

บทที่ 7

การหาลักษณะสมบัติของระบบวงรอบปิดและผลการทดสอบ

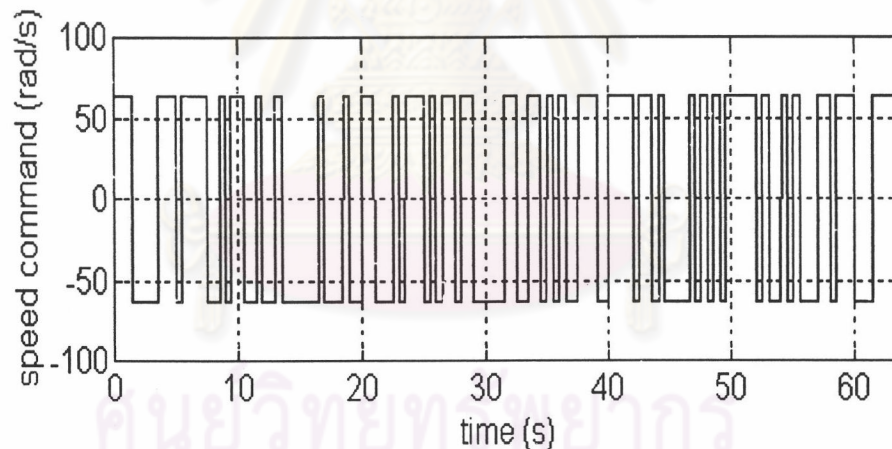
ในระบบอุตสาหกรรมโดยทั่วไปในปัจจุบันนี้ เรามักจะพบว่ามีการควบคุมโดยตัวควบคุมแบบ PI รวมอยู่ด้วยแล้วเป็นระบบวงรอบปิด ดังนั้นเมื่อเราทำการหาลักษณะสมบัติของระบบโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 4.2 ในระบบที่มีโครงสร้างการป้อนกลับเป็นวงรอบปิด เราจะพบปัญหาจากการที่เราไม่สามารถที่จะกำหนดสัญญาณด้านเข้า $u(t)$ ที่เหมาะสมกับระบบได้อย่างอิสระ ทำให้การหาลักษณะสมบัติของระบบโดยตรงนั้นมีความแม่นยำไม่เพียงพอ ดังที่ได้อธิบายทางทฤษฎีและแสดงผลการทดสอบจริงไว้แล้วในบทที่ 6 แต่เมื่อเราแก้ปัญหาโดยการหาลักษณะสมบัติของค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ แทนดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าในกรณีนี้เราสามารถที่จะควบคุมสัญญาณด้านเข้า $u(t)$ ให้เหมาะสมกับระบบได้อย่างอิสระเหมือนกับการหาลักษณะสมบัติของระบบวงรอบเปิด ซึ่งทำให้เราสามารถทำการหาลักษณะสมบัติของระบบวงรอบปิดได้อย่างแม่นยำ ในบทนี้เราจะทำการทดสอบการหาลักษณะสมบัติของระบบ 2 มวลที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PI โดยนำเอาข้อมูลของสัญญาณด้านเข้าซึ่งก็คือคำสั่งความเร็วและสัญญาณด้านออกของระบบซึ่งก็คือผลต่างของความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวลและระบบ 1 มวล มาประมวลผลโดยใช้แบบจำลองแบบ 'ARX' ผลจากการประมวลผลจะทำให้เราทราบถึงฟังก์ชันโอนย้ายของค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ จากนั้นเราจะทำการเปรียบเทียบกับการหาลักษณะสมบัติของระบบ $P(s)$ โดยตรง โดยการนำเอาข้อมูลของแรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวล มาประมวลผลโดยใช้แบบจำลองแบบ 'ARX' ผลจากการประมวลผลจะทำให้เราทราบถึงฟังก์ชันโอนย้ายของค่า $P(s)$ ในบทนี้เราจะพิจารณาเลือกใช้สัญญาณด้านเข้า และเวลาในการสุ่มตัวอย่างตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 6 และในทุกเงื่อนไขการทดสอบ เราจะพิจารณาถึงผลของการหาลักษณะสมบัติที่ได้จากการทดสอบและจากการจำลองบนคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับระบบจริง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข

การทดสอบแบบที่ 7.1 : คำสั่งความเร็วเป็นสัญญาณ PRBS

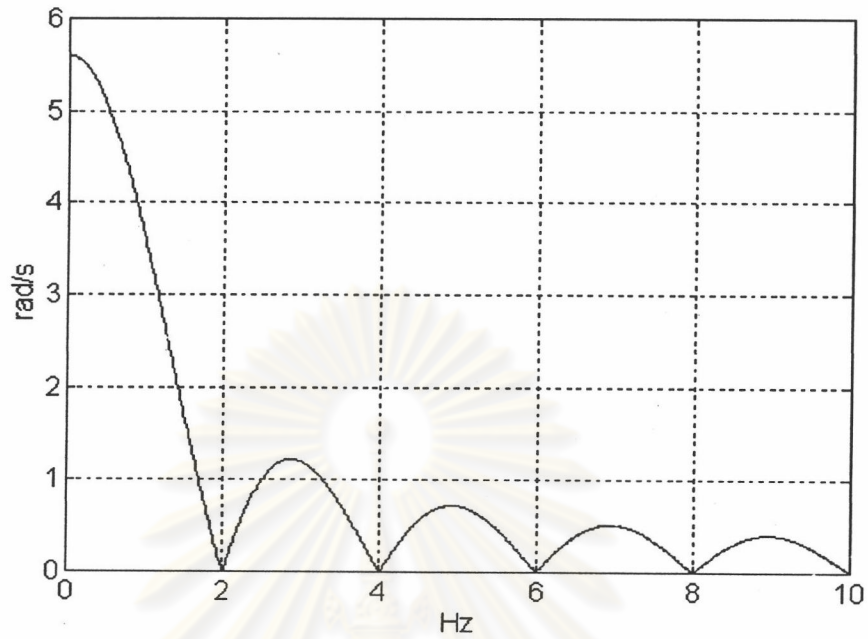
เมื่อป้อนคำสั่งความเร็วเป็นสัญญาณ PRBS ที่มี $n=7$ และ $t_{prbs}=0.5$ s ขนาด ± 600 rpm เพื่อกระตุ้นระบบ 2 มวลที่มีความถี่เรโซแนนซ์เป็น 1.03 Hz ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PI (ค่าพารามิเตอร์ในภาคผนวก ข) โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.1 s และเก็บข้อมูลเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณ PRBS เป็นเวลา 63.5 s

การหาค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ ในการทดสอบแบบที่ 7.1

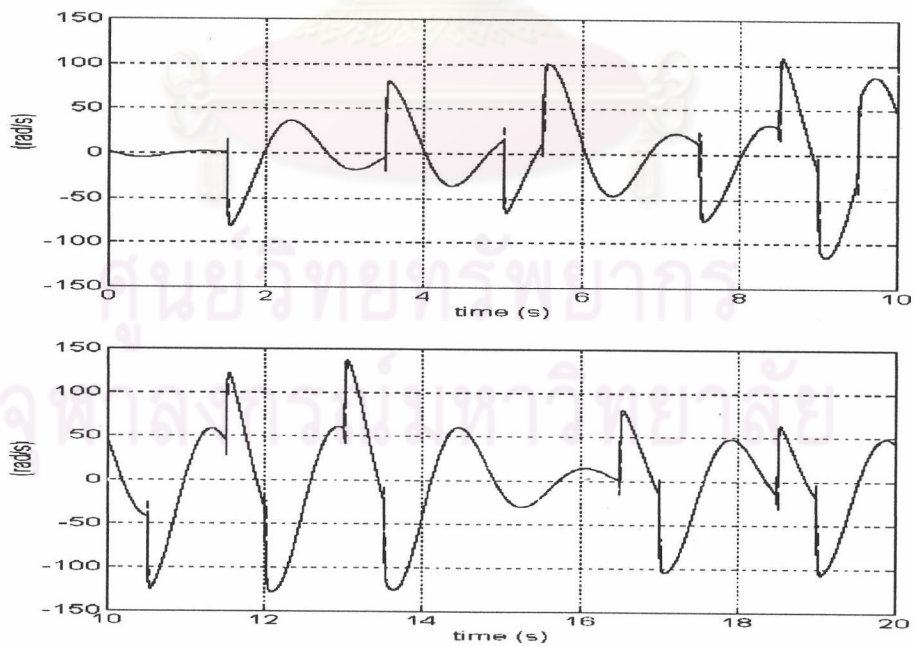
เราจะนำข้อมูลของคำสั่งความเร็วและผลต่างของความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวลกับระบบ 1 มวล (สัญญาณ β) ที่ได้จากการทดสอบแบบที่ 7.1 มาประมวลผลหาค่า $R(s)$ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.1 ถึง 7.5



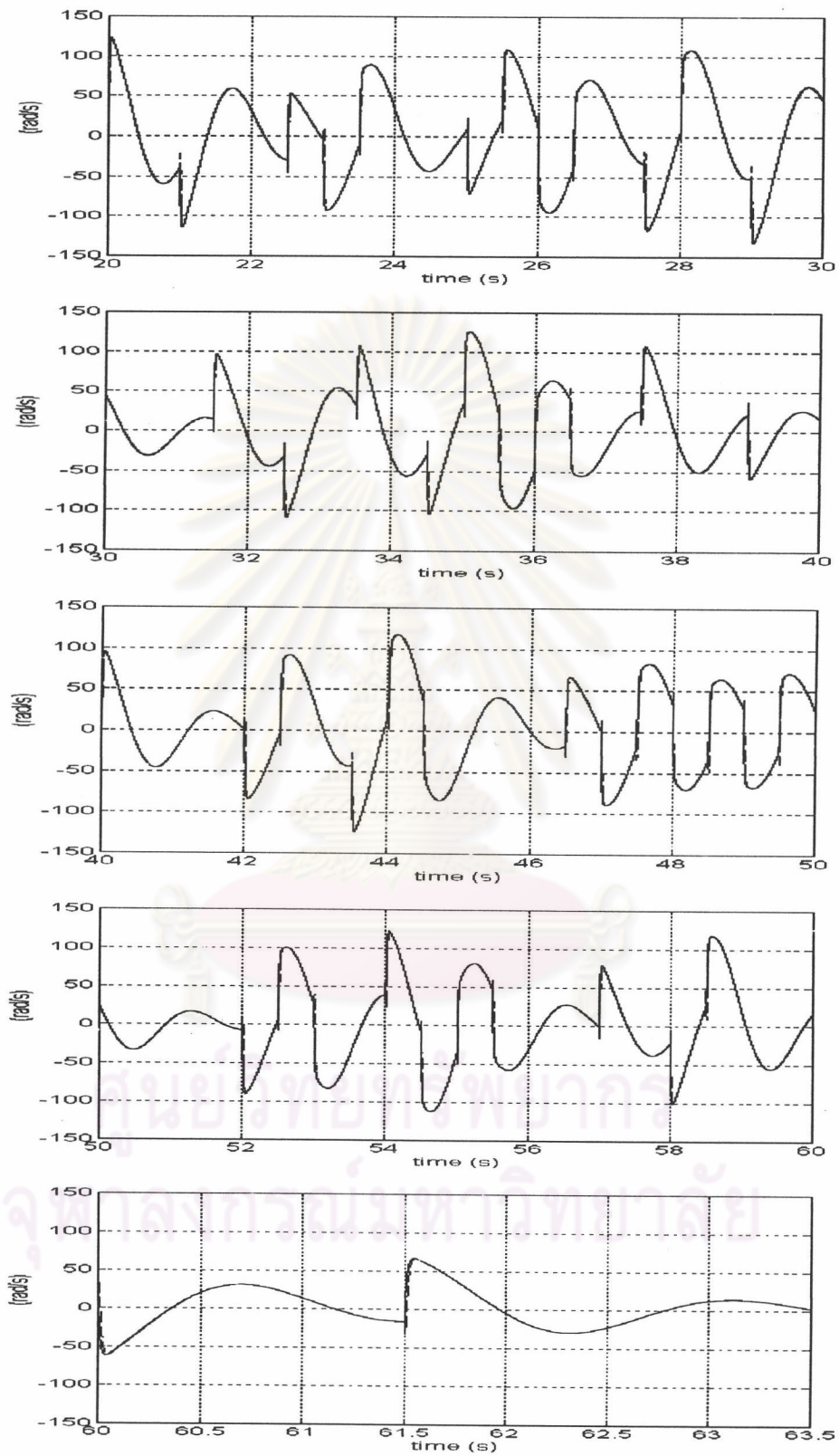
รูปที่ 7.1 คำสั่งความเร็วในการทดสอบแบบที่ 7.1



