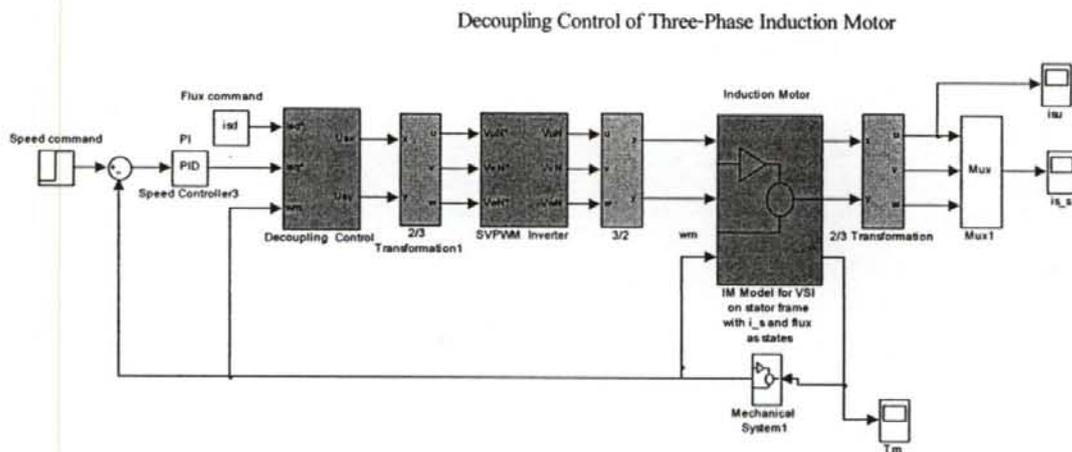


บทที่ 3 การจำลองระบบควบคุม

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบปรับความเร็วรอบโดยปรับแรงดันและความถี่โดยวิธีการแยกการเชื่อมร่วม (Decoupling Control) ซึ่งจะแบ่งเนื้อหาในบทนี้เป็นหัวข้อย่อยๆดังต่อไปนี้

3.1 การจำลองการทำงานระบบควบคุม

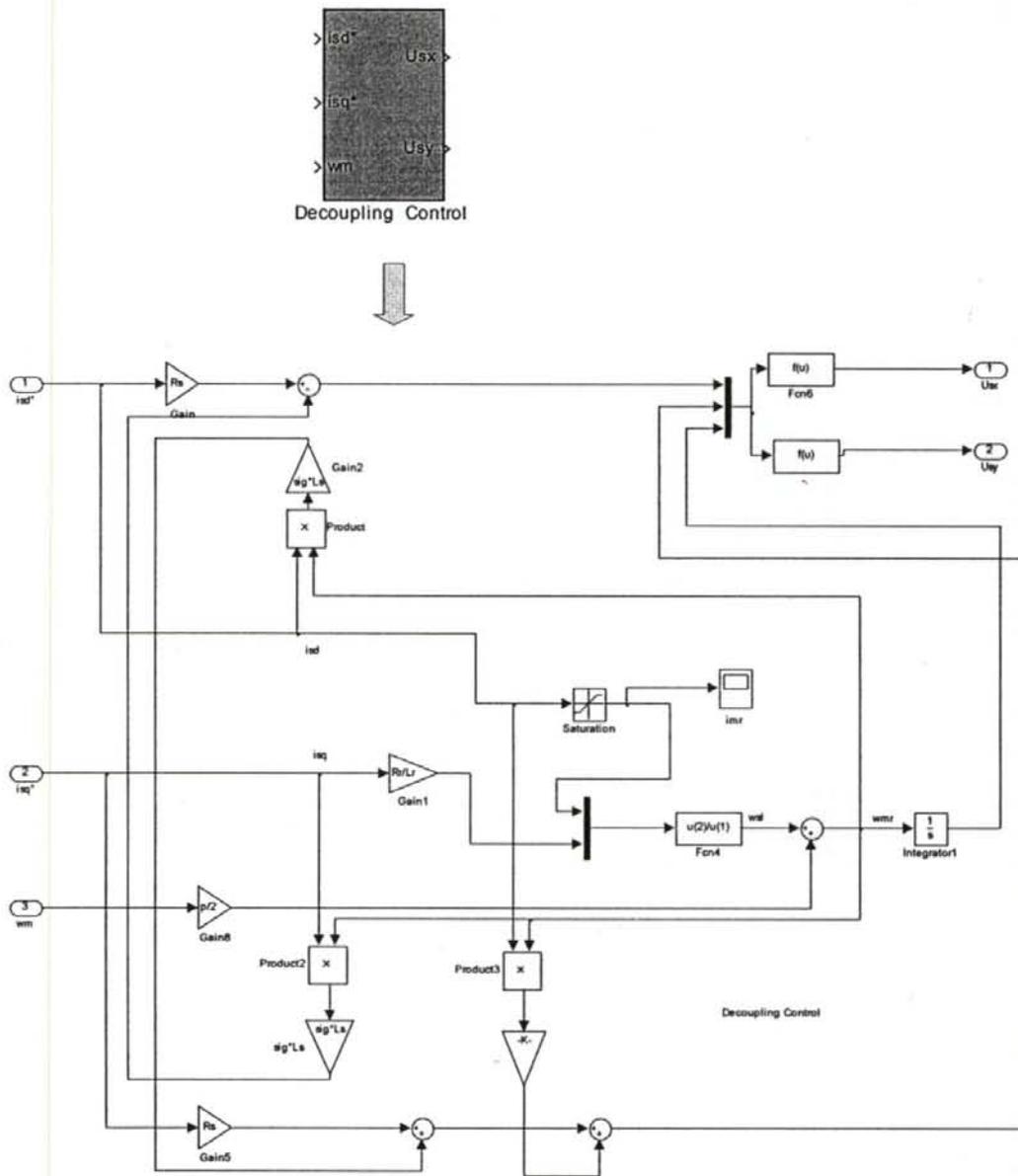
การจำลองระบบการควบคุมจะใช้โปรแกรมการทำงานของ MATLAB SIMULINK โดยโครงสร้างระบบโดยรวมแสดงดังรูปที่ 3.1 คำสั่งของระบบควบคุมนี้ข้อมูลที่ทำการตรวจจับคือค่าความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะนำมาผ่านตัวคอนโทรลเลอร์ (Controller) ควบคุมความเร็ว ในส่วนของคอนโทรลเลอร์นี้จะใช้คอนโทรลเลอร์แบบพีไอคอนโทรลในการหาค่ากระแสในแกนคิวหรือกระแสสร้างแรงบิดนั่นเอง และในส่วนของกระแสในแกนดีหรือกระแสในส่วนที่จะต้องสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก



รูปที่ 3.1 แสดงระบบโดยรวมของ Decoupling Control

3.1.1 ระบบการควบคุมแบบแยกการเชื่อมร่วม

ส่วนของระบบการควบคุมแบบแยกการเชื่อมร่วมสามารถแสดงโครงสร้างภายในดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างภายในของส่วน Decoupling Control

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.3 แรงดันที่ต้องการคือแรงดันในแนวแกน ดี (V_{sd}^*) และแรงดันในแนวแกน คิว (V_{sq}^*) ที่อ้างอิงบนแกนโรเตอร์ฟลักซ์ดังจากสมการที่ 2.27 และ 2.28 ตามลำดับ

$$V_{sd}^* = R_s i_{sd}^* + \omega_{mR} \sigma L_s$$

$$V_{sq}^* = R_s i_{sq}^* + \left(\sigma L_s + \frac{M^2}{L_r} \right) \omega_{mR} i_{sd}^*$$

จากนั้นนำค่าแรงดัน $\{V_{sq}^*, V_{sd}^*\}$ มาทำการแปลงแกนบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ x,y หรือ α, β ดังสมการต่อที่ 3.1-3.3 โดยจะต้องกำหนดมุมโรเตอร์ฟลักซ์ก่อนจากสมการที่ 2.30

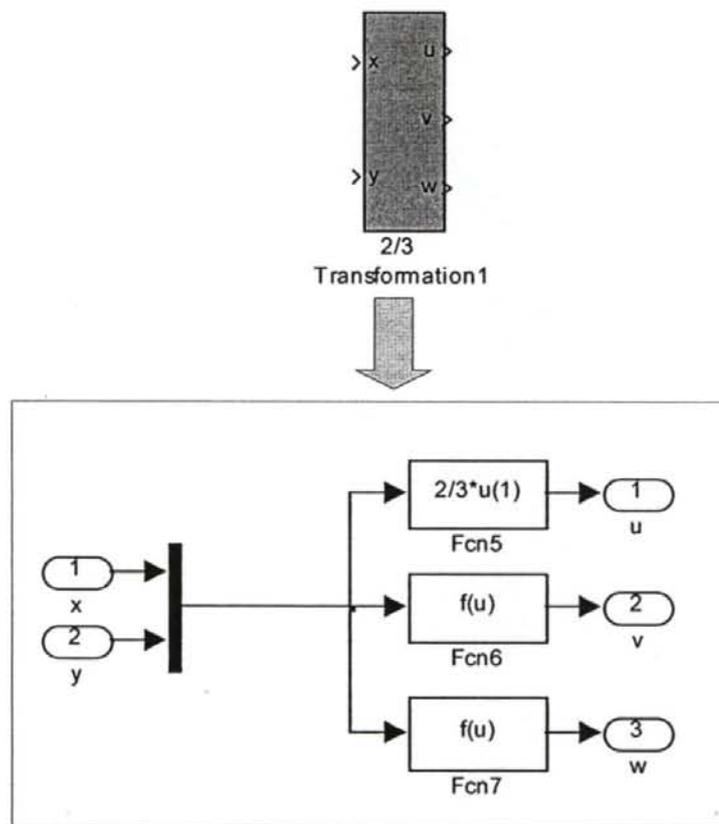
$$x + jy = (d + jq)e^{j\rho} \tag{3.1}$$

$$x + jy = d \cos \rho - q \sin \rho + jq \sin \rho + jd \sin \rho \tag{3.2}$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{sd}^* \cos \rho & -V_{sq}^* \sin \rho \\ V_{sd}^* \sin \rho & V_{sq}^* \cos \rho \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

3.1.2 Inverse Transformation 2/3

การแปลงแกนจากแกนอ้างอิงสเตเตอร์อยู่ในแกนสามเฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



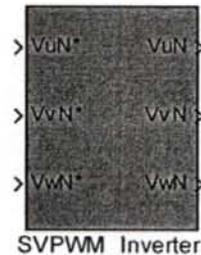
รูปที่ 3.3 การแปลงแกนจาก 2 เป็น 3 เฟส

จากสมการที่ 3.3 คือการทำ Inverse Transformation 2/3 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_{su} \\ V_{sv} \\ V_{sw} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sx}^* \\ V_{sy}^* \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

3.1.3 สเปซเวกเตอร์พัลส์วิธมอดูเลชัน (Space Vector Pulse Width Modulation : SVPWM)

จาก 2/3 Transformation Block เราจะได้แรงดัน $V_{UN}^*, V_{VN}^*, V_{WN}^*$ ซึ่งเป็นคำสั่งที่จะไปจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อทำการปรับค่าความเร็วตามคำสั่ง จะสังเกตเห็นว่า $V_{UN}^*, V_{VN}^*, V_{WN}^*$ เป็นเพียงแรงดันคำสั่งไม่สามารถจ่ายให้กับมอเตอร์ได้ แต่จะนำเอาคำสั่งแรงดันนี้ไปเป็นตัวสร้างแรงดันที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์จริงๆ ในรูปของ PWM ซึ่งจากบล็อกไดอะแกรมจะใช้แหล่งจ่ายจาก Voltage Source ที่เป็นแบบ SVPWM ดังรูปที่ 3.4



