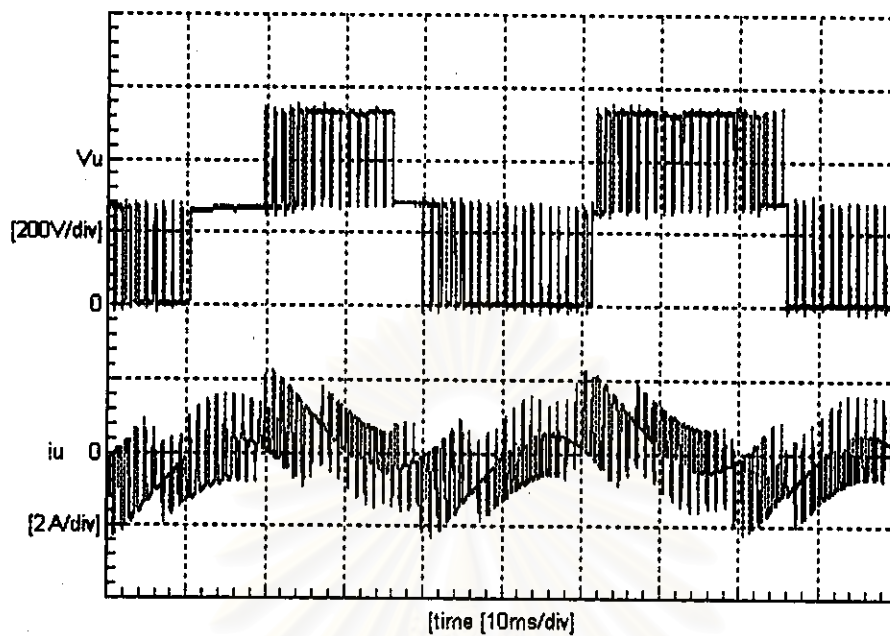
(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 3.4 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz

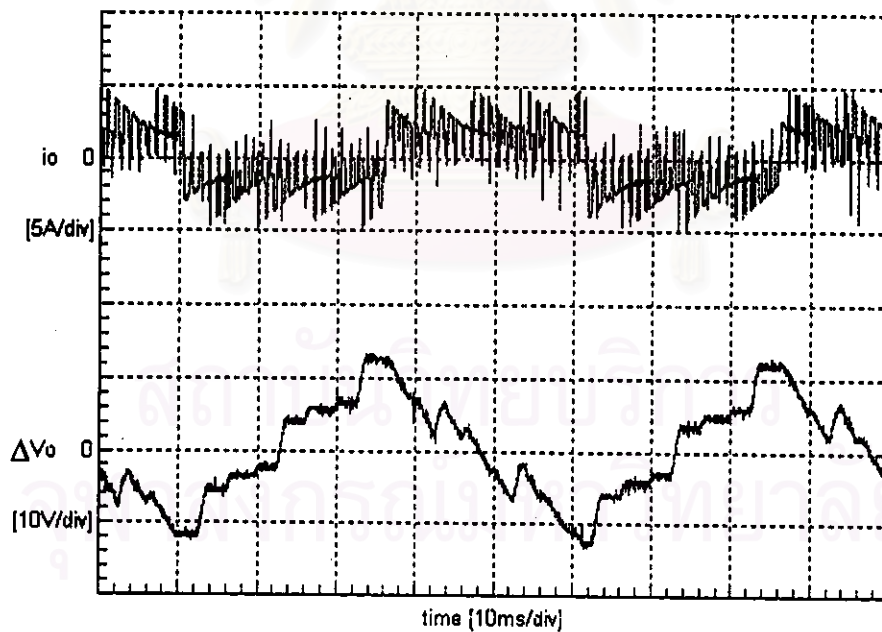
### กรณีโหลดRC(ต่อแบบY)

ผู้วิจัยได้ทดสอบกับความต้านทานขนาด 60 โอห์มและตัวเก็บประจุขนาด 99 ไมโครฟารัด และกับความต้านทานขนาด 30 โอห์มและตัวเก็บประจุขนาด 220 ไมโครฟารัด และได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 รูปที่ 5.8(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟส และกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 1.4 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 46 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 40 ms รูปที่ 5.6(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแสไนวทรัลและแรงดันไนวทรัลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูปคลื่นของแรงดันไนวทรัลที่เปลี่ยนแปลงนั้นมีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมค( $\Delta t$ )เท่ากับ 26 ms ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ การคำนวณเมื่อ  $I=1.4$  A  $m=\sqrt{3} V/(\sqrt{2/3} * Ed) = 175/(\sqrt{2/3} * 540) = 0.4$   $\gamma = 46^\circ$  จะได้ขนาดของ  $i_0 = 1.1$  A ดังนั้น แรงดันไนวทรัลที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta V_0 = i_0 * \Delta v / (2C)$  เมื่อแทนค่า  $\Delta V_0 = 20$  V และ  $C = 850 \mu F$  จะได้ คาบเวลาการเปลี่ยนโหมค( $\Delta t$ ) = 31 ms รูปที่ 5.9(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟส และกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 2.4 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 44 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 40 ms รูปที่ 5.9(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแสไนวทรัลและแรงดันไนวทรัลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูปคลื่นของแรงดันไนวทรัลที่เปลี่ยนแปลงนั้นมีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมค( $\Delta t$ )เท่ากับ 17 ms ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ เมื่อ  $I=2.4$  A  $m=\sqrt{3} V/(\sqrt{2/3} * Ed) = 175/(\sqrt{2/3} * 540) = 0.4$   $\gamma = 44^\circ$  แทนค่า จะได้ขนาดของ  $i_0 = 1.95$  A ดังนั้น แรงดันไนวทรัลที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา  $\Delta t$  มีค่าเท่ากับ  $\Delta V_0 = i_0 * \Delta v / (2C)$  เมื่อแทนค่า  $\Delta V_0 = 20$  V และ  $C = 850 \mu F$  จะได้ คาบเวลาการเปลี่ยนโหมค( $\Delta t$ ) = 17 ms ตรงกับค่าที่วัดได้จริง