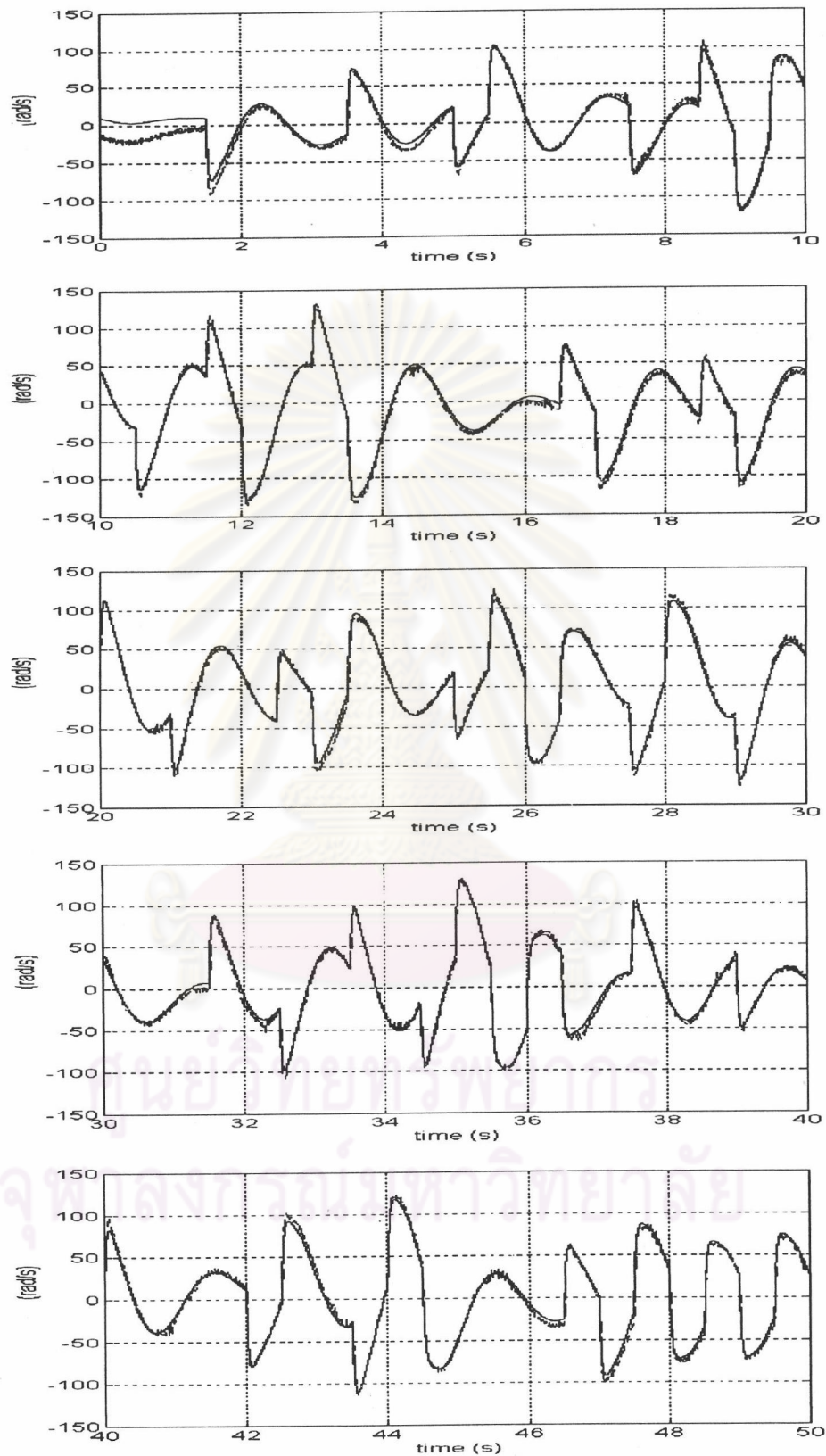
รูปที่ 7.2 สเปกตรัมของคำสั่งความเร็วในการทดสอบแบบที่ 7.1



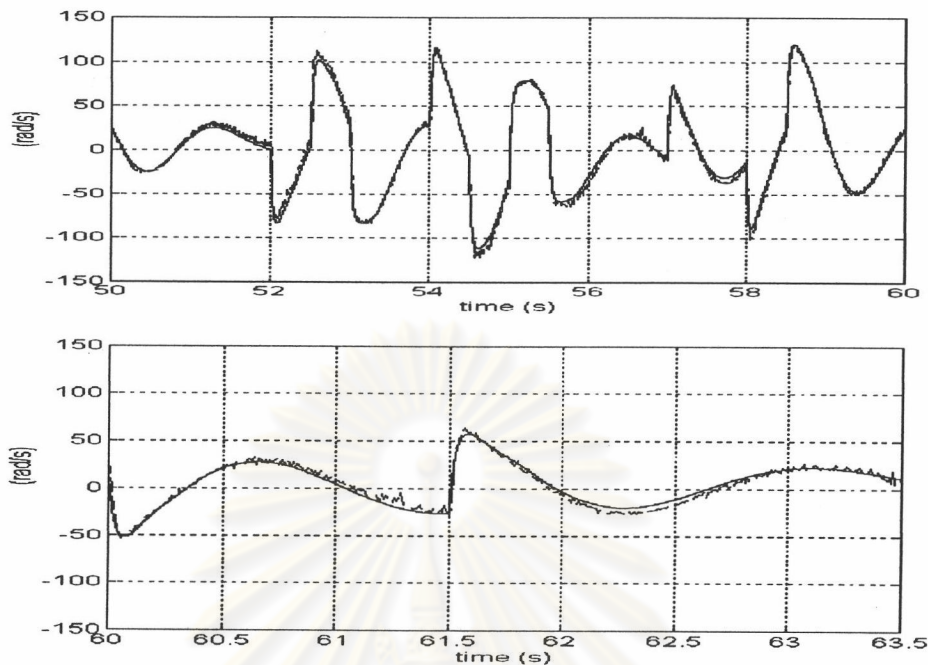
รูปที่ 7.3 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β คำนวณจากค่า $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จากการจำลอง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



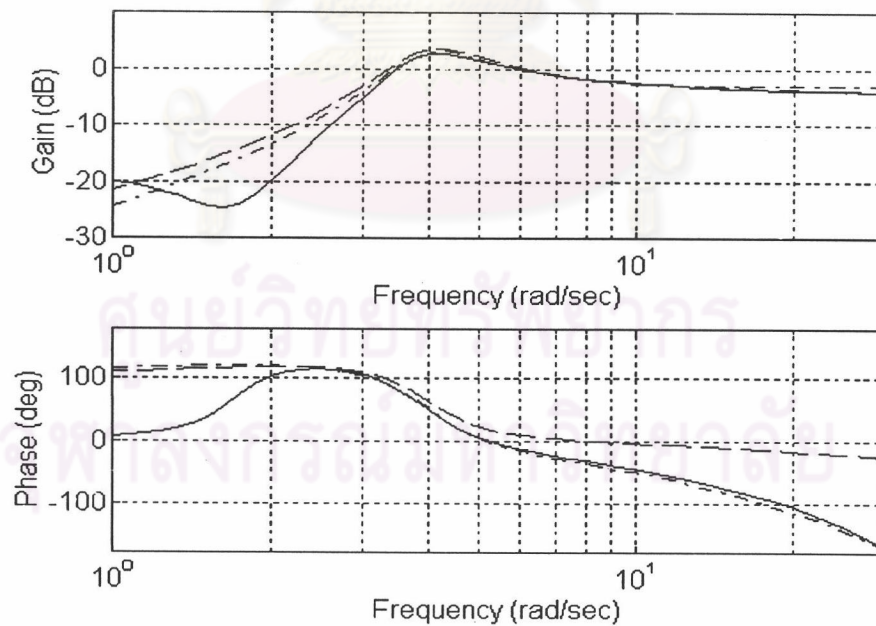
รูปที่ 7.3 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β คำนวณจากค่า $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จากการจำลอง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



รูปที่ 7.4 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β จำนวนจากค่า $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



รูปที่ 7.4 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β คำนวณจากค่า $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



รูปที่ 7.5 กราฟเปรียบเทียบอัตรายขยายและมุมเฟสของ $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) , $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นประ-จุด) และ $R(s)$ จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1

โดยที่ $R(s)$ จริง (ค่าพารามิเตอร์ในภาคผนวก ข) จะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$R(z) = \frac{0.6031z^4 - 1.9150z^3 + 2.2243z^2 - 1.1102z + 0.1978}{z^5 - 2.9474z^4 + 3.2982z^3 - 1.6224z^2 + 0.2845z - 0.0013}$$

$$R(s) = \frac{37.5s^4 + 425s^3 + 1104.167s^2 + 833.33s}{s^5 + 66.583s^4 + 738.75s^3 + 2840s^2 + 11041.67s + 11666.67}$$

$R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลองจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{R}(z)_{sim} = \frac{-0.025z^5 + 0.7032z^4 - 2.077z^3 + 2.355z^2 - 1.162z + 0.2057}{z^5 - 2.945z^4 + 3.291z^3 - 1.613z^2 + 0.2788z - 0.000032}$$

$$\hat{R}(s)_{sim} = \frac{-0.025s^5 + 63.35s^4 + 720.5s^3 + 1917s^2 + 1485s + 0.0001746}{s^5 + 103.5s^4 + 1208s^3 + 4631s^2 + 1842 \times 10^4 s + 1.964 \times 10^4}$$

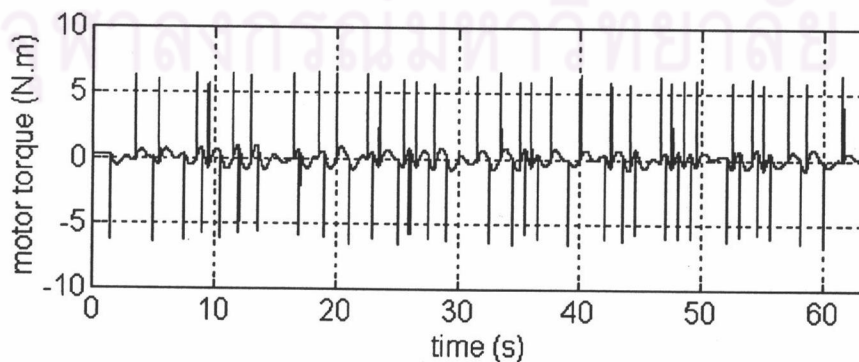
$R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{R}(z)_{exp} = \frac{0.05056z^5 + 0.552z^4 - 0.7225z^3 - 0.08735z^2 + 0.05793z + 0.1879}{z^5 - 0.9476z^4 - 0.1279z^3 + 0.07824z^2 + 0.2869z - 0.005462}$$

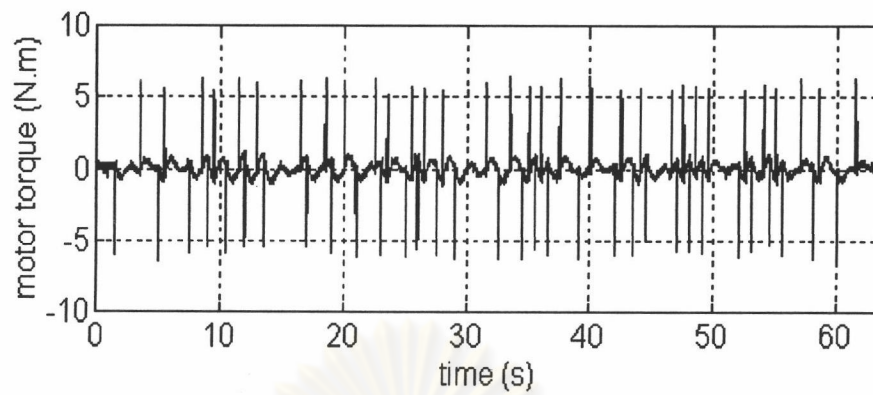
$$\hat{R}(s)_{exp} = \frac{0.05056s^5 + 29.3s^4 + 387.5s^3 + 16270s^2 + 15010s + 45190}{s^5 + 52.1s^4 + 108.5s^3 + 2.457 \times 10^4 s^2 + 5.216 \times 10^4 s + 3.329 \times 10^5}$$