Space Vector Pulse-Width Modulation

รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram SVPWM

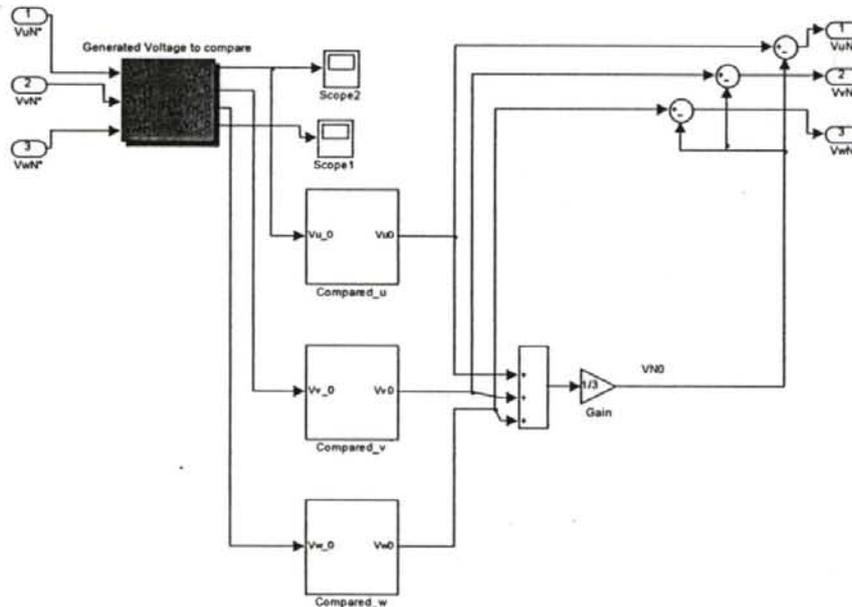
ในการสร้าง Block Diagram SVPWM โดยที่ไม่ต้องคำนวณเวลาและ Switching pattern นั้นจะเริ่มจากการที่เราได้ค่าแรงดันที่เป็น Space Vector และผ่านการแปลงแบบ 2/3 Transformation แล้วนั้นเราจะได้ค่าแรงดันคำสั่งออกมาเป็นดังสมการ 3.5 – 3.7

$$V_{UN}^* = \frac{2}{3} \text{Re}[\vec{V}_s^*] = \frac{2}{3} A \cdot \cos \theta \quad (3.5)$$

$$V_{VN}^* = \frac{2}{3} A \cdot \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3.6)$$

$$V_{WN}^* = \frac{2}{3} A \cdot \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.5-3.7 สามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมหาค่า $V_{UN}^*, V_{VN}^*, V_{WN}^*$

การหาค่า $\bar{V}_{UN}, \bar{V}_{VN}, \bar{V}_{WN}$

หาค่า $\bar{V}_{UN} = V_{UN}^* = \bar{V}_{U0} - \bar{V}_{N0}$ ซึ่งหากเท่ากันก็จะทำการหาค่า \bar{V}_{U0} และ \bar{V}_{N0} แล้วนำมาลบกันก็จะได้อ่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์เท่ากับแรงดันคำสั่ง

$$\bar{V}_{UN} - \bar{V}_{N0} = \frac{A}{\sqrt{3}} \cos\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right) - \frac{A}{3} \cos\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right) \quad (3.8)$$

$$\bar{V}_{UN} - \bar{V}_{N0} = \frac{2}{3} A \cos\theta = V_{UN}^* \quad \# \quad (3.9)$$

พิจารณาหาค่า Zero Sequence Voltage (\bar{V}_{N0})

$$0 = \bar{V}_{UN} + \bar{V}_{VN} + \bar{V}_{WN} \quad (3.10)$$

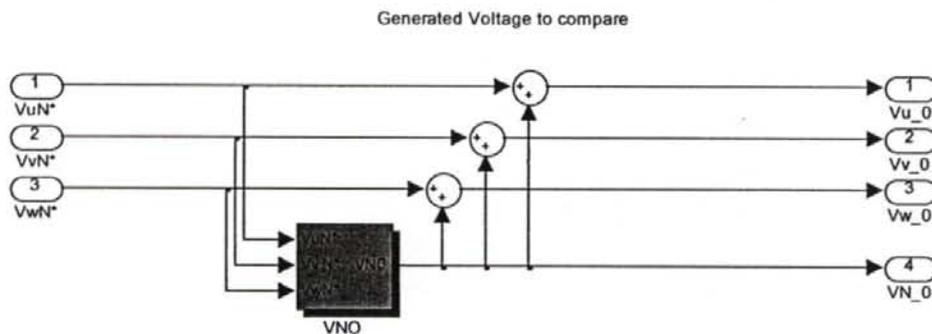
$$0 = (\bar{V}_{UN} - \bar{V}_{N0}) + (\bar{V}_{VN} - \bar{V}_{N0}) + (\bar{V}_{WN} - \bar{V}_{N0}) \quad (3.11)$$

$$0 = -3\bar{V}_{N0} + \bar{V}_{U0} + \bar{V}_{V0} + \bar{V}_{W0} \quad (3.12)$$

$$\bar{V}_{N0} = \frac{1}{3}(\bar{V}_{U0} + \bar{V}_{V0} + \bar{V}_{W0}) \quad (3.13)$$

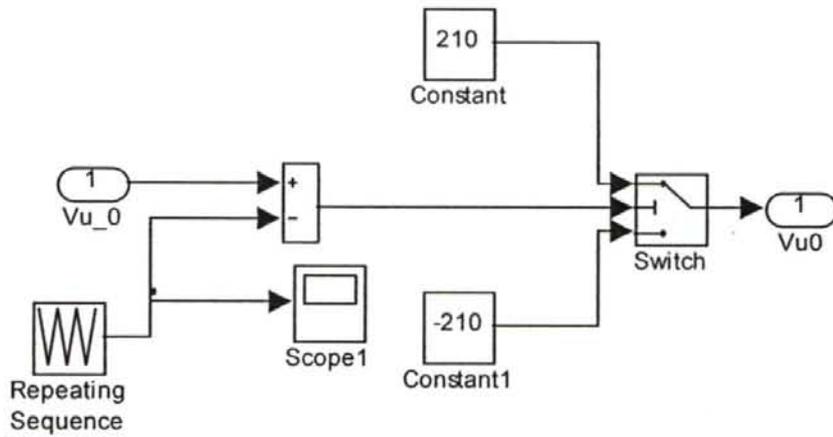
$$\bar{V}_{N0} = \frac{1}{3} \left[A \cdot \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \right] \quad (3.14)$$

ซึ่งสมการที่ 3.14 เท่ากับ $\frac{1}{2} V_{VN}^*$ โดยที่ V_{VN}^* เป็นแรงดันค่ากลางและค่าแรงดัน $\bar{V}_{UN}, \bar{V}_{VN}, \bar{V}_{WN}$ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงค่าแรงดัน $\bar{V}_{U0}, \bar{V}_{V0}, \bar{V}_{W0}$

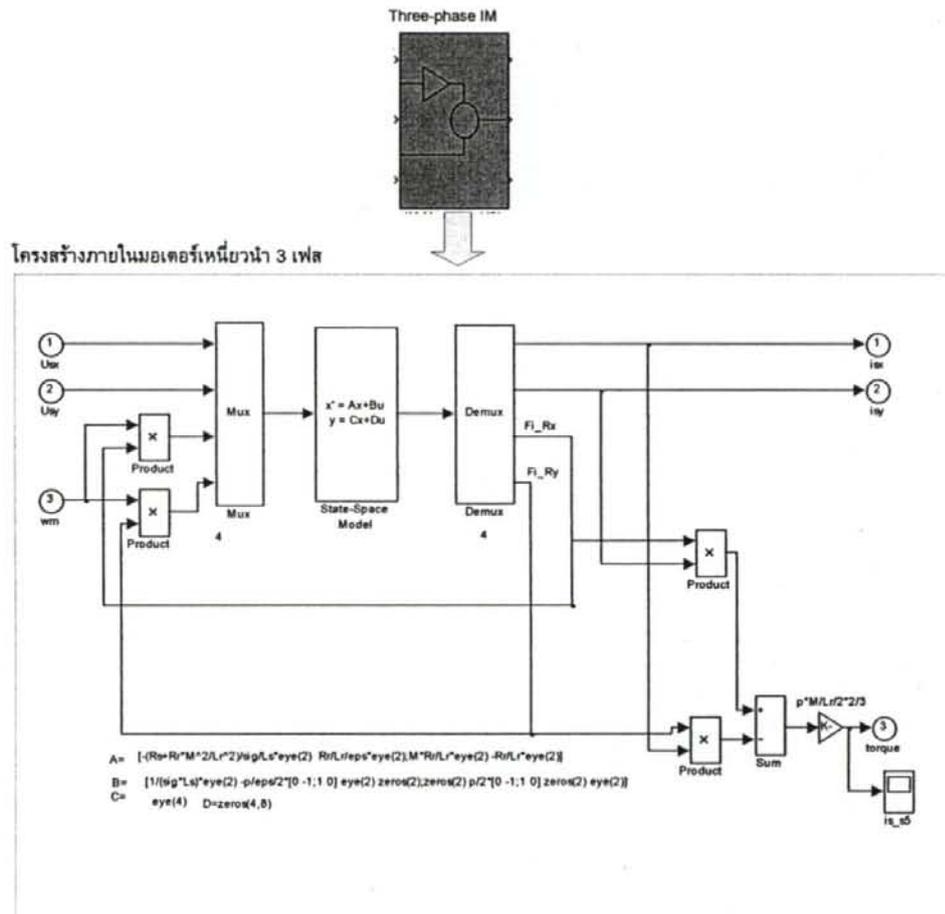
เมื่อได้ค่า $\bar{V}_{U0}, \bar{V}_{V0}, \bar{V}_{W0}$ จากนั้นจะนำค่านี้ไปทำการเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมที่จะสร้างแรงดันที่เหมาะสมให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสต่อไปและสามารถแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยม

3.2 บล็อกไดอะแกรมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ภายในบล็อกมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