จะเห็นว่า โหลดทั้ง 3 แบบให้ผลสอดคล้องกับผลจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink คือ มีลักษณะคล้ายกับอินเวอร์เตอร์ 2 ระดับทั่วไป และการเปลี่ยนแปลงแรงดันไนวทรัลเกิดจากการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d ที่ให้ผลตรงกันข้ามกัน และพบว่า โหลดทั้ง 3 แบบให้ผลการทดสอบที่เหมือนกัน คือ กระแสโหลดที่มากขึ้นยอมส่งผลให้แรงดันไนวทรัลเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นดังจะเห็นได้จากคาบเวลาการเปลี่ยนแปลงของโหมคที่ลดลง และที่กระแสโหลดขนาดเดียวกัน จะพบว่า โหลดความต้านทานให้ผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันไนวทรัลที่เร็วกว่าโหลดมอเตอร์ และโหลด RC นั่นคือ ตัวประกอบกำลังของโหลดที่สูงขึ้นยอมให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันไนวทรัลที่เร็วขึ้น และไม่ขึ้นกับชนิดของตัวประกอบกำลังว่าล่าหลัง(lagging)หรือนำหน้า (leading) ดังจะเห็นได้จากคาบเวลาการเปลี่ยนแปลงของโหมคในกรณีของโหลดมอเตอร์ที่ 2.8 A ได้คาบเวลา 25 ms แต่กรณีโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 1.7 A ได้คาบเวลา 19 ms

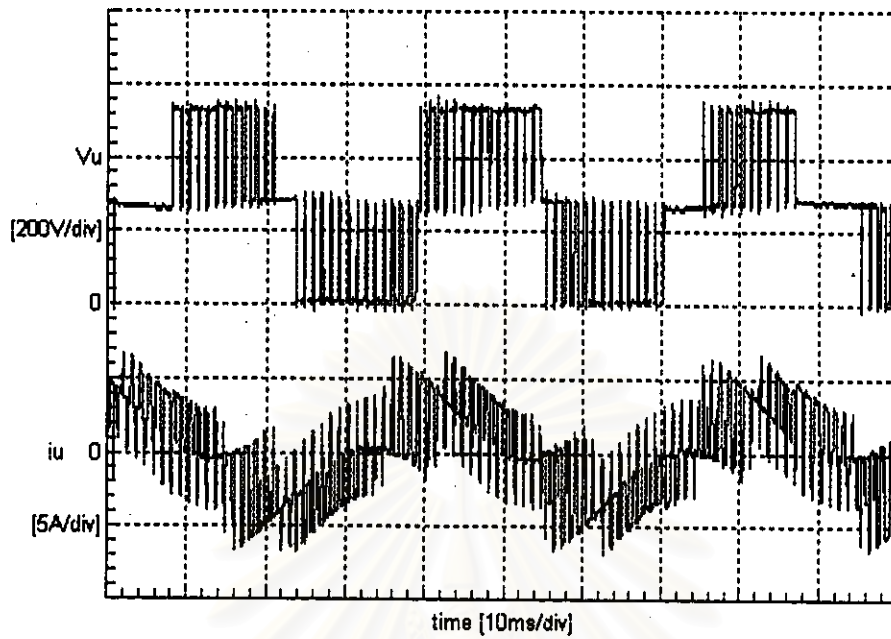


(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

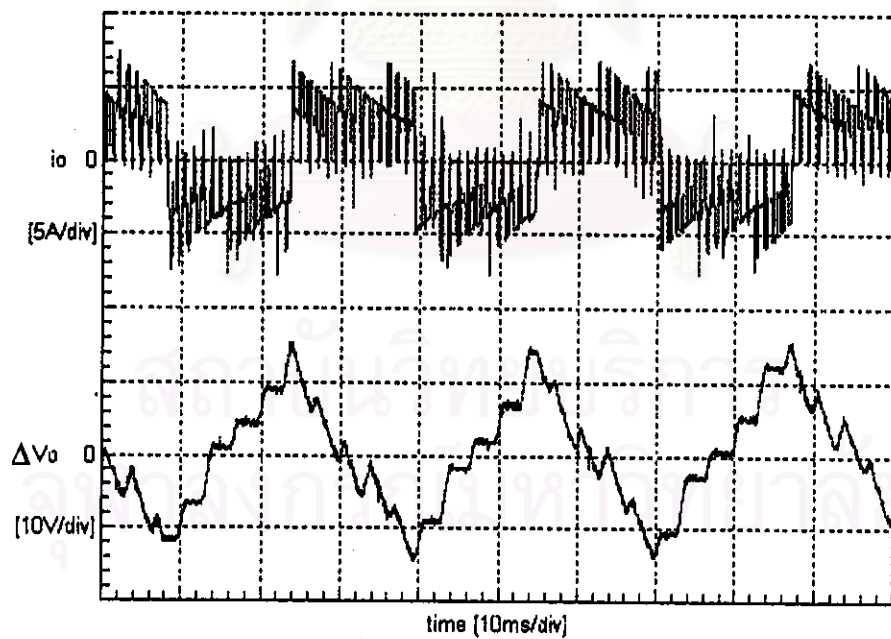


(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 1.4 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz



(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส



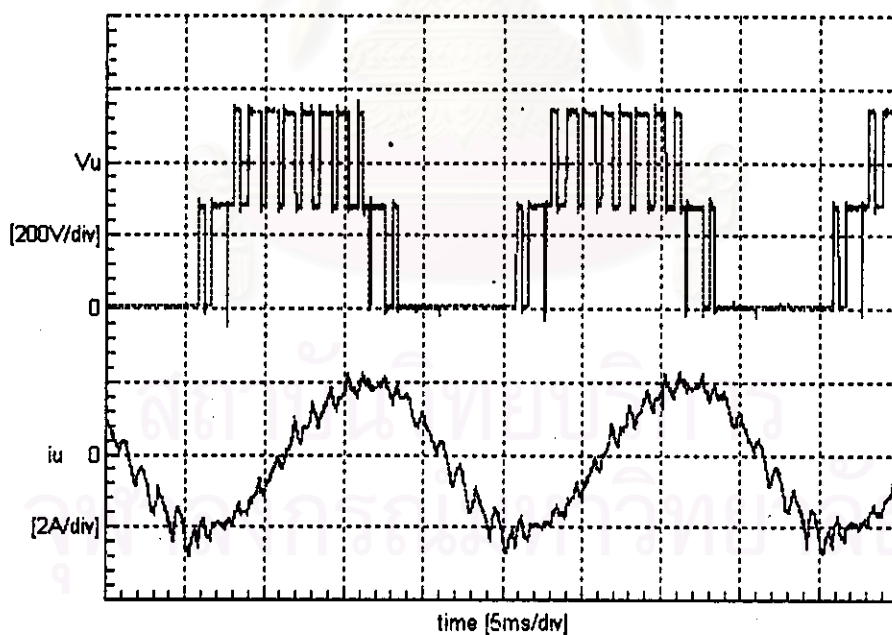
(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 2.4 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz

## 2. การทดสอบเมื่อแรงดันอ้างอิงมีขนาดใหญ่ 350 V ที่ความถี่ 50 Hz

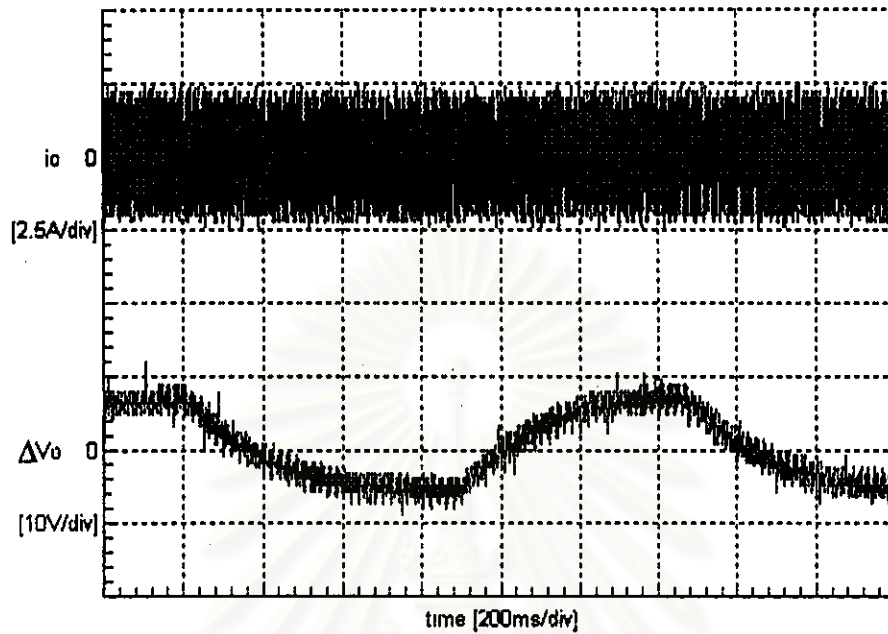
เราจะทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับกรณีแรงดันอ้างอิงขนาดเล็กและได้ผลการทดสอบดังนี้  
**กรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2 HP 380/220 V (ต่อแบบ Y)**

เมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลด ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.10 รูปที่ 5.10(ก) ซึ่งแสดงรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 1.4 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 82 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 25 ms รูปที่ 5.10(ข) ซึ่งแสดงรูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูป (ข2) เป็นภาพขยายจากรูป (ข1) ซึ่งจะเห็นว่า กระแสนิวทรัลที่ได้ถ้าแบ่งเป็น 6 ส่วน ในช่วงเวลา 20 ms เท่า ๆ กันจะพบว่า ส่วนที่ 1 จะเหมือนกับส่วนที่ 4 แต่เฟสต่างกัน 180 องศา ทั้งนี้เป็นเพราะกระแสนิวทรัลของส่วนที่ 1 กับส่วนที่ 4 เป็นกระแสนิวทรัลตัวเดียวกันแต่เฟสต่างกัน 180 องศา อันเป็นผลจากการใช้เวกเตอร์กลุ่ม b สำหรับส่วนที่ 2 กับส่วนที่ 5 และส่วนที่ 3 กับส่วนที่ 6 ก็เป็นในทำนองเดียวกัน ส่วนรูปคลื่นของแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลงนั้น จากรูป (ข1)

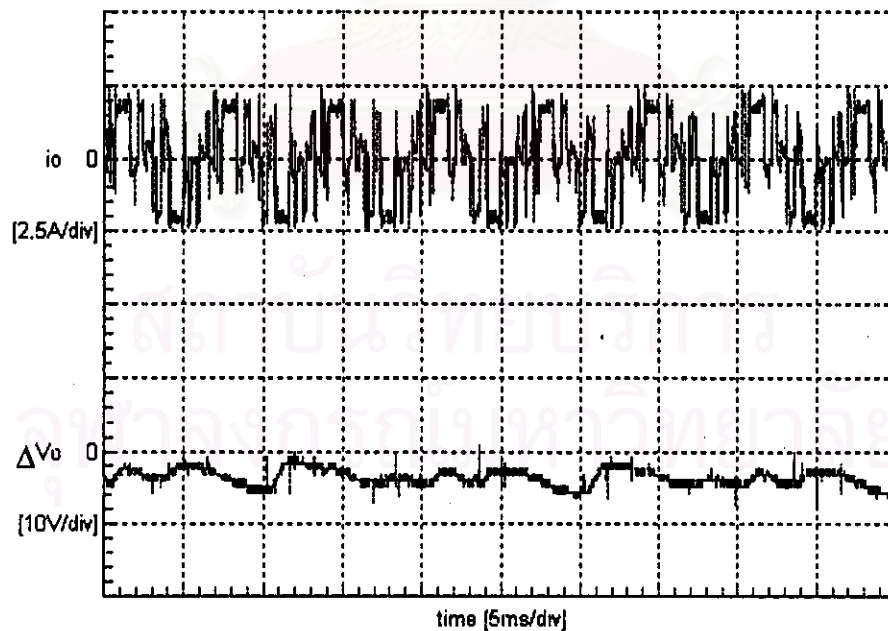


(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

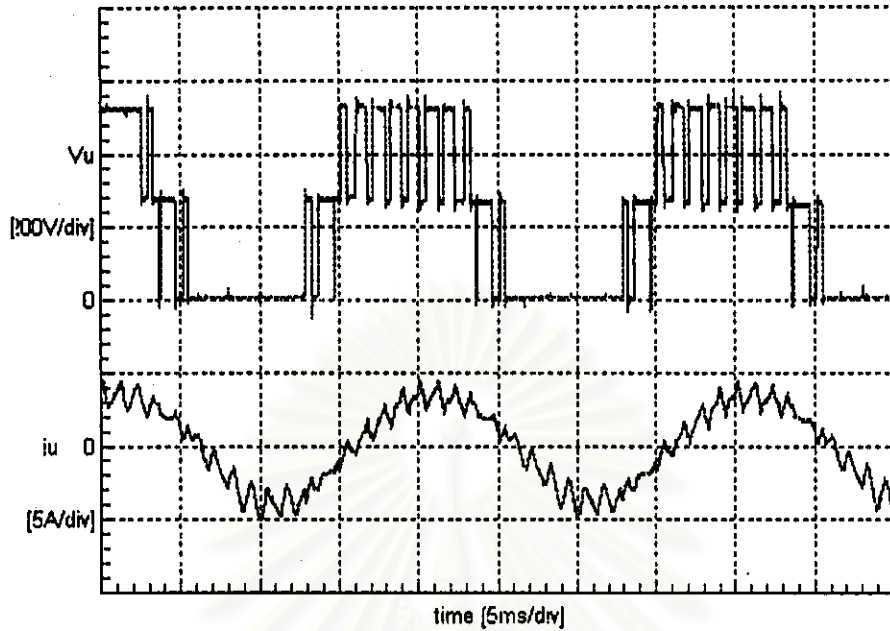
รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 1.4 A  
 เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz



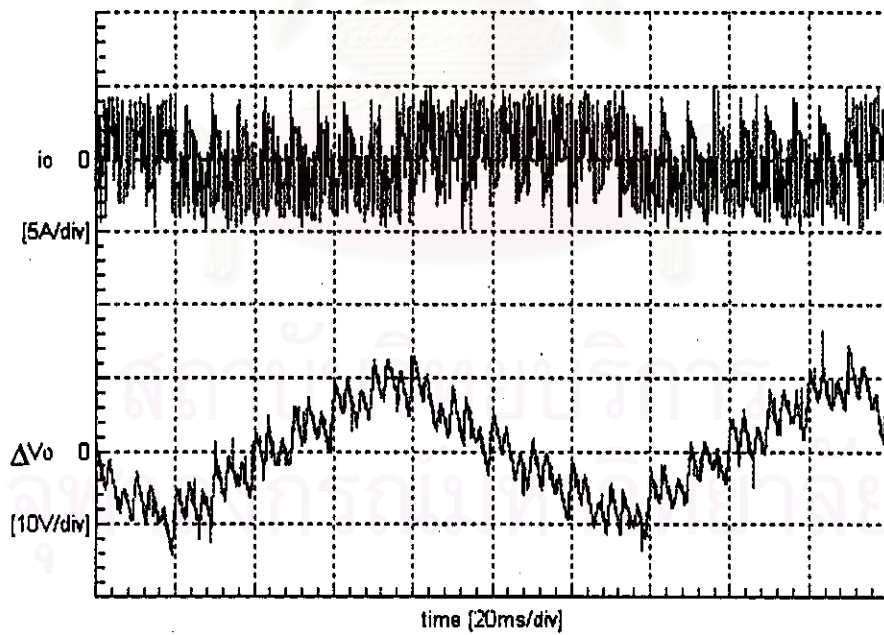
(ข1) รูปคลื่นของกระแสไนวรัทและแรงคั้นไนวรัทที่เปลี่ยนแปลง



(ข2) รูปคลื่นของกระแสไนวรัทและแรงคั้นไนวรัทที่เปลี่ยนแปลง  
รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 1.4 A  
เมื่อแรงคั้นอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz(ต่อ)



(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส



(ข) รูปคลื่นของกระแสนิวทริกและแรงดันนิวทริกที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบกับ โหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 3.5 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz

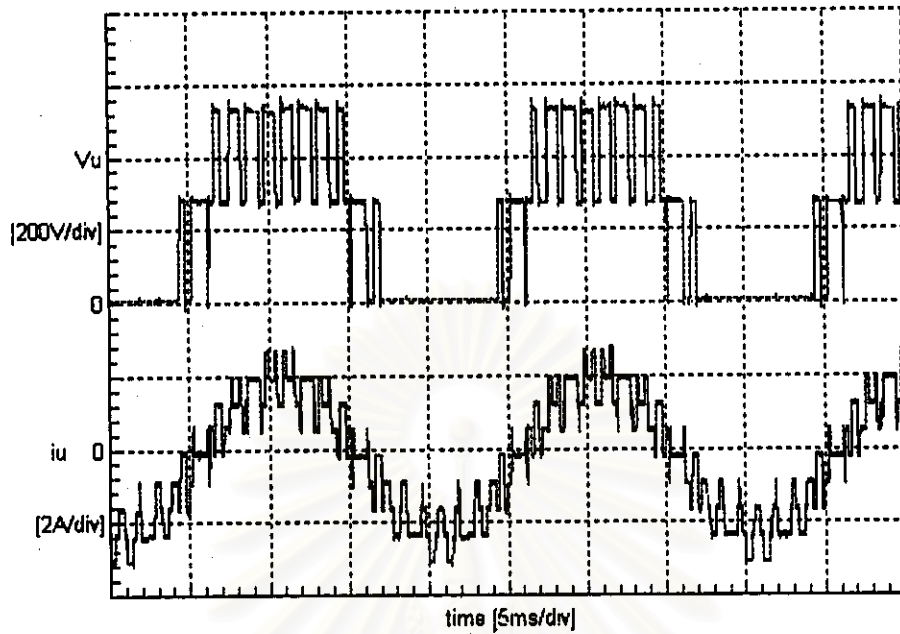


พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 700 ms เนื่องจากวงจรตรวจจับเครื่องหมายของแรงดันนิวทริลเป็นโหมดของระบบด้วย ซึ่งเห็นผลชัดเมื่อกระแส นิวทริลน้อย

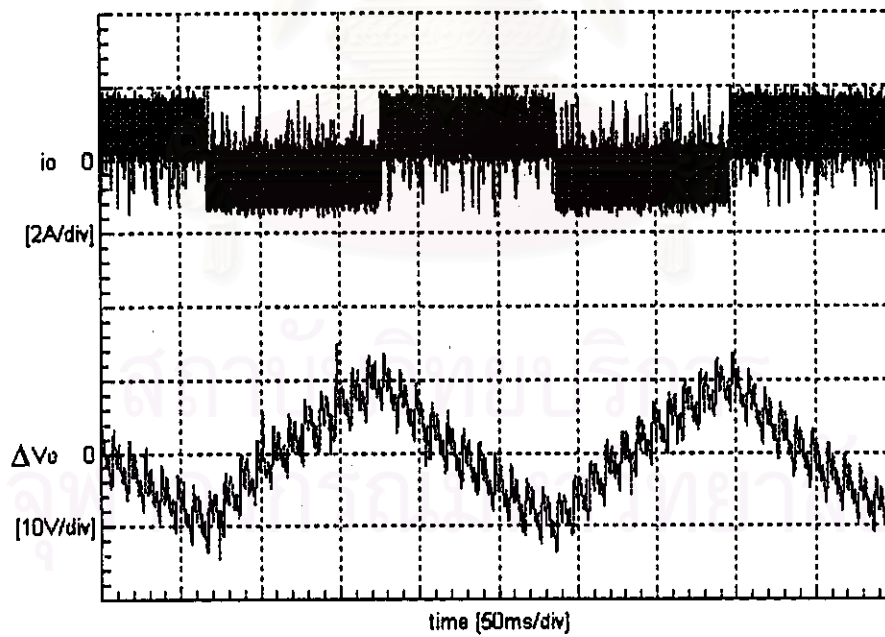
การทดสอบการทำงานเมื่อมอเตอร์มีโหมด ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.11 รูปที่ 5.11(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 3.5 A มีมุมตัวประกอบ กำลังเท่ากับ 54 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 25 ms รูปที่ 5.5(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแส นิวทริลและแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลง ได้ผลเช่นเดียวกับกรณีไม่มีโหมด แต่รูปคลื่นของแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงนั้น ไม่เห็นผลกระทบของโหมดจากวงจรตรวจจับเครื่องหมายของแรงดันนิวทริล คาบเวลาการเปลี่ยนโหมด( $\Delta t$ )มีค่าเท่ากับ 60 ms ในที่นี้เราจะสังเกตเห็นระลอกคลื่นขนาดเล็กปะปน อยู่ในรูปคลื่นแรงดันนิวทริลและกระแส นิวทริล ซึ่งเกิดจากการใช้เวกเตอร์กลุ่ม b นั้นเอง