การหาระบบ $P(s)$ โดยตรงในการทดสอบแบบที่ 7.1

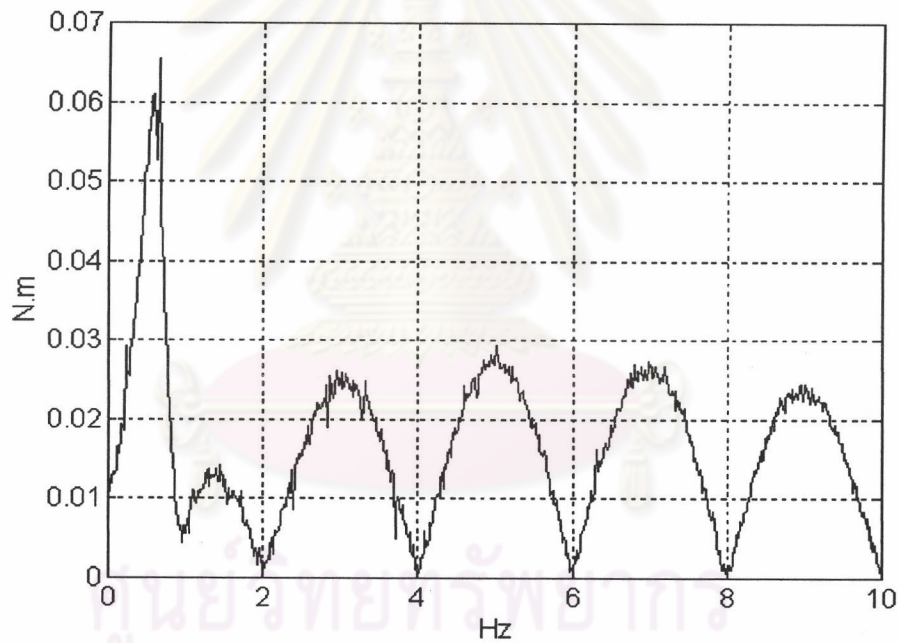
เราจะนำข้อมูลของแรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวล ที่ได้จากการทดสอบแบบที่ 7.1 มาประมวลผลหาระบบ $P(s)$ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.6 ถึง 7.11



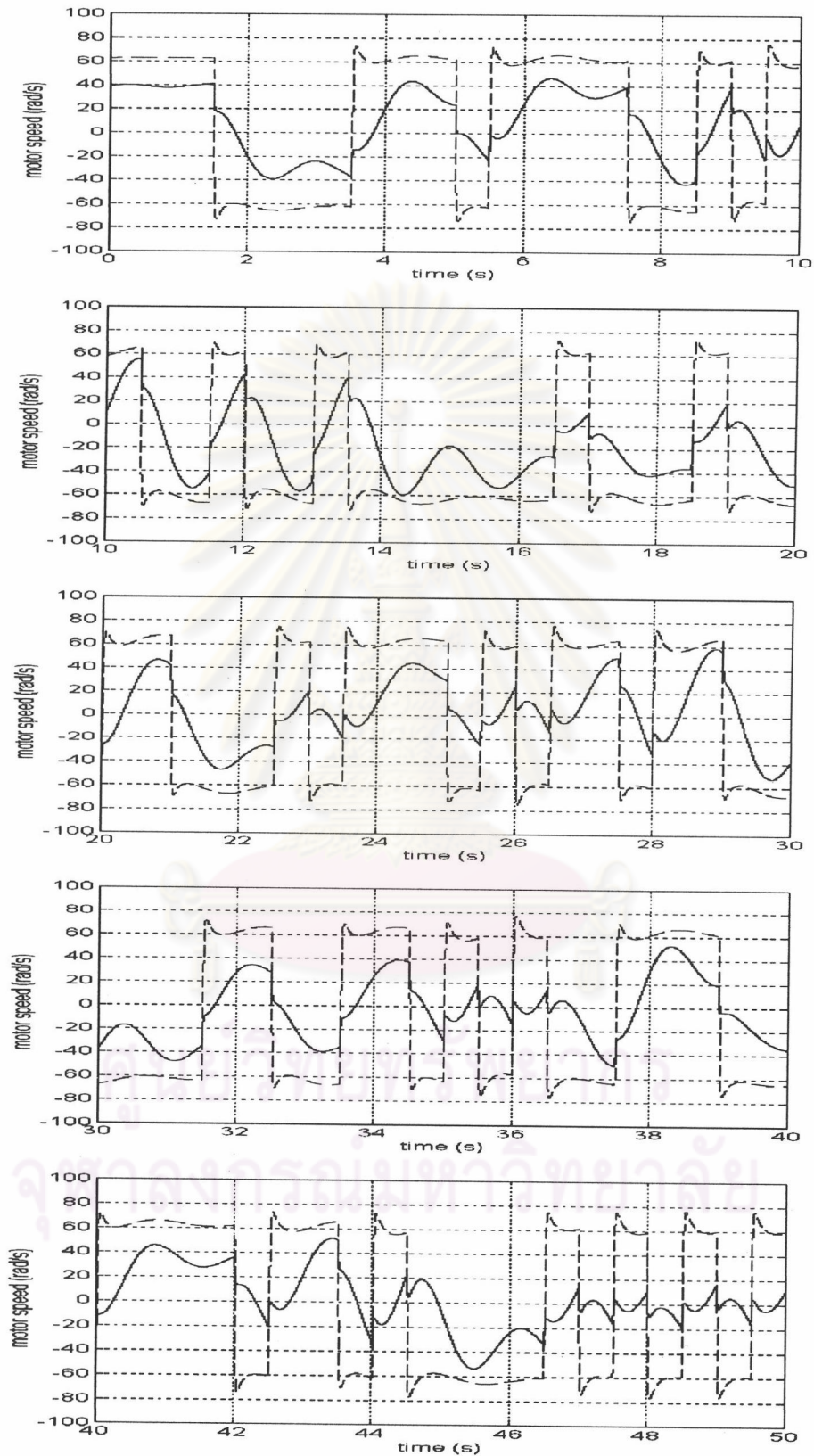
รูปที่ 7.6 แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการจำลองตามเงื่อนไขในการทดสอบแบบที่ 7.1



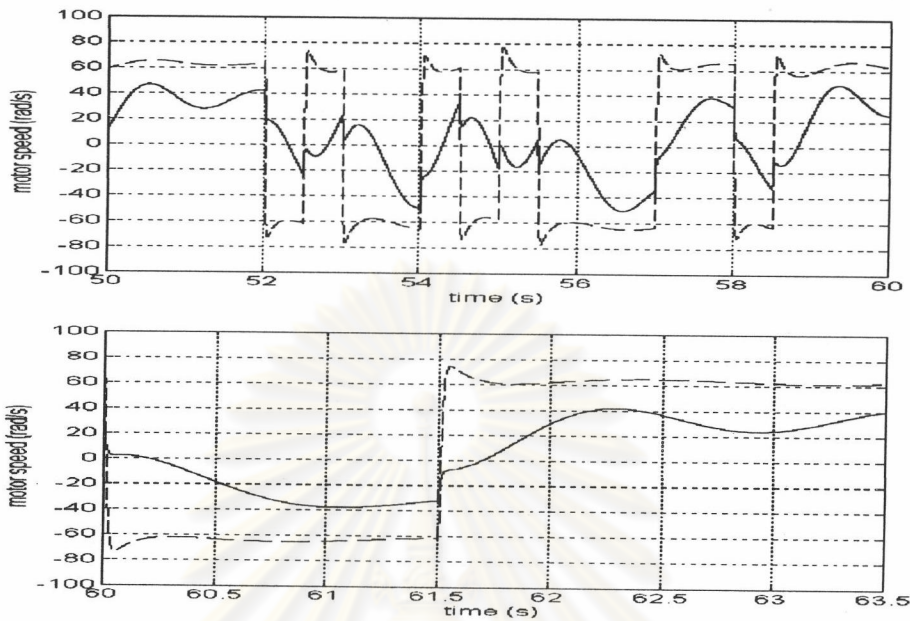
รูปที่ 7.7 แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการทดสอบตามเงื่อนไขในการทดสอบแบบที่ 7.1



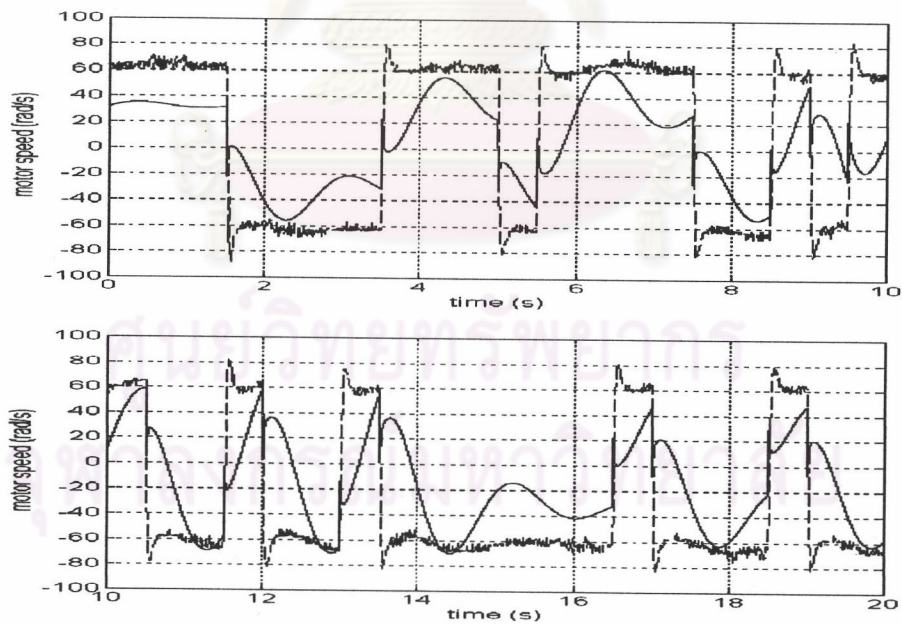
รูปที่ 7.8 สเปกตรัมของแรงบิดของมอเตอร์ในรูปที่ 7.7



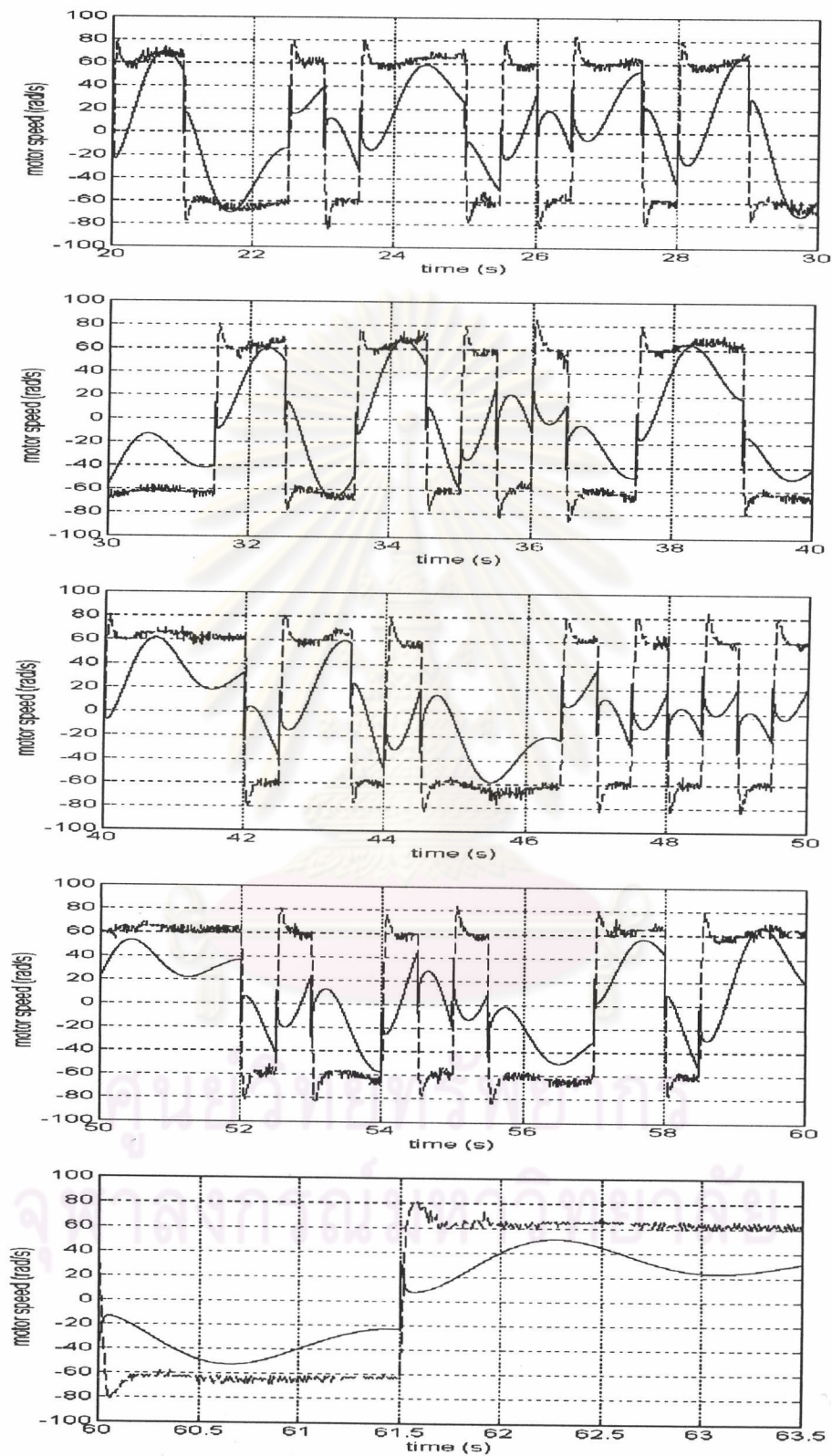
รูปที่ 7.9 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นทึบ) และความเร็วของมอเตอร์จากการจำลอง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



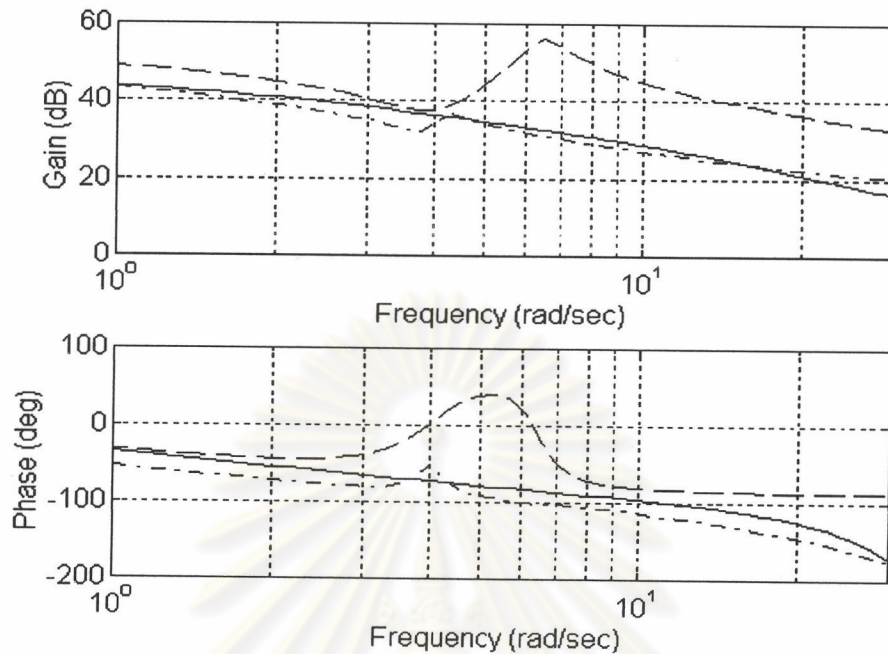
รูปที่ 7.9 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นทึบ) และความเร็วของมอเตอร์จากการจำลอง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



รูปที่ 7.10 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และความเร็วจริงของมอเตอร์ (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



รูปที่ 7.10 (ต่อ) กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และความเร็วจริงของมอเตอร์ (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1



รูปที่ 7.11 กราฟเปรียบเทียบอัตราขยายและมุมเฟสของระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) ระบบที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นประ-จุด) และระบบจริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.1

โดยที่ ระบบจริง (ค่าพารามิเตอร์ในภาคผนวก ข) จะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$P(z) = \frac{114.0994z^2 - 193.047z + 96.5839}{z^3 - 2.3733z^2 + 2.1886z - 0.7659}$$

$$P(s) = \frac{1250s^2 + 2083.33s + 20833.33}{s^3 + 2.667s^2 + 43.33s + 58.33}$$

ระบบที่ประมาณได้จากการจำลองจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{P}(z)_{sim} = \frac{-0.02033z^3 + 20.64z^2 - 37.06z + 19.48}{z^3 - 2.702z^2 + 2.584z - 0.8686}$$

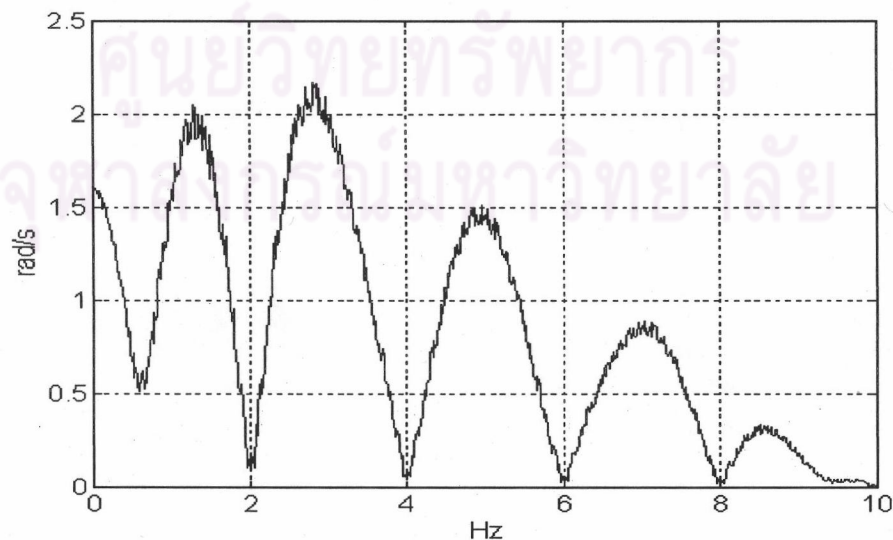
$$\hat{P}(s)_{sim} = \frac{-0.02033s^3 + 215.2s^2 + 120.75s + 3305}{s^3 + 1.408s^2 + 17.41s + 14.29}$$

และระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{P}(z)_{exp} = \frac{7.001z^3 + 15.04z^2 - 13.02z - 1.913}{z^3 - 1.505z^2 + 0.4843z + 0.05887}$$

$$\hat{P}(s)_{\text{exp}} = \frac{7.001s^3 + 470.2s^2 + 8338s + 1.932 \times 10^4}{s^3 + 28.32s^2 + 113.1s + 104.8}$$

จากผลการทดสอบแบบที่ 7.1 ในรูปที่ 7.9-7.11 นั้นจะเห็นได้ว่าการหาลักษณะสมบัติของ $P(s)$ โดยตรงจะได้ผลที่ผิดพลาดไปจากค่าจริงที่ควรได้ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากสเปกตรัมของแรงบิดของมอเตอร์ที่กระตุ้นระบบมีค่าดังแสดงในรูปที่ 7.8 และเมื่อเรหาค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ แทน จะพบว่าได้ผลที่ใกล้เคียงค่าจริงที่ควรได้ จากกราฟอัตราขยายและมุมเฟสในรูปที่ 7.5 จะสังเกตเห็นได้ว่าในผลการจำลองจะค่อนข้างใกล้เคียงค่าจริงในช่วงความถี่ต่ำจะมีเพียงความถี่สูงที่ใกล้เคียง 5 Hz ที่ผิดพลาดเนื่องจากผลของเวลาประวิงและผลจากความเคลือบแฝง แต่จากการทดสอบจะพบว่าที่บริเวณความถี่ต่ำจะได้กราฟที่ผิดพลาดไป ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเกิดจากการที่ค่าของผลต่างของความเร็วมอเตอร์ของระบบ 2 มวลและระบบ 1 มวล (สัญญาณ β) ที่บริเวณความถี่ต่ำจะมีค่าน้อยมากประมาณ 60 rpm โดยสังเกตได้จากอัตราขยายของ $R(s)$ ที่ความถี่ต่ำ ซึ่งในการทดลองจริงนั้นการเก็บข้อมูลย่อมมีความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากขีดจำกัดของเซนเซอร์วัดความเร็วที่ใช้ (1024 พัลส์/รอบ) และจำนวนบิตของ D/A (8 บิต) ของระบบควบคุมของมอเตอร์แบบเซอร์โว และในขณะที่ค่านำหนักซึ่งคือสเปกตรัมของ $\hat{A}(z)\omega_m^*(t)$ ซึ่งมีผลต่อการประมาณค่าดังกล่าวไว้ในสมการที่ (4.13) ในบทที่ 4 มีค่าที่บริเวณความถี่ต่ำค่อนข้างสูงดังแสดงในรูปที่ 7.12 ทำให้ผลผิดพลาดของข้อมูลนี้มีผลต่อการประมวลผลในช่วงความถี่ต่ำค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามก็ดีเราจะพบว่าสัญญาณ β ที่ได้จากระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณ β จริงดังแสดงในรูปที่ 7.4 ซึ่งแสดงว่าเราสามารถหาค่า $\hat{R}(s)_{\text{exp}}$ ที่มีคุณสมบัติในบริเวณความถี่ที่กระตุ้นได้ถูกต้อง



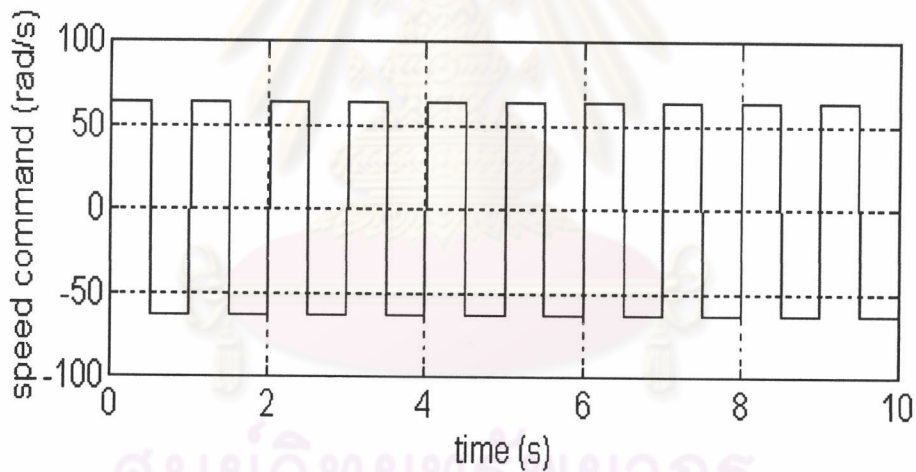
รูปที่ 7.12 สเปกตรัมของ $\hat{A}(z)\omega_m^*(t)$ ในการทดสอบแบบที่ 7.1

การทดสอบแบบที่ 7.2 : คำสั่งความเร็วเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1 Hz

เมื่อป้อนคำสั่งความเร็วเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1 Hz ขนาด ± 600 rpm เพื่อกระตุ้นระบบ 2 มวลที่มีความถี่เรโซแนนซ์เป็น 1.03 Hz ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PI โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.1 s และเก็บข้อมูลเป็นเวลา 10 s

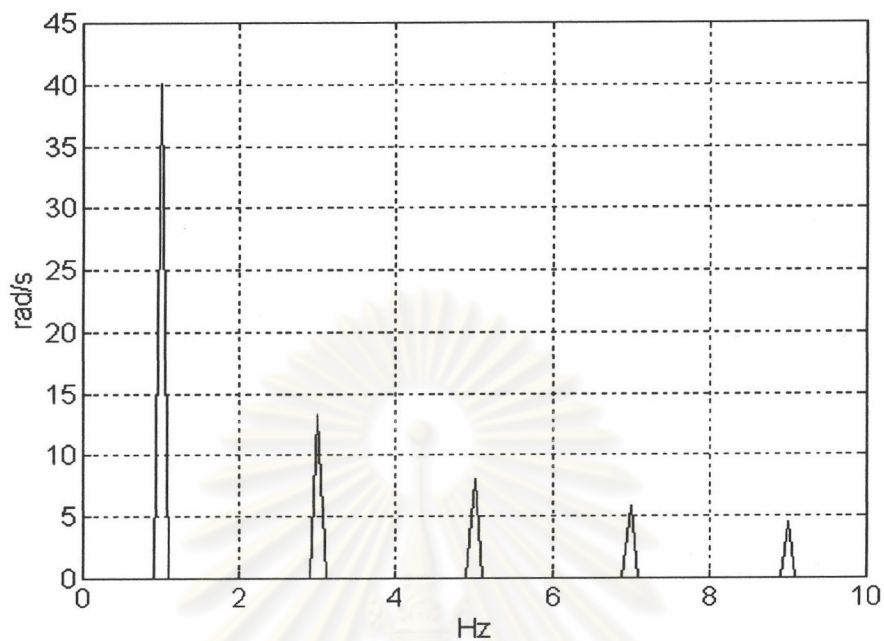
การหาค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ ในการทดสอบแบบที่ 7.2

