

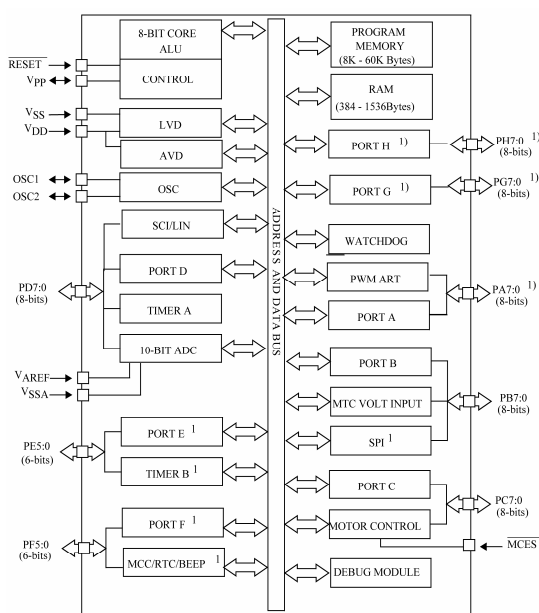
บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในชุดทดลอง

4.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

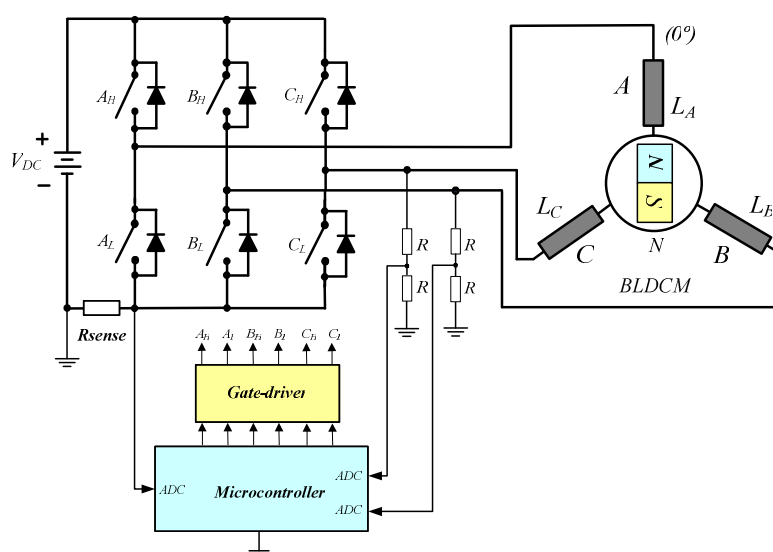
ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ทำการทดลอง เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียดเท่ากับ 10 บิต จำนวน 16 พอร์ตด้วยกัน มีไทมเมอร์ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ช่อง และมีตัวสร้างสัญญาณพัลส์วิดท์มอดดูเลชันขนาด 8 บิต มีความพิเศษตรงที่มีพอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกที่ทำมาสำหรับใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ซึ่งประกอบไปด้วยช่องสัญญาณเอาต์พุตพัลส์วิดท์มอดดูเลชันจำนวน 6 ช่องที่สามารถควบคุมอินเวอร์เตอร์ได้ทั้งแบบรูปสัญญาณไซน์และแบบสี่เหลี่ยมคางหมู มีพอร์ตสำหรับตรวจจับตำแหน่งที่สามารถเชื่อมต่อกับเฟสของมอเตอร์จำนวน 4 พอร์ต ซึ่งภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่สามารถตรวจจับสัญญาณจากเฟสของมอเตอร์ได้โดยตรง



รูปที่ 4.1 ST7FMC ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.2 วงจรควบคุมมอเตอร์ BLDC

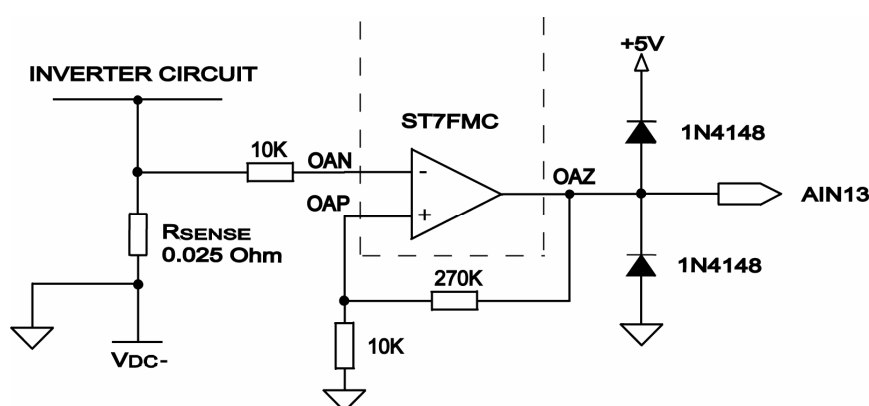
จากรูปที่ 4.2 จะเป็นวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของชุดควบคุมมอเตอร์ BLDC ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมความกว้างพัลส์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรชั้บไอจีบีทีที่รวมอยู่ในโมดูล วงจรตรวจวัดกระแสดีซีลิงค์ (DC-link current sensor circuit) และวงจรแบ่งแรงดัน (divider circuit) อินเวอร์เตอร์เป็นแบบควบคุมความกว้างพัลส์ชนิดจ่ายแรงดันนี้ ใช้ไอจีบีทีทำหน้าที่หลักในการสวิตช์ ซึ่งจะใช้โมดูลแบบ IPM ในแต่ละตัวของไอจีบีทีในโมดูลจะมีฟิรวิลลิงไดโอดเชื่อมต่ออยู่ภายใน ข้อดีของการใช้โมดูล IPM คือ ใช้งานง่าย เพียงแค่ต่อสัญญาณขับเข้าขาอินพุตก็สามารถขับเคลื่อนได้โดยที่มีวงจรชั้บไอจีบีทีที่อยู่ในตัว จึงทำให้ลดความยุ่งยากในการออกแบบชุดควบคุม จากการที่ไอจีบีทีแต่ละตัวอยู่ติดกันจะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นจากค่าความเหนี่ยวนำในสายที่เชื่อมต่อระหว่างไอจีบีทีแต่ละตัว และมีการระบายความร้อนได้ดี ในส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง จะได้จากแหล่งจ่ายไฟสลับที่ผ่านการเรียงกระแสและกรองด้วยตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับอินเวอร์เตอร์ การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์จะสวิตช์ตามสัญญาณขับเกตที่มีทั้งสัญญาณ PWM และสัญญาณสวิตช์ ON ที่ถูกสร้างมาจากวงจรภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และอินเวอร์เตอร์นี้จะทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ตามสัญญาณที่ใช้ขับเกต วงจรขับเกตจะทำหน้าที่ขยายระดับสัญญาณที่เป็นทีทีแอลลอจิกให้สูงขึ้นในระดับที่เพียงพอที่จะขับไอจีบีทีได้ซึ่งจะอยู่ภายในตัวโมดูล IPM พร้อมทั้งมีส่วนการป้องกันกระแสเกินและตัดสัญญาณเอาท์พุทในขณะที่เกิดการผิดพลาดในการทำงานด้วย



รูปที่ 4.2 วงจรระบบควบคุมมอเตอร์มอเตอร์ BLDC

4.1.3 วงจรตรวจวัดกระแส DC Link

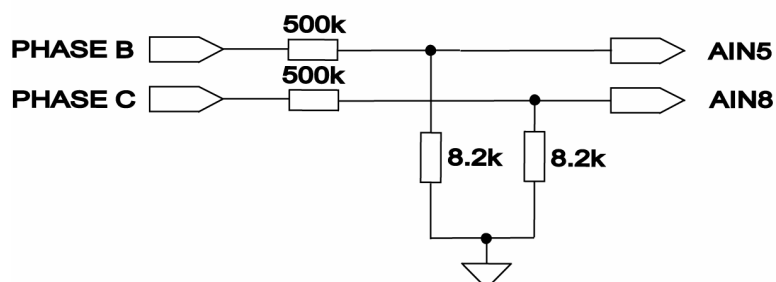
วงจรตรวจวัดกระแส DC Link ดังรูปที่ 4.3 จะทำการตรวจวัดกระแสทั้งหมดที่เกิดขึ้นในวงจรอินเวอร์เตอร์ผ่านตัวต้านทานไปยังแรงดันบัสไฟตรงลบและตรวจวัดออกมาในรูปของแรงดัน หลังจากนั้นจะขยายสัญญาณแรงดันเพิ่มขึ้นให้อยู่ในย่านที่เหมาะสมกับการใช้งาน ค่ากระแสที่ได้จะป้อนกลับไปยังส่วนควบคุมการทำงานเพื่อควบคุมระดับกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาวะภาระในขณะนั้นๆ พร้อมกันนั้นยังใช้ในการตัดการทำงานเมื่อค่ากระแสเกินระดับที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.3 วงจรตรวจวัดกระแส DC Link

4.1.4 วงจรตรวจวัดแรงดันเฟส

วงจรตรวจวัดแรงดันที่ใช้ในการทดลองตามวิธีการที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 4.4 จะใช้ตัวต้านทานในการตรวจวัดแรงดันที่เฟสของมอเตอร์เพียงแค่ 4 ตัวเท่านั้น โดยไม่ได้ใช้ตัวตรวจวัดราคาสูงแต่อย่างใดวงจรแบ่งแรงดันเฟสจะประกอบไปด้วยตัวต้านทานที่ใช้ลดระดับแรงดันไฟสูงจากขั้วของมอเตอร์ให้อยู่ในย่านที่ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะรับได้ ซึ่งทำการตรวจวัดแรงดันเพียงสองเฟสสำหรับการประมาณค่าตำแหน่งขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์เท่านั้น



รูปที่ 4.4 วงจรตรวจวัดแรงดันเฟส

4.1.5 มอเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง

มอเตอร์ BLDC ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในคอมเพรสเซอร์ชนิดระบบปิด (hermetical compressor) ซึ่งเป็นมอเตอร์ซิงโครนัสแบบ 3 เฟสประเภทหนึ่งที่มีโรเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กถาวรแบบ 4 ขั้ว แม่เหล็กชนิดติดบนผิวของโรเตอร์ (surface-mounted permanent magnet rotor) ขดลวดสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุดพันอยู่บนแกนเหล็กโดยแต่ละขดลวดทำมุมกัน 120 องศาทางไฟฟ้า เป็นชนิดที่มีรูปทรงของแรงดัน BEMF เป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

ในรูปที่ 4.5 เป็นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ทำการทดลองด้วยวิธีการที่นำเสนอในครั้งนี ในรูปจะมีคอมเพรสเซอร์อยู่สองตัว ตัวซ้ายมือได้ถูกเปิดฝาออกเพื่อใช้ทดสอบการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์เท่านั้น ตัวขวามือจะเป็นตัวที่ยังสามารถทำงานได้ จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าเพลลาของโรเตอร์ถูกเชื่อมต่อโดยตรงกับเพลลาของปั๊มแบบโรตารีซึ่งอยู่ส่วนล่างสุดของตัวคอมเพรสเซอร์ดังในรูป ด้านซ้ายมือซึ่งจะมีท่อน้ำยาเข้าอยู่ด้านล่างของตัวคอมเพรสเซอร์ ในรูปด้านขวามือ ด้านบนของคอมเพรสเซอร์จะมีท่อน้ำยาออกและขั้วต่อเฟสของมอเตอร์จำนวนสามขั้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ได้ ดังนั้นจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่จำเป็นต้องใช้วิธีการเพื่อประมาณตำแหน่งของโรเตอร์ เพื่อเป็นจุดอ้างอิงในการเริ่มต้นทำงานค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์ในคอมเพรสเซอร์นี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง

จำนวนขั้วแม่เหล็ก	4
พิกัดกำลัง	897 [W]
แรงดันบัลไฟตรง	310 [VDC]
พิกัดความเร็วรอบ	4100 [r/min]
พิกัดกระแส	6.1 [A]



รูปที่ 4.5 คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ทำการทดลอง

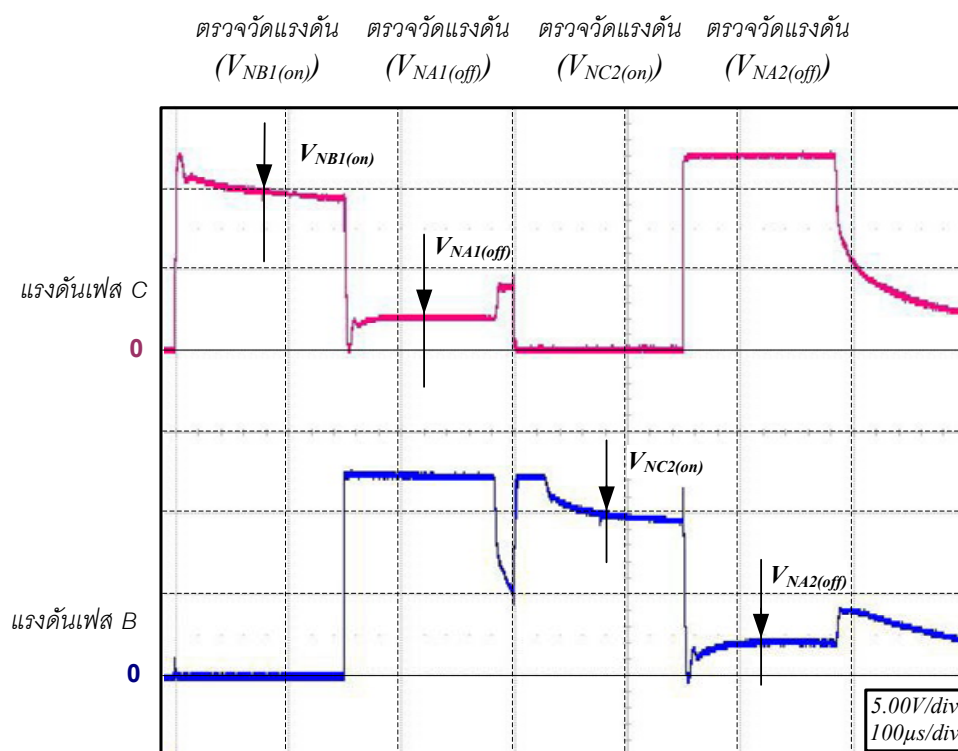
4.2 ผลการทดลอง

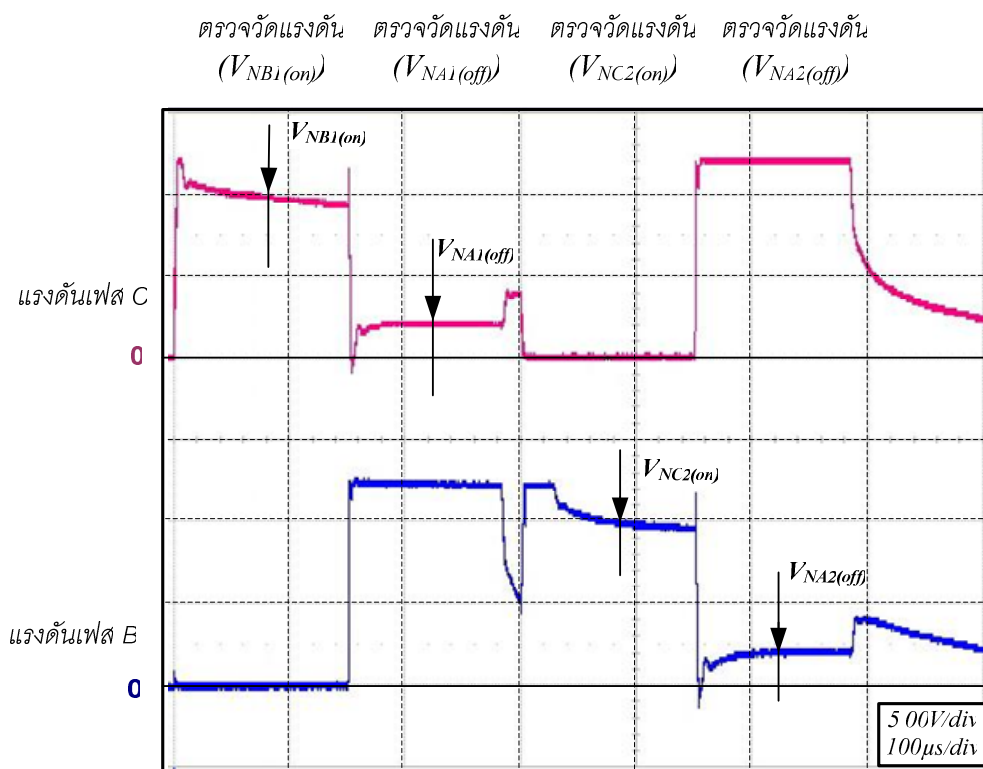
แรงดันพัลส์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้กำหนดคาบเวลาไว้ที่ $300\ \mu\text{s}$ ที่ความกว้างพัลส์เท่ากับ $150\ \mu\text{s}$ ซึ่งช่วง “ON” เท่ากับ $150\ \mu\text{s}$ และ ช่วง “OFF” เท่ากับ $150\ \mu\text{s}$ โดยที่ความกว้างของสัญญาณแรงดันพัลส์ที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์จะต้องไม่ทำให้โรเตอร์เกิดการขยับหรือเคลื่อนตัวได้ แรงดันพัลส์ครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สองจะเหมือนกันและมีขนาดเท่ากัน การจ่ายแรงดันพัลส์ทั้งสองครั้งจะทำการจ่ายอย่างต่อเนื่องกันตามลำดับ เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลที่มีสาเหตุมาจากค่าพารามิเตอร์แฝงจึงต้องทำการตรวจวัดที่ประมาณ $75\ \mu\text{s}$ นับจากจุดเริ่มต้นสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นจุดจะมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด และในช่วง regenerating จะทำการตรวจวัดนับจากจุดที่แรงดันพัลส์ตกลงเป็นศูนย์เป็นจุดเริ่มต้นและห่างออกไป $75\ \mu\text{s}$ เนื่องจากจุดดังกล่าวเป็นจุดที่มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด เช่นเดียวกัน

4.2.1 ผลการประมาณค่าตำแหน่งโรเตอร์

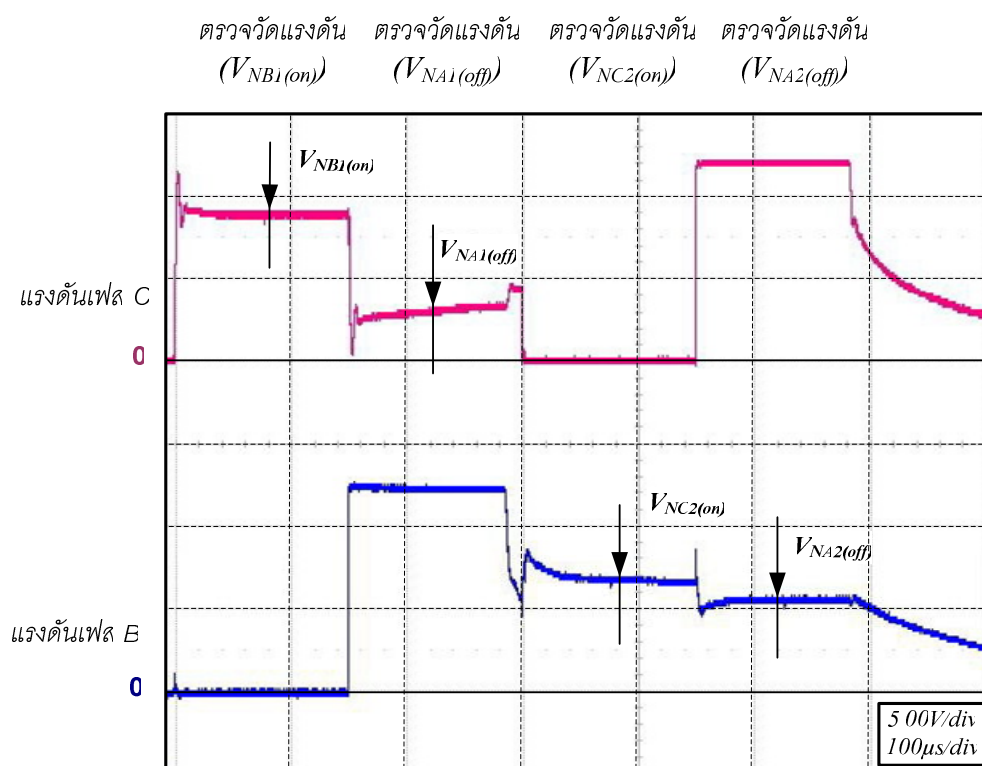
จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นสัญญาณแรงดันที่จุด N ที่ทำการตรวจวัดผ่านเฟส C และเฟส B หลังจากจ่ายแรงดันพัลส์ครั้งแรกและครั้งที่สอง เมื่อกำหนดตำแหน่งปรับแนวของโรเตอร์อยู่ที่ 0° ทางไฟฟ้า หรือตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดขึ้น จากรูปจะเห็นได้ว่าความแตกต่างของระดับแรงดันที่เกิดขึ้นในช่วง “ON” และ ช่วง “OFF” ของสัญญาณแรงดันพัลส์มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระดับแรงดันจะได้ว่า $V_{NB1(on)} > V_{NA1(off)}$, $V_{NC2(on)} > V_{NA2(off)}$, $V_{NB1(on)} \approx V_{NC2(on)}$ และ $V_{NA1(off)} \approx V_{NA2(off)}$ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งได้กำหนดตำแหน่งปรับแนวของโรเตอร์ไว้ที่ 180° จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าระดับแรงดันของทั้ง 0° และ 180° มีค่าใกล้เคียงกันมากดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ระดับแรงดันในการระบุตำแหน่งขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ได้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าระดับแรงดันที่ได้จากทุกมุมใน 360 องศา สามารถแบ่งแยกความแตกต่างของระดับแรงดันได้ทั้งหมด 6 ช่วงจากทั้งหมด 12 ช่วง โดยที่ 6 ช่วงแรกระดับจะซ้ำกันกับ 6 ช่วงหลัง ในแต่ละช่วงจะมีการกำหนดขอบเขตหรือขีดจำกัดที่รอยต่อของช่วงมุมซึ่งในบางช่วงมุมที่ระดับแรงดันมีค่าเท่ากันก็สามารถเป็นไปได้อย่างสองช่วงมุม ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการซ้ำซ้อนกันของการกำหนดช่วงมุม และเมื่อสรุปผลที่ได้ทั้งหมดออกมาเป็นช่วงมุมจะได้ที่เป็นไปตามตารางที่ 3.1

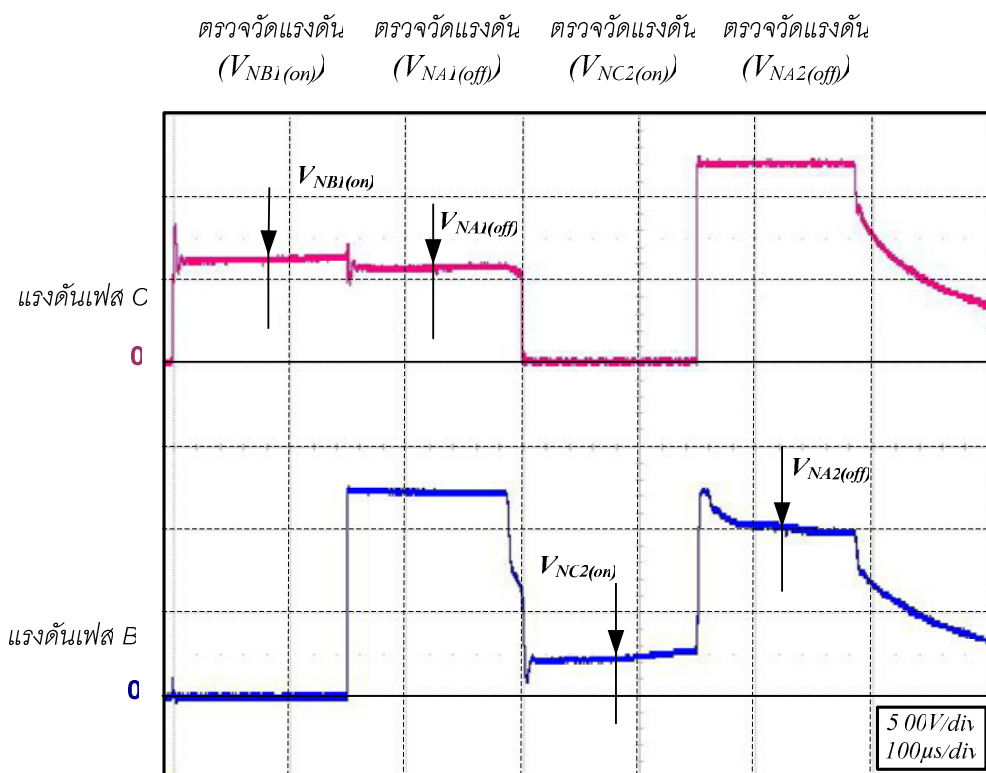




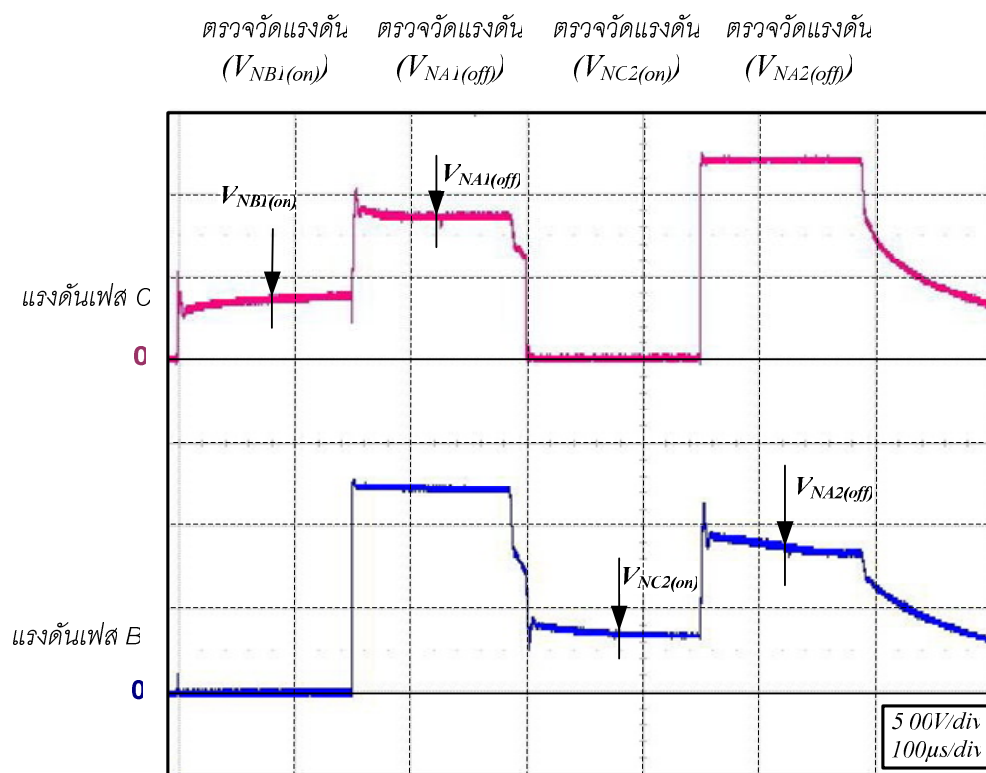
รูปที่ 4.7 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง $\theta_0 = 180^\circ$