#### กรณีโหมดความต้านทาน(ต่อแบบY)

ผู้วิจัยได้ทดสอบกับความต้านทานขนาด 120 โอห์ม และความต้านทานขนาด 60 โอห์ม ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 รูปที่ 5.12(ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสของโหมดความต้านทานขนาด 120 โอห์มที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 1.7 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 25 ms รูปที่ 5.12(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแส นิวทริลและแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูป (ข2) เป็นภาพขยายจากรูป (ข1) ซึ่งจะเห็นว่า กระแส นิวทริลพิจารณาได้เป็น 6 ส่วนเช่นเดียวกับกรณีมอเตอร์ ส่วนรูปคลื่นของแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงนั้นจากรูป (ข1) นั้น พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงจะมีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 110 ms รูปที่ 5.13(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟส และกระแสเฟสของโหมดความต้านทานขนาด 60 โอห์มที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 3.4 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 25 ms รูปที่ 5.12(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแส นิวทริลและแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูป (ข2) เป็นภาพขยายจากรูป (ข1) จะเห็นว่า กระแส นิวทริลเป็นเช่นเดียวกับกรณีโหมดความต้านทาน 120 โอห์ม ส่วนรูปคลื่นของแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลงนั้นจากรูป (ข1) นั้น จะมีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 60 ms เร็วกว่าโหมดความต้านทาน 60 โอห์ม เพราะกระแสโหมดมากขึ้นเป็น 2 เท่า