เราจะนำข้อมูลของคำสั่งความเร็วและผลต่างของความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวลกับระบบ 1 มวล (สัญญาณ β) ที่ได้จากการทดสอบแบบที่ 7.2 มาประมวลผลหาค่า $R(s)$ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.13 ถึง 7.16

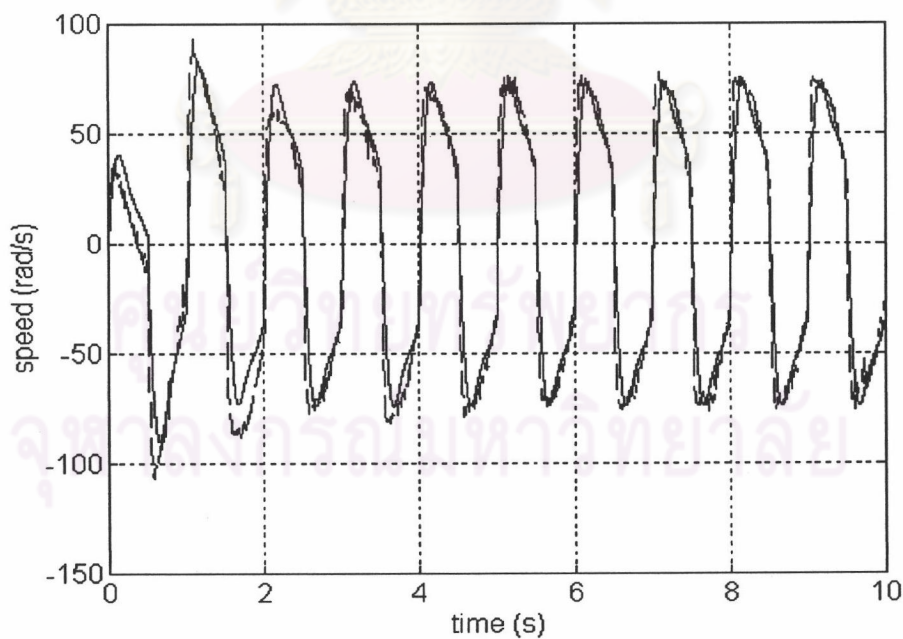


รูปที่ 7.13 คำสั่งความเร็วในการทดสอบแบบที่ 7.2

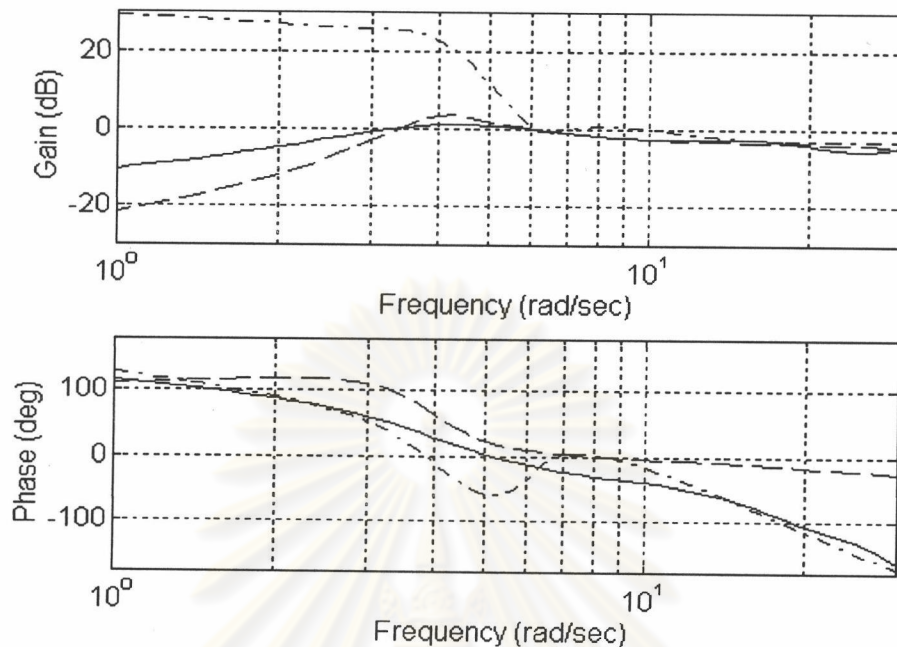
ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.14 สเปกตรัมของค่าสั่งความเร็วในการทดสอบแบบที่ 7.2



รูปที่ 7.15 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β จำนวนจาก $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.2



รูปที่ 7.16 กราฟเปรียบเทียบอัตราขยายและมุมเฟสของ $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ), $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นประ-จุด) และ $R(s)$ จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.2

โดยที่ $R(s)$ จริงจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$R(z) = \frac{0.6031z^4 - 1.9150z^3 + 2.2243z^2 - 1.1102z + 0.1978}{z^5 - 2.9474z^4 + 3.2982z^3 - 1.6224z^2 + 0.2845z - 0.0013}$$

$$R(s) = \frac{37.5s^4 + 425s^3 + 1104.167s^2 + 833.33s}{s^5 + 66.583s^4 + 738.75s^3 + 2840s^2 + 11041.67s + 11666.67}$$

$R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลองจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{R}(z)_{sim} = \frac{-0.2307z^5 + 0.7032z^4 - 2.077z^3 + 2.355z^2 - 1.162z}{z^5 - 2.945z^4 + 3.291z^3 - 1.613z^2 + 0.2788z - 0.000032}$$

$$\hat{R}(s)_{sim} = \frac{-0.2307s^5 - 11.19s^4 + 684.5s^3 - 1825 \times 10^4 s^2 + 1009s - 6.881 \times 10^5}{s^5 + 103.5s^4 + 1208s^3 + 4631s^2 + 1.842 \times 10^4 s + 1.964 \times 10^4}$$

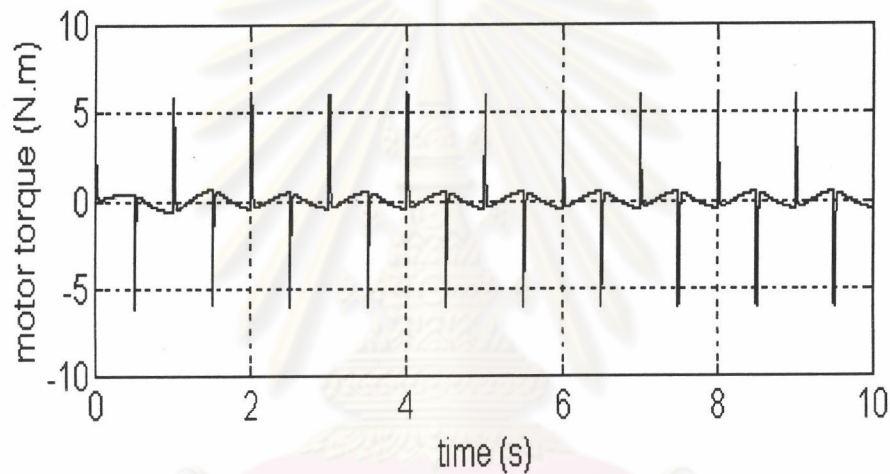
$R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{R}(z)_{sim} = \frac{0.1107z^5 + 0.5024z^4 - 0.6643z^3 - 0.07658z^2 - 0.07505z}{z^5 - 0.8525z^4 - 0.08052z^3 + 1.704z^2 - 0.05573z + 0.118}$$

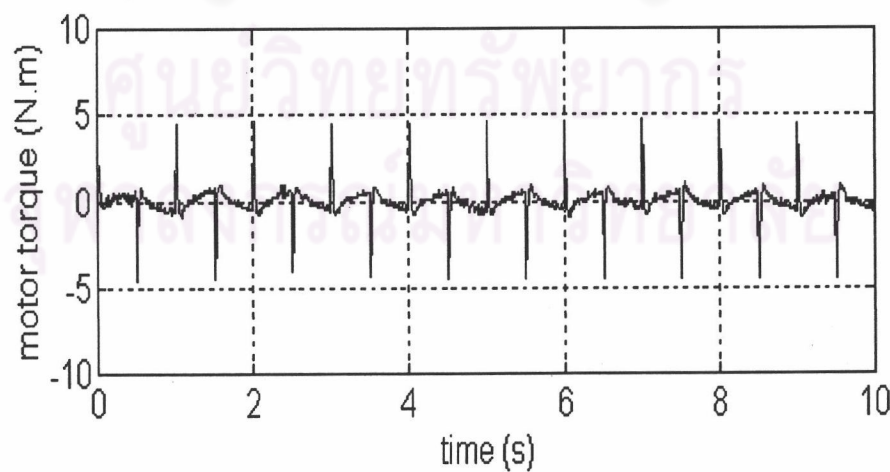
$$\hat{R}(s)_{\text{exp}} = \frac{0.1107s^5 + 9.189s^4 + 200.2s^3 + 1791s^2 + 3498s - 4110}{s^5 + 21.37s^4 + 449.8s^3 + 3077s^2 + 1.143 \times 10^4 s + 2.337 \times 10^4}$$

การหาระบบ $P(s)$ โดยตรงในการทดสอบแบบที่ 7.2

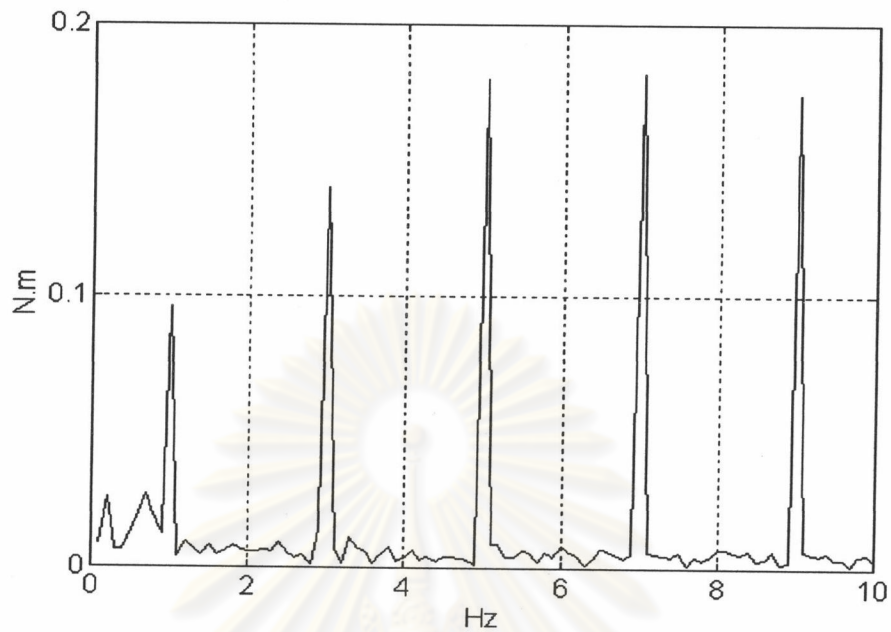
เราจะนำข้อมูลของแรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวล ที่ได้จากการทดสอบแบบที่ 7.2 มาประมวลผลหาระบบ $P(s)$ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.17 ถึง 7.22



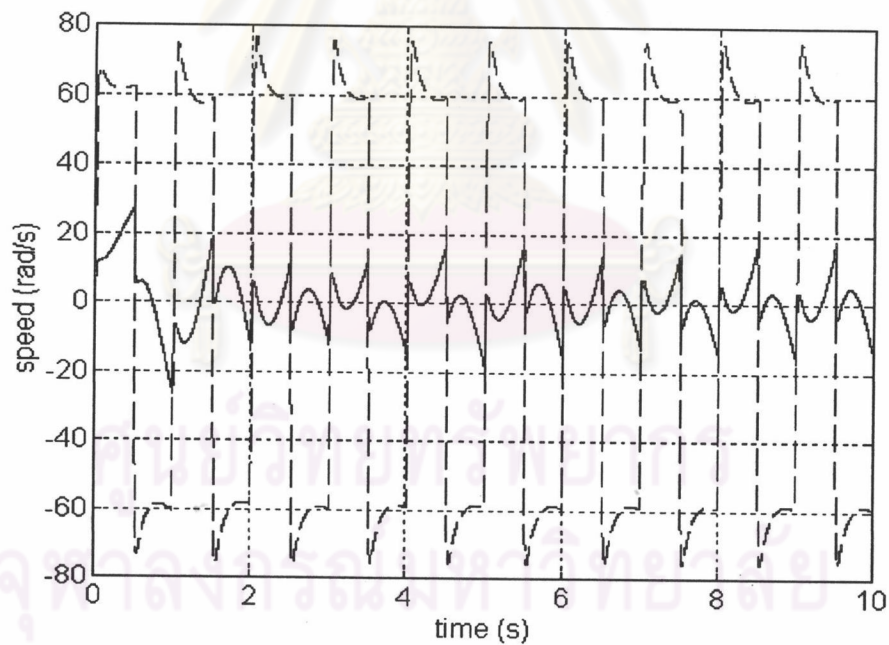
รูปที่ 7.17 แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการจำลองตามเงื่อนไขในการทดสอบแบบที่ 7.2



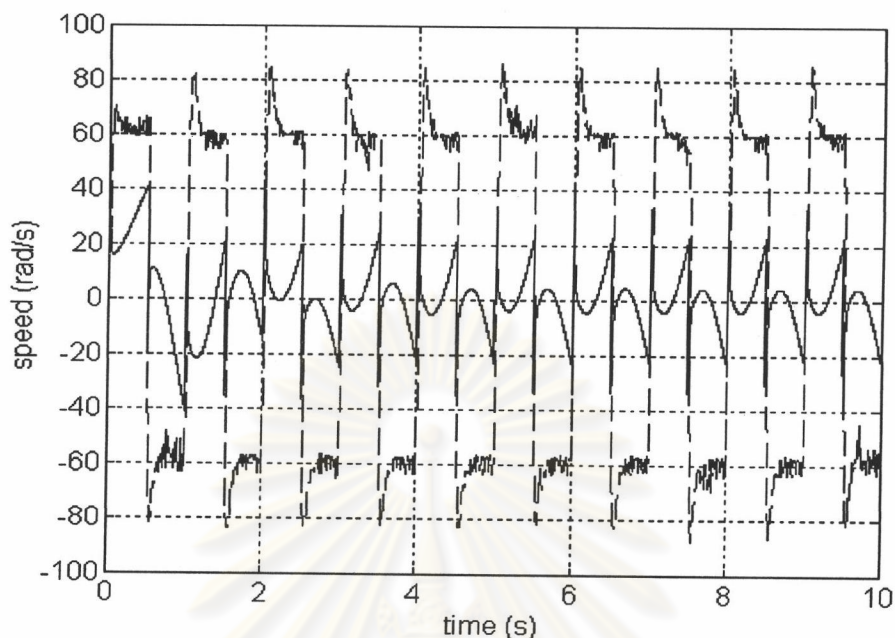
รูปที่ 7.18 แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการทดสอบตามเงื่อนไขในการทดสอบแบบที่ 7.2



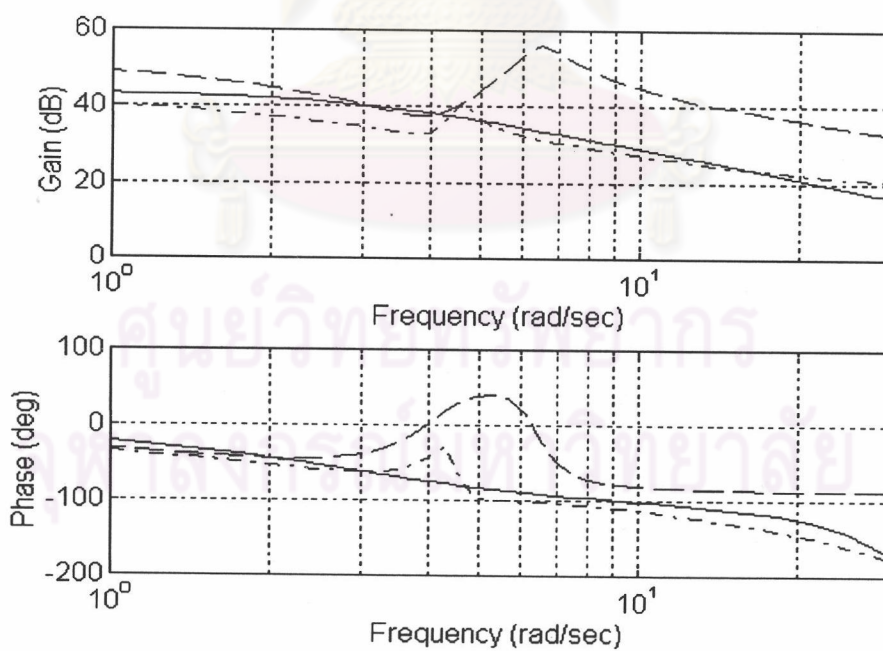
รูปที่ 7.19 สเปกตรัมของแรงบิดของมอเตอร์ในรูปที่ 7.18



รูปที่ 7.20 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นทึบ) และความเร็วของมอเตอร์จากการจำลอง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.2



รูปที่ 7.21 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และความเร็วจริงของมอเตอร์ (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.2



รูปที่ 7.22 กราฟเปรียบเทียบอัตรายายและมุมเฟสของระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) ระบบที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นประ-จุด) และระบบจริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.2

โดยที่ ระบบจริงจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$P(z) = \frac{114.0994z^2 - 193.047z + 96.5839}{z^3 - 2.3733z^2 + 2.1886z - 0.7659}$$

$$P(s) = \frac{1250s^2 + 2083.33s + 20833.33}{s^3 + 2.667s^2 + 43.33s + 58.33}$$

ระบบที่ประมาณได้จากการจำลองจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{P}(z)_{sim} = \frac{-0.1212z^3 + 20.53z^2 - 35.41z + 18.82}{z^3 - 2.617z^2 + 2.479z - 0.833}$$

$$\hat{P}(s)_{sim} = \frac{-0.1212s^3 + 213.4s^2 + 163.5s + 42.58}{s^3 + 1.828s^2 + 22.39s + 32.11}$$

และระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{P}(z)_{exp} = \frac{7.49z^3 + 18.03z^2 - 6.435z - 3.12}{z^3 - 1.182z^2 + 0.1149z + 0.1717}$$

$$\hat{P}(s)_{exp} = \frac{7.49s^3 + 404.9s^2 + 5367s + 1.933 \times 10^4}{s^3 + 17.62s^2 + 78.59s + 127}$$

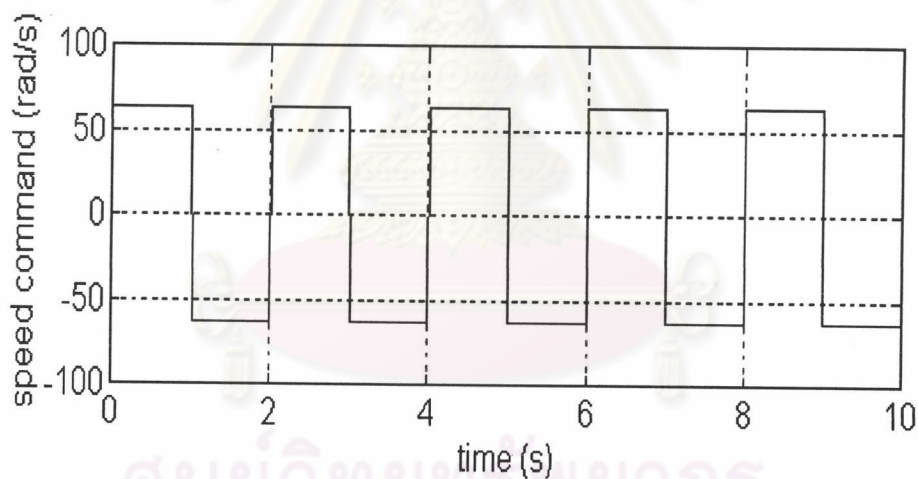
จากผลการทดสอบแบบที่ 7.2 ในรูปที่ 7.20-7.22 จะเห็นได้ว่าการหาลักษณะสมบัติของ $P(s)$ โดยตรงจะได้ผลที่ผิดพลาดไปจากค่าจริงที่ควรได้ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับการทดสอบแบบที่ 7.1 ประกอบกับสเปกตรัมของสัญญาณที่กระตุ้นระบบไม่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 7.19 ยิ่งทำให้การประมาณค่ามีความผิดพลาดมากขึ้น และเมื่อเราทำการหาค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ แทนจะพบว่าได้กราฟอัตราขยายและมุมเฟสผิดพลาดไปจากค่าจริงที่ควรได้ดังแสดงในรูปที่ 7.16 เนื่องจากเราป้อนสัญญาณที่มีความถี่กระตุ้นไม่ตรงกับความถี่ที่จุดที่มีค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ แต่อย่างไรก็ดีจากผลทดสอบในรูปที่ 7.15 จะเห็นได้ว่าให้กราฟของสัญญาณ β ที่ได้จากระบบที่ประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งแสดงว่าเรายังคงสามารถหาลักษณะสมบัติของระบบที่ความถี่ 1 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่เราป้อนกระตุ้นเข้าไปได้ตรง และในรูปที่ 7.16 นั้นระบบที่ประมาณได้จากการจำลองมีผลผิดพลาดค่อนข้างสูงมากกว่าการทดสอบ เนื่องจากการจำลองจะไม่มีค่าความถี่ต่ำกว่า 1 Hz ในการกระตุ้นระบบเลย แต่ในการทดสอบจริงนั้นไม่เป็นอุดมคติจึงอาจมีข้อมูลความถี่ที่ต่ำกว่า 1 Hz กระตุ้นระบบอยู่บ้าง

การทดสอบแบบที่ 7.3 : คำสั่งความเร็วเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 0.5 Hz

เมื่อป้อนคำสั่งความเร็วเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 0.5 Hz ขนาด ± 600 rpm เพื่อกระตุ้นระบบ 2 มวลที่มีความถี่เรโซแนนซ์เป็น 1.03 Hz ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PI โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.1 s และเก็บข้อมูลเป็นเวลา 10 s

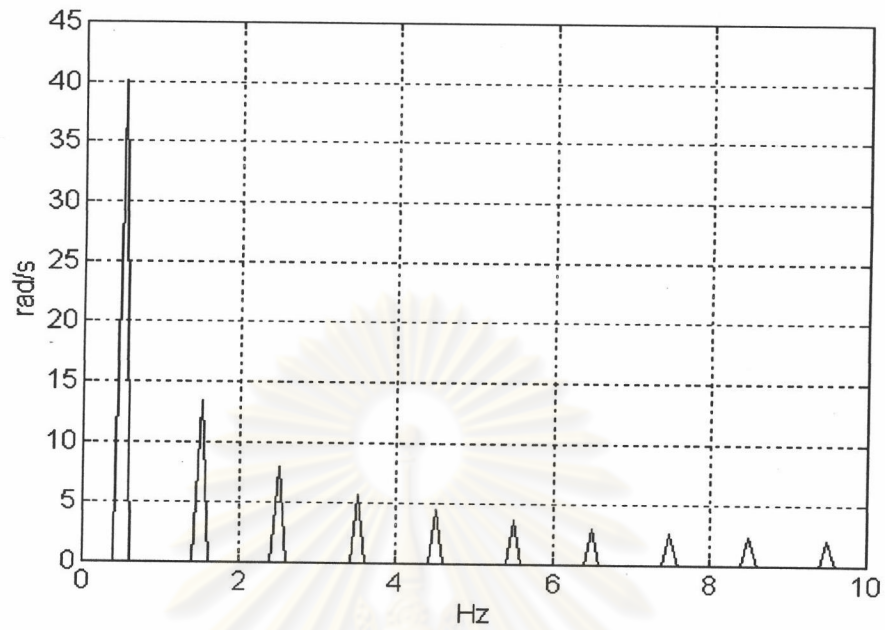
การหาค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ ในการทดสอบแบบที่ 7.3

เราจะนำข้อมูลของคำสั่งความเร็วและผลต่างของความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวลกับระบบ 1 มวล (สัญญาณ β) ที่ได้จากการทดสอบแบบที่ 7.3 มาประมวลผลหาค่า $R(s)$ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.23 ถึง 7.27

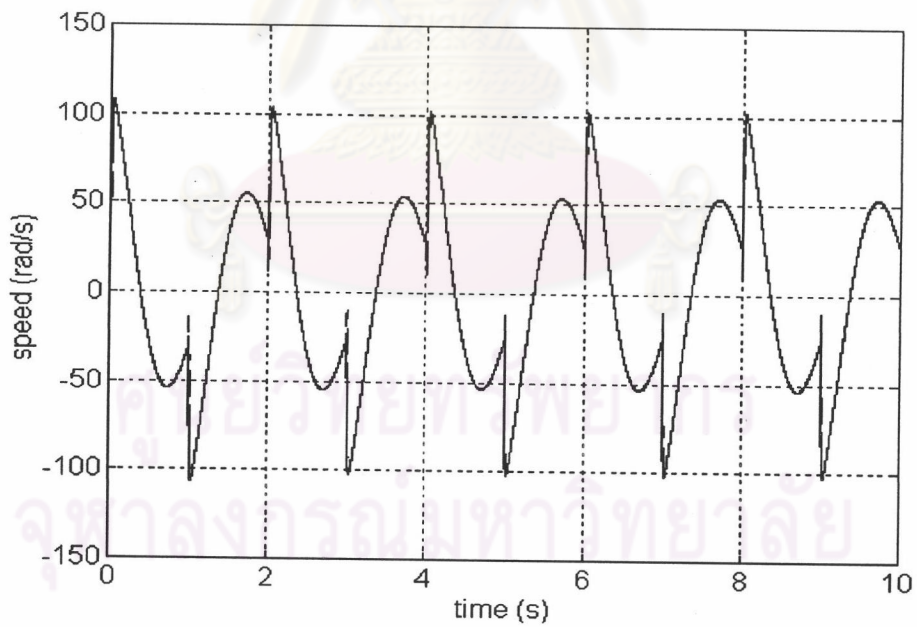


รูปที่ 7.23 คำสั่งความเร็วในการทดสอบแบบที่ 7.3

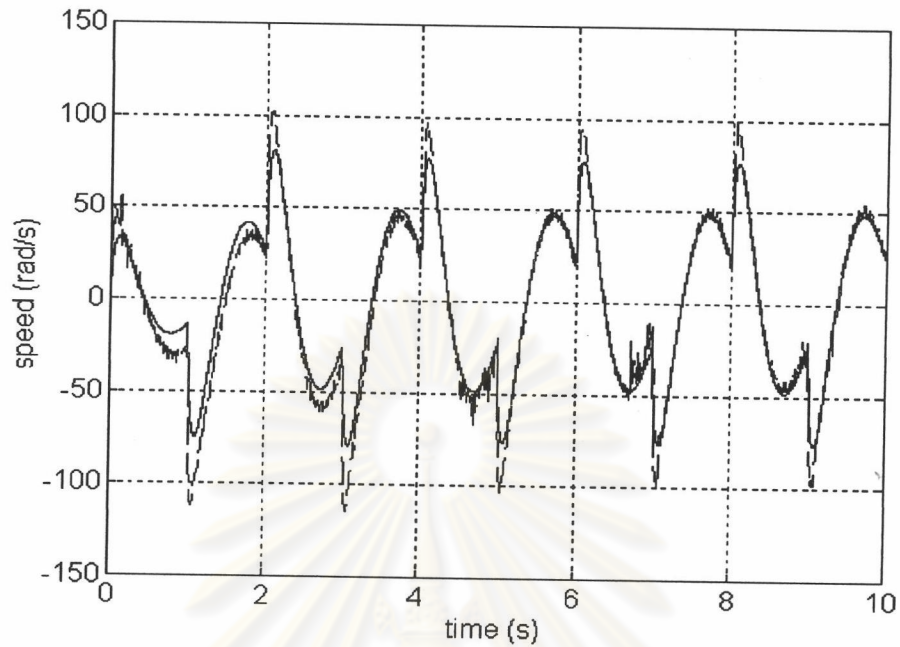
ศูนย์วิจัยทรัพย์สินทางปัญญา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



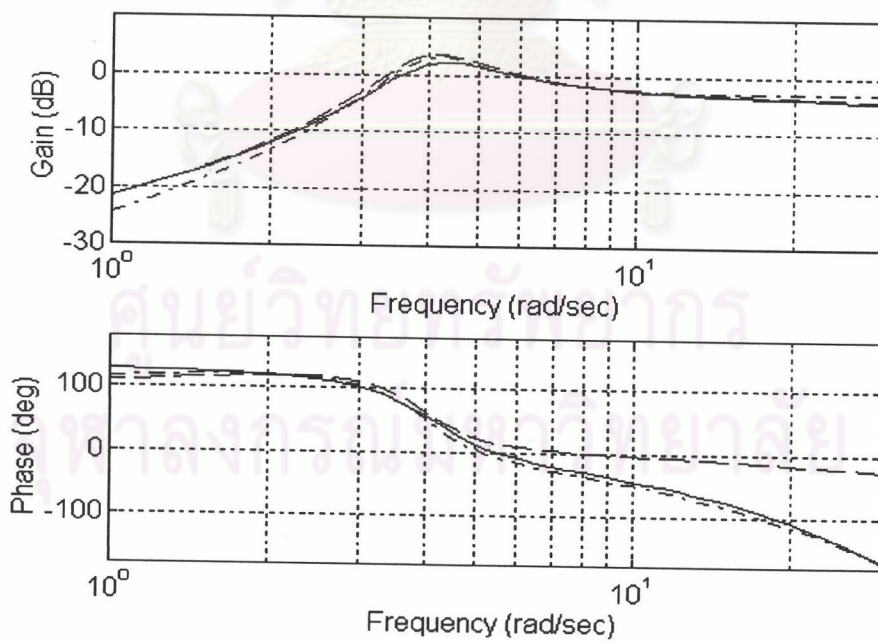
รูปที่ 7.24 สเปกตรัมของคำสั่งความเร็วในการทดสอบแบบที่ 7.3



รูปที่ 7.25 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β คำนวณจาก $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จากการจำลอง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.3



รูปที่ 7.26 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณ β คำนวณจาก $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และสัญญาณ β จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.3



รูปที่ 7.27 กราฟเปรียบเทียบอัตราขยายและมุมเฟสของ $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ), $R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นประ-จุด) และ $R(s)$ จริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.3

โดยที่ $R(s)$ จริงจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$R(z) = \frac{0.6031z^4 - 1.9150z^3 + 2.2243z^2 - 1.1102z + 0.1978}{z^5 - 2.9474z^4 + 3.2982z^3 - 1.6224z^2 + 0.2845z - 0.0013}$$

$$R(s) = \frac{37.5s^4 + 425s^3 + 1104.167s^2 + 833.33s}{s^5 + 66.583s^4 + 738.75s^3 + 2840s^2 + 11041.67s + 11666.67}$$

$R(s)$ ที่ประมาณได้จากการจำลองจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{R}(z)_{sim} = \frac{-0.025z^5 + 0.7032z^4 - 2.077z^3 + 2.355z^2 - 1.162z + 0.2056}{z^5 - 2.945z^4 + 3.291z^3 - 1.613z^2 + 0.2788z - 0.000032}$$

$$\hat{R}(s)_{sim} = \frac{-0.025s^5 + 63.35s^4 + 720.5s^3 + 1917s^2 + 1485s + 0.004635}{s^5 + 103.5s^4 + 1208s^3 + 4631s^2 + 1.842 \times 10^4 s + 1.965 \times 10^4}$$

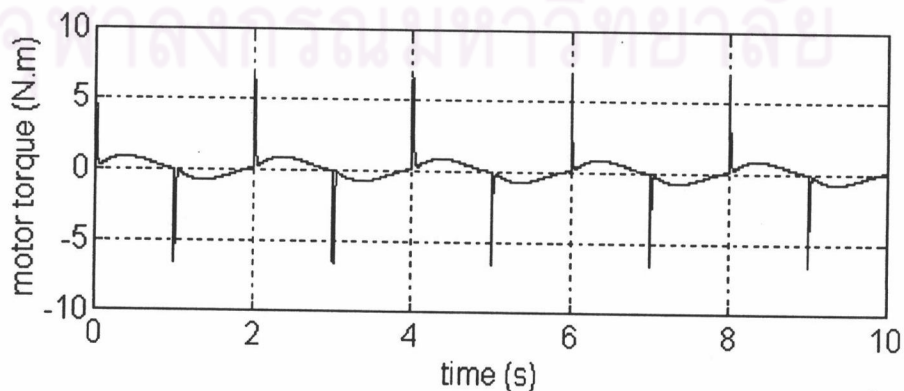
$R(s)$ ที่ประมาณได้จากการทดสอบจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{R}(z)_{exp} = \frac{0.0364z^5 + 0.5328z^4 - 0.6973z^3 - 0.07933z^2 + 0.06995z + 0.1293}{z^5 - 0.9287z^4 - 0.09049z^3 + 0.0952z^2 + 0.2157z + 0.01436}$$

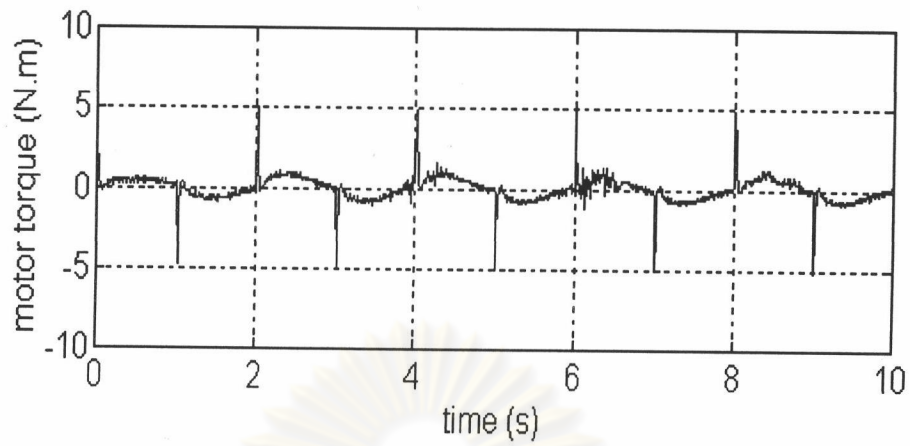
$$\hat{R}(s)_{exp} = \frac{0.0364s^5 + 16.33s^4 + 258.7s^3 + 9684s^2 + 1.28 \times 10^4 s - 6759}{s^5 + 42.44s^4 + 1026s^3 + 1.771 \times 10^4 s^2 + 4.844 \times 10^4 s + 2.533 \times 10^5}$$

การหาระบบ $P(s)$ โดยตรงในการทดสอบแบบที่ 7.3

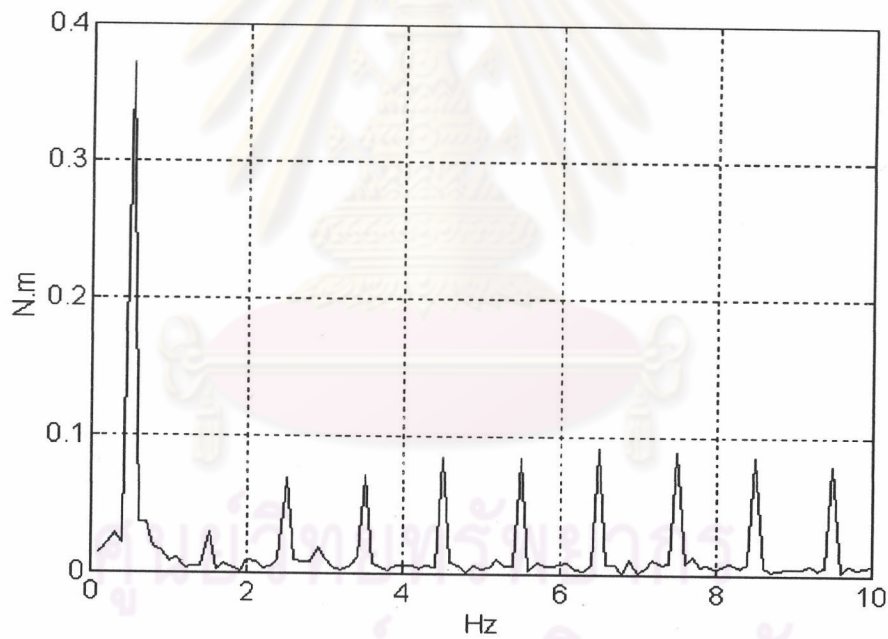
เราจะนำข้อมูลของแรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวล ที่ได้จากการทดสอบแบบที่ 7.3 มาประมวลผลหาระบบ $P(s)$ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.28 ถึง 7.32



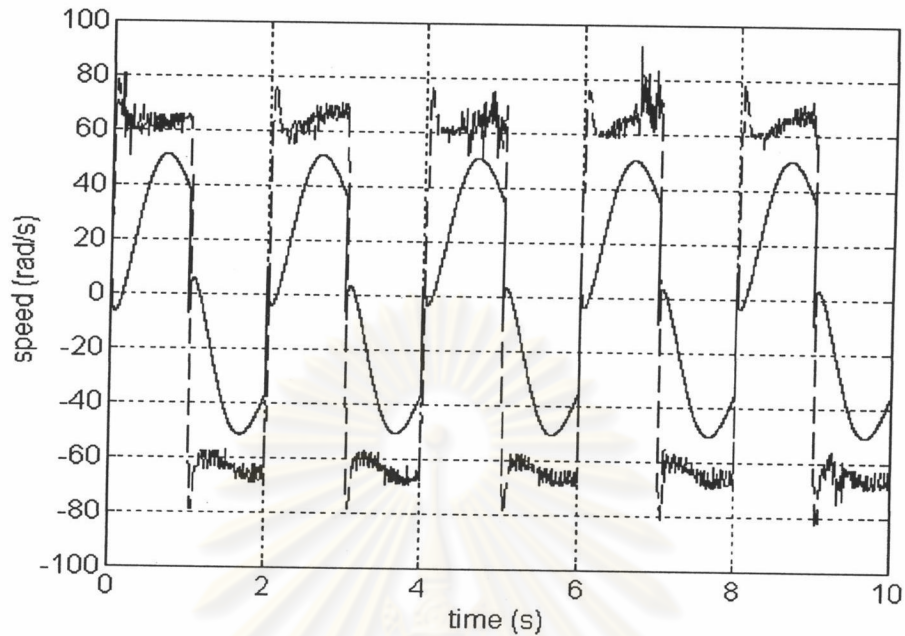
รูปที่ 7.28 แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการจำลองตามเงื่อนไขในการทดสอบแบบที่ 7.3



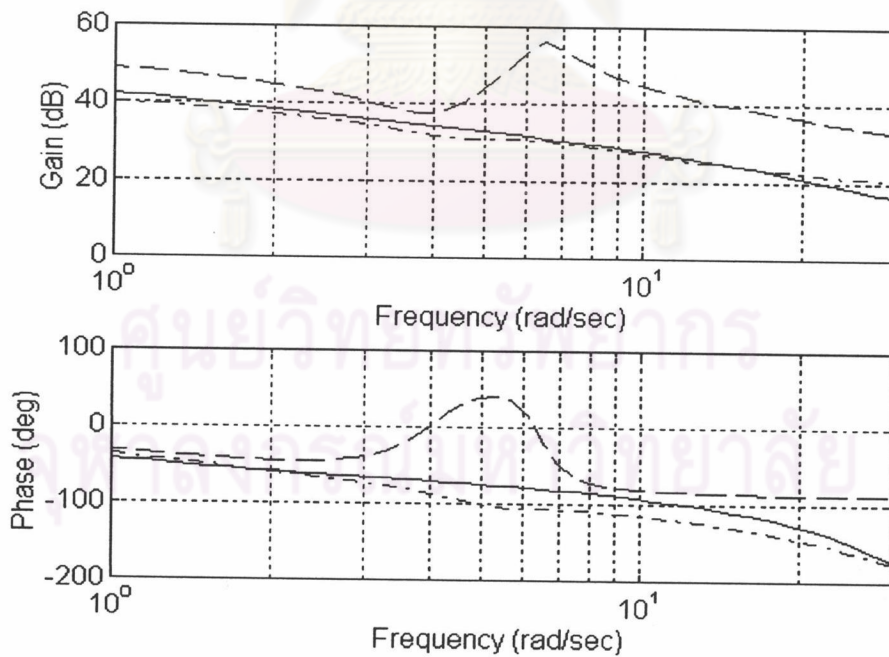
รูปที่ 7.29 แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการทดสอบตามเงื่อนไขในการทดสอบแบบที่ 7.3



รูปที่ 7.30 สเปกตรัมของแรงบิดของมอเตอร์ในรูปที่ 7.29



รูปที่ 7.31 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์คำนวณจากระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) และความเร็วจริงของมอเตอร์ (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.3



รูปที่ 7.32 กราฟเปรียบเทียบอัตราขยายและมุมเฟสของระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบ (เส้นทึบ) ระบบที่ประมาณได้จากการจำลอง (เส้นประ-จุด) และระบบจริง (เส้นประ) ในการทดสอบแบบที่ 7.3

โดยที่ ระบบจริงจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$P(z) = \frac{114.0994z^2 - 193.047z + 96.5839}{z^3 - 2.3733z^2 + 2.1886z - 0.7659}$$

$$P(s) = \frac{1250s^2 + 2083.33s + 20833.33}{s^3 + 2.667s^2 + 43.33s + 58.33}$$

ระบบที่ประมาณได้จากการจำลองจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

$$\hat{P}(z)_{sim} = \frac{-0.08523z^3 + 20.51z^2 - 41z + 26.26}{z^3 - 2.882z^2 + 3.089z - 1.162}$$

$$\hat{P}(s)_{sim} = \frac{-0.08523s^3 + 214.3s^2 - 545.1s + 5377}{s^3 - 1.498s^2 + 24.34s + 43.25}$$

และระบบที่ประมาณได้จากการทดสอบจะมีค่าฟังก์ชันโอนย้ายเป็น

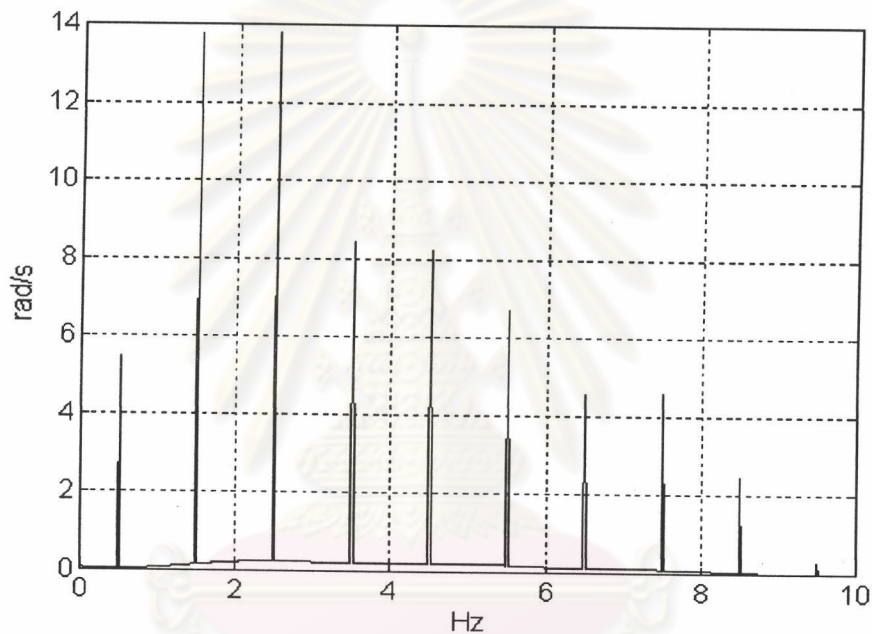
$$\hat{P}(z)_{exp} = \frac{5.472z^3 + 16.71z^2 - 5.998z - 4.866}{z^3 - 1.073z^2 - 0.017z + 0.1524}$$

$$\hat{P}(s)_{exp} = \frac{5.472s^3 + 372.1s^2 + 4681s + 1.347 \times 10^4}{s^3 + 18.81s^2 + 92.97s + 74.37}$$

จากผลการทดสอบแบบที่ 7.3 ในรูปที่ 7.31 และ 7.32 นั้นจะเห็นได้ว่าการหาลักษณะสมบัติของ $P(s)$ โดยตรงจะได้ผลที่ผิดพลาดไปจากค่าจริงที่ควรได้ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับการทดสอบแบบที่ 7.1 และ 7.2 และเมื่อเราทำการหาค่าพารามิเตอร์ $R(s)$ แทนจะพบว่าได้ผลที่ใกล้เคียงค่าจริง เนื่องจากเราป้อนสัญญาณที่มีความถี่กระตุ้นตรงกับจุดที่มีอัตราขยายสูงสุดของระบบพอดี จากกราฟอัตราขยายและมุมเฟสในรูปที่ 7.27 จะสังเกตเห็นได้ว่าในผลการจำลองและผลการทดสอบจะค่อนข้างใกล้เคียงค่าจริงในช่วงความถี่ต่ำจะมีเพียงความถี่สูงที่ใกล้เคียง 5 Hz ที่ผิดพลาดเนื่องจากผลของเวลาประวิงและผลจากความเคลือบแฝง จากผลการทดสอบจะพบว่าที่บริเวณความถี่ต่ำจะได้กราฟที่ใกล้เคียงค่าจริง ซึ่งตามเงื่อนไขที่กล่าวมานั้นเราควรที่จะได้ผลที่ผิดพลาดมากกว่าผลในการทดสอบแบบที่ 7.1 ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเกิดจากข้อมูลความถี่ที่กระตุ้นระบบจะมีค่าที่ต่ำกว่า 1 Hz เพียงค่าเดียวคือที่ 0.5 Hz เท่านั้น ประกอบกับการที่ค่าน้ำหนักโดยรวมซึ่งคือสเปกตรัมของ $\hat{A}(z)\omega_m^*(t)$ มีค่าที่บริเวณความถี่ต่ำน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 7.33 ทำให้ข้อมูลของผลต่างของความเร็วของมอเตอร์ของระบบ 2 มวลและระบบ 1 มวล (สัญญาณ g) ที่บริเวณความถี่ต่ำที่ผิดพลาดมีผลต่อการประมวลผลในช่วงความถี่ต่ำน้อยมาก ลักษณะสมบัติในย่าน

ความถี่ต่ำจึงเป็นผลมาจากแบบจำลองที่ประมาณค่าได้ในย่านความถี่ที่สูงกว่า 0.5 Hz ขึ้นไปเป็นหลัก จึงมีความถูกต้อง

อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณสี่เหลี่ยมในการหาลักษณะสมบัติยังคงไม่เหมาะสม เนื่องจากเราจะได้ผลที่ถูกต้องก็ต่อเมื่อเราทราบถึงค่าของความถี่ที่จุดที่มีอัตราขยายสูงสุดของระบบ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเราจะไม่สามารถทราบค่าของความถี่ที่จุดที่มีอัตราขยายสูงสุดของระบบได้ เราจะทราบได้เพียงว่าระบบนั้นมีแถบความถี่ในการทำงานอยู่ในช่วงใดเท่านั้น



รูปที่ 7.33 สเปกตรัมของ $\hat{A}(z)\omega_m^*(t)$ ในการทดสอบแบบที่ 7.3

จากผลของการทดสอบที่กล่าวมา เราสามารถสรุปได้ว่าการหาลักษณะสมบัติของระบบ $P(s)$ โดยตรงในระบบ 2 มวลที่มีการควบคุมโดยตัวควบคุมแบบ PI จะให้ผลที่ผิดพลาดค่อนข้างสูง เนื่องจากเราไม่สามารถที่จะกำหนดสัญญาณด้านเข้า $u(t)$ ซึ่งคือแรงบิดของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับระบบได้อย่างอิสระ ทำให้การที่เราหาลักษณะสมบัติของระบบโดยตรงนั้นมีความแม่นยำไม่เพียงพอ แต่เมื่อเราแก้ปัญหาโดยทำการหาลักษณะสมบัติของค่า $R(s)$ แทนจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้เราสามารถที่จะควบคุมสัญญาณด้านเข้า $\alpha(t)$ ซึ่งคือคำสั่งความเร็วให้เหมาะสมกับระบบได้อย่างอิสระเหมือนกับการหาลักษณะสมบัติของระบบวงรอบเปิด ทำให้เราสามารถหาลักษณะสมบัติของระบบวงรอบปิดได้อย่างแม่นยำมากขึ้นดังเห็นได้จากผลของการทดสอบที่ได้แสดงไว้