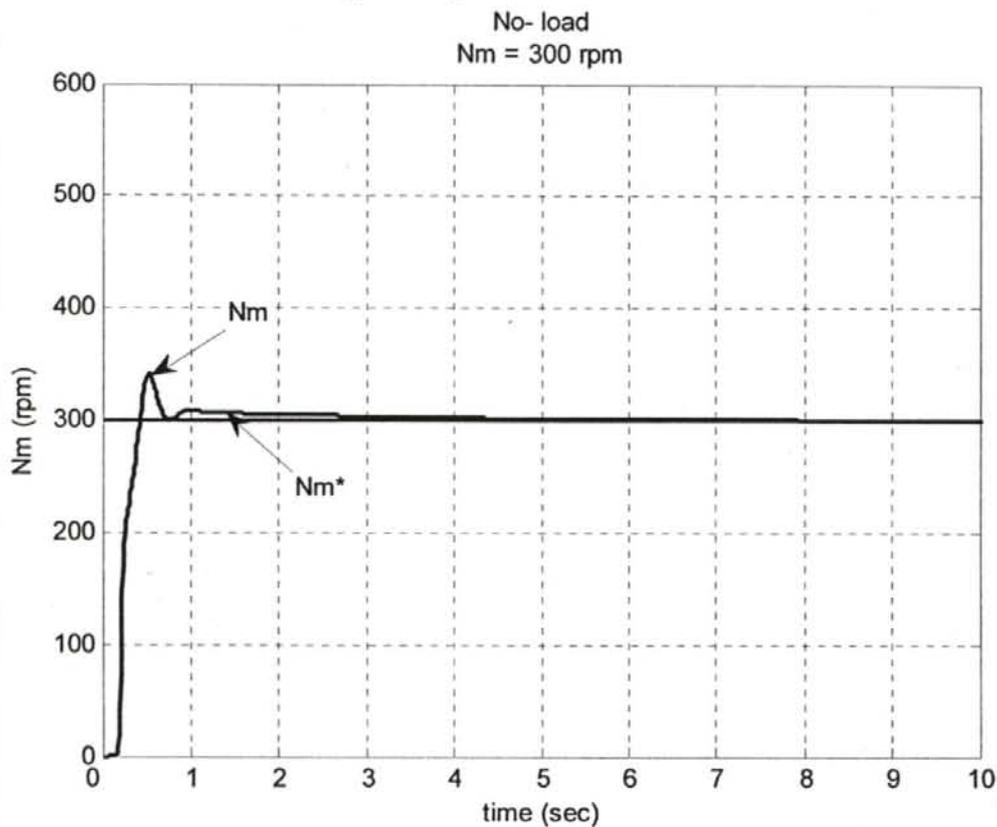
3.3 ผลการจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานของระบบการควบคุมมอเตอร์จะแบ่งการจำลองออกเป็นสองส่วนคือในส่วนที่มอเตอร์ทำงานที่สภาวะไร้โหลด และในสภาวะที่มอเตอร์ทำงานแบบมีโหลด

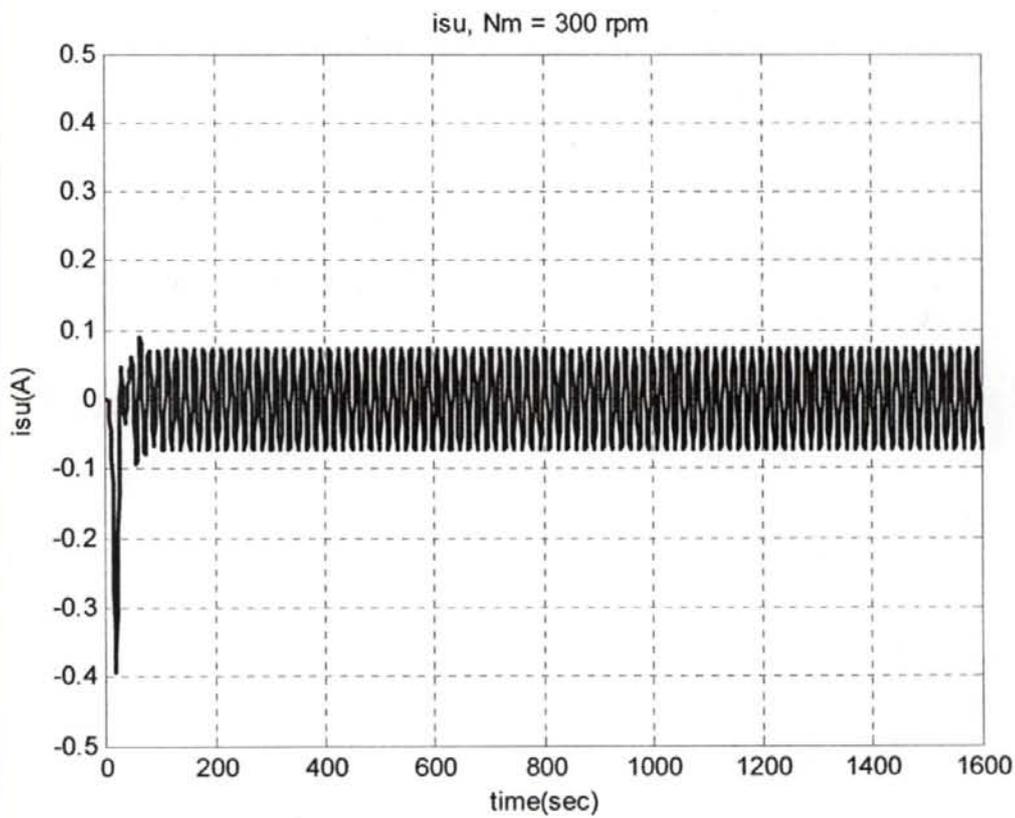
3.3.1 ผลการจำลองที่สภาวะไร้โหลด

ในส่วนการจำลองที่สภาวะไร้โหลดจะแบ่งออกเป็นการจำลองที่ความเร็ว $N_m = 300rpm$, $N_m = 700rpm$, $N_m = 1000rpm$ และ $N_m = 1300rpm$

1) การจำลองการทำงานที่ความเร็ว $N_m = 300rpm$



รูปที่ 3.9 ความเร็วมอเตอร์ที่สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วโรเตอร์ 300 rpm

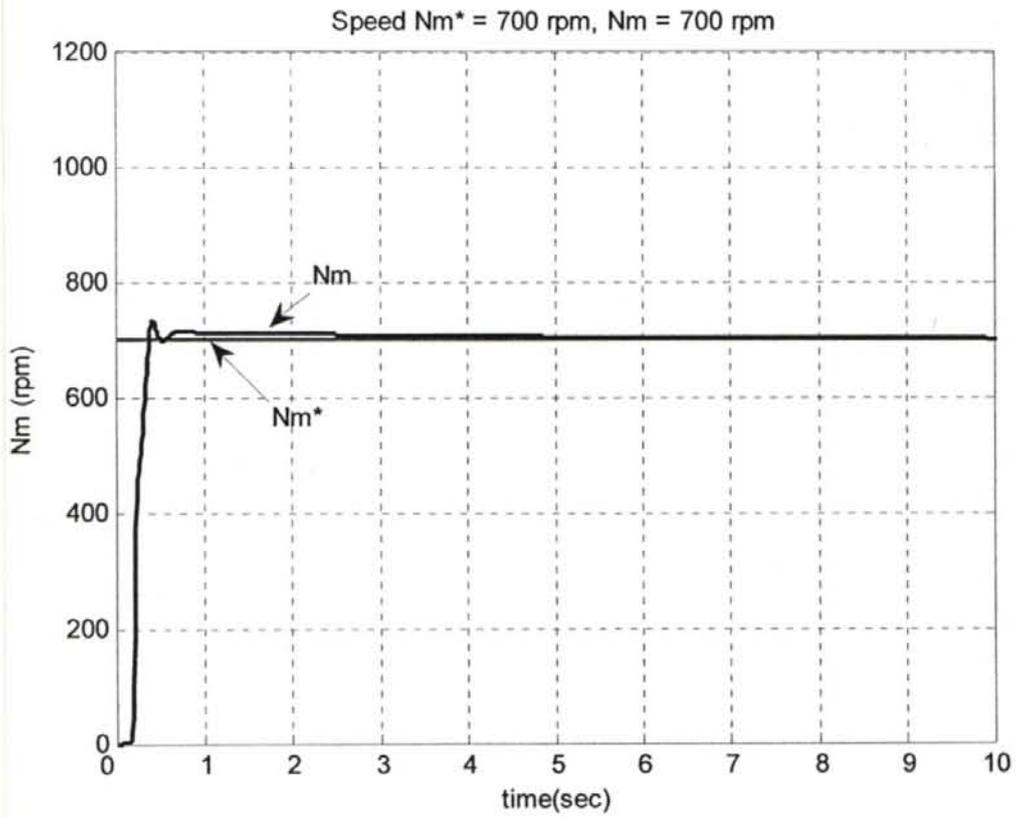


รูปที่ 3.10 กระแสสเตเตอร์สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วโรเตอร์ 300 rpm

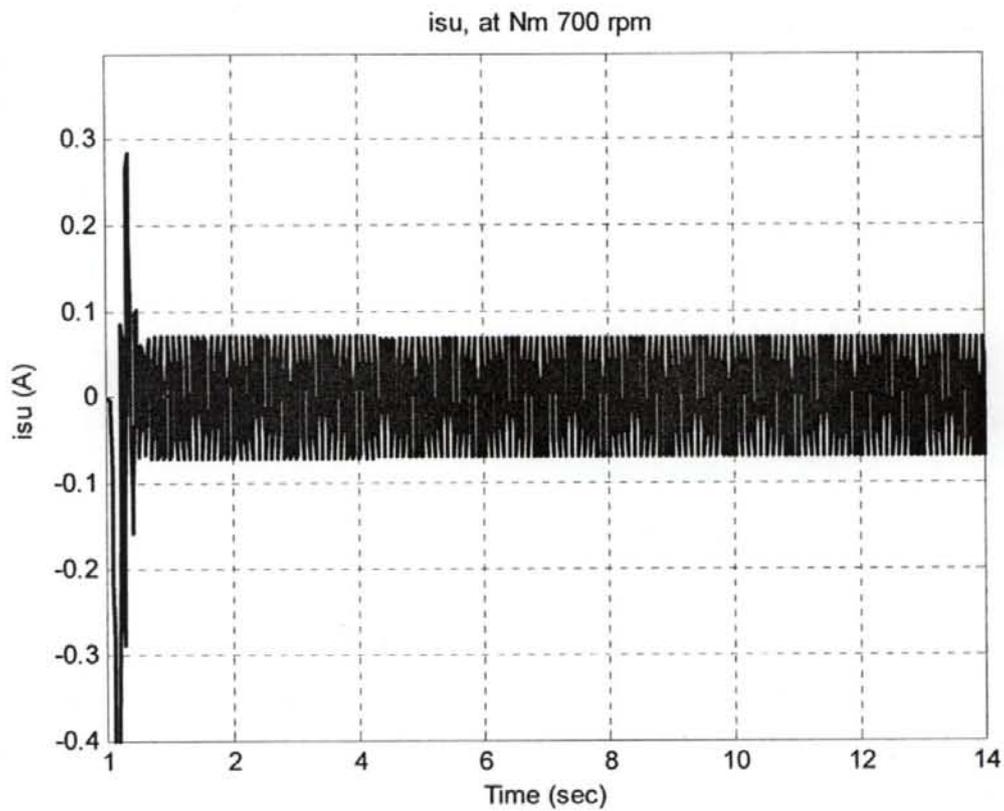
ผลจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.9 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 300rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และค่าความเร็วจริงจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่เวลาประมาณ 2.5 sec

ผลการจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.10 เป็นปริมาณของกระแสสเตเตอร์ที่เฟส u ซึ่งมอเตอร์สามารถควบคุมกระแสที่สเตเตอร์ได้เป็นอย่างดี