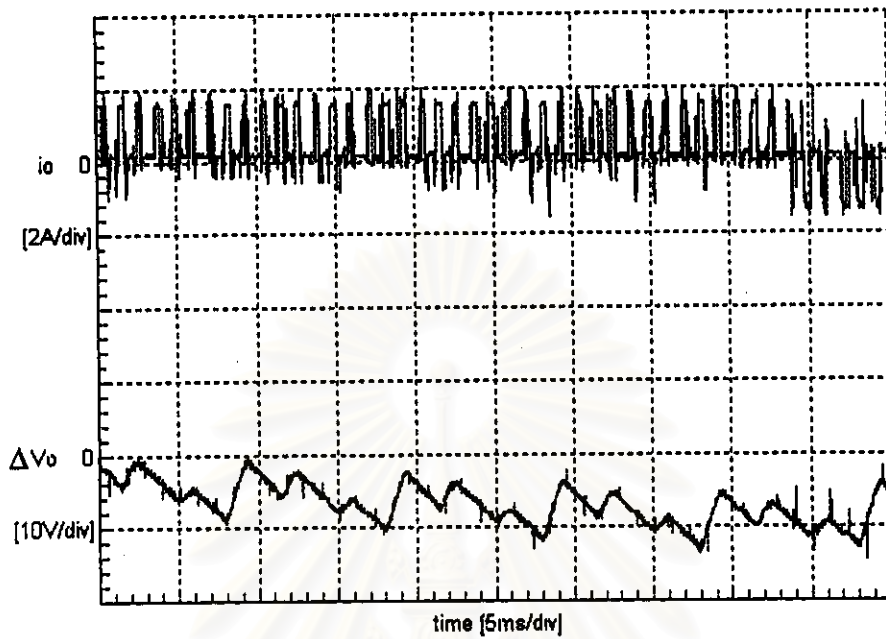


(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

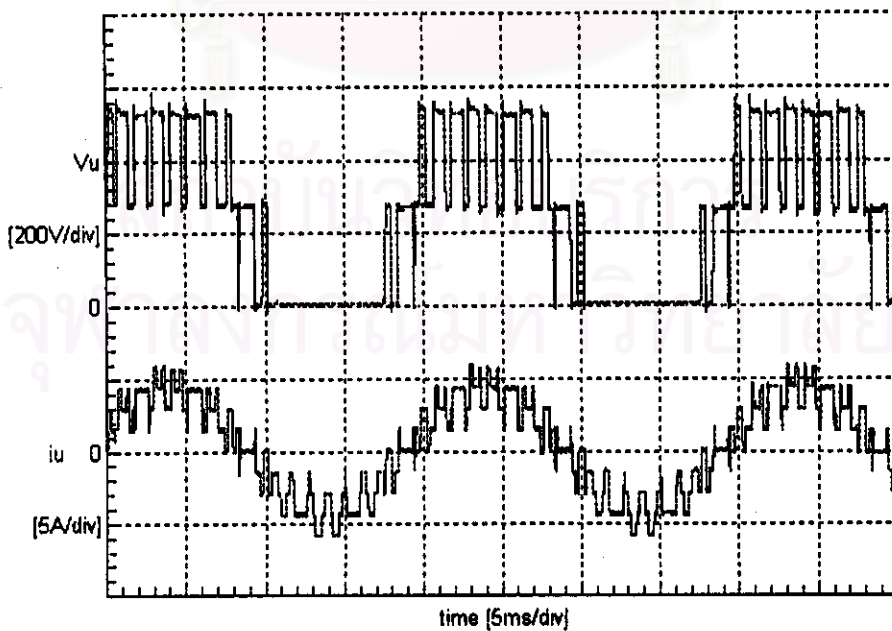


(ข1) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

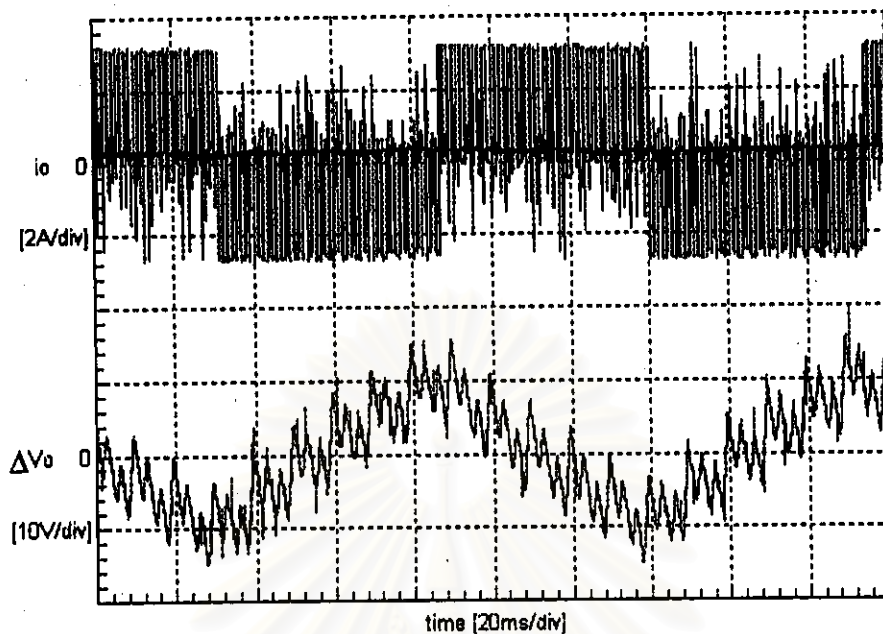
รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 1.7 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz



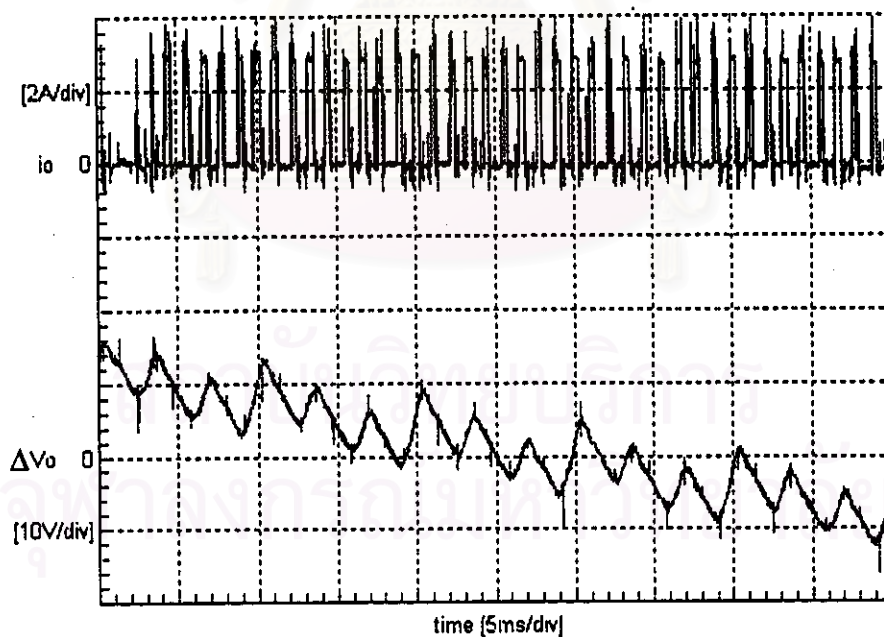
(ข2) รูปคลื่นของกระแสในิวทริลและแรงดันนิวทริลที่เปลี่ยนแปลง  
รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบกับ โหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 1.7 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz(ต่อ)



(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส



(ข2) รูปคลื่นของกระแสไนวรัลและแรงดันไนวรัลที่เปลี่ยนแปลง



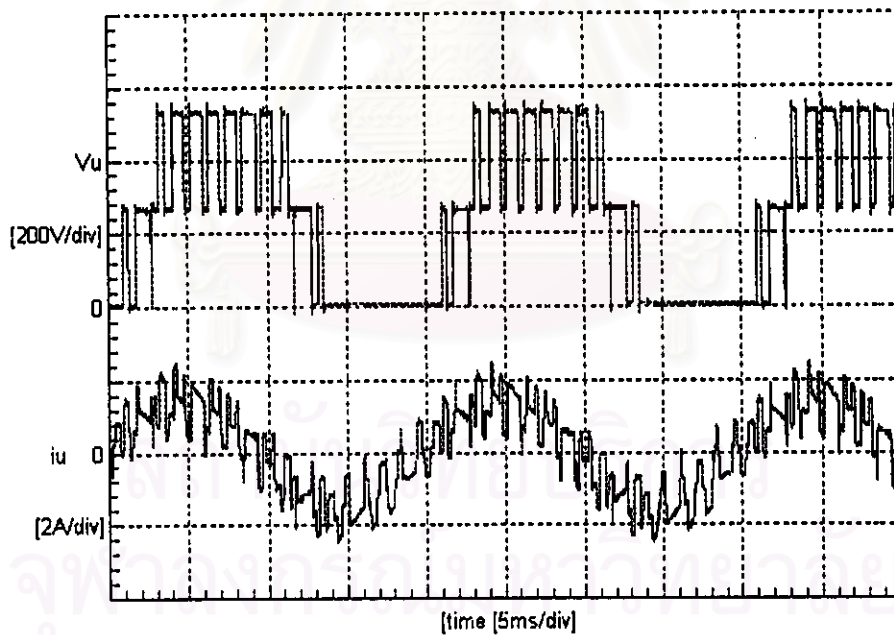
(ข2) รูปคลื่นของกระแสไนวรัลและแรงดันไนวรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 3.4 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz

### กรณีโหลด RC (ต่อแบบ Y)

ผู้วิจัยได้ทดสอบกับความต้านทานขนาด 120 โอห์ม และตัวเก็บประจุขนาด 24 ไมโครฟาร์ด และกับความต้านทานขนาด 60 โอห์มและตัวเก็บประจุขนาด 75 ไมโครฟาร์ด ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 รูปที่ 5.14(ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 1.12 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 48 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 25 ms รูปที่ 5.14(ข) แสดงรูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง โดยรูป (ข2) เป็นภาพขยายจากรูป (ข1) ซึ่งจะเห็นว่ากระแสนิวทรัลที่ได้เป็นเช่นเดียวกับโหลดมอเตอร์ ส่วนรูปคลื่นของแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลงนั้นจากรูป (ข1) มีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 600 ms เนื่องจากวงจรตรวจับเครื่องหมายของแรงดันนิวทรัลเป็นโหลดของระบบด้วย