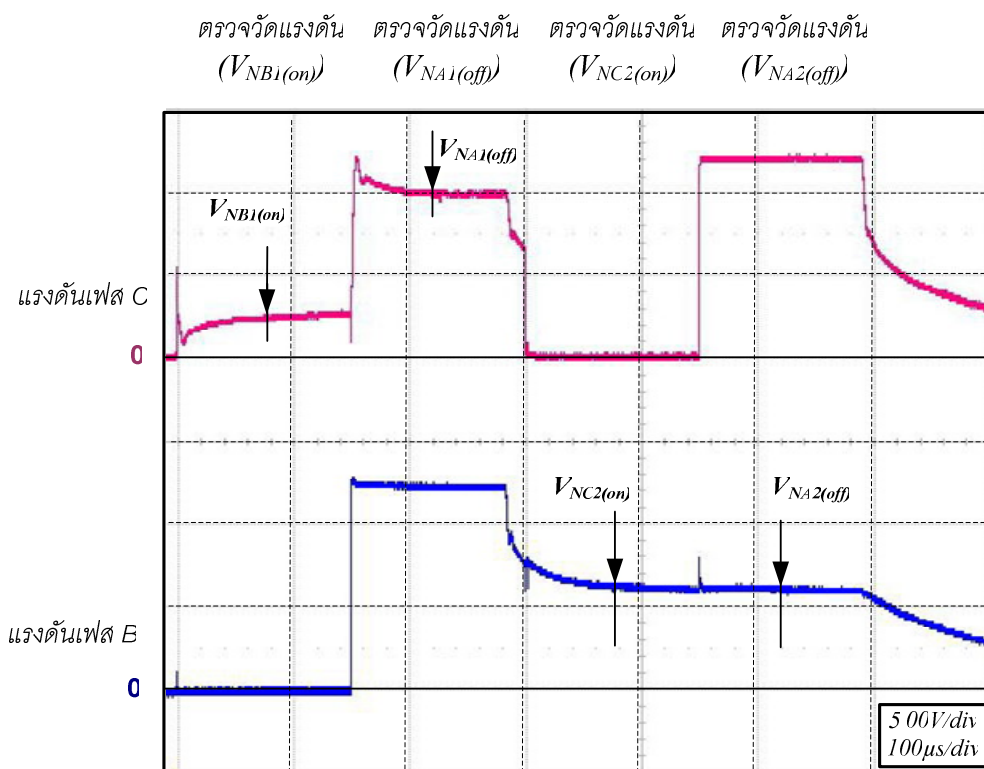
รูปที่ 4.8 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $0^\circ < \theta_0 \leq 30^\circ$ หรือ $180^\circ < \theta_0 \leq 210^\circ$



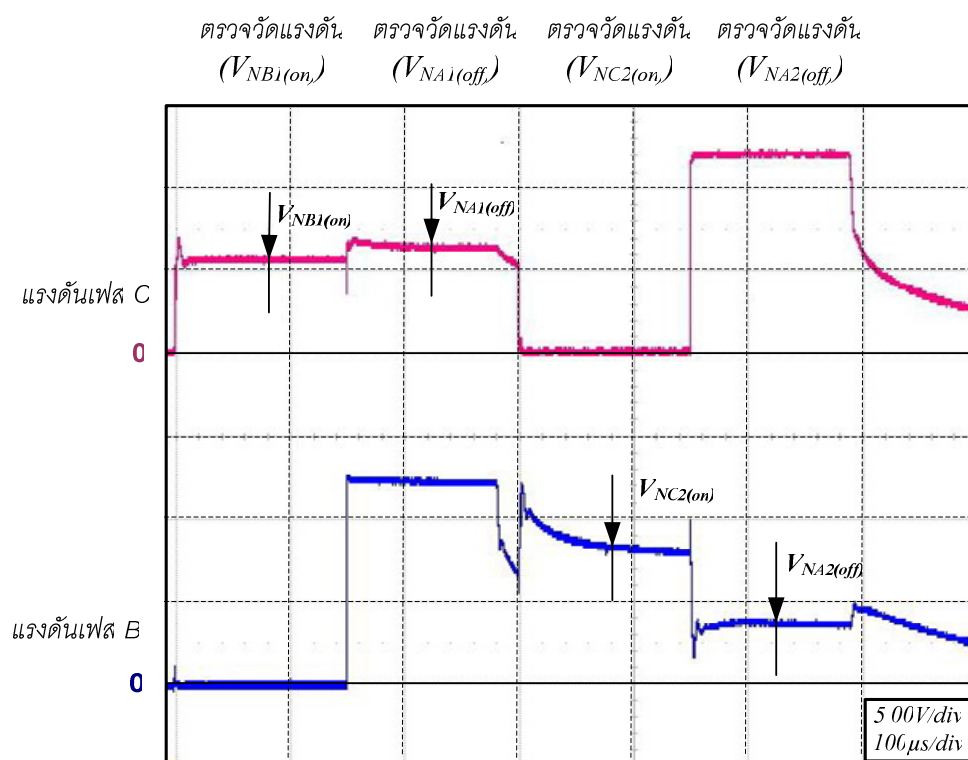
รูปที่ 4.9 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $30^\circ < \theta_0 \leq 60^\circ$ หรือ $210^\circ < \theta_0 \leq 240^\circ$



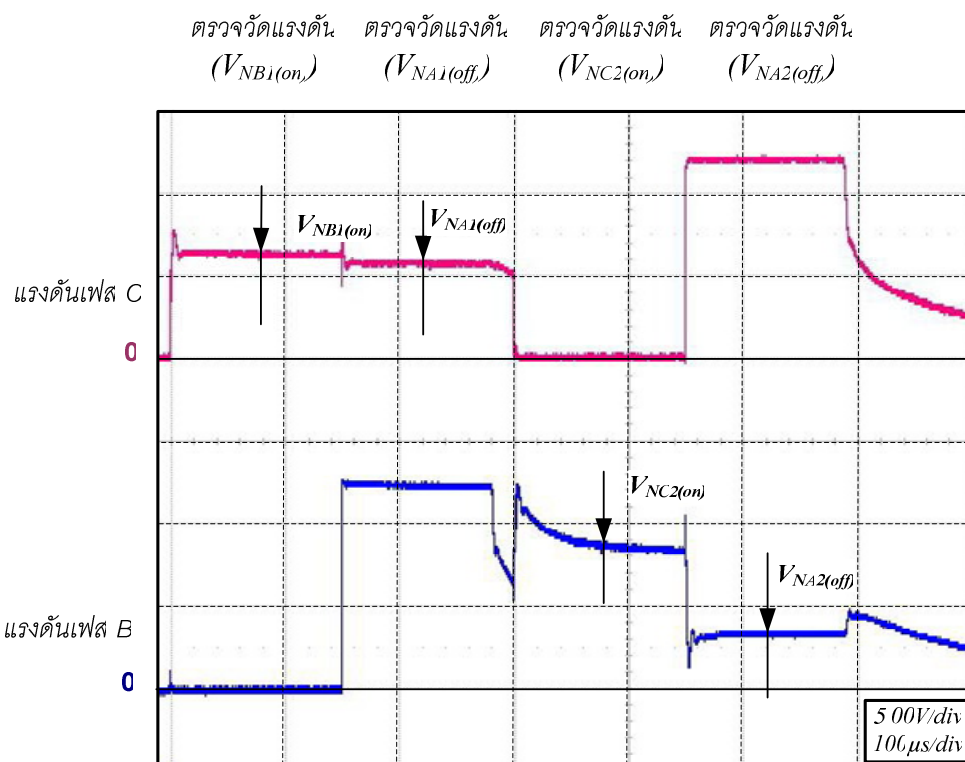
รูปที่ 4.10 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $60^\circ < \theta_0 \leq 90^\circ$ หรือ $240^\circ < \theta_0 \leq 270^\circ$



รูปที่ 4.11 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $90^\circ < \theta_0 \leq 120^\circ$ หรือ $270^\circ < \theta_0 \leq 300^\circ$



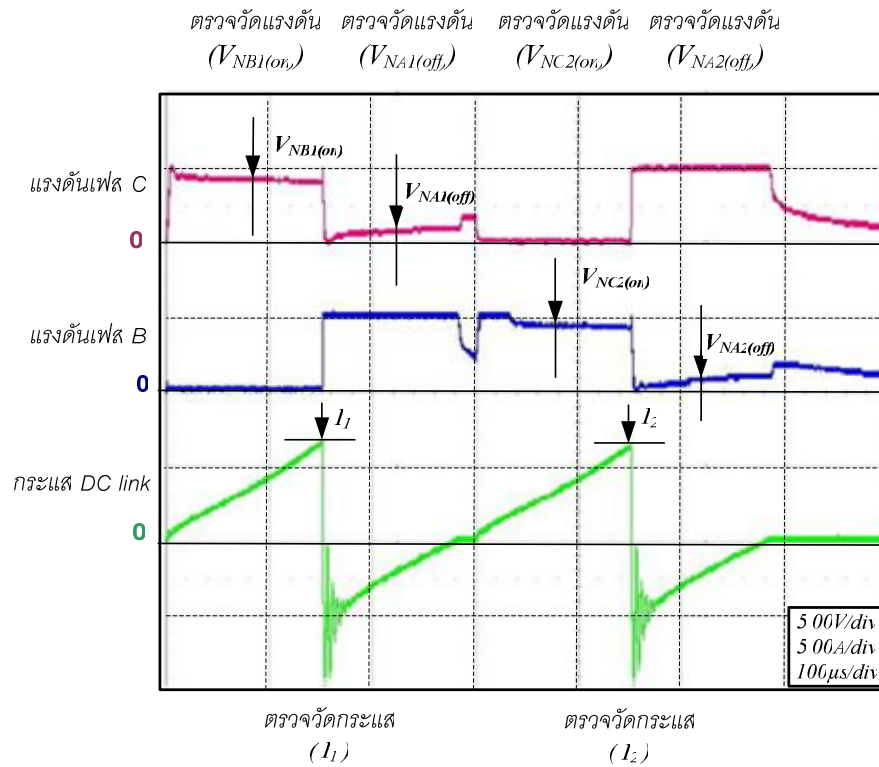
รูปที่ 4.12 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $120^\circ < \theta_0 \leq 150^\circ$ หรือ $300^\circ < \theta_0 \leq 330^\circ$



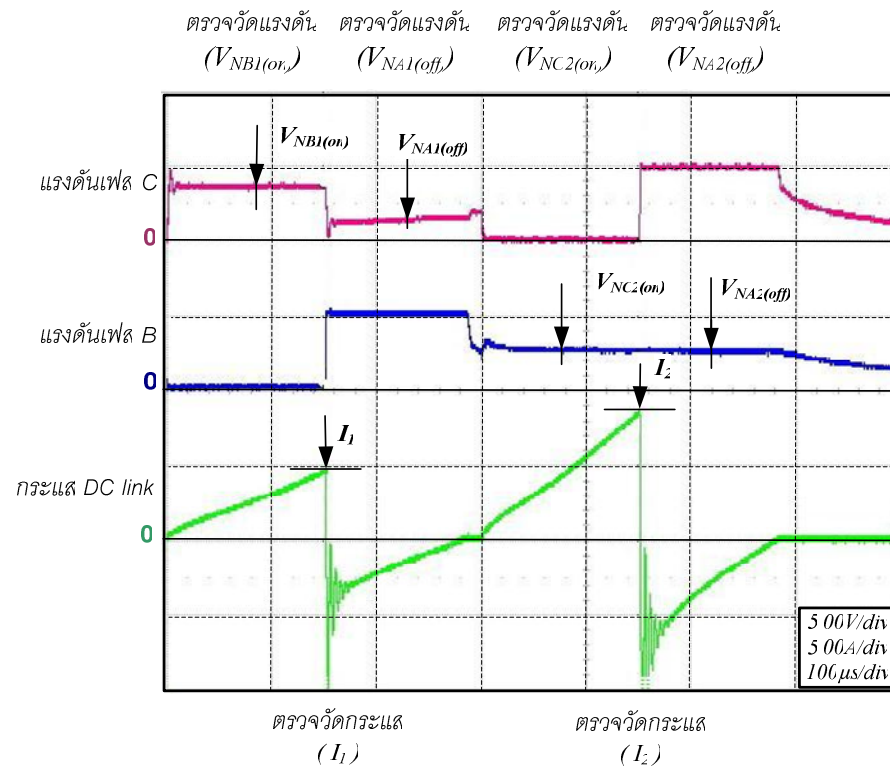
รูปที่ 4.13 ระดับแรงดันเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $150^\circ < \theta_0 \leq 180^\circ$ หรือ $330^\circ < \theta_0 \leq 360^\circ$

4.2.2 ผลการกำหนดตำแหน่งสวิตช์ของการจ่ายแรงดันพัลส์ครั้งที่สาม

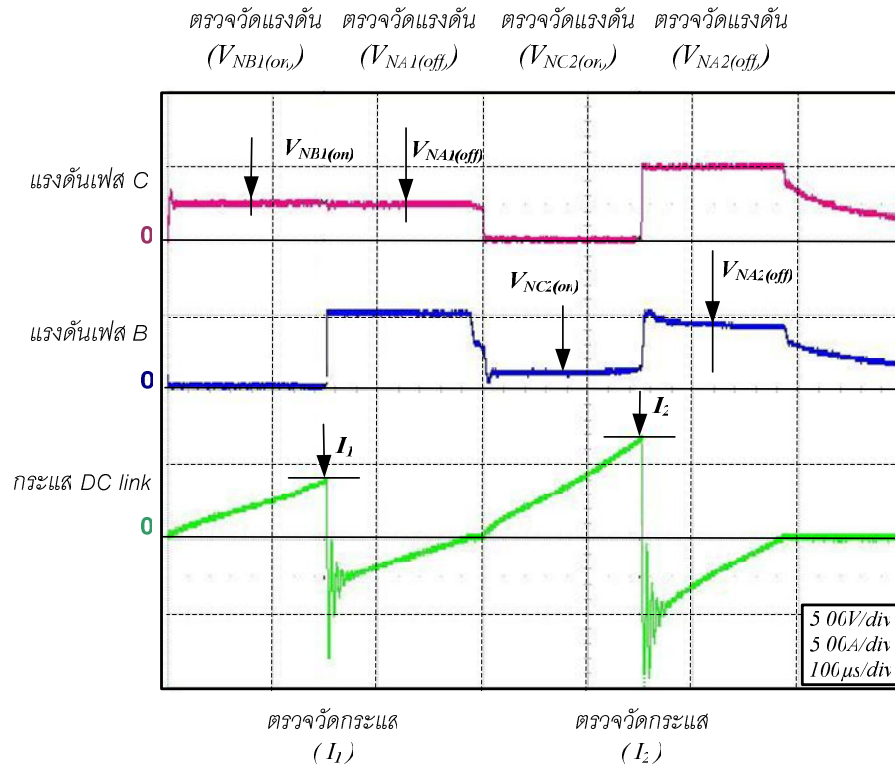
จากรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.20 แสดงผลของค่ากระแส DC-link ที่ได้จากการจ่ายแรงดันพัลส์ครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง วิธีการจะเลือกจากค่าที่สูงที่สุดเป็นตัวกำหนดตำแหน่งการสวิตช์ในการจ่ายแรงดันครั้งที่สาม ตัวอย่างเช่นในช่วงมุม $0^\circ < \theta_0 \leq 30^\circ$ หรือ $180^\circ < \theta_0 \leq 210^\circ$ ดังในรูปที่ 4.15 ระดับกระแส I_2 มีค่ามากกว่า I_1 จึงใช้ I_2 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งสวิตช์ในครั้งที่สาม ซึ่งก็คือตำแหน่งสวิตช์ C_H และ A_L ช่วงมุมตัวอย่างและช่วงมุมอื่นๆ จากผลการทดลองสามารถกำหนดตำแหน่งในการสวิตช์ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.2



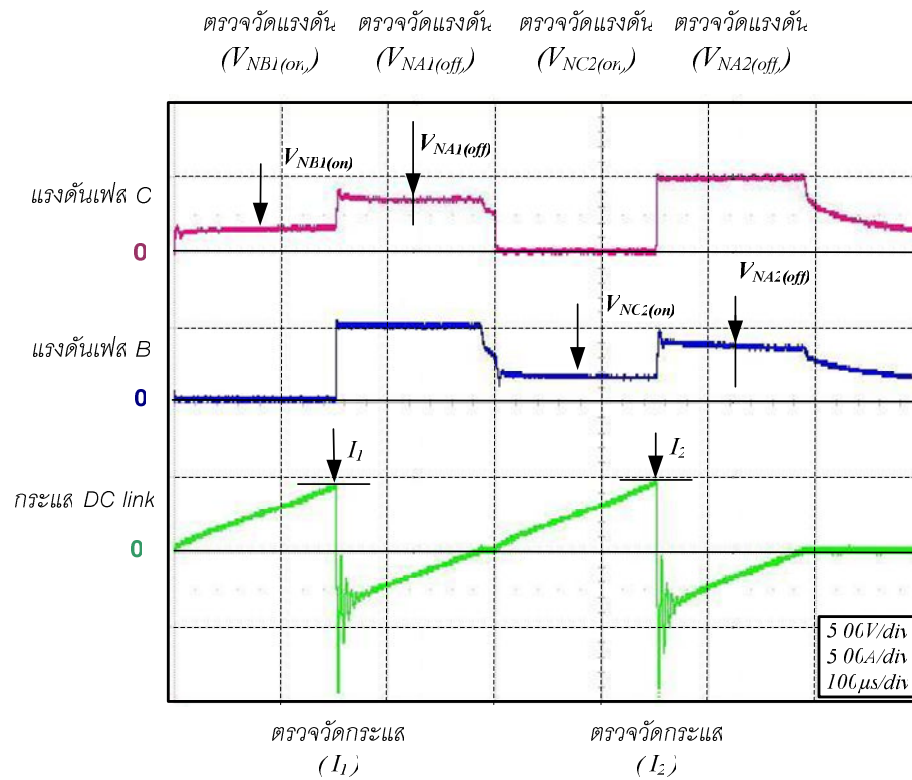
รูปที่ 4.14 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ที่มุม $\theta_0 = 0^\circ$ หรือ $\theta_0 = 180^\circ$



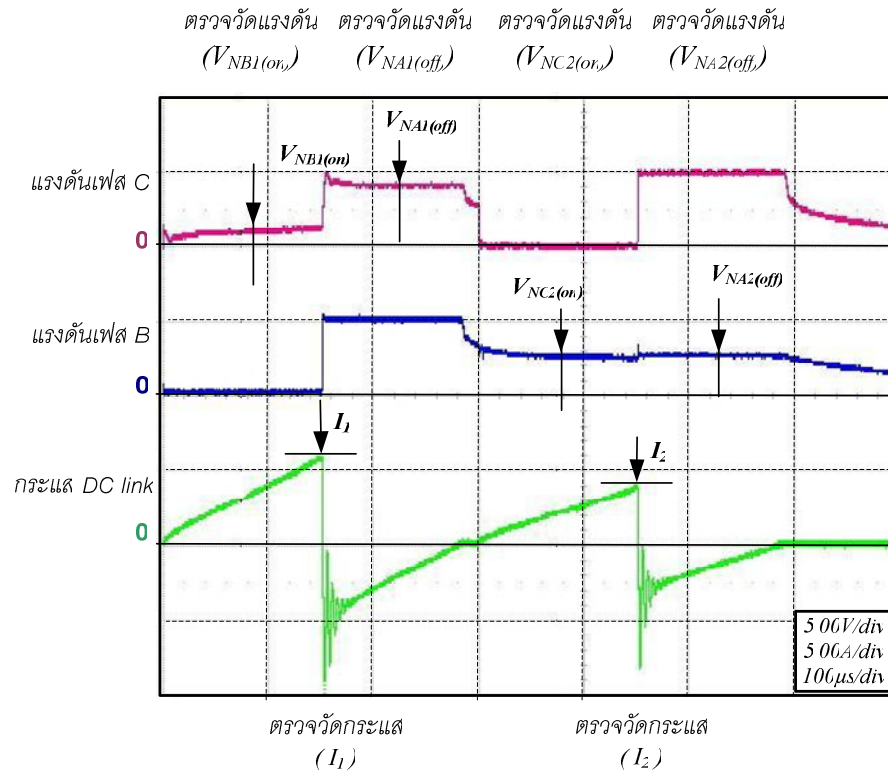
รูปที่ 4.15 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $0^\circ < \theta_0 \leq 30^\circ$ หรือ $180^\circ < \theta_0 \leq 210^\circ$



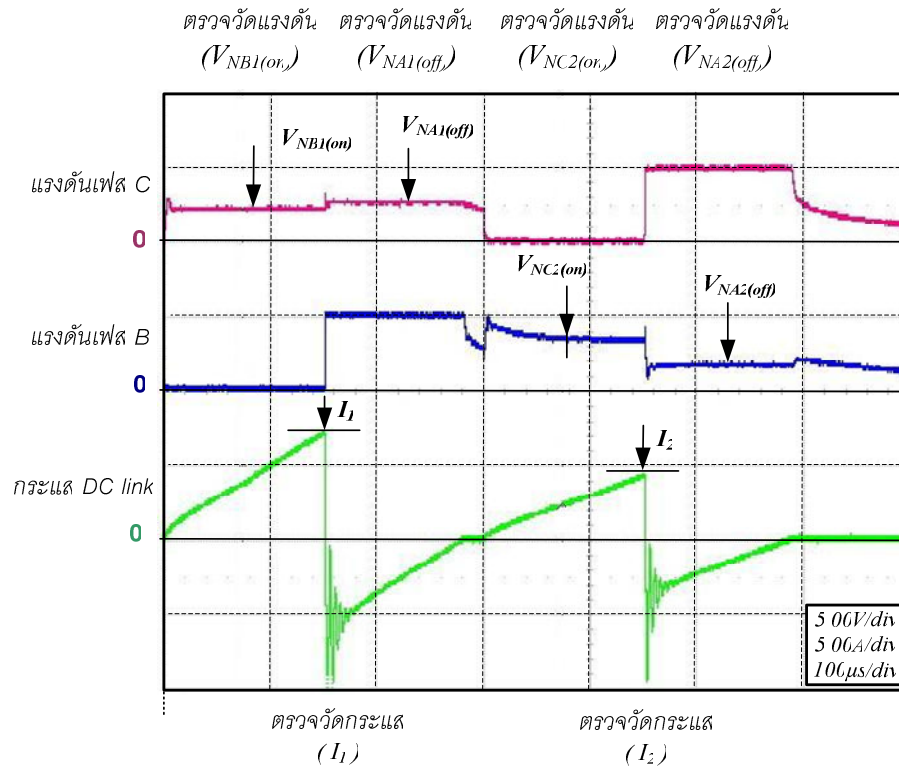
รูปที่ 4.16 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $30^\circ < \theta_0 \leq 60^\circ$ หรือ $210^\circ < \theta_0 \leq 240^\circ$



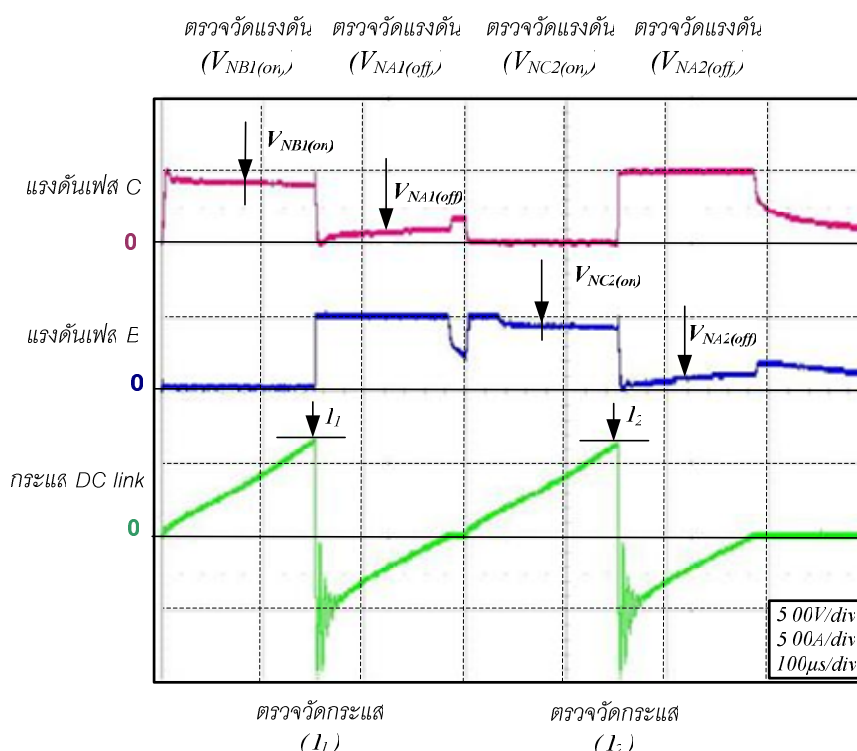
รูปที่ 4.17 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $60^\circ < \theta_0 \leq 90^\circ$ หรือ $240^\circ < \theta_0 \leq 270^\circ$



รูปที่ 4.18 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $90^\circ < \theta_0 \leq 120^\circ$ หรือ $270^\circ < \theta_0 \leq 300^\circ$



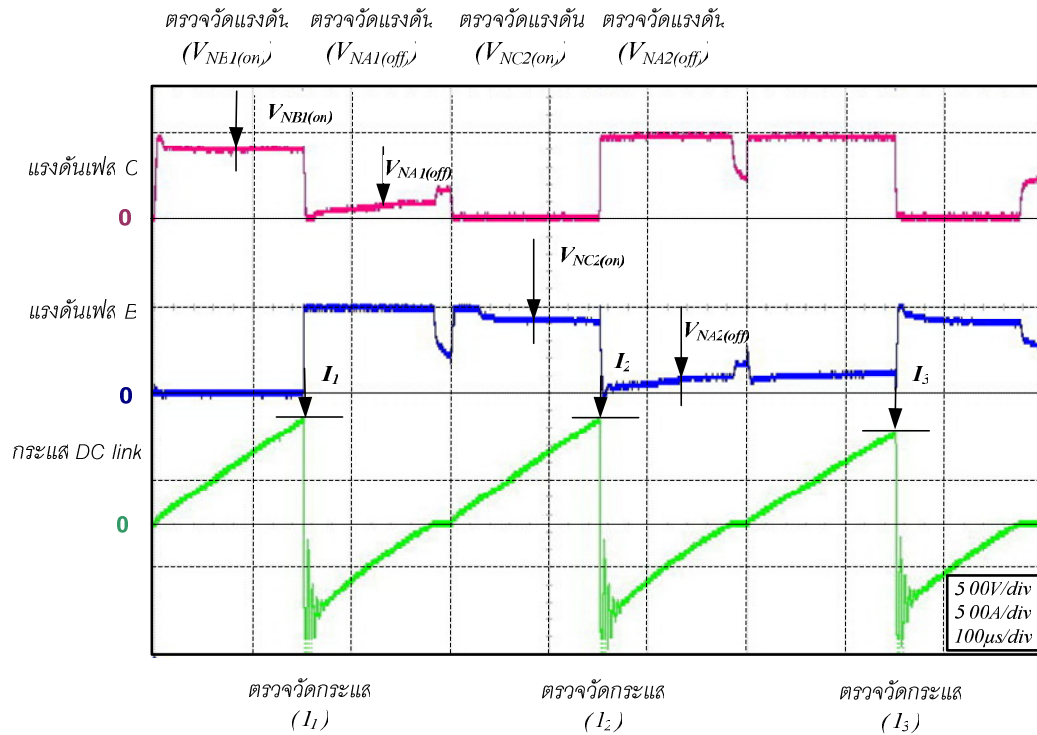
รูปที่ 4.19 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $120^\circ < \theta_0 \leq 150^\circ$ หรือ $300^\circ < \theta_0 \leq 330^\circ$



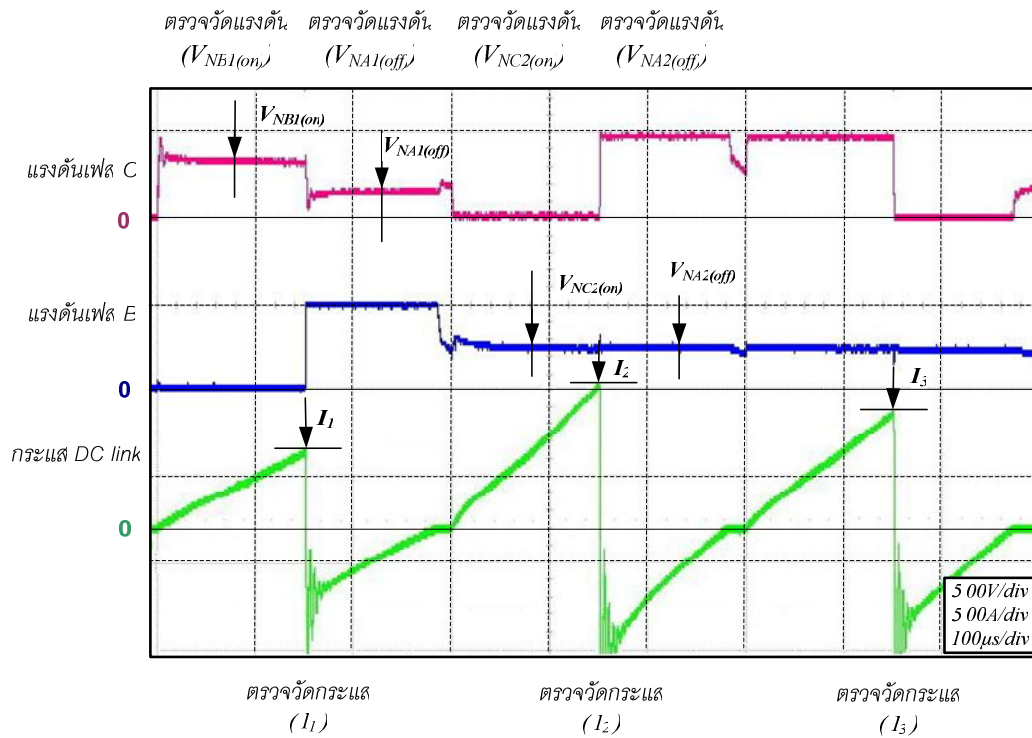
รูปที่ 4.20 ระดับกระแส DC-link เมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $150^\circ < \theta_0 \leq 180^\circ$ หรือ $330^\circ < \theta_0 \leq 360^\circ$

4.2.3 ผลการกำหนดตำแหน่งหัวแม่เหล็กของโรเตอร์

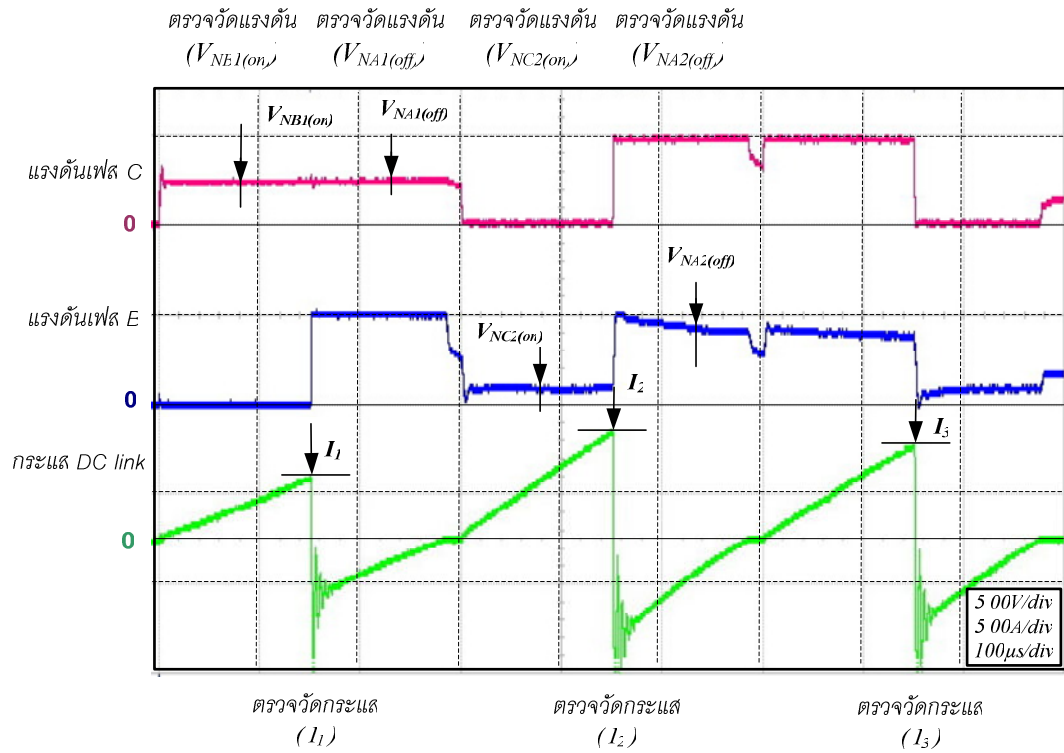
จากรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.33 จะเป็นผลการทดลองการจ่ายแรงดันพัลส์ทั้งสามครั้ง เมื่อรวมเอาผลของค่าระดับกระแสและแรงดันจากทั้งสามครั้งก็จะสามารถประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ได้ จากรูปจะเป็นผลการทดลองตลอดช่วงมุมตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาทางไฟฟ้าซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระดับค่ากระแสและแรงดันแล้วจะได้ผลเหมือนดังในตารางที่ 3.3 ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่า วิธีการประมาณค่าตำแหน่งที่นำเสนอนี้สามารถประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ได้ด้วยความละเอียดของมุมที่ประมาณได้เท่ากับ 30 องศาทางไฟฟ้า ในขณะที่ผลการทดลองในบางตำแหน่งอาจจะให้ผลไม่ชัดเจนนักเมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่า เนื่องจากในบางช่วงเป็นตำแหน่งที่หัวแม่เหล็กของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งวิกฤต หรือจุดตรงกลางระหว่างหัวแม่เหล็กอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับเฟส A ซึ่งเฟส A เป็นเฟสหลักของการจ่ายแรงดันพัลส์ทั้งสามครั้ง จึงทำให้ผลความแตกต่างของระดับกระแสไม่ชัดเจนนัก ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 4.24 และ รูปที่ 4.30 เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระดับกระแส I_3 กับ I_1 หรือ I_2 จะมีระดับความแตกต่างที่น้อยมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลด้วย จากผลการทดลองที่ใช้ความละเอียดในการแปลงสัญญาณที่ 8 บิต ก็สามารถประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ได้อย่างแม่นยำ



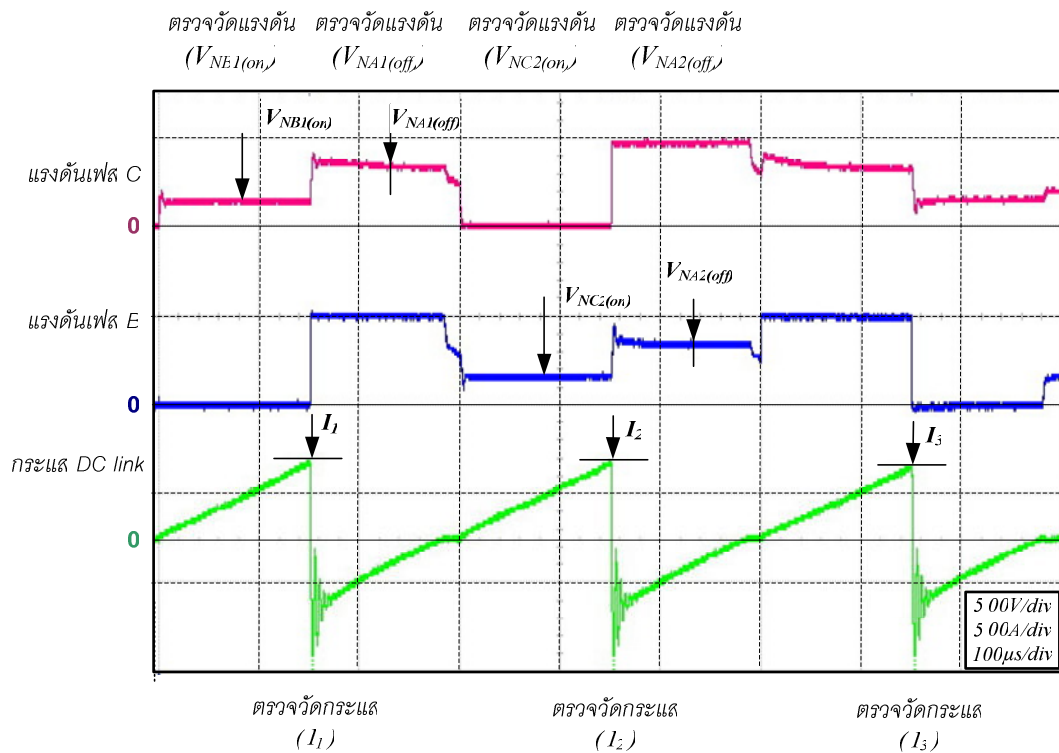
รูปที่ 4.21 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $\theta_0 = 0^\circ$ หรือ $\theta_0 = 360^\circ$



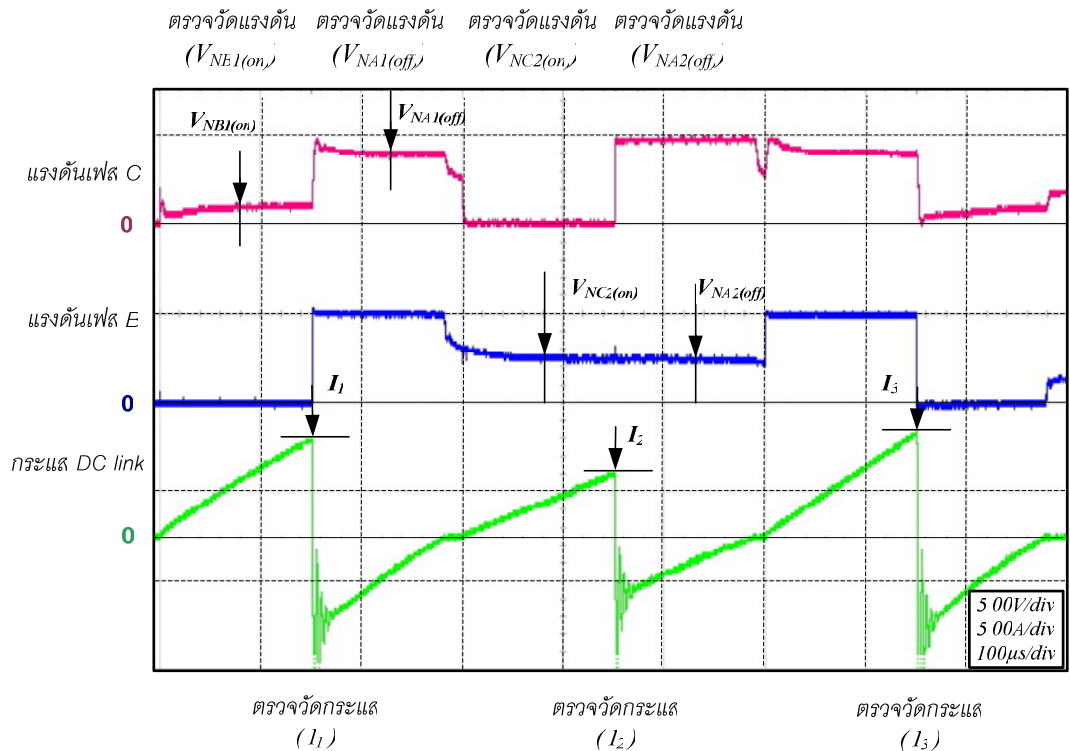
รูปที่ 4.22 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $0^\circ < \theta_0 \leq 30^\circ$



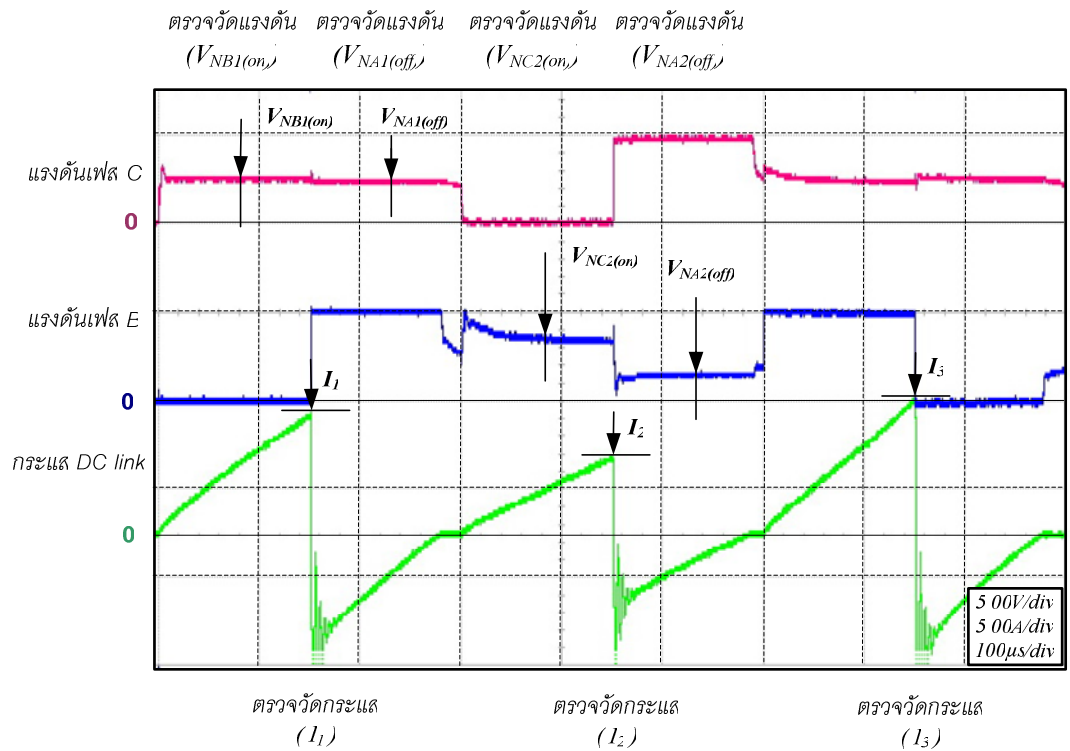
รูปที่ 4.23 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $30^\circ < \theta_0 \leq 60^\circ$



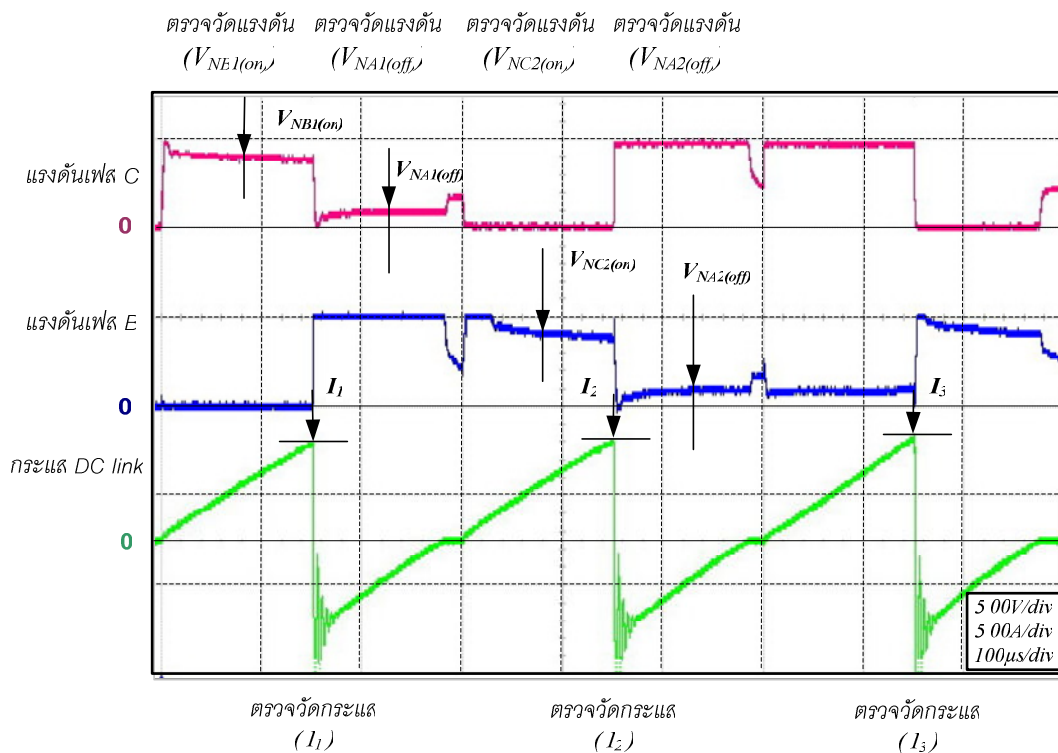
รูปที่ 4.24 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $60^\circ < \theta_0 \leq 90^\circ$



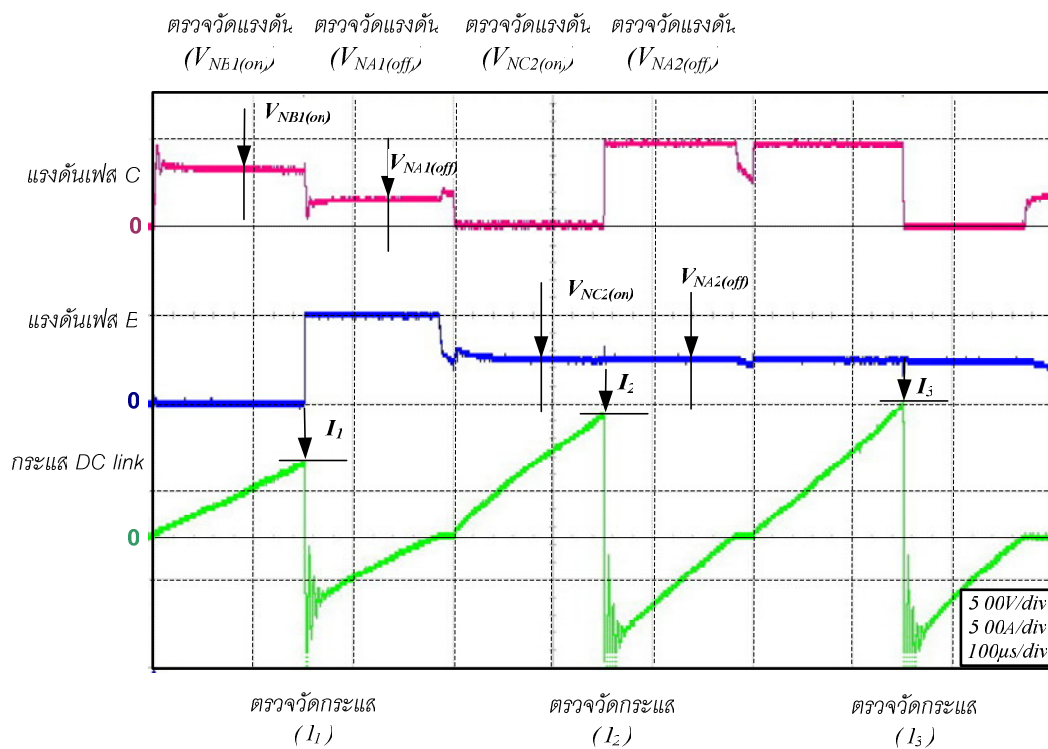
รูปที่ 4.25 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $90^\circ < \theta_0 \leq 120^\circ$



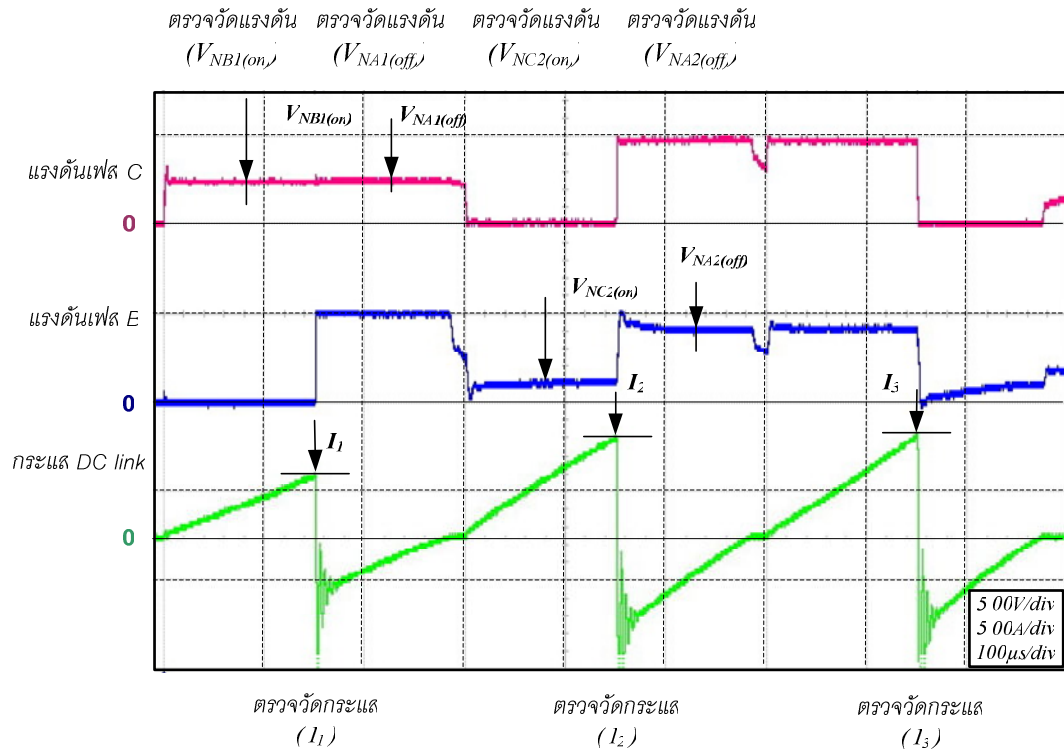
รูปที่ 4.26 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $120^\circ < \theta_0 \leq 150^\circ$



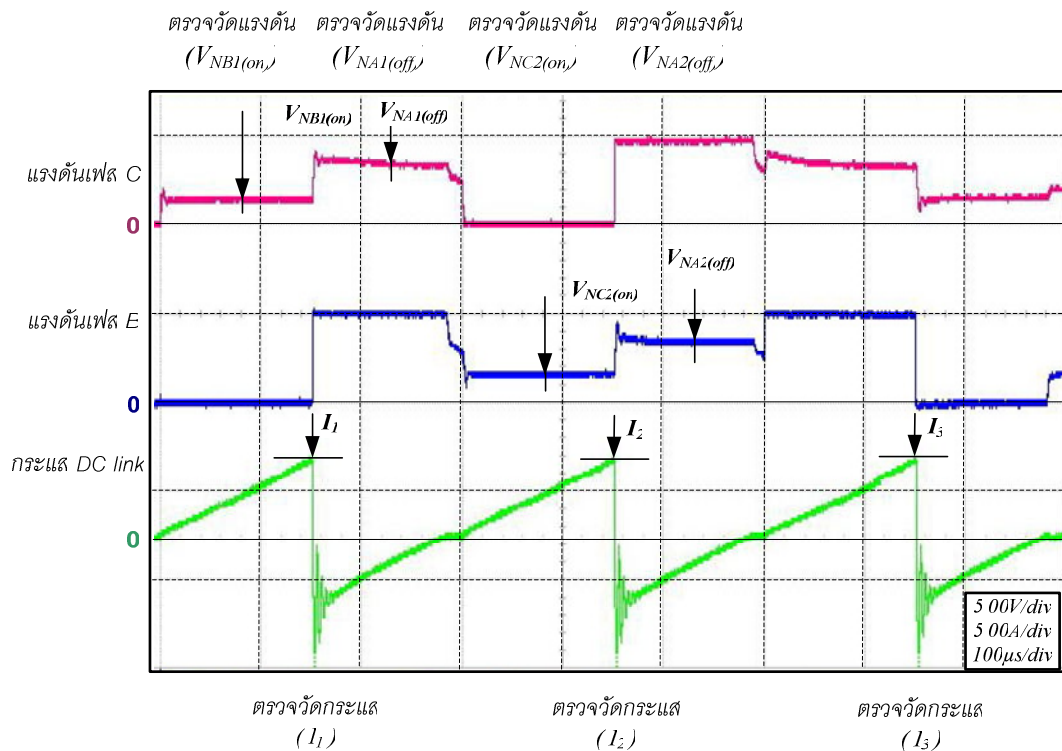
รูปที่ 4.27 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $150^\circ < \theta_0 \leq 180^\circ$



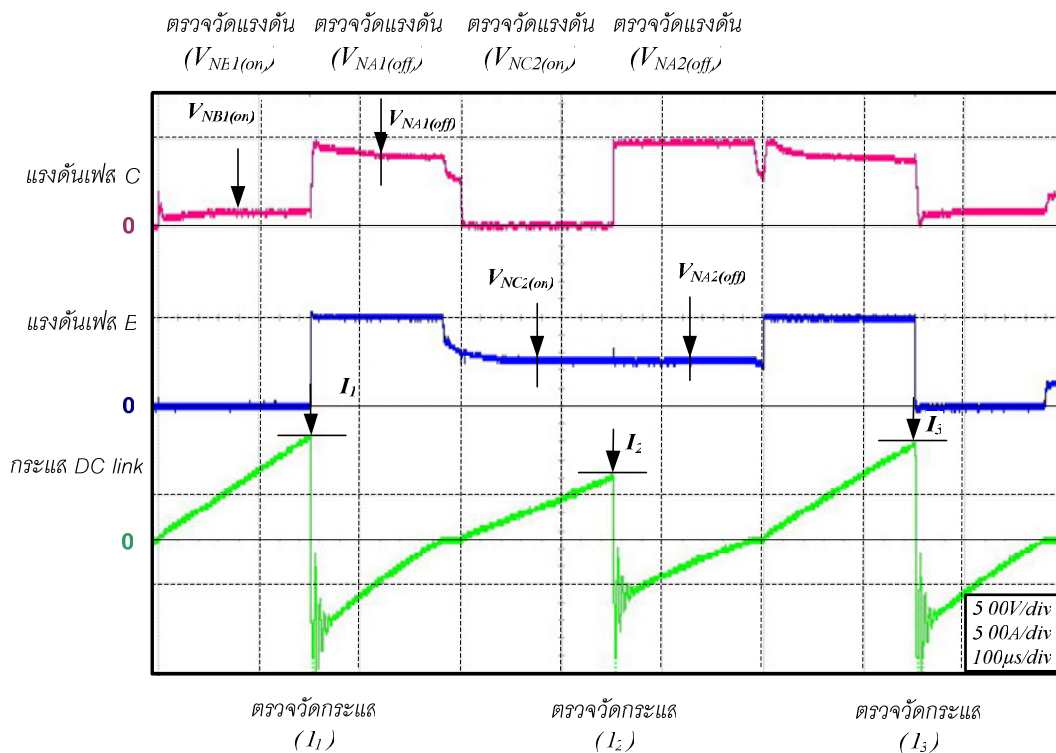
รูปที่ 4.28 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $180^\circ < \theta_0 \leq 210^\circ$



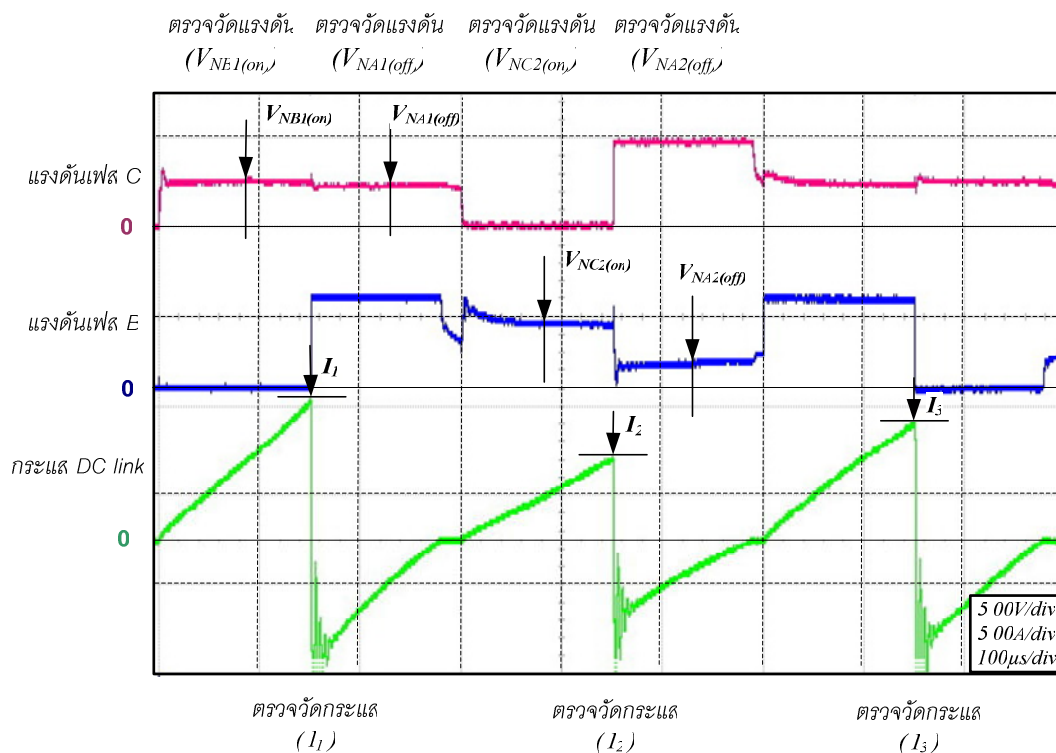
รูปที่ 4.29 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $210^\circ < \theta_0 \leq 240^\circ$



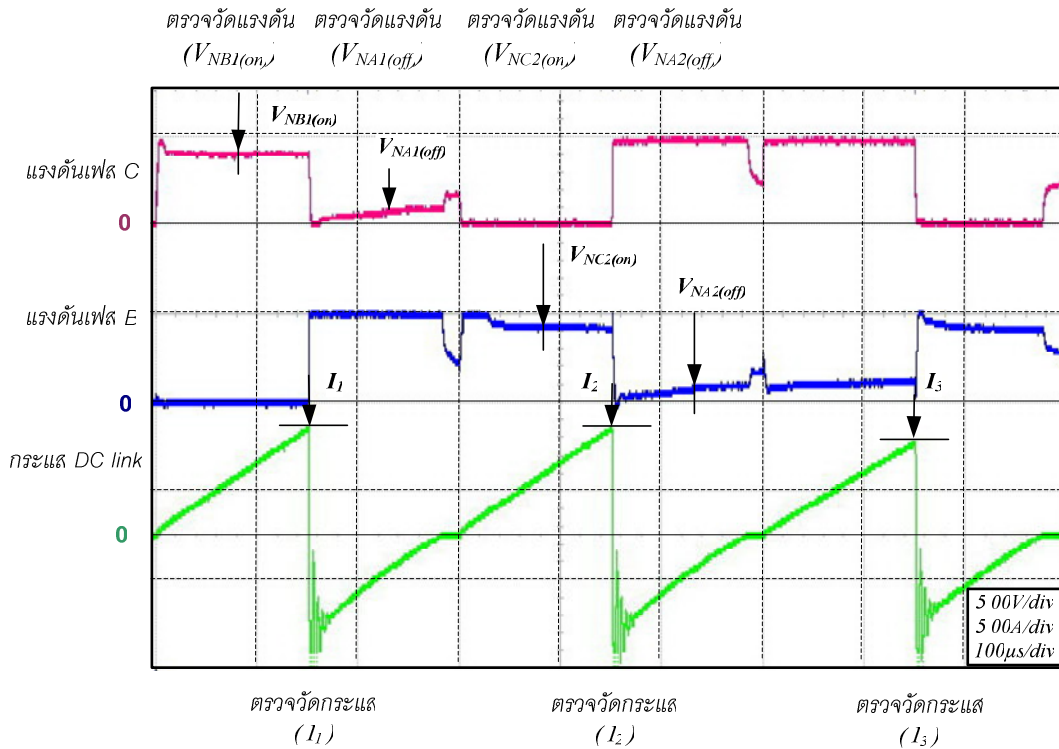
รูปที่ 4.30 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $240^\circ < \theta_0 \leq 270^\circ$



รูปที่ 4.31 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $270^\circ < \theta_0 \leq 300^\circ$



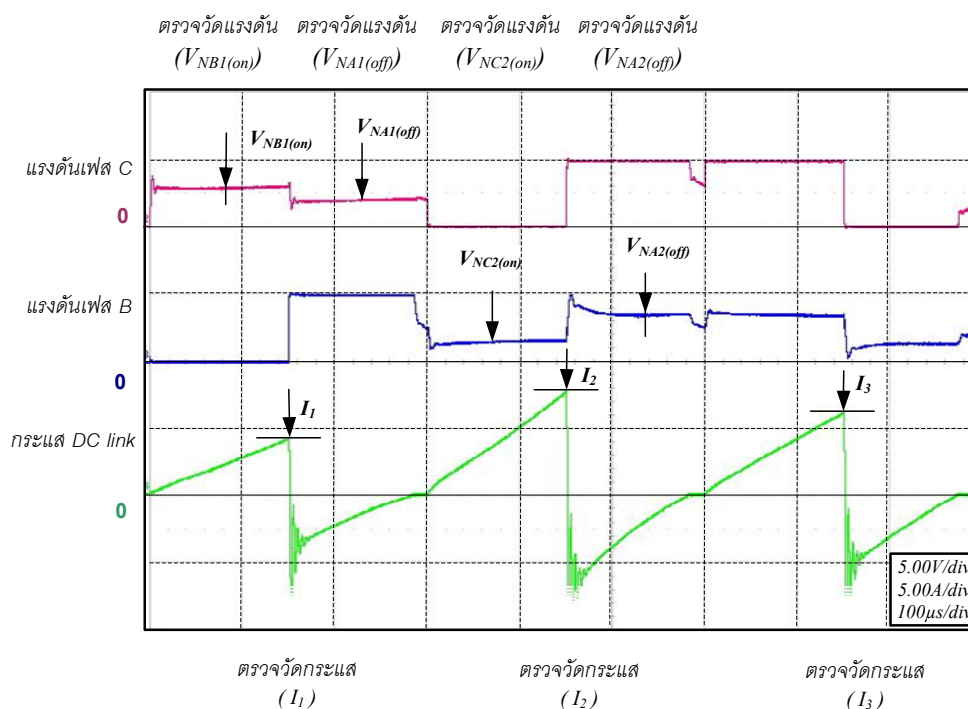
รูปที่ 4.32 ระดับค่ากระแส DC-link และระดับแรงดันเมื่อโรเตอร์อยู่ในช่วง $300^\circ < \theta_0 \leq 330^\circ$



รูปที่ 4.33 ระดับค่ากระแส DC-link ทั้งสามค่าเมื่อหัวของโรเตอร์อยู่ในช่วง $330^\circ < \theta_0 \leq 360^\circ$

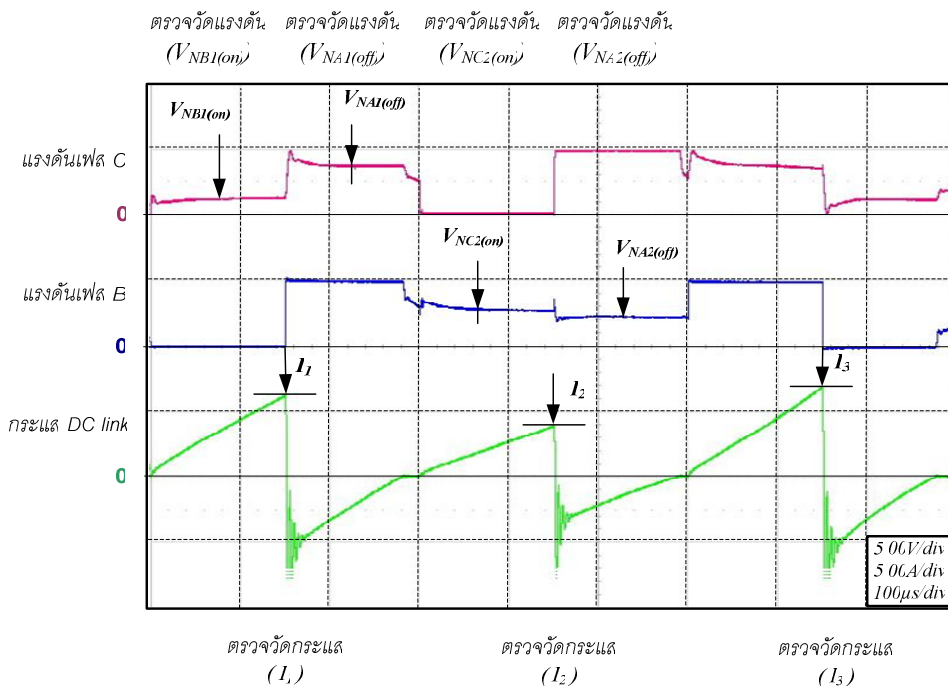
4.3 ขอบเขตของการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์

การประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ของวิธีการที่นำเสนอขึ้น จะพิจารณาจากค่ามุมใดมุมหนึ่งที่อยู่ในช่วงของมุมตามรูปแบบที่กำหนด เพื่อพิสูจน์ว่าเมื่อโรเตอร์อยู่ที่มุมใดๆ ในช่วงมุมหนึ่งจะสามารถประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ได้ การทดสอบจะกำหนดตำแหน่งโรเตอร์ไว้ที่มุม 43° จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.34 ค่าระดับแรงดันสามารถบอกได้ว่าตำแหน่งของโรเตอร์อยู่ในช่วงมุม $30^\circ < \theta_0 \leq 60^\circ$ หรือ $210^\circ < \theta_0 \leq 240^\circ$ และระดับกระแสจากรูปจะเห็นได้ว่าระดับกระแส I_2 มีค่ามากกว่าระดับกระแส I_3 เมื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.3 จึงสามารถบอกได้ว่า ตำแหน่งหัวแม่เหล็กของโรเตอร์อยู่ในช่วง $30^\circ < \theta_0 \leq 60^\circ$

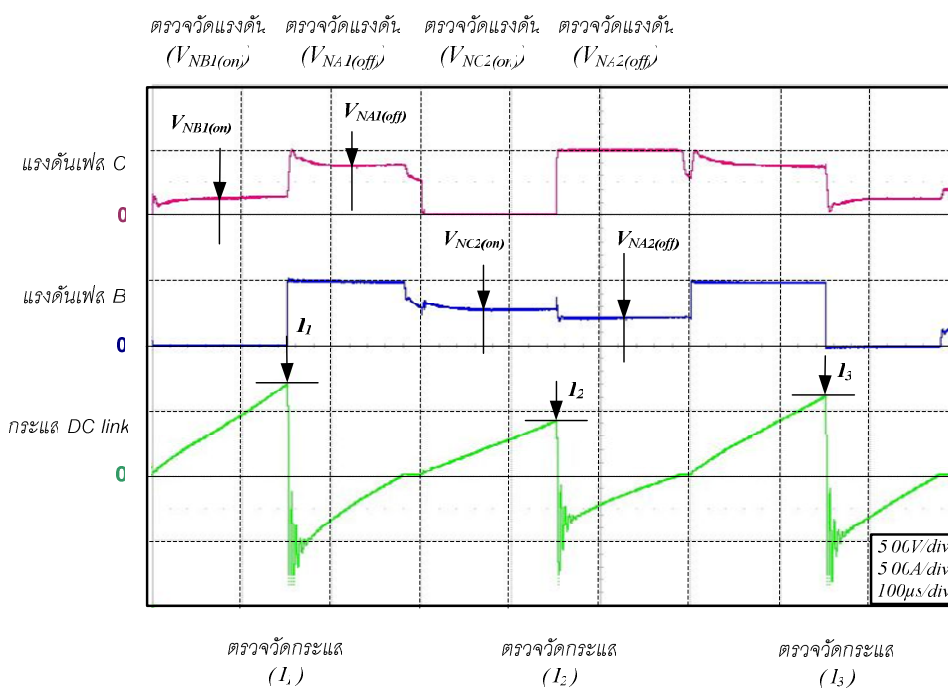


รูปที่ 4.34 การประมาณค่าตำแหน่งเมื่อกำหนดให้โรเตอร์อยู่ที่มุม 43°

จากรูปที่ 4.35 และ 4.36 เป็นการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่าการเปรียบเทียบค่าระดับกระแส จะช่วยในการกำหนดตำแหน่งขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ได้ จากผลการทดลองทั้งสองช่วงสามารถบอกได้ว่าตำแหน่งของโรเตอร์ อยู่ในช่วงมุม $120^\circ < \theta_0 \leq 150^\circ$ หรือ $300^\circ < \theta_0 \leq 330^\circ$ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งใด เมื่อเปรียบเทียบระดับค่ากระแส I_1 และ I_3 เมื่อกระแส I_1 น้อยกว่า I_3 ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์จะอยู่ในช่วง $120^\circ < \theta_0 \leq 150^\circ$ และถ้ากระแส I_1 มากกว่า I_3 ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์จะอยู่ในช่วง $300^\circ < \theta_0 \leq 330^\circ$ ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้สามารถยืนยันได้ว่า ในขณะที่ตำแหน่งของโรเตอร์อยู่ที่มุมใดๆ ในช่วงของมุมตามรูปแบบที่กำหนด ด้วยวิธีการที่นำเสนอนี้ จะสามารถประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ได้



รูปที่ 4.35 การประมาณค่าตำแหน่งเมื่อกำหนดให้โรเตอร์อยู่ที่มุม 125°



รูปที่ 4.36 การประมาณค่าตำแหน่งเมื่อกำหนดให้โรเตอร์อยู่ที่มุม 305°

จากตารางที่ 4.2 เป็นการทดสอบการจ่ายแรงดันพัลส์ระหว่างมุม 293° ถึง 305° ผลที่ได้จะมีทั้งค่ากระแสและแรงดันซึ่งได้ผ่านการแปลงด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่ง

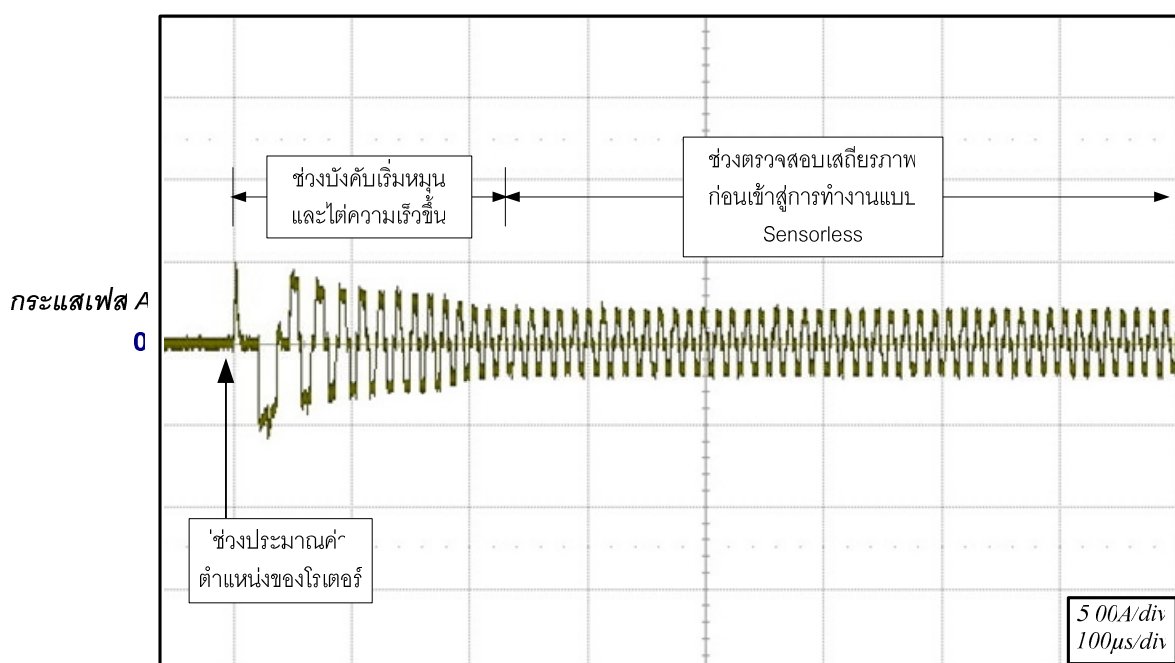
ผลออกมาในรูปแบบของตัวเลขฐานสิบ จากตารางจะสังเกตได้ว่าขอบเขตของช่วงมุมที่ยึดออกมาอยู่ที่มุมระหว่าง 295° ถึง 296° จากเดิมควรจะอยู่ที่ 300° ถึง 301° จากผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่า ช่วงมุม $270^\circ < \theta_0 \leq 300^\circ$ จะเหลือเพียง $270^\circ < \theta_0 \leq 295^\circ$ เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ค่าความเหนี่ยวนำในแต่ละอาจจะไม่สมมาตรกัน และอาจจะเกิดการจับยึดโรเตอร์ไม่แน่นในขณะทดสอบจึงทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไป

ตารางที่ 4.2 ผลการประมาณค่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนจากช่วงมุมที่กำหนด

ตำแหน่ง ของ โรเตอร์	ผลจากการแปลงข้อมูลกระแสและแรงดัน (ตัวเลขฐานสิบ)						
	$V_{NB1(on)}$	$V_{NA1(off)}$	$V_{NC2(on)}$	$V_{NA2(off)}$	I_1	I_2	I_3
293°	163	777	493	519	605	581	612
294°	157	784	498	513	607	579	610
295°	153	789	502	509	608	579	610
296°	149	790	506	504	609	578	614
297°	145	793	512	497	607	574	613
298°	144	794	517	493	609	576	613
299°	143	793	524	488	609	574	613
300°	144	795	531	482	608	573	616
301°	143	797	537	481	610	574	616
302°	147	792	543	472	611	574	617
303°	150	790	545	468	614	573	618
304°	156	784	554	461	613	574	620
305°	162	776	564	455	614	572	620

4.3 ผลการทดลองการเริ่มต้นทำงาน

จากรูปที่ 4.37 แสดงสัญญาณกระแสที่เฟส A ในช่วงเริ่มต้นการทำงานของมอเตอร์ BLDC ในคอมเพรสเซอร์ ที่ใช้วิธีการประมาณค่าตำแหน่งของโรเตอร์ด้วยวิธีการที่นำเสนอมาแทนที่ในช่วงกำหนดตำแหน่งปรับแนว จากการเปรียบเทียบผลจากรูปที่ 1.2 และรูปที่ 4.37 จะเห็นได้ว่าสามารถเริ่มต้นทำงานได้โดยที่ไม่มีกระแสกระชากในช่วงเริ่มต้นการทำงาน ในช่วงไต่ความเร็วขึ้น และช่วงตรวจสอบความเสถียรภาพ ก็สามารถทำงานได้ปกติ ซึ่งระดับกระแสกระชากลดลงมาจากเดิมถึง 8 แอมป์ และเมื่อเทียบกับรูปที่ 1.1 กับรูปที่ 4.37 จะเห็นได้ว่าในช่วงบังคับเริ่มหมุนระดับกระแสกระชากลดลงมาจากเดิมถึง 13 แอมป์ และไม่มีกระแสกระชากในช่วงการกำหนดตำแหน่งปรับแนว หรือจุดเริ่มต้นของโรเตอร์นั่นเอง ในกรณีของความเร็วในการเริ่มต้นทำงานนั้น เมื่อเทียบจากรูปทั้งสอง จะเห็นได้ว่าสามารถเริ่มต้นทำงานได้เร็วกว่าเดิมถึง 0.5 วินาที ในระบบเครื่องปรับอากาศอาจจะไม่มีผลอะไร แต่ถ้านำไปประยุกต์กับงานประเภทควบคุมตำแหน่งจะสำคัญอย่างยิ่ง เพราะต้องการการตอบสนองการเริ่มต้นทำงานที่รวดเร็ว และโรเตอร์ต้องไม่มีการเคลื่อนตัวไปมาในขณะที่เริ่มต้นทำงาน ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งนั้นผิดพลาดได้



รูปที่ 4.37 กระแสเฟส A ในช่วงเริ่มต้นทำงานด้วยวิธีการที่นำเสนอ

จากตารางที่ 4.3 จะเป็นการเปรียบเทียบราคาโมดูลที่ขายจริงตามท้องตลาดโดยเปรียบเทียบราคาในแต่ละขนาดพิกัดกระแส ซึ่งจากผลการทดลองด้วยวิธีการเดิมในรูปที่ 1.1 ต้องใช้พิกัดกระแสของไอจีบีทีโมดูลที่ 30 แอมป์ เนื่องจากผลของกระแสมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดกระแสของไอจีบีทีโมดูลที่ 20 แอมป์ มากเกินไปจึงต้องเลือกใช้พิกัด 30 แอมป์ เนื่องจากไอจีบีทีที่อยู่ในโมดูลแต่ละตัวจะสามารถทนกระแสสูงสุดได้ตามพิกัด ตัวอย่างเช่นที่พิกัด 20 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะทนได้ 40 แอมป์ได้ชั่วขณะหนึ่งเท่านั้นซึ่งโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 10 μ s เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าพิกัดจะลดลงจากเดิมอีกจึงทำให้ทนกระแสได้ต่ำกว่า 40 แอมป์ เมื่อดูผลของกระแสที่เกิดขึ้นดังในรูปที่ 1.1 กระแสสูงสุดเท่ากับ 17 แอมป์มีช่วงเวลาต่อหนึ่งลูกมากกว่า 10 ms ซึ่งอาจจะเสี่ยงเกินไปที่จะใช้โมดูลที่พิกัด 20 แอมป์ ดังนั้นด้วยวิธีการที่นำเสนอที่ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.37 จะสามารถใช้ไอจีบีทีโมดูลที่พิกัดกระแสเพียง 10 แอมป์ เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถลดราคาต้นทุนการผลิตจากราคาเดิมได้ถึง 26 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 รายการราคาขายต่อตัวของไอจีบีทีโมดูลจากเว็บไซต์ Digi-key.com

<u>Digi-Key Part Number</u>	<u>Manufacturer Part Number</u>	<u>Description</u>	<u>Manufacturer</u>	<u>Applications</u>	<u>Unit Price USD</u>	<u>Unit Price B</u>
<u>FSAM10SH60A-ND</u>	FSAM10SH60A	SMART POWER MODULE 10A SPM32-AA	Fairchild Semiconductor	AC Motor Driver	<u>18.20000</u>	<u>648.4332</u>
<u>FSAM15SH60A-ND</u>	FSAM15SH60A	SMART POWER MODULE 15A SPM32-AA	Fairchild Semiconductor	AC Motor Driver	<u>19.26000</u>	<u>686.1991</u>
<u>FSAM20SH60A-ND</u>	FSAM20SH60A	SMART POWER MODULE 20A SPM32-AA	Fairchild Semiconductor	AC Motor Driver	<u>21.40000</u>	<u>762.4435</u>
<u>FSAM30SH60A-ND</u>	FSAM30SH60A	SMART POWER MODULE 30A SPM32-AA	Fairchild Semiconductor	AC Motor Driver	<u>24.62000</u>	<u>877.1663</u>

(10:35:23 3/26/2009 35.6282B = 1 USD)

หมายเหตุ: ราคาดังกล่าวเป็นราคาขายต่อตัวจึงมีราคาสูงกว่าปกติ แต่เมื่อนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ การสั่งซื้อในจำนวนมากๆ จะทำให้ราคาต้นทุนลดลงได้อีก