2) การจำลองการทำงานที่ความเร็ว $N_m = 700rpm$



รูปที่ 3.11 ความเร็วสภาวะไว้โหลดที่ความเร็วโรเตอร์ 700 rpm

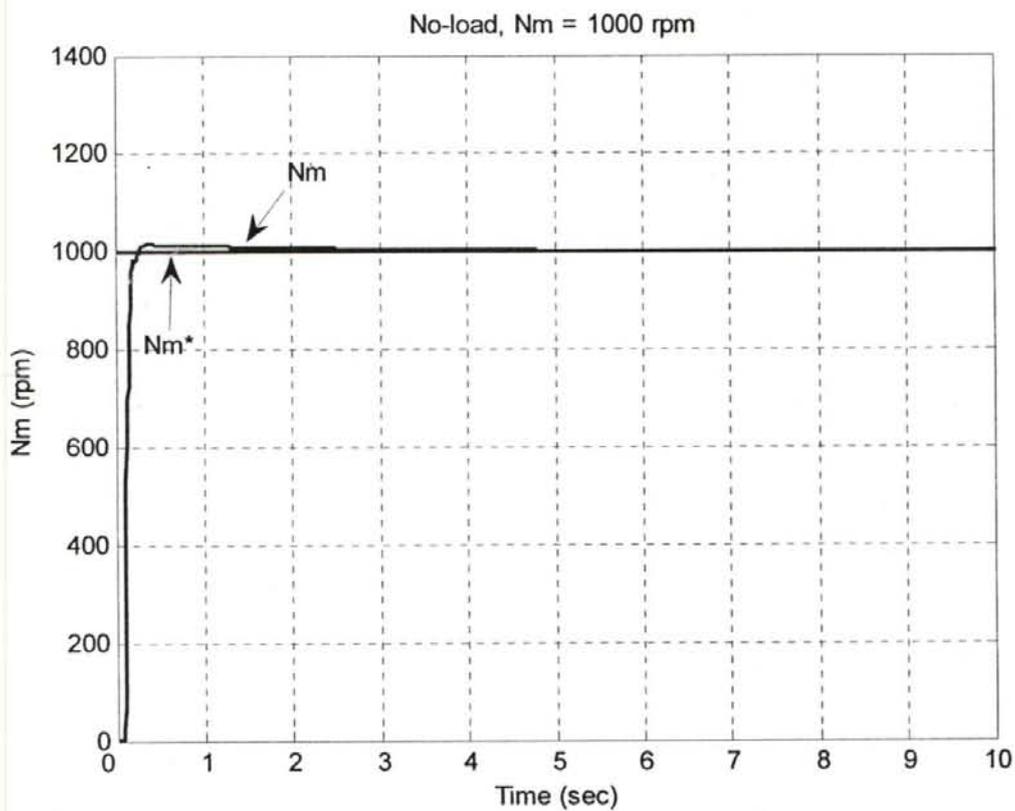


รูปที่ 3.12 กระแสเดเตอร์ที่สภาวะไว้โหลดที่ความเร็วโรเตอร์ 700 rpm

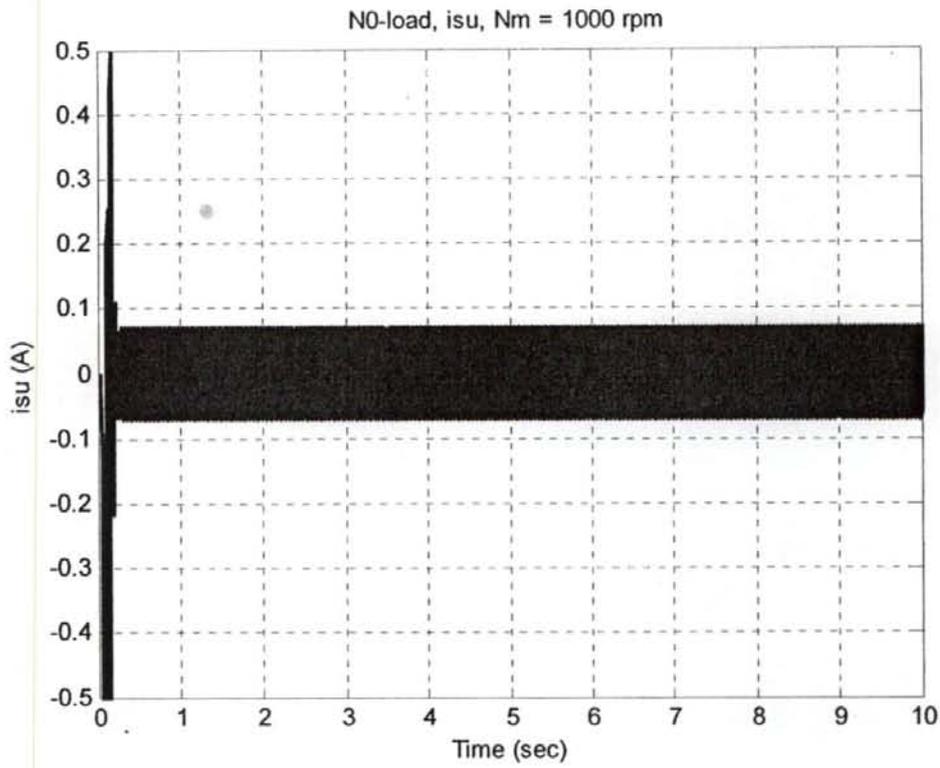
ผลจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.11 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 700rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และค่าความเร็วจริงจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่เวลาประมาณ 2.5 sec

ผลการจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.12 เป็นปริมาณของกระแสสแตเตอร์ที่เฟส u ซึ่งมอเตอร์สามารถควบคุมกระแสที่สแตเตอร์ได้เป็นอย่างดี

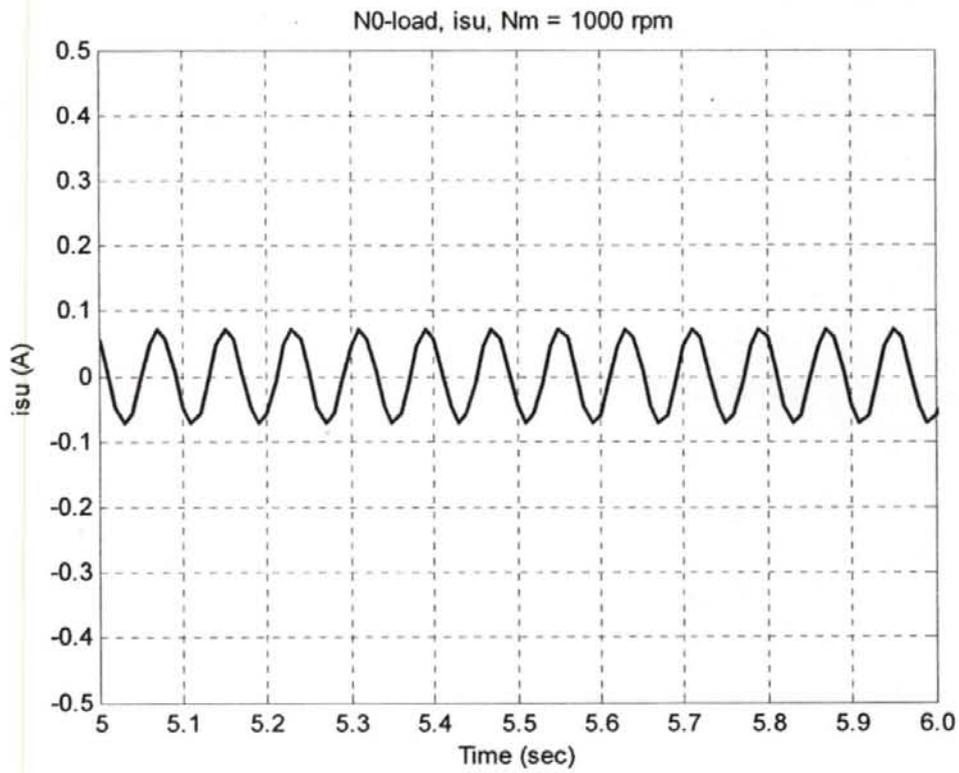
3) การจำลองการทำงานที่ความเร็ว $N_m = 1000rpm$



รูปที่ 3.13 ความเร็วมอเตอร์ที่สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ 1000 rpm



รูปที่ 3.14 กระแสเดเตอร์ที่สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ 1000 rpm

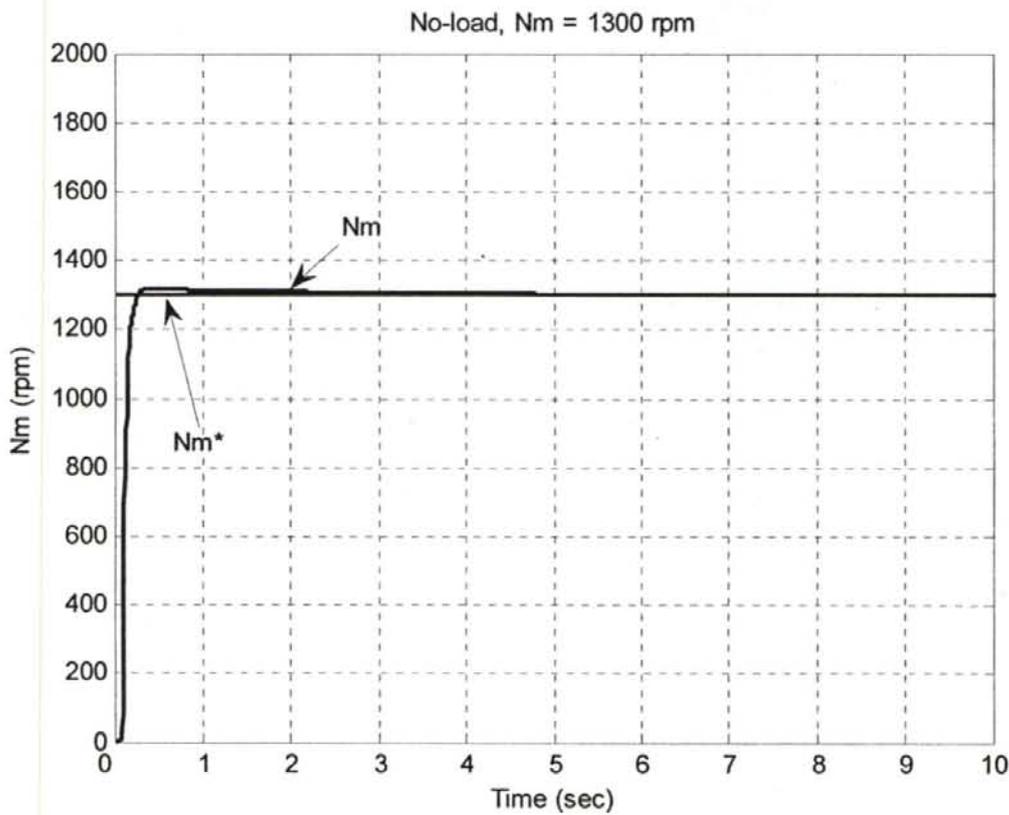


รูปที่ 3.15 กระแสเดเตอร์ที่สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ 1000 rpm

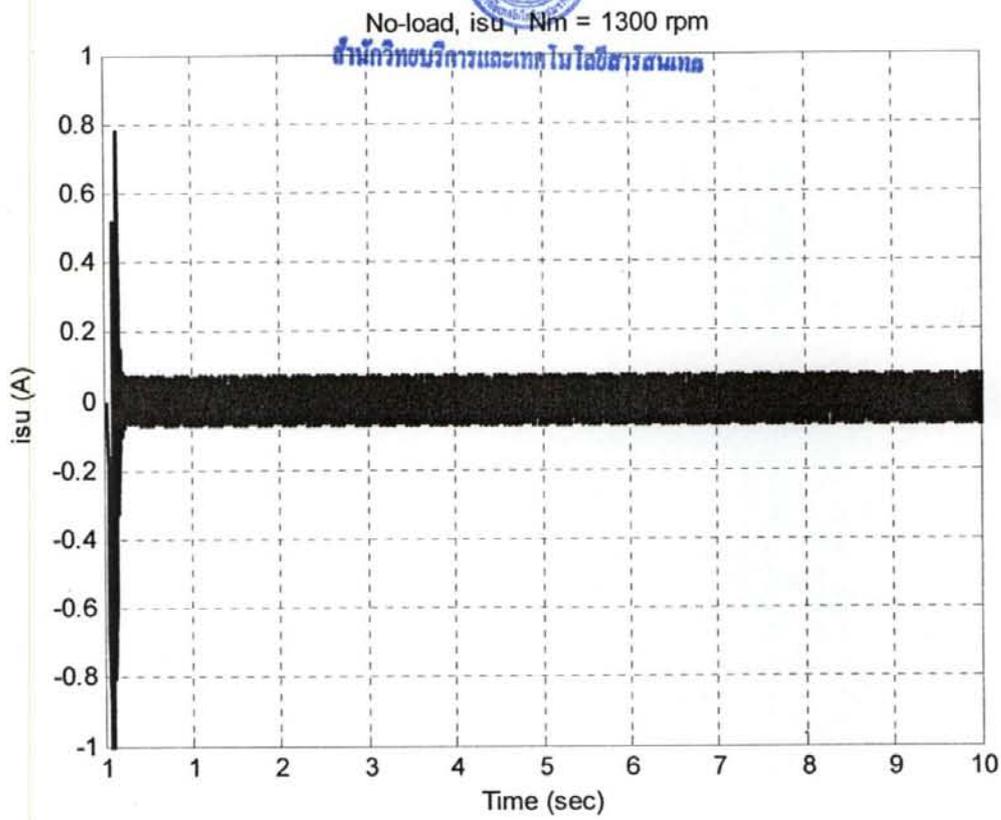
ผลจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.13 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 1000rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และค่าความเร็วจริงจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่เวลาประมาณ 2.5 sec

ผลการจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.14 เป็นปริมาณของกระแสเดเตอร์ที่เฟส u ซึ่งมอเตอร์สามารถควบคุมกระแสที่สเตเตอร์ได้เป็นอย่างดี และในรูปที่ 3.15 เป็นค่ากระแสเดเตอร์ที่ทำการขยายในช่วงของแกนเวลาทำให้เห็นว่ากระแสเดเตอร์เป็นรูปไซน์

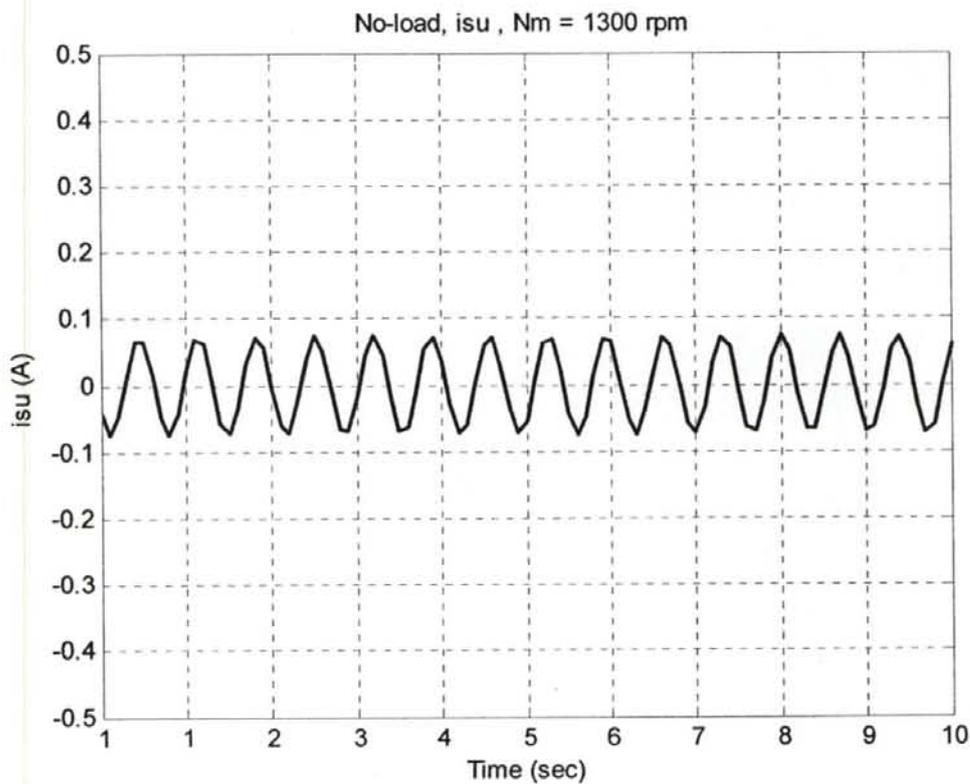
4) การจำลองการทำงานที่ความเร็ว $N_m = 1300rpm$



รูปที่ 3.16 ความเร็วมอเตอร์ที่สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วโรเตอร์ 1300 rpm



รูปที่ 3.17 กระแสสเตเตอร์ที่สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ 1300 rpm



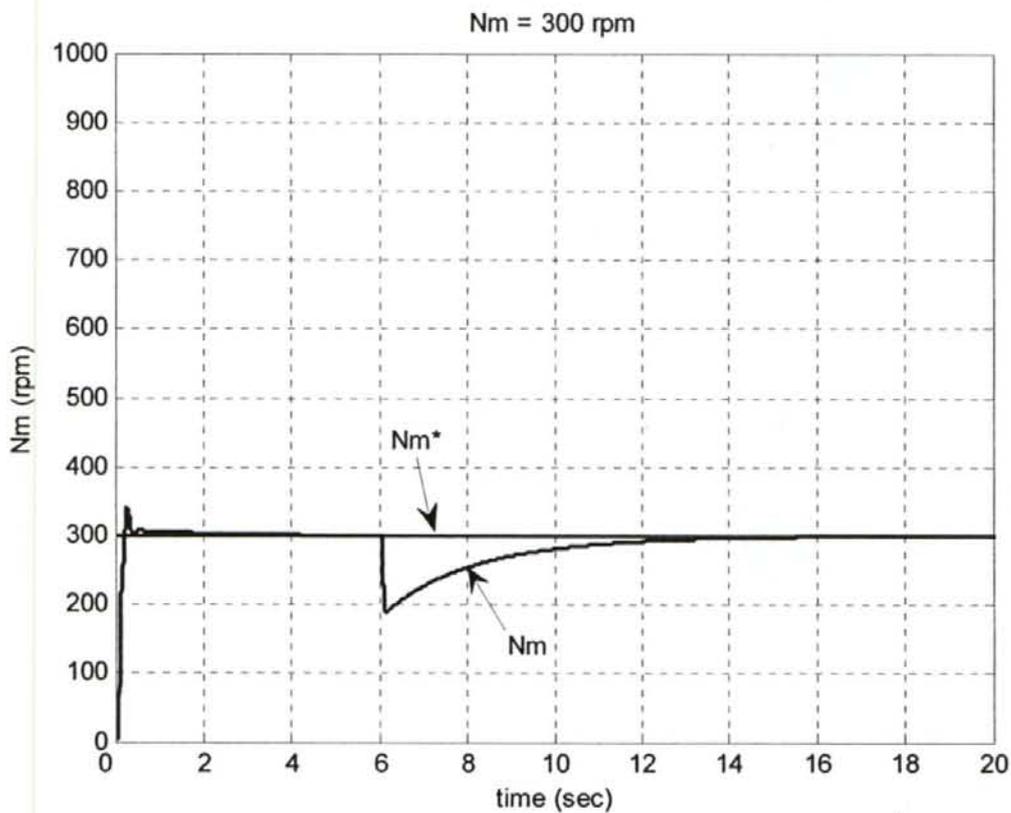
รูปที่ 3.18 กระแสสเตเตอร์สภาวะไร้โหลดที่ความเร็วโรเตอร์ 1300 rpm

ผลจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.16 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 1300rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และค่าความเร็วจริงจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่เวลาประมาณ 2.5 sec

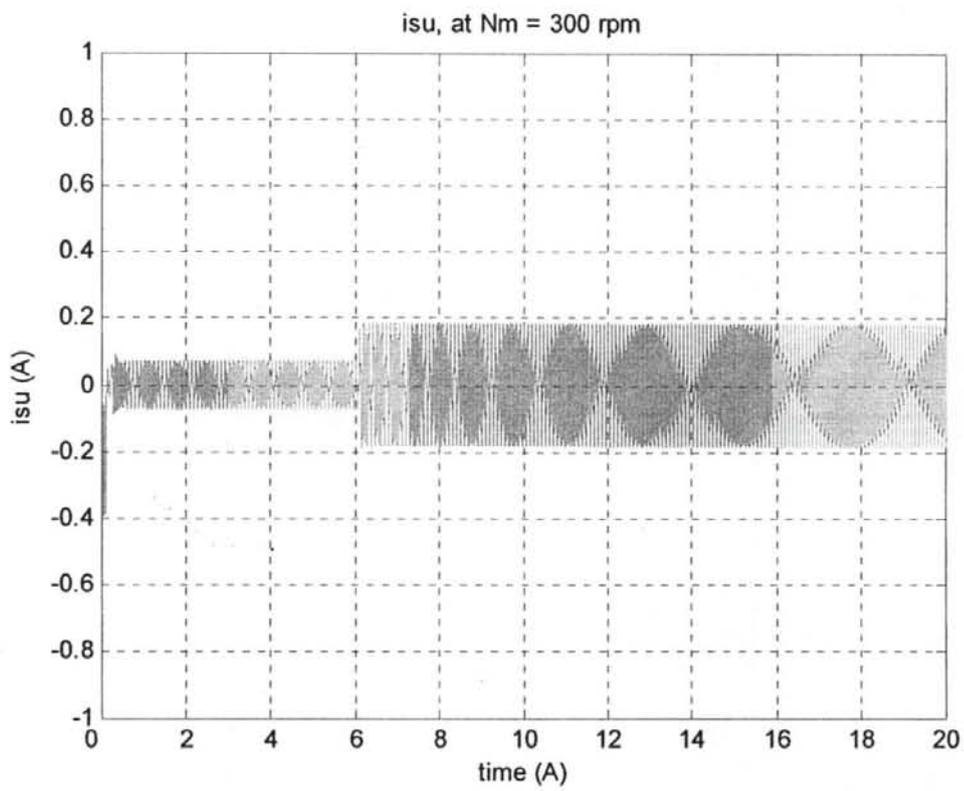
ผลการจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.17 เป็นปริมาณของกระแสเดเตอร์ที่เฟส u ซึ่งมอเตอร์สามารถควบคุมกระแสที่สเตเตอร์ได้เป็นอย่างดี และในรูปที่ 3.18 เป็นค่ากระแสเดเตอร์ที่ทำให้การขยายในช่วงของแกนเวลาทำให้เห็นว่ากระแสเดเตอร์เป็นรูปไซน์

3.3.2 ผลการจำลองการทำงานที่สภาวะจ่ายโหลด

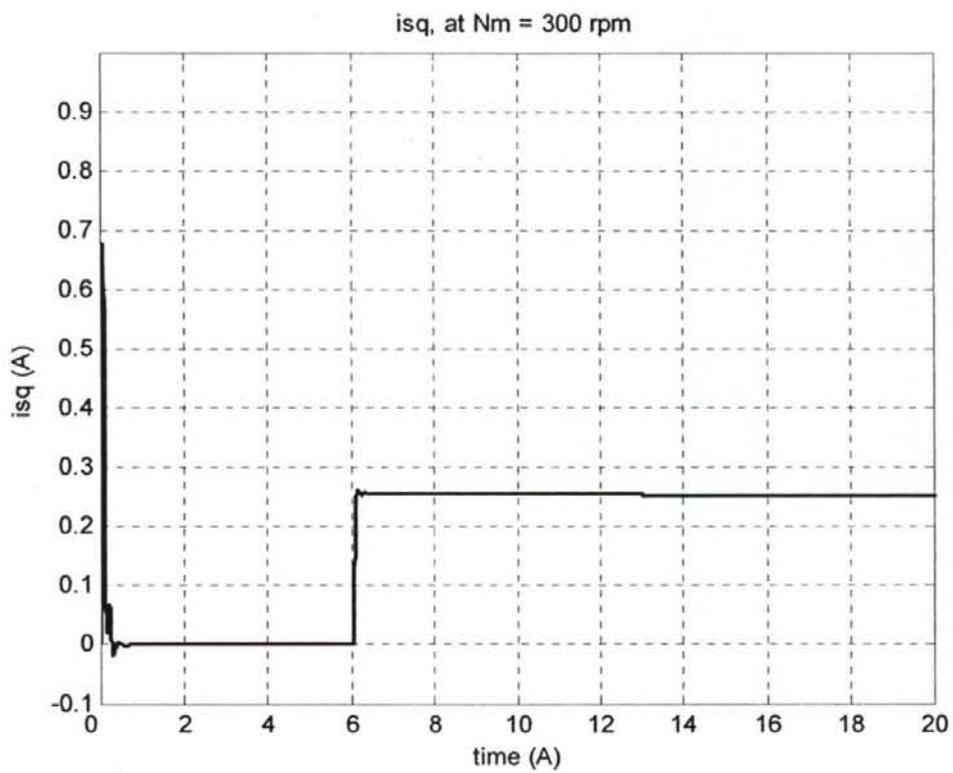
1) การจำลองการทำงานที่ความเร็ว $N_m = 300rpm$



รูปที่ 3.19 ความเร็วมอเตอร์ขณะจ่ายโหลดที่ความเร็วโรเตอร์ $N_m = 300rpm$



รูปที่ 3.20 กระแสสเตเตอร์สภาวะจ่าย โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ 300 rpm



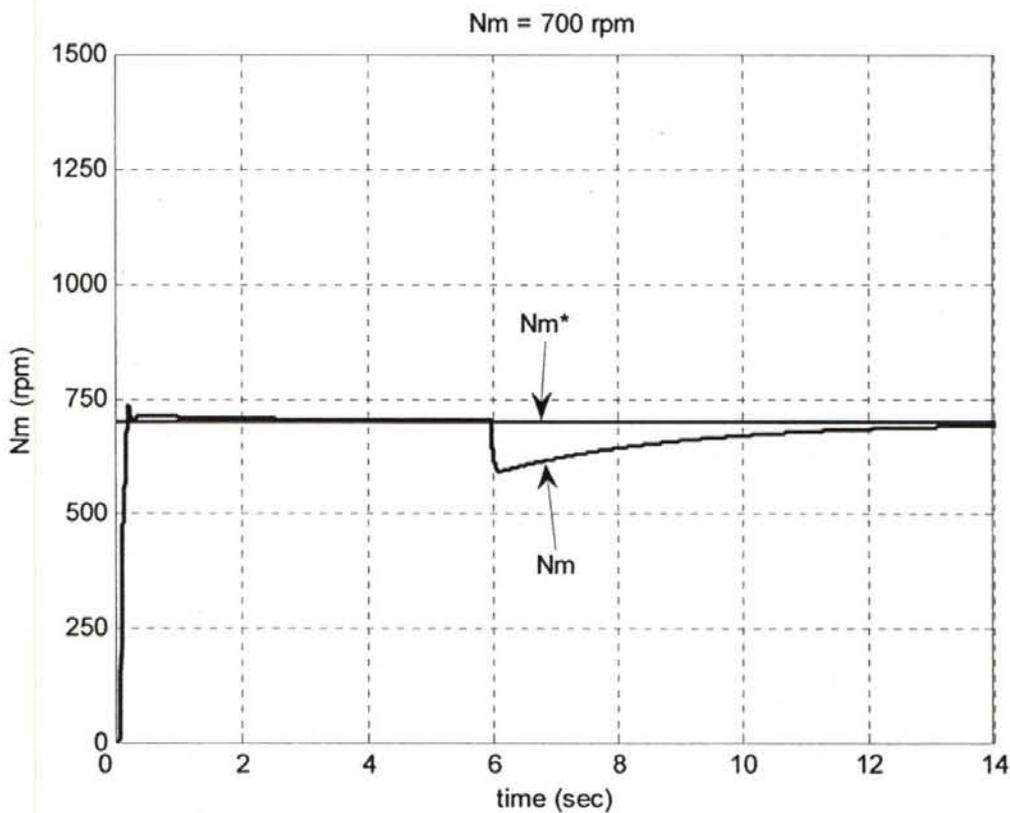
รูปที่ 3.21 กระแสแกนคิว (i_{sq}) ขณะจ่าย โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ $N_m = 300rpm$

ผลจำลองการทำงานในสถานะจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลา 6 sec จากรูปที่ 3.19 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 300rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และที่เวลา 6 sec จะพบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์จะตกนิดหน่อยจากนั้นค่าของความเร็วจริงจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัวที่เวลา 12 sec

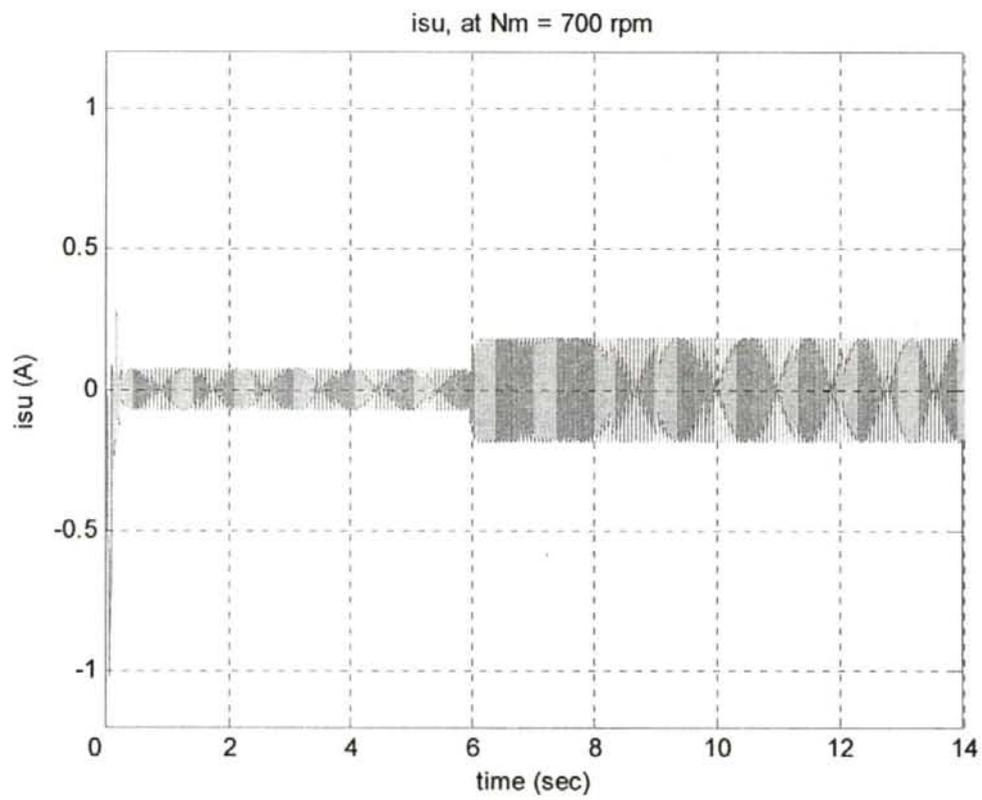
ผลการจำลองการทำงานในสถานะไร้โหลด จากรูปที่ 3.20 เป็นปริมาณของกระแสสเตเตอร์ที่เฟส u เมื่อยังไม่ทำการจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์ค่ากระแสสเตเตอร์ (isu = 0.1 A) และเมื่อจ่ายโหลดให้มอเตอร์ที่เวลา 6 sec ค่ากระแสสเตเตอร์ (isu) เพิ่มขึ้นเป็น 0.19 A

ผลจำลองการทำงานของกระแสสร้างแรงบิดให้กับมอเตอร์ หรือกระแสในแกนคิ้ว (isq) จากผลจำลองการทำงานในรูปที่ 3.21 เมื่อทำการจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลา 6 sec ค่ากระแสในแกนคิ้ว (isq) ที่ทำการควบคุมแรงบิดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพิ่มขึ้นเป็น 0.25 A

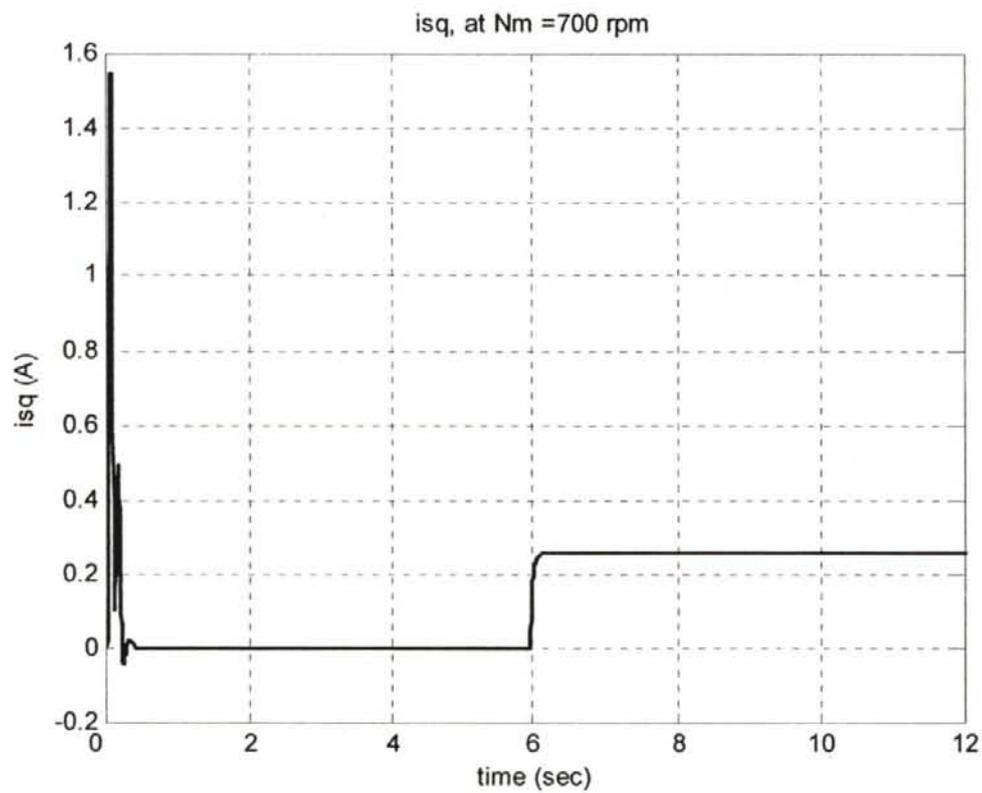
2) ที่ความเร็ว $N_m = 700rpm$



รูปที่ 3.22 ความเร็วมอเตอร์ขณะจ่ายโหลดที่ความเร็วโรเตอร์ $N_m = 700rpm$



รูปที่ 3.23 กระแสสเตเตอร์สภาวะจ่าย โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ 700 rpm



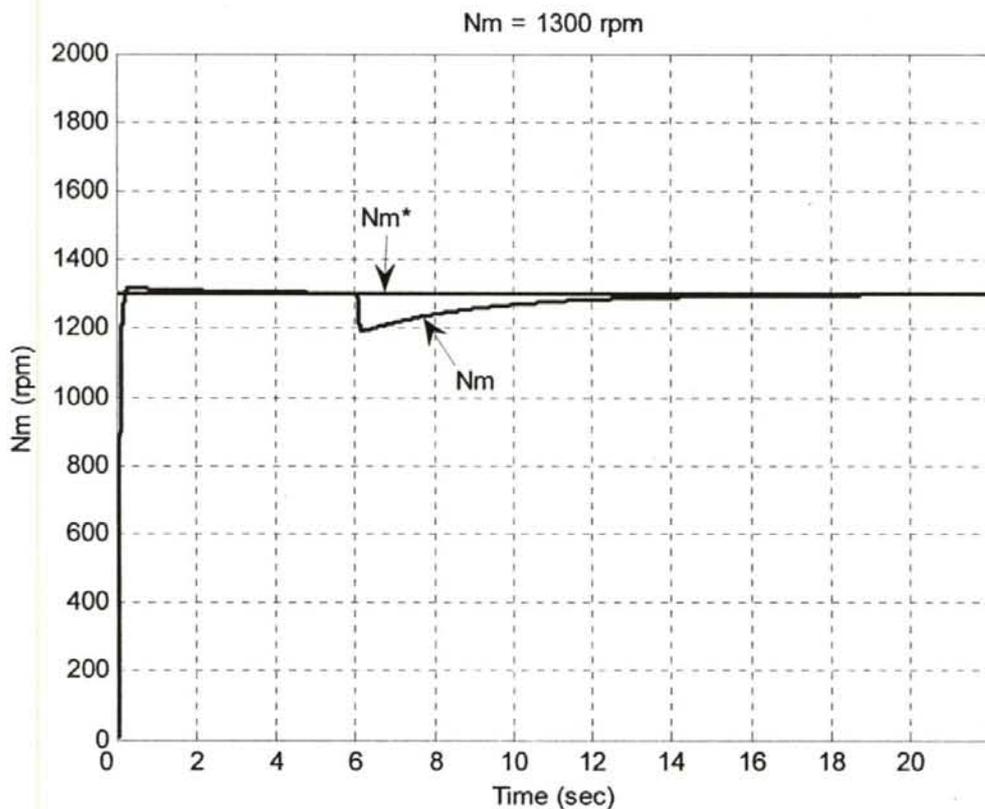
รูปที่ 3.24 กระแสแกนคิว (i_{sq}) ขณะจ่าย โหลดที่ความเร็วมอเตอร์ $N_m = 700rpm$

ผลจำลองการทำงานในสภาวะจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลา 5 sec จากรูปที่ 3.25 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 1000rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และที่เวลา 5 sec จะพบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์จะตกนิดหน่อยจากนั้นค่าของความเร็วจริงจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่เวลา 10 sec

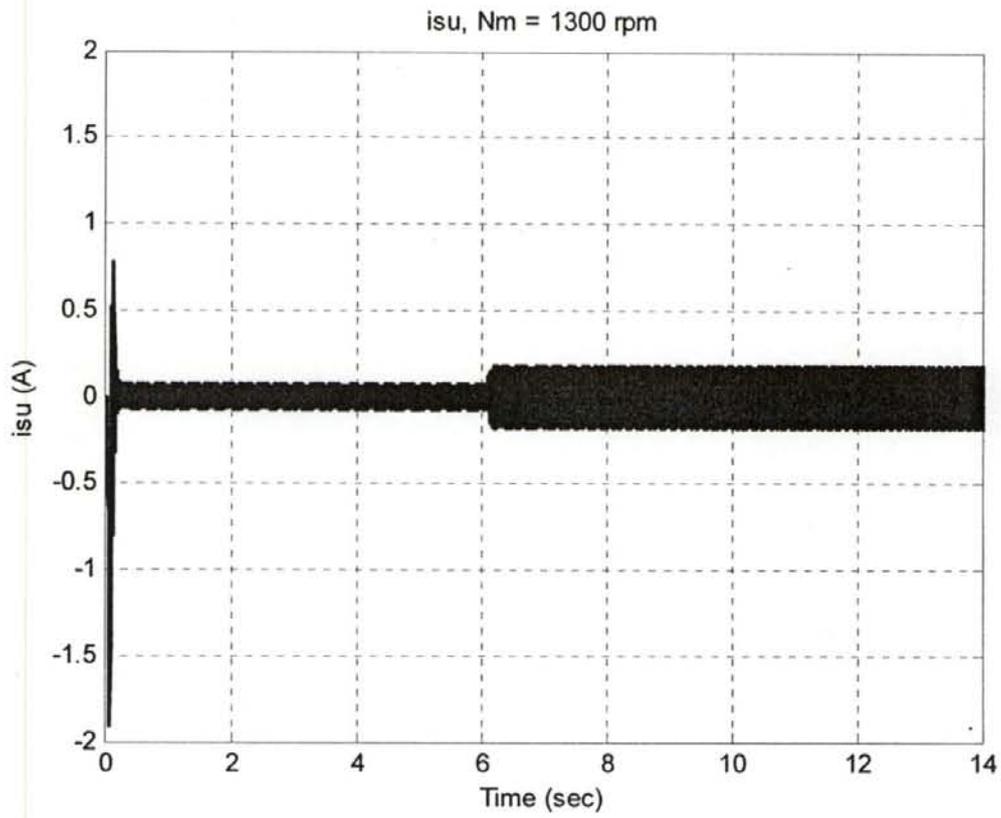
ผลการจำลองการทำงานในสภาวะไร้โหลด จากรูปที่ 3.26 เป็นปริมาณของกระแสเดอเตอร์ที่เฟส u เมื่อยังไม่ทำการจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์ค่ากระแสเดอเตอร์ ($i_{su} = 0.1 A$) และเมื่อจ่ายโหลดให้มอเตอร์ที่เวลา 5 sec ค่ากระแสเดอเตอร์ (i_{su}) เพิ่มขึ้นเป็น 0.2 A

ผลจำลองการทำงานของกระแสสร้างแรงบิดให้กับมอเตอร์ หรือกระแสในแกนคิก (i_{sq}) จากผลจำลองการทำงานในรูปที่ 3.27 เมื่อทำการจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลา 5 sec ค่ากระแสในแกนคิก (i_{sq}) ที่ทำการควบคุมแรงบิดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพิ่มขึ้นเป็น 0.24 A

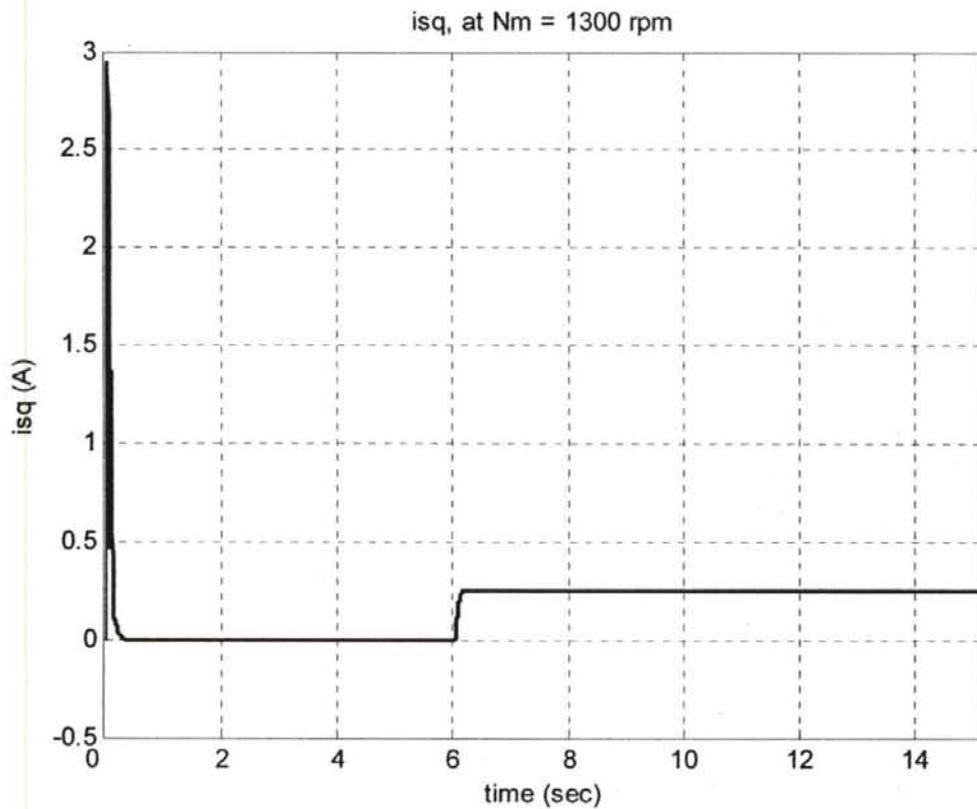
4) การจำลองการทำงานที่สภาวะมีโหลดที่ความเร็ว $N_m = 1300rpm$



รูปที่ 3.28 ความเร็วมอเตอร์ขณะจ่ายโหลดที่ความเร็วโรเตอร์ $N_m = 1300rpm$



รูปที่ 3.29 กระแสสเตเตอร์สภาวะจ่ายโหลดที่ความเร็วมอเตอร์ $N_m = 1300rpm$



รูปที่ 3.30 กระแสแกนคิก (i_{sq}) ขณะจ่ายโหลดที่ความเร็วมอเตอร์ $N_m = 1300rpm$

ผลจำลองการทำงานในสถานะจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลา 6 sec จากรูปที่ 3.22 เป็นผลจำลองการทำงานปรับความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็ว $N_m = 1300rpm$ พบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์ (N_m) สามารถติดตามความเร็วคำสั่ง (N_m^*) ได้อย่างถูกต้อง และที่เวลา 6 sec จะพบว่าความเร็วจริงของมอเตอร์จะตกนิดหน่อยจากนั้นค่าของความเร็วจริงจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัวที่เวลา 14 sec

ผลการจำลองการทำงานในสถานะไร้โหลด จากรูปที่ 3.29 เป็นปริมาณของกระแสเดเตอร์ที่เฟส u เมื่อยังไม่ทำการจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์ค่ากระแสเดอเตอร์เตอร์ ($i_{su} = 0.1 A$) และเมื่อจ่ายโหลดให้มอเตอร์ที่เวลา 6 sec ค่ากระแสเดอเตอร์ (i_{su}) เพิ่มขึ้นเป็น 0.2 A

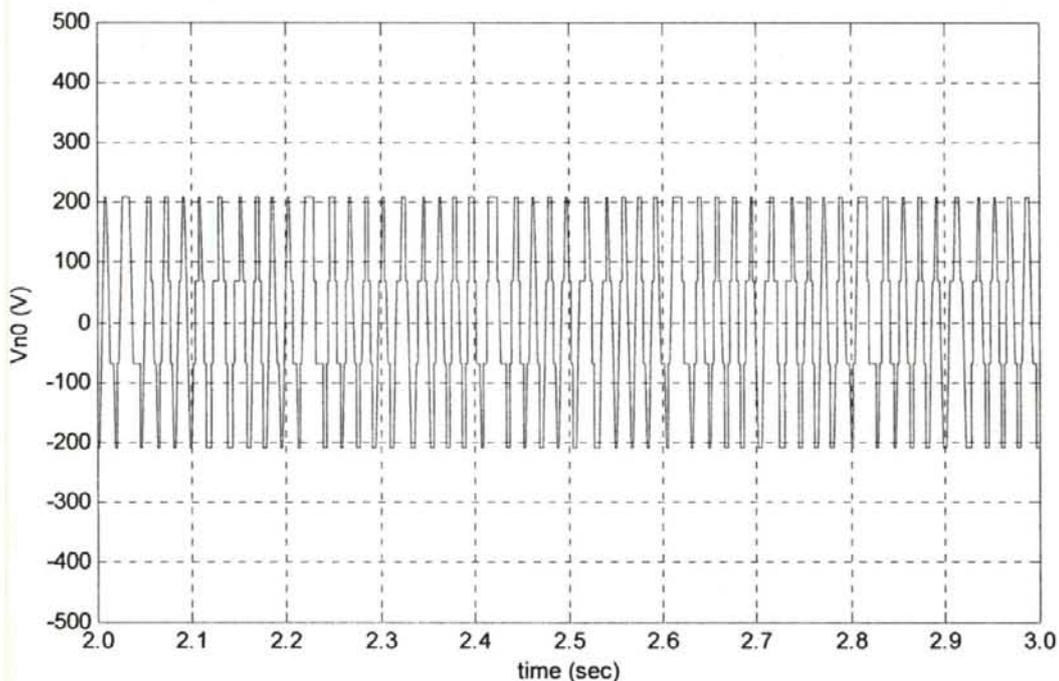
ผลจำลองการงานของกระแสสร้างแรงบิดให้กับมอเตอร์ หรือกระแสในแกนคิก (i_{sq}) จากผลจำลองการทำงานในรูปที่ 3.30 เมื่อทำการจ่ายโหลดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เวลา 6 sec ค่ากระแสในแกนคิก (i_{sq}) ที่ทำการควบคุมแรงบิดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพิ่มขึ้นเป็น 0.24 A

3.3.3 แรงดันอินเวอร์เตอร์

1) แรงดัน V_{u0}, V_{v0}, V_{w0}

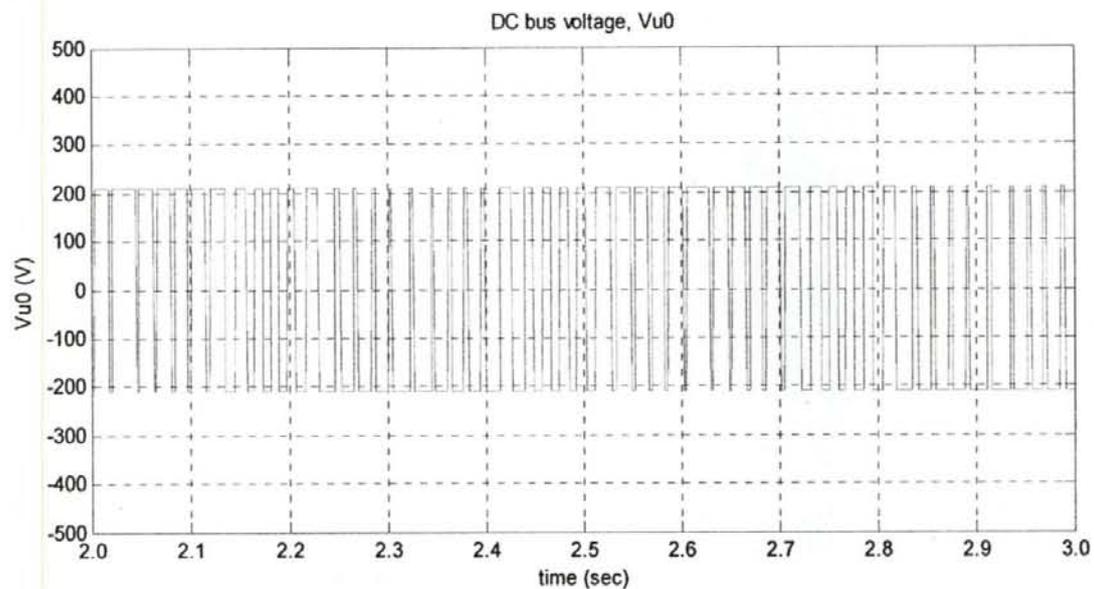
ผลการจำลองแรงดันที่บัสไฟตรงที่ความเร็วโรเตอร์ $N_m = 1000rpm$

Vn0



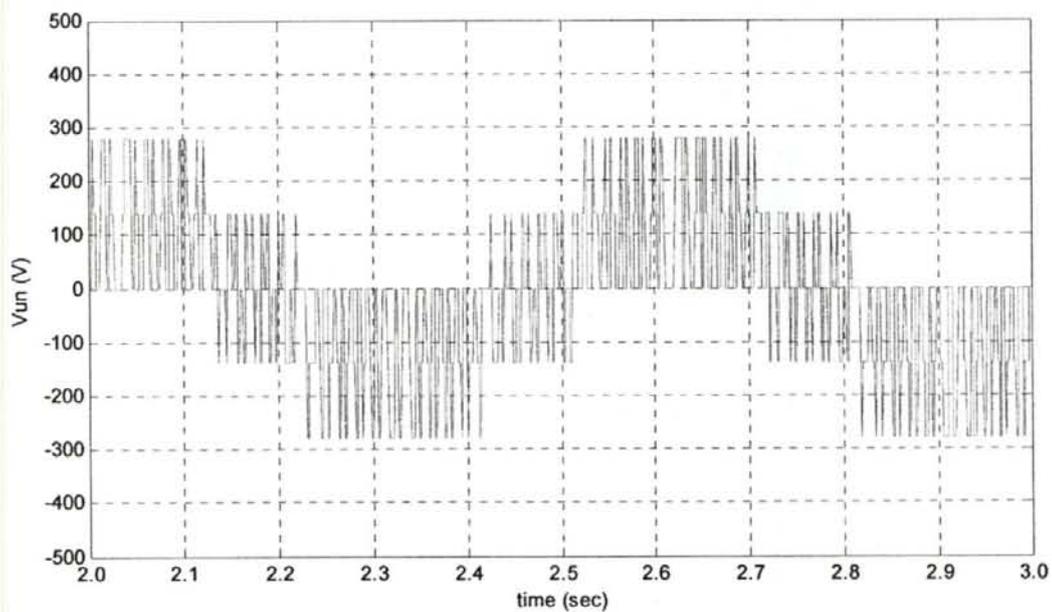
รูปที่ 3.31 แรงดันไฟตรงของ Vn0

Vu0



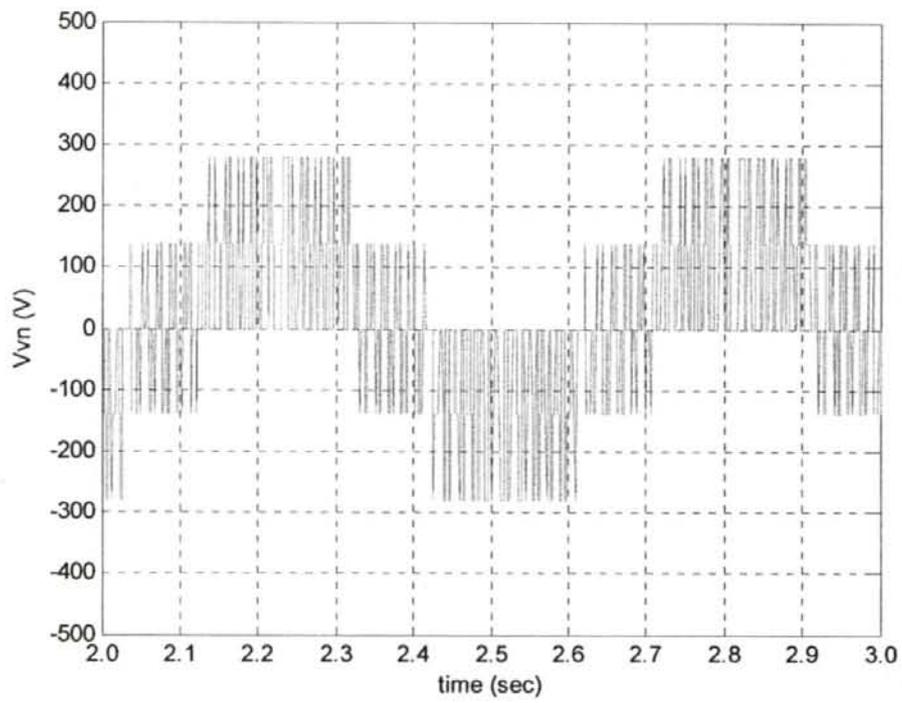
รูปที่ 3.32 แรงดันไฟตรงของเฟส u , Vu0

Vun



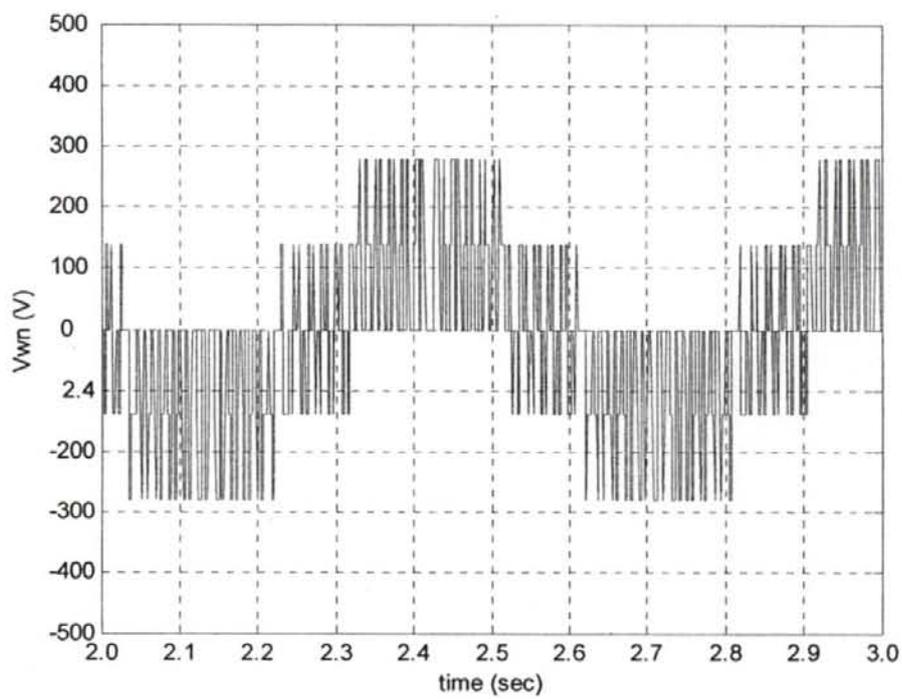
รูปที่ 3.33 แรงดันไฟตรงระหว่างเฟส u กับจุด n

Vvn



รูปที่ 3.34 แรงดันไฟตรงระหว่างเฟส v กับจุด n

Vwn



รูปที่ 3.35 แรงดันไฟตรงระหว่างเฟส w กับจุด n

จากรูปที่ 3.31 เป็นแรงดันบัลไฟตรงที่วัดระหว่างจุดนิวตรอน (n) เทียบกับจุดศูนย์ (0) และรูปที่ 3.32 เป็นแรงดันบัลไฟตรงที่วัดระหว่างจุดนิวตรอน (u) เทียบกับจุดศูนย์ (0) จากรูปทั้งสองเป็นผลของแรงดันจากการเร่งความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความเร็ว $N_m = 1000rpm$ พบว่าแรงดัน V_{no} และ V_{uo} จ่ายแรงดันบัลไฟตรงเท่ากับ 210 V

จากรูปที่ 3.33-3.35 เป็นแรงดันบัลไฟตรงที่วัดระหว่างเส้นไลน์กับนิวตรอน ได้แก่แรงดัน V_{un} , V_{vn} และ V_{wn} ตามลำดับ จะเห็นแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีมุมเฟสต่างกัน 120 องศา