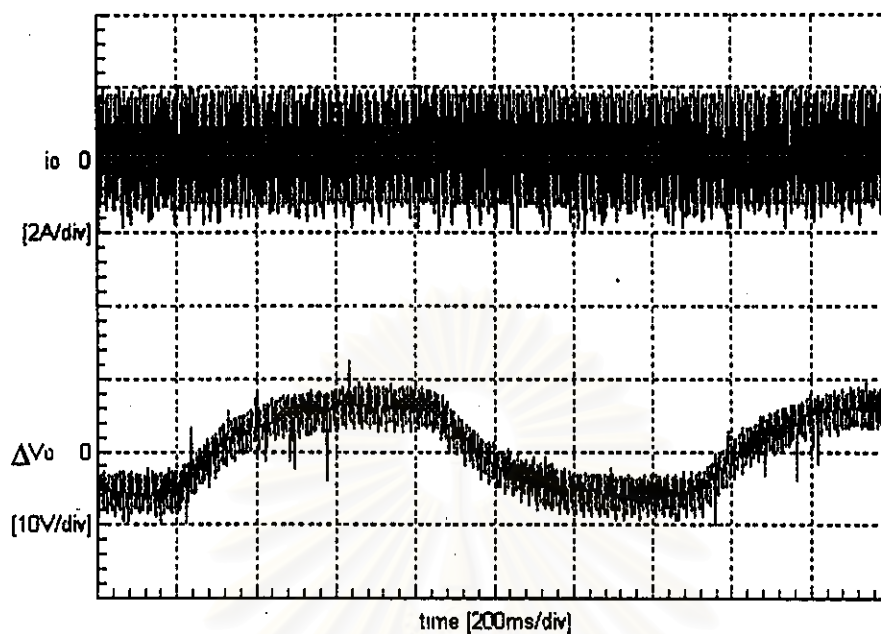
รูปที่ 5.15(ก) เป็นรูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟสที่มีขนาดของกระแสเท่ากับ 2.7 A มีมุมตัวประกอบกำลังเท่ากับ 35 องศา และมีคาบเวลาเท่ากับ 25 ms รูปที่ 5.15(ข) เป็นรูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง ได้ผลเช่นเดียวกับกรณีโหลดมอเตอร์กระแสสูง มีคาบเวลาการเปลี่ยนโหมด( $\Delta t$ )เท่ากับ 88 ms



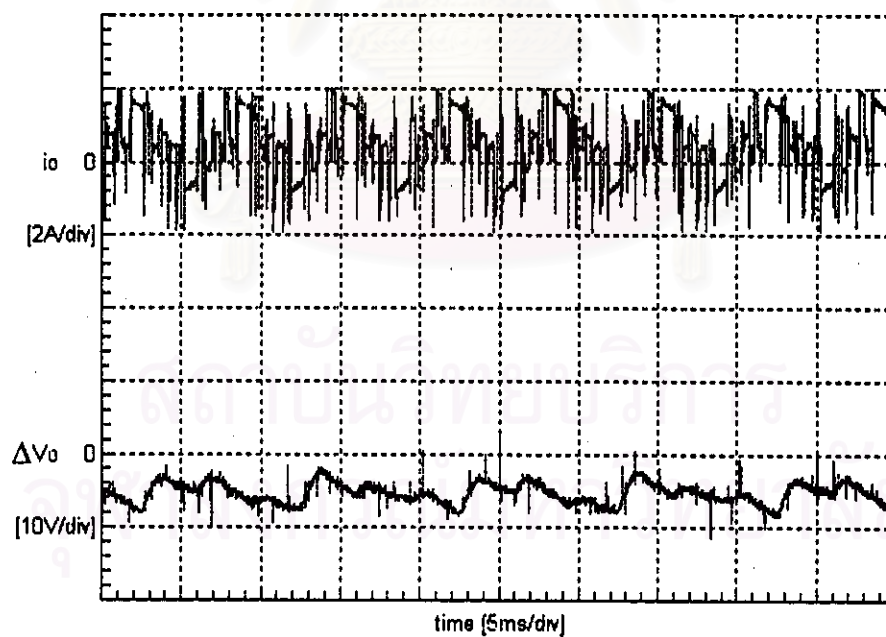
(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส

รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบกับ โหลด RC ที่กระแสโหลด 1.12 A

เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz

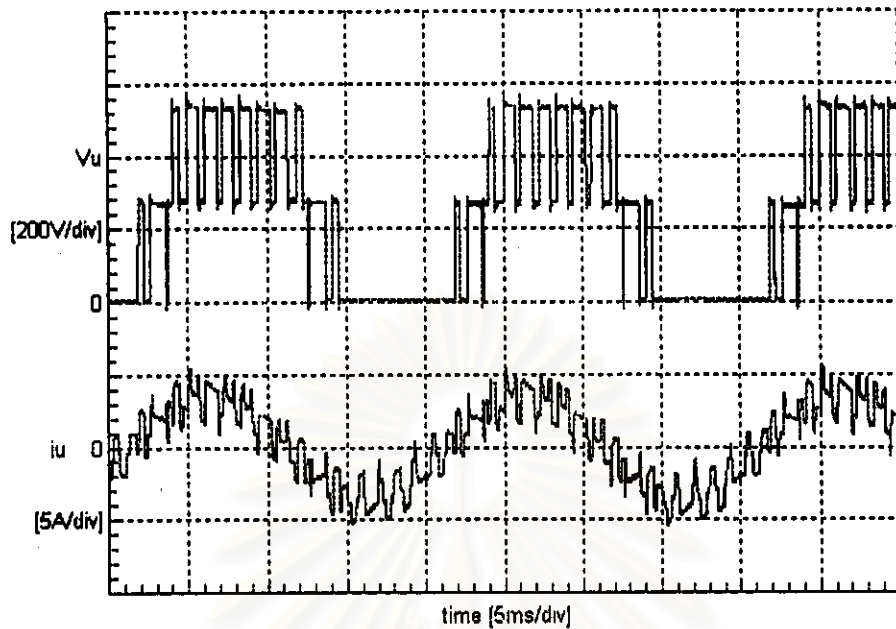


(ข1) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

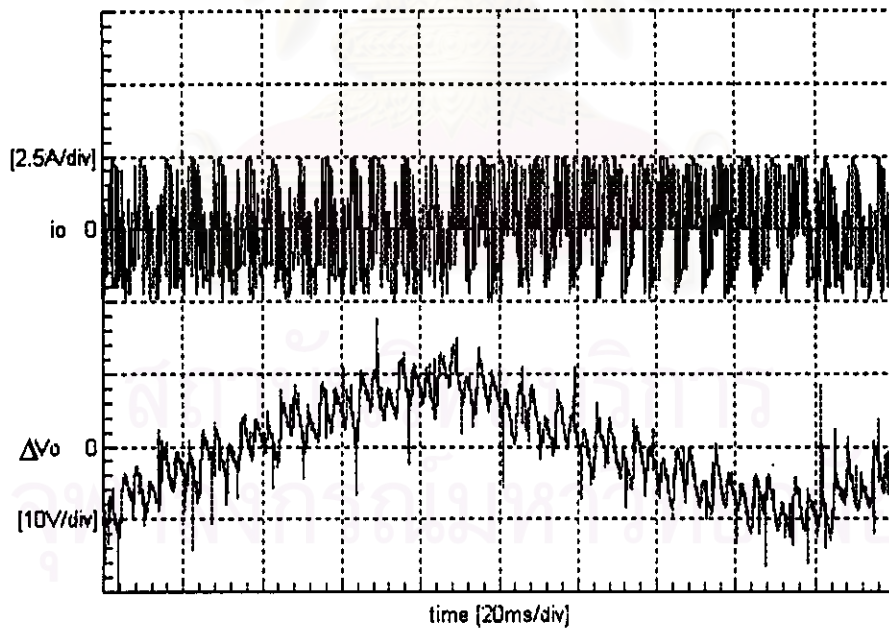


(ข2) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.14 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 1.12 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz(ต่อ)

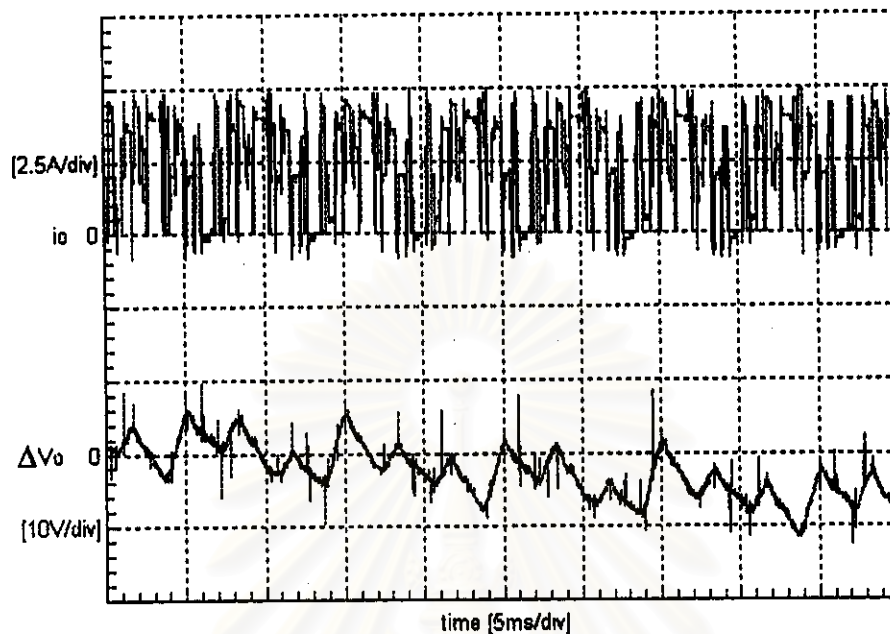


(ก) รูปคลื่นของแรงดันเฟสและกระแสเฟส



(ข1) รูปคลื่นของกระแสนิวทรัลและแรงดันนิวทรัลที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 2.7 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz



(ข2) รูปคลื่นของกระแสไนวรัลและแรงดันไนวรัลที่เปลี่ยนแปลง  
รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 2.7 A  
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz(ต่อ)

จากผลการทดลองทั้งหมด จะเห็นได้ว่า ในการทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์กับ โหลดทั้ง 3 แบบ ให้ผลสอดคล้องกับผลจากการจำลองระบบด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink คือ มีการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับที่ถูกต้อง และการเปลี่ยนแปลงแรงดันไนวรัลนอกจาก เกิดจากการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d ที่ให้ผลตรงกันข้ามกันแล้ว ยังมีผลของเวกเตอร์ กลุ่ม b อยู่ด้วย แต่ค่าผลรวมของการเปลี่ยนแปลงในหนึ่งคาบจะเท่ากับศูนย์ และยังพบว่า กระแส โหลดที่มากขึ้น ส่งผลให้แรงดันไนวรัลเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเมื่อต่อ โหลดชนิดเดียวกัน และที่กระแส โหลดขนาดเดียวกัน ตัวประกอบกำลังของโหลดที่สูงขึ้นให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันไนวรัลที่เร็วขึ้น ไม่ขึ้นกับตัวประกอบกำลังว่าเป็นชนิดล้าหลัง(lagging) หรือนำหน้า(leading) ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมด สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ในทางทฤษฎี

เมื่อเปรียบเทียบการทำงานที่ขนาดแรงดันอ้างอิง 2 ค่าพบว่า ในกรณีที่โหลดเหมือนกันและ ทำงานที่กระแส โหลดค่าเดียวกัน เมื่อแรงดันอ้างอิงมีขนาดใหญ่ จะให้ผลการเปลี่ยนแปลงของ แรงดันไนวรัลที่ช้ากว่าเมื่อแรงดันอ้างอิงมีขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อแรงดันอ้างอิงขนาดใหญ่ สัญญาณสวิตช์ที่สร้างขึ้น ไม่ได้เกิดจากการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c หรือเวกเตอร์กลุ่ม d เพียงกลุ่มเดียวแต่



มีการใช้เวกเตอร์กลุ่ม a และเวกเตอร์กลุ่ม b ด้วย จึงทำให้ปริมาณการใช้เวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d น้อยลงในลักษณะหักล้างกับขนาดของแรงดันอ้างอิง ซึ่งทำให้กระแสไนวอร์ทมีค่าเฉลี่ยที่ลดลง แรงดันไนวอร์ทจึงเปลี่ยนแปลงซ้ำซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ในทางทฤษฎี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย